

梁的悬臂法施工(一)

邱式中

悬臂法施工是大跨度桥梁中最常用的一种施工方法。它首先由德国工程师采用该法建造了预应力混凝土连续梁桥,之后被广泛应用在预应力混凝土T型刚构桥,连续T型刚构桥,斜拉桥等各种桥型中。它的优点是施工对桥下交通不干扰,在高桥位时,可以避免繁重的脚手搭设,在深山峡谷及交通繁忙的河道,往往采用此法。

悬臂法施工分为挂篮悬臂现浇,挂篮(或悬臂吊机)悬臂拼装、挂篮悬臂混合法施工和大型桥面吊机与安全平台相配合的施工方法等。

本节主要介绍:(一)挂篮的类型及其结构,(二)挂篮悬臂现浇法施工技术,(三)挂篮(或悬臂吊机)悬臂拼装法施工技术,(四)挂篮悬臂混合法施工技术,(五)桥面吊机与安全平台配合施工技术,(六)悬臂施工临时固结技术,(七)梁

合拢段施工技术等几部分内容。

一、挂篮类型及其结构

(一)挂篮是一种钢制活动的悬空结构物,它是悬臂施工法的主要设备。顾名思义,“挂”是指可以移动的具有起重能力的设备统称。“篮”是指象吊篮一样可容纳梁体及其设备和人操作的空间。这样挂篮就由承重结构,行走部位,锚固结构,前吊部分(吊杆及千斤顶等),后吊杆及“篮”部分组成。又按承重结构的不同分为图1中各种类型。

1、桁架式挂篮

由万能杆件、军用导梁常备架桥设备组成承重桁架梁,其下部配有行走部分,并通过该部分将荷载传至已浇好箱梁上,后部分配有配重或锚固连接件,前部分伸出已浇箱梁,由悬吊部分和“篮”子相接。如苏州狮山桥、浙江富阳桥是主跨70米和80米的连续梁桥,采用此种挂篮现浇的(见图2)。

2、型钢梁式挂篮

主要由型钢梁组成,由多道吊杆与吊篮连接,常为四氟板滑行,如图3所示,或者型钢梁与已浇箱梁伸出的劲性骨架组成受力框架,来承受现浇混凝土重量。

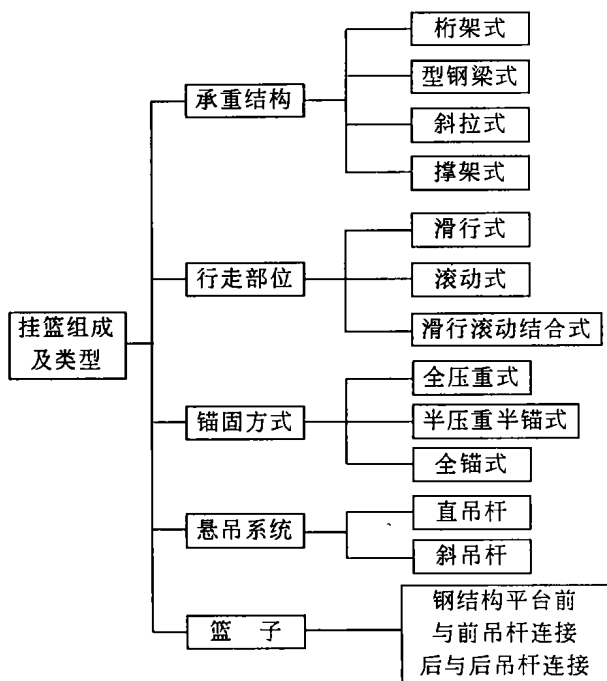


图1

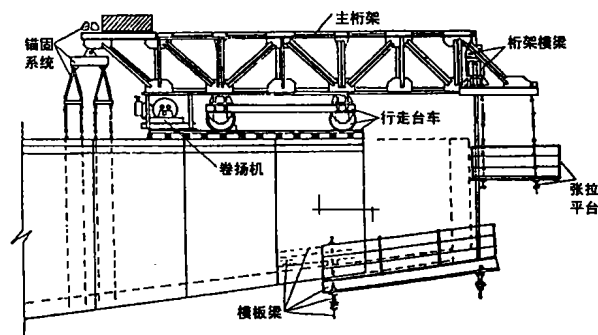


图2 桁架式挂篮图

邱式中：上海市基础工程公司 教授级高工

3、撑架式挂篮

这是桁架式另一种型式，由型钢组成桁架作为承重梁，常作为宽大桥面的一种挂篮型式，例如广东省横琴独塔斜拉桥，其挂篮宽35米，为挂篮悬臂先浇。也常作为挂篮悬臂拼装用，例如柳港桥，其承重桁架由拉森板桩和型钢组合而成，下为运桩水平车作为拖运挂篮用，承重时则用硬木垫块承受，挂篮悬拼施工中挂篮必须配有起吊构件，前运构件及构件准确就位的起重设备(见图4)。

4、拉索式钢梁式挂篮

此种型式挂篮有两种结构，一种是与结构大

索无关的自斜拉式结构，由于设置了拉索，用钢量减少，例如用三角组合梁构成承重梁，并与悬吊系统、行走系统组成挂篮主体结构。用四氟板垫层作滑板，供施工时挂篮前移，见图5。

另一种型式是利用永久索。将安装的永久索与挂篮之间，用一工具式拉杆相连接，并在已浇筑箱梁下，设置中拉杆和后拉杆，用以抵抗垂直力和水平力。这样就形成用钢量少，具有很大承载力的挂篮(见图6)。

图7为利用结构大索的详图，该项图中1、为已浇段箱梁拉索，2、为待段箱梁前支点拉索，为利用结构之大索，3、为索管，4、为拉索锚具，一

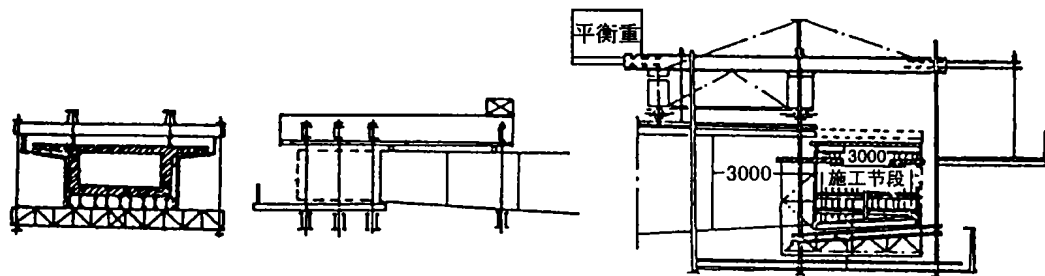


图3 型钢梁式挂篮图

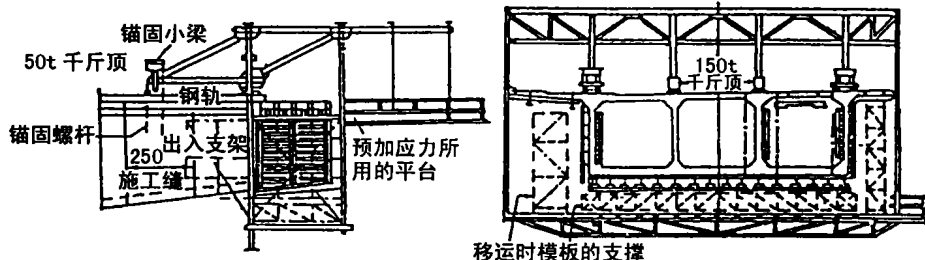


图4 撑架式挂篮示意图

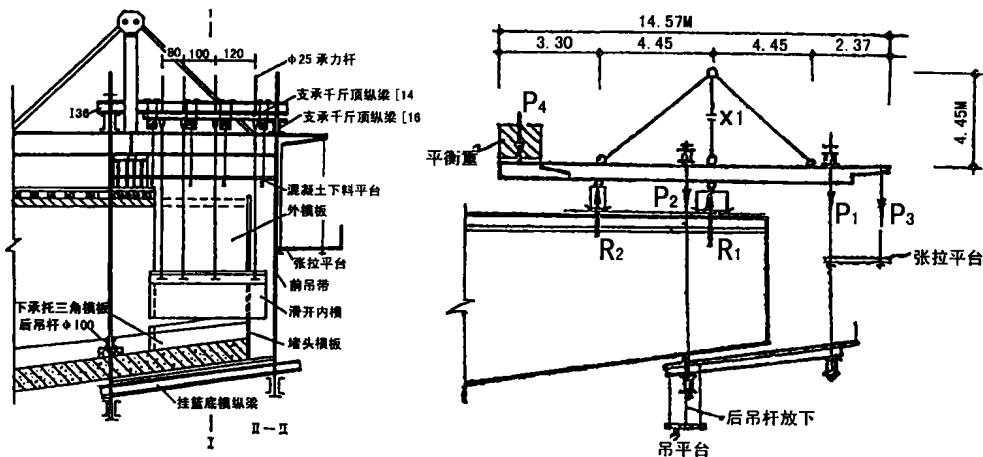


图5 拉索(或斜拉杆)式挂篮示意图

一般为冷铸锚固定端锚具，5、为接长拉杆，此拉杆与索连接（穿过锚具），在浇注或拼装箱梁时可利用结构索。待混凝土达到设计强度，可将锚具拧紧承受力，卸除接长拉杆，并可重复利用，6、为千斤顶，7、为水平力平衡杆，8、为挂篮上横梁，9、为挂篮桁架，10、为悬挂升降系统，11、为下底模，12、为顶板底模。

上述几种挂篮中，以利用结构大索式挂篮为最适宜和有发展的挂篮型式。

(二) 挂篮结构

挂篮主要由以下几部分组成。

1、吊篮部分，对挂篮现浇为模板系，对挂篮拼装为容纳构件部位，即工作平台。是主要受力结构之一，要承受梁段结构重量，常为板梁或桁架结构，要满足强度和刚度要求。对挂篮现浇，要

在模板系后端做成铰结构，以适应梁变截面要求，对挂篮拼装，在篮内要有横移构件的设备和施工场地。

2、悬吊系统，包括前悬吊部分和后吊杆组成，前悬吊部分包括模板系平台、垂直钢带、承重横梁、千斤顶等组成。垂直钢带是重要承重构件，应根据其要求留其眼睛板，以备穿销子用，或用钢丝绳再者链条悬吊在横梁上。主要是将吊篮内梁段及其他荷载由钢带传至横梁再由横梁传至桁架承重梁主结构，再经过滑板或滚轮传至已浇梁段上，为调节挂篮前端高度，常在横梁间安置千斤顶，人为的控制梁端的标高。

后吊杆是传递荷载的受力杆件，应在已浇梁内设置受力横梁及千斤顶，可以任意调节高度。此杆件要承受近1/2荷载，一定要满足受力要求，有

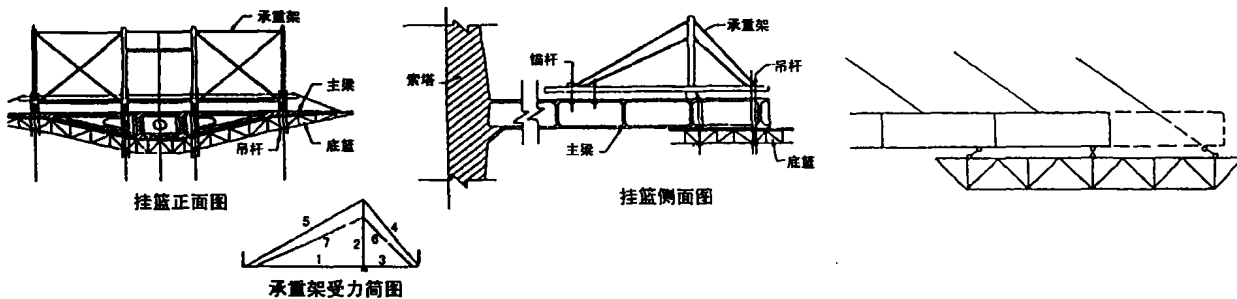


图 6 利用永久索挂篮示意图

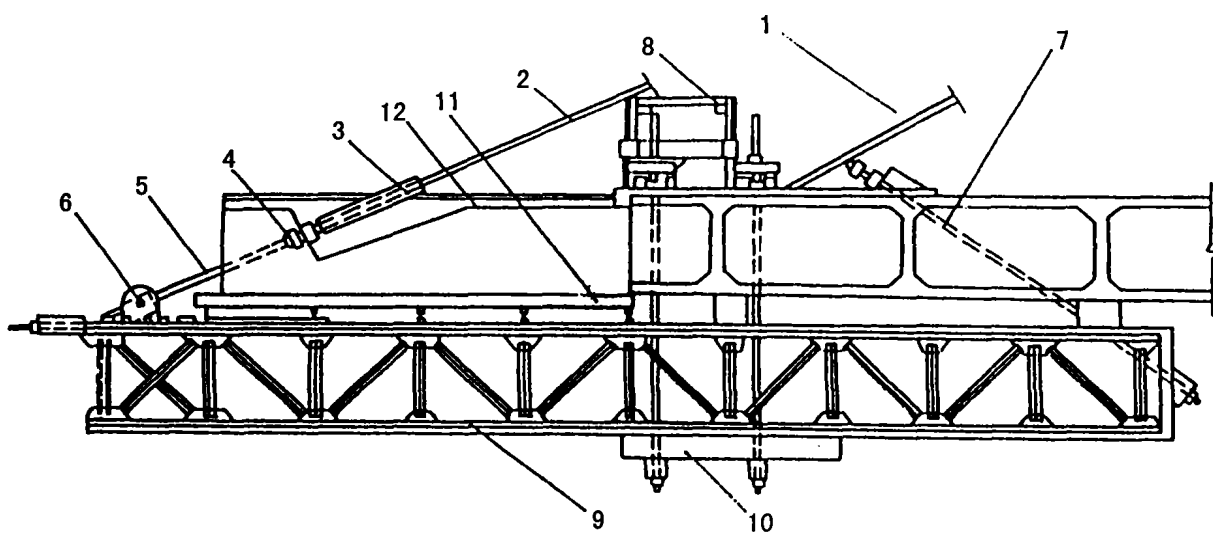


图 7 利用结构永久索详图

的桥在架设时,由于后吊杆破坏而出现安全事故。

3、承重结构,是挂篮的主要受力结构,由万能杆件、军用导梁或型钢组成桁架结构,前要承受悬吊系统传来荷载,后要承受锚固系统或压重传递荷载,每次运转后要检查各构件受力状态及变形,一定要保持其正常运转。

4、行走系统,主要由滚轮和四氟滑板组成。它支承挂篮的承重结构,将力传至已浇梁段上,或在牵引力作用下将挂篮沿桥纵轴方向前进。

5、锚固系或平衡重

位于挂篮后端,锚固常用拉杆螺栓将锚固钢丝绳或链条拧紧,或在承重结构后端加平衡重,用以平衡挂篮前移或施工中产生的倾覆力矩,确保施工安全可靠。

6、张拉平台,位于挂篮前方或侧方,满足预应力穿索,张拉用之。

(三) 挂篮制作、拼装卸装除及运用

1、挂篮的制作

1) 挂篮按着钢结构要求设计,挂篮宽度需按箱梁结构要求确定,例如双箱单室可按两只挂篮实施,例如苏州狮山桥,而单箱双室或三室、就要按一个大挂篮敷设。随后依据箱梁重量、及其施工荷载设计挂篮各部分的结构型式及相应尺寸。

2) 依据设计图纸和钢结构施工规范及操作规程制作挂篮各部件。

3) 进场前,应在工厂试拼装。

2、拼装、卸除

1) 在桥墩上现浇 $0^{\#}$ 梁段结束后进行挂篮拼装, $0^{\#}$ 段梁长度应尽量满足两套挂篮拼装要求,否则变为连体挂篮。

2) 尽量采用汽车吊或履带吊拼装挂篮,如实在有困难,可就地采取桥面上竖台灵把杆方式或根据实际实施。例如浏港桥利用塔柱作冲天,在梁、塔交界处竖摇头,解决了挂篮大构件拼装难题。

3) 拼装顺序应为先行走部位、主桁梁、再悬吊系统,同时在船上或承台上拼装吊篮,在后锚固点安装后,连接悬吊吊带和后吊点,将吊篮缓缓吊起至要求位置。

拼装应有序并按着编号进行。

4) 挂篮在完成使命后,主桁应退至 $0^{\#}$ 段卸除。卸除顺序,在合拢段完成后,吊篮部分先卸除至船上,拖至岸边卸除装车,主桁部分退至 $0^{\#}$ 段由上至下逐次拆除装车。

3、挂篮运用

正确运用挂篮是保证安全施工的首要条件。

1) 拟定挂篮运用操作程序,并严格按照操作程序实施。

2) 了解施工中变形原因,及采取相应的技术措施。

① 施工中引起挂篮变形原因

主要是弹性变形和非弹性变形。弹性变形包括受荷后主桁梁各杆件的弹性变形之和,悬吊带弹性变形,吊篮承重后桁架各杆件弹性变形之和等。非弹性变形,枕轨的沉陷,构件螺栓孔之间滑移变形等。

② 消除变形技术措施

水箱法,在挂篮上设置水箱,注入与后浇混凝土重量相等的水,在浇注混凝土中逐渐放出箱内水,使挂篮的负荷和变形始终保持不变以消除混凝土引起的变形。

压重法,在挂篮上先预压同混凝土的重量,消除非弹性变形,并测出弹性变形量,再去掉压重,在挂篮前端抛高相应弹性变形高度,作为预抛高度来调整。

千斤顶调整法,在悬吊索横梁上摆放千斤顶,先调节一预留高度,在浇混凝土时来调节上、下横梁及调带的变形。

对于斜拉桥,可利用大索(结构索)张拉来消除浇混凝土带来的变形。

(四) 悬臂式吊机, 主要由纵向主桁架、横向起重桁架、锚固平衡系统、行走装置、起重装置和吊篮组成, 见图 8。

(五) 桥面吊机与安全操作平台

桥面吊机是安装设备, 安全操作平台是摆放设备及人操作的场地, 两者配合起来, 用在钢斜拉桥中, 象南浦大桥和杨浦大桥叠合梁施工便为如此。

桥面吊机应满足吊装钢构件要求, 在桥面移动, 最大吊臂时稳定, 最大吊重时旋转自如等。而安全平台多由轻质钢管拼装桁架, 可挂在已安装钢梁下部, 由牵引设备滚动拉出, 须满足操作时刚度要求。

二、挂篮悬臂现浇施工技术

挂篮悬臂现浇施工, 我国最早用于 60 年代主跨 124 米的预应力钢筋混凝土 T 型刚构柳州大桥、80 年建造了主跨 174 米的重庆长江大桥, 随后在变截面的连续梁桥中, 象主跨 111 米的湖北省沙洋汉江桥, 主跨 90 米的哈尔滨松花江公路桥, 主跨 120 米的常德沅水桥, 主跨 100 米的宣城汉江桥, 主跨 125 米的湖北省宜昌乐天溪桥等应用, 以

及在预应力混凝土 T 型刚构桥基础上, 又发展了跨度更大的连续 T 型刚构桥, 象主跨 180 米的广州洛溪大桥, 主跨 245 米的湖北省黄石长江大桥等, 除此外挂篮悬臂现浇在大跨径的钢筋混凝土斜拉桥中应用的也很多, 象主跨 220 米的山东济南黄河桥, 主跨 230 米的独塔斜拉桥重庆石门桥, 主跨 414 米的双塔双索面重庆长江二桥等。

(一) 挂篮悬臂现浇施工工艺

挂篮悬臂现浇是利用挂篮设备将桥跨结构在纵向(桥轴线方向)从桥墩向两侧悬臂伸出对称浇注混凝土。即从墩顶向跨中逐段浇注混凝土, 待每段梁段养护达到设计强度后, 通过张拉预应力束将各段连成整体, 再移动挂篮浇下一段梁段至全桥结束。

挂篮悬臂现浇施工可根据现浇梁段尺寸确定分段浇段否, 在一般情况下建议一次浇注完毕, 因为分二次浇容易造成第一次浇注部分(一般为底板和腹板一部分)在第二次浇注时, 由于挂篮变形(受荷后下垂)而引起新老混凝土连接部位开裂。要达到一次浇完目的, 需采取一定技术措施, 例如延长混凝土初凝时间, 模板规格化, 尤其是

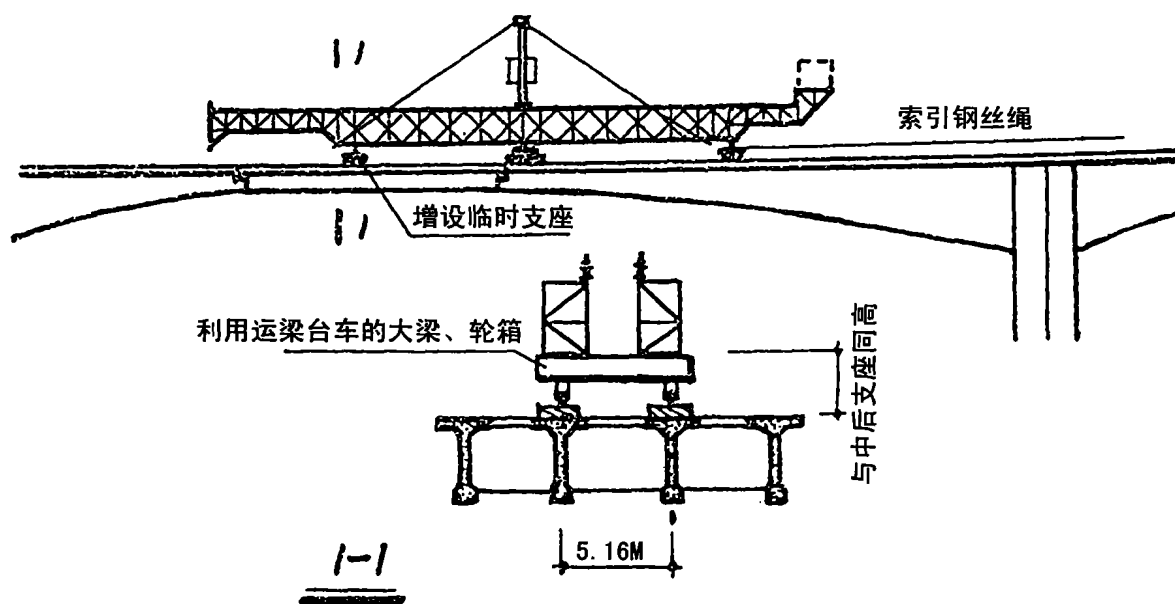


图 8 悬臂吊机工作示意图

内模、顶板底模，做到易拆易装，个别预应力束管后放，以及处理好混凝土熟料一次下料问题。如果分二次浇注，要考虑相应技术措施防止第一次已浇混凝土的开裂问题，例如可否在第一次已浇混凝土加缓凝早强剂，达到一定强度穿索张拉，或采用斜拉方式先将模板抬高一个高度，或对斜拉桥可利用结构大索张拉方式来调整变形等。

挂篮悬臂现浇施工工艺见图 9。

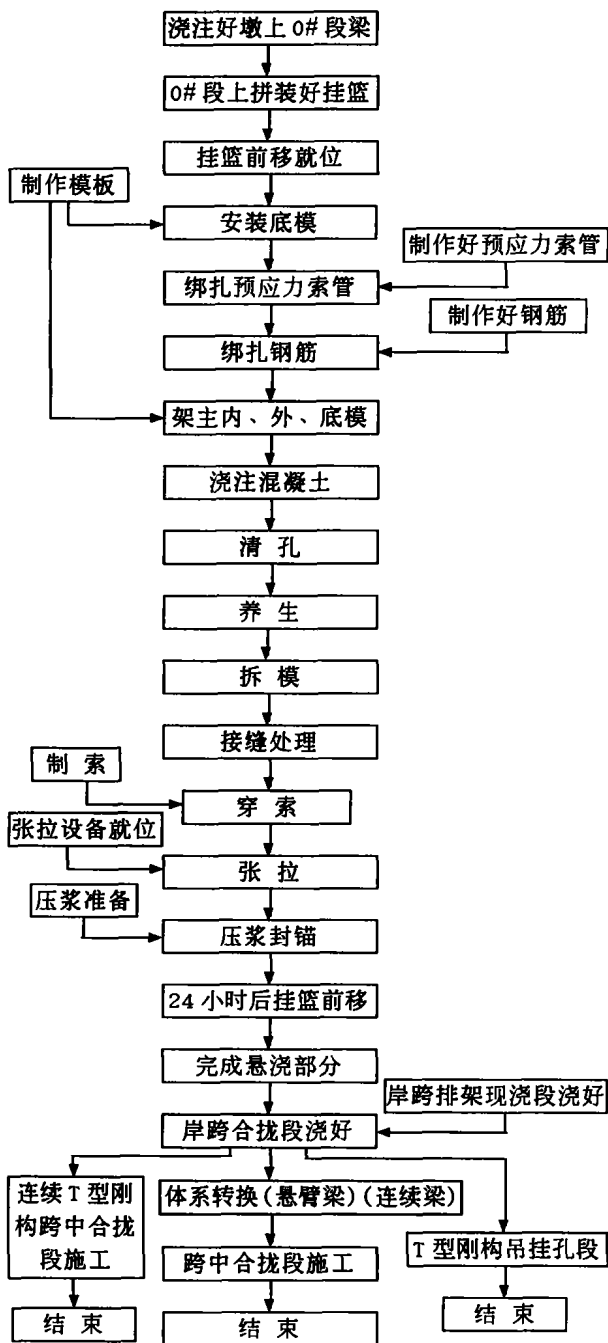


图 9 挂篮悬臂现浇施工工艺

1、浇注墩上 0# 段同时考虑临时固结措施，对于挂篮悬臂现浇，除 T 型刚构桥、连续 T 型刚构桥和斜拉桥中塔梁墩全固结连接型式外，均必须做临时固结措施，以消除由于施工荷载不对称而引起的对墩中心的不平衡弯矩。

2、0# 段上拼装挂篮要按顺序拼装，并要消除挂篮施工中变形对桥跨结构带来的影响，还要制定挂篮悬臂施工操作规程，并严格按操作规程实施。

3、模板，建议采用装配式定型钢模板，对个别转角、棱角部位配置木模，吊篮内底模后端要设置铰结构，以适应变截面要求，并保留部分模板，使之连接平顺和防止漏浆，内模、侧模对应配套定型模板，可利用千斤顶顶拆。内模可整体拆下退出维修，顶板底模可为吊模板，模板需足够刚度，承受附着式震捣器荷载作用，模板周转使用，做到勤维修勤保养。

4、预应力索管，可为波纹管或薄铁皮管，要先架设预应力索管，保证其位置正确，然后绑扎钢筋。绑扎时要确保预应力索管形状和管子不变形，可根据浇注混凝土需要，后绑少量预应力索管，但不得遗漏，包括钢筋在内。

5、浇注混凝土，建议一次浇完。浇底板时控制一定坍落度，浇完后并可用空吸方式吸去多余水分，使之早凝和有强度，便于腹板浇注。建议腹板采用小石子混凝土泵送，但要控制浇注量，做到边浇注边震捣。震捣采用附着式加震捣棒（电动或风动 3 厘米~5 厘米直径震捣棒）辅助配合，保证其混凝土密实，特别对预应力索张拉部位，由于有螺旋筋等钢筋较密，采取措施保证质量。

6、拆模养护，浇注完第二天，松动模板后拆除模板，养护至达到设计强度穿索张拉（浇注时保留试块，穿索前要压试块）。

7、穿索，一般短索人工穿索，长索要用卷扬机穿索，穿索前要清孔，或需要时用中性肥皂水

冲洗, 对于索管内可能有遗物, 要在浇完混凝土后即刻清除。

8、张拉, 根据锚具采用相应张拉设备, 例如 F 式锚具、三作用千斤顶、XM 锚具、QM 锚具、OVM 锚具穿心式千斤顶等。张拉设备千斤顶和油压泵要由有资格单位标定验证, 张拉要按着规范要求实施, 按张拉力和延伸率双控要求控制。

9、压浆封锚。按设计要求压浆, 并作封锚处理。完毕后等 24 小时再重复进行下梁段施工。

10、在悬臂现浇同时, 在岸跨部分搭设排架浇注岸跨现浇段。

11、岸跨合拢段浇注

在悬浇过程中要不断测试悬浇段和岸跨段距离, 计算出日温变化的影响, 到岸跨合拢段前根据计算资料用型钢撑起来传递力, 利用日最低温度浇注合拢段(最好膨胀混凝土, 掺和少量铝粉)。

12、体系转换。对于连续梁桥, 消除临时固结措施, 成为简支单或双悬臂。体系转换要缓慢、均匀、对称进行, 使之逐步落在结构支座上, 消除临时固结需安全, 特别是采用预应力张拉措施的, 应通过张拉消除预应力后, 再逐步完成体系转换工作。

13、跨中合拢段

对于连续梁桥, 连续 T 型刚构桥和斜拉桥中连续梁结构型式的, 均有跨中合拢段施工一项, 对于预应力混凝土桥多采用强制式合拢方式, 而对于钢斜拉桥, 则多采用自然合拢式方式。

二、工程实例

1、重庆长江大桥

重庆长江大桥为预应力混凝土 T 型刚构带挂孔型式梁式桥, 全桥长 1073 米, 7 墩 2 台共 8 孔。桥面宽 21 米, 主跨 174 米, 跨径布置为 86.5+4 × 138.0+156.0+174.0+104.5m。桥梁为三次曲线(三次抛物线), 双箱单室结构, 预应力钢束为 24 φ 5 的高强钢丝, 弗氏锚具。挂梁长 35 米, 1977 年 11

月动工, 1980 年 7 月 1 日竣工。见图 10 重庆大桥布置图。图 11 为 1/2 边主跨 T 构梁图。从图 12 中看出, 主跨半跨悬臂浇注段共 20 个节段, 除墩上 0# 段外, 1-4 号节段梁 3 米, 5-8 号节段梁 2.5 米,

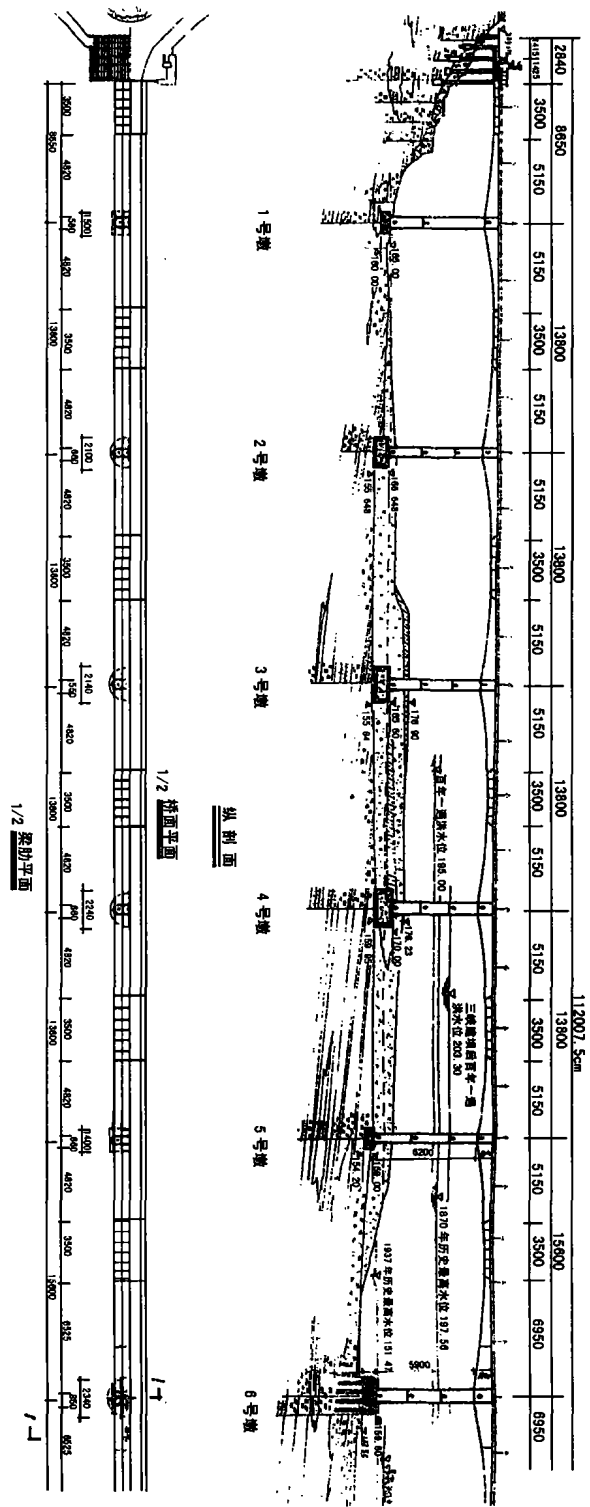


图 10 重庆长江大桥桥式布置图

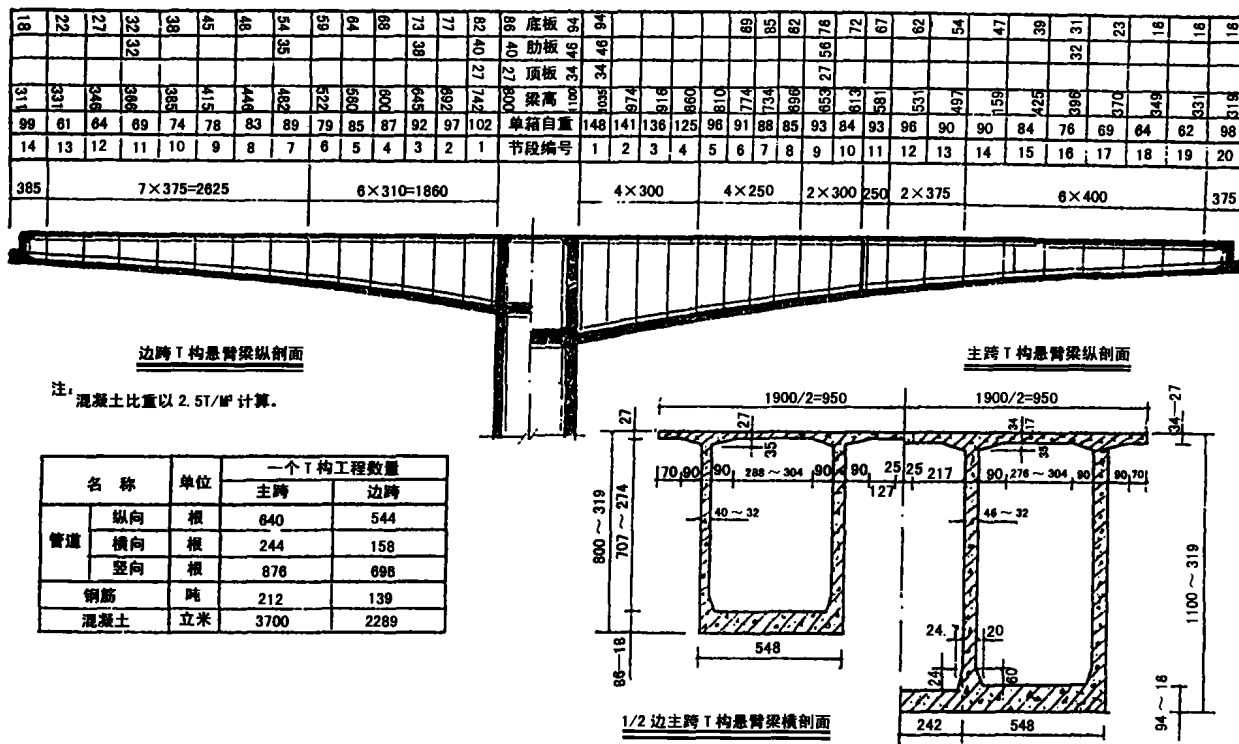
9-10号节段梁5.0米, 11号节段梁2.5米, 12-13号节段梁3.75米, 14-19号节段梁4.0米, 最后20节段梁3.75米。主跨桥墩梁高11米, 跨中梁高3.19米。边跨半跨悬臂浇筑共14个节段, 1-6号节段梁3.1米, 7-13号节段梁3.75米, 14号节段梁3.85米。边跨桥墩梁高8米, 跨中梁高3.19

米。箱梁双箱单室结构尺寸见图10。主跨174米段称为大T, 138米段称为小T。

1) 0#段

小T0#节段是墩顶托架上搭设施工平台, 进行分段立模浇筑施工。

大T0#节段除底板和顶板采用固定支模浇筑



外, 胸墙和肋墙是利用墩身的滑模设备进行滑模施工。7号T构采用空滑, 6号T构采用直滑。见图12。

2) 1#节段施工

1号T构是将南北两侧的斜拉挂篮先在0#节段顶面组合成梯形斜拉挂篮, 进行悬挂施工, 2-6号T构在斜托架上施工, 7号T构在斜托架上施工。见图13斜托架图。

3) 斜拉挂篮

重庆长江大桥1-6号T构箱梁均采用斜拉挂篮进行悬臂浇注的。

斜拉挂篮主要由三大部分组成: 即悬吊系统、

斜拉组合梁系统和行走系统, 见图14。

(1) 悬吊系统

斜拉挂篮的悬吊系统是直接承受施工荷载, 并需满足施工要求部分。它由底模平台、垂直钢带和上、下横梁等组成(重庆大桥将有模板的吊篮部分拼在悬吊系统内)。1至5号挂篮底模平台, 中间设有七组2I36a槽钢纵梁, 上铺木横梁和底模板。为防止浇注混凝土漏浆, 底模板采取由外侧模夹住, 且用对拉螺栓拧紧; 新老混凝土连接处, 采取后吊杆预加应力, 使底模板与老混凝土间产生预压力使之密贴防止漏浆。所有纵梁与前后下横梁连接均设活动铰, 以满足梁底调整三次

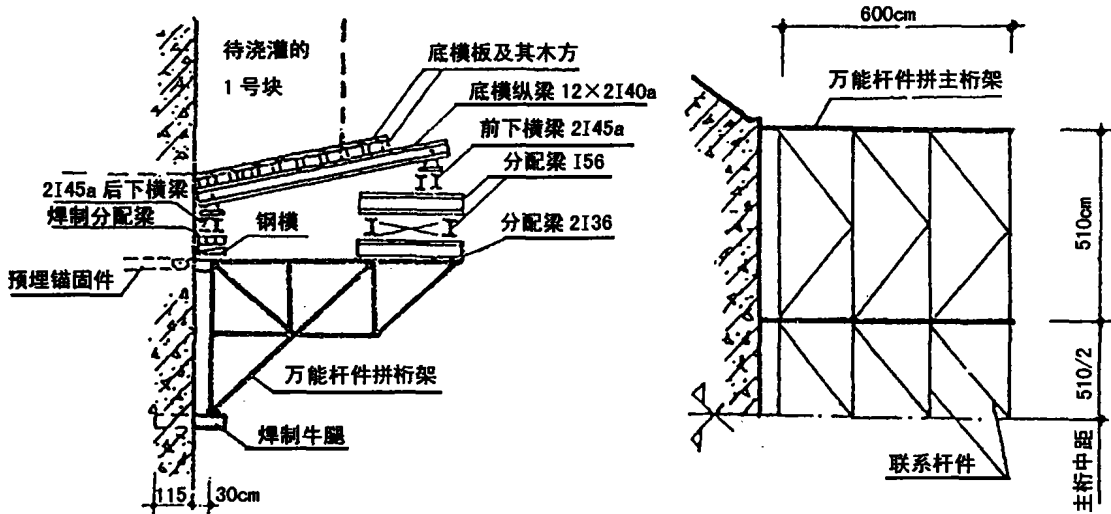


图13 斜托架平面、立面图

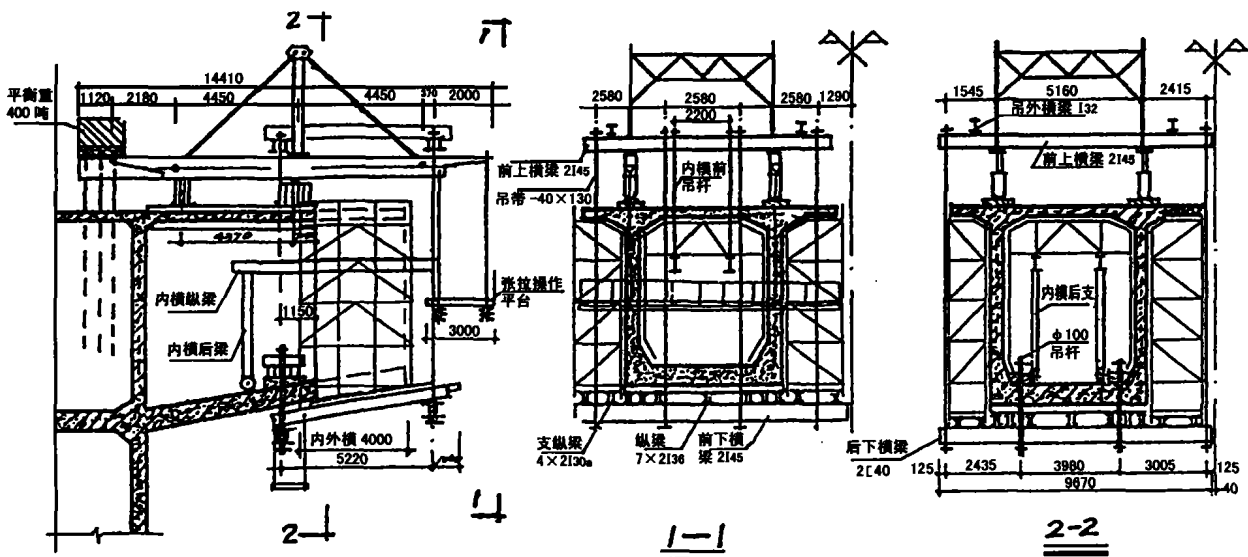


图14 斜拉挂篮图

抛物线各种不同坡度要求。

混凝土重量由纵梁传到前后下横梁上(前后下横梁由2I40#槽钢组成),其中一部分重量由悬吊的前六根垂直吊带传至斜拉组合梁,吊带与下横梁连接及吊带升降构造见图15,而另一部分重量由后吊杆传至已浇混凝土箱梁上,后吊杆是由 $\phi 110\text{mm}$ 的45号钢组成,其螺纹为T100 \times 12-3。吊杆下面吊着后下横梁,上面通过扁担梁搁在两个砂筒上,见图16。

(2) 斜拉组合梁系统

斜拉组合梁是斜拉挂篮的主要承力结构,它由两根主梁、立柱和钢带等组合而成。主梁上下翼缘为 400×22 的16Mn钢板,两块腹板为12mm厚钢板,组合成箱型梁。箱梁两侧翼缘各伸出113mm,梁高800mm,立柱为2I30c槽钢加缀板组成。钢带为16Mn钢板割制,断面为 -120×40 。斜拉钢带与主柱、主梁均采用销接,其销子为20CrMnTi制, $\phi 60\text{mm}$ 直径。组合梁为满足施工荷载抗倾覆需要,设置了锚固部分;为了空载时行走稳定需要,在主梁尾部设置了平衡重,见图17。

(未完待续)

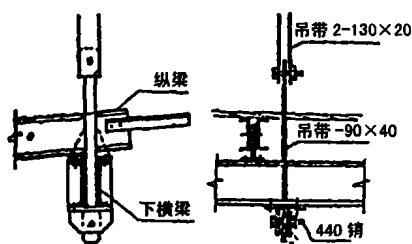


图15-1 吊带与下横梁连接图

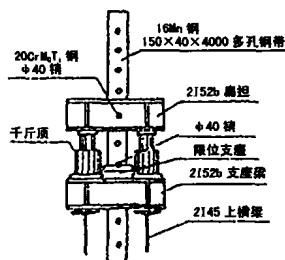


图15-2 吊带升降构造图

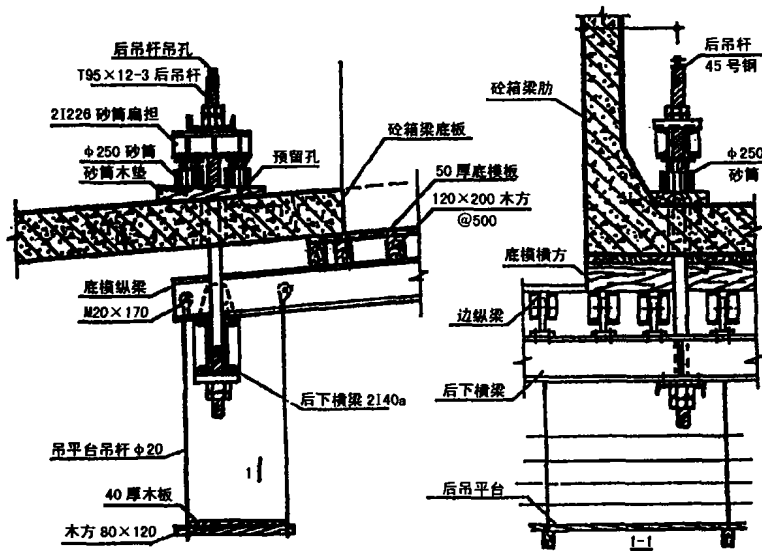


图16 后吊杆连接构造图

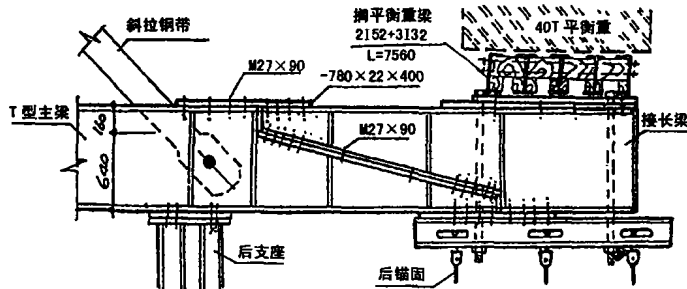


图17 斜拉挂篮尾部构造图