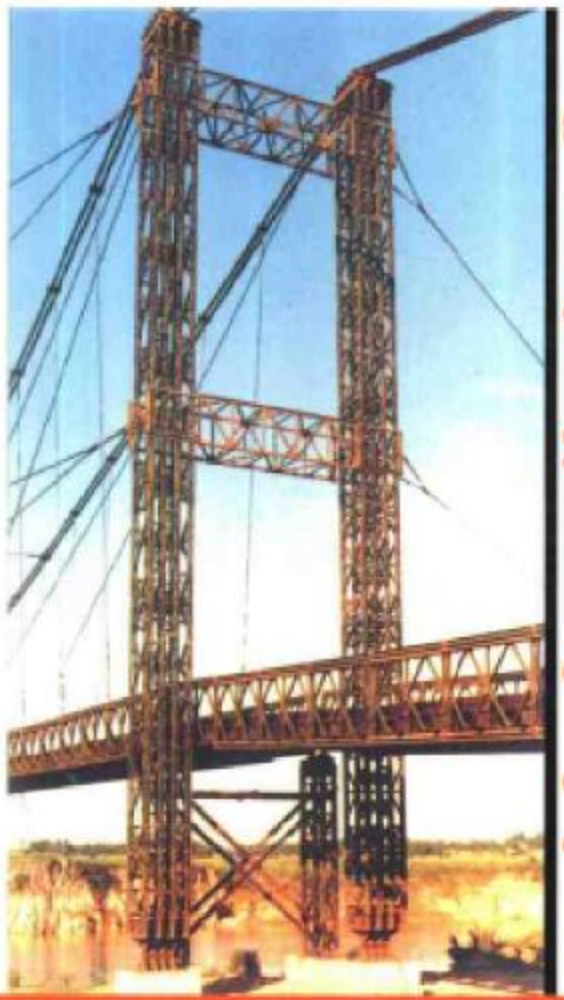
装配式公路钢桥



多用途使用手册

广州军区工程科研设计所
黄绍金　刘陌生　编著



Prefabricated Highway Steel Bridge Multi-purpose Handbook

人民交通出版社



- 策划编辑/张征宇
- 责任编辑/钱悦良
- 封面设计/王静红

ISBN 7-114-03984-0

9 787114 039843 >

ISBN 7-114-03984-0/U·02902

定价:24.00元

装配式公路钢桥多用途使用手册

广州军区工程科研设计所
黄绍金　刘陌生　编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本手册全面介绍国产装配式公路钢桥的特性、构造、桁架构件的设计计算资料，以及多用途使用方法实例，全书共分7章，其内容分别为：钢桥结构件名称及其特性，钢桥结构计算，单跨桥的结构设计和架设方法，多跨桥的结构特点，装配式公路钢桥器材在浮桥上的应用，在吊桥上的应用以及在钢筋混凝土桥梁施工中的应用。本手册可作为设计应用装配式公路钢桥的教材，也可作为公路桥梁施工设备设计的技术参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

装配式公路钢桥多用途使用手册／黄绍金，刘陌生编著. —北京：人民交通出版社，2001.6
ISBN 7-114-03984-0

Ⅰ.装… Ⅱ.①黄…②刘… Ⅲ.装配式梁桥：公路桥：钢桥—中国—手册 Ⅳ.U448.14-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2001）第 043513 号

装配式公路钢桥多用途使用手册

广州军区工程科研设计所

黄绍金 刘陌生 编著

版式设计：王秋红 责任校对：刘高彤 责任印制：杨柏力

人民交通出版社出版发行

（100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602）

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：11.75 字数：290 千

2002 年 3 月 第 1 版

2002 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数：0001-3000 册 定价：24.00 元

ISBN 7-114-03984-0
U·02902

前　言

装配式公路钢桥是一种可分解的，能快速架设的，主要用于抢修的钢或桥梁，这种桥梁器材主要有以下特点：

1. 采用高强钢全焊制成，主梁一般为可分解的轻型桁架，立体或平面拼装单元，用单销或螺栓连接，重量较轻，运输拆装较方便。

2. 构件可以互换，可多次重复使用；

3. 桥梁主梁的组合形式，可根据跨径、通载的大小改变。

自第二次世界大战以来，一些大国都定型生产有本国的桥梁抢修器材，如前苏联的叫"PMM"，其主梁为上承式，三角形桁架，立体拼装单元。日本的叫"99式"军用梁，主梁为三角形桁架，立体拼装单元，主要用于铁路桥梁抢修。这种器材在我国的铁路部门乃至一些公路建设单位还可以见到，公路建设部门多用来作施工设备。鉴于该器材的资料已不多见，故本手册将其主要技术资料收入附录之中。英国和美国早在第二次世界大战初期，于1938年采用美国唐纳德工程师设计的半字型桁架钢桥，即"贝雷钢桥"为英美联军的军用桥梁，这种桥梁在二次大战期间大量用于欧洲及远东战场，战后还有所改进和发展，其技术资料可参见本手册的附录一。

我国的战备公路钢桥，于20世纪60年代定型生产，原名叫"321"公路钢桥，国家安排了三个定点工厂生产，年产量约1500～2000t，储存在全国各地。这些器材在抢险救灾（如唐山大地震）和边境自卫反击战中均起到重要作用，1962年我国工程兵部队在柬埔寨维和行动中在6号公路上用国产"321"公路钢桥器材，以两天修复一座桥的速度，在15天内，完成了217km道路上6座公路桥的建设任务，深受联合国派和部队的好评。我国生产的"321"公路钢桥，与英国"贝雷桥"相似，主梁亦为半字型桁架，但尺寸不一样，贝雷桥为英制，"321"公路钢桥为公制，这种器材不能混合使用。我国一些工地的工人，看把国产的"321"公路钢桥桁架称作"贝雷架"，考虑到这种习惯叫法，勿简化称呼，本手册个别地方仍用"贝雷架"一词。

"321"公路钢桥，原设计为单跨桥梁，最大架设长度为60m，使用的局限性较大，因此，由我国的交通战备和工程兵部队领导机关主持，广州军区工程科研设计所承办及其他兄弟单位协助，结合我国江河、地形的具体条件，对"321"公路钢桥作过多项革新研究，把这种器材成功地移植到浮桥、多跨桥、吊桥上，使"321"公路钢桥器材的使用性能大大提高。进入改革开放的年代之后，随着我国公路建设突飞猛进的发展、广东、湖南等省一些桥梁施工单位，广泛利用"321"公路钢桥的桁架拼装钢筋混凝土梁的架桥机、混凝土箱梁的悬浇挂篮、拱桥施工支架，以及各种用途的龙门吊架等等，用途十分广泛，在桥梁工程建设中发挥了重要作用，取得了巨大的经济效益。但"321"公路钢桥的技术资料目前尚未公开发表，我国多年来多用途使用经验尚未总结交流传播，这在一定程度上影响该器材作用的发挥和规范正确地使用，致使使用不当的情况时有发生，有的甚至出现重大事故。为适应我国目前公路建设的需要，充分发挥该器材在国民经济建设、交通战备建设中的作用，我所根据有关方面的建议，组织编写本手册。在编写过程中得到了原广东省公路工程处，解放军理工大学工程兵工程学院道桥教研室、湖南省郴州

公路工程机械厂、江苏省交通战备办公室、广东省中山市公路钢结构厂等单位大力支持，提供资料，在此表示感谢。

本手册由高级工程师黄绍金、刘陌生合编，黄谱渝参加书稿校对工作。

由于水平所限，书中不当之处难免，敬请读者指出。

广州军区工程科研设计所

《装配式公路钢桥多用途使用手册》编写组

目　录

第一章　装配式公路钢桥基本构件名称和特性 …… 1
　第一节　构件名称和特性 …… 1
　第二节　公路钢桥器材运输和保养 …… 19
第二章　装配式公路钢桥结构设计与计算 …… 21
　第一节　桁架设计计算 …… 21
　第二节　桁架挠度计算与测试 …… 33
　第三节　桥面系构件的设计计算 …… 45
第三章　单跨桥结构设计与架设方法 …… 50
　第一节　单跨桥的技术性能 …… 50
　第二节　单跨桥的架设方法 …… 60
　第三节　单跨桥的应用设计实例 …… 75
第四章　多跨桥结构设计与架设方法 …… 79
　第一节　桩式中间桥墩(脚) …… 79
　第二节　装配式桁架桥墩(脚) …… 85
　第三节　多跨桥主梁构造特点及架设方法 …… 91
　第四节　多跨桥应用实例 …… 92
第五章　装配式公路钢桥器材在浮桥上的应用 …… 95
　第一节　概述 …… 95
　第二节　浮桥的桥节门桥构造和门桥之间的连接 …… 97
　第三节　浮桥的设计 …… 100
　第四节　桥节门桥的结合作业 …… 107
　第五节　浮游栈桥的结构与作业 …… 110
　第六节　浮桥架设、固定、闭塞(合龙)、使用维护与撤收 …… 111
　第七节　高架浮桥 …… 113
第六章　装配式公路钢桥器材在吊桥上的应用 …… 115
　第一节　概述 …… 115
　第二节　装配式吊桥结构分析与计算 …… 117
　第三节　广西邕江装配式吊桥设计施工简介 …… 126
第七章　装配式公路钢桥桁架在桥梁施工中的应用 …… 139
　第一节　概述 …… 139
　第二节　架桥(梁)机 …… 141
　第三节　挂篮 …… 151
　第四节　箱梁预制悬拼的施工设备 …… 155
　第五节　在拱桥施工中的应用 …… 159

第六节　混凝土箱梁现浇支架及平台 …… 166
第七节　龙门吊架 …… 170
附录一　贝雷钢桥最新发展简况 …… 176
附录二　日本 99 式军用梁简介 …… 177
主要参考资料 …… 181

第一章　装配式公路钢桥基本构件名称和特性

第一节　构件名称和特性

装配式公路钢桥由主梁桁架、桥面系、支撑件、桥端构件及架设工具等组成。

一、主梁桁架构件

主梁桁架构件有：桁架、桁架连接销及保险销、加强弦杆、弦杆螺栓、桁架螺栓6种构件组成。

(一)桁架

1. 构造

桁架(图1-1)由上、下弦杆、竖杆及斜杆焊接而成，上下弦杆的端部有阴阳接头，接头上有桁架连接销孔。

桁架的弦杆由两根10号槽钢(背靠背)组合而成，在下弦杆上，焊有多块带圆孔的钢板，在上、下弦杆内有供与加强弦杆和双层桁架连接的螺栓孔，在上弦杆内还有供连接支撑架用的四个螺栓孔，其中间的两个孔是供双排或多排桁架同节间连接用的，靠两端的两个孔是跨节间连接用的。多排桁架作梁或柱使用时，必须用支撑架加固上下两节桁架的接合部。

在下弦杆上，设有4块横梁垫板，其上方有凸榫，用以固定横梁在平面上的位置，在下弦杆的端部槽钢的腹板上还设有两个椭圆孔，供连接抗风拉杆使用。

桁架竖杆均用8#工字钢制成，在竖杆靠下弦杆一侧开有一个方孔，它是供横梁夹具固定横梁时使用的。

桁架构件的材料为16Mn，每片桁架重270kg。

2. 桁架单元杆件性能(表1-1)

表1-1

杆件名	材　料	桥断面型式	横断面积(cm^2)	理论容许承载能力(kN)
弦杆	16Mn	$[_{10}$	2×12.74	560
竖杆	16Mn	I_8	9.52	210
斜杆	16Mn	I_8	9.52	171.5

3. 桁架单元在各种受力状态下不考虑压弯稳定时的承载能力(图1-2)

(二)桁架连接销及保险销

桁架连接销供连接相邻两桁架用，形状如图1-3所示，重3kg，在锥度的一端有一小孔，供插保险销用(图1-4)，在另一端面上有一凹槽，其方向与保险销孔相同，在装销时如看不见销孔，可借导向槽方向以定销孔方向，有助顺利插入保险销。

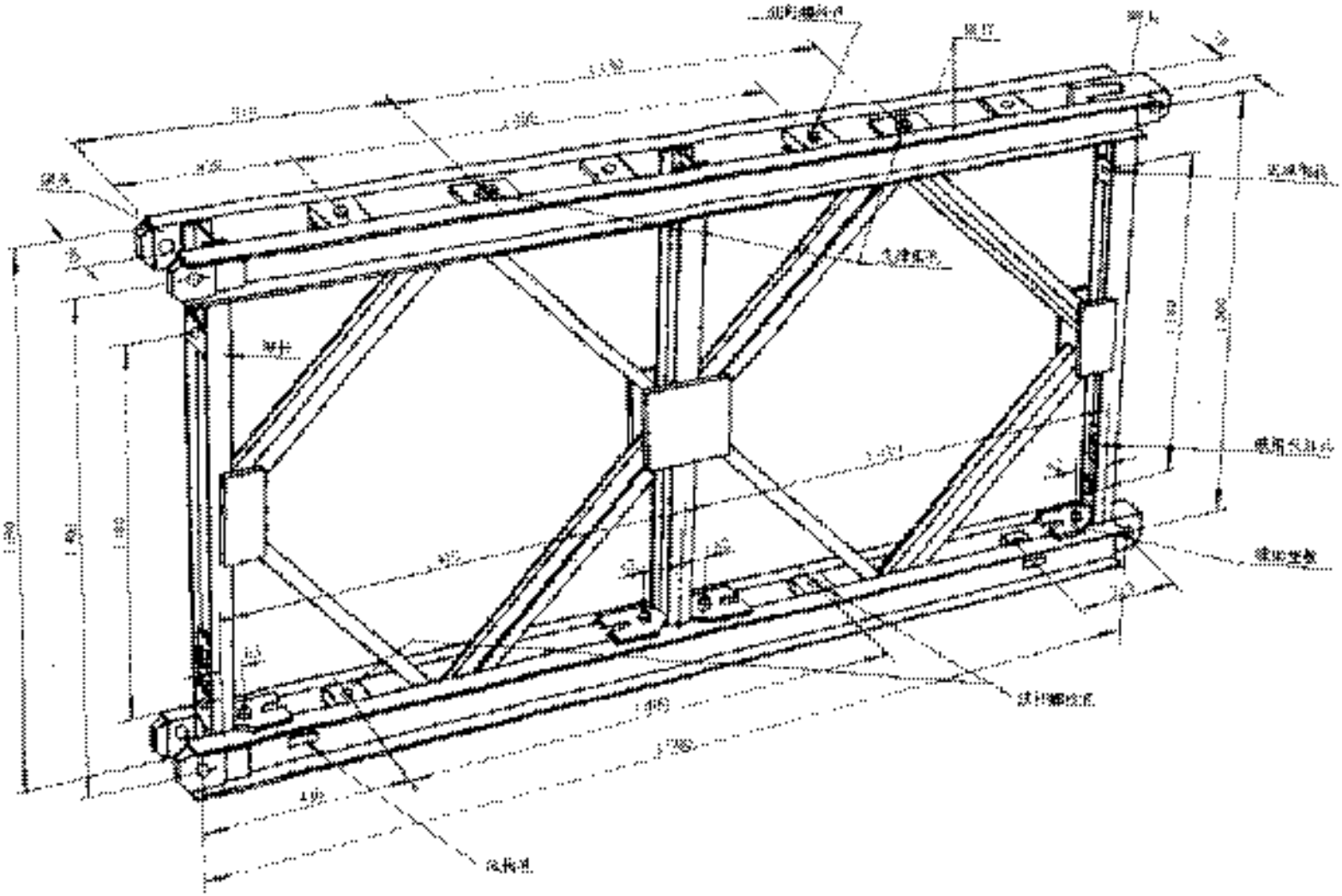


图 1.1 [illegible]

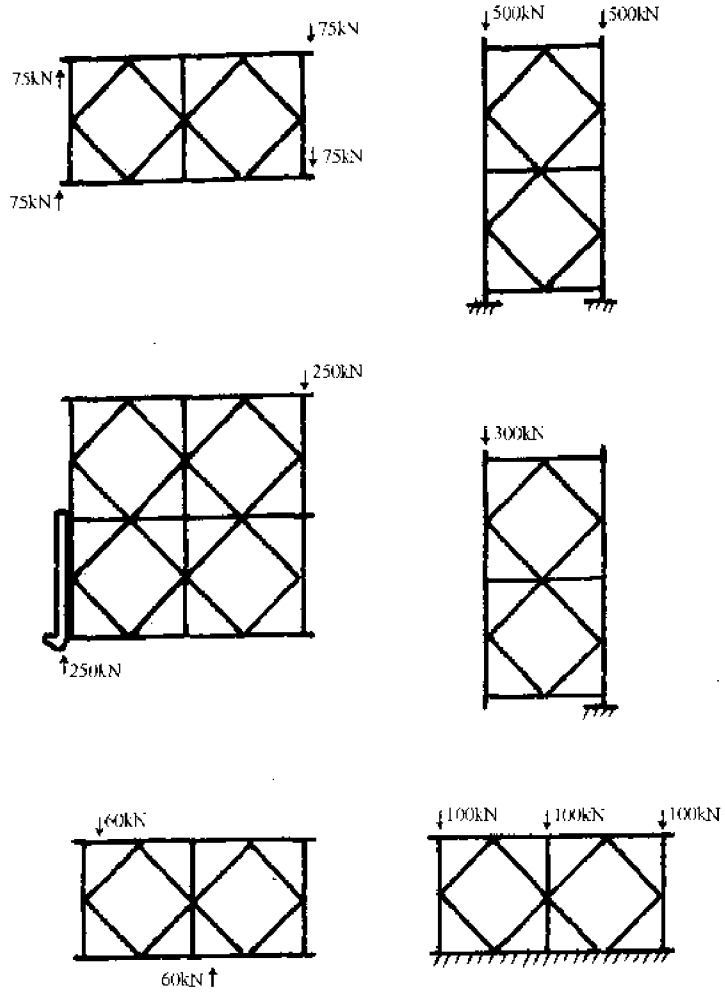


图 1-2　桁架理论承载力

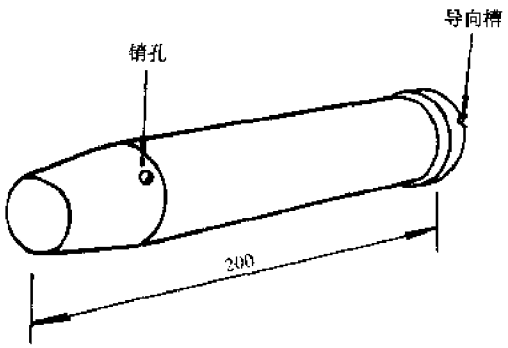


图 1-3　桁架销子



图 1-4　保险销

桁架梁为三排时，为装拆方便，销子可按下列规则安装：第一排（内排）的桁架销子由里往外插（由桥面向外）；第二、第三排桁架则由外向里插；上层各排的销子均由里往外插。

桁架销子材料为 30CrMnSi，直径为 49.5mm。

(三)加强弦杆

主要用来加强桁架弦杆的承载能力,其材料、断面与桁架上弦杆相同,其构造与桁架上弦杆比较,除弦杆螺栓孔座板与桁架弦杆上孔的座板高低位置不同外,其余均相同,如图 1-5 所示。

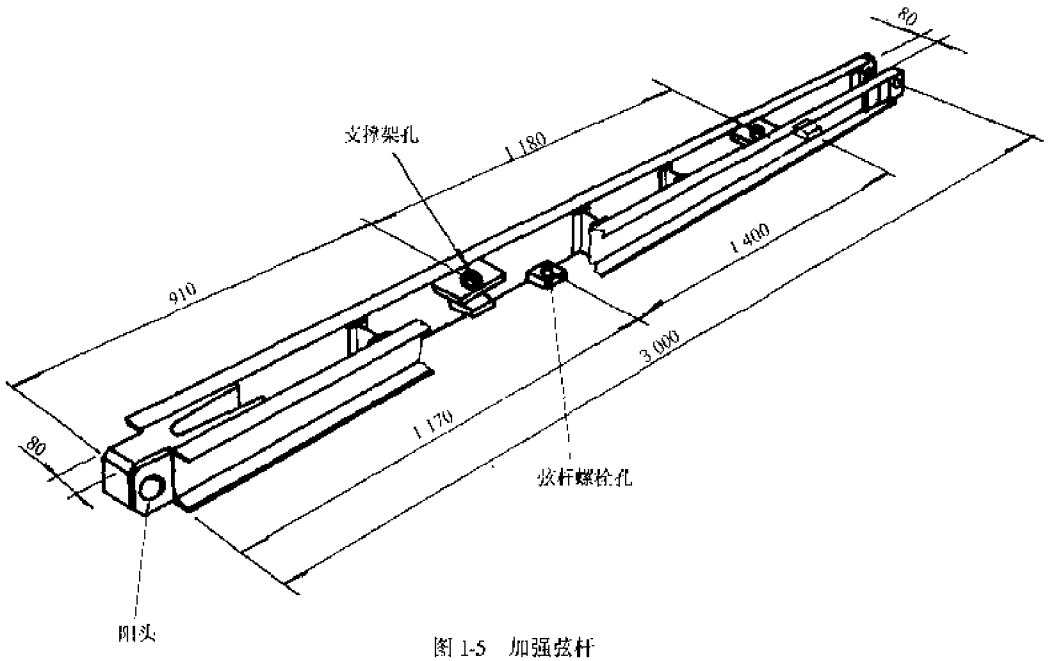


图 1-5 加强弦杆

一根加强弦杆重 80kg,用两根弦杆螺栓与桁架弦杆相连。

(四)弦杆螺栓

用以加强弦杆与桁架间的连接,螺栓规格为 M36 × 180,材质为 16Mn,抗剪力 150kN,拉力为 80kN,如图 1-6 所示。

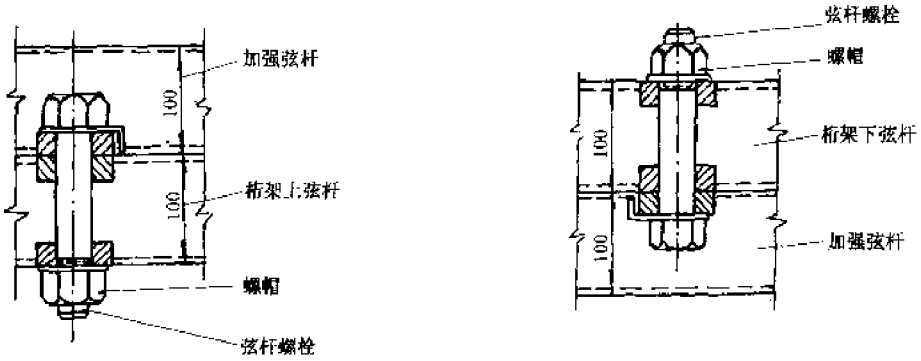


图 1-6 弦杆螺栓

(五)桁架螺栓

用以上下层桁架的连接,除比弦杆螺栓长 7cm 外,其它构造均与弦杆螺栓相同。

二、桥面系构件

桥面系构件有横梁、横梁夹具、纵梁、桥板、护轮木,护轮木固定螺栓。

1. 横梁(图 1-7):用 27 号压延工字钢制成,全长 5.85m,重 245kg,在顶部焊有 4 个卡铁,用以 限定纵梁的位置,两端上方焊有一个带圆孔的短方柱,用来固定斜撑,两端底面各有3个凹

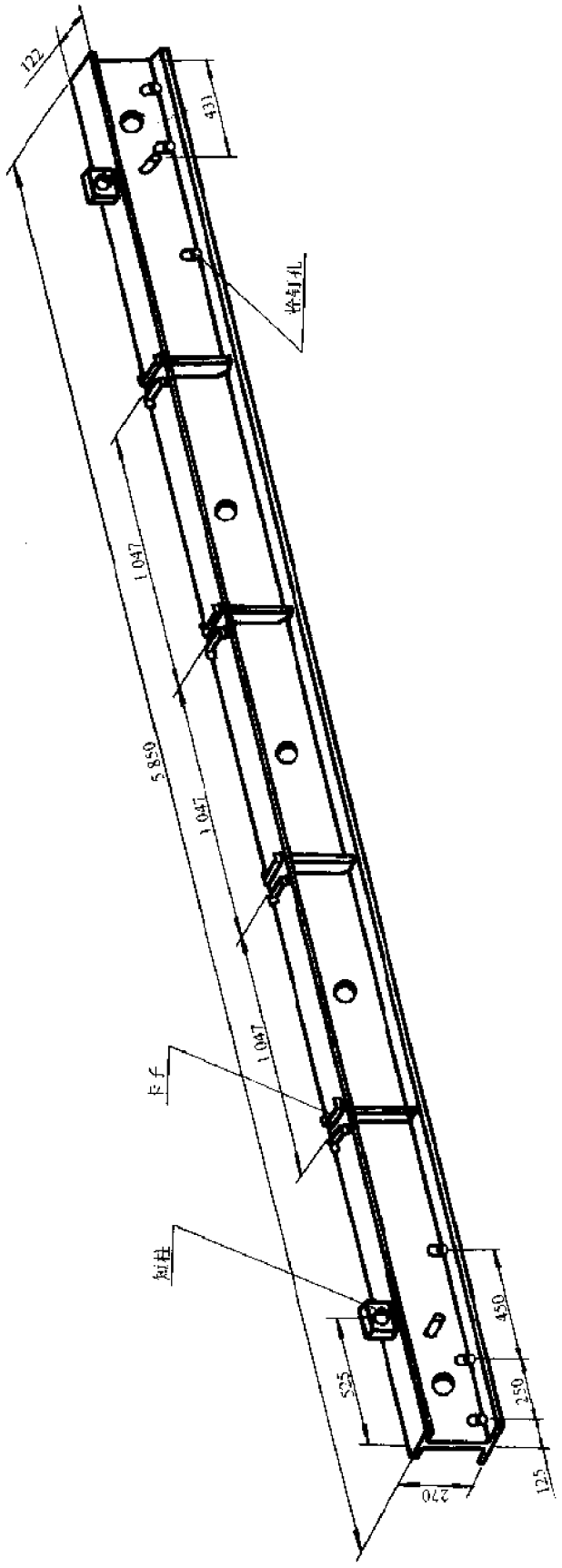


图 1-7 横梁

眼，用以套入桁架下弦杆横梁墙板上的定位轮钉，使横梁在桁架上就位，在两端腹板两侧距端侧25cm的位置各焊有一个横打，用以固定入行道的挑梁。

2. 横梁夹具：用于横梁与桁架的连接固定，构造如图1-8所示，整个部件重约3kg，最大固定力为20kN。

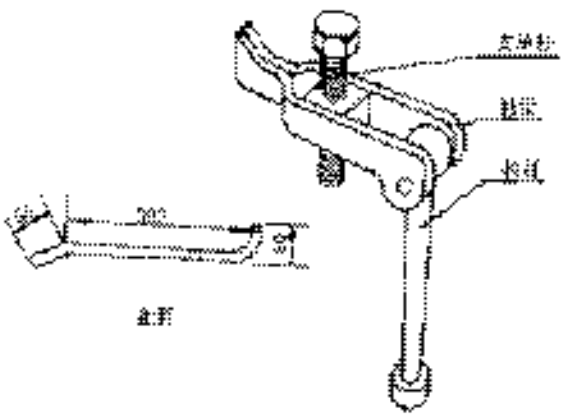


图1-8 横梁夹具

3. 纵梁

纵梁分有扣纵梁和无扣纵梁两种，无扣纵梁设在桥面的中部，有扣纵梁设在桥面的两侧，扣的作用是卡住木桥板，不使沿桥轴线方向移动，纵梁用10号工字钢制成，每三根工字钢用横梁焊在一起成一个整体，有扣纵梁重107kg，无扣纵梁重105kg，如图1-9所示。

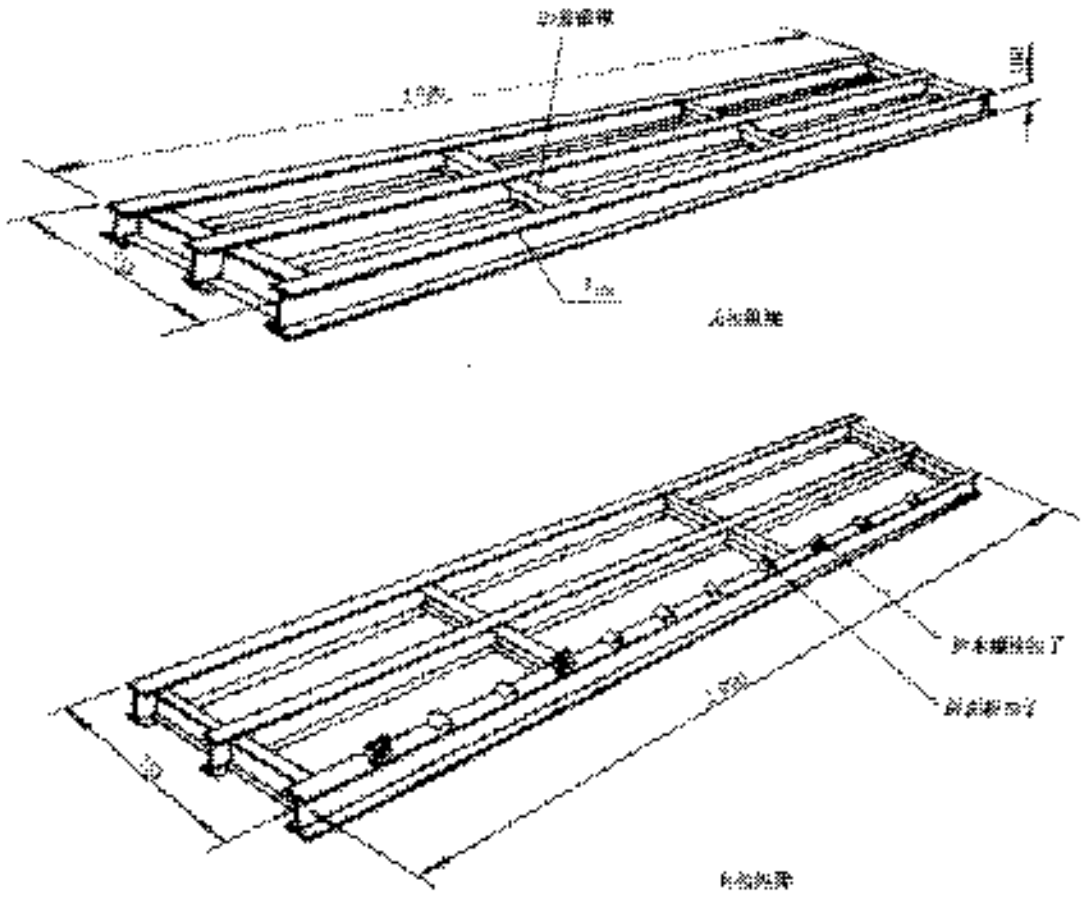


图1-9 无扣纵梁与有扣纵梁

4. 桥面板

公路钢桥器材作轴时桥便用时，原设计用木桥面板按轴压力120kN设计。桥板长3.9cm，宽19cm，厚7cm，重约40kg(按木比红松计)，桥板的两端做成凸形，用以嵌在有扣纵梁的扣子

之间，如图 1-10 所示。

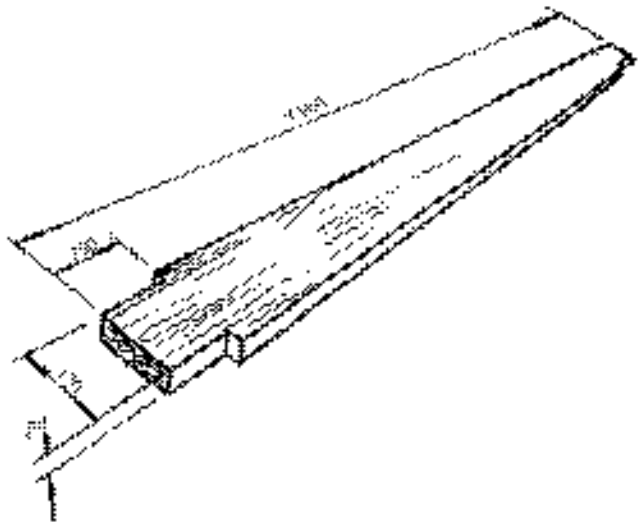


图 1-10 桥面板

木桥面板是一种就使器材构件，使用时，根据通过载荷的形式（轮式或履带式）和轮压及木材的材质，确定木板的厚度和宽度。

如桥梁作永久或半永久使用时或缺乏木材时，可用钢板制作，钢桥面板用 8～10mm 的钢板与纵垛焊在一起，在钢板上身防滑条或铺沥青混凝土。

5. 护轮木（图 1-11）

护轮木安装在行车道的两侧，用以压住桥面板固定桥面的外缘，护轮木用 T 形螺栓（图 1-12）固定在有扣纵梁上，护轮木可用 14cm x 14cm 的方木制作，也可用 12～14 的椰杨制作。

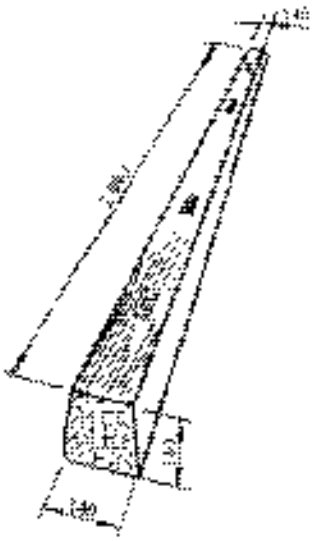


图 1-11 护轮木

三、U 型钢桥面板

（一）构造特征

2001 年交通部定型生产了一种 U 型钢桥面板，用以代替

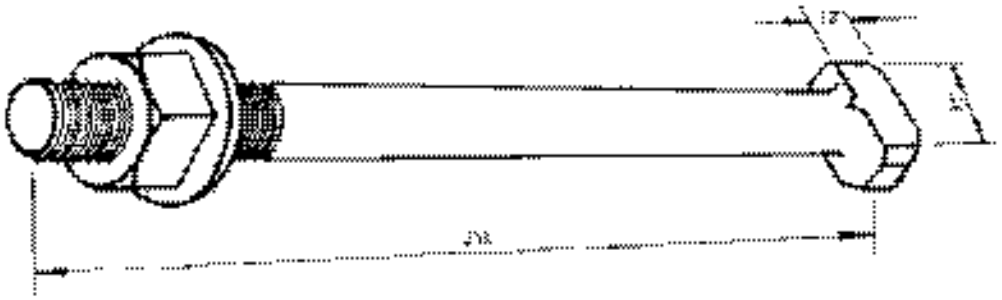


图 1-12 护轮木螺栓

“321”钢桥原来的木质桥面板。U型钢桥面板是将桥面系纵梁与钢板组合在一起的正交异性板(图 1-13),使用 U 型桥面板时,不需设纵梁。

U 型钢桥面板每一桥节由四块标准桥面板,一块中间桥面板,桥两侧路缘材(图 1-14)及其连接件组成,构件诸元如表 1-2 所示,此外每座桥还配有桥头搭板。

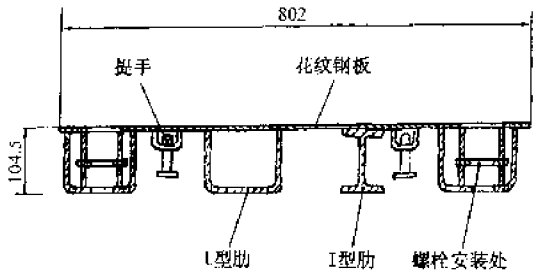


图 1-13 U 型标准钢桥面板剖面

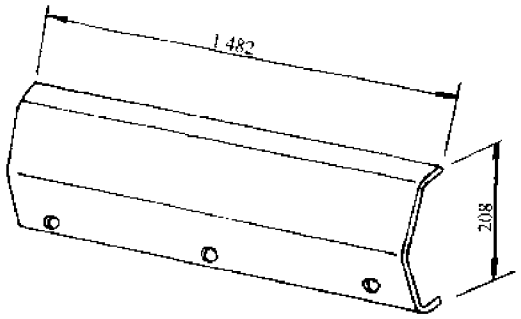


图 1-14 路缘板

每一桥节配 U 型钢面板构件数量及诸元表 表 1-2

名 称	数量(件)	长度(mm)	宽(mm)	厚(mm)	重量(kg)	连 接 件
标准钢桥面板	4	2998	802	104.5	235.0	L螺栓 4个 或 U 螺栓 2个
中间桥面板	1	2998	482	104.5	136.0	L螺栓 2个 或 U 螺栓 1个
路 缘 材	4	1482	208	37	13.0	M_{16}标准螺栓 12个

(二)安装固定方法

1. 先将中间桥面板铺设在桥面中部,其两端各用一根 L 型钩头螺栓(图 1-15)与横梁固定。固定方法为:在桥面板就位后,用专用工具(图 1-16)将钩头螺栓旋转 90°,待钩头能钩住横梁上翼缘时,将螺帽拧紧。

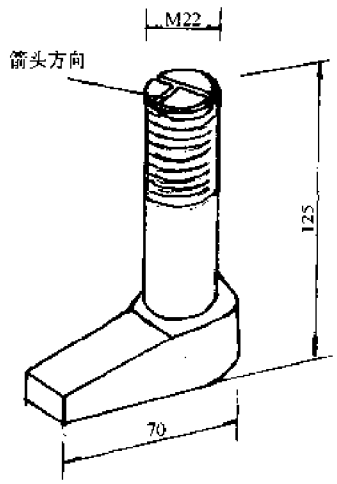


图 1-15 L 型钩头螺栓

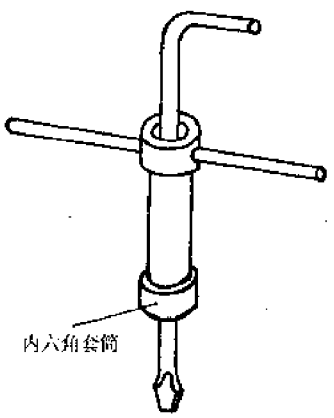


图 1-16 L 型钩头螺栓专用工具

2. 在中间桥面板的两侧各安装两块标准桥面板，其两端各用 L 型钩头螺栓或 U 型螺栓(图 1-17)(也可只用一种)与横梁固定。L 型钩头螺栓的固定方法同中间桥面板，U 型螺栓固定方法是：桥面板安装就位后，从下一桥节的空档中将 U 型螺栓的一肢兜过横梁底部穿入钢桥面板连接孔内放下，另一肢使其低于横梁上翼缘，待下节桥面板就位后，提起 U 形杆的另一肢穿入第二节桥面板端部的孔眼内，然后用专用工具(图 1-18)再拧紧两肢上的螺母，将相邻两节的两块桥面板用同一根 U 形螺栓固定在横梁上。

3. 路缘材安装在桥两侧标准桥面板上，每块路缘板用 3 个螺栓固定。

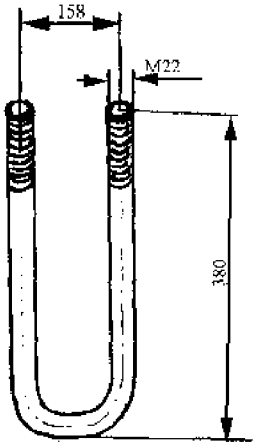


图 1-17 U 型螺杆

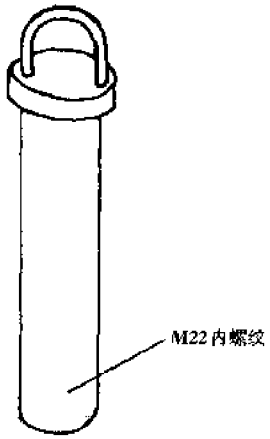


图 1-18 U 型螺杆专用工具

四、支撑连接构件

支撑连接构件用以保持桁架的稳定性，构成空间体系。这些构件是按单跨桥标准形式来设计制造的。

1. 斜撑

斜撑的作用是增强桁架横向的稳定性，用 8 号工字钢制作，其两端各有一个圆锥形套筒，上端插入桁架竖杆支撑架孔，下端套筒插入横梁端的短柱孔内，均用斜撑螺栓固定，一根斜撑重 11kg，承载能力为 22.5kN，如图 1-19 所示。

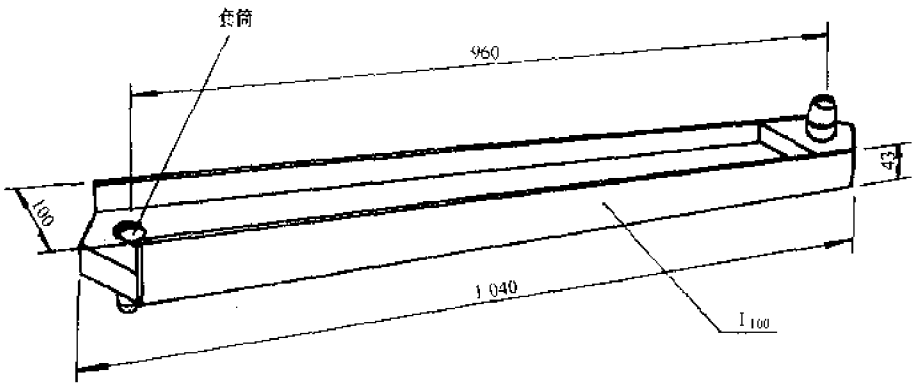


图 1-19 斜撑

2. 支撑架

支撑架用于两排桁架之间的连接，连接时将其空心圆锥套筒插入桁架弦杆或端竖杆支撑架螺栓孔内，用支撑架螺栓固定。

支撑架用角钢焊成，构造如图 1-20 所示。

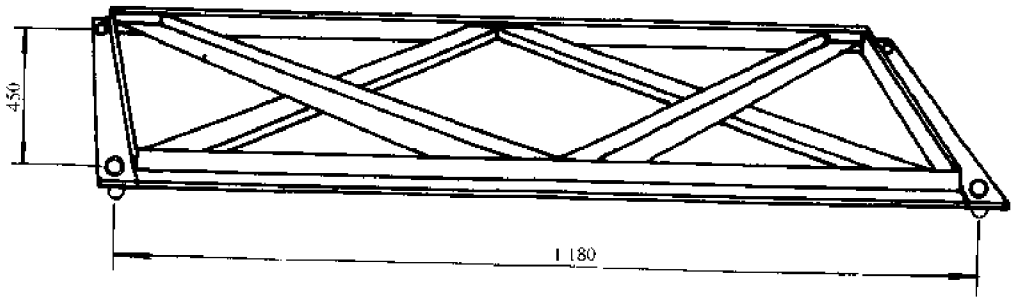


图 1-20　支撑架

3．联板

桥跨用三排桁架时，用来第二排与第三排之间的连接。连接时，用支撑架螺栓将其固定在相邻桁架的竖杆上，如图 1-21 所示。

4．斜撑与支撑架和联板三种螺栓，除斜撑螺栓长 10mm 外，其它完全一样，它们的抗剪和抗拉能均为 25kN，如图 1-22 所示。

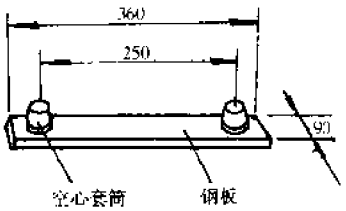


图 1-21　联板

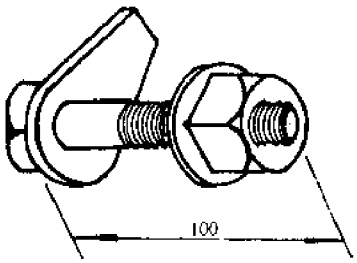


图 1-22　支撑架螺栓

5．抗风拉杆

抗风拉杆用以保证桥梁的正直和承受垂直于桥轴线方向的水平风力，在每节桁架内交叉设置两根。

抗风拉杆两端各有一销钉孔，用与桁架连接，在拉杆的中部设有连接夹，以便弯折，利于运输，杆上还备有正反间螺纹的松紧螺旋套，用来调整拉杆长度。每根抗风拉杆重 33kg，如图 1-23所示。

五、桥端构件

桥端构件有：端柱、桥座、底板、桥头塔板、塔板支座等。

1．端柱(图 1-24)

端柱安装在桥梁主桁架的两端，用以将桥梁上的荷载传至桥座上。端柱分阴头端柱和阳头端柱两种，阴头端柱安装在桁架的阳头上，阳头端柱安装在主桁架的阴头上，端柱上部的椭圆孔，为连接第二层桁架下弦杆用，其他孔为连接下层桁架的上下弦杆用，端柱下部端侧设有

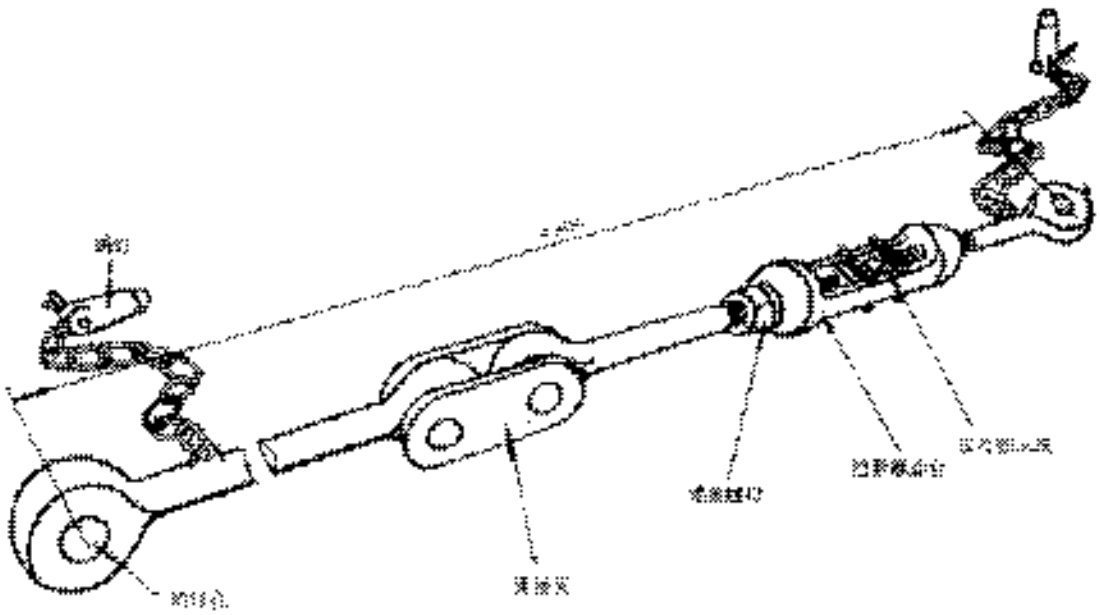


图 1-23 便风旋桿

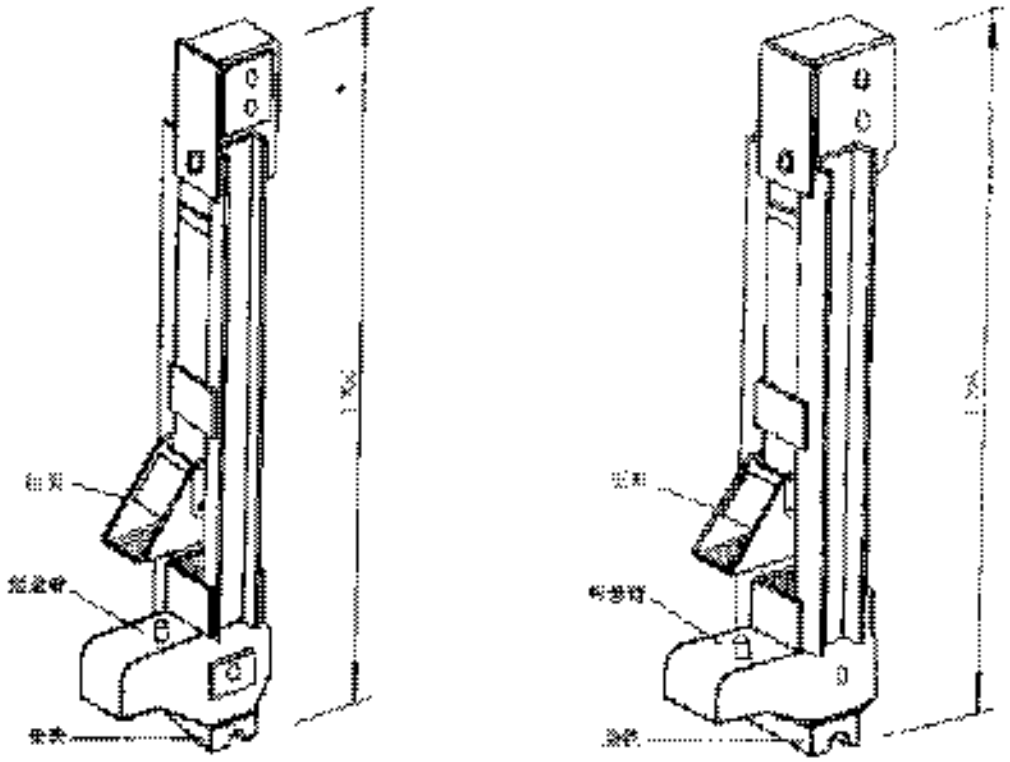


图 1-24 橫柱

短悬臂，在其上安放滑橫梁，短悬臂上面有一个活动铁扣，起橫梁头具固定橫梁的作用，运输状态时，可把它放入柱腹中，用鎖盖固定，端柱底焊有一半月牙形热块，桥梁堕落时，将其搭在桥座的轴梁上，端柱全重 70kg，最大允许承载能力为 250kN。

2. 桥座

桥座（图 1-25）用以支承端柱，其轴梁被分为三段，单排桁梁桥只用一个桥座，将端柱皆在

轴梁的中段。双排和三排桥梁用四个桥座，内排端柱仍置于一个桥座轴梁的中段上。中间和外排桥梁置于另一个桥座轴梁的左右段上。座板重约38kg。

3. 座板

座板(图1-26)是用钢板焊接而成的空格结构，用于支承桥座，将桥座持承的压力分布在较大的面积范围内。座板边上有1、2、3数字，分别标示单排、双排、三排桥梁的桥座中心线位置。座板全重约184kg。

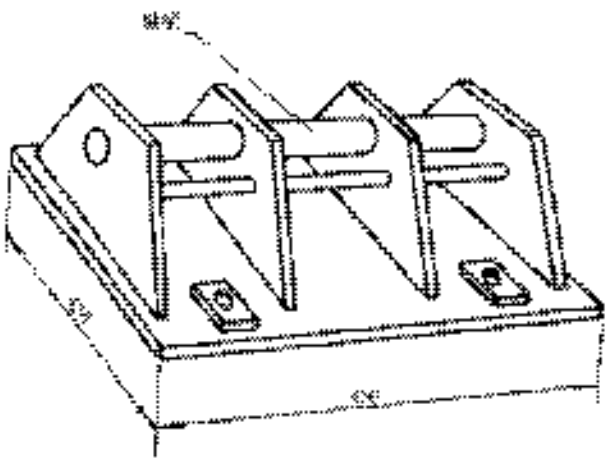


图1-25 桥座

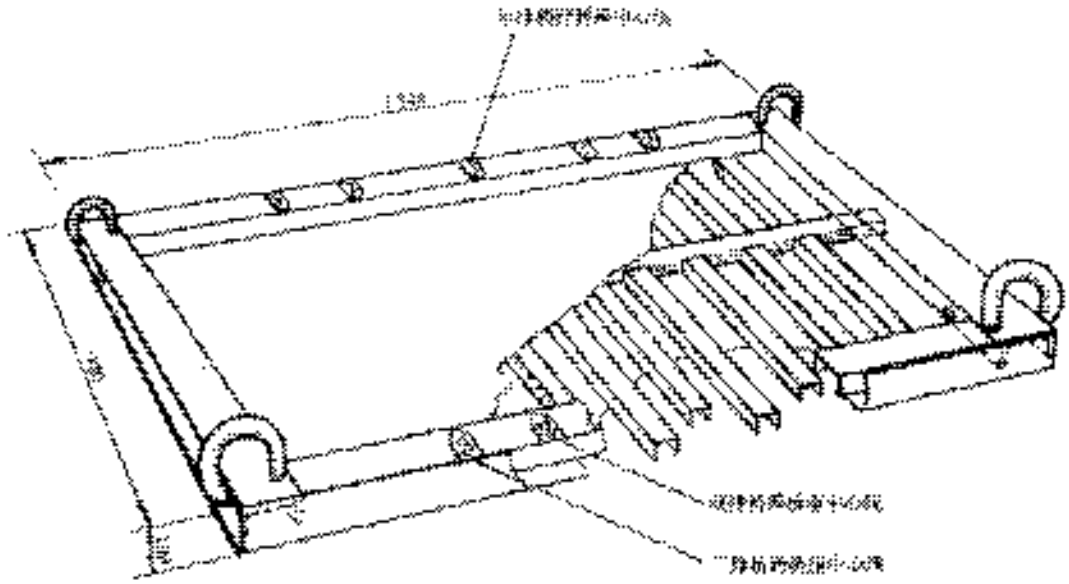


图1-26 座板

4. 桥头搭板

桥头搭板(图1-27)与桥面的纵梁相似，也有有扣和无扣之分，搭板由三根12号工字钢组成，两端的下翼缘成斜面，以降低断面高度，保持与桥面平移，夯密的翼缘下带有弧形支座。有扣搭板重145kg，无扣搭板重143kg。

搭板的作用是在构筑桥梁的进出口时，一端搭在桥端横梁上，另一端支承在路堤上。如果坡度较大，可用两节搭板，中间用横梁支承，横梁处于4个搭板支座上。

5. 搭板支座

搭板支座(图1-28)用来支承引桥的中间横梁，使其保持稳定，一根中间横梁下需布置4个搭板支座，一个搭板支座重约46kg。

六、架梁工具

公路钢桥器材，配有一套专用工具，供拼装架设桥梁使用。本节仅介绍这些工具的构造及

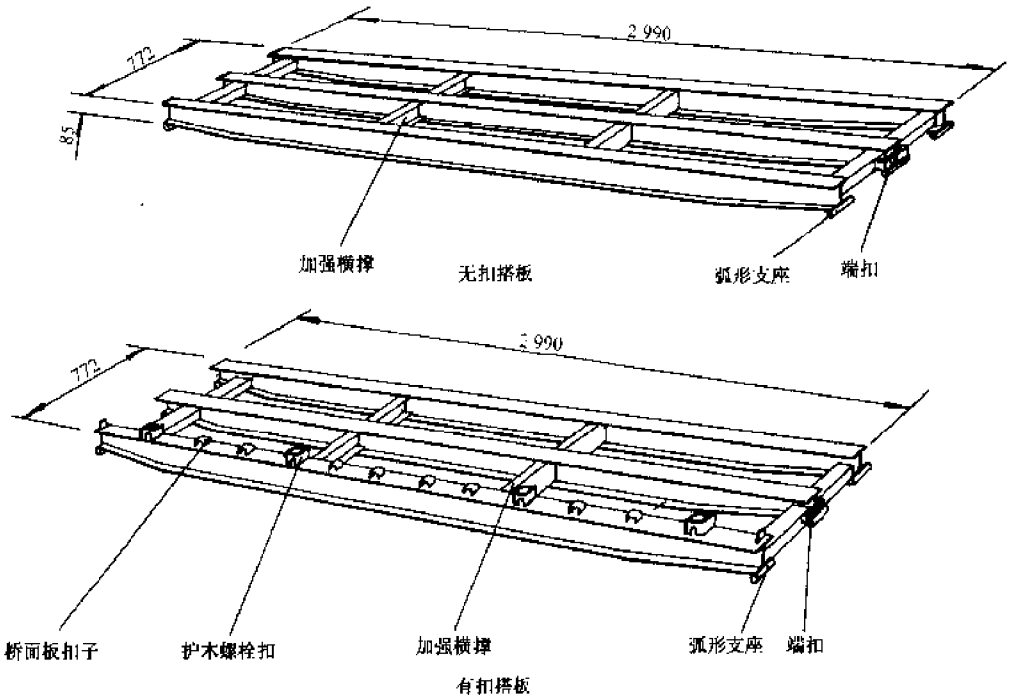


图 1-27　有扣搭板与无扣搭板

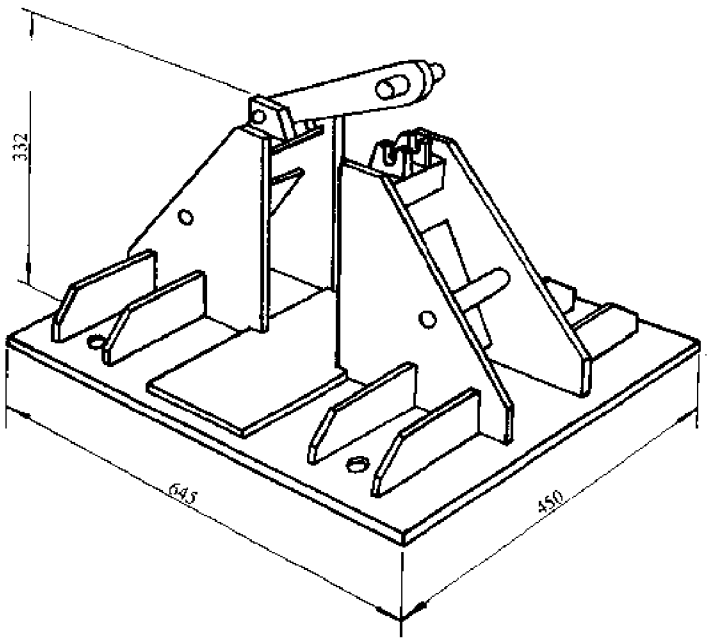


图 1-28　搭板支座

部分使用方法，具体用法将在本书桥梁的架设内容中叙述。

(一)推进设备

1. 摇滚(图 1-29)：为一长铁架上安装三个钢滚而成，重 102kg。铁架下面有半月牙形垫板，便于支承在桥座的轴梁上。摇滚两端可上下自由摇动，铁架两侧设有 4 个小平滚。使桁架下弦杆控制在摇滚的中央，以保证桥梁定向推出或拉回。架桥时，在推出岸与对岸的岸边均需布置摇滚。摇滚最大承载力为 250kN。放在桥座上的高度为 37.4cm，置于桥座与摇滚样盘上

的高度为 42.4cm。

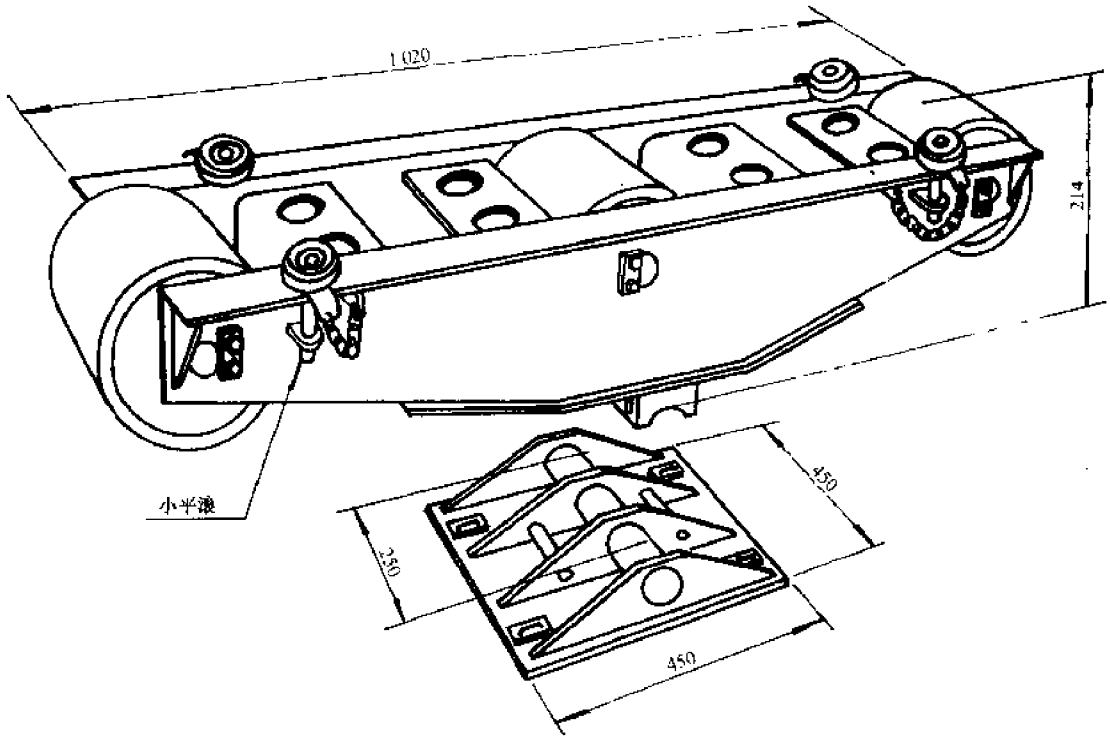


图 1-29 摇滚

2. 平滚:构造为一装有两个钢滚的铁架(图 1-30),重 60kg。平滚在架桥时用以承受架桥的重量。在推出岸的摇滚后每隔 6m 放置一组平滚,平滚的每一钢滚的最大承载力为 60kN,高度为 19cm,置于平滚样盘上的高度为 21.50cm。

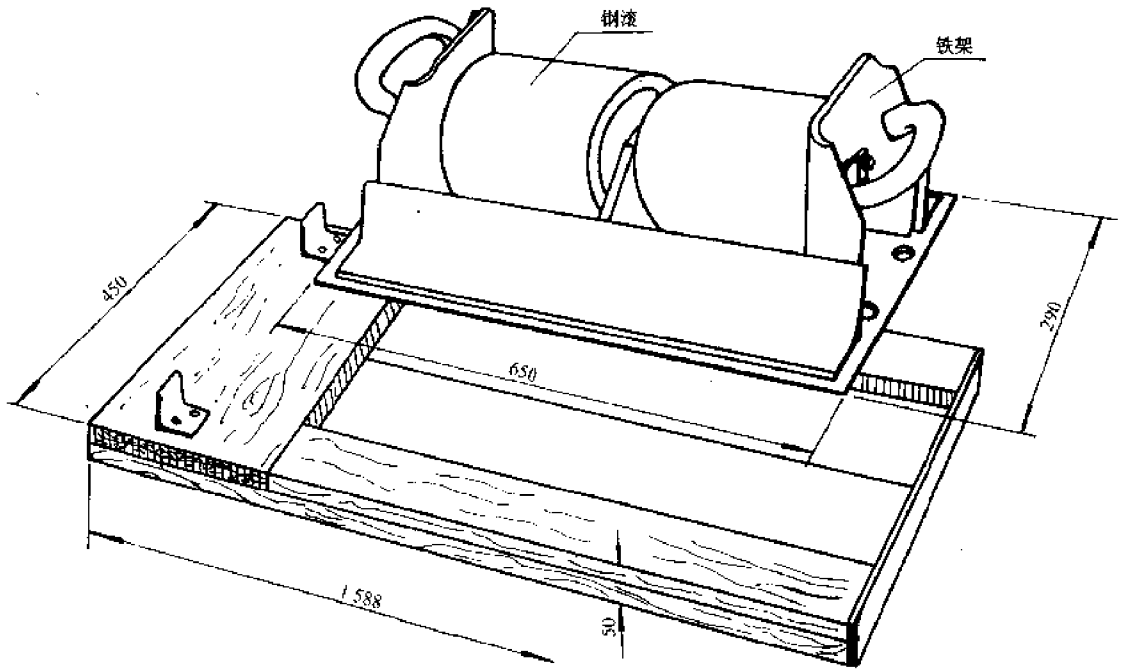


图 1-30 平滚

3. 摇滚样盘和平滚样盘：样盘用角钢和木板制成，其构造分别示于图 1-31 和图 1-32。通过样盘可以简便地确定摇滚和平滚的位置。

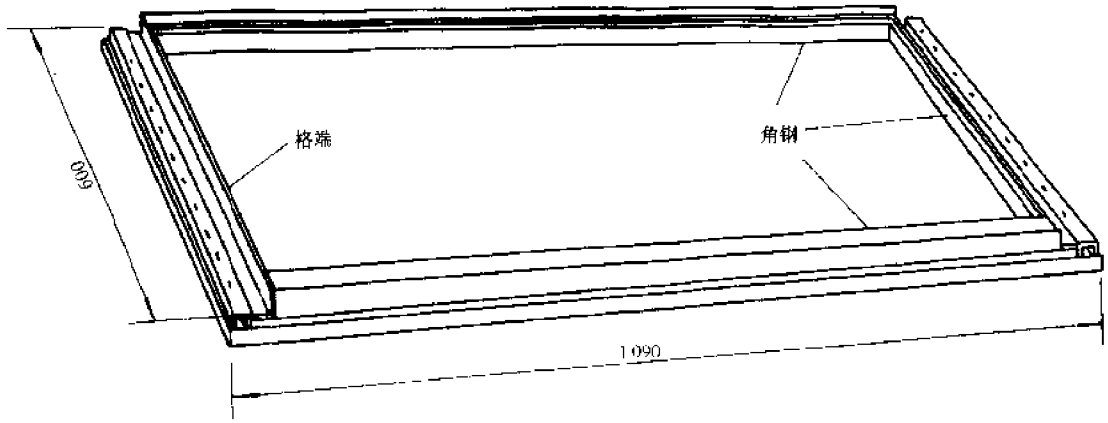


图 1-31　摇滚样盘

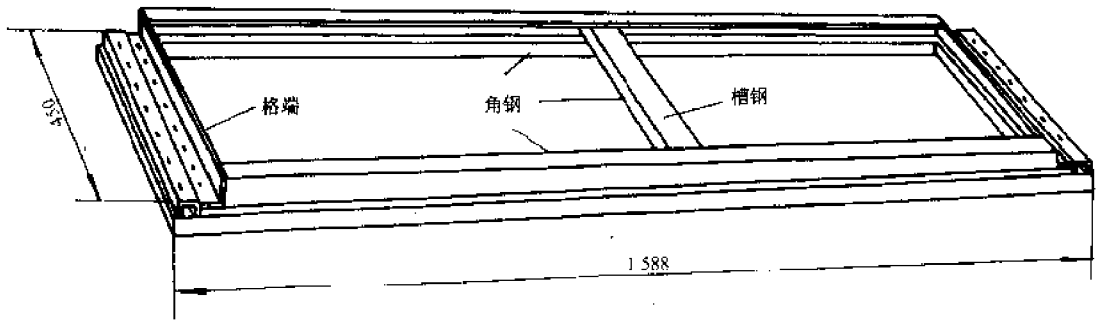


图 1-32　平滚样盘

样盘定位必须准确，放置在桥架两边的样盘间距均以样盘靠桥中线的“格端”算起。摇滚样盘为 3.75m（见摇滚横向布置图）；平滚样盘为 3.20m（见平滚横向布置图），滚轴座落在样盘上的正确位置。摇滚是向桥中线一边靠紧；平滚是向样盘中肋贴紧。摇滚样盘重 19kg，平滚样盘重 23kg。

4. 下弦接头（图 1-33）：下弦接头用钢板拼焊而成。重 6kg。

当桥梁用悬臂推出法架设时，将下弦接头装在鼻架的下弦杆之间，使鼻架前端翘起，以抵消鼻架的下垂和克服桥位两岸的高差，使鼻架能顺利搭上对岸摇滚。一个下弦接头能使每节桁架上翘约 40cm，在接头前最多可接四节桁架。

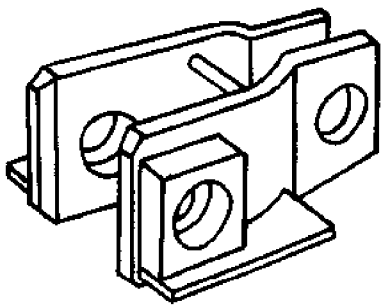


图 1-33　下弦接头

5. 斜面弦杆：斜面弦杆（图 1-34）由削去腹板的 10 号槽钢拼装而成，分阴头与阳头两种，其重量分别为 27kg 和 31kg。斜面弦杆安装在桥梁下弦的加强弦杆两端，用销子和斜面弦杆尾部的弯钩与加强弦杆和桁架连接，用它可使增设加强弦杆后的桥梁从滚轴上顺利通过。

（二）安装工具

1. 弦杆千斤顶：弦杆千斤顶由下列三个部分组成，即菱形千斤顶、座架和阴头垫块。

1）菱形千斤顶重 21kg，为一四角钢销连接的菱形架（图 1-35）。其对角线上横穿一根螺杆，

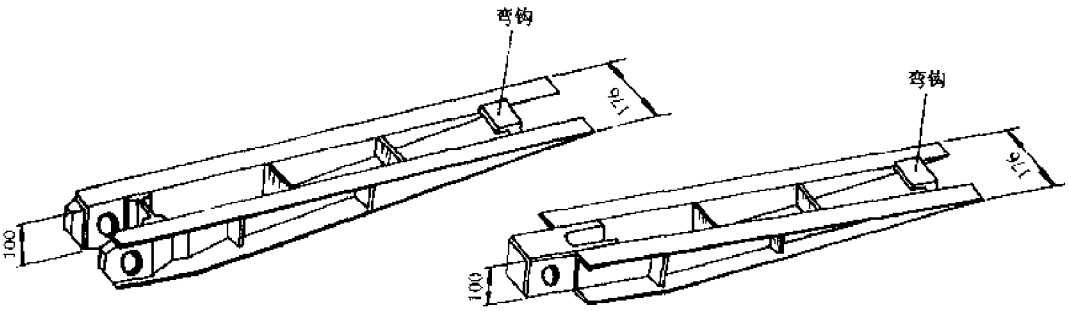


图 1-34　斜面弦杆

随螺杆转动方向的不同，可将菱形架张开或关闭。在另一对角线两端装有凹形定位架，便于菱形千斤顶座落在桁架弦杆上。随千斤顶的张闭，即可推或拉桁架，以利在特殊情况下拼装。

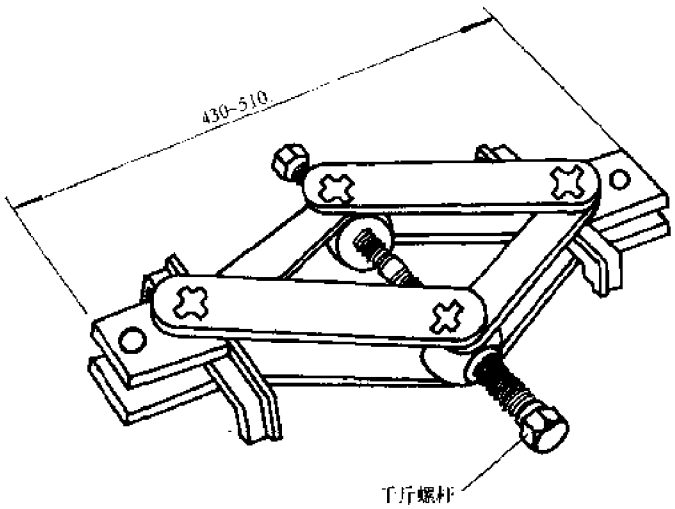


图 1-35　菱形千斤顶

2)座架(图 1-36)用槽钢和钢板拼焊而成，重 8kg。它用螺栓和座架尾部的栓钉与桁架弦杆连接。座架的头部有一个活动搭扣，用钢销与菱形千斤顶连接，将千斤顶产生的拉力传给座架。

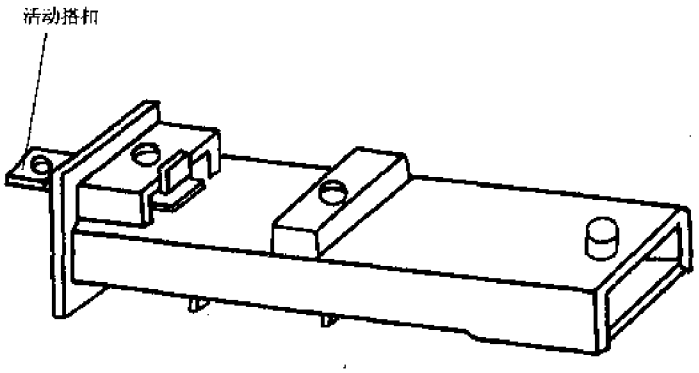


图 1-36　座架

3)阴头垫铁(图 1-37)系一凹形铁块，重 2kg。使用时，它的 T 形板柱在阴头的弦杆翼缘上，弧形槽扣在阴头销子上，将弦杆千斤顶产生的推力传至桁架。

弦杆千斤顶仅当安装上层桁架时才使用。桥梁在装完第一层后，由于结构自重及销子与

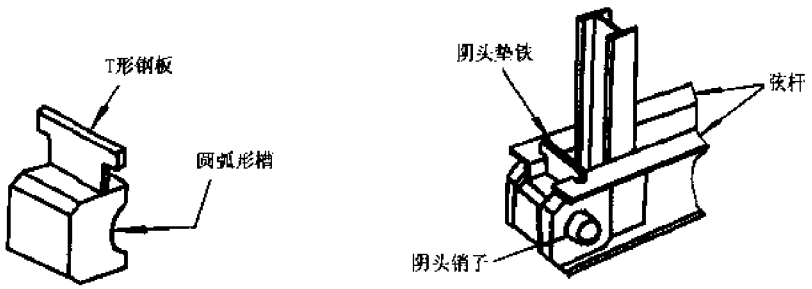


图 1-37　阴头垫铁

销孔间的空隙，将会产生下弯或上拱现象，从而使装上层桁架时接头错开。此时必须用弦杆千斤顶将上层桁架推拉就位后，销子才能插入。

当桥梁下弯时，欲装第二层桁架，前后两片桁架的上部销孔可以毫无困难地对准，插入销子。但桁架的下部销孔由于下层桥梁上弦的下垂，必然错开，要借外部力量才能使它们对准。此时，用桁架螺栓固定（不需拧紧）其中一片桁架，在另一片桁架的后面的底层桥梁的上弦杆上。安放座架，座架用通过其头部螺栓孔的螺栓连接在底层桁架上。在座架与桁架之间放菱形千斤顶。用扳手转动千斤顶螺杆（必要时用钢管或竹管套入扳手柄，以增长转动半径，减轻扳力），使菱形千斤顶由原来关闭的位置逐渐张开。此时千斤顶的一端顶着座架，另一端推桁架，使下部相邻错开的销孔徐徐靠拢，直至对准为止，然后插入销子。若遇桁架顶推端为阴头，则应如图 1-37 所示设置阴头垫块。菱形千斤顶在垫铁上。桥梁下弯时，弦杆千斤顶使用情况示于图 1-38。

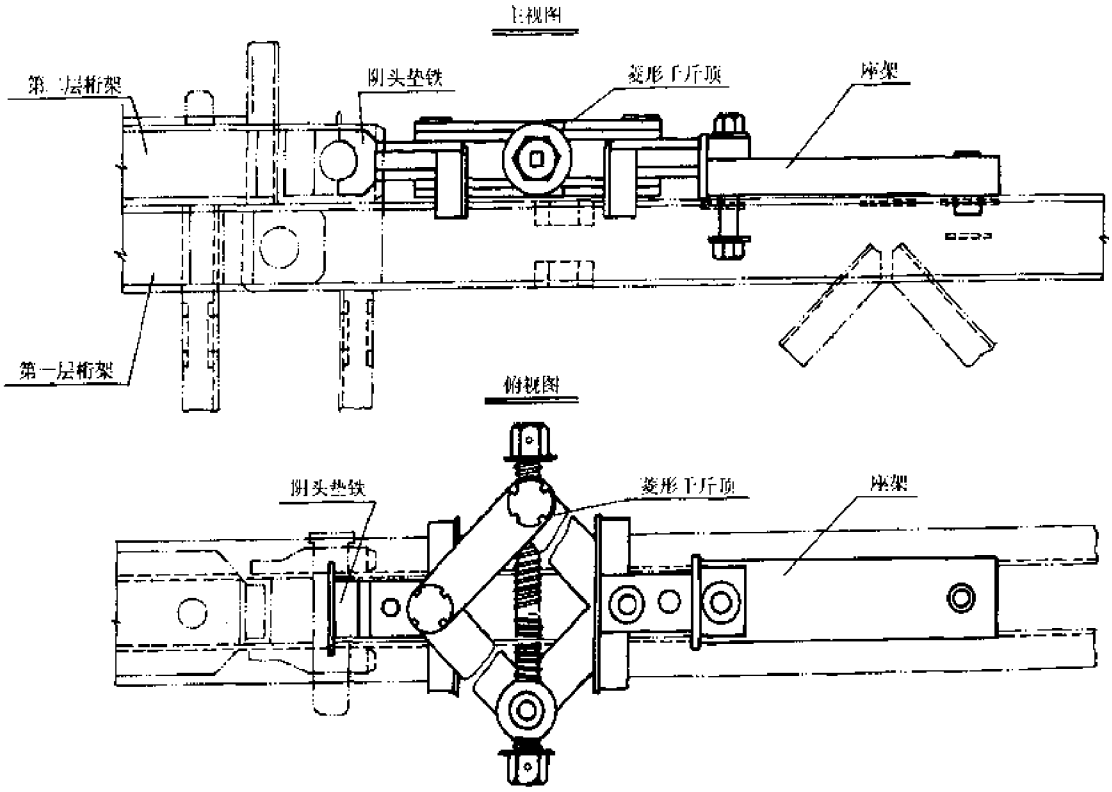


图 1-38　桥梁下弯时，弦杆千斤顶使用情况

当桥梁产生上拱时欲装第二层桁架，桁架的下部销子可预先插好，但上部两销孔是错开的。此时，座架放在第二层桁架顶面（桥梁下弯时座架在第一层桁架顶面，两者不可混淆），相邻桁架各放一个，用T形头螺栓通过中部垫块，上的螺栓孔将其固定。在两座架之间放菱形千斤顶，用钢销通过座架的活动把座架与菱形千斤顶连接起来。转千斤螺杆，使菱形千斤顶由原来张开的位置逐渐闭合，把上层桁架上部相邻错开的销孔徐徐拉拢，对准后插入销子。桥梁上拱时，弦杆千斤顶使用情况示于图1-39。

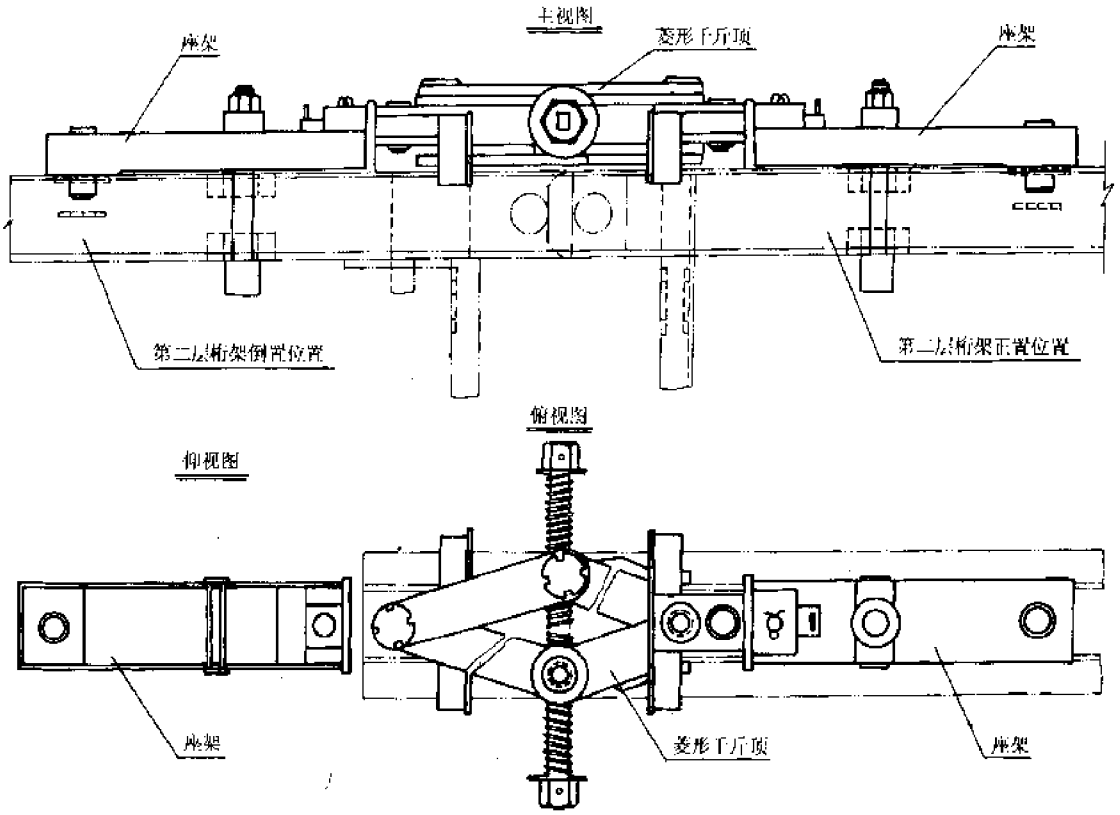


图1-39 桥梁上拱时，弦杆千斤顶使用情况

菱形千斤顶沿顺桥方向的伸缩长度为8cm，销孔错位在8cm以内，均能适用。

2. 托梁：托梁用来拼装三排双层桥梁的上层桁架，构造见图1-40。在已拼好的下层桁架上，要安装上层桁架时，需将桥外抬来的桁架先搁在底层横梁上（见加强的双层桥梁拼装方法）。因为三排桥梁的横梁的端部已无余地搁置桁架，托梁则用以增长横梁以满足此项需要。

使用时，将其插入横梁腹板，尾部扣在栓钉上就位，安装一片桁架需用两根托梁，随桁架向前拼装，托梁的位置也往前移动。一根托梁重8kg。

3. 千斤顶：与一般桥梁施工用的千斤顶完全一样，但最好以承载力200kN、总高30cm、起高50cm的为宜。

4. 单头呆扳手（图1-41）：单头呆扳手分32mm、46mm与55mm三种。32mm用于旋转斜撑螺栓，撑架螺栓、护轮木螺栓及横梁夹具支承杆；46mm用于旋转抗风拉杆的锁紧螺母，55mm用于旋转桁架螺栓及菱形千斤顶的千斤螺杆。

架桥时如备有套筒扳手，用它来代替呆扳手使用更为方便。

以上介绍的特种工具，如摇滚、平滚、斜面弦杆、下弦接头等，均在桥梁用人工拼装、悬臂推

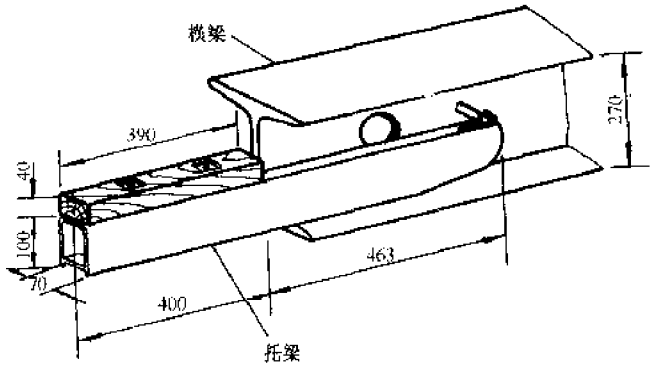


图 1-40 托梁

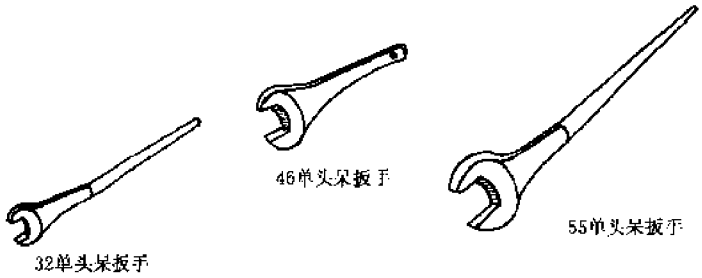


图 1-41 呆头扳手

出法架设时使用。当用其它方法架设时，这些工具不一定需要。

第二节 公路钢桥器材运输和保养

一、器材的运输

公路钢桥器材可用汽车、火车、船只运输，装卸载最好用吊车，必要时可用人力。

器材运输时，小件应装箱装运，每箱重量以不超过 30kg 为宜，并在箱上注记名称和数量，大的构件依照器材的外形尺寸、重量分类装运，以充分发挥运输工具的效能，又不损伤器材。

1. 火车运输

火车运输时，宜用高边敞棚车厢，桁架纵梁应装在车厢内，横梁及其细长构件可装在车厢的下部，装箱小件可装在空隙部位。

2. 汽车运输

装车时，当车厢长度短于横梁长度较多时，宜将横梁装在车厢的底部中间，加强弦杆装在两侧，最后将桁架平装在横梁上（注意要垫平）利用桁架将横梁压住。

装载时，横梁应立放，桁架必须用铁丝固定在车厢上，并将桁架串联，以防止车行时桁架前后、左右滑动。

纵梁和支撑架装车时可平放，也可立放，但都必须牢固固定。

在边卸车边拼装架设的情况下，一辆车所载之构件的种类和数量，应能满足结构一节桥梁的需要。

每辆汽车（拖平车）装运的数量根据器材的外型、重量和车辆的载重量具体确定。

3. 卸载

器材卸载时按装车的相反顺序进行。

卸载时最好用吊车。

卸载时应轻卸轻放，分类平顺放置，不可乱堆乱放。更不许从车上往下推使器材相碰损伤。

器材放置时间较长久时，下部应架高，上部要设遮盖。

二、器材的拆收

器材使用完后应在技术人员的指导下按组拼相反顺序拆收，严禁乱拆、乱卸、乱堆放，不允许将尚未分解成最小拼装单元的排架放在不平的地面上。

三、器材的维修与保养

器材使用后，应逐渐进行检验，对扭曲变形较大，有焊疤或碰伤严重的桁架，应作报废处理。对需要连续周转使用的器材，应在撤收时先检验，经过保养后再用，必须禁止只使用不保养的不负责任的短期行为。

保养时应对所有构件去污、除锈、喷漆，对桁架杆件的焊缝特别是阴头竖杆的连接焊缝应保证不锈蚀。

保养时，应对下列构件涂黄油：桁架及加强弦杆连接接头的接触面、销孔、支撑架及斜撑上的圆锥套筒，各种螺栓的螺纹部分，以及架设工具的摇滚、平滚的滚轴等。

第二章　装配式公路钢桥结构设计与计算

第一节　桁架设计计算

一、桁架内力分析

(一)桁架的基本数据

1. 桁架结构与基本尺寸(图 2-1)

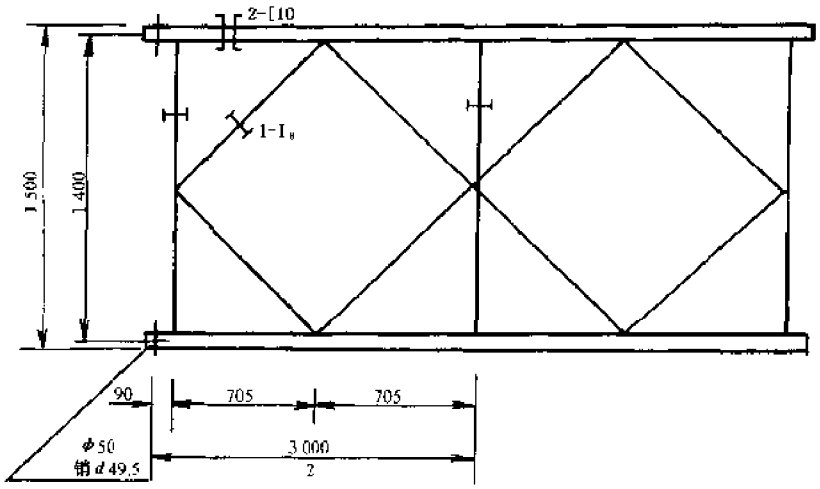


图 2-1　桁架结构轮廓图

2. 构件断面特性(表 2-1)

表 2-1

断面组成	A_2 (cm^2)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	i_x (cm)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	i_y (cm)
弦杆 2－[10	25.48	396.6	79.4	3.95	827	94	5.7
斜杆 1－I8	9.53	99	24.8	3.21	12.8	4.9	1.18

3. 材料及容许应力(MPa)(表 2-2)

表 2-2

	材料	σ_s	$[\sigma]$	$[\tau]$
构件	16Mn	350	273	208
销	30CrMnTi	1300	1105	585

注：考虑到装配式公路钢桥为限制荷载的临时性桥梁，16Mn 的容许拉应力、压应力及弯应力按 1.3×210MPa 计算，容许剪应力按 1.3×160MPa 计算；30CrMnTi 的容许拉应力、压应力及弯应力按 0.85×1300MPa 计算，容许剪应力按 0.45×1300MPa 计算。

(二)结构分析简图

贝雷桁架系由单元桁(图 2-2)架销接而成，单元间完全依靠销传力，因而结构分析的单元桁架为研究对象。

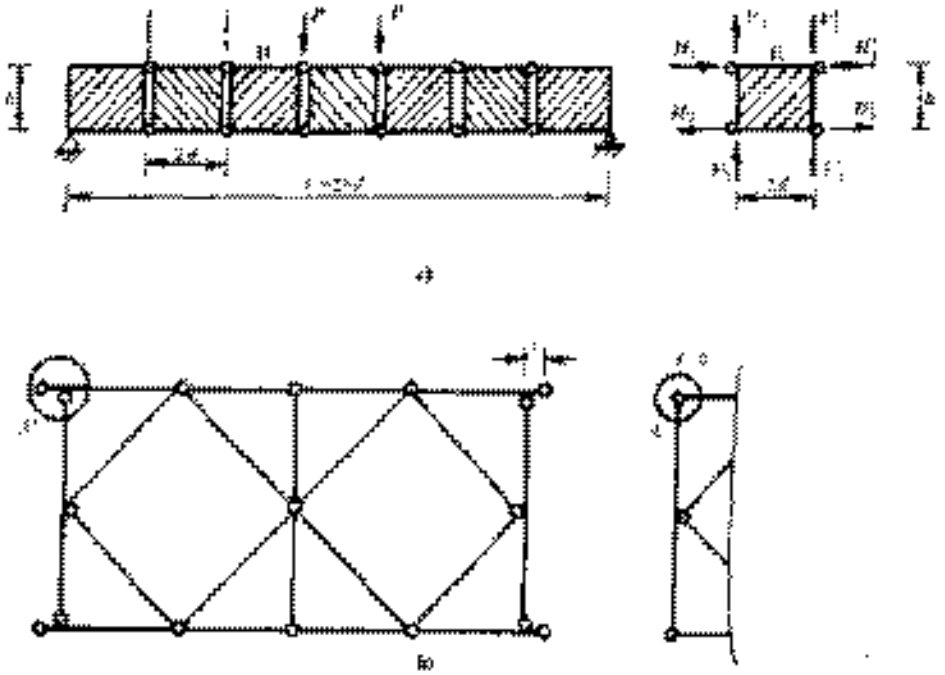


图 2-2 结构分析简图

1. 结构分析简图

根据桁架的结构特点，为分析内力方便，简化为内部静定的桁架。考虑铆接处中心与端竖杆中心之距 t 数值小，而杆件相对刚度大，进一步可略去 t 的影响，即 $t=0$，两中心重合。

2. 内力分析

根据单元桁架受力的特点，可以将内力分成受纯弯和纯剪两部分叠加而成。

1)受纯弯曲(图 2-3)

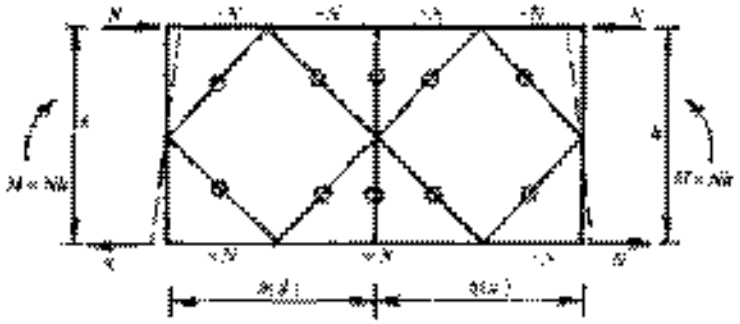


图 2-3 纯弯曲图

不等着出，纯弯曲时，桁架仅在弦杆内产生由弯矩而生的轴向力 N，故可作出弦杆仅承受弯矩的假定。

$$弦杆内力 S_N \qquad S_N = \pm\frac{M}{h}$$

2)受纯剪切(图 2-4)

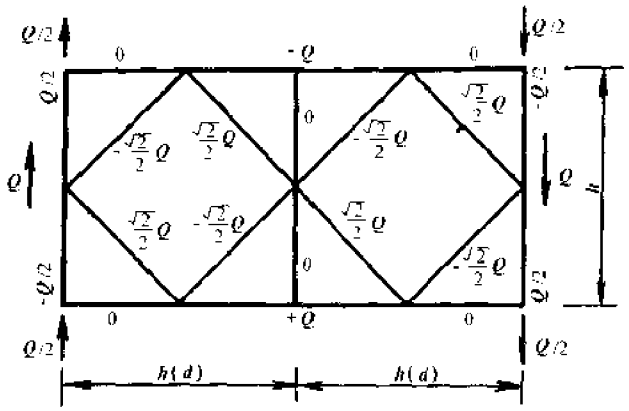


图 2-4　纯剪切图

同受纯弯一样，可以得出剪力由腹杆承受且双斜杆平分剪力的假定。

斜杆内力 S_F：　$S_F = \pm \dfrac{Q}{2\sin\theta} = \pm \dfrac{\sqrt{2}}{2}Q \qquad \left(\sin\theta = \dfrac{\sqrt{2}}{2}\right)$

端竖杆内力 S_z：　$S_z = \pm \dfrac{Q}{2}$

二、桁架杆件设计计算

(一)桁架弦杆选择与计算

桁架弦杆采用 16Mn∐$_{10}$，断面积为(图 2-5)：

$$F = 2 \times 12.74 = 25.48\text{cm}^2$$

1. 桁架平面内稳定

设桁架平面内压杆有效断面系数为 $R'_{压}$

自由长度 $l_0 = 70\text{cm}$

回转半径 $r_x = 3.95\text{cm}$

长细比 $\lambda_x = \dfrac{l_0}{r_x} = \dfrac{70}{3.95} = 17.7$

$$R'_{压} = \phi_x = 0.977$$

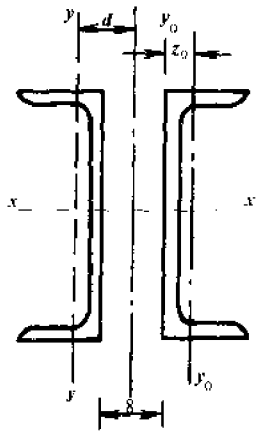


图 2-5　弦杆断面图

2. 桁架平面外稳定

设桁架平面外压杆有效断面系数为 $R''_{压}$

组合构件作为整体断面在垂直桁架平面外的自由长度 $l_0 = 140\text{cm}$

一个构件在垂直桁架平面内的自由长度 $l_1 = 70\text{cm}$

$$r_y = 1.41\text{cm} \qquad z_0 = 1.52\text{cm}$$

$$J_y = 25.6\text{cm}^4$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{J_y + Fd^2}{F}}$$

$$= \sqrt{\frac{25.6 + 12.74 \times (1.52 + 4)^2}{12.74}} = 5.7\text{cm}$$

$$\lambda_0 = \frac{l_0}{r_0} = \frac{140}{5.7} = 24.55$$

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{r_1} = \frac{70}{1.41} = 49.6$$

$$\lambda_{op} = \sqrt{\lambda_0^2 + \lambda_1^2} = \sqrt{24.55^2 + 49.4^2} = 55.35$$

$$R'_{III} = \phi_y = 0.809 < R'_{III}$$

3. 设拉杆的有效断面系数为 R_{TY}，拉杆为槽钢，为安装风钩在腰板上均有一椭圆形孔洞，洞高 3.6cm。

$$F_{II} = F_{op} - 2h\varphi = 25.48 - 2 \times 0.53 \times 3.6 = 21.66\text{cm}^2$$

$$R_{TY} = \frac{F_{II}}{F_{op}} = \frac{21.66}{25.48} = 0.85 > R'_{II}$$

4. 弦杆实际采用有效断面系数 $R = 0.809$，弦杆容许承受之杆力为

$$[N] = RF_{op}[\sigma] = 0.809 \times 25.48 \times 1.3 \times 2100$$

$$= 56300\text{kg} = 563\text{kN}$$

屈服点 85%时，弦杆容许承受之杆力：

$$N_9 = RF_{op} \cdot 0.85\sigma_T = 0.809 \times 25.48 \times 0.85 \times 3500$$

$$= 61325\text{kg} = 613\text{kN}$$

（二）桥架斜杆选择与计算

1. 斜杆断面选择

斜杆用 16 镇 I_0，$F = 9.52\text{cm}^2$

斜杆有拉、压两种受力杆件，以压杆控制设计。

斜杆的几何长度 $l = 70\sqrt{2} = 99\text{cm}$

自由长度 $l_0 = 0.9 \times 99 = 89\text{cm}$

回转半径 $r_y = 1.18\text{cm}$

长细比 $\lambda_0 = \frac{l_0}{r_y} = \frac{89}{1.18} = 75.4$

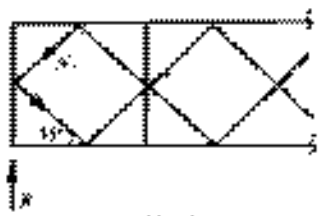
查表得 $\varphi = 0.66$

$$[N] = \varphi F[\sigma]$$

$$= 0.66 \times 9.52 \times 1.3 \times 2100 = 17150\text{kg} = 171\text{kN}$$

$$N_T = \varphi F \cdot 0.85\sigma_T$$

$$= 0.66 \times 9.52 \times 0.85 \times 3500 = 18693\text{kg} = 187\text{kN}$$



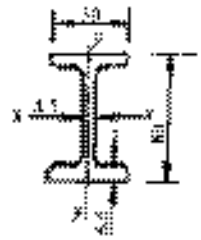


图 2-6 斜杆、压杆受力图和断面图

如将斜杆之力化为桥梁剪力（图 2-6）

$$R = 2N\sin\alpha \qquad (\alpha = 45°)$$

则

$$R = N \cdot 2\sin 45°$$

$$= N \times 2 \times 0.7 = 1.4N$$

或者将斜杆力乘以 1/0.7 = 1.43

如桥梁的竖向剪力不通过 70% 分配给上、下梢子，则此项剪力应乘以 0.7，因此斜杆力即为梢子的剪力（除去节点荷载），可见梢子的抗剪能力尚有储备，但因梢子受力情况复杂，略有储备是合理的。

2、桁架斜杆的焊缝计算

斜杆一端连接于桁架弦杆上，另一端连接于节点板上，节点板用 16Mn。

(1)与节点板连接的焊缝计算

焊缝厚度(图 2-7)：

$$l_y = (6.75 - 1) \times 4 = 23\text{cm}$$

$$l''_y = \left(\frac{2.5}{\sin 45^\circ} - 1\right) \times 4 = 10.12\text{cm}$$

$$\tau_Y = \frac{N_T}{0.7(\delta'_y l'_y + \delta''_y l''_y/\cos 45^\circ)}$$

$$= \frac{18160}{0.7(0.5 \times 23 + 0.6 \times 10.12/\cos 45^\circ)}$$

$$= \frac{18160}{0.7(11.5 + 8.6)} = 1291\text{kg/cm}^2 = 129.1\text{MPa} < 191.1\text{MPa}$$

(2)与弦杆连接端焊缝计算

焊缝厚度(图 2-8)：

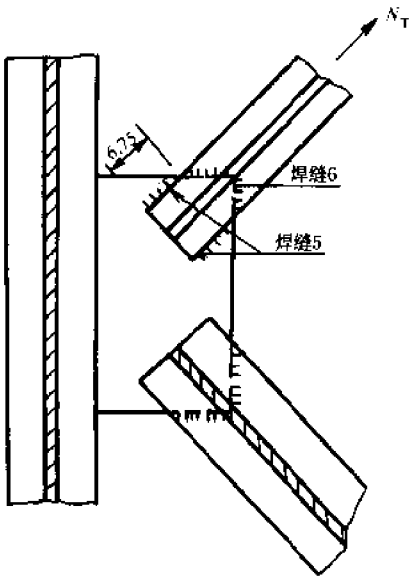


图 2-7 节点板计算

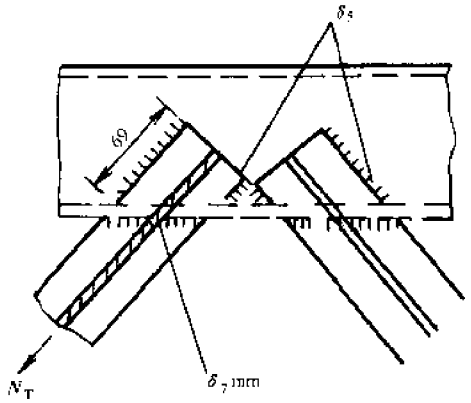


图 2-8 斜杆与弦杆连接

$$l'_y = [(6.9 - 1) - (1.9 - 1)] \times 2$$

$$= 13.6\text{cm}$$

$$l''_y = \left(\frac{5.0}{\sin 45^\circ} - 1\right) \times 2 = 12.14\text{cm}$$

$$\tau_y = \frac{N_T}{0.7(\delta'_y l'_y + \delta''_y l''_y/\cos 45^\circ)}$$

$$= \frac{N_T}{0.7(0.5 \times 13.6 + 0.7 \times 12.14/\cos 45^\circ)}$$

$$= \frac{18160}{0.7(6.8 + 12.0)} = 1380\text{kg/cm}^2 = 138\text{MPa} < 191.1\text{MPa}$$

3. 节点板计算

节点板用 16Mn，$\delta = 0.6\text{cm}$

(1)撕裂的危险截面强度

$$\sigma = \frac{0.5N_T}{0.8(F_1 + F_2) + F_3}$$

$$= \frac{0.5 \times 18160}{0.8 \times 0.6(6.75 \times 2) + 0.6 \times 5.0}$$

$$= \frac{0.5 \times 18160}{6.48 + 3.0}$$

$$= 957\text{kg/cm}^2 = 95.7\text{MPa} < \frac{273}{1.1} = 248\text{MPa}$$

(2)对断面 I—I 验算(图 2-9)

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{2 \times 18160 \times \cos45° \times 2.5}{2 \times \frac{0.6 \times 22^2}{6}}$$

$$= 663\text{kg/cm}^2 = 66.3\text{MPa} < 248\text{MPa}$$

$$\tau = \frac{3}{2}\frac{Q}{F} = \frac{3 \times 2 \times 18160 \times \cos45°}{2 \times 2 \times 0.6 \times 22}$$

$$= 1460\text{kg/cm}^2 = 146\text{MPa} < \frac{208}{1.1} = 189\text{MPa}$$

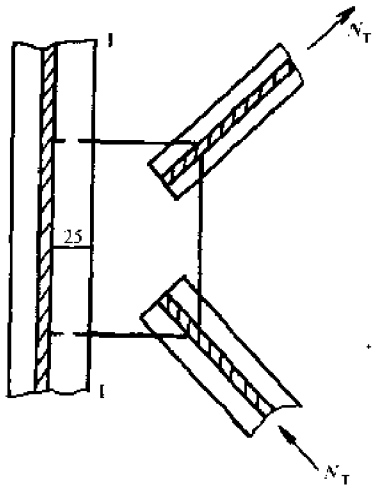


图 2-9 节点板受力图

(3)通过节点中心竖直截面上的弯矩验算(图 2-10)

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{Ny_1}{J_y}y_3$$

式中：

$F = 22.72\text{cm}^2$

$F_a = 72.6\text{cm}^2$

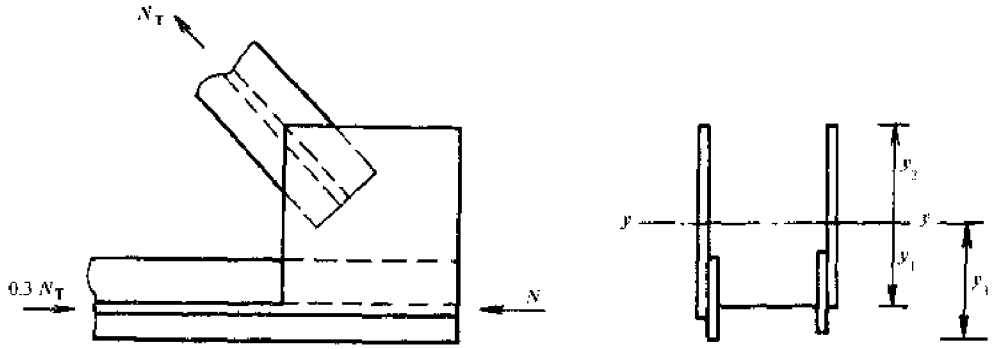


图 2-10 节点板弯矩

$J'_y = 145.4\text{cm}^4$

$Fl^2 = 185.53\text{cm}^4$

$$y_1 = \frac{F_a}{F} = \frac{72.6}{22.7} = 3.2$$

$$J_y = J'_y + Fl^2 = 145.4 + 185.53 = 330.93\text{cm}^4$$

$$N = N_T\cos45° - 0.3N_T$$

$$= N_T(0.7 - 0.3) = 1816 \times 0.407 = 7390\text{kg} = 73.9\text{kN}$$

将以上代入公式

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{Ny_1\gamma_3}{J_y} = \frac{7390}{22.72} + \frac{7390 \times 3.2 \times 5.7}{330.93}$$

$$= 325 + 407 = 732\text{kg/cm}^2 = 73.2\text{MPa} < 273\text{MPa}$$

(4)节点板与竖杆焊缝计算

经计算焊缝安全,验算过程略去。

(三)桁架竖杆设计

竖杆用 I_8 16Mn, $F = 9.52\text{cm}^2$

1. 竖杆强度验算

为安装横梁夹具,竖杆腹板上开有一个 2.5cm×6.8cm 的方孔。

设 $R_{稳}$、$R_{强}$ 为压、拉时杆件的截面折减系数。

几何长度 $l = 70\text{cm}$

自由长度 $l_0 = 0.9 \times 70 = 63\text{cm}$

$$r_y = 1.18$$

$$\lambda_y = \frac{l_0}{r_y} = \frac{63}{1.18} = 53.4$$

$$R_{稳} = \phi = 0.818$$

$$R_{强} = \frac{F_{\text{H}}}{F_{\text{op}}} = \frac{9.25 - 2.5 \times 0.45}{9.25} = 0.88 > R_{稳}$$

$$[N] = 0.818 \times 9.52 \times 1.3 \times 2100 = 21260\text{kg} = 212.6\text{kN}$$

$$N_{\text{T}} = 0.818 \times 9.52 \times 0.85 \times 3500 = 23200\text{kg} = 232\text{kN}$$

桁架连接销设计竖向剪力(见后)为 361kN,可见连接销抗剪能力有储备。

2. 竖杆与阴头连接焊缝验算

桁架抗剪以斜杆控制,竖杆焊缝可与斜杆等强度设计。

焊缝厚度(图 2-11):

$$N_{\text{T}} = 18160\text{kg}$$

$$l'_y = 4 \times (9 - 1) = 32\text{cm}$$

$$l''_y = 2 \times (5 - 1) = 8\text{cm}$$

$$\tau_y = \frac{N_{\text{T}}}{0.7(l'_y\delta'_y + l''_y\delta''_y)}$$

$$= \frac{18160}{0.7(32 \times 0.5 + 8 \times 0.7)}$$

$$= 1200\text{kg/cm}^2 = 120\text{MPa} < 191.1\text{MPa}$$

3. 阳头竖杆焊缝计算

焊缝厚度(图 2-12):

$$l'_y = 2(5 - 1) = 8\text{cm}$$

$$l''_y = 25 - 2 = 23\text{cm}$$

$$\tau_y = \frac{18160}{0.7(8 \times 1.0 + 23 \times 0.6)}$$

$$= \frac{18160}{0.7(8 + 13.8)} = 1190\text{kg/cm}^2$$

$$= 119\text{MPa} < 191.1\text{MPa}$$

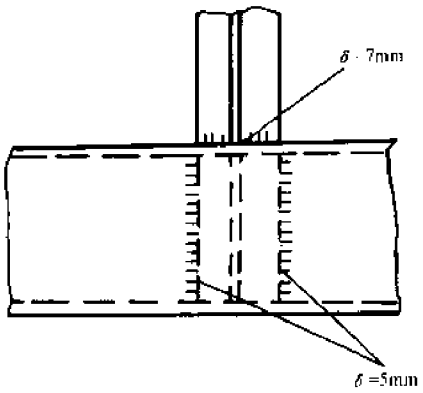


图 2-11　竖杆与阴头连接焊缝

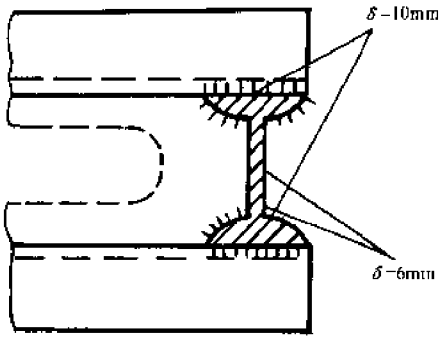


图 2-12　竖杆与阳头连接焊缝

三、桁架连接销的计算

桁架连接销用 30 络锰钛合金钢制作，该钢材的屈服应力为 13000kg/cm²(1300MPa)，其拉应力与弯曲应力允许达到屈服点的 0.85 倍，剪应力容许达到屈服点的 0.45 倍。

取销的直径 $D=4.95$cm

其容许抗弯能力计算(图 2-13)：

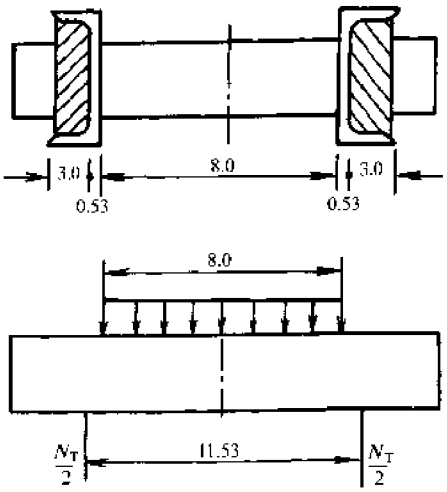


图 2-13　销子受力图(单位：cm)

$$M=\frac{61325}{2}\times\frac{11.53}{2}-\frac{61325}{2}\times 2$$

$$=115444\text{kg}\cdot\text{cm}=11.5\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$[M]=\frac{\pi}{32}D^3\cdot[\sigma]$$

$$=\frac{\pi}{32}\times 4.95^3\times 0.85\times 13000$$

$$=131510\text{kg}\cdot\text{cm}=13.2\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M < [M]$$，安全

连接销抗剪能力计算：

$$Q = 2 \cdot \frac{\pi}{4} D^2 [\tau]$$

$$= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 4.95^2 \times 0.45 \times 13000$$

$$= 225043\text{kg} = 2250\text{kN} > N_T = 613\text{kN}$$，安全储备较大。

四、桁架接头的计算

（一）阴头的计算

阴头用16Mn钢制作，与桁架弦杆焊成一体与弦杆同一钢号，故在验算断面时，将弦杆槽钢净面积亦视作为有效面积（图2-14）。

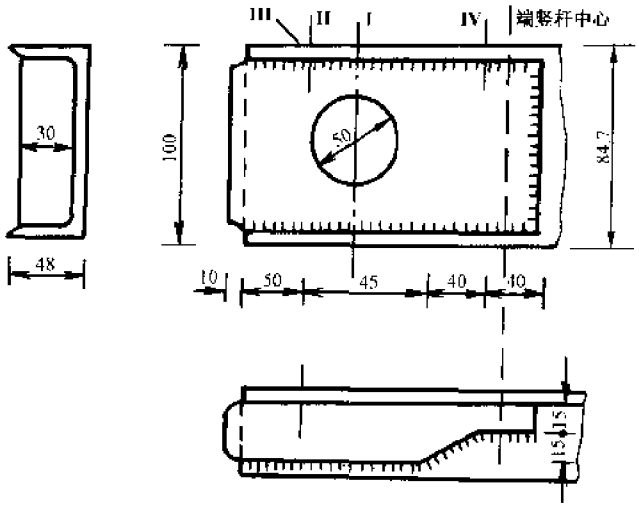


图2-14 阴头构造

1. I—I断面验算

阴头有效断面按翼缘圆角起点算。

$$F_{I_1} = [8.47 - 5] \times 3.0 - 0.63 \times 2$$

$$= 9.15\text{cm}^2$$

$$F_{I_2} = 12.74 - 5 \times 0.53 = 10.09\text{cm}^2$$

$$F_I = F_{I_1} + F_{I_2} = 9.15 + 10.09 = 19.24\text{cm}^2$$

$$\sigma'_I = \frac{0.5[N]}{F_I} = \frac{0.5 \times 56300}{19.24} = 1465\text{kg/cm}^2 = 146.5\text{MPa} < 1.3 \times 210 = 273\text{MPa}$$

$$\sigma''_I = \frac{0.5N_T}{F_I} = \frac{0.5 \times 61325}{19.24} = 1595\text{kg/cm}^2 = 160\text{MPa} < 273\text{MPa}$$

2. II—II断面验算

$$\sigma'_{II} = \frac{0.5[N]}{D(\delta_1 + \delta_2)} = \frac{0.5 \times 56300}{0.5(3.0 + 0.53)} = 1595\text{kg/cm}^2 = 159.5\text{MPa} < 210\text{MPa}$$

$$\sigma''_{II} = \frac{0.5N_T}{D(\delta_1 + \delta_2)} = \frac{0.5 \times 61325}{0.5(3.0 + 0.53)} = 1739\text{kg/cm}^2 = 174\text{MPa} < 210\text{MPa}$$

3. III—III 断面验算

倾斜部材料中心线为60°的受弯截面。

$$F_{III} = \frac{F_1}{\sin 30^\circ} = \frac{19.24}{0.866} = 22.22\text{cm}^2$$

$$\tau'_{III} = \frac{0.5[N]}{F_{III}} = \frac{0.5 \times 56300}{22.22}$$

$$= 1265\text{kg/cm}^2 = 127\text{MPa} < 1.3 \times 160$$

$$= 208.0\text{MPa}(\text{且小于 } 0.8 \times 273 = 218.4\text{MPa})$$

$$\tau''_{III} = \frac{0.5N_1}{F_{III}} = \frac{0.5 \times 61325}{22.22} = 1379\text{kg/cm}^2$$

$$= 138\text{MPa} < 208\text{MPa}$$

4. IV—IV 断面验算

$$F_{IV_1} = (10 - 2 \times 0.76 - 2 \times 0.1 \times 2.15) \times 1.5 = 12.08\text{cm}^2$$

$$F_{IV_2} = 12.74\text{cm}^2$$

$$F_{IV} = F_{IV_1} + F_{IV_2} = 12.08 + 12.74 = 24.82\text{cm}^2$$

$$F_{IV} > E_1 \qquad \text{验算略。}$$

阴头在攻断面与I—I同样考虑(略)。

5. 阴头销孔接触面的验算

由于销与销孔尺寸相差甚微，故接触面按半圆计算，根据李国豪编的《钢桥设计》(第133页)，接触应力按下式计算：

$$e^{\circ} = \frac{[N]}{0.788bd} = \frac{56300}{0.788 \times 2 \times 353 \times 4.95} = 2050\text{kg/cm}^2 = 205\text{MPa} < 273\text{MPa}$$

$$e^{\circ} = \frac{N_1}{0.788bd} = \frac{61325}{0.788 \times 2 \times 353 \times 4.95} = 2228\text{kg/cm}^2 = 223\text{MPa} < 273\text{MPa}$$

6. 箱梁接头焊缝计算

假定阴头承受的杆力通过焊缝全部传给拉杆，并假定此项杆力按 F_{IV_1} 与 F_{IV} 之面积比分配。

$$N_y = 0.5R\frac{F_{IV_1}}{F_{IV}} = 0.5 \times 61325 \times \frac{12.08}{24.85} = 14905\text{kg}$$

焊条采用国产结502，505。

容许压应力为 $0.9 \times 1.3 \times 210 = 245.7\text{MPa}$

容许拉应力为 $0.8 \times 1.3 \times 210 = 218.2\text{MPa}$

容许剪应力为 $0.7 \times 1.3 \times 210 = 191.1\text{MPa}$

传递杆力的焊缝有效长度假定从I—I断面起算。

即：

$$l_y = 2 \times (45 + \sqrt{40^2 + 15^2} + 40 + 15) + (100 - 2 \times 8.5) = 36.8\text{cm}$$

焊缝厚度采用 $\delta_y = 6\text{mm}$

$$\tau_h = \frac{N_y}{0.7\delta_y \cdot l_y} = \frac{14905}{0.7 \times 0.6(36.8 - 1)} = 991\text{kg/cm}^2 = 99.1\text{MPa} < 191.1\text{MPa}$$

(二)桁架阳头计算

阳头构造如图 2-15 所示,用 16Mn 钢制作。

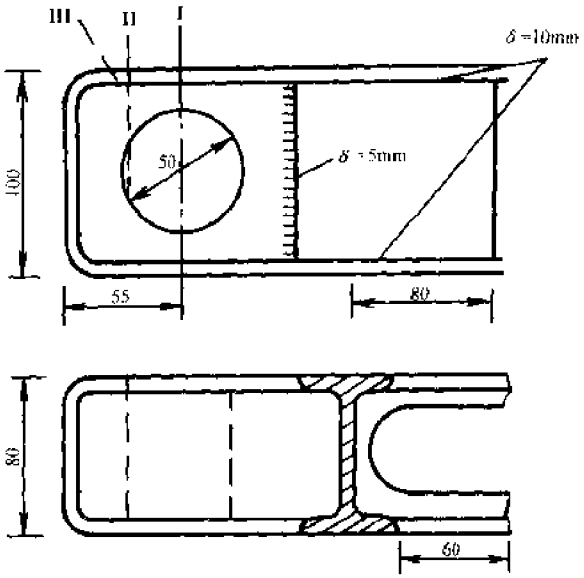


图 2-15 阳头构造

各断面的验算:

1. I—I 断面

$$F_{\mathrm{I}} = (10-5) \times 7.8 = 39\mathrm{cm}^2 > 2F_{\mathrm{I(阴)}}$$

可不验算。

2. II—II 断面

$$\sigma'_{\mathrm{II}} = \frac{[N]}{D\delta} = \frac{56300}{5 \times 7.8} = 1444\mathrm{kg/cm}^2 = 144.4\mathrm{MPa} < \frac{55}{50} \times 210 = 231\mathrm{MPa}$$

$$\sigma'_{\mathrm{II}} = \frac{N_{\mathrm{T}}}{D\delta} = \frac{61325}{5 \times 7.8} = 1572\mathrm{kg/cm}^2 = 157.2\mathrm{MPa} < 231\mathrm{MPa}$$

3. III—III 断面

$$F_{\mathrm{III}} > F_{\mathrm{III阴}} \qquad \text{安全,验算略。}$$

4. IV—IV 断面

$$F_{\mathrm{IV}} = 10 \times 7.8 = 78\mathrm{cm}^2$$

$$W_{\mathrm{IV}} = \frac{1}{6} \times 8 \times 10^2 = 133.3\mathrm{cm}^3$$

$$M_{\mathrm{IV}} = R_{\mathrm{V}} \cdot x = 36100 \times 7.5 = 270800\mathrm{kg \cdot cm}$$

$$\sigma_{\mathrm{IV}} = \frac{N}{F_{\mathrm{IV}}} + \frac{M_{\mathrm{IV}}}{W_{\mathrm{IV}}} = \frac{61325}{78} + \frac{270800}{133.3} = 2818\mathrm{kg/cm}^2 = 281.8\mathrm{MPa} > 273.5\mathrm{MPa}$$

但未超过 5%,可以通过

5. V—V 断面

$$F_{\mathrm{V}} = 10 \times 3 = 30\mathrm{cm}^2$$

$$\sigma'_{\mathrm{v}} = \frac{[V]}{F_{\mathrm{V}}} = \frac{56300}{30} = 1877\mathrm{kg/cm}^2 = 187.7\mathrm{MPa} < 273\mathrm{MPa}$$

$$\sigma_y = \frac{N_1}{F_y} = \frac{61325}{30} = 2044\text{kg/cm}^2 = 204.4\text{MPa} < 273\text{MPa}$$

6. 阳头销孔挤触面验算

由于 $\delta_{10} > \delta_{10}$，故验算略。

7. 焊缝计算

焊缝厚度见图 2-15。

$$l_x = 2[(13-1)+(8-1)] = 38\text{cm}$$

$$l_y = 2(8.0-1) = 14\text{cm}$$

$$l_y = 2(8.0-1) = 14\text{cm}$$

$$\sigma_x = \frac{56300}{0.7(1.0\times 38+0.6\times 14+0.5\times 14)} = 1565\text{kg/cm}^2 = 156.5\text{MPa} < 191.1\text{MPa}$$

$$\tau_x = \frac{61325}{0.7(38+8.4+7.0)} = 1708\text{kg/cm}^2 = 170.8\text{MPa} < 191.1\text{MPa}$$

五、桁架加强弦杆的设计计算

加强弦杆的材料，断面均与桁架弦杆相同。桁架设加强弦杆之后，在立面上的稳定系数大为增加，而对在平面上的稳定系数没有增加。在增加加强弦杆后，桁架弦杆的断面折减系数仍可采用 0.809，故弦杆加强后，其容许承载杆力为：

$$[N] = KF_{rp}[\sigma] = 0.809\times 2\times 25.48\times 1.3\times 2100 = 112500\text{kg} = 1125\text{kN}$$

如容许应力取钢材的屈服限 85% 时，

$$N_T = KF_{rp}\sigma_T\cdot 0.85$$

$$= 0.809\times 25.48\times 2\times 0.85\times 3500 = 122650\text{kg} = 1226.5\text{kN}$$

六、桁架的抗弯抗剪能力计算

（一）桁架轮弯能力计算

$$M = n\xi[N]H$$

式中：n——桁架排数；

ξ——桁架荷载分配折减系数；

单层或排时 $\xi = 1.0$

三排时 $\xi = 0.333/0.35 = 0.95$

$[N]$——弦杆容许承载力(kN)；

H——桁架计算高度。

（二）桁架容许抗剪力计算

$$Q = n\xi[N_{\text{斜}}]$$

式中：k——系数，为 1.43；

ξ——分配折减系数，三排桁架取 0.95，其余取 1.0；

n——桁架排数；

$[N_{\text{斜}}]$——取 171.5kN。

单跨桁各种组合桁架容许内力，见第三章表 3-5。

第二节　桁架挠度计算与测试

一、桁架挠度计算

(一)桁架梁的弹性挠度计算

弹性挠度的分析方法：

贝雷组拼的桁架结构的弹性挠度计算，可按常规的结构力学方法进行。注意到各单元桁架的结构型式完全相同，杆件的类型只有三种型式两种断面。若拼成的结构排数和层数无变化，则其计算公式可像处理等截面实腹梁一样得到简化。

Mohr 公式：

$$f = \sum_{1}^{n} \frac{N_i N_p l}{EA} = \frac{1}{E}\left(\sum_{1}^{n}{}_{x} \frac{N_i N_p}{A_x} l_x + \sum_{1}^{n}{}_{F} \frac{N_i N_p}{A_F} l_F + \sum_{1}^{n}{}_{z} \frac{N_i N_p}{A_z} l_z\right)$$

$$= f_x + f_F + f_z$$

单元桁架的杆件内力

弦杆(x)　　$N_p = \pm \frac{M_p}{h}$，　$N_1 = \pm \frac{M_1}{h}$

斜杆内力(F)：　　$N_p = \pm \frac{\sqrt{2}}{2} Q_p$，　$N_1 = \pm \frac{\sqrt{2}}{2} Q_1$

销接处竖杆内力(z)：

$$N_p = \pm \frac{1}{2} Q_p, \quad N_1 = \pm \frac{1}{2} Q_1$$

由于贝雷桁架各杆件的内力均可用计算截面处的弯矩及剪力来表示，利用各杆件间几何尺寸的相互关系和截面特点，进而可以使桁架挠度计算的公式向等截面实腹梁的型式转化，这样，计算工作量大大减少(图 2-16)。

$$\sum_{1}^{n}{}_{x} \frac{N_1 N_p}{A_x} l_x = Ef_x = \frac{2}{A_x h^2} \sum_{1}^{n}{}_{x} M_1 M_p d$$

$$\sum_{1}^{n}{}_{F} \frac{N_1 N_p}{A_F} l_F = Ef_F = \frac{\sqrt{2}}{A_F} \sum_{1}^{n}{}_{F} Q_1 Q_p \cdot \frac{d}{2}$$

$$\sum_{1}^{n}{}_{z} \frac{N_1 N_p}{A_F} l_z = Ef_z = \frac{1}{4A_F} \sum_{1}^{n}{}_{z} Q_1 Q_p \cdot 2d$$

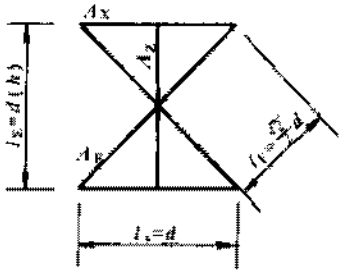


图 2-16　斜杆内力 $A_x = A_F$

图 2-17 所示的简支梁，欲求截面 a 处之挠度 f_a，可采用结构力学中常用的方法，令 $M_1 = k_1 x$，$Q_1 = k_2 x$ 则：

$$Ef_x = \frac{2}{A_x h^2} \sum_{1}^{n}{}_{x} M_{1i} \cdot \Omega_{Mi} = \frac{2}{A_x h^2} \Omega_M \cdot y_M$$

$$Ef_F = \frac{\sqrt{2}}{A_F} \sum_{1}^{n}{}_{F} Q_{1i} \cdot \Omega_{Qi} = \frac{\sqrt{2}}{A_F} \Omega_Q y_Q$$

$$Ef_z = \frac{1}{4A_F} \sum_{1}^{n}{}_{z} Q_{1i} \Omega_{Qi} = \frac{1}{4A_F} \Omega_Q y_Q$$

结构挠度表达式可写作：

$$f = \frac{1}{E}\left(\frac{2}{A_x h^2}\Omega_M \cdot y_M + \frac{1.66}{A_F}\Omega_Q \cdot y_Q\right)$$
$$= f_x + 1.17 f_F$$
$$= f_x + f_{Fz}$$

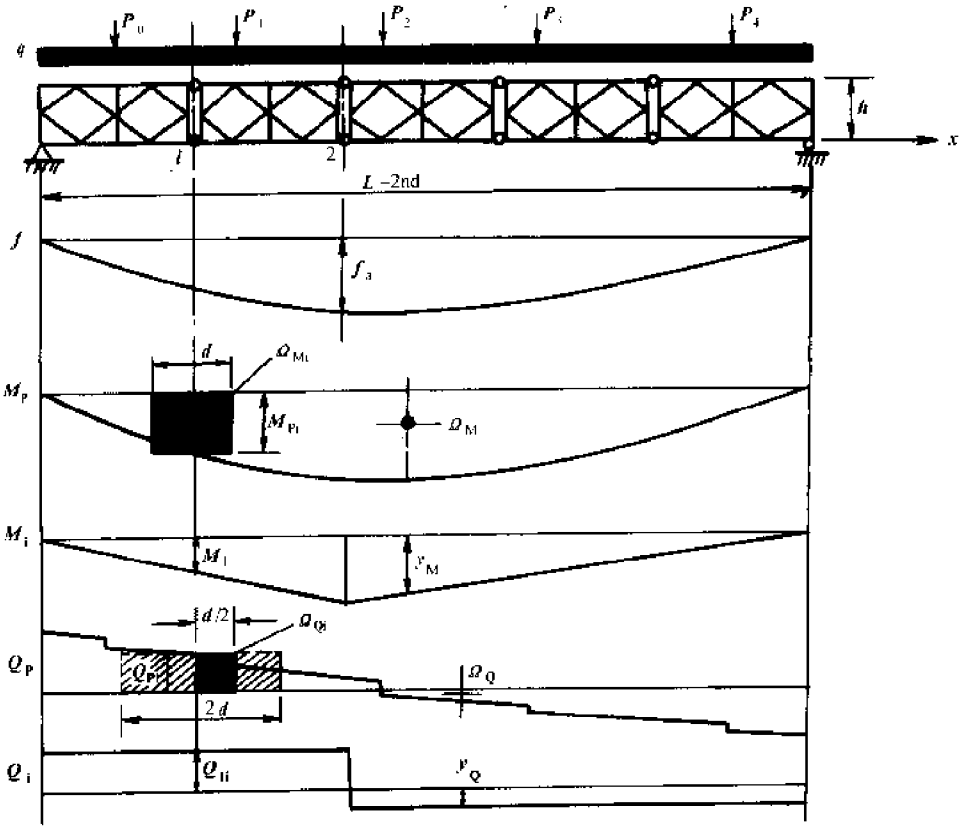


图 2-17　桁架弯矩、剪力图

视 $I_0 = \frac{A_x h^2}{2}$，$A_0 = \frac{12 I_0}{h^2}$，则 f_x 相当于面积为 A_0，惯性矩为 I_0 的矩型截面(图 2-18)梁之挠度，可见它可根据简单计算或查表而求得，颇为方便。f_{Fz}则为计入腹杆变形后所生的挠度，它相当于实腹梁考虑剪切变形所生的挠度。同样，我们写出实腹梁的剪切挠度表达式 f_τ，并与 f_{Fz}作比较

$$f_\tau = \frac{\mu}{GA_0}\int Q_P Q_1 \mathrm{d}x \qquad (\mu = 1.2, G = 0.4E)$$

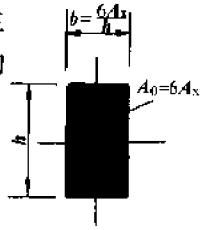


图 2-18　矩形梁横断面

不难发现 $k = f_{Fz}/f_\tau = \frac{1.66GA_0}{EA_F\mu}$，将各物理量代入公式，得

$$k = 8.88$$

也即 $f_{Fz} = 8.9 f_\tau$，这样我们可以按面积为 A_0 的矩型断面计算其剪切挠度，扩大 8.9 倍即为 f_{Fz}，颇为方便。这里要指出的是，在实腹矩型梁的挠度计算中，f_τ 常不需要考虑，这是因为它仅占很小的比重，而对于贝雷桁架的挠度计算，腹杆变形已经成为一不能忽视的因素。

(二)贝雷梁的非弹性挠度

贝雷桁架间的连接采用销接，由于销与孔间存在着设计间隙 Δ，桁架受载后两者间的相对位移会引起结构的非弹性挠度，所以该项挠度又称为错孔挠度。孔与销间的设计间隙国产贝

雷为0.5mm，而英式贝雷为 $1/32'' = 0.8$mm。

从图 2-19 不难看出，单层贝雷销接处因错孔而产生的截面转角(图 2-20)：

$$\theta = \frac{2\Delta}{h}$$

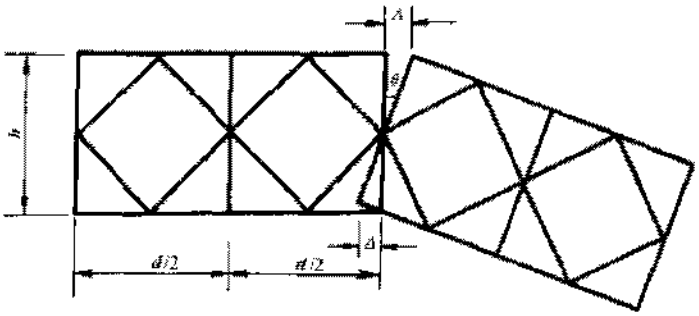


图 2-19 连接销转角

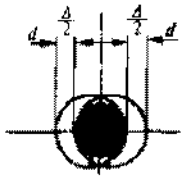


图 2-20

应用虚功原理我们在已知贝雷梁销接处截面转角 θ 的条件下，可以非常容易地确定错孔引起的结构非弹性挠度 f。弹性荷载法告诉我们，以转角 θ 为弹性荷载，其荷载弯矩图则为挠度曲线。下面我们推算几种常用结构的错孔挠度，意在介绍方法，显然，它不受结构类型的限制，使用简单、方便，结果可靠。

1. 简支梁

贝雷架拼组成简支梁是常见的结构型式，下面以单层为例。

(1)由偶数节组成(n 为偶数)

如图 2-21 所示，弹性荷载作用下的荷载弯矩图即为错孔挠度曲线，而端反力 R 则为梁端

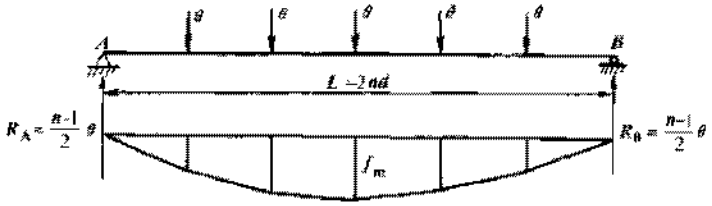


图 2-21 偶数节梁

的转角 θ_A 及 θ_B。为现场使用方便，这里推求跨中最大挠度 f_m 的表达式如下：

$$f_m = R_A \cdot nd - \left(1 + 2 + 3 + \cdots + \frac{n}{2} - 2\right) \cdot (2\theta d)$$

$$= \left(\frac{n-1}{2}\right) n\theta d - \frac{1}{4} n(n-2)\theta d$$

$$= \frac{n^2}{4} d \cdot \theta$$

以 $d = 2h$，$\theta = \frac{2\Delta}{h}$ 代入，

则 $$f_m = \Delta n^2$$

对于国产新的贝雷桁架： $$f_m = 0.05 n^2 \quad (\text{cm})$$

若贝雷构架采用双层拼组，中连接孔无相对移动时，可假定中孔内无轴力，这时，其错孔仅

在上下弦处产生，销接处的截面转角 $\theta_1 = \Delta/h$ 对应的错孔挠度 f_{m1} 较单层少一半。

$$f_{m1} = \frac{\Delta}{4}n^2$$

同理，单双层变化使用时，只要求算在 θ 及 θ_1 作用下的弯矩图，即可算得 f_{m_2}。

(2)由奇数节组成(n 为奇数)

如图 2-22 所示，由于结构及荷载对称，错孔挠度曲线在跨中呈水平线，其最大挠度 f_m 为：

$$f_m = 2 \cdot \left(\frac{n-1}{2}\right)^2 \theta d - \frac{(n-1)(n-3)}{4}\theta d$$

$$= \frac{1}{2}\Delta(n^2 - 1)$$

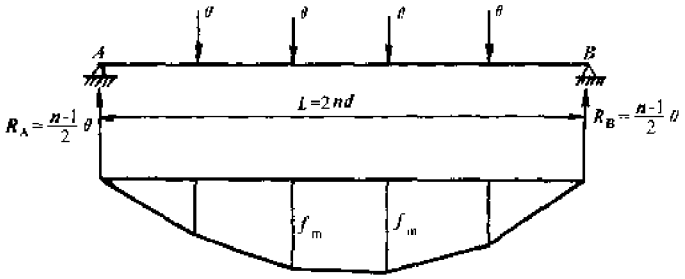


图 2-22 奇数节梁

不难看出当组拼节数 $n \geqslant 10$ 时，偶数节与奇数节的计算公式计算结果差别甚小。

$$f_m = 0.05(n^2 - 1) \quad (cm)$$

2. 悬臂梁

贝雷单独组拼为悬臂梁(图 2-23)可用于带悬臂的简支梁或连续梁的计算。

$$f_m = 2(1 + 2 + 3 + \cdots + n)\theta d = n(n+1)\theta d$$

$$= 2\Delta n(n+1)$$

$$f_m = 0.1n(n+1) \quad (cm)$$

梁端转角 $\theta_A = \theta$

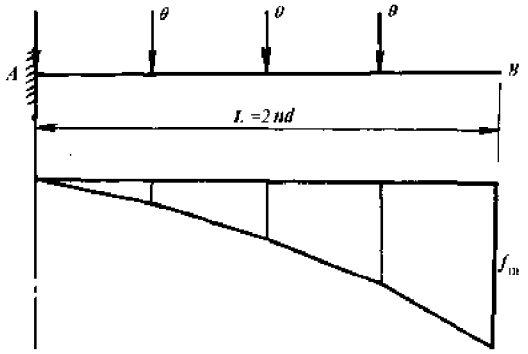


图 2-23 悬臂梁

3. 带悬臂的简支梁

带悬臂的简支梁(图 2-24)，其伸臂端的最大错孔挠度除考虑伸臂端约束力外(与悬臂梁

同),尚应计入锚跨对伸臂端的影响。

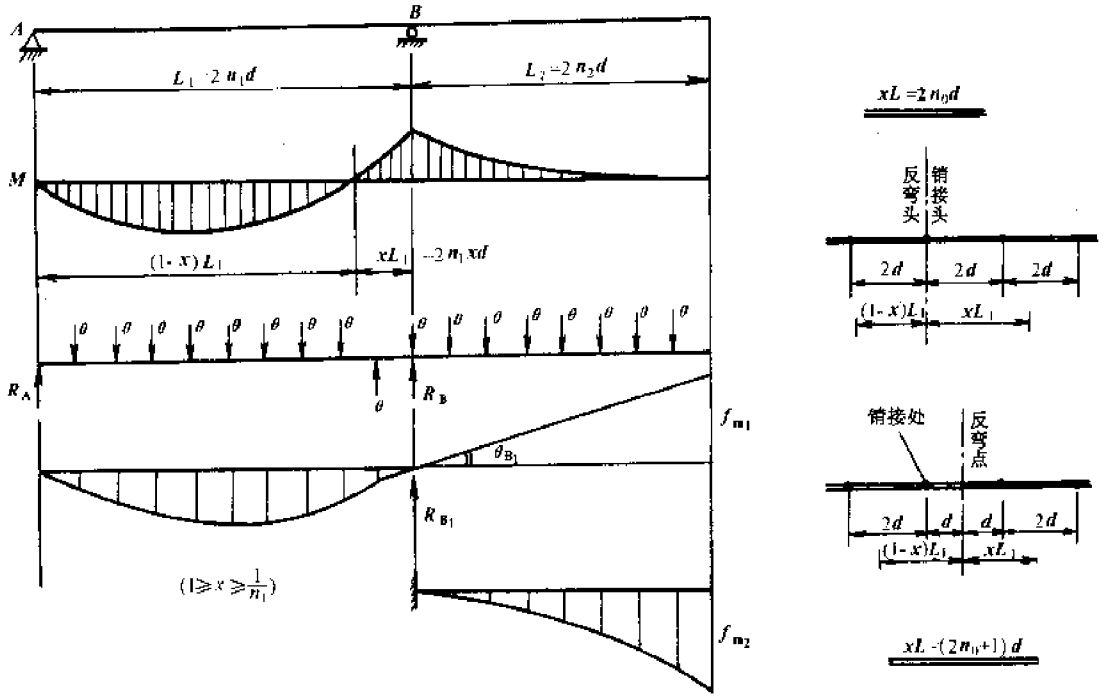


图 2-24 带悬臂的简支梁

利用叠回原理伸臂端的最大挠度 $f_m=f_{m_1}+f_{m_2}$,其中 f_{m_1} 系锚跨的影响值,f_{m_2} 为悬臂跨的错孔挠度。

$$f_{m_1}=R_{B_1}L_2=\theta B_1L_2=2\theta_{B_1}n_2d$$

$$f_{m_2}=2\Delta n_2(n_2-1)$$

R_{B_1} 系锚跨的 B 支点转角 θ_{B_1},它显然与实荷载作用下的结构弯矩图有关,很大程度上取决于弯矩图反弯点的位置 xL_1。因而,要确定伸臂端的最大错孔挠度 f_m 之前,必须先绘制实荷载弯矩图并计算锚跨的反弯点位置。当 $xL=2n_0d$ 或 $x=\dfrac{n_0}{n_1}$ 时,可求得锚跨 B 支点转角 θ_{B1} 的一般表达式:

$$\theta_{B_1}=\frac{n_1}{2}(2x^2-4x+1+\frac{1}{n_1})\theta$$

当 $xL=(2n_0+1)d$ 时(这里 n_0 为正整数):

$$\theta_{B_1}=\frac{n_1}{2}\left(2x^2-4x+1-\frac{1}{2n_1^2}+\frac{1}{n_1}\right)\theta$$

从公式适用条件($0<x<1$)不难看出:当 n_1 足够大时,两公式的计算结果相差无几。这里,为了使锚跨 B 支点的端转 θ_{B_1} 的变化规律直观化,我们示意了 $\theta_{B_1}/\theta\sim x$ 关系曲线(图2-25)($n_1=10$ 时),$x=0$ 时,表示锚跨全部受正弯矩,而 $x=1$ 时,表示锚跨全部受负弯矩。

整理后挠度 f_m 表达式如下:

当 $x=\dfrac{n_0}{n_1}$ 时(反弯点位于销接处):

$$f_m=2\Delta n_2[n_2-n_1(2x^2-4x+1)]$$

其中：$x=0$ 时

$$f_m = 2\Delta n_2(n_2 - n_1 + 2)$$

$x=1$ 时

$$f_m = 2\Delta n_2(n_1 + n_2)$$

可见错跨处于全跨正弯矩和全跨负弯矩两种极端情况时，伸臂端的挠度 f_m 相差相当大。

当 $xL=(2n_0+1)d$ 时$(0<x<1)$（反弯点不在销接处，假设在两销之间）：

$$f_m = 2\Delta n_2\left[n_2 - n_1(2x^2 - 4x + 1) + \frac{1}{2n_1}\right]$$

当 x 取端点值 0 和 1 时，与 $xL=2n_0d$ 时的表达式相同。

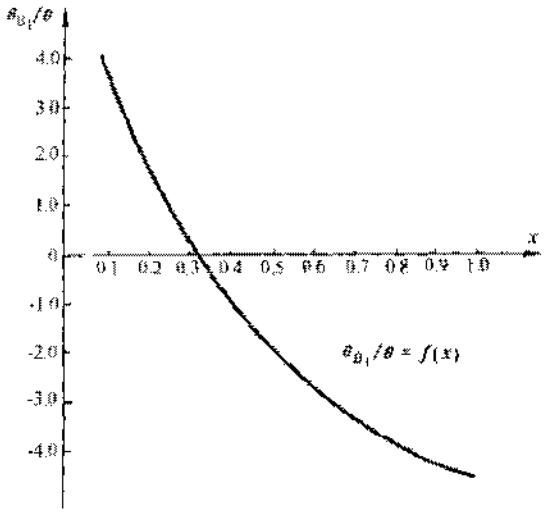


图 2-25 $\theta_{B_1}/\theta \sim x$ 的关系曲线

4. 连续梁

由于连续梁支点负弯矩的影响，其错孔挠度当比同跨简支梁小。若采用简支梁的计算公式推算，其值多可满足实用的要求。若要作精确分析，利用下面所讲的叠加原理则比较方便可行。如图 2-26 所示的双跨连续梁，根据荷载弯矩图确定反弯点位置 c 后，错孔挠曲线可看成以 c 点为界的跨度分别为 L_1 和 L_2 的两条反向的简支梁错孔挠曲线叠加而成。反弯点挠度 f_c 由 L_2 确定，正弯矩区挠度 f_1 由 L_1 确定。梁跨的最大挠度 $f_m=f_1+f_2=f_1+kf_c\approx f_1+0.5f_c$，式中，$f_c=\frac{n_2^2}{4}\theta d$，$f_1=\frac{n_1^2}{4}\theta d$。为保证错孔挠度发生时连续梁不产生次内力，反弯点 c 处（图 2-27）的截面相对转角 β 应满足下列条件：$\beta=|\theta_{c1}-\theta_{c2}|\leqslant\theta$，$\theta-\beta\geqslant\alpha$。可见当 $\beta=0$ 时，$\alpha_m=\theta_0$

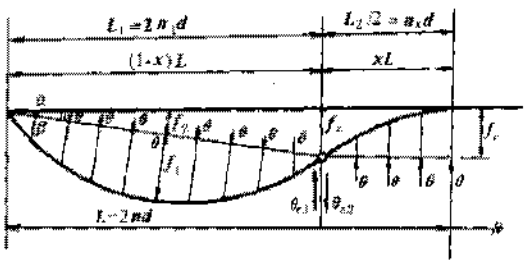


图 2-26

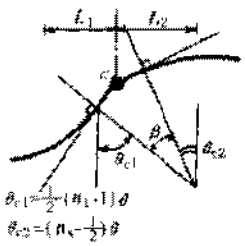


图 2-27

这时很容易求得反弯点 $x=\frac{1}{3}$。考虑到任意荷载作用下多数连续梁的反弯点位置均满足 $x\leqslant\frac{1}{3}$ 的条件，因而我们的研究对象以 $x=\frac{1}{3}$ 为标准，不失一般，根据 $\alpha=\frac{f_c}{(1-x)L}=\frac{f_c}{2n(1-x)d}\leqslant\theta$ 的条件，我们导求其跨度 L 的上限，即 $\alpha=\frac{n}{12}\theta\leqslant\theta$。这时 $n\leqslant12$。可见，当贝需组拼节数（单层或双层）小于或等于 12 节时，结构不因错孔挠度的发生而产生次内力。这时结构的最大错孔挠度表达式为：

$$f_m = \frac{\Delta n^2}{2}\left[4kx^2 + (1-x)^2\right]$$

$$= \frac{1}{3}\Delta n^2$$

与同跨度简支梁的最大错孔挠度相比，相当于前者的2/3。

5. 贝雷桁架挠度计算经验公式①

(1)当桁架节数为奇数时

$$f_{max} = d(n^2 - 1)/8$$

(2)当桁架节数为偶数时

$$f_{max} = dn^2/8$$

式中：n——桁架节数；

d——常数，对单层桁架 $d = 0.3556$cm；

对双层桁架 $d = 0.1717$cm。

在计算桁架非弹性挠度时，应注意销与孔的实际间隙。实际间隙与工厂加工精度有关，也与桁架使用程度有关。

二、挠度计算实例

(一)一般情况

1985年10月，江苏省镇江市供电局为丹阳变电所购进一台大型变压器，需由镇江运至丹阳，变电器重82t，加上运输大平板车的重量，总重达126t，途中有一座跨径15m双曲拱桥，不能保证126t的平板运输车通过，向南京工程兵工程学院求援。该院道路教研室设计了一座"桥上桥"，在原有拱桥上架设一座公路钢桥，跨径取24m，桥跨主桁架采用三排加强型结构(图2-28)。为使变压器运输车过桥时不给拱桥带来影响，他们严格控制了桥上桥的挠度。

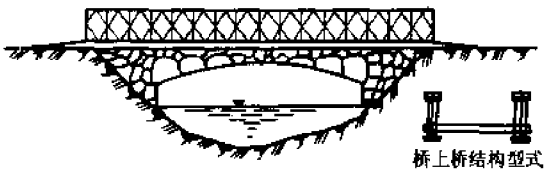


图2-28 桥上桥示意图

(二)装配式公路钢桥挠度计算

装配式公路钢桥挠度一般由两部分组成，一是由单销间隙产生的非弹性挠度，另一部分是由车辆荷载引起的弹性挠度，两者叠加为桥梁的挠度。

非弹性挠度的计算公式为：

$$f_0 = d\sum_{i=1}^{n}\sin\frac{(n-1)}{2}\alpha$$

式中：f_0——简支桥跨的非弹性挠度(cm)；

d——桁架拼装单位的长度(cm)；

n——每一跨的桁架拼装单位数；

α——相邻两跨拼装单位之间由销孔间隙产生的相对转角(弧度)：

$$\alpha = \frac{2\cdot\Delta l}{h}$$

式中：Δl——单销与销孔之间的间隙(mm)；

h——桁架拼装单位的高度(mm)。

① 英国ACROW公司，贝雷手册，1974年版。

桥梁跨度为24m时，每跨由8个桁架单位组成，即 $n=8$；装配式钢桥桁架拼装单位长度 $d=3$m，高度 $h=1.5$m；单销与销孔之间的间隙 $\Delta l=1$mm。将这些数据代入上式后，求得 $f_0=3.2$cm。

桁架由活载引起的弹性挠度用 B. C. 卡秋林公式计算：

$$f=\frac{5K_{eq}l^4}{384EI}\left[1+(\mathrm{tg}\phi_1+\mathrm{ctg}\phi_1)\cdot\frac{h_0}{l}\right]\cdot\left(1.61-0.335\frac{h_0}{h}\right)K_{df}$$

式中：f——桁架由活载引起的弹性挠度(cm)；

l——桁架的计算跨度(m)；

h_0——桁架在支座处的计算高度(m)；

h——桁架的计算高度(m)；

ϕ_1——跨中斜杆与垂直线之间的夹角(°)；

E——桁架所用材料的弹性模量(kgf/cm^2)；

K_{df}——活载的横向分配系数，$K_{df}=0.1767$；

I——桁架截面的惯性矩，$I=573300$cm^4；

K_{eq}——活载的等挠度等代荷载(kgf/cm)。

装配式钢桥跨度 $l=24$m，桁架在支座的计算高度 $h=1.5$m，跨中斜杆与垂直线的夹角 $\phi_1=45°$，钢材的弹性模量 $E=2.1\times10^6$kgf/cm^2，活载横向分配系数 $K_{df}=0.1767$，桁架截面的惯性矩 $I=573300$cm^4，活载的等挠度等代荷载 $K_{eq}=66.1188$kgf/cm。将这些数据代入上式，求得 $f=6.01$cm，与通车实测值(6.3cm)很相近。

所以，装配式钢桥桁架跨度为24m的总挠度 $=f_0+f=3.2+6.01=9.21$cm。

为此，在设计时，将桁架下缘与原桥面之间预留了25cm的间隙，荷载上桥后，桁架下缘仍高出原桥面15.79cm，原桥未受任何影响。

三、桁架连接间隙角的测试

(一)概述

装配式公路钢桥桁架由于装配要求和制作误差。单销连接中存在着一定的间隙，当其用于静定结构时，间隙只会影响结构的刚度而不改变受力，而用于超静定结构，如吊桥的加劲梁时。间隙(对梁称间隙角)不但会削弱结构的刚度，而且还会引起结构内力重分配，而这种改变程度大小跟间隙角的大小有关，如间隙角能使加劲梁的弯矩降低10%～20%。因此准确给出间隙角的大小。对结构设计、计算是必不可少的。过去只是用图纸要求容许公差来估计间隙角的大小，但未作过验证测试，本试验就是要测定间隙角的大小，验证估计法的可靠性。

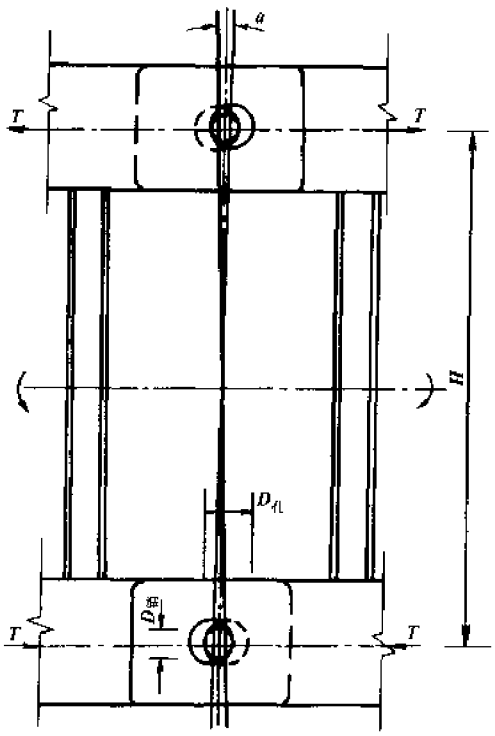


图2-29 销与销孔的间隙

(二)试验原理及方法

测量间隙角的大小有两条途径，直接法和挠度换算法。

1．直接法：即直接测量桁架的销孔和销子的直径 $D_{孔}$、$D_{销}$，换算成间隙角 α 值，如图 2-29 所示。

$$\Delta l = D_{孔} - D_{销}$$

$$\alpha = \frac{2\Delta l}{H}$$

式中：H——销孔轴线间的高度。

2．挠度换算法

利用双向加载法测定试验桥的内力、挠度。并使弹性挠度与非弹性挠度分离，把非弹性挠度换算成间隙角值。

设一跨度为 L 由 N 个拼装单元组成的简支梁，在恒载作用下发生弹性变形 f_d 和由间隙角正闭合引起的非弹性挠度 f_α^+，如图 2-30 所示，总变形 f_1

$$f_1 = f_d + f_\alpha^+$$

另受反向荷载 P 作用，则间隙反向闭合，其总变形 f_2

$$f_2 = f_d + f_p + f_\alpha^-$$

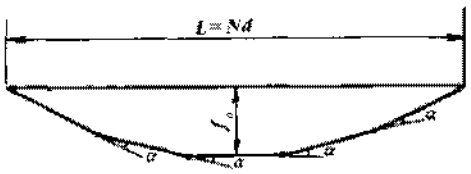


图 2-30

若恒载和 P 荷载足够大，足以使梁的间隙角全部正闭合和负闭合，且设

$$f_\alpha^+ = f_\alpha^- = f_\alpha$$

则两种状态下的相对位移 Δf：

$$\Delta f = f_2 - f_1 = f_p + 2f_\alpha$$

则

$$f_\alpha = \frac{1}{2}(\Delta f - f_p)$$

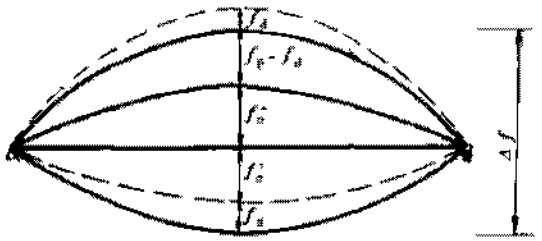


图 2-31 间隙挠度计算简图

式中 Δf、f_p 可分别通过实测和理论计算得到。因此，间隙挠度可由上述两种状态下的位移增量中扣除弹性变形 f_p 而得到。而间隙角与间隙挠度之间的关系可用累计法来计算，计算简图如图 2-31 所示。

$$f_{\alpha max} = \begin{cases} d\sum_{m=2,4}^{N-1}\sin\left(\frac{m\alpha}{2}\right) & \text{当拼装单元 } N \text{ 为奇数时} \\ d\sum_{m=1,3}^{N}\sin\left(\frac{m\alpha}{2}\right) & \text{当拼装单元 } N \text{ 为偶数时} \end{cases}$$

当 α 较小时

$$f_{\alpha max} = \begin{cases} \frac{\alpha}{2}d\sum_{m=2,4}^{N-1} m & N \text{ 为奇数时} \\ \frac{\alpha}{2}d\sum_{m=1,3}^{N} m & N \text{ 为偶数时} \end{cases}$$

则

$$\alpha = \begin{cases} \dfrac{2f_{\alpha max}}{d\sum_{m=2,4}^{N-1} m} & N \text{ 为奇数} \\ \dfrac{2f_{\alpha max}}{d\sum_{m=1,3}^{N} m} & N \text{ 为偶数} \end{cases}$$

式中：d——桥装单元的长度。

以上两种方法测得的间隙角值可用来相互校核。

（三）试验设计

根据结构试验室试验条件，但又不失其一般性选用：

1. 试验桥：跨度 15m，宽 4.2m 的装配式公路钢桥，架桥简支梁。且没有抗拉，抗压支座，桁架采用非加强型。为探索间隙大小与间隙角及间隙锐度之间的关系，采用两种不同直径的销子 $D_{铰}^{(1)}=47.5^{+0}_{-0.2}$mm，$D_{铰}^{(2)}=49.5^{+0}_{-0.2}$mm，以反映间隙引起的非弹性变形，减少弹性变形在总变形中的比例，从而达到减少因测量误差，弹性变形的计算误差而引起积累误差。

2. 加载：要使间隙角完全闭合，待载应足够大，第一状态下，桥自重约 7.0t，另加压重约 7.0t，压重通过设在中间单元两端的横梁传给主桁架，且拆除各单元上中间的横梁，以保证两种状态下的恒载大小，作用点位置不变。第二状态下，在中间单元的端往处施加向上反向载 P，两组荷载分别为 4×10.0t、4×15.0t。

为观察间隙角闭合的过程，获取荷载——位移曲线，试验中采用分级加载，第一组试验：分四级，0.0t、3.0t、6.0t、8.0t、10.0t；第二组分五级，0.0t、3.0t、6.0t、9.0t、12.0t、15.0t。

3. 测点布置及测试仪器设备

1）位移测点：各单铸连接处及支座处，全桥对称布置，共 12 个测点。

2）应变测点：为校核荷载 P 的准确性，需要测量杆件内力。除严格标定千斤顶、压力环以控制荷载外，增设了应变测量，测点设在中间无两力段上下弦杆上，为消除弦杆平面内外可能存在的偏心受力，分别在上下弦杆截面的上、下缘的左右槽钢翼缘设置测点，最后取它们的平均值来计算内力，测点布置见图 2-32。

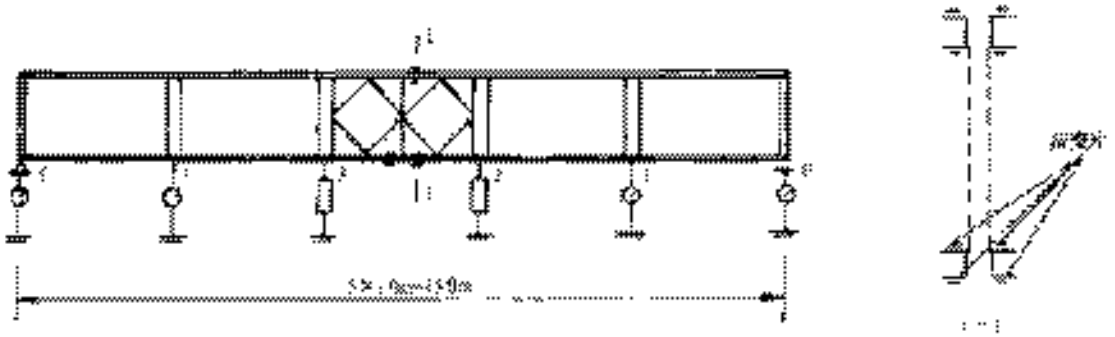


图 2-32 测点布置

加载设备：4 台 16.0t 的螺旋式和汇压式千斤顶，YJ—5 静态应变仪，位移百分表，机械式位移计，调频式位移计，试验示意图见图 2-33。

（四）实测结果及其分析

1. 实测单轴间隙、计算间隙角值

$$\overline{D}_{孔}=50.1225\text{mm}$$

$$\overline{D}_{铰}^{(1)}=47.39125\text{mm}$$

$$\overline{D}_{铰}^{(2)}=49.3775\text{mm}$$

$$\Delta l=\overline{D}_{孔}-\overline{D}_{铰}$$

$$\Delta l_1=2.73125\text{mm}\qquad \Delta l_2=0.774\text{mm}$$

$$\alpha_1=3.9\times10^{-3}\qquad \alpha_2=1.064\times10^{-3}$$

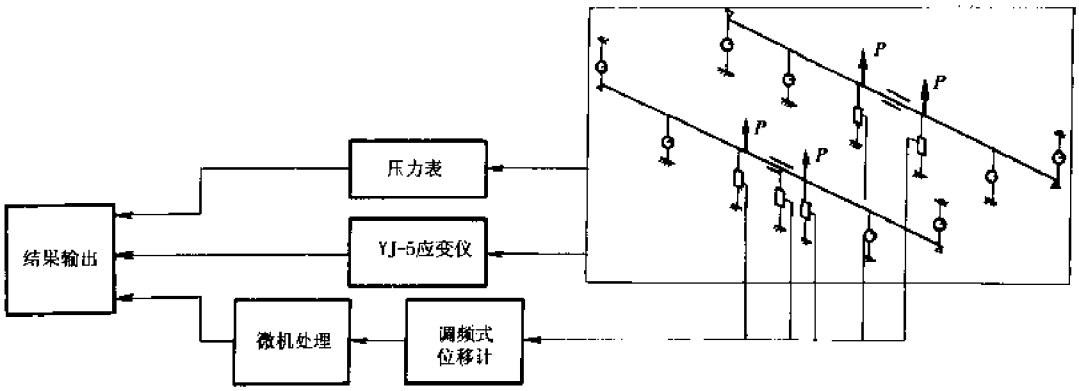


图 2-33　试验示意图

按图纸加工要求，取平均公差作为间隙的估计值：

$$\Delta\bar{l}_1 = \left(50.0 + \frac{1}{2} \times 0.2\right) - \left(47.5 - \frac{1}{2} \times 0.2\right)$$

$$= 2.7\text{mm}$$

$$\Delta\bar{l}_2 = \left(50.0 + \frac{1}{2} \times 0.2\right) - \left(49.5 - \frac{1}{2} \times 0.2\right)$$

$$= 0.7\text{mm}$$

换算间隙角

$$\bar{\alpha}_1 = 3.857 \times 10^{-3}, \bar{\alpha}_2 = 1.0 \times 10^{-3}$$

2. 挠度换算间隙角结果

荷载作用下的弹性挠度计算

$$f_p = \sum_{i=1}^{N_e} \frac{N_p \bar{N}_1 l_i}{EA_i}$$

按交通部推荐公式估计间隙挠度

$$f_{max} = \eta \frac{(N^2 - 1)}{8} \qquad (\text{cm})$$

式中：

$$\eta = \begin{cases} 3.52 & \text{单层} \\ 1.76 & \text{双层} \end{cases}$$

测试结果见表 2-3、2-4 和图 2-34。表中 f_α^R 为按圆弧法估计的间隙挠度值。

第一组实测结果　　表 2-3

$\bar{D}_{孔} = 50.1225$　$D_{销}^{(1)} = 47.3912$　$\Delta l = 2.7312$　$4P = 4 \times 10.0t$						
测点号	实测挠度 (1)	弹性挠度 f_p (2)	间隙挠度 f_α (3)	f_α^{Σ} (4)	f_α^R (5)	备注 (6)
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	$\alpha_{\Delta l} = 3.90 \times 10^{-3}$ $\alpha_f = 3.872 \times 10^{-3}$ $\alpha_{50.1} = 3.857 \times 10^{-3}$
1	62.567	16.98	22.793	23.4		
2	100.04	28.776	35.618	35.116	29.468	
3	99.358	28.776	35.278	35.116	29.468	
4	62.869	16.98	22.869	23.4		
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

第二组实测结果　　表 2-4

$\overline{D}_{孔}=50.1225$　$\overline{D}_{销}^{(2)}=49.3775$　$\Delta l=0.774$　$4P=4\times15.0t$						
测点号	实测挠度 Δf (1)	弹性挠度 f_p (2)	间隙挠度 f_α (3) $(3)=\frac{1}{2}[(1)-(2)]$	f_α^N (4)	f_α^B (5)	备注 (6)
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1	38.52	25.47	6.525	6.39		$\alpha_{\Delta p}=1.064\times10^{-3}$
2	65.49	43.164	11.163	9.58	7.73	$\alpha_f=1.165\times10^{-3}$
3	65.43	43.164	11.13	9.58	7.73	$\alpha_{50.1}=1.00\times10^{-3}$
4	38.66	25.47	6.58	6.39		$\alpha_{交}=1.17\times10^{-3}$
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

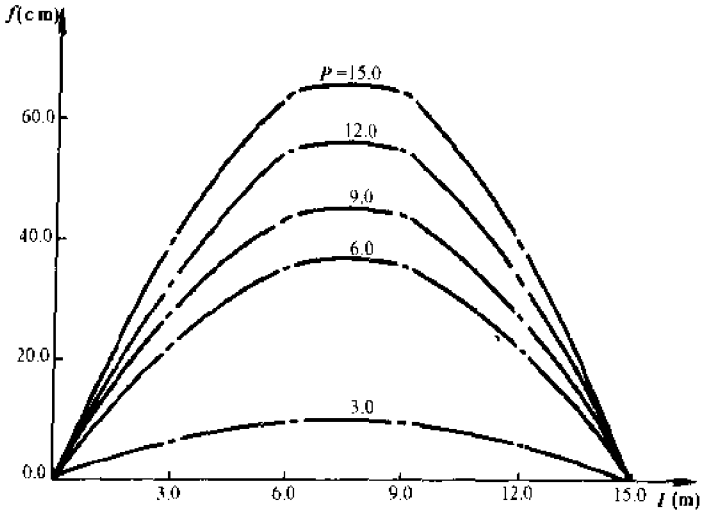


图 2-34　间隙挠度测试结果

3．分析

(1)从实测结果可以看出，用实测间隙或实测挠度换算间隙角大小的方法是可行的，两种测量结果吻合较好。在量测挠度换算间隙角时，腹杆变形不可忽略。

采用双面加载法测量间隙挠度，从中取平均值，可消除结构不平直度影响，进一步保证测试结果的可靠性，每组试件作多次加载，可重复性良好。产生误差的原因有测量误差，如位移测量、荷载测量等，使得理论级差略小于实测级差。

(2)装配式公路钢桥的间隙角值可按加工图纸要求的容许公差 $\delta D_{孔}$、$\delta D_{销}$ 取平均值来估计，其方法具有一定的近似程度，如有条件，应予准确量测，尤其对多次使用的旧桥。

(3)间隙引起的非弹性挠度宜用累计法或交通部的推荐公式计算；当跨度较大，拼装单元较多时，亦可用圆弧法计算。

通过本试验进一步证实了装配式公路钢桥间隙角的估计方法是可行的。由本试验得出的间隙角参数已用于邕江、衡阳两座钢吊桥的受力分析和公路钢桥吊桥系列化设计课题中。

第三节　桥面系构件的设计计算

一、纵梁设计计算

(一)计算简图

计算简图如图 2-35 所示。

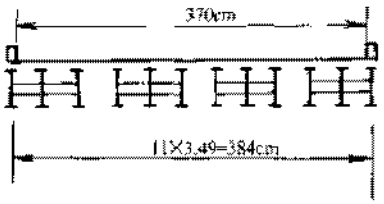


图 2-35　计算简图

(二)内力计算

纵梁采用 16Mn　I_{10}，其长度为 3.0m，跨越三根横梁，为两跨连续梁，考虑纵梁与横梁为非同接连接，且汽车轮重始终只能作用在其中一跨，当一跨受荷时，另一跨将有向上翘起的趋势，因此纵梁实际为简支之承，应按简支梁计算内力。

1. 恒载

桥面板　　$g_1 = \frac{19}{20} \times 0.349 \times 0.07 \times 750 = 17.4\text{kgf/m}$

纵梁 I_{10}　　$g_2 = 9.46\text{kgf/m}$

横撑　每组纵梁用 8 根 I_8 横撑联接，假定平均作用纵梁上

$$g_3 = 7.48 \times 0.349 \times 4 \times \frac{1}{3} = 3.48\text{kgf/m}$$

$$\Sigma g = 30.34\text{kgf/m}$$

纵梁计算跨经用两跨中较大者，即 1.6m。

由恒载产生的最大弯距为：

$$M_g = \frac{1}{8} g l^2 = \frac{1}{8} \times 30.34 \times 1.6^2 = 9.71\text{kgf} \cdot \text{m} = 971\text{kgf} \cdot \text{cm}$$

由恒载产生的最大剪力为：

$$Q_g = \frac{1}{2} g l = \frac{1}{2} \times 30.34 \times 1.6 = 24.27\text{kgf}$$

2. 活载

(1)汽—13(60 年代标准)

汽车轮重在桥面上对纵梁的弹性分布，当桥面板厚度在 10cm 以下时，约为 1.22m。

汽—13 后轴重 12.35t，二个轮，每轮重 6.175tf。

$$p = 6175 \times \frac{34.9}{122} = 1766\text{kgf}$$

冲击系数：　　$1 + \mu = 1 + \frac{15}{37.5 + l} = 1 + \frac{15}{37.5 + 1.6} = 1.384$

由汽—13 产生的最大弯矩为：

$$M_p = \frac{1}{4} p \cdot l(1 + \mu) = \frac{1}{4} \times 1766 \times 160 \times 1.384 = 97800\text{kgf} \cdot \text{cm}$$

支点剪力计算：

桥面上的轮重按杠杆原理分配：

偏载系数

$$\eta = \frac{4.9 + 15}{34.9} = 0.57$$

由汽—13 产生的最大剪力为(图 2-36)：

$$Q_p = \eta \cdot p(1 + \mu) = 0.57 \times 6175 \times 1.384 = 4875\text{kgf}$$

$$M = M_g + M_p = 971 + 97800 = 98771\text{kgf} \cdot \text{cm}$$

$$Q = Q_g + Q_p = 24.27 + 4875 = 4899.27\text{kgf}$$

(2)拖—60

纵梁满布载时，沿每根纵梁作用的单位压力为(图 2-37)：

$$g = 60000 \times \frac{1}{2 \times 5} \times \frac{34.9}{70}$$

$$= 2991\text{kgf/m}$$

因拖—60 的车辆过桥次数较少，且当这种车辆过桥时要限速，所以对纵梁不考虑冲击力。

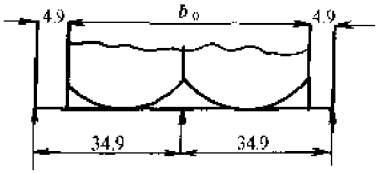


图 2-36

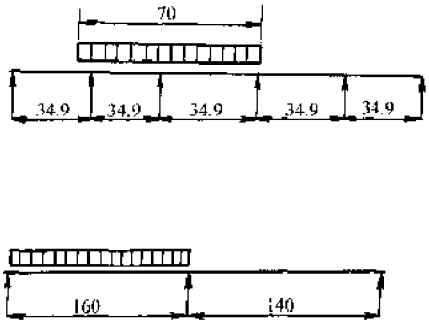


图 2-37

由拖—60 产生的最大弯矩为：

$$M_{拖} = \frac{1}{8}gl^2 = \frac{1}{8} \times 2991 \times 1.6^2 = 957.3\text{kgf} \cdot \text{m} = 95730\text{kgfcm}$$

由拖—60 产生的最大剪力为：

$$Q_{拖} = \frac{1}{2}ql = \frac{1}{2} \times 2991 \times 1.6 = 2393\text{kgf}$$

当纵梁两跨布载时，按两跨连续梁计算，且为计算方便，按 1.5m 的连续梁计算(图 2-38)。

查计算图表：

$M_g = kql^2 = 0.125ql^2$

$q = 60000 \times \frac{1}{2 \times 5} \times \frac{34.9}{70} = 2991\text{kgf/m}$

$l = 1.5\text{m}$

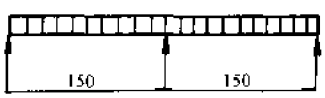


图 2-38

则

$$M_p = 0.125 \times 2991 \times (1.5)^2 = 841\text{kgf}\cdot\text{m} = 84100\text{kgf}\cdot\text{cm}$$

$$Q_B = Vql = 0.625ql = 0.625 \times 2991 \times 1.5 = 2804\text{kgf}$$

(三)截面应力计算

纵梁的截面模量 $W_c = 39.7\text{cm}^3$

根据上边内力计算可看出，汽—13 引起的内力最大。

$$\sigma = \frac{M}{W_c} = \frac{98721}{39.7} = 2488\text{kgf/cm}^2 < 2100 \times 1.3 = 2730\text{kgf/cm}^2$$

$$\tau = \frac{Q}{b_{\text{腹}}d} = \frac{4899.27}{8.56 \times 0.45} = 1270\text{kgf/cm}^2 < 1.5 \times 1600 = 2080\text{kgf/cm}^2$$

(四)挠度计算

$$\delta = \frac{pl^3}{48EI} = \frac{1766 \times (160)^3}{48 \times 2.1 \times 10^6 \times 198} = 0.362\text{cm} < \frac{l}{200} = 0.8\text{cm}$$

纵梁采用的热轧轻型 10 号工字钢，按 YB—163—63 规定的产品，W、I 与标准略有不同，现产品按现标准生产。

二、横梁计算

(一)受力分析与计算跨径

桥面系横梁每隔 1.5m 配置一根，每隔一根横梁设置一根斜撑，横梁的参算由不带斜撑横梁控制计算。

横梁的计算跨径是按三排桁架来考虑的，如图2-39所示，为简化计算，本书采取 5.4m 作为横梁强度设计跨度。

(二)横梁强度计算

1. 圆带荷载(40t)

横梁承受的活载压力(图 2-40)：

$$P_{\text{轮}} = 1.5 \times \frac{40}{4}$$

$$= 15\text{tf}$$

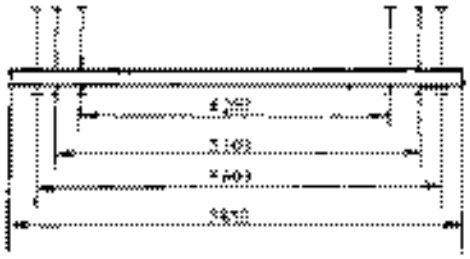


图 2-39 横梁计算跨径

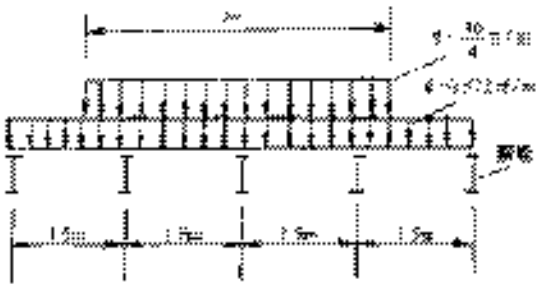


图 2-40 横梁受力图

横梁承受的静载压力：

$$P_{\text{轮}} = 1.5 \times 0.572$$

$$= 0.858\text{tf}$$

计算横梁最大弯矩，近似取静载的跨中弯矩与活载产生的最大弯矩进行叠加，结果偏于安全，计算简图如图 2-41 所示。

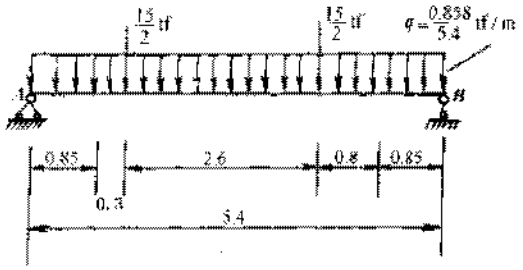


图 2-41 横梁弯矩计算(单位:m)

$$R_A^{静} = \frac{1}{5.4}(4.25 + 1.65) \times \frac{15}{2} = 8.194\text{tf}$$

$$R_B^{静} = \frac{1}{5.4}(1.15 + 3.75) \times \frac{15}{2} = 6.806\text{tf}$$

$$M_{左}^{静} = 8.194 \times 1.15 = 9.4231\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$M_{右}^{静} = 6.806 \times 1.65 = 11.2299\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$M = M_{静} + M_{活} \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\mu\right)$$

$$= \frac{1}{8} \times \frac{0.858}{5.4} \times 5.4^2 + 11.2299 \times 1.15 \text{（近似取静载在横梁中间截面产生的弯矩与活载产生的弯矩叠加）}$$

$$= 0.57915 + 12.91439 = 13.49354\text{tf} \cdot \text{m}$$

应力验算：

$$\sigma_w = \frac{M}{W} = \frac{1349354}{485} = 2782\text{kg/cm}^2$$

$$< [\sigma_w] = 2970\text{kg/cm}^2$$

2. 轮式(轴压力 12t)荷载：

横梁承受的静载压力：

$$P_{静} = 1.5 \times 0.572 = 0.858\text{tf}$$

活荷载沿纵向，车辆后轴正对横梁，横梁承受的活载压力为

$$P_{活} = 12\text{tf}$$

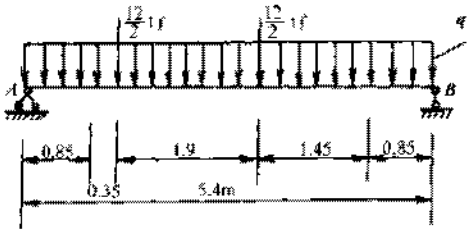


图 2-42 轮式荷载计算图(单位:m)

横梁计算简图如图 2-42 所示。

$$R_A^{活} = \frac{1}{5.4}(2.3 + 4.2) \times \frac{12}{2} = 7.222\text{tf}$$

$$R_B^{活} = \frac{1}{5.4}(1.2 + 3.1) \times \frac{12}{2} = 4.778\text{tf}$$

$$M_{左}^{活} = 7.222 \times 1.2 = 8.6664\text{tf} \cdot \text{m}$$

$$M_{右}^{活} = 4.778 \times 2.3 = 10.9894\text{tf} \cdot \text{m}$$

计算横梁的最大弯矩，近似取静载的跨中弯矩与活载产生的最大弯矩进行叠加，结果偏于安全。

$$M = M_{静} + M_{活}\left(1 + \frac{1}{2}\mu\right)$$

$$= \frac{1}{8} \times \frac{0.858}{5.4} \times 5.4^2 + 10.9894 \times 1.15$$

$$= 0.57915 + 12.63781 = 13.21696\text{tf} \cdot \text{m}$$

应力验算：

$$\sigma_w = \frac{M}{W} = \frac{1321696}{485} = 2725\text{kg/cm}^2 = 272.5\text{MPa}$$

$$< [\sigma_w] = 297.0\text{MPa}$$

(三)横梁刚度验算

利用《建筑结构静力计算手册》中公式计算。

1. 履带荷载

计算简图如图 2-43 所示。

$$f_D = \frac{PC}{6EIl}[(2c + a)l^2 - 4c^2l + 2c^3 - ac^2 - a^3]$$

$$= \frac{7.5 \times 10^3 \times 165}{6 \times 2.1 \times 10^6 \times 6547.5 \times 540} \times 75288500$$

$$= 2.1\text{cm}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{2.1}{540} = \frac{1}{257} < \left[\frac{f}{l}\right] = \frac{1}{250}$$

2. 轮式荷载

计算简图如图 2-44 所示。

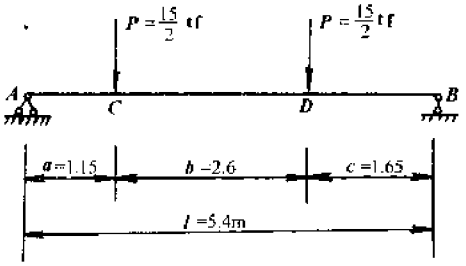


图 2-43 履带荷载(单位:m)

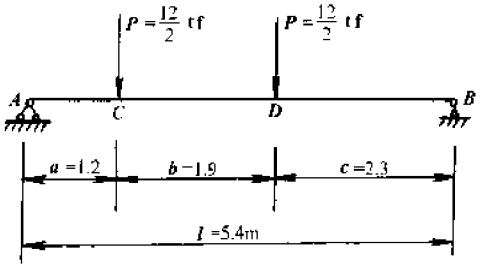


图 2-44 轮式荷载(单位:m)

$$f_0 = \frac{PC}{6EIl}[(2c + a)l^2 - 4c^2l + 2c^3 - ac^2 - a^3]$$

$$= \frac{6000 \times 230}{6 \times 2.1 \times 10^6 \times 6547.5 \times 540} \times 71122000$$

$$= 2.2\text{cm}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{2.2}{540} = \frac{1}{246} \approx \left[\frac{f}{l}\right] = \frac{1}{250}$$

第三章　单跨桥结构设计与架设方法

第一节　单跨桥的技术性能

一、桥梁的组成与构造

用公路钢桥器材结构架设的桥梁的基本形式为单跨、半穿式桥梁，其总体结构如图 3-1a)、b)、c)所示，它主要由下述几个部分构成。

(一)主梁(桁架)

主梁是桥梁的主要承载结构，它由拼装单元桁架用销子连接而成，布置在桥梁的两侧，每根主梁的末端设有端柱支承在桥座上，为增加桥梁的跨度和承载能力，构成主梁的桁架可以数排并列或双层叠置，主梁断面组合形式有 10 种(图 3-2)，各种组合形式主梁的桥梁习惯以先"排"后"层"称呼，如单排单层(英文缩写 SS)、双排单层(DS)，另外，为增加主梁桁架的强度，在桁架上弦上面和下弦下面，另可增加一弦杆，称加强弦杆，它用弦杆螺栓与桁架弦杆连接，桁架设有加强弦杆的桥梁，前面冠以"加强"二字表示，如加强的单排单层(英语缩写 SSR)，加强的双排单层(DSR)桥梁等等。

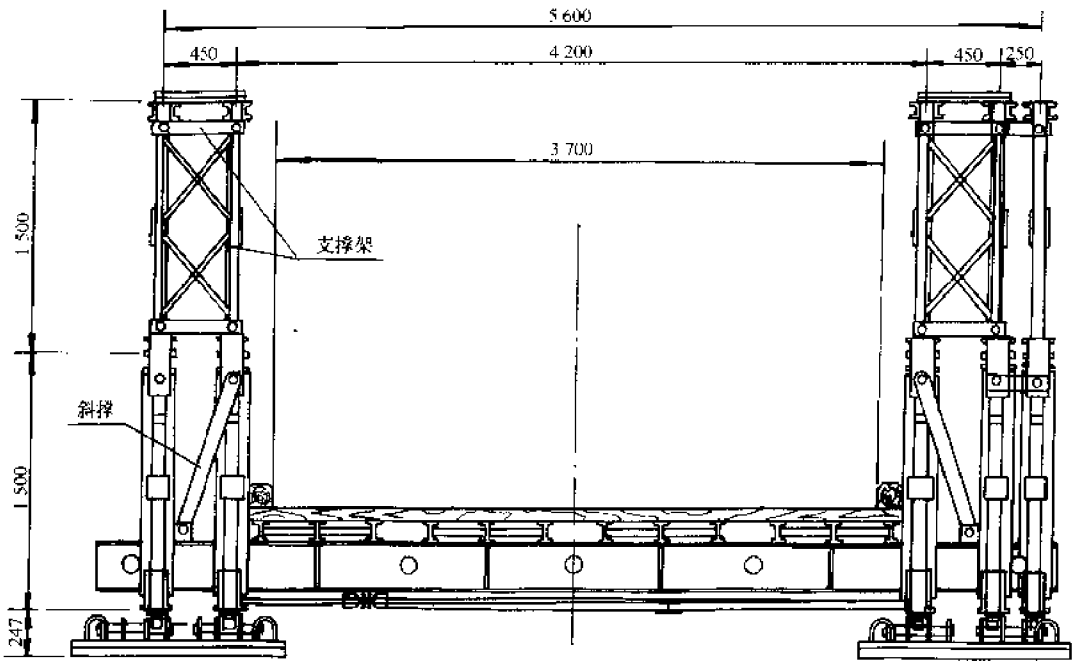


图 3-1a)　双层桥横断面图

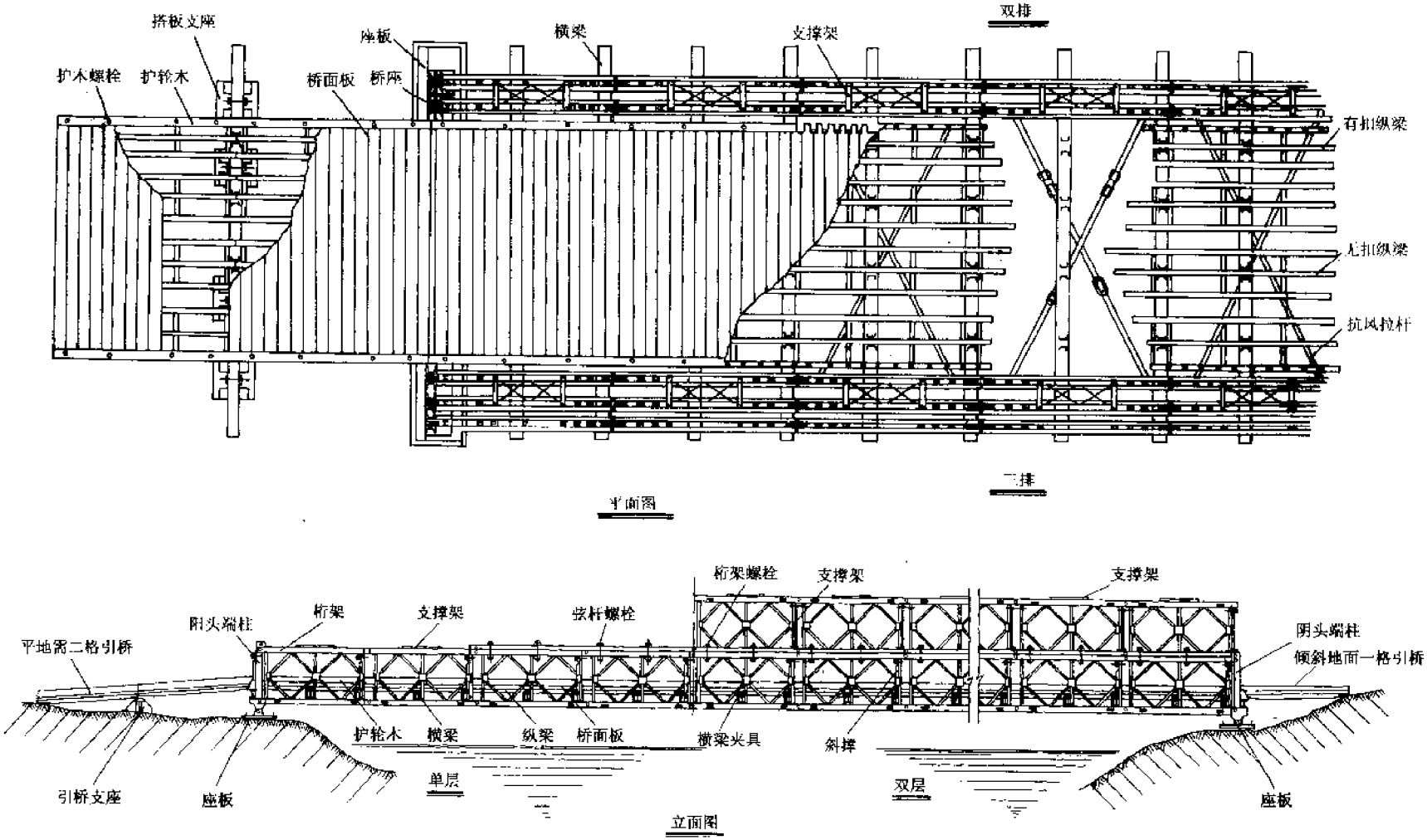


图 3-1b)　桥梁总体结构图

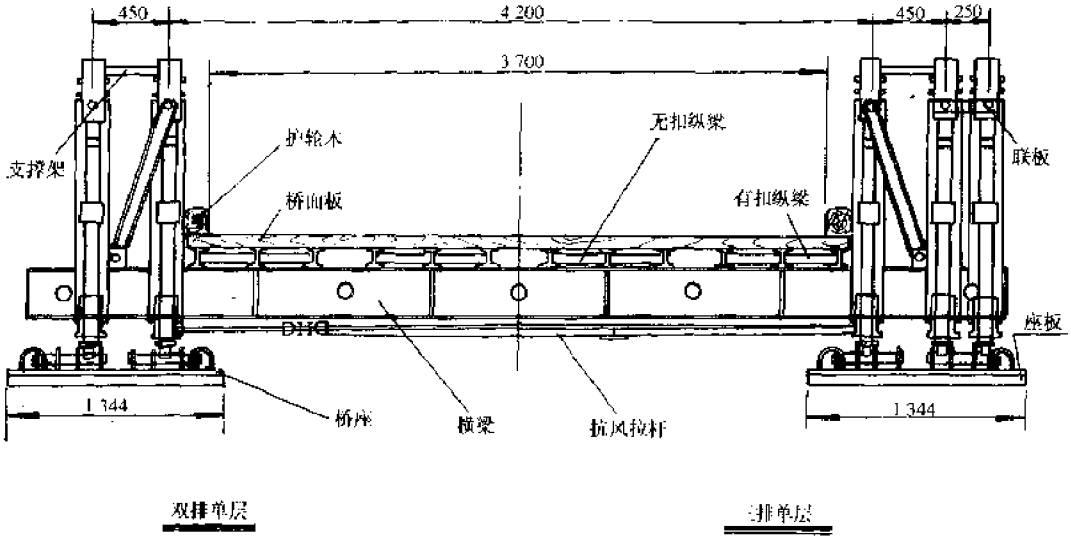


图 3-1c) 单层桥横断面图

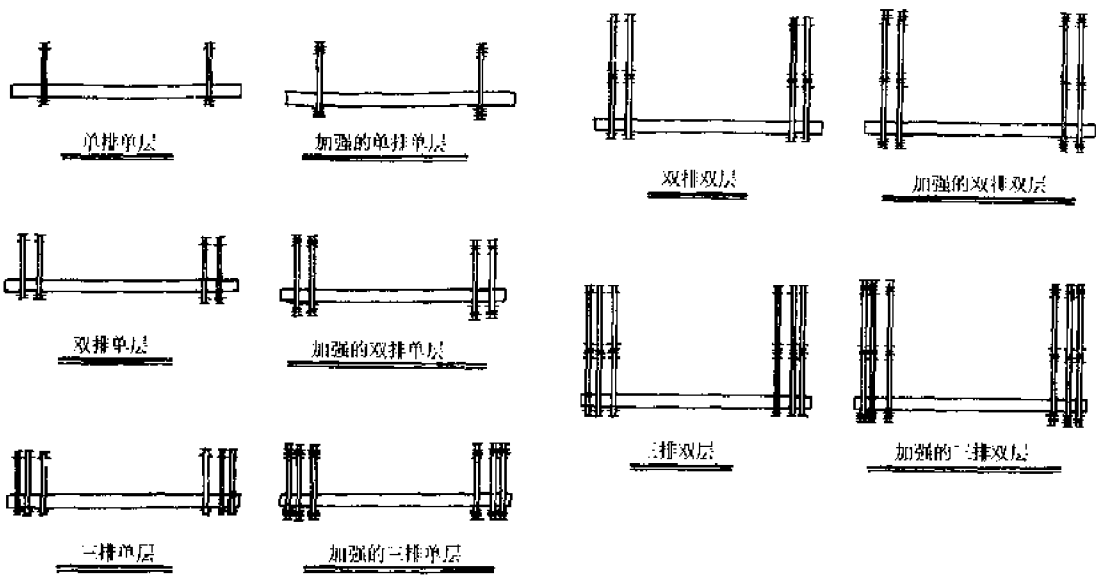


图 3-2 主梁断面组合形式

主梁桁架的中心距:内排中心距为 4.2m,第二排桁架与内排桁架中心距为 0.45m,第三排距第二排桁架中心距为 0.25m(图 3-3)。

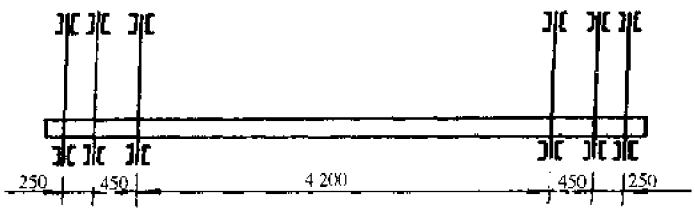


图 3-3 桁架横向布置图

（二）桥面系

公路桥梁的桥面系设在两主桁架之间，其构件有横梁、纵梁、桥板（原设计为木质桥板，2001年，有关部门又增设了U型钢桥面板，详见本书第一章第一节）和轮水和连接件组成，行车道宽3.7m。

（三）支撑系统

为保证桥梁横方向的稳定，在主桁架两侧，每节桁架挂装单元设有一根斜撑，斜撑的一端与横梁相连，另一端与桁架的端竖杆相连。

另外，在桥面系下面还设有一对交叉的抗风拉杆，其两端分别与桁架下弦杆相连。

（四）引桥

由于桥面高于塞板底面达79cm，为保证车辆上下桥梁，该桥配有引桥。其构件有：桥板、搭板支座等，如图3-4所示。

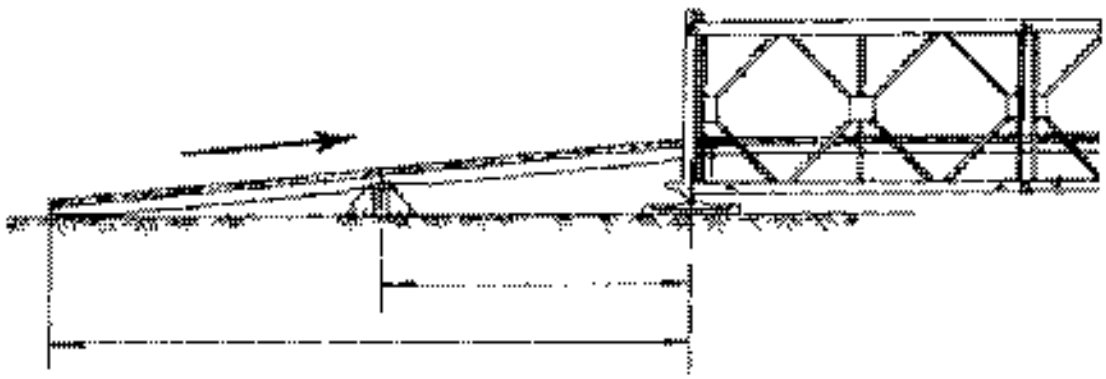


图3-4 引桥

（五）人行道

人行道通常设在两主桁架的外侧，宽度约75cm，组成构件有挑梁、栏杆、人行道板等，人行道根据需要端时加工制作构件构成，如图3-5所示。

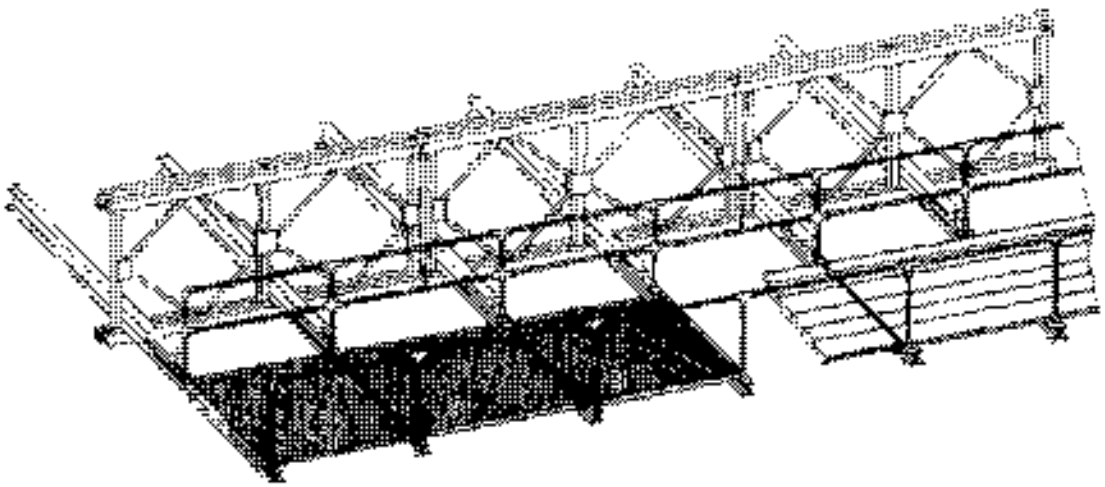
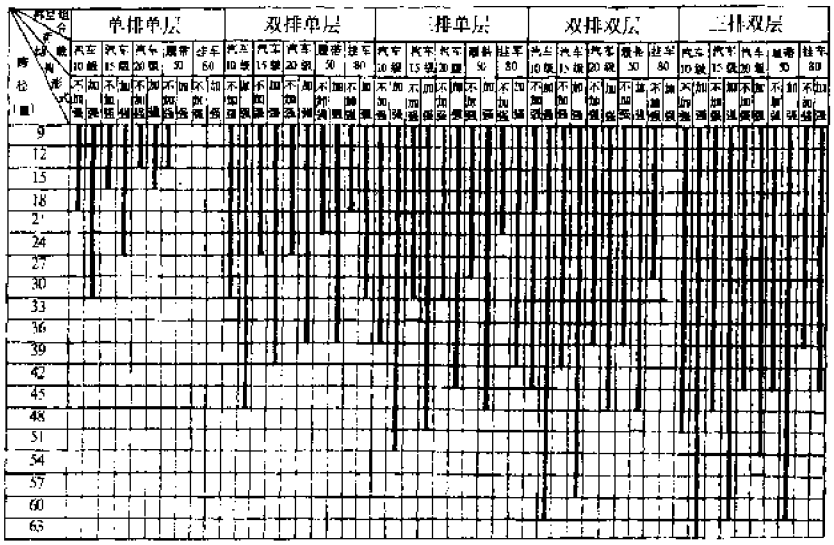


图3-5 人行道

二、桥梁的荷载与跨径组合

桥梁的荷载与跨径组合及各种跨径桥构件数量如表 3-1 ~ 3-4 所示。

荷载与跨径组合表　　表3-1



注：此表系根据表3-4计算而得，但由于有的跨径跨中挠度过大，故表中将组合跨径减少，表中空格是因受剪力控制，加强与不加强桥的组合跨径一样，故不采用加强桥。

荷载、跨径与桥梁组合配置表　　表 3-2

跨径(m)	荷载				
	汽车—10级	汽车—15级	汽车—20级	履带—50级	挂车—80级
9	S,S	S,S	S,S	S,S	–
12	S,S	S,S	S,S	S,S	D,S
15	S,S	S,S	S,S,R	S,S,R	D,S
18	S,S	S,S,R	D,S	D,S	D,S
21	S,S,R	S,S,R	D,S	D,S	D,S,R
24	S,S,R	D,S	D,S	D,S,R	D,S,R
27	S,S,R	D,S,R	D,S,R	D,S,R	D,S,R
30	D,S	D,S,R	D,S,R	D,S,R	T,S,R
33	D,S,R	D,S,R	D,S,R	D,S,R	T,S,R
36	D,S,R	D,S,R	D,S,R	D,S,R	T,S,R
39	D,S,R	D,S,R	T,S,R	T,S,R	T,D,R
42	D,S,R	T,S,R	T,S,R	T,S,R	T,D,R
45	T,S,R	T,S,R	T,D,R	T,D,R	–
48	T,S,R	D,D,R	T,D,R	T,D,R	–
51	D,D,R	D,D,R	T,D,R	T,D,R	–
54	D,D,R	D,D,R	–	T,D,R	–
57	D,D,R	T,D,R	–	T,D,R	–
60	D,D,R	T,D,R	–	T,D,R	–
61	T,D,R	–	–	–	–

注：1. 表中S,S 表示单排单层；D,S 表示双排单层；T,S 表示三排单层；D,D 表示双排双层；T,D表示三排双层。

2. 在 S,S；D,S；T,S；D,D 和 T,D 之后加 R，则表示它们的加强型，即有加强弦杆。

部 件 数 量 表

表 3-3

部件名称	单位	单排单层					双排单层								三排单层							双排双层							三排双层					
组合																																		
跨径(m)		9	12	15	18	21	9	12	15	18	21	24	27	30	18	21	24	27	30	33	36	24	27	30	33	35	39	42	33	36	39	42	45	48
节数		3	4	5	6	7	3	4	5	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	13	14	11	12	13	14	15	16
桁架	节	6	8	10	12	14	12	16	20	24	28	32	36	40	36	42	48	54	60	66	72	64	72	80	88	96	104	112	132	144	156	168	180	192
销子	个	16	20	24	28	32	32	40	48	56	64	72	80	88	84	96	108	120	132	144	156	144	160	176	192	208	224	240	288	312	336	360	384	408
横梁	根	9	11	13	15	17	9	11	13	15	17	19	21	23	15	17	19	21	23	25	27	19	21	23	25	27	29	31	25	27	29	31	33	35
横梁夹具	个	12	16	20	24	28	24	32	40	48	56	64	72	80	72	84	96	108	120	132	144	64	72	80	88	96	104	112	132	144	156	168	180	192
有扣纵梁	组	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14	16	18	20	12	14	16	18	20	22	24	16	18	20	22	24	26	28	22	24	26	28	30	32
无扣纵梁	组	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14	16	18	20	12	14	16	18	20	22	24	16	18	20	22	24	26	28	22	24	26	28	30	32
阳头端柱	根	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
阴头端柱	根	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
斜撑	根	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16	18	20	22	14	16	18	20	22	24	26	18	20	22	24	26	28	30	24	26	28	30	32	34
支撑架	个	–	–	–	–	–	6	8	10	12	14	16	18	20	12	14	16	18	20	22	24	34	38	42	46	50	54	58	46	50	54	58	62	66
联板	块	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	14	16	18	20	22	24	26	–	–	–	–	–	–	–	48	52	56	60	54	68
抗风拉杆	根	6	8	10	12	14	6	8	10	12	14	16	18	20	12	14	16	18	20	22	24	16	18	20	22	24	26	28	22	24	26	28	30	32

续上表

部件名称	单位	组合	单排单层					双排单层								三排单层							双排双层							三排双层					
		跨径(m)	9	12	15	18	21	9	12	15	18	21	24	27	30	18	21	24	27	30	33	36	24	27	30	33	35	39	42	33	36	39	42	45	48
		节数	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	13	14	11	12	13	14	15	16
桥面板	块		105	120	135	150	165	105	120	135	150	165	180	195	210	150	165	180	195	210	225	240	180	195	210	225	240	255	270	225	240	255	270	285	300
护轮木	根		14	16	18	20	22	14	16	18	20	22	24	26	28	20	22	24	26	28	30	32	24	26	28	30	32	34	36	30	32	34	36	38	40
桥座	个		4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
座板	块		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
搭板支座	个		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
有扣搭板	组		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
无扣搭板	组		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
桁架螺栓	个		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	64	72	80	88	96	104	112	132	144	155	168	180	192
斜撑螺栓	个		16	20	24	28	32	16	20	24	28	32	36	40	44	28	32	36	40	44	48	52	36	40	44	48	52	56	60	48	52	56	60	64	68
撑架螺栓	个		–	–	–	–	–	24	32	40	48	56	64	72	80	48	56	64	72	80	88	96	136	152	168	184	200	216	232	184	200	216	232	248	272
护木螺栓	个		56	64	72	80	88	56	64	72	80	88	96	104	112	80	88	96	104	112	120	128	96	104	112	120	128	136	144	120	128	136	144	152	160

注：表列横梁、桥面板、护轮木、有扣搭板、无扣搭板、搭板支座与护木螺栓之数量，包括4跨引桥用量；架桥时若引桥有所增减，则上述部件之数量亦相应增减，一跨引桥应增减的数量为：横梁1根，桥面板15块，有扣搭板2组，无扣搭板2组，搭板支座4个，护轮木螺栓8个。

部 件 数 量 表

表 3-4

部件名称	单位	组合	加强的单排单层						加强的双排单层										加强的三排单层							加强的双排双层							加强的三排双层							
		跨径(m)	18	21	24	27	30	33	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	33	36	39	42	45	48	51	42	45	48	51	54	57	60	45	48	51	54	57	60	63	66	69
		节数	6	7	8	9	10	11	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	16	17	14	15	16	17	18	19	20	15	16	17	18	19	20	21	22	23
桁架	节		12	14	16	18	20	22	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	66	72	78	84	90	96	102	112	120	128	136	144	152	160	180	192	204	216	228	240	252	264	275
加强弦杆	根		16	20	24	28	32	36	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	108	120	132	144	156	168	180	96	104	112	120	128	136	144	156	168	180	192	204	216	228	240	252
销子	个		44	52	60	68	76	84	88	104	120	136	152	168	184	200	216	232	252	276	309	324	348	372	396	328	352	376	400	424	448	472	528	564	600	636	672	708	744	780	816
横梁	根		15	17	19	21	23	25	15	17	19	21	23	25	27	28	31	33	25	27	29	31	33	35	37	31	33	35	37	39	41	43	33	35	37	39	41	43	45	47	49
横梁夹具	个		24	28	32	36	40	44	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	132	144	156	168	180	192	204	112	120	128	136	144	152	160	180	192	204	216	228	240	252	264	276
有扣纵梁	组		12	14	16	18	20	22	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	22	24	26	28	30	32	34	28	30	32	34	36	38	40	30	32	34	36	38	40	42	44	46
无扣纵梁	组		12	14	16	18	20	22	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	22	24	26	28	30	32	34	28	30	32	34	36	38	40	30	32	34	36	38	40	42	44	46
阳头端柱	根		2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6
阴头端柱	根		2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6
斜撑	根		14	16	18	20	22	24	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	24	26	28	30	32	34	36	30	32	34	36	38	40	42	32	34	36	38	40	42	44	46	48
支撑架	个		–	–	–	–	–	–	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	22	24	26	28	30	32	34	58	62	66	70	74	78	82	62	66	70	74	78	82	86	90	94
联板	块		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	24	26	28	30	32	34	36	–	–	–	–	–	–	–	64	68	72	76	80	84	88	92	96
抗风拉杆	根		12	14	16	18	20	22	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	22	24	26	28	30	32	34	28	30	32	34	36	38	40	30	32	34	36	38	40	42	44	46

续上表

部件名称	单位	组合	加强的单排单层						加强的双排单层										加强的三排单层							加强的双排双层							加强的三排双层								
		跨径(m)	18	21	24	27	30	33	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	33	36	39	42	45	48	51	42	45	48	51	54	57	60	45	48	51	54	57	60	63	66	69
		节数	6	7	8	9	10	11	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	16	17	14	15	16	17	18	19	20	15	16	17	18	19	20	21	22	23
桥面板	块		150	165	180	195	210	225	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	225	240	255	270	205	300	315	270	285	300	315	330	345	360	285	300	315	330	345	360	375	390	405
护轮木	根		20	22	24	26	28	30	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	30	32	34	36	38	40	42	36	38	40	42	44	46	48	38	40	42	44	46	48	50	52	54
桥座	个		4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
座板	块		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
搭板支座	个		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
有扣搭板	组		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
无扣搭板	组		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
桁架螺栓	个		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	120	128	136	144	152	160	180	192	204	216	228	240	252	264	276
弦杆螺栓	个		32	40	48	56	64	72	64	80	96	112	128	144	160	176	192	208	216	240	264	288	312	336	360	292	308	324	340	356	372	388	312	336	360	384	408	432	456	480	504
斜撑螺栓	个		28	32	36	40	44	48	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	48	52	56	60	64	68	72	60	64	68	72	76	80	84	64	68	72	76	80	84	88	92	96
撑架螺栓	个		-	-	-	-	-	-	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	88	96	104	112	120	128	136	232	248	264	280	296	312	328	248	264	280	296	312	328	344	360	376
护木螺栓	个		80	88	96	104	112	120	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	120	128	136	144	152	160	168	144	152	160	168	176	184	192	152	160	168	176	184	192	200	208	216

注：1.桥梁首尾两节不设加强弦杆。

2.表列横梁、桥面板、护轮木、有扣搭板、无扣搭板、搭板支座与护木螺栓之数量包括4跨引桥用量；架桥时，若引桥有所增减，则上述部件之数量亦相应增减，每增减一跨引桥应增减之数量为：横梁1根、桥面板15块，护轮木2根、有扣搭板2组、无扣搭板2组、搭板支座4个、护木螺栓8个。

三、桥梁几何特性及桁架容许内力

桥梁的几何特性及桁架容许内力如表 3-5 和 3-6 所示。

桥梁几何特性表　　表 3-5

结构构造 \ 几何特性		$W(cm^3)$	$J(cm^4)$
单排单层	不加强	3578.5	250497.2
	加强	7699.1	577434.4
双排单层	不加强	7157.1	500994.4
	加强	15398.3	1154868.8
三排单层	不加强	10735.6	751491.6
	加强	23097.4	1732303.2
双排双层	不加强	14817.9	2148588.8
	加强	30641.7	4596255.2
三排双层	不加强	22226.8	3222883.2
	加强	45962.6	6894390

注：表中数值为半边桥之值，全桥时应乘 2。

桁架容许内力表　　表 3-6

桥型 \ 容许内力	不加强桥梁					加强桥梁				
	单排单层	双排单层	三排单层	双排双层	三排双层	单排单层	双排单层	三排单层	双排双层	三排双层
弯矩(kN·m)	788.2	1576.4	2246.4	3265.4	4653.2	1687.5	3375.0	4809.4	6750.0	9618.8
剪力(kN)	245.2	490.5	698.9	490.5	698.9	245.2	490.5	698.9	490.5	698.9

四、各类桥梁每节重量

各类桥梁每节重量如表 3-7 所示。

各类桥梁每节重量表(kN)　　表 3-7

构造 \ 装配程度	鼻架			单排单层		双排单层		三排单层		双排双层		三排双层		说明
	单排单层	双排单层	三排单层	不加强	加强	不加强	加强	不加强	加强	不加强	加强	不加强	加强	
全部装齐	9.0	15.0	20.7	22.7	26.3	28.7	35.7	34.4	45.0	40.2	47.3	51.7	62.3	木桥面
全部装齐				21.7	25.3	27.7	34.7	33.4	44.0	39.2	46.3	50.7	61.3	钢桥面

第二节　单跨桥的架设方法

一、概述

（一）架设方法

公路钢桥架设的方法很多，有悬臂推出法、浮运法等等，一般都采用悬臂推出法。所谓"悬臂推出"就是在一岸桥桥梁的大部分构件在滚轴上拼装好然后用人力或机械牵引，直到对岸，本节主要介绍悬臂架设方法。

（二）架设程序

架设桥梁时按场地、器材准备，拼装、推出、座落、构筑进出口的步骤进行。

二、架桥的准备

（一）桥位的选择

1. 根据两岸接线位置、地形、高差和地质等情况，决定最适宜的桥梁中线，测量河流宽度、决定推出岸与对岸的滚滚至岸边的最小安全距离及桥梁跨径。

2. 定出平滚、摇滚与座板的位置，测得桥中线组与平面、摇滚、座板标准的高程。桥中线轴应画至对岸悬梁端能达之最远处。

3. 根据接线路堤标高，确定桥梁基础标高。

根据地基承载能力，确定摇滚、座板下面基础处理方案，并计算填挖数量，划出填挖范围。

4. 划出料场线，注明桥梁各部件、配件及工具之堆放位置。

（二）场地的布置

为方便架桥作业，根据架桥现场的地形、道路状况，在推出岸的桥头应规划出堆放桥梁部件、工具的位置和建桥器材车辆停止的位置，图 3-6 为桥头有较宽的料场布置示例。总之桥梁构件的堆放要使在装配时人工搬运距离最短，使用最为方便，在战时有空袭情况下，还要考虑防空。

在河的对岸，应尽可能制造条件将有对岸桥头使用的座板、摇滚和其他器材，先运到位，如无条件，过河时，可将座板和摇滚放在悬架上，随桥架推出时，运送到岸。但在计算悬臂推出的稳定时，必须考虑这些器材的质量。

（三）桥座基础处理

1. 桥座的压力

单跨的公路钢桥的荷重与活载最终过其主梁两端支座传至地面的，各种荷载与桥跨自重作用在桥梁座板上的最大压力，按下式计算：

$$A = A_1 + A_2 f$$

式中：A_1——桥跨自重产生于各个座板上的压力，按下式计算：

$$A_1 = gl/2$$

l——桥梁的跨径；

g——桥梁自重，各种组合形式的桥梁自重如表 3-7 所示；

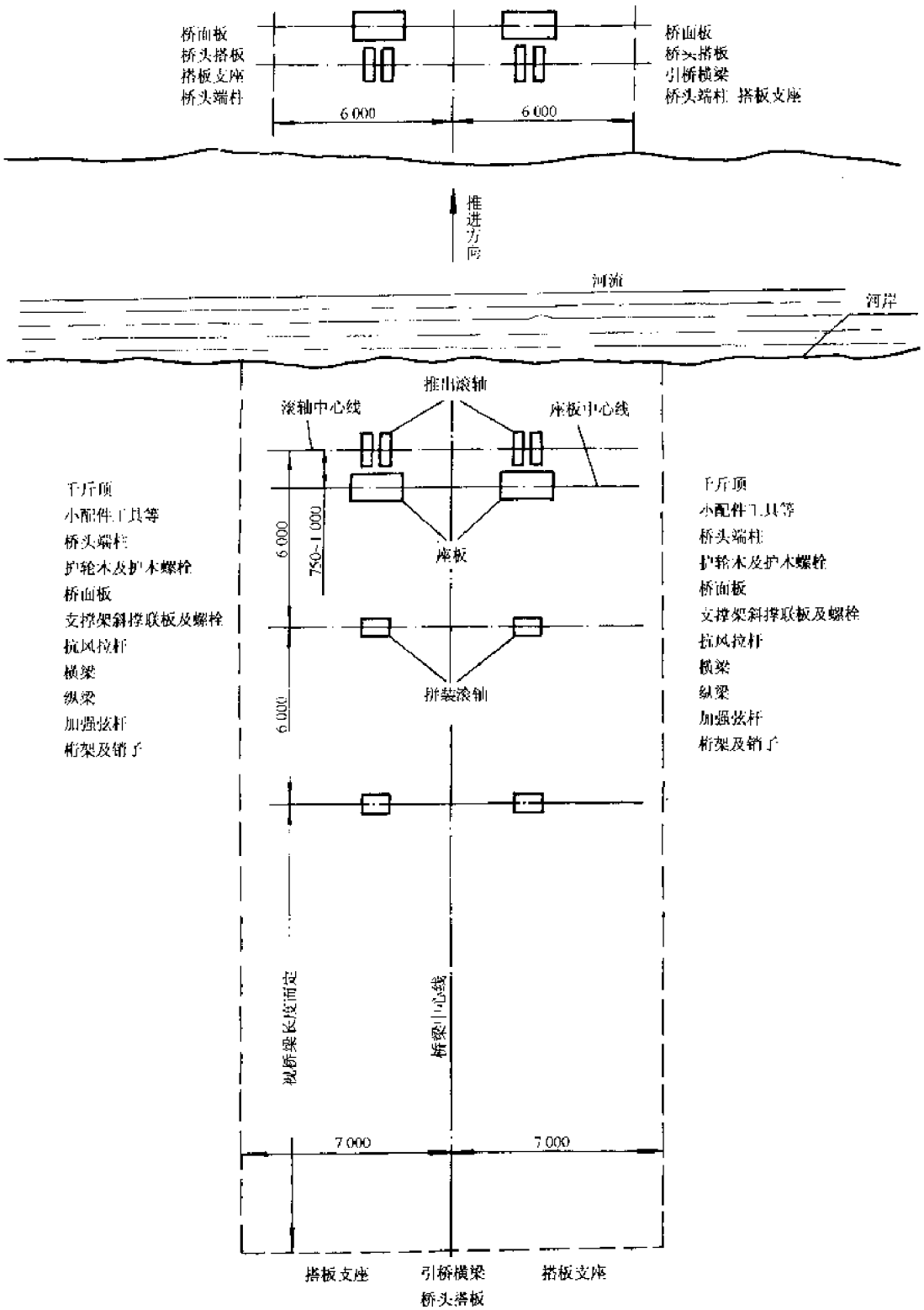

桥面板
桥头搭板
搭板支座
桥头端柱
6 000
6 000
桥面板
桥头搭板
引桥横梁
桥头端柱 搭板支座
推进方向
河流
河岸
推出滚轴
滚轴中心线
座板中心线
千斤顶
小配件工具等
桥头端柱
护轮木及护木螺栓
桥面板
支撑架斜撑联板及螺栓
抗风拉杆
横梁
纵梁
加强弦杆
桁架及销子
6 000
750~1 000
座板
6 000
拼装滚轴
千斤顶
小配件工具等
桥头端柱
护轮木及护木螺栓
桥面板
支撑架斜撑联板及螺栓
抗风拉杆
横梁
纵梁
加强弦杆
桁架及销子
视桥梁长度而定
桥梁中心线
7 000
7 000
搭板支座
引桥横梁
桥头搭板
搭板支座

图 3-6　场地布置

$$A_2 = Q[1 - S/(2l)]/2$$

Q——活荷(t)；

S——履带荷载；

l——桥梁的跨径；

K——横向分配系数，取0.6。

2．桥座基础的处理

如桥座基础位置地基松软时，需要用方木或钢筋混凝土板作扩大或加固处理。扩大面积和加固方法需根据桥梁跨径大小及现场的土质情况、使用年限等因素灵活确定，各种土壤允许承载力见表3-8。

地基土壤容许承压力表　　表3-8

土壤名称		容许承压力(MPa)	土壤名称		容许承压力(MPa)
砂质粘土	软塑状态的	0.1	粉砂	稍湿的	0.2
	硬塑状态的	0.2		湿的和饱和的	0.1
	固体状态的	0.25	中细砂	稍湿的	0.25
粘土	软塑状态的	0.15		湿的和饱和的	0.15
	硬塑状态的	0.3	密实的砾砂和粗砂		0.4
	固体状态的	0.35	孔隙有砂填充的碎石(卵石)		0.6

(四)滚轴的安置

滚轴分摇滚和平滚两种，摇滚设在推出岸和对岸的岸边，推出岸的摇滚用于桥架的推出；对岸的摇滚用于桥架的座落。平滚安置在推出岸摇滚之后，现将其安置方法分述如下：

1．每座摇滚只容一排桁架通过，其横向(顺河方向)位置应与桥架中线相吻合(见图3-7)。单排桥梁时，两岸各放两座摇滚，其中距为4.20m；双排桥梁时，每边桁架需用两座摇滚，内排摇滚间距4.2m，外排摇滚间距5.10m；三排桥梁时，内中排桁架各用一座，外排桁架不用。摇滚间距与双排桥梁同。为了避免阻碍外排桥架通过，三排时中排下的摇滚靠外边的小平滚必须拆下。

摇滚置于两岸的河边，其与河边的距离由地基承载力与土壤的静止角而定。摇滚的纵向(垂直于河流方向)位置，通常设在桥座座板靠河边一侧，使桥梁最后就位时，桥头端柱落在座板中心线上(图3-8)。摇滚与座板的距离为1m，至少不得小于0.74m。摇滚亦可放在座板背河边之一侧，但必须另加一节桁架才能使桥头端柱落在桥座上。在此种情况下，桥梁降落比较困难，但可缩短桥梁跨径，有时也可能因此改变桥梁组合，节省桥梁用料。

2．平滚用来拼装桥梁。在推出岸摇滚之后每隔6m安置一组平滚。平滚横向布置如图3-9所示，单排桥梁时，左右各用一副平滚，桁架占用靠外边的滚子；双排桁架桥梁时，左右各用两副平滚，内排占用里面平滚靠外的一个，外排占外面平滚靠里面的一个；三排桥梁时，内排桁架占用里面平滚靠外面的一个，中外排桁架分别占用外面平滚的两个滚子。

3．安置平滚之前先要布置好滚轮样盘。

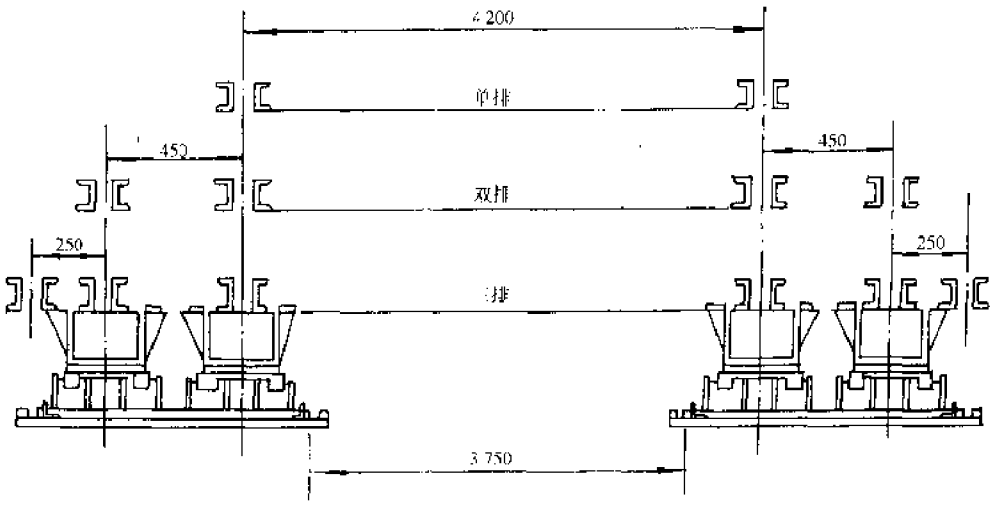


图 3-7　摇滚横向布置

(五)鼻架的设计

1. 鼻架即导梁,在桥梁推出时,用它先到达对岸,来保证桥梁推出的稳定性。

2. 鼻架的构造与长度,正常鼻架用单排单层桁架拼成,鼻架的格数通常为正桥的格数的一半再加 1,例如双排单层(不加强)24m 跨桥梁的鼻架为 $8/2+1=5$(格),对于奇格桥梁,其格数除 2 后取整数再加 1,鼻架一段不设加强弦杆,在每格前端竖杆后安置一根横梁,桥梁在 30m 以下,在奇数格的横梁上即第一、三、五格装斜撑,在偶数格即二、四、六格内装抗风拉杆,跨径在 30m 以上时,每格鼻架都要装斜撑和抗风拉杆,多排桁架鼻架还要装支撑架及联板。

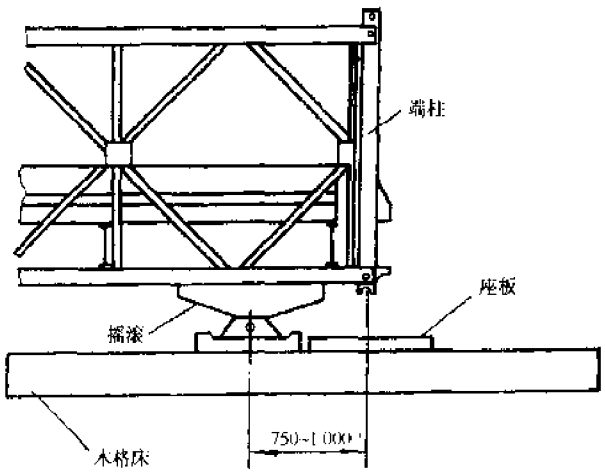


图 3-8　摇滚纵向位置

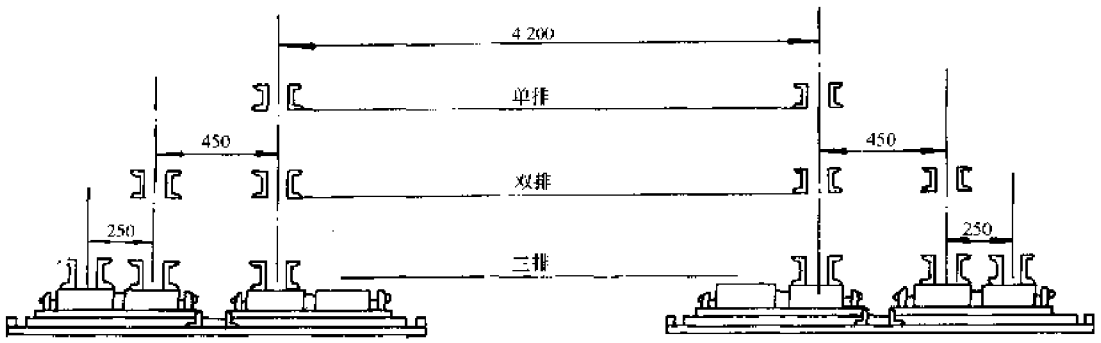


图 3-9　平滚横向布置

3. 鼻架端部的抬高度

桥架在推出时，由于悬臂部下挠或者是对岸地形较高，致使鼻架端部到达对岸后，低于摇滚，无法搭上，为解决这一矛盾，在鼻架下弦设专用工具下弦接头，将鼻架翘起一定高度（图3-10）。

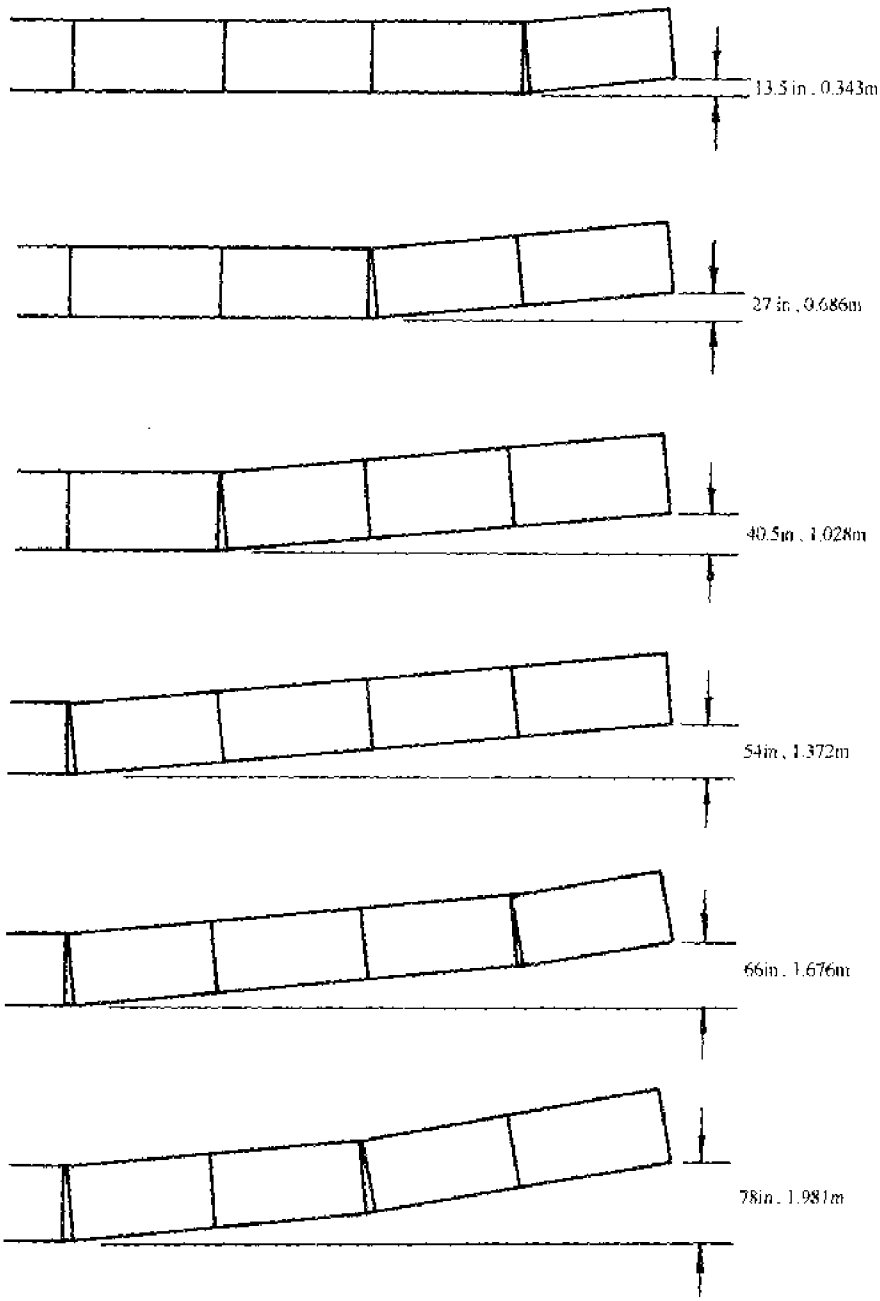


图3-10 鼻架翘高

下弦接头嵌在两桁架下弦之间，它的前端最多只能用四节桁架，若翘起的高度仍不能满足要求，则在前四节桁架间还可再装一个接头。

4. 鼻架部分部件数量

鼻架部分部件数量如表3-9和3-10所示。

不加强桥梁鼻架部分部件数量表

表 3-9

部件名称	单位	组合形式	单排单层					双排单层								三排单层							双排双层							三排双层						
		跨径(m)	9	12	15	18	21	9	12	15	18	21	24	27	30	18	21	24	27	30	33	36	24	27	30	33	36	39	42	33	36	39	42	45	48
桁架	片		4	6	8	8	10	4	6	8	8	10	10	12	12	8	8	10	12	12	14	14	10	10	12	14	14	16	18	14	16	18	20	22	24
销子(连同插销)	个		8	12	16	16	20	8	12	16	16	20	20	24	24	16	16	20	24	24	28	28	20	20	24	28	28	32	36	28	32	36	40	44	48
横梁	根		2	3	4	4	5	2	3	4	4	5	5	6	6	4	4	5	6	6	7	7	5	5	6	7	7	8	8	7	7	8	8	9	9
横梁夹具	个		4	6	8	8	10	4	6	8	8	10	10	12	12	8	8	10	12	12	14	14	10	10	12	14	14	16	18	14	16	18	20	22	24
斜撑	根		2	4	4	4	6	2	4	4	4	6	6	6	12	4	4	6	6	12	14	14	6	6	12	14	14	16	16	14	14	16	16	18	18
抗风拉杆	根		2	2	4	4	4	2	2	4	4	4	4	6	12	4	4	4	6	12	14	14	4	4	12	14	14	16	16	14	14	16	16	18	18
支撑架	个		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2	2	2	4	4	6

加强桥梁鼻架部分部件数量表

表 3-10

部件名称	单位	组合形式	单排单层						双排单层										三排单层							双排双层							三排双层							
		跨径(m)	18	21	24	27	30	33	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	33	36	39	42	45	48	51	42	45	48	51	54	57	60	45	48	51	54	57	60	63	66	69
桁架	片		8	10	10	12	12	14	8	8	10	12	12	14	14	16	18	18	14	14	16	16	20	20	24	18	20	22	24	24	28	28	20	24	26	26	28	30	34	34	36
销子(连同插销)	个		16	20	20	24	24	28	16	16	20	24	24	28	28	32	36	36	28	28	32	32	40	40	48	36	40	44	48	48	56	56	40	48	52	52	56	60	68	68	72
横梁	根		4	5	5	6	6	7	4	4	5	6	6	7	7	8	9	9	7	7	8	8	9	9	10	8	9	9	10	10	11	11	8	9	10	10	10	11	12	12	13
横梁夹具	个		8	10	10	12	12	14	8	8	10	12	12	14	14	16	18	18	14	14	16	16	20	20	24	18	20	22	24	24	28	28	20	24	26	26	28	30	34	34	36
斜撑	根		4	6	6	6	12	14	4	4	6	6	12	14	14	16	18	18	14	14	16	16	18	18	20	16	18	18	20	20	22	22	16	18	20	20	20	22	24	24	26
抗风拉杆	根		4	4	4	6	12	14	4	4	4	6	12	14	14	16	18	18	14	14	16	16	18	18	20	16	18	18	20	20	22	22	16	18	20	20	20	22	24	24	26
支撑架	个		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2	4	2	2	4	4	4	6	6	4	6	6	6	6	6	8	8	8
联板	块		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2	2	2	2	2

注：表列数量未考虑未装齐桥梁可利用之部件，亦不包括推出时桥尾压重之桁架数量。

(六)推出稳定校核

公路钢桥采用悬臂推出架设时,需要对下述问题进行计算:①推出岸滚轴的承载力;②推出的稳定性;③鼻架的强度与翘起高度。

1. 推出岸滚轴承载力的校核

1)公路钢桥在架设时通常在推出岸的末端设摇滚,当桥架推到一定位置,摇滚前后处于平衡状态时,推出全部重量由摇滚承受,比如架设双排单层跨径为27m的桥梁,鼻架为6节,则

正桥重力为:28.7kN × 9 = 258.3kN

鼻架重力为:9kN × 6 = 54kN

在推出岸末端共设4个摇滚,每个摇轴承重力312.3/4 = 78kN,小于摇滚的设计载重力250kN。

2)对岸摇滚承载力核算

对岸摇滚最大负荷发生在鼻架将全部推进对岸摇滚(前端鼻架未撤除)而正桥尚未搭上摇滚时(图3-11),此时只有两个摇滚支持着桥架(正桥搭上后才有四个摇滚支承)。以上述桥为例,每个摇滚承重力为:

$$\frac{1}{2}\times\frac{1}{25.5}(12W_1+34.5W_2)=\frac{1}{51}(12\times258.3+34.5\times54)=97.4\text{kN}<250\text{kN}$$

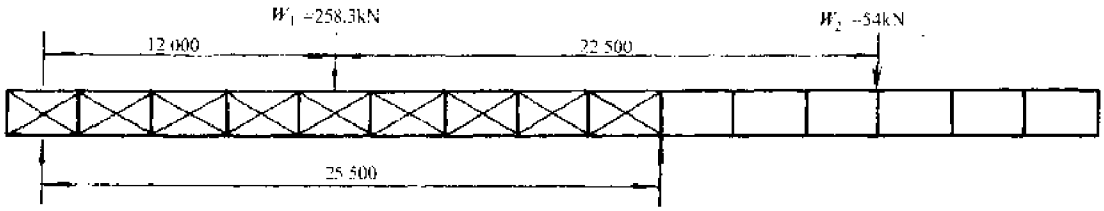


图3-11 对岸摇滚受力图

2. 推出时桥架的稳定性验算

桥架推出时,在推出岸摇滚前桥架结构的自重对摇滚形成倾覆力矩,应不大于摇滚之后桥架结构自重对摇滚形成的稳定力矩,才能保证桥架在推出过程中不至倾覆,计算方法如下:

设架设一座三排单层(不加强)的30m桥梁,推出时设有单排单层结构的6格鼻架,假定鼻架端距对岸摇滚尚有1m的距离(图3-12),试算推出时的稳定。

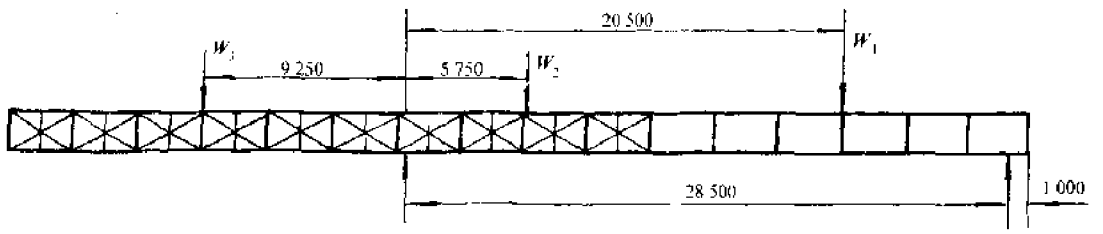


图3-12 桥架稳定验算简图

根据表3-7单排单层的鼻架每格自重为9kN,全部装齐的三排单层桥梁每格自重为34.4kN,则:

$$W_1 = 9\times6 = 54.0\text{kN}$$

$$W_2 = 34.4\times(11.5/3) = 131.9\text{kN}$$

$$W_3 = 34.4\times(18.5/3) = 212.1\text{kN}$$

倾覆力矩：$M_1 = W_1 \times 20.5 + W_2 \times 5.75 = 1865.4\text{kN}\cdot\text{m}$

稳定力矩：$M_2 = W_3 \times 9.25 = 1961.9\text{kN}\cdot\text{m} > M_1$　安全

3、鼻架强度的验算

有以下两种情况，需要验算鼻架的强度：一是当鼻架处于悬臂状态时，其下弦受压的稳定性。二是当鼻架搭上对岸摇滚后，桥梁继续前进鼻架将产生最大正弯矩，如图 3-13 所示。一般情况下，前者并非控制因素，后者却需要重视，尤其是跨径较大的桥梁，实际架设中曾有过这种教训。

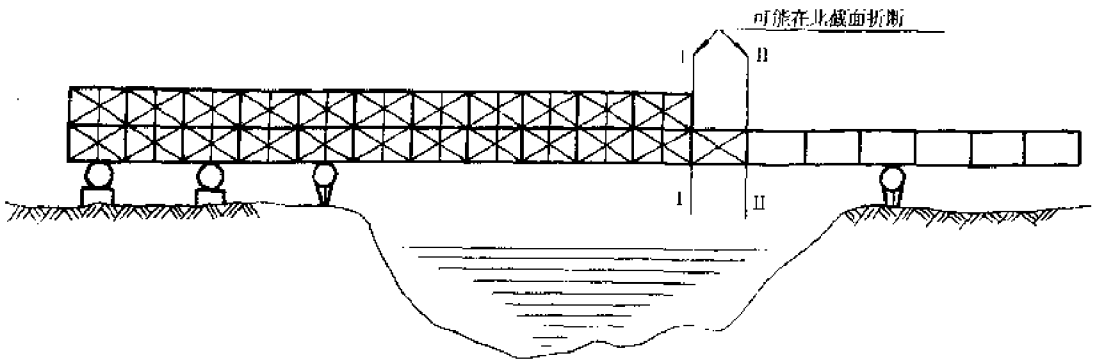


图 3-13　鼻架验算简图

验算时，可用试算法求得产生鼻架最大弯矩的位置并且验算鼻架与正桥结合部的弯矩。此弯矩一般不应大于下列数值。

单排单层：788kN·m

双排单层：1576kN·m

三排单层：2246kN·m

单排单层桥梁的鼻架可不必验算。

三、桥梁构件的拼装

如前所述，公路钢桥主梁结构有单层、双层。其中又有加强的和非加强的等 10 种结构形式，本节主要叙述双排和三排的单层桥梁的拼装方法，至于其他形式的拼装方法，大同小异，不作详述。

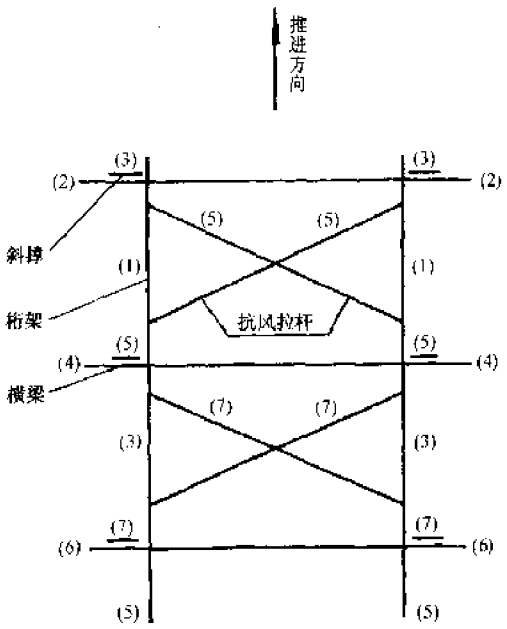


图 3-14　鼻架拼装方法

(一)双排单层桥梁的拼装

1. 鼻架的拼装

鼻架的拼装方法、顺序如图 3-14 所示。

(1)在推出岸每个摇滚上各竖一片桁架，阴阳头保持一致。

(2)在桁架前端竖杆后面设一根横梁，用横梁夹具半固定。

(3)安装第二格桁架，并在第一格桁架的横梁上装上斜撑，拧紧横梁夹具。

(4)在第二格桁架前端竖杆后安装一根横梁，用夹具半固定。

(5)安装第三格桁架，并在第一格装抗风拉杆(跨径在30m以下桥梁可不装)，在第二格横梁上装斜撑(跨径30m以下桥梁也可不装)。

按此方法进行，直到鼻架拼装完毕，拼装时注意保持桁架平稳；为防止桁架横向变位，应注意前一格的抗风拉杆应在后一格的横梁安装之后，才可装上。

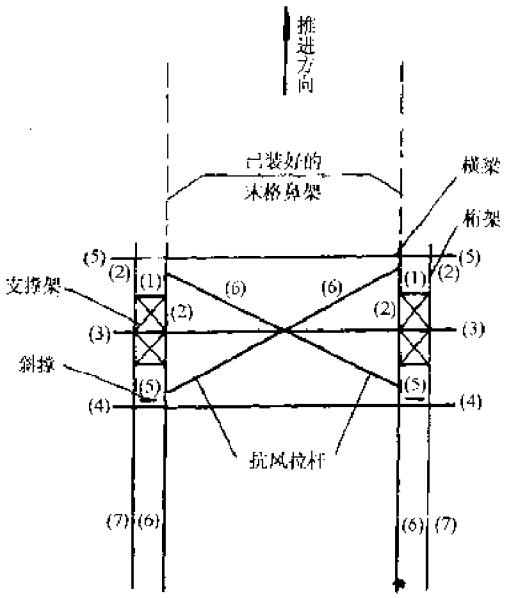


图3-15 双排单层正桥第一格拼装顺序图

如需鼻架上翘克服两岸高差时，可在鼻架最后一格再增加下弦杆接头。

2. 正桥的拼装

正桥的第一格与其余各格的拼装顺序略有不同，分别叙述如下：

第一格拼装程序如图3-15所示。

(1)鼻架拼装完后，先以两片桁架联于鼻架之最后一节上。

(2)在上述桁架外边再放一片桁架，并安上支撑架(不拧紧螺栓)以构成临时框架。

(3)在桁架中竖杆前插入横梁就位，然后安上横梁夹具，但暂不夹紧。

(4)将第二根横梁装于后端竖杆之前面，用夹具轻轻扣牢。

(5)将第三根横梁于前端竖杆之后，同时在第二根横梁上安斜撑。

(6)再装次一格之内排桁架，同时在第一格装抗风拉杆。

(7)装上第二格之外排桁架，同时旋紧第一格支撑架、横梁夹具及抗风拉杆。

至此第一格桥已拼成，第二格桁架也已装上。第一格不铺纵梁与桥面板，待桥梁推到对岸座落就位，端柱上横梁也装好后，再铺设。

第一格桁架的前竖杆后有一根横梁(唯一一装在竖杆后面的横梁)，装此横梁的目的，是阻止第一格桁架端头由于抗风拉杆拉紧后而产生的横向变形，从而避免在端柱上装横梁时发生困难，待桥梁座落后，该横梁即从原处移至端柱上。

其余各格，拼装程序如图3-16所示。

(1)第二格桁架装好后，安装第三格内排桁架。

(2)将横梁装于第二格后端竖杆之前面，用横梁夹具扣上，但不拧紧。

(3)在第二格的横梁上装斜撑，同时安装抗风拉杆及拼第三格的第二排桁架，抗风拉杆暂不拉紧。

(4)装第二格之中横梁，扣上横梁夹具。

(5)安装支撑架，然后旋紧第二格之抗风拉杆及横梁夹具。

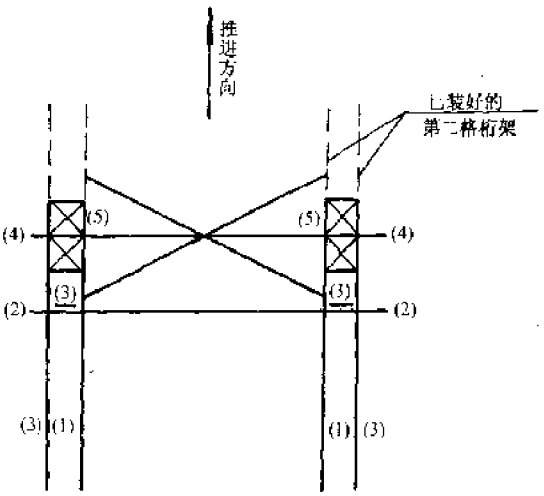


图3-16 双排单层正桥其余各格拼装顺序图

(6)铺装有扣及无扣纵梁各两组，并铺上桥面板及护轮木。

以后各格按同样顺序安装。

3. 三排单层正桥部分的拼装。

第一格拼装顺序如图 3-17 所示。

(1)将第一格之内排桁架连接于已装好的鼻梁上。

(2)抬上第二排桁架，在第一与第二排桁架之间安支撑架，待第一格横梁就位后拧紧支撑架螺栓。

(3)装上第二格之第二排桁架。

(4)抬上第一格之第三排桁架，各以一人扶松。

(5)第一格桁架中竖杆前装横梁，用夹具扣住，但不夹紧。

(6)在第一格桁架后端竖杆前加入第二根横梁。

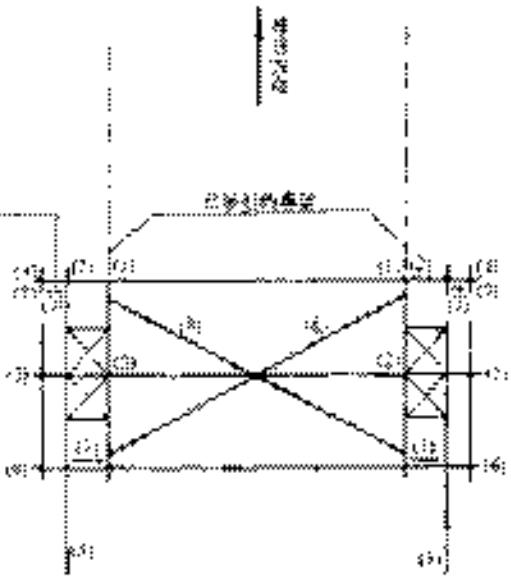


图 3-17 三排单层正桥第一格拼装程序

(7)向在同一格桁架前端竖杆后安装第三根横梁，并在第二根横梁上装拼撑。

(8)装第一格之抗风拉杆，并在第二与第三排桁架前端竖杆上安联板，然后旋紧所有横梁夹具。

第一格桁架至此安装完毕，此时第二格之第二排桁架亦已装上。

其余各格拼装顺序如图 3-18 所示。

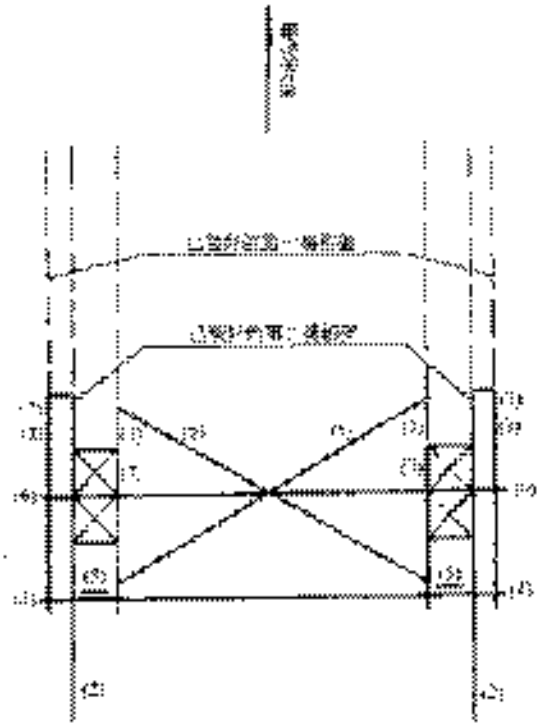


图 3-18 其余各格拼装程序

(1)装上第二格之内排桁架。

(2)装上第三格之第二排桁架。

(3)装上第二格之第三排桁架。

(4)在第二格桁架之后竖杆前安上横梁，不夹紧。

(5)在次拼梁上装斜撑，同时安装抗风拉杆。

(6)装中横梁。

(7)安上支撑架及联板。

(8)拧紧横梁夹具及抗风拉杆。

以同样程序继续拼装第三、第四格，直至全部完成为止。

在稳定力矩桁段可装齐纵梁，桥面板，在微弱力矩桁段桥面只装有扣纵梁。

4. 在已建成的单排单层或双排单层桁架上加装第二排或第三排桁架，在已建成的单排或双排桁架上，若欲提高其通过能力，则需在桁架的外边加装桁架排次，以增加桁架的承载力。

加装桁架应从桥中央开始向两端进行，使拼梁的挠曲较为均匀。

先将桁架拼装平台清理干净，确认支点位置与已预留的预埋件。将梁上下弦杆运至现场，检查杆件相架，按图将下弦杆节点板螺栓拧紧，并焊接下弦杆，使其支在横梁端部。此时利用预先制定的起重机械将梁主的接头吊杆，螺栓拧下销轴，逐渐下落杆件于横梁之下，利用螺栓将梁拔其最高就位。每次一节桁架，执行需移动一次，直至固定执行时，要先检查于横梁。

3. 单层桁架拼接要点及注意事项

(1)单层桁架可以在横向导轨好后再整体、亦可以逐件随步、节架用随拼随推的方法，则必须掌握桁架的重心在轴线的范围，以免倾覆。

(2)弦节桁架可采用下面简单的方法进行安装：将拟安装的桁架端上，放在已装好的桁架腹面，并与其成一直线，两人用本棍架过节点板和桁架端部螺栓孔，经验孔对准后，插入销子，然后的拆起桁架后端，插上端销子。

(3)如遇桁架为通长受限制，横梁由外穿插有困难时，可在桥梁两侧桁架的中间安装。在此种情况下，横梁一端需先穿过桁架的大方格，然后使另一端插入二条形格，再将大方格中的一端移至联接处就位安装。

(4)三排单层桁架式：将之第二排桁架，必须在安装第一排第三排桁架之前安上。否则，因为第二与第三排桁架间隔较小，铺行一整的第二排桁架销子时会遇到困难。

(5)为了销子穿拔的方便，三排单层桁架销子的穿插方向规整：两排桁架从侧(指面一边)往外插，第二及第三排均从外往里插。销钉上的销子可不遵循此规定。

(6)桁面系的安装，一般与其它各项工作同时进行、操架、桁面板及护轮木可从桥梁两侧桁架往往进推铺设。但由为减轻桁架的悬出质量，上述操作待桁架完成推出后，再予安装亦无困难。

(7)对于桥上暂不安装的部件，在桁架推铺结束于墩上。桥尾的平衡重都须按需要加上。

(8)在操装、斜撑、支撑架及联接等好后，方能拆横梁吊具及抗风拉杆等。

(9)任何部件遇到安装有困难时，应查明原因，切不可盲目敲击。

(10)插销子时要注意，保险插销孔要铰成，以便于插保险销。

(11)拼装悬臂时，如有必要接下弦接头，切不可忘记在决定加入之节点，加装进去。

(12)检查各桥桁架节点必须随时进行调整，保证成一直线，不得有弯折现象。为此，各桥抗风拉杆之松紧及长度应保持一样。

(13)桁架末节之端柱，应在桁架推过所有平衡之后才予装上。一方面避免桁架推出时受平衡重阻，另一方面防止悬为过猛，桥尾将出摇滚之外，损坏滚轮。

(二)成品拼装的拼装方法

1. 叠架：拼装程序与架设单层桥梁的叠架相同，仅当用双排单层或三排单层叠架时，应加装支撑与联板。

2. 双排双层桁梁的拼装：完成一排双排单层的底层桁架后，上层桁架即可于底层第一排上开始拼装。底层桁架的拼装工序仍继续进行，使保持在上层桁架后三格的距离。当为节省搭建及拆卸数量，待下层桁架拼完第六格后，亦可先将桥端出，使悬臂最出河岸，至桥第一格落在推出滚轴上，然后继续工作直至完成拼装任务。在人员、机械缺少时情况下，亦可待下层桁架全部拼好后，再开始上层桁架。

上层第一格外排桁架的拼装(图3-19)：

(1)装置各销子，并穿插，置于第一格之横联上。

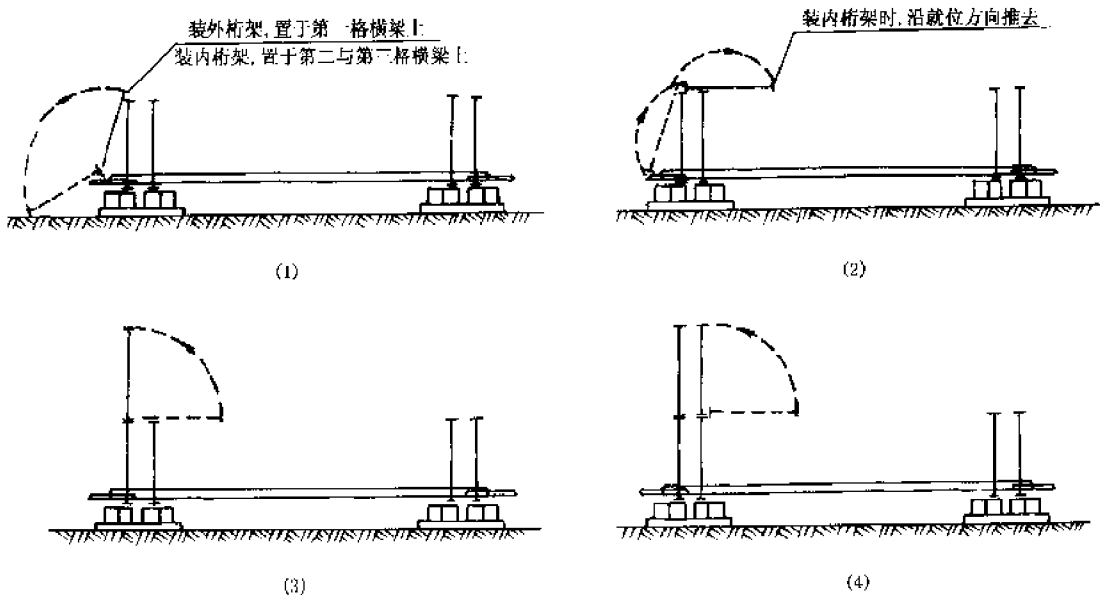


图 3-19　双排双层桥梁上层第一格桁架安装方法示意图

(2)将桁架翻起斜靠于底层桁架之上弦杆上，向桥面中心推进，然后平搁在底层桁架之顶面。

(3)将桁架翻起再向内(桥面中心)推，使桁架下弦杆抵于底层外排桁架之上弦杆上，以桁架下弦为轴，举起桁架之上弦，使成垂直位置，对准弦杆螺栓孔——不要拧紧，以桁架不致倒下为宜。

上层第一格内排桁架的拼装，基本与外排同，首先将桁架置于第二与第三格底层横梁上，翻上去后再沿就位方向推去，直至桁架之安装位置竖起安装。

桁架就位后，在其顶部及两端竖杆上装支撑架，最后旋紧桁架螺栓及撑架螺栓。

上层其余各格的桁架的安装方法与第一格相同。

3. 三排双层桥梁的拼装：与双排双层桥梁的拼装一样，完成 4 格三排单层的底层桁架后，即开始安装第一格上层桁架。但考虑拼装过程中的重量平衡，下层桁架拼完 7 格后，始可将鼻架推出。

为装拆方便起见，三排双层桥梁的上层桁架之销子，最好均由里往外插。因此，次一格之外排桁架必须在前一格之中排桁架之前装上，否则外排销子就无法安装。桁架就位后，在第一与第二排桁架之后竖杆上(如为第一格应同时在前竖杆上)及顶部安支撑架，另外应在第二与第三排桁架之前竖杆上装联板。因第一格前竖杆上的支撑架孔已被支撑架占用，故此处联板应移至上弦杆上安装。

架设三排双层的上层桁架，必须利用托梁将底层横梁接长，使两边抬上的桁架有搁置的地方。

4. 上层桁架宜用机械吊装，地形不允许或缺乏机械时，可用扒杆吊装。应用扒杆吊装上层桁架，需配备几根木扒杆、滑轮、缆风绳和卷扬机。在预先架好的下层桁架上，利用扒杆可一次将一排上层桁架装上。较大跨径分几次亦即完成。但是该法需绑紧扒杆与缆风绳、缠绕牵引拉索等的额外时间，所以架设速度较慢。

(1)将两根扒杆分别竖立在正桥 1/4 处(如分段吊装另选位置)的第一与第二排底层桁架

间或桥内侧，必要时可辅以缆风绳，扒杆上端以钢丝绳绑上一个多片滑轮，最后系在其中一个滑轮上。

(2)用另一钢丝绳，其一端引向卷扬机，另一端通过导向滑轮(单片开口)穿过扒杆上端的多片滑轮与起吊滑轮，最后系在其中一个滑轮上。

(3)在桁架外侧地面上或内侧桥面上，各拼装单排桁架。

(4)起吊滑轮通过短钢丝绳与预先拼装好的桁架1/4处的上弦杆节点连结起来。

(5)用卷扬机吊起桁架，使下弦高出底层桁架少许，对准弦杆螺栓孔后，从跨中向两端依次插入桁架螺栓。

(6)安装支撑架及联板，并旋紧桁架螺栓。

扒杆吊装上层桁架示意于图3-20。

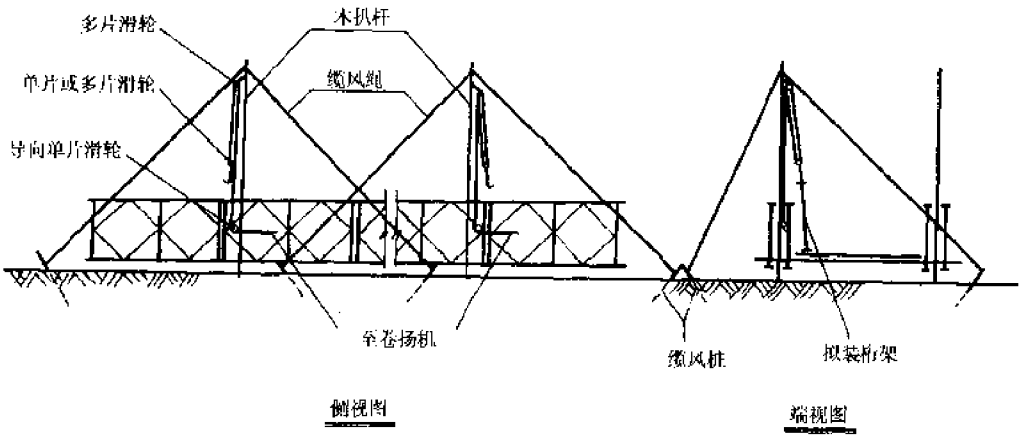


图3-20 扒杆吊装上层桁架示意图

5. 在狭窄桥头的拼装方法：若遇桥头地形狭窄，桥梁在拼装完成之前即须向前推进。此时在河流上空之鼻架必向下弯曲，使在平滚上的桁架有向上拱起之趋势，上弦各处不能保持水平，致使上层桁架之上部销子的安装发生困难。但在曲线的反弯点(即拱顶)附近略成水平，易将上部销子插入。因此上层桁架即利用此反弯点进行拼装。

桁架可在较后节的下层桁架上装(安装方法与上述2、3节相同)，先插桁架螺栓及下弦销子，待该桁架推到反弯点附近再装上弦销子。

或者，应用弦杆千斤顶按照第一章第1节所述方法，在弯曲的弦杆上安装桁架。

6. 在已建成的单层桥梁上安装上层桁架的方法：有时为了增加通过能量，改单层桥梁为双层桥梁。已建成的单层桥梁，跨中的自然挠曲是不可避免的，因而上弦无水平之处，必须利用弦杆千斤顶方能将上层桁架装上。弦杆千斤顶的使用方法参照第一章第1节所述的方法办理。桁架安装务须注意下列各点。

(1)桁架安装顺序应由跨中向两头对称进行，桥梁两边要同时安装，其进度也大致求得一致。

(2)首先安装的一节桁架，其与下层连接的桁架螺栓暂不予拧紧，桁架之间的支撑架或联板要装上去。

(3)以后每装一节，在操纵菱形千斤顶之前，须将前一节的支撑架或联板安紧。

(4)一个菱形千斤顶可同时推顶内、中排桁架，因为此时该两桁架已装好支撑架形成框架。菱形千斤顶推顶其中一片桁架，即可带动另一片桁架，先插被带动的桁架的销子，然后将千斤

杆倒转少许，另片桁架的销孔亦就对准了。

（三）加强桥梁的拼装

所谓加强桥梁即在桥梁的主梁（桁架）上增设加强弦杆，以增加主梁的抗弯能力，因此，组成加强桥梁的所有零部件与非加强桥梁基本相同，所不同的是：(1)在桁架上、下弦杆外缘设一加强弦杆，用弦杆螺栓与之相连（主梁的两端第一节桁架可不装加强弦杆）；(2)在双排或三排的加强桥梁中，第一与第二排之间顶面的支撑架装在加强弦杆上，连接支撑架的螺栓必须在加强弦杆与桁架连接之前预先拧到加强弦杆上。否则，支撑架螺栓无法插入；(3)为便于桁架推出，在桥梁两端桁架下弦须设斜面弦杆。

加强桥梁的拼装，与非加强桥基本相同，因增设了加强弦杆，少数步骤略有不同。

1．单层桥梁

加强弦杆与桁架的拼装通常采用两种方法：一是先将加强弦杆与桁架（至少是下加强弦杆）相接好，再拼装，这样桁架单元重量增加不便搬运，但拼装速度较快；另一办法是在拼接桁架时，将加强弦杆与桁架分别逐件拼连。

2．双层桥梁：拼装底层桁架可沿用单层桥梁的同样方法。上层桁架和上加强弦杆则分别进行安装。若用起重机吊装，可将内中排上层桁架连同加强弦杆，用支撑架预先连接，构成框架一起吊装。第三排桁架与加强弦杆需作另一次吊装。

用人力装配上层桁架，其方法与非加强桥梁一样，可参照上述有关章节。

四、桥梁的推出

桥梁推出时用力务须均匀，以减少悬空部分的震动。推进方向应严格掌握，如发现偏差应立即纠正，特别在桁架接近平衡点容易转动时，可采用拨动尾部的办法彻底对正。

桥梁的推出可完全利用人力，也可用动力拖拉。根据试验资料，桥梁推出时，产生在滚轴上的磨阻系数约在0.1～0.15之间。

人力推出具有准备工作简单、容易控制推出进度、速度快，且不需配置牵引设备等优点。但它只能用于推出重量较轻的小跨径桥梁，而且往往由于两旁施力不易均衡，桥梁容易偏向。因此，指挥员必须时刻注意桥梁的推出方向，随时加以调整。当人力无法推动时，可用撬棍在桥后协助撬动，但不能用力过猛，以免将横梁拆弯或破坏横梁夹具。

随着桥梁向前推出，容纳推桥人员的地方愈来愈小，至最后快要就位时，桥梁几乎无施力之处。因此，利用人力推出时，最好采用推拉结合，将一部分人员调至对岸，通过绳索协同推出岸人员拉桥前进。

五、桥梁的座落

桥梁座落用普通千斤顶在桥梁下弦，其位置最好在桁架弦杆与腹杆交点，千斤顶与弦杆之间放一块厚板，将压力平均传布到弦杆的两个槽钢上。切不可把千斤顶顶在一根槽钢上，更不应该让槽钢翼缘单独承受千斤顶的力量。在一般情况下千斤顶应座在垫木上，将桥梁的压力分布在较宽大的地面上，千斤顶与垫木的高度，应根据桥梁的降距及千斤顶的行程而定，最后使桥梁能一次座落。

六、引桥

桥梁座落工作完成后，即开始铺设引桥。

连接桥梁与路堤的引桥，其纵坡不宜过大。由于桥面高于座板底面 70cm，在一般情况下，应将地基开挖，降低桥梁底部标高，尽量使引桥保持较缓的坡度。

引桥可用一节亦可用两节，视地形与引桥需要保持的纵坡而定。只有一节引桥时，其与桥梁相接之一端支承于端横梁上，其与河岸连接之一端，支于枕木上。枕木长度等于引桥宽度。若用两节引桥时，则于中间加一根中横梁。中横梁至桥座中心之距离：推出岸为 2.77m；对岸为 3.14m。中横梁用 4 个搭板支座支承，以防其倾倒，每对搭板支座下平放三根 23cm × 10cm × 200cm 的垫木。

七、劳力的组织

架设公路钢桥的劳力组织可根据桥梁的型式、要求、架桥的时限速度、现有劳力人数等因素而定。完全用人力拼装各基本部件时的劳力组织和需要的人数为：

桁架装运组（8 人），加强弦杆组（2 人），横梁组（8 人），连接组（10 人），桥面组（10 人），共 40 人左右。

八、桥梁的使用与维护

1. 在桥梁两端应设载重吨位的标示牌，防止超载。
2. 定期检查、桁架连接销的保险销，各种螺栓，横梁夹具及抗风拉杆有无松动、丢失。
3. 对严重集水和易锈蚀部位应设法排水和防锈、涂漆、涂油。
4. 主梁两岸支座地基有无不均匀沉降。
5. 经常注意观察，定期测量桥梁跨中挠度。如变化较大时，应查明原因，加以处理。

第三节　单跨桥的应用设计实例

应用设计的目的是根据江河的宽度，通过桥梁的载重量、使用寿命等来具体确定桥梁的跨径，主梁桁架的组合形式和桥面系的构造。一般来说进行这一设计利用表 3-1 即可完成，但如通过的荷载和河川的宽度超出表 3-1 所列数字的范围时，往往需要进行应用设计；例如：木质桥面板是按承受轮压 60kN 而设计的，如架设的桥面车轮压力大于 60kN，就需要另行设计。再有，公路钢桥原设计每节桁架内（3m）设两根横梁，承受单轴最大压力为 125kN 或两个轴（轴距不小于 1.22m），总重不超过 200kN 的轴压力的车辆，而实际运用时有时会出现超重车辆，这种情况，必需进行应用设计。

应用设计的基本任务是根据现地地形和需要通过的荷载，综合考虑确定下列事项：

1. 桥梁的跨径；
2. 主梁（即桁架）的组合形式；
3. 校核桥面构件（横梁、纵梁、桥面板）的强度；
4. 校核桥梁末端的最大剪力；
5. 计算桥跨中点产生的最大弯矩，以校核主梁（桁架）的强度。

示例：

某工地需架一座桥跨越一条 19m 宽的河沟，通过车辆为 25t 的汽车，汽车全宽为 2.7m，全车有两个轴，轴距 3.3m，前轴压力 80kN，后轴 4 轮负载 170kN。

1. 试确定该桥的跨径，主梁横断面的组合形式。

2. 校核桥面系构件的强度。

解:1. 公路钢桥标准设计桥面宽 3.7m,通过本桥车辆全宽为 2.7m,用标准桥面可以满足要求。

2. 通过的车辆后轴负载 170kN,为 4 个车轮,轮压力为 42.5kN,小于木桥面板 60kN 的承载能力,本桥可用木桥面板,但材料质量要保证。

3. 公路钢桥标准设计,在每节桁架内装两根横梁,承受最大轴压力为 125kN,现通过的车辆单轴最大压力为 170kN,需要校核纵、横梁的强度。

4. 根据河面宽度和两岸地形、地质状况,初步确定该桥跨径为 21m,主梁采用加强单排单层截面。

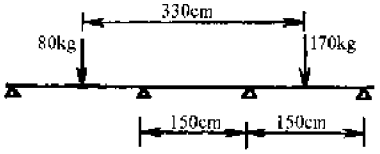


图 3-21 纵梁受力图

5. 纵、横梁强度校核

(1)纵梁受力计算(图 3-21)

假定重轴作用在纵梁的跨中,查"结构静力计算表"跨中最大弯矩

$$M = 0.203pl = 0.203 \times 170 \times 1.5 = 51.765\text{kN} \cdot \text{m}$$

在桥梁横断面内,布有四组共 12 根纵梁,其间距为34.9cm(图 3-22)。

参照桥梁规范,当单行道桥车轮在桥面上(木桥面板)的分布,桥面板厚约 10cm 时,其分布量约为 1.22m,则作用在每一根纵梁上的力为:

$$p = 85000 \times \frac{34.9}{122} = 24315.6\text{N}$$

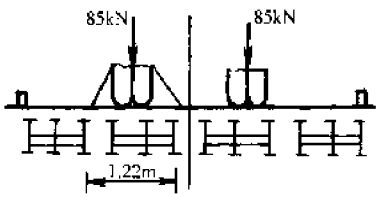


图 3-22 每根纵梁受力

冲击系数:

$$1 + \mu = 1 + \frac{15}{37.5 + l} = 1 + \frac{15}{37.5 + 1.6} = 1.384$$

汽车产生的最大弯矩:

$$M = \frac{1}{4}pl(1 + \mu) = \frac{1}{4} \times 24315.6 \times 160 \times 1.384$$

$$= 134610.6\text{N} \cdot \text{cm}$$

纵梁端部剪力:

$$\text{偏载系数 } \eta = \frac{4.9 + 15}{34.9} = 0.57$$

车辆产生在纵梁端部的最大剪力:

$$Q_p = \eta \cdot p(1 + \mu) = 0.57 \times 85000 \times 1.384 = 67054\text{N}$$

静载产生的弯矩剪力较小,此处忽略不计。

(2)纵梁的截面应力

纵梁为 I_{10},其截面系数 $W_z = 39.7\text{cm}^3$

$$\sigma_{弯} = \frac{M}{W_z} = \frac{134610}{39.7}$$

$$= 339.07\text{MPa} > 210.0 \times 1.3 = 273\text{MPa}(\text{不安全})$$

$$\tau = \frac{Q}{h\delta} = \frac{67054}{8.56 \times 0.45} = 174.65 < 1.3 \times 160 = 208\text{MPa}$$

可见弯矩超过，因此，需在每节桁架内设4根横梁，则纵梁的最大跨径为128.6cm和130cm计算。

$$M = \frac{1}{4}pl(1+\mu) = \frac{1}{4} \times 2431.55 \times 130 \times 1.384$$

$$= 1095690\text{N} \cdot \text{cm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1095690}{39.7} = 275.9\text{MPa} > 273\text{MPa}$$，超1%，可行。

6. 主梁桁架应力校核

(1)系数计算

A.汽车重心位置(图3-23)

$$\Sigma M_0 = 0$$

$$8.0 \times (3.3 - x) = 17.0x$$

$$x = 1.056\text{m}$$

B.横向分配系数

$$k = \frac{1}{2} + \frac{e_0}{B_0}$$

$$e = \frac{3.7 - 2.7}{2} = 0.5$$

$$k = \frac{1}{2} + \frac{0.5}{4.2} = 0.619$$

C.冲击系数

$$1 + \mu = 1 + \frac{15}{37.5 + l} = 1 + \frac{15}{37.5 + 21} = 1.256$$

(2)桥梁端部剪力计算(图3-24)

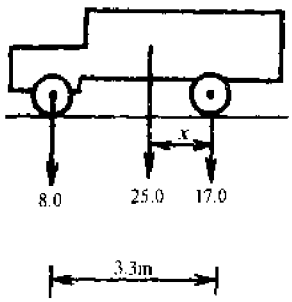


图3-23 汽车重心位置

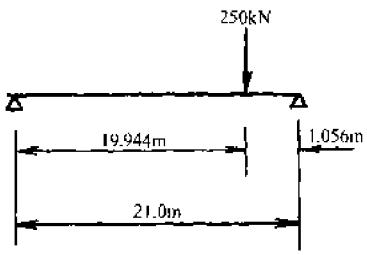


图3-24 桥梁剪力计算简图

$$Q_{max} = Q_{静} + Q_{活}k(1+\mu)$$

$$Q_{静} = \frac{1}{2}gl$$(查表单排单层结构半桥自重为4.11kN/m)

$$= \frac{1}{2} \times 4.11 \times 21 = 43.15\text{kN}$$

$$Q_{活} = \frac{250 \times 19.944}{21}$$

$$= 237.43\text{kN}$$

$$Q_{max} = Q_{静} + Q_{活} k(1+\mu)$$
$$= 43.15 + 237.43 \times 0.619 \times 1.256$$
$$= 227.2\text{kN} < 245.2\text{kN} = [Q]$$

(3)主梁最大弯矩计算

$$M_{max} = M_{静} + M_{活} k(1+\mu)$$
$$M_{静} = \frac{1}{8} gl^2 = \frac{1}{8} \times 4.71 \times 21^2 = 259.6\text{kN} \cdot \text{m}$$

简支梁最大弯矩在跨中可将车的重心放在桥跨中点(图3-25)计算 $M_{活}$

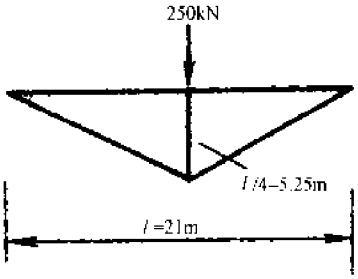


图 3-25 弯矩计算简图

$$M_{活} = 250 \times 5.25 = 1312.5\text{ kN} \cdot \text{m}$$
$$M_{max} = 259.6 + 1312.5 \times 0.619 \times 1.256$$
$$= 1280\text{kN} \cdot \text{m}$$

查表得加强单排单层桁架抗弯能力为:

$$1687.5\text{kN} \cdot \text{m} > 1280\text{kN} \cdot \text{m}$$

计算结果:该桥用木质桥板,每格桁架用4根横梁,主梁跨径为21m(七节桁架),加强的单排单层结构。

第四章　多跨桥结构设计与架设方法

装配式公路钢桥原设计为单跨桥，桥梁最大架设单跨长度69m，如添设中间桥墩(脚)，架成多跨桥(图4-1)，桥梁长度可成倍增加。对于施工便桥或其他临时性轻型桥梁，中间桥墩(脚)一般用桩柱式，如中间桥墩是在岸上或在地基承载力较高的位置上，可用本器材的桁架或其他就便材料拼成排架桥脚。多跨桥的主梁和桥面系可采用本器材原设计的桥跨结构，必要时主梁也可采用上承式和非标桥面系结构，本章主要介绍多跨桥桩式、排架式中间桥墩(脚)，以及上部构造的设计和施工方法，并介绍一个多跨桥的应用示例。



图4-1　多跨桥

第一节　桩式中间桥墩(脚)

一、结构式样

根据装配式公路多跨钢桥的使用时机，其中间桥脚多采用桩式中间桥脚，其结构式样，随桥脚水深高度、主梁排数而定，每个墩脚桩的数量，必须保证在每一排主梁下有一根桩，而且主桁架的节点必须与桩柱中心正对。桥脚高度小于5m时，一般多用单式，大于6m时宜用复式。

桥跨主梁为单排或双排桁架的桥脚式样如图4-2所示。

二、桩柱入土长度及其与盖梁的连接

1. 打入桩长度，一般随水深、土壤性质和桥脚高度而异，施工时须经试桩，满足落沉量的情况而定，一般要求，打入桩入土深度不得小于2.5～3.0m，桩的顶面标高应满足设计要求，一个桥脚内各根桩的标高必须一致。

2. 多跨公路钢桥的中间桥脚的盖梁一般用方木或组合型钢制作，盖梁与桩的连接要求如下：

1)如盖梁与桩柱均为木材时，一般用通心钉和两爪钉连接，桩其一为木或其他材料时，可用通心钉或其他特别连接机构连接。

2)盖梁与桩均为钢材时，一般是将桩长按设计标高割齐平后，用焊接连接，如需桩直径较大，钢管壁较薄时，可先在钢管内填砂，或实后，在桩顶部 80～100cm 范围内浇灌混凝土，在混凝土中设置埋件与盖梁相连。

3)对钢筋混凝土打入桩，需要专用工具将桩按标高齐平用特制连接件与盖梁相连。

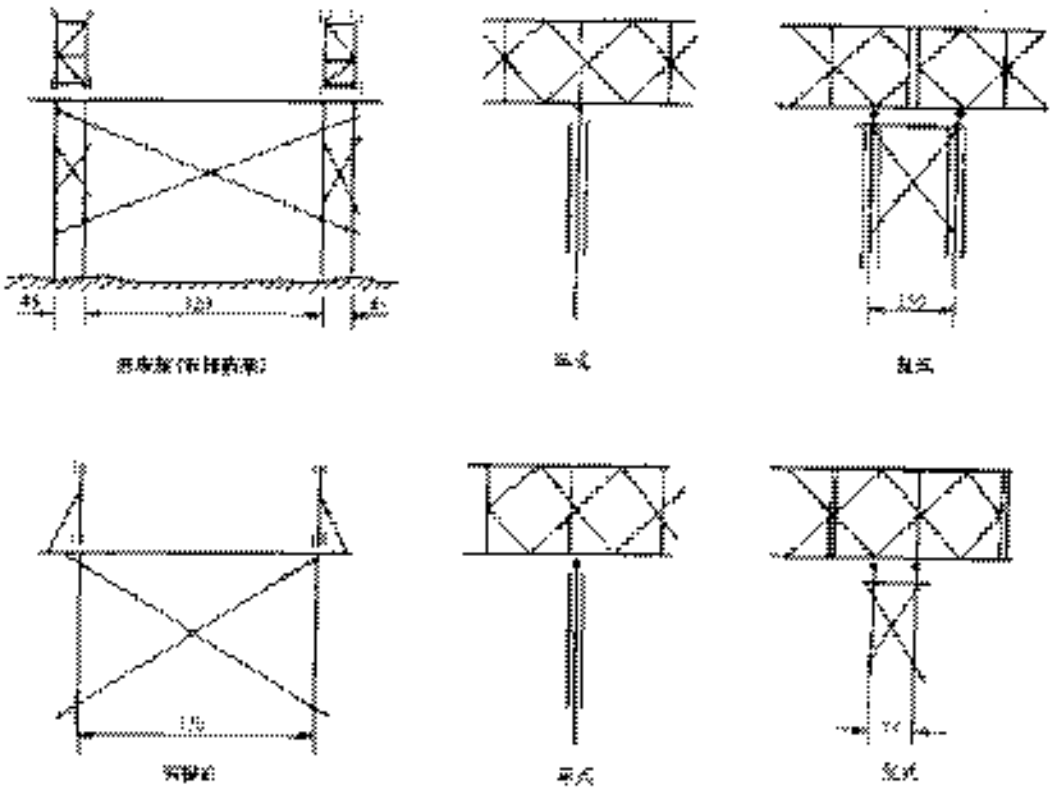


图 4-2 桩式桥脚式样(单位:cm)

三、中间桥脚的受力计算(图 4-3)

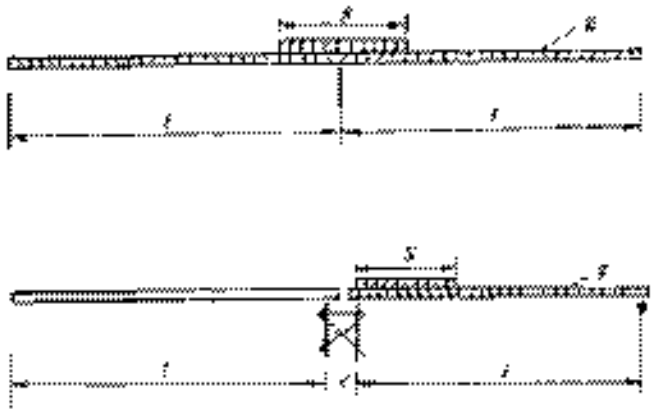


图 4-3 静载和车辆荷载对桥脚压力计算图

1. 单式桥脚受力计算

$$A = \frac{gl}{n} + Q\left(1 - \frac{S}{4l}\right)(1 + u)K$$

2. 复式桥脚受力计算

$$A = \frac{gl}{n} + Q\left(1 - \frac{S - C}{2l}\right)(1 + u)K$$

式中：A——每根桩承受的压力(kN)；

g——桥跨自重，见第3章表3-6；

S——车辆荷载长度(m)；

Q——车辆总重力(kN)；

$1 + u$——动力系数取1.1；

K——横向分配系数，桩不等距配置时：

$$K = \frac{1}{n} + \frac{ea_1}{a_1^2 + a_2^2}$$

n——一个桥脚内的桩数；

a_1——在同一桥脚内两边桩的间距(m)；

a_2——中间桩的间距(m)；

e——车辆最大偏心距(m)；

四、单桩受垂直荷载的强度计算

1. 木桩的计算直径应不小于

$$d_p = 2\sqrt{\frac{A}{\varphi\pi[\sigma]}}$$

式内：d_p——桩柱的计算直径；

A——对桩柱的压力；

$[\sigma]$——木材的顺木纹容许压应力；

φ——纵向弯曲系数，根据桩柱的计算长度与桩柱的计算直径 d_p 之比 $\frac{l_p}{d_p}$ 的值查表4-1确定，为了保证桩柱稳定性 $\frac{l_p}{d_p}$ 不应超过30；

l_p——桩的计算长度，为 $0.8h_1$；

h_1——从土壤表面到盖梁的距离。

纵向弯曲系数 φ 的值 表4-1

$\frac{l_p}{d_p}$	φ	$\frac{l_p}{d_p}$	φ	$\frac{l_p}{d_p}$	φ
8	0.918	16	0.672	24	0.337
10	0.872	18	0.585	26	0.286
12	0.816	20	0.485	28	0.247
14	0.749	22	0.401	30	0.215

2. 钢管桩

对用砂或混凝土填实的钢管桩的容许承载力，可按下式计算：

$$P = \varphi \frac{FR}{K}$$

式中：P——桩的容许承载力，kN；

F——钢管截面的计算面积；

φ——纵向挠曲折减系数，可查图 4-4：

$$当 \frac{l_p}{d} \leqslant 12 时，\varphi = 1.0$$

l_p——同木桩；

d——钢管桩外径(cm)；

K——安全系数，摩擦桩取 2.5；

R——钢的屈服应力，kPa。

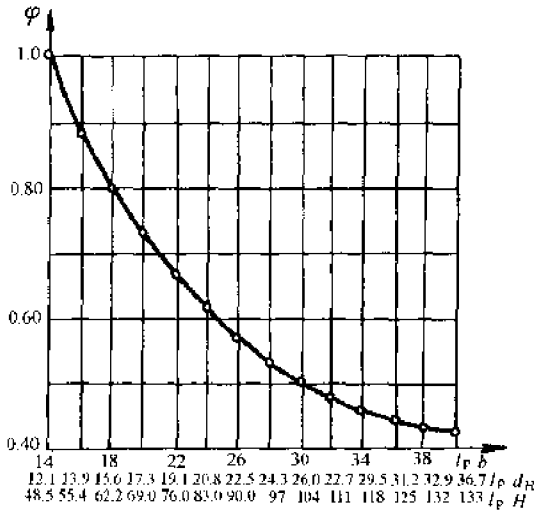


图 4-4 钢桩纵向挠曲折减系数

3. 钢筋混凝土桩

计算方法对具有纵筋及普通箍筋的钢筋混凝土方桩或离心式钢筋混凝土管桩，其空心部分不填充混凝土者可依下式计算：

$$P = \frac{0.7R_{28} \cdot F_b}{K} + R_m \cdot F_a \cdot \varphi$$

式中：P——容许载重，kN；

R_{28}——混凝土 28 天强度，kPa；

F_b——混凝土面积，m^2；

R_m——钢筋强度，kPa；

F_a——钢筋断面积，m^2；

φ——纵向挠曲折减系数，可由表 4-2 查得。

$$当 \frac{l_p}{d} \leqslant 12 或 \frac{l_p}{b} \leqslant 14 时，\varphi = 1.0$$

$$\varphi = f\left(\frac{l}{b}; \frac{l}{d}; r\right)$$

表 4-2

$\frac{l_p}{b}$	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$\frac{l_p}{d}$	12.1	13.9	15.6	17.3	19.1	20.8	22.5	24.3	26
r	48.5	55.4	62.2	69.0	76.0	83.0	90.0	97.0	104
φ	1	0.88	0.80	0.73	0.67	0.62	0.57	0.53	0.50

注：l_p——桩的计算长度，视土壤性质(松散的，中等的或紧密的)及桩头埋入承台为铰结或固定情况而定，计算方法与木桩同；

b——矩形截面桩的短边尺寸；

d——圆形截面桩的直径；

r——桩的回转半径，空心圆桩：

$$r = \sqrt{\frac{d^2 + d_1^2}{4}}；d 为外径，d_1 为内径$$

φ——纵向挠曲折减系数，可由表 4-2 查得，但应注意须先将钢筋混凝土桩实有的长细比$\frac{l_0}{b}$或$\frac{l_p}{d}$增加 20%后，再查表中的 φ 值。

4. 预应力混凝土管桩

预应力混凝土管桩技术数据如表 4-3 所示。

预应力混凝土管桩技术数据[①]　　表 4-3

管桩型号		φ400-80		φ400-90		φ550-80		φ550-100	
管桩直径(mm)	外径(d_1)	400		400		550		550	
	内径(d_2)	240		220		390		350	
混凝土强度(MPa)(R_{28})		≥45		≥45		≥45		≥45	
配筋	预应力主筋	8 12 4级		8 12 4级		12 12 4级		12 12 4级	
	螺旋筋	φ5, A3		φ5, A3		φ5, A3		φ5, A3	
有效预压力	轴压力(kN)	403		403		604		604	
	压应力(MPa)	4.8		4.4		4.9		4.1	
结构设计极限荷载	轴心抗压力(kN)	2640		2890		3880		4660	
	破裂弯矩(kN·m)	56		56		126		129	
	纯弯弯矩(kN·m)	92		91		198		203	
桩节重量	标准节长(m)	8	10	8	10	8	10	8	10
	重量(t)	1.7	2.2	1.9	2.4	2.6	3.2	3.0	3.7

① 铁道部第三工程局主编，铁路工程施工技术手册(桥涵)上册，北京：中国铁道出版社，1987。

五、桩的入土承载力计算

1. 锤击桩落沉量计算(表 4-4)

表 4-4

盖尔谢万诺夫公式

适用于坠锤、单动汽锤和柴油打桩机锤，不适用于振动锤

计算桩的容许承载力[P]的公式：

$$[P]=\frac{1}{m}\left[-\frac{nA}{2}+\sqrt{\left(\frac{nA}{2}\right)^2+\frac{nAE}{e}\cdot\frac{Q+K^2q}{Q+q}}\right]$$

根据桩的设计承载力 P 计算控制贯入度 e：

$$e=\frac{nAE}{mP(mP+nA)}\cdot\frac{Q+K^2q}{Q+q}$$

式中：[P]——桩的垂直容许承载力(kN)；

m——安全系数，临时建筑用 1.5，永久建筑用 2；

A——桩身截面积(空心桩不扣除空心部分的面积)(cm^2)；

e——最终贯入度(cm/击)；

n——系数，如下所示：

n 值 表

情况	n(kN/cm^2)

续上表

钢筋混凝土或预应力混凝土桩	1.有硬木桩垫	0.15
	2.有硬木桩垫加麻袋垫层	0.10
钢　桩	无　桩　垫	0.50

E 为一次锤击能量，按下列采用：

E 值 表

序号	锤　型	E 值
1	坠锤或单动汽锤	QH
2	筒式柴油锤	$0.9QH$
3	导杆式柴油锤	$0.4QH$
4	柴油锤，但不供燃料，仅作控制性单次锤击	$Q(H-h)$①

Q——锤的冲击部分重力(kN)；

q——桩、桩帽及锤的非冲击部分重力(kN)；

K——恢复系数，有木质锤垫时，$K^2=0.2$；

H——落锤高度(cm)。

格氏公式适用的条件为 $e\geqslant 2mm/$击

① h 为柴油锤芯由于气垫作用的第一次回跳高度(cm)，用尺量得。

2. 振动沉桩承载力的计算(表 4-5)

表 4-5

振动沉桩时，影响承载力的因素较多。目前尚缺乏完善而又便于实用的功能公式，下列塔塔尔尼姆夫斯基的建议公式可供参考

(1) 按电动机消耗的能量求算基桩的极限承载力

$$R=\frac{\alpha(N_0-N_x)}{1+\beta v}+Q$$

式中：N_0——沉桩将达规定标高前，下沉速度为 0～5cm/min 时，所需的有效功率为 $\frac{n\cdot 60}{t}\cdot\eta$(kW)；

n——电表读数(kW·h)；

t——测定时间(min)；

η——电动机有效系数；

N_x——振动沉桩机无负荷时的功率(kW)；

v——沉桩最后一阵速度(cm/min)；

Q——振动体系的重量，包括桩重、振动沉桩机重、机座以及其他附加荷重(t)；

α——土质系数，并因振动沉桩机及桩的结构不同而异；

β——基桩入土速度系数。

系数 α、β 应根据试验资料确定，即须经过 2 根以上试桩，测记上式的其他数值，列出 α、β 为未知数的联立方程求算。用 17.5 型(175kN)振动沉桩机下沉 35cm×35cm、40cm×40cm 的钢筋混凝土方桩时，求得 α、β 值如下：

土　质	α	β
饱和的砂	5.7	0.15
坚硬粘土层	2.0	0.17
硬质砂粘土层	2.5	0.15
砂粘土层	4.6	0.15

续上表

(2) 按消耗的机械能求算振动沉桩承载力基桩极限承载力

$$R = \frac{\alpha_1 mf^2[(uA_x)^2 - a^2]}{1 + \beta_1 u} + Q$$

式中：α——土质、机身构造、下沉物体形状及截面大小的系数；

u——振动沉桩机振幅增大系数；

$u = \frac{A_m}{A_x} = \frac{M/Q}{A_x} = \frac{\text{振动体系开始下沉时的振幅(cm)}}{\text{振动沉桩机空转时的振幅(cm)}}$；

$m = \frac{Q}{g} = \frac{\text{振动体系重量(kg)}}{\text{重力加速度(cm/s}^2\text{)}}$；

f——振动频率；

$f = \frac{n}{60} = \frac{\text{旋转轴每分钟转数}}{60}$；

M——振动沉桩机偏心锤的静力矩(N·m)；

β_1——下沉速度系数；

a_1——振动沉桩机最后一阵的实际振幅。

系数 α_1、β_1 的求法，与前述公式中的求算法相同

华西里也夫建议的公式

$$R = Qf^2\left[\frac{\mu A_x - a}{7\mu} + \frac{a^2 f\lambda}{u^2(v^2 + f\delta)}\right] + Q_{机}$$

式中：$Q_{机}$——振动沉桩机重量(t)；

λ、δ——经验系数。

系数 λ、δ 的求算与前式的 α、β 相似。

使用 17.5 型振动沉桩机的经验资料如下：

土　质	λ	δ
饱和的土	0.2	0.4
紧密的塑性砂粘土	0.15	0.5
紧密的塑性粘土	0.14	0.6

注：本表资料远自铁道部第三工程局主编，铁路工程施工技术手册，桥涵(上册)，北京：中国铁道出版社，1987。

第二节　装配式桁架桥墩(脚)

如地基承载力较高，可用公路钢桥桁架拼成桁架支墩(图 4-5)。

一、方柱式桥墩(脚)

方柱式桥脚是用角撑将直立的 4 片桁架连接成边长为 1.9m 的方柱。两方柱用系材相连。每一方柱有 8 个础板，每个础板与直立桁架公头用桁架销子相连。桥脚的顶部用一特制的下楠梁作为桥脚冠材，下顶梁上铺设 6 根顶梁，在上顶梁上直接铺设木格床，构成一个 1.9m × 1.9m的平台供设置中间支座使用。

方柱式桥脚，稳定性好，拼装方便，每一方柱的承载力可达 1000 ~ 1500kN。若不计稳定折减，只要地基强度许可，桥脚高度可达 20 ~ 30m。

拼装方柱式桥脚，除使用原钢桥桁架外，还需附加以下几种构件。

1. 角撑(图 4-6)

角撑是用来联系四片桁架使之成为一个方柱的构件，其本身系钢板焊接而成。安装时用弦杆螺栓穿过桁架的弦杆螺栓孔，用它把两片桁架连成一个直角。每一单片桁架使用两个角撑，即每个方柱每一层用8个角撑。

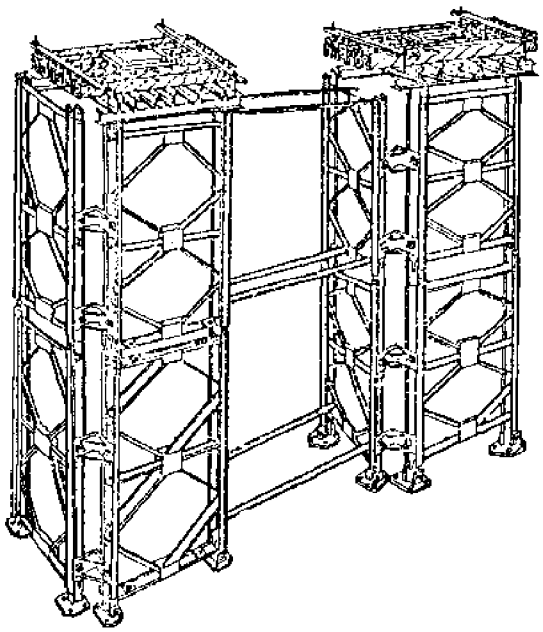


图4-5 方柱式桥脚

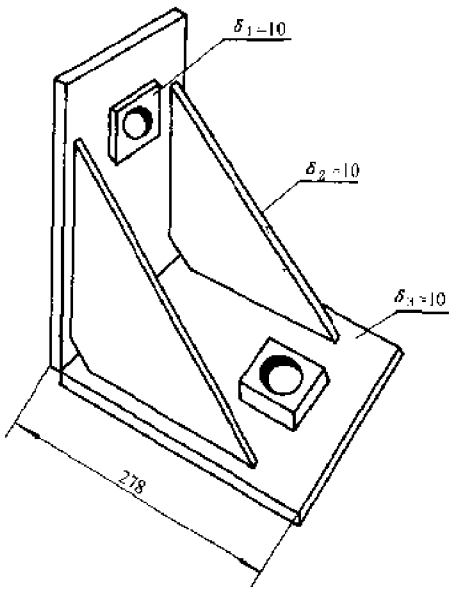


图4-6 角撑

2. 础板(图4-7)

础板的作用是将桥脚传来的压力较为均匀地传给地基。础板由一块底板和直立的母爪组成。拼装时，桁架直立公头朝下插入础板母爪，用桁架销子与之连接。础板用普通钢板焊成，底板上钻有可供与混凝土地基地脚螺杆连接的眼孔4个。

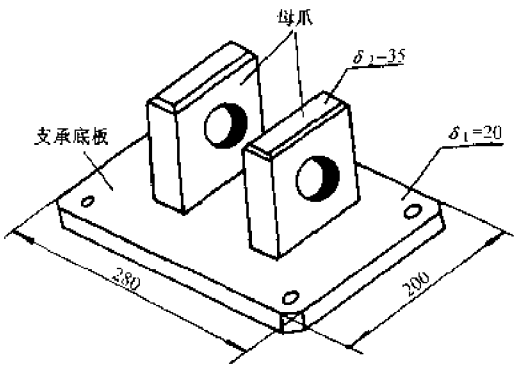


图4-7 础板

3. 下顶梁(图4-8)

下顶梁每一方柱两根，用以将上部结构传来的压力分配给两片直立的桁架。下顶梁用16锰20号工字钢制作，在其下缘焊有两个凸耳，与直立桁架用销子连接。为便于固定支座下的木格床，在其上翼缘内侧两端各焊有一段 Φ16的圆钢，用以钩住缘材螺杆。

4. 上顶梁(图4-9)

上顶梁用于将桥跨中间支座传来的压力分配给下顶梁，它由6根16号工字钢连接而成，每两根上顶梁之间，由两根带套筒的螺杆连接固定。为防止下顶梁沿桥脚纵向滑动，在每根工字钢的下翼缘外侧两端焊有一对挡铁。上顶梁是利用桥脚缘材的固定螺杆与下顶梁连接固定。

5. 系材

(1)横撑(图4-10)

横撑用以连接两方柱，增加桥脚的稳定性。横撑用普通16号槽钢制作，两端各有两个空

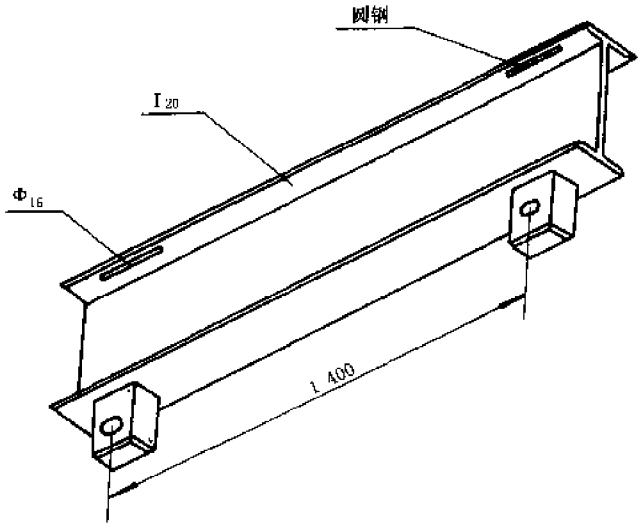


图 4-8　下顶梁

心圆锥形套筒，可分别插入两方柱内侧桁架端竖杆的支撑架孔内，用支撑架螺栓连接固定。

因拼装标准桁架，下弦杆上有横梁垫板和栓钉，为便于安装，在横撑一翼缘上开有 4 个缺口。

为保证方柱式桥脚在拼装过程中的稳定性，每拼装一层桁架，应在桁架的上竖杆上安装两根横撑，以保持方柱间的相对位置，减少方柱晃动。

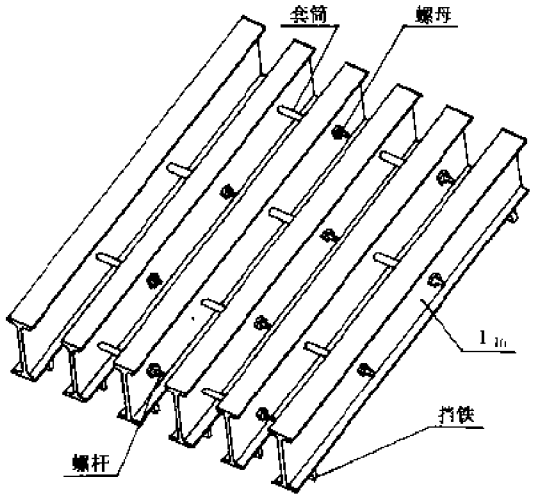


图 4-9　上顶梁

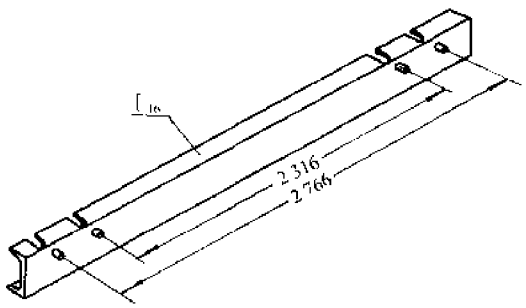


图 4-10　横撑

(2)斜系材(图 4-11)

为了加强整个桥脚的稳定性，当桥脚高度超过 6m 时，高度在 6m 以上的每层桁架两方柱之间，除设横撑外，还须交叉设置两对斜系材。

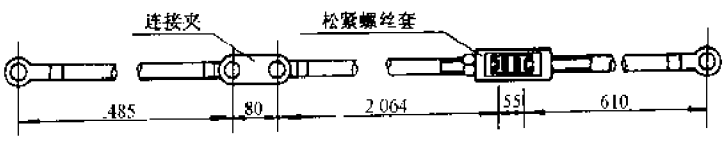


图 4-11　斜系材

斜系材用公路钢桥配套的抗风拉杆改成，需另加工长度为 485mm 的短拉杆(图 4-12)替换原不带螺纹的一段；若抗风拉杆连接夹的销子已与夹板焊死，桥脚斜系材则需要另行加工)。

高 1m 和 1.5m 的桁架没有风钩孔，不能连接斜系材，在拼装高层桥脚时，这两种桁架应设在 6m 以下的范围内。

高 3m 的标准桁架，只有下弦杆上设有风钩孔和风钩螺栓孔，拼装方柱时，为便于安装系材应将两方柱内侧两片桁架设有风钩孔的弦杆置于同侧。

对高于 6m 的桥脚，必须设稳定绳，数量不少于 4 根。稳定绳与桥脚轴线夹角不得小于 45°。稳定绳用不小于 Φ16mm 的钢索制作。

6. 桥脚高度的调整和构件

在架桥作业中，桥脚高度大范围的调整，只能靠变更桁架层数来实现，但基本桁架直立高度为 3m，加减一层桁架，桥脚高度就相应增高或降低为 3m，不能适应地形变化的需要。为此，可特新制作高度为 1m（图 4-13）和高度为 1.5m（图 4-14）两种桁架，专门供调整桥脚高度使用。表 4-6 列举了几种桥脚高度的组合方式，供使用时参考。

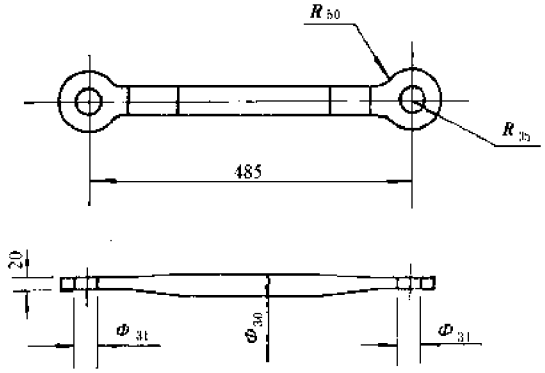


图 4-12　短杆

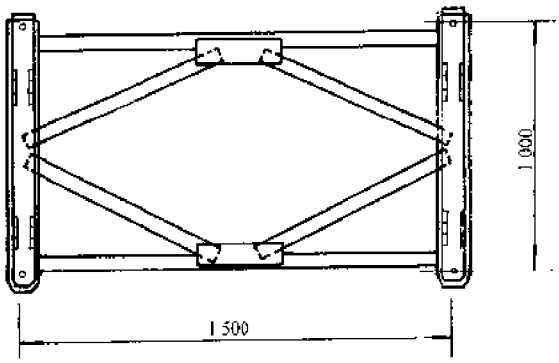


图 4-13　1m 桁架

7. 中间桥脚支座

桥脚高度组合表　　表 4-6

桥脚高度(m)	组合方式	所需桁架(片)		
		1(m)	1.5(m)	3(m)
4.1	$A+B$			8
4.6	$A+C+2D$	16	8	
5.1	$A+B+D$	8		8
5.6	$A+B+C$		8	8
6.1	$A+B+2D$	16		8
6.6	$A+B+C+D$	8	8	8
7.1	$A+2B$			16
7.6	$A+B+C+2D$	16	8	8
8.1	$A+2B+D$	8		16
8.6	$A+2B+C$		8	16
9.1	$A+2B+2D$	16		16
9.6	$A+2B+C+D$	8	8	16
10.1	$A+3B$			24
10.6	$A+2B+C+2D$	16	8	16
11.1	$A+3B+D$	8		24
11.6	$A+3B+C$		8	24
12.1	$A+3B+2D$	16		24
12.6	$A+3B+C+D$	8	8	24

注：1. A 为下顶梁凸耳孔中心至摇滚表面高度（即 1.1m）；

2. B、C、D 分别为 3m、1.5m、1m 桁架高度。

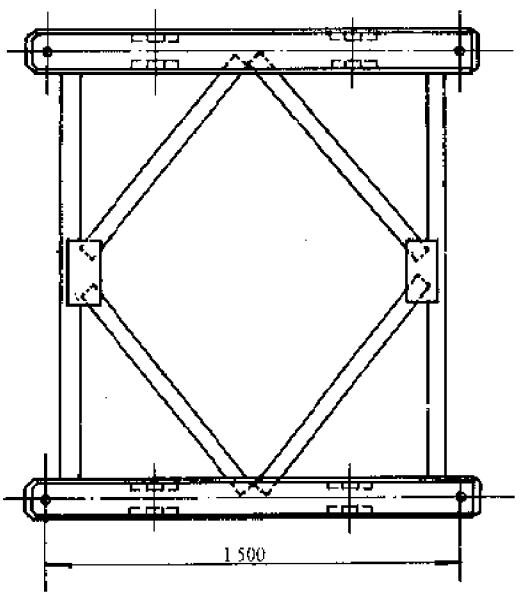


图 4-14　1.5m 桁架

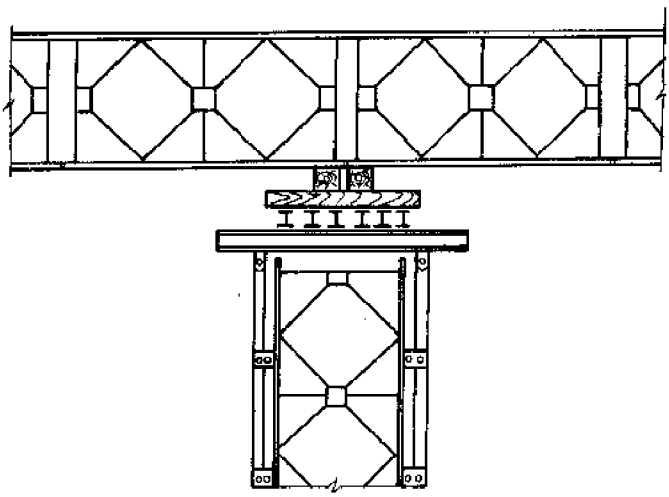


图 4-15　木垛支座

(1)当桥跨主桁架为连续梁时，中间桥脚支座可用木垛(图 4-15)，并用钢板加强。如时间紧迫，器材又允许时，可将架设主桁架所用的摇滚当支座使用，但此时必须校核每片桁架在中间桥脚的反力，如反力大于 250kN 时应同时使用两个摇滚。同时，为减少主桁架下弦杆的局部挠曲，必须使主桁架的节点支承在支座上。

(2)对于桥跨主桁架为断续梁时，中间支座不便利用摇滚，可仍采用方木垛，但方木必须是硬度较高的垛木，并需用钢板加强。

二、排架式桥墩(脚)

排架式桥墩(图 4-16)是将拼装的桁架平面平行于桥轴线方向，桁架直立在桥梁主桁架正下方，单耳板朝下插入础板(础板构造与方柱式相同)，用桁架销子连接，再用横梁和支撑架作纵、横向系材。

排架式桥脚在桥梁的横向范围内一般设四排桁架，为增强桥梁纵方向的稳定性，在桥梁纵向范围内根据桥脚高度的不同可分别采用 1～4 排桁架。

在桥脚宽度范围内为两排以上桁架时，需要增添下述构件：

1. 底部用双肢础板(图 4-17)。

2. 桁架之间用桁架螺杆连接(图 4-18)。

3. 桥脚顶部的下顶梁应跨越两片拼装桁架，其构造见图 4-19。

4. 上顶梁的长度应根据桥梁主桁架的排数确定，当桥梁主桁架为单排时，上顶梁长度取 1m。对于双排主桁架，上顶梁通常用 3～4 根横梁代替。

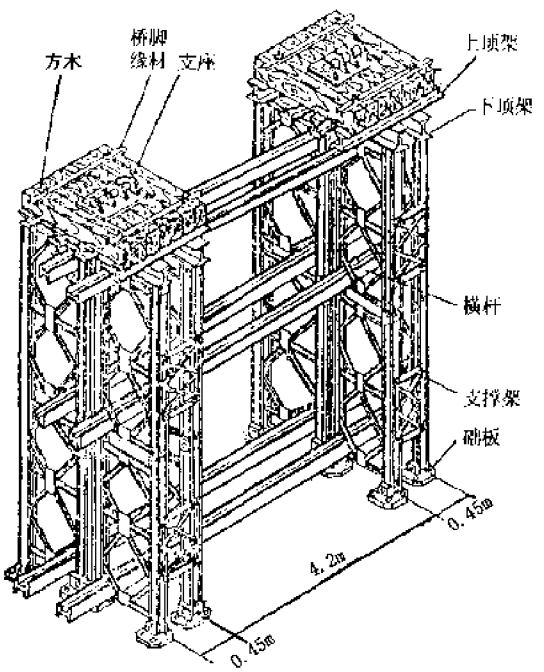


图 4-16　排架式桥脚

三、板式支墩

如地基条件容许，可将贝雷桁架平卧在地基上作支墩(图 4-20)这在城市高架桥(路)的施工中，往往使用这样支墩搭设混凝土桥的现浇平台的支墩，但采用这种式样的支墩，必须注意下列事项：

1. 支墩高度不宜大于 4.5m，即三层桁架高度；

2. 支墩必须是双排桁架并列使用，其间距 45cm 为宜(如是使用标准支撑架时)；

3. 上、下层箱架拉杆之间应设置短架以增强支墩的稳定；

4. 支墩承载力应满足桁架容许应力的要求；

5. 地基要求平坦、稳固。

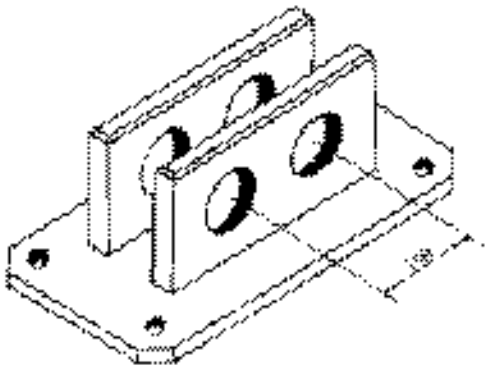


图 4-17 双腿端板



图 4-18 桁架螺栓

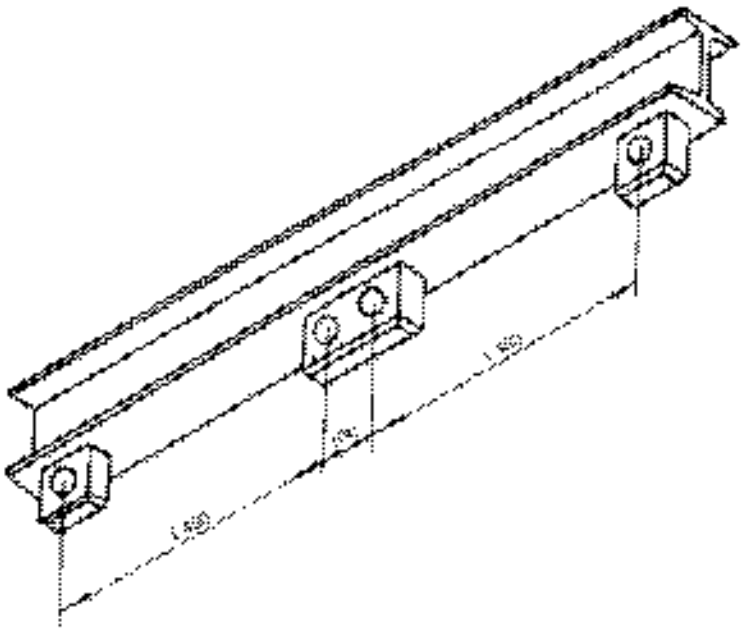


图 4-19 双桁桁架的下端架

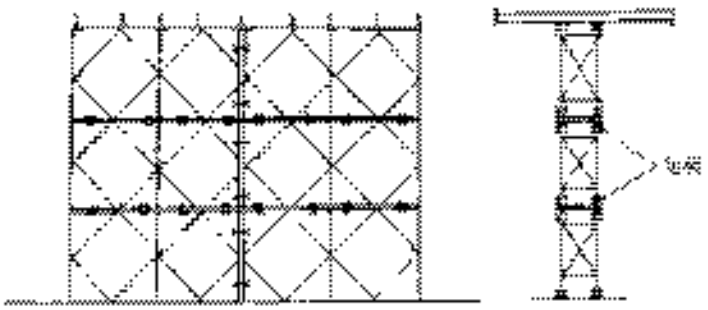


图 4-20 钢式桁架

第三节　多跨桥主梁构造特点及架设方法

多跨公路钢桥桥跨主梁桁架，可以结构成连续梁，也可以结构成断续梁。连续梁架设拆收简便，但要求各中间桥脚基础必须稳固，同时要求各中间桥脚顶部保持在合理的高差范围内（由于销孔间隙影响出现的非弹性挠度，使力的传递出现了新的特点），在使用过程中，不得出现任何偶然沉陷。如上述条件不具备或中间桥脚基础采用浮游支点时宜用断续梁。

一、连续梁桥跨

1. 构造：连续梁桥跨全桥主梁各桁架间均用销连续，桁架的组合形式随跨度、截重量的不同而不同。

2. 桁架的拼装与架设：连续梁桁架的拼装和推送，均与简支跨相同。桥跨推出时桁架的稳定，鼻架结构按连续梁全桥最大单跨要求。

3. 连续梁桥跨，特别是三跨以上的连续梁桥梁，对桥跨推出的正直要求较高，因此在桁架拼装和推送时，设在推出岸上的平滚与中间桥脚上的摇滚必须对正。推出时每个中间桥脚上须派专人观察、调整，发现偏斜及时纠正。

4. 连续梁桥的中间支座，由于没有端柱，对下弦杆应作整体加强和弦杆翼板的局部加强，防止支座反力集中破坏下弦杆。

二、断续梁桥跨

1. 构造：断续梁桥相邻两跨主桁架，在中间桥脚支座处上弦断开，下弦销连接，形成简支梁（图 4-21）。

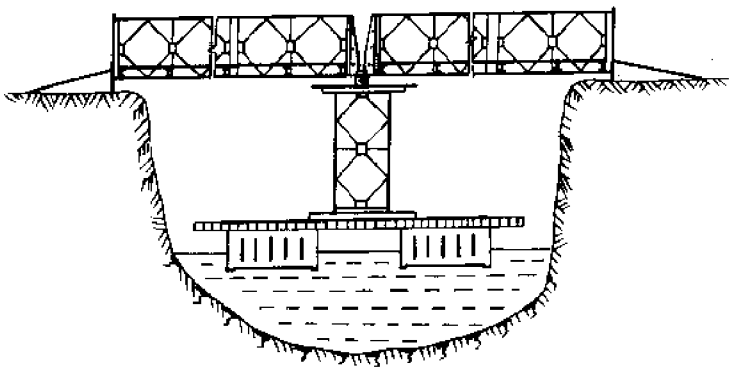


图 4-21　简支梁桥

为保持桥面贯通，断续梁桥可考虑增加以下构件：

（1）跨端结合连杆（图 4-22）。跨端结合连杆有阴、阳头两种，分别与跨端桁架的阳、阴头相连。跨端结合连杆用钢板焊成，底部比顶部长，底部设有一销钉，供安装跨端横梁使用。

（2）跨间短纵梁。由于断续梁桥相邻桥跨之间有一间隙，为保持桥面的连续性，在相邻两跨中末端横梁之间对应纵梁设置短纵梁。短纵梁可用 10 号工字钢制作（图 4-23），也可用其他型钢或方木制作。

2. 架设

断续梁的桥跨，采用连续梁的形式推出架设，桥架到位后，再拆除跨端连接杆，使桥跨主梁

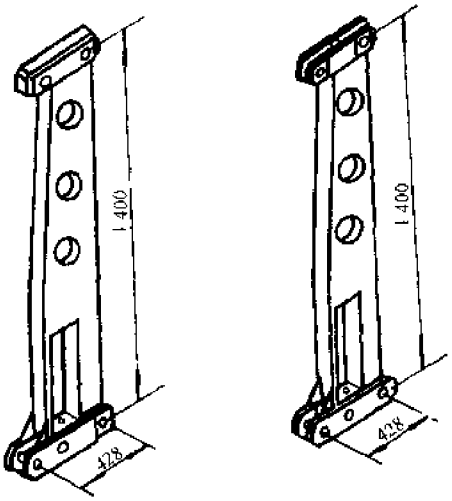


图 4-22　跨端结合部连接杆

断开。因此，断续梁桥主桁架的架设方法基本同连续梁，但需增加以下构件。

(1)短加强弦杆(图 4-24)。当桥跨为加强型桁架时，在跨端结合连杆底部需连接一短的加强弦杆，使其底部表面平顺，连续通过滚轮。短加强弦杆在桥跨推送到位后即行拆除。

(2)跨端上弦连杆。主要用来保证桥跨成连续状态。为便于架设和拆涂，跨端上弦连杆，可用短加强弦杆代替。

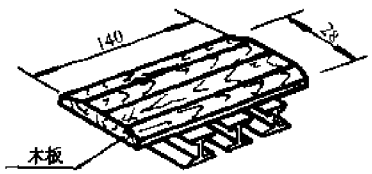


图 4-23　短纵梁

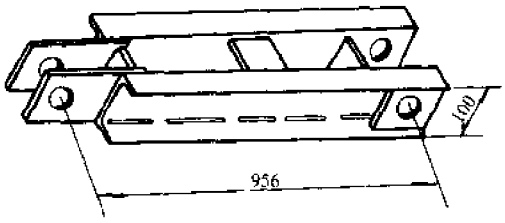


图 4-24　短加强弦杆

第四节　多跨桥应用实例

1985 年 10 月，南京某汽车制造厂，从国外引进了重量为 3000kN 和 4000kN 的压力机各一台，需从船码头运到厂内，压力机最大机件重 202kN，陆上运输连大平板车全部重量为 307kN，途中要经过一座跨径为 30m 的小桥。经勘察鉴定该桥只能通过重 80kN 的车辆，南京工程兵工程学院道桥教研室，设计施工了一座装备式公路钢桥多跨桥(图 4-25)，保证了运输压力机的平板车顺利通过。

该桥的上部构造用装配式桁架单层双排结构，跨径为 33m，经计算桁架强度足够，但桥面系横梁强度不够，他们在横梁下面加垫了两根加强弦杆，满足了容许应力的要求。

该桥下部结构采用木质列柱桥脚，每个桥脚设 7 根桩柱，用军用 74 式打桩机打桩，桩的落沉量(e)用盖尔谢万诺夫公式计算：

$$e = \frac{10mAW}{mR(nA + mR)} \times \frac{Q + 0.2q}{Q + q}$$

式中：n——系数，没有送桩的本桩取 $n=10$；

W——桩锤冲击能量，74 式打桩机 $W=2.5kN\cdot m$；

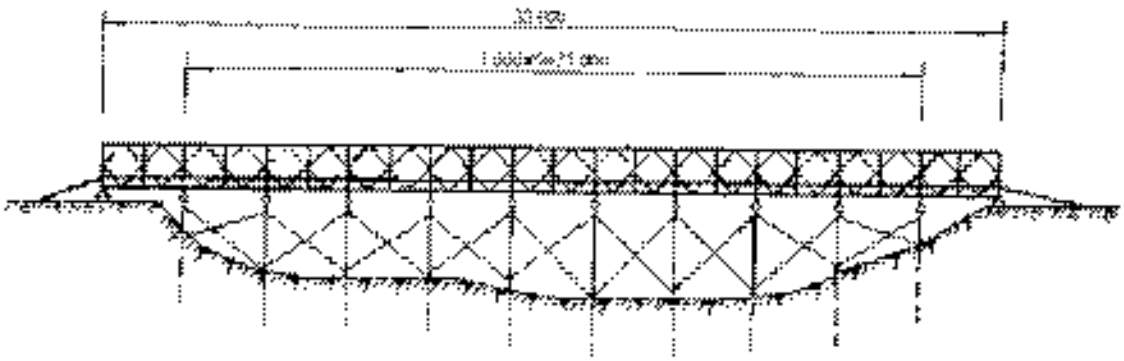
Q——桩锤冲击部分的重量，74 式打桩机 $Q=140kg$；

A——桩机长度中央的横截面面积(m^2)；

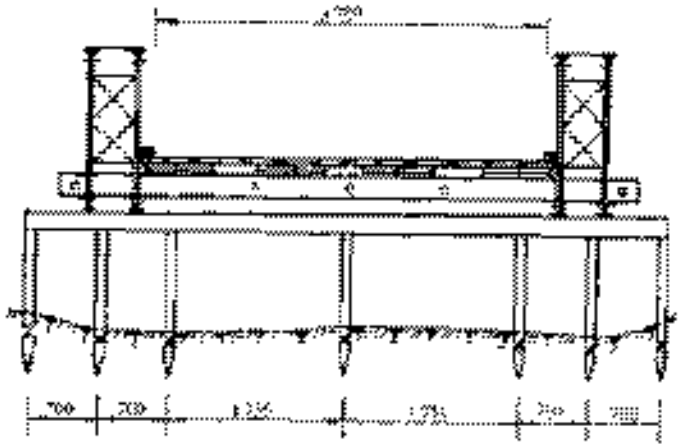
R——作用于桩柱上的计算压力(kN)；

q——被柱的重量(kN)；

m——安全系数，临时性桥梁取 $m=1.3$ 代入数据，容易落沉量 $e=1.67cm$。



a)桩基断面图



b)桩基断面图

图4-25 零跨轴用总图

桩柱的入土深度(L_{cp})用下式计算：

$$L_{cp}=\frac{m_1(R-\sigma_0 A+K\tau A)}{\tau_0 u+K\gamma m_1 A}+1$$

式中：m_1——安全系数，临时性桥梁 $m_1=1.5$；

R——作用于桩柱上的计算压力(kN)；

σ_0——土壤的容许区应力(kPa)；

τ_0——土壤的极限摩擦应力(kPa)；

A——桩柱的横截面面积(m^2)；

K——与上壤种类有关的系数：

砂 $K=2.5$，砂质粘土 $K=2.0$，

粘质沙土 $K=2.0$，粘土 $K=1.5$；

γ——上壤的容重(t/m^3)，饱和水土壤 $\gamma=2.0t/m^3$；

u——桩柱横截面的周长(m)。

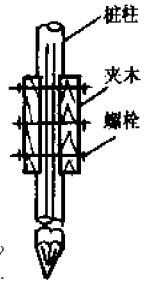


图 4-26 桩柱夹木

架桥地区土壤按 $\sigma_0=500kPa$，$\tau_0=90kPa$ 代入公式，计算得入土深度为3.79m。在架设作业中，桩柱入土深度达到4m 多，落沉量仍不能满足要求。为此，在桩柱两侧增加了夹木(图 4-26)，使落沉量立即满足了要求。通车后，桩柱基本没有下沉。

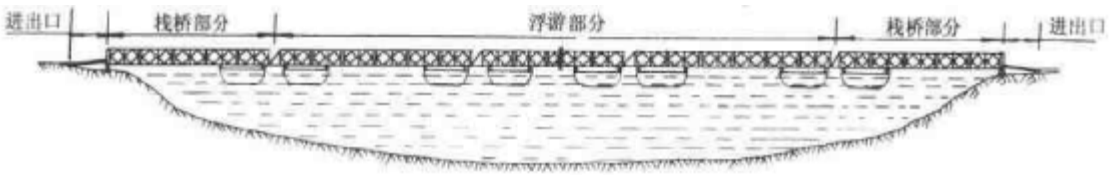
第五章　装配式公路钢桥器材在浮桥上的应用

第一节　概　　述

一、浮桥的一般常识

浮桥是以舟船等浮体为桥脚(墩)的桥梁，浮桥的特点为：下部构造简单(与固定桥梁的桥墩比较)，架设、撤收快，是临时抢修渡口桥梁的一种重要手段，但浮桥受江河两岸地形、水位变化、通航、流速的影响较大。

浮桥通常由浮游部分、栈桥部分和进出口三个部分组成，如图 5-1a)所示。



a)浮桥组成

a)浮桥组成



b)装配式桁架民舟浮桥

图 5-1　浮桥组成

浮游部分：通常由若干个桥节门桥组成，桥节门桥由桥脚舟(船)、主梁和桥面构件组成。其诸元如图 5-2 所示。

栈桥：位于浮桥靠岸边部分，分固定栈桥和浮游栈桥两种，固定栈桥需构筑固定式桥脚，一

般是在江河水位变化不大的情况下使用。浮游栈桥用船、舟作桥脚，一般在水位变化频繁，涨幅较大时使用，如图 5-3 所示。

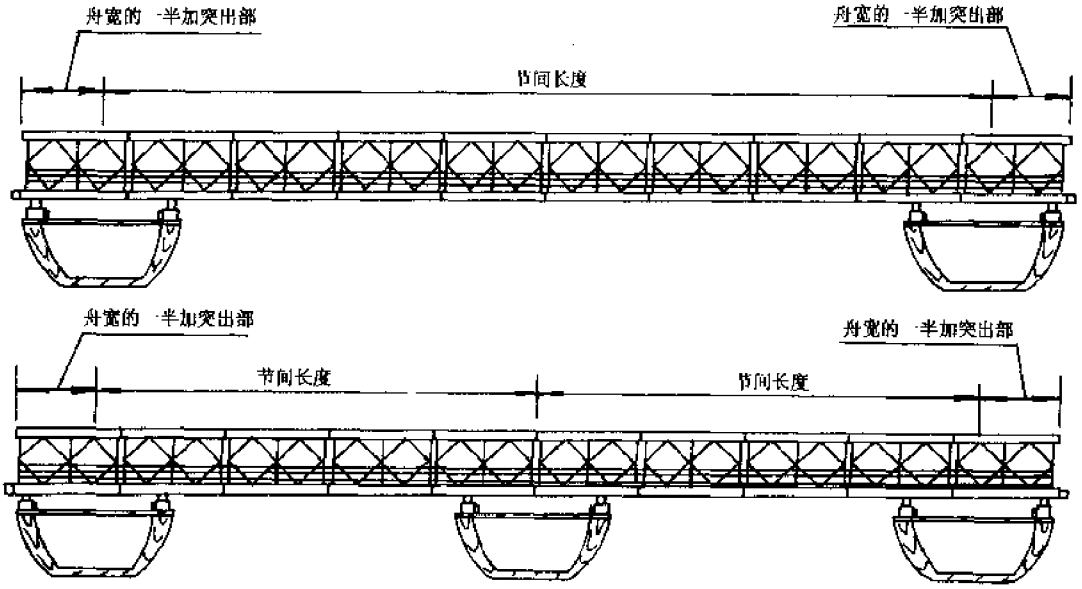


图 5-2　桥节门桥诸元

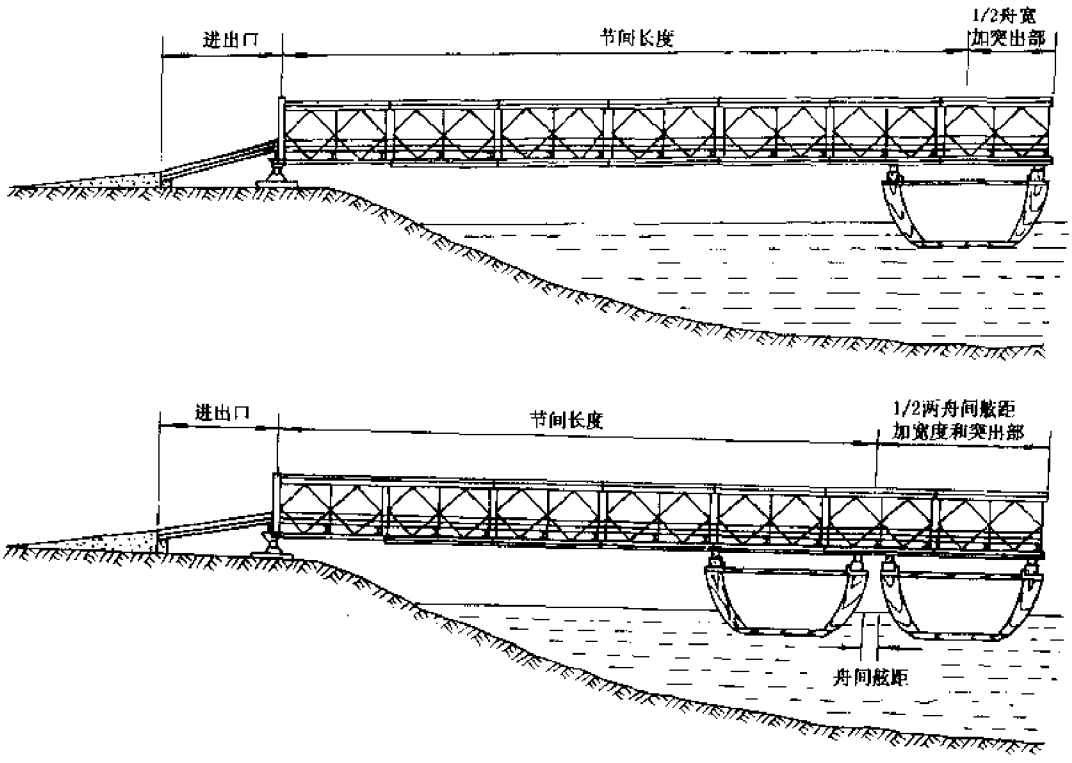


图 5-3　栈桥诸元

进出口：主要由搭板组成，用于栈桥桥面与进出道路连接。

二、用装配式公路钢桥器材架设浮桥的特点

用公路钢桥器材架设浮桥如图 5-1b)所示(简称装配式桁架民舟浮桥)，它主要是用公路

钢桥桁架作为主梁，用其桥面系构件作为浮桥的桥面，用民船或驳船作桥脚（浮墩），其特点为：

1. 浮桥的跨度较大(与其他浮桥器材比较)，载重量大，当然需要的桥脚舟(船)的载重量也要相应增大。

2. 通常用民用驳船或大吨位民舟作桥脚舟。

3. 浮桥一般只能构成单行道，行车部宽为 3.7m，需要双行道浮桥时则用两个桥跨器材并排使用。

4. 浮桥主梁多采用铰接悬臂梁体系。即桥节门桥之间主梁用铰接连接器进行连接。

5. 浮桥主梁与舟(船)体之间通常需要局部加强和连接。

浮桥的架设是一种特种专业，所涉及的专业知识较多，本文主要介绍用公路钢桥器材架设的浮桥的构造、施工方法和简易设计方法等内容。

第二节　浮桥的桥节门桥构造和门桥之间的连接

一、桁架的组合形式

用公路钢桥器材架设的浮桥的跨径和桁架组合形式，根据桥脚舟的大小，浮桥的载重量，现有的器材数量等等条件确定，桥节门桥通常可由二舟、三舟、四舟、五舟组成，桁架的组合形式一般只用单排单层、加强的单排单层、双排单层或加强的双排单层四种，如图 5-4 所示。

各种吨位浮桥的桥节门桥的诸元见表 5-1。

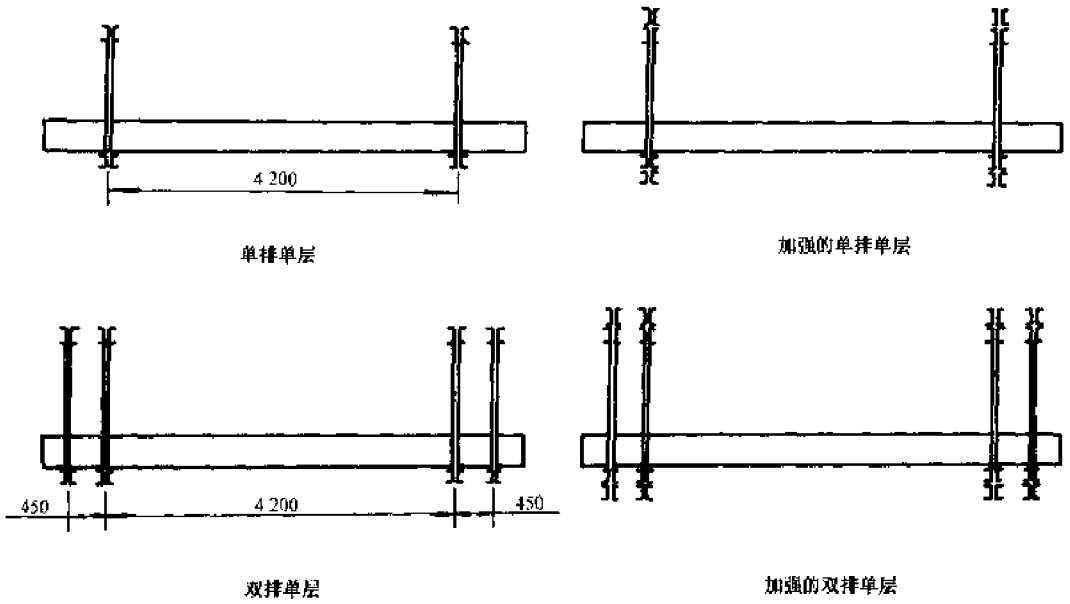


图 5-4　浮桥主梁桁架组合形式

二、桥节门桥之间的连接

用公路钢桥桁架结构架设的浮桥，为保证桥面的连续性，在桥节门桥的末端桁架上需设连接器(图 5-5)以传递门桥之间活载引起的剪力，并在两门桥之间设一组特制的短纵梁(图 5-6)，

然后再在短纵梁上铺设桥板，用缘材固定，并将此处的桥板留 2～3cm 的间隙，以适应铰的转动。

铰接体系浮桥载重跨径组合表 表 5-1

载重量	浮游部分								栈桥部分			
	桥节门桥舟数（只）	桥脚舟安全载重量（t）	双销式半自动铰接			加强弦杆铰接		桁架组合形式	桥脚舟安全载重量（t）	节间长度（m）	栈桥全长（m）	桁架组合形式
			桥节门桥长度（m）	节间长度（m）	舟宽一半加突出部长度（m）	桥节门桥长度（m）	突出部长度（m）					
履带式（16t）	2	30	33	21	6	24	0.2	A	30	18	21	A
	3	20	42	18	3	39	0.2	A				
履带式（25t）	2	30	27	15	6	18	0.2	A	40	24	27	B
		40	39	27	6	30	0.2	B				
	3	30	30	12	3	27	0.2	A				
		35	54	24	3	51	0.2	B				
履带式（40t）	2	40	24	12	6	15	0.2	A	60	18	21	B
		50	33	21	6	24	0.2	B				
	3	30	36	15	3	33	0.2	B				
	4	20	33	9	3	30	0.2	B				
履带式（50t）	2	50	30	18	6	21	0.2	C	60	18	21	B
		50～60	33	21	6	24	0.2	C				
	3	40	30	12	3	27	0.2	B				
	4	30	33	9	3	30	0.2	B				
	5	20	30	6	3	27	0.2	B				

说明

1. 桁架组合形式：A——单排单层；B——加强的单排单层；C——加强的双排单层；
2. 表中给出的节间长度是该种吨位浮桥的最大容许节间长度；
3. 栈桥部分使用加强弦杆铰接时，应注意节间长度不得超过表中之长度，从而相应缩短栈桥全长。

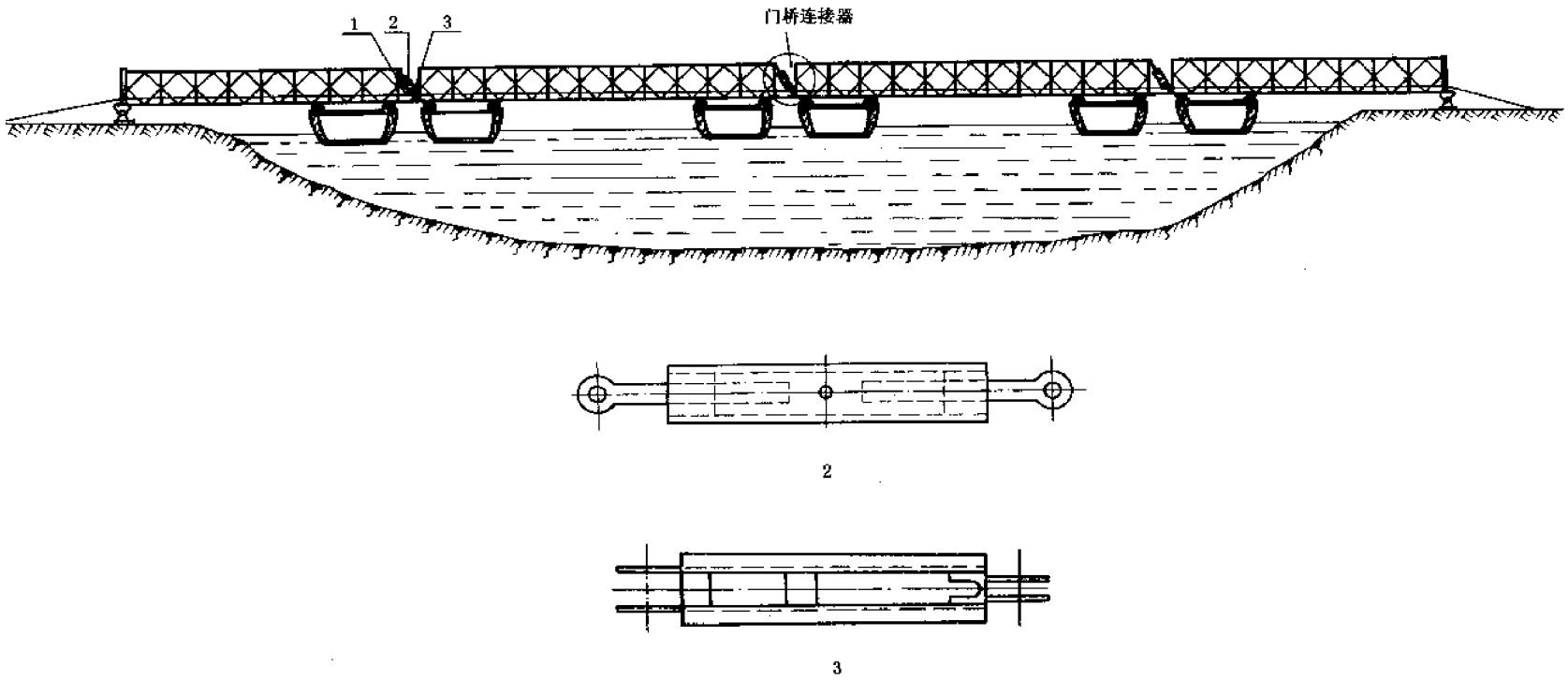


图 5-5　门桥连接器

1-短纵梁(见图 5-6);2-连接器调整螺杆;3-调整螺杆与桁架连接杆

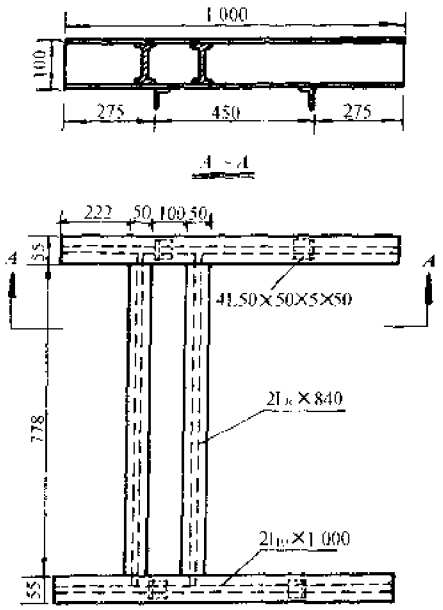


图 5-6　短纵梁

第三节　浮桥的设计

一、浮桥各组成部分长度的确定

架设浮桥时，根据所得江河资料，首先确定浮桥各组成部分的长度。

1. 预定浮桥长度(不含进出口)，通常按下式计算(图 5-7)：

$$L = l + 2(h/i + 1.5) \tag{1}$$

式中：L——预定浮桥长度；

l——河幅(江河水面宽度)；

h——桥脚舟空载干舷高度；

i——河岸坡度。

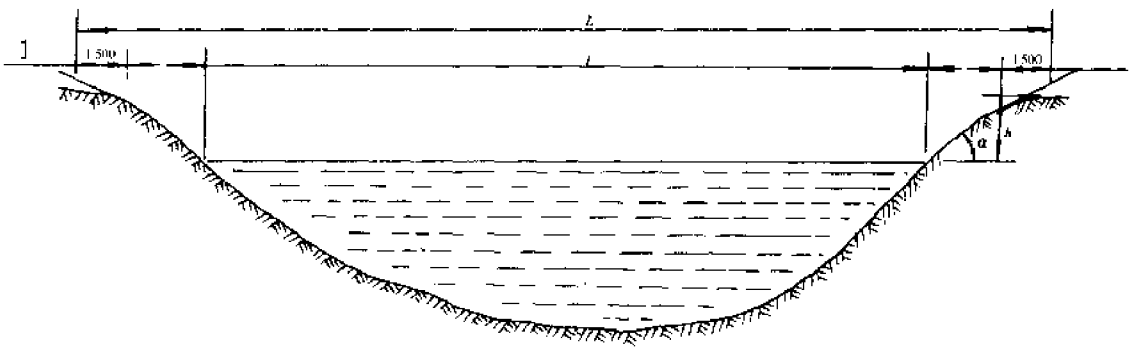


图 5-7　浮桥长度

若两岸坡角不等时，设坡度分别为 i_1 和 i_2，则预定浮桥长度应为：

$$L = l + h/i_1 + h/i_2 + 3$$

2. 确定栈桥长度时，应考虑测量测绘时可能产生的误差和确定伸缩门桥后的剩余数。通常在满足陆侧斜水深不小于2m的前提下，栈桥节间长度应小于表5-1中规定数值，以保证在浮桥回落时栈桥向水侧移动之后，栈桥节间仍能满足载重缝的要求。

3. 浮桥部分长度的计算

浮桥部分长度＝预定浮桥长度－2×栈桥长度

4. 桥节门桥长度的计算

桥节门桥长度＝(舟数－1)×节间长度＋舟宽＋2×突出部长度＋接续连接器长度

式中：舟数——一个桥节门桥所用舟的数量；

接续连接器长度取0.1～0.5m；

5. 桥节门桥个数的计算

桥节门桥个数＝浮桥部分长度÷桥节门桥长度

计算时舍出现小数，应取整数。余数按其大小以增加门桥长度，或可增设短门桥或以增大栈桥节间来调整。但门桥或栈桥节间长度不得大于表5-1中规定的数值。

例：在某江上架设一座载重40t级舟浮桥，江面工程勘察所得如下资料：河幅为224.5m；两岸坡度均为40%；2.0m深位置距离固定桥轴中心处置：左岸为10.50m，右岸为15.00m；架桥点附近有50～60t拖舟16只，其舟空载干舷高度为1.20m，宽度为4.4m。试确定浮桥各组成部分的长度。

①浮桥预定长度：

$$L = l + 2(h/i + 1.5) = 224.5 + 2(1.2/0.4 + 1.5) = 233.5\text{m}$$

②预定栈桥长度

根据表5-1中栈桥部分数据，并考虑江河测量误差，初步确定栈桥长度为：

预定栈桥长度＝选择栈桥长度＝15.00＋0.25＝15.25m

③浮桥部分长度：

浮桥部分长度＝预定浮桥长度－2×预定栈桥长度＝233.5－2×15.25＝203.0m

④桥节门桥长度

查表5-1中浮桥部分初步确定两舟门桥节间长度为21m，舟宽度为4.4m，则突出部长度为3.80m；

桥节门桥长度＝(舟数－1)×节间长度＋舟宽＋2(突出部长度)＋连接器长度

＝(2－1)×21.00＋4.4＋2×3.8＋0.5＝33.5m

⑤确定桥节门桥个数

桥节门桥个数＝浮桥部分长度/桥节门桥长度＝203/33.5＝6

确定为6个桥节门桥，剩余2m由岸栈桥增加一节栈桥。

最后确定浮桥各组成部分的长度为：

桥节门桥长度：33.5m

浮动栈桥长度：左岸 15.25m

右岸 15.25m

浮桥长度(不包括进出口)为：

$$6 \times 33.5 + 15.25 + 15.25 = 234.5\text{m}$$

因预定浮桥长度比浮桥实际长度短1m，在浮桥预要时，移动右岸岸组进行调整，其数量和方向(本例应靠到)视测量误差值而定。

二、浮桥设计计算

铰接体系浮桥设计，主要是通过计算的方法验算桁架的强度，确定桥节门桥桥脚舟的数量、桥脚舟的安全载重量和节间长度。

（一）桥节门桥桥脚舟数量的确定

如舟的安全载重量大于或等于部桥吨位时，可用二舟，如舟的安全载重量小于浮桥吨位时，可用三舟、四舟或五舟。

（二）桥脚舟所需安全载重量的计算

1. 静载对桥脚舟的压力（A_1）按下式计算：

$$A_1 = gL_n/m \tag{2}$$

式中：A_1——静载对桥脚舟的压力；

g——1 纵长米上部结构重量；

L_n——门桥长度；

m——桥脚舟数量。

2. 动载对桥脚舟的压力（A_2）按下式计算：

①二舟门桥：

$$A_2 = \frac{QL_n}{L_n + l}\left(1 - \frac{S}{3L_n + l}\right) \tag{3}$$

②三舟门桥：

$$A_2 = \frac{Q + 0.742L_n}{L_n + 1.63l}\left(1 - \frac{S}{2.82L_n + 1.63l}\right) \tag{4}$$

式中：Q——动载全重；

S——履带接地长；

l——节间长度。

3. 一个桥脚舟所需安全载重量（A）按下式验算：

$$A = A_1 + A_2 \leqslant [A] \tag{5}$$

（三）节间长度的确定

节间长度是由动载弯矩和桥脚舟的安全载重量两个因素确定的，计算时，可先由动载弯矩初定一个容许的节间最大长度，而后用桥脚舟的安全载重量和桁架强度进行验算。

1. 由动载弯矩初定节间长度 l

（1）二舟门桥：

$$l = \frac{-b + (b^2 - 4C)^{1/2}}{2} \tag{6}$$

式中：$b = 2c - (4nW[\sigma] \times 10^{-5})/Q - S/2$

$C = -c(4nW[\sigma] \times 10^{-5}/Q + S/2)$

（2）三舟门桥：

$$l = \frac{-b + (b^2 - 4C)^{1/2}}{2} \tag{7}$$

$$b = c - (2.448nW[\sigma] \times 10^{-5})/Q - 0.306S$$

$$C = -c(1.349nW[\sigma] \times 10^{-5}/Q + 0.1686S)$$

式中：c——突出部长度；

S——履带接地长；

Q——动载全重；

n——桥跨横断面内桁架片数；

W——单片桁架的断面系数；

$[\sigma]$——桁架材料的容许应力。

2. 用桥脚舟安全载重量进行验算

(1)确定突出部长度(图 5-8)

突出部长度按表 5-2 确定。

突出部长度 C 值表　　表 5-2

载重量	桥脚舟数(只)	突出部长度(m)
16t	2	6
	3	6
25t	2	6
	3	6
40t	2	6
	3	3

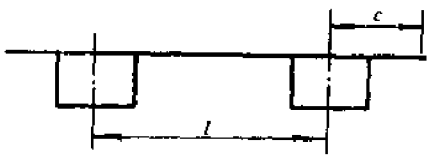


图 5-8　浮桥突出部长度

(2)计算门桥的长度

$$L_o = (m-1)l + 2c \tag{8}$$

式中：m——桥脚舟数；

l——节间长度；

c——突出部长度。

(3)用式(2)、(3)或(4)计算桥脚舟压力 A

$$A \leqslant [A]$$

若 $A > [A]$，可缩短节间、增加舟数来调整。

3. 验算桁架的总强度

$$\sigma = M_{max}/W \tag{9}$$

$$M_{max} = M_1/n + K_n(1+\mu)M_2 \tag{10}$$

式中：M_1——静载弯矩；

$$M_1 = \frac{g_n L_o}{8}[(n'+1)l - L_n]$$

l——由桥脚舟安全载重量确定的容许节间长度；

n——桥跨横断面桁架片数；

$(1+\mu)$——动载冲击系数，取 1.15；

W——单片桁架的断面系数；

$[\sigma]$——桁架材料容许的弯曲应力；

n'——门桥节间数量；

K_n——桁架的横向分配系数；

$$K_n = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{2e}{B}\right)$$

e——动载横向偏心距；

B_0——桁架中心间距；

M_2——动载弯距。

二舟门桥

$$M_2 = \frac{Q}{8}\left[\frac{4L_0 l}{L_0 + l} - S\right]$$

三舟门桥

$$M_2 = \frac{Q}{8}\left[\frac{5.93L_0 l}{L_0 + 1.63l} - S\right]$$

(四)浮桥纵向坡度(i)的验算

最大纵坡度按下式计算

1. 二舟门桥

$$i_{max} = \frac{QL_0}{\gamma F_0 l(L_0 + l)}\left(1 - \frac{S}{2L_0 + l}\right) \leqslant [i] = 6\%$$

2. 三舟门桥

$$i_{max} = \frac{0.408QL_0}{\gamma F_0 l(L_0 + 1.63l)}\left(1 - \frac{S}{2.5L_0}\right) \leqslant [i] = 6\%$$

式中：F_0——单个桥脚舟计算水线面面积。

(五)计算示例

1. 计算资料：在梁家渡渡口，架设载重量为 400kN 浮桥一座，获得有关计算资料如下：

(1)现有民舟安全载重量 400kN，$F_0 = 53m^2$

(2)现有公路钢桥桁架

①每纵长米自重：

单排单层：$g_0 = 7kN/m$，双排单层：$g_0 = 9kN/m$

加强的单排单层：$g_0 = 9kN/m$

加强的双排单层：$g_0 = 12kN/m$

②桁架惯性矩 I

单片桁架：$I = 2.51 \times 10^5 cm^4$

加强的单片桁架：$I = 5.772 \times 10^5 cm^4$

③桁架高度(h)、抗弯系数(W)

单层 $h = 150cm$，$W = 2I/h = 3347cm^3$

加强的单层 $h = 170m$，$W = 2I/h = 6791cm^3$

④桁架钢材为 16Mn，其弯曲应力$[\sigma] = 273MPa$

桁架连接销材料为 30CrMnTi(30 铬锰钛)

其容许应力：$[\sigma] = 1105MPa$

$[\tau] = 585MPa$

⑤浮桥桥面宽度 $B = 3.7m$

桁架中心距 $B = 4.2m$

⑥400kN 履带载诸元

履带接地长　$S=4.0\text{m}$

履带宽　0.6m

车全宽　$b=3.2\text{m}$

2. 确定每一桥节门桥桥脚舟数量和上部结构桁架的组合形式

(1)桥脚舟安全载重量为 400kN，等于设计浮桥吨位，确定采用二舟门桥。

(2)上部结构采用加强的单排单层桁架

3. 确定节间长度 l

(1)由动载弯矩所定节间长度

$$l=[-b\pm(b^2-4C)^{1/2}]/2$$

式中：

$$\begin{aligned}b&=2c-(4nW[\sigma]\times10^{-5})/Q-S/2\\&=2\times6-(4\times2\times6791\times2730\times10^{-5})/40-4/2\\&=12-37.08-2\\&=-27.08\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C&=-c[(4nW[\sigma]\times10^{-5})/Q+S/2]\\&=-6[(4\times2\times6791\times2730\times10^{-5})/40+4/2]\\&=-6(37.08+2)\\&=-234.48\end{aligned}$$

代入得：

$$\begin{aligned}l&=\{-(-27.08)\pm[(-27.08)^2-4(-234.48)]^{1/2}\}/2\\&=(27.08\pm40.9)/2\\l_1&=33.99\text{m}\qquad l_2=-6.91\text{m}\end{aligned}$$

负值舍去，初定节间长度为 30m。

(2) 桥脚舟安全载重量的验算

①$l=30\text{m}$　$c=6\text{m}$　$L_0=l+2c=42\text{m}$

$$A_1=9\times42/2=189$$

$$\begin{aligned}A_2&=\frac{QL_0}{L_0+l}[1-S/(3L_0+l)]\\&=\frac{400\times42}{42+30}[1-4/(3\times42+30)]\\&=227.4\text{kN}\end{aligned}$$

$$A=A_1+A_2=189+227.4=416.8\text{kN}>[A]=400\text{kN}$$

$A>[A]$，须缩小跨度。

②$l=21\text{m}$　$c=6\text{m}$　$L_0=l+2c=33\text{m}$

$$A_1=9\times33/2=148.5\text{kN}$$

$$\begin{aligned}A_2&=\frac{QL_0}{L_0+l}[1-S/(3L_0+l)]\\&=\frac{40\times33}{33+21}[1-4/(3\times33+21)]\\&=236\text{kN}\end{aligned}$$

$$A = A_1 + A_2 = 148.5 + 236 = 384.5 < [A] = 400\text{kN}$$

$A < [A]$，合格

4. 采用节间长度为21m，验算桁架总强度

(1)静载弯矩 M_1

$$M_1 = g_0 L_0(2l - L_0)/8$$
$$= 9 \times 33(2 \times 21 - 33)/8$$
$$= 334.125\text{kN} \cdot \text{m}$$

(2)动载弯矩

$$M_2 = \frac{Q}{8}\left(\frac{4L_0 l}{L_0 + l} - S\right)$$
$$= 400[4 \times 33 \times 21/(33 + 21) - 4]/8$$
$$= 2366.7\text{kN} \cdot \text{m}$$

(3)单片桁架最大弯矩 M_{max}

$$M_{max} = M_1/n + K_n(1 + \mu)M_2$$
$$K_n = (1 + 2e/B_0)/2$$

式中：

$$e = (B - b)/2 = (3.7 - 3.2)/2 = 0.25\text{m}$$
$$K_n = (1 + 2 \times 0.25/4.2)/2 = 0.56$$
$$M_{max} = 334.125/2 + 0.56 \times 1.15 \times 2366.7$$
$$= 1691.2\text{kN} \cdot \text{m}$$

(4)单片桁架的最大弯曲应力

$$\sigma = M_{max}/W = 1691.2/0.006791 = 249\text{MPa}$$

$\sigma < [\sigma] = 273\text{MPa}$，强度有保证。

5. 浮桥纵坡度的验算

$$i_{max} = QL_0/[\gamma F_0 l(L_0 + l)][1 - S/(2L_0 + l)]$$
$$= 40 \times 33/[1 \times 53 \times 21(33 + 21)][1 - 4/(2 \times 33 + 21)]$$
$$= 0.021$$
$$= 2.1\% < [i] = 6\% \quad \text{合格}$$

6. 最后决定桥节门桥为二舟门桥，节间长度为21m，突出部长度为6m，上部结构桁架采用加强的单排单层组合形式。

三、有关履带式、轮式车辆、民舟参考诸元表

1. 履带式载重诸元见表5-3。

表5-3

区分 / 尺寸(m) / 载重(t)	履带接地长	履带轴线间距离	履带宽
16	3.10	2.45	0.35
25	3.50	2.40	0.40
40	4.00	2.60	0.60
60	5.00	2.60	0.70

2. 轮式载重诸元见表 5-4。

表 5-4

区分 / 尺寸(m) / 载重(t)	轮距	轴距	车轮宽度
7	1.70	4.00	0.30
9	1.80	4.00	0.40
12	1.90	4.00	0.70

3. 民舟诸元参数见表 5-5。

表 5-5

项目 / 船体吨位	10 吨级	15 吨级	20 吨级	25 吨级	30 吨级	40 吨级	60 吨级
设计水线长(m)	13.00	14.70	15.50	15.70	15.95	17.25	18.50
型宽(m)	2.65	2.90	3.40	3.60	3.95	4.35	4.40
型深(m)	0.90	1.05	1.22	1.30	1.38	1.40	1.70
设计吃水(m)	0.60	0.75	0.92	0.98	1.05	1.10	1.25
载重量(m)	10	15	20	25	30	40	60
计算水线面面积(m)	25	32	36	40	44	53	67
计算空船吃水(m)	0.20	0.28	0.36	0.36	0.37	0.34	0.34

第四节　桥节门桥的结合作业

一、桥脚舟的准备与加强

用作浮桥的民舟，尽可能选用大吨位（安全排水量应在 30t 以上）质量较好隔舱板较密的木质民舟，或水泥舟、钢驳，由于浮桥主梁桁架配置在桥脚舟的两侧，压力较集中，一般根据舟体的构造和质量需用护桁材加强（图 5-9）。护桁材一般用中径不小于 25cm 的削边圆木制作，长度在 6m 以上，在护桁材上桁架直接承载用硬木制作一垫木，垫木的横断面一般为 15cm × 20cm，长 1.5 ~ 2.0m。

二、门桥结合作业

门桥结合作业的劳力组织：一般设两个队，一个队专门负责准备和加强民舟，另一个队在加强好的民舟上拼装桁架和铺设桥面，结合成门桥，结合作业根据岸边地形条件可以采用以下几种方法：

1. 利用工作门桥或辅助舟结合（图 5-10）

1）结构和设置工作门桥或辅助舟

为了便于上部结构的拼装作业，工作门桥尽可能结构成双行道，门桥长度以一次能拼完一个门桥长度为宜。工作门桥或辅助舟的高度尽可能与桥脚舟同高。为便于设置平滚，辅助舟应选择带舱甲板的舟，若舟上没有甲板，应在舟上设置舟梁，在其上铺设桥板。

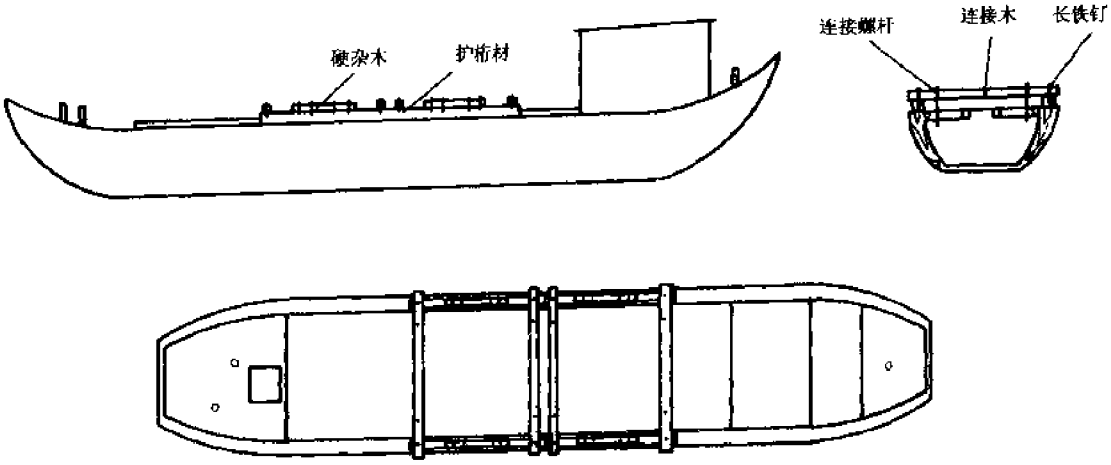
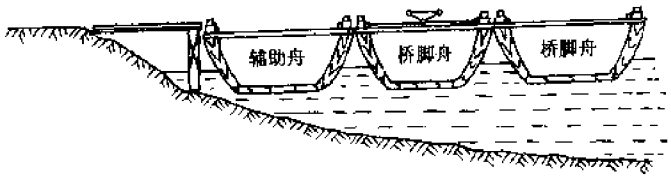
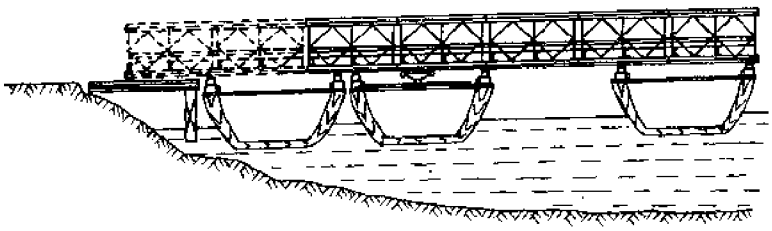


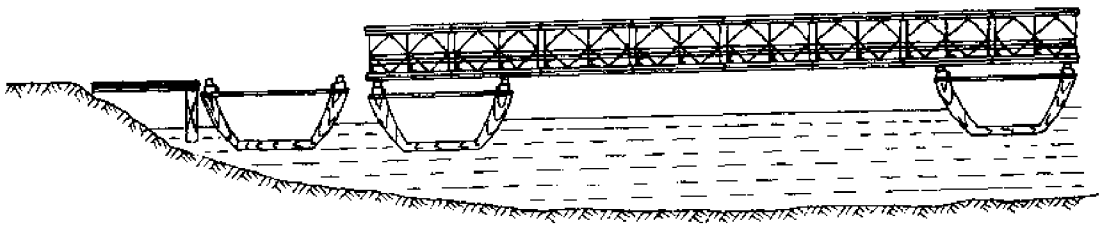
图 5-9　护桁材加强



a)设置辅助舟



b)拼一段推出一段



c)门桥结构完毕

图 5-10　门桥结合作业

工作门桥或辅助舟结构好之后，引至门桥结合位置，靠岸系留固定，然后将已加强好的桥脚舟拼在工作门桥或辅助舟的水侧固定，若桥脚舟无甲板，为便于搬运桁架器材和拼装作业，还应在桥脚舟上搭上跳板。

2)设置滚轮

为了桁架的拼装、推出，在工作门桥或辅助舟的桥脚舟上均应设置滚轮。一般在工作门桥

或辅助舟上设平滚，在桥脚舟上设摇滚（便于控制桁架推出方向和坐落）。若桁架直接支承在护桁材上，门桥突出部长度在1.5m以下时，门桥边舟可不设摇滚；若桥脚舟无甲板或甲板的承载力不足，不能直接设摇滚时，可在舟内设置横框架，将摇滚设在横框架上。若桥架坐落时是用提升式千斤顶，可将平滚直接设在桥脚舟护桁材上。桥脚舟使用特制滚轮（门桥结构好后，支承滚轮不取出，用其直接承受桁架传来的静载及活载），可直接利用支承滚轮进行桁架拼装，不另设滚轮。

3）拼装上部结构

上部结构的拼装方法与第二章介绍方法基本相同。拼装时，先从工作门桥或辅助舟的水侧桥脚舟开始，桁架和加强弦杆的阴阳头方向按统一规定设置。拼装时，尽可能将桁架的竖杆或节点放在护桁材顶上，以改善弦杆的受力状态。

4）推出桁架

桥架拼装一段或全部拼装好之后，推开水侧桥脚舟，形成桥跨。若工作门桥较短或利用辅助舟拼装，可拼一段推出一段，逐次完成。推出时，可利用人力，也可用卷扬机。

桥架推出前应校正桥脚舟上的门桥中心线，安装好水侧一端的门桥连接器，并将推出的桥脚舟与桁架固定牢，将不需要或暂时不需要与桁架一起推出的桥脚舟与工作门桥或辅助舟牢固固定。

利用人力推出时，人员位于桁架两侧或后方，在统一口令指挥下，均匀平衡徐徐推出。在推出过程中，应注意观察桁架的推出方向，如有偏离门桥轴线的现象应停止推出，进行校正。

5）坐落

桁架拼装完毕并推到设计位置后，须用千斤顶将桁架顶起，取出设在桥脚舟上桁架下面的滚轮，使桁架直接支承在护桁材的硬杂木上，这项作业叫坐落。作业的步骤方法是：

第一步：在桥脚舟内桁架下沿紧靠滚轮的位置各设一个千斤顶，千斤顶下部和顶部放一块厚钢板，以增加支承面积；

第二步：用千斤顶先将一侧桁架顶起，取出滚轮（或是摇滚，应先卸下摇滚上的内侧小平滚），然后降下千斤顶，使一侧桁架坐落在护桁材上；

第三步：按上述方法取出另一侧桁架下面的滚轮，使桁架坐落。

桁架坐落时，必须注意，不得将两侧桁架同时顶起，以防由于风浪等原因引起桥脚舟晃动，千斤顶失稳，使桁架突然滑落造成事故。

6）固定上部结构

桥架坐落后，用8号铁丝或螺杆将桁架与舟固定，如桁架采用特制滚轮支承时，必须用木楔等将滚轮塞死。

2. 在岸上拼装上部结构（图5-11），然后推上桥脚舟，结合成门桥

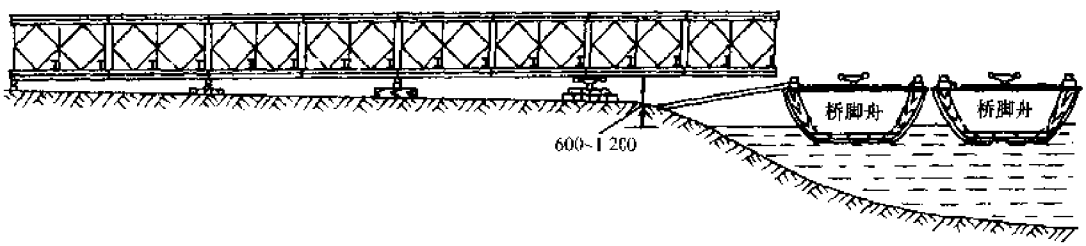


图5-11　在岸上拼装上部结构

采用这种方法，要求岸边有一个宽度不小于8m，长度不小于20m，纵坡不大于3%，有良好进出路，其岸高与桥脚舟基本同高，岸边无浅滩，便于停靠桥脚舟的作业场地。

若河岸坡度较缓，而拼装场地长度不足时，可构筑单节间或多节间的轻型码头（码头高度应与桥脚舟同高），利用码头拼装上部结构。若采取悬臂推出时，应注意校推出的稳定性。

第五节　浮游栈桥的结构与作业

一、浮游栈桥的结构

浮游栈桥相当于一节浮桥，其上部结构一端配置在浮游桥脚上，用铰接门桥连接器与浮游部分连接，另一端通过端柱支承在桥础上。浮游栈桥的上部结构陆侧端安设端柱，安设端柱的一格桁架不设加强弦杆。进出口用一节桥头搭板构筑。浮游栈桥的桥脚舟一般用一只舟，如舟的水线面积和吨位不够时也可用两只舟。浮游栈桥的桁架组合形式、桥脚舟的安全载重量、节间长度见表5-1。栈桥诸元见图5-3。

二、桥础的构筑

装配式桁架浮桥桥础通常按下列要求构筑：

1. 桥础位置：根据土壤性质和浮桥闭塞时可能要移动桥础位置的距离而定，通常距河岸棱线不小于1.5m。

2. 由于装配式桁架浮桥末端是通过两侧桁架端柱与河岸连接，因此河岸土壤承受局部压力较大，如坐板的单位面积压力超过土壤容许承载力时，须用密集枕材来扩大和加固桥础地基。枕材长度一般为1～1.5m，断面不小于15cm×15cm。

3. 枕材上表面高出水面高度一般比桥脚舟护桁材顶面至水面高度低30cm。

三、浮游栈桥的结合作业

浮游栈桥的结合作业，方法根据浮桥进出路地形而定，如进出路岸边地形平坦，高差适宜，可在岸上拼装桁架，然后将桁架推到栈桥桥脚舟上；如地形不许可时，可先在桁架拼装场结构成两舟门桥，然后将门桥引至栈桥位置设置。

（一）在浮桥进出路岸边拼装桁架设置栈桥的作业方法

在浮桥进出路岸边拼装桁架设置栈桥的作业通常按以下步骤进行：

第一步：平整场地，设置滚轮，准备桥脚舟，构筑桥础；

第二步：从桥脚舟开始拼装上部结构，然后将上部结构同桥脚舟一起推出；

第三步：安设端柱，将上部结构陆侧端坐落在桥础的桥座上，并打好控制桩，用八字绳将桥脚舟牢固固定；

第四步：用桥头搭板构筑进出口。

（二）利用桥节门桥设置（图5-12）

第一步：在拼装场地结构一门桥（门桥长度、舟数与栈桥相同），为了适应浅滩和河岸坡度，上部结构陆侧端应构成一定长度的悬臂。桥脚舟使用支承木时，陆侧舟应设摇滚，支承上部结构。

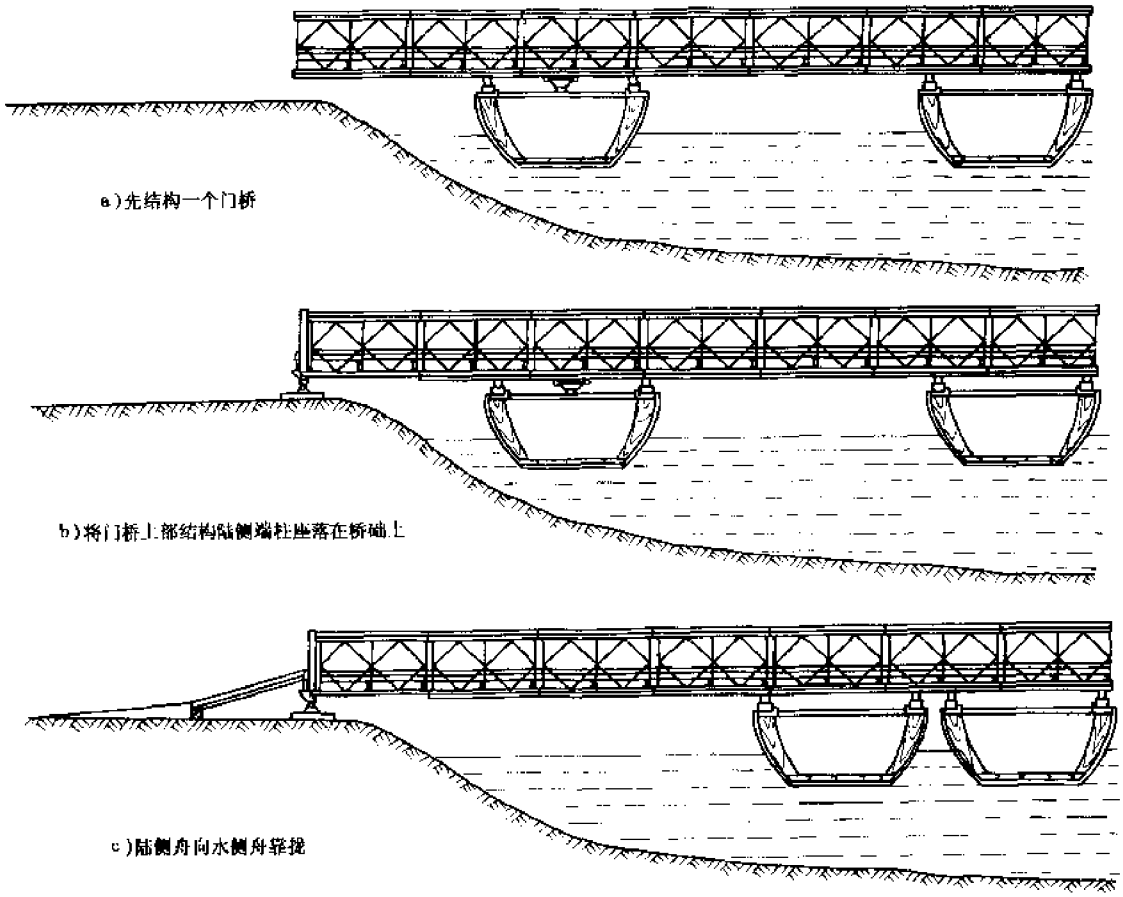


图 5-12　栈桥结合作业

第二步:引门桥至栈桥设置位置,固定在桥轴线上,先将上部结构推到桥础位置,安设端柱,然后将上部结构陆侧端坐落在桥础的桥座上,打好控制柱,拉好控制绳。

第三步:将陆侧舟靠拢水侧舟并与之固定,取出摇滚。同时用桥头搭板构筑进出口。

第六节　浮桥架设、固定、闭塞(合拢)、使用维护与撤收

一、浮桥架设方法

浮桥架设通常包括下列作业:(1)标定桥轴线和投锚线;(2)构筑进出路;(3)构筑栈桥和结构桥节门桥;(4)架设浮游部分;(5)校正桥轴线等。这里主要介绍浮游部分的架设方法。

(一)浮游部分架设方法和作业编组

装配式桁架民舟浮桥通常采用门桥架设法(图 5-13),门桥由一岸向另一岸逐次引入桥轴线进行架设。

架桥的作业编组是:

浮桥长 1 名(根据需要可设副浮桥长 1~2 名),负责指挥架桥作业;

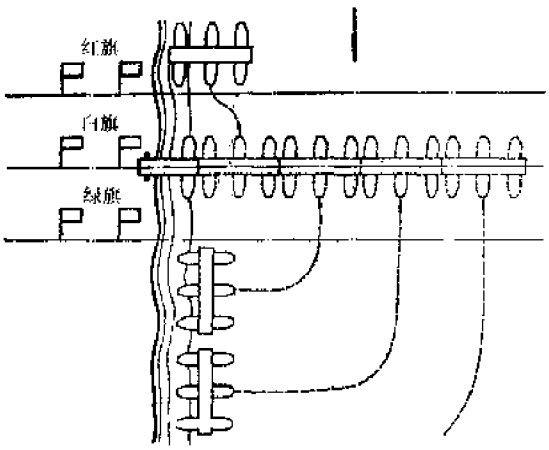


图 5-13　门桥架设

门桥长若干名(每个门桥 1 名),位于门桥上,根据浮桥长的信号,指挥本门桥进入桥轴线,并负责指挥本门桥的作业;

门桥班若干个(每个门桥 1 个),负责引门桥进入桥轴线,并担任门桥间连接作业;

投锚班(组)若干个,负责投锚或起锚;

救护组 1～2 个,负责救护、打捞落水人员和器材;

桥头班 2 个,负责在桥头连接桥节门桥的作业。

(二)门桥进入桥轴线的方法

装配式桁架民舟浮桥的桥节门桥由于门桥长,船体大,引门桥进入桥轴线,通常用汽艇或拖轮牵引或顶推(为了便于投锚,最好使用双汽艇或拖轮牵引)。

1. 当流速小时,门桥从下游进入桥轴线,在门桥上投下游锚,用牵引汽艇或单舟投上游锚,其作业的具体步骤方法是:

(1)将汽艇的牵引钢索挂在舟首,将上游锚抬上汽艇(下游锚放置在门桥舟尾),将锚置于便于投掷的位置,留下投锚作业手,准备投锚;

(2)松开门桥系留绳,撑钩篙使门桥离岸,门桥长指挥汽艇将门桥向桥轴线牵引;

(3)门桥接近下游投锚线时,舟尾的投锚手作好投锚准备,并将锚纲松放几圈。门桥进入下游投锚线时(投锚手对准下游岸上的标示旗),投出下游锚,并放松锚纲;

(4)门桥接近桥轴线时,由门桥向桥头投掷拉合绳,同时钩篙手用钩篙拉往桥头,使门桥靠拢。待门桥稳住基本上可以进行连接时,舟首的锚纲手松开汽艇牵引钢索,门桥长指挥汽艇向上游投锚线前进,汽艇副驾驶员收回牵引钢索。

(5)汽艇到达上游投锚线时,由汽艇上的投锚手对准岸上的标示旗投出上游锚,然后汽艇可驶向岸边或牵引其他门桥;

(6)投完锚后,门桥长可指挥锚纲手松紧锚纲以调整门桥的位置,进行门桥连接。

2. 当流速较大时,利用门桥将上下游锚投好之后,门桥再进入桥轴线,进行连接。此时门桥仍从下游进入桥轴线,方法同上所述。但不同的是:门桥在投完下游锚后,继续前进到上游投锚线位置(此种情况下应将下游锚纲加长)投上游锚,然后松放上游锚纲,让门桥漂流至桥轴线与栈桥或桥段,进行门桥连接。如遇风力和水流影响,门桥在到达桥轴线之前,可能被冲向或偏离桥头,此时应操纵两侧锚纲或使用汽艇顶推,使门桥正确进入桥轴线。

二、浮桥的固定

(一)纵方向的固定

1. 构筑牢固的桥础;

2. 在栈桥或浮游部分的末端两侧,与桥轴线成八字设置 1～2 道控制钢索,其控制桩(单桩)入土深度不得小于 1.5m。

(二)横方向的固定

浮桥横向通常用锚固定(图 5-14),投锚数量应根据流速、浮桥重量、风向、风力、河底土质、锚的结构和重量等情况而定。通常节间长度在 9m 以上,上下游每舟投锚一个,如流速、风力

较大时，应投犁锚或锚组。锚纲长度通常不小于最大水深的10倍。

三、浮桥的闭塞(合拢)

浮桥闭塞是浮桥架设贯通作业。装配式桁架民舟浮桥由于上部结构不能伸缩，只能用移动桥础来闭塞，闭塞作业通常按以下方法进行：

1. 若浮桥栈桥是采用门桥法设置时，在闭塞门桥进入桥轴线以前，应先引入栈桥，将栈桥上部结构陆侧端坐落在摇滚上，向岸上移动适当位置，以增大空隙宽度，便于闭塞门桥进入。闭塞门桥进入桥轴线后，再将栈桥的上部结构向水侧移动，进行闭塞。此时，如闭塞误差较小时，可移动桥础位置来调整，如闭塞误差较大，用增加或减少栈桥桁架格数来调整。但增大栈桥节间时最大不得超过表5-1规定的数值。

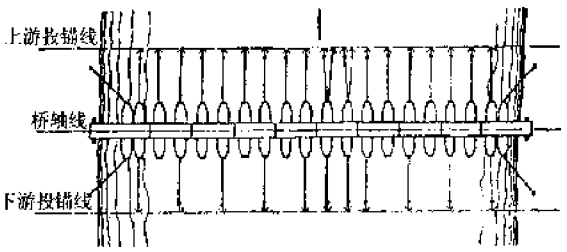


图5-14 浮桥投锚固定

2. 如浮桥栈桥是在浮桥进出口拼装构筑时，在全部门桥均已进入桥轴线后再设置栈桥，闭塞浮桥。

四、浮桥的使用与维护

浮桥使用时应在两岸桥头(浮桥进出口)派出调整指挥人员，担任警戒并指挥车辆按照一定的间距和速度通过浮桥，或在浮桥两岸进出口设置限速、限载标志，超载、超宽的车辆不得通过浮桥。

在通航的江河上，通常在航道上定期开放桥门。桥门的宽度应根据可能通过的船只、排筏的大小而定。通常指定一个门桥或两个门桥作为开放门桥。在开放桥门期间，应派作业手携带钩篙和护舷器材位于桥门两端，担任浮桥的维护作业。在夜间，应在桥门两边按规定用灯光标示。

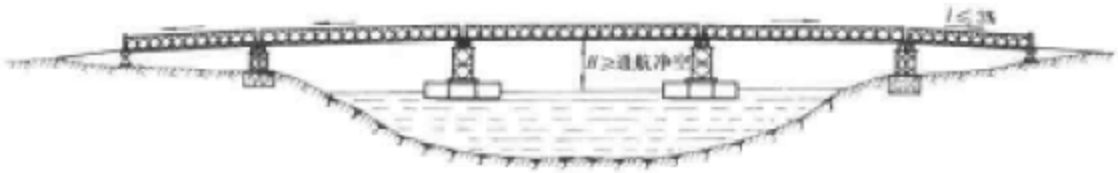
五、浮桥的分解和撤收

浮桥分解时，按浮桥架设的相反顺序进行，首先将浮桥分解成门桥，如是隐蔽性分解，将门桥引至分散隐蔽位置，此时，锚可以不起或部分不起，锚纲用浮标标示。如浮桥不再使用，需完全撤收时，将分解后的桥节门桥牵引至拼装上部结构场地进行分解，其顺序按拼装相反的顺序进行。

第七节 高架浮桥

在通航的中小河川上，为便于通航，根据通航净宽、净高的要求、两岸地形和水位稳定(潮差)情况，可在浮桥的桥脚舟上设置排架桥墩，以提高浮桥面的高度，满足通航要求，这种形式的浮桥称高架浮桥，如图5-15a)、b)、c)所示。

高架浮桥的桥脚舟与一般浮桥基本相同，只是浮桥桥面提高，对桥脚舟的稳性要求更高，设在桥脚舟上的桥墩必须与舟和上部构造牢固固定。高架浮桥的桥跨结构，宜用连续梁。



a)高架浮桥示意图



b)浮箱浮墩高架浮桥



c)民船浮墩高架浮桥

图 5-15　高架浮桥

第六章　装配式公路钢桥器材在吊桥上的应用

第一节　概　　述

吊桥亦称悬索桥，它是将桥跨悬吊在锚固于江河、海谷、海湾两岸的缆索下面的一种桥梁，这种桥梁是最能够充分发挥钢材受拉特性的一种长大跨桥型，多用于跨越宽大的江河、海湾和峡谷。

一、吊桥一般组成及作用

一般吊桥由锚碇、塔架、主缆、吊索(杆)、加劲梁、桥面系6大部分组成(图6-1)。

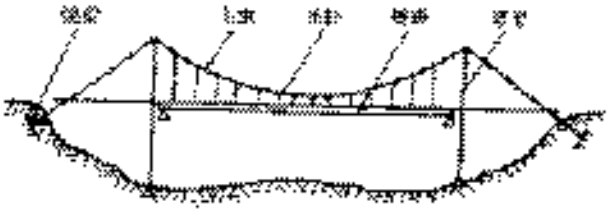


图6-1　吊桥的组成

1. 锚碇

主要作用是锚固吊桥的主索(缆)，将其拉力传给山体或地层，锚碇的形式有重力式、隧道式，中小跨径吊桥还可用锚杆、地垅式等。

2. 塔架

用作支撑主索，改变主索的方向，承受吊桥的垂直压力和风力。塔架一般作成门式框架，用钢或混凝土材料建造，塔柱之间设横系梁或斜杆，长大吊桥，柱根一般做成双圆端，中小跨吊桥一般做成铰支座。为使主索成圆弧形通过塔顶，在塔顶设鞍座。

3. 主索

亦称主缆，其作用是承受桥跨的全部静载和活载，控制全桥的座度和线型，主索一般用镀锌高强平行钢丝制成，中小跨吊桥也可用钢纹线或普通钢芯钢丝绳制作。主索施工，一般是分股即PWS法或逐根钢丝(AS)法架设，最后捆扎成一根主索。主索与锚碇的连接，一般是通过热铸锚头，如主索的索取是钢绞线组成，也可用一般预应力锚固方式，直接与锚碇相连。

4. 吊杆(索)

是主索与桥跨结构的连系构件，上端通过索夹(箍)与主索相连，下端与加劲梁相连，吊杆有布成垂直的，也有布成倾斜状的。

5. 加劲梁与桥面系

加劲梁的作用是承受和分配桥面传来的荷载，简易吊桥不设加劲梁，现代长大吊桥一般用钢箱梁或钢桁架作加劲梁(也有用钢筋混凝土箱的，如广东铂头海湾大桥)。箱梁式加劲梁往往与桥面合为一体。

二、用装配式公路钢桥器材结构架设的吊桥

1. 用装配式公路钢桥器材架设吊桥(以下简称装配式吊桥)是对装配式公路钢桥使用的一个发展,其特点是,架设的跨度大,大大扩充了原器材的使用性能。就吊桥来说,用制式器材拼装,架设快、工期短、桥梁构件可多次重复使用,用于架设通行量不大的山区桥梁抢修大跨度桥梁和临时使用施工便桥均为有利。

装配式吊桥,主要是用钢桥的桁架拼装塔架,用桁架和桥面系构件做吊桥的悬吊结构,我国交通部于1970年在山西省试验架设了跨度100m的装配式吊桥,之后,1985年广州军区工程科研设计所在广西邕江又成功试验架设了一座跨度为270m,载重为3×40t(间距80m)的装配式吊桥。根据英国AKLO公司1970年代出版的《贝雷钢桥使用手册》介绍,用贝雷钢桥架设吊桥最大跨径可达122m(400ft)。加劲梁用加强的双排单层结构,这比我国试验架的跨度小2.45倍,还多用了一排桁架,其主要原因是我国采用了现代吊桥设计理论(详见本章第二节)。

2. 装配式吊桥的技术指标

根据我国试验研究结果,装配式吊桥可采用下述技术指标:

(1)跨度以60~300m为宜;

(2)跨度在60~300m以内,加劲桁架可采用加强的单排单层结构;

(3)载重:履带式:40t(车距60~80m);

轮式:相当汽—15(挂—80除外);

(4)车行部宽度:3.7m;

(5)桁架中心距:5.1m;

(6)最大抗风能力:10级;

(7)静载集度:12kN/m(木桥板)

(8)桥面纵坡:1%~2%

(9)主索的矢跨比:

跨度:100m以下,1/10

跨度:100~150m,1/12

跨度:160~200m,1/13

跨度:210~250m,1/15

跨度;260~300m,1/18~1/16

3. 载重400kN,吊桥内力,见表6-1。

载重400kN各种跨度吊桥内力表 表6-1

内力 / 跨度(m)	矢跨比	空索矢度(m)	主索总拉力(kN)	加劲梁弯矩(kN·m)	吊杆力(kN)	塔架压力(kN)	塔架预偏量(cm)	说明
60	1/6.6	3.232	1344.3	2419.3	108.5	695.9	9.7	1.主索总拉力为全桥之和。 2.加劲梁弯矩为桥跨横断面内的总弯矩。 3.塔架压力为一岸两塔柱压力之和。
72	1/7.3	3.168	1607.1	2414.1	102.0	760.2	13.3	
84	1/7.3	1.815	2152.2	2476.4	104.5	784.9	13.1	
96	1/7.3	1.275	2704.0	2691.2	100.6	1058.0	13.7	
108	1/8.0	1/195	3272.9	2251.3	115.8	1242.3	15.2	
120	1/9.4	2.474	3727.7	2446.7	137.7	1285.0	17.9	

续上表

内力 / 跨度(m)	矢跨比	空素矢度 (m)	主索总拉力 (kN)	加劲梁弯矩 (kN·m)	吊杆力 (kN)	塔架压力 (kN)	塔架预偏量 (cm)	说　明
132	1/10.5	4.706	3865.9	2237.4	120.1	1678.2	15.9	4.塔的预偏量，是按边索的长度为 $H/\sin\phi$ 进行计算的(式中 H 为塔的高度；边索长度为理论长度加1.25m，ϕ 为边索坡角)。 5.主索采用钢芯钢丝绳，其弹性模量取 1.2×10^5MPa。 6.本表内力采用有限位移理论计算并考虑了桁架连接销间隙的影响。
144	1/11.8	5.872	4303.7	2311.1	127.9	1540.0	21.6	
156	1/11.8	4.899	4921.0	2377.4	126.6	1926.1	18.3	
168	1/13.4	6.551	5090.6	2598.6	127.2	1850.3	26.1	
180	1/13.6	6.854	5670.3	2972.6	131.1	2274.0	21.0	
192	1/14.9	8.287	5809.2	3011.3	130.1	2204.0	23.3	
156	1/11.8	4.899	4921.0	2377.4	126.6	1926.1	18.3	
204	1/14.5	5.785	6995.5	2516.1	131.1	2398.4	28.0	
216	1/15.5	7.556	7084.3	2523.1	139.2	2405.6	27.5	
228	1/16.3	8.413	7266.9	2128.1	156.3	2542.9	29.9	
240	1/17.0	8.739	8254.9	2172.0	144.1	2776.2	31.9	
252	1/17.0	8.400	9239.2	2380.9	146.1	3005.9	30.9	
264	1/18.6	7.278	9827.0	2283.1	148.2	3194.0	28.9	
276	1/18.22	9.001	10029.0	1833.7	145.2	3263.9	32.0	
288	1/18.6	8.568	10690.0	2243.0	148.5	3201.6	34.8	
300	1/21.5	13.607	9300.6	2824.6	142.8	3420.6	32.8	

第二节　装配式吊桥结构分析与计算

一、前言

吊桥的设计计算方法，有两种理论，一种是弹性理论，另一种是挠度理论。弹性理论的计算假定近似地认为不论活载在桥梁的什么位置，主索仍然维持抛物线形状，吊杆的受力是均匀的，劲性梁承担荷载的弯矩，对于两端铰支座的加劲梁式组合吊桥来说，是一次超静定结构，可以通过影响线进行计算。这种理论，计算方法简便，对于跨径小、加劲梁的高跨比大于 1/50 时，是可行的。

挠度理论，1888 年 J. Melan 首先发表，这种理论巧妙地利用吊桥的可挠特点，对于大跨度吊桥十分有利。挠度理论促使了吊桥的长大化发展，

装配式吊桥，劲性梁的高跨比小，加之桁架连接销存在有间隙，柔性比较大，这种吊桥的工作状况显然与弹性理论的假定不符，宜用挠度理论计算，但计算复杂。这一工作，经工程兵工程学院道桥渡教研室同志的努力，把现代有限位移理论为基础的矩阵分析法加以改造，提出装配式吊桥的非线性计算方法，并编制出电算程序，在 1983 年湖南衡阳 100m 跨度吊桥和 1985 年广西邕江 270m 跨度吊桥的结构试验中进行了验证。结果表明，这一方法是比较接近实际情况的，有关内容摘要介绍如下。

二、基本结构分析

根据架桥程序，在吊桥架成后，劲性梁是不受弯曲的(在节间由于自重的局部弯矩除外)，

整个桥的自重直接由诸吊杆传给主索承受。只有当活载上桥后，才使劲性梁产生弯曲，吊杆也相应承受不均匀的拉力，主索的拉力增加，其各处的矢度也产生变化。

吊桥在静载(即自重)作用下的情况如图 6-2 所示。

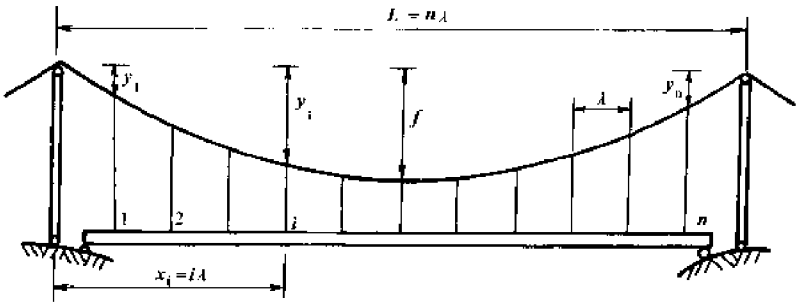


图 6-2　静载状况

吊桥自重，包括桥面、吊杆和主索等重量，可近似地看成是均匀分布的，其集度为 g(kN/m)，桥架成后，在静载作用下主索呈抛物线形状，其最大垂度为 f，一般是预先选定的。主索的静载水平拉力为：

$$H_d=\frac{gl^2}{8f}$$

吊杆一般按等间距配置，其间距(节长)$\lambda=\frac{L}{n}$，n 为吊杆节数，第 i 号节点的静载垂度 y_i 为：$y_i=\frac{4x_i(L-x_i)}{L^2}f$，$f=\frac{4i(N-i)}{n^2}\cdot f$

在静载作用下，各吊杆拉力 V_{di} 是相等的，其值为节间 λ 范围内的桥面自重。

当活载(一般设计荷载为一段均布载，总重为 Q)移动到桥上某一位置时，可以用杠杆法先将荷载 Q 分配到劲性梁的几个节点上，成为几个集中载(图 6-3)。由于活载作用，劲性梁出现弯曲。在劲性梁诸点上将产生挠度 Δ_i，该处吊杆产生了活载拉力 V_{pi}，主索中产生了活载拉力 H_p，在主索诸节点上也产生了活载垂度 V_i。

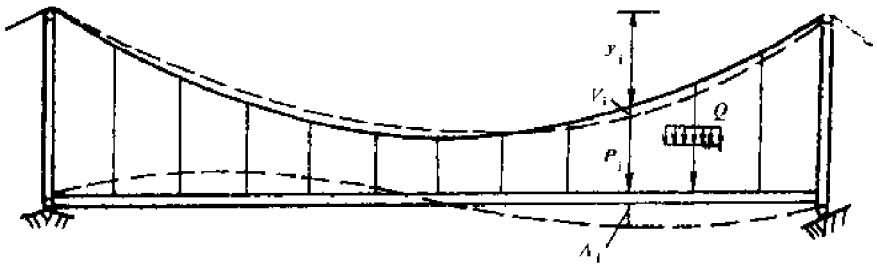


图 6-3　活载状态

综上所述，在静载作用下各处的内力和几何位置都是已定或已知的，在活载作用时，则有下列数值和数组为未知的需要求出。

(1)主索中的活载水平拉力 H_p。

(2)主索中的各节点的活载垂度 V_i 是一组数，记为$\{V\}$。

(3)各劲性梁各节点的挠度 Δ_i，记为$\{V\}$。

(4)劲性梁各节点处的弯矩 M_i，记为$\{M\}$。

三、基本方程组

1. 主梁节点与柱的连接点的平衡关系(图6-4)

在静载作用下，主梁水平拉力为 H_d，柱1节点上所作用的拉力为 H_{c1}，第1跨的主梁倾斜角为 φ_{d1}，第1+1跨的倾斜角为 $\varphi_{d,i+1}$。现在考虑主梁1节点的平衡，在垂直方向合力为零，

$$\Sigma F_V = 0 \text{ 得：}$$

$$V_{d1} = H_d(\operatorname{tg}\varphi_{d1} - \operatorname{tg}\varphi_{d,i+1})$$

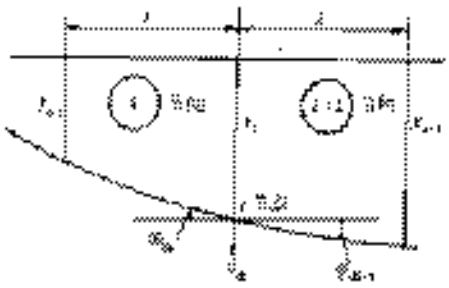


图 6-4

由于 $\operatorname{tg}\varphi_{d1} = \dfrac{y_1 - y_{i-1}}{\lambda}$，　$\operatorname{tg}\varphi_{d,i+1} = \dfrac{y_{i+1} - y_i}{\lambda}$

故：

$$V_{d1} = \frac{H_d}{\lambda}[(y_1 - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_i)]$$

$$= \frac{H_d}{\lambda}(-y_{i-1} + 2y_i - y_{i+1}) \qquad (1)$$

具体展开可得：

$$V_{d1} = \frac{H_d}{\lambda}(2y_1 - y_2) \qquad (\text{由于 } y_0 = 0)$$

$$V_{d2} = \frac{H_d}{\lambda}(-y_1 + 2y_2 - y_3)$$

$$V_{d3} = \frac{H_d}{\lambda}(-y_2 + 2y_3 - y_4)$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$V_{d,n-1} = \frac{H_d}{\lambda}(-y_{n-2} + 2y_{n-1}) \qquad (\text{由于 } y_n = 0)$$

用矩阵表示：

$$\begin{Bmatrix} V_{d1} \\ V_{d2} \\ V_{d3} \\ \vdots \\ V_{d,n-1} \end{Bmatrix} = \frac{H_d}{\lambda} \begin{bmatrix} 2 & -1 & & & 0 \\ -1 & 2 & -1 & & \\ & -1 & 2 & -1 & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots \\ 0 & & & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_{n-1} \end{Bmatrix}$$

简写为：$[V_d] = \dfrac{H_d}{\lambda}[c][y]$　　(2)

$[c]$ 为 $n-1$ 阶对称方阵。

在静载与活载共同作用下，各节点的垂度为 $y_i + V_i$，主梁的水平拉力为 $H_d + H_h$，柱顶的拉力为 $V_{di} + V_{hi}$，根据上面同样原理，其平衡关系式为：

$$[V_d + V_h] = \frac{H_d + H_h}{\lambda}[c][y + V] \qquad (3)$$

将式(3)减去式(2)得：

$$[V_h] = \frac{H_d + H_h}{\lambda}[c][V] + \frac{H_h}{\lambda}[c][y] \qquad (4)$$

2. 刚性梁节点的平衡关系

如图6-5将刚性梁各节点变为铰，根据此时弯矩内力变为一对外力偶在左、右二节间的新

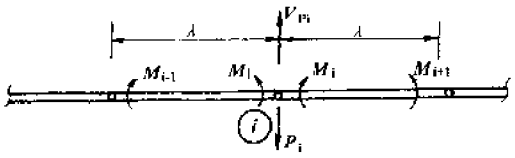


图 6-5

支梁上。

现考虑 i 节点的平衡。该节点除作用有活载集中力 P_i 和吊杆的活载拉力 V_{pi}(吊杆的静载拉力 V_{di}已与桥面自重平衡,这里只考虑活载影响部分)外,还有左右二节间简支梁由于梁端弯矩而产生的支座反力,即:

$$P_i - V_{pi} + \frac{M_{i-1}}{\lambda} - \frac{M_i}{\lambda} - \frac{M_i}{\lambda} + \frac{M_{i+1}}{\lambda} = 0$$

$$\text{或:} P_i - V_{pi} = \frac{1}{\lambda}(-M_{i-1} + 2M_i - M_{i+1}) \tag{5}$$

全部展开写,再简化为矩阵式,即可得:

$$\{P\} - \{V_p\} = \frac{1}{\lambda}[c]\{M\} \tag{6}$$

$[c]$为与式(2)中相同的对称方阵。与(2)式推导中有 $y_0 = y_n = 0$ 相似,此处也有 $M_0 = M_n = 0$

3. 劲性梁节点的变形协调条件

劲性梁虽在节点处"铰化"了,但在该处诸力作用下,还必须保持其连续的性质,即相对转角为零,如图 6-6 在 i 节点处,左边节间 i 梁端倾角 Q_i

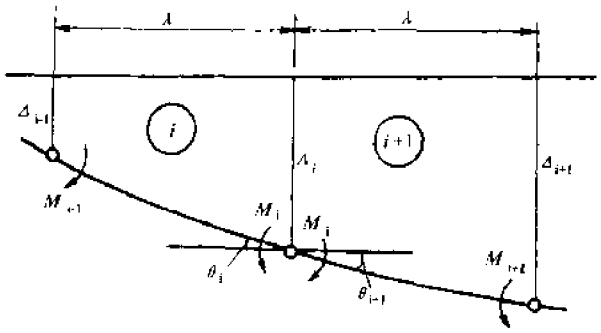


图 6-6

$$Q_i = \frac{\Delta_i - \Delta_{i-1}}{\lambda} - \frac{M_{i-1}\lambda}{6EJ} - \frac{M_i\lambda}{3EJ}$$

右边节间 $i+1$ 梁端倾角 Q_{i+1}

$$Q_{i+1} = \frac{\Delta_{i+1} - \Delta_i}{\lambda} + \frac{M_i\lambda}{3EJ} + \frac{M_{i+1}\lambda}{6EJ}$$

该节点的变形协调条件为 $Q_i = Q_{i+1}$,或:

$$-\frac{\Delta_{i-1} + 2\Delta_i - \Delta_{i+1}}{\lambda} - \frac{\lambda}{6EJ}(M_{i-1} + 4M_i + M_{i+1}) = 0 \tag{7}$$

展开得:

$$[c]\{\Delta\} - \frac{\lambda^2}{6EJ}\begin{bmatrix} 4 & 1 & & & & 0 \\ 1 & 4 & 1 & & & \\ & 1 & 4 & 1 & & \\ & & \ddots & \ddots & & \\ & & & 1 & 4 & 1 \\ 0 & & & & 1 & 4 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ \vdots \\ M_{n-1} \end{Bmatrix} = 0$$

简写为:$[c]\{\Delta\} - [K]\{M\} = 0$ (8)

式中矩阵$[K]$为上面所示的带有常系数$\frac{\lambda^2}{6EJ}$的 $n-1$ 阶对称方阵。

总上所述可得三个方程式组:

$$\{V_p\} = \frac{H_d + H_p}{\lambda}[c]\{V\} + \frac{H_p}{\lambda}[c]\{y\} \tag{I}$$

$$\{P\} - \{V_p\} = \frac{1}{\lambda}[c]\{M\} \tag{II}$$

$$[c]\{\Delta\} - [K]\{M\} = 0 \tag{III}$$

$$(\{\Delta\} = \{V\})$$

现选定$\{V\}$为基本未知数组，把上面三个方程式组中其它未知数组中$\{V_p\}$及$\{M\}$消去，化为只含有$\{V\}$的一组方程式，称为基本方程式组。

由(III)可得：

$$\{M\} = [K]^{-1}[c]\{V\} \tag{9}$$

将式(9)和式(I)一同代入式(II)，得：

$$\{P\} - \frac{H_d + H_p}{\lambda}[c]\{V\} - \frac{H_p}{\lambda}[c]\{y\} = \frac{1}{\lambda}[C][K]^{-1}[c]\{V\}$$

令 $H = H_d + H_p$　　$[E] = \frac{1}{\lambda}[c][K]^{-1}[c]$

则上式可写为：

$$\{P\} - \frac{H}{\lambda}[c]\{V\} - \frac{H_p}{\lambda}[c]\{y\} = [E]\{V\}$$

将$\{V\}$集中到一边，则为：

$$\left([E] + \frac{H}{\lambda}[c]\right)\{V\} = \{P\} - \frac{H_p}{\lambda}[c]\{y\} \tag{10}$$

或简写为：

$$[A]\{V\} = [B] \tag{11}$$

显然：

$$[A] = [E] + \frac{H}{\lambda}[c] \tag{12}$$

$$[B] = \{P\} - \frac{H_p}{\lambda}[c]\{y\} \tag{13}$$

式(10)或式(11)即为基本方程式组，基本未知数组为$\{V\}$，但还不能用它直接解出$\{V\}$来，因为在系数矩阵$[A]$和常数项$\{B\}$中，还包含有未知数 H_p，因此，在基本方程式组之外，尚须寻找一个辅助方程式。

四、辅助方程式

为了求主索的活载拉力 H_p，需要根据主索的变形几何条件建立一个辅助方程式(图 6-7)

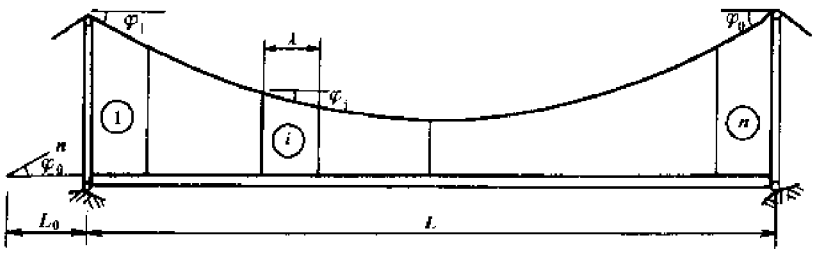


图 6-7

在静载作用下：

两岸锚索倾角为 φ_0，各段主索倾角为 φ_{ds}。

两岸锚索长度为 $L_0/\cos\varphi_0$，各段主索长度为 $\lambda/\cos\varphi_{ds}$。

两岸锚索拉力为 $H_d/\cos\varphi_0$，各段主索拉力为 $H_d/\cos\varphi_{ds}$。

由于对称性，故 $\varphi_{ds}=\varphi_{ds}$，并不计塔顶滑轮对主索的摩阻力。

在活载作用后，各段主索倾角变为 φ_{ps}，各段主索的拉力变为 $(H_p+H_d)/\cos\varphi_{ps}$，左右两岸锚索拉力变为 $(H_d+H_p)/\cos\varphi_{pl}$ 和 $(H_d+H_p)/\cos\varphi_{pr}$。在活载上桥前后，由于上述拉力值的改变而产生的主索总伸长量为（主索的拉伸刚度为 EA）：

$$\sum_1^n\left(\frac{H_d+H_p}{\cos\varphi_{ps}}-\frac{H_d}{\cos\varphi_{ds}}\right)\frac{\lambda}{EA\cos\varphi_{ds}}\text{（跨中各段伸长）}$$

$$+\left(\frac{H_d+H_p}{\cos\varphi_{pl}}-\frac{H_d}{\cos\varphi_{ds}}\right)\frac{L_0}{EA\cos\varphi_0}\text{（左岸锚索伸长）}$$

$$+\left(\frac{H_d+H_p}{\cos\varphi_{pr}}-\frac{H_d}{\cos\varphi_{ds}}\right)\frac{L_0}{EA\cos\varphi_0}\text{（右岸锚索伸长）}$$

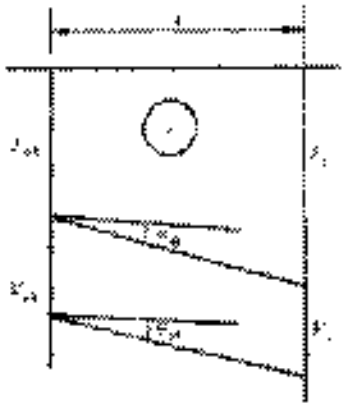


图 6-8

另一方面，在活载上桥后，各段主索温度加大，几何形状改变，对应的几何长度加大，如图 6-8 所示。几何长度增大总值为：

$$\sum_1^n\left(\frac{\lambda}{\cos\varphi_{pl}}-\frac{\lambda}{\cos\varphi_{ds}}\right)$$

此处忽视了活载作用后吊杆垂直位置的改变。

显然，这两种长度增加量应该相等，即由于拉力增加的伸长应与几何形状改变产生的伸长相协调。由此得出辅助方程式：

$$\sum_1^n\left(\frac{H_d+H_p}{\cos\varphi_{pl}}-\frac{H_d}{\cos\varphi_{ds}}\right)\frac{\lambda}{\cos\varphi_{ds}}+\left(\frac{H_d+H_p}{\cos\varphi_{pl}}-\frac{H_d}{\cos\varphi_{ds}}\right)\frac{L_0}{\cos\varphi_0}$$

$$+\left(\frac{H_d+H_p}{\cos\varphi_{pr}}-\frac{H_d}{\cos\varphi_{ds}}\right)\frac{L_0}{\cos\varphi_0}=EA\sum_1^n\left(\frac{1}{\cos\varphi_{pl}}-\frac{1}{\cos\varphi_{ds}}\right)\tag{14}$$

把有 H_p 的项移到一边得：

$$\left(\sum_1^n\frac{\lambda}{\cos\varphi_{pl}\cos\varphi_{ds}}+\frac{L_0}{\cos\varphi_{pl}\cos\varphi_0}+\frac{L_0}{\cos\varphi_{pr}\cos\varphi_0}\right)H_p$$

$$=-H_d\lambda\sum_1^n\frac{1}{\cos\varphi_{ds}}\left(\frac{1}{\cos\varphi_{pl}}-\frac{1}{\cos\varphi_{ds}}\right)-\frac{H_dL_0}{\cos\varphi_0}\left(\frac{1}{\cos\varphi_{pl}}\right.$$

$$\left.+\frac{1}{\cos\varphi_{pr}}-\frac{1}{\cos\varphi_{ds}}-\frac{1}{\cos\varphi_{ds}}\right)+EA\lambda\sum_1^n\left(\frac{1}{\cos\varphi_{ps}}-\frac{1}{\cos\varphi_{ds}}\right)\tag{15}$$

或简写为：

$$S_2H_p=S_1\tag{16}$$

式中：S_2——式(15)的左边系数总值；

S_1——式(15)的右边总值。

有了基本方程式组(10)和辅助方程式(15)，还不能一次直接解出 $|V|$ 和 H_p，因为式(10)的诸系数中包含有 H_p，而式(15)中的系数中，也包含有 $|V|$（倾角 $|\varphi|$ 是 $|V|$ 的函数），而且是不可分离的。问题属于非线性的，故必须用迭代法求解。

五、应用 Newton—Raphson 法迭代求解

由基本方程式组(10)，把全部移到左边，写成一个列函数 $|f|$，它是 $|V|$ 和 H_p 的函数。

$$|\phi| = \left(|E| + \frac{H_d + H_p}{\lambda}[c]\right)|V| - P + \frac{H_p}{\lambda}[c]|\psi| \tag{17}$$

显然，如果我们以正确的 $|V|$ 和 H_p 代入，则可使 $|\phi| = 0$，但由于在开始时，我们只能用假定的 $|V|$ 和 H_p 值代入，故 $|\phi|$ 不会为 0，而会有余值 $|\delta\phi|$。设假定的 $|V|$ 和正确值的差额为 $|\delta V|$，假定的 H_p 与正确值的差额为 δH_p。这三个差额之间的非线性关系，可由对式(17)取微分得出：

$$|\delta\phi| = \left(|E| + \frac{H_p}{\lambda}[c]\right)|\delta V| + \frac{1}{\lambda}|c|(|V| + |\psi|)\,\delta H_d \tag{18}$$

对于辅助方程式(14)，可用同样方式，作一函数 ϕ_n：

$$\phi_n = \sum_1^n\left(\frac{H_d + H_p}{\cos\varphi_{pi}} - \frac{H_d}{\cos\varphi_{di}}\right)\frac{\lambda}{\cos\varphi_{di}} + \left(\frac{H_d + H_p}{\cos\varphi_{pi}} - \frac{H_d}{\cos\varphi_{di}}\right)\frac{l_0}{\cos\varphi_{0i}}$$

$$+ \left(\frac{H_d + H_p}{\cos\varphi_{pi}} - \frac{H_d}{\cos\varphi_{di}}\right)\frac{l_0}{\cos\varphi_{0i}} - EA\sum_1^n\left(\frac{1}{\cos\varphi_{pi}} - \frac{1}{\cos\varphi_{di}}\right) \tag{19}$$

对式(19)取微分时，注意 $\cos\varphi_{pi}$ 为 $|V|$ 的函数，故要先推导 $1/\cos\varphi_{pi}$ 的微分表达式：

$$d\left(\frac{1}{\cos\varphi_{pi}}\right) = d(\sec\varphi_{pi}) = \sec\varphi_{pi}\,\mathrm{tg}\varphi_{pi}\,d\varphi_{pi} \tag{20}$$

另：

$$d(\mathrm{tg}\varphi_{pi}) = \sec^2\varphi_{pi}\,d\varphi_{pi} \tag{21}$$

因而：

$$d\varphi_{pi} = \frac{1}{\sec^2\varphi_{pi}}\,d(\mathrm{tg}\varphi_{pi})$$

代入式(20)得：

$$d\left(\frac{1}{\cos\varphi_{pi}}\right) = \sec\varphi_{pi}\,\mathrm{tg}\varphi_{pi}\,\frac{1}{\sec\varphi_{pi}}\,d(\mathrm{tg}\varphi_{pi}) = \sin\varphi_{pi}\,d(\mathrm{tg}\varphi_{pi})$$

由于：

$$\mathrm{tg}\varphi_{pi} = \frac{1}{\lambda}(y_i + V_i - y_{i-1} - V_{i-1})$$

故：

$$d\left(\frac{1}{\cos\varphi_{pi}}\right) = \frac{\sin\varphi_{pi}}{\lambda}(dV_i - dV_{i-1}) \tag{22}$$

而：

$$d\left(\frac{1}{\cos\varphi_{pi}}\right) = \frac{\sin\varphi_{pi}}{\lambda}dV_i \quad (\text{由于 } V_0 = 0)$$

$$d\left(\frac{1}{\cos\varphi_{pi}}\right) = \frac{-\sin\varphi_{pi}}{\lambda}dV_{n-1} \quad (\text{由于 } V_n = 0)$$

对式(19)取微分可得：

$$\delta\phi_n = \left\{\sum_1^n\frac{\lambda}{\cos\varphi_{pi}\cos\varphi_{di}} + \frac{l_0}{\cos\varphi_{0i}}\left(\frac{1}{\cos\varphi_{pi}} + \frac{1}{\cos\varphi_{pi}}\right)\right\}\delta H_p$$

$$+ \sum_1^n\frac{H_p}{\cos\varphi_{di}}\sin\varphi_{pi}(\delta V_i - \delta V_{i-1}) + \frac{H_p}{\cos\varphi_{0i}}\frac{\sin\varphi_{pi}}{\lambda}\delta V_i$$

$$- \frac{H_p}{\cos\varphi_{0i}}\frac{\sin\varphi_{pi}}{\lambda}\delta V_{n-1} - EA\sum_1^n\sin\varphi_{pi}(\delta V_i - \delta V_{i-1}) \tag{23}$$

将上式按 δV_i、δV_{i-1}、δV_i、δV_{n-1}、δH_p 的次序整理可得下式：

$$\delta\theta_n=\frac{Hl_0}{\cos\varphi_0}\frac{\sin\varphi_0}{\lambda}\delta v_1+\sum_{i=1}^{n-1}\left(\frac{H}{\cos\varphi_i}\sin\varphi_i-\frac{H}{\cos\varphi_{i-1}}\sin\varphi_{i-1}\right)\delta v_{i-1}$$
$$+\sum_{i=1}^{n-1}\left(\frac{H}{\cos\varphi_i}-\sin\varphi_n-\frac{H}{\cos\varphi_{i-1}}\sin\varphi_{i-1}\right)\delta v_i-\frac{Hl_0}{\cos\varphi_{n-1}}\frac{\sin\varphi_{n-1}}{\lambda}\delta v_{n-1}$$
$$+\left[\sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda}{\cos\varphi_{i-1}\cos\varphi_{i-1}}+\frac{l_0}{\cos\varphi_0}\left(\frac{1}{\cos\varphi_0}+\frac{1}{\cos\varphi_{n-1}}\right)\right]\delta H_n \tag{24}$$

现在可以把式(19)和式(24)合成为以δv和δH_p为未知数的线性方程式组(25)，其常数项为δ_{ip}和δ_{np}，即是以假定的v和H_p代入式(18)所得的余值。

$$\delta v_1,\delta v_2,\delta v_3,\cdots,\delta H_{p-1},\delta H_p$$

$$\begin{matrix}1\\2\\3\\\vdots\\n-1\\n\end{matrix}\begin{bmatrix}\text{方程式组(19)}\\\text{方程式(24)}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\delta_{ip}\\\delta_{np}\end{bmatrix} \tag{25}$$

将假定的v和H_p代入式(25)，解出δv和δH_p，以改正v和H_p，再代入，再修正，如此迭代，即可收敛于正确答案。此方法收敛很快。v和H_p均可以零为初值，第一次修正，即可基本上接近于正确答案，以后再几次修正，只是提高其逼近精确的程度而已。β基本由于y值和v值相比很大的多，而H_p比H_p也大的多，v和H_p以零为初值，实际上等于把y当做$y+v$的近值，把H_p当做H的初值。

六、对几个问题的处理

(一)分段刚接悬索桥塔梁连结处转角的影响

用公路钢桥器材架设的悬索桥，加劲梁为公路钢板桁架，桁架与桁架之间常用铰销连结，销与销孔有一定的间隙，桁架在连接处形成一定大小的连接间隙角。这种连接间隙，对吊杆内力的影响最为显著的，它常可使劲性梁弯矩值降低10%～20%，并使主索活载拉力、吊杆活载拉力和锚碇均有一定程度的增加，故必须予以计算。

计算时，需要在劲性梁节点i上(图6-6)，预留一个连接间隙角β_i，于是变形协调方程(7)变为：

$$\frac{-\Delta_{i-1}+2\Delta_i-\Delta_{i+1}}{\lambda}-\frac{\lambda}{6EJ}(M_{i-1}+4M_i+M_{i+1})-\beta_i=0 \tag{26}$$

简式(8)变为：

$$[C]\{\Delta\}=[A]\{H\}-\lambda\{\beta\} \tag{27}$$

(二)温度变化影响

温度升降，使主索长度变化，影响主索的水平轴拉力，也影响吊杆拉力。劲性梁的弯矩和内力。在温差大的地区，必须考虑温度变化引起主索拉力的增加和温度降低时劲性梁弯矩和挠度的增加。设温度变化幅度为t，主索线膨胀系数为α，则主索两吊杆锚索的长度变化为$\frac{2l_0\alpha t}{\cos\varphi_0}$，跨中各节间的长度变化总量为$\sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda\alpha t}{\cos\varphi_i}$，计及此项长度变化后，缆索方程式(14)的左边须增加这两项，或在式(15)的右边须减去如下两项(假定温度升高t)

$$EA\frac{2l_0\alpha t}{\cos\varphi_0}+EA\sum_1^n\frac{\lambda\alpha t}{\cos\varphi_{di}} \tag{28}$$

(三)吊杆变形影响

在一般情况下,吊杆变形量与挠度值相比是很小的,在计算中可以忽略,但当采用麻芯钢索作吊杆时,特别是靠近桥头较长的吊杆,其变形较大,不可忽视,如考虑吊杆变形,则必须引进一个$\{V\}$和$\{\Delta\}$的关系式:

$$\Delta_i = V_i + \frac{V_{pi}l_i}{EAV_i}$$

式中l_i为吊杆长度,EAV_i为吊杆的抗拉刚度,即拉伸弹性模量与断面积的乘积,如把$\frac{l_i}{EAV_i}$记作F_i,表示此吊杆的拉伸柔度,则:

$$\Delta_i = V_i + F_iV_{pi} \tag{29}$$

如将F_i各值写在一个$n-1$阶方阵的对角线上,成为一对角阵:

$$[F]=\begin{bmatrix} F_1 & & & 0 \\ & F_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & F_{n-1} \end{bmatrix}$$

则式(29)可简写为如下的矩阵式:

$$\{\Delta\} = \{V\} + \{F\}\{V_p\} \tag{30}$$

(四)吊杆长度的调整作用

一般架设吊桥,常使桥面在自重作用下呈水平状态,但有时我们可以主动调整吊杆长度使吊桥在自重作用下,即有一定的预拱度,以达到减少活载作用时劲性梁的弯矩和挠度的目的,使设计更加合理。

设各吊杆调整缩短长度为δ,则式(29)须改为:

$$\Delta_i = V_i + F_iV_{pi} - \delta_i$$

而式(30)也相应改为:

$$\{\Delta\} = \{V\} + \{F\}\{V_p\} - \{\delta\} \tag{31}$$

如同时考虑上述四个问题,则可将式(27)代替式(8),将式(28)加到式(15)中,将式(31)引进基本关系式中,经过上述推导,基本方程式组(10)将扩充为如下的形式:

$$\left([E]+\frac{H}{\lambda}[E][F]+[I][C]\right)\{V\} \qquad ([I]\text{为单位阵})$$

$$=\{P\}-\frac{H_p}{\lambda}([E][F]+[I])[C]\{y\}+[C][K]^{-1}\{\beta\}+[E]\{\delta\} \tag{32}$$

而微分式(19)将扩充为:

$$\{\delta\phi\} = \left([E]+\frac{H}{\lambda}([E][F]+[I])[C]\right)\{\delta V\}$$

$$+\frac{1}{\lambda}([E][F]+[I])[c](\{V\}+\{y\})\delta H_p \tag{33}$$

考虑温度影响时,方程式(24)形式并不改变,只在计算常数项$\delta\phi_n$应用式(20)时,需加上式(28)(当温度上升t时)。

七、电算程序

按上面所述原理，电算程序的粗框图如下图 6-9 所示。

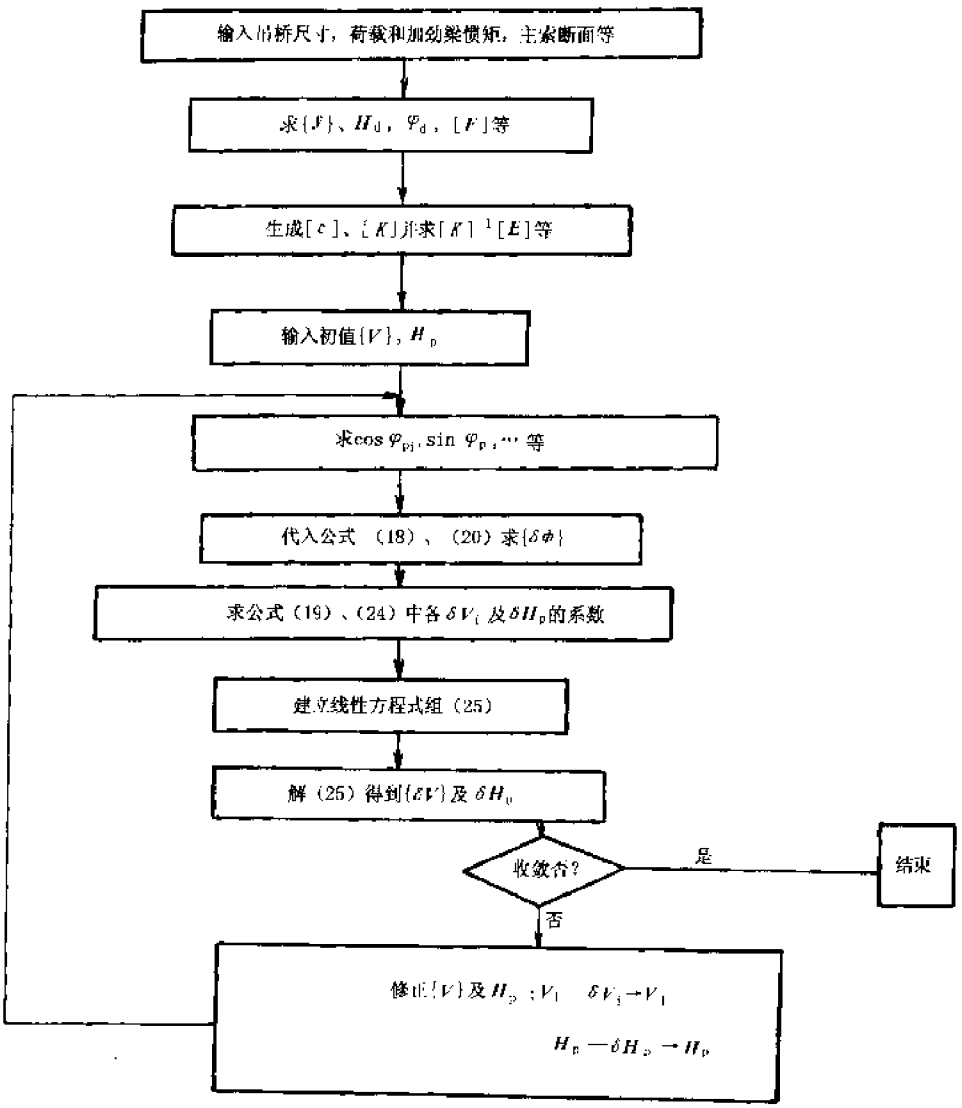


图 6-9

第三节　广西邕江装配式吊桥设计施工简介

广西邕江装配式吊桥(图 6-10)位于南宁市东 32km，1985 年 4 月完成施工准备，5 月初开始架设，历时 3 个月，7 月底架成通车，该桥为战备试验桥，设计使用期 5 年，后因在该桥上游修建了一座永久性桥。1996 年吊桥拆除，安全使用了 11 年，通车 30 余万多次，该桥主跨 274m，设计载重 40t(车距 80m)。该桥采用现代非线性理论设计，采取了一些新的构造措施，竣工后进行了静动载试验和模型风洞试验，为这种桥梁的设计和快速架设摸索了一套可行经验。该桥设计施工总结，已于 1986 年出版内部发行，这里将其主要部分摘录介绍。

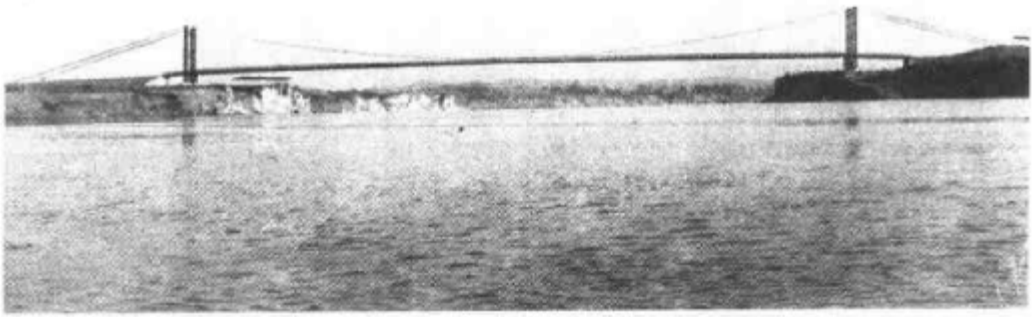


图6-10 广州鱼珠装配式吊桥

一、垂直荷载作用下的内力和变位计算

（一）计算理论

垂直荷载作用下的内力和变位计算采用了非线性理论，计算中并考虑了下列两个因素：

1. 考虑了温度变化的影响。在计算主索的最大拉力时，温度按下降20℃考虑；在计算劲性桁架的最大弯矩时，温度按上升30℃考虑。

2. 考虑了劲性桁架单锚连接的间隙影响。

（二）计算结果

垂直荷载作用下的内力和变位利用工程及工程学院兼涤新等同志编写的电算程序进行计算，其结果如下：

1. 主索的最大拉力

主索的最大拉力出现在三个40t履带式活荷载对称布置时，其总拉力为9223kN。

2. 活荷载作用下劲性桁架的弯矩

由电算比较得知，劲性桁架的弯矩最不利位置是一个40t履带式活荷载作用在33m处时，最不利弯矩产生在靠近塔架的5号与6号吊杆之间，其弯矩值为

$$M_{max} = 2324.2692\text{kN}\cdot\text{m}$$

电子计算机算出的各截面弯矩，见图6-11。

3. 活荷载作用下的吊杆拉力

吊杆的最大拉力出现在三个400kN履带式活荷载对称布置时，第22号吊杆的拉力为35.21kN（未考虑活荷载偏心）。

4. 锚索的最大拉力

因塔顶处锚索与主索的倾角相等，故锚索的最大拉力与主索的最大拉力相同，其拉力为9223kN（设计锚碇时，拉力按10000kN考虑）。

5. 主索、锚索对一座塔架的压力（图6-12）

$$\begin{aligned} R_x &= 2T_{max}\sin\varphi \\ &= 2\times 9223\times\sin 15.05^\circ \\ &= 2\times 9223\times 0.2597 \\ &= 4790\text{kN} \end{aligned}$$

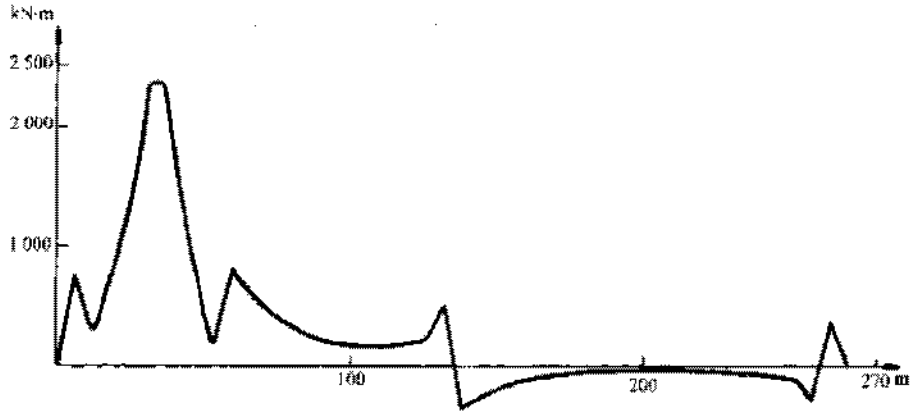


图 6-11　弯矩图

6. 桥梁最大挠度

当一个 400kN 履带式活荷载作用在 $L/2$ 处时，桥梁出现最大挠度，其挠度值为 1.422m。

7. 桥梁的最大纵坡

当一个 400kN 履带式活荷载作用在 33m 处时，桥梁出现最大纵坡，其纵坡度值为 3.0%。

8. 桥梁的最大横坡

当一个 400kN 履带式活荷载最大偏心作用在跨中时，桥梁出现最大横坡度，其横坡度值为 2.0°(即 3.5%)。

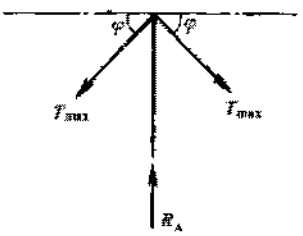


图 6-12　塔的压力

二、锚碇构造与施工

1. 锚碇布置：根据总体计算，桥梁在最大设计荷载作用下主索最大拉力为 9223kN，锚碇按 10000kN 设计，布置在桥梁两岸，每侧主索两端各放一个。

2. 根据两岸地形、地质情况，设计采用“地拢式”锚碇，考虑该桥平战结合，长期使用，锚碇与工体全部采用钢筋混凝土结构，前墙设 6.5m(高)，长 9.0m，周边 0.55m 钢筋混凝土板，板的中部设两个 2m×2m×2m 的棱台，在每个棱台上设了 28 个主索锚杆预留孔，断面如图 6-13 所示。

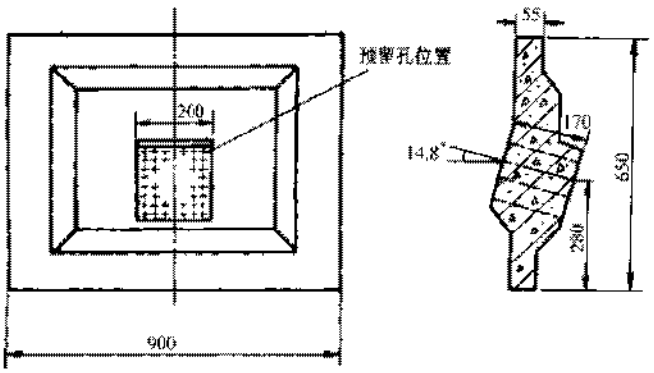


图 6-13　锚碇墙

3. 锚碇的深度采用朗肯被动土压力计算。

$$\gamma kPH^2 + 4CH\sqrt{K_p} - 5P' = 0$$

式中：H——锚碇坑深(m)；

γ——土体重(kN/m³)；

C——土壤粘结力(kPa)；

P'——作用在锚碇墙上单位有效长度内的水平力

$$K_p = \mathrm{tg}^2\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right)$$

φ——岩土摩擦角(°)。

4. 施工

(1)开挖平底坑

邕江吊桥的锚碇是利用被动土压力来锚固主索，因此要求在开挖平底坑过程中，尽可能不破坏前墙的原状土。

(2)为保证28根锚杆的相关位置，先用钢板制作单个锚杆的预留孔内模，然后组焊成一个整体统一准确安装、定位。

(3)采取分段分层的方法浇注锚碇板、前墙、锚索通道的混凝土。

(4)最后回填基坑，作防排水工程。

三、塔架构造与施工

(一)结构

塔架为摆动式，下端为铰支座，塔的顶端设索鞍。整个塔架由塔基、塔柱、铰支座、横向连结系、鞍座、风缆组成(图6-14)。

(1)塔柱：根据计算，每一塔柱用四片起立桁架组成，用标准支撑架相连，由于两岸塔的高度分别为24.6m，和23.1m，非3m桁架的整倍数，用基础标高作了调整，塔柱下端的铰支座(图6-15)用钢板焊成，两塔柱之间以特制横向桁架相连，塔的两侧设有4对风缆，以保持塔架横方向的稳定。

(2)索鞍：每塔顶放有一对铸钢鞍座(图6-16)。鞍座半径按规范要求不小于主索钢丝直径的300倍，主索钢丝直径为2.6mm，故鞍座半径取2150mm，鞍座用螺栓将塔架与主索固定。

(二)计算

1. 说明

(1)在塔架部分计算中，塔柱上只考虑了主索传来的正压力及塔柱本身自重产生的正压力之和，即为2510kN，而未考虑由于水平风力的作用在塔柱上产生的正压力，因这部分力对塔架的影响较小，且所取的塔柱正压力为2510kN，比实际的要大，故仅用2510kN来验算各构件的强度及稳定，是偏于安全的。

(2)塔柱的四片桁架假设是整体工作，均匀受力。

2. 塔架平面外的稳定计算

顺桥轴线方向塔架下端为铰接，计算简图如图6-17所示。

主桁架的弦杆为[10　$A_0 = 12.74\mathrm{cm}^2$，塔柱惯性矩：

$$I_x = 8 \times 2A_0 \times 70^2 + 8 \times 2I_0$$

$$= 8 \times 2 \times 12.74 \times 70^2 + 8 \times 2 \times 198.3$$

$= 1030730.2\text{cm}^4$

塔柱截面积(图 6-18)：

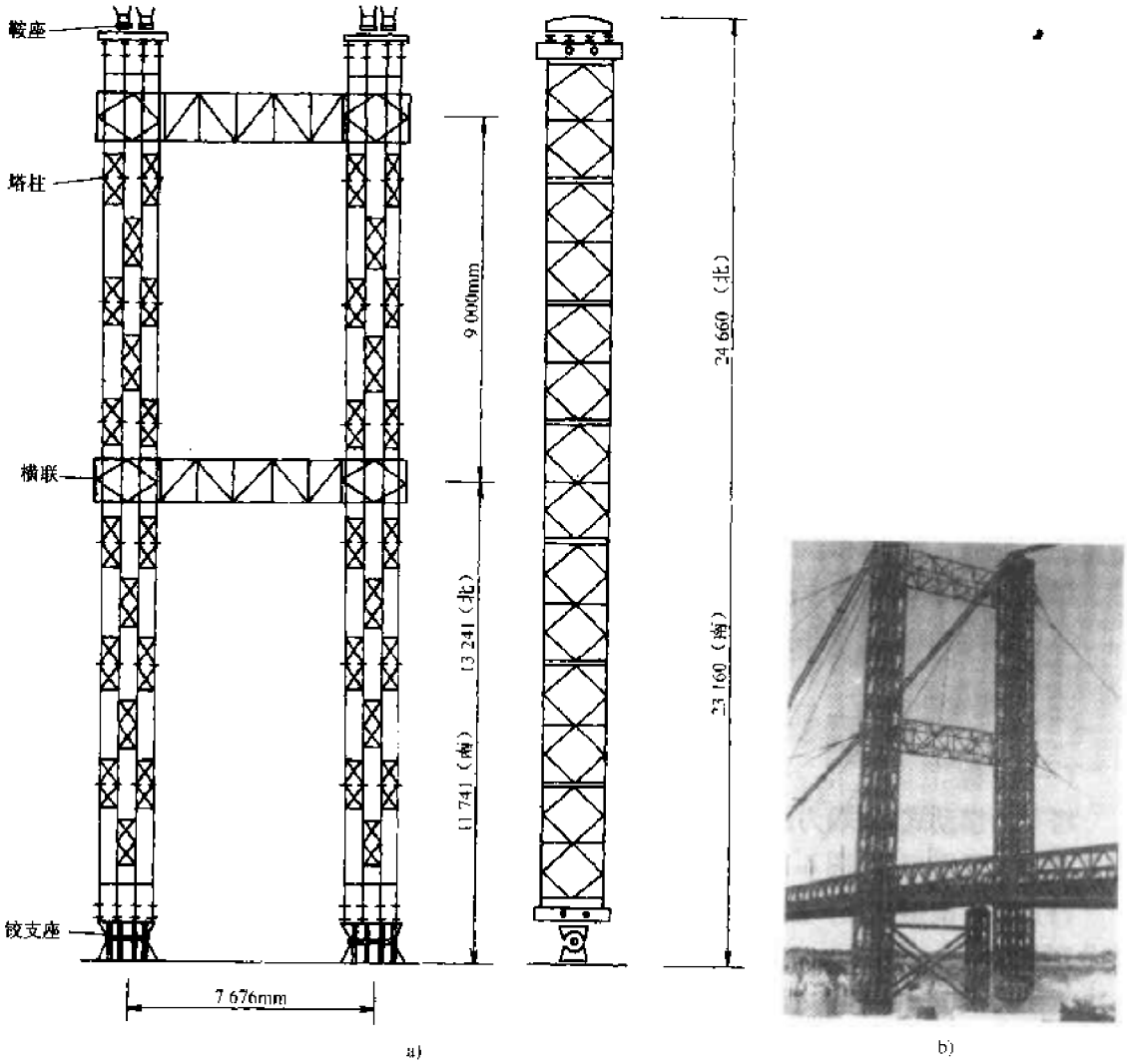


图 6-14

a)塔架组成；b)塔架全貌

$$A = 8 \times 2A_0$$
$$= 8 \times 2 \times 12.74$$
$$= 203.84\text{cm}^2$$

回转半径：

$$r_x = \sqrt{I_x/A}$$
$$= \sqrt{1030730.2/203.84}$$
$$= 71.1095\text{cm}$$

长细比：

$$\lambda_x = l_{0x}/r_x$$
$$= 2430/71.1095$$
$$= 34.1727$$

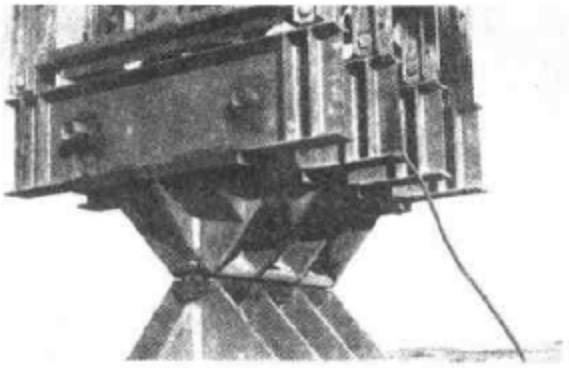


图 6-15　塔架铰支座

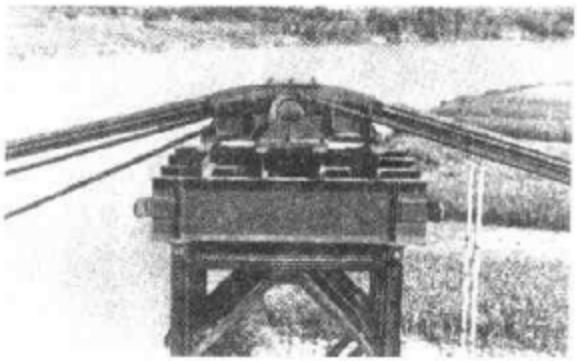


图 6-16　塔顶素鞍

缀条取桁架四根腹杆，其型号为 8# 工字钢，$A_8 = 9.53\text{cm}^2$。

$$A_{1x} = 4 \times 9.53$$
$$= 38.12\text{cm}^2$$

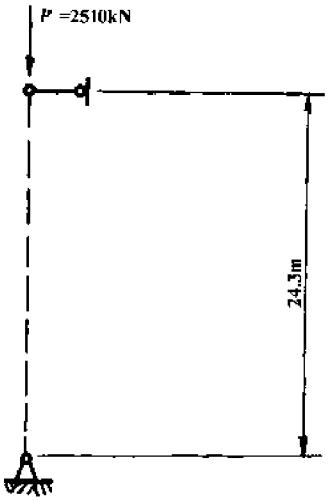


图　6-17

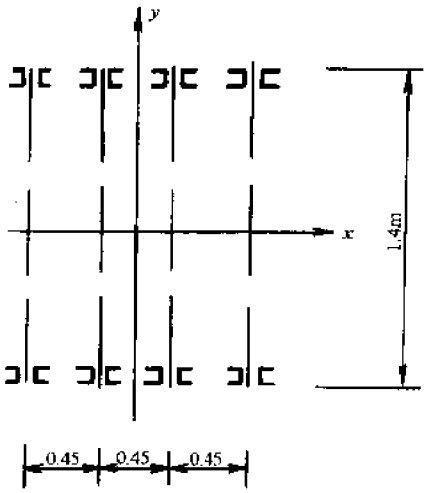


图 6-18　塔柱截面

查《钢结构设计规范》表 15，得折算长细比：

$$\lambda_{hx} = \sqrt{\lambda_x^2 + 40A/A_1 x}$$
$$= \sqrt{34.1727^2 + 40 \times 203.84 \div 38.12}$$
$$= 37.17$$

由 $\lambda_{hx} = 37.17$，查《钢结构设计规范》附表 17 得，$\varphi = 0.936$。

$\therefore$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A}$$
$$= \frac{251 \times 10^3}{0.936 \times 203.84}$$
$$= 1316\text{kg/cm}^2 < [\sigma] = 2800\text{kg/cm}^2 = 280\text{MPa}$$

3. 塔架平面内的稳定计算

假设作用在塔架上的水平力(包括动性能传来的所受风力 P_1 和塔架本身所承受的风力 P_2)由塔架横向风缆和横撑承受,则塔柱为轴心受压构件(图 6-19)。

(1)验算塔柱的稳定和刚度

①计算塔架平面内塔柱的惯性矩

$$I_y = 8A_0 \times (67.5^2 + 22.5^2)$$
$$= 8 \times 12.74 \times (67.5^2 + 22.5^2)$$
$$= 515970\text{cm}^4$$

式中:A_0——一[$_{10}$普通槽钢的截面积。

②塔柱的自由长度

$$l_{ox} = 12.9\text{m} = 1290\text{cm}$$

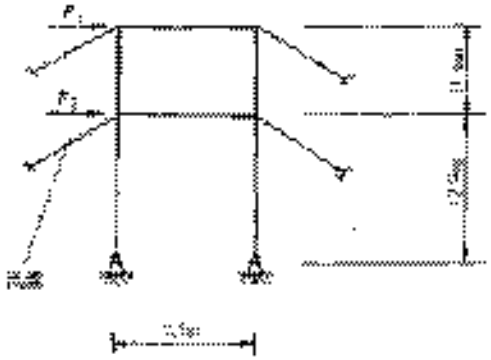


图 6-19 平面内稳定

③回转半径

$$r_y = \sqrt{I_y/A}$$
$$= \sqrt{515970/203.84}$$
$$= 50.3115\text{cm}$$

长细比:

$$\lambda_y = l_{ox}/r_y$$
$$= 1290/50.3115$$
$$= 25.6$$

因缀条的截面积 $A_{1y} = 2 \times 5.69 = 11.38\text{cm}$

$$\therefore \quad \lambda_{1y} = \sqrt{\lambda_y^2 + 40A/A_{1y}}$$
$$= \sqrt{25.6^2 + 40 \times 154.08 \div 11.38}$$
$$= 34.63$$

换算长细比:

$$\lambda'_{1y} = \lambda_{1y}\sqrt{\sigma_s/2400} = 34.63 \times \sqrt{3500 \div 2400}$$
$$\approx 42$$

式中:σ_s 为 16Mn 钢的屈服限。查钢结构设计规范附表 17 得 $\varphi = 0.885$,

$$\therefore \quad \sigma = N/\varphi A$$
$$= 251 \times 10^3/0.885 \times 154.08$$
$$= 1540\text{kg/cm}^2 < [\sigma] = 2800\text{kg/cm}^2$$

(2)刚度验算

$$\lambda_{max} = 42 < [\lambda] = 150$$

(三)海架的拼装

(1)首先在塔基上安装下摇座,装上摇轴之后,再设上摇座。为保持稳定,在设上摇座之前先在其四周设本杆层,然后在上摇座上设下级梁(用螺栓临时固定),拼接塔柱底层桁架,在阴塔柱之间设好临时横撑之后,再将下缀梁与铰支座的上摇座焊牢,并将下摇座向陆侧倾斜一个角度,以满足塔柱预偏量。

(2)拼装塔柱的上部构件

塔柱的拼装方法与用公路钢桥桁架拼装其他柱的方法相似,由于桁架重 270kg,需用起重

工具来吊装，邕宁吊桥，塔高 24m，拼装时先在两塔之间立一个轻型的井架，然后在井架上设两个起吊能力为 5kN 的扒杆，垂直吊拼桁架(图 6-20)。在拼装过程中每上升 6m 设一层临时风缆，塔柱拼至顶后，设顶部纵梁，安装索鞍，用收紧风缆的办法来调整塔的预偏量。

四、主索及其连接系统构造与施工

(一)结构

1. 原材料

吊桥主索宜用抗拉强度高、弹性模量大、伸长小、镀锌高强平行钢丝制作，从造价、施工难易、工期长短等考虑，中小跨吊桥，可用钢铰线或钢芯钢丝绳，但不宜用麻芯钢丝绳，邕江吊桥采用了旋钮多股钢芯钢丝绳。从使用情况看，这种钢丝绳作中等以上跨度的吊桥主索，还不够理想，其主要缺点是：回扭性大，即使经过预拉，弹性模量还是小，且呈非线性变化，给桥梁施工增加了一定难度。

2. 有关索股(钢丝绳)的技术数据

主索长度为 505.34m，订货长度为 520m，设计总拉力为 922.4t，主索的布置为每桥侧两束，7 根一束，全桥共 28 根，钢丝绳的型号为 7×19—39—155，钢丝直径为 2.6mm。

3. 主索连接系统的构造

主索的连接系统主要有：索端连接件和长度调整装置等。

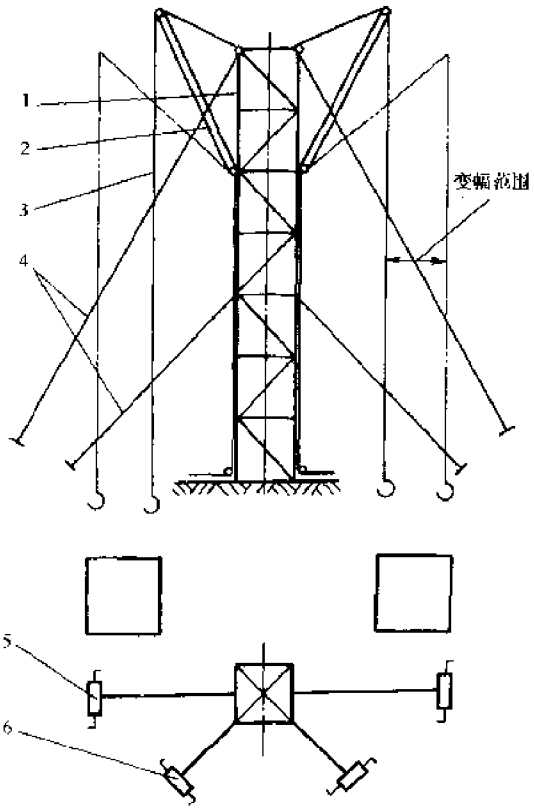


图 6-20 轻型井架简图

1-井架；2-附扒杆；3-吊索；4-风缆索；5-起重卷扬机；6-附扒杆变幅卷扬机

(1)索端固结：吊桥索股可用索卡结(或编扎法)和合金锚头固结索端。索卡结通常是绕过一个滑轮，将索端用索卡或插股编扎成一个蛇口，再与其他部分连接，如图 6-21 所示。这种连接方法的缺点：一是钢索的弯曲应力大，由于总体布置所限，滑轮的直径不可能达到规范的要求，一般钢芯钢索不宜用这种方法固结；二是蛇口圈的大小，随着受力的大小变化，具有较大的非弹性变形；三是施工操作难度较大，现地安装作业时间长。

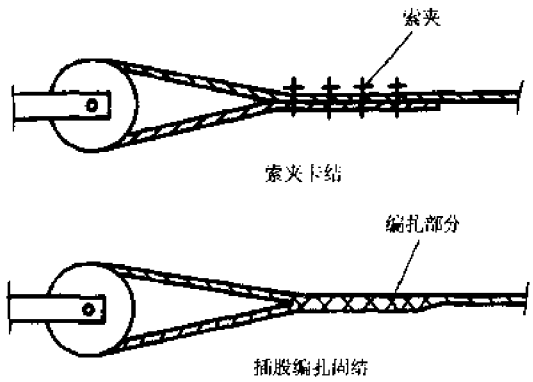


图 6-21 绳端固结

邕江吊桥采用锚头锌铜合金固结(图 6-22)，这种固结法钢丝不产生弯曲应力，现场安装方便，牢固可靠。但预制时工艺要求严格，如钢索两端均采用锚头固结，长度已定死，因而要求长度计算和施工测量要有较高的精度。

(2)主索与锚碇与长度微调器的连接构造

如锚碇采用钢索锚杆形式，可采用图 6-23a)所示的方式，邕江吊桥采用图 6-23b)所示的方式。其构造是：在主索锚头两侧各开一个圆孔，插入一根带有螺纹的锚杆，锚杆插入锚碇板的预留孔中，套上螺帽与千斤顶配合，拧动螺帽即可

进行微调，从实际使用情况看，这样的结构，连接可靠，安装简便，操作省力。

(3)主索锚头的构造

锚头用45#铸钢浇成，构造如图6-24所示，锚头主要参数根据钢桥规范要求，取值情况如下：

①锥形套筒长度不小于钢索直径的6倍。钢索直径为39mm，套筒长度取250mm。

②锥形套筒最小厚度等于钢索半径，实际取20mm。

③锥形套筒内壁的锥度不小于1/12，实际取1/7.6。

④锥头孔径为钢索直径加4mm。直径增大的目的是便于放入钢索。

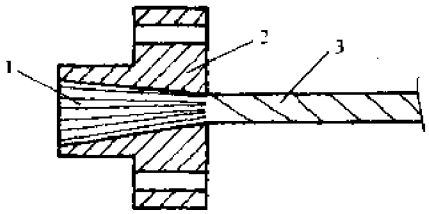


图6-22 锚头固结

1-含金填充物；2-锚头；3-钢索

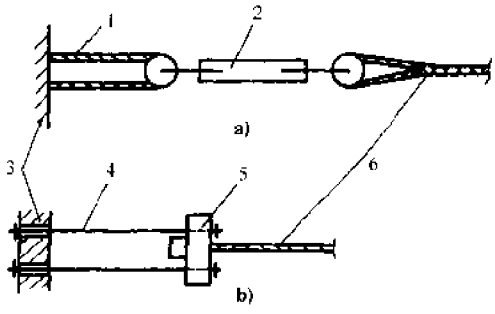


图6-23 主索与锚碇的连接

1-锚索；2-长度调节器；3-锚碇；4-锚杆；5-锥头；6-主索

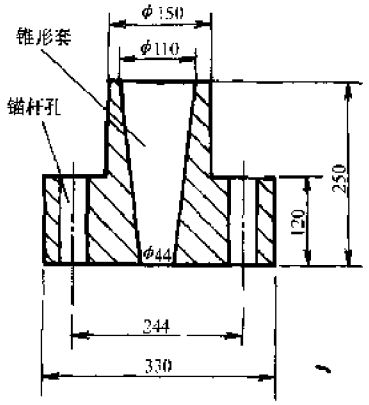


图6-24 锚头细部构造

(二)施工

主索施工程序为：

索股(单根钢丝绳)预拉→制作索股锚头→索股架设

1. 索股预拉

预拉力取索股设计工作拉力的1.5～2倍

2. 制作锚头

(1)合金

用Zn(93%)－Al(6%)－Cu(1%)合金浇注温度450℃。

(2)工艺过程

散丝→清洗→锚头预热→灌注合金→冷却→顶压检验

3. 索股架设

每根索股架设的基本程序为：

索股锚头引出→前端锚头翻越南塔顶→过江→前端锚头翻越北塔→前端锚头入北岸锚碇连接→后端锚头与南锚碇连接→初调矢度→索股横移入鞍→微调矢度→终止

五、吊杆的构造与安装

(一)构造

吊杆的构造随主索、加劲梁、吊杆的长度不同而异。一般由四个部分组成：

(1)上端与主索的连接结构;(2)下端与加劲梁的连接构件;(3)长度调节器;(4)吊杆体(较短的用圆钢,较长的用钢绳)。广西邕江吊桥吊杆构造如图 6-25 所示,吊杆间距 6m,长度在1.4m以下的为圆钢,长度大于1.4m 的用钢丝绳。

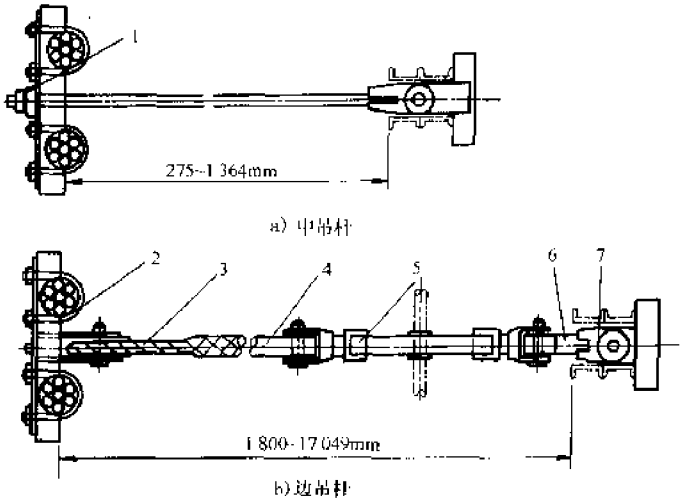


图 6-25 吊杆结构

1-球形螺母;2-工挑梁;3-吊索;4-长杆;5-调节器;6-短杆;7-T 形托板

(二)吊杆长度的计算

吊杆理论长度是指主索中心到加劲桁架上弦杆上表面的距离,吊杆的垂直长度可按下式计算。

$$l=\frac{4f_0x^2}{L^2}+0.265+\frac{4\Delta fx^2}{L^2}$$

式中:f_0——塔顶到跨中主索中心垂直长度;

Δf——桁架预拱度;

L——桁架跨度;

x——自跨中到各吊杆的水平距离;

0.265——中间吊杆长度。

吊杆长度对吊桥的线形影响很大,为确保设计线形,吊杆的长度应是可调的。

(三)吊杆的安装

邕江吊桥的吊杆是与劲性桥架同时安装的。在劲性桥架起吊到位后,先与已安装的桥架相连(这时桥架自重仍由吊机承担),然后在主索上,测量吊杆的位置,安装上挑梁和吊杆下部,在整个吊杆安好之后,再将桥梁自重卸在吊杆上,用吊杆长度调节器调整桥面高度。

为防止吊杆在主索倾角较大部分下滑,在上挑梁的 U 型螺杆与主索之间,打入软钢制作的钢楔(图 6-26)。

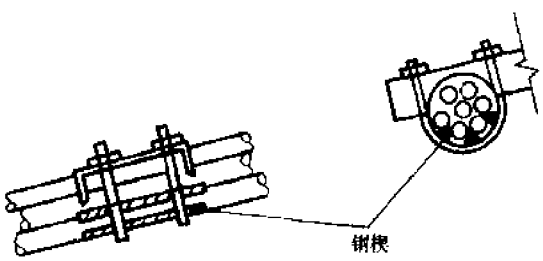


图 6-26 在 U 型螺杆上打入钢楔

六、加劲梁与桥面系构造与安装

(一)构造

邕江吊桥加劲梁的断面形式采用加强的单排单层结构,横、纵梁,桥板均用原设计器材。但

吊桥是一种可挠性结构，特别是跨径增大后，桥梁的宽(度)跨(度)比减少，加之自重轻，抗风能力较弱，考虑到该桥平战结合使用，故将主梁的间距加大。由原来的4.2m，加大到5.4m(图6-27)，为此，将桁架的斜撑由外侧改设在内侧，抗风拉杆作了加长，用夹板加强了横梁与桁架，边纵梁与横梁的连接，同时在桥梁两侧设倾斜向水平风缆。

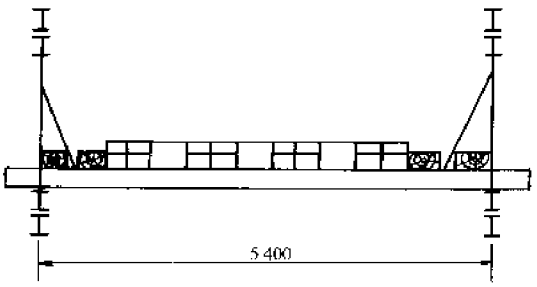


图6-27　桥跨横断面

(二)安装施工

基本采用分段吊装法，即在两岸塔架前，分段拼装桥节(每节长6～9m，重5～6t，为减轻吊装重量，吊装时只放部分桥板)，借支承在主索上的特制跑车用纵向牵引钢索系统将桥节拉到跨间，再用垂直提升钢索将桥节提升到设计高度，与其它桥节拼接。吊装时先从跨中开始，然后分两个作业面分别对称向两岸拼接。全桥加劲梁合拢后，再铺设剩余的纵梁和桥面板，固定护轮木，调整吊杆长度，调整桥面线型，最后构筑桥梁进出口。

(三)劲性桁架的强度和稳定验算

1.弯曲强度验算

1．计算一侧劲性桁架承受的弯矩

由前面计算得到33m处横截面内弯矩为2324.2692kN·m，履带式荷载的横向分配系数 $K_{df}=0.5463$，故分配给一侧劲性桁架的弯矩计算如下：

$$M_{侧}=M\cdot K_{df}=2324.2692\times 0.5463$$

$$=1269.7482\text{kN}\cdot\text{m}$$

2．计算一侧劲性桁架的局部弯矩

当活荷载作用在相邻两对吊杆之间时，劲性桁架则会产生局部弯矩。

(1)当活荷载偏心时(图6-28)，计算一侧劲性桁架所承受的荷载：

$$R_{侧}=\frac{20(4.25+1.65)}{5.4}$$

$$=21.852\text{t}=218.52\text{kN}$$

(2)局部弯矩计算

假设两吊杆间劲性桁架为简支，计算简图如图6-29所示。

$$M_{局}=\frac{1}{2}\times 21.852(3-1)$$

$$=21.852\text{t}\cdot\text{m}=218.52\text{kN}\cdot\text{m}$$

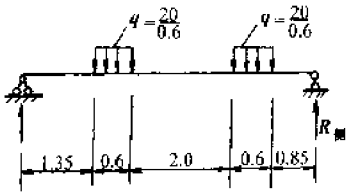


图　6-28

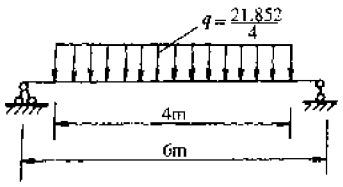


图　6-29

(3)计算一侧加劲性桁架的局部静载弯矩(图6-30)

$$M_{静}=\frac{1}{8}gl^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 6 \times 6^2$$

$$= 27\text{kN} \cdot \text{m}$$

(4)计算一侧劲性桁架的最大活载弯矩

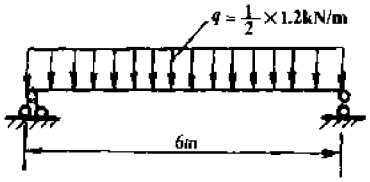


图 6-30

$$M_{侧max} = (M_{侧} + M_{局})\left(1 + \frac{1}{2}\mu\right)$$

$$= (1269.7482 + 218.52) \times 1.05$$

$$= 1562.6816\text{kN} \cdot \text{m}$$

3. 计算一侧加劲桁架承受的总弯矩

$$M_{max} = M_{静} + M_{侧max}$$

$$= 27 + 1562.6816 = 1589.6816\text{kN} \cdot \text{m}$$

4. 劲性桁架的弯曲强度验算

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{侧}} = \frac{1589.6816 \times 10^5}{67910}$$

$$= 2341\text{kg/cm}^2 = 234.1\text{MPa} < [\sigma_w] = 297\text{MPa}$$

II. 劲性桁架上弦稳定验算

劲性桁架一侧承受的最大弯矩由上述计算得到：

$$M_{max} = 1589.6816\text{kN} \cdot \text{m}$$

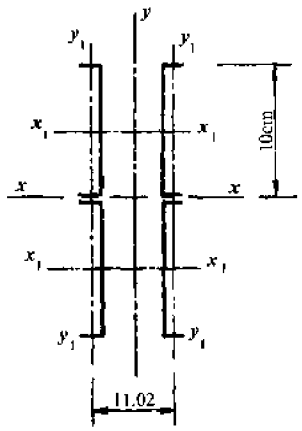


图 6-31 上弦杆截面

劲性桁架上弦所受的压力：

$$N = \frac{M_{max}}{h} = \frac{1589.6816}{1.5}$$

$$= 1059.79\text{kN}$$

上弦杆由四根 10 号槽钢共同受力(图 6-31)，其截面面积为：

$$A_j = 4A_1 = 4 \times 12.74 = 50.96\text{cm}^2$$

弯矩作用平面内，弦杆的计算长度：

$$l_{ox} = 0.75\text{m}$$

弯矩作用平面外，弦杆的计算长度取两斜撑之间的距离：

$$l_{oy} = 3.0\text{m}$$

单根 10 号槽钢的几何特性如下：

$$A_1 = 12.74\text{cm}^2$$

$$I_{1x} = 198.3\text{cm}^4$$

$$I_{1y} = 25.6\text{cm}^4$$

移轴后的截面几何特性：

$$I_x = 2I_{1x} + A_1 \times a^2$$

$$= 2 \times 198.3 + 2 \times 12.74 \times 5^2$$

$$= 1033.6\text{cm}^4$$

$$I_y = 2I_{1y} + A_1 \times b^2$$

$$= 2 \times 25.6 + 2 \times 12.74 \times 5.52^2$$

$$= 827.586\text{cm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{1033.6}{2 \times 12.74}} = 6.3691\text{cm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{827.586}{2 \times 12.74}} = 5.6991\text{cm}$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{r_x} = \frac{75}{6.3691} = 11.7756$$

$$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{r_y} = \frac{300}{5.6991} = 52.6399$$

查《钢结构设计规范》

$$\varphi_x = 0.99$$

$$\varphi_y = 0.824$$

稳定验算：

弯矩作用平面内：

$$\sigma_x = \frac{N}{\varphi_x A_j} = \frac{105979}{0.99 \times 50.96}$$

$$= 210\text{MPa} < [\sigma] = 280\text{MPa} \qquad \text{通过}$$

弯矩作用平面外：

$$\sigma_y = \frac{N}{\varphi_y A_j} = \frac{105979}{0.824 \times 50.96}$$

$$= 252.4\text{MPa} < [\sigma] = 280\text{MPa} \qquad \text{通过}$$

第七章　装配式公路钢桥桁架在桥梁施工中的应用

第一节　概　　述

装配式公路钢桥桁架(以下简称"桁架"或"贝雷架")是一个平面拼装单元,承载力大,结构灵活,拆装方便,可多次重复使用。在民用桥梁和高层建筑施工中,多利用来拼装架桥机、导梁、龙门吊架、悬臂现灌挂篮、塔柱、拱架等临时承重结构,用途十分广泛,是一种较为理想的万能构件。为便于读者正确、灵活、安全运用这种器材,在本章内将介绍几种典型结构,在介绍具体结构之前,首先将使用原则和注意事项概括说明如下。

用公路钢桥桁架作建筑施工临时支承结构的形式很多,但归结起来不外两种:一种是利用桁架作"梁",以承受弯矩、剪力;另一种是作"柱",用以承受垂直荷载。梁、柱都是各式建筑的重要支承结构,这就要求使用者应熟悉桁架的技术性能和各个杆件、孔眼的作用(这方面内容在第一章已作详细介绍)。这里需要特别提出的是为了保证桁架能多次重复使用、方便撒装,连接牢固桁架与桁架之间相连或与其他构件相连时,应利用桁架弦杆和竖杆上的孔眼用螺栓进行连接,其方法是在连杆端部焊一块连接板,在连接板上焊一空心锥形套筒(图 1-15)将套筒插入桁架的眼孔中。通过用连接板螺栓与桁架连接,不得使用焊接与桁架杆件连接(图 7-1)。

一、用桁架作梁时的注意事项

1. 为保证桁架的横向稳定,必须按要求设横向连系构件,如就地加工制作的横向连系构件必须用如前所述方法与桁架连接,不得用绳索捆扎。

2. 桁架梁的端部支撑,应装端竖杆,无端竖杆时必须对桁架梁的剪力进行验算,必要时应另作一竖杆加强,加强的竖杆应采取磨光顶紧的办法与上下弦杆顶紧,不得用焊接。

3. 施加于桁架梁上的集中荷载尽可能放在桁架节点上,否则应对弦杆的局部弯矩进行校核。

4. 用桁架作连续梁时,中间支撑应设在节点上。必要时增设加强竖杆。

5. 鉴于目前有的施工现场使用的桁架器材,已重复使用多次,有的因保养不善,连接焊缝和杆件有锈蚀现象,甚至有的产品并非出自正规厂家,对桁架的原材料、焊接质量、桁架连接销的材质和热处理等,并未经过严格的检验,因此,建议在使用桁架作重要受力件时,必须对其应力进行校核,并加大安全储备。

二、用桁架作柱时,须注意的是:

(一)一般构造的原则和方法

1. 桁架之间仍用桁架销连接,荷载由弦杆承受。

2. 柱横断面内使用桁架的数量、随柱的高度,和荷载大小而异可用 2 片至多片。使用多片桁架时,应用横向支撑架进行联结,必要时设风缆以保证稳定。

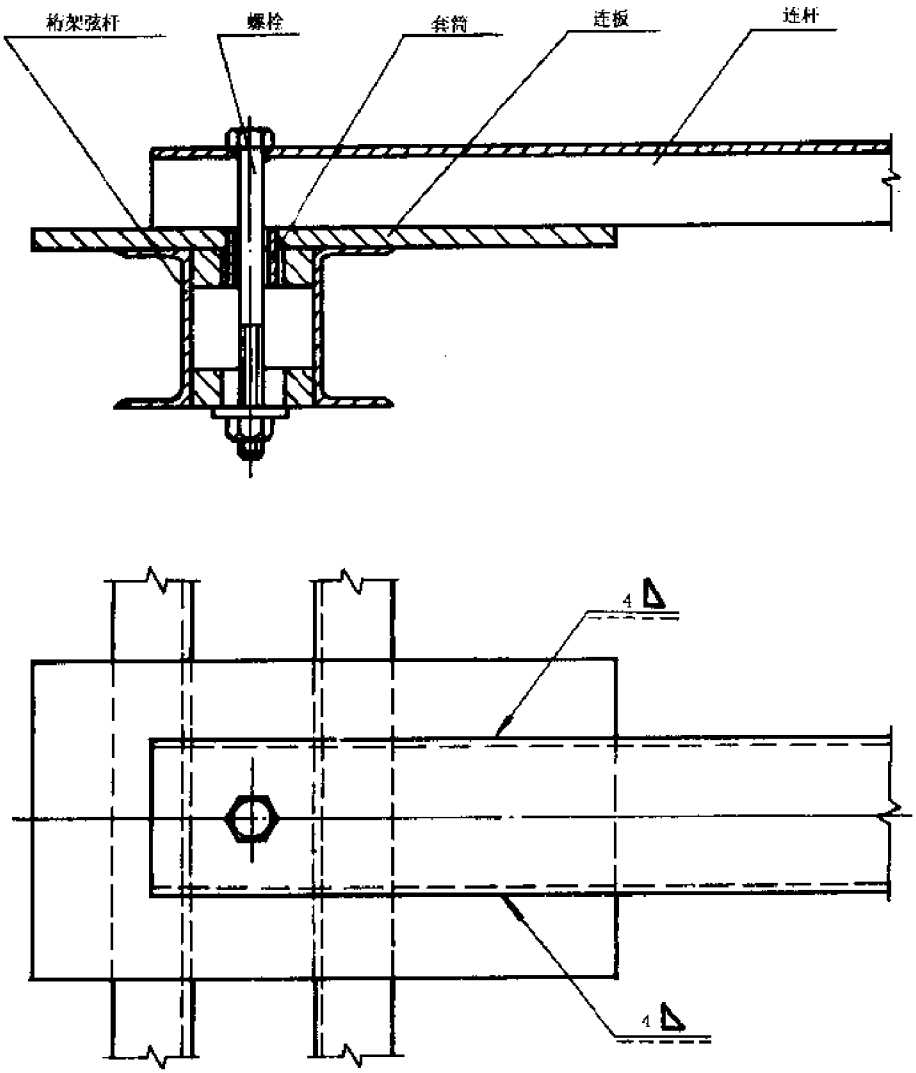


图 7-1　连杆与桁架弦杆的连接

3．为扩大弦杆支撑面积，在柱的底部设础板，用桁架连接销与之连接。

4．在柱的顶端，设顶梁，顶梁用桁架的连接销与弦杆连接。

5．柱的传力途径应该是：荷载→顶梁→桁架弦杆→础板→地基。

6．梁柱的结合部，应通过桁架连接销传力，不得直接设在桁架竖杆上，必要时应设斜撑，其构造如图 7-2 所示。

(二)柱的横截面形式

柱的横截面有并列式和方柱式，随荷载大小、柱的高度、使用条件而定，其结构形式详见第四章；广州海印大桥索塔施工时，用装配式公路钢桥桁架作临时施工架，柱高达 66m。

(三)柱的拼装方法

1．整体竖立。先在地面上按梁的拼装方法，将整柱拼成，然后用吊车或扒杆将柱整体竖立，这种方法拼装设置快速，一般是在柱不高，总重量不大，并有吊车和场地的情况下采用。

2．如柱较高可用垂直逐片吊装法。其方法是：(1)利用轻型角钢井架，在其上设扒杆将单

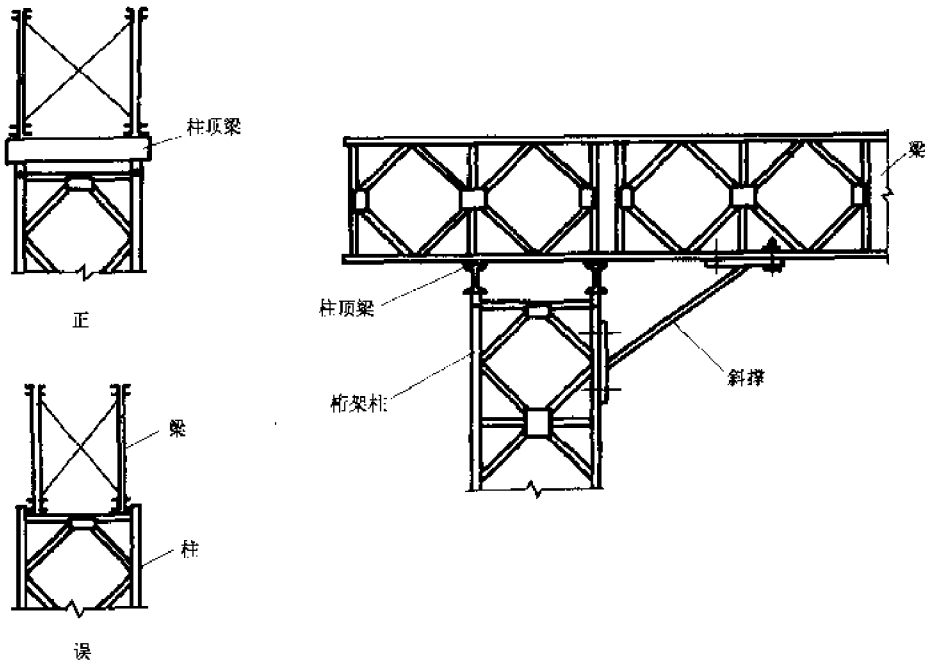


图 7-2　梁柱结合部构造

片桁架直立起吊，进行拼接，这一方法不需大型设备，安全性好，但速度较慢。(2)利用猴子杆起吊桁架进行拼装。

(四)柱的强度稳定计算

可参照本书第六章第三节吊桥塔架计算方法。

(五)稳定措施

对较高的柱通常设风缆来保证其稳定性，风缆布置在柱的四周，设三根风缆时，每根的平面夹角应为120°，布四根时，可设在柱的两个对称轴上，在高度方向上一般每10m高设一层，风缆与地面的夹角不应大于60°，风缆一般用 Φ18～Φ24mm 钢丝绳制作，其上端与柱用蛇口或卡环(卸甲)与之连接，下端与地锚连接，为紧定风缆，可以在其间插入一个带有正反螺纹的长度调节器，也可以用起重链来收紧。

第二节　架桥(梁)机

钢筋混凝土公路桥，其梁采用预制吊装时，可用装配式桁架拼成架桥机，这种架桥机基本由三个部分组成：

(1)主梁和横梁(用桁架拼成)；

(2)起重滑车组；

(3)纵、横移机构。

架桥机结构形式较多，随架梁的数量，梁的跨径、重量和现有钢桥桁架器材的数量等条件而定。下面介绍几种典型的架桥机。

一、简易架桥机

如桥梁跨径在20m以内，架梁的数量不多，单片梁的重力在200kN左右，而且装配式桁架

器材不充裕时，常结构成这种架桥机，其特点是：用的桁架器材少，但吊装作业速度较低。

1．基本构造

(1)主梁：主梁桁架的排数根据吊装梁的重量、跨度进行计算而定，一般用2～4排桁架连成一组，每排桁架的中心距一般为45～80cm，每组主梁的中心距为2.5～3.0m。如图7-3所示，各排桁架之间用标准型或现地特制支撑进行联结。

为保证主梁的横向稳定，在主梁端部两组架之间设横向支撑，必要时在梁组的中部或1/4跨处设带螺纹的横向支撑杆，然后在主梁前端装上导梁(或鼻架)，导梁长度为两桥墩之间间距的1.2～1.3倍，在桥墩顶设一根Φ250～Φ300mm，壁厚8～10mm的无缝钢管，在主梁支撑位置设一个特制的半圆形扣座，扣在无缝钢管上。

(2)起重平车：在每组主梁的上弦设枕木，在其上铺设一对钢轨和两个起重平车，在每个平车上设横梁和平车框架，在平车框架上再设起重滑车组。

2．吊装作业

用轨道平车或拖车或驳船将预制混凝土梁运到桥跨下面，将平车及其框架移靠桥墩。

当吊带(或千斤绳)与起重吊钩连接后开动绞车，徐徐将梁吊起，待梁接近桥墩帽梁时，一端绞车停车，让梁呈倾斜状态进入跨间，再利用上下平车将梁纵向或横向作微小移动就位，当一片梁起吊就位后，再利用绞车将整机沿无缝钢管横向滑移至下一片梁吊装位置。

3．跨间的几片梁都吊好后，利用绞车、导梁将整机拖向下一跨间。

二、钢筋混凝土16m空心板梁架梁机

湖南省公路工程公司在修建常德大桥时，对该桥的33孔，共712片跨径16m的空心板梁，全都采用预制吊装作业方法。空心板梁，宽1m，高0.7m，重140kN，他们用公路钢桥桁架设计制造了该桥使用的架桥机。

1．基本构造(图7-4)。

主梁：每根主梁用三排公路钢桥桁架拼成，每组主梁中心距为12m。为了减少架桥机纵向移动次数。将主梁的长度作成三跨连续梁，长为49m加上鼻架导梁8m，全长为57m。在主梁上设有两根横梁，每根横梁用三排公路钢桥桁架拼成，并设有相应的横系材，横梁籍纵向绞车，保证其沿主梁纵向运动，在横梁上设有一对带起重滑车的跑车，用以提升和横向移动空心板梁。

2．架桥机的运行

架桥机按下述步骤运行：

(1)将横梁及平车后移到纵主梁尾部作平衡重；

(2)在纵主梁移动到中间桥墩上加枕木和平滚，以作中间支撑，以减少主梁尾端的悬空；

(3)收紧前方桥墩上枕木和主梁摇滚支撑上的缆索，以平衡主梁在推进时引起的水平推力，保持枕木垛的稳定；

(4)开动绞车将整个架桥机平稳前进到工作位置。

3．吊梁顺序(图7-5)

架桥机就位后将空心板梁用轨道平车运至架桥机的后端A孔，用设在两横梁上的滑车组，逐一吊装，先安B孔，其吊装顺序：(1)先安轨道上的5#、6#梁(因轨道在5、6号梁的位置，因此应先安装)，将前横梁的跑车移到5#、6#梁位，吊起梁的前端，开动纵梁上的绞车，将横梁拖拉到B孔。待梁的后端平车，拉引后横梁位置时，停机，再将梁的后端挂在后横梁的吊钩

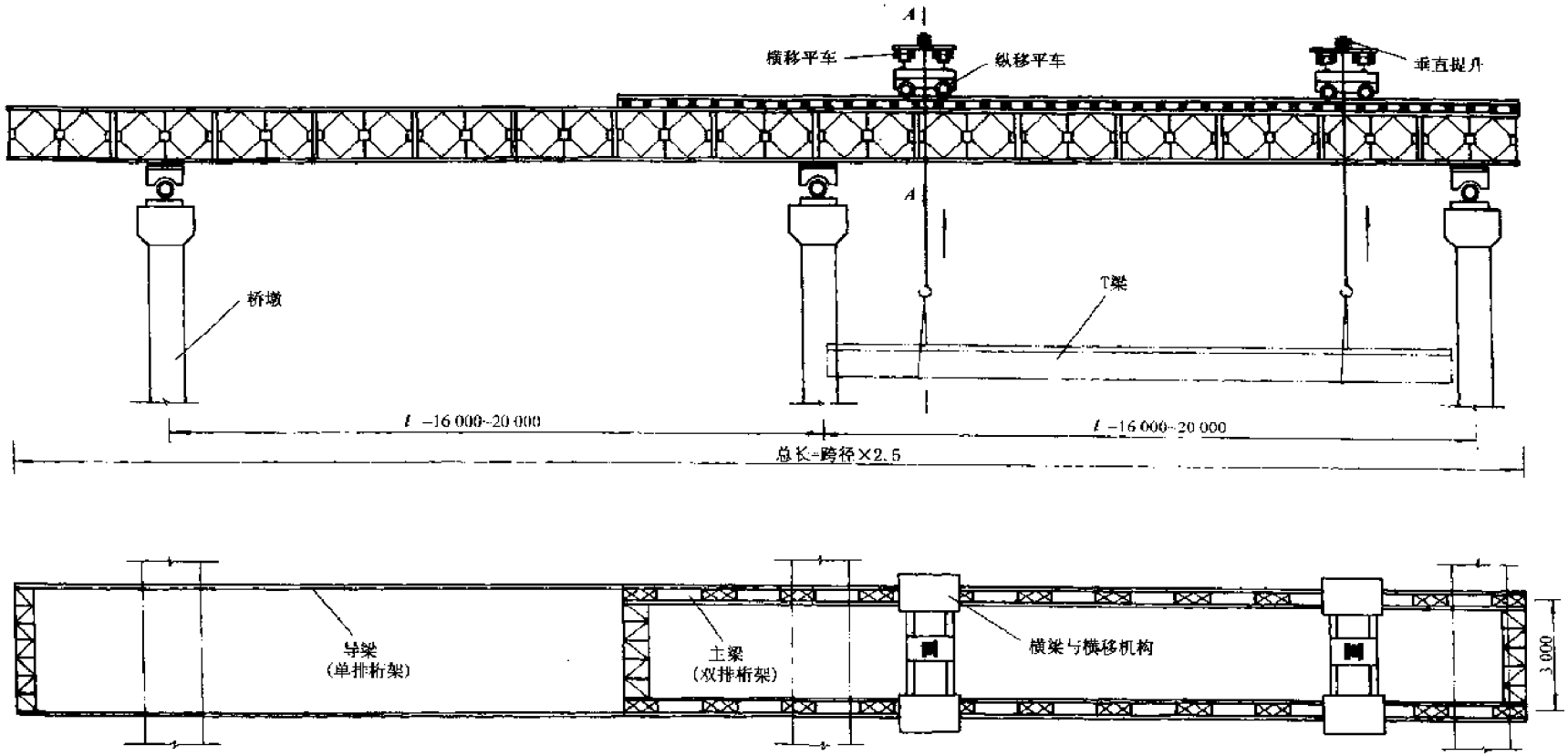

A
横移平车
纵移平车
垂直提升
A
桥墩
T梁
l =16 000~20 000
l =16 000~20 000
总长=跨径×2.5
导梁
(单排桁架)
主梁
(双排桁架)
横梁与横移机构
3 000

图 7-3　简易架桥机

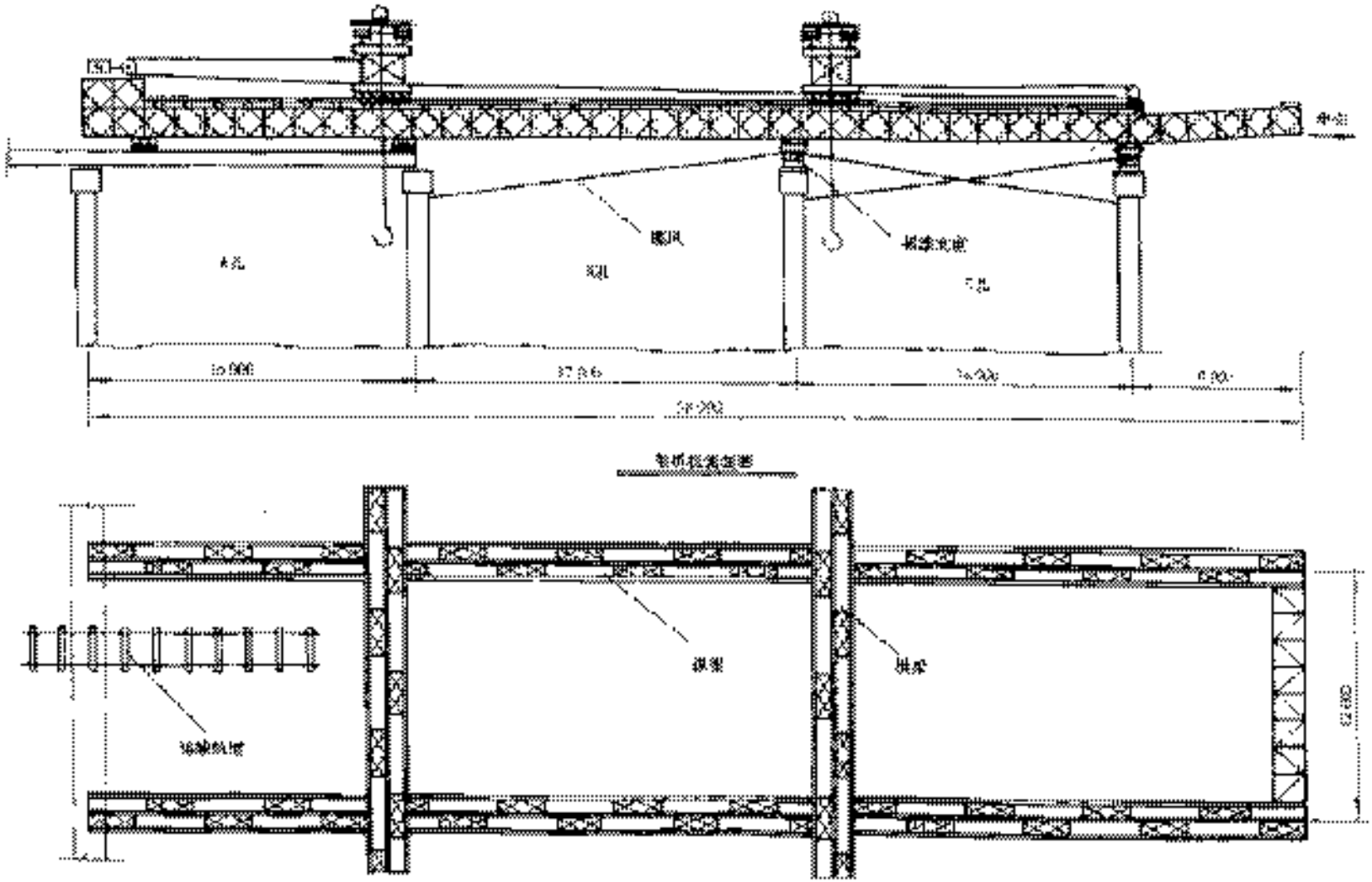


图 7-4 [illegible]

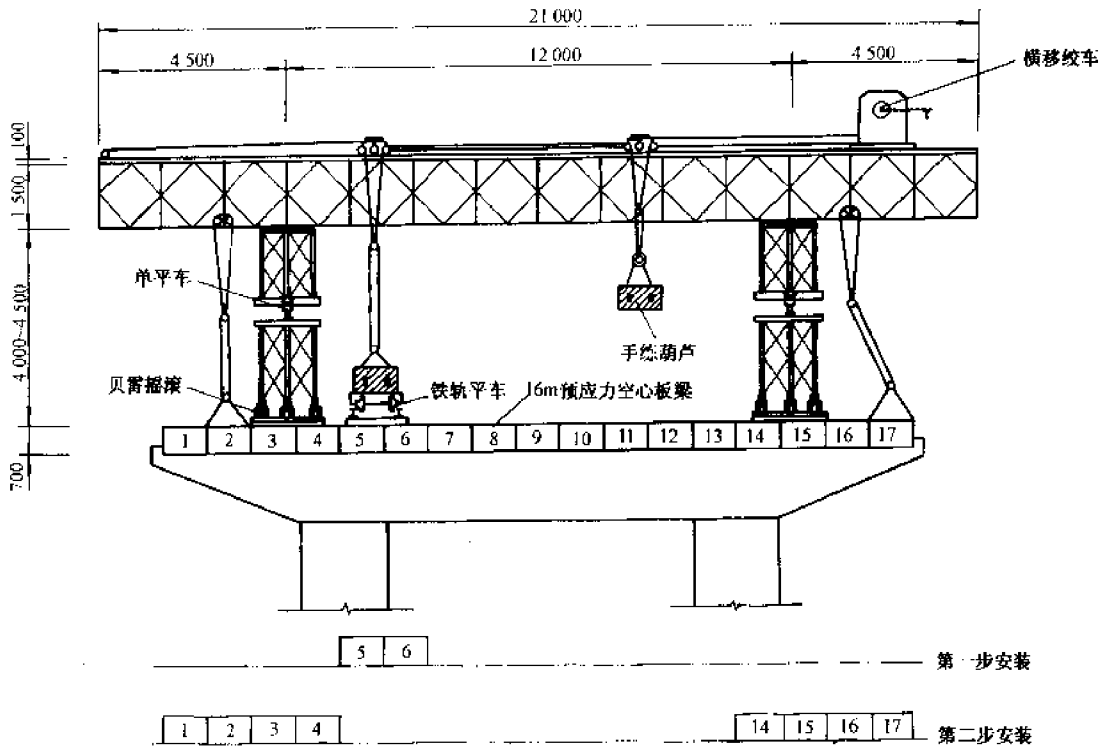


图 7-5　吊梁顺序

上，然后又开动绞车将梁吊入预设位置。

(2)在 5#、6# 梁上铺设轨道。

(3)吊装 1# ~ 4# 和 14# ~ 17# 边梁，其方法是：用轨道上的平车将梁运到 *B* 孔，然后用两横梁上的跑车将梁横移到位。对于架桥机主梁正下方的板梁，利用手拉葫芦斜拉到位。

(4)安装中部板梁，其方法与吊边梁基本相同。

(5)变换支座：当 *B* 孔的梁吊完后，将架桥机主梁在 *B* 孔枕木、摇滚支座及缆风索拆除，移到前一孔的桥墩上；在已安装好的 *B* 孔的 3#、4# 及 14#、15# 梁前端桥墩上放置摇滚支座，准备吊装下一孔梁，如此反复。操作熟练后，平均每天可吊 6 ~ 7 片梁。

三、30m 长 T 梁架桥机

广东省公路工程处，1987 年在修建番禺洛溪大桥时，用公路钢桥桁架设计使用了一种 30m 跨径、吊重 700kN 的预应力混凝土梁的架桥机(图 7-6a、b)。其结构使用特点如下：

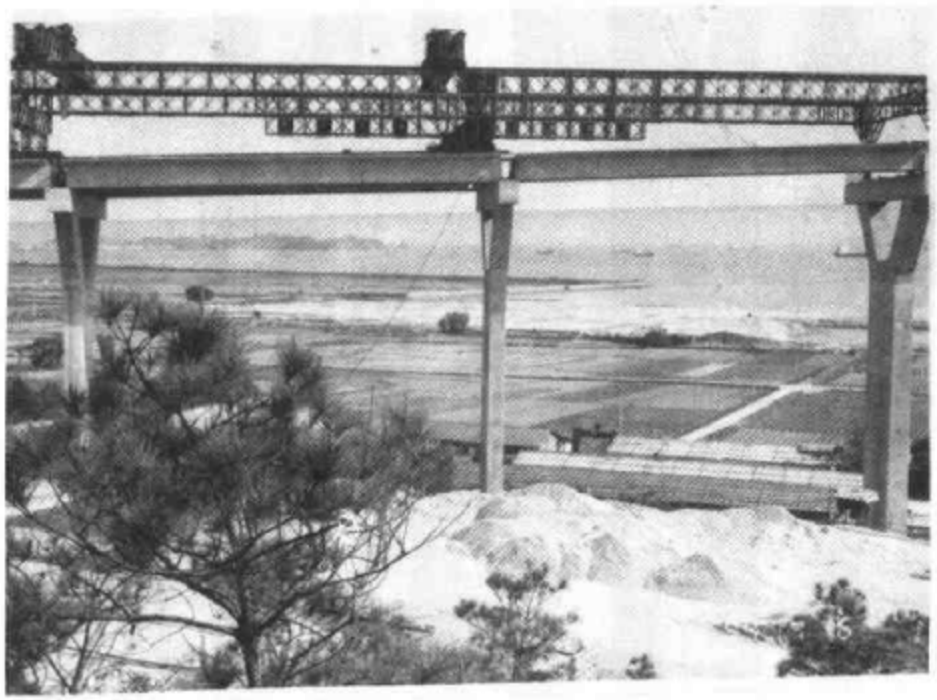
1. 结构

架桥机全长 66m，由起吊跨和安装跨组成，全宽 18m，能将桥梁横断面内的 7 片 T 梁在机内横移就位，架桥机由主梁、横梁、行车系、吊运系统、电路控制系统 5 个部分组成。

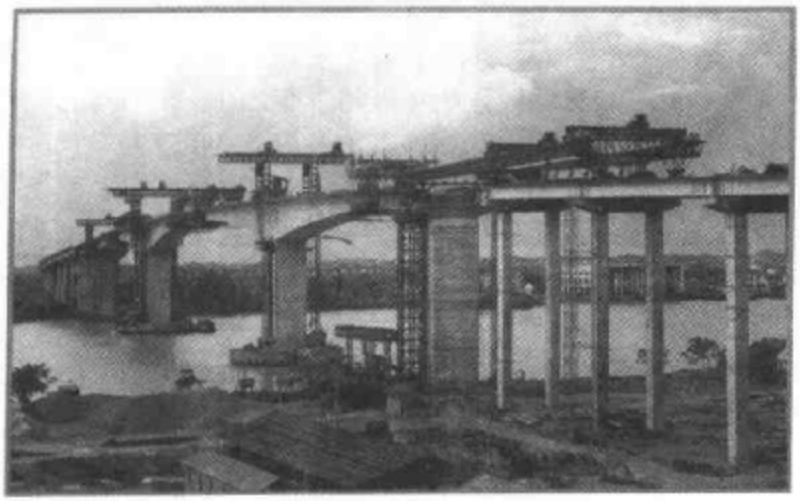
(1)主梁　每根主梁采用公路钢桥单层或双层 3 ~ 6 排桁架拼成，分别放在桥梁的两侧，中心距 16m，为满足悬臂整机移动和吊装作业时，主梁最大弯矩和剪力的要求，在中腿前后长 21m 范围内采用并列 6 排桁架，其余采用并列三排桁架(图 7-7)。

(2)在前、中、后三处设有横梁，将主梁连接成一个牢固的平面框架，前后横梁(含地支腿)用万能构件拼成，中横梁用 4 排公路钢桥桁架拼成。

(3)行走系统　中后支腿用型钢和万能构件组成，在每个支腿下各设一个平车，每个平车



a)



b)

图 7-6

a)30m 长 T 梁架桥机在虎门大桥引桥上施工;b)架桥机在广州洛溪大桥施工

按双轴双轨设计,轨道布置在混凝土梁肋板上,桥两侧各用一台 50kN 电动卷扬机牵引整个架桥机行走。

为了适应架桥机能在弯桥部分行走,在中腿平车上设有平面转动磨盘,以公路钢桥桁架连接销为轴,上盘表面镶一层不锈钢板,下盘表面设二块四氟板,以减少摩擦力。此外在后腿的平车上还设有偏心连杆与主梁联结,以便架桥机在行走时,自动调整位置。

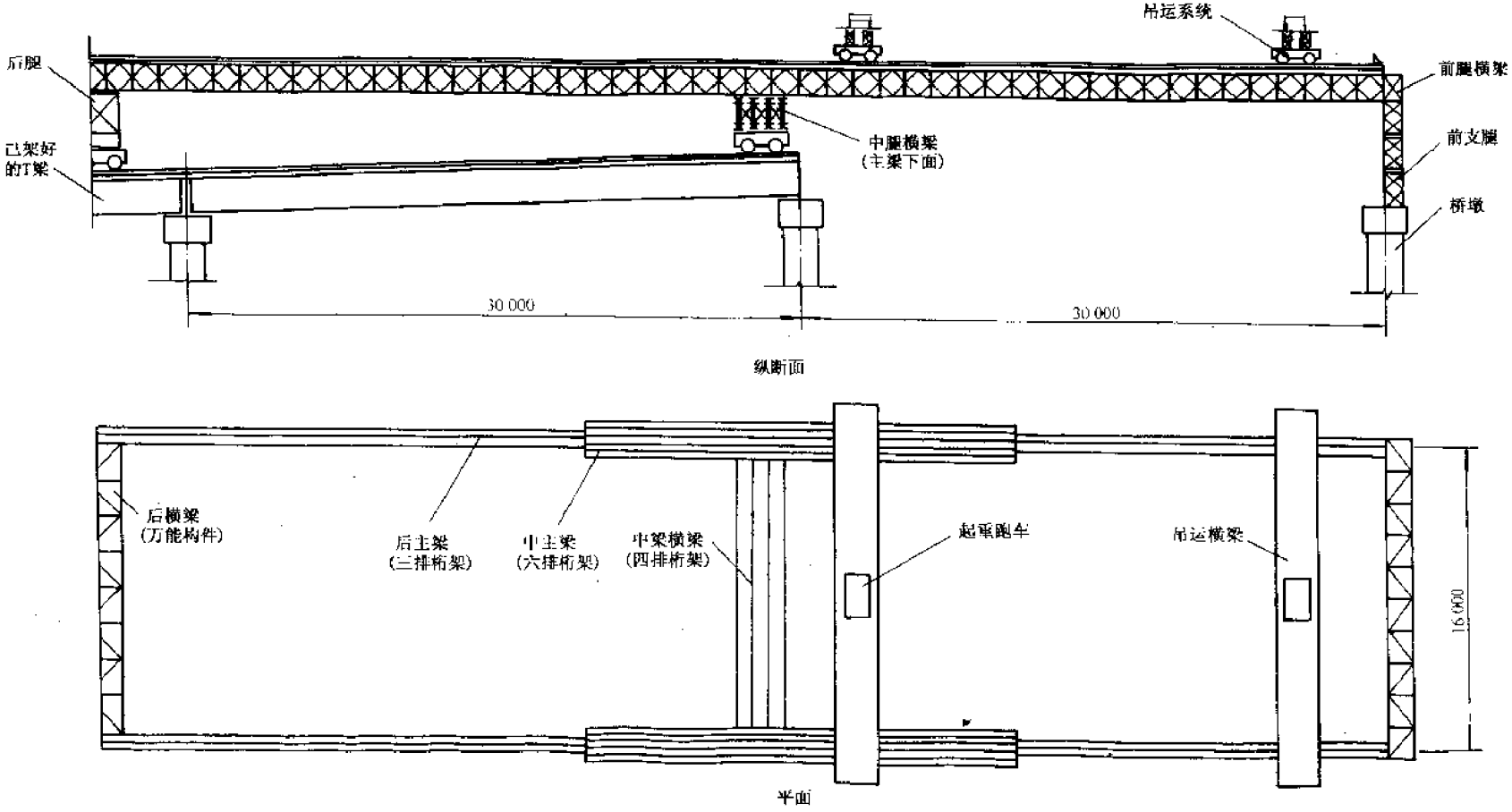


图 7-7　30m 长 T 梁架桥机纵平面示意图

(4)吊运系统　从预制场到起吊跨，有较长距离，运输方法是将梁装在轨道平车上，用电动卷扬机牵引。梁到起吊跨后，用横梁平车上滑车组起吊，用电动绞车牵引，再借支撑横梁的跑车将T梁纵向移动到安装跨，然后再开动横梁顶上的跑车，将梁横移到位。

(5)操作系统　整机由电控系统操纵，操纵台设在中腿的平车上。

2. 吊装作业

整个吊装分两步进行，首先是将架桥机前移就位，然后运梁、吊装。

前移架桥机的作业步骤为：

(1)将两条起重横梁移动靠近后横梁位置，设斜拉塔；拆除前支腿支垫使架桥机呈悬臂状态(图7-8)。

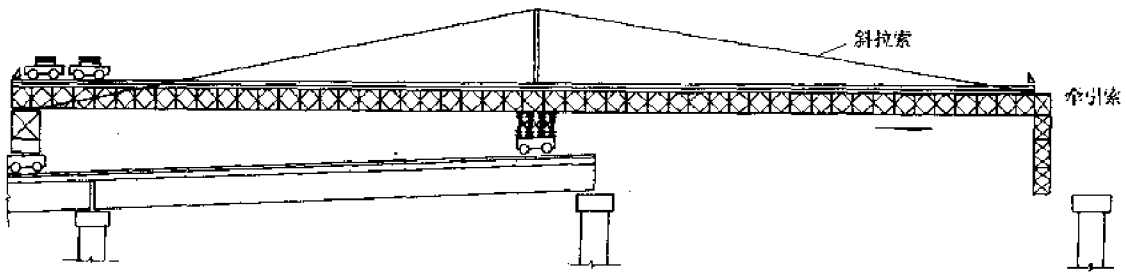


图7-8　架桥机前移

(2)开动绞车使架桥机前移。如牵引转向滑车是在高的桥墩上，还应在墩前设一斜拉索以平衡墩顶水平力。并将架桥机范围内的梁跨之间的伸缩缝拔紧，以防在机移动时产生的水平力使梁发生纵向滑动。

(3)设前支腿支垫

整机移到位后，将前支腿支撑在桥墩上，如前支腿不是铰结构，为克服在吊梁时，由于主梁下弦伸长，使支腿发生的水平力而带来的不利影响，可在支垫内设2～3层橡胶支座。

(4)撤除斜拉索塔，吊运系统就位，设置中、后横梁活动支点，固定中、后平车车轮。

3. 起吊安装

吊装时按下述程序进行：穿吊带→起吊→进入安装跨→横移→落梁就位→设置临时支撑(T梁)→撤除吊具。

梁号安装顺序：先安装边梁1#、7#，这是因为边梁就位时，需将下梁翼板高度降低到架桥机主梁下弦以下，才能完全横移就位所致。

其次安装2#、6#梁，然后再吊中间3#、4#、5#梁。为安全计，在同一天内应完成相邻两片以上的梁，并焊接好横隔板。

整个架桥机由17人操纵，在中等熟练的情况下，整机前移一跨约4小时，安装一片梁从起吊到安装完毕约20小时，最快一天可安装4片梁。

四、50m长T梁架桥机①

陕西省公路局在修建三铜线(三原至铜川)公路的赵氏河桥时，利用“贝雷架”拼装了吊重1420kN、跨径50m长T梁架桥机，该机特点为：

① 本资料摘自1994年桥梁学会论文集。

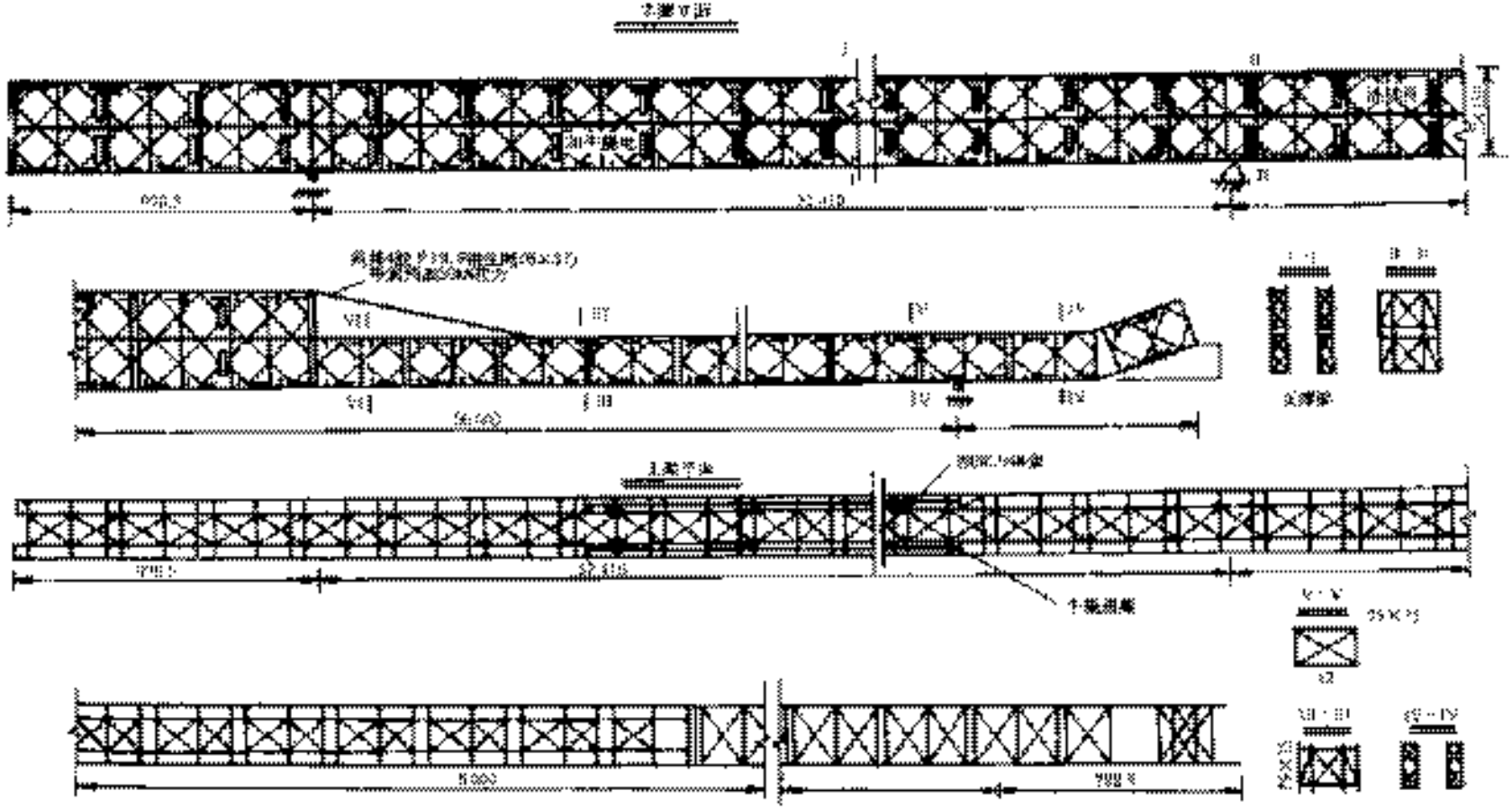


图 7.9 Slant 长 T 梁梁桥底结构示意

1. 主梁

两根主梁长 120m，分四段：后端悬臂段 9.7m 承重段长 52.41m，这两段用加强的 4 排双层桁架拼装，平衡段 50m，为加强的 4 排单层桁架拼装，前端导梁段，为双排单层桁架，长 7.89m，(图 7-9)每节桁架用 C_{10}钢作上下风架，间距 1.5m，各排桁架间用 75×75 角钢作横向剪刀撑，间距 3.0m，各排桁架间距，四排的为 45cm + 105cm + 45cm；两排的为 1.95m，为了改善双层与单层桁架连接处的受力状态，在此设了 4 束预应力索，每束施加预应力为 50kN，此外对承重段桁架竖杆作了加强。

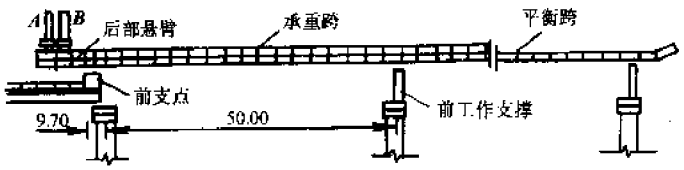
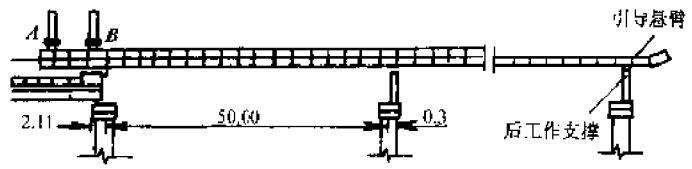
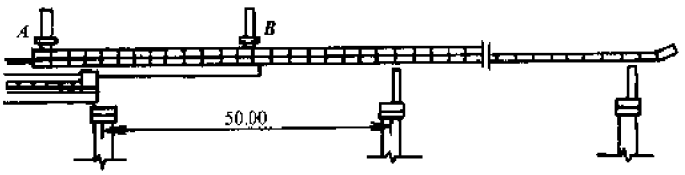
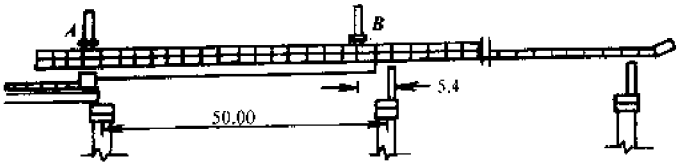
2. 横梁

两根横梁、分别由加强的 4 排单层桁架组成，长 9m，两端支承在 600kN 四轮的平车上，横梁上设有可移动的动滑轮支架及起重量为 1000kN 的动滑车组及吊钩。

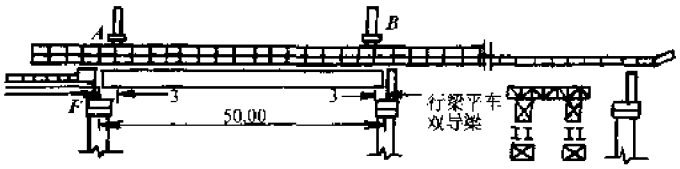
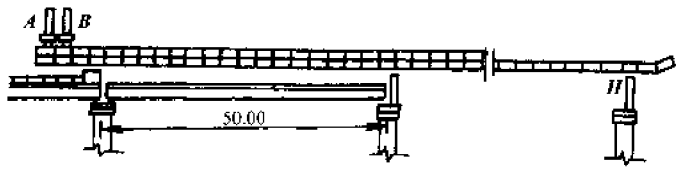
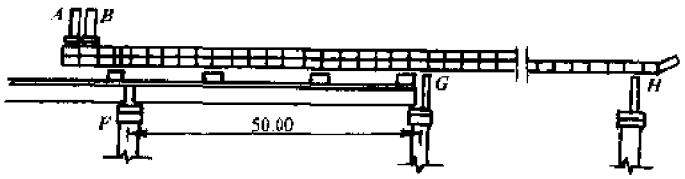
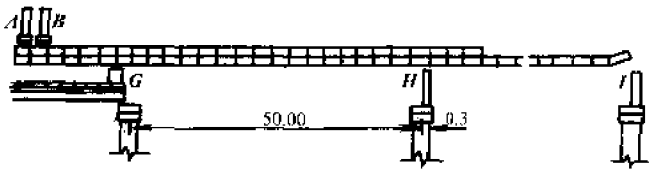
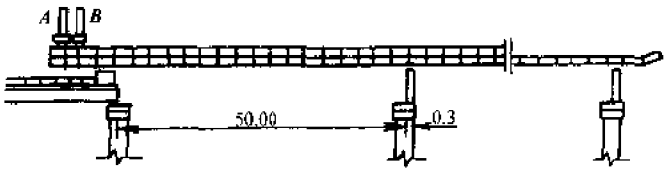
3. 移动和吊装系统

主梁和横梁的移动均靠 50kN 的慢速卷扬机带动，T 梁的吊装由装在横梁中部动滑车组承担。架桥顺序见表 7-1。

架梁顺序　　表 7-1

顺序	架设图式	说明
1		(1)顶推主梁至安装预制梁位置。该位置前支点离导梁端 9.7m，离墩中线 2.11m。 (2)前、后工作支撑离墩中线 0.3m。 (3)铺设运预制梁铁轨。 (4)检查架设安全措施
2		(1)先将预制场运至主梁尾端。 (2)当预制梁前端平车中线与前支点重合时，B 行车往前推移至梁前吊点处(即前支点)，即用该车的链滑车将梁前端稍稍吊起，取去前端平车后，落至原高度，再由绞车牵引 B 行车前进
3		(1)B 行车慢速前进。行走方向一定要与桥横轴平行，不准倾斜或越位。 (2)严格执行吊装安全技术规程，特别注意吊钩、钢丝绳、前工作支撑等
4		(1)当 B 行车至离前工作支撑5.4 m时，应立即停止往前行走。 (2)A 行车应立即往前移至前支点，即用该车的链滑车将后端梁稍稍吊起，取掉后端平车后，落至原来位置，再由绞车牵引 A、B 行车前进

续上表

顺序	架设图式	说明
5		(1)A、B行车各离梁端3.0m处，慢速落梁。 (2)在墩台，横移预制梁到规定位置
6		(1)安装孔架设完毕，移动A、B横梁至导梁规定的位置。 (2)A、B横梁与导梁固定联结在一起
7		在安装孔离梁前端2.09m后，每隔16m设临时支撑。该孔共设临时支撑点3处，支撑点处应设滚动支承
8		整机往前推移
9		重复顺序1

第三节 挂 篮

一、作用与要求

悬臂现浇挂篮是钢筋混凝土梁悬浇施工的主要设备，其构造形式很多，通常由承重梁、悬吊模板、锚固装置、行走系统和工作台等部分组成(图7-10)。承重梁是挂篮的主要受力构件，可以采用钢板梁、重型桁架或装配式公路钢桥桁架组拼。它承受施工设备和新浇混凝土的全部重量，并通过支点和锚固装置将荷载传到已施工好的梁段上，承重梁除强度(弯矩和剪力)应保证安全可靠外，还要求使用方便、变形小、稳定性好、自重小、装拆方便、移动灵活、快速，有足够平面尺寸以满足梁段的现场作业需要，用公路钢桥桁架作挂篮的承重梁能较好的满足上述要求，但挠度稍较大一些，有的采取设斜拉钢带(图7-11)来提高挂篮的刚度。此外，公路钢桥桁架的抗剪能力也较弱，使用时，可用多排桁架，或作特殊加强处理。

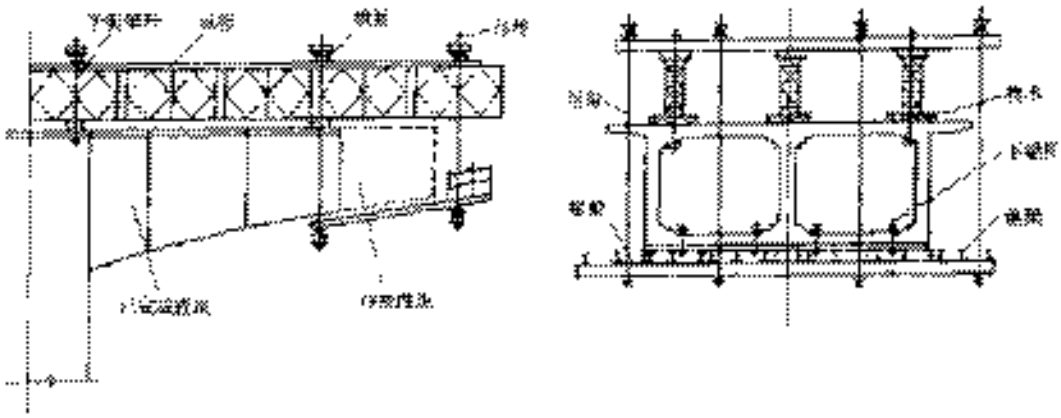


图7-10 挂篮构造及组成

在设计挂篮的承重梁时，必须对下述内容进行验算：

(1)在灌筑混凝土阶段时，承重梁承担全部施工荷载(灌筑梁段的重量和施工机具人员的重量)，设计时应计算各杆件和锚杆的内力，计算简图如图7-12a)所示。

(2)空载行走时应验算挂篮的抗倾覆稳定性，计算出所需平衡的重量，计算简图如图7-12b)所示。

$$M_{抗倾} \geq 2M_{倾}$$

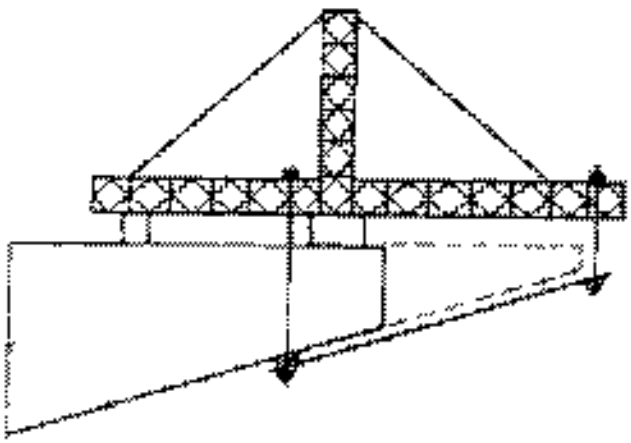


图7-11 挂篮侧面组成

挂篮的行走装置通常是在承重梁下设滑道或滑轴，用管车牵引，为安全计，还应在挂篮的尾部设控制控车，以防溜滑。

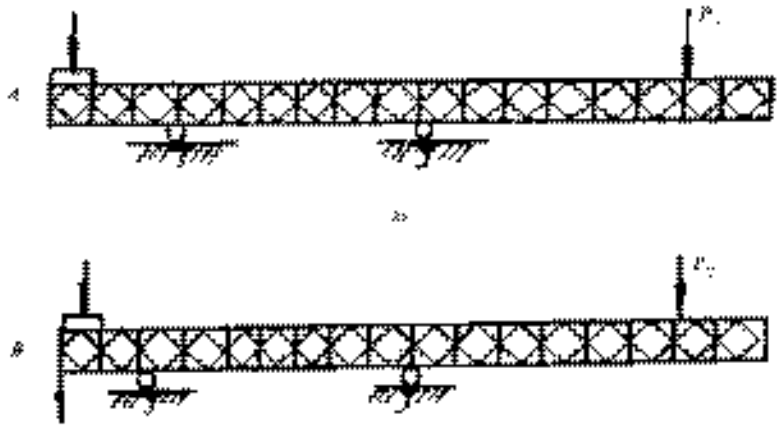


图7-12 挂篮计算简图

二、无平衡重挂篮

(一)挂篮结构设计

挂篮主要由主桁架、底篮、提升系统和后锚装置等组成，见图 7-13。

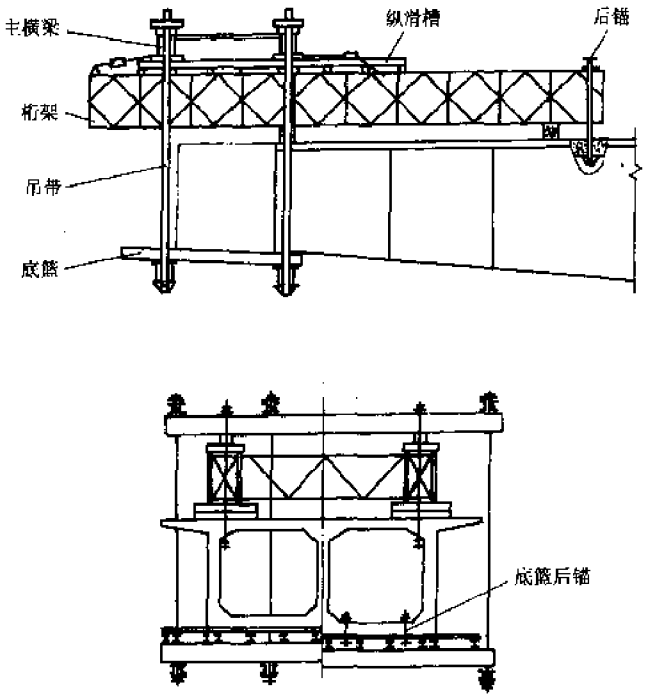


图 7-13　无平衡重挂篮构造

1．主桁架

由两组主纵梁构成，选用贝雷架组拼，长 15m。截面形式及两组主纵梁的间距根据箱梁宽度和现浇梁段重量而确定。60 吨级的主桁架由两组单层双排贝雷桁架拼成。两组主纵梁之间设三道横联，其上弦平面辅助以交叉平联，使主桁架形成一整体稳定结构。两组主纵梁前部上弦各设置了一条纵滑槽，供主横梁带动底篮移动之用。

主桁架的行走装置新设计了“滑块滑动式滑枕”，将聚四氟乙烯滑块置于槽钢制成的滑座内，使用时将其安置在支承枕木与主纵梁之间，每边利用一台 5t 手动葫芦牵引即可使主纵梁下弦沿滑枕面移动，实现机架前移。

2．底篮

由前后托梁和小纵梁铰接而成。铰接式结构能使托梁在箱梁底曲线变化时始终处于良好的受力状态。托梁和小纵梁均选用工字钢制作，型号根据具体现浇荷重而定。小纵梁面直接铺设模板形成底模。后托梁中部设有螺杆锚固螺母，利用螺杆穿过已浇梁段底板的预留孔将底篮锚固定位。锚固螺母“悬浮式”固定在托梁上，使其具有自动对中和限位性能，上螺杆时无需到托梁底部操作，免设了工作吊篮。

3．提升系统

由前后主横梁、吊带和扁担梁等组成。主横梁采用工字钢制作，吊带为 16Mn 钢带。底篮前托梁设四根吊带，后托梁两端头各设一根，吊带上端穿过对应位置的主横梁与扁担梁铰接压在主横梁支承垫板上。提升和调节底模标高通过 2 对 10t 千斤顶利用吊带孔位循环递进的方法来实现。主横梁下弦对应主纵梁滑槽处设计了“滑靴”，利用聚四氟乙烯滑块作滑动媒介使主横梁可沿滑槽滑动带动底篮前移，牵引设备仅是 2 台 5t 手动葫芦。

4. 后锚装置

由后锚钢带和后锚横梁等组成，每组主纵梁各设一套后锚装置。每次主桁架行走到位后，将后锚横梁压在主纵梁尾部区域对应箱梁顶板预留孔位置，后锚钢带上端与后锚横梁连结，下端穿过预留孔与箱梁锚固。若箱梁设有竖向预应力筋，亦可利用其作后锚锚固点。

(二)挂篮行走程序

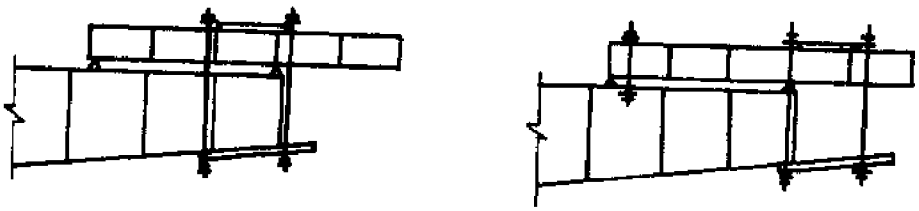
1. 梁块浇筑完后，穿束，拆内、外模(底篮后锚杆不松)、张拉、压浆。

2. 用二至三道千斤绳将底篮前托梁与梁面预埋环扣紧，然后卸去各扁担梁的支承垫板，实现主桁架与底篮分离。此时底篮被锚紧在已完成梁块的底面。

3. 卸机架后锚，在后横梁上设置牵制绳，将前、后支承枕木移至下一梁段支承位置并放入"滑枕"，用手拉葫芦将机架牵引前移至下一梁段位置，拆去滑枕，安装后锚带，见图 7-14a)。

4. 拆除底篮后锚杆和前托梁锚固绳，使底模脱离梁底面。然后利用手拉葫芦牵引主横梁带动底篮前移至下一现浇位置，见图 7-14b)。

5. 调整底篮中线、位置和标高，上紧底篮后锚杆，固定前、后主横梁，完成一个循环。



a) b)

图 7-14 挂篮行走程序

a)主桁架先前移到位；b)底篮再前行到位

(三)施工应用

1. 峡石大桥

峡石大桥位于广州市北郊，主桥为 55m + 85m + 55m，T 型刚构，横截面为单箱单室箱梁，箱顶宽 8.22m，箱底宽 5.58m，梁段最长 3m，最重梁段 52t。边跨为支架现浇，主跨采用两套 60t 级"分体移动式挂篮"悬臂现浇施工。挂篮结构重仅 18.4t，模板 4.5t，设备使用系数达 2.3，较传统型挂篮节约钢材 2 × 32t。该桥于 1991 年 5 月开始 T 构现浇，同年 7 月底完成 T 构施工。底篮最大下挠 3mm，梁段最快施工周期 5.5 天。

2. 道窖大桥

道窖大桥位于东莞市道窖镇，主桥为 60m + 90m + 60m，T 型刚构，为单箱双室截面，箱顶宽 11.5m，箱底宽 9.2m，梁段最长 2.9m，最重梁段 60t。采用两套 60t 级"分体移动式"挂篮悬浇施工。经过改进设计后，挂篮结构更加轻巧，整机结构重仅 17.1t，模板 6.1t，设备使用系数提高到 2.6，较传统型挂篮节约钢材 2 × 34t，经济效益显著。

挂篮的安装方法是先在墩顶组装主桁架和主横梁，再在主墩施工平台面组拼底篮，然后利用卷扬机提升底篮至第一次梁段现浇位置，穿接吊带，调整底模即告安装完毕。无需大型起重设备，安装时间 5 天。

该桥 T 构悬浇施工于 1991 年 10 月中开始至同年 12 月底圆满结束。梁段最快施工周期 4.5 天，底篮下挠值 5mm。在使用中曾经增加一组主纵梁，可使底篮下挠值更小。

3. 使用效果综述

以上两座桥的T构悬浇施工表明:这种新型挂篮受力合理,结构轻巧,重量轻,变形小;操作简便快速,移机安全可靠,只需6人即可完成整机操作,4~6h便能完成移机、调平工序。各项指标均达到设计和规范要求。

(四)挂篮结构特色

1. 挂篮行走方式创新设计出"分体移动"新模式,无需设置配重系统即可满足稳定性要求,行走不存在倾覆问题,施工安全可靠;

2. 结构轻巧,60t级的挂篮结构重仅17.1t,设备使用系数达2.6(表7-2)。

挂篮重量比较表　　表7-2

桥　名	梁段长(m)/梁段重(t)	挂篮结构重(t)	平衡重(t)	模板重(t)	梁段重/挂篮总重
广西柳州大桥	3/92	61.6	30	14.1	92/105.7=0.87
重庆长江大桥	3/144	50.2	40	23	144/113.2=1.27
番禺洛溪大桥	4/190	111.5	40	25	190/176.5=1.08
广东道窖大桥	2.9/60	17.1	0	6.1	60/23.2=2.6

3. 主桁架采用装配式贝雷架组拼,适用性广。

4. 底篮等系统构造简单,便于工地加工,安装无需大型的起重设备。设备简单,成本低廉;

5. 新设计的"滑块滑动式"滑枕和滑靴,使行走装置结构大为简化,机架重心低,行走稳定性好,操作简易;

6. 根据"现浇混凝土分层加载时底篮的实际作用力约为一段梁重的2/3"这一新观点设计的底篮,结构轻巧,重量小;

7. 吊带设置在现浇梁段的前端和外侧,不影响现浇和预应力施工,挂篮行走时不需拆吊带,施工方便;

8. 利用"逐孔循环递进方式"调节底模标高的提升系统操作简便快速,每次调整一般只需1小时;

9. 从1号梁段起便能使用挂篮现浇,可实现1号段无支架施工。

10. 应用在梁段重量更大的悬浇施工时,只要酌情增加主纵梁贝雷排数,相应增强底篮承载力即可投入使用。

11. 不足之处是前托架四根吊带尚缺乏较好的方法确认初调阶段受力的均匀性。吊带若有条件改用性能可靠的精扎螺纹钢,调节底模将更加便利。

第四节　箱梁预制悬拼的施工设备

在预应力连续梁预制件悬拼施工中,湖南、广东多用贝雷架拼装悬臂吊机和施工支架,这里主要介绍广东省九江大桥悬拼施工设备。广东省佛(山)开(平)高速公路上的九江大桥,全长1819m,主桥为六孔一联,跨径为:50m+100m+2×160m+100m+50m,预应力混凝土变截面连续箱梁桥,单T划分为49个节段,块体最大长度4.0m,一般节段重力为500~600kN,采用预制悬臂拼装法施工。

一、悬拼吊机

1. 主梁结构

悬拼吊机的两根主梁(以下简称主梁),每根用单层四排"贝雷"桁架组成,桁架间距为22.5cm+90cm+22.5cm,用角钢焊成的横向支撑架,用螺栓与桁架连接,主梁长度为18m,前12m,

在桁架下弦设有加强弦杆，主梁中心距为 6.44m，中间用三道横系杆连接，每组主梁置放在混凝土箱梁肋板上方与竖向预应力匹对，如图 7-15 所示。

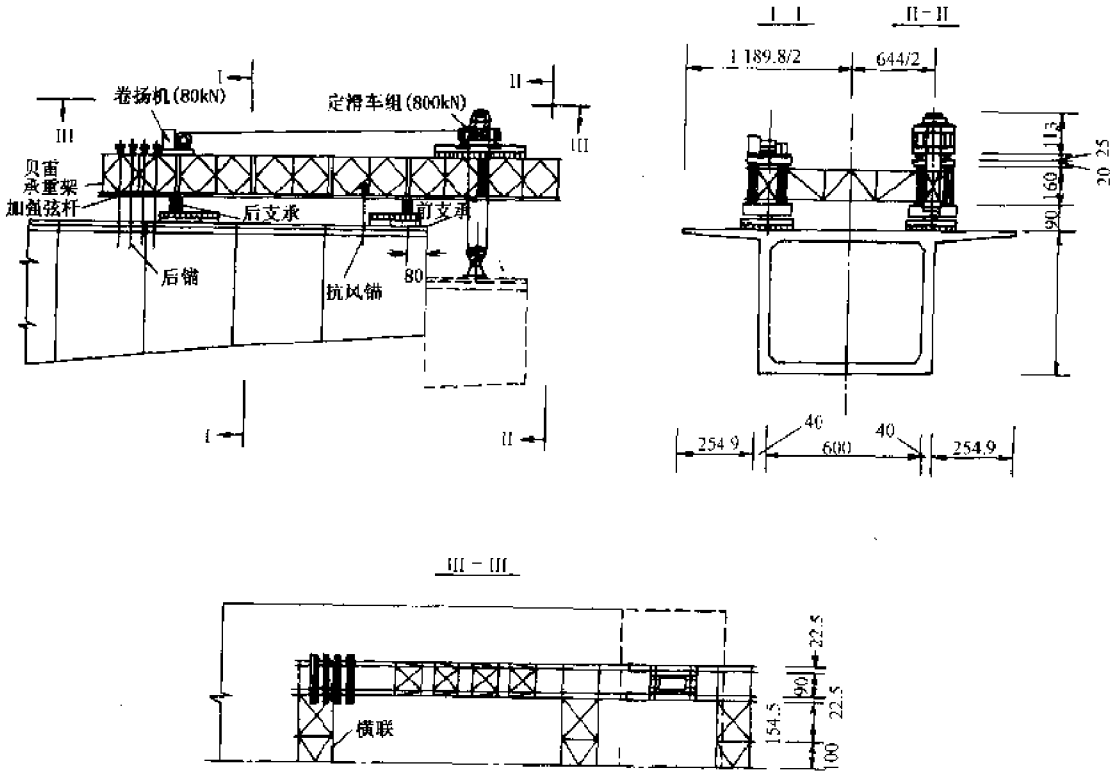


图 7-15 悬拼吊机结构(单位：cm)

2. 抗倾覆机构

在吊机主梁后部设锚固装置，作抗倾覆机构，用 Φ32 精扎螺纹钢筋作锚杆，用 25 号工字钢作锚梁，吊机固定时，用连接器与混凝土箱梁肋板内的 Φ32 的竖向预应力筋相连用精轧螺纹的配套螺母锁紧，实现主梁尾部的锚固。

3. 提升系统

提升系统由 80kN 电动卷扬机、定滑车组、动滑车组组成，电动卷扬机固定在主梁上，定滑车组设于主梁的滑道上，以实现纵向移动，动滑车组为特制的双轴 8 门滑车，设计起吊升力为 800kN。用 Φ28mm 的钢丝绳起吊。

4. 主梁的支承及滑移系统

该系统由 I_{45} 工字钢、滑块、滑道及枕木组成，每套主梁下设两个支点，主要支承于工字钢上，工字钢经过滑块与滑道借手拉葫芦前移。

5. 梁块的起吊

将预制梁块用船运到桥下，将动滑车吊环与梁块上的预埋吊杆相连，开动上下游主桁上的卷扬机同时提升起吊到位，调整好轴线和标高后，采用湿接或胶结方法连接梁块，然后穿预应力钢束锚固。悬拼吊装情形如图 7-16 所示。

6. 注意事项

(1)对吊机各重要部件应进行强度、刚度稳定验算，安全系数不应小于 2；

(2)吊机拼装好后应进行荷载试验；

(3)在单T上吊装由中间向两端延伸时应注意吊机的定位和锚固,经检查符合要求后,方可进行吊装。

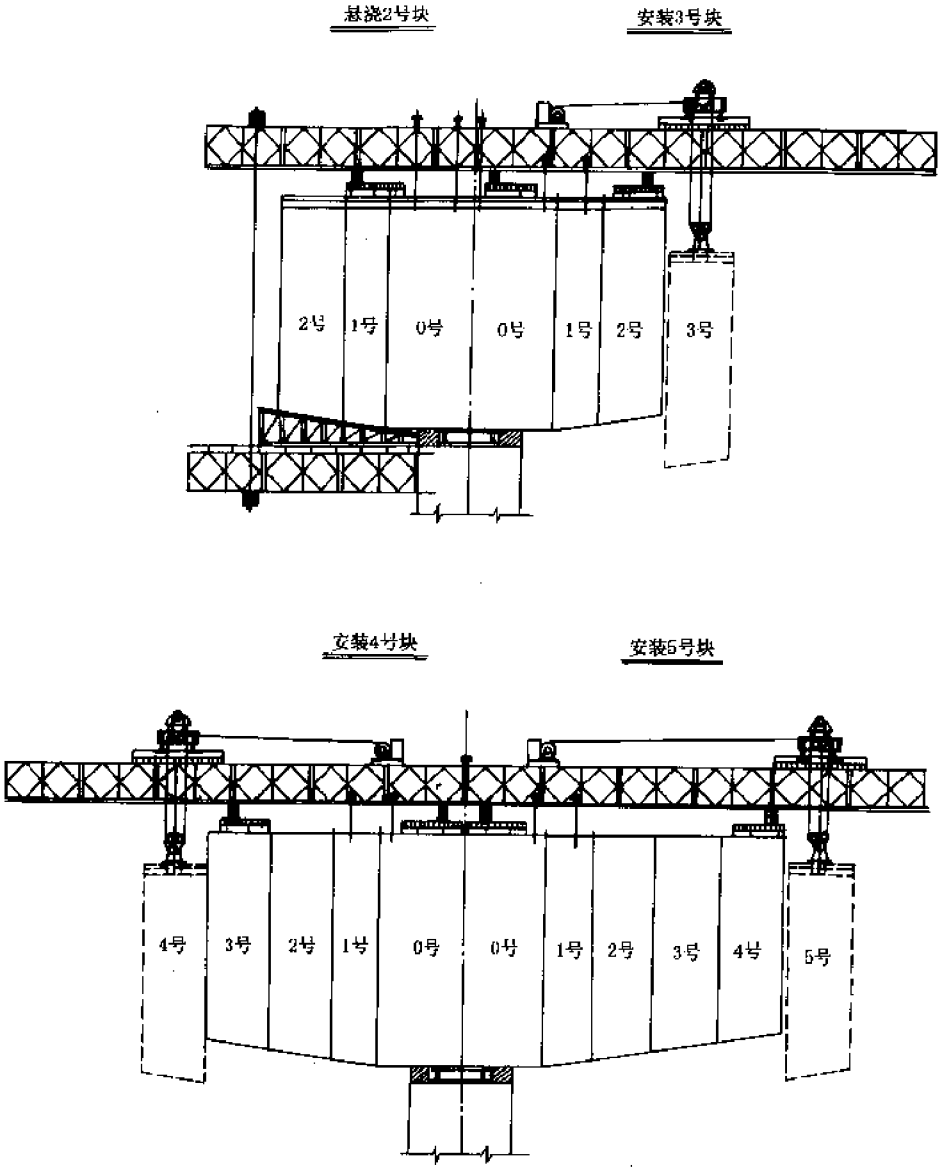


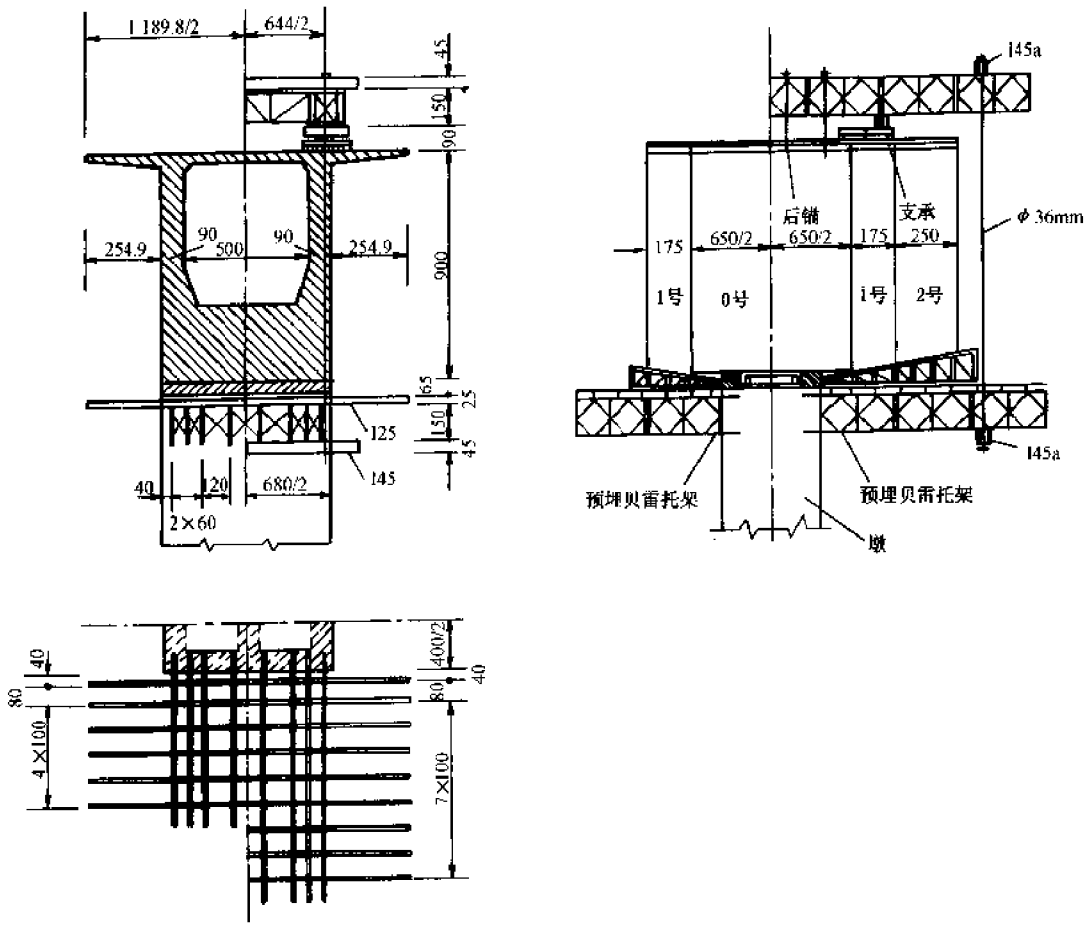
图 7-16

二、墩上现浇支架

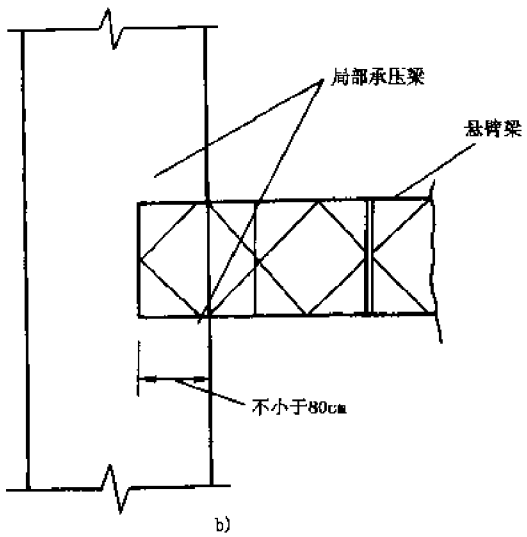
在现浇0#块或连续刚构、斜拉桥的塔根段时,多采用"贝雷架"拼装悬臂梁作支架(图7-17a)贝雷架悬臂嵌入混凝土柱(墩)的深度一般不应小于80cm,并在嵌固端设局部承压梁(图7-17b)。

三、合拢段施工支架

连续刚构或连续梁合拢段现浇时,可用"贝雷架"拼装施工支架(图7-18)。



a)



b)

图 7-17

a)墩上现浇支架;b)悬架梁的嵌固端

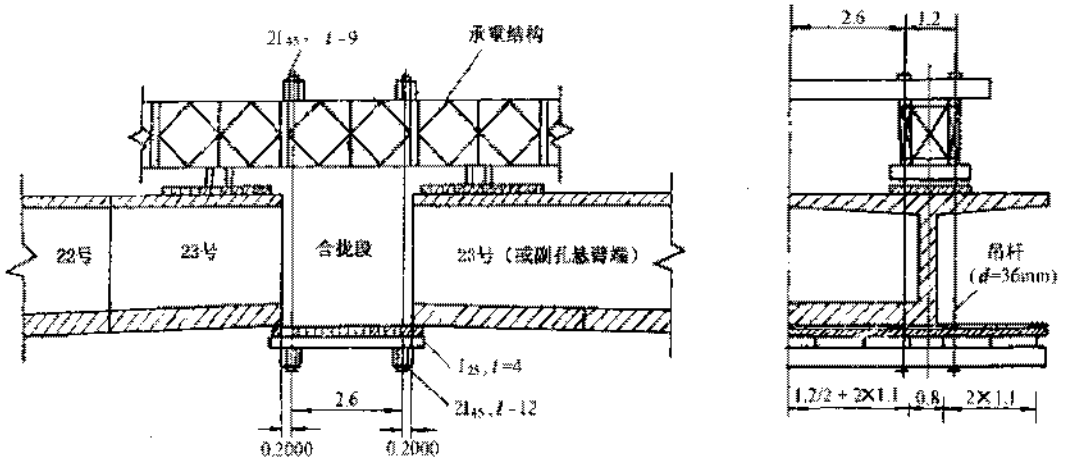


图 7-18　合拢段现浇支架结构(单位:m)

第五节　在拱桥施工中的应用

一、概述

在拱桥施工中常用贝雷桁架拼装施工支架,一般采用两种形式:

一是在河川上先打桩,用贝雷架拼成多跨梁桥,构成支承平台,然后在支承平台上搭设满堂式支架进行拱桥的上部施工,使用这种方法的条件是:河川上有覆盖层可以打桩,在不通航和无洪水威胁的情况使用。

二是当河川上不能植桩,跨径又较大时,可用贝雷架拼成拱形架,然后其上配模浇筑上部构造混凝土。

二、用多跨贝雷梁作现浇支架平台的实例

(一)广东清远北江刚架拱桥

广东清远北江大桥全长 1058m,桥孔布置为:3×45m+8×70m+4×45m,1983 年 1 月开工,1985 年 10 月竣工,该桥在施工深水河槽的 5 孔 70m 跨的上部构造时,采用了钢管桩贝雷多跨梁作现浇上部支架平台,其构造如图 7-19a)、b)、c)、d)所示。

1. 钢管桩中间支墩

中间支墩采用钢管桩,中径 100cm,入土深度 3m,按摩擦桩设计,每墩四根桩,用震动法沉桩,达到标高后,用气割割平,向管内填砂,灌水密实,然后在桩顶部作现浇 80cm 的混凝土,并预埋螺栓供连接桩的接长部分使用,在设好桩的接长部分之后,在其上设工字钢作帽梁。

2. 多跨贝雷梁

在中间支墩上设 6 组贝雷梁,每组两排桁架,用标准的支撑架联结,组与组之间用角钢作横联和剪力撑。贝雷梁在平板驳船上分段拼接,用浮吊逐跨吊装,然后在贝雷梁上横向铺设工字钢,构成平台。

3. 现浇支架

用竹、木或钢管在平台上搭拱盔构成满堂现浇支架。

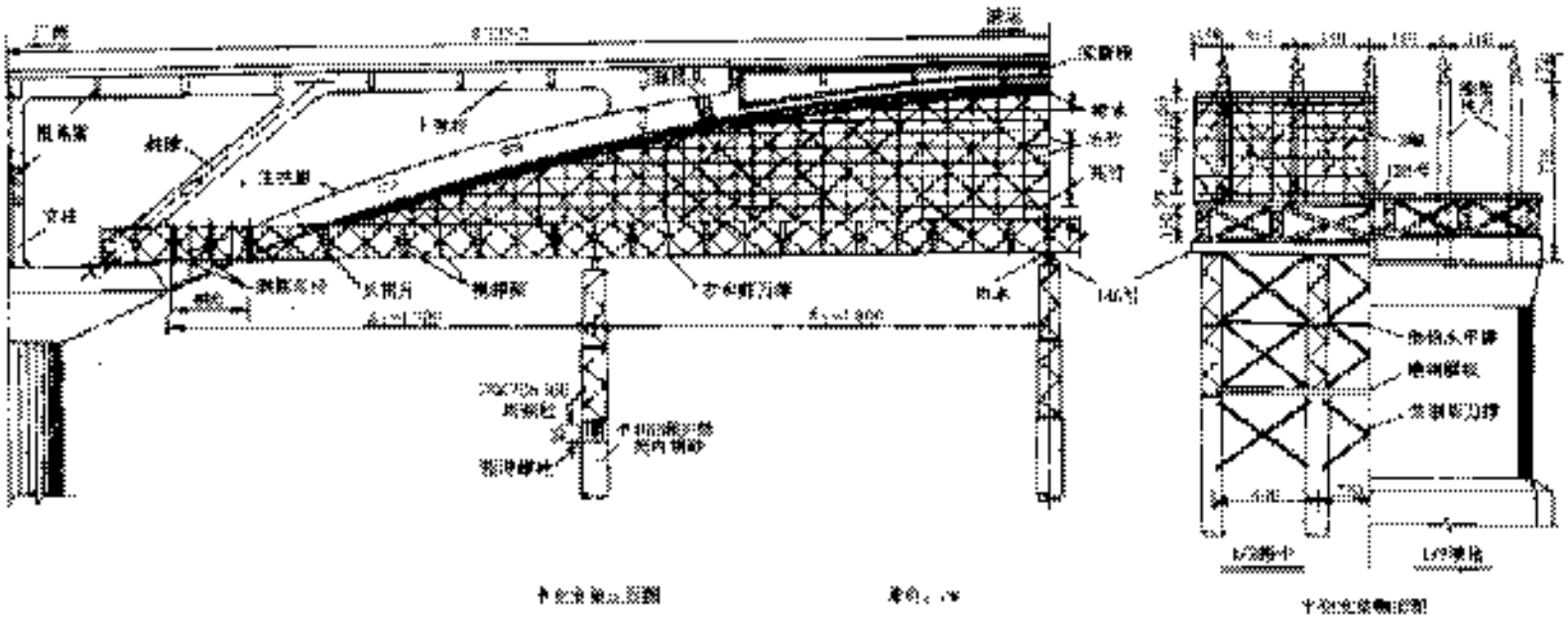
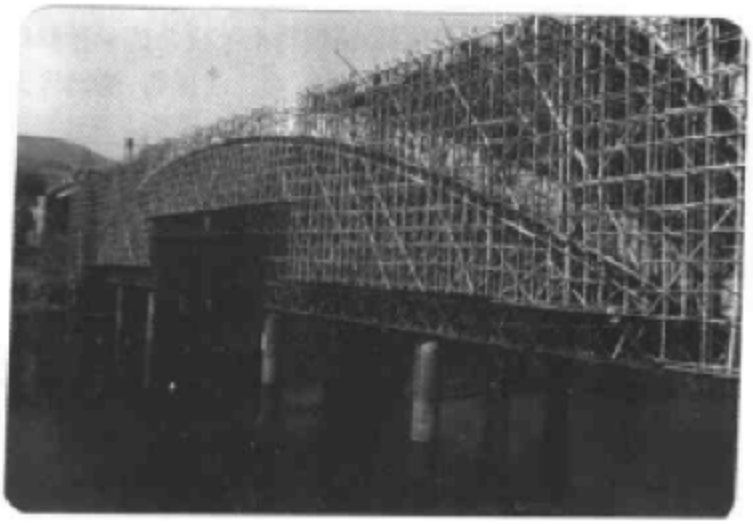


图 7-19



b)



c)



d)

图 7-19　刚架拱桥施工平台

(二)斜拉贝雷梁作现浇支架平台

广东省公路工程处在修建粤东硫磺桥时用公路钢桥桁架拼装成一种斜拉平梁的施工架，取得很好的效果，硫磺桥是一座跨径为70m刚架拱桥，为浇注拱肋，他们将公路钢桥桁架，拼成斜拉桥式样平梁(图7-20)，然后再在"斜拉平梁"上设垂直支撑架来浇注拱肋混凝土，取得了省工省料的效果。

三、贝雷拱架

在通航的河川上修建大跨径拱桥时，如河底不能打桩，可用贝雷桁架拼成拱架，然后在其上配模现浇拱肋及上部结构。广东省公路工程处80年代在修建兰石大桥(跨径85m)，五斗大桥(跨径85m)，焦岭坝后大桥(跨径90m)，三河坝桥(跨径3×65m)，惠阳东江大桥(跨径6×67m)，江南大桥(跨径6×67m)，英德大桥(跨径50m)，流溪河一号(跨径75m)，二号(跨径90.16m)等10座拱桥时，均采用过贝雷桁架拼装的拱架，这里主要介绍流溪河二号桥贝雷拱架的施工方法。

1. 贝雷拱架构造

流溪河二号桥位于广州市东北60km流溪河上，是一座中承式系刚拱桥，其拱肋为工字形钢筋混凝土结构，采用贝雷拱架现浇，拱架按两铰拱设计，根据计算需在每一拱肋下方设四片桁架，组成一道钢拱圈用以支承拱上建筑重量，如图7-21所示。

由于拱架上弦与下弦的曲率不同，理论弦长不一，但桁架又是一个3m×1.5m的矩形架，拼成拱架后，上下弦长出现差异，对圆弧拱其值为1.5θ(θ为拱脚及任意点与拱轴切线的倾角)。

因此，每隔3～4片桁架要设一段长度分别为17cm、18cm、19cm三种特制短上弦杆(图7-22)以保证拱架的弧度，拱脚采用特制的三角构件(图7-23)。

为保证拱架稳定，除去每组桁架的上下弦上设有横向支撑架外，还用工字钢将两条拱架联系在一起，此外，还在拱架两侧设有5对风缆。

2. 拱架的拼装架设

拱架在岸边浮箱上分段组拼，浮运到拱下，用缆索吊机吊装，吊装时从拱脚开始两岸对称进行，每吊一段用扣索扣住(图7-24a、b)，以保持悬拱的稳定，并加强观测，调整拼接的标高，保证线形，此外，在岸边拼装桁架组时，应严格保证相互位置，最好将前后两组进行试配，以保证吊装的桁架组能顺利销接。

3. 拱架合拢

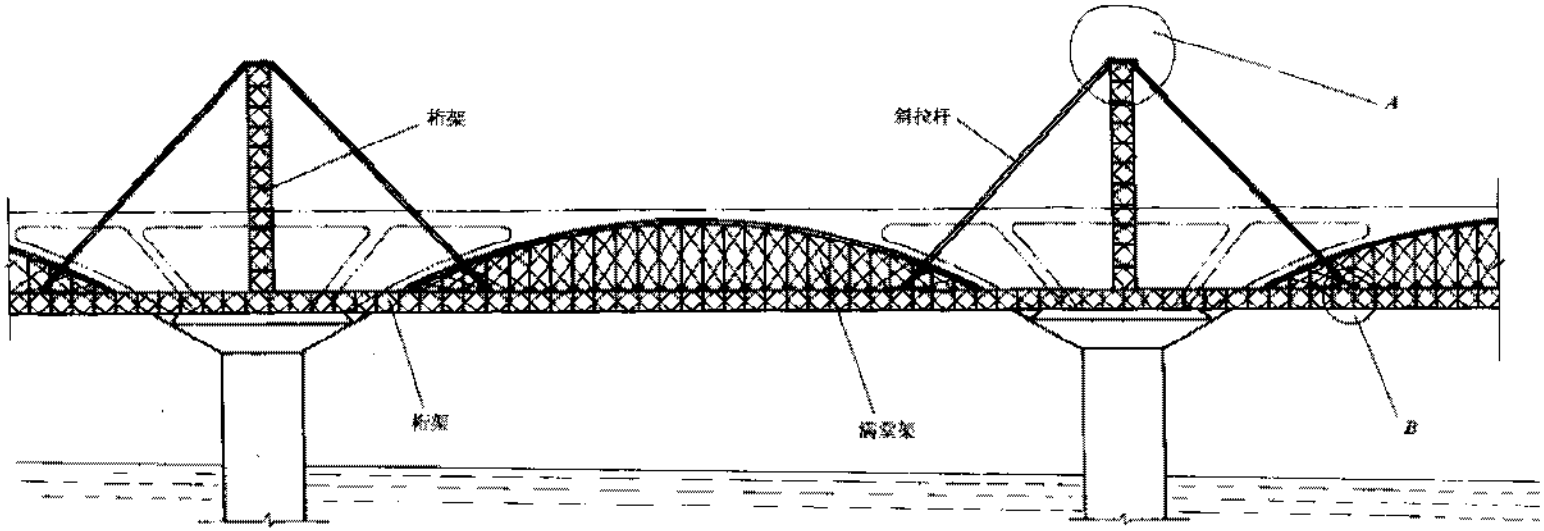
拱架在跨中合拢，事前先测量缺口宽度和高度，然后调整一岸(比如左岸)扣索，让缺口宽度稍大于合拢段桁架的长度，然后将合拢段吊入(也可单片桁架引入)，先与一岸桁架销接，然后调整另一岸扣索，销接桁架的另一端。

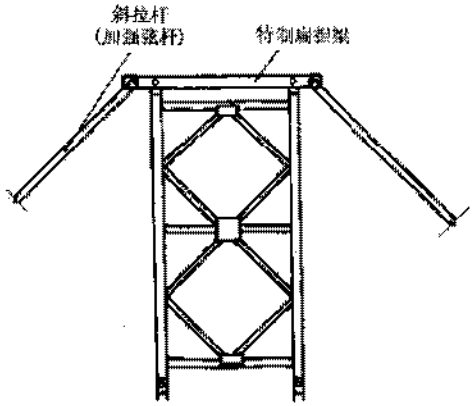
4. 调整拱架线形

拱架合拢后，拉好侧风缆，通过调整侧风缆和扣索，调整拱架的中轴线和拱曲线，使之符合拱架的设计拱度，然后拆除扣索使拱架形成一个独立的体系。经检测拱轴线无误后，再放样安装弓形木、横木及模板，编扎钢筋。

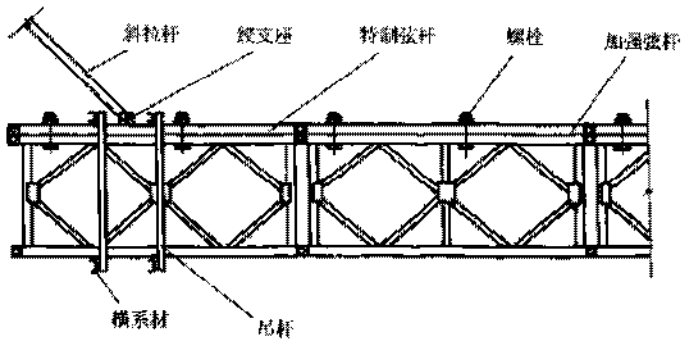
5. 现浇混凝土

贝雷拱架是一个弹性体系，随荷载的增加而不断变形，有可能使已浇灌的混凝土产生裂缝，因此必须选择适当的浇灌方法和顺序，使混凝土在浇灌过程中拱架受力均匀，变形最小。在贝雷拱架上现浇混凝土，宜采用分段灌筑或分段与分环相结合的灌筑方法，避免拱架产生大





A 放大



B 放大

图 7-20 斜拉贝雷架作现浇支架梁

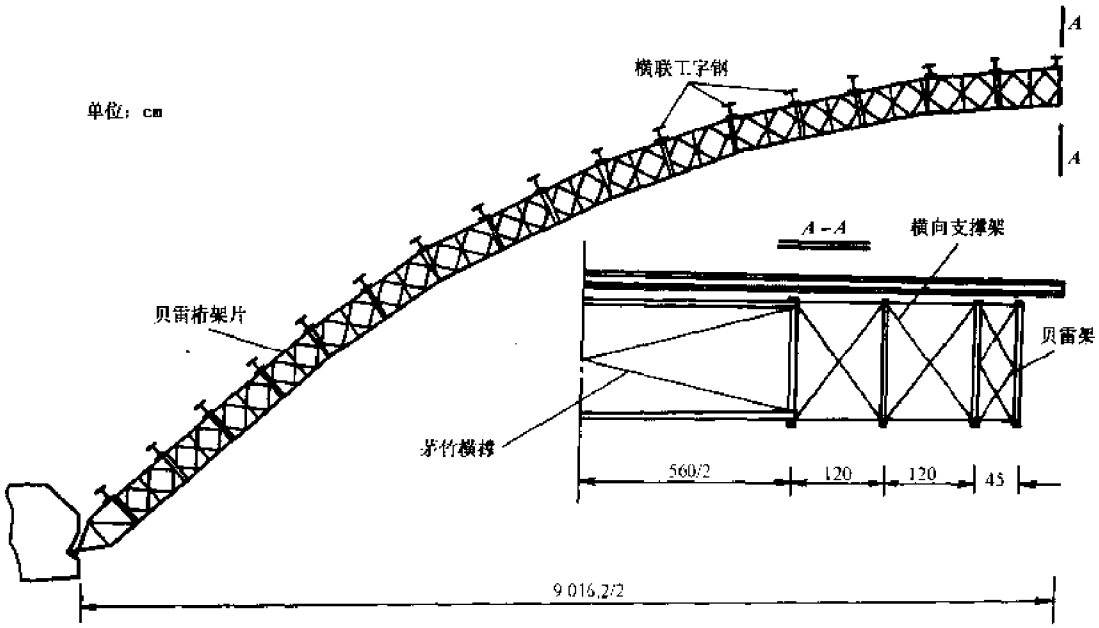


图 7-21　90m跨贝雷拱架

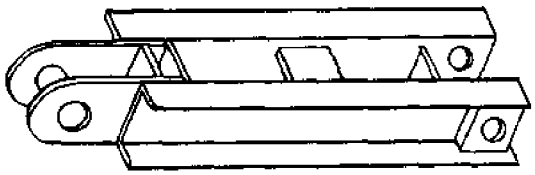


图 7-22　短弦杆

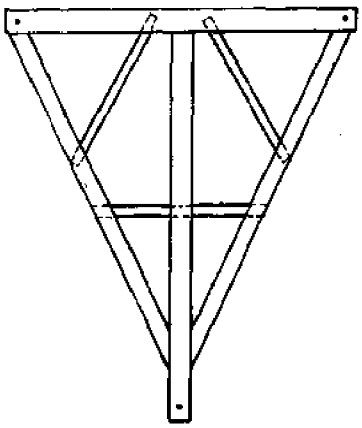
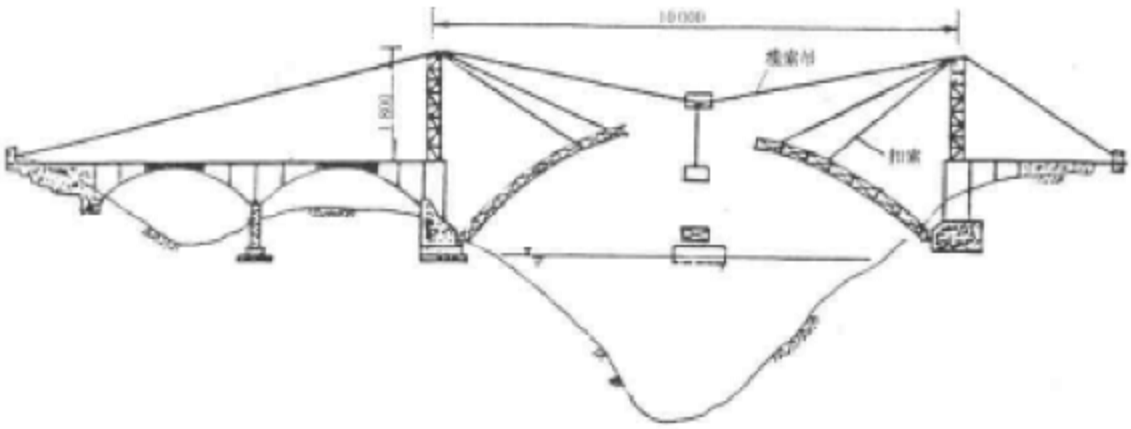
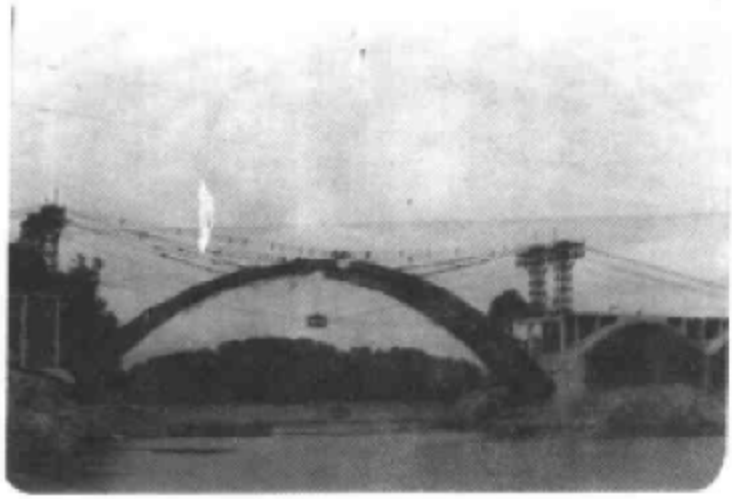


图 7-23　拱脚构件

的变形，流溪河桥跨径较大，拱圈较厚，采用了分环分段加载程序，现浇混凝土前，先根据拱架的挠度影响线，拟定出浇灌顺序。第一次加载由拱脚向 $L/4$ 方向，对称进行，同时拱顶加载到一定厚度后，对称向湿接头对称进行（图 7-25），完成后再浇拱腿到 $L/4$ 余下部位，待混凝土强度达设计强度 70%后封拱，当湿接头强度达 70%以后进行第二环加载，这样第一环拱圈形成后能起拱的作用，参与贝雷拱架共同承受第二环拱圈的重量，减少贝雷拱架负载（流溪河二号桥拱架设计时其荷载按拱肋重量的 70%计）。在现浇混凝土过程中还应加强拱架的沉降观测，掌握拱架的变形情况与设计对照。



a)



b)

图 7-24 拱架安装

a)拱架安装;b)拱架安装箭形

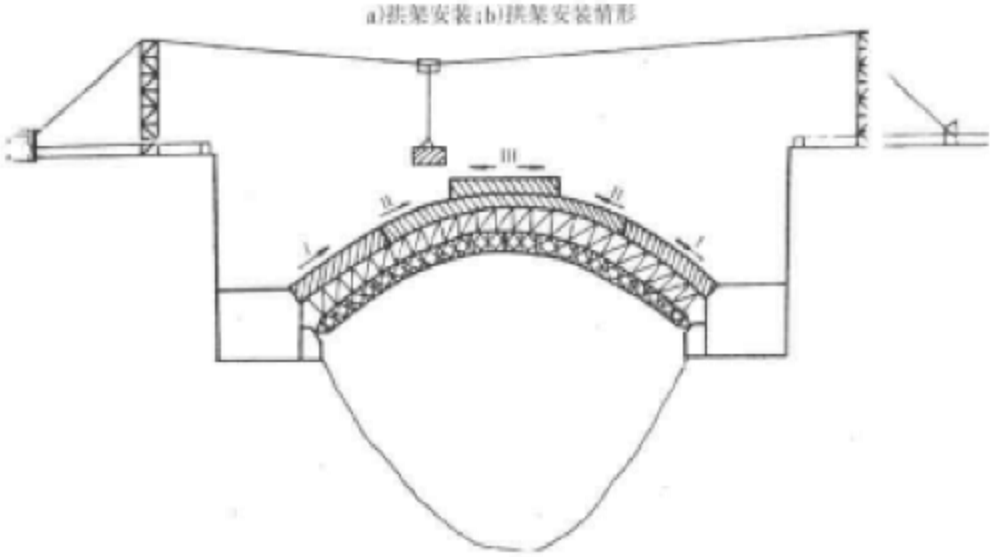


图 7-25 拱架加载

6. 卸拱架

拱架拆卸是拱桥有支架施工的一个重要工序，它关系到拱肋及拱架的稳定和施工安全，卸架时应严格按设计施工程序进行并加强挠度观测。

卸架程序一般是首先将拱架分多点将拱架绑在浇筑好并达到强度的拱肋上，然后分段打松楔形木块，让拱架与浇好的拱肋分离，卸拱架时从拱顶向两岸对称进行。流溪河二桥是系刚拱桥，第一次卸架时，在拱肋完全脱架后，将拱架扣索接好，拆去拱架中间两个单元，然后将拱架竖向转体，重新合拢，作为桥面横梁浇筑支架，桥面浇筑完后，将拱架全部拆除，拆除时将拆下的桁架由缆索吊机吊到船上分解(图 7-26)。

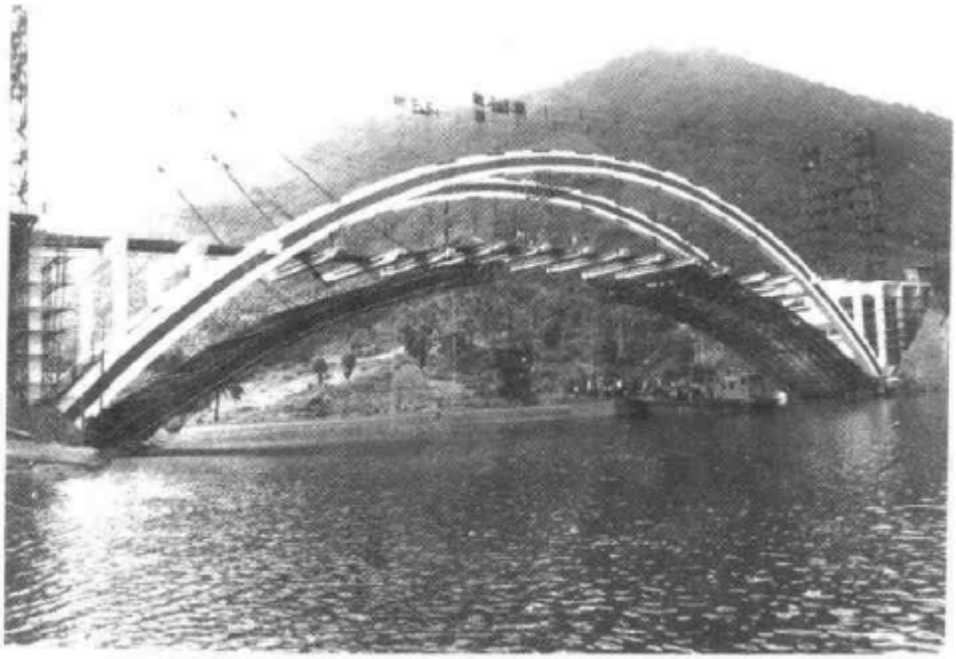


图 7-26　卸拱架情形

7. 注意事项

(1)使用贝雷桁架作大跨度拱架必须精心设计，正确确定加载、卸载步骤方法；

(2)为保证拱架的侧向稳定除设水平，纵横联系构件外，还应该设足够的剪刀斜撑，与拱架连接时，应充分利用桁架弦杆上的眼孔，采取锥形套筒加螺栓的方式，以保证连接牢固，施工过程中应加强观测，掌握拱架变形情况。

第六节　混凝土箱梁现浇支架及平台

中小跨径混凝土箱梁现浇时，往往需要支架和平台，这里介绍几种做法。

一、移动式混凝土箱梁分段现浇平台

(一)作用与功能

中港四航局一公司在承担广东肇庆大桥北岸 597m 连续梁引桥的施工中，用装配式公路钢桥桁架设计和制作了全套移动式现浇工作平台(图 7-27)，使用效果较好，节约了大量地基加固费用。

(二)构造与施工步骤

1. 钢抱箍：设在桥梁墩柱上，以支承平台和现浇施工荷载，其构造如图 7-28 所示。

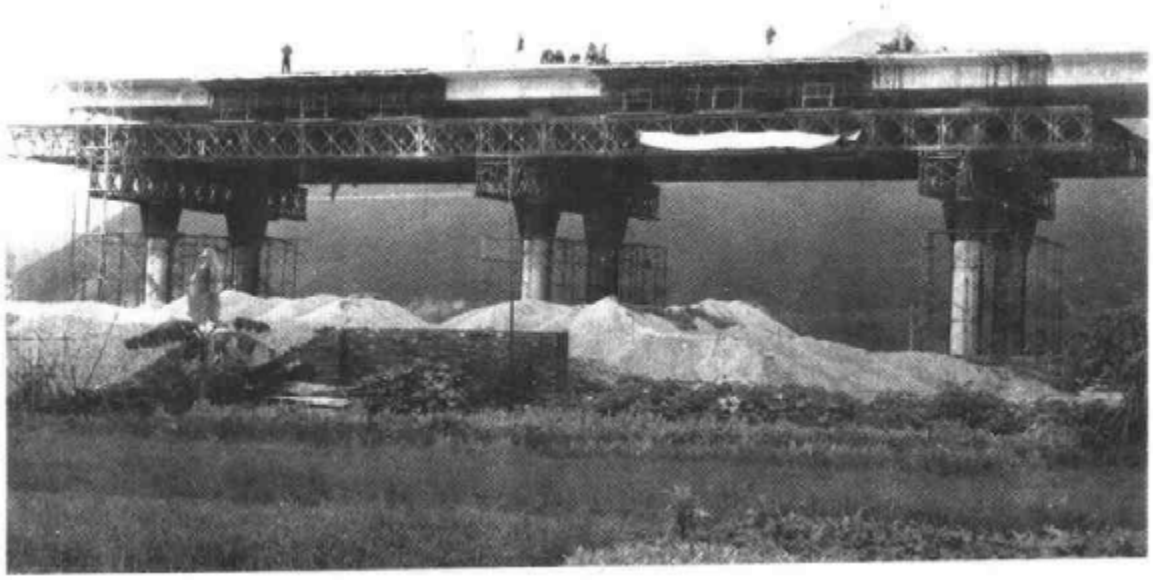


图 7-27　移动式混凝土箱梁分段现浇平台

2. 横梁：支承在墩柱两侧钢抱箍上，横梁的长度比现浇桥面宽 1.5～2.0m，可用四片贝雷桁架拼装，并用横向联接构件相互连接；

3. 纵梁：用贝雷架组拼支承在桁架横梁上，其长度能应跨过三个桥墩，总长度加上导梁不小于 3 倍桥梁跨径，纵梁的数量、间距随现浇桥面宽度和施工装备而定，单片桁架间设交叉联系构件，每片纵梁的前端设导梁；

4. 平台：在柱两侧（随现浇长度而定）纵梁上铺设木板，作墩顶段梁现浇工作平台；

5. 在墩顶及靠墩顶部分桥段现浇混凝土具有一定强度后，在其上设精轧螺纹钢倒挂贝雷梁，使纵梁受荷跨径减少，减少贝雷桁架纵梁的弯矩和挠度。

（三）平台前移

在现浇桥跨浇注完成后，利用卷扬机将平台前移，移动时可整体平移，也可半幅或一组纵梁平移，为降低移动时的摩擦阻力，可在横梁上垫助滑板或平滚。为保持平台架在平移过程中的正确方向，应在横梁上设导向挡铁。有关导梁（鼻架）的设计和构造详见本书第三章第三节内容。

（四）注意事项

1. 钢抱箍是整个平台关键的支撑构件，必须保证强度，最好在使用前对钢抱箍的承载力进行荷载试验。为安全计应在支柱上设剪力键（或销）或其他防滑措施。

2. 钢抱箍与横梁，纵梁与横梁须用螺栓牢固固定。

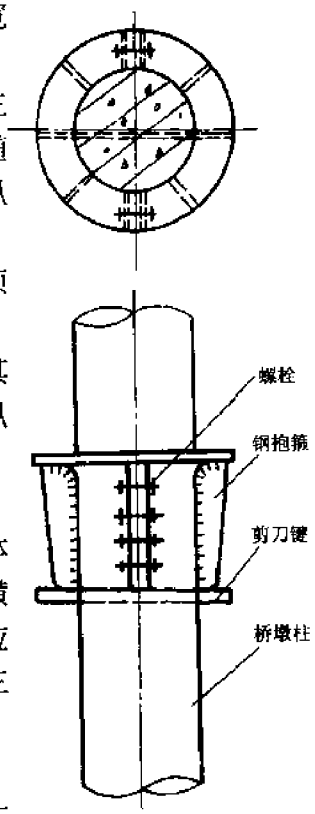


图 7-28　钢抱箍

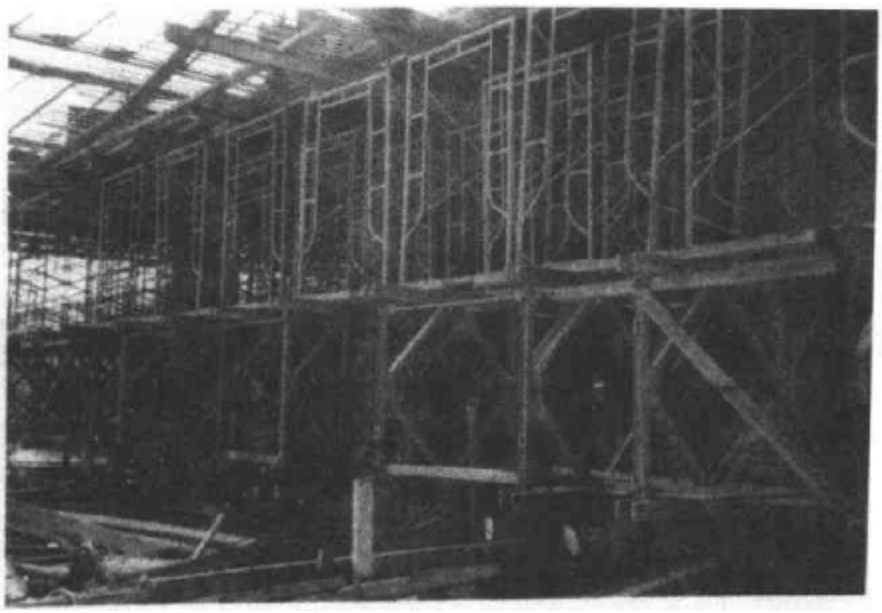
3. 平台前移时，应作好充分准备，加强指挥，密切协同，确保安全。

二、在软土地基上的现浇支架

在软土地基上现浇箱梁，如支架落地，则地基需要加强处理，投资较大，京珠高速公路广珠段的施工单位用“贝雷架”作地基梁支承在桥墩柱的承台上，然后在地基梁上布设若干层贝雷架，在其上搭设现浇支架，如图 7-29a)、b)所示。



a)



b)

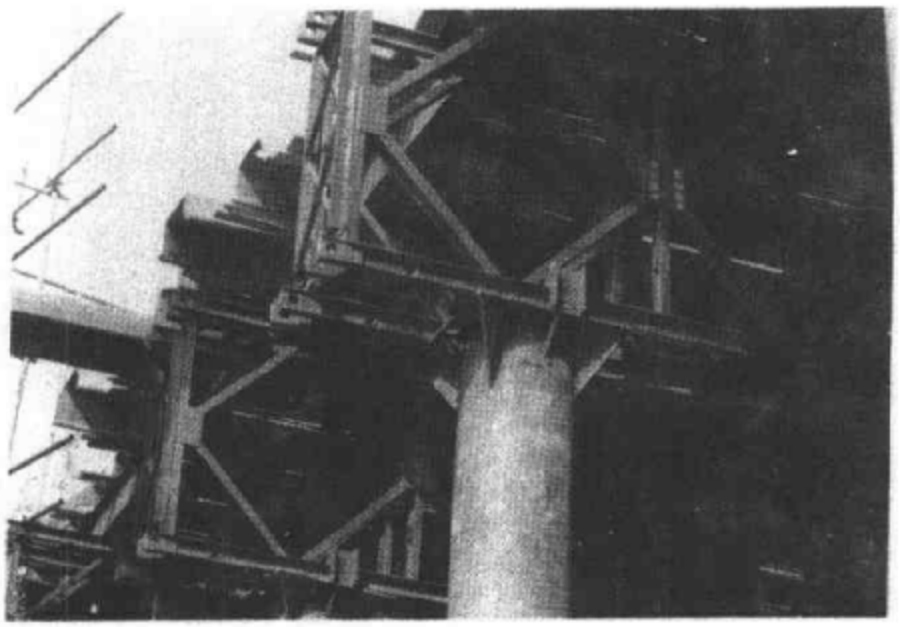
图 7-29　在软土地基上的现浇支架

三、城市高架路(桥)的现浇支架平台

城市高架路(桥)一般地基较好,施工时多用钢管或"贝雷架"作支柱,直接支承在地基上,然后在其上搭支架或平台,如图 7-30a)、b)所示。



a)



b)

图 7-30　城市高架路(桥)的现浇支架

四、V形支墩、T构现浇用贝雷搭设的支架

V形支墩、T构现浇用贝雷搭设的支架如图7-31和图7-32所示。

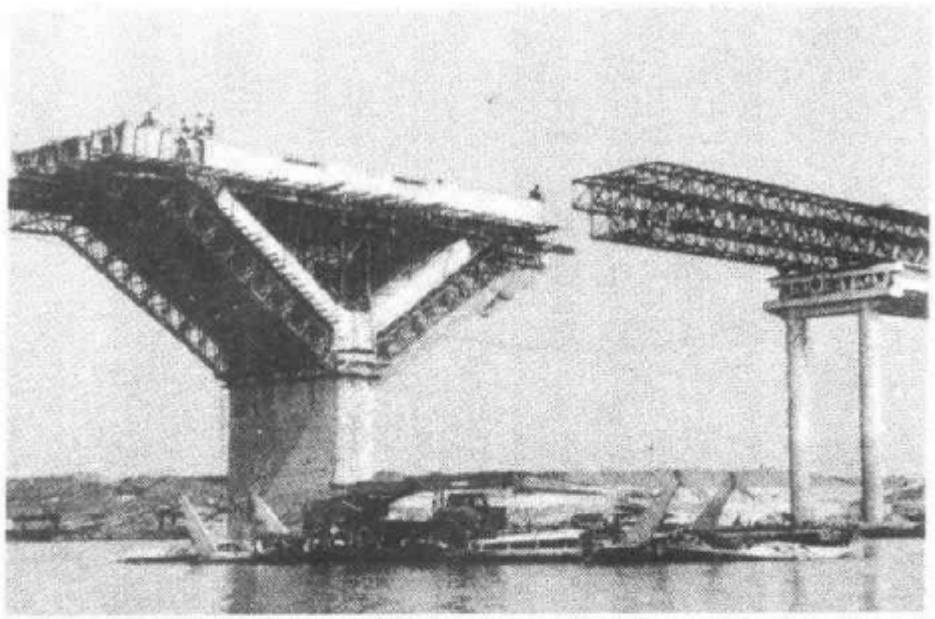


图7-31　Y形墩现浇支架



图7-32　T构现浇支架

第七节　龙门吊架

龙门吊架是用来搬运或起吊笨重物体的一种吊机，有固定式也有移动式的，在桥梁建筑施工中，多用来搬运混凝土预制梁、浇注桥墩混凝土，在钻孔灌注桩时，用来起吊大型钻机等。其构造根据用途而定，但所有的龙门吊均由门架、行走机构、起重机构三部分组成，其构造如图7-33所示。本文主要介绍用公路钢桥桁架拼装门架的特点和方法。

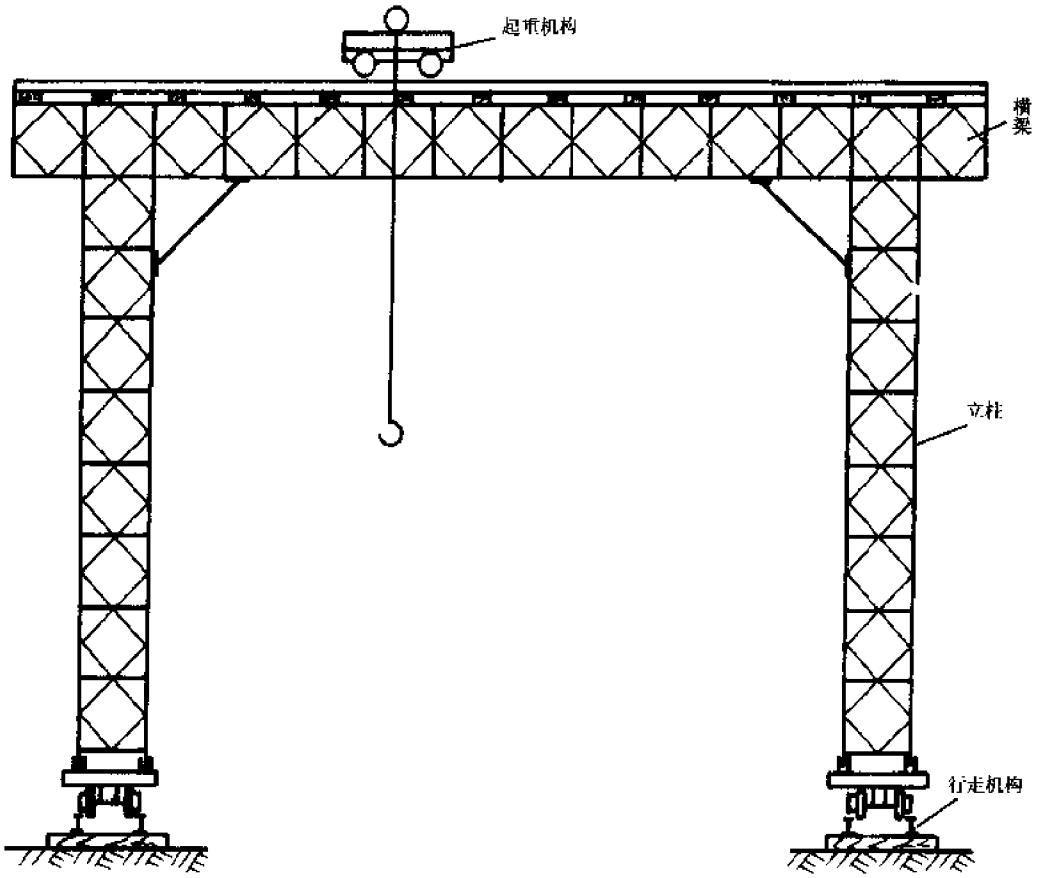


图 7-33　龙门吊架组成

一、桁架横梁

门架的顶梁一般用多排单层桁架构成，桁架排数的多少，随吊机的起重量、门架的跨径而定，通常用 4～6 排对称布置，为保证顶梁的横向稳定，在每两排桁架端部或中部设横向支撑，联成一个整体，在顶梁的上弦设枕木和轨道，供起重平车在梁上移动。

二、门架主柱

主柱用 2～4 片桁架直立拼成，各片桁架之间用水平和斜系杆连接，每节桁架(3m)范围应设一对斜杆和一对水平杆，连系杆体的构造和桁架连接方式可参照桁架支撑架和联板的办法，详见第一章图 1-14、1-15。

三、梁—柱结合部的构造

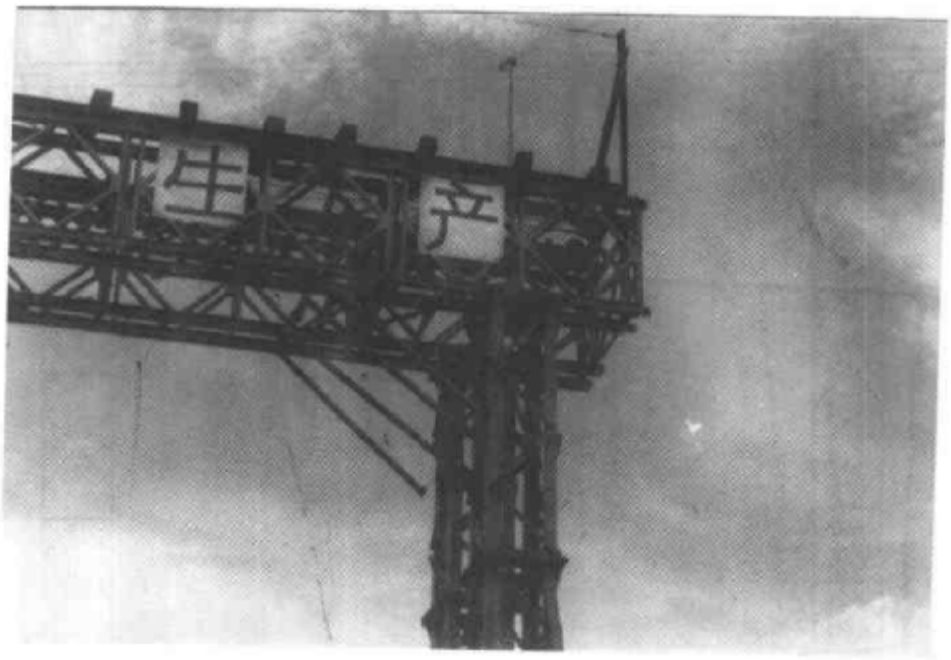
为使整个门架构成一个框架结构，通常的作法是在梁柱的结合部加一斜杆(图 7-34)，有悬臂的门架则加双斜杆。

斜杆是一个受压构件，通常采用对称双肢断面。

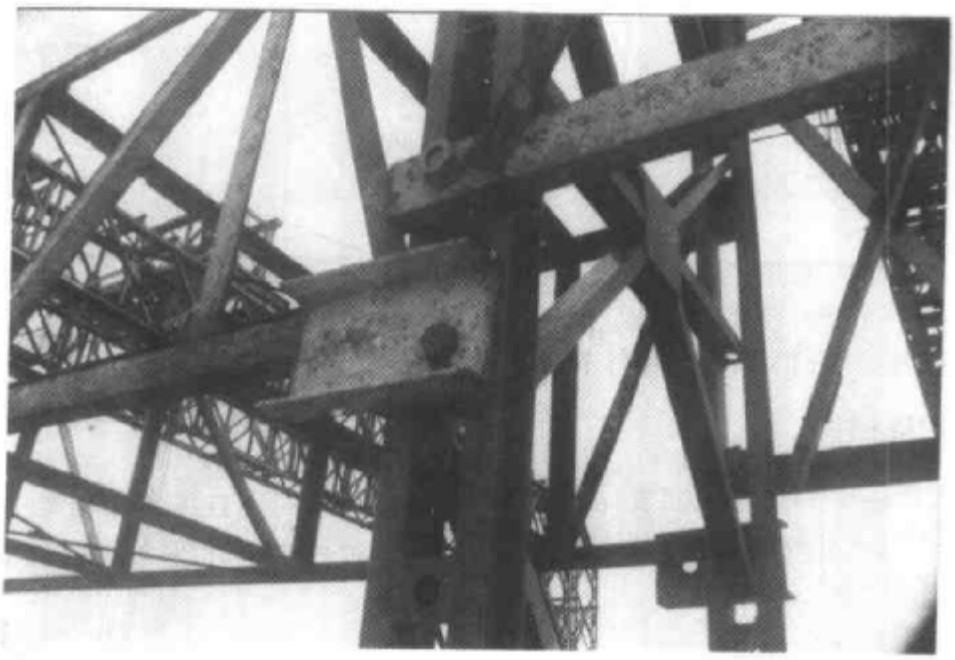
连系杆的两端焊一块连接板，连接板用螺栓与梁的弦杆或与柱的弦杆相接。

梁—柱结合部：

1)在柱顶设置过渡梁，并通过桁架销与桁架弦杆连接；



a)



b)

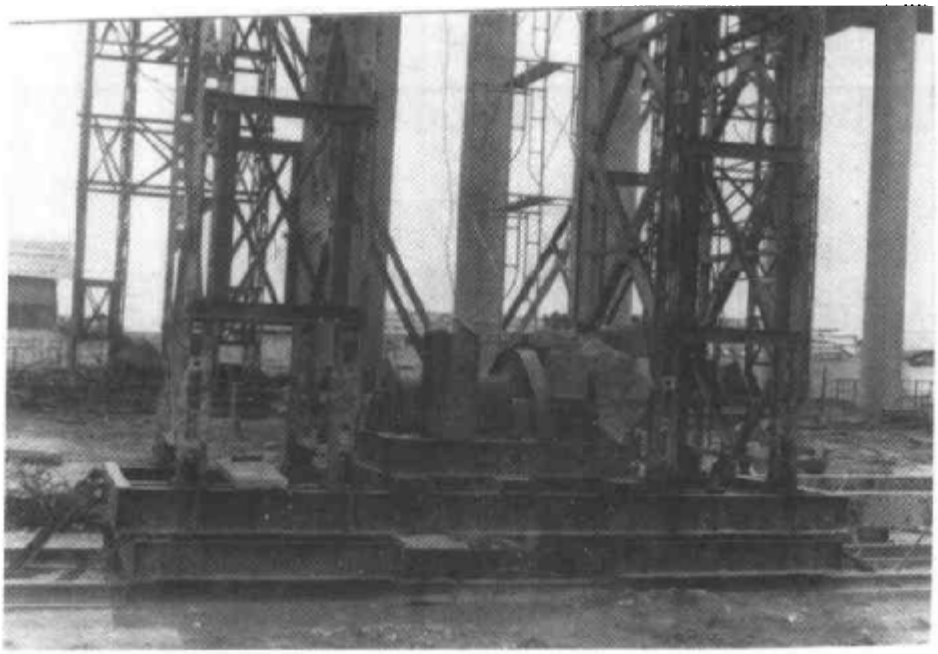
图 7-34

a)龙门吊架梁柱结合部构造;b)龙门吊架系杆连接

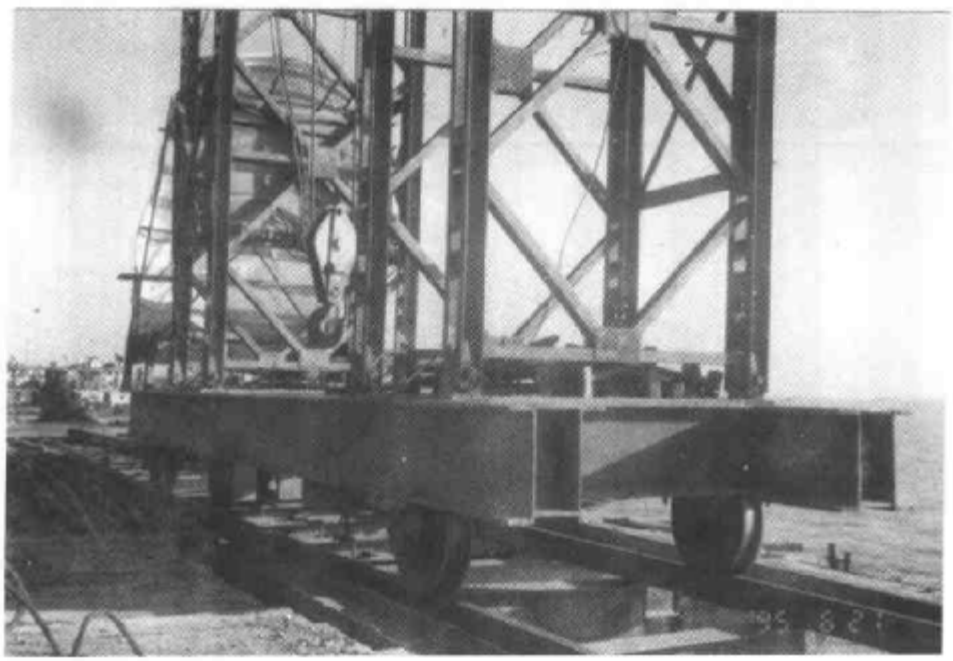
2)门架横梁搁置在过渡梁上(注意:搁置点必须是在梁的腹杆节点上),用螺栓将横梁与过渡梁固定。必须时应特制竖杆,以加强横梁桁架的抗剪能力。

四、主柱底座的构造

主柱下端亦设过渡梁，再与础板或平车梁连接固定，必要时还设斜撑。固定式和移动式龙门架底座如图 7-35 所示。



a)



b)

图 7-35　龙门吊架底座构造

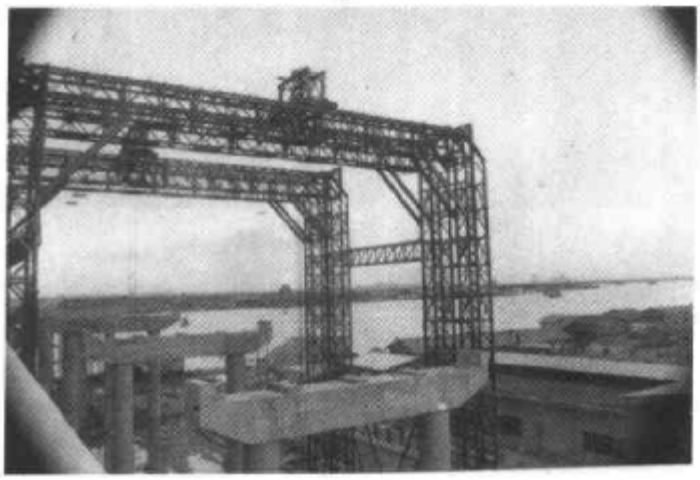
a)固定式龙门吊架；b)移动式龙门吊架

五、龙门吊架在桥梁工地的应用

龙门吊架在桥梁工地的应用如图 7-36a)、b)、c)所示。



a)



b)



c)

图 7-36　龙门吊架在桥梁工地的应用

a)、b)在桥梁工地上的龙门吊架；c)在桥梁构件加工厂的龙门吊架

六、龙门吊架的稳定措施

1. 门架平面内的稳定主要靠梁、柱、节点的斜撑来保证。

2. 门架平面外的稳定对高度不大的门架可设纵向斜杆保证，对较高的龙门吊机必须设两副门架。对移动不频繁的门架可设风缆，对移动较频繁的门架可加长平车梁和制动装置，但遇有大风，必须增加风缆。为保证龙门吊同步运行，应使用同一型车的电机和减速器，必要时还应在两龙门吊之间用钢索拉住。

附录一　贝雷钢桥最新发展简况

据资料介绍，贝雷钢桥自1938年设计定型后，第二次大战期间广泛使用在欧洲、亚洲和非洲战场，战后这种器材被租赁用于抢修桥梁和作建桥的施工设备，经半个多世纪的应用，除仍保留米字形桁架腹杆体系外，在制造、焊结工艺、材料、防腐等方面作了许多改进：

1．在结构方面的改进：

1)桁架高度新增了200型、100型，近期200型被广泛采用；

2)桥面板新增了钢桥面板，这种桥板可在其上加铺沥青混凝土；

3)桁架的连接销增加膨胀销；

4)桁架腹杆由工字钢改用方钢管；

5)横梁在桁架上的位置由中间竖杆侧改设在交叉腹杆之间；

6)拉风拉杆改在横梁上固定；

7)备有加长横梁，以利加宽桥面。

2．200型贝雷桁架与老贝雷桁架技术性能的比较(如附表1所示)

附表1

区　分	老贝雷	200型贝雷	区　分	老贝雷	200型贝雷
桁架长(m)	3.3048		桥面宽(m)	3.7 (可加宽到4.0)	4.7 (可加宽到7.0)
高(m)	1.4478	2.236(7′)			
重(N)	2700	2860	桥面材料	木板	钢桥板
桁架抗弯能力 (kN·m)	770.41	1270.5	每节桁架横梁数	2(或4)	1
桁架抗剪强度 (kN)	152	355.1	30m桥跨自重(kN)	470	320
			30m桥跨构件数	102件	31件
桁架弦杆轴力 (kN)	559	650.1	30m桥跨双排单层架设时间(h)	6	4
材料	50A(相当M16)		60m桥跨自重(kN)	1500	1040
			60m桥跨构件数	141	98

附录二　日本99式军用梁简介

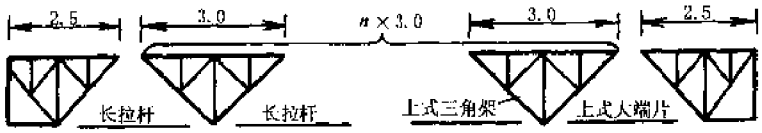
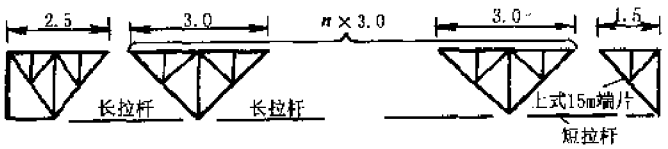
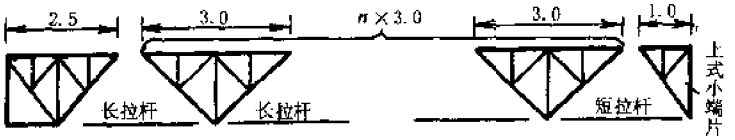
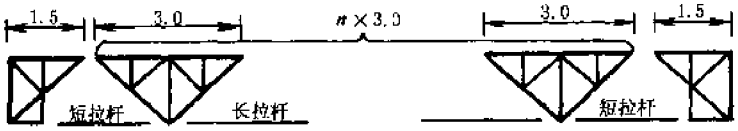
1. 桥跨结构

日本九九军用梁桥跨构件主要由端部、中间三角架组拼而成，组成每片梁的轮廓尺寸单层时：高130cm×宽50cm；双层时：高260cm、宽50cm。根据不同跨度及不同载重的要求可组拼成单层或双层的梁。

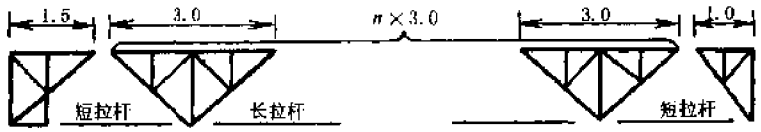
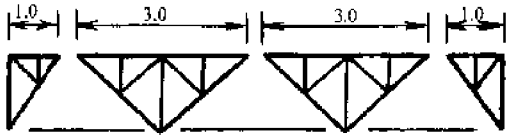
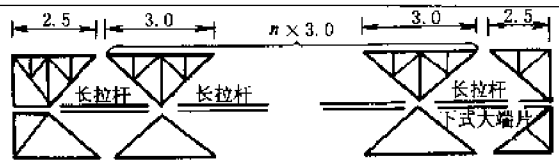
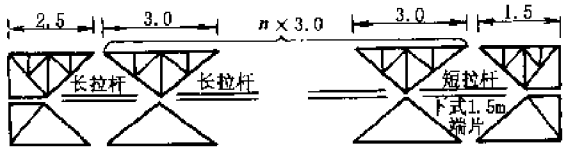
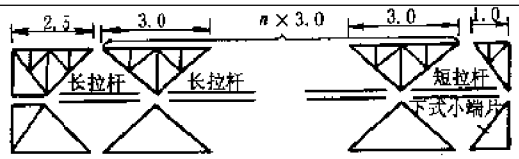
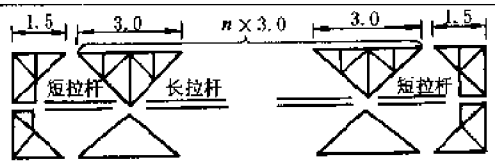
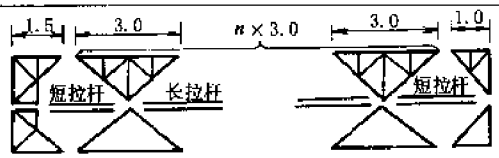
各拼装单元之间用φ52及φ48的单销连接；片与片之间用φ25螺栓连接，双层时上式梁与下式梁之连接用三个三联螺栓或二联螺栓连接，上下式作为整体结构时可在联结杆翼缘上钻孔，用φ22螺栓连接，也可在腹板上钻孔用φ25螺栓连接，横向片与片间仅藉φ25螺栓连接。

2. 组拼简图(见附表2)

附表2

组拼简图	组拼跨度(m)
	2.5+3n+2.5 n——三角架个数组拼跨度11,14,17,20
	2.5+3n+1.5 n——三角架个数组拼跨度10,13,16,19
	2.5+3n+1.0 n——三角架个数组拼跨度9.5,12.5,15.5,18.5
	1.5+3n+1.5 n——三角架个数组拼跨度:9,12,15,18

续上表

组拼简图	组拼跨度(m)
	1.5+3n+1.0 n——三角架个数组拼跨度:8.5,11.5,14.5,17.5
	1.0+3n+1.0 n——三角架个数组拼跨度:8.0
	2.5+3n+2.5 n——三角架个数组拼跨度:23,26,29,32
	2.5+3n+1.5 n——三角架个数组拼跨度:19,22,25,28,31
	2.5+3n+1.0 n——三角架个数组拼跨度:18.5,21.5,24.5,27.5,30.5
	1.5+3n+1.5 n——三角架个数组拼跨度:21,24,27,30
	1.5+3n+1.0 n——三角架个数组拼跨度:20.5,23.5,26.5,29.5

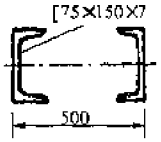
3．日本99式军用梁单件组合(见附表3)

军用梁单件组合表 附表3

桁架区别	上式							下式						
名称	上式大端片	上式三角架	长拉杆	上式小端片	短拉杆	总计		下式大端片	下式三角架	长拉杆	下式小端片	短拉杆	总计	
						件数	重量						件数	重量
各单件式样			—		—					—		—		
长度(cm)	280	320	300	129	227			280	318	300	129	227		
宽度(cm)	50	50	50	50	50			50	50	50	50	50		
重量(kg)	340	390	138	198	78.5			326	320	138	186	78.5		
件数 / 跨度(m)							kg							kg
32.0	2	9	10			21	5770	2	9	10			21	5112
30.5		9	8	2	2	21	5604		9	8	2	2	21	4673
29.0	2	8	9			19	5822	2	8	9			19	4634
27.5		8	7	2	2	19	4779		8	7	2	2	19	4195
26.0	2	7	8			17	4674	2	7	8			17	4156
24.5		7	6	2	2	17	4231		7	6	2	2	17	3717
23.0	2	6	7			15	4126	2	6	7			15	3678
21.5		6	5	2	2	15	3762		6	5	2	2	15	3239
20.0	2	5	6			13	3678	2	5	6			13	3200
18.5		5	4	2	2	13	3374		5	4	2	2	13	2761
17.0	2	4	5			11	3030	2	4	5			11	2722
15.5		4	3	2	2	11	2668		4	3	2	2	11	2283
14.0	2	3	4			9	2482	2	3	4			9	2244
12.5		3	2	2	2	9	2118		3	2	2	2	9	1905
11.0	2	2	3			7	1943	2	2	3			7	1766
9.5		2	1	2	2	7	1570		2	1	2	2	7	1329
8.0	2	1	2			5	1386	2	1	2			5	1288

4．桁架弦杆资料

1)弦杆断面(附图1)



附图 1

$$F = 56.3\text{cm}^2$$

$$J_x = 2060\text{cm}^4$$

$$r = 6.05\text{cm}$$

$$\frac{l}{r} = 50$$

2)容许应力

$\sigma = 1400 kg/cm^2$　　主力

$\sigma = 1700 kg/cm^2$　　主力与附加力

$\sigma = 1800 kg/cm^2$　　架梁时仅垂直静载

$\sigma = 2000 kg/cm^2$　　架梁时静载与风载

3)上式梁重约0.18t/m

下式梁重约0.15t/m

5. 使用注意事项：

1)99式梁拱度：在30m跨时约20cm，故不得反装；

2)上式端片及三角架不能代替下式端片及三角架；

3)长拉杆无上式下式之分，两片梁相连时，长短牙应采取一致，因ϕ27孔眼距离互不相同。

主要参考资料

1. 交通部公路规划设计院主编.装配式公路钢桥使用说明(内部资料).1969 年.
2. 喻忠权编.装配式公路钢桥使用手册.1998 年.
3. 刘陌生主编.邕江大跨度组合吊架设计与施工(内部资料).1986 年.
4. 英国 ACROW 公司编.贝雷(BAILEY)使用手册.1974 年.
5. 渡河教范(内部读物).装配式桁架民舟浮桥.1979 年.