

大型地源热泵系统机电安装关键技术与施工质量控制研究

刘义兵 高鹏越

北京华清荣昊新能源开发有限责任公司, 中国·北京 101300

摘要: 大型地源热泵系统因其高效节能、环保稳定等优点, 在商业综合体、产业园区、大型公共建筑等领域得到了广泛地应用, 其机电安装质量的好坏, 将直接影响到整个系统的运行效率、稳定性和寿命。由于大型地源热泵系统的机电装置组成复杂, 工艺关联性强, 质量要求高, 本研究系统梳理系统机电安装的核心特征, 深入探究对应的机电安装关键技术要点; 结合施工全流程管理要求, 构建“施工前期-施工过程-竣工验收”的全周期施工质量控制体系, 明确各阶段的质量控制要点与检测标准, 并通过工程实例验证技术应用与质量控制的实际效果。以期为行业内相关人员提供参考。

关键词: 大型地源热泵; 机电安装; 关键技术; 施工质量控制; 全周期管理

Research on Key Technologies of Electromechanical Installation and Construction Quality Control of Large Ground Source Heat Pump System

Liu Yibing, Gao Pengyue

Beijing Huaqing Rong Hao New Energy Development Co., Ltd., China Beijing 101300

Abstract: Large-scale ground source heat pump system has been widely used in commercial complexes, industrial parks, large public buildings and other fields because of its advantages of high efficiency, energy saving, environmental protection and stability. The quality of its electromechanical installation will directly affect the operating efficiency, stability and life of the whole system. Because the electromechanical devices of large-scale ground source heat pump system are complex in composition, strong in process correlation and high in quality requirements, this research system combs the core characteristics of electromechanical installation of the system and deeply explores the corresponding key technical points of electromechanical installation; Combined with the management requirements of the whole construction process, a whole-cycle construction quality control system of "pre-construction-construction process-completion acceptance" is constructed, and the key points and detection standards of quality control in each stage are defined, and the actual effect of technology application and quality control is verified by engineering examples. In order to provide reference for relevant personnel in the industry.

Keywords: Large ground source heat pump; Electromechanical installation; Key technologies; Construction quality control; Full cycle management

0 引言

地源热泵系统通过浅层地热能实现建筑供暖与制冷, 大规模地源热泵作为一种新型的分布式供能方式, 对满足我国“双碳”目标的需求具有重大的现实意义和应用前景。地理管与热泵机组、管道系统、电气自控系统等多个模块的联合建设, 工艺关联性强、精度高, 若不规范安装工艺且未进行质量控制, 容易产生地理管换热效率低、机组振动大、管路渗漏、自动控制失效等问题, 造成系统能效大幅下降, 故障率居高不下。当前, 我国已有较好的地源热泵安装工艺, 但尚未对其关键技术进行系统性梳理, 且主

要集中在施工阶段, 尚未形成完整的全程控制系统。为此, 本研究针对大型地源热泵系统的机电安装特点, 探究各核心模块的安装关键技术, 构建全周期施工质量控制体系, 为工程实践提供技术支撑与管理参考。

1 大型地源热泵系统机电安装核心特征

1.1 系统组成的复杂性

大型地源热泵系统的机电装置主要包括地下埋管换热器、地源热泵机组、水循环管道系统、电控系统等四个主要组成部分, 每个部分又可细分为若干子组件, 例如地下管系统包括钻孔、管材、回填材料等, 水循环系统包括水

泵、过滤器、分水器、集水器等,而电气自动控制系统包括配电柜、传感器、变频器、中央控制器等。各个模块及子件的规格型号需要按照建筑物的能源需求进行精确匹配,其安装界面多,而且各个模块之间的建造过程差别很大,需要多个专业和多个工种协同工作,表现出明显的构成复杂性和施工协同性。

1.2 安装工艺的强关联性

大型地源热泵系统机组为闭环能量传输系统,其各个关键组件的机电装配过程紧密相关,任何一个组件的装配质量问题都将影响到整个系统的运行。如地埋管换热器中回填不够密实,会使换热器的传热效率下降,从而使热泵机组的工作负载增大;当设置水平度的偏差太大时,会引起机组在工作中产生振动,从而降低机组的使用寿命;水循环管线中存在着较高的阻力损耗,将导致泵的能量消耗增大,从而使整个系统的能量效率下降。多道工序间的施工过程相互衔接,参数匹配,其中一道工序出现偏差将引起连锁效应,对施工过程的协同和规范化要求极高。

2 大型地源热泵系统机电安装关键技术

2.1 地埋管换热系统安装技术

地埋管换热器是地下埋管系统的能源转换中心,其埋设好坏直接影响到浅层地热资源的开采和利用。使用履带式全液压钻机进行钻孔施工,依据地质调查结果选用合适的钻具,在钻孔时使用泥浆护壁技术,将孔位垂直度误差控制在1%以内,孔径误差不超过 ± 50 毫米,钻孔的深度按照设计进行,成孔后要及时清除孔中的沉渣,避免由于孔壁的淤积而影响下管。下管的方法是使用高密度聚乙烯(HDPE)地埋管,在下管之前要对地埋管的外形和壁厚进行检查并进行压力试验,以保证没有任何的破损和裂缝。地埋管的弯头都是用成品弯管的,这样可以防止在现场弯曲对管子的损坏,在下管的时候,要控制管群的间距,保证换热面积,管头临时封堵防止泥沙进入;大部分项目回填采取原浆分层回填技术,不足部分用细砂回填,在回填时边回填边注浆,保证回填密实,无空鼓、缝隙,提升地埋管与地层的换热效率;本次测试是以水压测试为主,分为两个阶段,一是在下管回填之前进行的单根管道的试压,测试压力是设计工作压力的1.5倍,保持30min内没有任何压力下降,即为合格,而在整个系统安装完毕之后,整个测试过程中,保持压力120min,如果压力下降不超过0.02MPa,则表示合格。在测试结束之前,请将其连接到系统中。

2.2 地源热泵机组安装技术

作为大规模地源热泵能源转化的核心,地源热泵机组是一种高精度的重型装备,其安装工艺的关键在于确保机组的安装稳定性、水平度以及接口的密封性。在地基的浇筑上,要使用钢筋混凝土作为地基,地基的强度和平整度要按照机组的重量和安装尺寸来确定,地基的底部要做防潮和防腐处理,在地基的浇筑结束之后,要保持28天的养护,直到它的强度达到设计的100%以后,才能开始安装。使用全车起重机和液压千斤顶相结合的方式吊装,根据机组的重心来决定起吊的位置,并使用一种特殊的吊具,在提升的时候,要对起吊的速度和摆动的幅度进行控制,避免机器的撞击和损坏,在降落的时候,要将预先放置好的钢板对齐;通过水平仪和斜铁的配合,在机组基座和预制的钢板间设置斜铁,调节斜铁的高度,保证机组纵、横向水平度的误差不超过0.1mm/米,然后用点焊把角铁和预埋的钢板连接起来,然后通过二次注浆来填补机组基础和地基的空隙,注浆材料为无收缩的高强灌浆料,注浆后养护到强度合格;管线的连接采取法兰的形式,法兰表面要平整干净,密封垫片选用耐高温耐压的橡胶垫片,螺栓要均匀地拧紧,拧紧的扭矩要按照设计的要求来进行,这样才能避免因为拧得太紧或者太松而导致的泄漏。在设备和管线的连接上安装橡胶软接头,这样可以减少设备的振动对管道的冲击,在管线连接结束后,还要对整个系统做水压严密性试验,保证没有泄漏。

3 大型地源热泵系统机电安装全周期施工质量控制体系

3.1 施工前期质量控制

在大规模地源热泵工程中,施工前的质量管理是保证工程质量的根本,其关键是要围绕图纸会审、材料和设备检查、技术交底三个关键环节进行,从源头上杜绝质量问题。由建设、设计、施工、监理四个部门共同参加的图纸会审,检查施工图纸与现场的实际情况是否相符,着重对各个模块的界面尺寸、安装参数、工艺要求等进行审核,修改图纸上的矛盾和遗漏的问题,确定大系统建设的重点难点和质量标准。对地埋管、管材、热泵机组、配电柜、传感器等所有进场材料和设备,严格执行“进场验收、见证取样、复检合格”三级质量检查制度。其中,对HDPE地埋管、无缝钢管、保温材料等重要材料实施见证取样并送检;对热泵机组、变频器等大型设备,组织现场开箱核验,确保其规格型号与技术参数完全符合设计要求。所有不合格的材料与设备一律严禁进场使用。技术交底采

取“分级交底,层层落实”的方法,由设计单位向施工单位进行设计交底,确定了系统的设计思想和质量要求,由施工单位技术负责人向项目部和施工班组进行专项技术交底,对各核心模块的安装关键技术、质量控制要点、安全操作规范进行详细讲解,交底完成后组织考核,考核合格的施工人员方可上岗作业。

3.2 施工过程质量控制

施工过程质量控制是大型地源热泵系统机电安装质量控制的核心,采取“工序控制,旁站监督,工序交接,实时检验”的控制方法,保证了每一道工序的施工质量达到规范要求。首先,针对钻孔、管道试压、下管、回填、机组就位找平、管道焊接等关键工序,严格执行“样板先行、验收推广”制度,在全面施工前完成工艺样板并经监理与建设单位联合验收,以统一工艺标准。其次,对钻孔、回填、机组吊装、压力试验、电气接线等隐蔽及重要作业,实施专业监理工程师全过程旁站监督,实时记录参数、纠正偏差,并执行整改复验程序。同时,严格执行施工班组自检、施工单位互检、监理单位专检的“三检制”工序交接制度,确保每道工序验收合格并签署记录后方可转入下道工序。此外,通过专业仪器对钻孔垂直度、机组水平度、焊缝质量等参数进行现场监测,并对回填料、保温材料等关键材料执行见证取样与实验室复验,所有监测数据与检测报告均纳入工程质量档案,实现全过程质量可追溯。

3.3 竣工验收质量控制

在大型地源热泵系统机电安装工程竣工验收过程中,工程竣工验收的质量控制主要包括三个阶段:分部分项工程验收、系统整体试压调试和竣工验收备案。根据 GB50366-2009《地源热泵系统工程技术规范》,对地下热交换系统、热泵机房、水循环管线系统、电气及自控系统等进行了分部分项工程的验收,并对各个分项工程的施工资料、试验报告和工艺记录等进行了全面的检查,并对施工过程中的各个环节的质量是否满足设计和规范的规定,对在验收过程中出现的问题,限期进行整改,整改完毕后再进行验收;整个系统的试运行包括:强度试验、严密性试验和试运行,其中,强度试验是对整个水循环管道进行全面的压力测试,保压时间和压力损失都在标准之内;严密性试验测试整体地源热泵系统各设备与管道的连接部分安装质量,以保证没有泄漏。试运行分为单机试运行和联合试运行,单机试运行要求对地源热泵主机、水泵、电动阀、传感器等设备的工作状况进行检查,记录各项运行参

数,保证设备运行良好;联合试运行要求在接入末端负荷的条件下连续运行 48 小时,并对系统的供回水温度、压力、流量、能效比等参数进行监控,以保证各项运行指标满足设计要求;竣工验收备案是指施工单位将施工图纸、材料设备合格证、检测报告、工序记录、验收记录等完整的工程技术资料,并将其报送建设单位、监理单位和当地建设工程质量监督部门备案,备案完成后,工程方可正式交付使用。

4 工程应用验证

4.1 工程概况

以某城市大型公共建筑地源热泵系统机电安装工程为研究对象,该公共建筑总建筑面积 5.9 万平方米,配套的地源热泵系统设计供能负荷为 4500kW,采用垂直埋管式换热器,在 120 米深的地下埋管敷设了 640 个地下埋管,安装了 3 套地源热泵(单机制冷量 1500kW),水循环管线选用 DN150-DN350 无缝管,该工程自控系统采用可编程控制器 PLC 结合工控触摸屏对系统各设备进行集中控制,从而达到了完全自动化的目的。由于施工场地有限,地质情况复杂,在前期施工中,如果按照常规的施工技术和质量管理方法,容易产生地埋管施工偏差,机组振动大,管道保温效果差等问题。本项目将所研究的大型地埋管换热器的机电安装关键技术进行研究,通过对整个过程的质量监控来保证其施工质量。

4.2 应用效果

该机电安装工作结束后,经过了竣工验收和半年的运行前期监控,使用效果非常好:施工上,各个核心组件一次验收合格率达到 100%,地埋管钻孔垂直度偏差小于 1%,热泵机组水平度偏差 $\leq 0.08\text{mm/m}$,管道焊缝无损探伤合格率 100%,接地电阻 $\leq 3\Omega$,各项安装参数都优于设计与规范要求;在运行过程中,回水温度、压力和流量均保持平稳,系统管道无泄漏和设备运行无异常噪声,系统综合运行能效比达到 4.2,比《地源热泵系统工程技术规范》规定的螺杆式机组制热工况 COP4.0 提高 5%;在运营的前期半年里,系统的故障只发生了一次传感器的参数变化,根据质量可追溯文件及现场运维检查,迅速找到了安装过程中的接线触点不良,并进行了修复,使其每年的维护费用比同类项目减少。通过项目的实施,证明所提方法的可行性和全程质量管理体系的有效性,为大规模地源热泵机组的机电安装项目提供实用的借鉴。

5 结语

综上所述,本研究根据大规模地源热泵机组的特

点,明确了各模块核心工序的施工要点与精度标准;同时突破传统质量控制仅聚焦施工过程的局限,构建了“施工前期-施工过程-竣工验收”的全周期施工质量控制体系,明确了各阶段的质量控制要点、检测标准与管理方法,并通过公共建筑的工程实例验证了技术与质量控制体系的实际应用效果。未来,结合 BIM、物联网等技术,对施工工艺和质量管理进行进一步的优化,提高建筑的智能化程度。为我国大规模地源热泵机组的机电安装项目提供技术支持与管理借鉴,对于促进我国大规模地源热泵的规模化、高品质应用具有十分重要的实际意义。

参考文献:

[1] 刘闯. EPC 项目中地源热泵系统的设计优化与施工技术[J]. 山西建筑, 2024,50(07):25-29.

[2] 曹寿裕. 地源热泵埋管管群布置形式的优化[D]. 华中科技大学, 2021.

[3] 钱义根, 赵永辉, 周俊雄. 探讨建筑机电消防安装工程中存在的问题及对策分析[J]. 中华建设, 2021,(04): 128-129.

作者简介: 刘义兵(1978.09-), 男, 汉族, 河南省洛阳市, 助理工程师, 研究方向: 机电设备安装, 大型地源热泵系统施工安装。