

零碳建筑新风管道浅层地埋换热施工关键技术

孙明坤,侯广玉,张立

(中电建建筑集团有限公司,北京 100120)

[摘要] 以雄安电建智汇城 44-2 零碳建筑项目为研究对象,针对传统新风系统能耗高、热交换效率低的缺点,开展了基于浅层地埋换热技术的新风管道施工体系研究。重点阐述地埋管道施工工艺流程,提出热工性能动态监测等质量控制措施。通过对比传统空调系统运行数据,建立全生命周期经济效益分析模型,并引入碳减排指标开展社会效益评估。结果表明:该技术较传统空调系统节能率达 32%,设备占用空间减少 40%,且能稳定维持室内温度波动幅度在 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 以内;项目全周期可减少碳排放约 4 800t。

[关键词] 绿色施工;零碳建筑;碳排放;新风管道;施工技术

[中图分类号] TU74

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)10-0141-04

Key Construction Technologies for Shallow Ground Heat Exchange in Fresh Air Ducts of Zero-carbon Buildings

SUN Mingkun, HOU Guangyu, ZHANG Li

(PowerChina Construction Group Co., Ltd., Beijing 100120, China)

Abstract: Taking the 44-2 zero-carbon building project of Xiong'an Power Construction Zhihui City as the research object, aiming at the shortcomings of high energy consumption and low heat exchange efficiency of traditional fresh air system, the construction system of fresh air pipeline based on shallow ground heat exchange technology was studied. The research focuses on the construction process of buried pipelines, and puts forward quality control measures such as dynamic monitoring of thermal performance. By comparing the operation data of the traditional air conditioning system, the economic benefit analysis model of the whole life cycle is established, and the carbon emission reduction index is introduced to carry out the social benefit evaluation. The results show that the energy saving rate of this technology is 32% higher than that of the traditional air conditioning system, the space occupied by the equipment is reduced by 40%, and the indoor temperature fluctuation range can be maintained within $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$. The whole cycle of the project can reduce carbon emissions by about 4 800t.

Keywords: green construction; zero-carbon building; carbon emissions; fresh air ducts; construction

0 引言

随着全球气候变化加剧,建筑领域的节能减排已成为实现碳中和目标的关键环节之一。传统建筑新风系统存在显著能耗与空间问题,ASHRAE 研究指出新风系统能耗占建筑总用电量的 30%~40%,系统需配置截面 $\geq 0.8\text{m}\times 1.2\text{m}$ 的独立风井,导致层高损失 15%~20%^[1]。为了突破这一瓶颈,在雄安电建智汇城 44-2 零碳建筑项目中引入新风管道浅层地埋换热施工技术。该技术通过将新风

管道埋设于地表浅层土壤中,充分利用土壤的自然热特性,实现对新风的预冷或预热,显著降低了新风系统的能耗,同时节约了室内空间,提升了建筑的能源利用效率和舒适度。

1 工程概况

1.1 项目简介

雄安电建智汇城 44-2 项目作为雄安新区低碳发展的标杆工程,以“双示范、双轴线”为设计核心,既是电建智汇城打造零碳建筑体系的首批重点示范项目,又占据城市核心发展轴与社区功能聚合轴的交汇节点。项目总建筑面积为 36 717.13m²,建设类别为多层公共建筑,地上建筑主要功能为办

公、展览、商业、邮局、城市共享等,地下室为车库和设备用房。

1.2 工程地质水文条件

项目位于雄安新区容东片区,属堆积平原地貌单元,地表平坦,地形起伏小于 0.5m。场地内无地表水分布,地下水类型以潜水为主,赋存于第四系松散沉积层中。实测地下水稳定水位埋深 11.4~13.2m,水位年变幅 0.5~1.0m。地质以粉细砂、中砂为主,渗透性中等,富水性整体较弱。地下水位埋藏较深,与浅部地基持力层无直接水力联系,场地水文地质条件相对稳定,项目管道敷设为地表以下 3.2~4.0m,埋深范围符合浅层地埋管道需求。

1.3 项目新风系统

本项目新风系统采用差异化通风量设计,针对不同功能区域设置独立送风参数。主体建筑 1 层采用南北分区的集中式通风网络,总新风量达 4 920m³/h,2 层和 3 层核心设备间通过连续运行的 2.4m 宽主管道提供 1 629.28m³/h 的独立新风。传统建筑新风系统每增加 10%的新风量,因热回收效率不足及冷热负荷叠加效应,能耗将非线性增长约 20%^[2]。因此,有效降低新风能耗对本项目“零碳建筑”的实现起着重要作用。

2 新风管道浅层地埋换热系统设计

2.1 技术原理

新风管道浅层地埋换热技术是一种基于地下浅层土壤温度冬暖夏凉特性的可再生能源利用技术。该技术的核心在于地下浅层土壤温度相对稳定,冬季高于外界气温,夏季低于外界气温^[3]。通过在地表浅层(一般为 3.0~3.5m)埋设通风管道,使新风在进入建筑物前先与土壤进行热交换,从而降低新风系统的能耗,提高空调系统的运行效率,改善室内热环境,技术原理如图 1 所示。

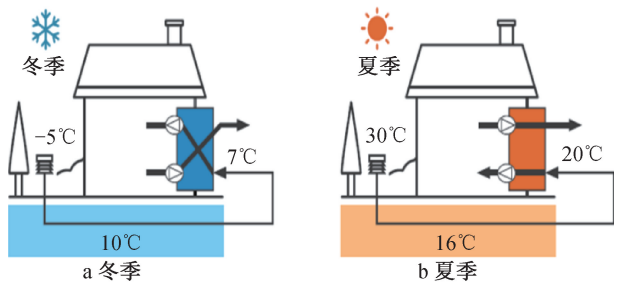


图 1 技术原理
Fig. 1 Technology schematic

2.2 方案设计

本项目作为零碳建筑示范工程,在建筑南侧展厅的新风系统中创新应用了浅层地埋换热技术。该技术通过地下浅层土壤与新风的热交换作用,对

新风进行夏季预冷和冬季预热,可进一步降低建筑的采暖和空调能耗,为被动式节能技术的推广应用提供优质示范。

项目铺设 7 根 DN300 输气用球墨铸铁锌铝金属合金管道,每根管道长 75~85m,埋深 4m,管外径间距 1m,地道风管线设计参数如表 1 所示。通过地埋管道将空气与土壤进行热交换,对新风进行预冷、预热,并设有地道风进风井和出风井。管线布置如图 2 所示。

表 1 管线设计参数
Table 1 Pipeline design parameters

风量/ (m ³ ·h ⁻¹)	管线 数量/ 条	单线 长度/ m	埋深/ m	坡度/ %	材质	壁厚/ mm	热导率/ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
1 200	7	75~85	4	1	金属	6.0	36

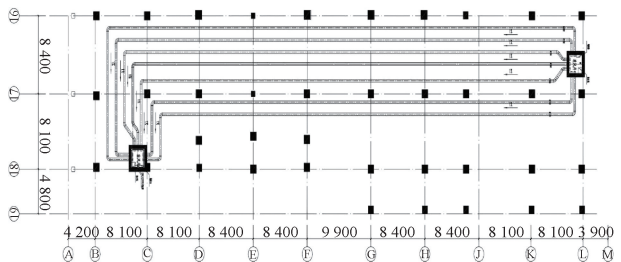


图 2 地道风管线布置
Fig. 2 Arrangement of tunnel air pipeline

采用 TRNSYS-Transient System Simulation Program 软件模拟项目出风口温度曲线和进风口温度升降效果,输入项目所在地全年 8 760h 气象数据、12 000m³/h 新风量、河北保定当地土壤导热率 1.45W/(K·m),土壤热容 2 412kJ/(K·m³),土壤表面热阻 0.051 3(K·m²)/W 及管线设计参数,得到全年地道风模拟效果,如图 3 所示。

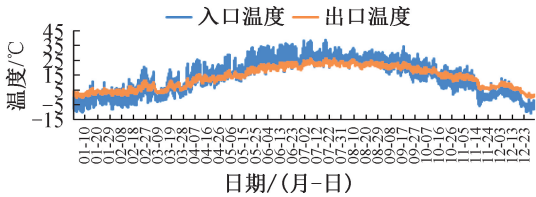


图 3 地道风模拟效果
Fig. 3 Simulation effect of tunnel air

3 施工工艺及技术措施

3.1 沟槽开挖

本项目沟槽开挖采用分级控制体系,地下水位位于-11~-13m,无需降水措施。开挖过程采用机械分层作业:挖掘机完成上层土方开挖,预留 300mm 保护层由小型设备精挖,最终 200mm 由人工清底并激光整平;湿陷性黄土区实施 3:7 灰土换

填,杂填土段全断面置换,砂质土段采用 1 : 1.25 复合边坡,黏性土段按 1 : 0.5 坡度设置台阶式边坡,辅以倾角计实时监测。

沟槽底部开挖宽度 B 计算如下^[4] :

$$B = nD + 2(b_1 + b_2) + (n - 1)b_3 \quad (1)$$

式中: n 为平行管线的条数 ($n \geq 1$); D 为管外径 (mm); b_1 为管道一侧的工作面宽度 (mm), 可取 300~400mm; b_2 为有支撑要求时,管道一侧的支撑厚度,可取 150~200mm; b_3 为相邻两条平行管线管外壁间距 (mm),因地源暖通新风系统利用管道周围土壤的热惯性进行工作, b_3 不宜小于 1 000mm。

槽底需设排水沟时, b_1 应适当增加;采用机械回填管道侧面时, b_1 需满足机械作业的宽度要求。

3.2 基础处理

管道地基按设计要求施工,槽底局部超挖或发生扰动时,处理需符合以下规定。

- 1) 超挖深度不超过 150mm 时,可用挖槽原土回填夯实,且压实度不应低于原土地基的压实度。
- 2) 槽底地基土壤含水量较大,不适于压实时,应采取换填等有效措施。
- 3) 地基表面放坡后,在地基表面铺设 100~150mm 厚的中粗砂。

3.3 管道吊装与存储

管道的吊装与存储直接影响材料性能与系统效能。吊装需避免表面划伤或结构变形,确保材料耐腐蚀特性与密封完整性;存储时需防潮、防重压,防止氧化及尺寸偏差。规范操作可保障安装后管道无应力损伤、密封性持久,显著提升系统运行效率、延长使用寿命。

管道及配件装卸时需轻装轻放,运输时须垫稳、绑牢,不得互相碰撞。管道堆放选用平整、坚实的场地,堆放时须垫稳,防止滚动,使用管道时须自上而下一次搬运。管道及配件吊装时,采用柔韧吊带或专用工具,采用钢丝绳或铁链时不得直接接触管节。管道及配件下沟槽前,需用水对管道及配件内壁冲洗 2 次至晾干,管道承插口需套上防尘袋。

橡胶圈贮存温度为 5~30℃,存放位置不得长期受紫外线光源照射,离热源距离不小于 1m。橡胶圈不能与溶剂、易挥发物、油脂或对橡胶产生不良影响的物品放在一起,且避免长期受挤压^[5]。

3.4 管道切割与修复

DN300 金属管道有效切割范围为距离插口端 $2L/3$ 处 (L 为管道长度),若超过该长度,需用周径尺测量管道外径尺寸是否小于插口公称外径 + 1mm^[6]。采用可手持云石机等切割设备切割管体,使用打磨

机对切割端口进行打磨去毛刺,并在端口涂刷富锌漆。对外涂层有磨损或破损的管道,可在现场进行修复,清理磨损或破损表面,涂刷富锌漆,待干燥后方可使用。

3.5 管道接口安装

直连管道采用 T 形承口连接时,需先用毛刷清理承口工作面槽内杂物,检查插口倒角及胶圈清洁度。将胶圈捏成“8”字形或梅花形 (DN800 以下) 装入承口凹槽,内表面及插口接触面均匀涂润滑油,确保插口与胶圈接触良好^[7]。首支管吊装需按气流方向定位,用带胶管保护的钢丝绳和导链拉入承口,避免外壁损伤。安装时用枕木垫起承口,多管线间距控制 $\geq 1\text{m}$,完成后用钢尺检查胶圈压缩比,并确保接口位于两条安装线之间。施工全程需保持管内清洁,对接前清理杂物,停工时密封管口。

管件转向采用 K 形管件,接口安装前需清理直管插口端 240mm 区域及承口、压兰的杂质。将压兰正确装配至插口,确保方向一致。插入时保持承口与压兰圆周间隙均匀,插口端面距承口间隙控制在 6~9mm^[8]。穿螺栓时先固定上下两端,再对称锁紧左右螺栓,调整压兰与管轴垂直,所有螺栓松紧一致。检查螺栓与管轴平行度及压兰角度,确保接口密封性与结构稳定性。管道胶圈安装如图 4 所示。

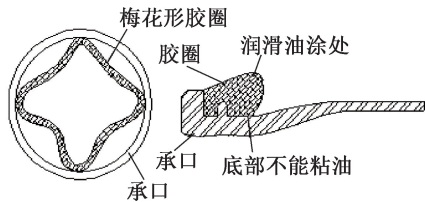


图 4 管口胶圈安装

Fig. 4 Installation of canal orifice rubber ring

3.6 导流冷凝水

当空气和土壤温度差别较大时,管线内会形成冷凝水,因此安装需有一定坡度^[9],可控制在 1%,在管线低点处收集冷凝水。其施工要求如下。

- 1) 水平管道安装完毕后,校正管线坡度,使其坡度控制在 1%。
- 2) 按每 10m 间距依次测量标高,纵向每 10m 段标高高差控制为 10cm。
- 3) 采用 DN25 扩孔器在管线最低点开孔,然后安装卡箍。卡箍安装完毕后,连接 DN32 PPR 排水管道。

3.7 气密性试验

试验前需在进风口、出风口立管处安装堵头,并装配膜盒压力表。然后通过气泵向管道内充气,

观测压力变化。气压试验测试方法和验收依据参考 EN 1610—1998 *Construction and testing of drains and sewers* 中气压测试施工和测试要求。选择 LC 检测方法,通过气泵将压力升至 10kPa,保压 10min,若压力下降小于 1kPa,气压合格。若气压不合格,可通过泡沫水排查接口,找到漏气点,维修后再进行气压试验,直到气压合格^[10]。管道气压试验合格后,管道两端风口堵头不得拆除,待通风系统管道、设备及进、出风井施工完成后方可拆除,避免鼠虫进出管道造成管道内部污染。

4 效益分析

4.1 经济效益

与传统通风管道安装工法相比,新风管道浅层地埋换热施工技术在雄安电建智汇城 44-2 项目中具有显著的经济效益。在夏季,该技术可对新风进行预冷,降低新风负荷 52%,节能 40.22%;在冬季,通过提高室外空气温度,降低新风负荷 34%,节能 41.92%。通过地埋管道将空气与土壤进行热交换,夏季综合节电约 30 845kW·h,冬季综合节电约 27 303kW·h,全年累积节电约 58 148kW·h,按当地商业用电计费约 34 888 元。

4.2 社会效益

新风管道浅层地埋换热技术在雄安电建智汇城 44-2 项目中的应用,不仅提升了建筑的能源利用效率,还为实现零碳建筑目标提供了有力支持。通过 TRNSYS 软件模拟,在保定区域采用 1 根 DN300、长 50m 的通风管道,预埋在覆土-3.5m 处,持续运行 24h,夏季最大降温达 15.8℃,预估全天节电 8kW·h,节约碳排放量 3.6kg;冬季最大升温 14.2℃,预估全天节电 9kW·h,节约碳排放 4.06kg。社会效益和环境效益显著。

5 结语

雄安电建智汇城 44-2 项目中应用的新风管道浅层地埋换热施工技术,通过充分利用地下浅层土壤的自然热特性,实现了对新风的预冷或预热,显著降低了新风系统的能耗,提升了建筑的能源利用效率。该技术不仅节约了室内空间,降低了施工成本,还为实现零碳建筑目标提供了有力支持。实践证明,该技术在经济效益、社会效益和环境效益方面均具有显著优势,值得在类似项目中推广应用。

参考文献:

[1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告-2020-农村住宅专题[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2020.

Annual report on China building energy efficiency[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2020.

[2] 周文倩. 辽宁省近零能耗建筑能耗及气密性指标的确定[D]. 大连: 大连理工大学,2019.

ZHOU W Q. Determination of energy consumption and air tightness index of nearly zero energy building of Liaoning Province[D]. Dalian: Dalian University of Technology,2019.

[3] 杨秀金,杜世元. 埋地新风风管换热器节能效果探讨[J]. 建筑节能,2013,41(7):16-19.

YANG X J,DU S Y. Energy saving potentials of underground pipe heat exchangers for fresh air system [J]. Building energy efficiency,2013,41(7):16-19.

[4] 张静,曾伟. 地源热泵地下水换热系统关键施工技术[J]. 施工技术,2008,37(3):2.

ZHANG J, ZENG W. Key construction technology of ground source heat pump groundwater heat exchange system [J]. Construction technology,2008,37(3):2.

[5] 北京市政建设集团有限责任公司. 给水排水管道工程施工及验收规范: GB 50268—2023[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2023.

Beijing Municipal Construction Group Co. , Ltd. Specifications for construction and acceptance of water supply and drainage pipelines: GB 50268—2023[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2023.

[6] 中国石油和化工勘察设计协会,中国化学工程第三建设有限公司. 工业金属管道工程施工规范: GB 50235—2010[S]. 北京: 中国计划出版社,2011.

China Petroleum and Chemical Engineering Survey and Design Association, China Chemical Engineering Third Construction Co. , Ltd. Code for construction of industrial metallic piping engineering: GB 50235—2010 [S]. Beijing: China Planning Press,2011.

[7] 常陆军. 呼图壁化工工业区供水管道优化设计及连接要点分析[J]. 水利技术监督,2018(6):224-226.

CHANG L J. Optimization design and key points analysis of water supply pipeline in Hutubi chemical industrial area[J]. Technical supervision in water resources,2018(6):224-226.

[8] 王松,陈玉彬. K2 型大口径球墨铸铁管道安装与密封性检测工艺改进应用[J]. 北京水务,2021(5):63-67.

WANG S,CHEN Y B. Improved application of installation and sealing testing technology for K2 large calibration ductile iron pipe[J]. Beijing water,2021(5):63-67.

[9] 杨月涵. 空气干燥变温吸附循环余能转换与极限利用研究[D]. 北京: 北京科技大学,2023.

YANG Y H. Study on conversion and ultimate utilization of waste energy of temperature swing adsorption cycle for air drying[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing,2023.

[10] 李辉,朱改博. 基于 Verilog HDL 的管道压力自测装置系统设计[J]. 电工技术,2018(12):123-125,127.

LI H,ZHU G B. Design of automatic detection device system for pipeline pressure based on verilog HDL[J]. Electric engineering, 2018(12):123-125,127.