

基于 BIM 的绿色智慧高效施工技术在某多层大跨钢结构工程中的应用

代显奇

(中铁十四局集团建筑工程有限公司, 山东 济南 250014)

摘要: 石河子市会展中心项目钢结构施工主要集中于会议中心部分, 在施工过程中存在梁-柱节点施工精度要求高、大型钢构件吊装难度大、施工场地狭小及工期紧等难点。为解决以上问题, 会议中心钢骨柱-钢梁部分采用分区分段吊装施工工艺, 同时引入 BIM 技术对其进行深化设计和施工过程模拟, 并通过项目实际施工验证了 BIM 技术应用优势。结果表明: 应用 BIM 技术进行钢结构深化设计可显著降低生产阶段钢材损耗率、有效减少梁-柱节点碰撞问题。而采用 BIM 技术进行施工模拟则在施工进度控制、施工关键技术模拟等多方面具有独特优势。引入 BIM 技术实现了项目高质量施工, 项目达到了 0 事故率、0 返工率和 100%合格率的目标。

关键词: 钢结构; 大跨度; 建筑信息模型; 深化设计; 施工技术; 模拟

[中图分类号] TU758.11 [文献标识码] A [文章编号]

[作者简介] 代显奇, , E-mail:

[收稿日期]2024-04-24

Application of BIM-based Green Intelligent and Efficient Construction in a Multi-story and Large-span Steel Structure Engineering

DAI Xianqi

(China Railway 14th Group Construction Engineering Co., Ltd., Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: The steel structure construction of Shihezi Convention and Exhibition Center project mainly focuses on the part of the conference center. During the construction process, there are difficulties such as high precision requirements of beam-column node construction, difficulty in lifting large steel components, small construction site and tight schedule. In order to solve the above problems, BIM technology was introduced to deepen the design and construction process simulation of the steel structure of the conference center. The advantages of BIM technology are verified through the actual construction of the project. The results show that the application of BIM technology to deepen the design of steel structure can significantly reduce the rate of steel loss in the production stage and effectively reduce the collision problems of beam-column nodes. The construction simulation using BIM 4D has unique advantages in construction progress control, construction key technology simulation and so on. The introduction of BIM technology realizes the high quality construction of the project, and the project achieves the goals of zero accident rate, zero rework rate and 100% pass rate.

Keywords: steel structures; large span; building information modeling(BIM);

0 引言

2020 年，“十四五”规划强调要优化市政公用设施布局和功能，提高文化、体育等相关资源供给品质，打造现代时尚的消费新模式，进而提升城市生活质量^[1]，因此一批兼具使用功能和美感的公共建筑蓬勃发展起来。住房和城乡建设部等 7 部委联合印发的关于绿色建筑创建行动的相关文件，大力倡导发展以钢结构为主要代表的装配式建筑，并倡导新建公共建筑在原则上应用钢结构，钢结构因自重较小、抗震性能优越、适用于大跨度结构且节省空间等显著优点而广泛应用于公共建筑的结构设计^[2]。然而钢结构施工本身具有杆件多、节点多、大型机械配合度高、吊装精度不易控制等特点，面对激烈的市场竞争，常有施工企业采用降低质量或成本的方式缩短工期^[3]，这都会使得作业人员的安全和工程质量无法得到充分保障。

BIM 技术作为一种数字化的建筑设计和管理系统，早在刚进入 21 世纪时，便不断发展并逐渐成为建筑设计和施工领域的主流工具^[4-6]。其具有的三维可视化、模拟分析、协同工作等特性能有效解决大型钢结构因工况、施工技术复杂、专业协同难度大等问题^[7-9]。因此，为了实现钢结构工程绿色智慧高效施工的目标，本文以具有多层大跨特点的石河子市会议中心为例，采用 BIM 技术进行钢结构深化设计，对采用分段、分区施工方式的钢结构工程进行施工模拟，明确 BIM 技术应用对多层大跨钢结构的应用效果，可为类似公共建筑钢结构项目施工和质量管理提供一定的可行性参考。

1 工程概况

第八师石河子市会展中心项目位于石河子市天南新区，项目总建筑面积 11 万 m²，包含展览中心（2 个标准展厅和 1 个多功能展厅）、会议中心和室外展场及配套功能设施等，为一个综合性的大型会展建筑。建筑整体形态呈 L 形布局，会议中心与标准展厅及多功能展厅通过公共大厅相连，通过设置抗震缝将标准展厅、多功能展厅、入口大厅和会议中心分为独立抗震单元，如图 1 所示。

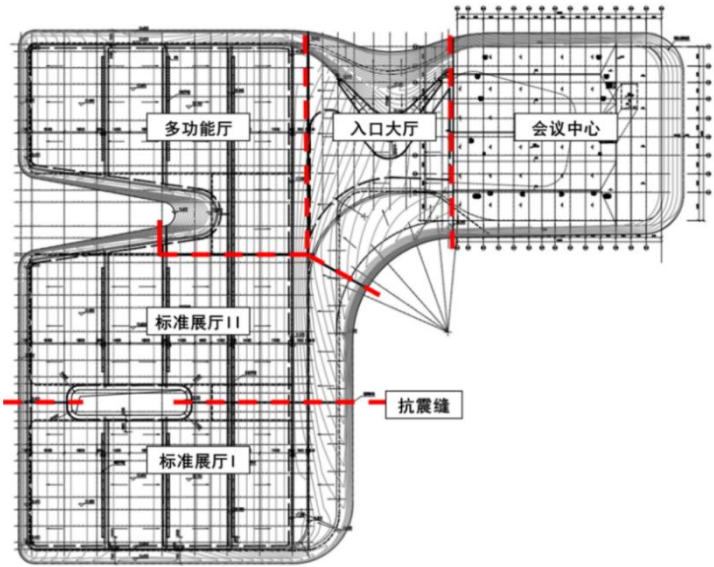


图 1 会展中心项目总体布局

Fig.1 General layout of the convention and exhibition center project

其中，标准展厅、入口大厅钢结构部分为倒三角空间管桁架结构，多功能展厅为空间钢网架结构，相关施工技术成熟。而考虑到建筑造型及功能布置的需要，会议中心底部设置为钢骨柱-钢梁结构，屋盖部分为桁架板结构。其平面尺寸约为 $14\text{m}\times 94\text{m}$ ，总高度 23.5m ，地下局部1层，地上3层，会议中心如图2所示。由于其高度高且跨度大，对安装质量提出了更高要求。

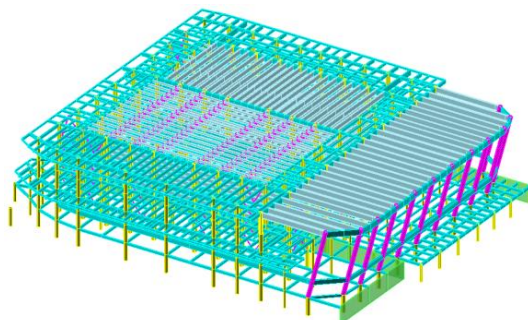


图2 会议中心示意

Fig.2 The convention centre

2 会议中心钢结构施工重难点

1)钢构件数量大、种类众多，且不同构件尺寸差异较大，在进行生产加工时会导致材料浪费。

2)钢结构节点复杂，对设计质量、设计精度提出更高要求，实际安装易造成由于节点设计不合理导致的施工困难、工期延长情况。

3)施工场地狭小，对塔式起重机和随车起重运输车的回转半径有较大限制，而钢结构体量大、质量大，需进行钢结构合理施工组织设计。

4)会议中心主体框架部分形态为波浪形，施工复杂，对施工精度和稳定性提出更高要求，需在施工阶段明确各构件吊装顺序以减少安装不当造成的质量缺陷和工期延误。

鉴于上述特性，再加上钢结构与土建结构施工流程相互关联，施工现场情况更复杂，因此，结合现场实际施工条件，本项目拟采用 BIM 技术在施工前期进行钢结构深化设计，在施工中进行关键工艺施工模拟，整体实现项目绿色智慧高效施工的目标。

3 BIM 技术在钢结构深化设计中的应用

传统设计图纸主要基于二维（2D）视图进行表达，对于钢结构这类构件类型多、节点复杂的结构形式来说难以直观展示建筑结构和细部构造。而基于 BIM 的深化设计则将二维（2D）数据信息转换为三维（3D）实体化模型，能直观地对建筑初步设计方案进行进一步细化，减少返工，提高设计精度。对于钢结构来说，BIM 技术进行深化设计一般采用 Tekla Structure（Tekla）软件，本项目中钢结构具体深化内容为钢骨柱-钢梁构件生产深化设计和节点深化设计。

3.1 钢构件生产深化设计

在应用 Tekla 软件对会议中心进行钢结构深化设计时，首先根据施工图纸提供的节点坐标与钢构件形式建立钢结构三维空间轴线模型，建立模型时主要

借助报表转换类工具将 CAD 中的节点和单元信息转换为 Excel 数据，再将所有数据批量导入 Tekla。用户可精确设定每个部件的几何尺寸、材料规格、横截面、节点类型、材质等信息。

会议中心框架结构部分钢构件截面尺寸如表 1 所示，从表中可看出，会议中心钢结构工程中涉及大量不同规格尺寸的钢构件，不同钢构件实际生产中往往因尺寸不同，传统的钢材生产采用人工排料方式往往会造成大量材料浪费，不符合现行绿色施工要求。而采用 Tekla 软件后，能对构件进行自动化排料，它能精确计算每个构件所需的材料尺寸和数量，通过将不同钢构件由智能算法排布在 1 张板材或长钢材上，使得材料利用率最大化。

Tekla 软件深化设计界面如图 3 所示，可看出，界面设计具有直观性和易用性，具有清晰的层次结构，非常适于施工人员操作。

部分钢构件的深化设计如表 2 所示，每个长钢材给出了一种人工常规设计方案和一种深化设计方案。从中可看出，采用深化设计后，钢材的利用率分别从 72.72%，57.63%提升至 93.03%，95.18%，深化设计的钢材利用率>90%。

同时，Tekla 软件还能将生成的钢构件深化设计表直接导入数控机床（见图 4），大大缩短加工制作时间，极大地提高工作效率。

表 1 会议中心部分钢构件截面尺寸

Table 1 Section size of some steel members in the conference center

编号	截面类型	$h_x \times b_x \times t_{wx} \times t_t / \text{mm}$	钢材材质
GKL1	工字型	1 400×400×25×30	Q355C
GKL2	工字型	1 650×450×30×35	Q355C
GKL3	工字型	1 850×450×35×40	Q355C
GKL3a	工字型	(1 850~900) ×450×35×40	Q355C
GKL4	工字型	900×400×20×30	Q355C
GKL5	工字型	800×400×20×25	Q355C
GL1	工字型	1 400×400×25×30	Q355C
GL2	工字型	1 650×450×25×30	Q355C
GL3	工字型	400×200×12×16	Q355C
GL4	工字型	900×400×20×30	Q355C
GL5	工字型	600×300×12×16	Q355C
GL6	工字型	800×400×20×25	Q355C
GL7	工字型	1 850×450×30×35	Q355C
GL8	工字型	900×400×20×30	Q355C
GL2a	圆型	1 700×450×30×35	Q355C
XZ1	圆型	1 500×50	Q355C

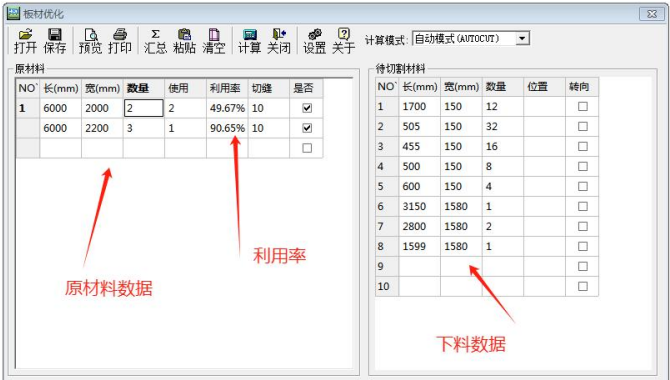


图 3 深化设计界面

Fig.3 Detailed design interface

表 2 部分钢构件深化设计
Table 2 Detailed design of some steel members

编号	方案类型	基础钢材 $l \times b$ /mm	设计方案 $l \times b \times \text{数量}$ /mm	利用率 /%
S-1	人工设计	6 000×2 000	1 599×1 580×1, 2 800×1 580×1, 500×150×2, 505×150×8, 1 700×150×4	72.72
	深化设计		2 800×1 580×1, 3 150×1 580×1, 455×150×13, 505×150×7, 600×150×1, 1 700×150×1	93.03
S-2	人工设计	6 000×1 580	455×150×12, 1 700×150×12, 500×150×8, 505×150×13	57.63
	深化设计		455×150×4, 600×150×4, 500×150×19, 1 599×1 580×1, 2 800×1 580×1	95.18



a



b

图 4 深化设计结合数控机床

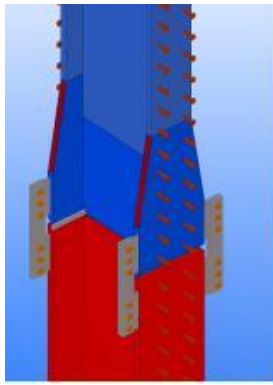
Fig.4 Detailed design combined with CNC machine tools

3.2 钢结构节点深化设计

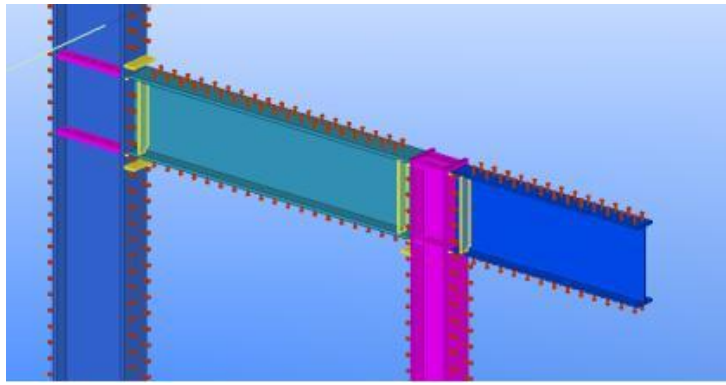
钢结构节点深化设计是指设计人员将读取到的图纸信息采用 Tekla 软件等建模软件构建成三维模型，直观地对关键节点进行详细精确审查，形成合理优化的施工方案，降低现场施工难度，提高施工速度与准确度。

由于施工场地及施工条件限制，会议中心的钢结构采用分区、分段吊装施工工艺，在施工现场会对钢柱和钢梁进行分段处理，因此，本项目钢结构施工中涉及的节点主要有柱-柱拼接节点、梁-梁拼接节点和梁-柱节点。

本项目采用 Tekla 软件优化的柱-柱拼接节点和梁-柱节点如图 5 所示，可看出，优化后的节点布局和连接方式更合理，优化后并无碰撞发生。同时，深化设计也考虑到施工实际情况和现场条件，节点设计更便于施工，减少了不必要的材料浪费，缩短了施工工期，体现了高效施工特点。



(a) 柱—柱节点



(b) 梁—柱节点

图 5 深化设计节点

Fig.5 Detailed design nodes

4 BIM 技术在钢结构施工模拟中的应用

钢结构施工过程中最重要的就是质量和进度双重控制，以保证项目在规定的时间周期内安全高质量完成。由于场地和建筑形式限制，会议中心在实际施工过程中存在钢结构跨度大、质量大、建筑结构复杂和施工场地狭小等问题。若仍按传统经验施工做法，极易出现安全和质量问题，延误工期。因此，针对会议中心这类多层钢结构建筑，经过综合研判，确定采用分区、分段吊装施工工艺。同时，由于钢构件众多且安装精度要求较高，因此在实际施工前先进行 BIM 技术施工模拟，确定分区吊装的吊装机具、施工分区和吊装施工工艺，以模拟指导实际施工，保证项目顺利完成。

4.1 施工分区和吊装机具确定

本项目采用分区、分段的钢结构吊装方法，首先通过 BIM 技术建立会议中心及其周边场地的三维模型，结合对施工现场道路及环境排查情况，通过施工模拟，最终确定了会议中心施工分区（见图 6），解决了因施工现场场地狭小导致施工困难的问题。

具体施工顺序为首先采用汽车式起重机进行劲性钢骨结构安装，再配合土建结构主体施工完成混凝土结构浇筑，随后完成钢梁拼接。安装采用与构件大小匹配的汽车式起重机进入场内进行分区吊装施工。因施工现场条件限制，首先施工 1 区钢梁，钢梁施工完毕后进行预留地下室顶板合龙，同时进行钢梁上部楼层板安装及混凝土浇筑。根据现场条件及工期要求 2~4 区同时施工。钢骨柱安装 1 个区域、钢结构梁施工分为 4 个区域。

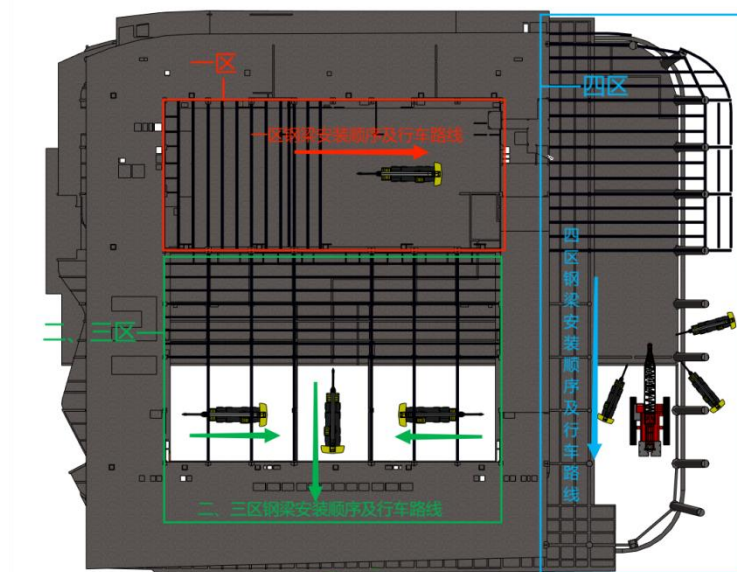


图 6 会议中心施工分区

Fig.6 Construction partition of the conference center

在吊装机具选择方面，项目钢结构主要有钢骨柱、钢梁和钢桁架，由于施工场地限制，在会议中心内部并未架设塔式起重机，对于钢构件均采用汽车式起重机进行吊装。其中，钢柱分为 3 段（见图 7），长度分别为 6.35，10.44，11.43m。分段长度原则为楼层结构标高 1.500m 处为拼接位置，施工标高最高点为 23.500m。钢梁由于运输原因分 2 段运输至现场拼装，分别为 17.7，11.05m；施工标高 23.500m。

考虑到项目构件的吊装分段质量要求和经济性要求，通过 BIM 进行施工模拟后，确定在 1 区 ± 0.000 以上钢结构施工，拟采用 2 台 80t 汽车式起重机共同进行吊装；2，3 区 ± 0.000 以上钢结构施工，拟采用 1 台 260t、1 台 25t 汽车式起重机共同配合进行吊装；4 区 ± 0.000 以上钢结构施工，拟采用 2 台 130t、1 台 25t 汽车式起重机共同配合进行吊装。机具准备情况如表 3 所示。

表 3 起吊设备

Table 3 Lifting equipments

序号	名称	规格与型号/t	数量/台
1	汽车式起重机	25	4
2	汽车式起重机	80	2
3	汽车式起重机	130	2
4	汽车式起重机	260	2

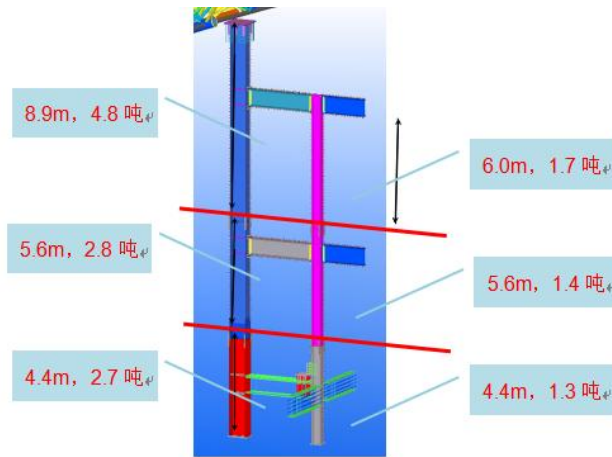


图 7 钢管柱分段

Fig.7 Segmentation of steel pipe column

4.2 钢结构吊装施工模拟

4.2.1 钢柱吊装

钢柱主要有十字形钢骨柱、工字形钢管柱和圆钢管柱，其中十字形钢骨柱和工字形钢管柱的钢结构施工，拟采用 2 台 25t 汽车式起重机进行安装，圆钢管柱拟采用 2 台 130t 起重机组配合安装，钢柱分布如图 8 所示。

钢柱具体安装过程如下。

1)设置吊点。依据每段钢柱质量，预备各种规格钢丝绳和卡环，同时准备倒链、缆风绳、工具箱、榔头和扳手等施工工具。

2)起重点设定。采取钢柱顶部的连接板来做起重点，并在深化设计过程中，增大连接板顶部一个螺钉孔尺寸，以此来做起重。

3)对钢柱定位修正：①对柱脚钢骨顶部标高调整。当对柱脚钢骨顶部标高进行测定后，如发现柱顶标高存在误差，通过调节钢柱底部的螺栓来修改柱脚钢骨顶部标高。②柱脚钢骨垂直性调整。当钢柱安装并进行标高校正后，利用经纬仪进行垂直性检测。③在对钢柱的轴向、高程及水平性进行调整后，需对柱脚底部的地脚螺栓及调节螺栓进行紧固，然后在此基础上，对调节螺母进行焊接并固定，最终用缆风绳进行牢固固定。④钢柱安装中，使用焊接的临时连接耳板连接上下节，并在现场使用临时连接板进行铰接。

4)坡口清理。钢构件起钩约 1.2m 时，在地面清除本节钢柱粘着的渣土和浮锈，以保证后续焊接施工质量。

5)临时连接固定。在钢柱被吊起后，使用连接耳板进行钢柱暂时稳定。待所有测量和校准工作都已做好后，将连接耳板切除。

6)实测修正。施工人员在使用钢质楼梯时，不允许攀登螺钉。在攀爬楼梯时，必须将安全带系在防坠绳上，直到到达楼顶后再将安全带转移到连接耳板上。

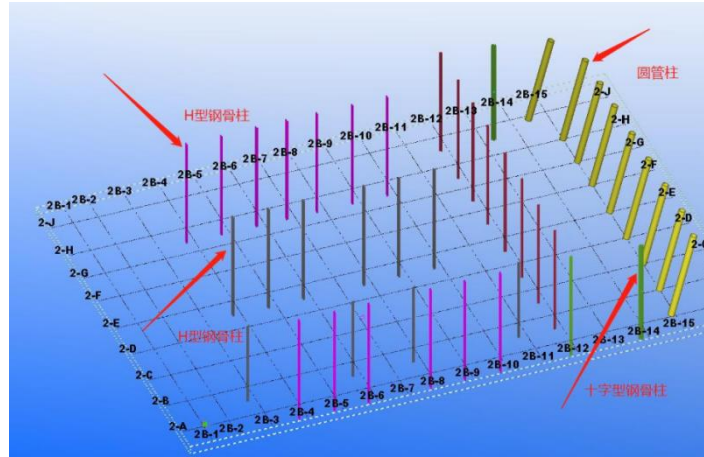


图 8 钢柱分布

Fig.8 Distribution of steel columns

4.2.2 钢梁、钢桁架安装

安装钢梁按主梁优先、次梁次之的顺序进行。在处理大型、重型钢构件时，选择使用焊接吊耳完成吊装。在钢梁安装完毕后，根据施工图进行复查定位，使用冲钉将梁的两端孔对齐，接着用螺栓进行紧固，使用的螺钉数目必须达到其全部螺钉的 30%，并且至少需 3 颗。钢梁安装分为 3 个区域，具体安装步骤如下。

1)1 区为 3 层钢梁安装：先安装 1 层钢梁并同时安装此钢梁上平面外支撑杆件，再安装 2 层钢梁和此钢梁平面外杆件，最后安装第 3 层钢梁及平面外支撑杆件，如图 9 所示，待上、下 3 根钢梁安装完毕后起重机后移动到下个 3 根钢梁最佳吊装点，以此类推完成此区域吊装工作。

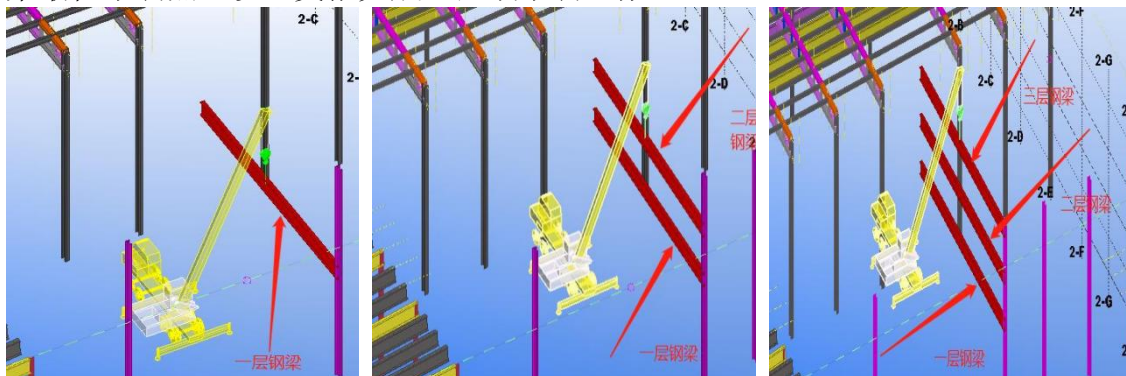


图 9 钢梁分层安装示意

Fig.9 Layered installation of steel beams

2)2 区和 3 区部分：①2 区为钢桁架结构、3 层为 H 型钢夹层，因 3 区安装区域为无地下室结构，2 区为一半有人防结构、一半无人防结构，所以安装 2 区时起重机必须设在 3 区位置，因此该部分安装顺序为 2 区钢桁架安装完毕后方可安装 3 区钢结构夹层，首先安装第 1 榀桁架，待第 1 榀安装就位后，起重机不撤钩情况下，利用 1 台 25t 汽车式起重机将次梁与钢桁架及预埋件进行局部连接，以保证第 1 榀桁架平面外稳定性，在保证桁架平面外稳定性后方可撤离桁架起重机，以此类推，安装第 2 榀桁架，直到安装完毕。

5 实施效果

会议中心钢结构吊装施工如图 10 所示。在进行会议中心钢结构施工时，施工前期采用 BIM 深化设计使得生产钢构件的钢材利用率由 50%提升至>90%，进行钢结构节点深化设计以检查碰撞、进行节点设计优化，极大地降低了节点安装难度。

在进行钢结构施工时，采用 BIM 技术进行施工模拟，明确了分段、分区安装施工方式，通过钢构件采用合适类型的汽车式起重机进行分段吊装的施工工艺，解决了因施工场地狭小而导致的施工困难窘境。同时，基于 BIM 技术明确了钢柱、钢梁具体吊装步骤。最后项目严格按 BIM 模拟施工顺序进行，过程中对关键工序进行重点控制。经检测，会议中心钢结构安装过程中精度控制符合钢结构验收质量规范，所有框架柱和梁等均整齐排列，验收均一次性通过。项目完成后，缩短工期约 30%，节约材料约 20%，整体施工过程实现 0 事故率、0 返工率和 100%合格率目标。BIM 技术的应用实现了绿色智慧高效施工的效果。

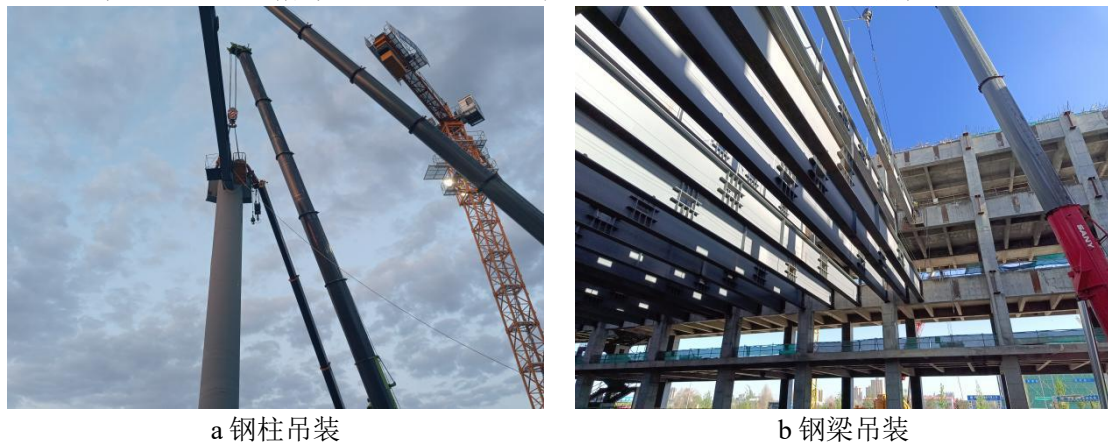


图 10 会议中心钢结构吊装施工

Fig.10 Steel structure hoisting construction of the conference center

6 结语

将 BIM 技术引入多层大跨钢结构施工中，在施工前，通过 BIM 深化设计，可实现节约材料、减少返工的有益效果。在施工过程中采用 BIM 技术进行施工模拟，能明确具体施工顺序，减少现场施工错误产生，极大程度保证了施工现场人员、机具、设备的安全运行和钢结构安装精确度。实际案例表明，BIM 技术应用到多层大跨钢结构可行，在缩短施工工期的同时，能有效提高施工质量，更好地保障施工安全性。

参考文献：

[1] 张鑫鑫,郑向远.科技创新引领钢结构建筑绿色发展[J].建筑结构,2021,51(S1):1468-1473.

ZHANG X X, ZHENG X Y. Technological innovation leads green development of steel structure buildings [J]. Building structure, 2021, 51(S1): 1468-1473.

[2] 国务院关于钢铁行业化解过剩产能实现脱困发展的意见[J].环境经济,2016(Z2):57.

Opinions of the State Council on the iron and steel industry to resolve excess capacity to achieve development out of poverty[J]. Environmental economy, 2016(Z2): 57.

[3] 刘俊.智慧工地背景下交通数据检测信息化建设研究[J].居舍,2021(7):166-167.

LIU J. Research on the informationization construction of traffic data detection under the background of smart construction sites [J]. Dwelling, 2021(7): 166-167

[4] 马山玉.钢结构深化设计软件 Tekla Structure 应用综述 [J]. 山西建筑,2010,36(6):56-57.

MA S Y. Overview of Tekla Structure application in steel structure deepening design software [J]. Shanxi architecture, 2010, 36(6): 56-57.

[5] 张亚鹏,郭彦明,高文巧.基于 BIM 技术的钢结构深化设计应用研究[J].粉煤灰综合利用,2020,34(6):21-25.

ZHANG Y P, GUO Y M, GAO W Q. Application research on deepening design of steel structures based on BIM technology [J]. Fly ash comprehensive utilization, 2020,34(6): 21-25.

[6] 张文杰.钢结构深化设计注意事项分析[J].大众标准化,2022(14):95-97.

ZHANG W J. Analysis of precautions for detailed design of steel structures [J]. Popular standardization, 2022(14): 95-97.

[7] 张迎春.基于 BIM 的 4D 施工模拟技术在钢结构施工中的应用研究[J].钢结构,2018,33(10):136-139,23.

ZHANG Y C. Application of BIM based 4D construction simulation technology in steel structure construction [J]. Steel construction, 2018, 33(10): 136-139,23.

[8] 富顺.BIM 技术在钢骨混凝土结构深化设计与施工中的应用[J].内蒙古科技与经济,2020(16):110-111,114.

FU S.Application of BIM technology in detailed design and construction of steel reinforced concrete structures [J]. Inner Mongolia science technology & economy, 2020(16): 110-111,114.

[9] 蒋绮琛,吕彦雷.BIM 技术在上海国际航空服务中心钢结构项目中的应用分析 [J].钢结构,2015,30(12):51-53,40.

JIANG Q C, LÜ Y L. Application analysis of BIM technology in the steel structure project of Shanghai International Aviation Service Center [J]. Steel construction, 2015, 30(12): 51-53,40.