

# 市政工程供热管网施工改造节能设计分析

张敦国

(乐陵市城市管理综合服务中心, 山东 乐陵 253600)

**摘要** 随着我国“双碳”战略目标的深入推进, 市政基础设施的绿色低碳转型成为关键环节。供热管网是城市能源系统中重要的一环, 它的运行状况直接影响到区域热能的利用情况和碳排放量。当前大量的既有供热管网存在老化、保温性差、水力失调等现象, 亟需通过科学的施工改造和节能设计来提高系统的整体效率。本文主要对市政工程供热管网施工改造中节能设计进行论述, 系统地分析其重要性, 提出三个核心设计原则, 从材料选择、水力优化、智能控制和施工工艺四个方面进行详细的阐述, 旨在为促进供热管网向高效、稳定、智能化方向发展提供参考, 进而促进城市供热系统的节能降耗。

**关键词** 市政工程; 供热管网; 节能设计; 水力平衡; 智能调控

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.12.038

## 0 引言

随着国家“碳达峰、碳中和”战略的全面铺开, 城市基础设施的绿色低碳转型已经由政策驱动转变为刚性约束。市政供热管网是城市能源输配系统的重要组成部分, 具有把热量高效、稳定地输送到千家万户的功能, 其运行效率既关系到居民用热的质量, 又影响到区域的一次能源消耗和温室气体的排放量。但是当前运行多年的大批供热管网由于设计标准过时、材料老化、施工工艺落后等原因, 普遍存在着保温性能下降、水力工况失衡、调控手段简单等问题, 导致热损失大、泵耗高、调节反应慢等现象长期存在。在此背景下, 以节能为指向的供热管网施工改造不再仅仅是简单地对设备进行更新或者局部维修, 而是一种将新材料、新工艺、智能控制和绿色建造理念融入其中的系统性工程重构。

## 1 市政工程供热管网施工改造节能设计的重要性

市政供热管网是由热源、输配管网和终端用户构成的能量输送系统。市政供热管网的运行状况直接决定整个供热系统的效率及环境效益。当前我国北方地区大量的供热管网建于20世纪80-90年代, 都存在管材老化、保温层失效、接口渗漏率高的问题, 造成热损失率普遍大于15%, 部分老旧区域甚至达到25%以上。这种高耗能不但会造成能源的浪费, 还会加大碳排放的压力<sup>[1]</sup>。另外, 传统的管网大多使用定流量运行方

式, 不能对负荷的变化做出反应, 容易造成近端过热、远端不热的水力失调现象, 从而降低用户的满意度和系统的调节效率。在国家大力推行新型城镇化和绿色基础设施建设的大背景下, 对既有供热管网进行以节能为方向的施工改造, 是提高城市能源韧性、降低碳排放强度、保证民生用热质量的重要途径。采用高性能保温材料、优化管网拓扑结构、部署智能调控系统等方式, 在不明显提高投资的情况下, 可以达到热损降低30%以上、泵耗减少20%以上的一体化节能效果, 有明显的经济效益和社会效益。

## 2 市政工程供热管网施工改造节能设计核心原则

### 2.1 系统整体性原则

供热管网不是孤立的管道集合, 是由热源、输配管网、用户末端和调控系统组成的复杂热力网络。节能设计不能采取头痛医头、脚痛医脚的局部优化方法, 而应该采用系统整体性的观点, 从热源输出特性、管网输送能力和用户负荷需求三者之间动态匹配的角度来统筹考虑。局部管段更换时, 只考虑该段保温性能的提高而不考虑它对下游水力工况的影响, 会造成新的不平衡点。因此, 改造前要根据全网水力、热力耦合模型做仿真分析, 找出瓶颈节点和冗余环节, 确保局部改造服务于整个系统的能效提升。系统整体性还表现在多能互补上, 即把热网同电、气等其他能源系统进行耦合设计, 在谷电时用蓄热或者工业余热来补充, 可以提高一次能源的利用率<sup>[2]</sup>。

作者简介: 张敦国(1970-), 男, 专科, 助理工程师, 研究方向: 市政工程。

## 2.2 全生命周期经济性原则

节能设计要兼顾运行阶段的能耗降低,并考虑初投资、运维成本以及设备寿命等各方面的因素,实现全生命周期内经济效益最大化。高性能材料或者智能设备虽然初期投资较大,但是由于它们的耐久性好、维护次数少、节能效果明显,在 5 年到 8 年之内就可以收回增量成本。预制直埋保温管代替传统的现场缠绕保温方式,虽然单米造价提高了约 15%,但是接头密封性好、热损率低、寿命可达 30 年,大大降低以后的检修和热能损耗成本。因此,在方案比选时应该采用全生命周期成本(LCC)分析的方法,防止为了达到短期的投资控制目的而忽略了长期的运行效益。另外,需要结合财政补贴政策与碳交易机制来量化外部性收益,为高性价比节能技术的使用提供决策依据。

## 2.3 技术适配性与可实施性原则

节能技术选择要同既有管网现状、施工条件和运维能力相适应,不能为了追求高端而忽略了落地的可行性,在狭窄的街道或者地下管线密集的地方,大口径非开挖修复技术虽有其优势,但是如果缺乏专业的设备和操作人员,就很难保证施工的质量。因此,改造方案要以现场踏勘的数据为基础,分析地质条件、交通限制、停暖窗口期等因素的影响,在满足安全、环保要求的前提下,选择技术成熟、施工方便、对居民影响小的工艺路线。此外,智能调控系统部署时也要考虑到现有的 SCADA 系统兼容性和运维人员的技术水平,优先使用模块化、易集成的软硬件架构,保证系统上线之后可以稳定运行,并且达到预期的效果。技术适配性可保证节能效果的连续产生<sup>[3]</sup>。

## 3 市政工程供热管网施工改造节能有效路径

### 3.1 高性能保温材料与结构优化应用

供热管网热损失的根本原因是管道外壁和环境之间存在着温度差,导致热传导。保温结构设计的优劣直接影响到热阻的大小。传统的保温方式大多用现场缠绕岩棉或者玻璃棉,再外贴镀锌铁皮,既不能保证施工质量,又容易造成热桥,长期运行时由于吸湿使导热系数增大。现代节能改造重视工厂预制、一体化成型的保温结构,高密度聚氨酯硬泡(PUR)直埋保温管是主要选择。从内到外依次是工作钢管、聚氨酯发泡保温层、高密度聚乙烯(HDPE)外护管,三者用化学交联的方式结合在一起,形成一个密闭的防水体系。在施工改造时,应优先选用散热严重的架空管、地沟管等敷设方式的管段,对弯头、三通、阀门等异形部

件采用模压保温壳,以保证保温层连续不断。此外,对穿越道路、河流等特殊路段采用钢套钢复合保温结构,以增加机械强度和耐久性<sup>[4]</sup>。

具体而言,改造工程要严格按照《城镇供热直埋蒸汽管道技术规程》《高密度聚乙烯外护管聚氨酯泡沫塑料预制直埋保温管》等有关标准来执行。在某大型城区主干线更新工程中,施工队伍先对原有管线做三维激光扫描,得到管位、埋深和周围地下构筑物的信息,再根据热力设计参数计算出各个管段的经济保温厚度,然后按不同的规格定制预制管节。运输到现场之后,用电熔套筒或者热收缩带对接口进行密封处理,保证环向和纵向接缝的气密性。在整个施工过程中,要重视工序衔接和质量控制,保证接头保温的完整性,防止由于施工原因造成后期热损失集中。

### 3.2 水力工况精细化调控与平衡

水力失调的本质在于管网各个并联支路的阻力特性不一样,造成流量分配不符合设计要求。要解决这一问题不能只依靠末端用户调节,而应从系统上建立分级调控机制。首先,在热力站出口处装设静态平衡阀,按照设计流量预先设定开度,实现一次网与二次网的合理调配;其次,在各个建筑物或者小区入口处装设动态压差控制阀(DPV),该装置依靠感压膜片实时感应用户的供回水压差并自动调节阀芯位置来保持所设定的压差不变,从而消除主管网压力变化给末端造成的干扰。同时,循环水泵要装设变频驱动装置,其转速由回水温度或者温差信号来控制,使系统一直处于“小流量、大温差”的高效运转状态。该种由静态初调、动态稳压、泵频联动组成的三级调节体系,可有效地防止近端过流和远端欠流现象的发生。

基于此,在实际的改造过程中,需要对原有的管网做水力试验,得到各个节点的压力、流量等参数,用专业软件建立数字模型,对其进行仿真校核。以某集中供热区域二次网改造为例,工程团队先关闭所有的用户支路,逐个打开并测量实际的流量,与设计值比较之后来计算需要的平衡阀Kv值,然后在每一栋楼的热力入口井内安装一个压差控制阀,其设定值根据建筑的高度和系统使用的压力头来定。循环泵由变频机组代替之后,将它的控制逻辑接入气候补偿控制器之中,即该控制器依据室外实际温度来自动调整供水温度的设定值,再联动变频器来调节水泵的转速。施工期间要注意阀门安装方向和前后直管段的长度,保证阀门调节特性不受干扰。系统调试阶段采用分段平衡法,先调主干管,再调分支管,最后微调末端,逐

级逼近理想的水力工况。整个过程是以参数整定和系统协同为主,而不是简单的设备叠加。

### 3.3 智能监测与预测性运维体系构建

传统的被动式运维不能适应管网隐蔽性高、故障发生突然的特点,节能改造要融入主动感知和智能决策。其关键在于搭建起“端一边一云”三层结构的监测网络,在管道重要位置装设温度、压力、流量、声波传感器作为感知端,实时采集运行状态;边缘计算网关对原始数据进行滤波、特征提取和异常判断,减少无用的上传;云端平台集合了数字孪生模型以及机器学习算法,实现故障预警和调度优化。根据时间序列分析得到的泄漏检测模型,可通过比较上下游流量差值的变化率来发现微小渗漏;结合气象预报和历史负荷的深度学习模型,可生成未来24小时热需求曲线,从而指导热源厂提前做好燃烧策略调整。

因此,在部署实施上要协调好供电、通信以及防护等级之间的关系。传感器选择要满足IP68防护等级,且工作温度范围在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。供电方式可以选择锂电池加太阳能板的组合形式,保证长时间使用无需维护。通信链路采用LoRa或者NB-IoT等低功耗广域网技术,适用于地下弱信号环境。以某城市主干网智能化升级为案例,每公里设置1个监测点,监测点包含双冗余的温度压力变送器、超声波流量计,在阀门井中安装防爆型边缘网关。数据经过市政物联网平台后,进入供热调度中心的数字孪生系统。该系统以BIM模型为底图,在其上叠加实时运行参数和设备状态,可进行三维可视化巡检和故障定位。运维人员可以利用移动终端接收到的预警信息,调用相关的历史数据进行辅助诊断。整个体系以数据闭环和人机协同为核心,使运维由经验驱动转向数据驱动。

### 3.4 绿色施工工艺与资源循环利用

施工环节的节能既关系到运行阶段,又体现在建造过程本身所具有的资源消耗和环境影响上。传统的开挖施工要先破除路面、支护沟槽、外运渣土,工期长、扰民大,而且柴油机械作业会产生大量的碳排放。非开挖修复技术为此提供了一条新的途径。对于内部有腐蚀但是结构还存在的老式金属管,可以使用高密度聚乙烯(HDPE)管穿插法,即先对旧管进行清洗疏通,再将盘卷好的HDPE管加热软化后牵引穿入,冷却后紧贴管壁形成新的内衬。本工艺不需要大面积开挖,适合于交通繁忙的路段。另一种常用的加固方式在于原位固化(CIPP),即把浸渍热固性树脂的软管翻转

插入旧管,用热水或者紫外线使其固化成型,适合于混凝土或者陶土管的修复<sup>[5]</sup>。

另外,拆除的旧管材要进行分类处理。球墨铸铁管、无缝钢管等金属材料经过切割、除锈之后送往钢厂回炉再生;聚氨酯保温废料用醇解工艺分解成多元醇和胺类化合物,再用于保温原料的合成。施工组织上要推行模块化预制的理念,即把阀门组、补偿器、支架等做成标准的单元,在工厂完成焊接、试压和保温的工作,现场只需要吊装对接即可,大大减少了高空狭窄空间作业。以某次干道改造为例,施工方用螺旋缠绕法更新DN400主管,即先用铣刨机清除旧管内壁,然后用带有HDPE板材的旋转头连续缠绕成型,同时打入粘结剂。全过程只占用半幅车道,夜间施工,白天恢复正常通车。旧铸铁管破碎后一部分用作路基回填,另一部分的金属部分统一回收。该种做法把施工对城市运行的影响降到最小,又实现了材料的高效循环利用,体现的是绿色建造的主要价值。

## 4 结束语

市政工程供热管网的施工改造节能设计是一个系统工程,需要把材料科学、流体力学、自动控制和绿色建造等多门学科的知识结合起来。在日趋严重的能源和气候危机面前,单纯地依靠设备升级已经不能满足深度节能的要求,必须转向以系统集成、智能调控、全生命周期管理为主要内容的综合解决方案。按照整体性、经济性和适配性的原则来推进高性能保温、水力平衡、智能运维和绿色施工这四个方向,可以明显提高供热管网的能效水平,促进城市能源系统的低碳转型。未来的供热管网,依靠数字孪生、人工智能和新型材料技术不断进步,向着更高效、更韧性、更智慧的方向发展,为实现“双碳”目标提供坚实的支撑。

## 参考文献:

- [1] 张迦铭.浅析市政工程供热管网施工改造节能设计[J].中国设备工程,2025(04):134-136.
- [2] 罗江涛.室外供热管网工程设计要点探究[J].建筑与预算,2023(07):49-51.
- [3] 尤永良.市政集中供热管网的施工工艺及质控方法思考[J].中国住宅设施,2023(05):163-165.
- [4] 魏智邦.市政供热管网标准化施工技术研究[J].大众标准化,2023(09):129-130,133.
- [5] 何怡枫.集中供热管网工程全过程造价管理对策分析[J].工程建设与设计,2022(10):235-237.