

跨营业线门式墩梁模架施工技术

黄志¹, 刘家彬², 彭占辉²

¹中铁四局集团第四工程有限公司, 安徽 合肥

²东南大学土木工程学院, 江苏 南京

收稿日期: 2023年2月20日; 录用日期: 2023年3月12日; 发布日期: 2023年3月24日

摘要

门式墩梁逐渐成为上跨营业线铁路桥梁的首选下部结构形式, 特定的空间环境下对墩柱及盖梁施工提出了更高的要求。本文基于实际工程案例, 对门式墩柱的模板体系及混凝土现浇盖梁的贝雷架体系进行了介绍, 并对其构造进行了验算。结果表明, 该模板支架体系完全符合规范要求, 并为同类工程的建设过程提供了参考。

关键词

门式墩, 贝雷架, 模板系统, 现浇混凝土盖梁

Construction Technology of Framework for Portal Pier Beam across Business Line

Zhi Huang¹, Jiabin Liu², Zhanhui Peng²

¹China Railway 4th Bureau Group 4th Engineering Co., Ltd., Hefei Anhui

²School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing Jiangsu

Received: Feb. 20th, 2023; accepted: Mar. 12th, 2023; published: Mar. 24th, 2023

Abstract

Portal pier beam gradually becomes the preferred substructure form for railroad bridges spanning over business lines, and the specific space environment poses higher requirements for pier and cap beam construction. In this paper, based on practical engineering cases, the formwork system of portal pier column and the bailey frame system of cast-in-place concrete cap beam are introduced and their structures are tested. The results show that the formwork support system fully meets the code requirements, and provides a reference for the construction process of similar projects.

Keywords

Portal Pier, Bailey Frame, Formwork System, Cast-in-Place Concrete Cap Beam

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国城镇化进程的快速发展,我国高速铁路、城际铁路[1]、市域(郊)铁路[2]和城市轨道交通等在规划设计与施工技术方面均取得了较大的进步。目前,较多的铁路以桥梁的形式进行建造,对于需要跨越既有线路进行施工的桥梁有丰富的工程案例。门式墩柱以其优良的性能,在跨线桥的下部结构中被广泛应用[3] [4] [5]。

混凝土门式墩柱模板体系[6] [7]形式多样,可以满足各种环境下的施工要求。混凝土盖梁通常使用贝雷架配合钢模板[8] [9]进行施工,将由于施工造成的对营业线的影响降到了最小。

2. 工程概况

江苏南沿江城际铁路站前工程正线长 24.51 km,其中位于南京市江宁区的江宁联络线特大桥为双线简支梁桥,设计时速 120 km/h,采用有砟轨道。江宁联络线特大桥采用门式墩柱组合现浇混凝土盖梁形式跨越营业线,典型施工断面如图 1 所示,墩柱截面为矩形,墩身最大断面尺寸 2.8×2.8 m。桥址区属河流一、二级阶地地貌,地形起伏变化较小,区域植被较发育,多为杂草树木。

营业线列车运行密度较大,且夜间天窗时间短。新建桥梁门式墩柱距营业线正馈线距离较近,故对于墩柱施工安全及精度要求较高。因此,施工单位对墩柱模板进行了优化设计,考虑到现浇盖梁的施工空间有限,对其模板支架体系进行了精细化建模及计算。

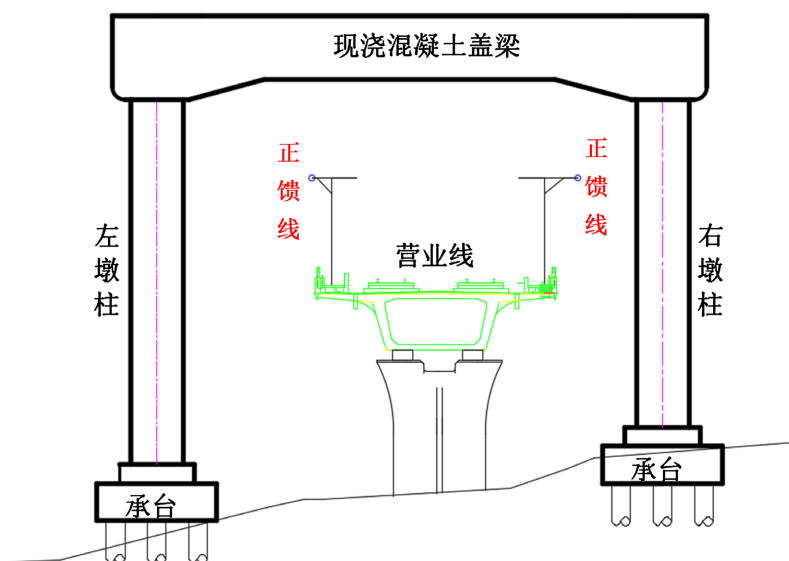


Figure 1. Construction sectional view of typical pier column and business line
图 1. 典型墩柱及营业线施工断面示意图

3. 墩柱施工工艺

桩基与承台混凝土浇筑完毕并达到一定强度后,进行门式墩柱施工。本文以江宁上行联络线特大桥16#墩为例,对模板构造、模板验算和墩柱施工流程进行研究。

3.1. 模板构造

门式墩墩柱截面为矩形,墩身最大断面尺寸 2.8×2.8 m,四角为 150×150 mm倒角。依据墩柱设计尺寸,结合项目要求,桥墩采用外架钢模及配合外架操作平台进行施工。墩柱模板截面图如图2所示。

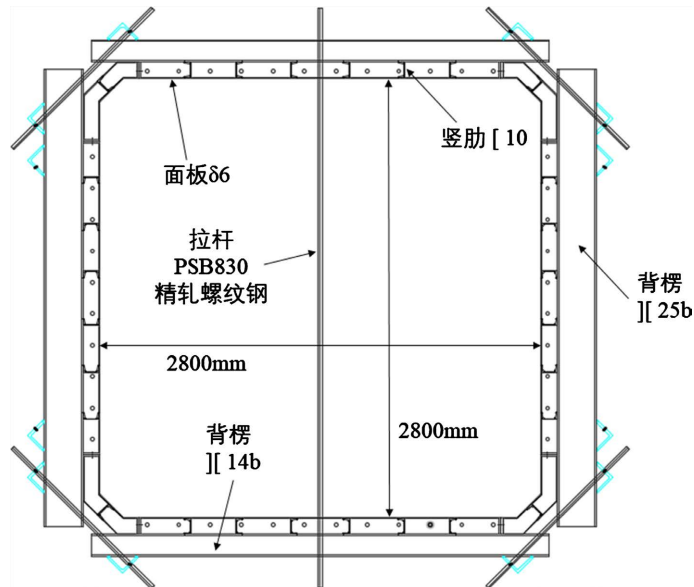


Figure 2. Cross-sectional view of pier column formwork
图2. 墩柱模板截面图

模板采用定制大块钢模板,由专业厂家生产制造,选用6 mm厚钢板作为面板。竖肋采用[10,间距0.3 m。常规墩柱模板采用在截面一侧设置对穿拉杆,四角设置斜拉杆结构形式。在本项目中,门式墩模板对穿拉杆采用直径25 mm的PSB830精轧螺纹钢。有拉杆一侧背楞为[14b,无拉杆一侧背楞为[25b,间距均为0.7 m。模板表面平整,尺寸偏差应符合设计要求,具有足够的强度、刚度和稳定性,且模板安拆方便,接缝严密不漏浆。

3.2. 模板验算

根据规范[10]要求,取振捣混凝土对垂直模板荷载为 4 kN/m^2 ,倾倒混凝土对垂直模板荷载为 2 kN/m^2 ,混凝土侧压力荷载为 104.1 KPa 。计算得模板强度计算荷载为 146.4 KPa ,模板刚度计算荷载为 104.1 KPa 。

采用Midas Civil对单个2 m节模板取最大侧压力荷载进行建模计算,底部节点设置约束3个方向平动,顶部考虑螺栓约束作用,按螺栓数量0.5倍设置对应方向的平动约束,计算模型如图3所示。主要构件计算参数如表1所示。

墩柱模板面板应力云图如图4所示。其中,骨架的最大组合应力 160.8 MPa ,最大剪应力 104.8 MPa ,面板最大应力 34.3 MPa ,拉杆最大轴力 126.8 kN ,满足设计要求。墩柱模板变形云图如图5所示,其中最大变形为 1.3 mm ,满足设计要求。

连接螺栓计算模板连接螺栓规格 $\text{M}20 \times 70 \text{ mm}$,假定混凝土侧压力荷载由螺栓承担,以大断面墩柱

较宽一侧模板 2 m 为例, 模板荷载为 819.84 kN。单节 2 m 模板设置连接螺栓 20 套, 4.8 级 M20 允许拉力荷载 53.38 kN, $Q = 819.84 \text{ kN} < 53.38 \times 20 = 1067.6 \text{ kN}$, 满足设计要求。

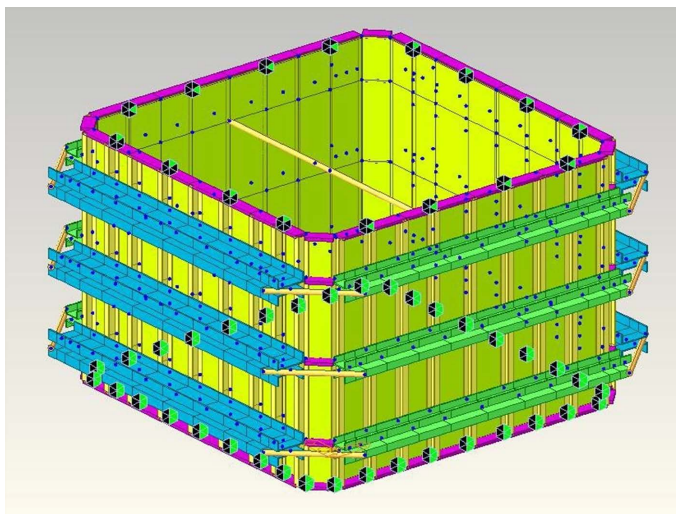


Figure 3. Finite element model of pier column formwork
图 3. 墩柱模板有限元模型

Table 1. Calculation parameters of main components of pier column formwork

表 1. 墩柱模板主要构件计算参数

序号	名称	规格	材质	抗拉、压、弯强度设计值	抗剪强度设计值	刚度设计值
1	面板	6 mm 厚钢板	Q235B	215 MPa	125 MPa	L/400
2	贴面板筋	[10	Q235B	215 MPa	125 MPa	L/400
3	背筋][14b/][25b	Q235B	215 MPa	125 MPa	\
4	模板拉杆	Φ25	PSB830	366 kN	\	\

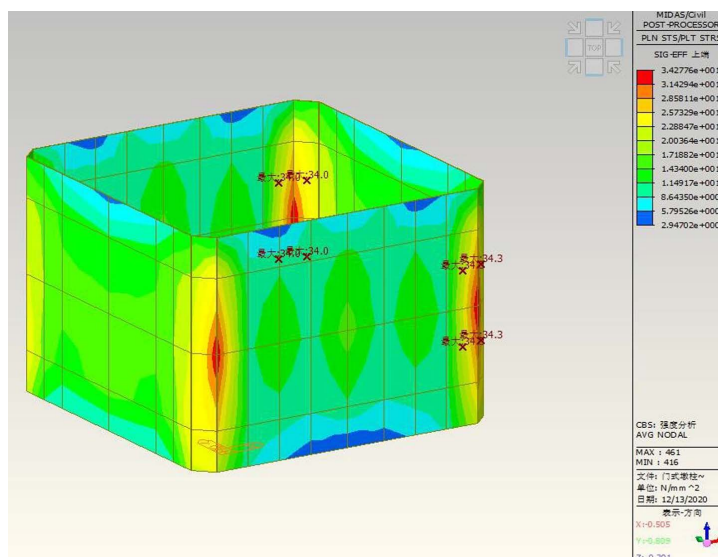


Figure 4. Stress of pier column formwork
图 4. 墩柱模板应力

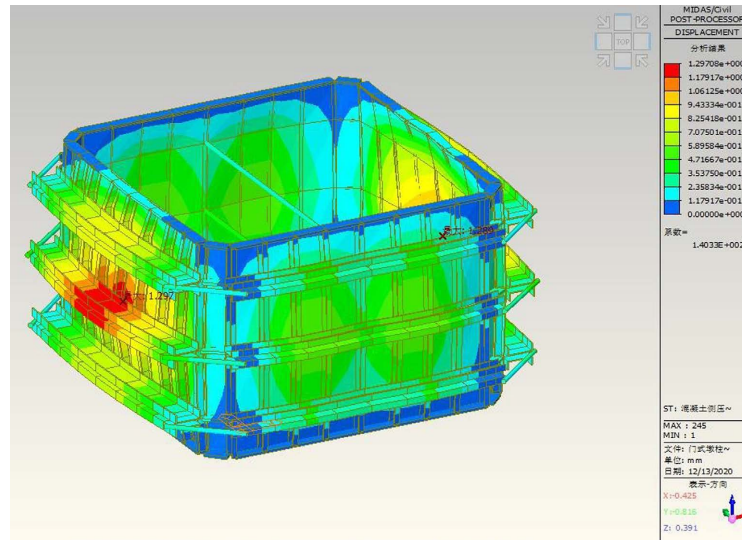


Figure 5. Deformation of pier column formwork
图 5. 墩柱模板变形

3.3. 施工流程

江宁联络线特大桥门式墩墩身分四次进行浇筑。具体施工流程如图 6 所示。

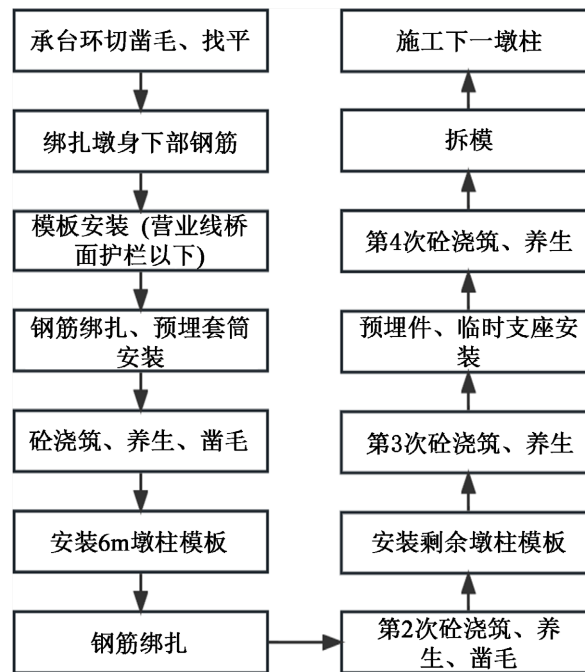


Figure 6. Construction flow chart of portal pier beam
图 6. 门式墩梁施工流程图

4. 盖梁施工工艺

江宁下行联络线特大桥 19~29#门式墩浇筑混凝土盖梁跨度 20 m, 全长 23.5 m, 梁端截面尺寸 3.3 × 3.3 m, 跨中位置截面尺寸 3.3 × 2.5 m, 盖梁内设置 24 束横向预应力钢束。

4.1. 模架构造

考虑到墩柱周围施工空间狭小,且现浇混凝土盖梁需在南沿江正线架梁车通过后方可施工,盖梁支架采用托架+贝雷梁+桁架+盖梁模板形式,如图7所示。托架锚固于墩柱上,托架结构由水平纵梁、斜撑、精轧螺纹钢、钢箱支座及插销组成;钢箱支座安装与墩身预埋钢板通过 $\Phi=25\text{ mm}$ 的PSB830精轧螺纹钢连接固定,托架水平纵梁与斜撑之间以及水平杆与钢箱支座、斜杆与钢箱支座均采用 $\Phi 89\text{ mm}$ 插销连接,水平杆采用2[40a槽钢,斜杆采用 $\varphi 325\times 10\text{ mm}$ 无缝钢管。托架顶盖梁采用2[40a槽钢,贝雷梁支撑于托架盖梁上,贝雷梁采用加强弦杆形式,贝雷梁上铺设工字钢I10作为横向分配梁,工字钢上面设置由槽钢[10焊接而成的桁架。盖梁模板采用定制大块钢模板,面板为6 mm钢板,肋筋为[10,间距0.3m,背筋为[10,间距1m,拉杆为PSB830精轧螺纹钢,模板连接采用M20*70 mm螺栓(配双螺帽)。盖面模板截面如图8所示,模架主要构件基本设计参数如表2所示。

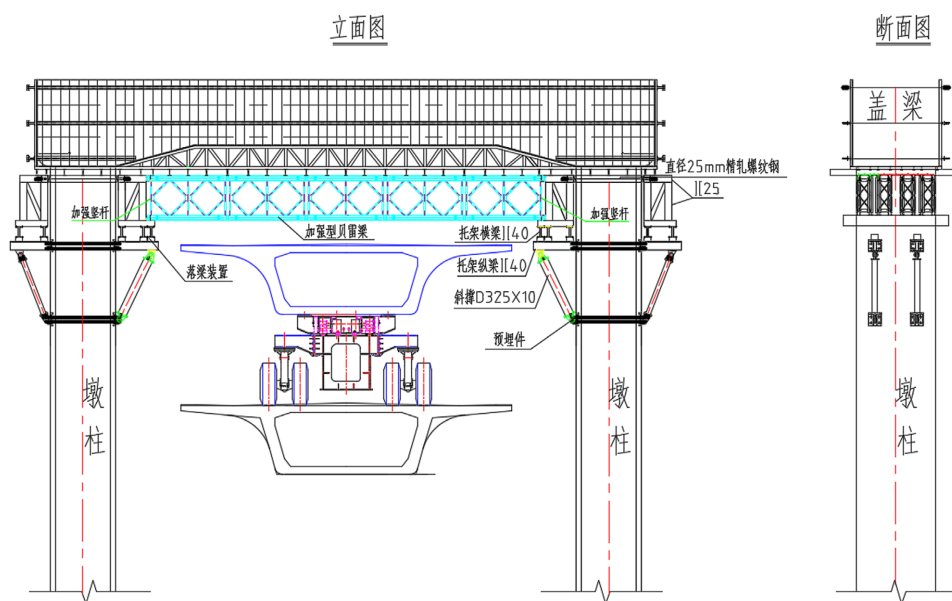


Figure 7. Construction layout of cap beam
图7. 盖梁施工布置图

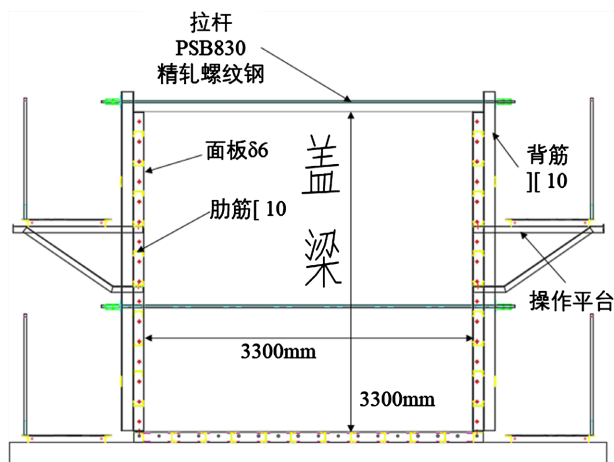


Figure 8. Cross-sectional view of cap beam formwork
图8. 盖梁模板截面图

Table 2. Calculation parameters of main components of bailey frame
表 2. 贝雷架主要构件计算参数

构件	型号	材质	抗弯、抗拉强度设计值(MPa)	抗剪强度设计值(MPa)
盖梁面板	6 mm 钢板			
盖梁贴面板槽钢	[10			
桁架	[10			
横向分配梁	I16	Q235B	215	125
托架纵梁][40			
托架盖梁][40			
斜撑钢管	DN325 × 10			
精轧螺纹钢	Φ = 32 mm	PSB830	680	\
插销	Φ89 mm	45#钢	355	206
加强型贝雷梁	321 型	16Mn	305	175
钢板	20 mm 厚	Q235B	205	120
	30 mm、40 mm 厚	Q345B	295	170

4.2. 模板验算

模板计算时所需考虑的荷载及分项系数、荷载效应组合参考手册[11], 盖梁高度 3.3 m, 混凝土重量均布荷载为 85.8 KPa, 则底模面板强度计算荷载为 105.76 KPa; 底模面板刚度计算荷载为 87.8 KPa。新浇混凝土对侧模板的侧压力取 60.1 KPa, 混凝土振捣及冲击荷载 4 KPa, 则侧模面板强度计算荷载为 77.72 kN/m; 侧模面板刚度计算荷载为 60.1 kN/m。

面板厚 6 mm, 肋筋间距 0.3 m, 取单位宽度的面板进行验算。计算得面板最大应力 115 MPa, 小于容许应力 215 MPa; 最大挠度 0.9 mm, 满足最大挠度 L/250 的要求。

肋筋采用[10, 面板荷载为 60.1 kN/m², 背筋跨度 1.35 m, 肋筋中心间距 0.3 m, 则肋筋强度计算荷载为 23.3 kN/m; 模板肋筋刚度计算荷载为 18.03 kN/m。计算得肋筋最大应力 58.75 MPa, 最大挠度 1.87 mm, 均满足规范要求。

背筋采用][10, 竖向间距 1.35 m, 拉杆水平间距 1 m, 则背筋强度计算荷载为 77.72 kN/m; 背筋刚度计算荷载为 60.1 kN/m。计算得背筋最大应力 122.5 MPa, 最大挠度 0.93 mm, 均满足规范要求。

4.3. 贝雷梁及桁架验算

利用 Midas Civil 软件建立贝雷梁支架有限元模型, 混凝土荷载及其他活载均采用线荷载模拟。计算模型如图 9 所示。其中, 混凝土容重取 26 kN/m³, 模板自重取 2 KPa, 施工机具及人群荷载取 1.5 KPa。

桁架组合应力云图如图 10(a)所示。其中, 最大组合应力 $\sigma_{\max} = 184\text{MPa}$, 最大剪应力为 $\tau_{\max} = 56\text{MPa}$, 满足规范要求。

横向分配梁组合应力云图如图 10(b)所示。其中, 最大组合应力 $\sigma_{\max} = 8\text{MPa}$, 最大剪应力为 $\tau_{\max} = 4\text{MPa}$, 满足规范要求。

贝雷梁组合应力云图如图 10(c)所示。其中, 不同杆件的计算结果如表 3 所示, 所以杆件均满足要求。

支架结构变形按标准组合工况进行计算, 其整体竖向变形如图 10(d)所示。其中, 最大竖向变形为 22 mm, 满足 L/400 的规范要求。

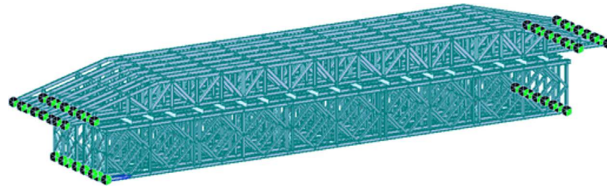
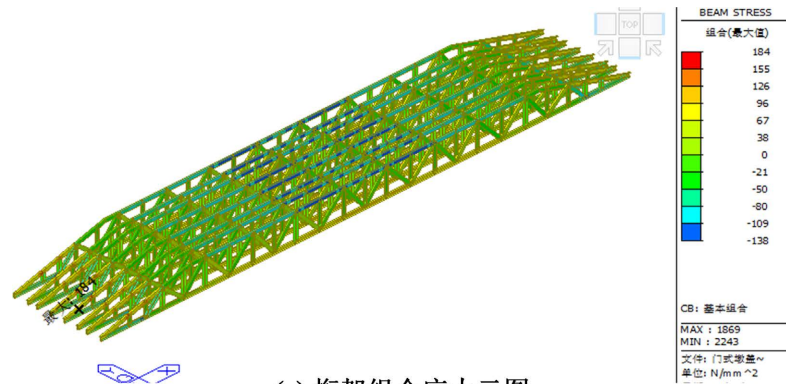


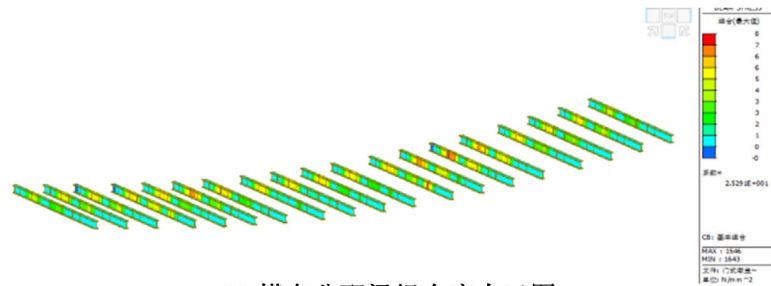
Figure 9. Finite element model of bailey beam support
图 9. 贝雷梁支架有限元模型

Table 3. Calculation results of bailey beam
表 3. 贝雷梁计算结果

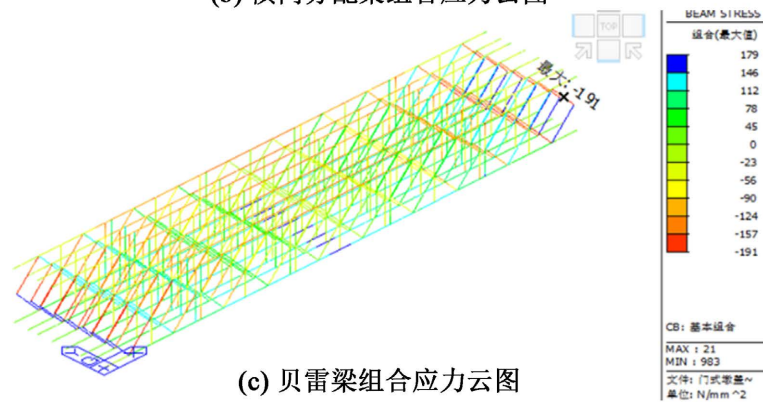
杆件名	材料	截面	组合应力(MPa)	剪应力(MPa)
加强型弦杆	16 Mn][10	179	3
斜杆	16 Mn	I8	191	1
竖杆	16 Mn	I8	168	



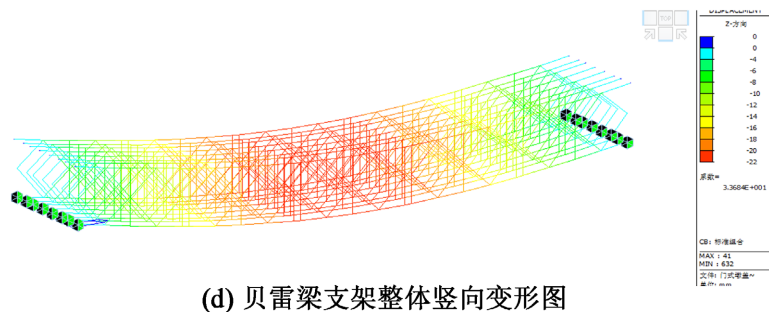
(a) 桁架组合应力云图



(b) 横向分配梁组合应力云图



(c) 贝雷梁组合应力云图



(d) 贝雷梁支架整体竖向变形图

Figure 10. Calculation results of bailey beam support

图 10. 贝雷梁支架计算结果

4.4. 托架验算

利用 Midas Civil 软件建立托架空间有限元模型，支座处铰接约束，上下型钢及杆件之间采用弹性连接约束，销轴采用释放梁端约束模拟，计算模型如图 11(a)所示。荷载取自贝雷梁支架的支反力，采用承载能力极限状态法计算。

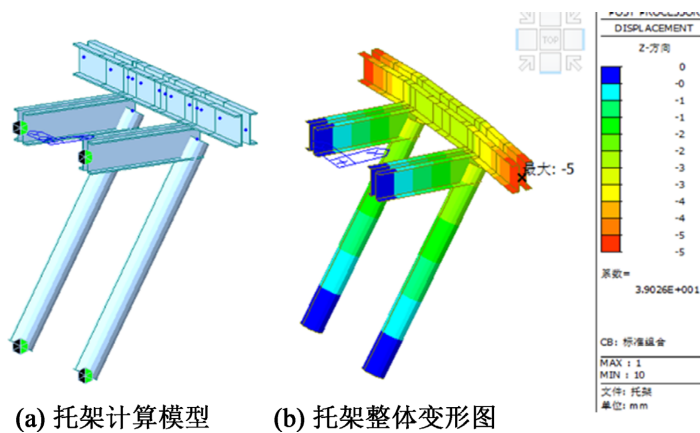
根据计算结果，托架顶盖梁最大组合应力 $\sigma_{\max} = 160\text{MPa}$ ，最大剪应力为 $\tau_{\max} = 596\text{MPa}$ 。托架纵梁最大组合应力 $\tau_{\max} = 52\text{MPa}$ ，托架主要承受拉力，剪应力很小。托架斜撑最大组合应力 $\tau_{\max} = 158\text{MPa}$ 。以上计算结果均满足规范要求。

按标准组合工况对托架整体变形进行计算，变形情况如图 11(b)所示。其中，托架整体变形 5 mm，托架牛腿变形 3 mm。

由于托架斜撑钢管承受较大的压力，且其长细比较大，需对其进行稳定性验算。钢管最大压力 $N = 1559\text{ kN}$ ，稳定系数 $\varphi = 0.947$ ，截面面积 $A = 9896\text{ mm}^2$ 。规范[12]要求轴心受压构件的稳定性应符合：

$$\frac{N}{\varphi A f} \leq 1.0 \tag{1}$$

计算得该系数为 0.77，满足规范要求。



(a) 托架计算模型 (b) 托架整体变形图

Figure 11. Calculation model and results of bracket

图 11. 托架计算模型及结果

5. 结语

本文总结了上跨营业线的江宁联络线特大桥门式墩梁模板施工技术。对于常规混凝土门式墩柱采用

的模板体系进行了介绍,并给出了验算过程及结果。该模板体系构造简单且施工方便,经过简化分析计算,面板受力均匀,变形合理;背筋及拉杆等支撑构件承载能力较为优良,满足规范要求,且有一定的安全储备。

使用托架与贝雷架结合,使得盖梁模架体系具有较大的跨越能力,有效保证了营业线的正常运行。对模板进行简化分析,结果表明,其底模和侧模的刚度及强度均符合规范要求。贝雷梁及桁架杆件受力合理,整体变形较小,对营业线影响可以忽略。托架承载能力较强,且主要承压杆件稳定性满足规范要求。

参考文献

- [1] 孙海富.《城际铁路设计规范》主要技术标准[J].铁道工程学报,2019,36(2):88-93.
- [2] 李明.对我国市域(郊)铁路的概念及若干问题思考[J].铁道工程学报,2022,39(3):107-111.
- [3] 户东阳,卢三平,曾敏,等.跨越既有铁路门式墩钢盖梁转体施工技术[J].施工技术(中英文),2021,50(23):36-40.
- [4] 闫斌,刘从新,杜凯,等.门式墩上高速铁路连续梁桥梁轨相互作用[J].华中科技大学学报(自然科学版),2012,40(3):81-84.
- [5] 汪海旺.成绵乐铁路客运专线跨既有宝成线门式墩帽梁支架施工技术[J].铁道标准设计,2011(5):45-47.
- [6] 张玉明,边靖,史晓涛.主桥门式墩身大体积混凝土翻模施工技术研究[J].安徽建筑,2022,29(6):63-64.
- [7] 何沛明,杨金勇,史国良.粉房湾长江大桥引桥门式墩柱施工技术[J].桥梁建设,2012,42(z1):81-85.
- [8] 刘志勇.跨越既有道路桥梁之门式墩盖梁施工技术浅析[J].四川水泥,2022(11):239-241.
- [9] 肖劲洪.城际轨道门式墩现浇盖梁施工技术[J].珠江水运,2013(13):48-49.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.JGJ 162-2014 建筑施工模板安全技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [11] 周水兴,何兆益,邹毅松.路桥施工计算手册[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50017-2017 钢结构设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.