城市热水集中供热管网形式多样化问题的研究

徐雪峰
青岛市崂山湾集团有限公司　山东　青岛　266100

摘　要：城市热水集中供热管网形式多样，主要包括枝状管网、环状管网、双管枝状管网及双管环状管网等。各种管网形式在结构、连接及循环分级上各具特点，适用于不同的供热需求和场景。本研究深入探讨了这些管网形式的热力工况、可靠性、经济性及优化策略，旨在为城市供热系统的规划、设计与运行提供科学依据和技术支持，以实现热能的高效利用和供热系统的安全稳定运行。

关键词：城市热水集中供热管网；形式多样化；问题

引言：随着城市化进程的加速推进，城市热水集中供热系统作为保障居民温暖生活的重要基础设施，面临着前所未有的挑战与机遇。供热管网作为连接热源与用户的纽带，其形式的多样化直接关系到供热效率、系统可靠性和经济成本。本研究致力于深入探讨城市热水集中供热管网形式的多样化问题，分析不同管网形式的优缺点及其适用场景，旨在为城市供热系统的优化设计和高效运行提供科学依据和实践指导，推动城市供热事业的持续健康发展。

1 城市热水集中供热管网概述

1.1 供热管网的基本组成与功能

供热管网主要由热源、管网系统和散热设备三大核心部分组成。热源负责产生热能，如通过锅炉燃烧燃料或利用热泵技术提取自然环境中的热能；管网系统则如同城市的“热血脉”，将热能自热源输送至用户端，它由一系列管道、阀门、泵站等组成，确保热能的稳定传输；散热设备则是热能的最终释放者，如散热器或地暖，它们将热能转化为房间内的温暖空气。

1.2 供热管网的主要类型及其特点

（1）枝状管网：其结构如同大树的枝干，由主干线分出多条支干线，再进一步分支至用户。枝状管网具有结构简单、造价低、易维护的优点，但主干线故障可能导致大范围供热中断。（2）环状管网：环状管网的主干线形成闭环结构，具备更高的供热可靠性和灵活性。即使某段管线出现问题，也能通过切换阀门，确保其他管线的正常运行。但环状管网的建设和维护成本相对较高。（3）双管枝状管网：相比传统枝状管网，双管枝状管网在供回水管道上均设有管线，提升了热能的传输效率和调节灵活性。它特别适用于大型供热系统，能够更精确地满足用户的供热需求。（4）双管环状管网：结合了环状管网和双管枝状管网的优势，具备极高的供热可靠性和灵活性。它适用于对供热稳定性要求极高的城市区域，但建设和维护成本也相应较高。随着城市规模的扩大和供热需求的增长，供热管网的形式将更加多样化，以满足不同区域的供热需求。

2 城市热水集中供热管网形式多样性分析

2.1 结构形式多样性

（1）枝状与环状管网的结构特点与适用场景。枝状管网形式简单，造价较低，运行管理方便。其管径根据热源距离的增加和用户的减少而逐渐减小，目前我国工业生产用汽和供暖热水管网中，采用这种型式较多。然而，当管网系统局部发生故障时，会影响较多用户的供热。相比之下，环状管网造价虽高，但运行安全可靠。当城市由两个以上热源供热时，各热源引出的供热管网干线宜连通，形成环状管网以提高供热可靠性。芬兰等一些北欧国家其供暖热水管网较多采用环状管网形式[1]。（2）单管制与双管制管网的比较。单管制管网在结构上更为简洁，但供热灵活性相对较低。它适用于热负荷较为稳定且对供热连续性要求不高的区域。而双管制管网则提供了更大的供热灵活性和可靠性，适用于热负荷波动较大或需要不同供热参数的用户。双管管网一般采用枝状布置，可根据实际需求对不同的热负荷分别供热。

2.2 连接形式多样性

（1）直接连接与间接连接。直接连接是用户系统直接连接于热水网路上，热网供水直接进入热用户的散热器，放热后返回热网回水管。这种方式简单直接，但要求热网供水温度与用户要求的供水温度相匹配。当热网供水温度过高时，可采用装喷射器或混合水泵的连接方式以降低供水温度。间接连接则是在热力站或热用户处设置换热器，将用户系统与热水网路隔离，形成两个独立的系统。这种方式提高了供热的灵活性和安全性，但增加了系统的复杂性和造价。（2）三通混水直连与四通

混水直连。三通混水直连可以通过调节混水泵的运行功率，改变一级网和热用户回水的混水比，提供给热用户适宜的温度和流量参数。四通混水直连则具有更强的分流与集中出流功能，能适应更复杂的管道网络需求。然而，四通接头的设计间隙较大，连接处容易出现漏水现象，且可能影响水压。（3）不同连接形式对供热效果的影响。不同的连接形式对供热效果有着显著的影响。直接连接虽然简单，但供热灵活性较差；间接连接提高了供热灵活性和安全性，但系统复杂性增加。三通和四通混水直连则能在一定程度上优化供热效果，但需要根据具体需求选择合适的混水比和连接方式[2]。

2.3 循环分级多样性

（1）单级、双级与多级循环的定义与特点。单级循环是热源直接供热给用户，系统简单但供热灵活性有限。双级循环则包括热源循环系统和热网循环系统，提高了供热的灵活性和可靠性。多级循环则进一步细分了供热系统，包括热源循环系统、热网循环系统和热用户循环系统，各级循环系统之间基本互不影响，能够很好地解决水力失调问题并实现变流量运行。（2）循环分级对供热效率与安全性的影响。循环分级对供热效率与安全性有着积极的影响。多级循环能够更精细地控制供热过程，提高供热效率并减少能源浪费。同时，通过循环分级，可以实现供热系统的模块化设计和运行，提高了系统的可靠性和安全性。即使某个层级出现故障，也不会影响整个供热系统的正常运行。

3 城市热水集中供热管网典型形式研究

3.1 单向环状热网研究

（1）热力工况模型建立与热力可及性分析。单向环状热网以其独特的环状结构和高度的可靠性在城市供热系统中占据重要地位。热力工况模型的建立是分析热网性能的基础，它涉及热源、管网和用户之间的能量传递过程。通过建立精确的热力工况模型，可以模拟不同工况下热网的温度分布、流量分配和热损失情况，进而评估热网的热力可及性，即热网能否满足用户在不同负荷条件下的供热需求。热力可及性分析是确保热网设计合理性的关键步骤，它有助于避免热网在实际运行中出现供热不足或过热的问题。（2）可靠性提高方法与技术经济评价。单向环状热网的可靠性主要依赖于其环状结构和备用管线的设置。为了进一步提高可靠性，可以采取多种措施，如增加连通管数量、优化管网布局、提高管材质量等。然而，这些措施的实施都会增加建设成本。因此，在进行可靠性提升时，需要进行技术经济评价，综合考虑建设成本、运行维护费用以及供热效益等因素。通过对比分析不同方案的成本效益，选择出性价比最高的可靠性提升方案。

3.2 双管环状热网研究

（1）水力计算方法与适用性分析。双管环状热网与单向环状热网的主要区别在于其采用了双管并行结构，这种结构不仅提高了供热的灵活性，还增强了系统的安全性。在水力计算方面，双管环状热网需要考虑的因素更多，包括管道阻力损失、流量分配、压力平衡等。通过建立精确的水力计算模型，可以模拟不同工况下热网的水力特性，进而评估热网的适用性和性能。目前双管环状热网在青岛部分重点区域（如奥帆中心）试点应用，未来可能在高负荷区域逐步推广。（2）与单向环状热网的比较。与单向环状热网相比，双管环状热网在供热灵活性、安全性和经济性方面都具有明显优势。首先，双管环状热网能够根据实际负荷需求灵活调节供热温度和流量，提高了供热效率。其次，双管结构增强了系统的安全性，即使一根管道出现故障，另一根管道仍能继续供热，避免了供热中断的风险。然而，双管环状热网的建设成本也相对较高。因此，在选择热网形式时，需要综合考虑供热需求、建设成本和经济性等因素。

3.3 梯级供热管网研究

（1）定义、特点与系统形式。梯级供热管网是指将供热系统按照用户供热需求的不同进行分级，每一级都承担相应的供热任务。其特点是能够实现热能的高效利用和灵活调节。山东半岛地区目前梯级供热（如余热利用、多热源联供）仍处于起步阶段，实际运行中会出现水力失调的问题，与“高效灵活”的理想状态尚存在差距。梯级供热管网的系统形式多样，包括单管制、双管制以及单双管混合制等。其中，单双管混合制管网结合了单管制和双管制的优点，能够根据用户实际需求进行灵活调节。（2）单双管混合制管网的热力可及性与流量可及性分析。单双管混合制管网在热力可及性和流量可及性方面表现出较强的优势。热力可及性分析主要是评估管网能否满足用户最低供水温度要求；而流量可及性分析则是评估管网能否根据用户实际需求进行灵活调节。通过合理的管网设计和优化，单双管混合制管网能够实现热能的高效利用和灵活调节，提高供热系统的整体性能。

4 城市热水集中供热管网形式多样化问题探讨

4.1 不同热网形式的经济性分析

（1）金属耗量、水泵年运行费用、热网年总运行费用的比较。城市热水集中供热管网的形式多样，如枝状管网、单向环状热网、双管环状热网及梯级供热管网

等。这些管网形式在金属耗量、水泵年运行费用和热网年总运行费用上存在显著差异。金属耗量方面，环状管网因其闭合结构，相较于枝状管网，通常需要使用更多的管材。然而，环状管网提高了系统的可靠性，降低了因故障导致的维修和更换成本。在水泵年运行费用上，双管环状热网由于需要维持两路水的循环，其水泵能耗相对较高。而梯级供热管网通过热能逐级利用，降低了水泵的扬程需求，从而减少了水泵能耗。热网年总运行费用则综合了金属耗量、水泵能耗、维护费用、管理人员薪酬等多个因素[3]。（2）不同热网形式适用的合理规模探讨。不同热网形式的经济性与其服务的供热区域规模密切相关。对于小规模供热区域，枝状管网因其结构简单、建设成本低而更具经济性。随着供热区域规模的扩大，环状管网和梯级供热管网因其更高的可靠性和热能利用效率而逐渐显现出其经济优势。特别是双管环状热网，虽然初期投资较高，但因其能够应对更大的供热负荷波动，提高系统的稳定性和安全性，在大型供热区域中更为适用。

4.2 热网扩建与改造方案优选

（1）以实际工程为例进行水泵改造与热网扩建的计算与分析。以青岛市热网扩建工程为例，由于城市快速发展，原有热网已无法满足新增用户的供热需求。该项目面临水泵改造和热网扩建两大挑战。通过对现有水泵进行性能测试，结合未来供热负荷预测，确定了水泵的改造方案，包括增加扬程、优化流量分配等。同时，对热网进行了扩建设计，新增了环状管网结构，提高了系统的可靠性和供热能力。在水泵改造方面，通过计算分析，确定了改造后的水泵能够满足未来供热负荷的需求，同时降低了能耗。在热网扩建方面，通过对不同扩建方案进行技术经济评价，最终选定了成本效益最优的扩建方案。（2）不同扩建方案的技术经济评价与优选。热网扩建方案的选择应综合考虑技术可行性、经济性和社会效益。技术可行性方面，需要确保扩建后的热网能够满足供热需求，同时与现有系统兼容。经济性方面，需要对不同扩建方案进行成本效益分析，包括初期投资、运行费用、维护成本等。社会效益方面，需要评估扩建方案对城市环境、居民生活等方面的影响。在实际工程中，通常采用多目标决策方法，如层次分析法、模糊综合评价法等，对不同扩建方案进行综合评价，以确定最优方案。

4.3 供热管网优化设计的建议与策略

（1）管线布局优化。管线布局优化是提高供热管网效率的关键。通过合理的管线布局，可以减少管网阻力损失，提高热能利用效率。在实际设计中，应充分考虑地形、地貌、城市规划等因素，优化管线走向，减少不必要的弯头和三通等管件，降低管网阻力。（2）管径设计优化。管径设计直接影响供热管网的输送能力和运行效率。过大的管径会增加建设成本，而过小的管径则可能导致供热不足。因此，在管径设计时，应根据供热负荷、流速、阻力损失等因素进行综合考虑，确定合理的管径范围。（3）管理运行优化。管理运行优化是提高供热管网可靠性和经济性的重要途径。通过建立完善的监测系统，实时掌握管网运行状态，及时发现并解决潜在问题。同时，通过智能化调度系统，根据供热负荷变化，灵活调整供热参数，提高热能利用效率。此外，还应加强人员培训，提高管理人员的专业技能和管理水平，确保供热管网的安全、稳定运行。

结束语

综上所述，城市热水集中供热管网形式的多样化旨在满足不同区域和用户的供热需求。本研究通过对各种管网形式的深入分析，揭示了其在结构、连接及循环分级上的特点与适用场景。未来，随着技术的不断进步和能源结构的优化，城市供热管网将朝着更高效、更智能、更环保的方向发展。我们期待通过持续的研究与创新，为城市供热系统的可持续发展贡献力量。

参考文献

[1]刘巍.城市集中供热系统长输管线设计与管网优化研究[J].中国高新科技,2022,(03):30-31.

[2]齐浩,张秀梅,王宇飞.基于改进遗传算法的城市集中供热管网优化设计[J].供热工程建设,2023,(09):71-72.

[3]张博,赵炜,李世武.基于多目标遗传算法的城市集中供热环状管网优化设计[J].建筑节能,2023,(09):87-88.