

文章编号: 1674—8247(2020)01—0085—05  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.01.018

## 跨线连续梁墩顶转体与悬臂浇筑组合施工技术研究

刘志如

(中铁三局集团有限公司, 太原 030001)

**摘 要:**新建京张铁路新保安高架特大桥主桥采用(69+112+69)m 预应力混凝土连续梁,因受高压线路影响,31 号主墩连续梁无法按照原设计悬臂浇筑法进行施工,针对这一问题,文章在工期、技术可行性等方面进行方案比选,选定采用墩顶转体与悬臂浇筑组合施工的技术方案。为确保方案实现,设计方案主要进行了基础、梁体分段、预应力钢束等进行优化,施工方案主要从施工仿真分析、转体关键技术、永久支座体系转化等方面进行研究。实践证明,墩顶转体与悬臂浇筑组合施工技术保证了京张高速铁路架梁工期,避免了冬季施工连续梁质量难以控制的问题,规避了封锁铁路营业线、占用地方铁路赔偿费用高等问题,技术新颖、效益显著,为上跨等立体工程施工提供了新方法。

**关键词:**连续梁; 转体设计; 称重; 施工技术

中图分类号:U445.4 文献标志码:A

## Research on Combined Construction Technology of Pier Top Swivel and Cantilever Casting of Cross-line Continuous Beam

LIU Zhiru

(China Railway No.3 Engineering Group Co., Ltd., Taiyuan 030001, China)

**Abstract:** (69+112+69)m prestressed concrete continuous beam is adopted for the main bridge of Xinbaoan Elevated Bridge on the newly – built Beijing-Zhangjiakou Railway. Due to the influence of high-voltage lines, the continuous beam of No.31 main pier cannot be constructed according to the cantilever casting method in the original design. Based on the comparison and selection of schemes in terms of construction period and technical feasibility, the technical scheme of combined construction of pier top swivel and cantilever casting is selected. In order to ensure the realization of the scheme, the design scheme is mainly optimized in terms of foundation, beam section, prestressed steel beam, etc. The construction scheme is mainly studied in terms of construction simulation analysis, key rotation technology, permanent support system transformation, etc. Practice has proved that the combined construction technology of pier top rotation and cantilever casting ensures the construction period of beam erection of Beijing-Zhangjiakou high-speed railway, avoids the problem of difficult control of continuous beam's quality when construction is in winter, avoids the problems of blocking railway business lines, occupying high local railway compensation costs. It is novel in technology and remarkable in benefits, and provides a new method for three-dimensional engineering construction such as upper span.

**Key words:** continuous beam; rotation design; weighing; construction technology

收稿日期:2019-10-30

作者简介:刘志如(1981-),男,高级工程师。

引文格式:刘志如.跨线连续梁墩顶转体与悬臂浇筑组合施工技术研究[J].高速铁路技术,2020,11(1):85-89.

LIU Zhiru. Research on Combined Construction Technology of Pier Top Swivel and Cantilever Casting of Cross-line Continuous Beam [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(1): 85-89.

随着我国高速铁路的蓬勃发展,上跨铁路、道路等立体交叉工程的数量日益增多,使桥梁结构设计能力及施工技术水平也不断创新和提升。目前,高速铁路上跨既有运营铁路线路时,通常采用大跨连续梁、斜拉桥等具有跨度优势的特殊结构形式。考虑环境条件、质量安全、工期进度等因素,施工方法一般采用铁路线路上方悬臂浇筑、运营铁路线路外侧现浇后转体、封锁线路原位支架现浇等技术完成跨线施工<sup>[1-6]</sup>。本文针对新建京张铁路新保安高架特大桥的特殊施工条件,提出了支架现浇墩顶转体与悬臂浇筑组合施工的新方法,实现了精确合龙、营业线安全、满足架梁工期等方面的既定目标。

## 1 工程概况

新建京张铁路新保安高架特大桥全长 15 km,位于河北省怀来县,主桥采用(69+112+69)m 悬浇预应力混凝土连续梁,30~31号墩跨越沙西货场迁出线,31~32号墩跨越沙西货场到发线三股道、京包下行线,31~32号墩之间为112 m主跨。连续梁主跨立面如图1所示。原设计采用挂篮悬臂对称浇筑,依次完成边跨合龙段、中跨合龙段施工,完成体系转化,拆除挂篮,全桥张拉压浆后完成全桥施工。

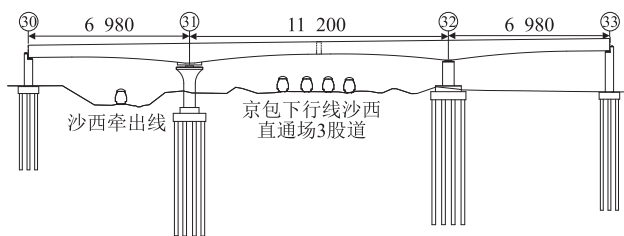


图1 (69+112+69)m 连续梁主跨立面图(m)

### 1.1 特殊环境条件

新保安高架特大桥主桥(69+112+69)m 连续梁31号主墩上方有110 kV和35 kV高压线穿过,受高压线路迁改延迟的影响,待31号主墩具备施工条件时,32号墩已按设计方案悬臂浇筑施工完成至8号块。若31号墩仍按悬臂浇筑法施工,将面临架梁工期、混凝土龄期差异等诸多不利因素。为此,需对新保安高架特大桥(69+112+69)m 连续梁31号主墩的设计、施工方案进行系统分析和研究。

### 1.2 31号主墩侧梁部施工方案比选

为确保架桥机顺利通过主跨,对31号主墩侧梁部施工提出两种方案,方案一即原位支架现浇法,方案二即线外支架现浇后墩顶转体法。从工期、技术可行性方面进行比选,选取最为合适的施工方案。

(1)工期对比。在不考虑高压线影响、协调封锁

沙西货场到发线、京包下行线的情况下,原位支架现浇法工期较短;支架现浇后墩顶转体法施工工期比原位支架现浇法多15 d。

(2)技术可行性。原位支架现浇法需在31号、32号墩之间封锁沙西货场3股到发线、京包下行线,且在31号墩小里程侧需占用沙西货场迁出线。因沙西货场牵出线、到发线均属地方铁路公司所有,封锁占用线路面临大额补偿费用、拆除并恢复接触网等经济及安全风险。支架现浇后墩顶转体法可避免占用沙西货场牵出线、到发线,封锁京包线等一系列问题。

经综合比选,方案二可同时保证施工的经济性和安全性,为最为合适的施工方案。

## 2 连续梁及31号主墩设计优化

通过上述比选,施工方案调整为31号主墩侧梁部采用支架现浇后墩顶转体法、32号主墩侧梁部采用悬臂浇筑法的组合施工方法进行全桥施工,同时优化、调整相应结构设计。

### 2.1 基础检算

31号墩基础原设计采用18根1.6 m 钻孔桩,桩长为66 m,梁部设计方案改成现浇转体施工后,墩身及梁部变化使得上部荷载重量增加。经复核检算,31号墩桩基承载力在地震力作用下仍满足要求,桩基设计不调整。

### 2.2 墩身优化

新保安高架特大桥31号墩墩顶梁段采用支架现浇墩顶转体施工后,由于增设墩顶转盘设计,需对原桥墩设计方案进行调整。桥墩墩顶帽需在纵向和横向加长,原方案横桥向为11 m,顺桥向为5 m,调整后横桥向为12 m,顺桥向为11.4 m。

### 2.3 梁部优化

原设计连续梁在31号墩和32号墩墩顶均采用挂篮悬臂浇筑法施工,梁段分为现浇段0号块,挂篮悬臂浇筑1~15号块,共计16个梁段。31号墩采用支架现浇墩顶转体施工后,主梁梁体现浇段划分为4段,如图2所示。

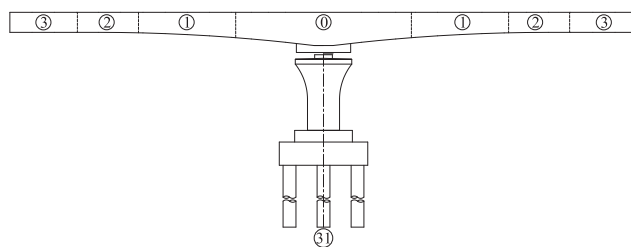


图2 31号主墩分段设计图

其中,0号段(原悬臂浇筑0~3号块),分段总长为29 m;1号段(原悬臂浇筑4~9号块),分段总长为17.5 m;2号段(原悬臂浇筑10~12号块),分段总长为11.0 m;3号段(原悬臂浇筑13~15号块),分段总长为12.0 m。

2.4 预应力钢束布置

考虑节段长度调整、主墩梁段混凝土龄期差异,预应力钢束布置需重新调整,部分顶板预应力钢束通过锯齿块锚到顶板外,腹板钢束部分锚固在腹板节段内,部分通过锯齿块锚到腹板外。

3 连续梁墩顶转体与悬臂浇筑组合施工技术

3.1 施工总体方案

连续梁整体方案为32号主墩悬臂侧施工浇筑至10号块时,31号主墩墩身、预埋墩顶转体部分同步施

工完毕。因此32号主墩悬臂段的10号块开始浇筑时,进行31号墩转体0号块的现浇施工,并搭接支架。墩顶转体施工共分4段进行浇筑,整个转体段浇筑完毕且养护14 d后进行转体作业,并进行边跨现浇合龙以及与已施工完成悬臂段的跨中合龙施工。

3.2 墩顶转体与悬臂浇筑组合施工仿真分析

采用有限元分析软件MIDAS/Civil进行建模。全桥划分成87个节点,86个单元。仿真分析过程中未考虑预拱度,实际施工时,立模标高应在有限元分析结果基础上考虑预拱度。

新保安高架特大桥主桥(69+112+69)m连续梁工程为一侧半跨主梁转体与另外一侧半跨主梁悬臂浇筑的组合施工。不同施工工艺下主梁受力与变形存在一定差异,合龙后的收缩徐变变形同样存在差异。大桥施工全过程两侧主梁受力与变形结果如表1所示。

表1 全桥各施工阶段最大应力及挠度情况表

施工阶段	支架现浇侧				悬臂浇筑侧			
	最大应力/MPa		最大挠度/mm		最大应力/MPa		最大挠度/mm	
	上翼缘	下翼缘	上拱	下挠	上翼缘	下翼缘	上拱	下挠
现浇0号(悬臂施工11节段)	-11.2	-1.4	2.4	0	-12.5	-3	3.7	0
现浇1号(悬臂施工12节段)	-14	-2.9	14	0	-12.5	-3.9	3.3	0
现浇2号(悬臂施工13节段)	-14.7	-4.9	21	0	-12	-5	2.9	0
现浇3号(悬臂施工14节段)	-14.4	-5.1	20.6	0	-12	-6.1	2.2	8.1
转体完成后	-14.2	-5.1	20.2	0	-11.8	-7.2	1.5	16.6
边跨合龙后	-15.2	-11	21.8	0	-14.2	-11	1.4	13.5
中跨合龙	-15.2	-11	50.1	0	-14.2	-11	50.1	9.6
剩余钢束张拉	-12	-10.1	39	0	-11	-8.8	39	7.1
拆除挂篮	-16	-10.1	39.9	0	-13.9	-8.8	39.9	7
二期恒载	-14.8	-7.4	25.4	0	-11.8	-8.5	18.8	8.3
成桥后三年	-13.4	-8	22.6	0.6	-13.5	-8.4	21.8	9.4

由表1可知,在施工全过程中,悬臂施工侧梁体截面上缘最大压应力为-14.2 MPa,下缘最大压应力为-11.0 MPa,转体侧梁体截面上缘最大压应力为-16.0 MPa,下缘最大压应力为-11.0 MPa。两侧主梁受力有一定差异,但均在规范允许范围内。两侧主梁在施工过程中的变形同样也存在一定差异。成桥三年后,现浇施工侧梁体的上拱最大累计挠度值为22.6 mm,悬臂施工侧梁体的最大上拱累计挠度值为21.8 mm,悬臂施工侧梁体的最大下挠累计挠度值为9.4 mm。主梁变形的差异可通过在施工监控中调整立模标高予以调节,从而实现成桥达到设计线形。

3.3 墩顶转体结构设计及施工技术

(1)转体结构设计

桥梁平转结构体系设计主要包括墩底转体和墩顶转体两种。本工程采用墩顶转体体系,主墩31号墩墩

顶转体重量72 000 kN,转体长度110 m。墩顶转体结构由下转盘、球铰、上转盘、转体牵引系统组成,如图3所示。下转盘为支承转体结构全部重量的基础,采用C50混凝土浇筑,下转盘上设有下球铰;中心球铰球面半径为4.5 m,球铰分为凹凸面的上下球铰;上转盘设有撑脚和上球铰,上球铰分上下两节;牵引力系统主要包括牵引力反力座、牵引索。

(2)墩顶转动体系结构安装

①下球铰安装

将下球铰及滑道精调、固定完成后,采用C50混凝土浇筑下转盘;浇筑牵引索反力座混凝土;然后安装中心套筒内的销轴,清理下球铰和滑板表面并涂抹黄油,销轴放入前需预留绳索,转体完成后,通过绳索将销轴从钢管通道内取出。

②上球铰安装

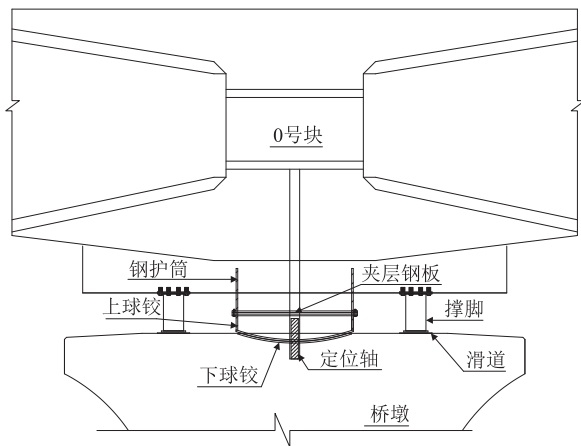


图3 转体结构设计图

上球铰分两节,先安装上球铰下节,在凸球面上涂抹黄油,将上球铰下节对准中心销轴轻落至下球铰上,用宽胶带将球铰结合边缘缝隙密封,然后通过预留的灌注孔灌注微膨胀混凝土,最后吊装夹层钢板及上球铰上节,用高强螺栓连接上球铰的上下节,待上转盘混凝土浇筑时,一同浇筑。

### ③转动系统安装

上转盘同步将预埋转体牵引系统、撑脚安装。转体系统及上球铰安装完毕后,同0号段连接钢筋整体浇筑完成。

### (3)称重配重实施

选用梁体纵向倾斜配重方式进行称重、配重<sup>[7-8]</sup>。称重试验的核心是通过试验测试竖向不平衡力矩 $M_G$ 、摩阻力矩 $M_Z$ 。再通过计算球铰静摩阻系数 $\mu$ 和转动体偏心距 $e$ 进行梁体实际配重。

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{M_z}{0.98R \times N} \\ e &= \frac{M_G}{N}\end{aligned}\tag{1}$$

式中: $R$ ——球铰球面半径(m);

$N$ ——转体重量(kN)。

经过两次称重、两次配重(试验数据如表2所示),最终确定转体前31号墩偏心距实际为5.2 cm,远离既有线方向。

表2 试验数据表

31号墩称重	不平衡矩 (kN·m)	偏心距 /m	偏心方向
第一次	712.3	0.11	远离既有线
第二次	370.4	0.052	远离既有线

### (4)转体施工

正式转体前进行试转,对角速度、线速度、牵引力等数据进行初步采集及分析。试转结束后,做好限位

控制体系(包括转体限位和微调装置),然后正式转体,全程监测梁体轴线、高程。转体到位后,在上下转盘、撑脚之间设置千斤顶,精调转体梁端的中线、高程,然后临时锁定,准备合龙段施工。

### 3.4 永久支座安装

边跨合龙后进行球铰体系转换,安装永久支座,最后施工中跨合龙段,完成连续梁施工。永久支座安装时,首先将上球铰上下节之间的高强螺栓解开,抽出定位销轴,在墩顶设置12个800 t千斤顶,同步将梁体顶升5 mm,抽掉上球铰上下节之间的夹层钢板,然后再将上球铰上下节重新用高强螺栓锁紧,使上球下节通过螺栓作用提升,从而实现上球铰与下球铰脱离。在墩顶旁搭设支座顶推装置,将永久支座顶推就位,并灌注高强砂浆完成垫石施工。高强砂浆强度达到设计要求后,卸落千斤顶,完成体系转换。支座顶推示意图如图4所示。

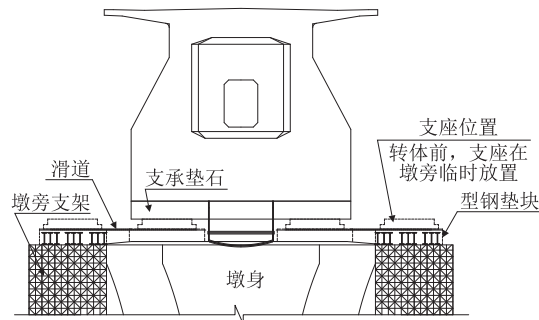


图4 支座顶推示意图

## 4 结束语

本工程采用墩顶转体与悬臂浇筑组合技术顺利完成了(69+112+69) m连续梁的合龙成桥施工,克服了因外部电力高压线迁改延迟导致的工期延误问题,同时规避了封锁铁路营业线、占用地方铁路赔偿费用高等问题,开创了国内首座连续梁半悬臂半转体组合施工的技术先河,为今后同类工程的施工提供了新思路、新方向。

## 参考文献:

- [1] 张联燕. 桥梁转体施工[M]. 北京:人民交通大学出版社,2003.  
ZHANG Lianyan. Swivel Construction of Bridge [M]. Beijing: People's Communications University Press,2003.
- [2] 王振江,李在靖,王兆辉. 跨铁路客运专线大型转体桥方案选择及细节控制[J]. 施工技术,2015,44(10):117-121.  
WANG Zhenjiang, LI Zaijing, WANG Zhaohui. Scheme Selection and Details Control of Major Highway Swivel Bridge over Railway Passenger Line [J]. Construction Technology, 2015, 44(10): 117-121.

[3] 贾宝红. 郑万铁路上跨郑西客专联络线特大桥主桥转体结构分析[J]. 铁道标准设计, 2017,61(5): 65 – 69.  
JIA Baohong. Analysis of the Rotary Structure of the Extra-long Bridge Crossing-over Zhengzhou-Xian Railway Line on Zhengzhou-Wanzhou Dedicated Passenger Tie-Line [J]. Railway Standard Design, 2017, 61(5): 65 – 69.

[4] 何俊. 大跨度连续梁桥转体施工力学特性分析[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2012.  
HE Jun. The Mechaniccal Analysis of Rotary Construction on Long-span Continuous Beam Bridge [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2012.

[5] 张书豪. 大跨度预应力混凝土连续梁桥施工控制及工艺研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.  
ZHANG Shuhao. Research on Construction Control and Technology of Large-span Prestressed Concret Continuous Girder Bridges [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.

[6] 陶美祥, 钟祺, 光明. 墩顶转体桥转体定位及中跨合龙施工技术研究[J]. 施工技术, 2016, 45(18): 115 – 118.  
TAO Meixiang, ZHONG Qi, GUANG Ming. Study on Construction Technology of Pier Span Closure and Swivel for Bridges [J]. Construction Technology, 2016, 45 (18): 115 – 118.

[7] 邹本波. 非对称斜拉桥转体称重测试[J]. 高速铁路技术, 2015, 6(2): 93 – 96.  
ZOU Benbo. Weighing Test for Asymmetric Cable-stayed Bridge by Swing Method [J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6 (2): 93 – 96.

[8] 祝和意. 斜拉桥转动体不平衡称重实验分析[J]. 四川建筑科学研究, 2012, 38(3): 66 – 70.  
ZHU Heyi. Twist Unbalanced Weigh Test Analysis of Cable-stayed Bridge [J]. Sichuan Building Science, 2012, 38(3): 66 – 70.

(编辑:苏玲梅 白雪)



(上接第 26 页)

[17] 雷旭友, 程凯. 电磁波 CT 在重庆至怀化铁路岩溶塌陷病害抢险勘探中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2009, 6(5): 561 – 565.  
LEI Xuyou, CHENG Kai. The Application of Electromagnetic Wave CT Method in Exploration of Dealing with Emergency in the K419 Karst Collapse Hazard on Chongqin-Huaihua Railway Line [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2009, 6 (5): 561 – 565.

[18] 黄威. 地质雷达在宜万铁路隧底岩溶探测中的应用[J]. 中国新技术新产品, 2010,18(6): 20.  
HUANG Wei. Application of Ground Penetrating Radar in Karst Detection at the Bottom of Tunnel of the Yichang-Wanzhou Railway [J]. China New Technologies and Products, 2010, 18(6): 20.

[19] 李彦军. 岩溶地质综合勘察方法[J]. 铁道建筑, 2000,40(5): 8 – 9.  
LI Yanjun. Comprehensive Exploration Methods of Karst Geology [J]. Railway Engineering, 2000, 40 (5): 8 – 9.

[20] 唐沛. 广西裸露型岩溶山区铁路隧道岩溶综合勘察[J]. 铁道建

筑技术, 2010,27(6): 23 – 26.  
TANG Pei. Comprehensive Inspection of Railway Tunnel in Exposed Karst Mountainous Areas in Guangxi [J]. Railway Construction Technology, 2010, 27 (6): 23 – 26.

[21] 李红刚, 徐永明, 关凤琚, 等. 地震波 CT 技术在某客运专线岩溶桥梁桩位勘察中的应用性研究[J]. 铁道勘察, 2011, 37(1): 61 – 64.  
LI Honggang, XU Yogming, GUAN Fengju, et al. Discussion on Applications of Seismic Wave CT Technology for Surveying Pile Location of A Passenger Dedicated Line in Karst Area [J]. Railway Investigation and Surveying, 2011, 37 (1): 61 – 64.

[22] 华丽晶. 芜铜铁路狮子山站岩溶塌陷路基勘察与整治研究[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(1): 32 – 36.  
HUA Lijing. Survey and Remediation on Karst Collapse Subgrade of Shizhishan Station in Wuhu-Tongling Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 31 (1): 32 – 36.

(编辑:赵立红 白雪)