

路桥工程施工新技术实用手册

桥梁施工新技术分册

主编 张京等

长征出版社

责任编辑：常 正

封面设计：胡 湖

ISBN 7-80015-859-4



9 787800 158599 >

ISBN 7 - 80015-859-4/Z · 25

总定价：2900.00 元（全十卷）

分册定价：580.00 元（全二卷）

·路桥工程施工新技术实用手册·

桥梁施工新技术分册

主编 张京 等

(下卷)

长征出版社

第十二章 拱桥施工新技术

拱桥是我国公路上采用很广泛的一种桥梁体系,主要因拱式体系的受力合理。拱桥与梁桥相比,在受力性能上有较大的差别,拱式结构在竖向荷载作用下,支承处除产生竖向反力外,还产生水平力。由于存在水平推力,使拱的弯矩比相同跨径梁的弯矩小很多,拱圈内主要承受压力。特别对于大跨径桥梁,静载占全部荷载中的绝大部分,当合理选择拱的轴线,使拱圈在静载作用下主要受压,这就使抗压性能较好而抗拉性能较差的石料和混凝土材料得到充分利用。由于拱桥的受力合理,外形美观,使它在桥梁方案比较中占据有利地位,因此常被选用。我国在大跨径拱桥建造上处于世界先进行列,全世界跨径在 100m 以上的钢筋混凝土拱桥中,我国占有的数量超过三分之一。

拱桥的施工方法主要根据其结构形式、跨径大小、建桥材料、桥址环境的具体情况以及方便、经济、快速的原则而定,并且随着拱桥各阶段的发展水平而变化。

1. 石拱桥与混凝土预制块拱桥

石拱桥根据其用料不同可以是片石拱、块石拱或料石拱;根据其布置形式又可以是实腹式石板拱或空腹式石板拱和石肋拱。对石拱桥,目前主要采用拱架施工法。拱架种类很多,包括竹木拱架、钢拱架和钢木组合拱架、扣件式钢管拱架以及斜拉式贝雷平梁拱架等。采用拱架施工的关键在于拱架结构合理、计算正确(包括预拱度设置和加载与落架程序)。在采用钢拱架时,为了减小拱架尺寸并减少用材,还可以采用斜拉钢拱架施工法,即利用斜拉索适时调整拱架受力,实现拱圈连续砌筑。另外,对桥下无交通需要的小跨径旱桥或季节性河流上的拱桥还可以采用土牛拱胎施工法。

混凝土预制块拱桥施工与石拱桥相似。

2. 钢筋混凝土拱桥

钢筋混凝土拱桥是中、大(特大)型拱桥的主要形式,包括钢筋混凝土箱板拱桥、箱肋拱桥、钢管混凝土拱桥等。拱桥从结构立面上可分为上承式桥、下承式桥和中承式桥。根据不同情况,有多种施工方法可供选择。在允许设置拱架或无足够吊装能力的情况下,各种钢筋混凝土拱桥均可采用在拱架上现浇或组拼拱圈的拱架施工法。

为了节省拱架用材,使上、下部结构同时施工,缩短工期,可采用预制装配施工。无支架缆索吊装是常用的方法,即通过设置吊运天线来完成预制拱圈节段的纵向与竖向运输,从而完成拱圈拼装。无支架缆索吊装根据桥跨的多少,可采用单跨法或双跨法。国内用该施工方法施工的拱桥跨径已达到160m。

根据两岸地形及施工现场的具体情况还可采用转体施工法。该法就是在两岸现浇半拱。

然后统拱座作水平或竖直转动合龙成拱,目前其施工跨径已达到200m。转体施工利用两岸地形搭架,可少用支架,安装架设工序少,主要在陆地上施工。其施工关键是转动系统的设计与计算以及转动过程的控制。

在拱桥跨径更大($>200m$)时,采用上述施工方法均存在一定困难。劲性骨架施工方法是特大跨径拱桥施工方法之一,使用该方法施工的拱桥跨径已达到420m。劲性骨架施工实质上就是一种体内支架法,即先采用无支架缆索吊装或转体架设劲性(刚性或半刚性)钢骨架拱,然后在此骨架上现浇混凝土拱圈。劲性骨架由型钢或钢管混凝土构成。该法的特点是混凝土浇筑全部在空中进行,工序复杂,工期长,需特别注意施工过程中结构变形与应力监控。

采用钢管混凝土修建大跨径拱桥可以进一步简化施工。该法首先采用无支架缆索吊装钢管拱圈,然后在钢管内填充混凝土,待混凝土达到设计强度后即形成最终结构,避免了大量的高空施工作业,目前其施工跨径已达到420m。钢管混凝土拱桥施工的关键是钢管拱圈加工(特别是焊接和钢管表面防护),管内混凝土的浇筑以及施工监控。

另外,悬臂施工法也是一种特大跨径拱桥施工的方法,它是自拱脚开始采用悬臂浇筑或拼装逐渐形成拱圈至拱顶合龙成拱,对拱圈合龙前的悬臂状态则用斜拉索进行扣挂。悬臂施工法在我国使用还较少,国外采用该法施工的

拱桥跨径已达到 390m。在必要时也可同时采用几种方法,即组合法,如对主拱圈两拱脚段采用悬臂施工,跨中段则先用劲性骨架成拱,然后在骨架上浇筑混凝土后形成最后拱圈;或者采用组合法先转体施工劲性骨架,然后在骨架上浇筑混凝土成拱等。

3. 桁架拱桥、桁式组合拱桥

桁架拱桥、桁式组合拱桥一般采用预制拼装施工。对小跨径桁架拱桥可采用有支架安装。

对不能采用支架安装的大跨径桁架拱桥则采用无支架安装,其安装方法包括缆索吊装、悬拼安装及转体安装等;对桁式组合拱桥主要采用人字桅杆悬臂吊装,其施工跨径已达到 330m。

4. 刚架拱桥

刚架拱桥可以采用有支架施工、少支架施工或无支架施工。

但总的来说,拱桥施工一般要求可以概括如下:

1. 施工前应做好施工组织设计,合理选择施工方案,保证人员、机具配备充分;
2. 桥用材料(石料、水泥、钢材等)符合设计与规范要求;
3. 施工中积极采用新技术、新工艺;
4. 拱架结构合理、计算正确、便于装卸,严格按设计程序进行加载(砌筑、浇筑组拼)与落架;
5. 缆索吊装系统、扣挂系统、转体系统及其它吊装系统设计合理,施工方便,安全;
6. 施工必须严格按照规范规定进行,各项技术指标必须符合规范要求;
7. 严格进行施工监控。

第一节 拱架

一、拱架的结构类型

拱架的种类很多,按其使用材料可分为木拱架、钢拱架、竹拱架、竹木混合拱架、钢木组合拱架以及土牛胎拱架等多种形式;按结构形式可分为排架式、撑架式、扇形式、桁架式、组合式、叠桁式、斜拉式等。

二、拱架的构造及安装

(一)木拱架

木拱架一般有排架式、撑架式、扇形式、叠桁式及木桁架式等。前四种在桥孔中间设有或多或少的支架统称满布式拱架,最后一种可采用三铰木桁架形式,在桥孔中完全不设支架。

图 12-1 为撑架式木拱架示意图。

1. 木拱架构造

满布式木拱架一般可分为上下两部分,下部为支架,上部为拱架。支架的构造基本上与木桥相同,但在纵横方向均设置水平撑和斜撑(或剪刀撑),以使排架稳定。较高的支架,可采用框架式结构,但两半跨构造应尽量对称,上下游应设斜撑或拉索。拱架的弧形木,一般跨度为 2~3m,弧形木上缘应按拱圈或拱肋的内侧弧线制成弧形。当拱度不大、失高不超过立柱或斜撑木料的长度时,拱架的水平拉杆可设置在起拱线的水平位置上;当拱跨较大和拱矢较高时,可提高拉杆的位置。拱架的横向间距由拱圈重力大小而定,一般为 1.2~1.7m。间距较大时,模板下需设置横梁,其间距一般可取 60~70cm。各片拱架间需设夹木连接。拱架的卸落设备,一般设置在拱架水平拉杆与支架帽木

之间上下立柱相对应处。跨径较大时,可设于弧形木下支点处;当为扇形拱架或木桁拱架时,设置于支点之下;对于叠桁式拱架,由于它不设帽木和水平拉杆,双层弓形木组成的叠椅二端又嵌入桥台,因此卸落设备(一般为木楔)置于拱顶叠桁接头处和立柱接头之间。拱架各杆件的连接应当力求紧密,可用铁夹板、硬木夹板、螺栓、抓钉轻铁件或硬木连接;桁式木拱架需采用榫接;叠桁式木拱架必须采用螺栓连接。

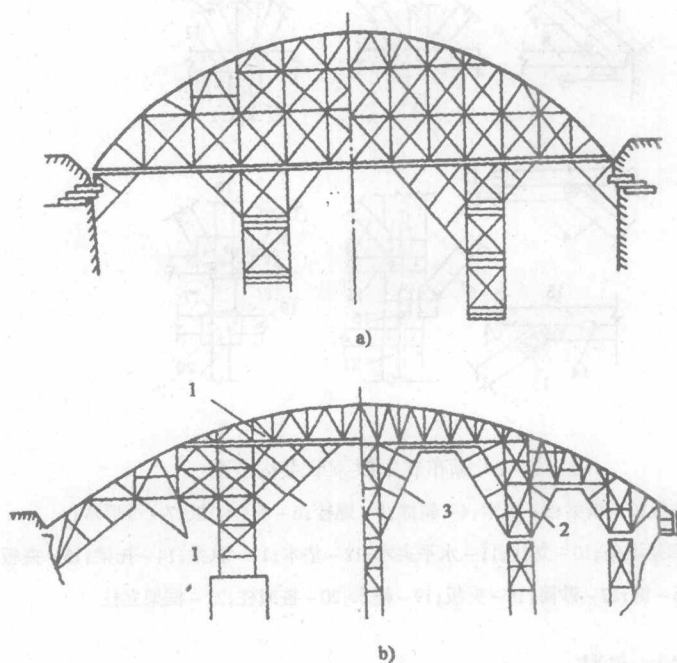


图 12-1 撑架式木拱架

a) $L=40\sim 60m$; b) $L=70\sim 90m$

1-卸架设备;2-斜撑;3-横向斜夹木

(2) 支架基础

支架基础必须稳固,承重后应能保持均匀沉降且沉降量不得超过设标范围。基础为石质时,将表上挖去,立柱根部岩面应凿低、凿平。基础为密实土时,如施工期间不会被流水冲刷,可采用枕木或铺砌石块做支架基础;如基础施工期间可能被流水冲刷或为松软土质时,需采用桩基、框架结构或其它加固措施施工,如采用夯填碎石补强,砂砾土用水泥固结,再在其上浇混凝土基座

作为支架基础等措施。

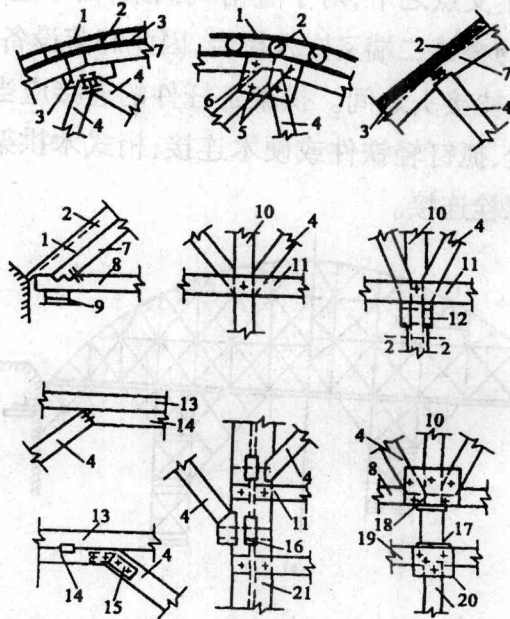


图 12-2 满布式木拱架节点构造图

- 1-模板;2-横梁;3-填木;4-斜撑;5-螺栓;6-铁(木)板;7-弓形木;
8-拉梁;9-卸架设备;10-立柱;11-水平夹木;12-垫木;13-纵梁;14-托梁;15-夹板;
16-键;17-砂筒;18-夹板;19-帽木;20-桩或柱;21-框架立柱

3. 拱架的制作与安装

为了使拱架具有准确的外形和尺寸,在制作拱架前,一般要在样台上放出拱架大样。应当注意,放出的拱架大样应计入预拱度。放出大样后就可以制作杆件的样板,以便按样板进行杆件的加工。拱架的制作与安装,应从基础牢固、立柱正直、节点连接(一般用扒钉、螺栓连接)紧密为原则。在风力较大的地区,拱架需设置风缆索,以增强稳定性。满布式拱架的制作及安装程序如下:

- (1)在样台上,按拱圈内弧线加建筑拱度放出拱模弧线并将其分成段,定出弧形木接头位置和排架、斜撑、拉杆的中心线。
- (2)在样台上量出各杆件尺寸,制作大样。
- (3)竖立支架立柱(预先对地基整平、夯实、设置枕梁)。

(4)安装帽木和夹木,并在帽木的立柱位置放上卸落设备。

(5)在支架及卸落设备上抄平,定出拱架上部大梁水平线。

(6)安装水平大梁、立柱、斜撑、夹木、弧形木、横梁和模板等,并注意控制弧形木各节点高程及拱架中线偏离。拱架较高时,可在支架两侧设置斜撑和在拱冠两侧设置缆风绳,以增强拱架横向稳定性。

(二)钢拱架与钢木组合拱架

1. 工字梁钢拱架

工字梁钢拱架可采用两种形式:一种为有中间木支架的钢木组合拱架,一种为无中间木支架的活用钢拱架。

钢木组合拱架在木支架上用工字钢梁代替木斜梁,可加大斜梁的跨度,减少支架。工字梁顶面可用垫木垫成拱模弧线。但在工字梁接头处应适当留出间隙,以防拱架沉降时顶死。此种拱架的支架常采用框架式。

工字梁活用钢拱架构造形式见图 12-3。此种构造构成简单,拼装方便,可重复使用。它使用于河流需保持畅通、墩台较高、河水较深或地质条件较差的桥孔。拱架由工字钢梁基本节(分成几种不同长度)、楔形插节(由同号工字钢截成)、拱顶铰及拱脚铰等基本构件组成。工字钢与工字钢或工字钢与楔形插节可在侧面用角钢和螺栓联结,在上下面用拼接钢板联结。基本节一般用两个工字梁横向平行组成。用基本节和楔形插节连成拱圈全长时即组成一片拱架。

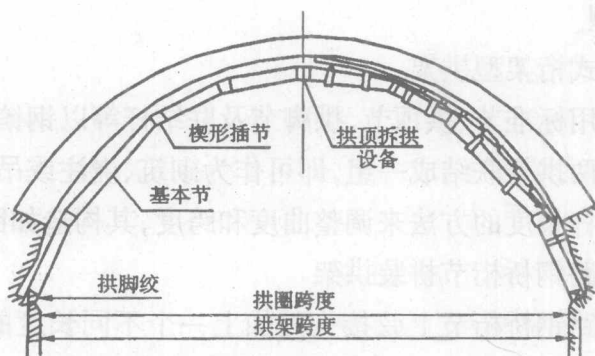


图 12-3 工字梁活用钢拱架

用选配工字钢长度和楔形插节节数的方法,可使拱架适用于多种曲度和跨度的拱。横桥方向需用的拱架片数,应根据拱圈宽度和重量来确定。拱片间可用角钢或木杆等杆件联结,卸拱时,可采用拱顶复式楔、拱脚砂筒或弧形木下的木楔等卸拱设备。

工字梁活用钢拱架,一般是将每片拱架先组成两个半拱片,然后安装就位。在架设每个拱片时,应先同时将左半拱、右半拱两段拱片吊至一定高度,并将拱片脚纳入墩台缺口或预埋的工字梁支点上与拱座铰联结,然后安装拱顶卸顶设备进行合龙。拱片的吊装,可用设在墩台顶面的人字摇头扒杆联合起吊,其方法见图 12-4。

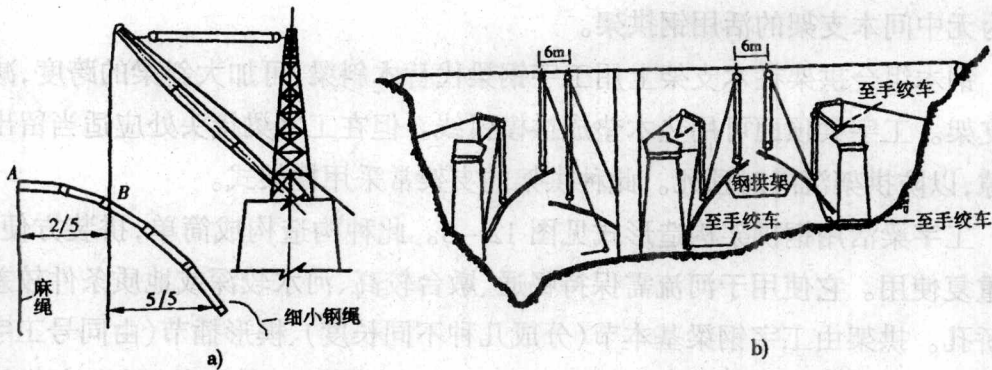


图 14-4 工字梁钢拱架吊装示意

a)活动扒杆吊装; b)绳索及人字摇头扒杆联合吊装

2. 钢桁架拱架

(1) 结构类型

① 常备拼装式桁架型拱架

此种拱架系用标准节、拱顶节、拱脚节及联结杆等以钢销联结组成。再以纵横向联结系将两拱架联结成一组,即可作为砌筑、浇注或吊装一片拱肋的支架。用变换联结杆长度的方法来调整曲度和跨度,其构造如图 12-5 所示。

② 装配式公路钢桥桁节拼装拱架

在装配式公路钢桥桁节上弦接头处加上一个不同长度的钢铰接头,即可拼成用于多种曲度和跨度的拱架。拱架两端应另外加设拱脚节及支座,以构成双铰拱架,为使完工后卸架方便,应在弧形木下设置木楔。拱架的横向稳定

则需依靠各片拱架间的抗风拉杆、撑木以及风缆等设备,拱架构造如图 12-6 所示。

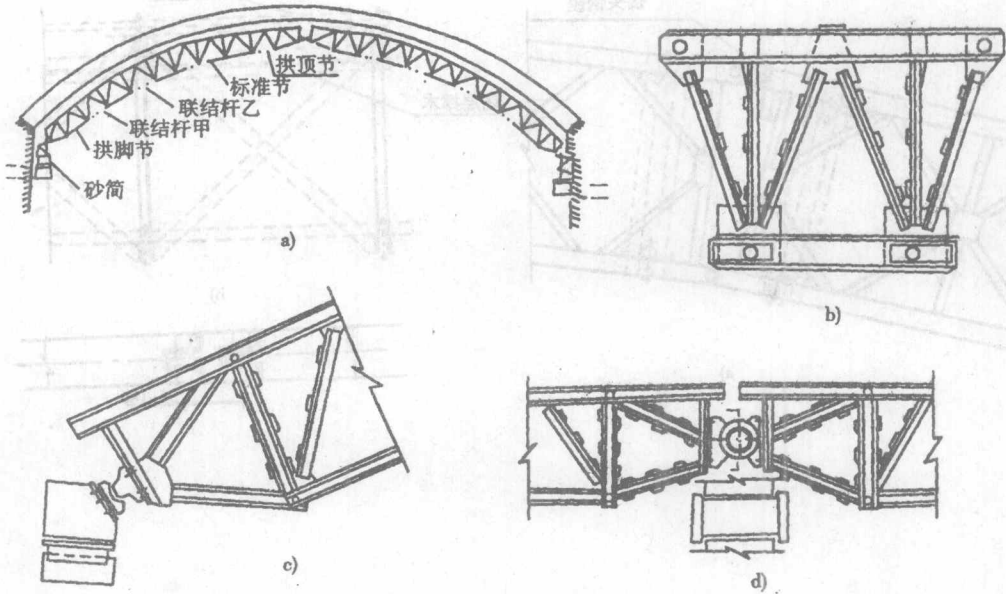


图 12-5 常备拼装式桁架型拱架

a)常备拼装式; b)标准节; c)拱脚节; d)拱顶节

③ 万能杆件拱架

万能杆件经补充一部分带钢铰的联结短杆后,可用它拼装拱架。拼装时,先拼成桁节,再用长度不同的联结短杆连成折弧形。

④ 万能杆件桁架、装配式公路钢桥桁架或军用梁与木拱盔组合拱架

此种拱架系由万能杆件桁架、装配式公路钢桥桁架或军用梁构成的支架及其上面的帽木、立柱、斜撑、横梁及弧形木等杆件构成。其挠度可通过试验求得或在拱架安装后进行预压实测。2000 年竣工的世界最大跨径(146m)石拱桥——山西丹河大桥就是采用此种拱架,如图 12-7 所示。

⑤ 万能杆件桁架、装配式公路钢桥桁架或军用梁与钢管脚手架组合拱架

此种拱架系由万能杆件桁架,装配式公路钢桥桁架或军用梁构成的支架与钢管脚手架拱盔组成。2001 年竣工的河南许沟大桥(220m 钢筋混凝土箱形拱)就是采用这种拱架进行现浇斜施工的,图 12-8 所示为某 60m 拱的组

合拱架示意。

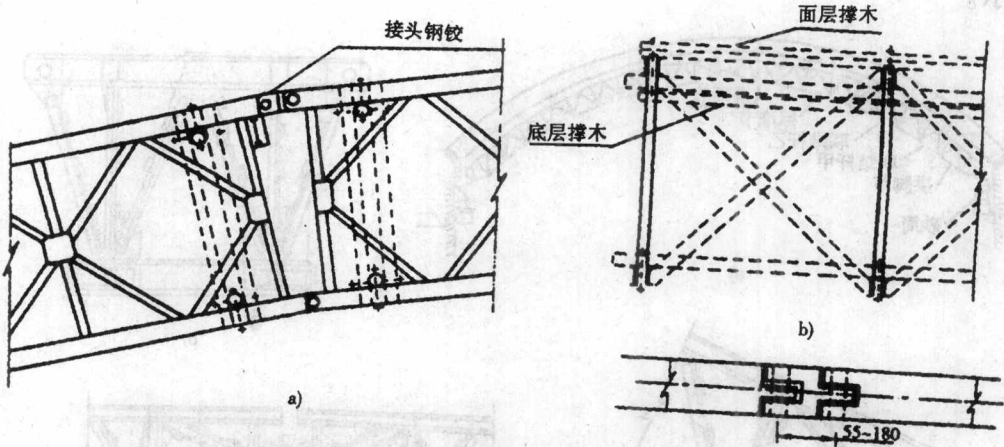


图 12-6 装配公路钢桥桁节拼装拱架(尺寸单位: cm)

a) 桁节联结; b) 拱架横向联结; c) 钢铰接头平面

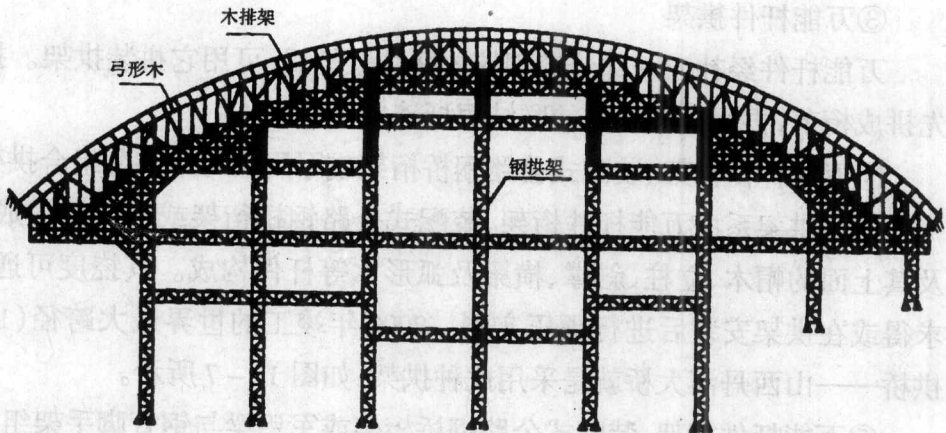


图 12-7 丹河大桥拱架

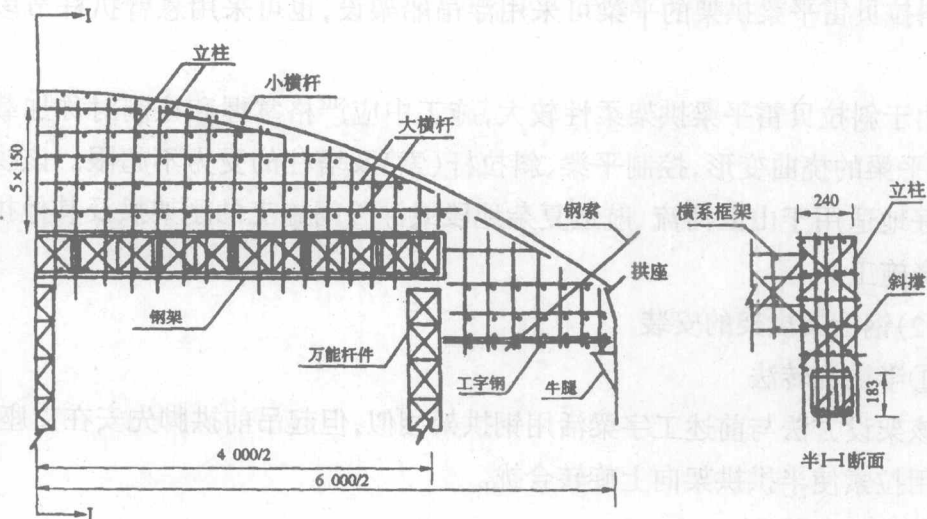


图 12-8 组合拱架

⑥斜拉贝雷平梁拱架

如图 12-9 所示,斜拉贝雷平梁拱架可用于一跨或几跨连续施工的情况。在距边墩一定位置设一临时墩,在中间墩墩顶各设一个塔柱,塔柱顶端伸出斜拉杆(索)拉住贝雷平梁,平梁上设拱盔,形成几孔连续的斜拉式贝雷平梁拱架结构。

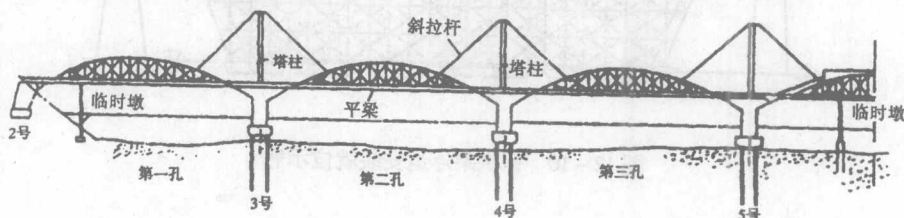


图 12-9 斜拉贝雷平梁拱架

斜拉贝雷平梁拱架的平梁可采用浮吊船架设,也可采用悬臂扒杆节段拼装。

由于斜拉贝雷平梁拱架柔性较大,施工中应严格掌握和控制对称加载及塔柱、平梁的挠曲变形,控制平梁、斜拉杆(索)及塔柱的受力不超限。该拱架能较好地适用于山区河流、航道复杂地段或深谷间施工的刚架拱及其他拱桥的现浇施工。

(2) 钢桁架拱架的安装

① 半拱旋转法

该架设方法与前述工字梁活用钢拱架相似,但起吊前拱脚先安在支座上,然后用拉索使半拱拱架向上旋转合拢。

② 竖立安装法

在桥跨内于两端拱脚上,垂直地拼成两半孔拱架,再以绕拱脚铰旋转的方法安放至设计位置进行合龙。

③ 浮运安装法

在水流比较平稳的河流上,可采用浮运安装法,钢拱架浮运安装就位如图 12-10 所示。

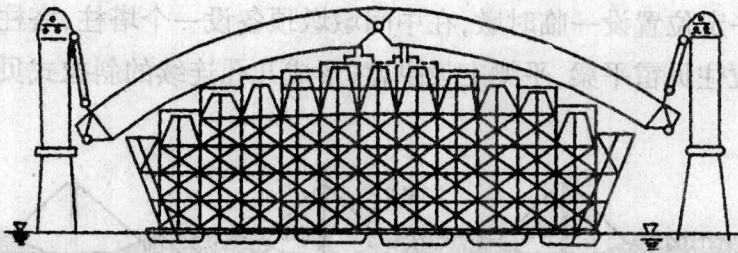


图 12-10 钢拱架浮运安装就位示意

④ 悬臂拼装法

适用于拼装式桁架型拱架。拼装时从拱脚起逐节进行。拼装好的节段,用滑车组系吊在墩台塔架上。

三、拱架的设计计算

1. 拱架的计算荷载

拱架的计算荷载包括下列各项:

(1) 拱架的圬工重量。不分环砌筑时,按拱圈全部重量计入。分环砌筑时,对于小跨径拱桥,按实际作用于拱架的环层计算,一般计入拱圈总重的60%~75%;对于大跨径拱桥,分环数多,拱架高,相对刚度较小,不宜简单地以多少拱圈重量计算,而应根据施工工序进行整体分析。

(2) 模板、垫木、拱架与拱圈之间各种材料的重量。

(3) 拱架自重。排架式木拱架(包括铁件)可按 $6.5\text{kN}/\text{m}^3$ 估算。三铰木拱架可按 $2.5\sim 3.5\text{kN}/\text{m}$ 估算。

(4) 人员、机具重量。一般可按 $2.0\text{kN}/\text{m}^2$ 估计。

(5) 横向风力。验算拱架稳定性时应考虑横向风力。横向风力可参考现行《公路桥涵设计通用规范》第2.3.8条计算,缺乏资料时,也可假定为 $1.0\text{kN}/\text{m}^2$ 。

2. 有中间支架的拱架计算

(1) 拱块重力的分解

作用于拱架顶部斜面上的拱块,其重量可分解为垂直于斜面的正压力 N 和平行于斜面的切向力 T 。此外,由于 N 的作用,使拱块与模板间产生阻力 T_0 ,使 T 的一部分传给拱架斜梁,其余部分则继续往下传至墩台或下一根斜梁,拱块重力作用情况如图12-11所示。其中:

$$N = G \cos \varphi \quad (12-1)$$

$$T = G \sin \varphi \quad (12-2)$$

$$T_0 = \mu_1 N = \mu_1 G \cos \varphi \quad (12-3)$$

式中: G ——拱块重量;

μ_1 ——拱块与模板间摩阻系数,混凝土拱圈可采用0.47,石砌拱圈可采用0.36。作用在拱架斜面上的拱块切的向力,当 $T \leq T_0$ 时,应采用 T ;当 $T > T_0$ 时,应采用 T_0 。

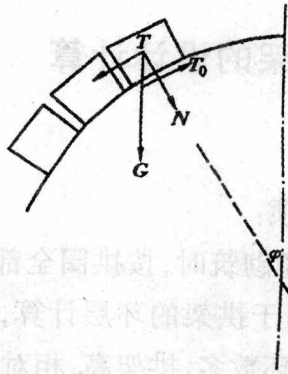


图 12-11 拱块重力作用计算图式

(2) 杆件受力情况

拱架一般应设置下列杆件:顶部的斜梁,用以承受拱块通过横梁传下的弯矩及节点的切向力;立柱及斜撑,用以承受节点的轴向力;底部拉杆,用以承受斜撑的水平分力(如斜撑嵌入立柱内,则不设拉杆而以横夹木稳定之),其结点必须设置抗拉联结;横夹木及斜夹木,作纵横向稳定之用。

斜梁、立柱及斜撑一般不考虑受拉力,否则应设置抗拉联结。

为了使拱架的制作方便,一般都对斜梁采用相同的截面,立柱、斜撑可根据具体情况而定。

(3) 杆件内力分析

拱架杆件的内力可用节点法逐次分析,为避免计算繁琐,大多用图解法。图 12-12 所示为拱架顶部 4 个不同的节点受力情况。

假定拱架正压力平均分配于斜梁两端节点,合力 R 只由其左右相邻的两杆件承受,则当斜梁上的作用力 N 和 T 已知时,即可计算出斜梁、立柱和斜撑所受的压力。

3. 工字钢拱架的计算

(1) 荷载的分布

在计算拱式拱架时,在不影响精度和简便的前提下进行内力分析,可假定拱架恒载及活载(当分环砌筑时为分配给拱架的环层)全部由拱架承担,并可将拱圈及拱架分成若干节段,假设恒载及活载均作用在每段中心处。