

城市轨道交通冷水机房 BIM+模块化装配式施工技术研究

邱 俊¹ 严 顺² 陈 晶³

1.中铁八局集团电务工程有限公司 四川成都 611731;

2.四川中睦科技有限公司 四川成都 630081; 3.中铁八局集团电务工程有限公司 四川成都 611731

摘 要: 新基建涉七大领域,其中“城际高速铁路和轨道交通”赫然在列。按目前项目进展情况,部分城市工期进度紧张,土建工作面移交滞后时往往给站后机电装修施工增加了难度,尤其是轨道交通车站环控机房、冷水机房施工空间有限,管线错综复杂的区域更是决定车站是否顺利调试的致命节点。目前轨道交通车站机房施工按照常规现场安装的思路,加派人手在有限空间内安装效率低,工期太长。与现场安装法相比,车站环控、冷水机房 BIM+模块化施工法具有高效快速、风险更小的特点,整体性拼装减少现场管线碰撞,减少现场焊接拼装造成的施工环境污染,有利保障工期节点等。

关键词: BIM 技术; 装配式机房; 模块化施工;

Research on BIM+Modular Assembled Construction Technology of Urban Rail Transit Chiller Room

Qiu Jun Yan Shun ChenJing

1.China Railway No.8 Engineering Group Electric Engineering Co., Ltd.

Chengdu, Sichuan 611731; 2.SiChuan ZhongQi Technology Co., Ltd. Chengdu, Sichuan 630081;

3.China Railway No.8 Engineering Group Electric Engineering Co., Ltd.Chengdu, Sichuan 611731

Abstract: The new infrastructure involves seven major areas, including "intercity high-speed railway and rail transit". According to the current progress of the project, the construction period in some cities is tight, and the delay in the handover of the civil work face often adds difficulties to the electromechanical decoration construction behind the station. In particular, the construction space of the environmental control room and the water cooling room of the rail transit station is limited, and the area with complex pipelines is the fatal node to determine whether the station is successfully commissioned. At present, the machine room construction of rail transit station is based on the idea of conventional on-site installation, and the installation efficiency is low and the construction period is too long. Compared with the on-site installation method, the station environmental control and BIM+modular construction method of the chiller room are characterized by high efficiency, speed and less risk. The integrated assembly reduces the on-site pipeline collision, reduces the construction environment pollution caused by on-site welding and assembly, and is conducive to ensuring the construction period nodes.

Key word: BIM technology; Assembled machine room; Modular construction;

一、前言

随着社会经济的快速发展,在国家政策的推动下,我国城市轨道交通取得了巨大发展。国内地铁车站冷水机房主要是由冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔、水处理设备、分集水器、管道、阀门、电线电缆等设备和材料组装而成。在常规技术中,环控机房、冷水机房采用现场分段拼装的模式进行施工,先进行设备安装,再进行主要管道一段段安装,最后进行碰头管及末端仪器仪表、保温等的施工。该施工做法虽能满足现场施工,但施工效率较低、管线排布不够合理、工期较长、施工质量卡控难度更大。

随着环境压力的与日俱增,国家出台的“十四五”节能减排综合工作方案,都对能耗大户提出了明确要求,针对以上情况,尝试研究采用城市轨道交通模块化装配式机房施工要点,从而节约能耗,提高安装效率。本文从模块设计、机房 BIM 深化、装配式模块化生产、现场安装等多个方面进行分析探讨。

二、工程概况

杭州至海宁城际铁路皮革城站为地下两层岛式车站,总建筑面积 15957.00 m²,其中主体建筑面积 10304.00 m²,附属面积约为 4653.00 m²。该站环控机房、冷水机房位于车站站厅层,其面积合计 515.64 m²,该站主体结构于 2019 年 10 月 15 日正式移交,由于

机房土建附属结构由皮革城物业开发代建,附属区域于 2020 年 8 月 30 日移交,土建移交时间较晚,施工工序无法更好衔接。

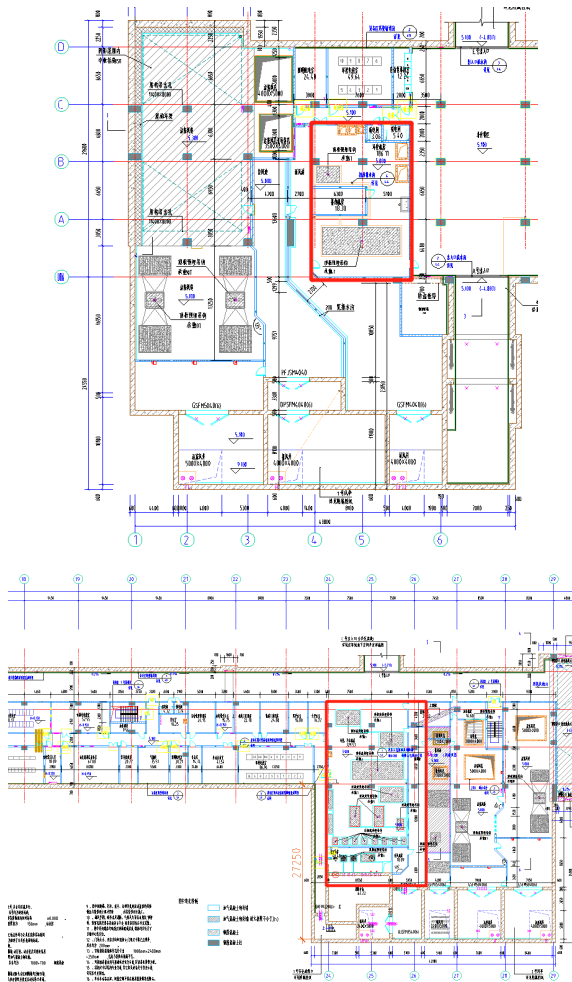


图 1 机房平面图

三、模块化装配式机房施工要点

(一) 技术特点

1.模块化装配式施工,根据各主要设备进行最优选型匹配,将各设备及配套管道在工厂焊接预制形成单个系统,再将单个系统回路组件连接组成每个单元模块,整体机房分为冷水机组模块、冷冻水泵模块、分集水器等 5 个单元模块。并将组装好的 5 个单元模块运输至车站现场进行安装,能有效保证质量和工期。

2.采用 BIM 模型深化设计,对整个空调机房、冷水机房的土建结构、机电安装各系统管线设备通过 BIM 技术在建模软件的帮助下建立三维模型生产各单元模块生产平面图,将各单元模块加工制作一体化均在加工厂完成,焊接工艺出厂前旁站盯控,焊接质量高,安装空间不受限制,组装精度高。

3.加工厂预制安装,减少现场各专业间的交叉作业,避免了脚手架搭设高处作业,避免了狭小空间管道及支架焊接、施工现场

动火作业带来的施工安全风险,安全性高。

4.模块化施工并不是对其构成设备进行简单的供给和组装,而是运用系统集成技术,详细理解设计院的技术要求,充分考虑到冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵等设备的运行性能对设备的型号和参数进行最佳选择型匹配,从而使整个系统运行达到整体性能最优,能耗减少。

(二) 工艺原理

1.模块设计原理

通过对地铁站大小结合设计图纸对环控机房、冷水机房进行参数化设计、模型设计、整体机房位置设计等使机房运行效率更高。利用 BIM 模型将整个机房合理划分为 5 个板块,即为装配式施工的 5 个单元模块,将分配好的机房设备及管道模块在加工厂内预制组装完成,待车站结构及工作面移交完成后通过风亭风道吊装运输至机房内对机房各个模块逐一进行就位、模块位置调整、拼装连接、模块固定、收口形成整体机房。

2.施工工艺原理

根据深化图纸在地铁车站结构板上完成设备及各模块的基础制作,将加工厂内预制组装完成的模块编号排序,按照从内到外的顺序现场逐一进行就位安装,将两单元模块间利用镀锌螺栓连接法兰盘进行拼装连接,最终使 5 个单元模块形成一个整体即为机房管道、设备安装完成,再进行后续保温及保护层施工。

(三) 工艺流程及操作要点

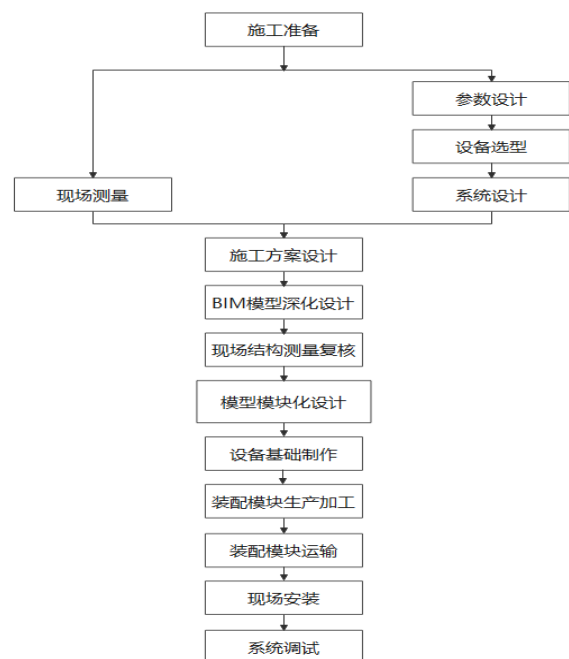


图 2 模块化装配式机房施工工艺流程图

1.参数设计

结合施工图纸，根据车站面积和车站房间的需求计算车站整体的冷气量，皮革城站整体的环控机房、冷水机房以高效节能控制系统为核心，进行各主要设备的最佳选择型匹配。

工厂预制装配、模块输送、现场组装的系统产品。车站的主要内容是冷水单元、冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔、空调末端、冷冻站节能控制系统、水处理器、定压排气补水装置、频率转换器、集分水器、管道（所有冷却水管和机械室内冷冻水管等）阀门（机械室内各种阀门和冷却水部分沿路阀、防护门阀等）、机房范围内的基础和悬挂等附件、压差传感器、温度传感器、流量传感器、功率传感器等的供给、二次深化设计、内部配电、控制和调试等。

本站各空调系统的冷负荷见下表：

表 1 各空调系统的冷负荷数据表

系统	大系统			小系统				合计
	站厅层	站台层	通道	A1 系统	B1 系统	B2 系统	B3 系统	
冷量 (kW)	301	219	95.3	32.5	71	178.2	201.9	1107

冷水机房内设两台螺杆式冷水机组（LS-01/02），单机制冷量580kW。对应设置冷冻水泵、冷却泵、冷却塔各两台，冷却塔选用超低噪声方形横流式冷却塔，满足城市噪声控制标准。车站大、小系统冷冻水供/回水温度为 9/16℃，冷却水供/回水温度为 37/32℃。单台冷冻水泵及冷却水泵的流量分别为 75m³/h 和 120m³/h，单台冷却塔的水流量为 150m³/h。车站空调水系统采用一次泵变流量系统，水泵都采用频率转换泵，管道采用异程式配置。车站两端的大系统共用供水管，车站两端的小系统共用供水管，各供水路分别由集水器连接。分、集水器间设压差旁通装置，空调设备末端设动态平衡电动调节阀，出入口、连通道等公共区域风机盘管回水总管采用动态平衡电动调节阀统一控制。

2.系统设计站的环控制-冷源系统的构成主要在传统的冷冻站基础上增加钢结构的基础、电动阀、差压发射器、温度发射器、电力发射器、流量发射器和节能控制系统等，其核心部件是节能控制系统。

环控-冷源系统是使用系统集成技术将冷水机组等各个组成设

备模块化分割，并采用三维参数化设计技术实现模块化、标准化设计，通过节能控制系统控制冷冻站内所有设备协同工作，达到冷冻站整体性能最优的效果。循环控制-冷水机室运转系统原理图所示。

3.施工方案设计在初步设计的基础上，深入了解设计院的技术要求，充分考虑到冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵等设备的运行性能，对设备型号和参数进行最适合的模具匹配。

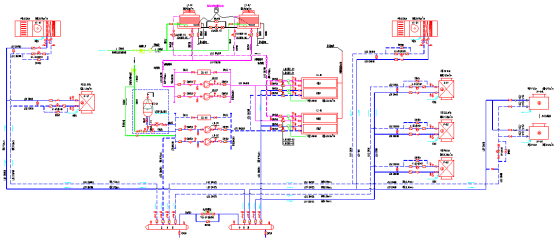


图 3 环控制-冷水机房运行系统原理图

实现了系统整体性能最好，从而确定了环控-冷源系统的最佳设备配置方案，其组成部件和附属设备主要包括冷水单元、空调循环水泵、高效节能控制系统、冷却塔、水处理器、定压补水装置以及相关集成组管、钢结构安装平台、管支架、潜水员、阀、压差传感器、温度传感器、流量传感器等附件。

按照整体机房的布置，优化管道路径减少能源损耗，充分将设备的型号和参数最大化的原则来进行方案的设计，见冷源系统施工方案整体设计如下图：

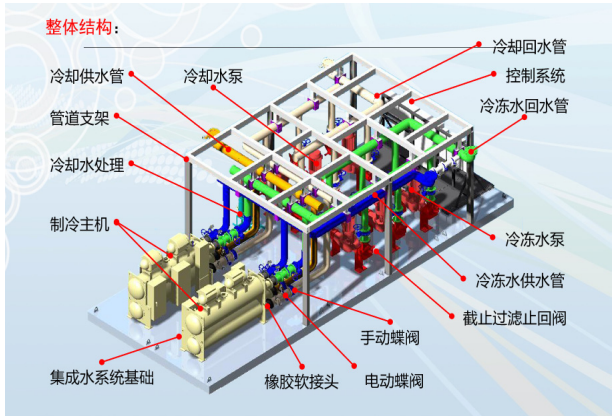


图 4 冷源系统施工方案设计图

4.BIM 模型深化设计通过设计院设计的基础上采用 Autodesk Revit 软件进行二次优化设计，根据设计蓝图进行三维建模，环控制机房、冷水机房的建筑、结构、机械电气用三维模型的方式直观地表现了。

将不同系统管线设置成不同颜色,凸显出不同系统管线的走向。通过将设计蓝图翻模,可以实现三维图纸审查,检查了冷水机房管线排布的层次是否合理,分析交汇处的管线走法,优化排布空间,使冷水机房整体布局达到最优。实现环控机房-冷水机房流体阻力与冷量损失最小;同时对系统重新进行水力计算,优化系统管网的水力平衡,确定系统所必须的循环压力及系统各部分的管径,从而优化设备参数以提高冷冻站运行效率。三维模型深化设计图如下:

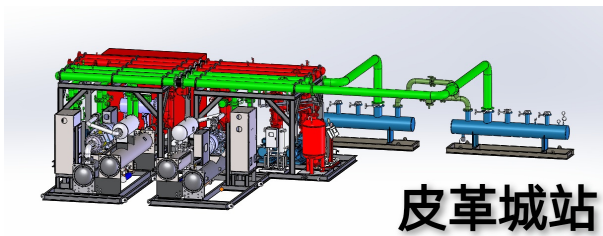


图5 模型深化设计图

通过运行软件的碰撞检测功能发现管线彼此间的碰撞,对碰撞节点进行整理记录,以综合管线“软让硬、小让大、弱让强、有压让无压”的布置原则,对各专业管线位置进行合理调整,不断消除各专业管道之间的冲突,优化管道配置。同时,在机械和电气各专业管线的深化过程中充分考虑各方面的需求,充分考虑阀门的打开方向、设备的检查门的打开空间、阀门和管道部件的贴图位置、各管线的固定方式、设备配电的主桥和吊挂形式、包括机房内照明器具的配置等。使整个冷源系统整体结构紧凑、简洁、合理,根据主要设备的实际外型尺寸及设计院制冷机房平面图等相关资料,对环控机房、冷水机房的设备和管道布局进行了平面布局优化设计。原设计图与优化图对比如下:

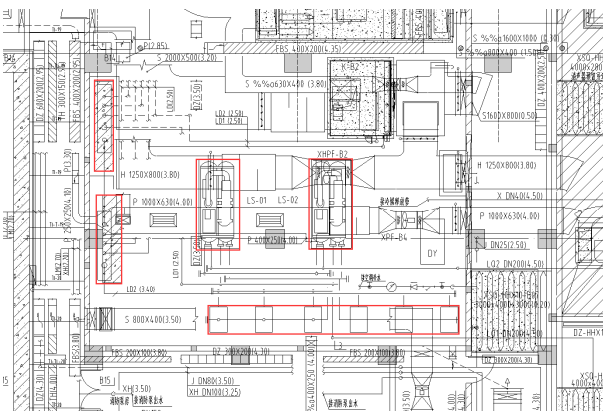


图6 原设计平面图

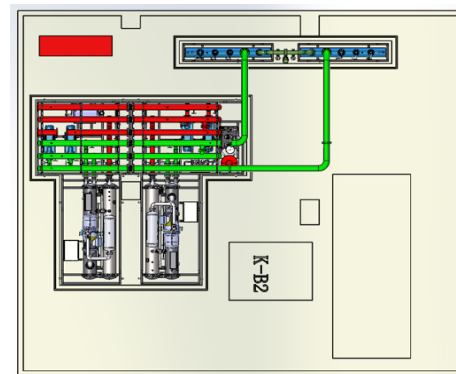


图7 模型平面深化设计图

5.现场复核基础制作

为了顺利完成管道的装配,避免设备安装位置出现偏差,对现场结构进行测量复核。这一步的主要目的是为了更精准无误的进行装配化施工,现场结构与模型误差一定要控制在 5mm 以内。本项目采用传统的测量方式,测量主要包括实际的预留孔位置尺寸、壁间距、纯高、梁尺寸、柱尺寸、柱间距、设备基础尺寸等,将测量结果反映到 BIM 模型中,通过微调 BIM 模型,使模型尺寸与现场的实际结构基本一致。

按照植筋—钢筋绑扎—基础关模—预埋件固定—钢筋及预埋件验收—浇筑前润湿—混凝土浇筑—模板拆除—基础养护工序制作设备基础。基础表面应平整压光,平整度偏差 $< \pm 2\text{mm}$,基础强度满足设计要求。

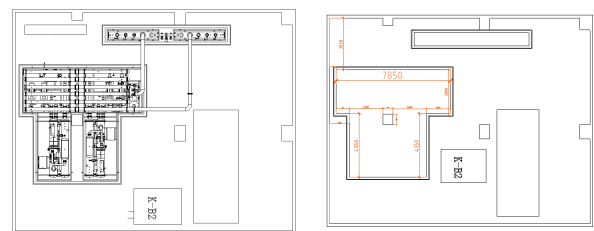


图8 设备基础平面布置图

6.装配模块生产加工

结合装配式模块二维生产平面图,对各个零散的设备、管道及配件进行模块化组装加工,最终形成各单元模块。

(1) 板材、管道配件下料分配,将生产平面图各单元模块细化分解,形成各部位基础配件,对配件进行集成下料分配,减少材料浪费。将下料好的各基础配件进行真空烘干一体化喷涂,形成喷涂保护膜对基础配件基层保护。

(2) 将下料分配完成后的管道、阀门及配件与设备进行系统焊接,并对焊接质量在拼装时监督盯控,禁止出现漏焊、焊缝不饱满等现象,保证管道、管件焊接的质量,才能更好确保管道密封性及压力强度。

(3) 将各设备及焊接好的管道配件进行组装,功能性设备组装前需对设备功能性进行调试验证,避免设备拼装、组装后功能无法实现导致返工。待各设备功能调试完成后,对各拼装组件进行支架焊接设计及模块组装。

(4) 对组装完成后的各单元模块进行细节处理,完成压力表、流量计等末端配件安装固定,并对成品装配式模块进行防锈处理—打磨、喷涂防锈漆,以及饰面环氧富锌漆面层处理,最终形成各单元成品装配式模块。

(5) 装配模块运输及现场安装

利用 BIM 技术,可对装配模块的装车运输进行模拟分析,充分利用运输车空间,最大限度提升运输效率。由于机房施工空间狭小,装配模块运输至施工现场后,提前根据各装配模块的装配顺序进行合理堆放排序,以皮革城站为例深化后的分、集水器模块位于风亭至机房的最里侧,则优先吊装分、集水器装配式模块,后续依次为冷却水泵装配式模块、冷冻水泵装配式模块、冷水机组装配式模块,确保施工环节“随装随取”,实现物料的高效转运。

利用吊车将装配式模块从地面运输至站内风亭底部,利用导轨、滚杠及手拉葫芦将装配模块缓慢平移至机房,利用钢管、抬杠、千斤顶等工具将模块就位至设备基础上,再将装配模块微调至基础预留位置精确就位,最后将各模块间预留法兰利用螺栓连接形成整体,装配模块安装就位完成。

将就位好的装配模块进行保温层施工,玻璃纤维离心管壳间连接密实,阀门管件位置保温层填充严密后进行保温保护层(铝箔板)及细节收口处理,铝箔板间锚固牢靠,铆钉间距均匀,板材按照功能颜色区分,保证整体美观。

四、车站系统调试与验收

系统部件安装完毕之后即进行设备单机调试和系统调试。

冷源(电动蝶阀/压差旁通阀、冷冻/冷却水泵、冷却塔、冷源

群控柜、冷水机组)单机/单系统调试

电动蝶阀/压差旁通阀:安装和接线完毕→检查设备情况→测线缆绝缘送电→就地启动开关测试→远程控制开关

冷冻/冷却水泵:安装和接线完毕→检查设备情况→测线缆绝缘送电→就地启停测试→转向核对和调整→远程控制启停

冷却塔:安装和接线完毕→检查设备情况→测线缆绝缘送电→就地启停测试→风机转向查看和调整→高低速控制电流是否正常→远程控制启停

冷源群控柜:安装和接线完毕→检查设备情况→测线缆绝缘送电→双电源切换测试→冷源集控柜与 BAS 之间的 MODBUS 通讯线连接→PLC 与触摸屏通信测试→与各设备通讯测试→设备状态以及属性框状态查看→设备单控操作→冷源集中控制柜一键启动开机测试。

五、结论与建议

根据杭海城际铁路皮革城站模块化装配式机房施工安装特点,提出了其施工质量控制的相关措施建议如下:

1.模块化设计精度要求较高

机房整体分为5个模块,主要控制精度在于每个单元模块的加工精度,其次单元模块间连接段对接精度要求极高,建议模块出厂前进行模块间的预拼装。同时需加强模型深化精度和现场复核的精度。

2.节能环保装配化程度高

工厂批量生产,品质有保证,精度高,现场装配化施工减少焊接污染,绿色环保。模块化深化设计,减少现场管线碰撞造成返工,减少人工投入,施工效率提高,实现了机械化、装配化、智能化。整体系统二次优化设计,提高系统运行效率,节约能耗。

参考文献:

- [1]GB50243-2016 通风与空调工程施工质量验收规范[S].中国计划出版社,2016.
- [2]GB50242-2002 建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范,2002.
- [3]GB/T 50299-2018 地下铁道工程施工质量验收标准,2018.