

# 寒冷地区绿色供暖施工中的节能技术应用研究

熊新林

中铁隧道局集团有限公司, 广西 南宁 530000

[摘要]近年来, 国家振兴东北政策的实施推动了该地区城市化进程的加速, 建筑项目的规模也日益扩大, 东北地区已成为我国建筑行业的重要市场之一。然而, 冬季的严寒气候为施工管理带来了严峻挑战。在这种背景下, 研究寒冷地区的冬季施工管理方法至关重要。这类研究不仅可以有效提升建筑质量, 还能大幅缩短工程周期。在严寒环境中, 保障施工条件的关键在于合理的供暖方式。传统的燃煤锅炉供暖因热效率较低且污染物排放不达标, 对空气质量造成了严重影响, 并成为冬季雾霾高发的诱因之一。煤改电供暖作为一种安全、高效、环保的供暖技术, 在寒冷地区的应用日益广泛。本篇文章重点探讨了谷电蓄热供暖技术在沈阳地铁车辆段建设工程中的实际应用及具体措施, 以实现绿色施工目标并满足冬季施工需求。

[关键词] 建筑工程; 谷电蓄热; 绿色施工; 冬季供暖

DOI: 10.33142/ect.v2i12.14771

中图分类号: TU111.4

文献标识码: A

## Research on the Application of Energy-saving Technology in Green Heating Construction in Cold Regions

XIONG Xinlin

China Railway Tunnel Group Construction Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

**Abstract:** In recent years, the implementation of the national policy to revitalize Northeast China has accelerated the urbanization process in the region, and the scale of construction projects has also been expanding. Northeast China has become one of the important markets for China's construction industry. However, the harsh winter climate poses serious challenges for construction management. In this context, it is crucial to study winter construction management methods in cold regions. This type of research can not only effectively improve building quality, but also significantly shorten the project cycle. In extremely cold environments, the key to ensuring construction conditions lies in a reasonable heating method. Traditional coal-fired boiler heating has a serious impact on air quality and has become one of the causes of high winter haze due to its low thermal efficiency and inadequate pollutant emissions. Coal to electric heating, as a safe, efficient, and environmentally friendly heating technology, is increasingly being applied in cold regions. This article focuses on the practical application and specific measures of valley electric thermal storage heating technology in the construction project of Shenyang Metro Vehicle Depot, in order to achieve green construction goals and meet winter construction needs.

**Keywords:** construction engineering; valley electric thermal storage; green construction; winter heating

### 1 工程概况

沈阳地铁十号线桑林子车辆段位于沈阳市浑南新区, 项目北界为营城子村, 东侧毗邻沈抚灌渠, 南侧接近沈李路, 西侧紧邻规划路, 占地面积 28.05 公顷, 整体呈东西走向, 长度约 1160m, 宽度约 480m。项目主要内容涵盖检修组合库 33628.3m<sup>2</sup>, 运用库 42424.2m<sup>2</sup>, 办公综合楼 29949.3m<sup>2</sup>, 调机及工程车库 1672.5m<sup>2</sup>, 物资总库 5282.8m<sup>2</sup>, 信号设备检修基地 1836m<sup>2</sup>, 以及污水处理站和门卫房等附属设施, 总建筑面积达 117529.4m<sup>2</sup>。

其他建设内容还包括轨道铺设、室外管网、景观路灯、沥青路面、绿化工程、周边围挡以及安防设施等内容。沈阳地处我国东北严寒地区, 冬季漫长且寒冷, 供暖期通常从 11 月开始, 持续至次年 4 月, 长达六个月。如果冬季施工阶段未被充分利用, 工期将难以如期完成。因此, 选

择适宜的供暖方式以保障施工进度, 成为本工程的关键问题之一。

### 2 采暖方案综合比选

#### 2.1 运行费用对比

沈阳地区冬季供暖期约为五个月, 在供暖方案的经济性分析中, 运行费用是一项核心指标。目前北方常用的供暖方式包括无烟煤锅炉、水源热泵、城镇热网、电蓄热锅炉、天然气锅炉、燃油锅炉和空气源热泵。以制热 100 万大卡为基准, 对几种供暖方式的运行成本进行了详细分析, 具体数据见下表 1:

从数据分析可以看出, 谷电蓄热供暖因其运行成本低、环保性能优越, 成为本项目冬季施工的优选方案。采用这一技术为施工条件的保障提供了坚实支持, 并为绿色施工的实现创造了有利条件。

表 1 不同热源的运行费用对比数据

热源种类	单位热值	能耗	单价	运行费用(元)	折算系数
无烟煤锅炉	5800Kcal/gk	288kg	0.6元/kg	173	1N
水源热泵	3880Kcal/Kwh	323kwh	0.83元/kwh	268	1.55N
城镇热网	1GJ=239K/Kcal	4.184gj	70元/GJ	293	1.7N
电蓄热锅炉	950Kcal/Kwh	1053Kwh	70元/Kwh	337	1.95N
天然气锅炉	7200Kcal/Nm <sup>3</sup>	139m <sup>3</sup>	3.6元/m <sup>3</sup>	500	2.9N
燃油锅炉	10400Kcal/gk	96kg	6.5元/kg	624	3.6N
空气源热泵	1720Kcal/Kwh	581kwh	0.83/kwh	482	2.78N

(供热量: 100 万 Kcal)

表 2 各采暖方案的比较数据

方案名称	A、谷电蓄热系统	B、城镇热网	C、天然气锅炉
冬季供暖	谷电蓄热锅炉 60%+燃气锅炉 40% 18000kW 电量+4848kW 热量	热网 11753kW 热量	燃气锅炉 11753kW 热量
过渡季供暖	谷电蓄热锅炉	燃气锅炉	燃气锅炉
生活热水备用热源	空气热源泵	空气热源泵	空气热源泵
供应室蒸汽	蒸汽发生器	蒸汽发生器	蒸汽发生器
初始设备投资(万元)	谷电蓄热锅炉: 1300 真空燃气锅炉: 76 总计: 1376	入网费: 1091 真空燃气锅炉: 60 总计: 1238	真空燃气锅炉: 300
年采暖运行费用(万元)	461	554	795

## 2.2 可行性分析

分析结果表明,热网接入、电力供应及天然气接入在本项目中具备可行性,而水源热泵方案因受地质条件和建筑设计制约,需要进一步验证其适用性。

根据沈阳市地下水资源分布数据,本项目地处弱富水区。地质勘察资料显示,地层以黏土夹卵砾石为主,55m以下为强化风砂岩层。在这种地质条件下,单井出水量通常为 30~80m<sup>3</sup>/h。通过对距离项目约 5 公里的一所理工大学的调研发现,该校水文地质勘察报告指出,单井出水量仅为 35m<sup>3</sup>/h<sup>[1]</sup>。而沈阳市普遍采用水源热泵项目的单井出水量多达 100m<sup>3</sup>/h 以上。若本项目采用水源热泵方案,则打井数量需大幅增加,可能达到正常需求的三倍以上,导致成本急剧上升。同时,场地空间有限,难以满足打井布置的需求。综上所述,水源热泵方案对本项目不具可行性。

## 2.3 综合比选

通过对多种方案的分析,电蓄热锅炉、城镇热网及天然气锅炉被认为是本项目采暖的适用选择。根据项目特点,热负荷需求估算如下:

采暖建筑面积: 117530m<sup>2</sup>;

热负荷指标: 每平方米 100w;

总热负荷: 11753kW。

在此基础上,分别从设备配置、运行特性、初始投资及运营成本四个方面对三种方案进行了详细对比。分析结果汇总于表 2:

综合评估显示,电蓄热锅炉在运行成本、环保性能及

技术应用的成熟度上具有明显优势,且经济性与适用性表现突出。基于此,该方案被推荐作为本项目的采暖方式。

方案 A 之所以选择谷电蓄热锅炉与燃气锅炉结合使用,旨在实现热源之间的互为备份。在正常供暖期间,谷电蓄热锅炉承担主要供暖任务,而在极端寒冷的天气条件下,燃气锅炉作为辅助热源,提供额外的热量以保障供暖的稳定性。

根据 20 年设备使用周期的估算,三种方案的综合成本如下:

方案 A: 初期投资为 1376 万元,每年运行费用为 461 万元,20 年总费用为 10596 万元;

方案 B: 初期投资为 1238 万元,每年运行费用为 554 万元,20 年总费用为 12318 万元;

方案 C: 初期投资为 300 万元,每年运行费用为 795 万元,20 年总费用为 16200 万元。

通过对比综合成本,方案 A 的总费用最低,方案 B 稍高。从功能需求的角度来看,本项目涉及多个不同功能的建筑单体,各区域的采暖时间需求有所不同。采用自有热源可实现灵活调节,满足不同区域的采暖需求。

综合考虑成本与功能的匹配性,最终选择方案 A 作为主要采暖方案,因其在经济性和适用性方面的优势。

## 3 谷电蓄热供暖技术

### 3.1 低谷电蓄热供暖技术简介

低谷电蓄热供暖技术通过将电能储存为热能,利用低谷时段进行转换,在非低谷时段将储存的热量释放出来,

以满足采暖需求。这种技术尤其适用于那些集中供热系统无法覆盖的小范围区域。该供暖方式不仅能够平衡电网负荷，提高发电效率，还具备削峰填谷的特点。通过优化电力资源的使用，能够有效减少能耗并降低污染物的排放。

### 3.2 谷电蓄热供暖系统原理

谷电蓄热供暖系统采用间接供热方式，所有管道均为预制保温管，保温材料为聚氨酯，外部保护层为高密度聚乙烯。该系统包括蓄热体封闭热风循环、一次网循环和二次网循环三大部分，具体工作原理如图一所示：

#### (1) 蓄热体封闭热风循环

蓄热体封闭热风循环系统通过在需求较低时积存热量，并在需求增加时释放所储存的热量，确保供暖系统的持续稳定。热风通过管道送入蓄热体，通过高效的热交换过程储存热量。待需求提升时，储存的热量可以迅速释放，以确保室内温度达到预期。蓄热体的设计考虑了热导性与隔热性能，以便于在较短时间内完成热量的积累与释放。通过智能控制系统，可以根据实时需求自动调节风量和温度，优化系统能效，提升供暖的稳定性与舒适度。

#### (2) 一次网循环系统

一次网循环系统承担着将热源输送至终端设备的任务，其主要构成包括热源装置、管道系统、泵及阀门等。通过管道将热水或蒸汽输送至各采暖装置，泵站在其中起到核心作用，保障热量高效传递至终端。系统内若出现压力不足，常因泵的工作效率低下、管道阻力增大或阀门调节不当所致。因此，泵站的实时监控与调整至关重要，保持系统的流量与压力平衡至关重要。借助智能控制，系统能灵活响应不同需求，通过调节流量与温度，实现节能与高效运行。

#### (3) 二次网循环系统

二次网循环系统负责从一次网接收热量并将其分配到不同的采暖设备，确保各个区域温度的均衡分布。系统主要包括分水器、管道系统、阀门及温控设备等，通过合理配置确保热量的精准分配，避免温差过大。为适应不同区域的需求，二次网系统能实时调整流量与温度，避免室内温度过高或过低。为保障系统的稳定性与高效运行，定期维护检查必不可少，防止设备故障影响整体效能。二次网的优化设计不仅提升了系统的能效，也增加了室内的舒适度，成为现代采暖系统中的重要环节。

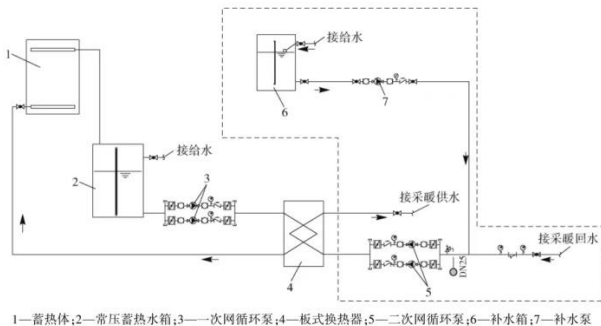


图1 谷电蓄热系统工作原理

## 4 供暖思路

在新建工程中，供暖系统首次投入使用时，任务量较大且存在许多不确定因素。尤其是在室外温度降至 $-20^{\circ}\text{C}$ 或更低，且供暖区域较为分散的情况下，供暖系统可能未能及时平衡，导致管道末端发生冻结。由此可见，在极端气候条件下，供暖系统的调试与平衡是一个非常具有挑战性的过程。

本项目供暖方案分为两个阶段。第一阶段，采用燃油热风炮对换热站及待供暖厂房进行预热，确保在正式灌水之前，室内温度达到至少 $+5^{\circ}\text{C}$ 。第二阶段，按埋地干管、室内干管、散热器及支管的顺序逐段进行灌水。待外线循环启动后，再次进行室内主管道的供暖，最后逐层为各户提供热量。调试工作将从最不利的环路入手，逐步调整至整个系统的平衡状态，确保热量精准输送到每个供暖区域。完成系统平衡后，保证外网热量供应的同时，内网将逐段调节，以确保管道正常运行，最终满足零下 $20^{\circ}\text{C}$ 及以上的采暖需求。

## 5 技术准备工作

### 5.1 预热顺序

在进行埋地管道灌水之前，必须对换热站进行预热处理。换热站内包含水箱、水泵、换热器、软水器等关键设备，这些设备在开始灌水后即开始运行，如果未采取预热措施，极容易发生冻害问题。因此，必须对设备进行保温，确保室内温度不低于 $+5^{\circ}\text{C}$ 。随后，在埋地管道灌水工作完成后至室内干管灌水之前，厂房需继续进行预热。这是因为埋地管道的管道标高低于冰冻线，外壁的保温层能有效隔离温度影响，而厂房若在此阶段预热将产生不必要的费用。若延后至室内干管灌水后再进行预热，容易导致室内温度过低，进而造成管道冻结的风险。因此，预热时机与持续时间必须精确控制，以确保供热系统的顺利启动。

### 5.2 热负荷及经济性计算

换热站及厂房的预热温度、热负荷等参数可以依据原设计图纸进行计算，通常，室内设计温度为 $+5^{\circ}\text{C}$ 。在选择燃油热风炮时，施工单位可以根据市场上 $50\text{kW}$ 与 $75\text{kW}$ 两种规格，结合计算出的热负荷需求，确定所需的数量。此外，根据现行的燃油价格、人工费用以及预热所需的天数，能够估算出每天的预热费用。这些数据不仅为业主提供了成本控制参考，也确保预热过程中的经济性与效率达到平衡。

### 5.3 维护人员及工具安排

为了确保预热过程的顺利进行，现场将设立气温监测小组，负责24小时内定期检查室内温度，并实时关注天气变化，适时启动应急预案，特别是应对极端天气。热风炮的运行将全天候进行，因此，厂房需要安排40名工作人员，分为两班轮流工作，每班持续12小时，每班由18名巡检工与2名电工组成。换热站的维护将安排8人，分为两班进行，保证24小时运转，每班包括3名巡检工与1名电工。此外，针对水泵调试、灌水试验等特殊工种，将根据具体需要安排人员及设备。所有人员的安排及所需工具设备将提前准备完毕，确保整个系统能高效运行。

#### 5.4 封堵措施以减少热量流失

为确保供暖系统的高效运行,必须减少楼内热量的外泄。因此,供暖启动前,所有门窗及其他开口部位必须按照设计要求彻底封闭。在供暖期间,所有封闭设施应保持密闭状态,禁止擅自打开或拆除<sup>[3]</sup>。对于门窗、车库出入口、风井、人孔及采光井等位置,可采取双层彩条布加厚棉被的封堵方式,并通过钢管进行加固,确保封闭效果。对于需要通过的大门,施工进出时可设置双层门,门上悬挂棉被,既便于进出,又能够有效保持温暖,减少热量的流失。

### 6 灌水调试过程

#### 6.1 环境检查

在正式开始灌水调试之前,必须对供暖系统的整体环境进行全面检查。这包括对换热站设备、管道系统及阀门等进行仔细检测,确保设备完好无损,连接紧密,管道无漏点,阀门能够正常开启与关闭。对于换热器及水泵等设备,要检查其是否处于良好的工作状态,防止设备故障影响后续操作。同时,考虑到严寒天气的影响,所有需要加热的区域应采取适当的保温措施,避免因气温过低而导致管道冻结或设备损坏。在检查过程中,还应确保预热区域门窗的密闭性,以防室外冷空气进入影响温度。所有水泵必须完成单机点动调试,确保其启动正常。在这些基础检查工作完成后,才能为灌水调试提供可靠保障。

#### 6.2 采暖系统灌水

环境检查确认无误后,灌水过程即可开始。灌水步骤通常包括:先灌生活水箱,再灌软化水箱,接着是埋地管道,然后是厂房内的主干管及支管,最后完成散热器的灌水。每一步骤的时间应根据设备参数及现场情况进行合理估算,以确保水流充足、系统内的空气顺畅排出。在埋地管道灌水过程中,回水管上的自动放气阀可能放气较慢,这会影响到灌水速度。因此,可以在回水管的最高点安装短管,并在末端加装球阀,用于专门放气,确保放气过程顺畅。整个灌水过程需要密切监控,以保证系统的正常运行。特别需要注意的是采暖入户井的灌水处理。此区域应开启入户装置的旁通阀门,关闭厂房内所有阀门,从而保证水流仅通过地下管道。在注水之前,要确保管道及阀门通过保温措施覆盖,防止冻结。灌水完成后,将通过循环水泵与板式换热器将冷水加热至 50℃ 以上,随后注入厂房主干管。主干管充满水后,再开始向散热器灌水。

### 7 突发事件处理

#### 7.1 电力供应问题

供暖系统的运行依赖于电力的稳定供应,任何电力中断都可能导致设备停运,从而影响系统的正常运行。针对这一风险,应提前对电力供应进行规划与检查,确保电力设施能够应对冬季低温可能带来的压力。若发生电力中断,需及时启动应急响应,尽快恢复电力供应。若停电超过一小时,应关闭入户装置阀门,并打开旁通阀,确保系统仅

在地下管道内进行水流循环,避免水管冻裂。及时修复电力故障并启动备用电源可有效降低停电所带来的风险,保证供暖系统稳定运行。

#### 7.2 漏水问题

漏水问题常见于管道连接不严密或者设备老化的情况下,尤其在灌水调试过程中较为突出。漏水若未得到及时处理,可能对供暖系统造成重大损害。为防止漏水事故的发生,需在灌水前仔细检查管道系统,确保连接无误,设备完好。如果发生漏水,应立即关闭受影响区域的阀门,防止漏水扩展到其他部位。维修人员应尽快到场,修复漏点,并根据修复情况重新启动供暖系统。在漏水较为严重的情况下,应关闭入户装置的阀门,并迅速清理积水。采取迅速的应对措施,可以有效减少漏水对供暖调试的影响,确保系统按计划投入使用。

#### 7.3 温度骤降问题

温度骤降是冬季施工中常见的突发事件,低温天气可能导致管道冻结,进而影响供暖系统的正常运行。为了应对突如其来的寒潮,提前采取有效的温控措施至关重要。当室外温度急剧下降时,需及时启用热风炮等加热设备,确保厂房内部温度不低于设定值,防止系统冻结。同时,管道保温工作也必须加强,避免出现热量流失现象。应定期检查温度监控设备,确保供暖系统在低温环境下能够稳定运行。通过有效的温控措施,可以应对突发的低温天气,确保供暖系统不受影响,保障施工进度。

### 8 结束语

在我国东北地区,冬季施工时常遭遇低于-15℃的严寒天气,最低气温可达-29℃。此时,室外作业基本停滞,室内作业则需在确保正式供暖或可靠临时供暖措施的基础上继续进行。通过实际案例分析表明,即便在气温低于-15℃且尚未启用正式供暖的情况下,只要严格执行各项供暖及保温措施,做到从人力、设备、材料、方法、环境等各方面的充分准备与落实,依然能够顺利进行供暖调试,并保证冬季供暖的正常进行。结果显示,实施此种措施能够有效应对严寒气候,且在缩短施工工期方面成效显著。这一经验为类似寒冷地区的冬季施工提供了重要的借鉴,也为工期紧张的建筑工程提供了参考价值。

#### [参考文献]

- [1] 吴敏,赵金玲. 东北寒冷地区装配式农房热性能实测研究[J]. 制冷与空调(四川), 2024, 38(4): 465-471.
- [2] 马梦茹. 寒冷地区居住建筑围护结构改造生态生命周期评价及应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2021.
- [3] 麻峰瑞. 张家口寒冷地区乡村装配式超低能耗住宅设计研究[D]. 河北: 河北工业大学, 2022.

作者简介: 熊新林(1983.4—), 大学本科学历, 毕业于华中科技大学-土木工程专业, 高级工程师, 现就职于中铁隧道局集团建设有限公司。