

钢结构工程全生命周期管理平台在高铁站房工程中的研究与应用

曹少卫¹ 严心军¹ 董无穷² 鲍大鑫¹

(1. 中铁建工集团有限公司建筑工程研究院,北京 100070;
2. 中铁建工集团有限公司北京分公司,北京 100070)

【摘要】目前,我国大中型城市都陆续建设出了不少具有地方特色、造型优美、复合交通的高铁站房,成为了城市地标性建筑。钢结构因为具有自重较轻、强度高、抗震性能好、工业化程度高、施工方便、造型设计自如等众多优点,被大量地运用在高铁站房的建设当中。但是,因为高铁站房钢结构工程的结构十分复杂,施工环境相对复杂,施工难度大,传统建设下各个阶段信息相对独立,缺乏可追溯性,整体信息化运用水平还相对较低。本文通过对高铁站房钢结构工程建设进行分析,充分运用 BIM 技术、云技术,打通了数据传递链条,实现钢结构从设计、深化设计、预制加工、物流运输、现场安装、结构交验的信息无缝传递,做到了钢结构构件及焊缝级别的可追溯性,提升了管理沟通效率,加快了施工工期,形成了钢结构 BIM 全生命周期智能建造新模式,丰富了高铁站房钢结构工程管理模式。

【关键词】 高铁; 站房; 钢结构; BIM; 全生命周期

【中图分类号】 TU17 **【文献标识码】** A

【版权声明】文集数据被中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录,被本刊录用并在中国知网网络首发正式出版,严禁侵权转载。

引言

随着我国经济社会的高速发展,我国大中型城市都陆续建设出了不少具有地方特色、造型优美、复合交通的高铁站房,成为了城市地标性建筑,如北京至张家口铁路清河站站房工程、北京至雄安新区城际铁路雄安站站房工程。两者基于钢结构工程,塑造极具文化特色的建筑造型,展现了古典大气的中国式美。

钢结构因为具有自重较轻、强度高、抗震性能好、工业化程度高、施工方便、造型设计自如等众多优点,被大量地运用在高铁站房的建设当中,钢结构分部工程从施工体量方面占据了工程的举足轻重的位置。

在钢结构工程的建造历程中,不断吸纳信息化、智能化、绿色化的技术及成果,基于 BIM 技术、

智能制造系统、智能机器人、构件编码追溯系统等技术,逐步实现了智能数字化钢构加工生产,推动钢结构工程成为了智能化建造领域的代名词。

而要实现钢结构工程的智能化生产管理,就需要对钢结构工程从设计阶段开始、直到结构交验阶段展开全面而深入的研究。建筑工程研究院自 2018 年起开始钢结构全生命周期的研究与应用,经过多个大型站房的实际应用,联合钢结构厂商深入技术交流,建筑工程研究院在钢结构深化设计、原材控制、预制加工、构件及焊缝编码体系建立、安装、构件追溯等方面已经具备了较好的基础和条件,力争实现全生命周期的管理。

1 工程概况

北京铁路枢纽丰台站改建工程推广应用。该工程站房建筑总面积约 40 万 m²,车站设计规模为

【作者简介】 曹少卫(1973-),男,院长,正高级工程师,硕士生导师,主要研究方向:BIM 参数化设计、基于 BIM 技术的智慧城市研究。

17 站台 32 线,是我国首座采用双层立体车场的大型客站(如图 1 所示)。



图 1 北京铁路枢纽丰台站改建工程

中央站房主体及东西站房均采用框架结构体系,框架柱均为田字形或口形钢管混凝土柱,西站房及中央站房框架梁采用劲性钢骨混凝土梁,东站房楼层框架梁采用焊接箱型或 H 型钢梁。屋盖钢结构分为高速场屋盖和中央站房进站厅屋盖两部分,结构采用钢桁架加十字形钢柱体系。进展厅屋盖南北向主桁架最大跨度 41.5m,东西向主次桁架跨度 20m,中央站房南北两侧悬挑 16.2m。

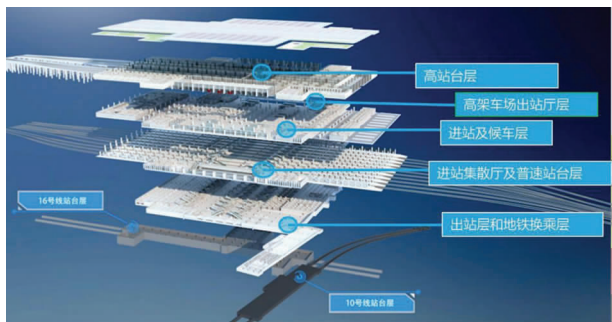


图 2 北京铁路枢纽丰台站改建工程竖向构造图

中央站房主体采用钢筋砼框剪结构 + 防屈曲支撑、矩形钢管砼 + 钢梁 + 防屈曲支撑,以及矩形钢管砼 + 型钢 + 钢筋砼梁结构形式。进站厅屋盖及高速雨棚采用十字形钢管混凝土柱 + 钢箱梁或钢桁架结构。钢结构轴网宽度方向柱间距东西向 20.5m,南北向 21.5m,框架梁大量采用劲性钢骨混凝土梁,以及局部采用钢骨混凝土梁,钢结构工程量约 20 万 t。

2 全生命周期总体方案策划

本文依托于“北京铁路枢纽丰台站改建工程”项目,对钢结构工程实体进行分析编码,形成钢结

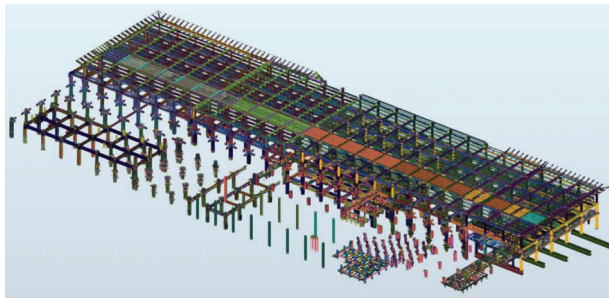


图 3 中央站房主体钢结构框架

构构件编码、钢结构构件焊缝编码体系,使得每个构件都有独立的编码,作为唯一的身份标识参与到从构件设计到验收全过程管理;通过对高铁站房钢结构工程建设进行分析,开展钢结构全生命周期 6S 管理平台研究,实现设计、深化设计、预制加工、物流运输、现场安装、竣工交验的信息无缝传递^[1],以及钢结构构件级别的可追溯性,提升了项目精细化管理水平,实现钢结构 BIM 全生命周期智能建造新模式。



图 4 钢结构全生命周期管理平台

编码管理是钢结构管理的核心,也是追溯构件及焊缝信息的基础,构件编码必须唯一,才能有助于实现钢结构全生命周期管理平台对钢结构构件级别的管理。根据高铁站房的特点,构件编码由五部分组成,各部分用“-”连接,部分字段可以为空。“分区”是指区域划分;“定位”是指对楼层及屋面区域进一步细分;“分段”是指在对“钢柱”分节后,进一步细分段;“构件类型”是指钢结构实体进行划分,如“钢柱”、“钢梁”、“钢楼梯”、“屋面桁架”等;“分节”或“顺序号”是指对某种类型的钢构件的一种划分方式,分节对应于钢柱;“流水号”是指某种构件类型的构件具有多个相同或类似构件,需要增加流水号加以区别。

表 1 钢结构构件编码示例

序号	构件类型	构件编码	详细说明
1	地脚锚栓	6M - MJ - 1	中央站房 2 - 3 区 1 号地脚锚栓
2	地脚锚栓	6M - MJ - 2 - 1	中央站房 2 - 3 区 2 号地脚锚栓第 1 件
3	预埋件	6M - TYMJ - 1 - 1	中央站房 2 - 3 区楼梯预埋件 1 号第 1 件
4	预埋件	6M - L2 - LYMJ - 2 - 1	中央站房 2 - 3 区地上二层钢梁预埋件 2 号第 1 件
5	预埋件	6M - ZYMJ - 2 - 1	中央站房 2 - 3 区钢柱预埋件 2 号第 1 件
6	预埋件	6M - ZYMJ - 3	中央站房 2 - 3 区钢柱预埋件 3 号
7	钢柱	6M - U - 18 - 1	中央站房 2 - 3 区 U 轴交 18 轴线一节柱
8	钢柱	6M - U - 17 - a - 1	中央站房 2 - 3 区 U 轴交 17 轴线一节柱 a 段
9	钢柱	6M - U - 17 - b - 1	中央站房 2 - 3 区 U 轴交 17 轴线一节柱 b 段
10	钢柱	6M - GZ - 1	中央站房 2 - 3 区一节柱 (未在轴线交叉处)
11	钢梁	6M - L1 - GKL - a - 1	中央站房 2 - 3 区地上一层框架梁 a - 1
12	钢梁	1E - L1 - GKL - a - 1 - 1	东站房 6 - 1 区地上一层框架梁 a - 1 第 1 件
13	钢梁	4M - L1 - GKL - a - 1 - 1	中央站房 2 - 1 区地上一层框架梁 a - 1 第 1 件
14	钢梁	1E - L1 - GL - 1 - 1	东站房 6 - 1 区地上一层次梁 1 第 1 件
15	钢梁	1E - L1 - XC - 1 - 1	东站房 6 - 1 区地上一层支撑 1 第 1 件
16	钢楼梯	5M - GTL - 1 - 1 - 1	中央站房 2 - 2 区 1 号钢楼梯梁第 1 节第 1 件

3 钢结构全生命周期 6S 管理

钢结构全生命周期管理(以下简称 6S 管理)包括:设计阶段、深化设计阶段、预制加工阶段、物流运输阶段、现场安装阶段、竣工交验阶段^[2]。

各阶段的模型构件以不同颜色区分,在平台上能总体显示钢结构的总体进度情况,当前构件的详细信息,以及 6S 阶段信息,平台共建设 8 个模块,覆盖钢结构从设计、加工到现场安装等 6 个阶段 16 个环节管理,无缝拓展至运维阶段,降低管理成本,提高管理效率^[3]。

3.1 设计阶段

设计阶段,主要管理内容有图纸管理、图纸会审以及设计变更管理。为方便用户快速查找和使用图纸,建立图纸管理系统对图纸进行有效的组织管理^[4],并自动对同一存储节点下相同名称图纸进行版本管理,且支持用户对最新版本的图纸文件自动打包、压缩包下载,实现便捷的图纸标准化资源

共享。

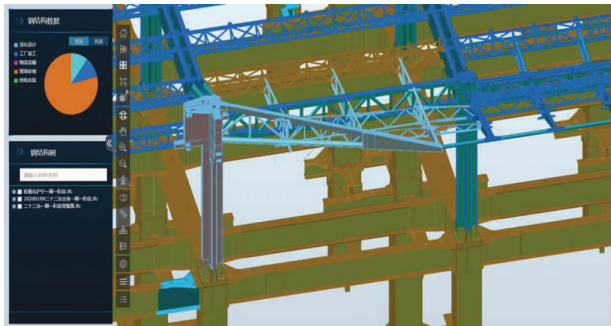


图 6 设计阶段模型

为保证施工阶段 BIM 应用工作顺利开展,在设计阶段就对设计 BIM 模型、成果进行审核,由施工总包组织设计院、监理单位、BIM 顾问等相关方联合审核,在平台中形成审核记录^[5],并搭建一套以变更为核心的管理模块,从变更信息至设计变更各流程,通过对变更信息的综合管控,让变更的每一个环节都可控、可回溯。

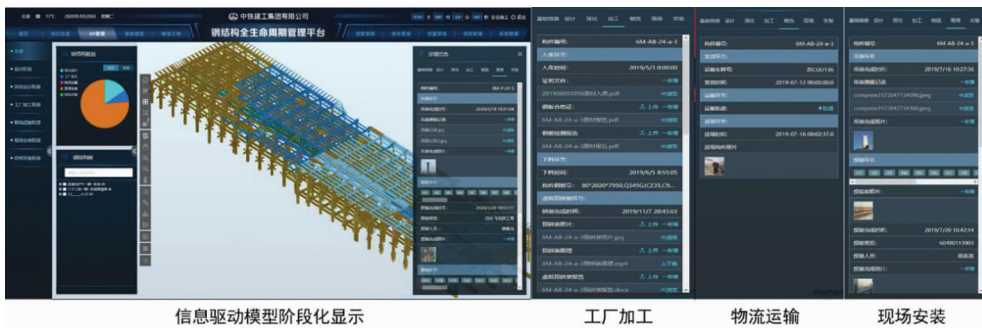


图 5 6S 管理阶段

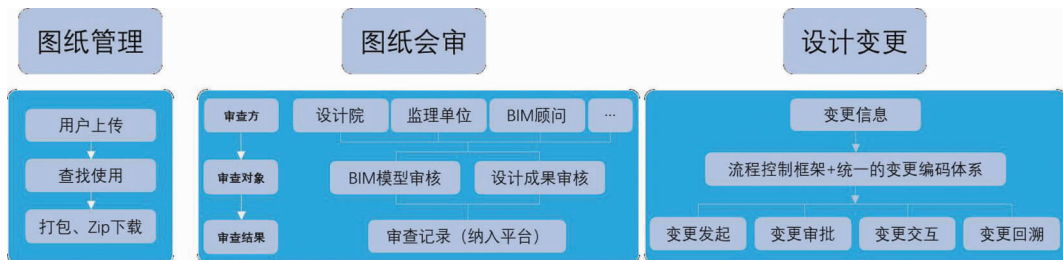


图 7 6S 管理阶段

3.2 深化设计阶段

深化设计阶段建立在深化设计工作的基础之上,主要包含深化模型建立环节和图纸确认环节^[6]。

平台记录深化模型构件的详细深化成果及其完成时间,完成对深化成果的认证,并发布为管理工作的基础数据,并且单独将每一个构件的高精度模型与 GIS/BIM 场景中构件通过构件编号进行挂接,实现了具体构件的高精度模型在线查看及操作浏览。

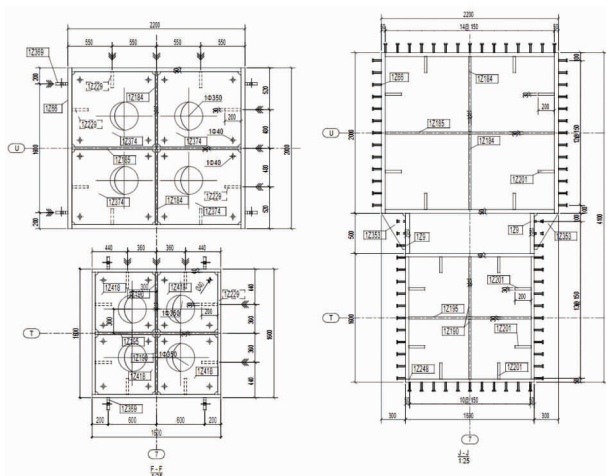


图 9 钢柱节点深化图纸

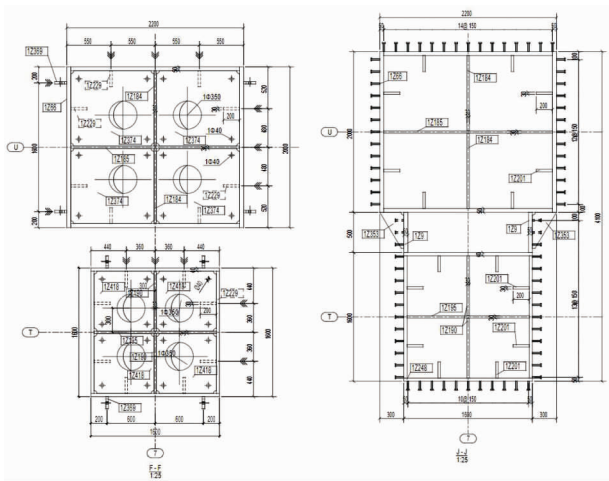


图 8 深化设计阶段

图纸确认环节,由施工总包组织设计院、监理单位、BIM 顾问等相关方联合对深化成果的图纸进行审核,并对深化图纸签认。

3.3 预制加工阶段

预制加工阶段中,通过与钢结构工厂建立战略合作,制定数据交换标准,根据设定的频次或由平台主动发出指令之后,工厂生产管理系统通过数据库接口及协议向平台传输数据,平台能够访问钢结构工厂生产管理系统数据库,获取运原材料进场、加工等信息,实现全过程可追溯。



图 10 预制加工阶段的数据追溯

在预制加工阶段,界面中显示整个项目钢结构构件的整体信息,整体信息包括智能下料、智能切割、智能焊接等。智能下料能够显示当前工程钢结构构件生产数量、耗材数量,当前下料利用率是多少;智能切割则突出显示经过智能切割设备切割后的构件,构件绑定智能设备切割本构件的照片;构件智能焊接栏绑定智能设备焊接本构件的过程照片。

预制加工阶段进一步细分为:原材入库环节、下料切割环节、虚拟预拼装环节、交验环节。选中单个钢结构构件后,自动显示选中钢结构构件的数据到当前最新环节。

原材的入库环节展示当前构件的钢板合格证

以及钢板检测报告、入库时间。

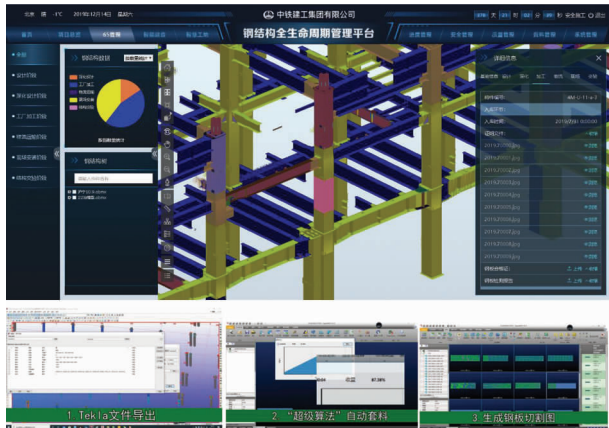


图 11 预制加工阶段构件信息



图 12 预制加工阶段详细信息
(及钢板合格证、钢板检测报告)

下料切割环节展示当前构件的下料切割设计,包括图纸以及切割视频,以及实际下料切割完成时间。



图 13 钢结构构件下料切割

虚拟预拼装环节:为保证钢结构拼装的正确性、降低返工率^[7],实行虚拟预拼装,虚拟预拼装的主要形式为加工实体构件的三维扫描模型和设计模型比对、工厂虚拟预拼装,并对过程留存影响资料作为过程资料。

交验环节展示当前构件出厂合格证、构件粘贴

二维码的照片、验收时间。

3.4 物流运输阶段

物流运输阶段是指钢结构构件已经处于装车运输阶段。6S 管理中实行全过程跟踪,主要体现在运输过程中的车辆状态和运输过程记录,包括过程影像资料、运输材料和工具信息以及材料验收记录。并且通过在运输车辆搭载定位装置,平台还能实时获取到车辆位置信息,以及车辆运输的轨迹。

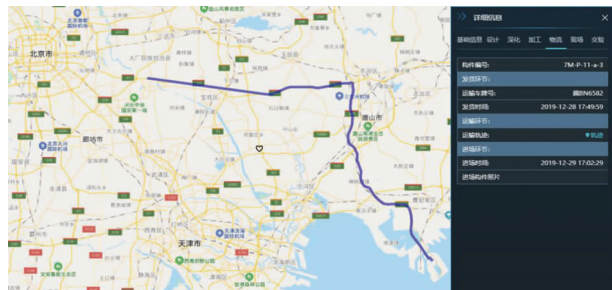


图 14 构件运输 GPS 追踪

当构件处于已进场状态时,由施工技术人员对构件进行进场验收,在验收过程中,记录验收的照片和视频。

3.5 现场安装阶段

现场安装阶段,是记录和管理钢结构工程现场安装作业的重要阶段,6S 管理平台在该阶段中,显示整个项目现场安装阶段钢结构构件的整体信息,主要体现在智能预拼装、智能焊机、焊缝监控、安全管理以及质量管理等方面。

3.5.1 智能预拼装

在钢结构工程现场拼装前,可以通过 6S 管理平台获取到相应的钢结构节点拼装资料,作为钢结构构件合格的取证,并为现场拼装作业提供专业的拼装指导。选中构件,可以查看到在预制加工阶段上传的关键构件虚拟预拼装的三维扫描视频和照片素材,并且界面上有该构件实体与设计模型的色差图结果,以及两个相邻构件的预拼装结果,使拼装工作有技术依据支撑。

构件实体与设计模型的色差分析结果是经过严格的检测流程进行评定的。该项工作主要通过现场扫描仪扫描构件形成点云文件,继而通过与 Tekla 钢构件模型进行软件对比分析,最后形成报告结果。

3.5.2 智能焊机

智能焊接全部纳入平台管理之中,并通过不同

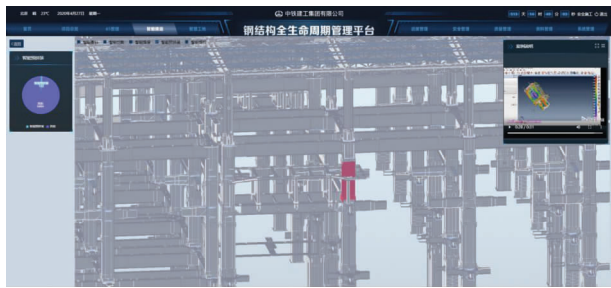


图 15 钢结构节点拼装资料



图 19 智能焊机设备监控模块

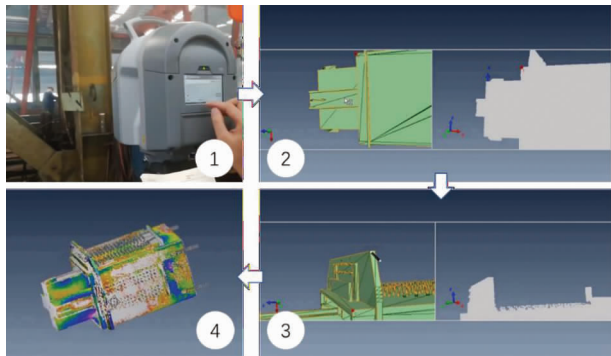


图 16 色差分析过程影像记录



图 20 智能焊机焊接场景

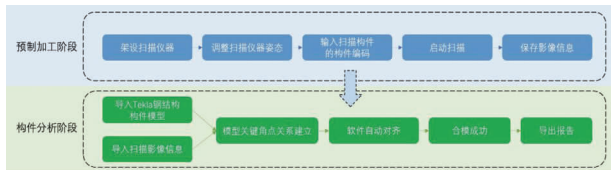


图 17 色差分析流程

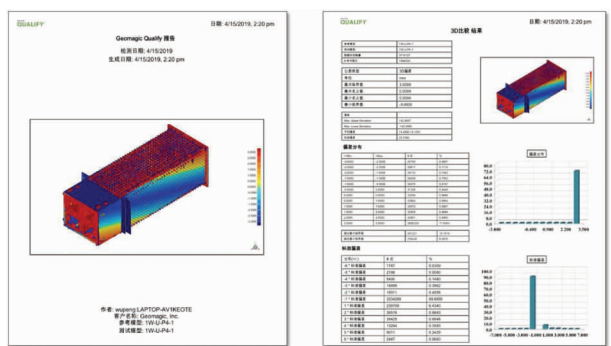


图 18 色谱分析报告

3.5.3 焊缝监控

平台的焊缝监控模块,对钢结构现场焊接环节收集的数据进行汇总分析,并设置预定的预警提醒,当到达触发条件时,平台自动发出预警信息,通知相应人员执行具体动作。例如,焊缝管理中,一些焊缝班组的合格率在一个时间段低于设置的阈值,平台发出预警,将收集的数据通过图表形式多维度展示出来。



图 21 平台焊缝管理数据展示

的颜色标识焊机的状态:灰色表示未用状态,绿色表示正常状态,黄色则表示报警、故障状态。平台上可查看当前工作焊机的设定参数、实时电流以及电压值。对于有焊机中报警提示的项,通过查看具体报警情况而对设备进行有针对性的维修,极大地增长焊机的使用寿命,且保证了焊机的使用率^[8]。

检测通过超声波探伤仪器进行焊缝的质量分析,并将每道焊缝的检测过程照片、检测人员和检测结果形成记录进行上传,构件出厂时也将附带检测过程资料和检测报告,使得每一个出厂的钢结构构件焊接都有质量保证,并且资料真实且具有可追溯性。

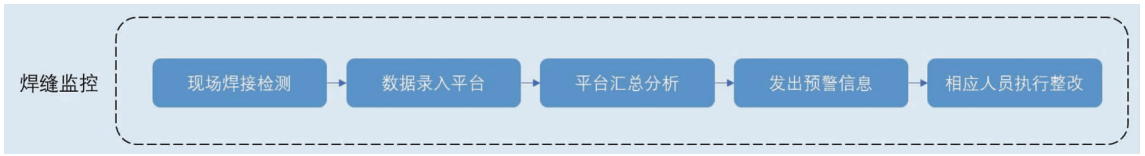


图 22 焊缝监控平台

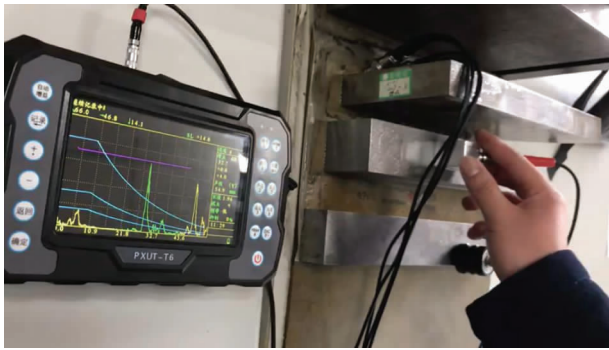


图 23 钢结构构件探伤检测

查与验收信息等。在选中的构件上录入或批量录入技术交底、施工工艺视频、焊接工艺评定、质量验收等资料。查看近期下发的质量管理相关资料。



图 25 安全管理

3.5.4 安全管理

随着高铁站房钢结构工程建设规模的不断扩大,施工难易程度以及施工危险性都相对增多^[9],施工面积较为集中,机械设备和材料的转运频率高,人员流动性大,管理系统将钢结构工程的安全管理进行平台化,实时盯控施工安全要点,严守安全技术交底,在“安全管理”模块中显示钢结构整体安全状况,首界面展示安全技术交底份数、安全问题分类饼状图、近期下发的安全管理相关资料,对高发频发问题实施预警并红色展示。



图 26 质量管理

3.5.5 质量管理

平台会展示钢结构整体质量状况,如技术交底份数、施工工艺视频总数、焊接工艺评定总数;质量问题分类饼状图,对高发频发问题实施预警并红色展示。

每一个单独构件自动绑定质量资料,查看选中构件的技术交底、施工工艺、焊接工艺评定、质量检

3.6 健康监测

丰台站全生命周期管理在研发期,基于无线传感网络技术,制定了在钢结构领域的健康监测应用计划,并投入开发应用。根据项目特点及监测方式划分为人工监测、自动监测及联合监测,实现了对设备的实时数据监测,达到监控钢结构生产质量的



图 24 焊缝检测流程

目的。



图 27 监测方式

3.6.1 焊接健康监测

为规范和监控钢结构焊接质量问题,在工艺管理中,以联合监测的方式,设置焊接规范设计、焊接规范分配、焊接规范下发、焊接履历报表及焊接波形查询等管理模块,其中焊接波形查询为焊机设备的工作状态进行健康监测,通过监测焊机设备的焊接电流、焊接电压,根据电流及电压的波形确定焊缝质量及设备运行状态。



图 28 焊接过程

平台与设备间通过物联网技术实现了作业班组、设备 ID、焊接时间记录、焊接规范符合率、焊接电流及电压的均值和波形等数据的实时监测^[10]。



图 29 设备电流电压监测

3.6.2 钢结构安装健康监测

为规范和监控钢结构构件生产质量问题,在预制加工工序中,以联合监测的方式,确定各阶段的三维扫描方案,并根据扫描方案的范围,实行钢结构构件的三维扫描,并通过软件对扫描模型及 Tekla 标准模型进行比对分析,实现钢构件质量的监测。



图 30 钢构件现场扫描

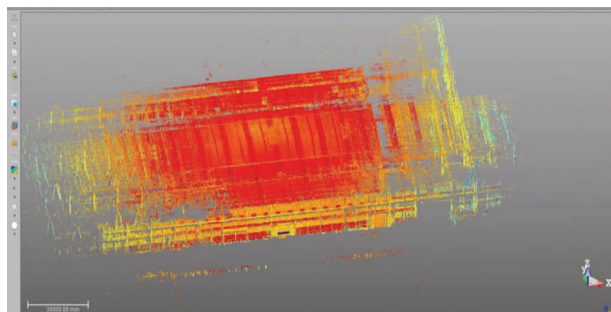


图 31 钢构件扫描监测结果

4 结论

丰台站全生命周期管理开启了钢结构管理的新方式,克服了传统钢结构工程施工管理过程中信息传递缺失、可追溯性差以及工期紧任务重的管理困难。从设计、深化设计、工厂加工、物流运输、现场安装、结构交验实现了完整统一的信息化管理,与土建、机电、内外装修、幕墙等专业密切配合。严格有序把控、记录每道施工工序,实现施工各方线上协作管理。并且随着国家 5G 技术的快速部署和全面应用,云处理技术、大数据分析技术、人工智能技术等新基建的应用,模型轻量化会进一步优化、便捷,数据传输速度大大加快,全生命周期管理模式在钢结构信息化管理方面将体现出越发明显的优势,钢结构全生命管理必将有广阔前景,必将促进钢结构工程更加机械化、工业化、绿色化、智能化,值得大力推广。

钢结构的全生命周期管理平台还集 BIM 技术、GIS 技术、智能设备、二维码技术、IOT 技术以及云计算等技术于一身,并且依托加工基地的智能全光网及设备间的多种通讯技术,达到智能建造的目的,实现了包含智能套料、智能切割、智能焊接、智

能预拼装、智能焊机等一系列智能施工应用,以及施工中视频、环境、塔吊、基坑、大体积混凝土和人员等监控监测生态管理,是融合施工先进技术的综合型应用。

参考文献

[1] 武思进,池志超.工业管道安装工厂化预制技术的应用[J].安装,2014(9):36-38.
 [2] 丰永章,曹云宝. BIM技术在装配式钢结构建筑中的应用研究[J]. 建筑工程技术与设计,2017(31):269.
 [3] 曹少卫. BIM技术在工程施工全生命周期的应用[J]. 建筑施工,2014(9):1100-1101.
 [4] 姜波. 机电安装工程施工进度控制研究[D]. 北京:北京化工大学,2017.

[5] 穆好新. BIM技术对工程监理的影响分析及对策研究[J]. 山西建筑,2018(25):200-201.
 [6] 邱翔. 基于Cloud-BIM的工程建造协同管理研究[D]. 山东:烟台大学,2019.
 [7] 刘刚明. 浅谈钢结构工程管理工作心得[J]. 城市建设理论研究(电子版),2011(19):1-4.
 [8] 袁建国,胡煌辉. 焊机负载持续率单片微机监控的试验研究[J]. 电焊机,2001(3):43-44,46.
 [9] 王红祥. 钢结构施工安全技术管理[J]. 建筑与装饰,2017(2):134-135.
 [10] 孟凡明,邱磊. 基于低高速交替式数据采集的船舶自动焊焊接实时监测录入系统研究[J]. 船海工程,2014(6):178-181.

Research and Application of Steel Structure Engineering Full Life-Cycle Management Platform in High-Speed Railway Station House Engineering

Cao ShaoWei¹, Yan Xinjun¹, Dong Wuqiong², Bao Daxin¹

- (1. *Research Institute of Architectural Engineering of China Railway Construction Engineering Group, Beijing 100070, China;*
 2. *Beijing Branch of China Railway Construction Engineering Group, Beijing 100070, China*)

Abstract: At present, many high-speed railway stations with local characteristics, beautiful shapes and complex traffic have been built in large and medium-sized cities in China, which have become urban landmarks. Steel structure has been widely used in the construction of high-speed railway station because of its many advantages, such as light weight, high strength, good seismic performance, high degree of industrialization, convenient construction and free modeling design. However, due to the complex structure of the steel structure project of the high-speed railway station, the construction environment is relatively complex, and the construction difficulty is large. Under the traditional construction, the information in each stage is relatively independent, lacking traceability, and the overall informatization application level is relatively low. This article through to the station of high-speed steel structure engineering construction was analyzed, and the full use of BIM technology, cloud technology, through the data transmission chain, from design, deepening design, prefabricated steel structure processing, logistics, transportation, installation, structure produce a seamless transfer of information, traceability of steel structure components and weld levels, improved management communication efficiency, accelerated construction period, formed a new mode of intelligent construction of steel structure BIM full life cycle, and enriched steel structure engineering of high-speed railway station Management mode.

Key Words: High-Speed Railway; Station; Steel Structure; BIM; Full Life-cycle