

QIAOLIANG LANSUO

DIAOZHUANG SHIGONG ZUZHI YU SHILI

桥梁缆索吊装施工组织与示例



陈建华 著

哈尔滨地图出版社

桥梁缆索吊装施工组织与示例

QIAOLIANG LANSUO DIAOZHUANG SHIGONG ZUZHI YU SHILI

陈建华 著

哈尔滨地图出版社

· 哈尔滨 ·

图书在版编目(CIP)数据

桥梁缆索吊装施工组织与示例/陈建华著. —哈尔滨:
哈尔滨地图出版社, 2007. 7

ISBN 978—7—80717—694—7

I. 桥… II. 陈… III. 桥梁工程—缆索—结构吊装—工
程施工 IV. U443. 38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 115033 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址:哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮编:150086)

哈尔滨动力区哈平印刷厂印刷

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:11.125 字数:180 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978—7—80717—694—7

印数:1~500 定价:20.00 元

内 容 提 要

本书以福建省第一公路工程公司的施工项目为蓝本,结合施工组织设计理论知识而编写。书中详细介绍了施工组织设计的基本理论和方法,缆索吊装的施工技术和组织方法,并附有工程实例。本书可作为工程技术人员的参考书,也可供道路与桥梁专业的教师和学生参考使用。

前 言

桥梁工程施工是一项复杂的系统工程,在施工前对工程进行周密的设计,在施工中实施有效的控制管理,最终取得最优的技术经济效益是施工组织管理必须研究的课题。在桥梁建设工程实施阶段,施工组织设计作为指导工程施工全过程的各项活动的技术、经济和组织的综合文件,是对工程进行全过程管理的重要手段,也是反映企业经营管理水平的重要标志。

近年来,随着公路基础设施投资的加大,公路桥梁建设方兴未艾,在施工组织和管理水平上也得到了很大的进步。缆索吊装的施工是在纷繁复杂的桥梁施工方法中比较复杂又是比较成熟的一种方法。本书根据作者的工程实践经验,结合理论知识编写此书,书中所选示例都是以往施工中比较成功的例子,并选取了一些比较好的学术论文充实书中的内容,希望此书能给读者一些帮助。由于规范和标准的变化较快,不可能有一种计算和组织方式用于所有的工程当中,书中的计算方法是在不同的时期采用不同的标准计算的,这正反映了工程施工组织的复杂性。本书的示例可供参考。

限于作者的水平有限,书中有不妥之处还请读者批评指正。

作者

2007年6月

目 录

第一章 缆索吊装施工技术的发展	1
第一节 桥梁施工发展概述	1
第二节 缆索吊装施工的发展	2
第二章 施工过程组织原理	13
第一节 施工过程的组织原则	13
第二节 施工过程的时间组织	16
第三节 流水施工原理	24
第三章 公路工程施工组织设计	34
第一节 施工组织设计概述	34
第二节 施工方案	38
第三节 施工进度计划的编制	40
第四节 施工平面图设计	49
第五节 施工阶段施工组织设计	56
第四章 缆索吊装设计与示例	76
第一节 缆索吊装施工方法	76
第二节 缆索吊装设备主索安全度分析	85
第三节 缆索吊装系统主索垂度的优化	89
第四节 南平市玉屏山大桥缆索吊装施工	99
第五章 缆索吊装施工过程控制	117
第一节 拱式桥梁施工控制特点	117
第二节 拱式桥梁的施工控制目标、内容与方法	118
第三节 桥梁施工控制的任务与工作内容	125
第四节 桥梁施工控制与桥梁施工质量控制的关系	129
第五节 桥梁施工控制的发展	130
第六节 影响桥梁施工控制的因素	132
第七节 桥梁施工控制系统	134
第八节 桥梁施工控制实施办案编制	138
第六章 缆索吊装施工组织设计示例	140
第一节 工程概况	140
第二节 施工总体说明和要求	142

第三节	预制场的布置·····	144
第四节	施工测量·····	146
第五节	上部结构构件工程的预制施工·····	147
第六节	上部结构安装工程的施工方案与技术措施·····	150
第七节	上部构造吊装准备工作与观测设置·····	153
第八节	主拱圈吊装·····	154
第九节	拱上系梁、吊梁、吊杆的安装·····	160
第十节	构件安装质量要求·····	161
第十一节	上部构件安装工程施工设备·····	162
第十二节	上部构件安装安全技术措施·····	168
第十三节	构件吊装观测事项·····	168
参考文献	·····	170

第一章 缆索吊装施工技术的发展

第一节 桥梁施工发展概述

19 世纪中期以前,桥梁一般采用有支架施工。有支架施工是在桥跨位置架设支架,在支架上拼装主梁或浇筑混凝土主梁,整个施工过程中,主梁处于无应力状态。对桥梁的主梁来说,有支架施工是最简单、最可靠的施工方法。但随着科学技术的发展,桥梁跨度不断增大,尤其对跨越大江、大河和深谷的桥梁,若仍然采用有支架的施工方法,将变得非常困难,甚至是不可能的。随着钢铁工业的发展,19 世纪中期,美国等国家修建了为数不多的连续桁梁,但是,在建设使用过程中,由于温度变化、墩台沉陷等的影响,尤其是其采用的多次超静定结构,在当时设计手段落后的情况下,深感设计理论的复杂。由此,连续钢桁梁的应用受到一定的影响,后来在其中采用了铰构造,把连续桁梁转化为静定的悬臂桁梁,从此,悬臂桁梁获得广泛的采用。悬臂桁梁的出现不仅解决了当时设计上的困难,在施工中,采用悬臂法架设桁梁,其施工阶段的应力状态与营运阶段的应力状态一致,给悬臂施工即无支架施工方法提供了有力的依据,使无支架施工方法得以广泛采用。与此同时,悬索桥以它固有的特点,使它在 19 世纪及 20 世纪中期成为大跨度桥梁采用的唯一桥型。当时美国修建的悬索桥数量最多,其中以最早修建的(1883 年完工)跨径 486 m 的纽约勃罗克林桥最为有名。悬索桥的修建,使得最典型、最完善的无支架施工法得以广泛采用与发展。它给了工程界缆索吊机施工方法以很大的启发,以致长达 100 多年以来,缆索吊机始终为一个完善、可靠的主要吊装工具,并成功地应用于梁桥、拱桥的无支架施工中。应该特别提出的是,在拱桥无支架施工中,常采用多拱段吊装安装拱圈,为了能够临时固定未合拢的各拱段,法国工程师首先采用扣索临时扣挂各拱段的方法,使无支架吊装拱桥的施工方

法更加完善,一直沿用至今。20 世纪 70 年代,随着预应力混凝土工艺的完善,尤其是后张学会于 1976 年的成立,使应用于桥梁上的预应力混凝土工艺更加成熟。德国工程师率先采用悬臂浇筑混凝土法修建预应力混凝土连续梁桥,为至今仍然采用的悬臂浇筑混凝土连续梁、T 型刚构、连续刚构、斜拉桥等无支架(自架设)施工方法奠定了基础。无支架施工方法的采用,促进了桥梁(特别是大跨径桥梁)的建设与发展。

第二节 缆索吊装施工的发展

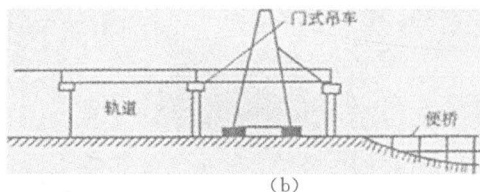
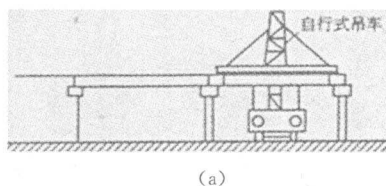
一、梁式桥梁

1. 简支梁(板)桥

简支梁(板)桥在小跨径桥梁中广泛采用,其施工主要有支架现浇和预制安装两种方法。

支架现浇法是指在桥跨间设置支架,安装模板、绑扎钢筋、现场浇注混凝土施工方法。采用这种方法施工时,特别注意支架的强度、刚度和稳定性(包括局部和整体稳定)要满足要求,支架地基可靠,浇注顺序合理,预应力(如果为预应力混凝土梁板桥)张拉控制有效等技术问题。

预制安装法主要应用于预应力混凝土梁(板)桥施工,安装方法较多,根据实际情况可采用自行式吊车安装、跨墩龙门架安装、架桥机安装、扒杆安装、浮吊安装等。这种桥梁施工中关键是控制好预制精度、预应力体系的建立、预拱度的设置,避免梁体在预制时由于张拉不当引起的开裂,对架桥机等安装设备的强度、刚度和稳定性予以监控。图 1—1 和图 1—2 所示为陆地架设法和架桥机架设法。



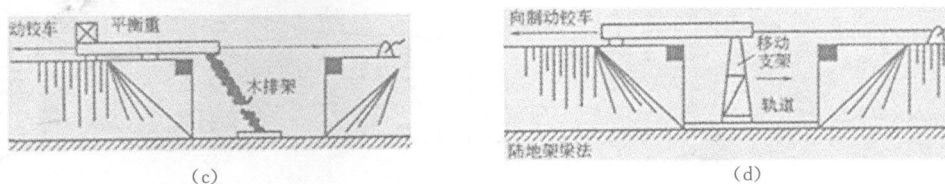


图 1-1 陆地架设法

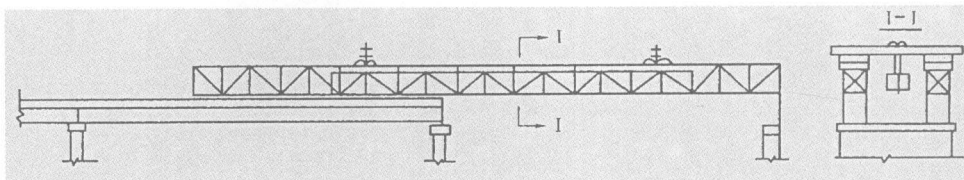


图 1-2 架桥机架设法

2. 等截面连续梁(板)桥

在中小跨径的桥梁(特别是立交桥)中采用等截面连续梁(板)桥较多。其施工方法包括:

①逐孔现浇法

逐孔现浇法又分为在支架上逐孔现浇和移动模架逐孔现浇两种。这种现浇法与前述简支梁(板)桥现浇不同处仅在于只需在一孔(或二孔)间设置支架。施工中同样要注意支架或模架的强度、刚度与稳定。另外,对不断进行的体系转换(施工接头位于跨间,连续孔数逐渐增多)时的结构受力与变形要特别注意。

②先简支后连续法

这种施工与简支梁预制安装施工相似,但桥面系施工往往在已成的连续体系上进行,需注意梁体的受力变化。

③顶推法

顶推法是指在桥台平台上后预制梁体,逐节向前推出,如图 1-3 所示。这种桥梁施工的关键包括:梁体预制精度(特别是梁体底面平整度),顶推同步、临时支墩(如果有)的变形、梁体在顶推过程中的内力、挠度变化等。

3. 预应力混凝土变截面连续梁桥

变截面连续梁桥主要用于大中跨径连续梁桥,常用的施工方法有:

①支架现浇法

支架现浇法适用于旱地且跨径不太大的桥梁,施工中支架的安全、变形等是必须引起重视的问题。

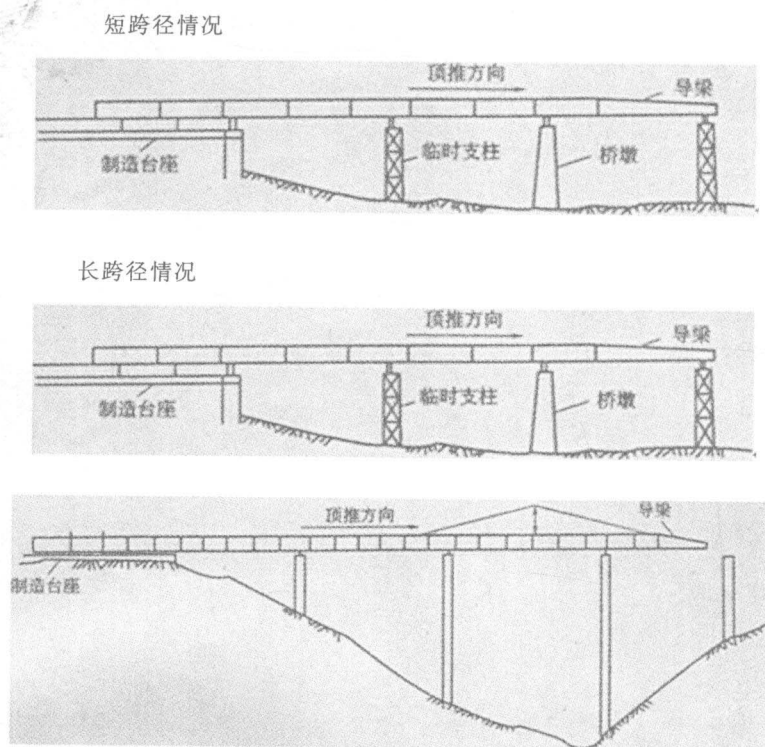


图 1-3 顶推施工

②悬臂施工法

悬臂施工法是大跨径连续梁桥常用的施工方法,属于一种自架设方式,分为悬臂拼装与悬臂浇筑两种,如图 1-4 所示。

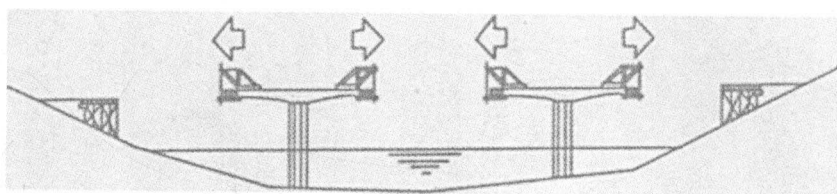


图 1-4 混凝土梁桥悬臂施工示意

悬臂拼装指在预制场预制梁节段,然后进行逐节对称拼装,拼装方法主要有扒杆吊装法、缆索吊装法、提升法等。

悬臂浇筑法则是利用挂篮在桥墩两侧对称浇筑箱梁节段,待已浇节段混凝土强度达到要求的张拉强度后进行预应力张拉,然后移动挂篮进行下一节段施工,直至合拢。目前主要采用该法施工。

不论悬拼还是悬浇,都是属于自架设方式施工,且已成结构的状态(包括受力,变形)具有不可调整性,所以,施工成败的关键在于临时锚固的可靠性,施工过程中的应力监测、变形预测与标高调整以及体系转换的实施。

4. 预应力混凝土连续刚构桥

预应力混凝土连续刚构桥通常用在更大跨径的梁式桥梁上,通常也采用悬臂浇筑施工,如图 1—4 所示。由于其结构为墩梁固结,避免了墩梁临时固结及解除固结这个复杂过程,所以,其施工看起来比连续梁简单些。而实际上,由于连续刚构桥跨径大,孔数多(可三孔或五孔),在施工中遇到的问题更多。首先,连续刚构桥墩为柔性,主梁相对较纤细,施工过程中桥墩、主梁的受力安全及稳定性都需特别注意;其次是桥梁悬臂施工节段多、工期较长,其纵面高程受多种因素影响,容易出现较大的悬臂标高误差,甚至出现两相对悬臂端标高相对误差太大,使合拢困难的情况。若为保证线形而采取措施强迫合拢,必将在结构中产生不利的附加内力,影响结构受力安全,所以,必须对其标高进行严格控制,确保成桥线形与内力状态符合要求。

5. 钢梁桥

钢梁桥包括简支或连续体系的钢板梁桥和钢桁梁桥。钢梁桥一般为工厂加工,现场架设施工。

钢梁桥架设方法很多,主要有整孔吊装法、支架拼装法、缆索吊拼装法、转体法、顶推法、拖拉法和悬臂拼装法。拖拉法与悬臂拼装法使用得较多。

拖拉法是将钢梁在路堤、支架或已拼好的钢梁上拼装,并在其下设置上滑道,在拼装台顶面和墩台顶面设置下滑道,通过滑车组或铰车等将钢梁拖至预定桥孔就位。由于拖拉时梁体应力大,且与使用阶段应力状态不一致,所以,必须对施工中梁体各杆件的应力、稳定进行控制。

悬臂拼装法是将钢梁杆件在桥跨中依次悬臂拼装至前方墩(台)或合拢。悬臂拼装施工中,首先要控制好钢梁的稳定性;其次是悬拼过程中各杆件应力及局部稳定虽在设计中已有考虑,但由于各种误差影响,施工中很有可能出现杆件应力过高的情况,故须予以监控;三是悬拼时梁的挠度同样需要监测、调控,使其挠度在控制范围内,保证合拢顺利和梁体线形符合要求;四是悬拼过程中的梁体振动也应注意;五是做好合拢控制。

二、拱式桥梁

拱桥作为一种传统桥型,应用得非常广泛。拱桥结构形式很多,各自的施工(架设)方法也不一样。

1. 石拱桥主拱圈施工

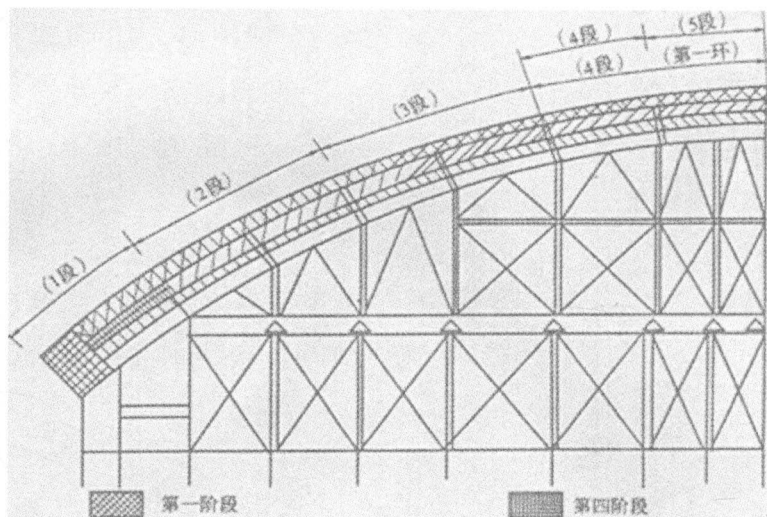


图 1-5 石拱桥施工示意

对于石拱桥这种砌体结构,一般采用拱架法施工。如图 1-5 所示为山西丹河大桥的施工情况。拱架形式有满堂式、撑架式等。在有条件的地方也可采用土牛拱胎。采用拱架施工石拱本身并不复杂,但其施工过程中拱架的安全是必须引起重视的。据统计,拱桥的垮塌事故大多发生在施工中,所以,对石拱桥,特别是大跨径石拱桥施工过程中拱架的受力、变形及稳定必须进行监控。另外,在大跨径拱桥施工中,其拱圈一般系分环、分晕逐渐形成的,所以,拱圈内的应力也是逐渐形成的,施工中必须对拱圈应力,特别是先期形成的拱环应力进行全程监控,避免结构在施工过程中出现过大的应力。

2. 普通型钢筋混凝土拱桥施工

①主拱施工

普通型钢筋混凝土拱桥指除桁架拱桥、刚架拱桥、系杆拱桥以外的所有拱桥,普通型拱桥的共同特点是以主拱圈为主要承重结构,并且有外部水平推力。普通型拱桥中,不论是板拱、箱形拱还是箱肋拱,也不论是上承式、中承式

还是下承式,在有条件的地方以及采用其他施工方法受限的地方,都可以采用在拱架上浇注、拼装的方法施工主拱圈,因采用吊装将受高压线限制而采用拱架现浇的跨径 220 m 河南许沟大桥就属于该种情况。拱架形式可以是满堂式、撑架式,也可以是斜拉式、拱式等。

对拱式拱架又分为外置式拱架(图 1—6),其中,埋置式拱架又称为劲性骨架,劲性骨架法是特大跨径拱桥的主要施工方法。不论哪种拱架都是非刚性的,施工过程中拱架以及分环分层分段浇注中先期形成的拱环(段)的受力、变形是在不断变化的,为保证施工过程中拱架与拱圈的安全和拱轴线形对称,必须对施工中拱架与拱圈受力、变形、稳定进行监控。对采用劲性骨架浇筑施工时,往往其桥梁跨径特大(如 420 m 的重庆万县长江大桥),要在不太强大的骨架上经过很多工序和较长时间外包混凝土形成拱圈,其施工中的安全更为重要,实施施工控制就显得格外重要。

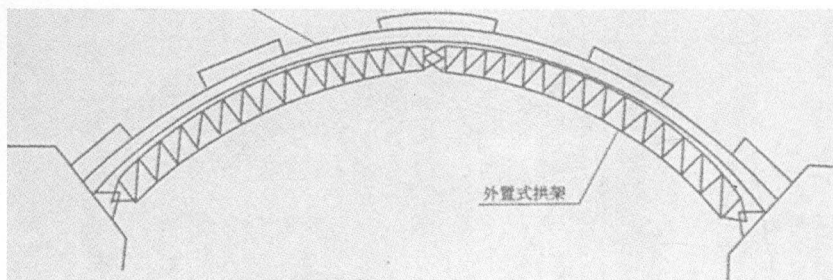


图 1—6 外置式拱架施工示意

除上述有支架施工外,天支架缆索吊装施工法应用得更为广泛,如图 1—7、图 1—8 所示。缆索吊装法是通过设置吊运天线来完成预制拱段(构件)的纵向与竖向运输,从而完成拱圈拼装。缆索吊装也是有支架施工中外置式钢拱架、埋置式拱架(劲性骨架)以及钢管混凝土拱中钢管拱的架设手段。缆索吊装施工的关键在于吊运系统(包括锚碇、塔架、天线)的可靠性以及吊装与扣挂的过程控制。

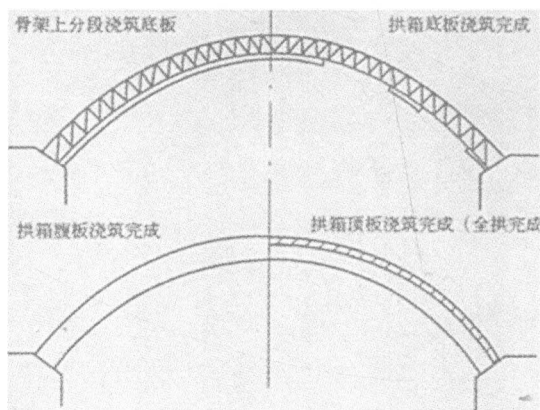


图 1—7 埋置式拱架(劲性骨架)施工示意

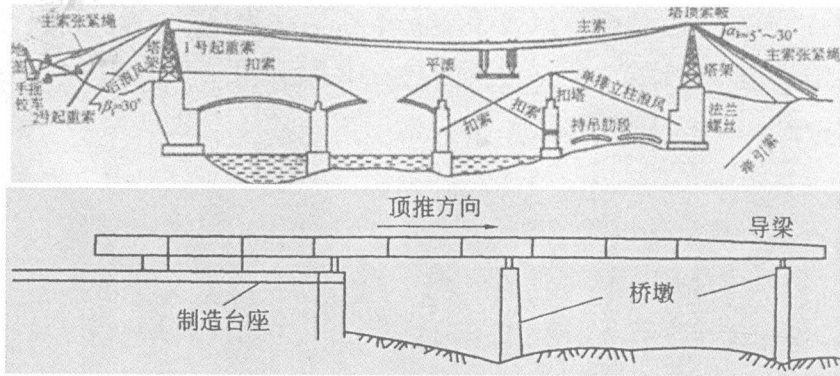


图 1-8 缆索吊装施工

根据两岸地形情况,在两岸制作半拱,然后绕拱座做水平或竖直转动至合拢成拱的转体施工法也时有采用,如图 1-9 所示。转体施工的成败关键在于转动系统的可靠性和转动过程中悬扣系统、拱圈等的受力、稳定控制、标高监控。

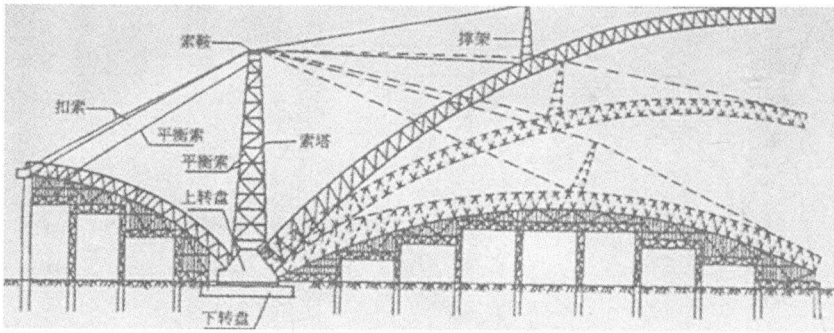


图 1-9 拱桥转体施工示意

钢筋混凝土拱也可采用悬臂施工法施工。拱的悬臂施工主要有两种方式:一是斜拉扣挂方式,即在拱桥墩台处设立临时塔架,用斜拉索系吊已通过挂浇成的拱圈段,这样,浇一段就系吊一段,直至合拢,如图 1-10 所示。二是桁架式,即借用专用挂篮,结合使用斜吊钢筋将拱圈、拱上立柱和预应力混凝土桥面板齐头并进,边浇注拱圈边构成桁架,直至合拢,如图 1-11 所示。采用前者施工时,需特别注意对斜拉索力、拱圈受力、标高的监测与控制;采用后者施工时,鉴于其

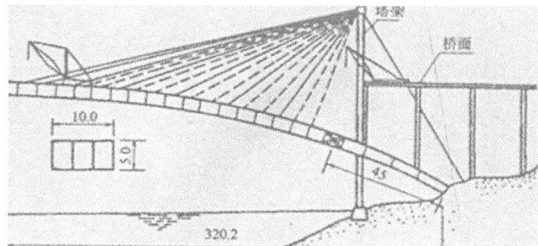


图 1-10 拱桥悬臂(斜拉扣挂)施工示意

属于自架设施工方式,除需注意施工中结构的受力、稳定监控外,特别要加强施工标高的控制。

另外,普通型拱桥中还有一种是钢管混凝土拱。钢管混凝土拱桥通常是采用缆索吊装法架设钢管拱,然后再灌注管内混凝土,相当于在较柔的钢管拱架上施加非常大的荷载,该施加可以是一次性的,也可以是分步进行的,不论是哪种方式,施工中钢管(或已先期形成的部分管内混凝土)的受力、变形以及稳定系数都是在不断变化的,必须加以监测、调控,以保证施工安全。

② 拱上结构施工

这里所指的拱上结构包括上承式拱桥的拱上建筑,中、下承式拱桥的悬吊结构(桥道梁)。对前者可采用支架现浇,更多的是预制拼(吊)装;对后者既可在支架上现浇或拼装,也可采用吊装。拱桥施工中,若拱上结构施工不当,极易使主拱受力不利,严重者还会导致垮塌,所以,必须对拱上结构施工过程中主拱的受力、变形以及稳定进行监控。

3. 系杆拱桥施工

系杆拱桥属于无外部推力体系,拱圈所产生的推力由系杆承担,而系杆所受拉力是随着拱圈和桥道梁的形成而逐渐形成的,所以,其施工工艺较为复杂(图 1-12)。

对钢筋混凝土系杆拱桥,最简便的施工方法是支架法。当采用钢筋混凝土吊杆和系杆时,通常在拱肋混凝土强度达到要求后,先在桥跨上加临时荷

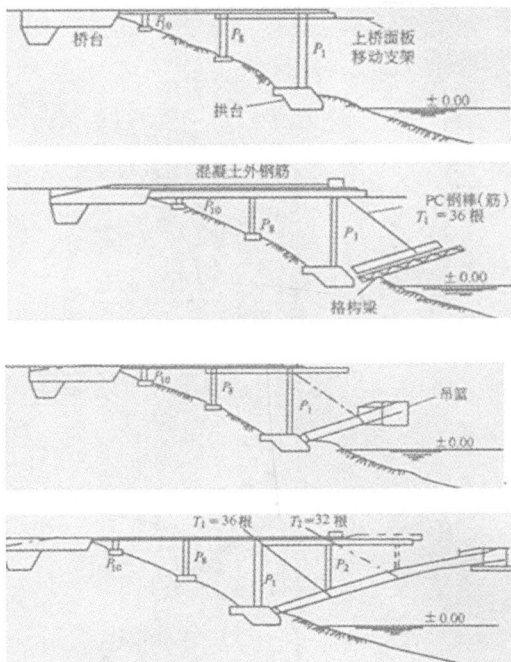


图 1-11 拱杆悬臂(桁架)施工示意

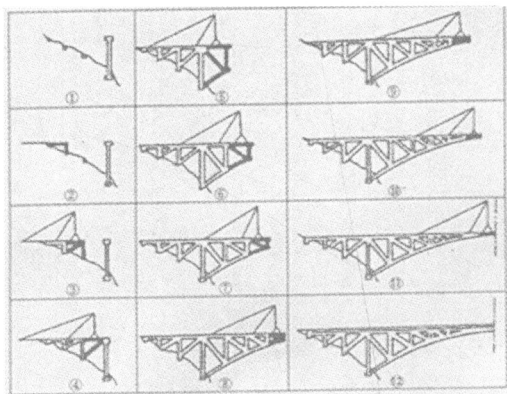


图 1-12 桁式组合拱桥施工示意

载,使吊杆和系杆中的钢筋内产生额外的拉力后再浇注其混凝土,最后在卸去临时荷载后使吊杆、系杆内产生一定预应力,避免混凝土裂缝。当采用预应力系杆时,则需特别控制好预应力施加的时间、大小,使之与拱圈的形成协调,保证拱肋或系杆受力、变形符合要求。必要时也可采用预制拼装,以加快施工进行。

对目前出现的大跨径系杆拱桥大多采用钢筋混凝土结构,除单跨外,更多的是三跨飞燕式。一般先利用缆索吊装或转体(对飞燕式)架设钢管拱圈,此时,对单跨拱由于钢管拱本身产生的推力不大,可利用墩台抵抗或设置临时拉索来平衡推力,对三跨飞燕式则利用中跨半拱和边跨半拱互相平衡。待拱形成后,再浇注管内混凝土和吊装桥道梁,与此同时,同步施加相应的系杆拉力。该类桥梁施工中关键是要控制好系杆拉力的施加和桥道梁的施工加载。

4. 整体型上承式拱桥施工

整体型上承式拱桥包括桁架拱桥、刚架桥。对普通中小跨径桁架拱桥可采用支架安装、无支架吊装、转体和悬臂安装等,对于大跨径桁式组合拱桥,通常采用悬臂安装施工。图 1—12 所示为贵州江界河大桥施工情况。在无支架吊装中,要特别注意桁架拱片在施工过程中的稳定性,在悬臂施工中则要做好施工过程中各杆件的受力情况观测和节段安装标高控制。

三、缆索承重桥梁

1. 斜拉桥

斜拉桥施工包括墩塔施工、主梁施工、斜拉索制作与安装三大部分。

斜拉桥主梁施工一般可采用支架法、顶推法、转体法、悬臂浇注和悬臂拼装(自架设)方法来进行。在实际工作中,对混凝土斜拉桥则以悬臂浇注法居多,而对结合梁斜拉桥和钢斜拉桥则多采用悬臂拼装法。

悬臂浇注法是在塔柱两侧用挂篮对称逐段浇注主梁混凝土直至合拢。在施工中,索塔两侧的梁体因自重等荷载不可能绝对平衡,从而将产生一定的倾覆力矩;同时,两侧斜拉索张拉力也不一定对称,从而将产生一定的水平推力。所以,当所施工的桥梁为飘浮体系、半飘浮体系和塔墩分离(塔梁固结)体系时,一般需作塔(墩)梁临时固结处理。

斜拉桥与一般梁桥相比,主梁较柔,抗弯能力差,当采用传统挂篮进行悬