

南京长江第四大桥北锚碇工程 施工关键技术

王承江¹, 牛亚洲², 田欣², 荆刚毅²

(1. 南京第四大桥建设指挥部, 南京 210000; 2. 中交第二公路工程局有限公司, 西安 710069)

[摘要] 南京长江第四大桥北锚碇为重力式锚碇, 大体积混凝土结构, 在国内悬索桥中首次采用了分布式锚固系统。本文详细介绍了北锚碇工程施工中大体积混凝土温度控制技术、锚固系统安装施工技术以及高精度测量定位关键技术。

[关键词] 锚碇; 大体积混凝土; 温度控制; 锚固系统

[中图分类号] TU755 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)08-0031-06

1 前言

悬索桥锚碇按结构可分为重力式锚碇、隧道式锚碇和岩锚等, 以及基于以上几种类型的复合式结构锚碇等。锚碇是地锚式悬索桥锚固主缆索股的重要结构物, 其基本功能就是通过主缆索股锚固系统将主缆拉力传递给锚体, 再通过锚体将荷载传递至基础。

我国从20世纪末期开始大规模修建大跨径悬索桥, 目前世界上已经建成的悬索桥跨径排名前十名中, 我国占据了5座, 其中南京长江第四大桥以主跨跨径1 418 m位居世界第六。伴随着这些桥梁工程的修建, 悬索桥的锚碇建造技术也在快速发展。

1.1 工程简介

南京长江第四大桥北锚碇为完全重力式锚碇结构, 地面以上部分呈三角形, 主要结构分为4个部分, 分别是锚体底板(沉井基础顶板)、锚块、散索鞍支墩、锚室顶板及前墙、侧墙等。锚体底板、锚块是锚碇工程中最重要结构, 均属于大体积混凝土结构。锚固系统采用分布式钢筋混凝土榫锚固系统。锚体总体构造见图1。

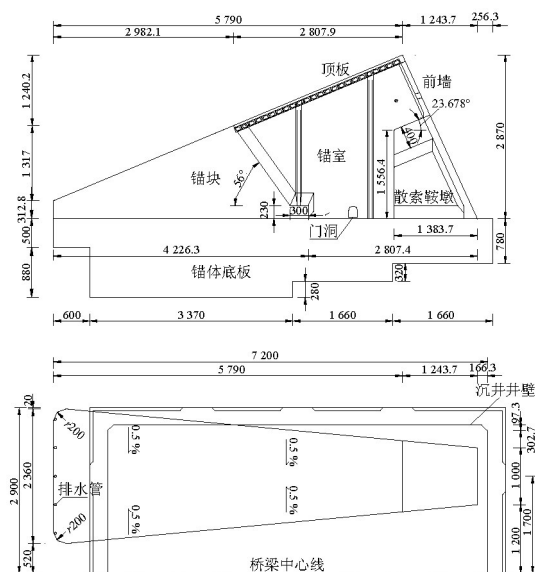


图1 北锚碇锚体构造(单位:cm)
Fig.1 North anchorage structure (unit: cm)

1.2 工程技术难点

南京长江第四大桥北锚碇工程规模巨大, 其平面尺寸长边长为72.0 m, 短边长为58.0 m, 施工存在以下技术难点。

[收稿日期] 2013-05-15

[作者简介] 牛亚洲(1978—), 男, 陕西户县人, 高级工程师, 研究方向为桥梁深基础施工及悬索桥上部结构安装施工技术;

E-mail: wind6688@163.com

1) 锚体混凝土浇筑方量大,总方量达58 782.6 m³,为典型的大体积混凝土,具有一系列大体积混凝土的施工问题,包括温度应力控制、分层分区施工等。

2) 北锚碇锚固系统采用新型的分布式钢筋混凝土榀锚固系统,锚固钢板最大单元件长23 m,高4.8 m,重约28.7 t,整个锚固钢锚梁体型庞大,转运及吊装易变形,安装时受支撑体系、温度等因素影响,安装施工难度很大;钢筋混凝土榀为锚固系统的关键受力部位,锚固系统安装位置对钢筋绑扎及混凝土浇筑工艺与质量的要求很高。

3) 锚固系统为空间结构,安装精度和安装质量要求很高,测量定位技术复杂。

2 锚固系统施工关键技术

2.1 大体积混凝土温控措施

为保证锚体大体积混凝土施工质量,防止产生温度裂缝,现场采取了平面分块,竖向分层的施工方法,各块之间设置后浇段。

2.1.1 锚体分层分块

锚体分块的目的是为了减小混凝土每次浇筑的平面尺寸。锚体分层以降低水泥水化热引起的温升值,防止有害裂缝的产生,并充分考虑锚固钢板安装时的钢板区域混凝土施工为原则。锚体分成对称的A、B、C、D四大块,块段之间设置后浇段,纵、横向后浇段宽度均为2.0 m。锚体平面分块、竖向分层示意如图2所示。

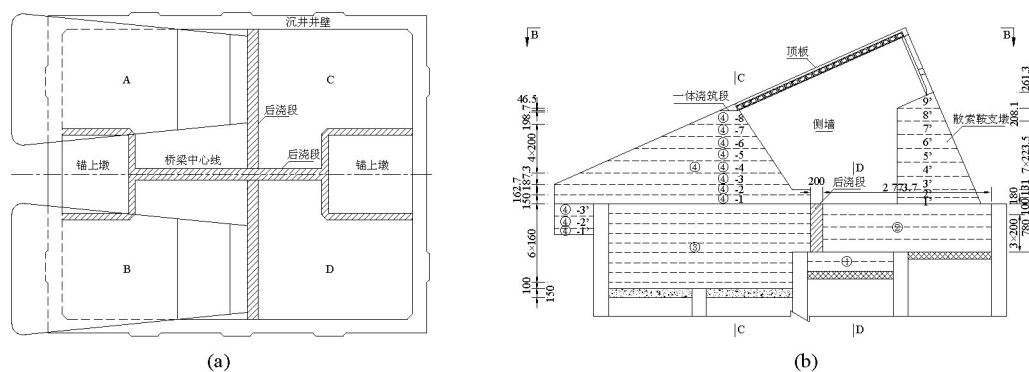


图2 锚体分块、分层图(单位:cm)
Fig.2 Anchorage level division (unit: cm)

2.1.2 温控措施

南京长江第四大桥北锚碇工程大体积混凝土施工,主要采取了以下技术措施。

1) 使用低水化热的矿渣水泥。

2) 改善混凝土配合比,掺用优质Ⅱ级粉煤灰,并提高掺量至30%以减少水泥用量,采用高效缓凝减水剂,以延缓混凝土内部的水化热。

3) 使用管道冷却,按分层厚度的不同布置1~2层 $\phi 32 \times 2.5$ mm冷却水管,布设层间距及管间距为1 m,按照温控监控指令及时通水冷却。

4) 在每层混凝土的底面布设防裂钢筋,以防止裂缝的产生。

5) 在混凝土内部埋设测温元件,对温度进行监控并及时调整温控措施。

6) 利用周边模板作为围挡采用蓄水养生,蓄水养生具有一定的隔热保温效果,可以推迟混凝土内部温度的迅速散失,可以在指定的日期内控制混凝土

表面温度与内部中心温度或外界气温的差值,防止混凝土的开裂。蓄水深度为30 cm,蓄水时间为2 d。

2.1.3 温控标准

水泥水化热导致混凝土块体内外温度上升不均,是产生温度应力的直接原因,计算温度应力的必须首先求出混凝土的温升值,提出温度控制标准。结合现行桥涵施工规范,南京长江第四大桥北锚碇工程按照每个块体的温控计算分析结果,提出了本工程的温控标准。

1) 混凝土内部允许最高温度为60℃。

2) 浇筑温度:控制浇筑温度对降低混凝土内部最高温度具有重要意义。应控制混凝土浇筑温度不大于 $T+4$ ℃(T 为浇筑期间平均气温),入模温度不超过25℃。

3) 内外温差:为防止混凝土内外温差过大引起表面裂缝,控制混凝土内外温差不超过20℃。

4)降温速率:控制降温速率可使混凝土内部温度应力得到及时释放,对减少温度裂缝具有非常重要的意义,北锚碇混凝土最大降温速率小于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。

2.1.4 混凝土内部温度监测

大体积混凝土施工过程中,需对混凝土内部温度进行全程监测,同时还需测试环境温度、冷却水管的进出口水温等,以便比较预计温度与实际温度,进行温控措施的调整。测温元件预埋设在拟浇的混凝土层中,依浇筑平面尺寸的不同埋设数量不等,图3为一典型测量平面布置图。

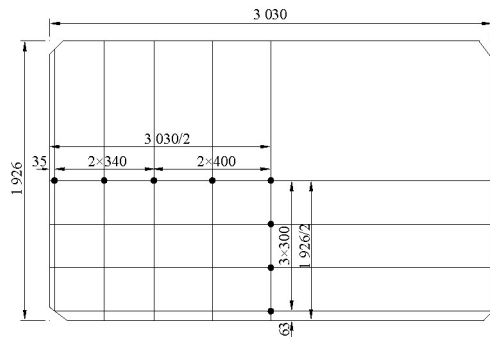


图3 锚体分块第三层测温点布置图(单位:cm)

Fig.3 Temperature monitor device layout (unit: cm)

2.2 分布式锚固系统安装

在传统的钢框架后锚梁锚固系统经验的基础上,南京长江第四大桥锚碇工程中,创新采用了“分布式钢筋混凝土榫”锚固系统。即在后锚梁锚固钢板后部布置钢筋混凝土剪力连接键,通过剪力键将索股上的拉力逐次相对均匀地传入锚体混凝土中,有效降低钢材消耗,大大增加了锚固系统向混凝土中的分散传力效果。

南京长江第四大桥主缆索股经过散索鞍发散后,通过锚固箱与锚固板连接,单侧锚体共9块锚固板,锚固板厚度 28 mm ,采用Q345D材质。其中B1分4块,B2、B3均分3块,B4分2块,B5分1块,整体放样拼装制作。索股通过锚固箱与锚固板连接,分四索股锚固、双索股锚固和单索股锚固3种锚固方式。为方便索股张拉,锚固箱后部均设置有千斤顶张拉反力架。

B1~B5锚固板后部布置钢筋混凝土榫剪力连接键。钢筋直径为 16 mm 、 20 mm 两种规格,钢板分别开孔 45 mm 、 60 mm 。钢筋混凝土榫剪力连接键钢筋居于钢板开孔中心,以保证剪力连接键充分发挥其性能。为确保锚固板与混凝土无粘结接触,使

索股力顺畅传递至锚固区域,除混凝土榫剪力键锚固区域外,混凝土内锚固板均设置钢板防护设施。锚固系统总体布置图如图4所示。

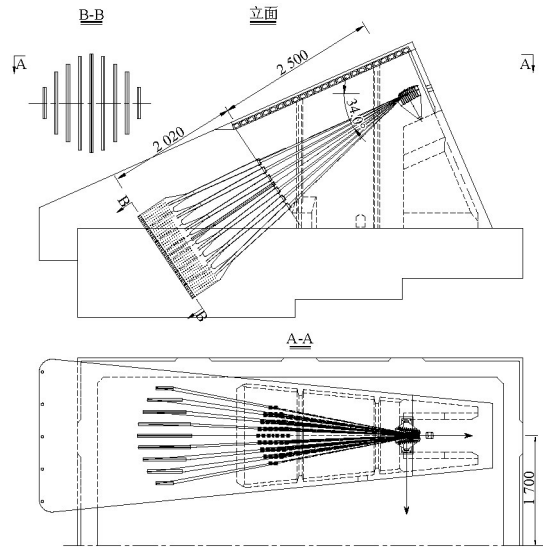


图4 北锚碇锚固系统总体布置图(单位:cm)

Fig.4 North anchorage anchor system layout (unit: cm)

2.2.1 锚固钢板吊装

锚固钢板主要采用 200 t 履带吊进行吊装,另外配 50 t 履带吊进行辅助吊装。为确保锚固钢板在吊装过程中不产生变形,采用双吊点钢扁担梁吊具,其结构形式见图5。吊具下端钢丝绳设置 15 t 手拉葫芦,通过葫芦调整钢丝绳长度来调整锚固钢板安装角度。单片锚固钢板单元设置6个起吊点,吊点设置在锚固钢板上端、连接支架附近以及锚固钢板底部刚度较大的位置。 200 t 履带吊为主起吊点, 50 t 履带吊起吊点均为辅助吊点,吊点布置如图6所示。

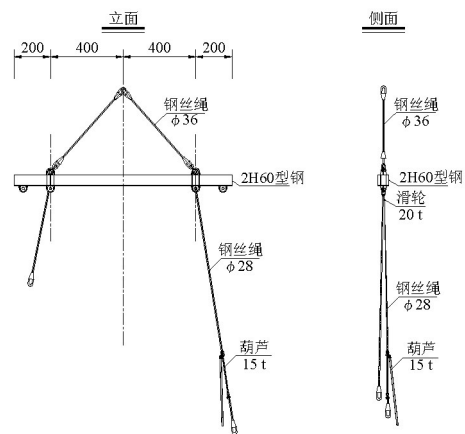


图5 锚固钢板起吊吊具结构图(单位:cm)

Fig.5 Anchor steel girder lifting equipment (unit: cm)

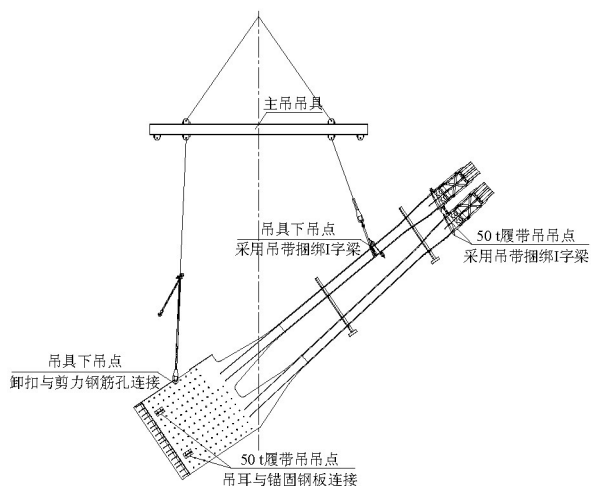


图6 锚固钢板起吊吊点布置图

Fig.6 Anchor steel girder lifting point layout

2.2.2 锚固系统定位支架设计

为完成锚固钢板精确定位,单片锚固钢板第一层定位共布置4处临时支架,具体布置如图7所示。第二层及以上各层锚固钢板直接定位在下一层锚固钢板之上,不再设置临时支架,考虑到不确定因素,拟在锚固钢板前端设置临时支架4。

支架1与支架2设置在锚固钢板底部,并各设置1处支撑点,同时支撑点可以实现调整锚固钢板。支架3设置在锚固钢板自身所带板中支架、板中a支架下方,立柱采用直径为90 cm的混凝土柱,与锚固钢板连接构造底端对应连接,支架3处支撑点可以通过千斤顶对锚固钢板的角度进行调整。支架4布置在两两锚固钢板之间,主要用于第一层以上锚固钢板端部的侧向定位。

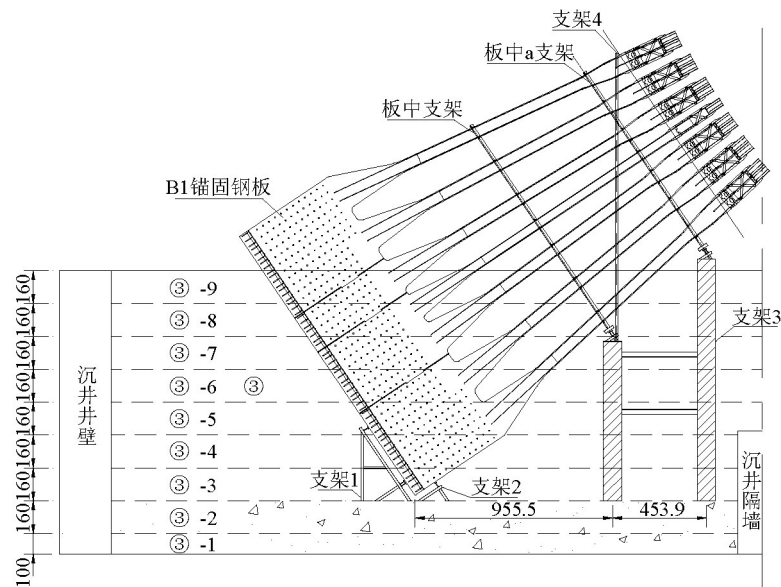


图7 锚固钢板定位支架布置图(单位:cm)

Fig.7 Anchor system frame layout (unit: cm)

2.2.3 锚固钢板安装定位

第一层锚固钢板是各片锚固钢板安装的基础,同时B1锚固钢板第一层是整个锚固钢板安装的基础,其他锚固钢板第一层侧向定位以B1第一层锚固钢板为基础,因此,必须牢靠固定B1第一层锚固钢板。首层锚面钢板安装示意图如图8所示。

起吊第一层锚固钢板安装就位后,在支架4顶部挂手拉葫芦,侧向临时固定锚固钢板端部,在支架1上层支撑梁上焊接限位板,侧向临时定位锚固

钢板底部。在测量人员监测控制点坐标的情况下,通过手拉葫芦及千斤顶初步定位锚固钢板的竖向倾斜角度。

初步调整锚固钢板倾角,然后调整锚固钢板底部上下游方向平面位置,再调整垂直于轴线方向及平行于轴线方向的标高,最后精确调整倾角。其他层锚固钢板定位以下一层锚固钢板为基准,上层锚固钢板与下层锚固钢板之间设置有匹配楔口,并在楔口安装限位板。

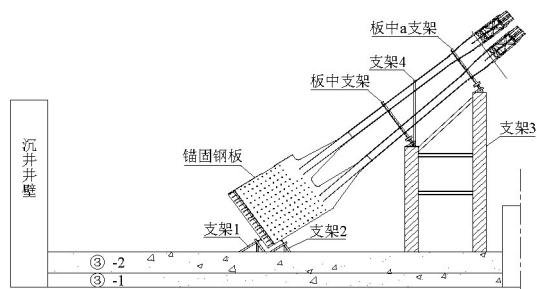


图8 首层锚固钢板安装示意图
Fig.8 First anchor girder fixing

2.2.4 钢筋混凝土棒施工

南京长江第四大桥锚固系统施工最重要的组成部分之一就是锚固区混凝土工程的施工。锚固系统剪力钢筋通过桁架定位,使剪力钢筋定位在锚固钢板开孔中心。为确保剪力钢筋锚固钢板 $\phi 40\text{ mm}$ 、 $\phi 60\text{ mm}$ 的孔洞形成的剪力键的施工质量,粗骨料选用5~25级配。

锚固钢板剪力钢筋分布区混凝土采用分区、分层浇筑。由锚固钢板横桥向分隔成10个区域,以中心处锚固钢板向两侧依次分为A~F共10个区域,根据不同层混凝土浇筑依次取A~F中相应区域。混凝土按照A~F的顺序分层浇筑,如图9所示。

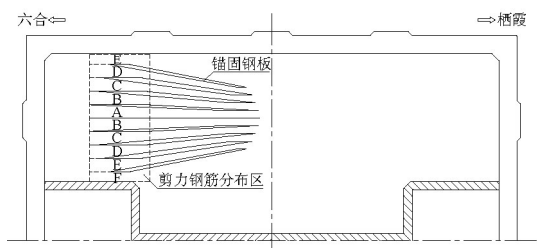


图9 钢筋混凝土棒区域混凝土浇筑分区示意图
Fig.9 Reinforced concrete casting around mortise-tenon anchor system

钢筋混凝土区域采用布料杆分区布料,每层布料厚度控制在30 cm,相隔区混凝土高差控制在30 cm左右,通过混凝土流动使剪力键内混凝土密实,并将混凝土内气泡排出。对于部分刚好处于分层界面处,或在界面上方15 cm以内的剪力钢筋,在该层混凝土将要浇筑到位时,要防止水泥浆污染剪力孔,影响剪力键质量。对于在界面下方15 cm以内剪力钢筋,浇筑当层砼时在剪力孔处留坑并对剪力孔进行保护处理,待下层砼浇筑时进行浇埋。

2.3 高精度测量定位措施

南京长江第四大桥锚固系统安装施工,设计要

求施工定位精度应满足:前锚面测量定位点误差 $\pm 3\text{ mm}$;钢板面与竖直面和水平面夹角误差 $\pm 0.05^\circ$,精度要求很高。

2.3.1 锚固板坐标计算

锚固系统为空间结构,每块锚固板空间坐标系见图10,图中每块钢板特征位置点A、B、C、D为已知点。锚固钢板特征点三维坐标计算的计算步骤是:先根据A、D两点的三维坐标求出该空间直线的向量、向量的模、方向余弦,计算出前锚面A点向前或者向后所在断面的中点坐标 A_1 ;再根据后锚面B点和C点所给三维坐标 (X_B, Y_B, Z_B) 和 (X_C, Y_C, Z_C) ,计算出向量 $BC\{m, n, p\}$ 、向量的模、方向余弦,根据平行关系和 A_1 点三维坐标,求出这个面上其他特征点三维坐标即可。

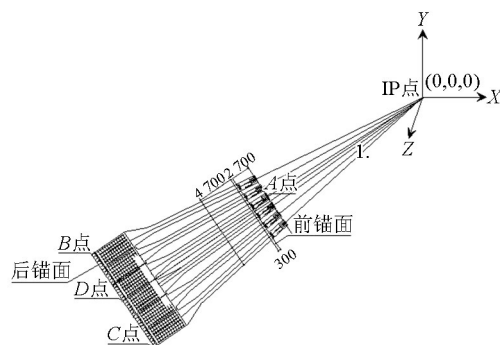


图10 锚固板坐标系(单位:mm)

Fig.10 Anchor system local coordinate system (unit: mm)

2.3.2 锚固板精确测量定位

锚固钢板在船厂加工成型后,在前锚面和后锚面上做好测量标示,预拼合格后运往现场进行安装定位。



图11 锚固钢板现场安装定位照片
Fig.11 Anchor girder lifting photo

先精确安装并固定支架,在支架斜面上放样处

安装纵横控制轴线,吊装锚固钢板,先初步调整到位,利用微调系统精确调整到位,再用全站仪对每块8个测点进行检查,反复调整,直到安装精度满足设计要求为止。现场施工照片如图11所示。

3 结语

南京长江第四大桥北锚碇工程的实施中,包括

分布式钢筋混凝土榫锚固系统的施工,大块段锚固钢板的精确定位及安装,其施工均没有先例可循。南京长江第四大桥北锚碇工程的顺利实施,为同类型工程提供了一种新型锚固系统的施工经验,也可作为今后类似工程的施工提供借鉴和参考作用。

North anchorage project construction key technology in the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge

Wang Chengjiang¹, Niu Yazhou², Tian Xin², Jing Gangyi²

(1. The Fourth Bridge Construction Headquarters in Nanjing, Nanjing 210000, China;

2. CCCC Second Highway Engineering Co., Ltd, Xi'an 710069, China)

[Abstract] North anchorage of the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge is a kind of gravity anchor. Distributed mortise-tenon anchor system of Reinforced Concrete is designed for its anchor system structure first time in China. Thermal stress and temperature control is the key technique in large mass concrete construction of this anchorage. This article will introduce large mass concrete temperature control method, anchor system fixing technology and high-accuracy survey technology of North anchorage of the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge.

[Key words] anchorage; large-mass-concrete; temperature control; anchor system