

文章编号:0451-0712(2006)05-0011-04

中图分类号:U448.27

文献标识码:B

五河口预应力混凝土斜拉桥主梁的设计与施工

王永安¹, 姜竹生¹, 薛政群²

(1. 江苏省高速公路指挥部 南京市 210004; 2. 南京水利科学研究院 南京市 210024)

摘 要: 简要介绍了五河口预应力混凝土斜拉桥双边箱主梁的设计与施工。由于跨径大、桥面宽,设计和施工中碰到很多问题,本桥对这些问题的处理方法,可为今后类似的预应力混凝土斜拉桥的建设提供参考。

关键词: 预应力混凝土斜拉桥; 边箱梁; 挂篮; 悬浇; 设计; 施工

1 工程概述

五河口斜拉桥位于淮安西郊废黄河水系、淮河水系以及沂沭泗水系的结合部,是宿淮、宁淮高速公路共线段上跨越京杭大运河淮阴船闸远调站等多处航运、水利设施的一座特大桥,全桥长 2 062 m。该桥的建设对促进苏北地区的经济发展、完善江苏省干线公路网具有重要意义。大桥平面位于 $R=5\,500\text{ m}$ 的平曲线及直线上,纵面位于 $R_1=40\,000\text{ m}$, $R_2=20\,000\text{ m}$ 和 $R_3=23\,074.73\text{ m}$ 的竖曲线内。桥址区的工程地质及建设条件要求采取大跨、宽幅的桥型,最终拟定主桥采用双塔双索面双边箱全漂浮体系预应力混凝土斜拉桥,引桥采用装配式部分预应力混凝土连续箱梁。

主桥主跨为 370 m,两个边跨为 152 m,桥面宽 38.6 m,梁高 3.2 m,设计的主要技术参数为:

计算行车速度,120 km/h;

设计荷载,汽车—超 20 级,挂车—120;

风荷载,与汽车荷载组合的风力荷载,按桥面风速为 21.6 m/s 考虑;

温度荷载,设计合拢温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,体系升温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,体系降温 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$;

地震荷载,按地震基本烈度 7 度进行计算。

考虑以下 4 种荷载组合:

荷载组合 1,恒载+汽车;

荷载组合 2,恒载+挂车;

荷载组合 3,恒载+汽车+温度+沉降+风荷载+制动力;

荷载组合 4,恒载+地震荷载。

五河口斜拉桥主梁采用预应力混凝土双边箱断面,主梁断面见图 1 所示。

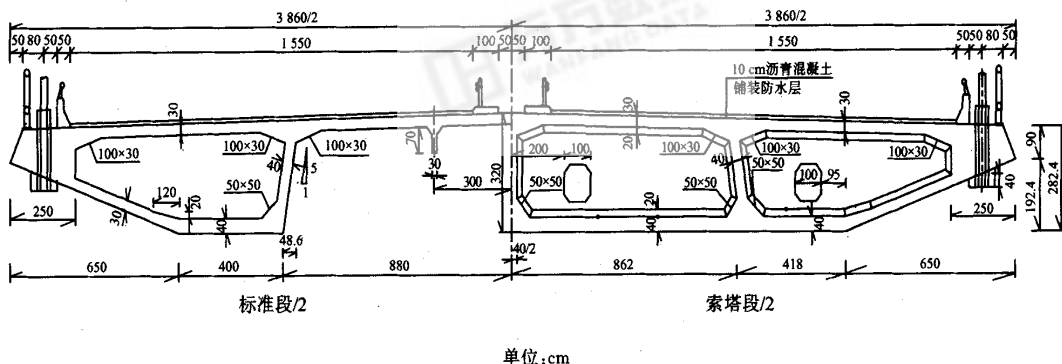


图 1 主梁双边箱断面

主梁采用 C60 混凝土,主梁中心高 3.2 m,桥面板厚 0.3 m,桥面板设 2% 的双向横坡。风嘴部分宽为

0.5 m。边箱箱底板宽 4.0 m,三角部分宽 6.5 m。主梁标准段长度为 6.0 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。在标准段两边箱间不设底板,顶板与腹板及三角区设置 $1.0\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ 的倒角,底板与腹板相交处设 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 的倒角。索塔区梁段长度为 20.0 m,该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。两箱间设底板,在与相邻的两个梁段设底板过渡。边跨密索区梁段长度为 2.5 m,截面型式为箱形梁,三角部分底板、顶板、腹板及桥面板厚度同标准段箱梁,与之相邻的两个梁段设底板过渡。根据结构计算分析,在箱内填入铁砂混凝土进行压重(密度按 3.5 t/m^3)。

为改善桥面板的受力,主梁桥面板设两个小纵梁,梁高为 0.7 m,宽为 0.3 m,纵梁与桥面板相交处设 $0.2\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ 的倒角。

全桥共划分了 123 个梁段,分索塔区梁段、标准梁段、无索区梁段、边跨密索区梁段和中、边跨合拢段。塔区梁段共 6 个,梁段长 10.0 m。标准梁段共 94 个,梁段长 6.0 m。边跨密索区梁段共 20 个,梁段长 2.5 m。中、边跨合拢段 3 个,长度均为 2.0 m。

每对斜拉索与主梁相交处均设横梁,全桥横梁共 8 种类型。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 三种。端部无索区 2.5 m 范围设置端横梁,全桥横梁均采用预应力混凝土结构。主梁内配置的纵向预应力束分为施工阶段预应力束和运营阶段预应力束两类。桥面板预应力束采用精轧螺纹粗钢筋,箱梁预应力束采用钢绞线及精轧螺纹粗钢筋。

横梁断面有几种形式,如图 2 所示。

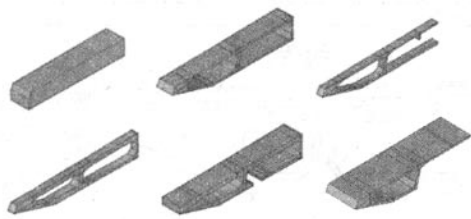


图 2 横梁主要断面形式

目前,本桥在国内预应力混凝土斜拉桥中主梁宽度是最大的,斜拉索索力产生的轴向力,在主梁中会出现较大的剪力滞现象。通过对主梁剪力滞的影响研究,得出主梁剪力滞系数为 1.096(中跨 29 号断面)~1.505(边跨 4 号断面),同时进行了节段风洞试验,确定桥梁结构的临界风速和抗风稳定。

2 主梁设计分析与结构验算

2.1 主梁设计分析

采用同济大学桥梁博士程序进行施工及运营阶段全桥总体三维结构分析,按主梁(考虑主梁内预应力作用)、索、塔共同作用情况,分别计算恒载、活载、风载、基础沉降(主塔基础沉降按 2.5 cm 考虑)、温度荷载和地震作用下产生的荷载效应。全桥共分为 528 个单元(其中:328 个梁单元, 2×38 个塔单元、 2×62 个索单元),施工验算共分 219 个工作阶段考虑。

对主梁的重要受力部位,在纵向取 3 个梁段,按总体分析对应的局部加载和边界断面内力,采用 SUPER 系列程序按三维空间单元进行局部受力模拟与分析。

对上塔柱的拉索锚固区也取索力最大的 3 个节段,采用 ANSYS 程序按空间结构进行模拟,索力及边界断面内力取全桥总体结构分析。其结果反映结构应力的真实情况。

动力分析采用三维有限元模型按空间梁单元进行模拟,用反应谱法进行,地震力计算分别考虑横桥向和竖桥向地震效应,得到主要动力特性见表 1。

表 1 动力特性

振型阶数	频率/Hz	振型特征
1	0.093 01	主梁纵飘
2	0.269 06	主梁一阶对称竖弯
3	0.354 25	主梁一阶反对称侧弯
4	0.372 27	主梁一阶反对称竖弯
5	0.409 99	27 号桥塔两个塔柱同向侧弯
6	0.413 59	28 号桥塔两个塔柱同向侧弯

2.2 主梁结构验算

在受力分析基础上,计算在各种不利组合作用下,主梁的弯曲正应力、剪应力、扭转剪应力、畸变剪应力。验算主梁在最不利组合下的竖向、横向挠度及稳定性,验算横梁在不利组合下的应力及变形,以及验算在各种不利组合下主梁各局部构造的弯曲正应力、剪应力、扭转剪应力,并对横梁的压曲稳定性进行验算。桥面板还计算在竖向荷载及温度荷载不利组合作用下的变形。

结果表明,桥面板在横桥向最大正弯矩为 $49.2\text{ kN} \cdot \text{m}$,位置在两横梁中间活载作用点处,最大负弯矩为 $-50.1\text{ kN} \cdot \text{m}$,位置在小纵梁处。计算结果,纵向顶、底板需配 $\phi 20$ 钢筋的箍筋,间距为 15 cm,实际按 10 cm 间距设置;横向顶、底板需配

φ16 钢筋的箍筋,间距为13 cm,实际按10 cm 间距设置。配筋满足设计要求。

在恒载+活载作用下,横隔梁最大正应力为27.8 MPa,取整个横梁截面的正应力为27.8 MPa,横梁稳定系数为47.448 6。配筋计算,需选用4束19φ15.24 钢绞线可达到设计要求。主梁配筋验算结果证明,结构不存在弹性失稳可能,纵向与横向刚度比较匹配,变形小于规范规定值。

3 主梁施工

主梁标准节段长为6 m,采用前支点挂篮对称现浇施工,0~3 号块和边跨密索区、端横梁采用支架现浇施工。

(1)先在支架上浇注0~3 号块,张拉纵向、横向预应力束后,在桥塔下横梁上相对于主梁索塔处横

梁的位置上,两边浇注混凝土块和预留预应力粗钢筋,中间封闭砂垫层,实施塔梁临时固结后,依次完成0~3 号块的现浇。

(2)主梁共有94 个悬浇段,每段长6 m;3 个合拢段,每段长2.0 m。由于主梁宽度大,标准段重量达450 t 左右,悬浇最重梁段重540 t,采用环氧喷涂钢绞线拉索和前支点挂篮现浇施工,为此施工单位进行了挂篮研制。挂篮自重为224 t。前支点挂篮施工速度快,线型、内力控制方便。挂篮设计考虑了挂篮张拉及索力转换装置,留有空间,可实现夹片反顶放松,预防斜拉索低应力失锚。内模、支架采用钢管系杆拱体系,刚度大,自重轻,并可下放,便于挂篮快速下放、行走。实测挂篮最大下挠为3 mm;前横梁最大下挠37 mm,最不利状态下强度储备安全系数为1.53。具体施工流程如图3 所示。

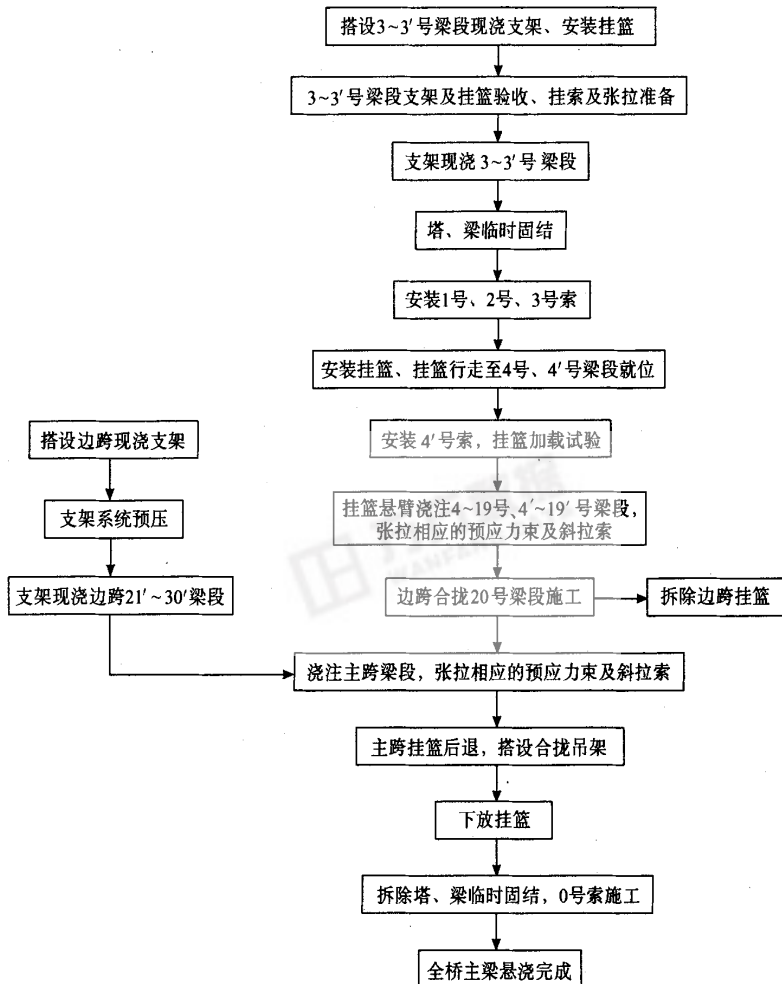


图3 施工流程

混凝土浇注按从前向后,从中间向两边,对称、均衡施工。按照先底板,后腹板、顶板的浇注顺序,50 cm 一层,布料、振捣口要合理分布,保证索塔同侧两边和索塔两侧同时对称施工。

4 高性能混凝土的施工控制

根据工程质量、工期要求,主梁采用整体压模反

拉模板体系进行混凝土浇注,同时设计了自流动性、穿透性好的 C60 泵送混凝土,要求 3 d 龄期抗压强度大于设计强度的 85%,其拌和物坍落度为 21 cm ± 2 cm,扩散度为 45~50 cm,1 h 损失小于 2 cm,初凝时间大于 15 h。根据夏、冬季气候特点,对配合比进行相应调整,经南京水科院及施工、监理单位反复试验,得出如表 2 所示的配合比供现场使用。

表 2 C60 泵送高性能混凝土配合比

序号	配合比	胶凝材料/kg		外掺剂/kg		水 kg	坍落度/cm 21±2	1 h 后坍落度损失 (<2 cm)	扩散度/cm (45±5)	抗压强度/MPa		备 注
		水泥	粉煤灰	UC-2	马贝					3 d	7 d	
1	1:1.3:2.04:0.316:0.013	464	52		6.71	163	21	0.3 h, 3 cm	50	54.3	59.4	京阳 52.5(R) 水泥
2	1:1.21:1.9:0.316:0.013	490	54	6.8		172	20	2	43	56.9	65.5	巨龙 52.5(R) 水泥

采用品质好的 5~25 mm 石灰岩碎石,石子强度高,吸水孔隙率低;宿迁砂,细度模数为 2.6;I 级粉煤灰。材料满足省高指对高性能混凝土原材料品质检验指标的要求。该配比冬、夏季 3 d 弹性模量大于 3.92×10^4 MPa,9 d 天徐变度小于 21×10^{-6} MPa,有效地控制了主梁施工线型,确保了 90 d 预应力损失小于 8%。

高性能混凝土改善了主梁施工条件,减轻了工人劳动强度,确保泵送可靠,为顺利施工创造了条件。通过合理选用高效外掺剂,控制了坍落度、扩散度和坍落度损失,确保了不同季节的正常施工。足够的初凝时间避免了悬浇中挂篮变形对混凝土的影响,保证了施工缝处新老混凝土的整体性。混凝土极易浇注,大大提高了混凝土的密实度,从而保证了混凝土的耐久性和内外质量。通过减少水泥用量(< 500 kg),夏季施工采用早拆、早洒水、早覆盖;冬季施工采用晚拆、薄膜覆盖,并加设防裂钢筋网,及二次先后张拉预应力束等施工措施,很好地解决了混凝土的裂缝问题。

另外,在冬季施工中还采用加热水、铺设保温模板来确保主梁混凝土的入模温度。对挂篮三边封闭改造和腔室内外加设电器加温箱,使主梁腔室内外温差符合规范要求,取得了很好的效果。

5 结语

五河口斜拉桥是江苏省第一座使用环氧喷涂钢筋线的预应力混凝土斜拉桥,主梁宽度在同类桥梁中为国内第一。前支点挂篮施工中,采用钢箱梁承重、钢管系杆内模拱架体系,开发了完整的提升、锚固、行走、定位调正及施工工艺。整个挂篮结构轻盈、

设计合理,为同类型大跨预应力混凝土斜拉桥施工可以借鉴。

主梁混凝土浇注采用封闭式(留有下列口、振捣口)压模反拉加内撑结构,一次性浇注 C60 泵送混凝土,时间快、压力大,混凝土自密性、均匀性好,可有效控制混凝土浇注的平衡施工,并确保浇注混凝土的内外质量。

通过选用质量好的石子、水泥和外掺剂,配制适合工作条件的高流动、大扩散、早强、缓凝的高性能混凝土,混凝土质量稳定,便于及时浇注和预应力束张拉,为确保主梁的施工质量,加快施工进度,提供了可靠保证。

采取不同的养护方法,解决了不同季节混凝土的收缩裂缝,尤其是冬季施工的措施合理、简便、得力,使主梁混凝土在冬天也能正常进行浇注。

掺入适当比例的粉煤灰,减少水泥用量,加入表面防裂钢筋网,及时分次张拉预应力束,可有效减少各类有害裂缝的发生。

通过五河口斜拉桥的建设,为特宽预应力混凝土斜拉桥的设计、施工提供了可借鉴的经验,对今后大跨宽幅预应力混凝土斜拉桥的发展起了推动作用。

参考文献:

- [1] 中交第一公路勘察设计研究院. 五河口斜拉桥施工图设计[Z]. 2003.
- [2] 中港集团二航局五河口斜拉桥项目部. 五河口斜拉桥主梁施工方案[Z]. 2004.
- [3] 南京水利科学研究院. 五河口斜拉桥、京杭运河特大桥高性能混凝土试验研究[Z]. 2004.

文章编号:0451-0712(2006)05-0015-05

中图分类号:TU528.04

文献标识码:B

五河口斜拉桥主梁高性能混凝土试验研究

刘世同¹, 王永安¹, 陆采荣², 单国良²

(1. 江苏省高速公路建设指挥部 南京市 210004; 2. 南京水利科学研究院 南京市 210024)

摘要: 针对五河口斜拉桥箱梁,重点研究了粉煤灰、粉煤灰和硅粉复掺、纤维对高性能混凝土物理力学性能和耐久性能的影响。试验研究结果表明,采用粉煤灰和高效减水剂的双掺技术,配制的C60高性能混凝土具有良好的工作性能、力学性能和耐久性能,尤其是具有较小的干缩变形,能满足工程进度要求的3d张拉预应力束和大体积混凝土的温控要求,高性能混凝土在五河口斜拉桥箱梁上得到了成功应用。

关键词: 高性能混凝土; 粉煤灰; 双掺技术; 工作性; 耐久性; 工程应用

五河口斜拉桥是江苏省宿迁~淮安高速公路的一座特大型桥梁,全长2 062 m,主桥为152 m+370 m+152 m的预应力混凝土双塔双索面预应力混凝土斜拉桥,桥面宽38.6 m,在国内同类型桥梁中位居第一。在国内如此大跨径桥梁中采用预应力混凝土箱梁并不多见,作为薄壁结构的箱梁使用高强预应力混凝土尚存在着诸多难点,并且0号块底板最大厚度为0.8 m,一次性浇注387 m³已是大体积混凝土,其温控防裂问题突出。采用粉煤灰混凝土是温控防裂的有效途径之一,但《粉煤灰混凝土应用技术规范》GBJ146-90第3.0.1条规定:I级粉煤灰适用于跨径小于6 m的预应力钢筋混凝土。

在跨径达370 m的五河口斜拉桥主箱梁上掺用粉煤灰或其他活性掺合料,在技术上突破了现行有关技术规范,需要通过生产性试验进行专门的技术论证。

1 试验原材料及试验方法

1.1 试验原材料

在对已有工程经验的系统研究基础上,提出了对五河口斜拉桥C60高性能混凝土原材料的技术要求,并据此进行了材料筛选。

水泥:为巨龙牌52.5(R)水泥,初凝时间2 h 7 min,终凝时间3 h 59 min,28 d抗压强度71.6 MPa,28 d抗折强度14.1 MPa;

收稿日期:2006-03-10

Design and Construction of Main Girder of Wuhekou PC Cable-stayed Bridge

WANG Yong-an¹, JIAN Zhu-sheng¹, XUE Zheng-qun²

(1. Jiangsu Provincial Department for Expressway Construction, Nanjing 210004, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: In this paper the design and construction of the main PC girder with double side box girders in the Wuhekou Cable-stayed Bridge is introduced. Because of its longer span and a very wide deck, as well as the using of Epoxy coating parallel steel strand, many technical problems have to be concerned. The informations are reference for the design and construction of the similar PC cable-stayed bridge.

Key words: PC cable-stayed bridge; side box girder; suspended wagon; cantilever placing method; design; construction.