

某博物馆悬厅安装过程仿真分析

乔 琪, 李海艳

(石家庄铁道大学 工程力学系 河北 石家庄 050043)

摘要:以河北省某博物馆悬厅安装为背景,利用有限元分析软件对博物馆内部悬厅、悬厅安装用临时支架以及支架下部支撑结构建立有限元模型,通过加载求解得到不同工况下结构的应力和变形,并依据计算结果对结构的强度和刚度进行校核。结果表明,施工过程中悬厅与支架满足设计要求,支架下部梁柱刚度超限,应作相应加固处理。此计算有效指导了施工的安全顺利进行,可为类似工程施工提供参考。

关键词:钢结构;悬厅;临时支架;仿真分析

中图分类号:TU312+.1 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2019)04-0022-06

大型钢结构的施工方法目前主要有:分单元安装法、高空散装法、整体吊装法、整体顶升法、整体提升法、滑移法6种施工形式^[1-2]。其中高空散装法是将构件直接在预设位置进行拼装的方法^[3]。这种施工方法安全可靠、施工难度小,因此在大型复杂的钢结构建筑施工时常常被采用。构件在高空拼接时不需要大型的起重设备,但需要临时支架作为支撑。临时支架是由钢构件拼接而成,其受力复杂,刚度、强度、稳定性都必须满足要求才能确保施工安全进行^[4]。

钢结构工程的施工过程分析已成为结构工程设计计算的一个重要组成部分,这样既保证工程从建设到使用的整个生命期内的安全与可靠,又能为优化施工方案提供依据^[5]。本项目博物馆悬厅安装即采用高空散装法。采用ANSYS软件建立结构有限元模型,对博物馆内部悬厅、悬厅安装用临时支架以及支架下部支撑结构的安全性进行分析,为施工过程提供指导。

1 工程概况

1.1 工程简介

该博物馆总建筑面积为77 983.09 m²,其中地上建筑面积为45 917.41 m²,地下建筑面积为32 065.68 m²。建筑层数为地上主馆5层、辅馆3层、地下2层。规划控制建筑高度为36.74 m。地下部分为钢筋混凝土框架结构;主馆地上为钢框架结构;辅馆为钢筋混凝土框架结构,框架抗震等级均为三级。

博物馆3、4层设置有2个悬空的大厅,即悬厅(如图1下部2层),标高分别为12.22 m和18.42 m。悬厅通过钢吊柱与钢桁架(图1上部)连接。悬厅周边主体结构为空心的筒状结构(见图2),标高32.43 m。悬厅及其施工影响区结构全部为钢结构,且悬厅与主体结构通过构件连接增加其稳定性,钢桁架安装在周边主体结构上,其整体结构如图3所示。

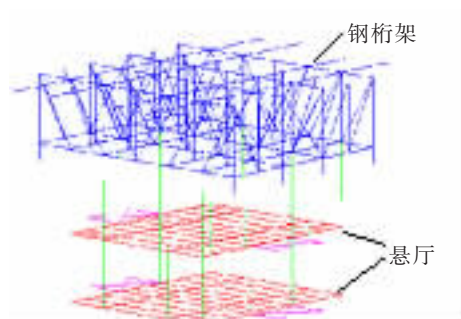


图1 悬厅及钢桁架

收稿日期:2018-04-25 网络出版日期:- 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.20180093

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1402.n.20191120.1354.004.html>

基金项目:河北省教育厅青年拔尖人才计划项目(BJ2016050);国家自然科学基金(51508346);河北省自然科学基金(E2015210020)

作者简介:乔琪(1994—),女,硕士研究生,研究方向为混凝土材料和结构抗火。E-mail:739057185@qq.com

乔琪,李海艳.某博物馆悬厅安装过程仿真分析[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2019,32(4):22-26,80.

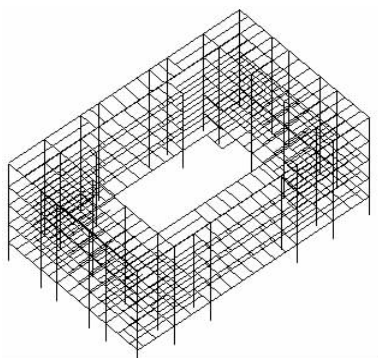


图2 影响区周边主体结构

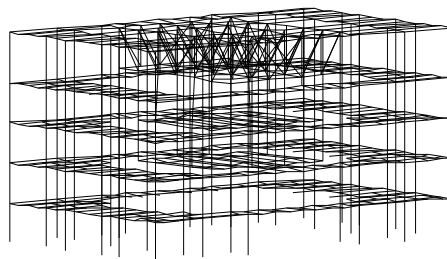


图3 整体结构图

1.2 施工方法

为确保悬厅安装过程的安全,确定施工顺序为:首先完成周边主体结构的施工;悬厅下部钢吊柱对应位置设置 12 个高为 12.22 m 的临时支架;在临时结构上完成第三层悬厅的拼装,并安装钢吊柱;完成第四层悬厅的拼装,并安装钢吊柱;将悬厅通过钢吊柱与钢桁架连接,并与周边主体做稳定连接;移除临时结构,清理现场。注意,安装钢桁架时,应采用分片整体吊装。

2 悬厅及临时支架仿真分析

2.1 模型简化

本工程中钢构件间的连接有刚接和铰接 2 种形式,而且 2 种连接方式在 ANSYS 软件中分布不规律,按照原有的连接方式处理工作量太大^[6]。对于细长的弹性材料而言,杆端的铰接或者刚接只对杆端有影响,对远离杆端的应力无明显影响,所以采用刚接代替杆件间的铰接,采用梁柱的中轴线代替梁柱实体,忽略梁柱的高度。特别注意的是,临时支架与悬厅的连接处理。实际施工时临时支架与悬厅之间设置有千斤顶简支,采用 4 根链杆将支架与悬厅连接,由铰接代替简支。图 4 给出了悬厅和临时支架示意图。

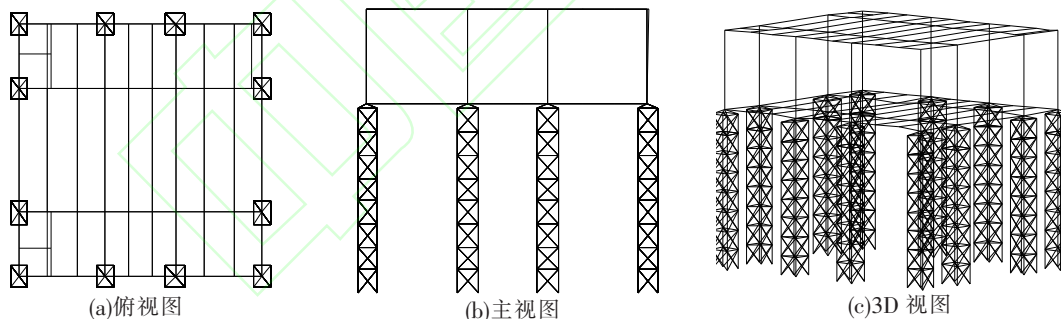


图4 悬厅及临时支架示意图

2.2 有限元模型建立

模型是由工程 CAD 三维图形导入 ANSYS 建立的。在 CAD 中将相同属性的杆件放到同一图层中,方便 ANSYS 中对不同的杆件赋予属性。本模型支架与悬厅连接处的链杆采用 link8 单元,其余部分均采用 beam188 单元。杆件的单元长度为 1 m,楼面单元大小为 1 m²。悬厅采用 Q235B 钢,临时支架采用 Q345B 钢。对临时支架底部施加固定支座,约束所有自由度。有限元模型如图 5 所示。

2.3 施加荷载

在结构仿真计算中,自重按照 1.2 倍的系数施加到结构上,即在 ANSYS 中重力加速度取 12 m/s²,以此确保结构安全。由于本工程没有处在绝对的室外环境,风荷载可以忽略不计。通过划分单元、施加约束、施加荷载、求解等一系列命令得到计算结果。

2.4 计算结果分析

2.4.1 变形计算结果

通过对模型加载求解,得到悬厅与临时支架变形图如图 6 所示。

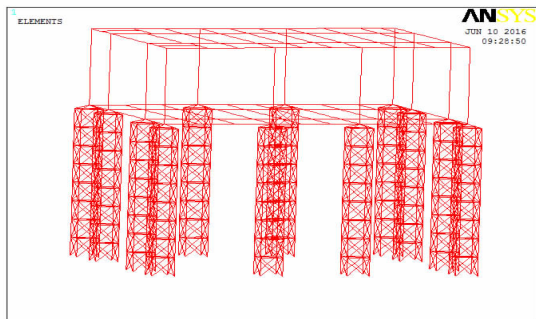


图 5 悬厅及临时支架 ANSYS 模型

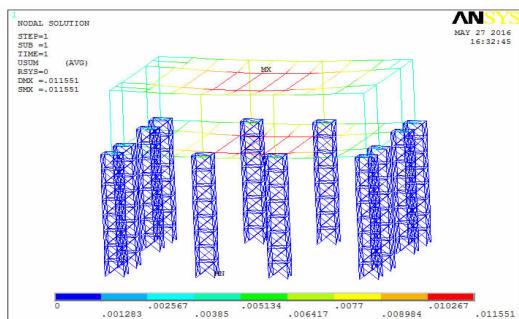


图 6 悬厅及临时支架变形图(单位:m)

由变形图 6 可知,最大位移出现在 4 层悬厅的主梁上,图 6 中以“MX”标注,该主梁长度为 20 m,由《钢结构设计规范》^[7]得主梁的最大变形容许值为 $L/400$,即 50.00 mm,大于此梁的位移值 11.55 mm,而且支架没有发生大位移,所以悬厅与支架刚度满足要求。

2.4.2 应力计算结果

各杆的受力状态均为拉弯组合或压弯组合,最大拉应力或者压应力只可能出现在梁顶或者梁底,通过定义单元表将拉伸应力与弯曲应力叠加得到悬厅与支架梁顶和梁底的应力如图 7 和图 8 所示。

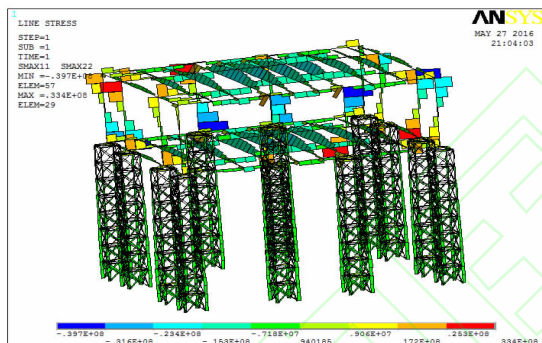


图 7 梁顶应力图

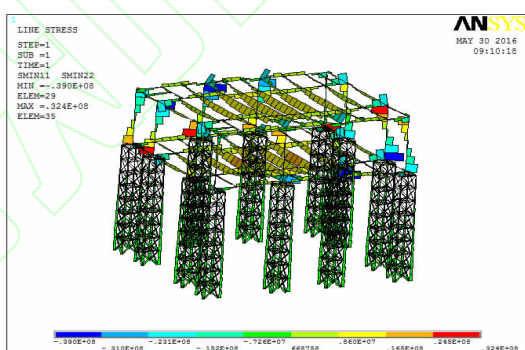


图 8 梁底应力图

由计算结果可知,从 4 个极值的绝对值中提取出最大应力为 39.7 MPa,该结构材料材质为 Q345 钢材,由钢结构设计规范可知,Q345 钢材许用应力 310 MPa,由此可知,结构强度满足设计要求。

3 悬厅周边结构仿真分析

3.1 模型简化

依据圣维南原理,悬厅上的荷载对远离悬厅梁柱的应力影响很小,可忽略。所以,只建立悬厅向外一跨的梁柱模型。杆件的连接通过设置节点实现。图 9 给出了施工影响区示意图。

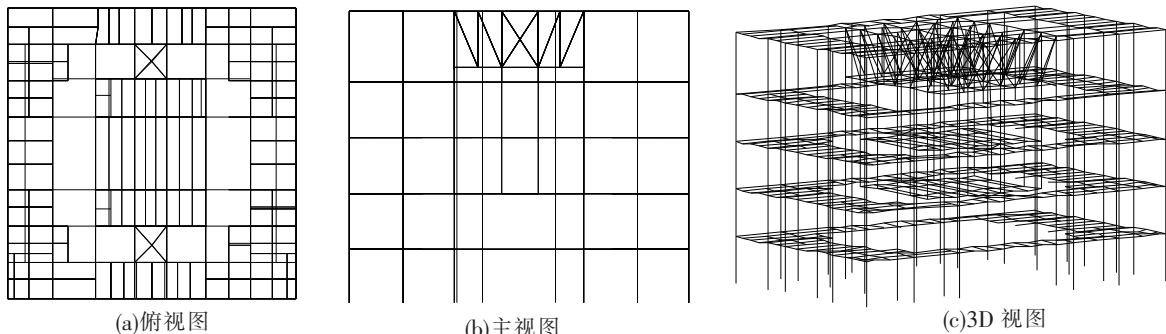


图 9 施工影响区示意图

3.2 有限元模型建立

模型同样由工程 CAD 三维图形导入 ANSYS 建立。本模型楼面采用 shell63 单元,其余部分梁柱均采用 beam188 单元。杆件的单元长度为 1 m,楼面单元大小为 1 m^2 。对柱底部施加固定支座,约束所有自由度。有限元模型如图 10 所示。

3.3 施加荷载

钢材密度为 785 kg/m^3 ,悬厅面层要浇筑 10 cm 厚混凝土层,混凝土密度为 $2\,500\text{ kg/m}^3$ 。自重按照 1.2 倍的系数施加到结构上,即在 ANSYS 中重力加速度取 12 m/s^2 ,以此确保结构安全。根据《钢结构设计规范》,大厅屋面荷载取 3.5 kN/m^2 ,垂直施加到屋面。由于本临时结构没有处在绝对的室外环境,风荷载忽略不计。通过划分单元、施加约束、施加荷载、求解等一系列命令得到计算结果。

3.4 计算结果分析

3.4.1 变形计算结果

通过对模型加载求解,得到施工影响区变形图如图 11 所示。

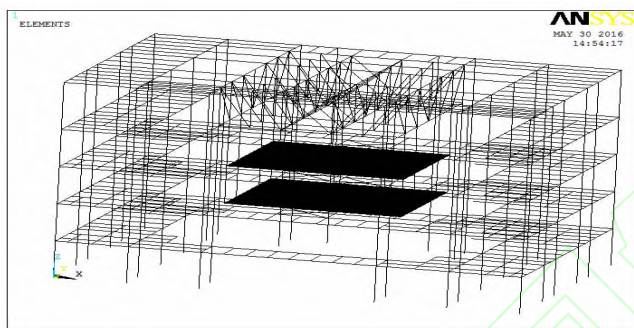


图 10 施工影响区结构有限元模型

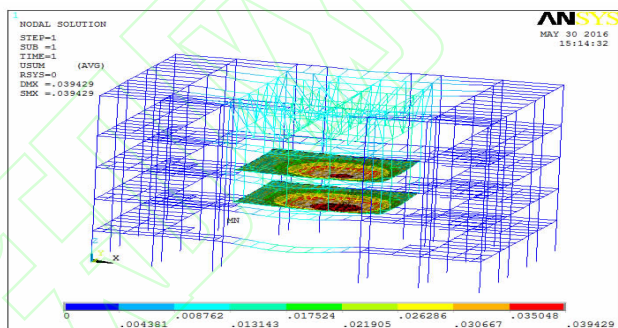


图 11 施工影响区结构变形图(单位:m)

由图 11 可得结构的最大位移为 39.43 mm,发生在长为 17 m 的主梁上,其挠度为最大位移减去桁架的位移 13.14 mm,即 26.29 mm。根据《钢结构设计规范》,其容许位移为 $L/400$,即 42.50 mm,因此刚度满足要求。

3.4.2 应力计算结果

各杆的受力状态均为拉弯组合或压弯组合,最大拉应力或者压应力只可能出现在梁顶或者梁底,通过定义单元表将拉伸应力与弯曲应力叠加得到影响区梁顶和梁底的应力如图 12 和图 13 所示。

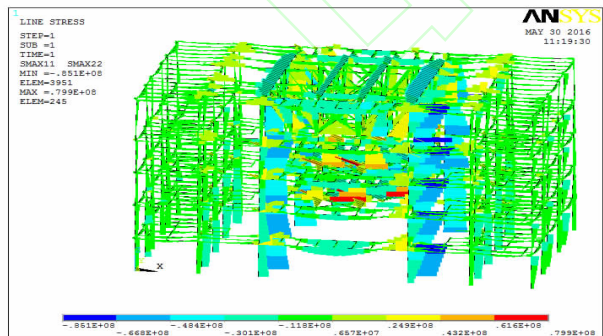


图 12 影响区结构梁顶应力图

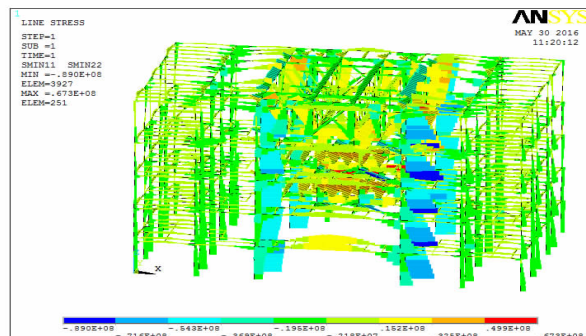


图 13 影响区结构梁底应力图

由计算结果可知,从 4 个极值的绝对值中提取出最大的应力为 89.0 MPa,该结构材料材质为 Q345 钢材,由钢结构设计规范可知,Q345 钢许用应力为 310 MPa,因此结构强度满足设计要求。

4 临时支架底座梁柱验算

由于临时支架下部不是地基而是地下室,支架的作用点在部分梁柱上,因此需要验算首层梁柱的刚度和强度。

4.1 有限元模型建立

首先建立地下部分的梁柱模型,确定临时支架作用位置,所有支架作用点处需加设工字钢,临时支架及工字钢作用位置如图 14、图 15 所示。建模方法同第 2、3 节,链杆采用 link8 单元,其余均采用 beam188 单元,单元长度为 1 m。除链杆外所有连接方式均为刚接,支座采用固定支座。同样风荷载忽略不计,自重按照 1.2 倍的系数施加到结构上。有限元模型如图 16 所示。

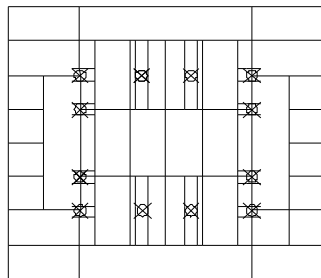


图 14 临时支架及工字钢位置图

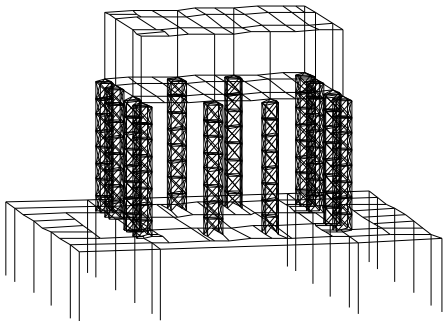


图 15 首层梁柱及悬厅 3D 模型

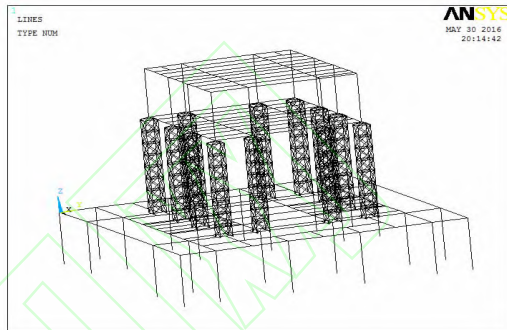


图 16 悬厅及地下梁柱模型图

4.2 计算结果分析

通过划分单元、施加约束、施加荷载、求解等一系列命令得到计算结果。根据计算结果对下层梁、柱的刚度和强度进行校核。

(1)变形计算结果。地下梁柱变形图如图 17 所示。由图 17 可得,某梁的位移达到 93.75 mm,此梁长 20 m,根据《钢结构设计规范》,最大位移超出了其容许值 50 mm ($L/400$)。所以此工况下不能满足刚度要求,需对其进行临时刚度加固处理。

(2)应力计算结果。采用与第 2、3 节相同的方法,得到梁顶和梁底的应力如图 18、图 19 所示。

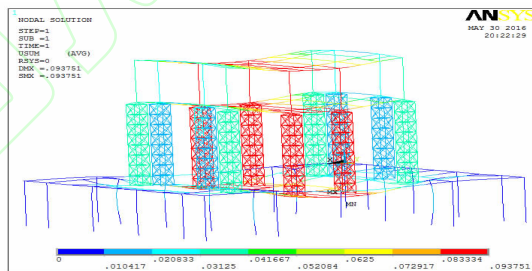


图 17 地下梁柱变形图

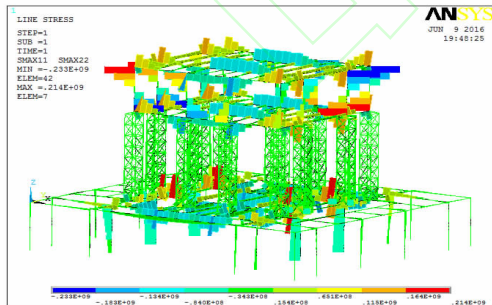


图 18 梁顶应力图

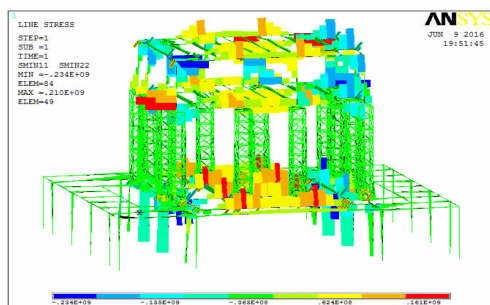


图 19 梁底应力图

由图可知,其最大应力值为 234 MPa,小于 Q345 钢材的许用值。所以底部梁柱强度满足要求。

5 结论

运用仿真分析软件 ANSYS 对某博物馆悬厅及其施工影响区结构进行建模分析,得到以下结论:

(1)对悬厅及临时支架进行刚度和强度检算,结果满足设计要求。

ture the fluctuation difference spectrum. Finally, the effective rank order of the singular value was determined according to the unilateral maximum of the fluctuation difference spectrum. The simulation data and the actual bearing fault data analysis show that the method can effectively improve the signal-to-noise ratio, and lay a good foundation for the subsequent diagnosis.

Key words: singular value decomposition(SVD); effective order rank; fluctuation differential spectrum; noise reduct

~~~~~  
(上接第 26 页)

(2)对悬厅安装完成后,即拆除临时支架后的周边结构进行刚度和强度校核,满足设计要求。

(3)对临时支架作用的下部梁、柱进行刚度和强度校核,发现强度满足设计要求,但刚度超限,需对其进行临时刚度加固处理。

本文的计算有效指导了施工的安全顺利进行,可为类似工程施工提供一定参考。

### 参 考 文 献

- [1]尹敏达. 大型复杂钢结构建筑工程施工新技术与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [2]赵宇新,宋敏. 钢结构安装过程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [3]姚雪峰. 大型钢结构常用施工方法及其适应性探讨[J]. 科技信息, 2011(23):307-307.
- [4]胡侃. 大跨度多塔斜拉桥临时支架受力分析[D]. 成都:西南交通大学, 2014.
- [5]张慎伟. 大型钢结构施工过程计算理论与监测技术[D]. 上海:同济大学, 2007.
- [6]王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [7]中华人民共和国建设部. GB50017—2003 钢结构设计规范[M]. 北京:中国计划出版社, 2003.

## Simulation Analysis of the Installation Process of a Museum's Hanging Hall

Qiao Qi, Li Haiyan

(Department of Engineering Mechanics, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** This paper takes the installation of a museum hanging hall as background. Using the finite element analysis software, the models of the hanging hall, temporary bracket and the lower support of the bracket are established. By loading solution, the stress and deformation of the structure under different working conditions are obtained, then the strength and stiffness of the structure are checked based on the calculation results. The results show that the hanging hall and the bracket meet the design requirements during the construction process, but the stiffness of the lower beam of the bracket exceeds the limit, and it should be reinforced accordingly. The calculation of this paper effectively guides the safety of the construction and can provide a reference for the construction of similar projects.

**Key words:** steel structure; hanging hall; temporary bracket; simulation analysis