

深圳广电金融中心塔楼超高层钢结构施工的安全分析

蒋跃楠¹, 唐香君²

(1. 金陵科技学院建筑工程学院, 江苏 南京 211169; 2. 江苏沪宁钢机股份有限公司, 江苏 宜兴 214231)

摘 要:超高层建筑施工普遍具有规模大、施工界面多、多道工序穿插等特点,安全问题一直是超高层钢结构施工的重点和难点。基于深圳广电金融中心超高层塔楼钢结构施工的实际情况,探讨了该工程主要安全施工措施,并对复杂安全防护设施进行了仿真分析,为超高层钢结构工程的安全施工提供参考。

关键词:安全措施;安全防护设施;仿真分析

中图分类号: TU973

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2020)02-0035-06

Safety Analysis of Steel Structure Construction of Super High-rise Tower in Shenzhen Radio and TV Financial Center

JIANG Yue-nan¹, TANG Xiang-jun²

(1. Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China; 2. Jiangsu Huning Steel Mechanism Co. Ltd., Yixing 214231, China)

Abstract: The super high-rise building construction generally has the characteristic of large scale, multiple construction interface and interspersed with multi-channel process. Safety protection has always been the focus and difficult point of high-rise steel construction. This article introduced the safety protection technology in Shenzhen radio and television financial center. There the complex security protection system was simulated by finite element software, and could provide reference for the safety construction of super high-rise structure.

Key words: security measure; safety protection facilities; simulation analysis

随着我国城市化步伐的加快,土地资源短缺问题日益突出。为有效提高土地资源的利用率,超高层建筑不断涌现。这一趋势既促进了高层建筑施工技术的进步,同时也带来了高层建筑施工的安全问题,因为高层建筑点多、面广、线长,稍有不慎便造成安全隐患,因此,研究高层建筑尤其是超高层建筑施工的安全技术,总结经验教训十分必要。我国不少学者对此问题也进行过系统研究,李景芳^[1]发现我国超高层建筑的施工安全事故主要包括模架临时支撑失稳、起重设备倒塌、施工电梯坠落、施工期火灾等方面;张兵等^[2]应用 CBR 技术,构建了超高层建筑施工安全事故的案例表征模型,依据设定的入库标准开发了一个数量为 140 的案例库,在此基础上以南京青奥会议中心施工安全事故为例对 CBR 模型进行验证分析;徐德林等^[3]分析了北京奥林匹克公园瞭望塔柔性钢结构的安全风险问题,得到安全技术措施与现场安全管理并重才能保证施工安全的结论。本文探讨了深圳广电金融中心超高层钢结构施工的安全管理问题。

1 工程概况

深圳广电金融中心地处深圳福田区,场地南侧为已建成的广电大厦,周边有福中三路、鹏程一路等市

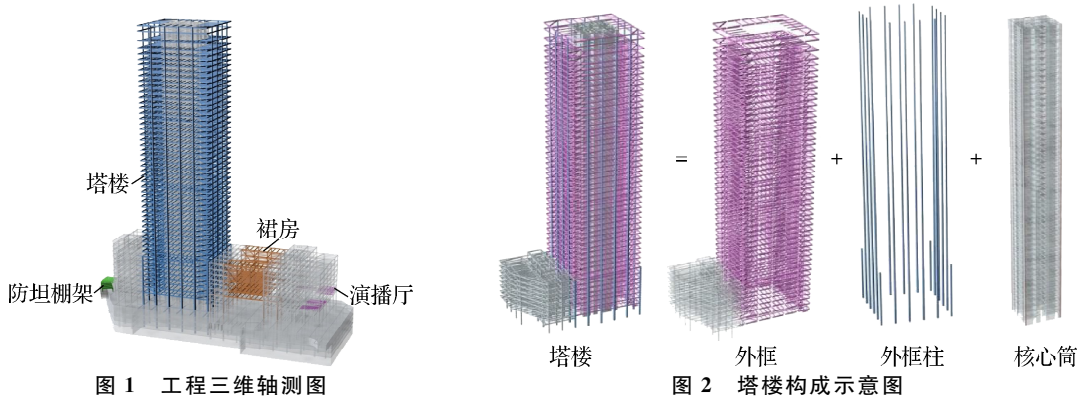
收稿日期:2020-01-15

作者简介:蒋跃楠(1969—),女,江苏宜兴人,副教授,博士,主要从事钢结构设计及施工方面的研究。

政道路。项目总占地面积为 10 810.35 m²,总建筑面积为 230 000 m²,其中地上部分约 170 000 m²,地下部分约 60 000 m²。该工程的钢结构施工包括塔楼、裙房及地下室等区域,总用钢量超过 13 800 t。图 1 为工程的三维轴测示意图,图中主体塔楼 50 层,高 220 m,属于超高层建筑,按甲级办公楼标准设计;裙房 9 层,高 42 m,内设大堂、文化及服务配套设施;塔楼采用框架-核心筒结构形式,钢构件主要有核心筒暗柱、外框钢柱及楼层钢梁等,图 2 为塔楼构成示意图,钢柱采用十字型、圆管型、箱型等截面形式,钢梁采用 H 型截面,最大钢板厚度约 60 mm。

2 主要施工方案

为确保施工的安全性协调性,本工程塔楼部分采用了“不等高同步攀升”式流水施工,核心筒部分先行,外框柱、外侧钢梁落后于核心筒 6~8 层,楼承板落后于外框柱、外钢梁 4~5 层。其具体的作业面为:①核心筒先行施工为第一作业面;②核心筒墙体爬模紧跟其后,为第二作业面,两者相差 2~3 层;③核心筒内侧楼板安装为第三作业面,该部分与爬模施工相差 3 层;④外框柱安装为第四作业面,与核心筒内侧楼板安装相差 3 层;⑤外框钢梁安装为第五作业面,落后于核心筒爬模 6 层左右;⑥组合楼板安装为第六作业面,落后外框钢梁安装 3~4 层;⑦外框柱内混凝土灌注为第七作业面,落后于外框钢柱施工 5~6 层。工程设置 L500-32(R=55 m)、TCR6055(R=55 m)、JCD260(R=60 m)三台动臂式塔吊。核心筒、外框柱等构件根据塔吊的起重性能、运输条件按 2 层/节或 3 层/节进行分段吊装。



3 安全施工保证

本工程共设置了三台塔吊进行吊装作业,为确保各塔吊安全运行,制定了群塔作业原则,如表 1 所示。

表 1 群塔作业原则

原则	相关说明
低让高	低塔运转时,应观察高塔运行情况后再运行。
后让先	塔吊在重叠覆盖区运行时,后进入该区域的塔吊要避让先进入该区域的塔机。
动让静	重叠覆盖区,运行塔吊要避让该区静止塔吊,行走式塔吊要避让固定式塔吊。
轻让重	两塔吊同时运行时,无载荷塔吊应避让有载荷塔吊。
客让主	另一区域塔吊进入其它区域时应主动避让主方塔机。

1)钢丝绳的选用。根据《建筑施工起重吊装工程安全技术规范》^[4],采取吊耳方式吊装的构件按 6~8 倍安全系数选用钢丝绳、采取捆绑方式吊装的构件按 8~10 倍安全系数选用钢丝绳。钢丝绳的最小破断拉力计算公式为:

$$F_0=\frac{K'\times D^2\times R}{1\,000}$$

式中,F₀—钢丝绳最小破断拉力/kN;D—钢丝绳公称直径/mm;R—钢丝绳的抗拉强度/Mpa;K'—最小

破断拉力系数,取值 0.356。

由上式可知,

$$D = \sqrt{\frac{1\,000 \times F_0}{K' \times R}}$$

本工程根据现场吊装情况并考虑经济性后将构件分为 0~15 t、15~30 t 两个重量段位进行吊装,按照吊耳方式选择钢丝绳,在吊装过程中,每个构件上设置 4 个吊点,且钢丝绳与构件表面呈 45° 夹角,据此计算得出不同重量段位需要的钢丝绳直径。① 0~15 t。吊索拉力 $S = \frac{\sqrt{2}}{4} P = 5.30 \text{ t}$,考虑不均匀系数 1.2,每根钢丝绳受到的最大拉力为 $5.30 \times 1.2 = 6.36 \text{ t}$,按照安全系数为 6,可以得到钢丝绳吊装总拉力为 38.2 t,工程选用了 6 mm×37 mm、容许拉应力为 $1\,400 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 、直径为 28 mm 的钢丝绳,其最大破坏力达 41.2 t,可以满足安全使用要求。② 15~30 t。按照上述同样的方法,对于 15~30 t 重量段位的构件,工程选用了 6 mm×37 mm、容许拉应力 $1\,400 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ 、直径为 39 mm 的钢丝绳,其最大破坏力 79.93 t,大于钢丝绳吊装总拉力 76.37 t。

2) 卸扣的使用。卸扣经过计算后选用,为满足强度和经济性要求,吊装和运输不同重量的构件要选择不同类型的卸扣。本工程根据外柱、桁架、核心筒柱以及钢梁等构件的重量,结合所选用的钢丝绳直径,选用了 D 型卸扣,并且在拴紧卸扣时,将螺纹拧旋到底以确保使用过程中不发生滑动。

4 安全防护设施及分析

4.1 安全防护设施

4.1.1 登高钢爬梯 钢柱吊装前在柱体上设计钢爬梯,如图 3 所示。钢爬梯由 $\phi 12 \text{ mm}$ 的圆钢焊接而成,上下端与柱体点焊固定,中部用铁丝绑扎于钢柱,为方便操作人员通行,钢爬梯离开钢柱表面 100 mm 左右。爬梯宽 400 mm,踏步间距 350 mm,踏步与爬梯纵向钢筋间用弯钩搭接焊接,搭接长度为 30 mm,爬梯旁设置 $\phi 8 \text{ mm}$ 的软钢丝绳生命线,施工人员在使用爬梯时必须将安全带穿过防坠器扣在钢丝绳上。

4.1.2 焊接操作平台 钢管柱焊接操作平台如图 4 所示,该平台通过拉杆与柱固定,拉杆采用 $100 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的钢板条,钢板条两端有安装螺栓。为装拆方便,操作平台设计成二哈夫形式,连接部位穿 $\phi 22 \text{ mm}$ 圆孔后用 M20 螺栓连接成整体。操作平台的侧面防护高度为 1 500 mm,内侧设置高度大于 200 mm 的钢网片和彩钢板踢脚板,操作平台上留置与钢柱钢爬梯相对应的预留孔。与钢骨柱连接的操作平台是在钢骨柱节段上端约 1 m 处焊接 L75 mm×6 mm 的钢托架后再将操作平台内框架与钢骨柱的吊装耳板连接固定。

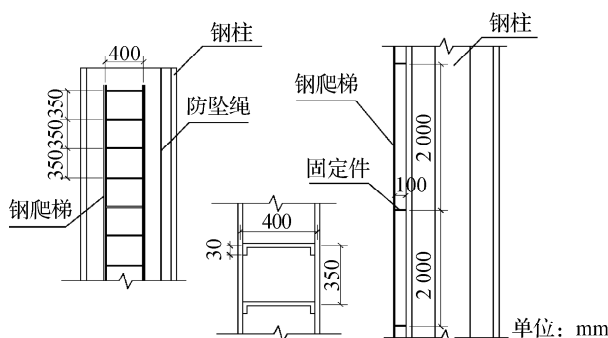


图3 登高爬梯示意图

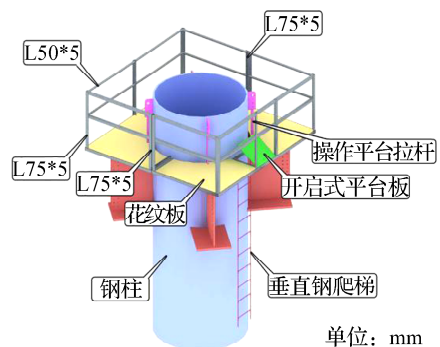


图4 钢管柱焊接操作平台

4.1.3 钢梁施工防护件 钢梁施工防护件有防护栏杆和钢梁挂篮两类,如图 5 和图 6 所示。钢梁防护栏杆由规格为 $\Phi 48 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 的钢管和 $\Phi 6 \text{ mm}$ 的圆钢拉结件及底座构成,防护栏杆设计上下两道镀锌钢丝绳安全绳,钢梁挂篮为直径不小于 12 mm 的圆钢焊接件,挂篮接口部位的搭接长度大于 20 mm,挂件由厚度不小于 8 mm 的扁钢和直径为 12 mm 的圆钢焊接而成,施工人员在吊篮内作业时,应将双搭钩安全带同时扣在安全绳上。

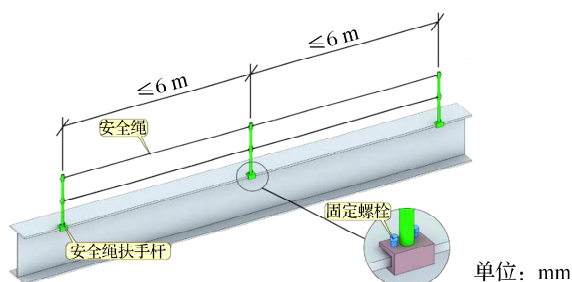


图 5 钢梁夹具式安全立杆示意图

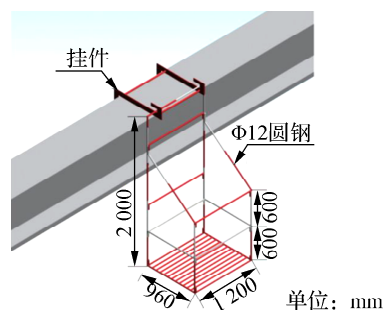


图 6 钢梁挂篮示意图

4.1.4 高空防坠设施 1)平网。本工程塔楼的每个安装环节都包含三个楼层的单元构件,交叉作业多,容易出现大量施工人员集中在一个立体空间内的情况,因此,设计了安全平网进行隔离,在一个安装节点的中间楼层铺设复合式平网。为方便装拆,在钢梁下翼缘的上表面或箱型钢梁腹板下端焊接间距约 750 mm 的钢筋挂钩后铺设。平网规格 3 m×6 m,网格尺寸约 30 mm×30 mm,采用普通大眼安全网上覆盖一层密目小网的形式。2)挑网。为避免施工材料、工具等坠落对下层操作人员造成伤害,该工程从五层起在塔楼周边设置安全外挑网,如图 7 所示。挑网的挑出宽度为 3 m,外口高出内口 500 mm 以上,每 4 层往上翻转,共铺 2 层。挑网架体固定于楼层钢立管的下部,外端支撑于上一层楼,临边设踢脚板,挑网与楼层连接处加挂安全兜网。

4.1.5 安全施工通道 由于现场施工范围大,为确保作业人员快捷到达工作地点,在施工平面内设置了水平和垂直施工通道。水平施工通道设置在外框柱内侧的钢梁上表面,如图 8 所示,通道两侧搭设高度约 1.2 m 的钢管栏杆;垂直施工通道为钢斜梯,梯梁及踏板采用槽钢或厚度不小于 4 mm 的钢板制作,钢斜梯的单梯段垂直高度不大于 6 m,梯梁与水平面的夹角不超过 75°,两侧有高度约 1.2 m 的防护栏杆。

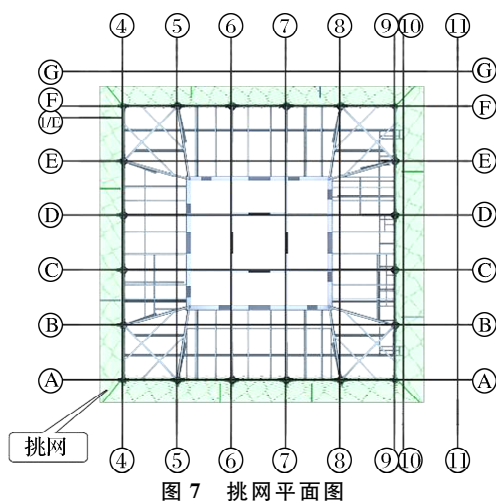


图 7 挑网平面图

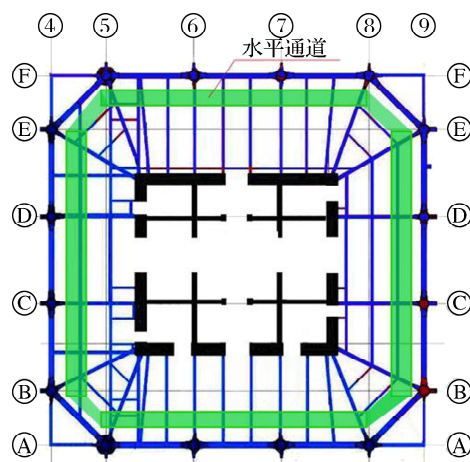


图 8 水平通道平面图

4.2 复杂安全防护设施的仿真分析

为进一步了解焊接操作平台、高空防坠挑网、水平施工通道等复杂安全防护设施的工作状态,本文利用 Midas/Gen 软件^[5]对其进行了仿真分析,得到内力变化及变形结果。

4.2.1 焊接操作平台 由图 4 可知本工程焊接操作平台底部的主要受力杆件为 L75 mm×5 mm 的角钢,其余为 L50 mm×5 mm 的角钢和 6 mm 扁钢,材质均为 Q235 钢。操作平台按照 1 m 间距站一个人,每个人自重为 80 kg 进行计算,其中变形验算的荷载组合为 1.0D+1.0L、强度验算的荷载组合为 1.2D+1.4L^[6](D、L 分别为恒载和活载),仿真分析结果如图 9—图 12 所示。

由图 9—图 12 可知,本工程焊接操作平台的最大变形为 1 mm、杆件最大应力为 61.7 MPa,两者均小于钢材的设计值^[7]。因此,在正常施工荷载作用下,该焊接操作平台安全可靠。

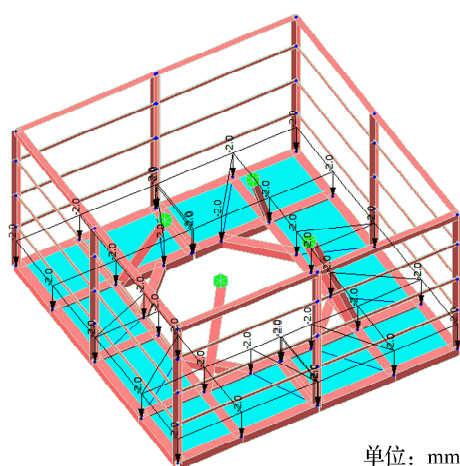


图 9 操作平台计算模型

单位: mm

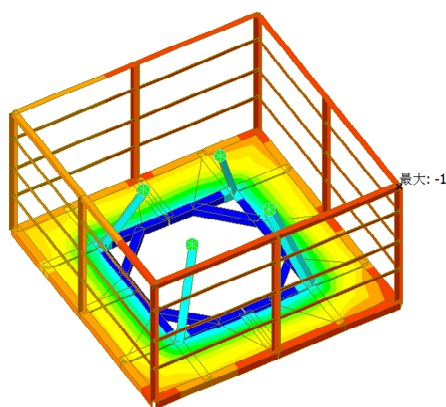


图 10 操作平台变形图

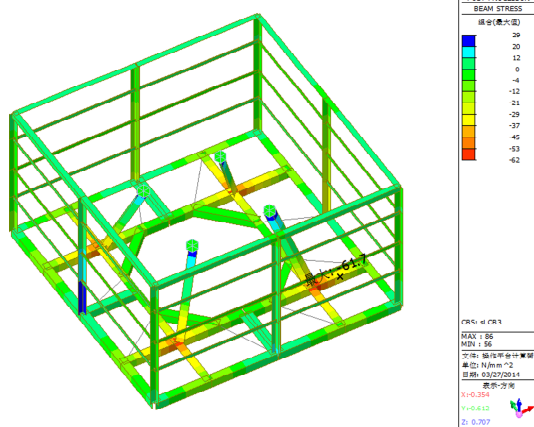


图 11 操作平台应力图

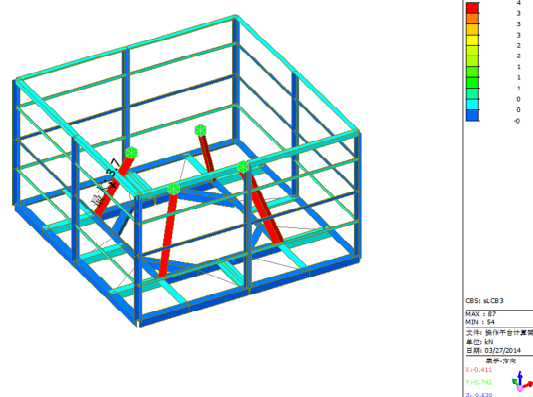


图 12 操作平台拉杆轴力图

4.2.2 外挑网 本工程外挑网结构是 $\phi 48 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 的钢管,挑网四角采用 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 141.4 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的三角形钢板进行加固,挑网框架内拉设上、下两层尼龙安全网,中间另夹钢丝网片,外挑网平面如图 13 所示。外挑网恒载为自重,假定活载为 1 kN 、冲击力为 8 kN ,支撑处按铰接处理^[7],则仿真分析结果如图 14—图 16 所示。

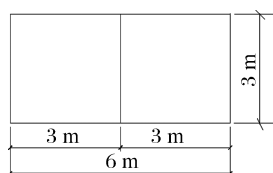


图 13 外挑网平面尺寸

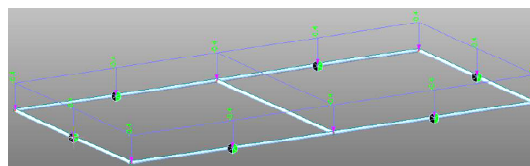


图 14 外挑网受荷图

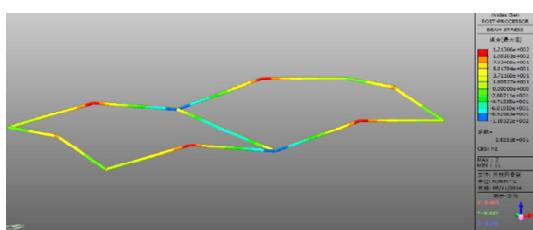


图 15 外挑网应力图

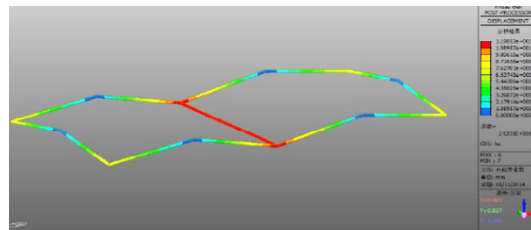


图 16 外挑网位移图

在图 14—图 16 中,外挑网的最大位移为 0.39 mm ,最大应力为 45.49 MPa ,最大位移在中间横向钢管上,最大应力在荷载作用点处,所有应力和变形都在允许范围之内^[7]。

4.2.3 水平施工通道 本工程水平施工通道由横杆、扶手和钢筋网片等单元件构成,通道围护栏杆的横杆采用 $20\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 的方钢管,立杆采用 $30\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 的方钢管,纵向杆件采用 $50\text{ mm}\times 2\text{ mm}$ 的方钢管,纵杆之间焊接 $L30\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 的等边角钢,钢材采用 Q235 钢,参照焊接操作平台的荷载重量及荷载组合得到以下分析结果。根据上图 17—图 20,水平施工通道的最大竖向变形在通道中间,其值为 6 mm ,最大应力在栏杆底端,为 90 MPa ,因此,该通道可以安全使用^[7]。

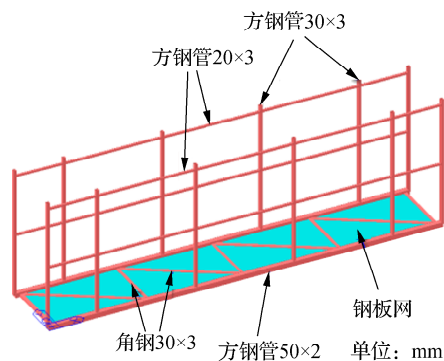


图 17 水平安全施工通道的计算模型

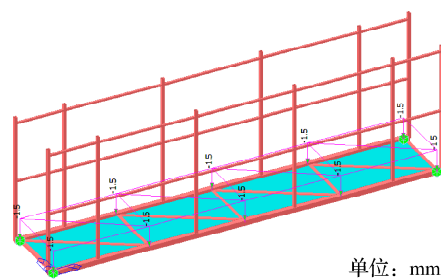


图 18 水平安全施工通道的加载模型

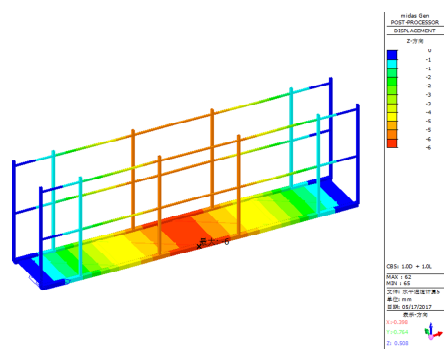


图 19 水平安全施工通道变形图

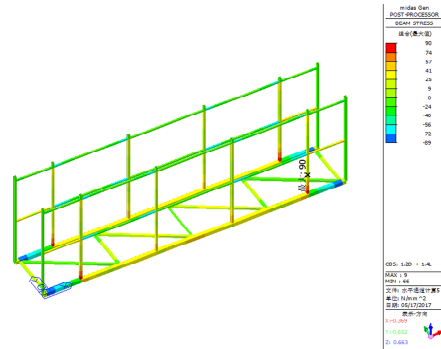


图 20 水平安全施工通道应力图

5 结 语

超高层钢结构建筑具有规模大、层数多、技术复杂等特点,为有效降低施工过程中的安全风险,深圳广电金融中心塔楼工程项目部对主要工序采取了合理的安全措施,设计了焊接操作平台、防坠网、安全通道等多种高空作业的安全防护设施,本文探讨了该工程的重点安全保证,并对复杂安全防护设施进行了仿真分析,模拟结果表明:该工程的安全防护是可靠的。目前,该工程已顺利完工,未发生任何事故隐患,施工过程中始终处于安全可控状态。

参考文献:

- [1] 李景芳,超高层建筑工程施工安全关键技术研究[J].施工技术,2016,45(24):115-116
- [2] 张兵,詹锐,关贤军,等.基于 CBR 的超高层建筑施工安全事故研究[J].土木工程与管理学报,2019,36(6):92-98
- [3] 徐德林,孙连学,迁长伟,等.北京奥林匹克公园瞭望塔柔性钢结构施工安全防护关键技术[J].施工技术,2013(1):1-5
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑施工起重吊装工程安全技术规范:JGJ276—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012
- [5] 李云峰,张帅,苏会峰,等.基于 MIDAS 的连续梁挂篮仿真模拟分析[J].筑路机械与施工机械化,2016(12):60-62
- [6] 中国工程建设标准化协会.建筑结构荷载规范:GB 50009—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012
- [7] 中国工程建设标准化协会.钢结构设计规范:GB 50017—2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017

(责任编辑:谭彩霞)