

60 m+60 m 双跨连续梁上跨铁路非对称转体设计研究

祝培林¹, 黄奎², 金礼勇¹, 冯鹤², 井银军²

(1. 中铁西安勘察设计研究院有限责任公司, 陕西 西安 710054; 2. 中建三局集团西北有限公司, 陕西 西安 710076)

摘要: 西安国际港务区欧亚大道涉铁段高架桥为上跨陇海铁路货运北环线而设, 设计为60 m+60 m双幅预应力混凝土变截面连续箱梁桥。为了给规划地铁3号线及地面道路预留通道, 避免对地铁10号线高架桥的影响, 在施工过程中, 采用在门式墩顶部同步水平非对称转体的施工方法。在满足桥梁功能的前提下, 最大限度地减少了桥梁施工对既有铁路运营的干扰。采用双跨连续梁上跨铁路, 非对称转体施工, 结构新颖、受力复杂、转体吨位大、非对称跨度长、且在门式墩顶部实施转体, 在西北地区尚属首例。

关键词: 公路桥; 双跨连续梁; 非对称转体施工; 设计

中图分类号: U445; TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)02-0206-04

Research on Asymmetric Rotation Design of (60+60)-m Double-span Continuous Beam over Railway

ZHU Peilin¹, HUANG Kui², JIN Liyong¹, FENG He², JING Yinjun²

(1. China Railway Xi'an Survey Design and Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China; 2. China Construction Third Engineering Bureau Group Northwest Co., Ltd., Xi'an 710076, China)

Abstract: The elevated bridge of the railway section of Ouya Avenue in Xi'an International Port District is set up to span the North Ring Line of Lanzhou-Lianyungang Railway for freight transportation, and is a (60+60)-m double-amplitude prestressed concrete variable cross-section continuous box beam bridge. In order to reserve the channels for the planned Metro Line 3 and ground roads, and avoid affecting the elevated bridge of Metro Line 10, a construction method of synchronous horizontal asymmetric rotation at the top of the portal pier is adopted during the construction process. On the premise of meeting the functions of the bridge, the interference of bridge construction on the operation of existing railways is greatly reduced. The double-span continuous beams to span the railway is adopted with the asymmetric rotation construction method. The structure is novel, the stress is complex, the rotation tonnage is large, the asymmetric span is long, and the rotation is carried out at the top of the portal pier, which is the first of its kind in northwest China.

Keywords: highway bridge; double-span continuous beam; asymmetric rotation construction; design

0 引言

桥梁转体施工方法距今已有数十年的历史, 该方法是指将桥梁异位预制, 再平转或竖转至设计位置的一种施工方法。其优点是施工时不影响桥下交通, 极大的减少了对桥下既有建(构)筑物的影响, 特别适合跨越铁路和高速公路的需要。

公路、铁路和城市道路上跨既有铁路已有较多

的工程案例^[1-6]。一般情况下, 转体桥梁大多采用墩底平面转体法施工, 受桥位建筑物、桥墩高度、转体重量、施工难度等因素的影响, 墩底转体的施工方法使用受限^[7]。因此, 墩顶转体及墩中转体的施工案例也相继出现^[8]。

对于在桥墩顶部转体的桥梁, 大多采用钢结构, 转体到位后将转体球铰抽换成永久支座, 从而完成桥梁建造。但由于城市中建筑物密集, 受拆迁和城市道路交通等限制, 需要采用门式墩跨越既有道路, 然后在门式墩顶部实施桥梁转体。在跨越既有铁路时, 为了减少桥梁检修工作量, 建设主管部门一般要求采用混凝土梁跨越铁路。同时, 为了最大程度的

收稿日期: 2025-06-20

基金项目: 陕西省建设科技计划项目(2023-K87); 中铁六院集团重点课题(KY-2023-19)

作者简介: 祝培林(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计研究工作。

减少对既有结构物的影响,梁部设计需采用双跨连续梁形式。因此,在门式墩上采用双跨连续梁非对称转体跨越铁路的施工工艺应运而生。

本文以西安国际港务区欧亚大道上跨陇海铁路货运北环线高架桥为工程背景,研究双跨变高连续箱梁上跨铁路非对称转体的设计。

1 工程概况

本桥为跨度(60+60)m的预应力混凝土连续梁,分幅设置,桥长 120 m。左幅桥宽 24.3 m,右幅桥宽 20.1 m,主梁采用等宽设计,通过标线顺应道路线型。桥梁中心线与铁路中心线交叉处交角为 70.75°,下部结构采用门式墩,钻孔灌注桩基础。桥梁转体前、后位置关系见图 1。

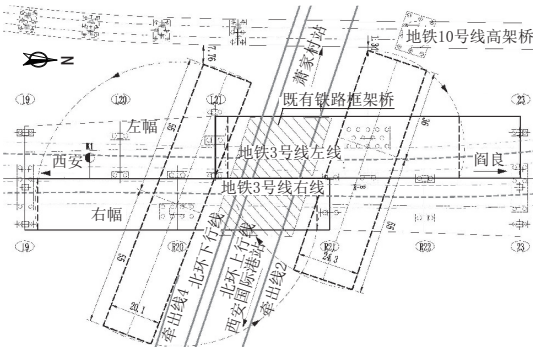


图 1 桥梁转体前后位置关系(单位:m)

2 桥式方案

2.1 桥式方案的确定

本桥桥式方案对比了大跨度简支系杆拱桥、预应力混凝土三跨连续梁、整幅双跨连续梁及分幅双跨连续梁方案,从施工期间对铁路运营影响、施工工艺、后期建设管理单位运营维护、工程投资等方面综合考虑,最终采用分幅双跨连续梁方案,在既有铁路两侧悬臂浇筑完成后转体施工。

2.2 转体墩位置的确定

影响本桥转体墩位置的主要受控因素如下:

(1)本桥采用分幅设置,分幅转体。左、右幅转体墩位必须设置在铁路线两侧,且必须保证两幅桥转体完成后梁端置于铁路建筑限界以外。

(2)本桥东侧既有地铁 10 号线高架桥边缘与本桥左幅桥轴线平面距离约为 40 m,转体前左幅桥梁体必须设置为不对称形式,并尽量减少左幅桥梁体的不对称长度。

(3)本桥主墩邻近既有铁路框架桥出入口,该处路基高度约 6 m,为减少桥墩基础施工对既有框架桥

的影响,主墩承台施工采用钢板桩围护,钢板桩位置与既有框架桥端翼墙最近距离仅为 2.0 m。

(4)本桥前后接两处互通立交,道路标高受限,且桥下净空需满足铁路部门要求的 8.5 m 限界要求,因此梁高受限,影响主跨跨度,进而影响转体主墩位置。

综合以上控制因素,本桥采用 2×60 m 预应力混凝土连续梁,分幅设置。左、右幅桥转体主墩分别设置于铁路线北侧及南侧。挂篮悬浇完成左幅(36+55)m 梁段及右幅(55+55)m 梁段后,同步将左幅桥顺时针转体 71.26°,右幅桥逆时针转体 111.01°后就位。由于本桥为分幅、错幅布置,左、右幅桥立面布置均相同,因此仅示左幅桥型布置图,见图 2。

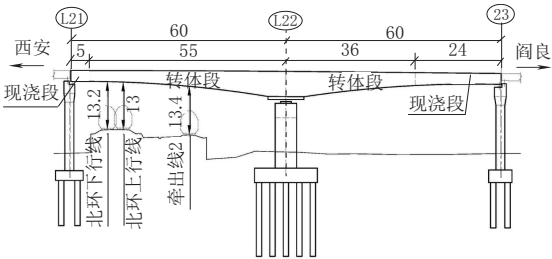


图 2 左幅桥桥型布置图(单位:m)

3 主梁设计

3.1 设计技术标准

- (1)结构设计安全等级:一级;
- (2)道路等级:城市快速路;
- (3)设计车速:80 km/h;
- (4)设计荷载等级:城—A 级×1.3;
- (5)地震基本烈度:地震动峰值加速度为 0.20g,地震基本烈度 8 度;
- (6)桥下净空:轨面至公路梁底不小于 8.5 m。

3.2 主梁构造

全桥桥面总宽 44.6 m,按两幅桥设计,左幅桥宽 24.3 m,右幅桥宽 20.1 m。均按变高、斜腹板、单箱多室截面设计,腹板斜率 2.5:1。跨中及边跨直线段梁高为 3.0 m,支点处梁高为 7.0 m,梁底曲线按二次抛物线设计。悬臂长度为 3.0 m,顶板厚 30 cm,腹板厚 50~80 cm,底板厚 30~70 cm,中支点处底板加厚到 120 cm。

为适应门式墩顶部转体需要,中支点处设置厚 4 m 的横梁,端支点处设置厚 1.5 m 的端横梁。转体主墩顶部梁部断面见图 3。左幅主梁典型横断面见图 4。

梁体采用三向预应力结构。纵、横向预应力钢

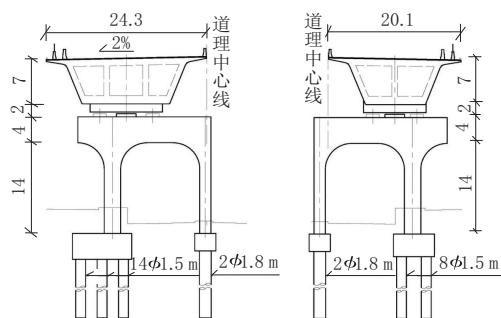


图3 转体主墩顶梁断面图(单位:m)

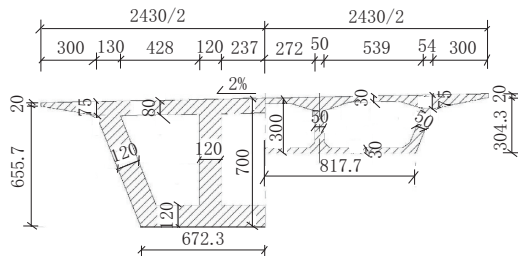


图4 左幅主梁典型横断面图(单位:cm)

束均采用抗拉强度标准值 $f_{pk}=1\ 860\text{ MPa}$ 的高强度低松弛钢绞线。纵向钢束为 $9\phi^*15.2\text{ mm}\sim 19\phi^*15.2\text{ mm}$ 钢绞线,横向钢束为 $3\phi^*15.2\text{ mm}$ 钢绞线。竖向预应力钢束采用 $\phi 21.8\text{ mm}$ 缓粘结预应力筋,沿梁部纵向

按 50 cm 间距设置。

本桥右幅桥为悬浇完成 $(55+55)\text{ m}$ 梁段后对称转体,梁部设计为常规设计。因此重点论述左幅 $(36+55)\text{ m}$ 非对称转体梁部设计。左幅桥设计关键问题有:梁段左右跨度差异大,属于极不对称结构;桥梁位于门式墩顶部,转体前后需要进行受力体系转换,梁部受力复杂;本梁施工方法为悬臂浇筑,因此,大量的纵向钢束需要锚固在 36 m 梁段端部,施工阶段梁体两侧应力极不平衡;施工期间需对梁体进行配重设计,满足平衡转体的需要。以下重点从箱梁关键部位构造、转体梁段纵向钢束设计、纵向计算结果等三个方面,对上述关键问题进行分析,以期设计合理的转体方案,确保结构转体的安全性和稳定性。

3.3 关键部位构造

转体梁段短跨侧长 36 m ,长跨侧长 55 m ,为适应悬浇施工工艺, 36 m 跨侧0号块半长设计为 8 m , $1\sim 8$ 号块段长度设计为 3.5 m ; 55 m 跨侧0号块半长设计为 8 m , $1\sim 10$ 号块段长度设计为 3.5 m , $11\sim 13$ 号块段长度设计为 4.0 m 。梁部转体工况块段划分见图5。

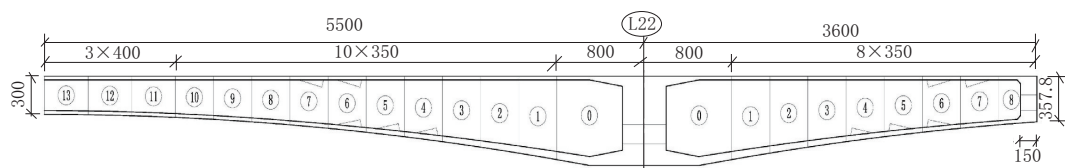


图5 梁部转体工况块段划分(单位:cm)

3.4 主梁纵向钢束设计

本桥主梁纵向钢束设计时,在满足公路相关设计规范的前提下,考虑了混凝土保护层、普通钢筋、横向钢束位置等因素,综合确定主梁纵向钢束位置。

由于左幅桥转体时为 $(36+55)\text{ m}$ 非对称结构,梁

体 36 m 跨侧需采用配重来平衡两侧梁长差异带来的不平衡力矩。因此,纵向钢束设计时,应结合梁体配重,施工阶段应力等控制因素,综合确定腹板束的锚固位置,主梁转体前悬臂状态纵向钢束布置见图6。

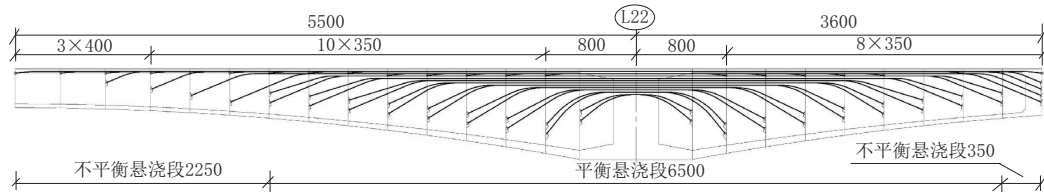


图6 悬臂状态纵向钢束布置(单位:cm)

根据计算结果,本桥主梁纵向设腹板束、墩顶顶板束、边跨顶板束和底板束4类,腹板束采用 $15-\phi^*15.2\text{ mm}$ 钢绞线,墩顶顶板束采用 $9-\phi^*15.2\text{ mm}$ 及 $12-\phi^*15.2\text{ mm}$ 钢绞线,边跨顶板束采用 $19-\phi^*15.2\text{ mm}$ 钢绞线,底板束采用 $12-\phi^*15.2\text{ mm}$ 钢绞线。其中,腹板束在 $0\sim 8$ 号块段采用双排并置设计,横向间距为 36 cm , $8\sim 11$ 号块段采用单排设计。

由于梁体两侧悬浇块段不平衡,导致大量的腹

板束和顶板束均需锚固在 36 m 跨端部,因此,在 36 m 跨端部设置厚度为 1.5 m 的横隔板,以减小梁端的应力集中。主梁转体前悬臂状态最大压应力为 12.1 MPa ,最小压应力为 0.1 MPa ,均为压应力,见图7。



图7 主梁转体前悬臂状态应力(单位:MPa)

3.5 主梁纵向计算结果

主梁计算采用MIDAS civil程序对主梁进行纵向整体计算。按照设计规范对主梁主要计算项目进行验算^[9-10]。根据计算结果,运营阶段主梁主要计算结果见表1。由表列结果可知,主梁主要计算结果均满足规范要求。

表1 运营阶段主梁主要计算结果				
荷载组合	验算内容	左幅	右幅	允许值
频遇	挠度/cm	0.6	0.7	$L/600=10$
	上缘最小正应力/MPa	0.1	0.2	≥ 0
	下缘最小正应力/MPa	2.6	3.2	≥ 0
	最小主应力/MPa	-0.84	-0.81	≥ -1.1
标准	上缘最大正应力/MPa	15.3	15.5	≤ 17.75
	下缘最大正应力/MPa	13.1	8.8	≤ 17.75
	最大主应力/MPa	15.3	15.5	≤ 21.3
	钢束应力比	0.64	0.63	≤ 0.65

4 转体系统设计

主桥采用平面转体施工法跨越既有陇海铁路货运北环线,采用以球铰中心支撑为主、环道支撑为辅的转动体系。转体结构设置在门式墩顶部,由转盘、球铰(含可调高机构)、撑脚、环形滑道、牵引系统等部分组成^[11-12]。左、右幅桥梁底设转台,转台直径分别为11.0 m和9.5 m,转台高度为1.25 m,撑脚半径分别为4.0 m和3.35 m,球铰直径分别为3.45 m和1.95 m。左幅桥转体系统见图8,右幅桥转体系统与左幅桥类似,不再赘述。

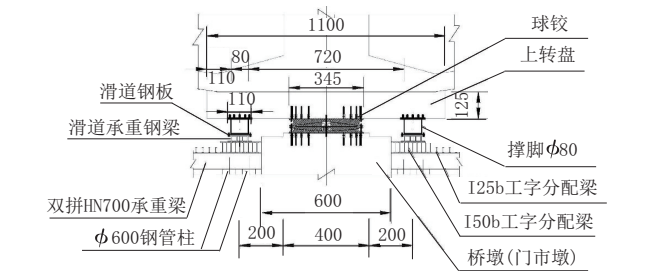


图8 左幅桥转体系统(单位:cm)

4.1 转体球铰

主桥采用自顶落梁转体球铰,左幅桥球铰承载力为14 500 t,右幅桥球铰承载力为11 000 t,球铰设计竖向转角为0.005 rad,静摩擦系数为0.06,动摩擦系数为0.03,在转体施工完成后,球铰高度可调低,使桥梁支承在永久支座上,完成体系转换。

4.2 滑道支架

主桥滑道直径分别为左幅桥8.0 m、右幅桥6.7 m,转体门式墩顶部横梁宽度为6.0 m,导致转体滑道一部分设置在门式墩横梁上,一部分设置在单

独设计的支撑系统上。

滑道支撑系统采用钢管柱及工字钢纵横梁支撑体系。钢管顶端承重梁顺桥向布设双拼HN700×300 mm型钢和墩柱预埋件相连,横桥向布设I25、I50工字钢分配梁。支架上方滑道钢板与滑道承重钢梁采用调节螺栓调平固定,并采用支座砂浆将滑道钢板与承重钢梁间隙填充密实,以保证其承载力满足要求。

4.3 可拆卸式撑脚、牵引反力座及滑道

由于本桥为城市桥梁,转体完成后要求对门式墩顶部设置的撑脚、牵引反力座及滑道等临时措施进行拆除。设计时上述临时结构均采用钢结构,利用预埋在上下转台内的钢套筒进行连接,转体完成后,可迅速拆解,并回收利用,满足城市桥梁的景观要求。

4.4 配重设计

为保证梁体转体过程中的平衡,采用在箱室外配重的方式消除不平衡力矩^[13]。在左幅桥36 m跨侧设置端横梁及砂袋进行配重,保证转体前梁体的平衡。砂袋配重设置在6~8号三个节段长度范围内,宽度满铺左幅桥桥面,砂袋配重按24 kN/m计算,压重高度为2.9 m,配重重量为1 630.7 t。本桥配重采用自主研发的撑脚自测配重控制系统进行配重。

4.5 体系转换

本桥转体完成后,先拆除与支座垫石位置冲突的滑道,然后浇筑支座垫石,再利用桥墩顶部设置的工作平台将永久支座顶入至垫石顶部设计位置,最后调节转体球铰的可调高装置,将球铰受力转换至永久支座受力,完成受力体系转换。

5 结 语

本工程采用双跨连续梁上跨铁路,非对称转体施工,结构新颖、受力复杂、转体吨位大、非对称跨度长、且在门式墩顶部实施转体,在西北地区尚属首例。通过对桥式方案、主梁关键部位结构、墩位布设、转体系统等进行分析研究,得出以下结论:

(1)本桥桥式及孔跨布置受控因素多,施工条件严苛,周围建筑物对施工过程干扰较大。采用非对称施工方法,可有效解决上述问题,对铁路运营影响小,造价可控。

(2)本桥左幅转体时采用(36+55) m非对称设计,通过合理布置纵向预应力钢束,采用在36 m跨端部设置横隔梁的方式,有效解决了梁段应力集中问

(下转第214页)