

Construction Technology of Synchronous Pouring of 0# Block and Double Thin-wall Pier Bracket Method for Railway Long-span Continuous Rigid Frame Bridge

Deming Zhang

Tengda Construction Group Co., Ltd. Shanghai Branch, Shanghai, 201204, China

Abstract

The paper is based on the double track super large bridge project of Nanhui Branch Line (Two Port City Railway) and Shanghai East Branch Line, and explores the construction technology research of using a new embedded cow leg bracket for the synchronous pouring of 0 # block and double thin-walled pier in the large-span continuous rigid frame of the railway. This paper introduces the construction process and technical requirements of the 0 # block bracket method. Based on the length, width, and concrete construction density of the 0 # block, the overall stress situation of the bracket is calculated using the spatial finite element software Midas/Civil. The design and construction characteristics of the new embedded cow leg bracket, as well as the synchronous pouring construction process of the 0 # block and double thin-walled pier bracket method, are briefly introduced. This has reference significance for the smooth construction of similar projects using the synchronous pouring of the 0 # block and double thin-walled pier bracket method.

Keywords

0# block construction; bracket; new type of embedded system; large span; continuous rigid structure; simultaneous pouring

铁路大跨径连续刚构桥 0# 块与双薄壁墩托架法同步浇筑施工技术

张德明

腾达建设集团股份有限公司上海分公司, 中国 · 上海 201204

摘 要

论文以南汇支线（两港市域铁路）上海东支线双线特大桥项目为依托，探讨铁路大跨径连续刚构采用新型嵌入式牛腿托架应用在0#块与双薄壁墩同步浇筑的施工技术研究。介绍了0#块托架法的施工工艺及技术要求，根据0#块的长度、宽度、混凝土施工容重，利用空间有限元软件Midas/Civil计算托架的整体受力情况，并对新型嵌入式牛腿托架的设计及构造特点、0#块与双薄壁墩同步浇筑施工工艺流程做了简要的介绍，对0#块与双薄壁墩托架法同步浇筑的同类工程顺利施工具有参考意义。

关键词

0#块施工；托架；新型嵌入式；大跨径；连续刚构；同步浇筑

1 工程概况

南汇支线（两港市域铁路）工程 NHSG-9 标上海东支线双线特大桥跨 S32 申嘉湖高速连续刚构主跨 163m，梁全长 340.6m，计算跨度（88.05+163+88.05）m，支点至梁端长 0.75m，梁缝分界线至梁端 0.15m。主梁采用单箱单室、变高度、直腹板箱形截面，中支点梁高 11.0m、边跨直线段和跨中直线段截面中心处梁高为 6.0m，梁高沿纵向按二次抛物线变化。

主梁共 83 个梁段，主梁 0# 块长 14m，梁顶宽 10.8m，

梁底宽 8.0m，0# 块顶板厚 1.0m，底板厚 1.7m，腹板厚 1m，采用直腹板。箱梁顶板设置 2%V 字形横坡，全桥纵坡为 -25‰。因设计工艺要求 0# 块与双肢薄壁墩墩顶 2.5m 同步浇筑，且高速南侧主墩台位于现状河道马家路港内，采用常规的钢管支架法等施工工艺满足不了本工程连续刚构 0# 块施工，故采用墩身预埋新型嵌入式牛腿托架，在托架上设置调坡桁架，0# 块与双肢薄壁墩墩顶 2.5m 同步浇筑的施工工艺。

由托架承受竖向荷载，墩柱抱箍钢模板承受剪力和水平向荷载，C55 混凝土总设计方量 858m³。

2 墩柱钢模板抱箍设计

墩柱采用普通钢筋混凝土双肢薄壁结构，为带有倒角的矩形截面，42# 墩墩高 18.0m，43# 墩墩高 19.5m，墩柱

【作者简介】张德明（1989-），男，中国上海人，本科，工程师，从事桥梁工程研究。

与0#块衔接处设置双曲线腋角,中心间距7.7m,截面尺寸为8m×2.3m,墩柱下部施工完成后预留0.5m的墩身钢模板作为上部墩身与0#块同步浇筑的抱箍。

墩身钢模板的面板采用厚度为6mm的Q235钢板;贴面板竖肋用10#槽钢,最大间距300mm;正面模板背楞为双根[20#槽钢焊接于模板上,最大间距1380mm;侧面模板背楞为双根[20#槽钢焊接于模板上,最大间距1370mm;法兰采用14×100mm扁钢;斜拉杆及对拉杆均采用Φ25-PSB9830精轧螺纹钢,并采用双螺母控制精轧螺纹钢的张拉应力;四边设置斜拉杆,单节分4块,正面模板2块,侧面模板2块。

3 托架设计及构造特点

托架的作用,一是作为0#块施工的受力支撑结构;二是作为施工作业平台;三是平衡0#块与双肢薄壁墩墩顶2.5m同步浇筑过程中产生的部分不平衡弯矩。

3.1 托架设计

采用新型嵌入式预埋牛腿的托架结构(见图1),预埋盒子+牛腿对拉的锚固形式,每个预埋盒子加设2根Φ32-PSB930精轧螺纹钢对拉杆,每根精轧螺纹钢预应力预拉到设计值后须将螺帽拧紧,且采用双螺母控制。



图1 0#块及托架设计图

①墩柱外侧设3排托架,腹板梁位置各设1排,跨中位置设1排,间距3350mm;墩柱之间设4排托架,腹板梁位置各设2排,间距为1000mm和4700mm。②托架均采用双拼[36b#槽钢抱方,材质为Q355b,各节点均采用销轴活连接,销轴为Φ100L=500mm材质为40Cr。托架斜杆均采用[16b型槽钢平联加固,槽口朝外侧。③托架上设置直径Φ529壁厚10mm的钢护筒支撑,墩柱外侧托架上纵向设4根,间距1050mm;墩柱之间托架上纵向设4根,间距1400mm和1550mm,共设28根,钢护筒支撑之间采用[16b槽钢连接,且与托架之间采取缀板固定措施,防止滑动移位,增强整体稳定性。④钢护筒支撑上设卸落块,卸落块上设长度为12m的横向主梁1和横向主梁2,横向主梁1采用双拼40b工钢,横向主梁2采用三拼40b工钢。⑤两侧翼缘板部位分别设置作为外侧钢桁架模板的分配梁2根长度14m双

拼25b工钢的翼板纵梁,间距1200mm,上设卸落块;梁底底板部位分别设置调坡桁架作为分配梁,采用双拼[16b槽钢焊接加工成型,腹板梁部位间距200mm和400mm,底板下间距600mm。⑥调坡桁架分配梁上设100×100方木,间距200mm,方木上布置18厚的新竹胶板作面板。⑦与0#块同步浇筑高度为2.5m的墩身模板设置:1.5m直线段采用定型加工的钢模板与墩身0.5m抱箍钢模板螺栓连接;1m的腋角扩大段采用上述的调坡桁架,墩身模板与调坡桁架之间采用螺栓连接,设置为刚性连接。

3.2 各构件构造特点

混凝土浇筑时荷载传递路径:新浇混凝土→模板→方木→调坡桁架分配梁1和2→横向主梁1和2→卸落块→钢护筒支撑→托架→嵌入式承重牛腿→预埋盒子→墩身→基础。

所有构件均采用工厂加工成型,现场采用栓接拼装,减少现场组装焊接的工作量,提高托架的强度、刚度及稳定性,且安全性更高。

3.2.1 纵向分配梁

结构顶板、腹板、底板及墩柱腋角扩大段的荷载直接传递至纵向分配梁,如梁体设有纵坡,需要由纵向分配梁整体调节梁体纵向坡度的标高差,故纵向分配梁设计为桁架结构;因腹板高度大,荷载较集中,故腹板处的调坡桁架设置较为密集,调坡桁架一般采用双拼[钢截面,可根据荷载值选取其型号大小。

3.2.2 横向主梁

纵向分配梁荷载、腹板以外的翼缘板以及腹板钢模板的重力荷载直接传递至横向主梁,横向主梁在托架以外悬挑处的弯矩较大,且与托架之间水平间距密切相关,一般须采用截面高度较大的双拼工字钢,因此横向主梁须具有足够的刚度,防止变形较大从而影响梁的整体线形。

3.2.3 卸落块

卸落块的作用一是承受上部所有荷载;二是微调施工误差;三是卸落0#块托架的核心构件。横向主梁的所有荷载直接传递至卸落块,因此卸落块应具有足够的强度、刚度和整体稳定性。卸落块一般由专业厂家设计加工,属于成品构件。

3.2.4 钢护筒支撑

因设计工艺要求0#块与双肢薄壁墩墩顶2.5m同步浇筑,使托架的预埋承重牛腿标高较低,故设置相应高度的钢护筒支撑,上部所有荷载传递至托架上。钢护筒之间采用槽钢连接,增强整体稳定性。经受力计算分析,如钢护筒变形较大,可在钢护筒内填充砂,减小挠度变形值。

3.2.5 嵌入式牛腿托架

嵌入式承重牛腿是整个托架受力最为关键的部分,承受整个0#块的荷载,并传递至墩柱上。墩柱内每个嵌入式承重牛腿预埋件须加设2根Φ32-PSB930精轧螺纹钢对拉杆,每根精轧螺纹钢须施加一定的预应力,一般设计为15t,预拉到位后须采用双螺母固定拧紧。

外侧托架是支撑 0# 块纵向悬挑部分的荷载，内侧托架主要起支撑双肢薄壁墩中间顶板和底板部分的荷载。由于底板和顶板荷载大，外侧悬挑部分荷载较小，因此，内侧托架间距较外侧托架间距可适当减小，或增设一排，防止腹板腋角处应力集中导致混凝土开裂。托架应保持横平竖直，防止倾斜有夹角，避免荷载传递失效。

4 托架受力分析

本工程连续刚构托架采用电算验算，在 MIDAS/CIVIL 中建立了托架的整体空间模型（见图 2），采用空间杆系模型进行计算，所有型钢单元均采用梁单元，模板采用板单元，托架型钢交接点处根据实际情况采用半铰接形式，纵向分配梁与横向主梁之间、横向主梁与卸落块和钢护筒支撑之间、钢护筒和托架之间均采用刚性节点连接，托架预埋承重牛腿与墩柱之间的连接处理为固接。

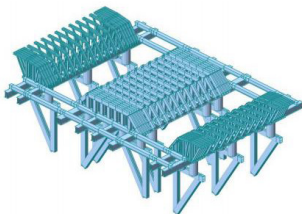


图 2 托架整体计算模型

首先在不同区域的荷载取值分别对托架进行了强度、刚度以及整体稳定性分析，再针对各关键连接部位的内力进行了验算。

4.1 荷载组合及工况

4.1.1 作用于托架的荷载

①混凝土荷载：取 0# 块各部位混凝土方量计算。②支架自重：由 Midas/Civil 系统根据定义截面自行取值。③模板自重：1.3kPa。④施工机具及人群荷载：2.5kPa。⑤倾倒

和振捣混凝土荷载：4.0kPa。

4.1.2 荷载组合

荷载组合 1： $1.3 \times (① + ② + ③) + 1.5 \times (④ + ⑤)$ ；荷载组合 2： $① + ② + ③$ ；荷载组合 1 用于结构的强度和稳定性计算，荷载组合 2 用于刚度计算。

4.1.3 荷载分析

根据设计图纸托架各部分承担荷载如下：根据混凝土的截面，按照托架纵梁的位置，分块计算出混凝土及各施工荷载；纵桥向分为 I、II、III 三个区域，横桥向分为 A、B、C 三个区域（见图 3）；分别以线荷载形式施加于各区域对应分配梁上。

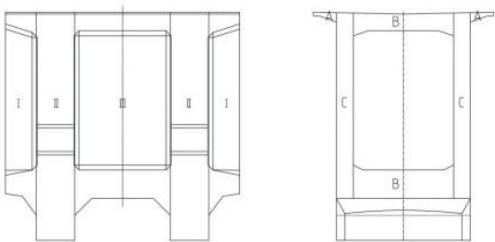


图 3 0# 块荷载分区图

4.2 结果分析

对托架的主要构造进行了空间建模，并采用通用有限元分析程序 MIDAS/civil 进行空间分析计算，计算采用整体模型。通过对荷载组合 1、2 的计算分析，托架结构的强度、刚度、稳定性满足要求（见表 1）。

5 托架预压

托架在浇筑 0 号梁段混凝土前须进行预压，预压荷载应不小于最大施工荷载的 1.2 倍，以检验托架的整体承载能力和消除托架的非弹性变形，并观测弹性变形量，根据实测数据调整立模标高。

表 1 各单元构件计算结果表

序号	单元构件名称	强度（荷载组合 1）				刚度（荷载组合 2）		备注
		组合应力		剪应力		变形量		
		计算值（MPa）	允许值（MPa）	计算值（MPa）	允许值（MPa）	计算值（mm）	允许值（mm）	
1	托架	228.3	305	118	175	1.5	4.75	
2	横向主梁	145.9	215	55.2	125	3.6	13.25	
3	翼缘板分配梁	13.2	215	6.5	125	0.1	3.8	
4	调坡桁架分配梁	132	215	81.4	125	4.7	11.75	
5	钢护筒支撑、卸落块	137.2	215	—	—	1.8	3.27	
序号	单元构件名称	稳定性（荷载组合 1）						
		压应力		弯应力		剪应力（剪力）		
		计算值（MPa）	允许值（MPa）	计算值（MPa）	允许值（MPa）	计算值（MPa）	允许值（MPa）	
1	托架（节点板、销轴）	58.2	137	127.8	320	792.6kN	4474.5kN	K=5.6
2	牛腿	173.3	324.5	90.6	295	85.3	170	
3	墩柱混凝土	13.38	25.78	—	—	—	—	
4	2 根 PSB-930 精轧螺纹钢	最大轴向反力 437.5kN	轴向拉力 1270kN	—	—	—	—	K=2.9

6 施工工艺流程

0#块与双肢薄壁墩同步浇筑施工工艺流程图如图4所示。

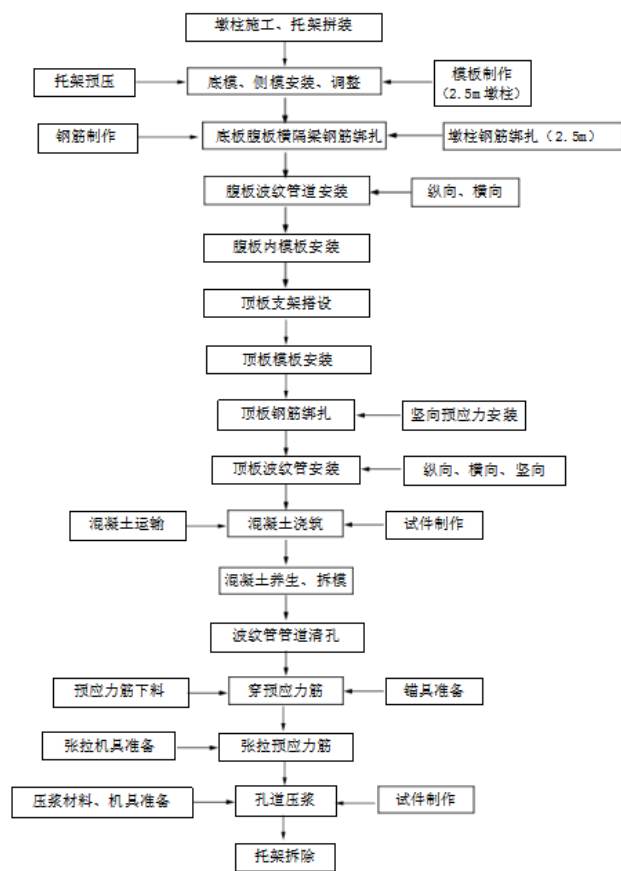


图4 0#块与双肢薄壁墩同步浇筑施工工艺流程图

6.1 模板体系

6.1.1 外模

跨S32申嘉湖高速刚构连续箱梁(88+163+88m)0#块腹板外模采用新加工钢模,为方便运输和拼装,单节模板分成挡块、翼缘板、腹板组成,单侧共4节模板组成,单节模板共4块模板组成。

0#块长14m,最大号块长4.5m;模板考虑加工16m模板,满足0#块及两侧4.5m的最大号块施工。材料:面板6mm板;法兰-14×100板;龙骨[10#槽钢;桁架][10#槽钢;拉杆采用Φ25精轧螺纹钢,横向间距850mm,竖向间距1000mm,钢桁架模板间法兰采用螺栓M18拼装。

6.1.2 内模

0#块顶板支撑架采用标准型(B型)盘扣式钢管支架作支撑,支架立杆横距60cm,纵距60cm,标准步距为150cm,顶层步距为50cm,3步设置一道水平剪刀撑,竖向斜杆采用间隔一跨设置斜杆。组配可调托撑和可调底座,自下而上依次布置横桥向、纵桥向分配梁,横梁采用10#工钢,纵桥向分配梁为100×100mm和45×100mm的方木,间距200mm,方木上布置底模板,采用18mm厚的新竹胶板作面板。

腹板内模采用18mm厚的新竹胶板作面板,竖向分配梁为100×100mm的方木,间距200mm,横梁采用双拼[10#

槽钢,拉杆采用Φ25精轧螺纹钢,横向间距850mm,竖向间距1000mm,且采用双螺母控制。

横隔梁两侧模板采用18mm厚的新竹胶板作面板,竖向分配梁为100×100mm的方木,间距200mm,横梁采用双拼[10#槽钢,拉杆采用Φ25精轧螺纹钢,横向竖向间距均为600mm,且采用双螺母控制。

6.2 预应力体系

纵横向预应力筋采用1×7-15.2-1860-GB/T5224—2014预应力钢绞线,抗拉强度标准值 $f_{pk}=1860\text{MPa}$,弹性模量 $E_p=195\text{GPa}$ 。纵向预应力筋管道形成采用内径 $\phi 102\text{mm}$ 和 $\phi 108\text{mm}$ 的圆形镀锌金属波纹管成孔,锚固体系采用自锚式拉丝体系张拉采用与之配套的机具设备;隔板处横向预应力筋管道形成采用内径90×19mm扁形镀锌金属波纹管成孔,锚固体系采用BM(P)15-5锚具及配套的支承垫板;竖向预应力体系采用1×19S-21.8mm规格的缓粘结预应力钢绞线,抗拉强度标准值 $f=1860\text{MPa}$,锚下张拉控制应力 $0.7f_{pk}=1302\text{MPa}$ 。

6.3 混凝土浇筑

0#块混凝土采用一次浇筑成型施工工艺:共分成五个浇筑区域,同步对称分层浇筑墩柱部位→同步分层浇筑底板部位→同步对称分层浇筑腹板和横隔梁部位→同步分层浇筑顶板部位,翼缘板应从外侧悬臂端向内侧浇筑。

7 结语

嵌入式预埋承重牛腿托架的所有构件材料加工简单,且可以周转使用多次,现场采用栓接方式拼装,大大减少现场组装焊接的工作量,受力安全可靠,从经济角度提高了适用性,提高托架的强度、刚度及稳定性,且安全性更高。受限于施工现场的各种不同制约因素,大部分的大跨径连续刚构桥通常桥墩较高,且墩台地理条件差异,如现状河道内,埋深较大,施工工艺要求0#块与双肢薄壁墩同步浇筑的难度大,支架法施工面临较大的安全风险和不经济问题。

根据南汇支线(两港市域铁路)工程NHSG-9标上海东支线双线特大桥跨S32申嘉湖高速连续刚构施工工艺要求及现场地形地貌,决定0#块采用新型嵌入式预埋承重牛腿托架法的施工工艺,对墩柱结构的影响降至最小。同时,对于0#块和双肢薄壁墩同步浇筑有一定的借鉴意义,对类似工程施工可以起到参考作用。

参考文献

- [1] 陈伟.梁施工临时结构设计[M].北京:中国铁道出版社,2002.
- [2] 朱传娣.大跨高墩连续刚构桥0号块托架法施工技术[J].混凝土与水泥制品,2009(4):21-22+37.
- [3] 卢映昆.黄延高速链达沟特大桥1、5#墩0#段施工托架设计[J].铁道工程学报,2005(4):34-38.
- [4] 宋永安,张崇彬,虞业强.高墩大跨径预应力混凝土连续刚构桥0号块的托架法施工[J].公路,2005(8):52-56.
- [5] 铁路预应力混凝土连续梁(刚构)悬臂浇筑施工指南[S].北京:中国铁道出版社,2010.