

Safety Protection Technology of Super-Tall Steel Structure Installation

Shui Xie, Shengjun Lin, Heng Mo

China Construction Three Engineering Bureau Group Co. Ltd., Wuhan Hubei
Email: 547611667@qq.com

Received: Aug. 28th, 2015; accepted: Sep. 11th, 2015; published: Sep. 16th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

With the development of urbanization, super-tall steel structure buildings continue to emerge, proposing more requirements for safety protection technology of super-tall steel structure installation. This article summarized the work practice and the experience in the safety protection work of steel structure construction for the southeast international shipping center headquarter engineering, providing reference and experience for the standardization and normalization of safety protection technology of super-tall steel structure construction.

Keywords

Super-Tall, Steel Structure, Safety Protection Technology

超高层钢结构安装安全防护技术

谢 水, 林胜军, 莫 恒

中建三局集团有限公司, 湖北 武汉
Email: 547611667@qq.com

收稿日期: 2015年8月28日; 录用日期: 2015年9月11日; 发布日期: 2015年9月16日

摘 要

随着城市化的不断发展, 超高层钢结构建筑不断涌现, 对超高层钢结构施工安全防护技术提出了更高的

要求。本篇通过对东南国际航运中心总部大厦工程在钢结构施工现场安全防护工作中的具体做法、经验进行总结,为超高层钢结构施工中安全防护工作的标准化与规范化提供可参考和借鉴的经验。

关键词

超高层, 钢结构, 安全防护技术

1. 引言

东南国际航运中心总部大厦钢结构工程一期包含 A、B、E、F 共 4 座塔楼, 总建筑面积约为 47 万 m^2 , 其中地下 2 层, 地上最高 35 层, 建筑面积为 91,661 m^2 , 工程钢结构用量为 74,680 t, 最大建筑高度为 153.55 m, 最大板厚为 38 mm, 大倾角钢斜柱最大角度为 35° 。A 座、E 座、F 座采用钢管混凝土框架-钢筋混凝土核心筒结构体系; B 座采用钢管混凝土框架-钢筋混凝土剪力墙结构体系; 楼层铺设钢筋桁架楼承板, 现浇混凝土。本工程钢结构包括外框钢柱、钢骨梁、斜撑、钢梁及核心筒劲性钢骨柱等, 钢材主材质为 Q235B、Q345B。外框钢柱分为箱型截面和圆形截面两种, 箱型最大截面为 $\square 1800 \times 1200 \times 34$, 圆形最大截面为 $\bigcirc 1200 \times 34$; 核心筒劲性柱分为 H 型和十字型两种, 十字型最大截面为 $\text{十} 500 \times 500$; 斜撑包括箱型、圆形和 H 型三种。工程效果如图 1。

2. 超高层钢结构施工安全现状

由于钢结构建筑具有重量轻、强度高、抗震性能好、能够合理布置功能区间、施工工期短、回收利用价值高以及综合造价低的特点, 近年来, 钢结构建筑特别是超高层钢结构建筑在我国越来越多。然而, 该类工程施工在安全生产方面具有三大特点: 一是施工作业面大, 操作人员全天候处于临边洞口状态, 如安全防护及管理不到位很可能出现高处坠落事故; 二是此类工程结构构造较复杂, 吊装难度较大, 防护管理不到位容易出现起重事故; 三是此类工程交叉作业多, 容易出现物体打击事故。这些客观存在的不利因素将给超高层钢结构安装安全防护管理带来巨大挑战 [1]。

3. 超高层钢结构安装现场安全防护技术

针对超高层钢结构安装现场存在大量临边洞口作业、高处作业及吊装作业的特点, 本工程安全防护分为临边洞口安全防护与钢结构安装作业安全防护两大部分。针对本工程实际情况, 分别研究了每个部分的安全防护对策及措施, 以消除物或环境的不安全状态, 确保施工安全。

3.1. 临边洞口安全

针对在超高层钢结构钢柱、钢梁安装及压型钢板安装过程中形成的临边洞口本工程主要采用了下挂式水平安全网、立杆式双道安全绳、抱箍式双道安全绳、水平外挑网等防护设施。

3.1.1. 高工效下挂式安全网

本项目存在大量压型钢板作业, 为方便安全铺设压型钢板, 所有水平安全网铺设全部采用下挂式。过去行业内水平安全网大都采用可拆卸的夹具式水平安全网, 该形式水平安全网的夹具在使用时需重复安装与拆卸, 耗费大量人工。针对这一问题, 本项目改用更加经济的挂钩式水平安全网, 如图 2, 在深化设计阶段便在所有钢梁腹板(腹板高度大于 800 mm 的钢梁)或下翼缘板(腹板高度小于 800 mm 的钢梁)上设计了安全网挂钩代替一般的安全网挂设夹具。安全网挂钩统一采用 8#圆钢制作, 以不大于 750 mm 的间距布置, 在钢构件制作时一并焊接(焊缝必须满焊)在腹板或下翼缘板上, 这样便可以完全满足《安全



Figure 1. Engineering rendering
图 1. 工程效果图



Figure 2. Level of safety net figure limb laid instance
图 2. 水平安全网临边铺设实例图

网》(GB5727-2009)的挂设要求。因安全网挂钩在制作厂内随构件一起制作,进场后不需人工制作挂钩,因此此项改进不但降低了现场安装成本,而且极大提高了现场安全网铺设效率,有利于工期的控制。在楼层钢梁吊装就位后,在钢梁上预先设置好生命线,然后按区域及时挂设好安全网以保证后续工序施工安全,挂设好的安全网按楼层应及时组织验收并在本层压型钢板施工完成后从下方拆除。

3.1.2. 高安全系数立杆式安全绳、水平外挑网

项目现场绝大多数钢梁都是工字型钢梁,只有极少数的箱型钢梁 [2]。因此采用立杆式双道安全绳为工人在钢梁上作业提供保障,如 图 3。立杆式双道安全绳在钢梁吊装前已在地面上安装就位。具体安装要求如下: 1) 立杆由规格为 $\Phi 48 \times 3.5$ mm 的钢管、直径为 6 mm 的圆钢及底座组成; 2) 立杆与底座之间除焊接固定以外,另对称设置四道加劲板; 3) 连续两道立杆间距最大跨度 L 不应大于 8 m, 钢梁长度大于 8 m 时应分段设置; 4) 钢丝绳直径不小于 9 mm, 上、下两道钢丝绳距离梁面分别为 1200 mm 及 600 mm; 5) 钢丝绳左端用规格为 M8 的花篮螺栓调节钢丝绳的松弛度; 6) 钢丝绳两端分别用 $D = 9$ mm 的

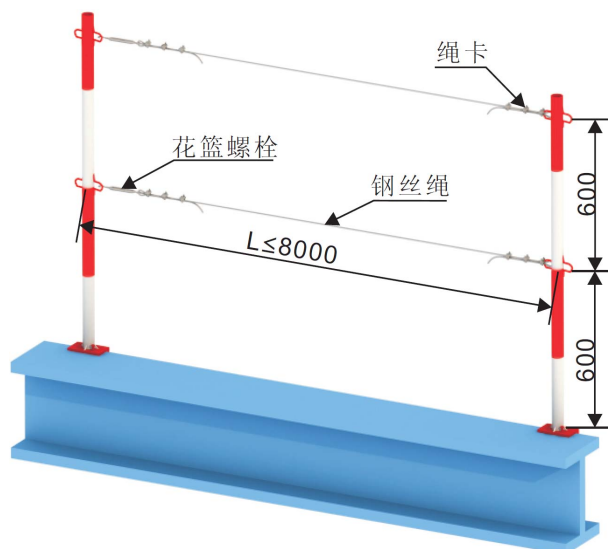


Figure 3. Vertical bar type double road safety rope
图 3. 立杆式双道安全绳示意图

绳卡固定，绳卡数量不少于 3 个，绳卡间距保持在 10 mm 左右，最后一个绳卡距绳头的长度不小于 140 mm；7) 夹具采用两个 M16 的螺栓与钢梁翼缘板固定牢固；8) 立杆式双道安全绳设置完成经验收合格后方可起吊钢梁。

当楼层面临边区域或外框施工垂直高度达到 10 m 时，项目部在楼层临边外围设置了水平外挑网，如图 4，以消除或减少物体打击或高空坠落事故 [3]。安装外挑网时先在地面按 3×6 m 的规格用脚手架钢管拼成框架，将外挑网固定在脚手架钢管上后形成整体网片，在即将安装外挑网的楼层外围预先以 3 米的间距等距离预埋好长度约 300 mm 的钢管作为外挑网固定下夹具，在上一楼层钢梁翼缘板上预先焊上类似吊耳的上挂具即可吊装外挑网网片并以一定角度用卸扣连接钢丝绳后与上挂具固定安装。本安装方法采用钢管预埋扣件连接代替下夹具连接，以固定焊接挂耳卸扣连接代替上夹具连接，不仅方便安装拆卸而且极大的提高了安全系数。

3.2. 钢结构安装作业

针对钢结构安装作业本项目主要制作了垂直登高挂梯(钢挂梯)、吊篮、操作平台、水平通道、钢斜梯、屯料平台、钢丝绳及吊耳来保障施工安全。

3.2.1. 垂直登高挂梯

垂直登高挂梯用于钢柱吊装、校正过程中施工人员登高之用。项目部结合实际情况设计制作了适合绝大多数钢柱的垂直登高挂梯挂设器，如图 5，为垂直登高挂梯的挂设提供了极大的便利和安全保证。在吊装前，钢挂梯应与防坠器材同时安装就位，并经检查确认后方可起吊，作业人员登高必须通过钢挂梯上下，攀爬过程中应面向爬梯，安全带挂钩应挂在防坠器上，手中不得持物，严禁以钢柱栓钉为支撑攀爬钢柱 [2]。

3.2.2. 吊篮

吊篮是为了便于梁侧临时作业点施工，钢梁节点高强度螺栓紧固、焊接时为员工提供可靠的工作平台，给作业人员提供有效操作空间的临时设施。项目部根据钢梁腹板高度设计制作了高度不同的吊篮，如图 6。吊篮主要由圆钢、扁铁、角钢焊接而成，挂件使用 60×8 mm 扁钢制作，中间用 $\Phi 14$ mm 圆钢连接固定，



Figure 4. Horizontal overhanging network instance
图 4. 水平外挑网实例图

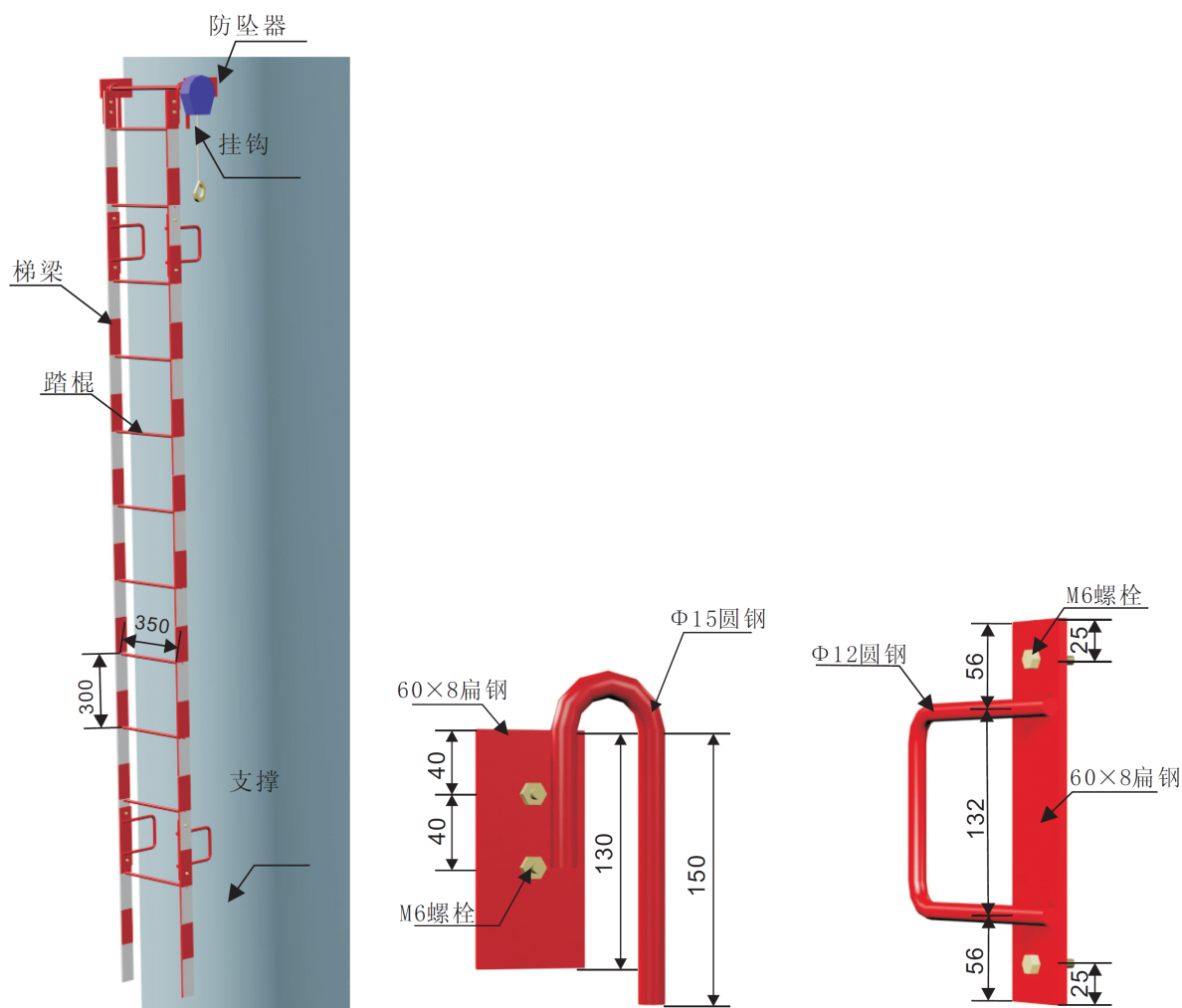


Figure 5. Vertical elevating hanging ladder diagram
图 5. 垂直登高挂梯示意图

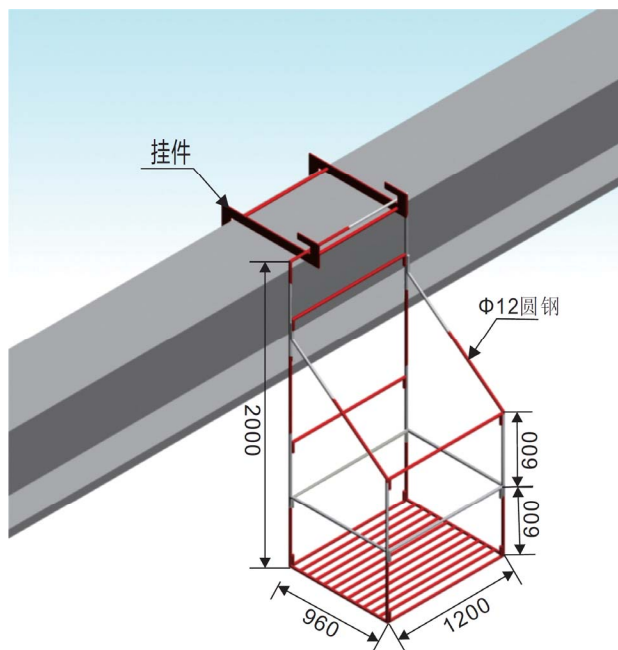


Figure 6. Hanging basket schematic
图 6. 吊篮示意图

挂件长度根据钢梁翼缘板宽度调整制作，吊篮使用 $\Phi 12$ 圆钢焊接而成，接口部位搭接长度不小于 20 mm。操作平台涂刷成红白相间的颜色，吊篮护栏不低于 1.2 m，吊篮底部尺寸一般为 960×1200 mm，各焊接部位焊接牢固可靠，无虚焊、脱焊。吊篮使用过程中，必须挂防坠绳，提供多重安全保障，使用吊篮作业时，作业人员安全带必须系挂在梁上方的生命线上，严禁将安全带系挂在吊笼上，使用吊篮施工时，严禁两人及以上同时共用一个吊笼进行作业，吊篮制作完成后必须经验收合格后，方可投入使用 [4]。

3.2.3. 可调式操作平台

本操作平台适用于最长边不大于 1200 mm 的方形柱及直径不大于 1200 mm 圆管柱的安装及焊接等作业过程，超过本规格钢柱安装、焊接操作平台应根据实际另行设计。操作平台底部尺寸及材料规格可随钢柱作相应调整。操作平台侧面防护高度不宜低于 1.5 m，并设置钢网片及踢脚板，踢脚板高度不得低于 200 mm，倾斜度为 45° ，刷红白相间的油漆。安装时，操作平台的“U”型口面向外框内侧，横板未固定时严禁松脱吊钩。因结构不同致使操作平台下发支撑点不稳定的情况下，应对操作平台进行辅助性的加固，确保安全稳固。操作平台应在该部位作业前安装到位，并由项目部组织验收并悬挂验收合格牌后方可投入使用。项目部应定期对操作平台的使用情况及稳定性进行检查，使用过程中，严禁依靠平台侧面防护，避免遭受外力撞击，操作平台应在本节点所有钢结构施工工序完成后拆除，如图 7。

3.2.4. 水平安全通道

本项目现场水平安全通道主要采用钢制组装通道，如图 8，用于设置楼层内环形通道以供人员、小型器具转移。通道单元长度以 3 m 为宜，宽度以 800 mm 为宜，横向受力横杆间距不宜大于 1 m，可用钢跳板作支撑。通道长度可根据钢梁间距做小幅调整，但不应超过 4 m。钢筋网片网眼直径不应大于 10 mm，通过焊接与通道方管支撑连接。通道防护栏杆材料规格 $25 \times 25 \times 2$ mm 方管，防护栏杆立杆间距不应大于 2 m，上、下横杆距离通道面垂直距离分别为 1200 mm 及 600 mm，防护栏杆底部设置高度不低于 200 mm 的铁片踢脚板。水平通道之间应通过钢网片端部连接钢板，采用 M10 螺栓进行连接。

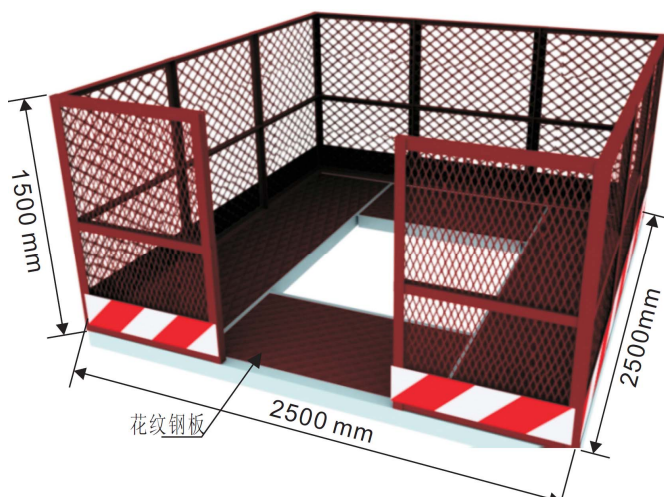


Figure 7. Adjustable operating platform

图 7. 可调式操作平台示意图

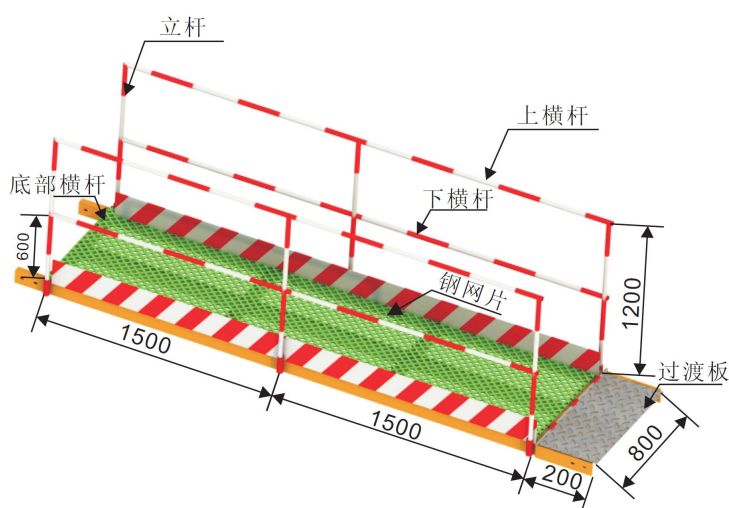


Figure 8. Steel assembly access diagram

图 8. 钢制组装通道示意图

3.2.5. 钢斜梯

钢斜梯主要用于为楼层间人员、工具转移提供安全通道。钢斜梯与水平间的夹角以 75° 为宜，单梯段的垂直高度不应大于 6 m，斜梯内侧净宽度为 800 mm 为宜 [5]。斜梯梯梁及踏板分别由 12 槽钢及 $120 \times 800 \times 4$ mm 的钢板组成。梯梁与踏板通过 M10 的螺栓进行连接，踏板垂直间距 250 mm。斜梯两侧应设置防护栏杆规格为 $\Phi 48 \times 3.5$ mm，防护栏杆立杆高度以 1.2 m 为宜，立杆间距以 2 m 为宜，上、下两道横杆距梯梁分别为 1.2 m 和 0.6 m，刷长度为 400 mm 红白相间油漆。转换平台宜采用厚度为 4 mm 的花纹钢板，利用 M10 的螺栓紧固，侧面宜用 3 mm 钢板设置高度不低于 200 mm 的踢脚板。斜梯顶端部位及防护立杆底部通过夹具与钢梁固定，如 图 9。

3.2.6. 屯料平台

屯料平台主要用于放置临时施工用小型机具、气瓶、材料等。规格为长 6 m，宽 2.2 m，护栏高 1.2 m，一面留出 2 m 宽出口。采用钢板及角钢焊接而成，两端设置高度 1.8 m 的防护棚，两端分别存放乙炔/丙

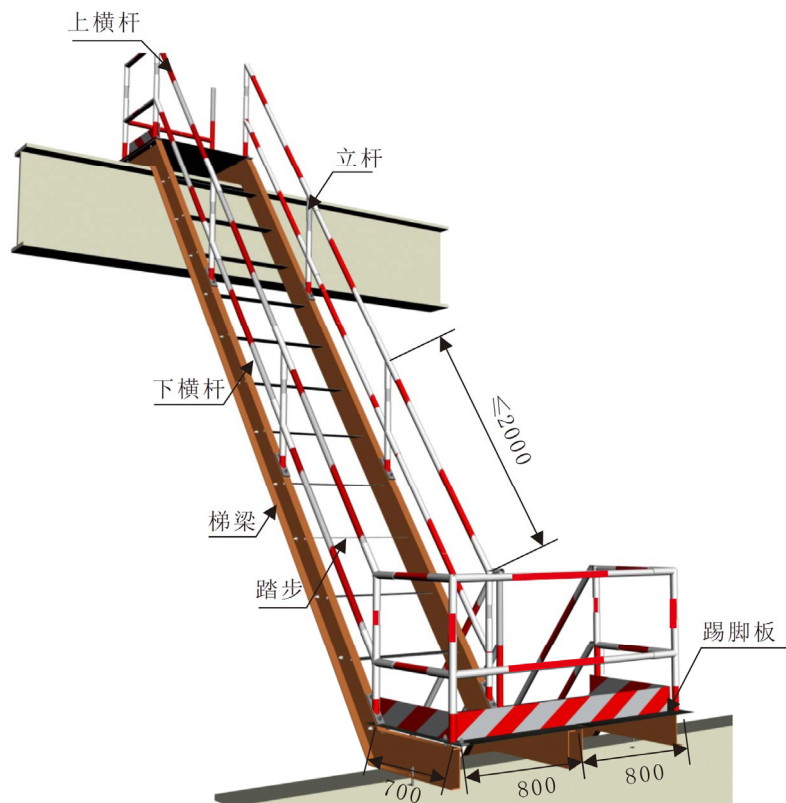


Figure 9. Steel ladder diagram
图 9. 钢斜梯示意图

烷与氧气/二氧化碳气瓶，空瓶可以放在屯料平台中间用气瓶吊笼吊走。如果在钢结构每个作业层设置一个屯料平台，可以将所有气瓶集中放置在屯料平台内，极大的保证了气瓶安全使用及存放，如图 10。

3.2.7. 关于操作平台及水平通道的验算

1) 可调式操作平台验算，平台底板示意如图 11

采用 Midas/Gen 对操作平台的强度、刚度以及稳定性进行验算。本次计算取施工平台最不利工况进行计算：平台底部无钢梁或牛腿支撑，与钢柱四面共 8 处连接点均为铰接，平台调节至最大(钢柱直径 1.5 m)，平台护栏为 1.2 m 高角钢网片组成，护栏与平台底板铰接，操作平台材质均为 Q235B 钢。考虑平台自重及施工荷载，施工荷载取 2.0 kN/m^2 均布于平台底板。荷载组合方式如表 1，角底板及直角板尺寸如图 12。

计算得出钢平台的应力和位移结果如图 13。

最不利工况下，平台最大竖向位移 9.1 mm，位移值较小，满足施工条件。最大应力 $163 \text{ MP} < 215 \text{ MP}$ ，最大应力比 $0.79 < 1.0$ ，满足强度要求。综上所述，钢平台验算结果满足施工要求。

2) 水平通道验算

同样采用 Midas/Gen 对安全通道的强度、稳定、位移进行验算。施工通道选择最大标准跨如图 14。

本次计算取安全通道最不利工况进行。考虑安全通道自重、栏杆恒载及人行活荷载，栏杆恒载取集中力 0.2 kN 作用于节点处，人行活荷载取 2.0 kN/m^2 均布通道板。构件截面尺寸(单位 mm)：外围 4 根主梁 $B100 \times 4$ ，支撑 $L50 \times 5$ ，材料均为 Q235B 钢。主梁与楼层间梁铰接。荷载组合方式与计算操作平台时相同。计算得出钢平台的应力和位移结果如图 15。

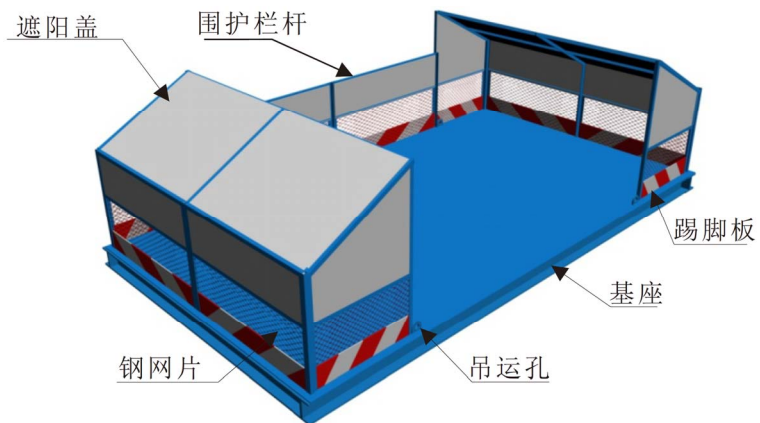


Figure 10. The chariot material platform
图 10. 屯料平台示意图

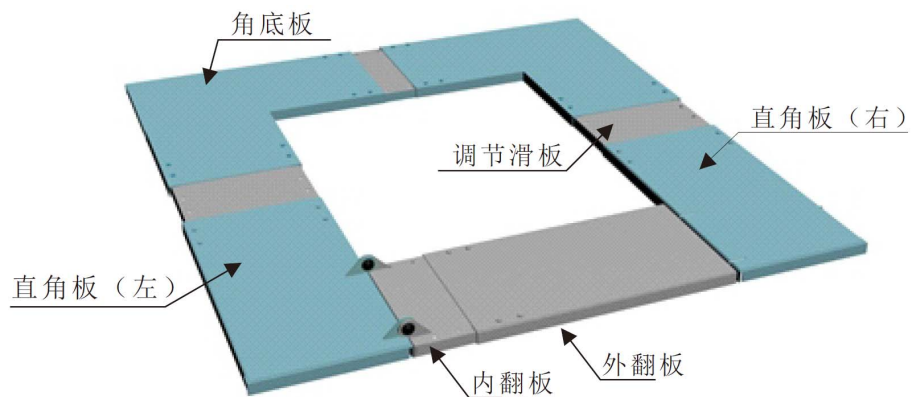
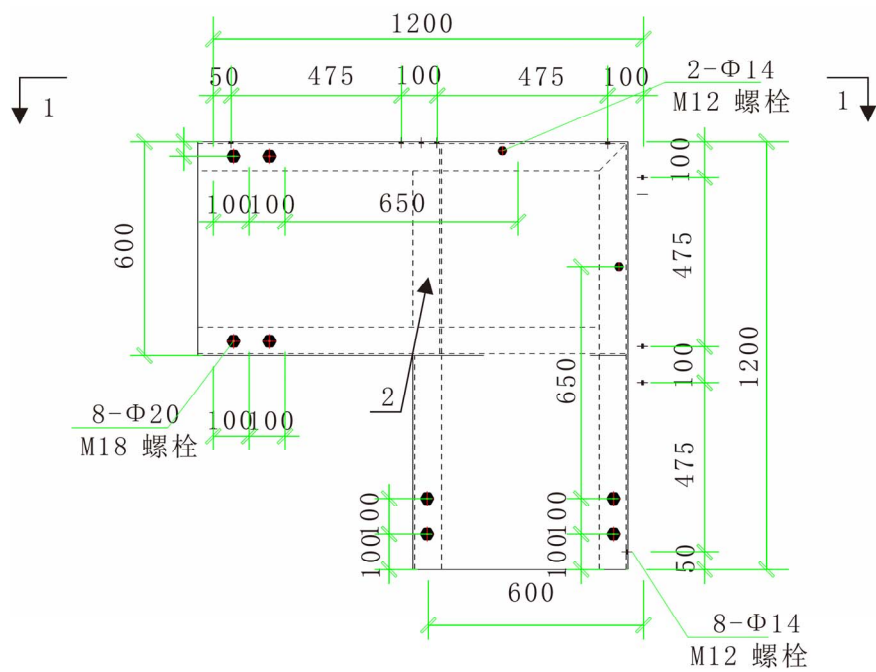


Figure 11. The platform floor map
图 11. 平台底板示意图



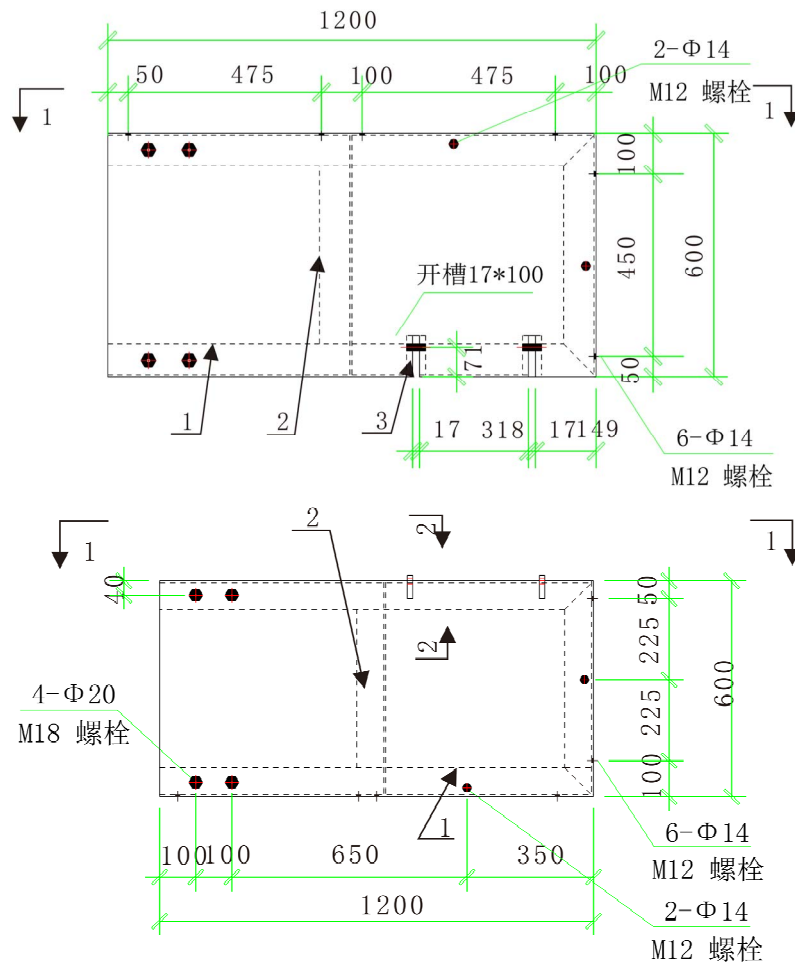
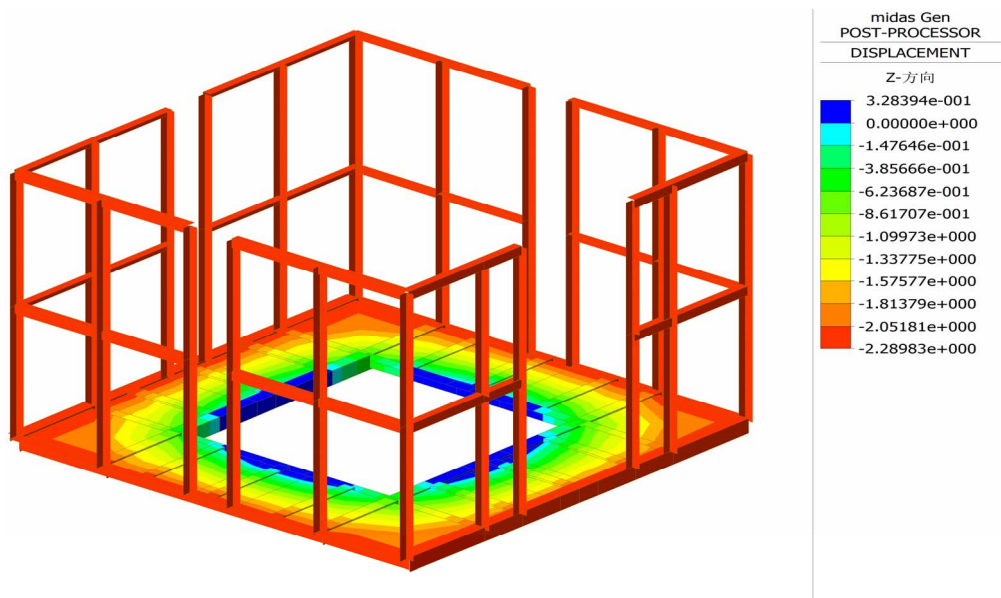
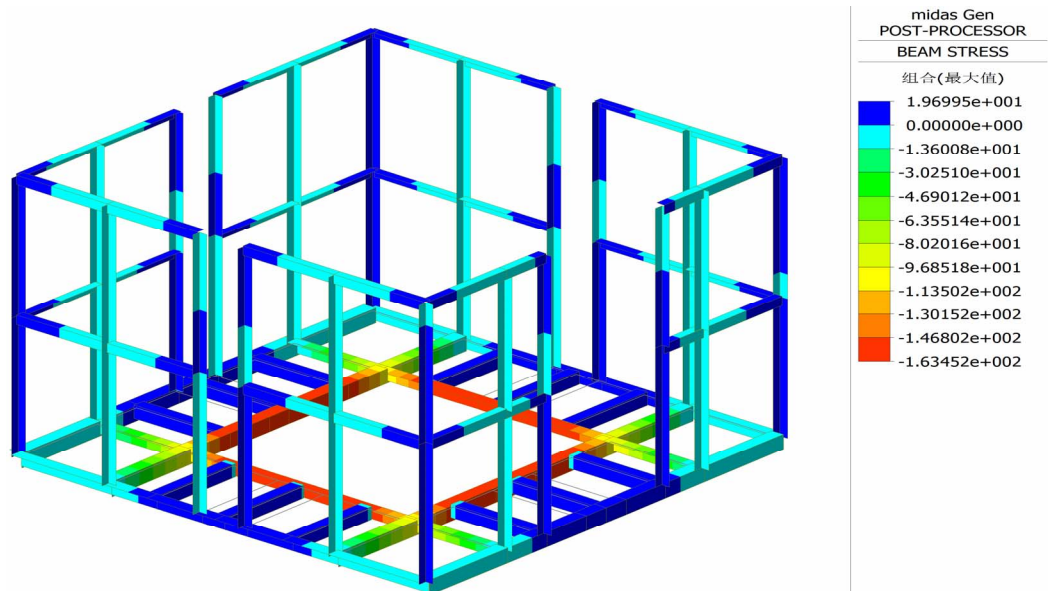


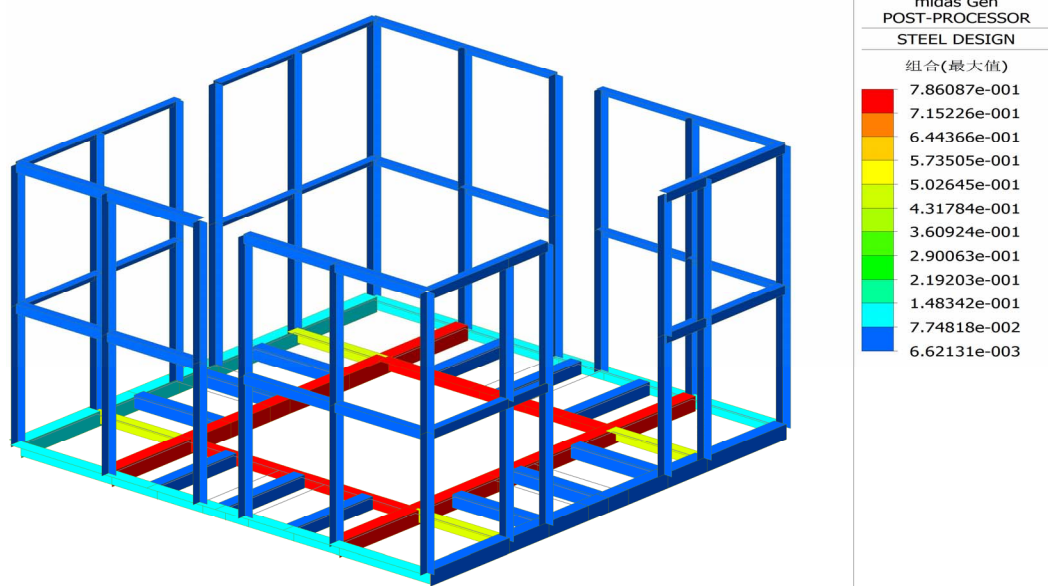
Figure 12. Detail view of angle plate and angle plate size
图 12. 角底板及直角板尺寸详图



(a) 最大竖向位移 9.1 mm



(b) 最大应力 163 MPa



(c) 最大应力比 0.79

Figure 13. Operation platform, the stress and displacement diagram
图 13. 操作平台应力及位移图

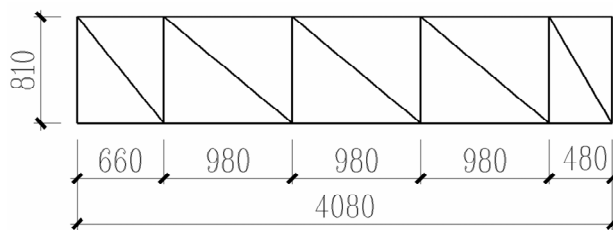
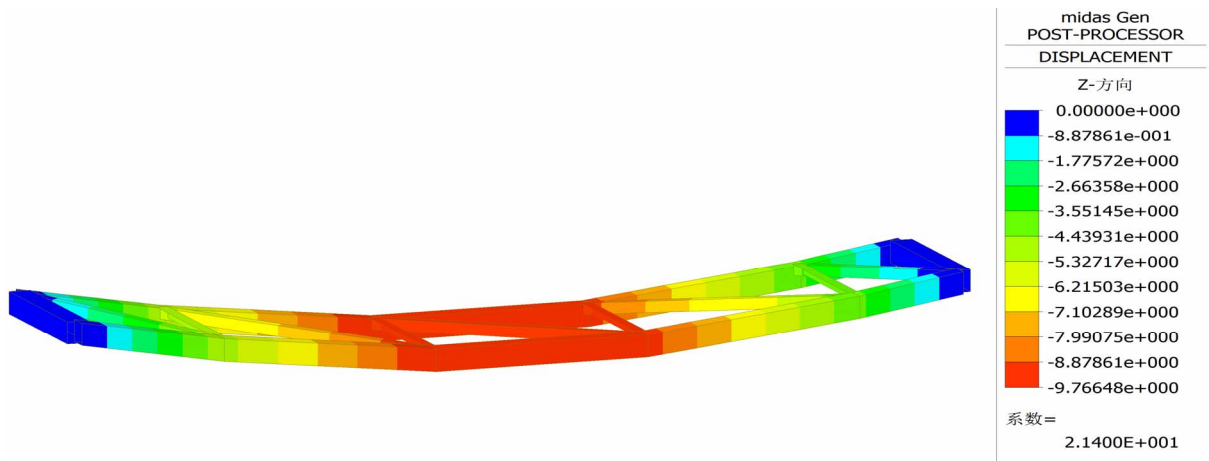
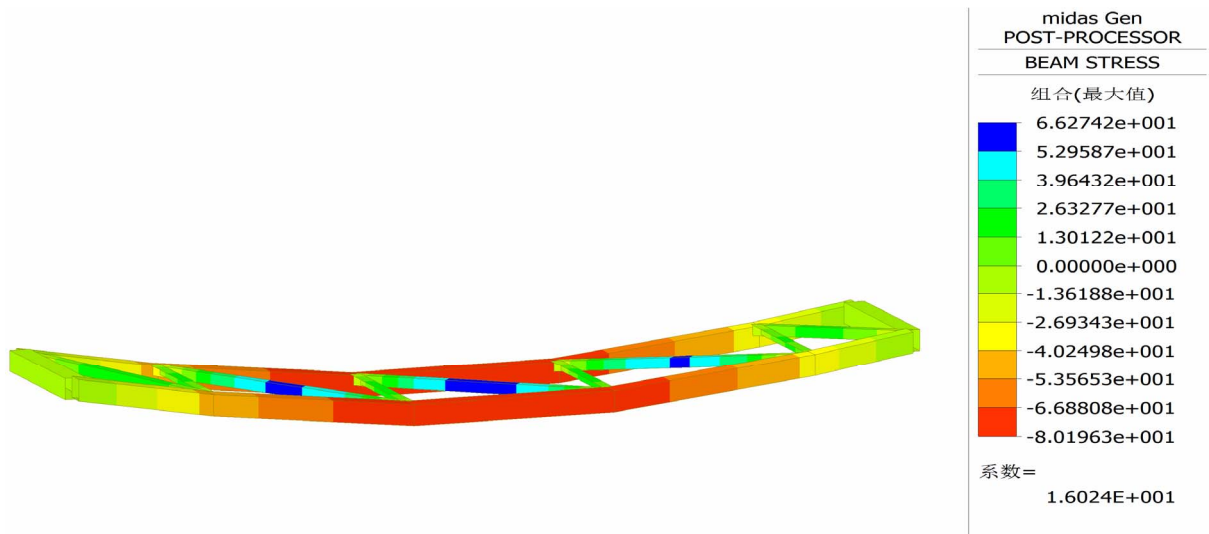


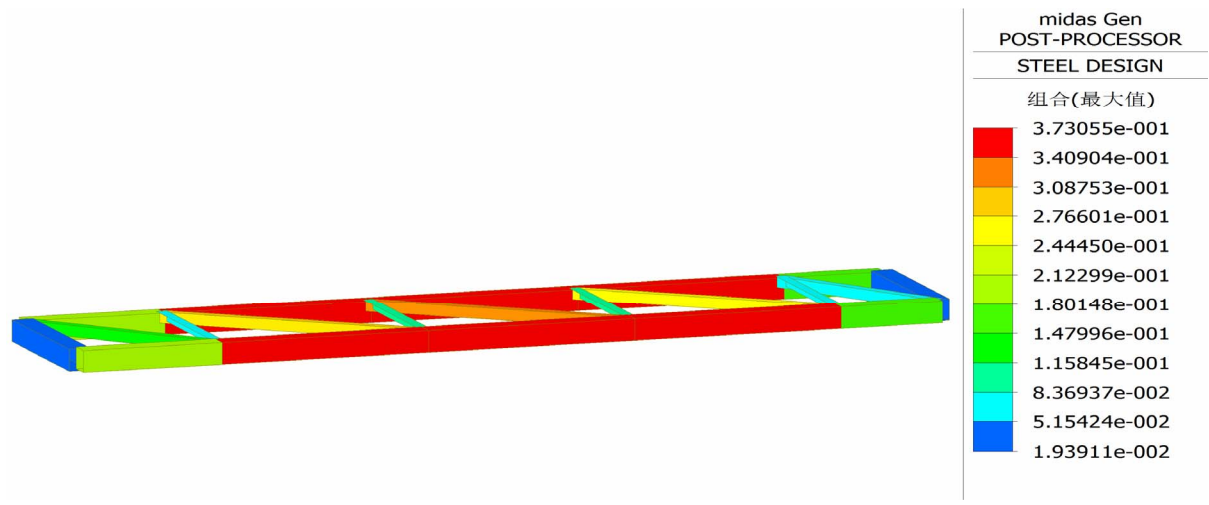
Figure 14. Channel construction plan
图 14. 施工通道平面图



(a) 最大竖向位移 9.8 mm



(b) 最大应力 80.2 MPa



(c) 最大应力比 0.37

Figure 15. Horizontal channel vertical displacement and the stress diagram
图 15. 水平通道竖向位移及应力图

Table 1. Load combinations

表 1. 荷载组合方式

计算内容	质量
强度计算	1.2*恒载 + 1.4*活载
刚度(变形)验算	1.0*恒载 + 1.0*活载

综上所述可知,平台最大竖向位移 9.8 mm,由于为临时行安全通道,可放宽其位移的要求。最大应力比 $0.37 < 1.0$,满足强度要求。综上所述,安全通道验算结果满足施工要求。

4. 结束语

东南国际航运中心总部大厦项目 A、B、E、F 四座塔楼钢结构安装均采用了以上安全防护技术,目前 E 座已顺利封顶,A、B、F 座也即将封顶,现场安全运行良好,无安全事故,满足了施工需要,有效保证了工程按期顺利封顶。东南国际航运中心项目已成功举办福建省安全文明工地观摩会并获得厦门市及福建省安全文明工地称号。

参考文献 (References)

- [1] 何红玲 (2011) 钢结构施工安全综合技术探讨. *中国房地产业*, **4**, 307.
- [2] 齐明, 杨海光 (2005) 北京电视中心综合业务楼超高层钢结构施工安全防护技术. *建筑技术*, **2**, 102-103.
- [3] 邱文雄 (2009) 钢结构施工技术在高层建筑中的应用. *科技资讯*, **19**, 85.
- [4] 郭孔松, 张磊 (2005) 荣学艺青岛万邦中心钢结构施工安全防护技术. *施工技术*, 492.
- [5] 李志国 (2013) 高层建筑工程中钢结构施工方案的分析. *中国科技纵横*, **24**, 47.