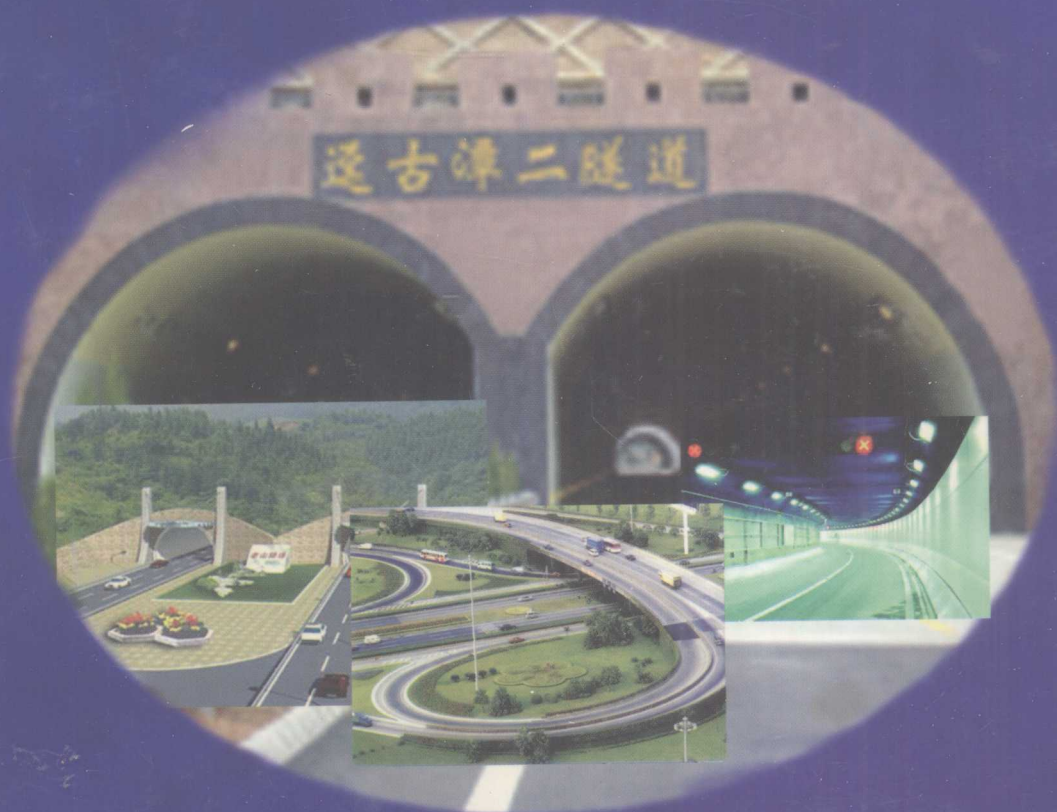


最新

桥涵隧道工程设计施工验收养护规范

与质量验评标准及新技术应用手册



主编：李海岭 博士 中国公路工程咨询监理总公司
傅志斌 硕士 建设综合勘察研究设计院

北京科大电子出版社

最新桥涵隧道工程设计施工 验收养护规范与质量验评 标准及新技术应用手册

主编:李海岭 傅志斌

(第三版)

江苏工业学院图书馆
藏书章

北京科大电子出版社

第四章 拱桥施工新工艺与新技术应用

第一节 上承式拱桥的有支架施工新工艺

一、拱架

拱架是有支架施工建造拱桥必不可少的辅助结构,在整个施工期间,用以支承全部或部分拱圈和拱上建筑的重量,并保证拱圈的形状符合设计要求。因此,要求拱架具有足够的强度、刚度和稳定性。常用的拱架有以下几种:

1. 满布立柱式拱架

满布立柱式拱架一般采用木材制作,图4-4-1是这种拱架的一般构造示意图。它的上部由斜梁、立柱、斜撑和拉杆组成拱形桁架,又称拱盔,它的下部是由立柱和横向联系(斜夹木和水平夹木)组成支架,上下部之间放置卸架设备(木楔或砂筒等)。这种支架的立柱数目很多,只适合于桥不太高、跨度不大且无通航要求的拱桥施工时采用。

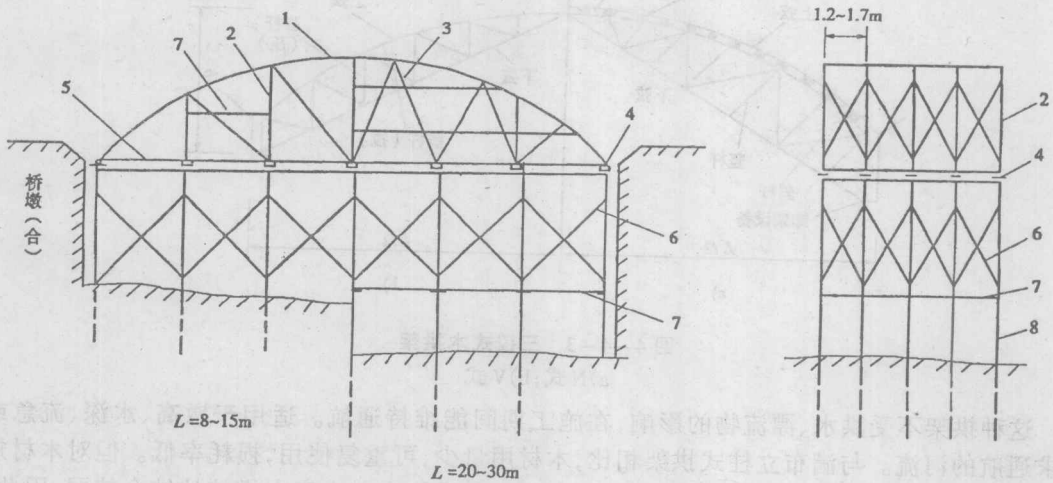


图 4-4-1 立柱式木拱架

1-弓形木;2-立柱;3-斜撑;4-卸架设备;
5-水平拉杆;6-斜夹木;7-水平夹木;8-桩木

2. 撑架式拱架

这种拱架的上部与满布立柱式拱架相同,其下部是用少数框架式支架加斜撑来代替众多数目的立柱,因此木材用量相对较少,如图4-4-2所示。这种拱架构造上并不复杂,而且能在桥孔下留出适当的空间,减小洪水及漂流物的威胁,并在一定程度上满足通航的要求。因此,它是实际中采用较多的一种形式。

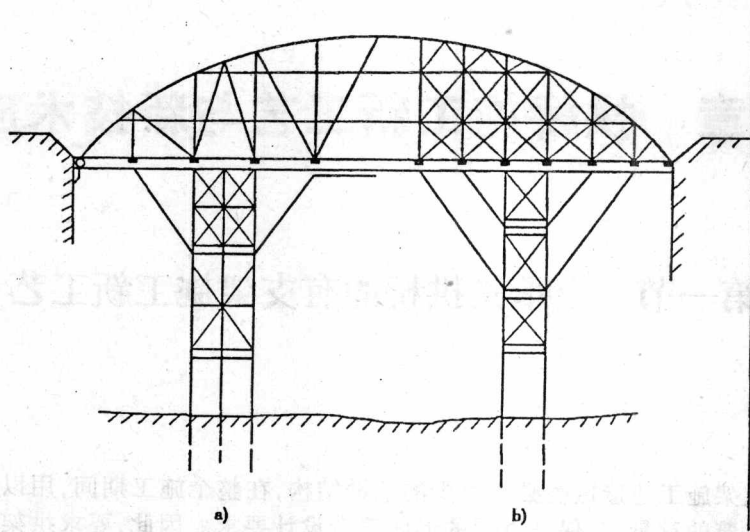


图 4-4-2 撑架式拱架

3. 三铰桁式木拱架

三铰桁式拱架是由两片对称弓形桁架在拱顶处拼装而成,其两端直接支承在墩台所挑出的牛腿上或者紧贴墩台的临时排架上,跨中一般不另设支架,如图 4-4-3 所示。

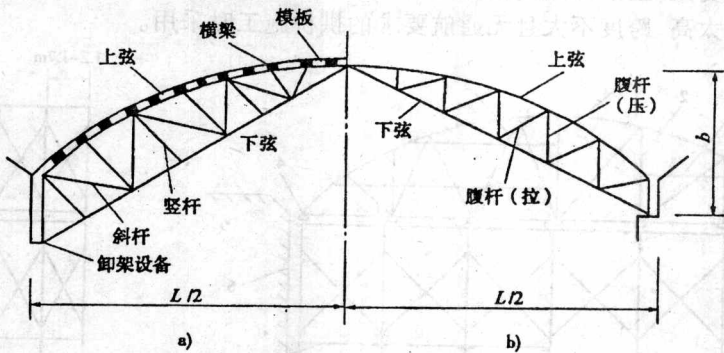


图 4-4-3 三铰式木拱架

a)N 式;b) V 式

这种拱架不受洪水、漂流物的影响,在施工期间能维持通航。适用于墩高、水深、流急或要求通航的河流。与满布立柱式拱架相比,木材用量少,可重复使用,损耗率低。但对木材规格和质量要求较高,同时要求有较高的制作水平和架设能力。由于在拱铰处结合较弱,因此,除在结构构造上须加强纵横向联系外,还需设抗风缆索,以加强拱架的整体稳定性。在施工中应注意对称均匀浇筑混凝土,并加强观测。

4. 钢拱架

钢拱架一般采用桁架式,由单片拱形桁架构成。拱片之间的距离可为 0.4m 或 1.9m。它们可以被拼接成三铰、两铰或无铰拱架。当跨径小于 80m 时多用三铰拱架,跨径小于 100m 时多用两铰拱架,跨径大于 100m 时多用无铰拱架。图 4-4-4 是两敌钢拱架构造示意图。由于钢拱架多用在跨径拱桥的建造上,它本身具有很大的重量,故在安装时,还需借助临时墩和起吊设备,将它分为若干节段后再拼装而成。施工时再拆除临时墩与钢拱架的联系,施工

完毕后,又借助临时墩逐段将它拆除,图4-4-4b)是这类拱架的安装示意图。

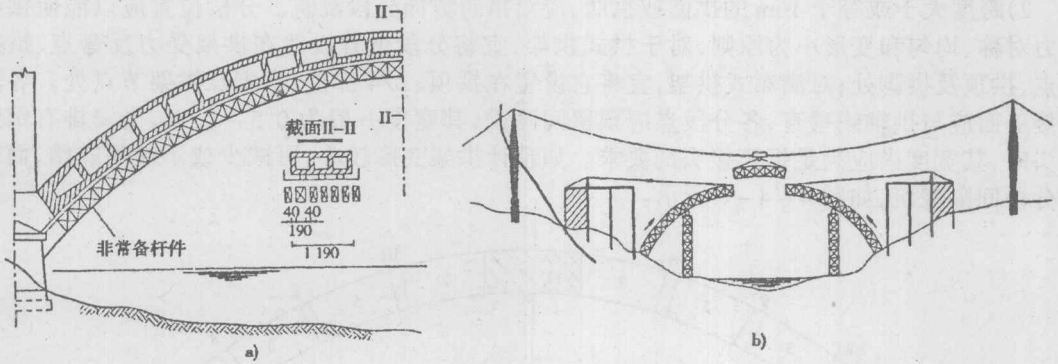


图4-4-4 钢拱架构造型式(尺寸单位:cm)

5. 可移动式钢拱架

当桥位处的常水位较小,且河床较平坦时,也可采用着地式的钢拱架。图4-4-5所示是在修建河南省义市许沟大桥所采用的可移动式钢拱架构造。该桥主跨为220m,箱形截面主拱圈的箱宽为9m,分上、下两幅进行现浇混凝土施工。整个拱架由万能杆件拼装而成,待上游半幅拱箱合龙后,再通过滑轨平移至下游半幅处重复使用,从而大大节省人工和材料,缩短了工期。

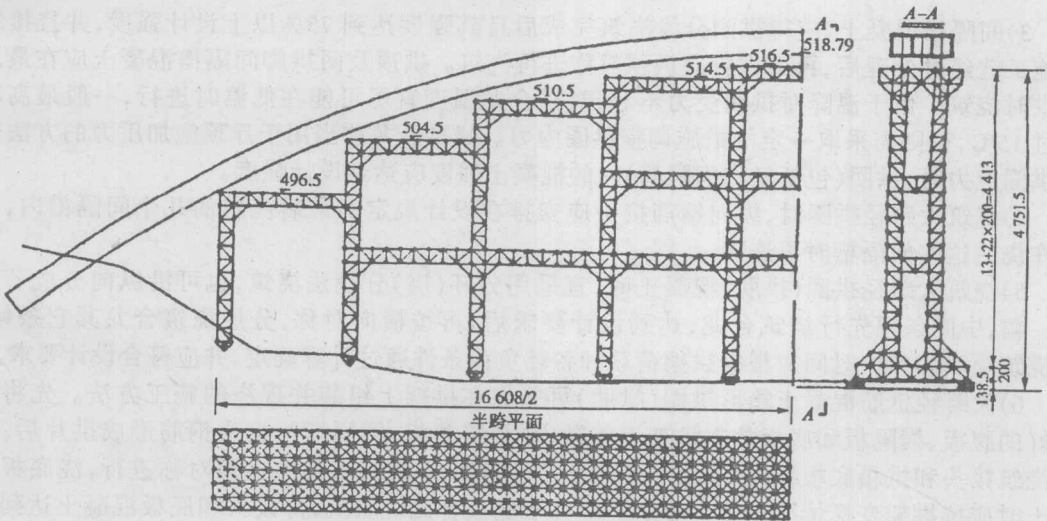


图4-4-5 可移动式钢拱架

二、拱圈混凝土的浇筑

在浇筑拱圈混凝土之前,必须在拱架上立好模板,绑扎或焊接好钢筋骨架。为了保证在整个施工过程中拱架受力均匀和变形最小,必须选择合适的浇筑方法和顺序,并应注意以下几点:

1) 跨径小于16m的拱圈或拱肋混凝土,应按拱圈全宽从两端拱脚向拱顶对称地连续浇筑,并在拱脚混凝土的初凝前全部完成,如预计不能在限定时间内完成,则应在拱脚预留一个

隔缝并最后浇筑混凝土。

2) 跨度大于或等于 16m 的拱圈或拱肋, 应沿拱跨方向分段浇筑。分段位置应以能使拱架受力对称、均匀和变形小为原则, 对于拱式拱架, 宜将分段位置设置在拱架受力反弯点、拱架节点、拱顶及拱脚处; 对满布式拱架, 宜将它设置在拱顶、 $L/4$ 部位、拱脚及拱架节点处。各段的接缝面应与拱轴线垂直, 各分段点应预留间隔槽, 其宽度一般为 0.5~1.0m, 当安排有钢筋接头时, 其宽度尚应满足钢筋接头的要求。如预计拱架变形较小, 可减少或不设间隔槽, 而采取分段间隔浇筑, 如图 4-4-6 所示。

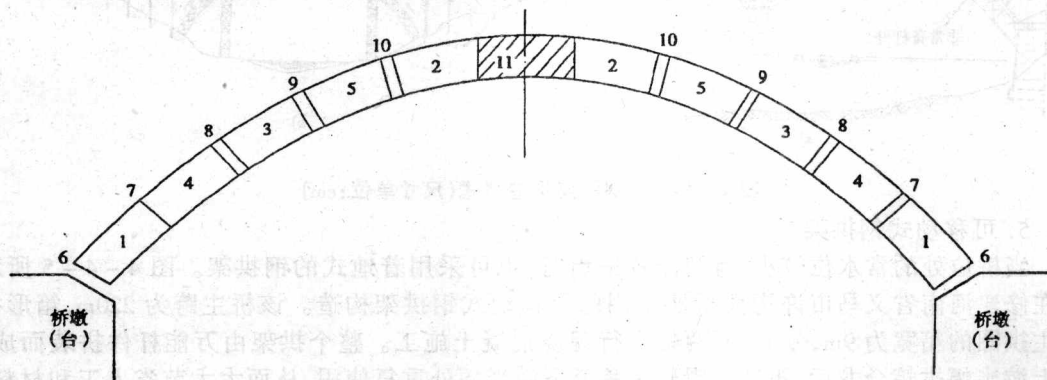


图 4-4-6 拱圈浇筑顺序

3) 间隔槽混凝土, 应待拱圈分段浇筑完成后且其强度达到 75% 以上设计强度, 并且接缝按施工缝经过处理后, 再由拱脚向拱顶对称进行浇筑。拱顶及两拱脚间隔槽混凝土应在最后封拱时浇筑。由于温降对拱圈受力不利, 封拱合龙温度宜尽可能在低温时进行, 一般最高不超过 15℃, 否则需采取一定的措施调整拱圈内力。封拱合龙前当用千斤顶施加压力的方法调整拱圈应力时, 拱圈(包括已浇间隔槽)内的混凝土强度应达到设计强度。

4) 浇筑大跨径拱圈时, 纵向钢筋接头应安排在设计规定的最后浇筑的几个间隔槽内, 并应在浇筑这些间隔槽时再连接。

5) 浇筑大跨径拱圈(拱肋)混凝土时, 宜采用分环(层)分段法浇筑, 也可沿纵向分成若干条幅, 中间条幅先行浇筑合龙, 达到设计要求后, 再按横向对称, 分层浇筑合龙其它条幅。其浇筑顺序和养护时间应根据拱架荷载和各环负荷条件通过计算确定, 并应符合设计要求。

6) 大跨径钢筋混凝土箱形拱圈(拱肋)可采取在拱架上组装并现浇的施工方法。先将预制好的腹板、横隔板和底板放在拱架上组装, 在焊接腹板、横隔板的接头钢筋形成拱片后, 立即浇筑接头和拱箱底板混凝土, 组装和现浇混凝土时应从两拱脚向拱顶对称进行, 浇底板混凝土时应按拱架变形情况设置少量间隔缝并于底板合龙时填筑, 待接头和底板混凝土达到设计强度的 75% 以上后, 安装预制盖板, 然后铺设钢筋, 现浇顶板混凝土。

7) 在多孔连续拱桥中, 当桥墩不是按单向推力墩设计时, 就应注意相邻孔间对称均匀施工。

三、拱上建筑的施工

拱上建筑的施工, 应在拱圈合龙、混凝土强度达到要求强度后进行, 如设计无规定, 可按达到设计强度的 30% 以上控制, 一般不少于合龙后的三昼夜。

对于实腹式拱上建筑, 应由拱脚向拱顶对称地浇筑。当侧墙浇筑好以后, 再填筑拱腹填料。对空腹式拱桥, 一般是在腹拱墩浇筑完后就卸落主拱圈的拱架, 然后再对称均匀地砌筑

腹拱圈,以免由于主拱圈不均匀下沉导致腹拱圈开裂。

四、拱架的卸落

1. 卸架程序设计

卸架时间必须待拱圈混凝土达到一定强度后才能进行,为了保证拱圈或整个上部结构逐渐均匀降落,以便使拱架所支承的桥跨结构重量逐渐转移给拱圈自身来承担,因此拱架不能突然卸除,而应按照一定的卸架程序进行。

一般卸架的程序是:对于满布式拱架的中小跨径拱桥,可从拱顶开始,逐渐向拱脚对称卸落,对于大跨径拱圈,为了避免拱圈发生“M”形的变形,也有从两边 $L/4$ 处逐次对称地向拱脚和拱顶均匀地卸落。卸架时宜在白天气温较高时进行,这样的条件对卸落拱架工作较方便。

2. 卸架设备

卸架设备,一般采用木楔和砂筒两种,木楔又可分为:

(1)简单木楔[图 4-4-7a)]

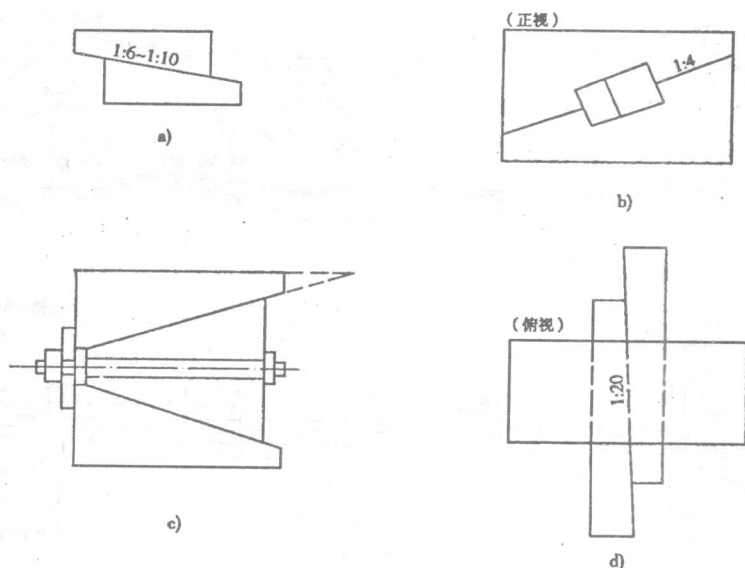


图 4-4-7 木楔

a)简单木楔;b)双向木楔(正视);c)组合木楔;d)双向木楔(俯视)

它由两块 $1:6 \sim 1:10$ 的斜面硬木楔块件组成。落架时,用铁锤轻敲木楔小头,将木楔取出后,拱架随即下落。它的构造简单,但在敲出时震动较大,容易造成下落不匀。它仅适用于跨径小于 10m 的满布式拱架。

(2)双向木楔[图 4-4-7b)、d)]

它由互相垂直的两对简单木楔构成。其优点是不用铁件,载重较大,卸模方便,适用于 30m 以内的满布式拱架。

(3)组合木楔[图 4-4-7c)]

它由三块楔形木和拉紧螺栓组成。卸载时只需扭松螺栓,则木楔徐徐下降。它的下落比较均匀,可用于 30m 以下的满布式拱架或 20m 以下的拱式拱架。

砂筒的承载力较大,可用于 50m 以上的满布式拱架和 30m 以上的拱式拱架,其构造及工作原理参见图 4-4-4。

第二节 上承式拱桥缆索吊装施工新技术应用

缆索吊装施工工序为:在预制场预制拱肋(或拱箱)节段和拱上结构,通过平车或其它运输设备将它们移运到缆索吊装设备下的合适位置,由起重索和牵引索将预制节段吊运至待拼桥孔处安装就位,立即用扣索再将它们临时固定,最后吊合龙段的拱肋(或拱箱)节段,并进行轴线调整后,进行接头固结处理,所有拱肋(或拱箱)安装完毕,横系梁或纵向接缝均处理结束以后,再进行拱上结构的安装,缆索吊装的工地布置如图4-4-8所示。缆索吊装施工与前面的施工方法实质上同属悬臂拼装法,所不同的在于后者直接在已完成的悬臂节段上设置伸臂式起吊设备,但由于受到伸臂外伸长度和起重量的限制,使拼装节段划分得比较多,因而施工工期较长;而缆索吊装采用架空起吊设备,可以把主拱圈的节段划分得少一些,一般划分成3.5或7段,极个别情况按偶数划分成28段(例如 $l=180\text{m}$ 广西来宾桥),这要视拱桥跨径的大小而定,因而加快了施工进度。下面仅介绍这种施工方法的一些特点。

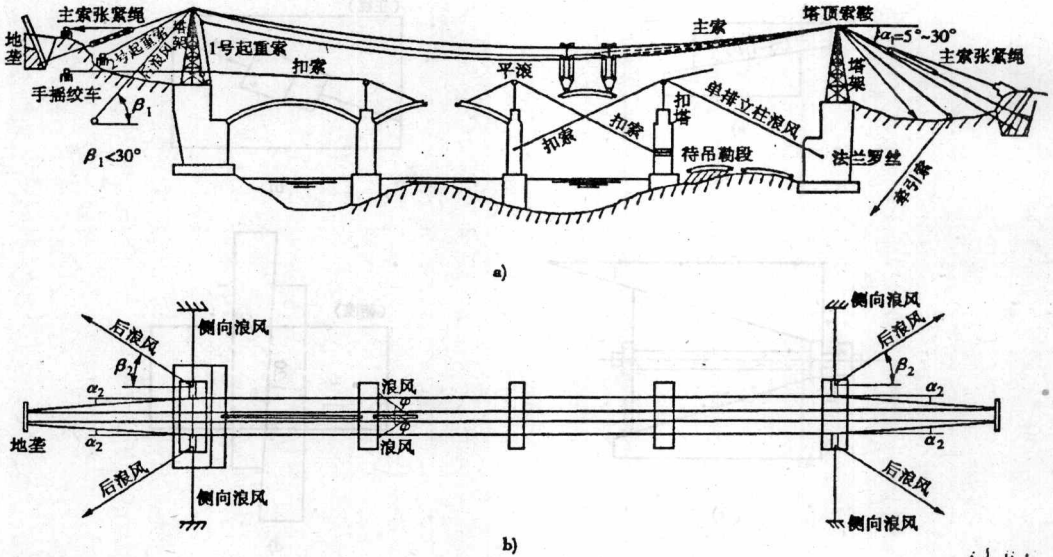


图4-4-8 缆索吊装布置示意

a)立面;b)平面

一、拱圈节段的预制

板拱、肋拱和双曲拱桥的拱肋多为开口截面,其制作工艺相对简单,这里不作介绍。下面着重介绍箱形拱桥的箱肋制作工艺。为了预制安装的方便,通常将箱形截面主拱圈从横方向上划分成若干根箱肋,再从纵方向上划分为数段,待拱肋拼装成拱后,再在箱壁间用现浇混凝土把各箱肋连成整体,形成主拱圈截面。就每一个箱肋节段而言,其预制多采用组装预制的方法,施工主要步骤如下:

1)先在样台上按设计图的尺寸对每个节段进行坐标放样,然后分别预制箱肋的侧板(箱壁)和横隔板[图4-4-9a)]。

2)在拱箱节段的底模上,将侧板(箱壁)和横隔板安放就位,并绑扎好接头钢筋,然后浇底

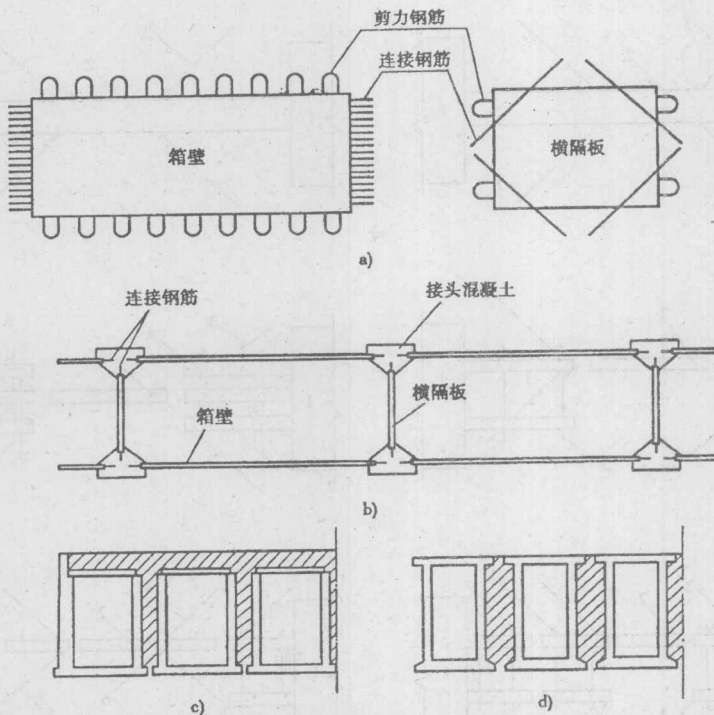


图 4-4-9 箱壁横隔板连接示意

a)箱壁和横隔板预制板件;b)箱壁与横隔板的拼接(俯视图);
c)U形肋组合箱形截面;d)闭合箱肋组合截面

板混凝土及接缝混凝土,组成开口箱[图 4-4-9b)、c)]。

3)若采用闭口箱时,便在开口箱内立顶板的底模,绑扎底板的钢筋,浇筑顶板混凝土,组成闭口箱[图 4-4-9d)]。待节段箱肋混凝土达到设计强度后即可移运拱箱,以便进行下一节段拱箱的预制。

二、拱肋的吊装

为了保证拱肋吊装的稳定和安全,必须遵循以下规定。

- 1)拱肋的吊装,除拱顶节段外,其余节段均应设置一组扣索悬挂。
- 2)拱肋分 3 段或 5 段拼装时,至少应保持 2 根基肋设置固定风缆,拱肋接头处应横向联接。
- 3)对于中小跨径的箱形拱桥,当其拱肋高度大于 0.009 ~ 0.012 倍跨径,拱肋底面宽度为肋高 0.6 ~ 1.0 倍,且横向稳定安全系数大于或等于 4 时,可采用单肋合龙,嵌紧拱脚后,松索成拱,如图 4-4-10a)所示。

4)大、中跨径的箱形拱,其单肋合龙横向稳定安全系数小于 4 时,可先悬扣多段拱脚段或次拱脚拱肋,然后用横夹木临时将相邻两肋联结后,安装拱顶单根肋合龙,松索成拱,如图 4-4-10)、c)所示。

5)当拱肋跨径在 80m 以上或横向稳定安全系数小于 4 时,应采用双基肋合龙松索成拱的方式,即当第一根拱肋合龙并校正拱轴线,楔紧拱肋接头缝后,稍松扣索和起重索,压紧接头缝,但不卸掉扣索和起重索,待第二根拱肋合龙,两根拱肋横向联结固定好并接好缆风后,再

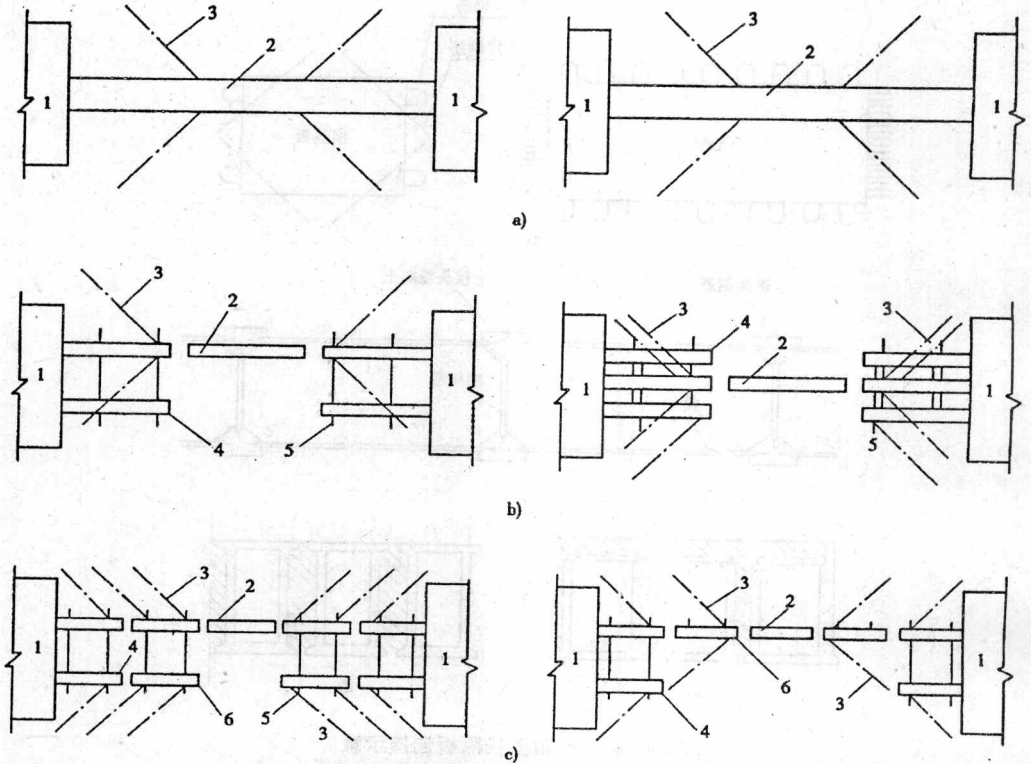


图 4-4-10 拱肋合龙方式示意

a)单基肋合龙;b)3段吊装单肋合龙;c)5段吊装单肋合龙

1-墩台;2-基肋;3-风缆;4-拱脚段;5-横夹木;6-次拱脚段

同时松开两根拱肋的扣索和起重索。

6)当拱肋分3段吊装,采用阶梯形搭接头时,宜先准确扣挂两拱脚段,调整扣索使其上端头较设计值抬高30~50mm,再安装拱顶段使之与拱脚段合龙。采用对接接头,宜先悬扣拱脚段初步定位,使其上端头高程比设计值抬高50~100mm,然后准确悬扣拱顶段,使其两端头比设计值高出10~20mm,最后放松两拱脚段扣索使其两端均匀下降与拱顶段合龙。

7)当拱肋分5段吊装时,宜先从拱脚开始,依次向拱顶分段吊装就位,每段的上端头不得扭斜。首先使拱脚段的上端较设计高程抬高150~200mm,次边段定位后,使拱脚段的上端头抬高值下降为50mm左右,并保持次边段的上端抬高值约为拱脚段上端头抬高值的2倍的关系,否则应及时调整,以防拱肋接头开裂。

8)当采用7段和7段以上拱肋吊装时,应通过施工控制的方法,准确计算每段吊装后各扣索的索力、各接头的标高位置,并对风缆系统进行专门设计,确保拱肋横向稳定安全系数不小于4,拱肋(包括接头)在各阶段承受的应力也应包含在控制计算中。

9)拱肋合龙温度应符合设计规定,如设计无规定,可在气温接近当地的年平均温度(一般在5~15℃)时进行;天气炎热时可在夜间洒水降温条件下进行。

10)大跨径箱形拱桥分3段或5段吊装合龙后,根据拱肋接头密合情况及拱肋的稳定度,可保留起重索和扣索部分受力,等拱肋接头的连接工序基本完成后再依序松索。

三、施工加载程序设计

1. 目的

施工加载程序设计的目的,就是要在裸拱上加载时,使拱肋各个截面在整个施工过程中,都能满足应力、强度和稳定的要求,并在保证施工安全和工程质量的前提下,尽量减少施工工序,便于操作,加快施工进度。

2. 一般原则

1)对于中、小跨径拱桥、当拱肋的截面尺寸满足一定的要求时,可不作施工加载程序设计。但应按有支架施工方法对拱上建筑进行对称、均匀地施工。

2)对于大、中跨径的箱形拱桥或双曲拱桥,一般应按分环、分段、均匀对称加载的总原则进行设计。即在拱的两个半跨上,按需要分成若干段,并在相应部位同时进行相等数量的施工加载。但对于坡拱桥,一般应使低拱脚半跨的加载量稍大于高拱脚半跨的加载量。

3)在多孔拱桥的两个相邻孔之间,也须均衡加载。两孔间的施工进度不能相差太远,以免桥墩承受过大的单向推力而产生过大的位移,造成施工快的一孔的拱顶下沉,邻孔的拱顶上冒,从而导致拱圈开裂。

3. 示例

图4-4-11所示是一座跨径85m的箱形拱桥的施工加载程序,拱箱吊装节段采用闭合箱。图中数字代表施工步骤,其加载程序简单叙述如下:

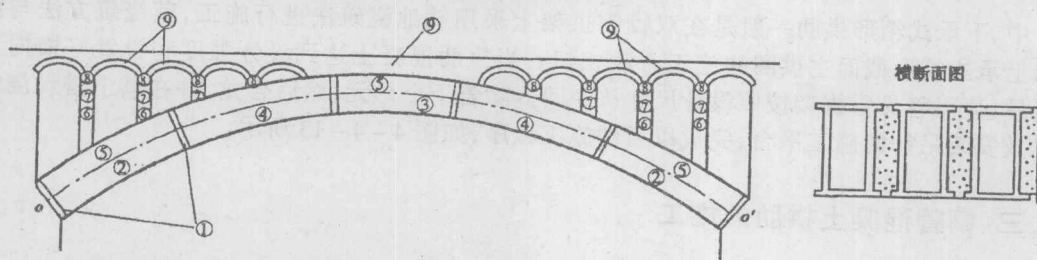


图4-4-11 加载程序

1)先将各片拱箱逐一吊装合龙,形成一孔裸拱圈。然后将全都纵横接头处理完毕,便浇筑接头混凝土,完成第一阶段加载;

2)浇筑拱箱间的纵缝混凝土。纵缝应分为两层浇注,先只浇筑到大约箱高的一半处,使其初凝后再浇满全高使与箱顶齐平,横桥向各缝齐头并进。注意,下层纵缝应分段浇筑。图中②、③、④、⑤各步骤为纵缝浇筑;

3)拱上各横墙加载。先砌筑1号、2号横墙至3号横墙底面高度;再砌筑1号、2号、3号横墙至4号横墙底面高度;最后全部横墙(包括小拱拱座)同时砌筑完毕,工作按左、右两半拱对称、均匀同时进行,见图中⑥、⑦、⑧步骤;

4)安砌腹拱圈及主拱圈拱顶实腹段侧墙。由于拱上横墙截面单薄只能承受一片预制腹拱圈块件的单向推力,因此,安砌腹拱圈时,应沿纵向逐条对称安砌,直到完毕。见图中⑨;

5)以后各步骤,包括拱顶填料,腹拱填料,桥面系,可按常规工艺要求进行,勿须作加载验算。

第三节 中、下承式拱桥施工新工艺

一、一般施工程序

中承式拱桥与下承式拱桥在构造上的唯一差别是前者在两端的桥面系以下是用门架代替吊杆,因此,它们的施工程序(图4-4-12)基本上是相同的,即其中的拱肋施工是整个过程的关键,下面仅介绍有关它的一些施工要点。

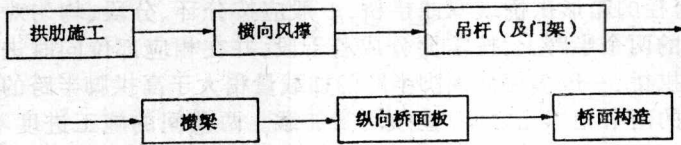


图 4-4-12 中、下承式拱桥施工顺序

二、钢筋混凝土箱形拱肋的施工

中、下承式箱形拱肋一般是在双铰钢拱架上采用就地浇筑法进行施工,其浇筑方法与前面的上承式箱形截面主拱圈的施工方法相似。当拱肋混凝土达到设计强度和设置好横向风撑以后,便可将贝雷拱架按照设计尺寸从中间拆除若干个单元,然后合龙,并在其上搭设浇筑横梁及安装吊杆的施工平台,完成以后的施工程序,如图4-4-13所示。

三、钢管混凝土拱肋的施工

钢管混凝土拱肋一般分为两个步骤来完成,即先采用缆索起重机(或其它起重设备),分节段地安装钢管拱肋结构,待合龙并连接好两肋之间的K形撑之后,再向钢管内泵送微胀混凝土,以形成承重结构。因此,其中的拱肋吊装与前述的上承式拱肋绕索吊装方法完全相同,图4-4-14示出了它的吊装合龙示意图。

钢管混凝土的浇筑应注意以下几点:

- 1) 当采用泵送顶升压注施工时,应从两拱脚向拱顶对称均衡地一次压注完成,除拱顶外不宜在其余部位设置横隔;
- 2) 钢管混凝土应具有低泡、大流动性、收缩补偿、延后初凝和早强的工作性能;
- 3) 钢管混凝土压注前应清洗管内污物,润湿管壁,泵入适当水泥浆后再压注混凝土,直到钢管顶端排气孔排出合格的混凝土时停止,完成以后应关闭设于压注口的倒流截止阀;
- 4) 钢管混凝土的质量检测应以超声波检测法为主,人工敲击为辅;
- 5) 钢管混凝土的泵送顺序应按设计要求进行,宜采用先钢管后腹箱的程序。

四、劲性骨架钢管混凝土拱肋的施工

这类拱肋结构一般设计成箱形截面的形式。它是用钢管混凝土骨架代替钢筋骨架,又将钢管混凝土骨架当着浇筑混凝土的钢支架,直接在它的外面包上一定厚度的混凝土,从而提

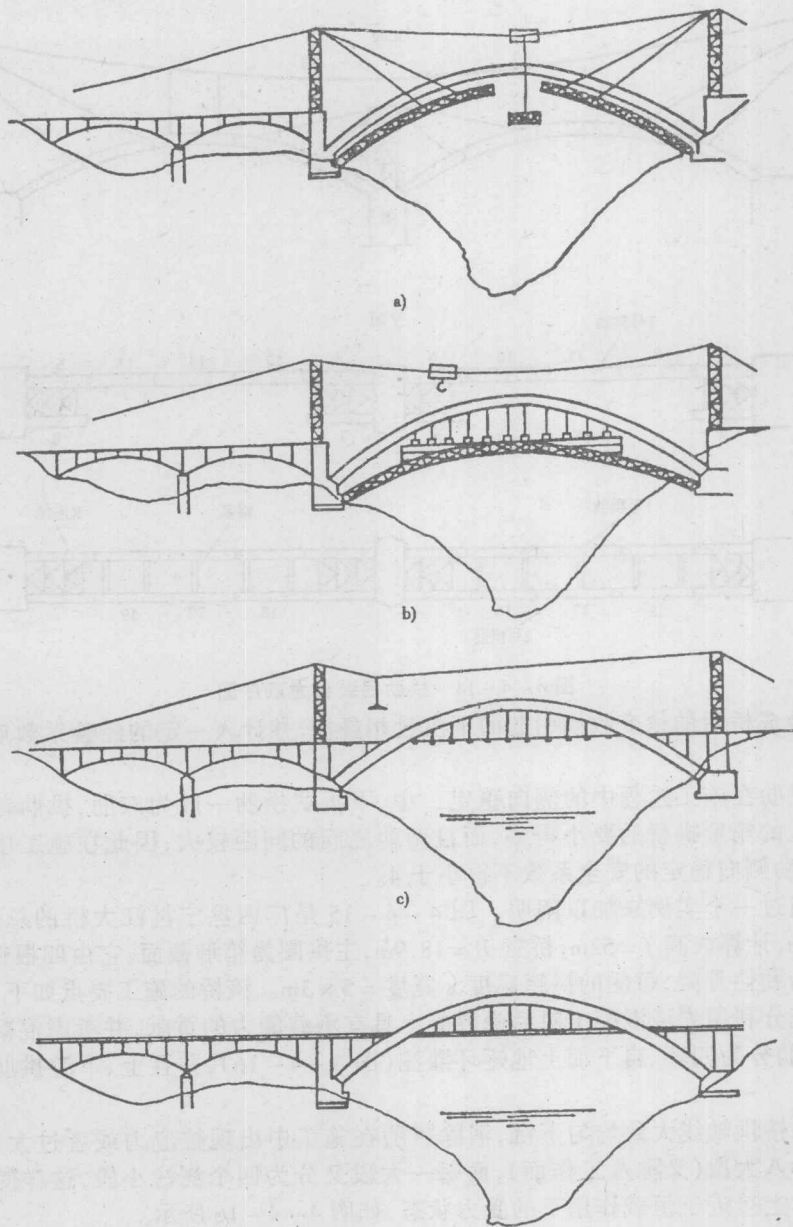


图 4-4-13 中承式拱桥施工工艺流程

a)卸除部分拱架节段;b)塔设横梁工作平台;c)浇注拱上门式刚架;d)桥面安装及拆除吊机

高截面的承载能力,同时又省掉了施工中的卸架工序。因此,它的钢管拱本身的安装和向钢管中压注混凝土的方法及要求完全与上述的钢管混凝土拱肋相同。但是在浇筑外包混凝土的过程中特别要注意以下三个方面的问题:

1)准确地设置预拱度 拱肋的箱形结构是分层浇筑的,其先浇部分将参加承载,在施工的第 i 次加载时,承载结构便是第 $(i-1)$ 次加载之后的组合结构,而荷载是正在浇筑的混凝土与承载结构自重之和,这样,承载结构的刚度和荷载是不断地在变化着的;因此在设置预拱度时,也应按照施工中拱圈各浇筑阶段的拱轴线下沉量分别计算,然后再与二期恒载作用下

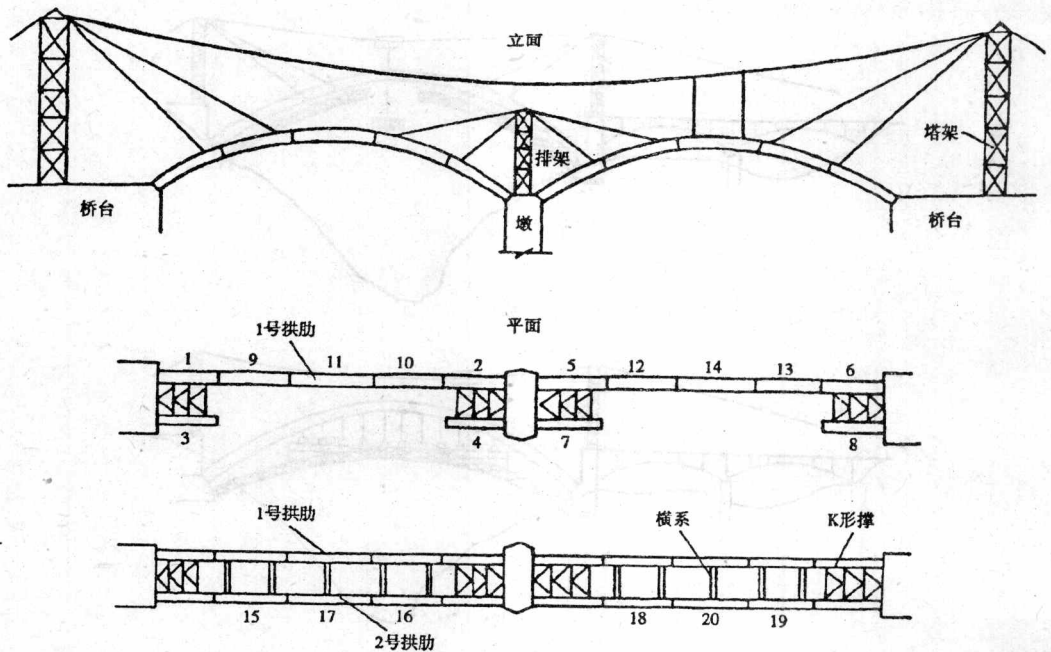


图 4-4-14 拱肋吊装合龙顺序图

的下沉量以及成桥后的徐变收缩引起的下沉量相叠加,并计入一定的经验系数后作为应设置的预拱度值。

2)保证拱肋在施工过程中的侧向稳定 中、下承式拱肋一般为双肋,拱肋截面的宽高比一般比上承式的箱形拱桥的要小得多,而且两肋之间的间距较大,因此在施工中应采用有效措施,保证拱肋侧向稳定的安全系数不得小于4。

下面将通过一个实例来加以阐明。图 4-4-15 是广西邕宁邕江大桥的总体布置图,主跨为 $L = 312\text{m}$,计算矢高 $f = 52\text{m}$,桥宽 $B = 18.9\text{m}$,主拱圈为箱形截面,它由四根钢管构成的钢管拱桁架作为劲性骨架,每侧的拱箱高度 \times 宽度 $= 5 \times 3\text{m}$ 。该桥的施工要点如下:

1)为了充分利用先浇混凝土对后浇混凝土具有承载能力的贡献,并考虑混凝土的浇筑速度,将每个拱肋分为四环、自下而上地逐环灌注(图 4-4-16),并且上、下游拱肋应同时对称地进行。

2)为了保持拱轴线大致均匀下沉,消除拱肋在施工中出现拉应力或者过大压应力,便将每个拱肋分为八大段(又称八工作面),而每一大段又分为四个浇注小段,这样使每个阶段的承重结构基本上接近于恒载作用下的受力状态,如图 4-4-16 所示。

3)为了确保在施工过程中,拱肋结构不发生面外失稳,除在两条拱肋之间设置了 29 道临时横联和交叉拉索外,还在全桥对称布置了八对浪风索,用来控制和调整拱轴线在平面外的偏移,如图 4-4-17 所示。

4)斜拉扣索在整个施工过程中具有相当重要的作用,而扣点又是施加在拱肋上拉力的作用点,该桥是按照这样的几条原则和通过计算分析来确定扣点位置的,即:①扣索的索力能最有效地降低最大施工应力和施工挠度,并限制其内力和应力以及挠度不出现异号;②扣点位置宜设置在弯矩影响线为零点的附近;③为了方便施工,宜将安装骨架阶段和浇注混凝土阶段的扣点位置和数量统一起来,图 4-4-17 中的扣点位置就是依照原则确定出来的。

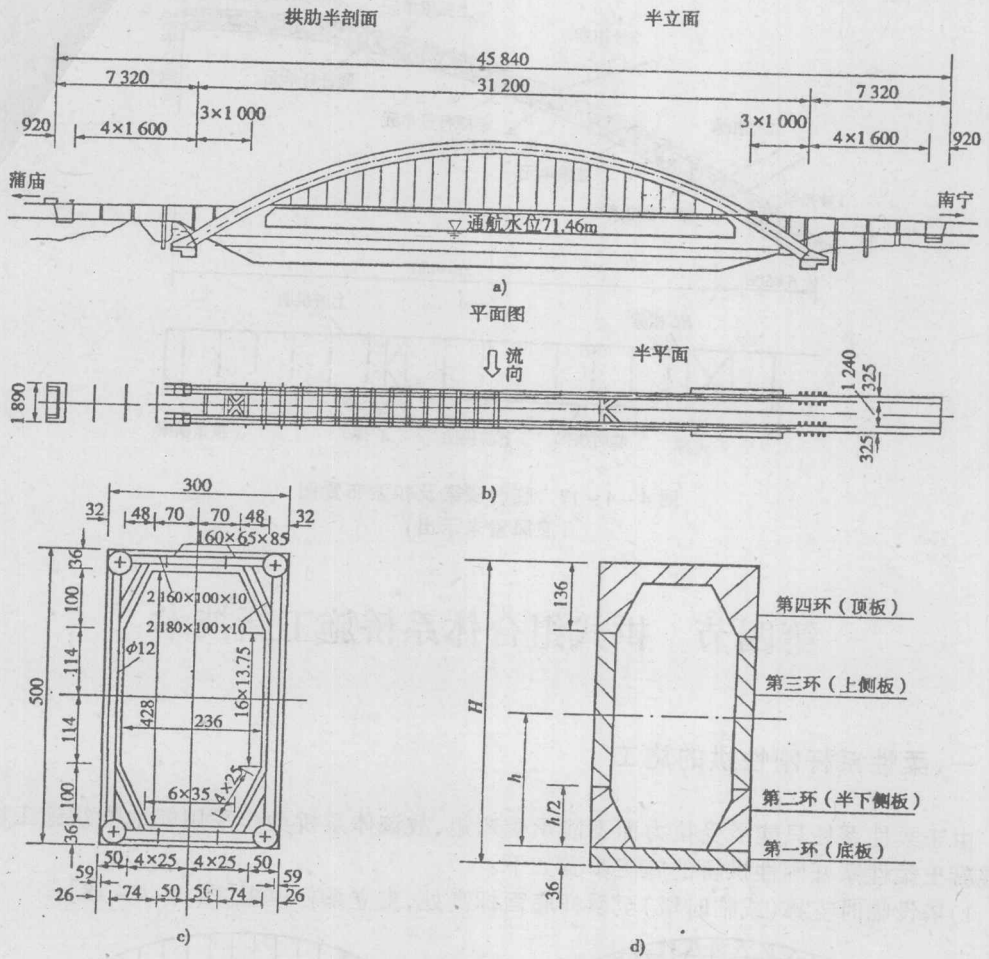


图 4-4-15 广西邕宁邕江大桥总体布置
a)立面图;b)平面图;c)拱箱尺寸;d)混凝土浇筑分环

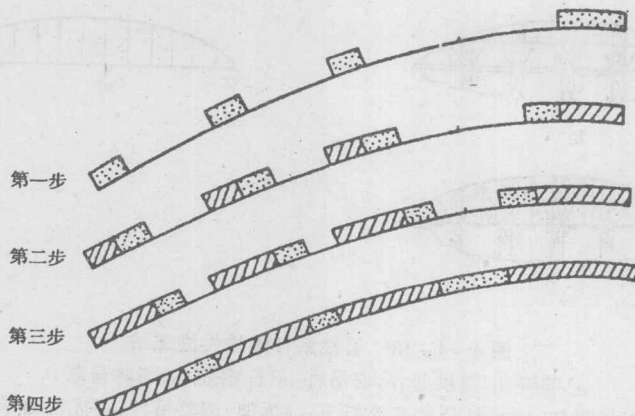


图 4-4-16 主拱各环八工作面浇注示意

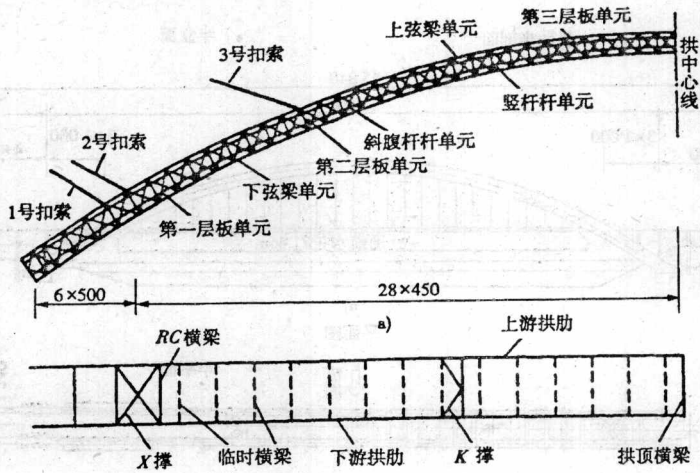


图 4-4-17 临时横梁及扣索布置图
(浪风索未示出)

第四节 拱式组合体系桥施工新技术

一、柔性系杆刚性拱的施工

由于柔性系杆只能承受拉力而不能承受弯矩，故该体系桥梁多采用就地浇筑施工法。钢筋混凝土柔性系杆刚性拱桥的施工步骤如下：

1) 搭设临时支撑(或临时墩)至系杆底面标高处，支立系杆模板[图 4-4-18]；

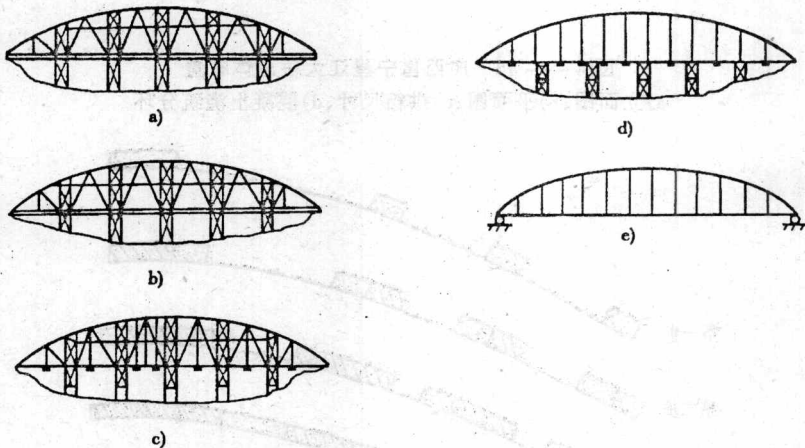


图 4-4-18 柔性系杆刚性拱施工法

a) 搭架; b) 浇拱肋; c) 安吊杆、吊杆钢筋, 加临时荷载;

d) 拆拱架, 浇吊杆及系杆混凝土; e) 拆架, 调整吊杆, 完成桥面系

2) 搭设拱肋、吊杆、系杆支架及支立模板, 将钢筋骨架放入模板内, 按拱的浇筑程序先浇筑拱肋混凝土[图 4-4-18b)];

3)待拱肋混凝土达到设计强度后,便拆除拱肋模板及支撑,然后在桥跨内施加临时荷载,使各吊杆内的钢筋拉力达到相当于桥梁恒载和活载下的强度,与此同时,系杆内的钢筋因受到拱肋自重及吊杆上临时荷载所产生的推力也将被拉紧[图 4-4-18c];

4)浇筑吊杆和系杆内的混凝土,待达到设计强度后,拆除吊杆和系杆的模板及临时荷载,系杆和吊杆均有一定的回缩,使混凝土得到一定的预压应力[图 4-4-18d];

5)完成桥面系的施工[图 4-4-18e]。

当采用预应力混凝土系杆时,预应力钢束的张拉应与施加临时荷载或恒载的过程相协调,其张拉应力应控制在允许范围内,使恒载下预应力筋的永存应力与张拉应力之比保持为 0.85 左右。

当采用预制预应力混凝土吊杆时,可视需要采用先张法或后张法,但应注意防止压杆的失稳破坏。

当采用柔性吊杆即高强钢丝束时,虽然杆件截面不存在开裂问题,但应注意吊杆的防腐处理及吊杆的疲劳强度问题。

二、刚性系杆柔性拱的施工

由于该体系中的系杆一般为具有抵抗拉力或弯矩的主梁结构,故系杆的施工方法完全可以按照梁桥的施工方法进行,即就地浇筑法或预制安装法等,然后在梁上采用搭架或者合适的机械吊装方法进行拱肋及吊杆的施工。下面将介绍一座连续拱梁组合体系的施工方法实例。

图 4-4-20 是这座桥竣工以后的立面全貌,其中跨河的正桥为 35+120+35m 三跨连续的拱梁组合体系桥梁,仅将其中孔设计成刚性系杆柔性拱的结构体系,拱肋为三管呈品字形的钢管混凝土结构,桥面全宽 $B=33\text{m}$,其横断面如图 4-4-19 所示。

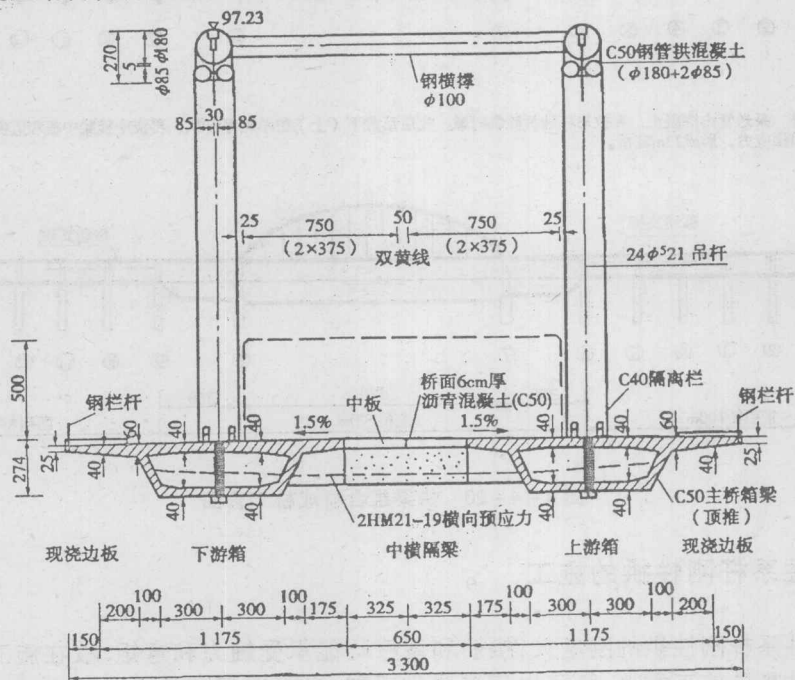


图 4-4-19 连续拱梁组合体系桥横断面布置(尺寸单位:cm)