

文章编号:1006-2106(2013)07-0047-06

大跨度单 T 刚构四线铁路桥 0 号段施工技术研究*

易 达 胡国伟**

(中铁三局集团有限公司, 太原 030001)

摘要:研究目的:为确保田家窑 2 号大桥四线双幅曲线桥 2×108 m 大跨度单 T 刚构“长、高、大”0 号段混凝土施工安全和质量,对 0 号段施工用的托架体系、外模支撑体系、C55 聚丙烯纤维混凝土浇筑工艺等关键技术进行研究。

研究结论:(1)在双薄壁高墩顶设置液压式整联标高可调托架,克服了托架高程调整的难题,降低托架落架施工安全风险,保证了“长、高、大”0 号段施工安全和质量;(2)提供的桥梁接触网平台混凝土浇筑用的自撑式托架体系,可完成 0 号段翼缘板和接触网支架基础同时施工,可降低工程成本,缩短工期;(3)应用 C55 聚丙烯纤维混凝土可提高混凝土的抗裂性,并采用合理的分层浇筑及布料工艺,确保混凝土的施工质量。(4)研究成果可适应于铁路高墩大跨度连续刚构桥和单 T 刚构桥的施工。

关键词:单 T 刚构;0 号段;可调式托架;自撑式托架体系;施工技术

中图分类号:[U24] **文献标识码:**A

Research on Construction Technology for Original Section of Large Span Single T Rigid Frame Four-track Bridge

YI Da, HU Guo-wei

(China Railway 3th Bureau Group Co. Ltd, Taiyuan, Shanxi 030001, China)

Abstract: Research purposes: In order to ensure the concrete construction safety and quality of the long, high and heavy original section of the large span single T rigid frame four-track and double-width curved bridge of the Tianjiayao Bridge, the research was done on the key construction technologies for the original section of the bridge, including the support system, the external formwork system and the construction technology of C55 polypropylene fiber concrete.

Research conclusions: (1) Because the hydraulic integration adjustable bracket was installed on the double thin-wall top, the problem of adjusting the bracket height was overcome, so the safety risk of the support construction was reduced and the construction safety and quality of long, high and heavy original section was guaranteed. (2) A concrete self-supporting bracket system was used in bridge contact network platform, so, the foundation construction of flange could be conducted simultaneously with construction of the catenary support. In this way, the engineering cost was reduced and construction time was shortened. (3) The C55 polypropylene fiber concrete was used to improve the crack resistance of the concrete. The layered pouring and reasonable process were adopted to ensure the construction quality of the concrete. (4) This research result is available for construction of the railway high-pier long-span continuous rigid frame bridge and single T rigid frame bridge.

Key words: single T rigid frame; original section; adjustable bracket; self-supporting template; construction technology

* 收稿日期:2013-06-14

** 作者简介:易达,1980 年出生,男,工程师;胡国伟,1980 年出生,男,工程师。

连续梁(刚构)桥的 0 号段施工通常结合其结构特性进行,墩梁固结区浇筑混凝土,当墩柱高度较高时采用预埋牛腿,搭设托架平台实现,对于墩柱高度较小时采用落地支架直接实现混凝土浇筑。对于 0 号段长度小、1 号段节段自重较小的刚构连续梁,0 号段、1 号段皆在搭设的托架平台上进行施工。在满足承载要求的前提下,牛腿与墩身固结处通常采用预埋钢板,牛腿构件与钢板焊接,托架的高程调整采用木楔或者沙箱进行调整。本文总结了桥梁“长、高、大”混凝土结构的施工技术。

1 工程概况

西安至平凉铁路田家窑 2 号大桥跨越黄土冲沟,桥梁孔跨布置为四线 2×108 m 预应力混凝土单 T 刚构曲线桥,平面曲线半径为 1 200 m,设一墩两台,主墩高 68 m,墩身为双薄壁墩,壁厚 2 m,双肢薄壁净间距 9 m。该桥为铁路双幅四线单 T 刚构曲线桥,仅次于国内宜万线马水河双线桥(116 + 116) m 单 T 刚构和日本新干线吾妻川双线桥(110 + 110)单 T 刚构。

上部结构采用单箱单室、变高度、变截面预应力混凝土箱梁,0 号段支点梁高 11.5 m,梁顶宽 10.10 m,箱底宽 5.6 m,箱梁顶板厚 40 cm,桥墩处底板厚 110 cm,腹板厚 110 cm,图 1 为 0 号段结构设计图。0 号块混凝土设计为 C55 聚丙烯纤维混凝土,混凝土总方量达到 1 726 m³,是国内首次在铁路桥梁主体结构中应用聚丙烯纤维混凝土,C55 聚丙烯泵送聚丙烯纤维混凝土高空泵送施工,与普通泵送聚丙烯纤维混凝土相比,其主要特点在于流动特性大、级配良好、石子的最大尺寸需符合混凝土泵送管道内径的要求等,因此,在进行配合比设计时,采取与非泵送聚丙烯纤维混凝土相同的方法和步骤,但配制出来的混凝土拌合物必须适合高空泵送。

梁段按施工顺序共划分为 41 个梁段,中支点桥墩上为 0 号段,该梁段长 19 m,其中,双薄壁墩外悬臂 3 m,双薄壁墩之间 9 m,曲线布置,在 0 号段中部设置接触网支架平台。箱梁与薄壁墩刚性连接,在双薄壁

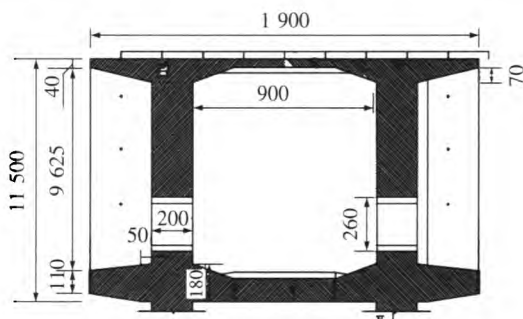


图 1 0 号段结构设计图

墩与箱梁固结处设置横隔板,横隔板贯穿两幅桥,横隔板厚 2 m,设计要求横隔板在双幅桥全部合龙以后进行施工。预应力采用三向预应力体系,0 号段内纵向预应力孔道腹板和顶板内共计 96 束,双层布置。竖向预应力在腹板内双层布置,横向预应力只在底板设置 8 束和双薄壁墩正上方横隔板处设置 20 束,横向预应力采用 70 mm × 90 mm 扁波纹管成孔,底板处横向预应力在纵向和竖向预应力张拉完成后进行单端张拉,横隔板处横向预应力在两幅桥合龙以后进行张拉。

2 施工技术特点

2.1 0 号段“长、高、大”特点及施工难点

0 号段长度达到 19 m,主要存在三方面的施工技术难点:混凝土入模下料点分散且多,在高空有限的操作平台上实现下料点变动的操作较难;0 号段悬臂段与双薄壁墩中间段梁长尺寸及厚度构造不一致,难以保证薄壁墩两侧梁段荷载一致,易造成薄壁墩在 0 号块混凝土浇筑开始至混凝土终凝期间偏载,影响 0 号块托架稳定性和造成薄壁墩系梁连接部位出现裂缝;箱梁分为两次浇筑,其上下两层的时间差会引起两次浇筑的混凝土收缩徐变不同步,箱梁腹板容易出现因收缩徐变不同步引起的附加应力及裂纹。

0 号段长度高达 11.5 m,主要存在两方面的施工技术难点:梁体截面较高,在支立外侧模板时,模板极易受到风荷载的横向作用,难以保证外侧模板在支立时候的稳定性;0 号块竖向预应力钢筋长度达到 12 m,腹板内双层布置,第一次混凝土施工高度为 6 m,对竖向预应力钢筋定位精确度难以控制,且在箱梁底板与腹板交接处极易造成混凝土上返。

0 号段混凝土方量达 1 726 m³,主要存在两方面的施工技术难点:对托架的强度、刚度和整体稳定性要求很高,且在薄壁墩上预埋截面尺寸较大的牛腿,对预埋牛腿的尺寸、布置形式和布置数量要求极其严格;托架平台的加载试验实现困难,按相关规范要求加载试



(a) 三维示意图

验必须施加试验荷载至其设计荷载的 1.2 倍,按 0 号段总体施工方案,其至少加载 626 t,采用混凝土预压块进行预压时的堆载高度较高,加载试验后进行托架高程调整较难。

2.2 自撑式托架体系

为了降低长高大 0 号段施工存在的安全风险,设计采用自撑式托架体系,该系统需要在双薄壁主墩墩壁两侧预埋工字钢牛腿,在预埋牛腿上安装型钢可调托架,在两薄壁墩之间的可调横梁上布设贝雷梁作为梁体浇筑平台的纵向承重梁,梁体外模板采用定制自撑式钢模板。为防止双薄壁墩出现横向偏载,0 号梁段左右幅同时施工完成后再进行悬臂段梁体的挂篮施工。通过充分利用模板的自身系统进行箱梁翼缘板承重,以实现不用在高空平台上搭设承重支架的目的。

2.3 聚丙烯纤维混凝土特点及浇筑技术

由于聚丙烯纤维混凝土具有良好的防裂性及耐久性,在铁路桥梁中通常用于梁面的保护施工以及其他抗裂性要求较高的部位,但是在桥梁结构极少使用,目前可查阅的资料中,仅福建省白沙包公路大桥设计采用了 C55 聚丙烯纤维混凝土,施工方式为泵送浇注,其它工程案例极少,因此,需研究聚丙烯纤维混凝土的高空泵送浇筑技术。

3 关键施工技术设计及应用

3.1 液压式整联可调托架设计

结合田家窑 2 号大桥的墩身结构特点,保证混凝土浇注托架平台的稳定性、刚度及强度满足要求,采用多片贝雷片组成贝雷梁,并在墩壁预埋牛腿支撑的方法制作成托架。在每个薄壁两侧均埋设牛腿 4 处,根据箱梁结构尺寸,为使每个牛腿受力基本相等,内、外侧牛腿间距一致。牛腿横梁采用 I45a 工字钢,斜撑采用工字钢 32a,上下横梁均通长预埋于墩壁内。如图 2 所示。

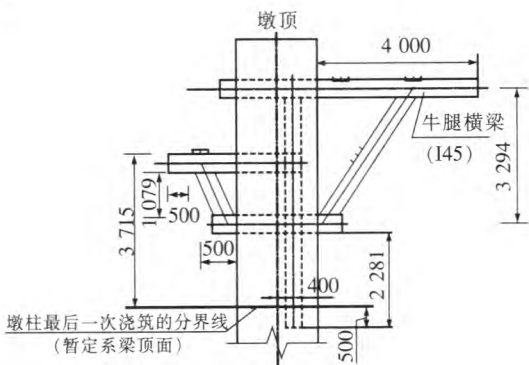


图 2 托架牛腿侧视图(单位:mm)

3.1.1 双薄壁墩内侧(中间 9m 段)托架设计

牛腿上放置横向分配梁 I40b 工字钢两道,横向分配梁上再纵向布置贝雷梁 22 根,箱梁腹板下贝雷梁横向间距为 0.45 m,底板下为横向 0.9 m,贝雷梁每根长度为 8 m。贝雷梁与两侧墩壁间 0.5 m 的空隙处布置拉顶装置(由墩壁外侧预埋的牛腿横梁伸进墩壁内侧,与贝雷梁采用 U 形卡、2I12 工字钢及千斤顶与墩壁顶死),以保证贝雷梁的整体稳定,而且能限制两薄壁墩之间的相对位移,防止墩身由于外力引起微裂纹。外侧牛腿横梁向内侧墩壁伸出 41 cm,其上放置木楔块、1 根 I40b 工字钢。如图 3 所示。

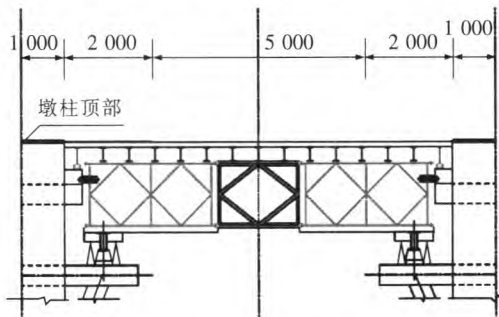


图 3 内侧托架纵向布置图(单位:mm)

贝雷纵梁上布置 I32a 工字钢分配横梁,工字钢在左右幅箱梁翼缘板处均悬挑承担上部混凝土重量,左右幅工字钢交错布置,共 30 根。分配横梁上布置规格 12 cm×12 cm 方木,方木中心间距在腹板下为 0.25 m,底板及翼缘板下为 0.45 m。方木上满铺 15 mm 厚竹胶板作 0 号块底模。

3.1.2 双薄壁墩外侧托架设计

为设置悬臂段最外端的施工平台,牛腿上横梁长度设置为 4 m。在预埋牛腿上横梁上延线路方向布置落模纵向分配梁。纵向分配梁与牛腿横梁之间布置工字钢垫块,垫块布置点位于横向分配梁的正下方。纵向分配梁上按间距 0.5 m 布置 8 道横向分配梁,单端共 7 道。横向分配梁贯穿横桥向宽度。在横向分配梁上设置方木排架以达到悬臂段倾斜底模的设计要求,为防止方木排架的纵向位移,在横向分配梁上设置纵向连接。如图 4 所示。

3.1.3 两幅桥之间横隔板下方支撑横梁设计

在线路方向两薄壁墩左右侧墩壁预埋横梁,预埋深度 61 cm,横梁单根长 5.04 m,每处 6 根。预埋于墩壁内横梁端头搭设在外侧牛腿横梁之上,之间设钢垫块,钢垫块焊接于牛腿横梁之上。横隔板浇筑时,在支撑横梁之上布设调整模板标高的横向分配梁,在分配梁上设置 12 根工字钢作为施工平台,两种长度交错布置。如图 5 所示。

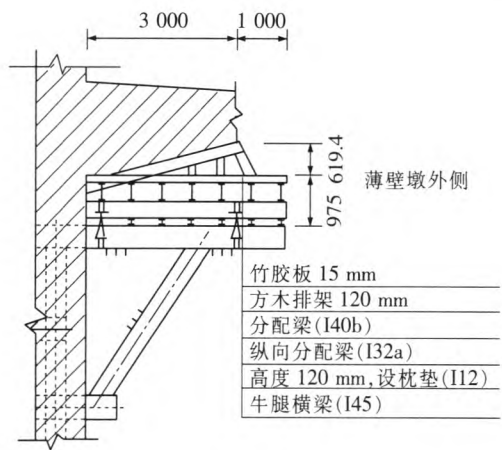


图 4 外侧托架纵向布置图(单位:mm)

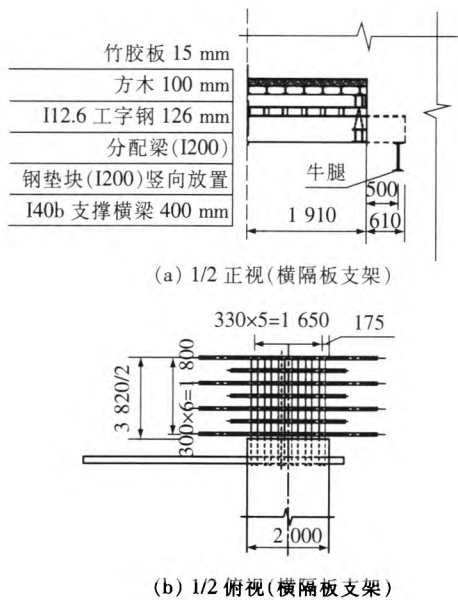


图 5 横隔板下方托架正视图和俯视图

3.1.4 可调托架平台的调整和落架

墩壁内侧牛腿斜撑焊接完成后,之后在内侧牛腿上安装槽钢 40b,槽钢与各牛腿焊接。在每个内侧横向最外侧的牛腿上放置 2 个 32 t 螺旋千斤顶,如图 6 所示,千斤顶放置在牛腿上横向分配梁的两侧。将两端头两侧焊接好托架的横向分配梁吊装到位,由千斤顶调整好标高后加焊工字钢钢垫,再在横向分配梁上安装贝雷纵梁。

3.1.5 可调托架预压加载试验

托架安装完成,底模及侧模拼装后,安装拉筋并加固。托架强度、刚度和稳定性检测采用加载预压进行。加载预压的重量以 0 号块第一次混凝土浇筑的重量为加载指标。预压采用预制混凝土块为主,袋装砂袋辅助加压的方法,以消除其非弹性变形,根据弹性变形值调整模板的标高。

在预压前对底模的标高观测一次,在底板加载梁

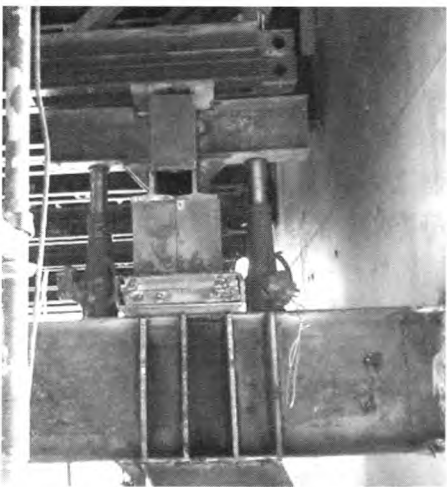


图 6 托架调整和落架千斤顶布置方式

荷载 60% 重的荷载,加载按先中间后两边进行,两边要对称加载,并持荷 60 min,测得各个观测点标高。首次加载 60%,第二次加载至 100%,第三次加载至 120%。第一、二级加载后持荷 60 min,第三级加载后持荷 24 h。各级加载后用水准仪测量竖向变形值。

预制块采用 C20 钢筋混凝土浇筑,在施工现场集中预制。混凝土块利用塔吊、电子吊秤逐块放置于 0 号段模板内(横隔板处不压),专人记录加载位置及重量,保证加载对称、均匀、与梁体荷载对应。

本次托架预压混凝土块均置于梁体模板内,0 号段分为两次浇筑完成,总荷载为 0 号段梁体第一次浇筑混凝土自重的 120%。为使托架受力与设计相符,由工字钢 40b 辅助布置,以形成箱形梁受力情况。工字钢搭设要求:每侧腹板下并排 4 根,之上横担工字钢之间净间距 20 cm(除横隔板外 9 m 范围内排列)。经计算,单幅中间 9 m 段第一次浇筑混凝土方量约 151 m³,重 392 t,需预压重量 392 × 1.2 = 471 t,单幅每边 3 m 段第一次浇筑方量约 50 m³,重 129 t,需预压重量 129 × 1.2 = 155 t。

沉降稳定后,按照加载的逆序进行卸载,每卸一级需持荷 10 min,并测得各测点标高,将预压荷载卸载完毕后再对底模标高观测一次。

根据观测资料中计算出托架的弹性变形和非弹性变形。预压过程中进行精确的测量,可测出梁荷载作用下托架产生的弹性变形值,将此弹性变形值与设计标高叠加,算出施工时调整底模标高。采用数据处理软件加权线性回归分析得出加载、卸载与变形之间的关系,最后确定现浇段底板模板预拱度。

3.2 自撑式托架体系设计

0 号段模板设计与施工的总思路为“按承载变结

构,外刚内柔解流压、上固下锚保截面”,确保研究结果的可操作性与实用性。

3.2.1 竖向背带构造

为增加模板在支立过程中的稳定性以及模板自身系统的竖向承载能力,在模板后设计竖向背带桁架。桁架采用 I14 工字钢和 [14 槽钢组合焊接而成,竖向背带延纵桥向每米设置一道,增强模板刚度同时增加模板的竖向承载能力。

3.2.2 翼缘板模板自身承载构造

由于托架上施工平台限制,且 0 号块箱梁高度达到 11.5 m,在外模板两侧支立脚手架承载施工难度较大且危险风险较高,故设计模板自身承载箱梁翼缘板施工荷载。在翼缘板模板下采用 14 工字钢焊接桁架,并焊接斜撑连接在模板后竖向背带上,满足施工荷载承载的要求下还增加模板自身的刚度,减小翼缘板最外端在施工荷载作用下的变形量。如图 7 所示。

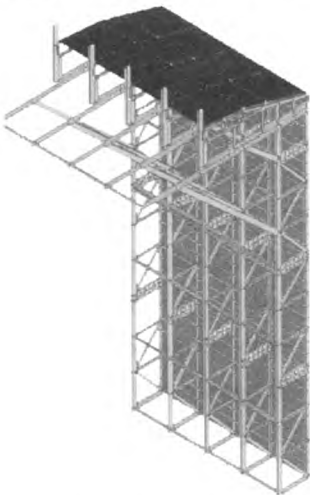


图 7 外模板构造图

3.2.3 0 号块中部接触网支架平台部位模板构造

接触网支架平台结构尺寸为 1.2 m × 1.62 m × 5.01 m,在横桥向长度超出人行道 1.46 m。模板承载时荷载集中,施工采用在 0 号块施工平台上搭设支架以辅助模板自身承载,支架搭设时与模板后竖向背带设置横向连接,以保证支架稳定。在接触网支架平台底模板下设置 I20 工字钢作为加强模板强度的纵向分配梁,在承重支架顶端设置横向分配梁,以保证纵向分配梁承重时不出现偏载。如图 8 所示。

3.3 聚丙烯纤维混凝土特点及浇筑技术

混凝土强度等级为 C55,并掺有 0.8 kg/m³ 的聚丙烯纤维。由于混凝土属于非匀质性材料,为了保证每一段混凝土均能达到设计要求,实验室实际混凝土配制强度大于 64.0 MPa。实验室设计坍落度 140 ~ 200 mm,停放 30 min 混凝土坍落度不小于 170 mm。

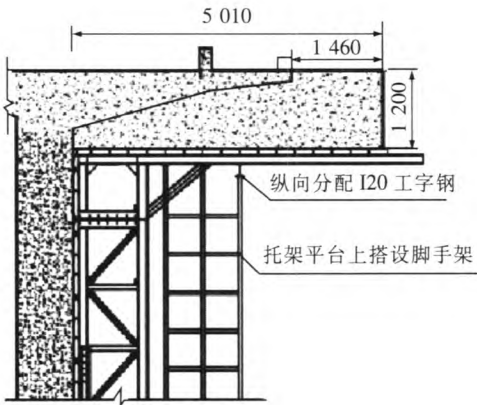


图 8 0 号段中部接触网支架平台及施工模板构造图(单位:mm)

为保证顺利进行泵送和混凝土浇筑过程的时间、养护需要,混凝土拌合时先将纤维与砂、石、水泥、矿物掺和料干拌 1 min 后,再加入所需用水量湿拌,最后加入外加剂,适当延长搅拌时间使纤维均匀分布于混凝土中,混凝土拌合物搅拌时间夏天按 120 s 控制,冬天按 180 s 控制。混凝土开始泵送时坍落度控制在 220 ~ 230 mm,入模温度控制在 5 ~ 30 ℃ 之间,不易发生堵管现象。

0 号块混凝土浇筑按“横桥向对称、线路纵向对称、先进行腹板与底板交接倒角处、优先横隔板处浇筑”的原则进行施工布置。施工过程控制按“分区定点、一个坡度、循环推进、连续完成”进行。

第一层混凝土浇筑时,先进行腹板与底板交接倒角处,在横向对称及纵桥向对称的原则前提下,优先进行腹板与底板交接处的浇筑是为了延长倒角处混凝土入模后至第二次混凝土浇筑的间隔时间,即在保证不出现混凝土浇筑冷缝且混凝土浇筑过程连续的前提下尽量延长倒角处混凝土不触动的时间,以实现在进行腹板混凝土浇筑时底板地面不出现混凝土上涌现象。0 号段第一层混凝土浇筑顺序如图 9 所示。

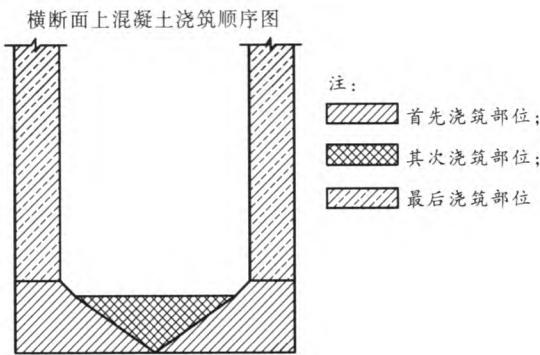


图 9 0 号块第一层混凝土浇筑顺序图

由于0号块模板在纵桥向的稳定性要高于横桥向模板稳定性,故在进行腹板混凝土浇筑时优先保证横向对称,其后是纵桥向对称。在相同横断面上,腹板两侧混凝土浇筑高差不超过60 cm;相同纵断面上,混凝土浇筑高差不超过1.2 m;两相对的横隔板处混凝土浇筑高差按1.2 m控制。横隔板处混凝土浇筑时,混凝土入模点要避免横隔板过人洞位置,防止混凝土在入模过程中出现离析。如图10所示。

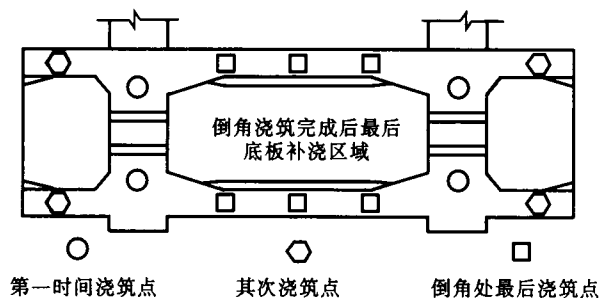


图10 0号块第一次混凝土浇筑下料平面布置图

4 结论

(1)为保证长、高、大0号段施工安全和质量,在双薄壁高墩顶设置整联可调式托架,通过双层承载分配梁和调节千斤顶,克服托架高程调整的难题,降低托架落架施工安全风险。

(2)提供了一种桥梁接触网平台混凝土浇筑用的自撑式托架体系,设计采用普通大模板配置竖向加强背带和斜腿支撑的组合式施工模板,完成0号段翼缘板和接触网支架基础同时施工。

(3)为了提高混凝土的抗裂性,0号段混凝土首次采用C55聚丙烯纤维混凝土,并结合0号段结构特点,提出了分层浇筑控制技术要点,确保了C55聚丙烯纤维混凝土的施工质量。

参考文献:

- [1] 贾朝林. 花山一号大桥连续刚构0号块托架施工技术[J]. 施工技术, 2012(12): 163-166.
Jia Chaolin. Construction of Continuous Rigid Frame No. 0 Block Bracket in Hua shan No. 1 Bridge [J]. Construction Technology, 2012(12): 163-166.
- [2] 吴利民. 铁路桥梁悬灌梁0号段底托架施工新技术研究[J]. 建筑技术开发, 2010(3): 33-36.

Wu Limin. Study on New Technology of Railway Bridge Cantilever Beam Section 0 Bottom Bracket Construction [J]. Building Technique Development, 2010(3): 33-36.

- [3] TB 10203—2002, 铁路桥涵施工规范[S].
TB 10203—2002, Code for Construction on Bridge & Culvert of Railway [S].
- [4] 宋永安, 张崇彬, 虞业强. 高墩大跨径预应力混凝土连续刚构桥0号块的托架法施工[J]. 公路, 2005(8): 52-56.
Song Yong'an, Zhang Chongbin, Yu Ye-qiang. High Pier and Long Span Prestressed Concrete Continuous Rigid Frame Bridge No. 0 Block Bracket Method [J]. Highway, 2005(8): 52-56.
- [5] 卢志良, 吕鹏, 贾东荣. 晋陕黄河特大桥2×108 m单T刚构挂篮设计[J]. 铁道工程学报, 2013(1): 39-44.
Lu Zhiliang, Lv Peng, Jia Dongrong. Design of 2 × 108 m Single T Rigid Frame Movable Suspended Scaffold for Shanxi - Shaanxi Yellow River Bridge [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2013(1): 39-44.
- [6] 孙建胜, 韩青青. 某连续刚构桥大体积0号块简易托架法施工技术[J]. 施工技术, 2012(2): 85-87.
Sun Jiansheng, Han Qingqing. Construction Technology on Simple Bracket Construction Technology of No. 0 Segment of Some Continuous Rigid Bridge [J]. Construction Technology, 2012(2): 85-87.
- [7] 马保林. 高墩大跨连续刚构桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
Ma Baolin. Long - span Continuous Rigid Frame Bridge with High Pier [M]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [8] 裘伯永, 盛兴旺, 乔建东等. 桥梁工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000.
Qiu Boyong, Sheng Xingwang, Qiao Jiandong, etc. Bridge Engineering [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2000.
- [9] 项海帆. 高等桥梁结构理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
Xiang Haifan. Advanced Theory of Bridge Structures [M]. Beijing: China Communications Press, 2001.

大跨度单T刚构四线铁路桥0号段施工技术研究

作者：[易达](#), [胡国伟](#), [YI Da](#), [HU Guo-wei](#)
作者单位：[中铁三局集团有限公司, 太原, 030001](#)
刊名：[铁道工程学报](#) 
英文刊名：[Journal of Railway Engineering Society](#)
年, 卷(期)：2013(7)

参考文献(9条)

1. [贾朝林](#) [花山一号大桥连续刚构0号块托架施工技术](#) 2012(12)
2. [吴利民](#) [铁路桥梁悬灌梁0号段底托架施工新技术研究](#)[期刊论文]-[建筑技术开发](#) 2010(03)
3. [铁路桥涵施工规范](#)
4. [宋永安](#); [张崇彬](#); [虞业强](#) [高墩大跨径预应力混凝土连续刚构桥0号块的托架法施工](#)[期刊论文]-[公路](#) 2005(08)
5. [卢志良](#); [吕鹏](#); [贾东荣](#) [晋陕黄河特大桥2×108 m单T刚构挂篮设计](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2013(01)
6. [孙建胜](#); [韩青青](#) [某连续刚构桥大体积0号块简易托架法施工技术](#)[期刊论文]-[施工技术](#) 2012(02)
7. [马保林](#) [高墩大跨连续刚构桥](#) 2001
8. [裘伯永](#); [盛兴旺](#); [乔建东](#) [桥梁工程](#) 2000
9. [项海帆](#) [高等桥梁结构理论](#) 2001

引用本文格式：[易达](#), [胡国伟](#), [YI Da](#), [HU Guo-wei](#) [大跨度单T刚构四线铁路桥0号段施工技术研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2013(7)