

上跨铁路转体立交桥施工技术要点研究

曹 健

(中铁六局集团北京铁路建设有限公司, 北京 100036)

摘 要 在城市化过程中, 桥梁工程上跨铁路的结构形式日益增多, 施工工法亦具备多样性, 如转体施工、预制小箱梁吊装、顶推、挂篮悬浇等。特别是在跨越繁忙运营铁路的特定场景下, 转体桥施工能将大量高风险、高干扰的“跨线作业”转化为安全的“离线作业”, 从而实现对铁路运营影响最小、安全保障最高的目标。本文以南山环线三期道路工程上跨大秦铁路立交桥工程为背景, 系统研究了转体施工在跨越重载铁路中的应用, 旨在为类似工程提供参考。通过工程实践, 验证了跨越重载铁路转体施工对铁路运行影响小、施工安全高、质量控制好、综合社会成本低等优点。

关键词 桥梁工程; 立交桥; 上跨; 重载铁路; 转体施工技术

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.03.029

0 引言

随着城市建设的快速发展, 公路、城市轨道交通和道路上跨高速铁路、重载铁路等施工日益增多, 如何降低对既有铁路的影响成为技术难点。常用架桥机施工、吊装施工、挂篮悬浇等对既有铁路影响大、安全风险高、质量控制难度较高, 而采用转体施工跨越既有铁路可显著降低对既有铁路运营的影响, 降低安全风险, 降低质量控制难度^[1]。本文以南山环线三期道路工程上跨大秦铁路立交桥工程为背景, 聚焦跨越重载铁路转体施工, 提出系统性解决方案。

1 工程概况

1.1 项目简介

南山环线三期道路工程位于北京市延庆区, 采用 2×59 m 转体 T 构跨越大秦铁路, 跨越点处铁路里程为 K272+254, 铁路为路堑段。转体总重量为 7 000 t, 顺时针转体, 转体角度为 85° (试转体 5°, 正式转体 80°), 采用两台 200 t 自动连续千斤顶在 II 级封锁点内进行转体施工。大秦铁路为双线电气化重载铁路, 货运任务繁忙, 在确保铁路运营安全的前提下, 上跨大秦铁路转体立交桥是南山环线三期道路工程能否顺利开通的关键节点。

1.2 施工重点、难点

(1) 1 号主墩基坑深约 8.3 m, 围护结构采用 $\Phi 1.2$ m 防护桩 + 桩顶冠梁结构, 根据开挖进度支设钢支撑, 基坑深度大, 安全风险系数高, 基坑支护要求高, 为

本工程施工重点; (2) 现浇箱梁转体 T 构下部结构及箱梁施工涉及邻近营业线施工, 做好临近既有有线施工的安全防护及手续办理是本工程的重点。

1.3 施工工序

总体施工顺序为: 桩基施工→下部结构→转体 T 构现浇箱梁施工→称配重→试转→正式转体施工→后浇段施工。

2 上跨铁路转体立交桥施工方案

2.1 桩基施工

转体主墩桩基共计 16 根, 桩径 1.5 m, 桩长 50 m, 距离大秦铁路安全限界 24 m, 采用作业高度 23 m 的旋挖钻进行钻孔施工, 25 t 吊车双吊点法进行钢筋笼安装, 采用导管法进行混凝土水下灌注。

2.2 下部结构施工

1. 承台尺寸为 16.3×14.5×4 m, 采用定型刚模板分两次进行浇筑。

2. 转体系统包括下转盘、转体支座、上转盘及牵引装置。施工中严格遵循设计要求, 控制安装精度, 采用“边测边调、先松后紧、对角抄平、步步紧跟”的操作原则, 确保满足规范标准^[2]。转体过程采用两套液压驱动、同步运行、自动连续的牵引系统, 通过水平方向形成的力偶, 拽拉并缠绕在转台上的钢绞线, 从而驱动整个转动体系平稳旋转。

3. 转体主墩为矩形墩柱, 截面尺寸为 8.5×3×2 m, 采用定型刚模板一次浇筑。

作者简介: 曹健 (1985-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 桥梁工程。

2.3 转体T构现浇箱梁施工

上部结构箱梁梁体为单箱双室、变高度、变截面直腹板结构,转体墩处梁高6.5 m,边墩处梁高3.0 m,墩顶部分共分7个梁端,跨度为59+59 m,地基采用高压旋喷桩+40 cm级配砂砾+20 cm混凝土进行加固处理,箱梁采用满堂支架法进行施工,单梁段一次浇筑成型。

2.4 称配重

采用4台500 t千斤顶进行称重,根据称重试验结果,确定合理的配重位置及重量,配重块设置在非转体侧,配重17.5 t。梁体配重采用2.5 t预制块,箱梁施工过程中已在箱梁顶板预留U型钢筋,预制块吊装完成后,采用钢丝绳+桥面预埋U型钢筋绑扎固定预制块,确保转体过程中配重块稳定。

2.5 试转体

2.5.1 转体工况计算

1. 转体结构的牵引力计算与设备配置需在现浇箱梁施工完成后实施。此时,将转动系统的支撑体系进行转换,移除临时垫板,使转台完全支承于球铰之上。随后施加转动力矩,驱动转台绕球铰中心轴旋转,并检查球铰运转状态,实测其摩擦系数,为后续正式转体提供技术依据^[3]。

本桥采用两套ZLD350 甬-200型连续张拉千斤顶系统,每套包含主千斤顶、液压装置、控制系统、牵引用钢绞线及多台辅助千斤顶,额定张拉力达3 567 kN,启动安全系数为3.8。两套系统协同工作,形成水平旋转力偶,通过牵引并锚固在直径970 cm转台圆周上的19束Φs15.2 mm钢绞线(牵引安全系数5.27),带动整个转动体系平稳旋转。

2. 试转体时间计算。桥试转体角度为5度,则:

$$\text{转盘所走的弧线长度: } LS = (D\pi) \times \theta / 360 = 9.7 \times 3.14 \times 2 \times 5 / 360 = 0.846 \text{ m}$$

$$\text{转体悬臂端所走的弧线长度: } LS_1 = (D\pi) \times \theta / 360 = 59 \times 3.14 \times 2 \times 5 / 360 = 5.146 \text{ m}$$

转动过程中按角速度按0.02 rad/min (1.146°/min)控制,则梁端线速度: $V_1 = 0.02 \times 59 = 1.18 \text{ m/min}$

转台线速度: $V_2 = 0.02 \times 4.85 = 0.097 \text{ m/min}$

则试转体过程中行走时间为:

$$T = 5.146 / 1.18 = 4.36 \text{ min} \approx 5 \text{ min}$$

2.5.2 试转体

1. 提前将施工方案、计划报铁路相关管理部门,认真清理梁体表面,确保桥面无轻飘物,易坠落物等。

2. 对梁体姿态进行测量,对转动体系处及梁端钢筋进行弯折处理,避免转体过程中发生阻碍,解除多余约束。

3. 试转前对转体所需设备进行检验、校定,对千斤顶等设备进行空载、荷载试验^[4]。

4. 清理滑道:清理滑道表面,并采用高压风清除滑道与撑脚间预留间隙内的杂物;随后检查该间隙,在撑脚底部与滑道顶部之间铺设10 mm厚的四氟乙烯滑板,并均匀涂抹润滑油,确保滑移顺畅。

5. 转体设备安装并调试完成、平衡配重、撑脚、滑道等均检查无误后方可进行试转。

2.5.3 试转体总结

(1) 转体方案实用、可靠;(2) 转体工程整个指挥系统运转良好;(3) 操作人员能明确自己的岗位职责和具备协同反应能力;(4) 试转实验实测数据得出:

$$\text{静摩擦系数为: } \mu_{\text{静}} = \frac{F_{\text{启动力}} * D}{\frac{2}{3} N * R_{\text{球铰}}} = 0.1$$

$$\text{动摩擦系数为: } \mu_{\text{动}} = \frac{F_{\text{转动力}} * D}{\frac{2}{3} N * R_{\text{球铰}}} = 0.05$$

实测启动力约为设计启动力的70%,牵引设备具有充足的安全储备;试转期间转体设备性能稳定,现场监测数据显示梁体转动平稳;启动牵引力660 kN,转动牵引力400 kN;均远小于计算启动牵引力938 kN和转动牵引力469 kN,满足要求。

试转中测出平转速度1.14°/min(0.019 897 rad/min),结果满足设计图纸角速度不大于0.02 rad/min的要求。试转中测出点动3 mm,梁端位移41 mm;点动5 mm,梁端位移70 mm;点动10 mm,梁端位移128 mm;监测结果作为转体精确定位的操作依据。

试转中测出惯性位移值2 mm,判断对桥体影响很小。

2.6 正式转体(II级施工)

1. 启动。同步启动牵引千斤顶,采取分级加载,由于各千斤顶间的进油腔并联,油压相等,实现分级加载将所有泵站溢流阀限压调成一致。

2. 平转。在转体过程中,根据转台上标识好的转角刻度,以防欠转或超转。在距离设计位置1 m时,改为点动转动,通过测量梁端6个360度棱镜测点对梁端轴线进行连续观测,直至结构轴线精确就位,确保轴线位置准确;转体轴线就位后,在滑道内放置4台500 t千斤顶,对转体结构进行姿态调整,确保高程准确。

3. 防超转措施。(1) 转体设备具备定距模式,转体就位前剩余1 m时,进入点动操作,精准就位时钢绞线定距距离不得超过2 mm,防止超转;(2) 转体系统设置防超转限位装置,限位装置采用40b标准工字钢,

转体过程中限位装置不得过早安装,避免阻挡撑脚转动,转体剩余 5° 左右安装限位挡板,并精调其位置^[5];(3)为防止转体超限,需在牵引钢绞线上设置明显标记,便于千斤顶操作人员直观掌握转体到位时的牵引行程,避免过量牵引。同时,在转盘上布设测量标识,实时观测并记录转动角度与结构位置,及时反馈信息。在接近设计就位点前,应加强数据采集与分析,形成转体前的测量报告,并据此合理调控转动速度,确保精准、平稳就位。

4. 临时锁定。梁体中线到达设计位置后,对转体系统进行临时锁定。中线锁定后进行边跨现浇段标高调整,可通过采用边跨梁端支架顶托进行微调,转体完成后边跨现浇段支架已支撑到箱梁底部,可通过人工敲打顶托进行梁体标高微调,标高调整完成后立即对转盘承台钢筋进行焊接锁定,并将撑脚与滑道进行焊接。然后报请铁路运输部门解除封闭,开通线路恢复正常运营。

5. 合拢。转体就位后,进行主梁合龙,体系转换。主梁合龙段混凝土浇筑、预应力钢束张拉等必须按设计要求的顺序进行,以使结构受力符合设计计算,同时要求在一天中尽可能低的温度下进行合龙。

3 上跨铁路转体立交桥施工保证措施

3.1 组织保障措施

1. 构建完善的安全保障体系,由项目经理牵头成立安全管理领导小组,并配备专职安全员,全面负责安全管理工作,确保转体施工全过程处于受控状态。

2. 同步建立转体施工专项保障机制,设立专门的安全领导小组,成员全程跟班作业,依据各自职责分工,在现场开展组织、指导与协调工作,切实保障转体作业安全有序进行。

3. 在转体施工前,对所有参建人员开展详细的技术交底和安全教育培训,增强全员安全意识,要求施工人员坚守岗位、服从统一指挥,严格执行指令,全力保障铁路运营安全及现场施工安全。

3.2 安全保证措施

1. 转体施工。(1)施工前组织通过方案专家论证,方案经监理、建设及中国铁路太原局集团有限公司审批通过后,方可实施;(2)施工前做好方案和安全技术交底,人员进场先行培训,培训合格后方可上岗作业;(3)严格遵照中国铁路太原局 2025 年 2 月 17 日下发的《铁路沿线大型机械施工 10 条硬措施》进行现场机械安全管理。

2. 营业线施工。(1)施工前,中国铁路太原局集

团有限公司各站段签订安全配合协议;(2)邻近大秦铁路既有线施工需在铁路侧布置密目防护网和刚性物理隔离,将施工现场与大秦铁路隔开;(3)施工时,严格执行中国铁路太原局集团有限公司制定的有关营业线邻近施工安全管理规定,人员培训合格后,持证上岗;(4)施工中及时清理施工范围内的废弃物和包装网、袋,防止杂物飘落到营业线内或接触网上,影响行车安全;(5)转体前,清理梁体上杂物,原则上梁面不存留任何物体、机械,如必须放置在梁上、随转体一同进行的,必须固定牢固,防止随转体随意摆动,威胁线路安全,同时经过精确计算,及时调整配重,防止影响转体安全^[6];(6)转体施工申报铁路营业线要点施工计划,大秦铁路垂停封锁,施工前模拟转体施工的各项工序、衔接及时间,精确计划,充分利用要点的时点,完成更多的工序内容,避免多次要点影响铁路正常运营。

4 结束语

通过南山环线三期上跨大秦铁路立交桥工程的实践,验证了在重载繁忙铁路干线上转体的可行性及优势。相对于传统的架桥机施工、起重机吊装施工,转体施工转体桥在平行于既有线路进行预制,仅在转体就位时段(通常 2 小时内)进行短暂封闭,对铁路影响极小;将大量高空、高危的跨线作业转化为低空作业,极大地减少了施工人员面临的风险,也减少了落物对下方行车、行人的威胁;采用 6 个 360 度棱镜测点对梁端轴线进行连续观测,可实现高精度转体对接,提高施工质量;转体施工过程技术含量高,视觉冲击力强,对工程技术和项目管理水平有较高要求,以提升工程的社会影响力。转体桥是跨越重载繁忙干线铁路、大跨度、大吨位桥梁时的最优安全选择,综合效益较高。

参考文献:

- [1] 侯晶波,王强,张志军.公路工程预制箱梁上跨既有铁路施工安全风险研究[J].建筑安全,2025,40(08):48-50.
- [2] 余芝升.上跨赣韶铁路的雄信高速T构桥转体施工技术[J].工程建设与设计,2025(14):153-155.
- [3] 张雷.上跨铁路立交桥工程的T构梁转体施工关键技术分析[J].建筑机械,2025(07):133-137.
- [4] 罗维.上跨既有铁路公路城市高架桥预制梁拼装风险研究[D].抚州:东华理工大学,2024.
- [5] 王翔.列车运营激励下上跨铁路T构转体桥振动响应研究[D].南昌:华东交通大学,2023.
- [6] 刘萌.上跨高速铁路立交桥施工风险评估研究[D].北京:北京交通大学,2020.