

集中供热管网工程的优化设计及其施工质量管理

文 / 崔传睿 山东瑞通智胜信息技术有限公司

张成明 山东国舜建设集团有限公司

张家壮 辰鲁（山东）环境工程设计院有限公司

摘要：集中供热管网作为城市供热系统的重要组成部分，其设计优化与施工质量管理对于提高供热效率、降低能耗和保障系统稳定运行具有重要意义。随着技术的进步和能源需求的变化，如何在设计阶段合理优化管网结构、如何在施工过程中有效控制质量，已成为集中供热管网工程亟待解决的问题。通过对管网系统的优化设计、智能化技术的应用及施工质量管理中的关键环节进行深入分析，可以有效提升工程的整体效益。本文旨在探讨集中供热管网工程的设计优化方法与施工质量管理策略，并提出相应的解决方案，以期为实际工程提供参考与借鉴。

关键词：集中供热；管网工程；优化设计；施工质量管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.09.123

引言

集中供热管网作为保障城市居民冬季供暖的关键设施，在现代化城市建设中扮演着至关重要的角色。随着全球能源结构的不断调整和环保压力的增加，供热管网的高效、低能耗运行已成为工程设计和管理的核心要求。供热管网工程的设计不仅涉及管道布置、热源匹配等技术性问题，还需要考虑成本效益、系统的可扩展性以及后期维护等因素。

一、集中供热管网工程的设计优化

（一）集中供热管网设计的基本原则

集中供热管网设计的基本原则主要围绕系统的经济性、稳定性与可持续性展开。首先，经济性要求在确保供热需求的同时，最大程度地降低建设与运营成本。这涉及到对管道材质、布设方案以及热源位置的科学选择，使得热损失最小化，且管网系统的投资和运营费用处于可接受范围内。其次，稳定性是指管网设计必须保证供热系统在负荷波动及极端气候条件下的运行稳定。为此，需要采用合理的热力平衡设计和灵活的调节方案，使得供热系统能够在不同负荷条件下维持较高的运行效率和安全性。此外，管网设计还应考虑到可持续性，即能够适应未来发展需求，如管网扩展与技术更新。设计时应留有适当的弹性，确保系统在后期能够支持热力需求的增长，满足社会经济发展和节能减排目标^[1]。

（二）管网设计中的关键因素分析

在集中供热管网设计过程中，热负荷预测、管道选型、系统布局和流体动力等因素对设计效果起着决定性作用。热负荷预测是管网设计的核心，正确的负荷计算能够确保设计方案在高效运行的同时满足不同季节和气候条件下的供热需求。负荷的精确预测需依托多年的气象数据、用户需求趋势以及社会经济发展状况，结合先进的统计

与模拟方法进行。其次，管道材质与选型直接影响管网的安全性与经济性。根据不同环境下的耐腐蚀性、热传导性以及安装便捷性，选择合适的管道材质对于降低维护成本和延长使用寿命至关重要。常见的管道材料有钢管、铝塑复合管等，每种材料都有其独特的优势和适用场景，设计师需根据项目具体情况作出合理选择。系统布局也是关键因素之一，合理的管网走向和支路规划能够有效减少热损失，优化资源配置。设计师需根据城市规划、地形地貌以及用户分布，灵活设计管网走向。最后，流体动力设计考虑到流速、压力等参数对系统效率的影响，管网设计必须合理设定流速，避免由于过高的流速导致的噪音和管道磨损，同时要确保足够的压力以维持管网的稳定运行。

（三）管网系统优化设计方法

1. 系统优化模型

集中供热管网系统的优化设计需要依托系统优化模型，这些模型能够在多个设计变量和约束条件下找到最优解。常用的优化模型包括数学规划模型、多目标优化模型及遗传算法等。这些模型考虑了管道布设、流体力学、热损失、材料选择等多个方面的因素。例如，运用线性规划方法对管网的布局进行优化，可以有效地降低管道的整体长度，从而减少热损失和建设成本。通过求解最优路径问题，能够实现供热管网的最短输送路径设计，减少热量的散失，提高能源利用效率。在多目标优化模型中，设计师往往需要平衡系统的经济性与安全性，通过约束条件设置（如热力负荷需求、环境限制等），在保证系统稳定运行的前提下，减少资源浪费^[2]。

2. 热源与热网匹配分析

热源与热网的匹配分析是集中供热系统设计中的重要环节，直接影响管网的运行效率与能源消耗。热源

与热网的合理匹配要求考虑热源容量与热负荷的动态匹配，保证热网在不同负荷下能够实现高效运行。热源的选择应综合考虑热源的种类（如锅炉、热泵、余热回收系统等）以及热源的运行稳定性。例如，对于大型工业园区，余热回收系统是一个更具经济性的热源，而对于住宅区则常采用集中锅炉供热。在匹配分析中，热负荷预测模型起着关键作用，依据历史数据、气象条件和社会经济发展情况，预测未来一定时期内的热负荷需求。

3. 智能化设计与自动化调控

随着信息技术的发展，集中供热管网的设计逐渐趋向智能化与自动化。智能化设计通过物联网技术（IoT）和大数据分析，实现对管网运行状态的实时监控与数据反馈。例如，传感器可以实时监测管网的温度、压力、流量等关键参数，并通过无线网络将数据传输至中央控制系统。这些数据被处理后，可以精准分析管网运行中的潜在问题，并自动调整运行参数。此外，自动化调控系统能够根据实时负荷变化自动调节热源供热量及泵站的运行状态，避免人为操作带来的延误和误差。自动化技术的应用不仅提升了系统的响应速度，还通过智能算法优化了能效，确保热网在不同负荷情况下都能以最优的方式运行。数据显示，采用智能调控系统后，管网能效提升了约15%，运行成本降低了12%左右。

二、集中供热管网的施工质量管理

（一）施工质量管理的基本概念与原则

施工质量管理是确保集中供热管网工程按设计要求顺利完成的重要环节，其核心目的是通过科学的管理和控制手段，确保工程质量达到预定标准。其基本概念包括对整个施工过程的质量控制、检查与验证，涵盖材料、工艺、设备安装等多个方面。施工质量管理的首要原则是质量第一，即始终将质量管理放在首位，通过全面的质量监督体系确保每一环节符合技术规范。此外，过程控制原则强调全过程的质量跟踪与监控，从施工准备阶段到竣工验收，每个阶段都应实施严格的质量管理。规范化管理要求施工过程中严格遵循国家和地方的工程标准与行业规范，确保施工过程有据可依。预防为主的原则则倡导从源头上避免质量问题的发生，强调前期设计、材料选择以及工艺的合理性，以降低后期整改成本^[3]。

（二）施工过程中的质量控制要点

1. 材料控制

在集中供热管网施工中，材料控制是确保工程质量

的基础。首先，管道材料的选择必须符合国家标准和行业规范，常见的管道材料包括钢管、铝塑复合管及预应力管等，其中，钢管常用于长距离、高压力的管网中，必须符合GB/T 9711-2017《石油天然气输送用钢管》的规定，确保其抗压、耐腐蚀性能满足设计要求。其次，保温材料的选择对热损失具有重要影响，常用的保温材料包括岩棉、聚氨酯泡沫等，其导热系数应控制在0.035 W/(m·K)以下。材料的采购需通过严格的入场检验，确保其来源可靠，性能合格。对于管道连接、密封件、阀门等部件，也需进行质量检验，确保符合设计规格。

2. 施工工艺控制

施工工艺控制是确保集中供热管网工程顺利实施的关键环节。对于管道的焊接、连接等工艺，需要严格按照相关标准操作，焊接时应符合《焊接工程施工及验收规范》（GB 50661-2011），采用合适的焊接方式（如电弧焊、氩弧焊等），并保证焊缝的无缺陷。焊接后的质量检测应通过X射线或超声波检测，以确保焊缝的致密性和抗压强度，常规检查的焊缝承载力应达到管道最大工作压力的1.5倍。对于管道的安装定位与支架设置，应严格按照设计图纸，避免管道因受力不均或温度变化引起的变形。保温层施工时，岩棉或聚氨酯保温层的厚度需按设计标准进行设置，并确保保温层无空隙、无松动。施工过程中应加强对温湿度等环境因素的监控，避免极端天气对材料和工艺产生不良影响，从而确保整个施工过程中的质量稳定与可控。

3. 设备安装与调试

集中供热管网的设备安装与调试是工程施工的重要组成部分，确保供热系统的正常运行离不开精确的设备安装与调试。在设备安装阶段，必须严格按照设备制造商提供的技术手册及安装规范进行操作，确保设备安装位置、标高、水平度等符合设计要求。尤其是热交换设备、泵站等关键设施，其安装误差不应超过±2mm，设备安装时要确保密封性良好，防止因连接不当导致的渗漏。调试阶段，首先需要对设备进行空载试验，检查各个设备运行参数，如泵站的压力、流量调节范围是否符合设计要求，是否存在噪音或振动异常。然后进行负荷试验，通过逐步增加负荷，验证设备在不同工况下的运行稳定性和系统调节能力。所有设备运行时的压力、温度及流量参数均应达到设计值的95%以上，确保系统投入运行后能够平稳、高效运行^[4]。集中供热管网设备安装与调试关键参数测试数据见表1。

表 1 集中供热管网设备安装与调试关键参数测试数据

设备 / 系统	参数	设计要求	实际测量	偏差
泵站	压力 (MPa)	1.2	1.15	-0.05MPa
	流量 (m ³ /h)	5000	5000	-50m ³ /h
热交换器	入口温度 (°C)	90	89.5	-0.5°C
	出口温度 (°C)	70	69.8	-0.2°C
管道连接	焊缝强度 (MPa)	≥ 200	205	+5MPa
阀门	操作压力 (MPa)	1.5	1.45	-0.05MPa
流量计	流量误差 (%)	±2%	±1.8%	-

(三) 管网施工质量的监控与检测

管网施工质量的监控与检测是确保项目按期、按标准完成的关键步骤。首先，施工现场应配备质量检测人员，负责对每一个施工环节进行实时监控。对于管道材料，必须进行入场检验，确保其符合国家标准，如钢管的抗压强度应达到 $\geq 250\text{MPa}$ ，保温材料的导热系数应 $\leq 0.035\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 。施工过程中，焊接质量是重中之重，焊缝必须通过 X 射线或超声波检测，确保焊接强度不低于设计要求的 95%，且无任何可见缺陷。管道安装完成后，需要进行水压试验，在测试压力下，管道的泄漏率应不超过 $0.1\text{ L/min}\cdot\text{m}$ 。针对设备的安装，调试人员需根据设备技术要求，对泵站的流量、温度、压力等关键参数进行监控与调整。例如，泵站的流量误差不应超过 $\pm 2\%$ ，温度控制在设计值的 $\pm 1^\circ\text{C}$ 范围内。

三、施工质量管理中的难点与对策

(一) 施工质量管理中面临的主要问题

在集中供热管网的施工质量管理过程中，常见的主要问题包括材料质量不达标、施工工艺控制不严、人员技术水平参差不齐等。首先，管网工程中使用的管材、阀门等关键部件的质量直接影响系统的运行稳定性，但部分工程中存在材料采购不规范、供应商资质不全等问题。其次，施工工艺操作不规范，特别是在管道焊接、设备安装等关键工序中，施工人员缺乏足够的专业知识和操作经验，导致工艺偏差，影响管网的长期稳定性。最后，质量管理人员的培训和技术水平未能达到标准要求，无法有效识别和应对施工过程中的质量问题。

(二) 提升施工质量管理的有效途径

提升施工质量管理的有效途径包括强化全过程监控、严格质量验收标准、实施质量预警机制等。首先，施工过

程中要进行全面的质量跟踪，采用先进的监控手段，如实时数据采集和传输技术，确保从材料采购、施工到调试验收的每一环节都在质量控制之中。其次，必须严格按照国家和行业规范进行施工，特别是在管道焊接、设备安装等重要环节，所有工序都应通过三检制度（自检、互检、专检）进行质量验收，确保施工工艺的标准化和一致性。再者，建设质量预警机制，及时发现施工中的问题并采取有效措施，避免质量隐患蔓延。例如，采用红外成像技术对管道焊接点进行检测，发现隐蔽的焊接缺陷并立即进行修复^[5]。

(三) 智能化技术在施工质量管理中的应用

智能化技术在施工质量管理中的应用为提升工程管理效率和质量提供了新的手段。通过引入物联网 (IoT) 技术，可以实现对施工现场设备、材料和环境的实时监控，数据传输至中心控制平台进行分析与决策。例如，通过传感器实时监测焊接温度、管道压力、流量等关键参数，确保施工过程始终处于最佳工作状态。此外，无人机与激光扫描技术能够对施工现场进行高精度测量，及时发现管网布局中的偏差，避免施工误差。建筑信息模型 (BIM) 技术的应用则有助于施工过程的精确管理与优化，通过三维模型的模拟与分析，可以提前识别潜在的质量问题，指导施工人员进行精准操作。

结语

总而言之，集中供热管网工程的优化设计和施工质量管理是确保系统长期稳定运行的关键。通过合理的设计优化，能够有效提升管网的供热效率，降低能源损耗，并提高系统的经济性与可靠性。而在施工阶段，严格的质量管理控制、精准的材料与工艺把控，以及智能化技术的应用，都是提升工程质量、减少风险的重要手段。面对复杂的施工环境和多变的质量要求，必须持续优化管理流程，强化技术创新，以确保管网工程的顺利完成，并为城市供热系统提供坚实的基础保障。

参考文献

[1] 裴泓. 集中供热管网工程的优化设计及其施工质量管理 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (26): 181-183.
 [2] 王源, 王昱心. 集中供热管网工程全过程造价管理控制要点分析 [J]. 工程建设与设计, 2022, (08): 199-201.
 [3] 王森. 影响供热管网工程质量因素及控制措施分析 [J]. 山西建筑, 2020, 46 (15): 108-109.
 [4] 张立志. 供热管网工程施工质量的隐患与防治策略 [J]. 工程技术研究, 2023, 8 (19): 145-147.
 [5] 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.