

跨繁忙干线混凝土连续梁水平转体施工

谢红星

中国通号（郑州）电气化局

摘要：作为中国铁路郑州局集团有限公司管内第二座采用转体施工跨越繁忙干线铁路的立交工程，通过对施工工艺和控制要点的前期研究和现场实施，印证了转体施工工艺在技术安全和质量控制方面的可靠性，更是对铁路安全运营的干扰降至最低，积累了施工技术经验，对今后类似工程可以起到很好的借鉴和参考作用。

关键词：跨越；繁忙干线铁路；水平转体；球铰；称重配重；连续千斤顶

一、工程概况

郑州市新建西四环高架桥工程与繁忙干线铁路陇海线交叉于下行线里程K581+426。立交工程按市政道路上下行分幅设计，并采用水平转体施工。其中西幅桥设计为(68+68)m的T形刚构梁式桥，主墩布置在陇海铁路的北侧，顺铁路方向支架法现浇主桥(62.5+62.5)m，顺时针转体75.9°，转体总重12200吨。东幅桥设计为(58+58)m的刚构梁式桥，主墩布置在陇海铁路的南侧，顺铁路支架方向支架法现浇主桥(54+54)m，顺时针转体76.1°，转体总重8500吨。

这是该区段铁路管辖单位郑州铁路局在管内第二次采用转体施工跨越铁路，也是本工程的重难点和控制工程，施工单位肩负确保铁路安全和项目工期的双重压力，必须对水平转体施工工艺进行深入研究。

二、施工工序及特点

桥梁转体施工分为竖转法、平转法和平竖结合法。本工程采用平转法转体，成功的关键在于转体系统的完好、有效。转体系统安装在墩柱底部的上下承台之间，主要包括球铰、滑道、钢撑脚、预埋钢绞线及牵引反力座等。总体施工工序是：桩基施工→下承台施工→上承台施工→墩身施工→梁体施工→称重配重→试转→铁路“要点”转体施工到位。

为保证转体系统的安装精度，下承台施工分三次进行；上承台施工时需要预埋转体牵引索；转体前上下承台之间采用6组20a工字钢临时固结锁定，确保球铰在施工过程中不受力；变截面箱梁在铁路路基外侧平行铁路方向采用支架法现浇施工，属于铁路邻近营业线施工，需要向铁路局申请施工计划；转体前的准备工作包括对T构进行整体称重及配重，计算确定相关转体参数，并通过试转5°进行验证；正式转体施工需要申请铁路垂直天窗实施上下行封锁、接触网停电施工；转体施工时采用2台400t连续千斤顶形成力偶进行同步牵引，使桥梁匀速转动至桥梁中线位置。

三、施工工艺及控制要点

(一) 下承台施工

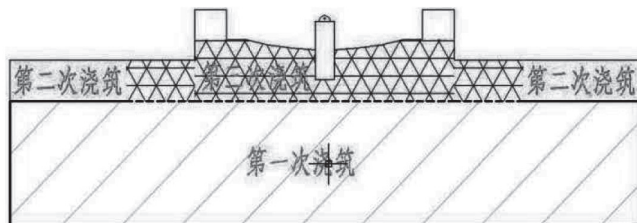
下承台为支撑全部转体结构重量的基础，需要安装下球铰、钢滑道，并设置12对助推反力座及2个牵引力反力座。下承台混凝土分三次进行浇筑：

第一次：绑扎承台钢筋，安装球铰支架及滑道骨架的预埋筋，浇筑混凝土至滑道骨架。

第二次：安装下球铰支架及滑道骨架，并固定其平面位置和高程，绑扎承台、千斤顶反力座、牵引力反力座钢筋，安装预留槽模板、销轴预留孔模板，浇筑混凝土至下承台顶面。

第三次：吊装下球铰并固定平面位置及高程，吊装滑道钢

板并固定高程。然后浇筑下球铰、滑道坑槽、千斤顶反力座、牵引反力座混凝土。



下转盘浇筑步骤

(二) 球铰安装

球铰分上下两部分，位于上、下转盘之间，在转体过程中起支撑作用，是平衡转动体系的支撑中心和转动中心，其加工及安装精度直接影响转体能否顺利实施。

下承台混凝土浇筑至球铰支架底部标高时，安装下球铰支架，使球铰周围顶面处各点相对误差不大于1mm，将调整螺栓进行固定。

下转盘混凝土施工完成后，将转动定位钢销轴放入下转盘预埋套管中，然后进行下球铰四氟乙烯滑动片的安装和上球铰的安装。并在下球铰球面上滑动片间涂抹黄油四氟乙烯粉，涂抹完后要尽快安装上球铰。



(三) 滑道和撑脚安装

滑道由滑道骨架、钢板、四氟滑板组成，骨架布置在下承台内，上铺滑道钢板，环形宽度为110cm，环道的平整度相对高程误差小于2mm。

钢撑脚是支撑转体结构平稳的保险装置，采用双钢桶结构，1/2埋设在上转盘底部，1/2外露，钢管内灌注C55微膨胀混凝土。在下盘混凝土灌注完成、上球铰安装就位时即安装撑脚，并在撑脚走板下支垫20mm的石英砂，作为转体结构和滑道的间隙。

(四) 上承台施工

上承台转台是球铰、撑脚与上转盘相连接的圆形承台部分，也是转体牵引力直接施加部分。转台内预埋转体牵引索，预埋端采用P型锚具锚固，同一对索的锚具在同一直径上且对称于圆心，每一根索的预埋高度与牵引力高度方向一致，出口

点对称于转盘中心。

(五) 转盘临时支撑与固结

为防止转体梁部现浇时球铰产生转动或过早受力，上下承台之间需临时固结。现场采用6组20a工字钢预埋在下承台中，待上承台浇筑混凝土时与工字钢浇筑在一起，使上下承台连为整体，实现临时固结。

(六) 牵引力计算

根据转体牵引力计算公式： $T=2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu) / D$ 式中：

R-球铰平面半径， $R=1.6m$ ；

W-转体总重量， $W=85000kN$ （取东幅桥的总重量）；

D-转台直径， $9.0m$ ；

μ -球铰摩擦系数， $\mu_{静}=0.1$ ， $\mu_{动}=0.06$ ；

计算结果：

启动时所需最大牵引力 $T=2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu_{静}) / D=1007.5kN$ ；

转动过程中所需牵引力 $T=2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu_{动}) / D=604.5kN$ 。

计算转体过程中撑脚竖向力，考虑不平衡力有：

梁体转体过程中，按不平衡力矩转动考虑，通过配重人为控制梁体向后倾，使一个撑脚接触滑道，撑脚支反力不大于5500kN，所需牵引力 $T=\mu_{静} \times N \times R/D=98kN$

即启动时所需要的最大牵引力 $T=1007.5+98=1105.5kN$

动力储备系数 $2000kN \times 2 \times 0.75 \div 1105.5kN = 2.71 > 2$

符合规范关于牵引设备的额定牵引力按计算牵引力2倍配置的要求。

(七) 砂箱拆除、滑道清理

砂箱拆除遵循“对称均衡”的卸载原则，砂箱拆除前先使用4台500t千斤顶将上承台临时顶住，然后再进行砂箱拆除。砂箱拆除时加强对桥梁的观测，发现异常情况立即停止。

砂箱拆除后将滑道与撑脚之间预留空隙中的石英砂掏出，并用高压风清理干净，然后对整个滑道不锈钢板表面进行清理除锈，并涂抹黄油。在撑脚下放置四氟滑板，四氟滑面朝下，与撑脚底部固定，减小转体时的摩擦力。

(八) 称重与配重

桥梁转体前，需进行称重平衡试验，测试桥梁转体的不平衡力矩、偏心矩、摩阻力矩及摩擦系数等参数，根据称重结果进行配重。

配重的目的是使转动体达到平衡状态，提高转体过程的稳定性，配重的大小应保证配重后的偏心矩满足 $5cm \leq e \leq 15cm$ 的要求。为了保证配重卸载的安全，配重设置在非跨越铁路的梁端一侧，使转体不平衡力矩偏向铁路侧梁端。经现场实际称重，重心偏心量控制在8cm，可以保证结构的稳定安全及转体的平顺性。

(九) 牵引系统安装

牵引系统由2台连续顶推千斤顶、1台液压泵站和1台主控制台组成，通过高压油管和电缆线形成两套转体牵引动力系统。每台千斤顶（前、后顶）前端均配有夹持装置。在反力座进口端设置分丝板，以防钢绞线解旋力将千斤顶活套旋转，造成牵引索扭成一束。分丝板与反力座相对固定，不得转动。

(十) 布设测点、安装刻度盘

根据线路中心线及转角，测出顺线路浇筑连续梁梁面的中

心线，标识于梁端、墩顶中心，作为轴线控制点。同时在梁端翼缘板两侧各布置2个高程控制点，监测转体过程中桥的整体平衡性。在中墩4个面上分别弹出垂直线，作为转体时观测垂直度。

根据桥梁实际转体角度分别换算成刻度盘，粘贴在钻盘上，并固定钢筋指针。在刻度盘上标明点动区域、制动点和就位点，以便在转动过程中控制转动体的状态及速度。

(十一) 试转

在正式转体前要进行试转，试转角度为 5° ，提前发现和解决可能出现的不利情况。

1. 预紧钢绞线。用千斤顶将钢绞线逐根以 $5 \sim 10kN$ 的拉力预紧，预紧应采取对称进行的方式，并应重复数次，以保证各根钢绞线受力均匀。

2. 开始试转。若不能转动，则施以事先准备好的助推千斤顶同时出力，以克服超常静摩阻力来启动桥梁转动，若还不能启动，则应停止试转，另行研究处理。

3. 试转结束后立即用楔形铁把撑脚塞死，并把砂箱放入滑道上，用硬杂木片把砂箱与上转盘塞死固定。

(十二) 正式转体

试转成功后方可进行正式转体。郑州铁路局对本工程东、西两幅转体施工分别给点100 min，垂直封锁繁忙干线铁路陇海线上下行，同时接触网停电配合。

现场采用2台200t连续千斤顶进行同步牵引，以保证上转盘仅承受与摩擦力矩相平衡的动力偶，无倾覆力矩产生。转体角速度不大于 $0.018rad/min$ ，桥梁悬臂端线速度不大于 $1.5m/min$ 。在距离设计桥梁中线位置0.5m时，结束2台千斤顶连续工作状态，采取点动牵引法进行缓慢就位；同时通过提前设置限位钢梁辅助精准就位，防止超转。转体到位后，采用钢楔块塞紧撑脚与滑道间隙，并与滑道焊接牢固；T构的两悬臂端各采用4台200t千斤顶与临时支墩进行临时固定，保证T构的整体稳定。

(十三) 封固转盘

临时固定完成后，清洗转盘上表面，焊接预留钢筋，立模浇筑C50微膨胀混凝土进行封固，使上、下转盘连成一体。

四、结论

采用转体施工方法跨越繁忙干线铁路，在施工现场满足梁体制制的条件下，相对于装配式预制梁架桥机架设，可以节约大量铁路封锁要点施工，减少对铁路运营的干扰；相对于悬臂挂篮施工，又极大降低了铁路安全风险。正因为优势明显，目前中国国家铁路集团有限公司发布的《关于加强穿（跨）越铁路营业线和邻近营业线工程方案等审查和施工安全管理的通知》（工电桥房函）（2020）（48号）强调，“桥梁施工应优先采用转体施工方案”。本工程的实施不仅印证了这种优势，也为今后郑州铁路管内的转体施工积累了较好的施工经验。

参考文献

- [1] 桥梁转体施工[M]. 北京: 人民交通出版社 2002. 张联燕
- [2] 韩诚善. 转体施工桥梁球铰安装精确控制施工技术. 珠江水运. 2016. 88-89
- [3] 颜惠华, 王长海, 罗力军. 桥梁转体施工中球铰静摩擦系数计算方法[J], 世界桥梁, 2015