

DOI: 10.7672/sgjs2025020098

某工程实腹式大板梁加固改造及卸载提升施工技术*

黄伟,白海,黄文华,李旻

(中冶(上海)钢结构科技有限公司,上海 200941)

[摘要] 针对某工程屋面实腹式大板梁改造施工,提出采用两点同步液压卸载单根大板梁和四点同步液压提升3根大板梁的方法,并采取在卸载过程中加强单根大板梁平面外稳定的措施。这些方法解决了在无法使用大型起重机吊装的工况下,利用原有结构原位进行大型构件拆除和安装的问题。实践表明,该系列方法在该项目大板梁改造施工中的应用较成功,为民用建筑领域大型构件改造施工提供了解决方案。

[关键词] 大板梁;加固;改造;卸载;提升;施工技术

[中图分类号] TU745.2

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)02-0098-05

Reinforcement Reconstruction and Unloading Lifting Construction Technology of Solid-web Large Slab Beam in a Project

HUANG Wei, BAI Hai, HUANG Wenhua, LI Min

(MCC (Shanghai) Steel Structure Technology Co., Ltd., Shanghai 200941, China)

Abstract: Aiming at the reconstruction of the solid-web large slab beam of a project roof, the method of using two-point synchronous hydraulic unloading single slab beam and four-point synchronous hydraulic lifting three slab beams is proposed, and the measures to strengthen the out-of-plan stability of single slab beam during unloading are adopted. Under the condition that large cranes cannot be used for hoisting, the problem of dismantling and installing large components in situ by using the original structure is solved. The practice shows that the series of methods are successfully applied in the reconstruction of the large slab beam of the project, which provides a solution for the reconstruction of large components in the field of civil construction.

Keywords: large slab beam; reinforcement; reconstruction; unloading; lifting; construction

0 引言

实腹式大板梁早期主要应用于电厂、锅炉厂、钢厂等工业建筑结构中,而近些年在国内大型会议中心和会展中心等民用建筑领域大跨结构中的应用也越来越多。工业建筑领域的大板梁多为截面较高而跨度不大的梁,而民用建筑的大板梁较工业建筑领域跨度更大,但截面尺寸有所减小。工业建筑领域的大板梁多采用大型起重机进行吊装作业,如图1所示,而民用建筑领域结构复杂,特别是在一些改造工程中大型起重机无法使用的情况下,大板梁原位拆除和重新安装是目前较难解决的问题。另外,民用建筑中跨度更大、截面尺寸更小的实腹式大板梁在安装过程中稳定性问题较突出,容易出

现弯扭屈曲。本文依托西安生态园林酒店圆桌会议中心屋面大板梁加固改造工程,提出原位拆除和安装3根48m跨大板梁的方法,并采取相关技术措施。分析计算结果表明,该方法满足规范要求,为民用建筑领域大型构件改造施工提供了解决方案。



a 某电厂大板梁

b 某钢厂大板梁

图1 大板梁工程应用实例

Fig.1 Engineering application examples of large slab beam

1 工程概况

1.1 项目概况

西安生态园林酒店圆桌会议中心为大型公共

*中冶(上海)钢结构科技有限公司科研课题(ZR2022-11)

[作者简介] 黄伟,高级工程师,E-mail:540304900@qq.com

[收稿日期] 2024-01-02

民用建筑。采用 BRB 钢框架-支撑结构体系,南北向长 135m,南侧建筑宽 144m,北侧建筑宽 102m。建筑高 45m,中间区域地下 1 层、地上 1 层;其余位置地下 2 层、地上 2 层,局部 3 层。整个结构为纯钢结构,用钢量约为 2 万 t,其中钢柱主要为箱形柱,钢梁主要为 H 型钢梁。柱间支撑主要为 BRB 防屈曲支撑,圆桌会议中心区域钢梁主要为 48,39m 跨焊接 H 型大板梁。大板梁参数如表 1 所示,同时在大板梁区域布置 TMD 阻尼器。大板梁空间分布如图 2 所示。

表 1 大板梁参数

Table 1 Parameters of large slab beam

跨度	大板梁规格/mm	数量/根	单根自重/t	分布区域
48	H2 000×600×40×50 (中间段)	38	53	结构 2 层、屋面
	H2 000×450×40×50 (过渡段)			
	H1 500×450×40×50 (两端)			
39	H1 800×500×35×35 (中间段)	15	38	结构 1 层
	H1 800×400×35×35 (过渡段)			
	H1 200×400×35×35 (两端)			

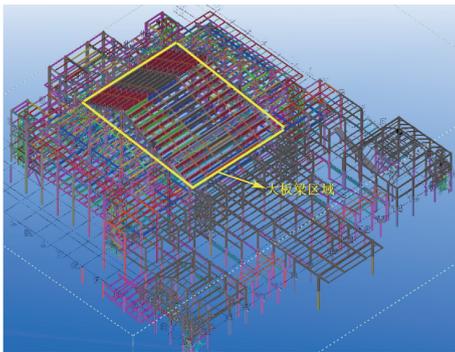
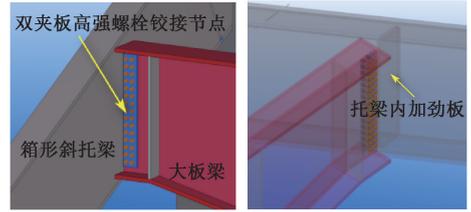


图 2 大板梁空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of large slab beam

大板梁与箱形斜托梁连接为铰接节点,通过大板梁腹板高强度螺栓群节点与箱形斜托梁连接,采用双夹板形式,双夹板一端与大板梁通过高强度螺栓连接,另一端与箱形斜托梁焊接;在箱形斜托梁内对

应大板梁腹板位置设置加劲板。大板梁腹板共布置 30 颗 10.9 级 M24 高强度螺栓,双夹板规格为 200mm×1 380mm×30mm,如图 3 所示。大板梁初始采用大型履带式起重机四点吊装,如图 4 所示。48m 跨大板梁构件如图 5 所示。



a 大板梁节点



b 大板梁安装实景

图 3 大板梁安装

Fig. 3 Installation of large slab beam

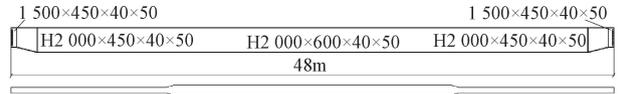


图 5 48m 跨大板梁构件

Fig. 5 48m-span large slab beam component

1.2 大板梁改造概况

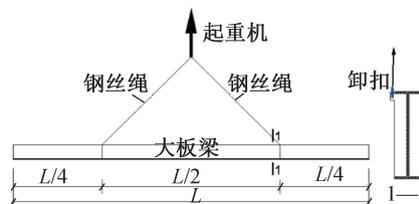
根据设计变更图纸,(F~G)/⑦~⑫轴区域的斜屋面需调整为平屋面,如图 6,7 所示。该区域屋面 3 根大板梁需降标高,取消支撑 3 根斜屋面大板梁的 2 根箱形斜托梁,新增 2 根水平向托梁。

2 施工方案

由于改造区域(F~G)/⑦~⑫轴)周边钢框架



a 大板梁分段



b 吊装立面



c 吊装实景

图 4 大板梁吊装

Fig. 4 Hoisting of large slab beam

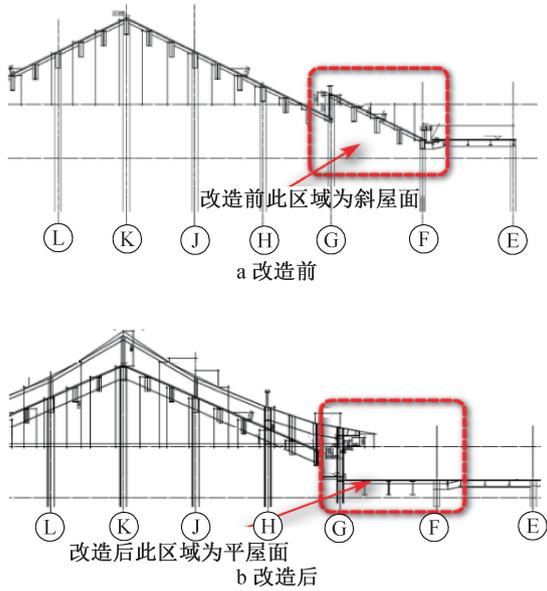


图6 斜屋面大板梁改造

Fig. 6 Reconstruction of large slab beam for inclined roof

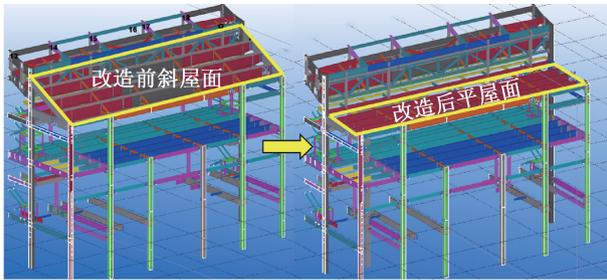


图7 大板梁改造前后三维模型

Fig. 7 Three-dimensional model before and after reconstruction of large slab beam

已安装完成,无足够空间供大型起重机站位,无法采用大型起重机吊装拆除整根大板梁。因此,这3根大板梁的改造主要围绕原位改造思路进行。在不拆除周边框架进场大型起重机的情况下,根据结构体系特点,利用固定3根大板梁的两端斜托梁作为卸载支撑点;运用液压同步卸载技术,采用两点卸载方式,将大板梁逐根卸载下放到下层平台。为

保证大板梁的完整性,卸载前对单根大板梁平面外刚度进行加固改造提升。在下层平台,对卸载下来的3根大板梁进行修改。然后拆除设计变更斜托梁,利用塔式起重机将2根新水平向托梁吊装至大板梁卸载平台,与3根卸载完成的大板梁拼装为整体。利用原托梁两端的4根框架箱形柱作为提升支撑点,采用液压同步提升技术将3根大板梁和2根水平向托梁组成的结构单元整体提升至改造后标高。该方案的优点是最大限度地利用了原3根大板梁,减少了经济损失。同时,卸载和提升过程中整体安全性较高。施工流程如图8所示。

3 卸载分析

3.1 大板梁卸载点设置

单根大板梁卸载采用两点卸载方式,卸载点布置在大板梁端部,卸载支架布置在每根大板梁对应的两端斜托梁上,每个卸载点布置1台50t液压提升器,采用两点同步卸载。单根大板梁卸载点布置如图9所示。

3.2 大板梁加固

单根大板梁跨度为48m,改造前,原始安装采用起重机原位吊装方式,吊点布置在跨度的1/4位置,大板梁受力和平面外稳定性均较好。然而在改造中对单根大板梁原位整体液压卸载时,由于卸载点只能布置在大板梁两端斜托梁上,导致单根大板梁计算长度较长,平面外稳定性较差。验算如下。

3.2.1 强度和变形验算

卸载过程中大板梁假定为简支梁,仅考虑自重作用下其强度、静力稳定性,考虑自重DL工况,动力系数为1.2。基本组合取1.35DL,梁自重约为53t,自重荷载折算为均布线荷载,为11.25kN/m。经过验算,如图10所示,构件最大应力比为0.22,小于规范限值1.0;构件最大挠度为44mm,小于规范限值 $L/400 = 120\text{mm}$ 。因此,强度及刚度均满足要求。

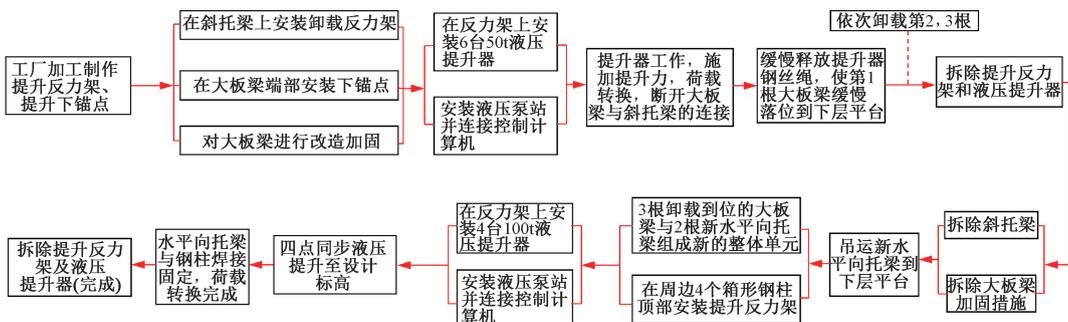
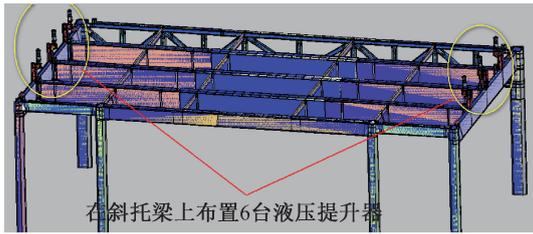
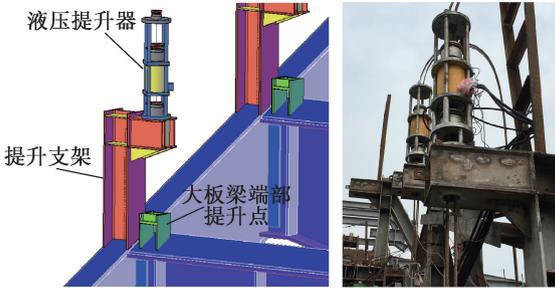


图8 大板梁卸载提升流程

Fig. 8 Unloading and lifting process of large slab beam



a 大板梁卸载点布置

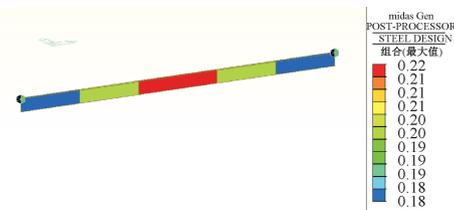


b 单个卸载点示意

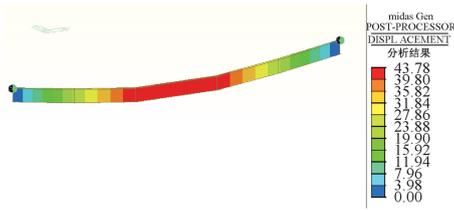
c 卸载点实景

图 9 单根大板梁卸载点布置

Fig. 9 Layout of unloading points for single large slab beam



a 应力比



b 变形(单位:mm)

图 10 单根大板梁卸载计算结果

Fig. 10 Unloading calculation results of single large plate beam

3.2.2 整体稳定性验算结果

理论推算大板梁整体稳定超限 55%，即达到自重 64.4% 时即出现失稳情况，与图 11 中分析结果较吻合，不满足卸载时的要求。通过在大板梁侧面增设桁架方式将大板梁改造为桁架结构，如图 12 所示，即在大板梁 2 个侧面增设 1 组三角桁架，桁架腹杆采用 L100×6，系杆采用 L100×10。

示，即在大板梁 2 个侧面增设 1 组三角桁架，桁架腹杆采用 L100×6，系杆采用 L100×10。

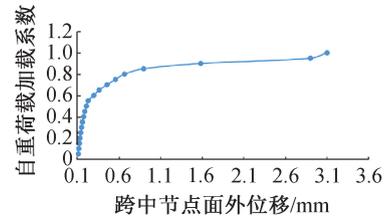


图 11 加固前非线性分析结果

Fig. 11 Nonlinear analysis results before reinforcement

对加固后大板梁单元进行材料及几何非线性分析，根据图 13 可知，加固后的大板梁在达到自重荷载 2.6 倍左右时才会出现失稳情况，较加固前的整体稳定性提高了 4.0 倍，明显改善了大板梁平面外稳定性，大板梁的卸载由稳定控制转变为强度控制，满足端部两点卸载安全性要求。

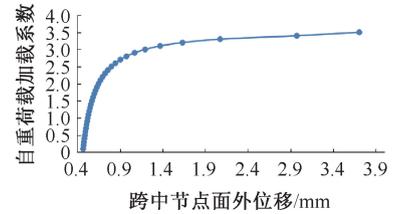


图 13 加固后非线性分析结果

Fig. 13 Nonlinear analysis results after reinforcement

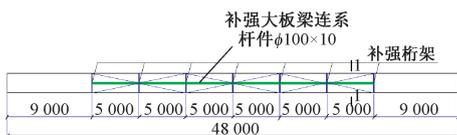
3.3 卸载

采用两点同步卸载方式，即利用 1 台计算机控制 1 个液压泵站连接两端的 2 台 50t 液压提升器，先施加向上提升力(大小同钢梁单元自重)，然后拆除钢梁两端高强螺栓，释放两端提升力，此过程中液压提升器的力变化幅度在 5% 范围内，待两端节点全部释放后静置 0.5h 且液压提升器的力稳定后，开始以 200mm/min 速度均匀下放，使大板梁均匀下降至标高 11.650m 平台。

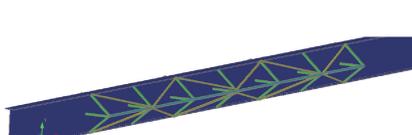
4 整体提升分析

4.1 提升点设置

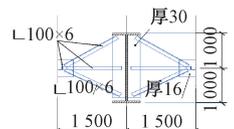
3 根大板梁卸载至标高 11.650m 平台后，与新加工的 2 根箱形水平向托梁连接为整体提升单元，利用托梁两端结构柱，安装 4 个提升反力架，在每个提升



a 立面构造



b 模型

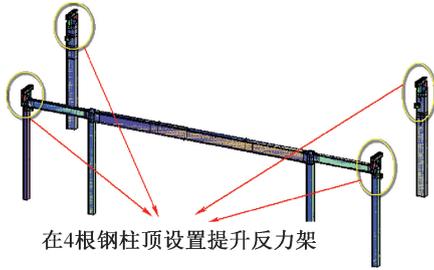


c 1—1

图 12 大板梁加固示意

Fig. 12 Reinforcement of large slab beam

反力架上布置1台100t液压千斤顶,如图14所示。



在4根钢柱顶设置提升反力架

图14 提升反力架布置

Fig. 14 Layout of lifting force frames

4.2 提升

采用4台100t液压提升器,由1台计算机控制1个液压泵站,该泵站连接4个提升点。先将整体提升单元提升200mm后静置30min,然后以200mm/min速度提升。提升过程中4台提升器压力值变化在5%范围内,4个提升点竖向标高差异控制在5mm范围内。提升至距就位点200mm时停止提升,复测4个提升点标高,通过各精调提升器将4个提升点高差控制在2mm以内,待调节精度达到要求后,控制提升油缸速度在100m/min,就位后静置2h,进行托梁与框架柱的焊接固定。

计算分析时,提升过程中提升点只约束竖向位移,在模型中心位置附近一点约束水平位移。计算工况仅考虑杆件自重及节点等附加恒荷载,自重乘以1.2倍放大系数。提升过程中动力系数取1.2,基本组合系数取1.35。如图15所示,构件最大应力比为0.50,小于规范限值1.0;最大挠度为101mm,小于规范限值 $L/400=120\text{mm}$ 。因此,强度及刚度均满足要求。

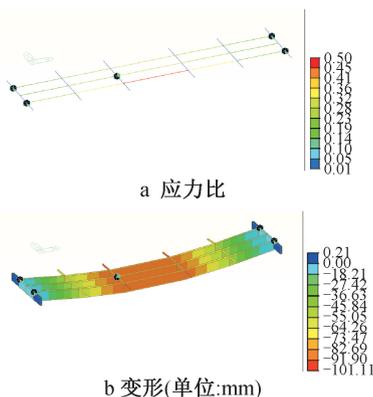


图15 整体提升单元计算结果

Fig. 15 Calculation results of overall lifting unit

5 就位卸载

焊接完成后,检查4台液压提升器压力值,平均每台压力损失约40%,同步释放4台提升器压力,拆除提升设备,完成卸载。由于提升点和最后对接的

4个节点间距仅500mm,卸载后结构变形基本无变化,卸载完成。大板梁改造前后效果如图16所示。



a 改造前



b 改造后

图16 大板梁改造前后效果

Fig. 16 Effect before and after reconstruction of large slab beam

6 结语

目前,大跨度实腹大板梁在民用建筑中的应用越来越多,主要安装方式为起重机吊装,本文针对非起重机吊装的加固改造方法进行分析及实际应用,结论如下。

- 1) 设计非起重机吊装的液压提升安装方式和液压卸载方式,包括提升点布设和提升器使用。
- 2) 对于平面外刚度较差的单榀构件加固,采用构件侧面增设桁架方式,可有效提高构件平面外稳定性,加固方案实施效果较好。
- 3) 该方法解决了在无法使用大型起重机吊装的工况下,利用原有结构原位进行大型构件拆除和安装的问题。

参考文献:

- [1] 田宏建,孙科健,尚永成. 针对1000MW超超临界塔式锅炉大板梁安装技术探讨[J]. 河南科技, 2013(7): 84.
TIAN H J, SUN K J, SHANG Y C. Discussion on installation technology of large slab beam for 1000MW ultra super critical tower boiler[J]. Henan science and technology, 2013(7): 84.
- [2] 王运法. 火电厂锅炉大板梁吊装综述[J]. 电力建设, 2006(7): 42-45.
WANG Y F. Summary of hoisting installation of big-board-beam in power plant boiler[J]. Electric power construction, 2006(7): 42-45.
- [3] 郁志浩,周斐斐. 百万千瓦机组锅炉大板梁吊装技术分析[J]. 中国电力企业管理, 2021(15): 87-89.
HUAN Z H, ZHOU F F. Analysis on hoisting technology of large plate girder of million kilowatt boiler[J]. China power enterprise management, 2021(15): 87-89.

(下转第107页)

屋面电动吊篮的可行性。

参考文献:

- [1] 钟韧,秦海英,卢喜成. 无配重外挂吊篮在造型复杂建筑施工中的应用[J]. 建筑技术,2022,53(5):595-598.
ZHONG R, QING H Y, LU X C. Application of counterweight-free external hanging cage in complexed-shape building construction [J]. Architecture technology, 2022, 53 (5): 595-598.
- [2] 王海涛. 附着式电动升降平台在坡屋面高层住宅外墙节能改造中的应用[J]. 施工技术,2018,47(2):88-92.
WANG H T. Application of attached electric lifting platform in slope roof high-rise residential exterior wall energy saving reconstruction [J]. Construction technology, 2018, 47 (2): 88-92.
- [3] 刘云飞,段先军,雷素素,等. 爬升式吊篮系统在北京大兴国际机场航站楼核心区工程中的应用[J]. 施工技术,2019,48(14):12-15.
LIU Y F, DUAN X J, LEI S S, et al. Application of climbing hanging basket system in beijing daxing international airport terminal building core area project[J]. Construction technology, 2019,48(14):12-15.
- [4] 晁岱圣,任坤朋,郭辉,等. 电动吊篮操作平台架在高层坡屋面建筑节能改造工程中的应用[J]. 施工技术,2019,48(4):125-128.
CHAO D S, REN K P, GUO H, et al. Application of electric hanging basket operation platform in energy-saving reconstruction of high-rise building with sloping roof [J]. Construction technology, 2019,48(4):125-128.
- [5] 吴小婉,钟鑫,张羽,等. 异形吊篮安装施工技术[J]. 建筑技术,2022,53(7):800-802.
WU X W, ZHONG X, ZHANG Y, et al. Construction technique for specially-shaped lifting cage installation [J]. Architecture technology, 2022,53(7):800-802.
- [6] 王克,焦本君,朱政. 斜拉式无配重吊篮施工技术研究与应用[J]. 建筑施工,2023,45(9):1811-1814.
WANG K, JIAO B J, ZHU Z. research and application of construction technology of cable-stayed hanging basket without counterweight [J]. Building construction, 2023, 45(9): 1811-1814.
- [7] 何培新. 附梁式吊篮优化设计及安全控制[J]. 建筑施工,2023,45(6):1260-1262.
HE P X. Optimal design and safety control of beam-attached hanging basket [J]. Building construction, 2023, 45 (6): 1260-1262.
- [8] 中国建筑科学研究院建筑机械化研究分院. 高处作业吊篮: GB 19155—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
Research Institute of Building Mechanization, China Academy of Building Research. Temporarily installed suspended access equipment: GB 19155—2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [9] 中国建筑科学研究院. 建筑结构荷载规范:GB 50009—2012 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
China Academy of Building Research. Load codes for the design of building structure: GB 50009—2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [10] 中国建筑科学研究院. 混凝土结构设计规范:GB 50010—2010(2015年版)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
China Academy of Building Research. Code for design of concrete structures:GB 50010—2010(2015 edition) [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2015.
- (上接第 102 页)
- [4] 中冶京诚工程技术有限公司. 钢结构设计标准:GB 50017—2017[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd. Standard for design of steel structures:GB 50017—2017 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2017.
- [5] 中冶建筑研究总院有限公司,中建八局第二建设有限公司. 钢结构工程施工质量验收规范:GB 50205—2020[S]. 北京:中国计划出版社,2020.
General Research Institute of Building and Construction, MCC, China Construction Eighth Bureau Second Construction Co., Ltd. Standard for acceptance of construction quality of steel structures: GB 50205—2020 [S]. Beijing: China Planning Press,2020.
- [6] 张文元,赵琳. 外伸悬挑组合式锅炉大板梁的静力试验及有限元模拟分析[J]. 工程力学,2016,33(6):163-170.
ZHANG W Y, ZHAO L. Static test and finite element analysis on spliced plate-girder with cantilever segment[J]. Engineering mechanics, 2016, 33(6):163-170.
- [7] 张文元,孟宪国. 锅炉钢结构大板梁的受力分析与优化设计[C]//钢结构工程研究(九)——中国钢结构协会结构稳定与疲劳分会第13届(ISSF-2012)学术交流暨教学研讨会论文集,2012.
ZHANG W Y, MENG X G. Stress analysis and optimization design of large plate girder of boiler steel structure [C] //Steel structure engineering research (IX): proceedings of the 13th (ISSF-2012) Academic Exchange Meeting and Teaching Seminar of Structural Stability and Fatigue Branch of China Steel Structure Association, 2012.