

热水循环系统回水温度偏低与循环泵扬程匹配性分析研究

邓 斌

四川中源建设工程有限公司 四川 成都 610021

【摘要】：热水循环系统回水温度偏低会影响供热效率与能源利用率，其与循环泵扬程匹配性存在密切关联。循环泵扬程不足时，系统水循环速度放缓，热量交换不充分，导致回水温度下降；扬程过高则易造成管道阻力异常，引发水力失调，同样会使回水温度偏离设计值。通过对系统管路阻力特性、热负荷需求及循环泵性能参数的分析，可明确扬程与回水温度的匹配规律。实践表明，合理匹配循环泵扬程能有效提升回水温度稳定性，减少能源损耗，为热水循环系统的优化设计与运行调节提供重要参考。

【关键词】：热水循环系统；回水温度；循环泵扬程；匹配性

DOI:10.12417/2811-0536.25.11.015

引言

在热水循环系统中，回水温度是衡量系统运行效率的关键指标，其偏低不仅会降低供热质量，还会造成能源的无端浪费。循环泵作为系统水循环的动力核心，其扬程参数的设定与回水温度之间存在着微妙而关键的联系。部分系统虽设备齐全，却始终受回水温度偏低的困扰，这与循环泵扬程的适配性密切相关。循环泵扬程的过高或过低，都会以特定方式影响回水温度。深入探究二者的匹配性，能够解开这些运行中的疑惑，为系统的节能高效运行找到精准的优化方向。

1 热水循环系统回水温度偏低的成因分析

循环泵扬程参数与系统需求不匹配是引发回水温度偏低的核心因素。当循环泵设计扬程低于实际管路阻力时，系统循环流量不足，热水在末端散热设备中停留时间延长，热量过度释放后导致回水温度骤降。这种流量不足现象在大型管网中表现尤为明显，远端用户回路因压头损失过大，甚至出现热水输送停滞，形成局部低温区域。而扬程过高虽能保证流量，却会使系统处于超压运行状态，加速管路附件磨损的同时，引发近端与远端回路的水力失衡，导致部分区域散热过量，间接造成回水温度分布不均。管路系统的阻力特性异常同样影响回水温度。管道敷设过程中若存在过多直角弯头、变径不合理或管径偏小等问题，会显著增加沿程阻力与局部阻力，使循环泵实际做功多数消耗于克服管路阻力，有效循环流量不足。

热交换设备的换热效率衰减也是重要诱因。换热器结垢会降低传热系数，导致一次侧热水热量无法充分传递至二次侧循环水系统，直接造成二次回水温度偏低。末端散热器内部积气或翅片积尘，会削弱空气侧换热效果，使热水携带的热量未能有效释放到环境中，反而以较高温度回流，这种“虚假低温”现象易

掩盖系统实际存在的换热缺陷。系统运行调节机制的滞后同样不可忽视。当用户热负荷发生动态变化时，若循环泵未能及时响应调节流量，会导致供回水温差偏离设计区间。例如，夜间热负荷降低时，若仍维持额定流量运行，热水在系统内的循环速度过快，热量未充分散发即回流，形成回水温度偏高的假象；而在高峰时段流量调节不及时，则会因散热不充分导致回水温度偏低，这种调节滞后性在手动控制的老旧系统中表现突出。

2 循环泵扬程与回水温度的匹配性机理研究

循环泵扬程作为水循环的动力源，其与回水温度的匹配性遵循能量守恒与传热学基本规律。扬程通过改变循环流量影响热水在系统内的停留时间，进而调控热量交换效率。当扬程与管路阻力处于动态平衡时，循环流量稳定在设计值，热水在换热器与末端设备中完成预定热量传递，回水温度维持在合理区间。这种平衡状态下，单位时间内流入系统的热量与散出热量形成闭环，扬程参数成为维系热平衡的关键变量。扬程与管路阻力的匹配度直接决定循环流量的稳定性。在管路特性曲线中，循环泵工作点由扬程曲线与管路阻力曲线的交点确定。当设计扬程略高于管路计算阻力时，工作点处于高效区，流量波动较小，热水流经末端设备的速度均匀，热量释放稳定，回水温度偏差控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内。若扬程不足，工作点左移导致流量骤减，热水在末端设备中过度散热，回水温度偏离设计值可达 5°C 以上；而扬程过高则使工作点右移，流量激增引发水力扰动，造成局部区域热水流速过快，热量未充分释放即回流，形成回水温度虚高现象。

热负荷动态变化时，扬程的适配性调节体现为供回水温差的精准控制。在定流量系统中，扬程需随管路阻力变化实时调整，通过变频调速改变泵的输出扬程，维持流量稳定以匹配热负荷波动。当热负荷升高

时,末端散热需求增加,适度提高扬程可加快热水循环速度,缩短单次循环时间,避免回水温度过度降低;热负荷降低时,降低扬程使循环流量减少,延长热水在末端的停留时间,确保热量充分散发以维持回水温度。这种动态匹配机制,需通过扬程与热负荷的耦合计算实现,其核心是建立扬程-流量-温差的数学模型,为调节策略提供理论支撑。此外,扬程匹配性还体现在系统水力稳定性的维系上。合理的扬程设定可减少各支路间的压力失衡,避免近端回路流量过大、远端回路流量不足的现象,确保系统各区域回水温度均匀。当扬程与最不利环路阻力相匹配时,能通过水力平衡装置将各支路流量分配至设计值,使末端设备的实际散热量与设计值一致,从而保证回水温度的整体稳定性,这一机理在大型枝状管网中表现尤为显著。

3 基于匹配性优化的热水循环系统改进措施

循环泵扬程的精准匹配需建立在系统阻力特性的精确核算基础上。通过水力计算软件对管路沿程阻力与局部阻力进行详细模拟,结合最不利环路的压力损失确定设计扬程,同时预留合理的富余量以应对系统老化带来的阻力增量。采用变频调速技术实现扬程的动态调节,使循环泵输出扬程随管路阻力与热负荷变化自动适配,在保证循环流量稳定的前提下,避免扬程过高或过低导致的回水温度异常。对于多台泵并联运行的系统,可通过泵组联动控制策略,根据实际需求调节投入运行的泵数量与单泵转速,实现扬程与系统需求的动态平衡。管路系统的阻力优化是提升匹配性的重要环节。对现有管路进行全面排查,更换管径偏小、弯头过多的管段,采用水力特性更优的管路附件减少局部阻力。定期开展管道清洗与过滤器维护,清除内壁结垢与杂质堵塞,降低不可逆阻力损失。在

系统分支管路设置静态水力平衡阀,通过精确调节各支路流量分配,消除水力失调现象,确保各区域回水温度均匀。

热交换设备的性能恢复与强化有助于改善回水温度状况。定期对换热器进行酸洗除垢处理,恢复其传热系数至设计水平,确保一次侧与二次侧热量传递充分。优化末端散热设备的安装与维护,清除散热器内部积气与表面灰尘,提升换热效率。在换热器进出口设置温度监测点,实时掌握换热效果,当发现换热效率下降时及时采取清洗或检修措施,避免因换热不足导致的回水温度偏低。动态调节机制的构建需整合热负荷监测与智能控制技术。在系统关键节点安装温度传感器与流量变送器,实时采集供回水温度、循环流量等参数,通过控制系统分析判断当前扬程与热负荷的匹配状态。引入模糊控制算法,根据热负荷变化趋势提前调节循环泵扬程,实现前瞻性控制。建立系统运行数据库,通过大数据分析挖掘扬程、流量与回水温度之间的关联规律,为优化调节策略提供数据支撑,使循环泵扬程始终与系统需求保持最佳匹配状态,从而稳定回水温度,提升系统运行效率。

4 结语

热水循环系统回水温度偏低与循环泵扬程匹配性密切相关,扬程不适是导致回水温度异常的重要因素。通过分析回水温度偏低的成因,探究扬程与回水温度的匹配机理,可针对性地提出改进措施。合理调节循环泵扬程,使其与系统管路阻力、热负荷需求相适配,能有效提升回水温度稳定性,提高能源利用效率。这一研究为热水循环系统的设计优化、运行调节提供了实践指导,有助于推动供热系统向节能、高效方向发展。

参考文献:

- [1] 李明.热水循环系统的优化设计与节能策略研究[J].建筑节能,2023,51(05):45-49.
- [2] 王丽.基于水力平衡的管网系统阻力优化方法探讨[J].暖通空调,2024,54(08):76-80.
- [3] 张宏.智能控制技术在热水循环系统中的应用与实践[J].自动化与仪器仪表,2025,(03):152-155.