

文章编号: 1674—8247(2020)06—0104—07

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.06.020

单线 64 m 简支系杆拱梁顶推转体技术

丁 广 王 鑫 丁非凡

(中国铁路沈阳局集团有限公司, 沈阳 110001)

摘 要:受线路纵断面高度和桥下净空限制,新建铁路常采用简支拱梁方式跨越既有运营铁路。当现场地形地物不能满足简支拱梁原位浇注、大型吊车吊装架设、顺桥向顶推或拖拉等施工条件时,采用顶推转体方式,可解决施工场地狭窄问题,同时可减小对桥下既有铁路正常运营的影响。新通客专改京通右线大桥 64 m 简支系杆拱梁,采用顶推转体施工方法架设,有效减少了新建铁路桥梁施工与既有铁路运营间的相互干扰,大量缩减了跨越既有铁路线架梁施工的时间,同时避免了施工临时占地引起的工程投资增加,对今后同类工程建设具有较好的借鉴价值。

关键词:铁路; 简支系杆拱桥; 顶推; 转体; 技术

中图分类号:U445.46 **文献标志码:**A

Pushing and Rotating Technology for Single-track 64 m Simply-supported Tied-arch Girder

DING Guang WANG Xin DING Feifan

(China Railway Shenyang Bureau Group Co., Ltd., Shenyang 110001, China)

Abstract: Due to the restrictions of the track profile height and the clearance under the bridge, the simply-supported arch girder is often used for newly-built railway crossing existing railway in operation. If the site terrain and surface features could not meet the requirements of such construction works as in-situ pouring of simply-supported arch girders, hoisting and erection with large crane, and pushing/dragging along the bridge, the pushing and rotating technology can be employed to solve the problem of narrow construction site and reduce the impact on the normal operation of the existing railway under the bridge. The 64 m simply-supported tied-arch girder for the modified Beijing-Tongliao Railway Right Track Bridge was erected using the pushing and rotating technology, which effectively reduced the interference between the construction of the new railway bridge and the operation of the existing railway, greatly shortened the construction period of girder erection for crossing the existing railway line, and avoided the increase in project investment caused by temporary land occupation for the project construction. This Project has good reference significance for the construction of similar projects in the future.

Key words: railway; simply-supported tied-arch bridge; pushing; rotating; technology

1 工程概况

新建通辽至京沈客运专线(简称“新通客专”)新

民北站的改京通右线大桥,全长 505 m,由(13-32) m 简支系杆梁和(1-64 m)下承式钢管混凝土简支系杆拱(梁部全长 66.5 m)组成。简支系杆拱梁部为主梁

收稿日期:2020-03-05

作者简介:丁广(1965-),男,高级工程师。

引文格式:丁广,王鑫,丁非凡.单线 64 m 简支系杆拱梁顶推转体技术[J].高速铁路技术,2020,11(6):104-110.

DING Guang, WANG Xin, DING Feifan. Pushing and Rotating Technology for Single-track 64 m Simply-supported Tied-arch Girder[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(6):104-110.

双向预应力结构,端横梁和中间横梁为预应力结构,拱脚为钢筋混凝土结构,拱肋跨度 64 m,矢高 12.8 m,简支系杆拱总高度 14.4 m。拱肋之间设 3 道一字撑和两道 K 撑,吊杆按间距 5 m 平行布置,全桥设 9 对吊杆,简支系杆拱总重 3 400 t。简支系杆拱梁下方为并行的既有铁路大郑左线和北西上行联络线,简支系杆拱桥向中心线与大郑左线水平方向斜交 33°。受桥下既有铁路电气化接触网限高影响,简支系杆拱梁下净空需达到 6.84 m。

2 施工难点

(1)既有铁路不满足长时间封锁施工条件

原设计方案为封锁既有铁路大郑左线和北西上行联络线 105 d(包括连续梁预制工期 60 d,钢管拱安装及灌注张拉工期 45 d),在设计原位搭设满堂支架,浇筑简支系杆拱梁。但因 2017 年暑运期间铁路客货运量大幅增加,途经通辽铁路枢纽的客、货运列车密度加大,若长时间停运铁路线路,不仅会造成铁路客、货运营业收入的较大损失,还会对当地旅客出行和货物流通过造成严重影响,进而造成社会公众对铁路运营的不良印象。

(2)现场施工场地不满足常规方法施工

改京通右线大桥 7、8 号墩孔跨(1-64) m 简支系杆拱梁施工,受征地拆迁、改京通右线架梁和铺轨工期要求以及既有大郑左线和北西上行联络线不能长时间中断铁路行车等影响,既不具备沿桥向原位现浇的施工条件,也不具备大型吊车占位整体吊装的施工条件,更不具备顺线路中线纵向顶推或拖拉架梁的施工

条件。

(3)改京通右线大桥简支系杆拱梁是新通客专控制性工程

改京通右线大桥是新通客专的控制性工程,7 号、8 号墩孔跨(1-64) m 简支系杆拱梁又是改京通右线大桥的重难点和控制性工程。按照新通客专通辽特大桥和通辽站既有普速场转至新建高速场过渡行车工期的要求,改京通右线必须在 2017 年 11 月 26 日前转线开通。为实现该节点工期目标,改京通右线大桥 7 号、8 号墩及(1-64) m 简支系杆拱梁必须与其两端相邻孔跨及全桥墩、梁同步施工,以满足改京通右线全线铺轨、架梁的工期需要。

3 简支系杆拱梁转体设计方案

为满足工期需要,根据施工现场的地形条件,对改京通右线大桥 7 号、8 号墩孔跨(1-64) m 简支系杆拱梁,采用了在既有铁路大郑左线外侧旁位预制和顶推转体就位的设计方案^[1-2]。设计利用 8 号墩作为主转墩,增设 2 个混凝土临时墩,在 8 号墩与 2 个混凝土临时墩之间搭设满堂支架,完成简支系杆拱梁的现场拼装、浇注和张拉等。在 1 号、2 号临时墩和 7 号墩间架设由 7 个钢箱节段拼接组成的弧形滑道梁。在滑道梁顶部铺设滑道,设置反力座、分配梁、顶镐、滑块等顶推设施,形成平转系统。采用双镐顶推同步控制系统,实现对内、外侧顶镐动程的精准控制,完成(1-64) m 简支系杆拱梁的顶推转体架设。改京通右线大桥(1-64) m 简支系杆拱施工现场平面布置如图 1 所示。

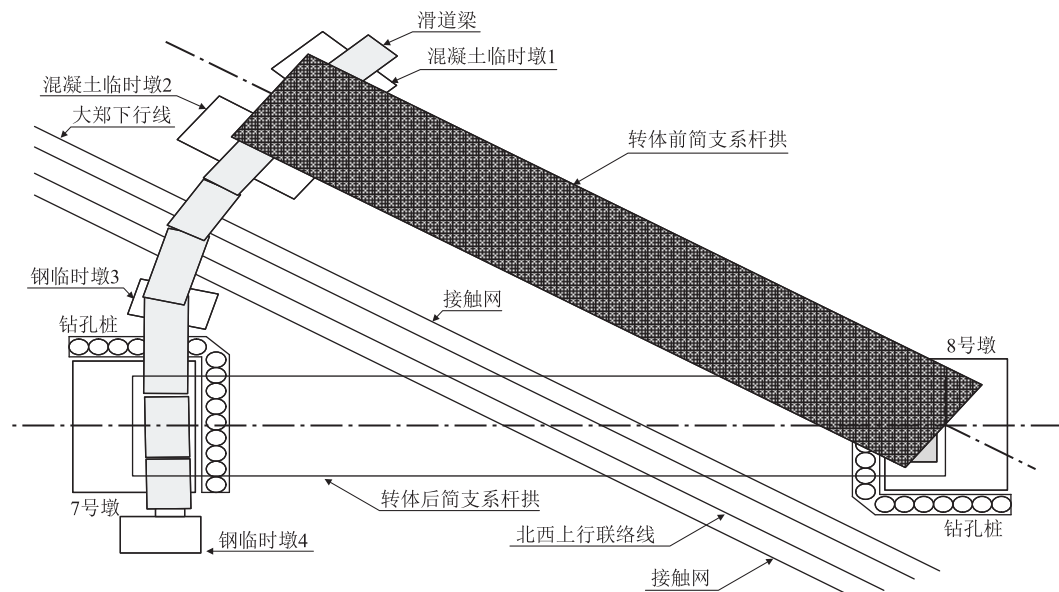


图 1 改京通右线大桥 7 号、8 号墩孔跨(1-64) m 简支系杆拱施工现场平面布置示意图

3.1 临时墩设计

1 号和 2 号临时墩采用混凝土桩基结构^[3],根据简支系杆拱预制完成后的承载力和顶推转体时的弧弦轨迹计算,1 号临时墩基础采用 4 根桩布设,桩长 3 200 cm,承台高 200 cm,墩身高 500 cm,墩顶平面为 300×400 cm;2 号临时墩基础采用 6 根桩布设,桩长 3 600 cm,承台高 200 cm,墩身高 600 cm,墩顶平面为 300×400 cm。1 号和 2 号临时墩桩基与简支系杆拱梁转体前平面位置关系如图 2 所示。1 号和 2 号临时墩与 7 号墩间架设滑道梁。1 号和 2 号临时墩钢支座与 7 号墩钢支座、8 号墩扁担梁三者顶部高程一致,以保证滑道梁整体高程和简支拱梁水平转体的平顺性。

3.2 滑道桥设计

为满足顶推简支系杆拱梁平转跨越既有大郑下行线和北西上行联络线的需要,采用了滑道桥设计。滑

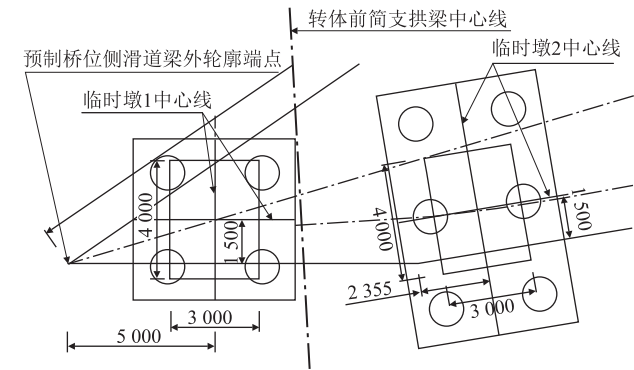


图2 1 号和 2 号临时墩桩基与转体前简支系杆拱梁平面位置关系示意图(mm)

道桥主要由 1 号和 2 号临时墩、7 号墩、4 个钢支座(含垫石、钢垫板)和滑道梁 5 部分组成。滑道桥立面布置如图 3 所示。

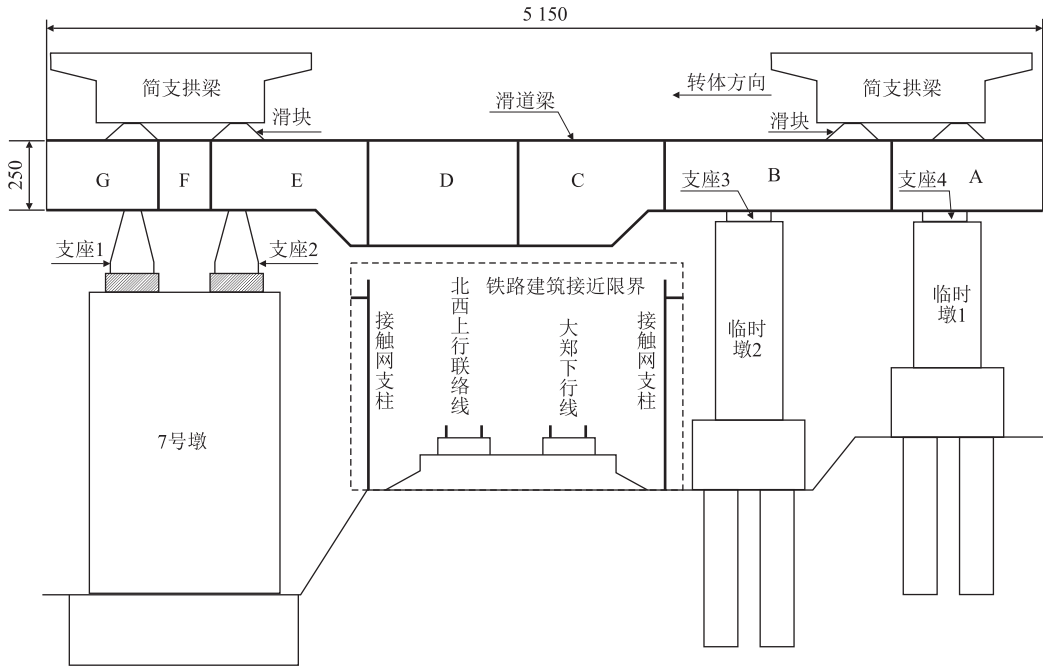


图3 滑道桥立面布置示意图(cm)

3.2.1 滑道梁结构设计

滑道梁总长 58 m,梁面宽 3 m。因顶推过程中简支系杆拱梁体按照曲线半径旋转,因此须将滑道梁设计成折线结构,分段吊装组拼。为满足滑道梁跨既有铁路快速吊装和拆解的施工要求,设计将滑道梁划分为 7 个节段,采用不同规格的 Q345B 钢材制作。为确保过跨时滑道梁结构的绝对安全,将滑道梁跨越既有铁路上方的 C、D 两个节段设计为鱼腹型加强结构。远离既有铁路线的 A、B、E、F、G 5 个节段高 2.5 m,鱼腹梁 C、D 节段高 3.3 m,C、D 节段梁底与两端相邻 B、E 节段梁底渐变相接。滑道梁各相邻节段均采用 10.9

级摩擦型 M30 高强螺栓连接,预拉力 $P=360\text{ kN}$ 。每个拼接部位均使用高强螺栓 600 套,全梁共使用高强螺栓 4 588 套。滑道梁顶面须平整,街头部位无错台,焊缝须打磨平整光滑。焊口等级须达到坡口焊一级,角焊缝二级,并全部进行无损探伤。滑道梁(含接头材料)计算总重 308.6 t(其中 A 节段重 37.955 t,B 节段重 60.773 t,C 节段重 43.048 t,D 节段重 56.332 t,E 节段重 49.464 t,F 节段重 25.785 t,G 节段重 18.944 t),滑道梁设计承载重量可达 6 000 t。

3.2.2 滑道梁钢支座设计

由于滑道梁整体采用钢结构,在顶推简支系杆拱

梁转体过程中,滑道梁会产生挠度变形。同时由于临时墩和7号墩墩身混凝土不能参与受拉,因此滑道桥未采用墩梁固结结构,而是采用在1号、2号临时墩和7号墩顶部设计4个钢支座对滑道梁进行支撑。滑道梁与临时墩、7号墩墩顶间自下而上为垫石、钢垫板和钢支座,临时墩和7号墩顶部的钢支座与墩身内预埋的M36×1020锚栓紧固连接,滑道梁与钢支座间采用10.9级M30高强螺栓紧固连接。为避免简支系杆拱梁平转跨越既有铁路过程中滑道梁墩梁连接结构产生过大应力,在转体施工时,将临时墩墩顶支座1和7号墩墩顶支座4上的紧固螺栓松解,以减小对滑道梁的竖向约束力。

3.2.3 滑道设计

在滑道梁顶部铺设长51.5 m、宽1.5 m圆弧形滑

道^[4],滑道中心线与滑块的滑动轨迹线相重合,滑道中心线曲线半径64.01 m。滑道自下而上由20 mm厚钢垫板和3 mm厚不锈钢板组成,其中钢垫板规格为640×300×20/20 mm,长2.5 m,材质为Q345B。钢垫板与滑道梁顶板焊接,主要起支撑与调平作用。不锈钢板切成小块与钢垫板焊接,焊接时须将不锈钢板压紧密贴在钢垫板上。不锈钢板间所有接缝均用焊缝填平,并用磨光机打磨平整,形成连续、平整、光滑的滑道面。不锈钢板面须清理干净,表面用清水清洗,摩擦面采用机油作为滑动介质,用以控制和减小顶推简支系杆拱梁底滑块滑行时的摩擦阻力。

3.2.4 顶推滑移系统设计

顶推滑移系统由梁底滑块、反力座、分配梁、顶推千斤顶和电脑同步顶升系统5部分组成^[5],如图4所示。

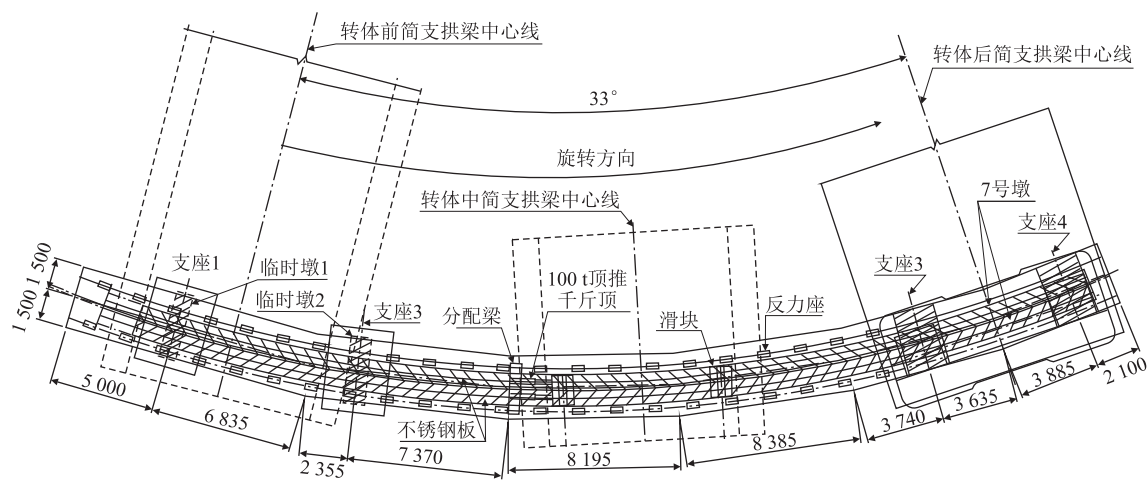


图4 滑道梁平转系统总平面布置示意图(mm)

(1) 梁底滑块

梁底滑块采用铸钢材料,单个滑块平面尺寸为1000 mm×1450 mm。简支系杆拱下2个支座位置各设2个滑块,两滑块之间用销轴连接。梁体浇筑前,在梁底预留滑块位置,滑块顶端以嵌入梁底2 mm为宜。在对应简支系杆拱梁下方的2个钢支座位置分别设置滑块A和滑块B,2个滑块下各嵌入1块1330 mm×930 mm×30 mm规格的MGE工程塑料合金材料滑板。简支系杆拱梁通过2组滑块和滑板支撑在滑道梁上,MGE滑板抗压强度不低于25 MPa。为防止转体过程中出现滑块脱落或不按照旋转曲线方向行走的现象,在优化设计时,取消了原设计滑块直接嵌入梁底内的刚性连接方案,改进为在简支系杆拱梁底预埋双拼工字钢的方案,一方面实现了对滑块的限位功能^[6],另一方面实现了转体完成后滑块自然脱落的

功能。

(2) 反力座

根据选用的顶推千斤顶长度和行程,为给2部水平千斤顶每个行程的顶推提供反力支撑点,在滑道梁顶部顺顶推前进的曲线方向每隔1.8 m设置1对反力座。原设计为22对(44个)反力座,施工前优化设计方案,共计设置了28对(56个)反力座。每对反力座对应设置在滑道钢垫板的两侧,沿滑道面曲线两侧边缘焊接在滑道梁上。反力座焊接前,须充分检查和校核反力座位置是否与简支系杆拱梁底部预埋的限位块、支座连接件等发生冲突或碰撞。

(3) 分配梁

为满足2部顶推千斤顶同时顶推简支系杆拱梁滑行转移的需要,采用了分配梁(亦称千斤顶后背梁)设计。分配梁长2.4 m,宽300 mm,高540 mm,采用

Q345B型钢焊制,角焊缝8 mm。

(4) 顶推千斤顶

采用2部300 t水平千斤顶(亦称顶镐)同时对梁底滑块进行施顶,施顶位置为滑块上设计的受力点。由于顶推是围绕转动中心端8号墩球铰支座作圆周平移动,因此,应随时增减滑道外侧顶镐与后背梁间的垫块厚度,以保证2部顶镐的顶移力垂直运动半径(简支系杆拱梁中轴线)与圆周方向相切。另外,还须在现场备用1部同型号千斤顶,以备应急使用。

(5) 电脑同步顶升控制系统

采用电脑同步顶升控制系统对两部顶镐的动程进行同步控制,提前将滑道内、外两侧顶镐动程的计算差值输入电脑,确保简支系杆拱梁两处顶点受力均匀。

3.3 简支系杆拱落梁钢垫块设计

简支系杆拱转体至设计位置后,7号墩需落梁4.346 m,8号墩需落梁4.821 m。为满足7号、8号墩交替落梁需要,在7号、8号墩的墩顶各布置4组落梁垫块^[7]。落梁垫块设置分为稳定梁体垫块组和千斤顶支顶垫块组,在墩顶支座中心线两侧均匀布设。落梁钢垫块采用Q345B钢箱结构,内部采用加筋肋板焊接。按每次落梁高度150 mm计算,依照节约材料用量和方便人工操作的原则,分别设计了A型(长1 200 mm×宽1 200 mm×高450 mm)、B型(长1 200 mm×宽1 200 mm×高150 mm)、C型(长1 200 mm×宽200 mm×高80 mm)、D型(长800 mm×宽200 mm×高80 mm)4种规格的落梁垫块和厚度分别为1 mm、2 mm两种规格的钢垫板。在落梁过程中将不同规格的钢垫块与钢垫板配合使用,完成7号、8号墩的交替落梁。落梁钢垫块模型示意如图5所示。

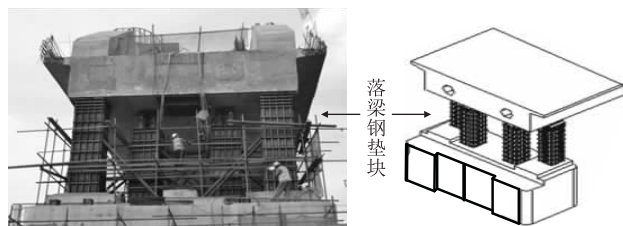


图5 落梁钢垫块模型示意图

4 设计方案安全性检算

委托具有资质的第三方咨询单位,对临时墩、滑道梁、扁担梁及球铰、满堂支架、简支系杆拱高位落梁等设计、施工技术方案逐项进行安全检算^[8-9],并出具检

算报告。经检算,各部分设施的结构强度、承载力、抗压、抗弯曲、抗倾覆、稳定性等计算值均满足规范要求。

4.1 滑道梁位移检算

通过对简支系杆拱梁在临时支座2、支座3之间滑动转体过程中的滑道梁结构位移图进行分析,得出临时墩最大位移值44 mm,滑道梁跨中最大位移值40 mm,支座2、支座3的最大位移值37 mm,均小于允许值 $l/600=44.8$ mm,满足安全指标要求。

4.2 滑道梁应力及抗偏载、扭转检算

通过对简支系杆拱梁正常滑移过程中滑道梁的应力、剪应力和偏载后的弯曲应力、剪应力图进行分析,得出临时支座最大弯曲应力为166 MPa,支点最大弯曲应力为152 MPa,均小于允许值210 MPa;滑移过程中的最大剪应力为81 MPa,偏载滑移时的最大剪应力为82 MPa,均小于允许值120 MPa;满足安全指标要求。需要注意的是,顶推施工过程中,支座与滑道梁间会出现脱空情况,此时滑道梁如发生偏载,整个梁体的安全富余量会减少,因此必须严格防止偏载现象的发生^[10]。

4.3 落梁钢垫块检算

4.3.1 稳定梁体钢垫块组检算

经检算,稳定梁体钢垫块的稳定系数为1.25,单组钢垫块承受的重量为875 t,承载能力 σ 为47 MPa,满足钢结构规范要求。

4.3.2 千斤顶支顶钢垫块组检算

7号、8号墩每墩采用2点落梁,共计采用4点落梁。每点采用3只600 t液压千斤顶对梁底进行顶升,钢垫块组受力不均匀系数按1.1考虑,计算每只千斤顶受力 F 为3 054 000 N。对4组千斤顶顶升过程进行建模,计算得出支顶钢垫块组的最大应力为184.1 MPa,小于345 MPa,支顶钢垫块组强度符合设计要求。

5 主要施工环节及工艺

简支系杆拱梁总体施工工艺流程为:施工7号、8号墩和临时墩的桩基础、墩身及防护桩→搭设简支系杆拱梁满堂支架,并按最大施工荷载的1.1倍进行预压→在8号墩顶部安装球铰及扁担梁→在1号、2号临时墩顶部搭设钢平台,吊装滑道梁A、B节段→在满堂支架上帮扎钢筋、安装拱脚、拱肋根部钢管、浇筑梁部混凝土→在简支系杆拱顶部搭设钢支架拼装钢管拱→浇筑钢管拱内混凝土,张拉、安装吊杆→吊装组拼滑道梁C、D、E、F、G节段→滑道梁顶部平转设施布

设→顶推简支系杆拱梁转体至7号墩设计位置→在7号、8号墩顶部安装钢垫块,垫起简支系杆拱梁→撤除7号墩顶部滑道梁节段和8号墩顶部扁担梁→利用三维千斤顶与汽车吊相互配合,分层移出7号、8号墩顶部钢垫块,实现7号、8号墩交替落梁→安装7号、8号墩顶部正式支座和防震落梁设施→与落梁施工同步,拆解、吊除全部滑道梁节段→简支系杆拱停梁60 d→施工二期荷载→简支系杆拱成桥,贯通改京通右线普架线路。

5.1 滑道梁架设

滑道梁节段采用场外集中预制,运输至场内后,采用1台150 T汽车吊分段吊装就位,吊装顺序为A→B→C、D→E→F→G。其中,A、B节段要首先吊装完成,以满足简支系杆拱梁旁位浇筑施工的需要。C、D节段进场后,先在地面拼接完成,并在梁底安装防电绝缘板安装,利用施工天窗采用500 t汽车吊吊装就位。C、D节段吊装前,须先将既有铁路大郑下行线和北西上行联络线的接触网回流线落地,并降低承力索的导高。在D、E节段连接部的下方设置格构柱临时钢支架,用以辅助施工人员进行C、D和D、E节段的吊装施工。

5.2 简支系杆拱梁顶推转体

简支系杆拱梁顶推转体是围绕8号墩顶球铰支座中心作逆时针圆周滑移运动,因此,须随时调整反立座与后背梁间的反力钢垫块(长450 mm),以保证2部水平千斤顶的顶推力与简支系杆拱梁中心线(旋转半径)相垂直,按逆时针圆弧方向连续作切线运动。2部千斤顶的总行程分别为36.697 m(内侧千斤顶)和37.11 m(外侧千斤顶)。每顶推1 m,简支系杆拱梁中心线逆时针旋转0.9°,内侧千斤顶行程1.000 m;外侧千斤顶行程1.001 m。简支拱梁顶推转体施工时应注意:(1)在2部顶推千斤顶上安装位移计,实现电脑操控系统对简支系杆拱梁平转位移的精准操控;(2)在简支拱梁平转过程中,设专人对8号墩顶部的球铰支座进行不间断观察,必须绝对避免球铰支座盖板与底盘间出现挤压锁死。发现问题时要立即停止顶推,并采取可靠措施处理,待问题解决后再继续进行顶推作业。

5.3 滑道梁和扁担梁拆除

简支系杆拱梁顶推转体至设计位置后,需将1号、2号临时墩和7号墩顶的滑道梁以及8号墩顶的扁担梁拆除。滑道梁顶部滑块为滑动端,能承受的水平力较小,若首先拆除扁担梁,则不能保证简支系杆拱梁体

的整体稳定。同时由于滑道梁E节段梁体与落梁稳定垫块的间距不满足拆除作业条件,无法保证施工安全,因此,须按照F→G→A→B、C、D→E→扁担梁的顺序,先拆除滑道梁,最后拆除扁担梁。拆除滑道梁施工应注意:(1)B、C、D 3个节段须在既有铁路施工天窗内拆除;(2)拆除E节段时,为防止其碰到7号墩顶稳定简支系杆拱梁的钢垫块,须预先用钢导链对E节段梁体进行限位固定,先将E节段梁体向C节段方向滑移出1 m以上后,再将E节段梁体平转吊离。

5.4 简支系杆拱高位落梁

简支系杆拱梁转体至设计位置并拆除滑道梁和扁担梁后,7号墩需落梁4.346 m,8号墩需落梁4.821 m,落梁施工步骤如下:

(1)在8号墩墩顶操作落梁。操作支顶钢垫块组顶部的千斤顶,将简支系杆拱梁顶起,从稳定梁体钢垫块组上部抽除B型钢垫块,完成8号墩落梁高度150 mm。将千斤顶回油,抽除支顶钢垫块组顶部B型钢垫块。

(2)连续重复步骤(1)3次,将8号墩梁底累计下落450 mm。此时,8号墩梁底比7号墩梁底低80 mm。

(3)在7号墩墩顶操作落梁。方法同8号墩,将7号墩梁底下落150 mm。此时,7号墩梁底比8号墩梁底低70 mm。

(4)在8号墩墩顶操作落梁。将8号墩梁底再次下落150 mm,此时,8号墩梁底比7号墩梁底低80 mm。

(5)重复步骤(3)和步骤(4),在8号墩、7号墩墩顶操作交替落梁。

(6)在8号墩墩顶垫石与简支系杆拱梁底间相差450 mm时,安装8号墩永久支座。

(7)在7号墩墩顶垫石与简支系杆拱梁底间相差450 mm时,安装7号墩永久支座。

(8)操作三维千斤顶,将简支系杆拱梁精调到位,完成落梁。

简支系杆拱梁落梁施工时应注意:(1)在支顶千斤顶上安装位移计,实现电脑操控系统对简支系杆拱梁支顶位移的精准操控;(2)落梁就位前,操纵4台1 200 t三维液压千斤顶,将简支系杆拱梁精调到位;(3)在7号、8号墩侧面的临时钢支架上,分别设置落梁高度观测刻度牌,设专人对简支系杆拱的落梁高度进行观测,并认真做好观测记录,随时掌握落梁进度。

6 结束语

新通客专改京通右线大桥(1-64) m简支系杆拱

梁于2017年8月24日开始施工,2017年10月24日完成转体并开通使用。通过采用圆弧形钢箱滑道梁、双镐同步顶推转体、临时钢垫块以及三维千斤顶等新技术,克服了现场地形、地物既不满足简支拱梁原位浇筑,也不满足简支拱梁吊装架设的施工条件等困难,确保了简支拱梁顶推转体和高位落梁的施工安全。在累计62 d的时间内,完成了简支拱梁孔跨全部临时工程和正式工程的施工,较原设计封锁既有铁路,原位修建简支拱梁的施工方案节约工期45 d,节约施工成本136万元,并避免了封锁铁路营业线105 d造成的运输收入损失和社会不良影响。为新通客专通辽特大桥铺轨架梁,通辽站高速场代替普速场过渡以及通辽站普速场改扩建施工等创造了极为有利的先决条件,确保了新通客专按期开通运营,可为今后同类工程建设提供参考借鉴。

参考文献:

- [1] 高英杰. 钢箱系杆拱桥异位拼装顶推施工技术的应用研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2019, 15(3): 161-163.
GAO Yingjie. The Steel Box Fastens the Pole Arched Bridge Difference to Put Together to Pack a Crest to Push to Start Construction Technical Application Study [J]. Journal of Guizhou University of Finance and Economics, 2019, 15(3): 161-163.
- [2] 黄林峰. 系杆拱桥施工技术研究[J]. 科技资讯, 2019, 17(8): 59-60.
HUANG Linfeng. Fasten Pole Arched Bridge to Start Construction Technique Research [J]. Science & Technology Information, 2019, 17(8): 59-60.
- [3] 宋郁民, 郝晋新, 赵志明. 大跨度系杆拱桥顶推施工技术研究[J]. 施工技术, 2017, 46(S1): 858-861.
SONG Yumin, HAO Jinxin, ZHAO Zhiming. Study on Incremental Launching Construction Technique for Long Span Tied Arch Bridge [J]. Construction Technology, 2017, 46(S1): 858-861.
- [4] 占有志. 双线钢管混凝土简支系杆拱桥顶推施工浅议[J]. 山西

建筑, 2010, 36(23): 314-315.

ZHAN Youzhi. Brief Discussion on Incremental Launching Construction of Concrete Filled Double-lane Steel Pipe Simple Supported Tied Arch Bridge [J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(23): 314-315.

- [5] 聂永明, 陈小正. 大跨系杆拱桥顶推施工技术[J]. 施工技术, 2010, 39(7): 62-65.
NIE Yongming, CHEN Xiaozheng. Pushing Technology of Large-span Tie Bar Arch Bridge [J]. Construction Technology, 2010, 39(7): 62-65.
- [6] 王栋, 陈少华. 钢箱系杆拱桥异位拼装顶推施工技术[J]. 施工技术, 2017, 46(15): 75-79.
WANG Dong, CHEN Shaohua. Ectopic Assembled Pushing Construction of Steel Box Tied Arch Bridge [J]. Construction Technology, 2017, 46(15): 75-79.
- [7] 黄旺明. 津秦客运专线113m简支系杆拱桥平转施工技术[J]. 桥梁建设, 2012, 42(3): 114-120.
HUANG Wangming. Construction Techniques for Horizontal Rotation of 113 m Span Simply-Supported Tied Arch Bridge on Tianjin-Qinhuangdao Passenger Dedicated Railway [J]. Bridge Construction, 2012, 42(3): 114-120.
- [8] 倪传志, 宋郁民, 王成波. 基于3G网络的大跨度连续钢系杆拱桥顶推施工监控研究[J]. 公路, 2018, 63(12): 111-115.
NI Chuanzhi, SONG Yumin, WANG Chengbo. Monitoring of Incremental Launching Construction for Large Span Continuous Steel Arch Bridge Based on 3G Network [J]. Highway, 2018, 63(12): 111-115.
- [9] 王宗丰. 城际铁路74m简支系杆拱桥设计[J]. 城市道桥与防洪, 2018(4): 65-68.
WANG Zongfeng. The City Fastens Pole Arched Bridge between Jian Zhi of the Railroad 74 m Design [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2018(4): 65-68.
- [10] 王成. 钢管混凝土柔性系杆拱桥转体法施工技术[J]. 铁道标准设计, 2006, 50(4): 38-41.
WANG Cheng. The Technology for Constructing the Steel-Pipe Concrete Flexible Tie Arch Bridge with the Swinging Erection Method [J]. Railway Standard Design, 2006, 50(4): 38-41.

(上接第89页)

- [4] 邹宇亮, 杨少林, 万芳, 等. 施工现场节水及水资源利用研究[J]. 建筑节能, 2018, 46(9): 145-148.
ZOU Yuliang, YANG Shaolin, WAN Fang, et al. Water Saving and Water Resources Utilization Research on Construction Site [J]. Building Energy Efficiency, 2018, 46(9): 145-148.
- [5] 祁彦泰. 浅谈施工现场的临时用水[J]. 山西建筑, 2001, 27(2): 119-120.
QI Yantai. Simple Discussion on Temporary Water of Construction Spot [J]. Shanxi Architecture, 2001, 27(2): 119-120.
- [6] 王善龙. 绿色施工节水节电指标及控制措施研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.

WANG Shanlong. Study on Water-saving and Electricity-saving Indicators and Control Measures of Green Construction [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2016.

- [7] TZJ 3004-2017 铁路工程施工机具台班费用定额[S].
TZJ 3004-2017 The Fixed Cost of Railway Engineering Construction Equipment [S].
- [8] TZJ 1001-2017 铁路基本建设工程设计概(预)算编制办法[S].
TZJ 1001-2017 Compilation Method of Railway Capital Construction Project Design [S].
- [9] TZJ 3001-2017 铁路基本建设工程设计概(预)算费用定额[S].
TZJ 3001-2017 Estimated Cost of Railway Capital Construction Project Design [S].