

文章编号: 1674—8247(2018)05—0048—05

跨大型铁路编组站钢—混组合梁斜拉桥体设计

戴晓春 王应良 游励晖 何庭国 刘 伟

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:郑州郑北大桥为桥跨布置(221+221)m 的独塔双索面结合梁斜拉桥,桥面宽度为 43.0 m。该桥上跨郑州北铁路编组站,主梁采用双箱形钢主纵梁和预制混凝土桥面板共同受力的结合梁,剪力键为圆柱头铆钉。桥塔采用 H 形结构,塔柱为单箱单室箱形截面。桥塔设有 72 根斜拉索,按双索面扇形布置,斜拉索在主梁和桥塔的锚固分别采用锚拉板式构造和钢锚箱构造。斜拉索采用平行钢丝拉索,双层共挤 HDPE 护套,护套表面设抗风雨振功能的双螺旋线。主梁采用多点顶推施工方案,采用钢导梁和扣索塔架辅助顶推作业。

关键词:斜拉桥;箱形梁;预制混凝土桥面板;锚拉板式;钢锚箱

中图分类号:U448.27;U442.5 **文献标志码:**A

Overall Design of Steel-Concrete Composite Girder Cable-Stayed Bridge across Large Railway Marshalling Station

DAI Xiaochun WANG Yingliang YOU Lihui HE Tingguo LIU Wei

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Zhengbei Bridge in Zhengzhou is a composite girder cable-stayed bridge with the span of 221+221 m and the deck width is 43.0 m. The bridge crosses Zhengzhoubei railway marshalling station. The main girder consists of double steel box section longitudinal beams and concrete deck slab. The shear key is cylinder welding stud. The bridge has a H shaped main tower. The tower columns are single-box and single-room section. The tower has 72 stay cables, arranged as double cable plane sector. The anchors of the stay cables at the main girder are of tension plate ones. The anchors of the stay cables at the main tower are of steel anchored box. Parallel steel wires are adopted for the stay cables, double-deck shares HDPE sheath. Double helix wires with function of against wind and rain are installed on the surface of sheath. The main steel girder is constructed by the way of the incremental launching construction. Steel launching nose and cable tower are used to help incremental launching construction.

Key words: cable-stayed bridge; box girder; precast concrete bridge deck slab; tensile anchor plate; steel anchor box

1 工程概况

郑州市农业路快速通道工程为东西向的城市快速通道,全长 12.9 km,是郑州中心城区北部东西向的重要通道,也是郑州“环形+井字”对外快速通道系统的

补充道路。郑北大桥是农业路快速通道工程的重点控制工程,跨越郑州北铁路编组站,西接嵩山北路立交,东接沙口立交。大桥不仅承担了农业路快速通道重要的交通功能,同时也是郑州西区的标志性建筑,对大桥的景观要求很高。

收稿日期:2017-11-10

作者简介:戴晓春(1976-),男,高级工程师。

引文格式:戴晓春,王应良,游励晖,等. 跨大型铁路编组站钢—混组合梁斜拉桥体设计[J]. 高速铁路技术,2018,9(5):48-52.

DAI Xiaochun, WANG Yingliang, YOU Lihui, et al. Overall Design of Steel-Concrete Composite Girder Cable-Stayed Bridge across Large Railway Marshalling Station[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(5): 48-52.

郑北大桥为独塔双索面结合梁斜拉桥,桥跨布置为 $(221+221)$ m,桥梁全长442.0 m。大桥纵向坡度为1.75%,平面位于直线上。其立面布置如图1所示。主梁纵向采用飘浮体系,在桥塔下横梁和主梁间

设4套纵向阻尼装置。阻尼器设计参数为:阻尼系数 $C=3\ 000\text{ kN}\cdot\text{s/m}$,速度指数 $\alpha=0.3$ 。桥塔下横梁处设竖向球型钢支座,边墩处设竖向铅芯橡胶支座。桥塔和主梁间设横向约束支座。

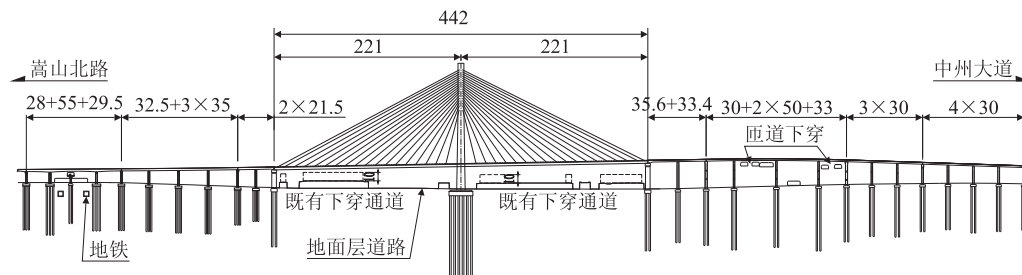


图1 郑北大桥立面布置示意图(m)

该桥主要技术标准:

- (1)道路等级:城市快速路。
- (2)设计速度:60 km/h。
- (3)桥面宽度:1.75 m(拉索区)+0.5 m(防撞墙)+0.25 m(安全带宽度)+0.5 m(路缘带)+3.5 m×5(机动车道)+0.5 m(路缘带)+0.25 m(安全带宽度)+0.5 m(中央隔离带)+0.25 m(安全带宽度)+0.5 m(路缘带)+3.5 m×5(机动车道)+0.5 m(路缘带)+0.25 m(安全带宽度)+0.5 m(防撞墙)+1.75 m(拉索区)=43.0 m。
- (4)荷载标准:城-A级。
- (5)桥面坡度:纵坡1.75%,横坡2%。
- (6)设计基本风速:最大风速28.7 m/s。
- (7)桥下净空:编组站处净高不小于14 m。
- (8)地震:地震基本烈度为7度,50年超越概率10%水平向峰值加速度为0.156g。

2 主梁设计

2.1 主梁断面

郑北大桥上跨郑州北铁路编组站,为保证施工期间编组站的运营安全,不能在铁路上空进行现浇混凝土作业,主梁可采用钢箱梁和钢-混结合梁两种方案。钢箱梁方案在运输架设、经济性和后期养护等方面均不如钢-混结合梁方案,因此设计中采用钢-混结合梁作为实施方案。

主梁采用钢主梁与预制混凝土桥面板共同受力的结合梁,剪力键为圆柱头焊钉^[1]。结合梁斜拉索锚固处梁高2.86 m,桥梁中心线处梁高3.76 m。钢主纵梁截面为箱形截面,横桥向钢主纵梁中心距为37.5 m,桥面混凝土板厚26 cm。主梁横断面布置如图2所示。

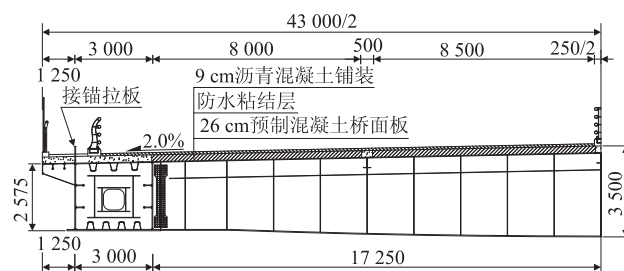


图2 主梁横断面布置示意图(mm)

2.2 钢梁

钢梁由钢主梁(纵梁)和钢横梁构成,钢横梁间设有小纵梁。斜拉索在钢主梁上的锚固采用锚拉板式结构,锚固于主梁外侧腹板上。

结合大跨度主梁顶推方案,梁斜拉桥主梁截面宜采用两工字形钢主梁其间加小纵梁的截面形式,跨径较大时也可以采用边钢箱梁截面形式。郑北大桥主跨为 $(221+221)$ m的无辅助墩单塔斜拉桥,在同类单塔斜拉桥中跨度较大;大桥为双向10车道公路桥,两侧设1.75 m检修通道,桥面总宽达43 m,斜拉索最大索力达8450 kN,在斜拉索索力和桥面荷载的作用下,主纵梁所受横向扭矩较大,而工字形主纵梁相对箱形梁其抗扭刚度较小,结合大跨度主梁顶推施工的需求,该桥主纵梁采用钢箱梁。

钢主梁采用箱形截面,共设两片,位于横断面的左右两侧,中心间距为37.5 m,全长441.8 m。每片箱形主梁内侧控制宽度为2940 mm,断面中心高度为2648 mm,受桥面横向坡度控制,顶板设有2%坡度,顶板宽3300 mm,厚度28 mm,底板宽3600 mm,厚度40~60 mm,腹板厚度有28(32) mm。为满足板件局部稳定性要求,腹板设300 mm×28 mm的板式加劲肋,顶、底板设厚度8 mm的U形加劲肋。钢主梁箱内

设有横隔板,其位置与钢横梁对应,板厚有 16 mm 和 24 mm 两种。每片纵梁均划分为 35 个节段,标准段长度为 12 m,节段间采用焊接连接。主纵梁横断面如图 3 所示。

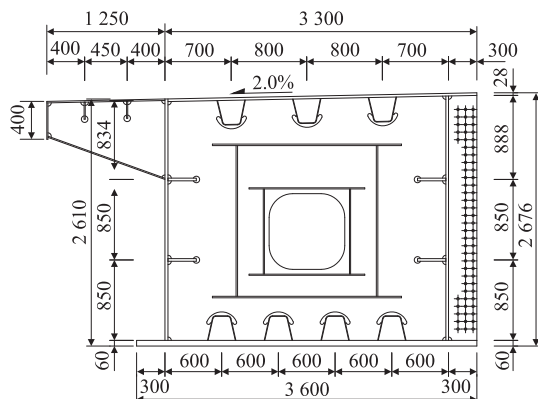


图3 主纵梁横断面示意图(mm)

钢横梁间距为 4.0 m,除了梁端采用箱形截面外,其余横梁采用工字形截面,全桥共设 113 道横梁。横梁为变高度结构,端部梁高 2.65 m,中间梁高 3.24 m,上翼缘(顶)板设有 2% 的横向坡度,下翼缘(底)板采用 $R=200$ m 的圆曲线变化。工字形截面上翼缘板宽度为 700 mm,厚度有 24 mm 和 40 mm 两种,下翼缘板跨中 22.4 m 范围内宽度为 700 mm,梁端 4.74 m 范围内宽度为 500 mm,厚度有 32 mm 和 50 mm 两种,横梁腹板设水平和竖向加劲肋;箱形截面高度变化同工字形横梁,顶、底板宽度为 1 322 mm,顶板厚度为 40 mm,底板厚度为 50 mm,腹板厚度为 24 mm,横梁中设板厚度为 12 mm 的横隔板。所有横梁两端腹板与主梁间采用 M24 高强螺栓工地连接,翼缘板或顶(底)板均不连接。

桥面横向共设 3 道工字形断面小纵梁,小纵梁顶板宽度为 500 mm,底板宽度为 300 mm,小纵梁为预制混凝土桥面板后浇段提供模板^[2],与横梁通过高强度螺栓工地连接。

主纵梁材质为 Q370qE,横梁及小纵梁材质为 Q345qE。主纵梁腹板要求为 Z 向性能钢,其厚度方向性能满足 Z35 要求。

2.3 混凝土桥面板

主梁梁端 3.19 m 和主纵梁顶面 4.21 m 处采用 C60 现浇混凝土,其余部分均采用 C60 预制桥面板,桥面板厚度为 26 cm。预制桥面板横向分为 4 块,宽度有 808 cm 和 858 cm 两种,纵横向设锯齿形剪力键,接缝处现浇 C60 微膨胀混凝土,为减少混凝土的收缩和徐变,预制桥面板存放时间不少于 6 个月,预制板与钢

梁顶缘之间设橡胶带。

为解决梁端桥面板受拉问题,梁端 125 m 范围内设纵向预应力^[3],预应力钢索采用 12-7 ϕ 5 mm 钢绞线,其标准抗拉强度为 1 860 MPa。

2.4 剪力钉

混凝土桥面板通过焊接在钢纵梁和钢横梁上的剪力钉和钢梁共同受力,剪力钉采用 $\phi 22$ mm 的圆柱头焊钉,材质为 ML15,长度为 180 mm。

3 桥塔和基础设计

3.1 塔柱

桥塔采用 H 形桥塔,塔高 150.0 m,桥面以上塔高约 119.0 m,桥面以下塔高约 31.0 m,采用 C50 混凝土。桥面以下设 1 道横梁,桥面以上 84.5 m 处设 1 道上横梁,2 道横梁将桥塔分成下塔柱、中塔柱和上塔柱三部分,其中下塔柱高 26.55 m,中塔柱高 92.45 m,上塔柱高 31.0 m。桥塔结构示意图如图 4 所示。

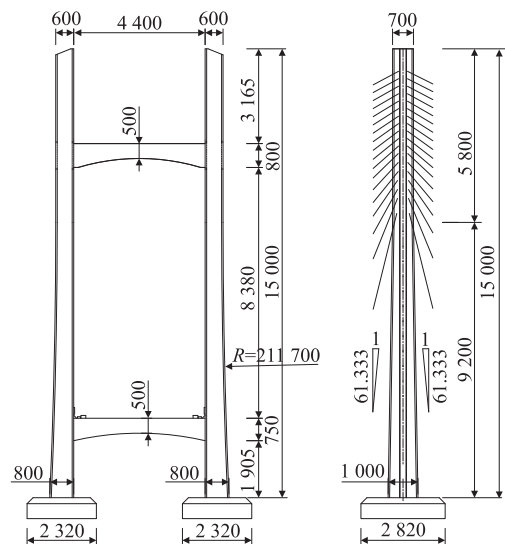


图4 桥塔结构示意图(cm)

塔柱为单箱单室箱形截面,塔柱顺桥向宽度为 7.0 ~ 10.0 m,壁厚 1.0 ~ 1.5 m,横向宽度为 6.0 ~ 8.0 m,壁厚 1.0 ~ 1.5 m。塔柱横桥向外侧面设景观槽,以增强桥塔的景观效果。塔柱外侧设 50 cm × 50 cm 的倒角。为抵抗斜拉索拉力引起的桥塔箱形截面上的拉应力,在桥塔的斜拉索锚固区域截面四周布置了 5-7 ϕ 5 mm 和 15-7 ϕ 5 mm 两种规格的预应力钢绞线,其标准抗拉强度为 1 860 MPa。

3.2 横梁

桥塔下横梁为预应力混凝土结构,梁高 5.0 ~ 7.5 m,宽度为 8.534 ~ 8.779 m,顶、底板厚均为 0.6 m,腹板厚为 0.9 m。

桥塔上横梁为钢箱结构^[4],钢箱高5.0~8.0 m,宽度为6.0 m,顶、底板厚均为25 mm,A0、A1节段腹板厚为30 mm,A2~A4节段腹板厚为28 mm,为突出

景观效果,横梁下边缘为圆弧曲线(半径 $R = 71\,541.7\text{ mm}$),桥塔上横梁结构示意图如图5所示。

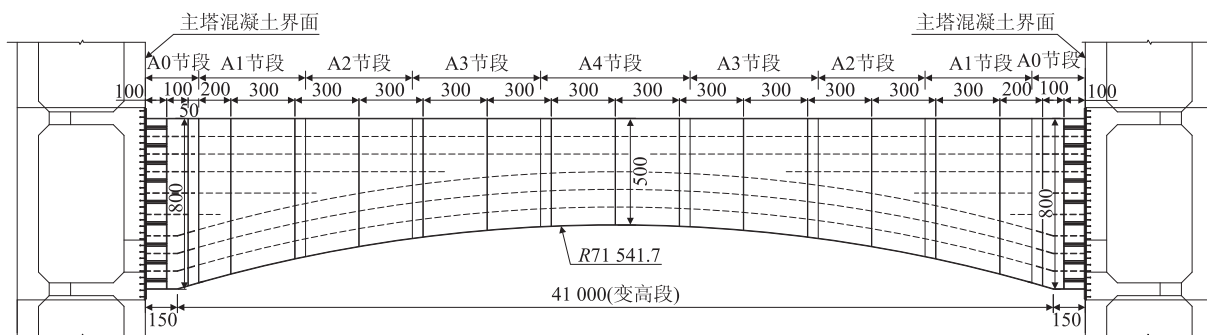


图5 桥塔上横梁结构示意图(cm)

3.3 基础

桥塔承台厚度为7.0 m,横桥向长23.2 m,顺桥向宽为28.2 m。基桩采用30根 $\phi 2.0\text{ m}$ 的钻孔摩擦桩,桩长96.0 m。

边墩基础厚度为4.0 m,横桥向长53.4 m,顺桥向宽为7.4 m。基桩采用20根 $\phi 1.8\text{ m}$ 的钻孔摩擦桩,桩长65~68m。

4 斜拉索设计

桥塔设有72根斜拉索,按双索面扇形布置,主梁上斜拉索间距为12.0 m,桥塔标准索间距为2.5 m,其余为3.0 m和5.0 m。

斜拉索采用平行钢丝拉索,双层共挤HDPE护套,护套表面设抗风雨振功能的双螺旋线。钢丝为 $\phi 7\text{ mm}$ 镀锌高强度、低松弛钢丝,其抗拉标准强度为1 770 MPa,成品索的疲劳应力幅不低于200 MPa。

大桥共采用7种型号的斜拉索,即LPES7-163、LPES7-199、LPES7-211、LPES7-241、LPES7-283、LPES7-337、LPES7-349。使用阶段斜拉索最大索力为8 450 kN,最大应力为675.2 MPa,最大应力幅为60.2 MPa。

5 斜拉索锚固构造设计

5.1 斜拉索和主梁锚固

斜拉索与主梁之间锚固构造采用拉板式如图6所示。拉板式锚固构造由锚拉板、锚管、锚管加劲板、锚垫板、锚拉板加劲板组成^[4]。斜拉索索力传递途径:斜拉索索力→锚垫板→锚管→锚拉板→主梁,这种结构传力明确,构造简单,便于后期维修和养护^[5]。

根据拉索索力大小,锚拉板板厚有32 mm、40 mm、50 mm三种,采用Q500qE钢材。拉板与主梁

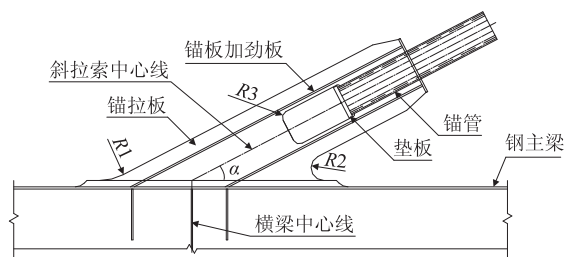


图6 斜拉索与主梁锚固构造示意图

腹板伸出顶板的部分采用熔透对接焊缝连接。

采用Ansys软件建立了含锚拉板的主梁节段有限元模型,纵梁钢板采用板单元Shell43模拟,混凝土桥面板用8节点的实体单元Solid65模拟,锚拉板采用Solid45实体单元模拟。有限元模型中约束主梁一端的平动自由度,另一端施加总体计算的主梁内力,斜拉索索力等效为均布压力,施加在锚垫板上。锚拉板Mises应力分布如图7所示。由图7可知,锚拉板的主要受力区域集中在锚下钢管、拉板中段、拉板加劲中段、拉板前倒角处。除锚拉板与锚拉筒连接处局部的应力集中外,其余结构的应力均在200 MPa内。设计中加大了锚拉板与锚拉筒连接焊缝根部的圆弧半径,改善锚拉板的应力分布。

5.2 斜拉索和桥塔锚固

斜拉索与桥塔采用钢锚箱的锚固方式,钢锚箱结构具有受力明确、锚固点准确、施工方便等优点,可以将斜拉索索力安全可靠地传递至桥塔中,该结构比环向预应力锚固和钢锚梁锚固方式是更适合用于大跨度斜拉桥索塔锚固^[6]。

钢锚箱构造如图8所示,由锚垫板、承压板、支承板、加劲板、拉板、水平板、横隔板及端板等构件组成。其传力路径为:斜拉索索力→锚垫板→承压板→支承板(加劲肋),最终水平力传递至拉板和水平板上^[7],

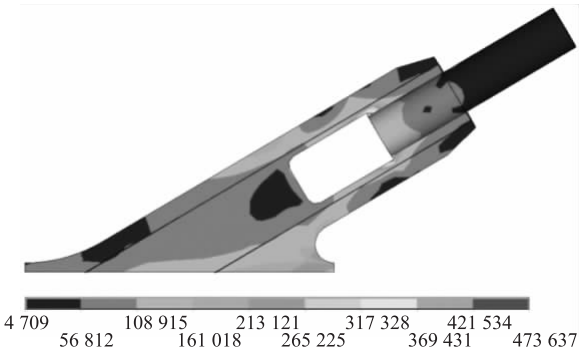


图 7 锚拉板 Von Mises 应力图(kPa)

竖向力传递至端板并通过剪力钉传递至桥塔上。拉板板厚为 30~36 mm,锚垫板厚 140 mm。

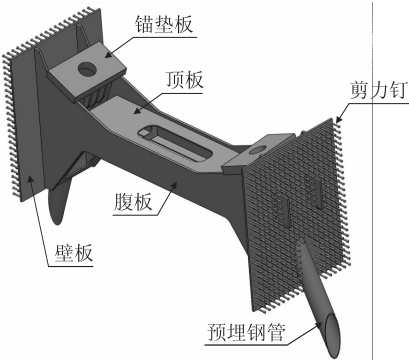


图 8 钢锚箱构造图

通过 Ansys 软件建立钢锚箱有限元分析模型,将斜拉索索力等效为均布压力,施加在锚垫板上,钢锚箱 Mises 应力分布如图 9 所示。

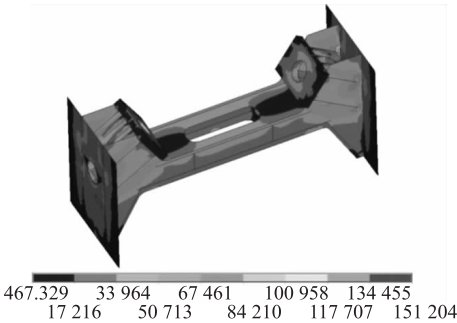


图 9 钢锚箱 Von Mises 应力图(kPa)

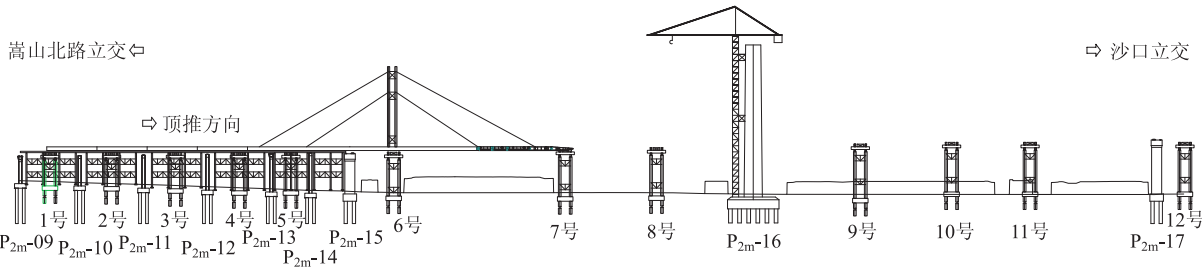


图 10 顶推施工方案

由图 9 可知,钢锚箱的锚垫板、承压板、支承板、加劲板应力较大,最大应力出现在支承板端头区域,最大应力约为 151 MPa,钢结构整体应力水平较低,结构受力满足规范要求。

6 主梁施工方案

郑北大桥跨越交通繁忙的郑州北编组站(双向纵列式三级六场站型),桥下股道密布、站场设备众多。大桥在编组站内依次上跨郑州北站上行系统到达场北咽喉、郑州北机务段咽喉、下行系统出发场北咽喉。其中,上行场宽 75 m,下行场宽 50 m,站内共有 30 余条股道线、3 座公路桥和 7 座框架桥。为减少桥梁施工对列车运营的影响,主梁采用由嵩山北路立交侧拼装完成后以顶推方式向沙口立交施工。

在嵩山北路立交 9 号~14 号墩之间设置钢梁拼装平台^[8],墩旁利用主体墩基础设置起顶墩;在 15 号和 17 号墩之间设置 6 个临时支墩,在各起顶墩(临时墩)和 15 号、16 号及 17 号墩墩顶布置步履式顶推设备,采用多点顶推法施工^[9]。顶推施工方案如图 10 所示。其中 6 号和 7 号临时支墩间的顶推跨度为 92 m,11 号临时支墩与 17 号墩间的顶推跨度为 66 m,采用钢导梁和扣索塔架辅助顶推作业,其中导梁采用工字形钢板焊接梁,长 56 m,扣索塔架高 38.8 m。扣索塔架在拼装平台处拼装,前索(顶推前进方向)单根预拉 500 kN,后索单根预拉 1 000 kN;当导梁前端支撑在 7 号临时墩后,松开斜拉索,塔架随主梁和导梁向前顶进;当塔架位于 9 号与 10 号墩间跨中时,重新张拉斜拉索,单根斜拉索预拉 250 kN;当导梁前端支撑在 17 号墩后,松开斜拉索,拆除塔架。

安装斜拉索并进行初张拉,吊装预制混凝土桥面板,现浇湿接缝连接的施工方法安装桥面板。

7 结束语

郑州市农业路快速通道工程郑北大桥,是钢-混结合梁斜拉桥中桥面宽度较宽的斜拉桥,荷载重,索力大,景观要求高,大桥的施工受郑州北铁路编组站等因

& Technology, 2011, 37(4): 63 – 65.

[3] 陈丽. 渝湘高速公路铁碛坝大桥深厚岩堆体整治工程措施研究 [J]. 路基工程, 2014, 32(1): 210 – 213.

CHEN Li. Study on Engineering Treatment Measures for Deep Accumulation of Rock Mass at Tieqiba Bridge on Chongqing – Changsha Highway [J]. Subgrade Engineering, 2014, 32 (1): 210 – 213.

[4] 卿三惠, 黄润秋. 工程滑坡形成机理及防治对策 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3): 1 – 4.

QING Sanhui, HUANG Runqiu. Formation Mechanism of Engineering Landslide and Control Counter measures [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(3): 1 – 4.

[5] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程设计技术手册: 路基(修订版) [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1992.

First Survey and Design Institute of the Ministry of Railway. Railway Engineering Design Handbook; Subgrade (Revision) [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1992.

[6] TB 10025 – 2006 铁路路基支挡结构设计规范 [S].

TB 10025 – 2006 Code for Design of Retaining Structures of Railway Subgrade [S].

[7] 王婷灏. 岩堆稳定性评价及其处治措施 [J]. 科技资讯, 2007, 5 (29): 237 – 238.

WANG Tinghao. Evaluation and Treatment Measures of Rock Pile Stability [J]. Science & Technology Information, 2007, 5 (29): 237 – 238.

[8] 魏永幸. 内昆线岩堆地段路基问题及其对策 [J]. 路基工程, 2000, 28(3): 16 – 18.

WEI Yongxing. The Subgrade Problems and Countermeasures of Rock Masses of Neijiang-Kunming Railway [J]. Subgrade Engineering, 2000, 28(3): 16 – 18.

[9] 贺钢, 蒋楚生. 新建广大铁路某工点滑坡加固治理 [J]. 高速铁路技术, 2016, 7(3): 72 – 76.

HE Gang, JIANG Chusheng. Reinforcement and Treatment of Landslide at Some Work Site of New Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(3): 72 – 76.

(编辑: 赵立红 白雪)

(上接第 52 页)

素控制。依据大桥工程技术特点, 考虑运输架设、经济性和后期养护的因素, 主梁采用钢主梁与预制混凝土桥面板共同受力的结合梁; 基于景观造型的需要, 桥塔呈 H 形, 桥塔上横梁采用钢箱结构; 斜拉索与桥塔锚固采用了整体钢锚箱, 合理解决了斜拉索索力大情况下索塔锚固难题; 斜拉索与主梁锚固采用锚拉板构造, 传力明确, 构造简单, 便于后期维修和养护; 为跨越编组站, 主梁施工采用了大跨度多点顶推法施工。

参考文献:

[1] 严国敏. 现代斜拉桥 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1995.

YAN Guomin. Modern Cable-stayed Bridge [M]. Chendu: Southwest Jiaotong University Press, 1995.

[2] 刘宇, 许艳林. 海南文昌清澜大桥总体设计 [J]. 中国市政工程, 2015, 37(2): 30 – 32.

LIU Yu, XU Yanlin. General Design of Qinglan Bridge in Wenchang Hainan [J]. China Municipal Engineering, 2015, 37(2): 30 – 32.

[3] 刘士林, 王似舜. 斜拉桥设计 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.

LIU Shilin, WANG Sishun. Design of Cable-stayed Bridge [M]. Beijing: China Communications Press, 2006.

[4] 刘明虎, 孙鹏, 胡广瑞, 等. 港珠澳大桥青州航道桥“中国结”形钢剪刀撑设计与施工 [J]. 桥梁建设, 2016, 46(1): 81 – 87.

LIU Minghu, SUN Peng, HU Guangrui, et al. Design and Construction of “Chinese Knot” Style Steel Cross Bracing for Pylon of Qingzhou Ship Channel Bridge of Hong Kong – Zhuhai – Macao Bridge [J]. Bridge Construction, 2016, 46(1): 81 – 87.

[5] 侯文崎, 叶梅新. 结合梁斜拉桥锚拉板结构研究 [J]. 钢结构,

2002, 17(2): 23 – 27.

HOU Wenqi, YE Meixin. Study of Tensile Anchor Plate Structure of Composite Cable-Stayed Bridge [J]. Steel Construction, 2002, 17(2): 23 – 27.

[6] 苏庆田, 秦飞. 斜拉桥钢锚箱组合索塔水平受力性能简化分析模型 [J]. 工程力学, 2011, 28(S1): 172 – 177.

SU Qingtian, QIN Fei. Simplified Analysis Model for Horizontal Mechanical Behavior of Composite Cable-pylon with Steel-anchor-box in Cable – stayed Bridges [J]. Engineering Mechanics, 2011, 28(S1): 172 – 177.

[7] 雍晓刚, 张昕昱, 史淑艳. 青银高速济南黄河桥钢锚箱制作技术 [J]. 钢结构, 2009, 24(5): 71 – 73.

YONG Xiaogang, ZHANG Xinyu, SHI Shuyan. Fabrication Technology of Jinan Yellow River Bridge Anchor Box in Qingdao-Yinchuan Expressway [J]. Steel Construction, 2009, 24 (5): 71 – 73.

[8] 杨庆琪. 跨越多层立交大跨径、宽截面钢箱梁整体式顶推施工技术 [J]. 世界桥梁, 2015, 43(4): 20 – 24.

YANG Qingqi. Integrated Incremental Launching Construction Technique for Long-Span Broad Cross Section Steel Box Beam across Multilayered Interchange [J]. World Bridges, 2015, 43 (4): 20 – 24.

[9] 方继, 丁仕洪, 张时利, 等. 济南黄河公铁两用桥带加劲弦顶推施工技术 [J]. 桥梁建设, 2016, 46(6): 112 – 117.

FANG Ji, DING Shihong, ZHANG Shili, et al. Construction Techniques for Incremental Launching of Jinan Huanghe River Rail-cum-Road Bridge with Stiffening Chords [J]. Bridge Construction, 2016, 46(6): 112 – 117.

(编辑: 赵立红 白雪)