

城镇供热长输管线优化设计的分析

尹梦冉

山东万豪华宇工程设计有限公司

摘要：随着城镇化进程的加速，对城镇供热系统的效率和可持续性提出更高的要求。本研究通过分析长输供热管线的优化设计，探讨包括智能化技术应用、新材料开发利用以及能源多样化和可持续性策略在内的多种优化措施。通过细致考量管线的敷设方式、连接方式及供回水温度的优化，本文旨在提供一套系统性的解决方案，以提高城镇供热系统的能效、经济性和环境适应性，确保供热系统的长期稳定运行，同时减少对环境的影响，促进能源的可持续利用。

关键词：城镇供热；长输管线；优化设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.12.055

引言

城镇供热系统作为城市基础设施的重要组成部分，其设计和运行效率直接关系到能源利用效率和居民生活质量。在全球能源形势和环境保护要求日益严峻的背景下，优化城镇供热长输管线的设计，提高供热效率，降低能耗和排放成为迫切需要解决的问题。同时，随着技术进步和材料科学的发展，新的设计理念和方法为实现这一目标提供可能性。

一、整体规划

在城镇供热系统的整体规划中，深入分析热能需求与供热范围是基础。首先，通过精确的数据收集与需求预测，确定供热区域的具体热负荷。接着，考虑到环境影响和可持续性要求，规划应当涵盖高效能源利用和低碳排放技术的应用，包括可再生能源如地热、太阳能的集成。此外，供热源的类型、位置及其与供热网络的连接配置需根据热效率、经济性及环境影响进行优化。长远发展规划方面，应预留足够的灵活性以适应未来技术进步、人口增长和城市发展变化的需求。这包括供热网络的可扩展性、升级可能性及新技术的兼容性。采用先进的供热技术，如热泵、余热回收系统，可以进一步提升系统的整体热效率和经济性。最终，整体规划应确保供热系统的可靠性、稳定性和长期可持续性，同时最小化对环境的负面影响，为城镇居民提供高效、安全、环保的供热服务^[1]。

二、长输供热管线的敷设方式

（一）连接方式及供回水温度

在长输供热管线系统的设计中，选择连接方式对于确保热能传输效率和系统可靠性至关重要。串联、并联及其组合是三种基本的连接方式，每种方式在不同的应用场景中展现出独特的优势。串联连接方式允许热能

在多个消费点之间顺序传递，适合于需求分布相对均匀的供热系统。这种方式能简化管网布局，减少管道总长度，从而降低建设和运行成本。然而，串联系统中的热能损失较高，对于远距离传热尤其明显。相比之下，采用并联连接方式，可以在多个分支上同时供热，有效降低热能在传输过程中的损失，提高系统的灵活性和可靠性。并联系统允许对每个分支的供热量进行独立调节，更适应于需求波动大的区域。此外，混合连接方式结合串联和并联的优点，通过灵活配置，既可以实现热能的有效分配，又能保持系统运行的高效率和稳定性。

供回水温度的优化在长输供热管线设计中占据关键地位，它直接关系到热能传输效率及系统的运行成本。理想的供水温度应确保充分的热量传递至最远端用户，同时最小化传输过程中的热能损失。通常情况下，供水温度设定在70℃至130℃之间，回水温度控制在40℃至70℃之间，具体温度视外部气候条件、用户热负荷需求及管线绝热性能而定。较高的供水温度虽可提升热能传输效率，但也会导致管线热损失增加及运行成本上升。因此，供回水温度的优化不仅需依据热力学原理，亦需结合实际操作经验与先进控制技术，通过动态调节，实现能量利用率与经济效益的最佳平衡。例如，借助天气预报数据与实时热负荷监控，可预测热需求变化，据此调整供回水温度，以应对不同运行条件，达成供热系统的最优化运行。

（二）架空敷设

架空敷设是将供热管线架设于地面以上的一种方法，主要应用于跨越自然障碍（例如河流）、交通干线或地下空间受限区域。该方法的设计要求极高的工程精度和对环境因素的深入考虑，以确保管线稳定性和使用寿命。在架设过程中，必须详尽分析管线所承受的风载、雪载和其他潜在环境影响，以设计出能够抵御这些自然力的结构。此外，架空管线的支撑结构需采用耐腐蚀、高强度材料，如镀锌钢或不锈钢，以确保长期结构安全。架空管线面临的一个关键技术挑战是如何有效地进行热绝缘，减少热能传输过程中的损失。采用高性能绝热材料和先进绝热技术，例如真空绝热技术，能显著降低热损失，提升热能传输效率。绝热层厚度、材料导热系数及外部防护层设计均是影响架空管线热效率的关键因素。

尽管架空敷设方式的初期投资高于地下敷设，其便于检修和维护的特性使得长期运营更为经济。架空管线易于观察，任何泄漏或损害都能迅速被发现并修复，从而减少紧急维修的成本和时间。此外，架空敷设能避免地下施工遇到的问题，如地下水位变化、土壤移动或其

他地质条件的不确定性，这些因素会影响地下管线的稳定性和安全性。然而，架空管线的一个主要缺点是其对环境的视觉影响，特别是在城市和景观敏感区域。为减轻这一问题，可以通过设计考量和采用与周边环境相协调的材料和色彩，以减少其对景观的冲击。最终，选择架空敷设方式应基于对项目特定条件的全面评估，涵盖经济效益、技术可行性、环境影响及运行和维护的便利性，确保既高效传输热能，又符合环境与社会的可持续发展目标^[2]。

（三）地下直埋敷设

1. 无补偿直埋敷设

地下直接埋地敷设是供热管网中一种常见的安装方式，其中无补偿直接埋地敷设方式因其简便性和经济效益而受到广泛应用。在这种方法中，供热管道被直接埋入地下，不使用任何形式的热膨胀补偿装置。设计时，重点在于选择具有良好热稳定性和耐久性的管材，如预应力钢管或添加了热稳定剂的塑料管，以承受由土壤压力和温度差异引起的形变。无补偿直接埋地管线通常采用高效的保温层进行包裹，以减少土壤中的热损失，同时保温材料需具备良好的抗湿性和长期的热稳定性。此外，在布置地下直接埋地管线时，需考虑到未来地面使用情况的变化，避免管线因地面施工或其他活动而受到损害。无补偿直接埋地敷设方式的优点在于其施工速度快、对地面活动的干扰小，并能有效利用地下空间。然而，为确保系统的长期稳定运行和经济效益，设计和材料选择需要更高的精确性和技术考量。

2. 增加一次性的补偿器

在地下直埋供热管线系统中，一次性热补偿器是一种重要的技术措施，旨在缓解因温度变化引起的管道热膨胀问题。这种补偿器通过预先在管线中设置一定长度的可伸缩段，来吸收由温差产生的管道长度变化，从而避免热应力集中和潜在的管道损伤。一次性热补偿器的优势在于其结构简单、经济实用，且维护需求较低。然而，为确保其有效性，必须在设计阶段精确计算热膨胀的影响，并据此确定合适的补偿器长度。此外，补偿器的安装位置也需要仔细规划，以避免对管线整体布局和施工计划造成不利影响。通过合理设计和安装一次性热补偿器，可以显著提升地下直埋供热管线的运行可靠性和安全性，减少热量损失，保障供热系统的长期稳定运行。

3. 直埋式的热力管道补偿器的增设

直埋式热力管道补偿器的增设是对地下供热管网系统的重要优化措施。相较于一次性补偿器，直埋式热力管道补偿器设计为动态可调型装置，能够根据管线运行过程中的实际温度变化，自动调整其长度，有效缓解由热膨胀或收缩引发的应力集中。这种补偿器通常选用高弹性材料或特殊设计的伸缩节，以确保其具备出色的适应性和可靠性。在设计和安装直埋式补偿器时，需全面

考虑土壤条件、管线埋设深度及周边环境因素，确保其长期稳定运行。通过应用直埋式热力管道补偿器，可以显著增强供热管网的稳定性，降低维护成本，并减少潜在的运行风险。此外，直埋式补偿器适用于更广泛的温度波动范围和复杂多变的地质条件，为供热管线提供了更加全面和高级别的保护^[3]。

三、城市供热管网的优化设计

（一）供热管网系统的优点

城市供热管网系统的设计和优化是实现城市能源高效利用和环境保护的关键。供热管网系统通过集中供热方式，能够有效提高能源使用效率，降低燃煤和其他化石燃料的消耗，从而减少大气污染和温室气体排放。与分散供热相比，集中供热系统通过优化热源配置和热网布局，实现热能的大规模集约化管理，使能源供应更加稳定可靠。此外，集中供热还有助于降低城市能源供应的综合成本，通过规模经济效应，减少单位热量的生产和传输成本，为城市居民提供更加经济的供热服务。供热管网的优化设计还包括采用高效的热交换设备和先进的调节控制技术，进一步提高系统的热效率，确保供热质量满足用户需求。

在环境可持续性方面，城市供热管网系统通过集中控制和优化运行，能显著减少对环境的负面影响。集中供热系统能够有效控制污染物排放，特别是在采用清洁能源（如天然气、地热能、太阳能等）作为热源时，可以实现几乎零排放的供热。此外，供热管网的优化设计还考虑到热能的回收利用，通过设置热泵和余热回收装置，可以回收工业过程或其他供热系统中的余热，用于供热或生活热水，能大大提高能源的综合利用效率。从长远看，城市供热管网的优化不仅有助于缓解能源危机，还能推动城市向低碳、环保的方向发展，为居民创造一个更加舒适和健康的生活环境。

（二）管道的优化设计

在城市供热管网系统的优化设计中，管道布局是实现高效能源分配的重要考量。优化设计首先要求管道沿城市的主要交通路线布置，这样的布局不仅有利于管道的维护和管理，而且能够最大限度地减少对城市交通的影响。在规划过程中，设计师需考虑到城市规划的长远发展，确保管道系统与城市的基础设施建设协调一致。此外，管道的铺设应尽量避免穿越地质不稳定区域，如软土地带和山体滑坡危险区，以及地下水位较高的区域，这些因素都会对管道的稳定性和安全性构成威胁。通过采用高精度的地质勘探技术和地理信息系统（GIS）工具，可以在设计阶段对这些潜在风险进行精确评估和规避，确保管道系统的长期稳定运行。

进一步地，管道与城市环境的和谐共存也是优化设计的关键。设计时应考虑管道对城市景观的影响，采用地下敷设等方式以减少对城市视觉环境的干扰。同时，管道系统应与城市中的其他基础设施如水管、电缆等相

协调,避免施工和维护过程中的相互干扰。在保障操作安全的前提下,合理规划管线阀门和检修门的位置,既便于日常的维护工作,也能保证紧急情况下的快速响应能力。此外,根据热负荷集中区域的特点,通过科学计算和技术分析,合理确定管道的直径、材质和绝热层厚度,以达到最佳的热效率和经济效益。

(三) 设计优化的核心问题

在城市供热管网的设计优化过程中,管道直径的选择是核心技术问题之一,直接影响到系统的能效、运行成本和可靠性。优化管道直径需要综合考虑热负荷分布、流量需求以及未来负载的潜在增长,确保供热系统的长期稳定运行和经济性。由于管道直径的选择受到一系列技术和经济因素的约束,包括材料成本、土建工程复杂度以及能源效率等,因此在设计阶段进行精确的计算和评估尤为重要。理想的管道直径不仅要保证热能有效传输,还需考虑最小化热损失和减少泵送能耗。此外,由于工程实践中管道直径是离散选择的,设计者需要在有限的直径选项中找到最优组合,这要求采用高级的优化算法和模拟技术,根据具体的供热需求和管网布局条件,确定各管段的最佳直径^[4]。

同时,管道直径的优化规划还必须充分考虑系统的运行灵活性和适应性。过小的管径虽然能降低初期投资成本,但会导致运输阻力增大,从而增加泵送能耗和运行成本。反之,过大的管径虽然可以减小流体的阻力,但初期投资显著增加,且不一定能带来相应的能效提升。因此,确定管道直径时,还需评估系统在不同运行模式下的性能,确保在全生命周期内实现成本效益最大化。这包括对未来热负荷增长的预测,以及对不同供热模式下管网性能的评估,以便设计出既能满足当前需求,又能适应未来变化的供热系统。

四、未来发展方向

(一) 高效能源利用与回收技术

高效能源利用与回收技术在城镇供热长输管线的未来发展中扮演着至关重要的角色。随着能源需求的不断增长和环境保护的压力加大,采用先进的能源利用与回收技术成为提升供热系统能效和可持续性的关键途径。具体到长输供热管线系统,这意味着整合如热泵技术、余热回收系统以及利用太阳能和地热等可再生能源的高效换热设备。这些技术能够最大化地捕获和再利用在供热过程中产生的余热,以及从自然环境中获取的低品位能源,实现能源的二次利用和提高整体供热效率。例如,通过在长输管线中安装高效的热泵系统,可以利用低温热源对供热水进行加热,显著提升系统的能源利用效率。同时,余热回收技术可以将工业过程或其他供热系统中的废热回收利用,减少能源浪费,降低供热成本。

(二) 管线材料与制造技术创新

管线材料与制造技术的创新是推动城镇供热长输管线发展的关键因素之一。随着新材料科学和高精度制造

技术的进步,未来的供热管线将越来越多地采用更轻质、更耐用、更高效的材料,如先进复合材料、耐高温合金以及具有自修复功能的智能材料。这些新型材料不仅能够提高管线的热效率和机械强度,减少热能在输送过程中的损失,还能显著提升管线的耐腐蚀性和延长使用寿命,从而降低长期运维成本。同时,采用现代制造技术如3D打印,能够在管线设计和制造过程中实现更高的精度和灵活性,允许定制化生产以适应复杂的地形和安装环境,进一步优化供热系统的整体性能。此外,随着智能制造技术的发展,未来的管线制造还将更加自动化和智能化,提高生产效率和质量控制水平,确保供热管线系统的高可靠性和高性能。

(三) 智能化管网管理与优化控制

智能化管网管理与优化控制代表着城镇供热长输管线未来发展的重要方向,致力于通过先进的信息技术和自动化技术提升供热系统的运行效率和可靠性。集成物联网(IoT)技术、人工智能(AI)、大数据分析以及云计算等现代信息技术,使得长输供热管线能够实现实时数据监测、智能诊断、预测维护以及优化控制。这种智能化管理系统能够根据实时监测到的管网运行数据,如温度、流量和压力等,自动调整供热参数,以最大化热能利用效率,同时预测系统潜在的故障和性能下降,提前进行维护和调整,减少停机时间,确保供热系统的稳定运行。此外,通过应用机器学习和优化算法,智能化管网管理系统能够学习历史运行数据,不断优化供热策略,以适应不同的供热需求和外部环境变化,实现供热效率和节能减排的双重目标。

五、结语

总而言之,城镇供热长输管线的优化设计关乎于如何高效、经济且可持续地满足城市供热的需求。智能化技术的应用、新材料的开发利用以及能源的多样化和可持续性策略,共同构成未来供热系统发展的核心。通过综合考虑管线敷设方式、材料选择、能源配置以及技术创新,可以显著提高供热系统的性能,降低环境影响,确保长期的经济效益。面对能源消耗和环境保护的双重挑战,这种全面而前瞻性的设计思路,指引着城镇供热系统向更加高效、绿色和智能化的方向发展。

参考文献

- [1] 陈善堂. 城市集中供热管网中存在的问题及优化设计[J]. 工程建设与设计, 2022(4): 3.
- [2] 刘巍. 城市集中供热系统长输管线设计与管网优化研究[J]. 中国高科技, 2022(009): 000.
- [3] 成浩. 优化城市供热管网设计提升供暖效果[J]. 建材发展导向, 2021, 019(009): 6-7.
- [4] 王鹏. 城镇供热长输管线优化设计研究[J]. 科学技术创新, 2018(21): 124-125.
- [5] 邓志丹, 左明月. 浅谈城市供热管网的优化设计[J]. 化工设计通讯, 2017(02): 145-146.