

文章编号: 0451-0712(2005)11-0045-06

中图分类号: U448.275

文献标识码: B

五河口斜拉桥主梁悬浇施工技术

丁如珍

(江苏省淮安市高速公路建设指挥部 淮安市 223001)

摘要: 五河口斜拉桥为预应力混凝土双塔双索面斜拉桥,双向六车道,主梁宽度为 38.6 m,在目前国内同类型已建成的桥梁中宽度位居第一,重点介绍该主梁采用宽为 41.5 m 的牵索式挂篮悬浇的施工技术及主要施工难点。
关键词: 斜拉桥; 主梁

1 工程概况及其特点

五河口斜拉桥是宿淮高速公路的重点工程,桥梁全长 2 062 m,分为主桥与引桥 2 个部分,主桥桥型布置为 152 m+370 m+152 m,为预应力混凝土双塔双索面全漂浮体系斜拉桥,桥梁全宽为 38.6 m,双向六车道。H 形索塔,索塔基础采用群桩基础,每塔布置 46 根桩径为 2.5 m 的钻孔灌注桩,桩长为 95 m,承台平面尺寸为 49.5 m(横桥向)×33.1 m(纵桥向)×6.0 m(厚),主梁宽为 38.6 m,其宽度在目前国内同类型已建成的桥梁中位居第一。合同工期为 30 个月。

1.1 主梁断面设计

主梁采用 C60 预应力混凝土结构,每个索塔区 44 m 范围梁段以及边跨 31.6 m 密索区梁段为支架

现浇,3 个合拢段采用吊架悬浇,其余均采用牵索式挂篮悬浇。索塔区 44 m 范围梁段采用钢管直接支撑在承台上作为支架进行现浇,26 号墩边跨长为 31.6 m 的密索区梁段采用钢管桩打入河床作为支架基础进行现浇,29 号墩边跨长为 31.6 m 的密索区梁段采用碗扣式钢管支架支撑在经处理后的土基上作为支架进行现浇。本文重点介绍超宽幅主梁悬浇方面的主要施工技术及其施工难点。

全桥主梁共划分了 105 个块件,分为挂篮悬浇、支架现浇和合拢块件 3 种类型。挂篮悬浇块件为 86 个,其中,标准节段为 82 个,非标准节段为 4 个;支架现浇块件为 16 个,其中,在 2 个塔区梁段块件共计 14 个,2 个边跨支架现浇段;合拢块件 3 个,标准节段长度为 6 m,合拢段长度均为 2 m。

收稿日期:2005-04-07

A Study of Seismic Performance for Guanhe Cable-Stayed Bridge

YE Ai-jun¹, HUA Xin², HAN Da-zhang²

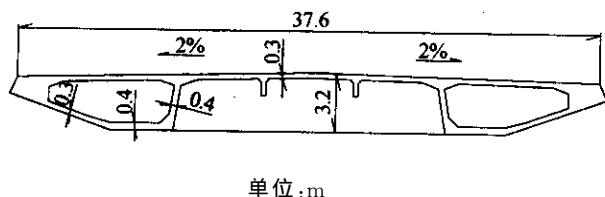
(1. Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Communication Planning and Design Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210005, China)

Abstract: At present, it is difficult to carry out the seismic design of a cable-stayed bridge, for there is no seismic design specification to abide by. The example of the Guanhe Cable-Stayed Bridge is taken in this paper, the seismic performance analysis is introduced, including choice of seismic design criterion, modeling of the bridge, dynamic characteristic analysis, seismic input motions, seismic response analysis, seismic performance check and approach to seismic measures, moreover. The long period issue of the seismic input motion is discussed.

Key words: cable-stayed bridge; dynamic characteristic; seismic response; seismic performance

主梁采用双边箱断面,中心梁高为 3.2 m,厚为 0.3 m,桥面设 2% 的横坡,边箱箱底板宽 4.0 m,三角部分宽 6.5 m,标准段底板、腹板厚为 0.4 m,三角部分底板、顶板厚为 0.3 m,索塔区梁段桥面板及箱梁顶板、腹板加厚至 0.6 m,三角部分底板厚为 0.45 m,标准节段断面如图 1 所示。边跨密索区梁段长度为 2.5 m,截面型式为箱形梁,并在箱内填入铁砂混凝土进行压重。为改善桥面板的受力,主梁桥面板设 2 个小纵梁,梁高为 0.7 m,宽度为 0.3 m。



单位: m

图 1 主梁标准节段

每对斜拉索与主梁相交处均设置横梁,横梁在桥梁中心线处高为 3.2 m,拉索处横梁厚度有 0.6 m、0.55 m 和 0.35 m 3 种,端部无索区 3.4 m 范围内设置端横梁,全桥横梁均采用预应力混凝土结构。

1.2 主梁斜拉索设计

主梁共设计 124 对平行钢绞线斜拉索,采用 OVM 250 系列环氧涂层钢绞线拉索及相应的锚具,钢绞线拉索采用 4 层防护体系,共有 5 种类型的斜拉索。斜拉索在主梁上的标准索距为 6 m,边跨 B20~B30 索的索距为 2.5 m。斜拉索在索塔上的标准索距分别为 1.5 m 和 2 m,斜拉索的两端均为张拉端锚具。

1.3 主梁结构特点及主要施工技术难点

根据主梁设计情况,可以形象地将主梁特点概括为:一宽(梁的宽度最宽 38.6 m)、二高(混凝土标号高、施工控制要求高)、三多(断面型式多,节段数量多、预应力束(筋)种类较多)、四紧(工期紧、资金紧、安全形势紧、质量控制紧)。针对主梁的上述特点,在施工中有以下主要技术难点:

(1) C60 混凝土施工中混凝土裂缝控制难题,尤其是夏季高温季节的施工以及支架现浇段的水化热控制问题;

(2) 主梁采用目前国内罕见超宽幅的牵索式挂篮悬浇,其施工控制非常困难,特别是主梁的线型控制问题;

(3) 超宽幅混凝土主梁的斜拉索索力精度与对称平衡控制难题。

2 挂篮结构设计及试验

2.1 主要设计参数

标准节段混凝土重量为 480 t; 非标准节段最大悬浇混凝土重量为 540 t; 人群及施工荷载为 1.5 kN/m^2 ; 风荷载: 挂篮工作状态风速 13.6 m/s (6 级风), 挂篮非工作状态风速 26.3 m/s ; 挂篮自身及模板重 215 t, 设计承载混凝土重量为 540 t, 荷重比 0.4。

2.2 挂篮主要构造

本挂篮由承载、牵索、行走、定位、锚固、止推、操作平台及预埋件(孔)系统等组成,见图 2、图 3 所示。

承载系统: 是挂篮的主体结构,由 2 根主纵梁、2 根中纵梁以及前中后 3 根横梁共同构成空间梁格体系,各梁均为钢箱梁。两主纵梁前部开槽,并在头部箱梁内设置以斜拉索在主梁上锚固点为中心的圆弧形承力面,以适应各节段斜拉索不同角度的变化。

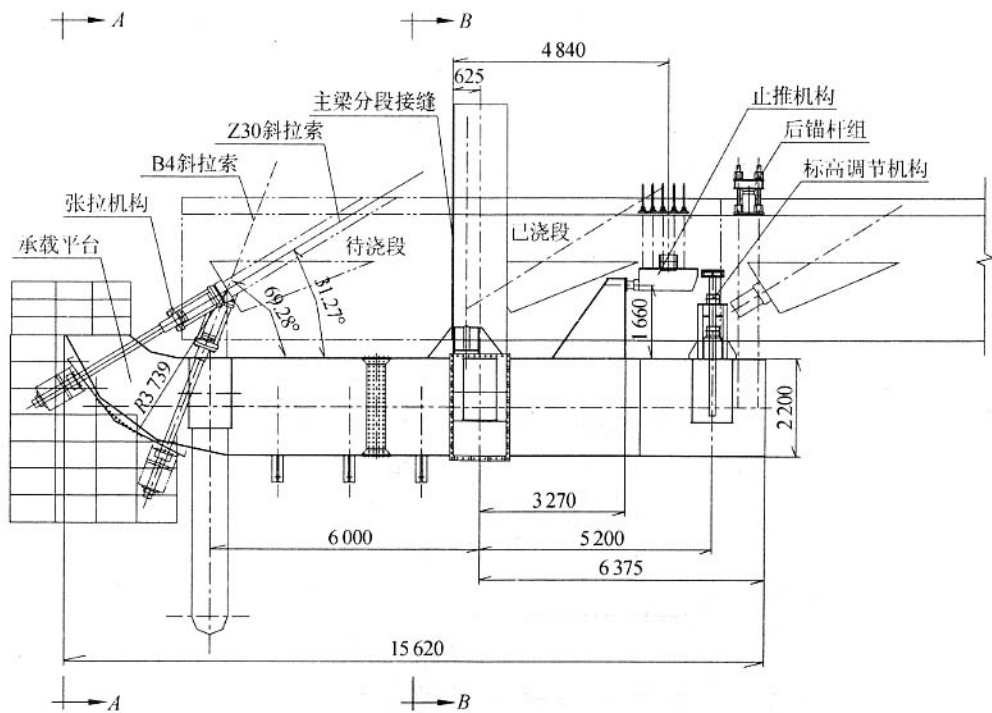
牵引系统: 其功能是在挂篮悬浇施工时,将斜拉索与挂篮连接起来形成前支点,在悬浇完成后,将斜拉索与挂篮分离,实现索力由挂篮至主梁的传递。牵索系统由张拉机构及斜拉索冷铸锚组成,张拉机构中的张拉千斤顶通过撑脚固定在垫块总成上,垫块可沿主纵梁头部曲梁内导轨上下滑动并锁定,因而前支点空间位置可调,以适应各节段斜拉索角度的变化。

行走系统: 主要是实现挂篮空载前移功能,由挂钩、行走反滚轮和滑轨钢板等组成。牵引机构由 2 台 $1\,000 \text{ kN}$ 千斤顶通过反推架及专用的滑轨钢板构成,同步牵引挂腿,带动挂篮前移,挂篮行走时由后走轮平衡前倾力。

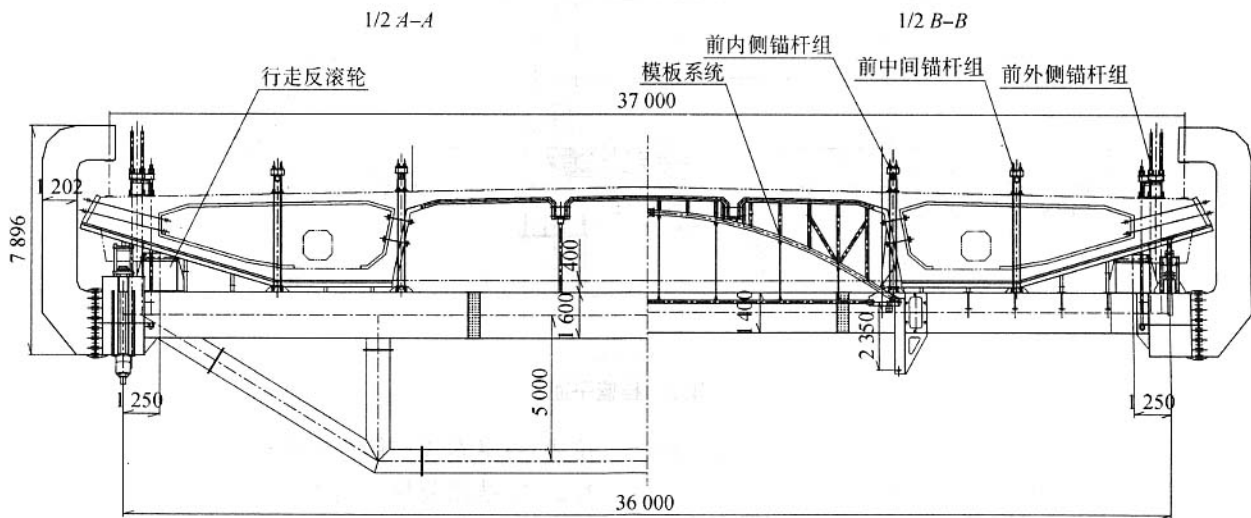
定位系统: 主要是实现挂篮浇注前的初定位及微调定位功能,由前锚杆组、止推机构及标高调节机构组成。挂篮由前锚杆组提升到位,止推机构承受斜拉索张力中的水平分力,标高调节机构放置在主纵梁尾部,由升降千斤顶及机械锁定装置组成。其作用是在挂篮定位时,调整挂篮前端的标高,进行立模,该机构可调范围为 $\pm 200 \text{ mm}$ 。

锚固系统: 锚固系统包括 6 组前锚杆组和 2 组后锚杆组。前锚杆组设在后横梁上,其作用是将承载平台承受的施工荷载传递到已浇梁段上,后锚杆组设主纵梁尾部,其作用是平衡挂篮斜拉索初张拉时产生的后倾力;同时,2 组锚杆组亦作为抗风安全锚固点。

止推系统: 由止推反力座、钢楔、挂篮主纵梁上的剪力键构成,斜拉索的水平力由主纵梁上剪力键



(1) 挂篮系统总图



(2) 标准节段挂篮浇注状态

单位: mm

图 2 挂篮构造

通过钢楔传至止推反力座上,再由其上的钢柱传至已浇的主梁上。

2.3 挂篮预压

在主梁开始悬浇之前,需对挂篮进行预压,目的是检验挂篮的承载力及其可靠性,了解其弹性变形及非弹性变形情况,从而确定施工时底模标高的预抬值。根据2付挂篮在专业厂家的生产情况,并结合

工期紧以及第1付挂篮预压结果,现场决定仅预压1付挂篮,预压分为4级,即最大块件重量的50%、75%、100%、120%,按实际构件进行模拟布载,在压载试验过程中,还对挂篮主要受力部位进行应力和挠度的测试。

2.4 挂篮主要特点

这种超宽幅挂篮具有构造简单、受力明确、结构

滚轮倒在侧面,使挂篮通过标高调节机构受力。

(2)安装前外侧锚杆组。

(3)缓慢同步提升前外侧锚杆组,同时标高调节机构螺杆下降,挂篮提升。

(4)安装止推机构,操作止推千斤顶,使挂篮平面定位,满足挂篮的纵、横向偏差不大于 10 mm。

(5)安装前中间锚杆组、前内侧锚杆组和后锚杆组。

(6)调整标高调节机构千斤顶,使挂篮精确定位,并满足预变形设置要求。

(7)连接张拉机构与斜拉索,形成前支点。

3.3 模板施工

以标准节段为例,模板系统由边箱梁底模及外侧模、横梁底模及侧模、顶模、中腹板侧模、边箱梁内模以及顶模拱架、支撑等组成。

(1)箱梁底模采用桁架支撑于承载平台上,横梁底模位于承载平台前横梁之上。

(2)中腹板侧模与顶模间采用铰连接,横梁以及边箱梁内外侧模采用对拉螺栓连接,横梁侧模支撑在承载平台上。

(3)中间顶模及边箱梁内顶模的后端,通过吊杆锚固在已浇梁段上,确保相邻两节段接缝平顺,避免节段之间错台的发生。

(4)顶模采用拱架支撑,挂篮前移前,松开对拉螺栓,将边箱梁外侧模、前端横梁侧模放置于承载平台上,然后将顶模随拱架在挂篮前移前下放至承载平台以下,挂篮前移到位后,再将拱架提升至设计标高位置,拱架通过铰固定在次纵梁的滑轨上。

(5)边箱梁内模为组合钢模,待底板和腹板钢筋施工完毕后,将预先拼装好的内模整体吊入,为便于拆装和搬运,施工时,注意模板的拼缝质量及排列规律性。

3.4 索导管制作与安装

3.4.1 索导管加工制作

索导管根据设计图纸下料,锚板中心孔洞先用比孔洞半径少 3 mm 的半径画线,采用自动切割机钻孔,经检查确认索导管尺寸符合设计要求后,在预先制作的定位三脚架上用一台 1 t 葫芦吊起索导管,使其与锚板垂直对中,然后对称点焊固定,再复测垂直度,符合设计要求后再补焊全缝,索导管加工垂直度小于 $h/1\,000$ 。按图纸要求焊上加劲板,固定螺旋筋。

3.4.2 索导管的安装与定位

索导管的定位,主要是指其位置和高程以及倾斜度,分为初定位和精确定位 2 个步骤。初定位时,用角钢焊支架使索导管架立,然后用钢筋使之与各钢筋骨架连接,使之固定,待主梁钢筋绑扎完毕后,再进行调整,进行精确定位,直至导管上下口坐标误差均在规范允许偏差以内,将索导管与各钢筋骨架焊接,并与底模点焊,以防振捣时钢导管偏位。

3.5 混凝土施工

3.5.1 混凝土配合比设计

主梁为 C60 混凝土,试配强度 $R_p = R_{\text{设}} + 1.645 \sigma$, 3 d 强度不低于设计强度的 85%。

(1)原材料满足苏高项管三(2004)17 号文《C60 高性能混凝土对原材料的技术要求》的相关规定。

(2)坍落度及扩散度:坍落度为 20~22 cm,满足泵送要求,扩散度为 40~50 cm。

(3)初凝时间:约 15 h。

3.5.2 混凝土浇注工艺

混凝土浇注前,在钢筋顶面布设混凝土表面标高控制点,控制混凝土表面的平整度和横坡及纵坡,混凝土采用半径为 20 m 布料机布料,浇注的顺序原则上从前至后(即由梁端向已浇段推进),从中心至两侧(从桥轴线向梁边)对称、均衡浇注。浇注时,阶梯形推进,依横梁、边箱梁、顶板的顺序分层浇注,分层厚度为 50 cm,钢筋和预应力密集处分层厚度控制在 20~30 cm,用 50 型和 30 型振捣棒加强振捣。混凝土浇注后,进行二次收面,以防混凝土表面开裂;每一节段混凝土的浇注方量应严格控制,使梁段的自重误差控制在 2% 以内,同时应注意波纹管的漏浆与堵管,并及时养生,尤其要注意混凝土的早期养生问题。

3.6 主梁斜拉索的施工

本桥采用环氧喷涂钢绞线作为斜拉索,其施工主要流程为:挂索前期准备→HDPE 圆管安装→单根挂索→单根张拉→混凝土浇注一半时进行第 2 次斜拉索张拉→索力转换进行第 3 次斜拉索张拉→循环调索→索箍、减装置安装→索体外防护→锚具防护。

4 主梁悬浇中应重点注意的几个问题

(1)高强度混凝土品质的控制。

为尽可能避免高强度混凝土产生裂缝,应不断优化混凝土配合比,可掺入适量的 I 级粉煤灰,尽可能降低水泥用量和水灰比,同时要注意选择质量稳

定的外掺剂,并通过试验,确定外掺剂掺入的方式,特别是掺入的时间顺序,现场混凝土除要控制坍落度外,还应控制其扩散度。

(2)超宽幅混凝土箱梁线形的控制。

由于主梁采用宽为 38.6 m 的双边箱梁结构,其重量远大于相同结构的钢箱梁,因此,其线形控制非常困难。总体而言,与钢箱梁相比,对于这样的混凝土梁而言,理论上要以应力控制为主、兼顾线形的控制原则。但在实际施工中,在不违背上述原则的前提下,应灵活掌握。如在斜拉索第 1、第 2 次张拉过程中,可以线形控制为主。因为此阶段的索力不是最终阶段的索力,只是一个过程量,而且施工节段的混凝土尚处于浇注阶段,甚至在混凝土已浇注完成后,如果出现较大的高程偏差时,也可以微调索力,但此时已浇注的混凝土必须进行复振。另外,箱梁横向线形控制也要高度重视。

(3)高强混凝土裂缝的控制。

由于主梁采用宽为 38.6 m 的双边箱梁结构,且是 C60 混凝土,因此主梁极易产生裂缝。为尽可能避免混凝土裂缝的产生,除要提高混凝土自身品质外,首先要满足高强度要求,但其强度不要超出设计要求很多,否则将增加水泥用量;其次,要提高混凝土的施工性能,尤其是它的高流动性,因为主梁钢筋非常密集,混凝土如果没有一定的流动性,极易产生混凝土的不均匀甚至出现空洞;再有,还要高度重视混凝土的养生,尤其是早期养生;最后要特别注意混

土的施工工艺,如 30 cm 厚的顶板混凝土可分层下料,尽可能使泵送混凝土中的石料下沉量小一些,顶面砂浆厚度小一些;在材料选择和配合比设计时,可按高性能混凝土技术要求,考虑其耐久性问题。

(4)索力精度及平衡的控制。

主梁的内力以及线形与索力密切相关,因此,在施工中,必须重视索力的精度与平衡问题,包括纵向与横向的对称与平衡问题。由于斜拉索采用的是环氧喷涂钢绞线,同一索内的每根钢绞线受力应均匀,现场控制在 2% 范围内。只有索力控制准确,主梁的内力以及线形才可能得到有效控制。

5 结语

鉴于五河口斜拉桥为预应力混凝土双塔双索面斜拉桥,最大悬浇块件重 540 t,且采用环氧喷涂钢绞线斜拉索、前支点挂篮悬浇施工,在施工中,其线形及混凝土裂缝均得到了有效控制,从而确保了大桥的工程质量,它的成功将为今后同类型桥梁建设提供宝贵经验。

参考文献:

- [1] 刘士林,等. 斜拉桥[M]. 北京:人民交通出版社, 2002.
- [2] 丁如珍. 宿淮高速公路五河口斜拉桥设计及主要施工难点[J]. 公路, 2003, (11).
- [3] JTJ 027-96, 公路斜拉桥设计规范(试行)[S].

Major Construction Techniques of Cantilevered Concreting for Main Girder of Wuhekou Cable Stayed Bridge

DING Ru-zhen

(Headquarters of Expressway Construction of Huai'an City of Jiangsu Province, Huai'an 223001, China)

Abstract: Wuhekou Cable-Stayed Bridge is a prestressed concrete cable-stayed bridge with twin pylons and twin cable planes. It is a float structure with six lanes and 38.6 m in width. At present, It is widest in those sort of bridges in China. In this paper, The major construction techniques and the key difficulty of construction of cantilevered concreting with casting traveller for main girder are described in detail. The casting traveller is 41.5 m in width.

Key words: cable-stayed bridge; main girder