

Research on 91m Ultra Deep Shaft Pipeline and Equipment Installation and Construction Technology in Metro Station

Yongyu Zhang

China Railway Sixth Bureau Group Construction and Installation Engineering Co., Ltd., Beijing, 102200, China

Abstract

With the popularization of public transportation, ground transportation has gradually reached saturation. Underground buildings have good protection performance, better stability and tightness, and comprehensive economic, social and environmental benefits. Underground buildings and underground transportation are increasingly sought after. With the rise and development of underground buildings, the depth of underground buildings is getting deeper and deeper, and the difficulty of construction is getting larger. At present, China's ultra-deep shaft construction technology is still relatively lacking.

Hongtudi station is the second station of Chongqing Rail Transit Line 10 phase I project. The station is located under Chongqing Rail Transit Line 6 and crosses with line 6 vertically. It is the deepest subway station in China. No.3 air shaft is located at the small mileage end of laterite station, with a section size of 6.7 * 18.3m and a height of 91m. It is the deepest shaft in China. The wall surface of No. 3 air shaft is irregular, the installation work is large, and the installation work on the construction site is difficult.

The project department has developed a set of 91m ultra deep shaft pipeline and equipment installation and construction technology by organizing the research and optimization of the construction scheme, employing experts to demonstrate the construction scheme, strengthening the process control, ensuring the construction safety, quality and the construction period.

Keywords

shaft; installation; bracket; Bim

地铁车站 91m 超深竖井管道及设备安装施工技术研究

张永煜

中铁六局集团建筑安装工程有限公司, 中国·北京 102200

摘 要

随着公共交通的普及发展,地上交通逐渐达到饱和状态。地下建筑具有良好的防护性能,较好的稳定性和密闭性,以及综合的经济、社会和环境效益,地下建筑与地下交通越来越受到追捧。随着地下建筑的兴起发展,地下建筑的深度越来越深,施工难度越来越大,目前中国超深竖井施工技术仍较为欠缺。

红土地站为重庆轨道交通十号线一期工程的第2座车站,车站整体位于重庆轨道交通6号线下,与6号线垂直交叉,为中国最深地铁站。3号风井位于红土地站小里程端,其截面尺寸为6.7*18.3m,高度91m,为中国最深竖井。3号风井墙面存在异型,安装工程量大,施工现场安装工程难度大。

项目部通过组织课题攻关,优化施工方案,并且聘请专家论证施工方案,加强过程控制,研发了一套91m超深竖井管道及设备安装施工技术,保证了施工安全与质量,确保了施工工期。

关键词

竖井; 安装; 支架; Bim

1 现有研究条件和基础

目前,随着地铁埋深不断加大,超深竖井越来越普遍,相对应常规机电设备安装施工技术缺陷日益暴露。目前施工技术存在的主要问题是:超深竖井管道对接困难且精准度较低,传统管道支架相对于超深竖井实用性较差,水锤作用对系统伤害较大,超深竖井内部伸缩器安装难度较大。

2 研究方案及技术原理

2.1 施工工艺流程

方案编制→BIM技术模拟施工流程→施工准备→管道支架安装→单根管道安装→管道托架安装→依次安装单根管道→管道托架安装→管道试验→风井底部管道连接→托底支架安装→试验、调试→桥架、线缆安装→平台、吊装架拆除→结构消声器安装→系统验收。

2.2 操作要点

2.2.1 方案编制

前期由项目经理组织专业技术人员讨论分析 91m 竖井安装工程专项方案, 经专家评审并确定竖井安装施工方案并实施。

项目总工牵头, 组织各专业技术人员编制专项施工方案, 采用 MIDAS 建模计算设计, 并应用 BIM 制作工装图; 方案编制完成由项目部评审; 项目部初评完毕报公司审查; 公司审查完成组织专家论证。方案通过后, 严格按照施工方案进行施工。^[1]

2.2.2 BIM 技术模拟施工流程

施工前, 根据设计图纸, 采用 BIM 技术制作车站实体模型。模型制作主要分为三个层次, 建筑、结构模型制作, 设备、管线模型制作, 支架模型制作。91m 超深竖井施工前, 首先制作了竖井内设备、管线模型。

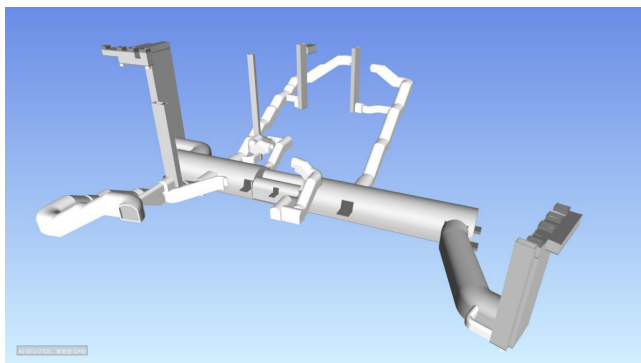


图 1 车站结构模型

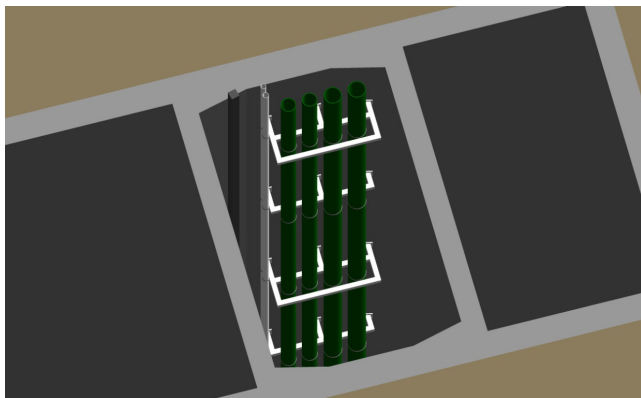


图 2 91m 超深竖井设备、管线模型

模型制作完成, 根据现场实际情况模拟施工流程, 确定危险系数较大的分部分项工程。编制专项施工方案, 采用 BIM 技术模拟施工流程比选最优施工方案。最终确定最优施工流程采用 BIM 技术进行可视化交底, 最终保证了危险系数

较高分部分项工程施工质量。专项施工方案 BIM 施工流程模拟如下:

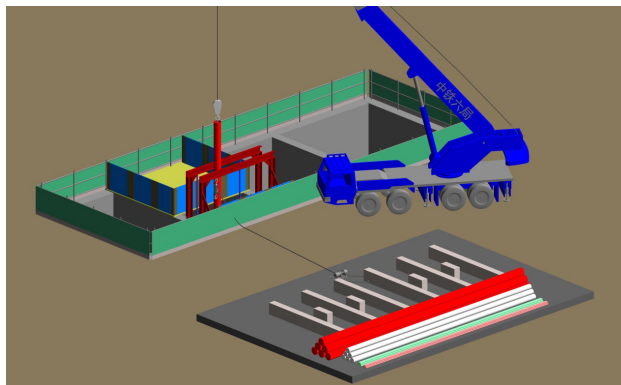


图 3 91m 超深竖井施工现场平面布置图

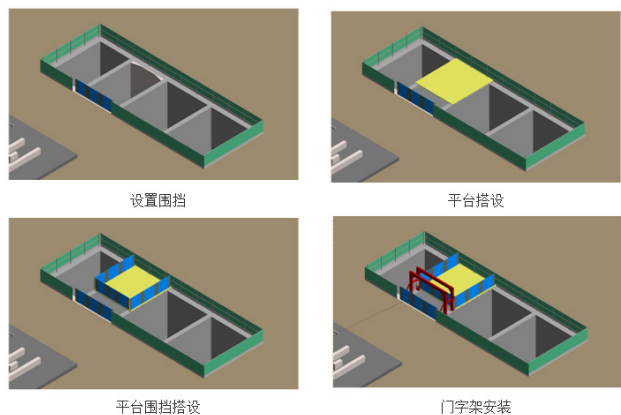


图 4 91m 超深竖井施工平台搭设流程模拟

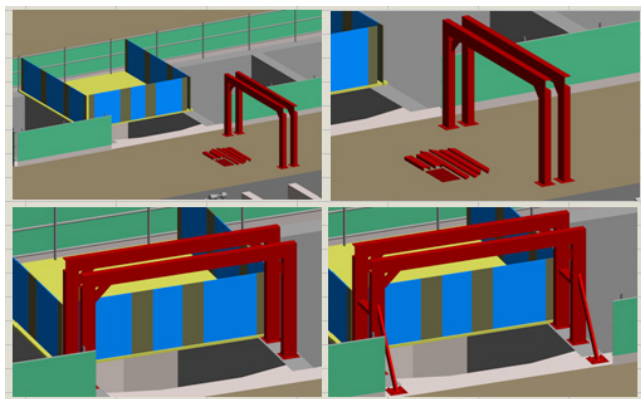


图 5 门字架安装流程模拟

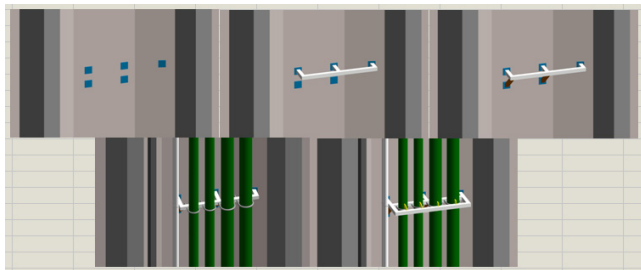
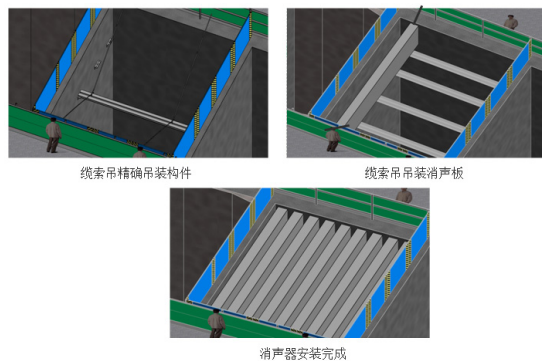
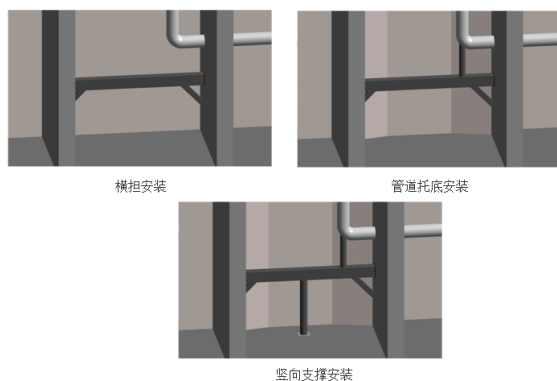
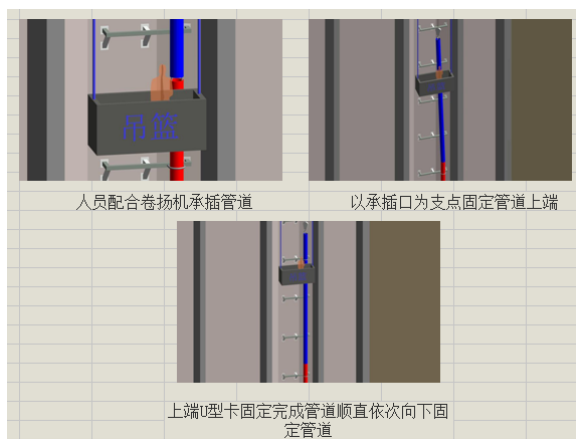
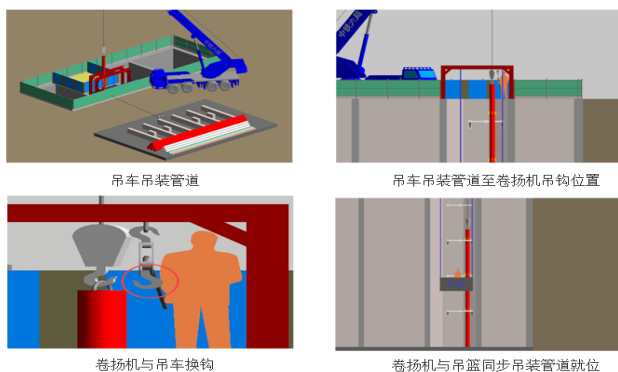


图 6 管道支架安装流程模拟



比选确定最优施工工艺流程,组织人员进行可视化交底,施工现场结合二维码技术形成二维码可视化交底,做到一扫即视的效果。

为保障施工进度，在施工前进行以下准备工作。施工现场准备：施工机械安装、走行平台搭设与临边防护、临时用电准备、施工场地整平、通信系统建立调试；施工人员准备：专项施工方案组织机构建立、施工人员培训、特种作业人员报验；施工材料准备：材料进场取样试验，材料报验，材料保存放置。^[2]

根据竖井尺寸，采用 MIDAS 建模计算（后附计算书三）

人员走行平台可承受 3 人与 100kg 手持工具，禁止放置货物，并设置临边防护。首先，采用脚手架管于竖井四周设置 1.2m 高护栏，且设置密目网防护。风井底部设置围挡，确保风井底部无人进入。于 2 号活塞风井四周设置安全绳，人员由 2 号活塞风井南侧向北侧依次安装槽钢，风井北侧预留 1.5m 吊装架空间。槽钢边净间距为 30cm，槽钢采用膨胀螺丝固定于竖井墙壁，并于槽钢两侧焊接防侧移卡翼。槽钢安装完成，人员铺设 200*50 木板，并于木板上铺设浇筑板，浇筑板与木板采用钉子连接。2 号活塞风井上部设置 1.2m 高角钢护栏，并设置围挡放置坠物。

(2) 施工机械安装

根据现场实际情况设计材料、人员吊装系统与滑轮组。吊装系统主要包括设置于竖井上部的组合吊装架和负责材料运输的卷扬机与负责人员吊装的吊篮组成。主要前期安装工作为组合吊装架安装、卷扬机安装、吊篮安装、滑轮组安装。

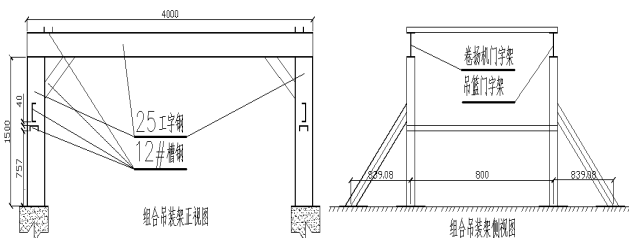


图 12 门字架示意图

组合吊装架安装主要流程为：门字架加工→门字架安装→门字架连接。

支架加工主要包括门字型支架加工与连接件加工。门字架经过 MIDAS 建模计算（后附计算书一、二），采用 25a 工字钢焊接完成。门字架净高 1.5m，净宽 4m。槽钢、工字钢经过手工除锈，采用等离子切割机切割，确保切口平顺。门字架采用工字钢双面双道焊接，焊接完成涂刷两道防锈漆与两道面漆。

门字架安装：根据管道中心设置卷扬机门字架，吊车吊装卷扬机门字架至距 2 号活塞风井边墙 500mm 处，人员于走行平台采用膨胀螺丝固定门字架。根据吊篮架间距，于距离 2 号活塞风井边墙 1500mm 处固定吊篮门字架。

门字架连接：施工人员采用 12# 槽钢由门字架顶部，门字架立柱中部连接卷扬机、吊篮工字钢，采用 12# 槽钢于立柱 2/3 处斜拉门字架。槽钢与工字钢采用双面双道焊接，完成后涂刷防锈漆、面漆。

b. 卷扬机安装

卷扬机安装主要包括：卷扬机固定于卷扬机粒锚保护绳设置。卷扬机固定于冷却塔基础上部，采用 4 条 M12*100mm 膨胀螺丝固定。卷扬机就位后采用记号笔标记标记螺丝眼，固定膨胀螺丝，人员将卷扬机固定于基础。条型基础下部预留孔洞内设置钢丝绳粒锚卷扬机作为安全保护绳，另外一侧于条形基础外部固定钢板粒锚卷扬机。

c. 吊篮安装

吊篮安装主要包括：吊篮组装与吊篮检测。根据风道尺寸，现场选择 2.5m 吊篮。组织具有资质单位进行吊篮安装，首先由专业人员于竖井上部投放吊篮钢丝绳、电缆，且安装吊篮限位；人员进入竖井底部组装吊篮，并将钢丝绳穿过吊篮执行机构；检测机构调试、检测吊篮，并出具吊篮检测证书。

d. 滑轮组安装

管道吊装采用定滑轮组，工字钢上部捆绑安装滑轮吊装管道，墙壁外侧设置固定滑轮保证吊装绳顺直。

(3) 临时用电准备

临时用电准备工作主要包括：临电敷设、临时照明设置、专用配电箱设置、安全管理制度订制。首先由风井底部敷设电缆至风井上部设置一级配电箱与二级配电箱。由二级配电箱设置临时照明专用配电箱，设置特底电压照明器，现场电源电压 36V，由风井上部敷设线缆至风井底部，采用穿刺线夹出线安装安全灯具。由一级箱分别接引卷扬机、吊篮专用 3 级配电箱，实现独立供电。订制现场用电安全管理制度，配电箱内设置安全用电检查表，做到实名制一日三检。

(4) 通信系统建立调试

根据风井施工方案，现场设立三处通信站分别为风井顶部通信站、风井内吊篮通信站、风井底部通信站，各个通信站设置两部无线对讲机互为备用。

通信站建立完成后，三处通信站两两进行对讲调试。对讲调试过程中，吊篮通信站需由下到上游动进行对讲调试。调试完成由项目安质部进行验收，确保风道施工过程中各处联络通信顺畅。

(5) 施工人员布置

为保证施工工期，确保施工质量与现场安全。现场人员安排如下：风井底部安全员 1 名，主要负责安全防护与通风应急处理。吊篮内施工人员 4 名，两两昼夜倒班工作，主要负责管道与设备安装。风井外安全员一名，主要负责安全防护与急救应急处理。风井外部加工人员 3 人，主要负责支架、管道加工。操作指挥人员 3 名，主要负责卷扬机、吊车操作指挥。电工一名，主要负责施工现场临电管理。技术员一名，现场指导管道设备安装。

4 管道支架安装

风井内部共分三种支架：托架支架、“U”型卡支架、托底支架。每 3m 间隔设置托架支架与“U”型卡支架，管道最底部弯头处设置托底支架。

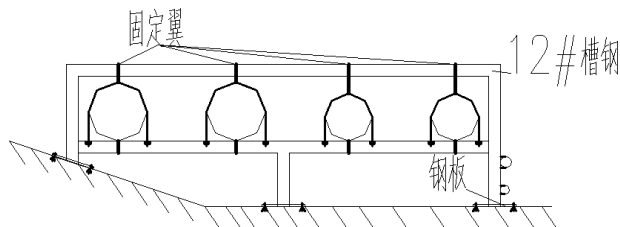


图 13 托架俯视图

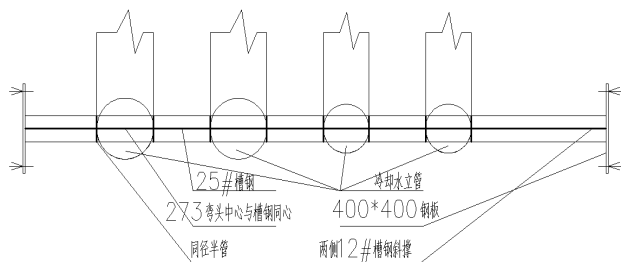


图 14 托底支架俯视图

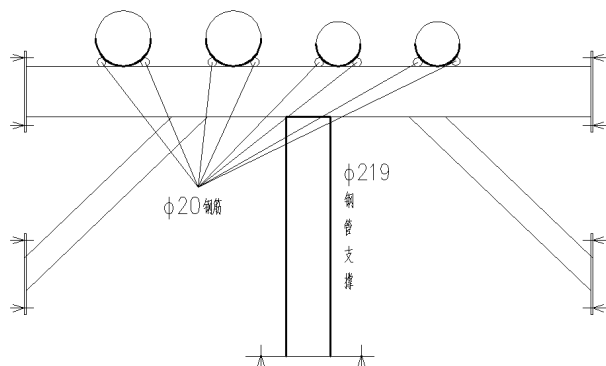


图 15 托底支架侧视图

支架安装主要顺序为：钢板安装→“U”型卡支架安装→支架斜撑安装→支架开孔。由于风井内部为异型结构，部分墙面存在导角与预留洞，现场支架尺寸各不相同。施工现场采用数据统计分析法，集中加工集统一安装，保证了安装质量，缩短了施工工期，降低了施工难度。

首先，根据风井上部预留管道套管位置，确定最上侧管道支架位置，由支架形式安装钢板。钢板四周悬挂钢丝绳重锤至风井底部，安装风井底部支架钢板，上下钢板拉通线。根据支架间距 3m 与通线安装各个支架钢板。

钢板安装完成，上下管道支架拉通线，通线包括垂直风井方向与平行风井方向。操作人员乘坐吊篮由上至下依次测量支架尺寸，将尺寸标注于风井墙壁，并编号。支架数据采用通信系统传输至风井外加工人员，技术员将数据汇总成册。采用 C++ 数据分析，筛选支架尺寸，整理相同数据形成图形分布表。根据数据图表合理安排加工人员，统一制作支架并编号。操作人员根据风井墙壁记录尺寸与编号，分别安装管道支架。同样采用数据统计分析安装支架斜撑。

根据风井预留管道套管确定管道 U 型卡位置，采用等离子切割机分别开取上下端支架孔洞，于管道中心拉取通线。根据通线位置，量取各个支架孔洞位置，依次开取支架孔洞。孔洞开取完毕，采用角磨机打磨孔洞，确保孔洞平整。

5 单根管道安装

单根管道采用自下而上的安装顺序，最下端管道直接固定于地面，减少管道受力，确保施工安全。成排管道采用依次单根安装的施工顺序，首先安装最外侧管道，确保焊接空间，保证焊接质量，依次安装各个管道。

单根管道安装主要顺序为：管道加工→吊车吊装→换钩→卷扬机吊装→下端管道固定→管道承插固定→管道集中焊接

(1) 管道加工主要包括：管道连接、管道托架制作、管道吊装承插耳安装、底部管道盲板焊接。

管道连接：施工现场管道为 5m/ 根，为减少井内管道焊接接口，根据现场吊装机械负荷，管道预制加工为 10m/ 根，确保管道加工长度不超 12m。注意管道加工至 30m、60m、90m 处增长管道，确保管道接口避开支架位置。管道采用焊接连接，管道焊接冷却以后，焊口处涂刷防锈漆与银粉面漆。管道对接完成，管道两侧全部采用砂轮打磨坡角，为风井内管道焊接做准备。最后，将最下端管道焊接盲板，为管道试压做准备。

管道托架制作：根据防滑管道支架样式，分别预制加工 100*60*6 卡板，钢板涂刷防锈漆与面漆。

管道吊装承插耳安装：管道吊装耳由 φ20 圆钢制作而成，吊装耳成半椭圆状焊接于钢管内部，两侧各搭接焊接 10cm。管道吊装耳为永临结合施工用具，管道吊装耳具有吊装功能，管道固定时作为承插口固定管道，确保管道受力，保证管道安装顺直，为管道焊接准备条件。示意图如下：

(2) 吊车吊装

管道加工完成，由司索工挂钩、指挥吊车将管道吊装至风井口，吊装时，管道下严禁人员通过。

(3) 换钩

管道吊装包括：吊车吊装管道至风井口，卷扬机吊装管道至安装部位，风井口高 1m 处，卷扬机与吊车换钩。

首先，吊车吊装管道至风井口，保持吊钩高度为 1.2m。然后，施工人员将卷扬机吊钩挂于管道吊耳，缓慢下降吊车钢丝绳至高 1.0m，确保卷扬机受力。最后，伸长吊车钢丝绳直至钢丝绳松弛，摘除吊车吊钩。

(4) 卷扬机吊装管道

首先吊装风井最底部管道，人员于风井底部指挥管道落

地,确保管道稳定落地。由于风井较深视线较差,底部无人观测位置观测管道吊装。最下端管道安装完成,风井上部人员标记卷扬机钢丝绳长度,根据管道长度,确定下次管道吊装深度。每根管道吊装完成,标注次根管道吊装深度,依次吊装管道。

(5) 下端管道固定

单根管道安装时,首先将管道底部直接固定于风井底部。管道落地安装,一方面承担了整根管道垂直方向受力,预防管道脱落;另一方面,作为管道支撑点,降低了管道安装难度。

(6) 管道承插固定

管道 U 型卡固定完成,吊篮操作人员切割管道吊装耳横担,预留 10cm 竖直圆钢承插管道。管道吊装就位前 20cm 停止卷扬机,吊篮人员至管道接口处,辅助管道承插完成。承插耳插入管道下端,管道存在支撑点,不在晃动。人员乘坐吊篮至管道最上端 U 型卡处,在卷扬机吊装绳协助下固定管道支架,支架采用双螺母固定。施工人员依次向下固定全部管道 U 型卡。

(7) 管道集中焊接

白天管道集中固定完成,夜间工人集中焊接管道。

5.1 管道托架安装

管道焊接过程中,焊接竖向管道托架。形式如下:

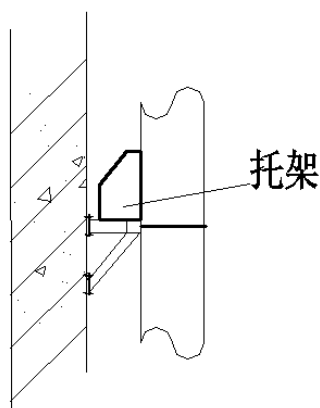


图 16 管道托架安装

5.2 正面托架安装

正面托架安装顺序为:支撑槽钢安装→正面托架安装→焊缝刷漆

首先,每隔 6m 安装支撑槽钢,支架紧邻管道。焊接管道正面垂直方向托架,确保垂直托架紧贴支撑槽钢。示意图如下:

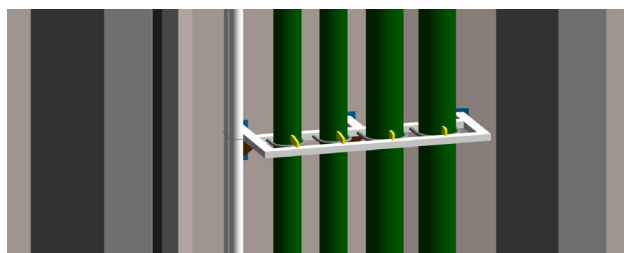


图 17 垂直托架示意图

5.3 托底支架安装

托底支架安装主要包括:管道支架预制→管道支架安装→管道支架加固

根据现场管道量取托底支架尺寸,操作人员于风井底部制作支架。支架制作完成采用卷扬机吊装至施工部位,人员乘坐吊篮安装管道支架。支架安装完成,采用槽钢斜撑与地面钢管加固管道支架。

5.4 试验调试

竖井管道安装完成,进行系统强度试验与严密性试验,最终通水试运行。管道底部设置压力表,顶部设置自动排气阀。施工人员于竖井底部注水,管道满水后采用加压泵进行升压,人员乘坐吊篮巡查管道接口,直至试验压力,并报验监理验收。

5.5 结构消声器安装

结构消声器分为两层,每层由支架牛腿,工字钢支架,消声器片,消声器连接板组成。安装消声器主要包含以下工作内容:支架安装,消声器片安装,消声器片连接固定。

每层结构消声器安装过程主要为:施工人员乘坐吊车吊篮降至结构消声器高度,风井墙壁固定消声器牛腿,牛腿上部安装工字钢支架;人员乘坐吊车吊篮至牛腿高度,支架借用“力学平衡原理”吊装就位,对比示意图如下:

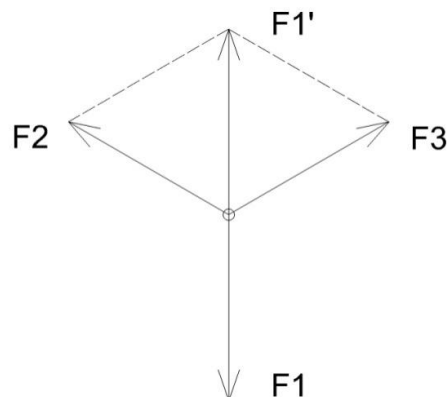


图 18 平面汇交力系示意图



图 19 现场吊装

支架安装完成以后,再次借用“力学平衡原理”吊装成品消声片至支架高度,人员辅助吊车将消声片卡于工字钢支架;消声器片安装完成以后,施工人员采用专用消声器连接板连接消声器片,其中中间消声器片互相连接,两端消声器板与墙壁固定。

6 与当前中国外同类研究、同类技术的综合比较

超深竖井施工技术与中国同类研究以及传统施工技术相比具有以下特点:

(1) 安全可靠

计算材料、人员吊装系统,自行制作人员走行平台,为机械、人员提供了平台,确保了操作安全。管道支托架的安装确保了管道安装环节稳定性。91m超深竖井上部自制走行平台以及临边防护,为施工人员搭设作业平台,确保了施工人员的安全。

(2) 施工效率高

大口径管道内部采用内置管道吊装环,吊装完成作为接口导向,降低了管道对口难度,大大提高了施工效率。

(3) 先进性

超深竖井消声器安装应用“力学平衡原理”,先进工法与现场施工技术相结合,确保了吊装安全,减少了施工难度。

(4) 可操作性强

超深竖井墙面异型造成管道支架各异,该技术应用数据统计分析,采用工厂化统一预制加工支架,降低了对现场操作条件的要求,适应了不同施工工况。

7 技术关键点和创新点

采用吊车结合卷扬机垂直运输材料、设备,操作人员利用吊篮同步跟进,确保管道精确对位安装;应用力学平衡原理,采用绳索吊技术,实现高大空间构件吊装准确就位;利用管道吊环端部作为管口对接器进行导向固定,使管道对接更为简便、安全、高效。^[1]

8 经济社会效益分析

重庆轨道交通十号线为重庆市重点工程,施工工期紧,施工质量要求高,参建各方施工质量直接决定了工程品质的高低。红土地站为本线最深站,位于6号线下,为本线施工难点。红土地站91m竖井安装工程施工难度大,施工质量要求较高。为保证机电使用功能、感观质量,项目部通过优化施工方案,研发了一套91m超深竖井管道及设备安装施工技术。计算制作安装材料、人员垂直运输系统;计算制作人员走行平台;管道承插吊装环作为管道导向器;采用力学原理精确吊装设备配件。创新与传统施工工艺相结合,缩短了安装工期,保证了施工安全质量,树立了良好的企业形象。

参考文献

- [1] 通风与空调工程施工质量验收规范 .GB50243-2016[S]
- [2] 建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范 .GB50242-2002[S].
- [3] 地铁工程机电设备系统重点施工工艺 .14ST201-2 [S].