

现浇梁内模支撑优化设计

宋效忠

中铁十四局集团第四工程有限公司, 山东 济南 250000

摘要:为解决现浇梁跨度大、荷载大、内箱模板高、难以保证内模支撑稳定的问题,采用槽钢桁架内模支撑方案,工前利用 Midas 优化支撑结构设计,确定3种设计方案,合理布置槽钢支撑,减少材料用量,满足内模支撑稳定性要求。结果表明:3种现浇梁内模支撑结构方案均满足安全技术要求,通过经济性对比,确定了占用箱内空间少,用材最节省的最优方案。

关键词:现浇梁;内模支撑;优化设计;槽钢桁架

中图分类号:X831

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2022)01-0067-06

引用格式:宋效忠.现浇梁内模支撑优化设计[J].山东交通学院学报,2022,30(1):67-72.

SONG Xiaozhong. Optimization design of internal formwork support of cast-in-situ girder[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(1): 67-72.

0 引言

随着桥梁建设的快速发展,现浇箱梁整体性好、外形美观、刚度大,可做成复杂形状、线形,综合性能较好,费用较低,适用面广,施工工艺基本成熟,已步入标准化施工工艺阶段^[1-4],越来越广泛地用于高速公路和城市道路高架桥建设。传统现浇箱梁内模主要采用木模节段整体拼装和组合钢模散拼装方式施工,安装拆卸速度慢,支架隐患不好排查,作业空间小,不能满足当今箱梁施工工程量剧增时的施工进度和施工成本的需要^[5-9]。采用型钢内支撑可有效满足施工需求,但内支撑体系设计环节繁多,支撑体系质量决定现浇箱梁的施工质量。如何优化结构形式,做到快速拼装,满足施工安全技术要求,提供有利作业空间,节约材料成本,成为现浇箱梁施工中的关键问题^[10-15]。

本文选用 Q235 B 级 [12.6 材料制作桁架结构支撑内模,并优化内模结构,以期满足施工安全、进度和成本要求。

1 工程概况

穗莞深城际铁路 SZH-8 标段线下工程共 13.79 km,起讫里程为 DK62+456—DK76+100,线路穿过东莞市长安工业园,沿深圳市宝安区松福大道中央绿化带内至宝安机场地下。本工程双线现浇梁较多,共计 49 孔,累计双线长度约 1.4 km,若全部内模支撑结构均采用槽钢制作,预计需要 1800 组。因为材料用量较大,施工中需严格优化方案,节约材料用量、降低成本。以松福路 1 号特大桥第 25 孔 44 m 支架现浇梁内模支撑为例,该梁采用 C50 混凝土,桥面板宽 11.6 m,梁长 43.9 m,截面中心梁高 3.3 m,底板宽 4.212 m,腹板厚 0.46~1.0 m,内箱净高 2.7~2.1 m,顶板厚 0.3~0.5 m,桥梁 I-I、II-II 和 III-III 截面结构尺寸如图 1 所示。

收稿日期:2020-07-11

基金项目:山东省企业技术创新项目(201521901038)

作者简介:宋效忠(1988—),男,山东济宁人,工程师,主要研究方向为隧道、桥梁工程专业施工技术,E-mail: songcdiy@qq.com。

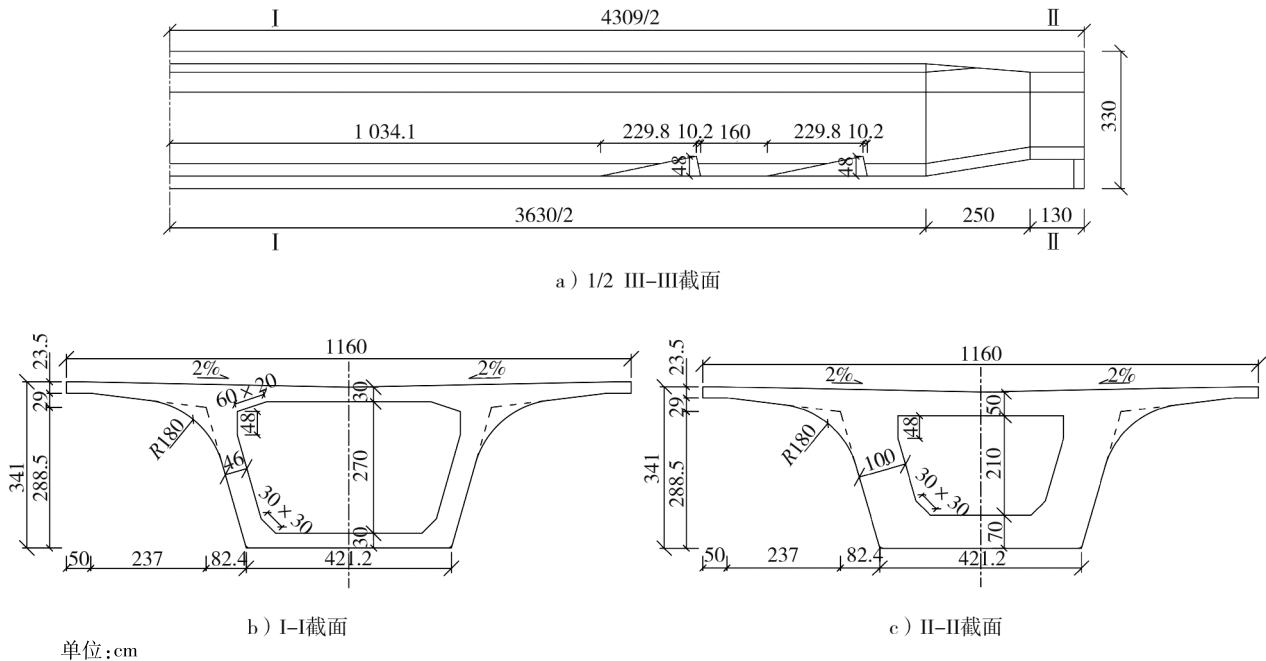


图1 现浇梁截面结构示意图

2 方案设计

2.1 施工特点及难点

根据工程项目实际调查及设计资料,施工特点及难点主要有:1)44 m 现浇梁内箱高,内箱支撑要求强度高、稳定性好;2)现浇梁较多,跨度均较大,内模支撑材料用量大,但施工资金有限,必须采用可多次重复利用的材料,同时需合理优化支撑方案以减少材料用量、节约成本;3)安全要求高,该梁内箱高2.7 m,施工过程中人员在箱内作业,内模支撑要保证人身安全;4)由于箱梁较长,箱内需要保证作业人员顺利通行,内支撑结构需保证作业空间^[16-19]。

2.2 方案比选

根据施工特点及难点,通过对比提出以下措施。

1)选择强度高、可靠性较好的 Q235 B 级 [12.6 制作桁架结构支撑内模,并且支撑打孔后采用螺栓栓接,便于快速倒运和重复拆装,提高施工效率。[12.6 材料规范,性能可靠,重复利用性能稳定,可快速倒运和重复拆装利用^[20-22]。若利用钢管,因为规格一般为 $\Phi 48 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}$,线密度约为 3.35 kg/m ,一般为租赁,使用次数较多,很难保证材料性能均匀合格,支撑结构一般为 $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 间距空间布置,用量较大,组装工作量大。

2)合理优化内模支撑结构,保证支撑能力的同时,减少材料用量,节约成本。本文初步选取 3 种内模支撑结构形式,通过计算比较,优选出使用材料最少,同时满足安全技术要求的内模支撑方案。3 种方案内模支撑结构布置如图 2 所示,一榀内模支撑材料 [12.6 用量分别为:20.48 m,252.1 kg;16.91 m,208.2 kg;15.70 m,193.3 kg。

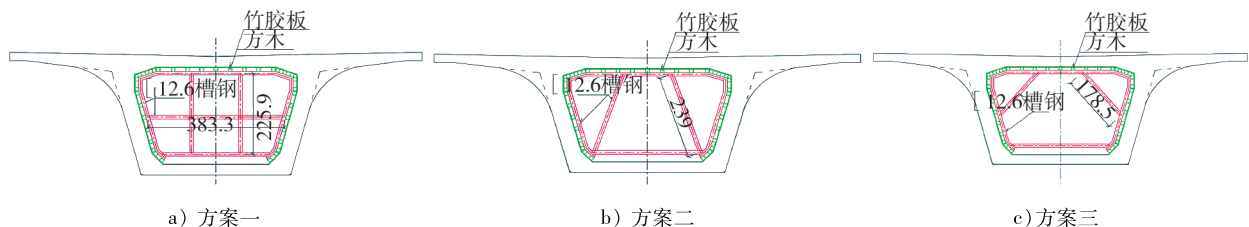


图2 内模支撑结构示意图

3 荷载计算

3.1 荷载取值

箱梁内模采用 $\delta=15\text{ mm}$ 厚竹胶板满铺,模板背面采用横截面为 $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ 方木作肋,顶板处按 40 cm 横向间距布置,腹板处按照 $35\sim 50\text{ cm}$ 间距布置。采用[12.6 结构作为内模支撑,按桥梁纵向间距 0.8 m 布置,螺栓栓接,便于倒运和重复拆装利用。

参考文献[23],各材料力学性能及荷载取值为:1)钢筋混凝土梁体密度 $\rho_1=2653\text{ kg/m}^3$;2)竹胶板密度 $\rho_2=816\text{ kg/m}^3$,单位面积荷载为 0.12 kPa ;3)方木密度 $\rho_3=816\text{ kg/m}^3$;4)[12.6 线密度为 12.31 kg/m ,设计允许应力 $[\sigma]=215\text{ MPa}$;5)作用于顶板的混凝土振捣荷载为 2 kPa ,人员、机具、设备荷载为 2.5 kPa ,混凝土浇筑冲击荷载为 2 kPa ,共计 6.5 kPa 作用于顶板,腹板受混凝土振捣荷载为 4 kPa ;6)恒荷载分项系数为 1.2 ,可变荷载分项系数为 1.4 ;7)箱梁内箱结构表面隐蔽,最大变形取内箱支撑跨度的 $1/250$ 。

3.2 荷载计算

内模支撑按 0.8 m 间距布置,荷载计算取垂直梁截面方向长度 $L=0.8\text{ m}$,以该梁跨中截面为例进行计算,对比 3 种内模支撑结构内力、变形以及材料用量。

1)现浇梁箱内顶模承受的混凝土在等厚度处(厚 0.3 m)自重线荷载 $q_1=6.24\text{ kN/m}$,倒角处(最厚 0.5 m)自重线荷载 $q_2=10.4\text{ kN/m}$ 。

2)根据文献[24],采用内部振捣器时,现浇梁箱内侧模承受的混凝土侧压力

$$F_0=0.22\rho_c t_0 \beta_1 \beta_2 v^{1/2}, \tag{1}$$

式中: ρ_c 为混凝土密度, $\rho_c=2653\text{ kg/m}^3$; v 为混凝土的浇筑速度, $v=0.5\text{ m/h}$; t_0 为新浇筑混凝土的初凝时间, $t_0=4.5\text{ h}$; β_1 为外加剂影响修正系数, $\beta_1=1.0$; β_2 为混凝土坍落度影响修正系数, $\beta_2=1.15$ 。

计算得: $F_0=13.95\text{ kPa}$,则混凝土侧面线荷载 $q_3=F_0L=11.16\text{ kN/m}$ 。

3)仅计算梁体顶板位置的竹胶板及方木质量,竹胶板满铺,顶板处方木按照 0.4 m 间距布置,可得竹胶板及方木自重线荷载 $q_4=0.26\text{ kN/m}$ 。则顶板分布荷载分别为 q_1+q_4, q_2+q_4 ,如图 3 所示。

4)施工荷载为可变荷载,混凝土振捣荷载、施工机具材料设备荷载、浇筑冲击荷载作用于顶板,线荷载 $q_5=5.2\text{ kN/m}$;混凝土振捣荷载作用于腹板, $q_6=3.2\text{ kN/m}$ 。

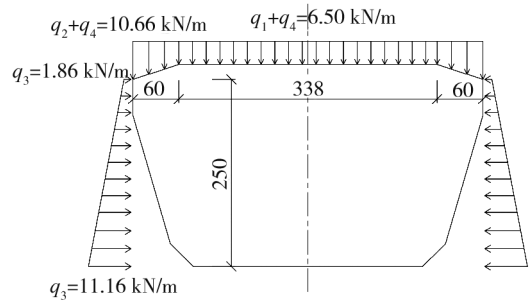


图 3 顶板荷载分布图

根据内模每节段总荷载计算作用在内模支撑槽钢上的恒荷载分布,内模支撑恒荷载分布如图 4 所示,作用在内模支撑上的可变荷载分布如图 5 所示。

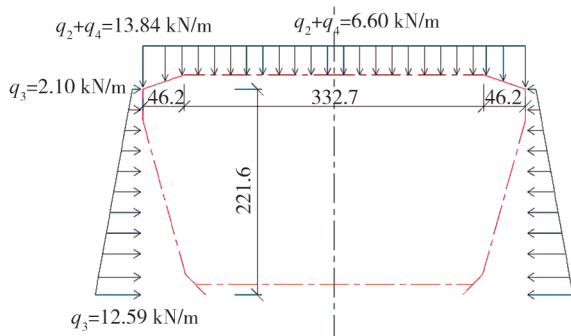


图 4 内模支撑恒荷载分布图

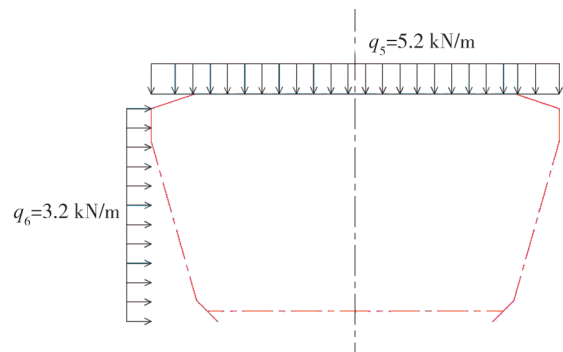


图 5 内模支撑可变荷载分布图

4 内模支撑受力特征

4.1 荷载及模型

计算内力时按照恒载 q_d 、可变荷载 q_v 组合 ($1.2 q_d + 1.4 q_v$) 取值, 计算受力变形时按照荷载组合 ($1.0 q_d + 1.0 q_v$) 取值。利用 Midas civil 建模, 计算并比较 3 种方案内支撑应力限值及变形限值, 如表 1、2 所示。

表 1 顶板下内模支撑应力及变形限值

方案	支撑最大跨度/m	应力限值/MPa	变形限值/mm
一	1.10	215	4.40
二	2.19	215	8.76
三	1.19	215	4.76

表 2 腹板内侧内模支撑应力及变形限值

方案	支撑最大跨度/m	应力限值/MPa	变形限值/mm
一	1.10	215	4.40
二	2.19	215	8.76
三	1.19	215	4.76

4.2 应力与位移

方案一的内模支撑应力图及位移图如图 6、7 所示。经过建模计算, 最大应力为 46.643 MPa, 小于应力限值 215 MPa, 最大挠度为 0.356 mm, 小于变形限值 5.76 mm, 内模支撑满足施工安全技术要求。

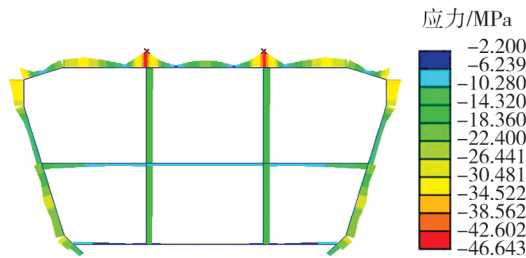


图 6 方案一内模支撑应力图

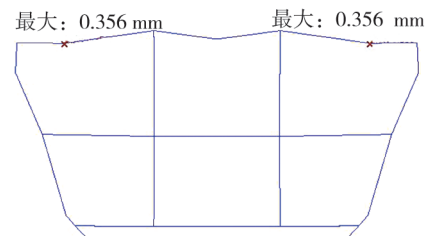


图 7 方案一内模支撑位移图

方案二的内模支撑应力及位移如图 8、9 所示。经过建模计算, 最大应力为 66.566 MPa, 小于应力限值 215 MPa, 最大挠度为 0.376 mm, 小于变形限值 5.84 mm, 内模支撑满足施工安全技术要求。

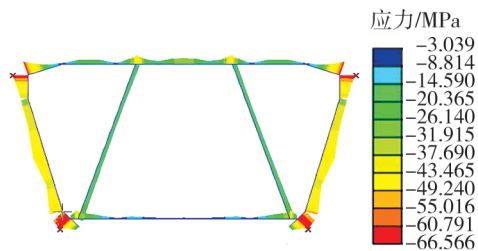


图 8 方案二内模支撑应力图

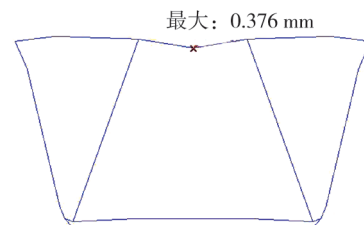


图 9 方案二内模支撑位移图

方案三的内模支撑应力图及位移图如图 10、11 所示。经过建模计算, 最大应力为 130.836 MPa, 小于应力限值 215 MPa, 最大挠度为 2.905 mm, 小于变形限值 5.76 mm, 内模支撑满足施工安全技术要求。

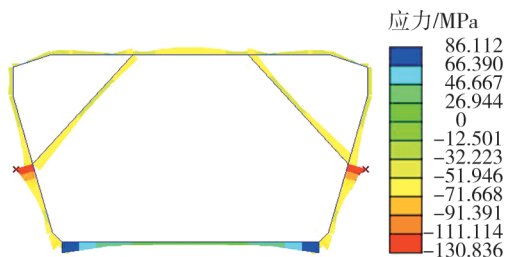


图 10 方案三内模支撑应力图

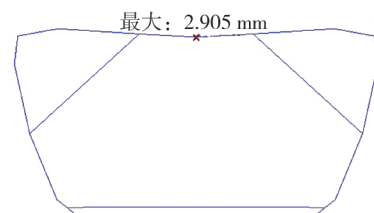


图 11 方案三内模支撑位移图

4.3 内模支撑结构优化经济性对比

经过建模计算,3种现浇梁内模支撑结构均满足施工安全技术要求。项目所有现浇梁内模支撑共需1800组,考虑现浇梁工期紧,需要准备约600组槽钢支撑,循环利用3次,计算预计购入槽钢质量及所需资金投入,如表3所示。

表3 现浇梁内模支撑方案对比

方案	组合应力/MPa	变形限值/mm	预计购入槽钢质量/t	预计投入成本/万元
一	46.6	0.356	151.3	54
二	66.6	0.376	124.9	45
三	130.8	2.905	116.0	42

通过比较可知:方案一设计比较保守,采用两道横撑、两道竖撑,组成多个四边形结构,结构应力和变形均最小,结构最安全,但是材料用量最多,投入成本最大;方案二根据三角形稳固原理,采用一道横撑、两道斜撑,两侧构成了三角形结构,中间为一梯形结构,其结构应力、变形及材料用量与方案一比较,没有明显优势;方案三在方案二结构基础上进一步优化,将两道斜撑上移,材料用量最少,结构应力和变形最大,但均满足安全技术要求,最大化的利用了材料力学性能。由此可知,方案三现浇梁内模支撑结构合理,占用箱内空间少,用材最节省,满足安全技术和成本控制要求。

5 结语

经过材料性能和工艺特点对比,选用槽钢作为支撑材料,市场较规范,材料性能有保证。对同一个工程项目,一般现浇梁结构尺寸相似,通过加工一批定型槽钢构件,利用螺栓栓接槽钢构成内模支撑,便于快速组装,方便结构安全检查,适用于有大量现浇梁的工程。槽钢材料的力学性能比钢管好,重复利用性能稳定,加工成的内模支撑结构简单,占用箱梁内箱空间少,便于工人在箱孔内作业。通过对比计算3种内模支撑结构的组合形式,优选设计方案,确定既能满足内模支撑需求,节约材料,还能增加箱内作业空间的内模支撑结构,为项目节约大量成本,加快了施工进度。

参考文献:

- [1] 李庚忠,孙成山,李进琦,等.桥梁内箱模板支架设计与整体安装技术[J].青岛理工大学学报,2012,33(6):50-54.
LI Gengzhong, SUN Chengshan, LI Jinqi, et al. Formwork design of internal culvert box and installation technology in bridge construction[J]. Journal of Qingdao Technological University, 2012,33(6):50-54.
- [2] 刘焱生,宋建超.轻轨小箱梁内模设计[C]//中国建筑学会.2009年全国建筑模板与脚手架专业委员会年会论文集.[S.l.]:[s.n.],2009,36(增刊):155-157.
- [3] 胡联栋,牛青竹.25m箱梁孔内模的设计与应用[J].天津市政工程,2001,13(4):14-15.
- [4] 刘祯平.高速铁路预制箱梁内模的研究与开发[J].区域治理,2018(18):218.
- [5] 周志刚,杨明新,王贺,等.变截面鱼腹式连续箱梁模板支撑体系施工技术[J].技术与市场,2016,23(8):85-87.
- [6] 严振林.基于MIDAS/Civil的隧道衬砌台车结构设计及分析[J].工程技术研究,2017(2):223-224.
- [7] 李文广.新浇筑混凝土模板侧压力影响因素试验研究[J].铁道建筑,2019,59(11):37-40.
LI Wenguang. Experimental study on influential factors of lateral pressure acting on framework caused by newly concrete pouring[J]. Railway Engineering, 2019,59(11):37-40.
- [8] 刘玉涛,黄坚,蒋金生,等.新浇混凝土对倾斜模板侧压力及支架受力分析[J].施工技术,2012,41(366):85-87.
LIU Yutao, HUANG Jian, JIANG Jinsheng, et al. Analysis of lateral pressure of fresh concrete acting on inclined formwork[J]. Construction Technology, 2012,41(366):85-87.
- [9] 李瑞丰,张洪彪,张锦成.对槽钢支撑顶板施工技术的分析[J].华章,2012(27):347.
- [10] 廖剑平.隧道衬砌台车模板制作的变形控制[J].石家庄铁道学院学报,2006,19(增刊1):128-129.
- [11] 关章磊,李乾峰,徐书伟,等.地铁车站侧墙可移动式模板支架体系施工技术研究[J].建筑技术开发,2019,46(3):8-9.

- GUAN Zhanglei, LI Qianfeng, XU Shuwei, et al. Research on construction technology of mobile formwork support system for side wall of subway station[J]. Building Structure, 2019,46(3):8-9.
- [12] 刘燕. 结构自内力模板支撑体系的运用[J]. 科技向导, 2014(6):272-274.
- [13] 刘家亮. 混凝土空心梁自落架内模施工工艺研究[J]. 价值工程, 2016,35(6):125-128.
LIU Jialiang. On the construction techniques of self-fall apart of the reinforced concrete hollow beam plate [J]. Value Engineering, 2016,35(6):125-128.
- [14] 赵滇生, 庞璐思. 模板支撑桁架受力性能的分析[J]. 浙江建筑, 2016,33(1):15-17.
ZHAO Diansheng, PANG Lusi. Analysis on the force performance of the formwork support truss [J]. Zhejiang Construction, 2016,33(1):15-17.
- [15] 胡长明, 郭艳, 梅源, 等. 模板支撑系统承载性能的试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2017,49(2):179-186.
HU Changming, GUO Yan, MEI Yuan, et al. Experimental research on the bearing capacity of fastener tubular steel scaffold [J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology (Natural Science Edition), 2017,49(2):179-186.
- [16] 付志辉. 牛场坪大桥连续梁0号段现浇支撑体系研究[J]. 价值工程, 2018(36):172-175.
FU Zhihui. Research on cast-in-place support system of the No. 0 section of continuous beam of Niuchanping Bridge [J]. Value Engineering, 2018(36):172-175.
- [17] 王祥亮, 李家林, 焦晓杰. 型钢支架在地铁车站施工中的创新应用[J]. 中国科技纵横, 2018(17):97-99.
- [18] 刘睿, 罗宗礼, 何夕平, 等. 型钢支撑满堂高支模脚手架安全性分析与应用[J]. 施工技术, 2014,43(16):59-62.
LIU Rui, LUO Zongli, HE Xiping, et al. Safety analysis and application of full high-formwork scaffold supported by shaped steel [J]. Construction Technology, 2014,43(16):59-62.
- [19] 朱敏. 混凝土单侧模板体系经济性设计及其实施控制的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2015.
ZHU Min. The economic design of concrete unilateral formwork system and its controlling of implementation research [D]. Changsha: Hunan University, 2015.
- [20] 孙喜峰. 现浇混凝土模板侧压力理论及公式研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2017.
SUN Xifeng. The study on cast-in concrete formwork lateral pressure theory and formula [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2017.
- [21] 曲俊杰, 姚元朝. 浅谈组合钢模板施工技术的可行性应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2016(21):536-538.
- [22] 钢结构设计标准; GB 50017—2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [23] 建筑施工模板安全技术规范; JGJ 162—2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [24] 铁路混凝土梁支架法现浇施工技术规程; TB 10110—2011[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.

Optimization design of internal formwork support of cast-in-situ girder

SONG Xiaozhong

China Railway 14th Bureau Group 4th Engineering Co., Ltd., Jinan 250000, China

Abstract: To solve the problem of the large span, large load, and the high internal formwork of the cast-in-situ girder, which makes it difficult to ensure the stability of the inner formwork support, the internal formwork support scheme of channel steel truss is adopted. Midas is used to optimize the support design before construction and three design schemes are determined to make the reasonable layout of channel steel support and reduce the material consumption, which can meet the stability requirements of internal formwork support. The result show that the three schemes of the cast-in-situ girder all meet the safety technical requirements, but through the economic comparison, the optimal scheme with less space in the box and the least material consumption is determined.

Keywords: cast-in-situ girder; internal formwork support; optimization design; channel steel truss

(责任编辑:郭守真)