

热电联产机组供热改造技术研究

吕 辉

焦作煤业（集团）有限责任公司 河南 焦作 454000

摘要：本文聚焦于热电联产机组供热改造技术，首先阐述了热电联产机组供热改造的背景与意义，强调其在能源高效利用和环境保护方面的重要性。接着对热电联产机组供热改造的关键技术进行深入分析，包括汽轮机改造技术、热网加热器优化技术、热网循环水泵配置技术等。通过实际案例分析，展示了不同类型机组供热改造的具体方案与实施效果。最后对热电联产机组供热改造技术的发展趋势进行展望，旨在为热电联产机组的供热改造提供全面的技术参考与实践指导。

关键词：热电联产机组；供热改造技术；能源利用；环境保护

1 引言

1.1 研究背景

随着社会经济的快速发展，能源需求持续增长，同时环境保护要求也日益严格。传统的热电生产方式存在能源利用效率低、污染物排放量大等问题，难以满足现代社会对能源与环境协调发展的需求。热电联产作为一种高效的能源利用方式，能够实现能源的梯级利用，在发电的同时为用户提供热能，大大提高了能源的综合利用效率，减少了能源浪费和污染物排放。然而，许多早期建设的热电联产机组在设计时主要侧重于发电功能，供热能力有限，无法满足日益增长的城市集中供热需求。因此，对现有热电联产机组进行供热改造具有重要的现实意义。

1.2 研究意义

热电联产机组供热改造具有多方面的显著意义。从能源利用角度来看，通过改造可以提高机组的供热能力，实现能源的更高效梯级利用，降低能源消耗，提高能源利用效率，缓解能源紧张局面。在环境保护方面，改造后机组减少了煤炭等能源的分散燃烧，降低了污染物排放，有助于改善空气质量，减少对环境的负面影响。从经济层面分析，供热改造可以拓展机组的业务范围，增加供热收入，提高企业的经济效益，同时也有利于推动热电行业的可持续发展。

2 热电联产机组供热改造关键技术

2.1 汽轮机改造技术

2.1.1 打孔抽汽技术

打孔抽汽是在汽轮机中低压缸合适位置开孔，抽取一定压力和温度的蒸汽用于供热。这种技术的关键在于准确选择打孔位置，以确保抽取的蒸汽参数满足供热需求，同时对汽轮机本体强度和运行安全性影响最小。打

孔抽汽技术相对简单，改造周期短，成本较低，能够有效提高机组的供热能力。例如，华能德州电厂5号机组为300MW亚临界中间再热凝汽式汽轮机，原设计无供热抽汽口。2015年，该电厂对5号机组进行打孔抽汽改造，在中压缸第6级后开孔，抽取压力为1.0-1.5MPa、温度为280-320℃的蒸汽用于供热。改造后，机组供热能力提高了约200MW，可满足约300万平方米的供热面积需求，且汽轮机运行稳定，未出现因打孔导致的强度问题和安全隐患。

2.1.2 低真空循环水供热技术

低真空循环水供热技术是将汽轮机排汽压力降低，使排汽温度降低至适合直接供热的范围，然后将排汽引入热网加热器，加热热网循环水实现供热。该技术无需对汽轮机本体进行大规模改造，主要改造集中在凝汽器和热网系统。通过降低排汽压力，提高了机组的循环热效率，同时利用了汽轮机的排汽余热，减少了冷源损失。例如，大唐长春第二热电公司2×300MW机组，原为纯凝机组^[1]。2013年，该公司采用低真空循环水供热技术对机组进行改造。将汽轮机排汽压力降低至0.05MPa（绝压），排汽温度降至约35℃。改造后，机组热效率提高了约8%，供热能力大幅提升，可满足约800万平方米的供热面积需求。同时，减少了冷却塔的运行，降低了水耗和厂用电率，每年可节约水资源约200万吨，减少电费支出约300万元。

2.1.3 高背压供热技术

高背压供热技术是将汽轮机排汽压力提高至较高水平，使排汽温度升高，直接将高温排汽作为热源加热热网循环水。这种技术要求汽轮机具有较高的背压承受能力，同时需要对热网系统进行相应改造以适应高温热源。高背压供热技术能够充分利用汽轮机的排汽余热，

实现了能源的最大化利用，供热效率高。例如，华电淄博热电有限公司3号机组为135MW超高压中间再热凝汽式汽轮机。2016年，该公司对3号机组进行高背压供热改造，将汽轮机排汽压力提高至0.3MPa（绝压），排汽温度升高至约230℃。改造后，机组供热能力从原来的约200MW提高至400MW，可满足约500万平米的供热面积需求。热效率达到85%以上，相比改造前提高了约15%，年节约标准煤约10万吨，减少二氧化碳排放约25万吨。

2.2 热网加热器优化技术

2.2.1 热网加热器选型与配置

热网加热器是热电联产供热系统中的关键设备，其选型与配置直接影响供热效果和系统运行经济性。在选型时，需根据供热参数（如热网水流量、进出口温度等）和蒸汽参数（如抽汽压力、温度等）进行精确计算，选择合适换热面积和传热系数的热网加热器^[2]。同时，要考虑热网加热器的数量配置，一般采用多台并联或串联的方式，以提高系统的可靠性和灵活性。例如，国电吉林江南热电厂2×300MW机组供热工程中，根据供热面积约1000万平米、热网水流量为8000t/h、进出口温度分别为70℃和120℃的设计要求，选用了4台换热面积为2000m²的热网加热器，采用两台并联为一组，两组串联的配置方式。这种配置方式既满足了供热需求，又保证了在一台加热器出现故障时，其他加热器仍能维持一定的供热能力，提高了系统的可靠性。

2.2.2 热网加热器传热强化技术

为了提高热网加热器的传热效率，可采用多种传热强化技术。例如，采用高效传热管，如螺纹管、波纹管等，增加管内外的扰流，提高传热系数；在热网加热器内部设置折流板或导流板，优化流体流动路径，使热网水和蒸汽充分接触换热；采用表面涂层技术，在传热管表面涂覆一层高导热、耐腐蚀的涂层，降低热阻，提高传热效率。例如，华能营口热电厂在热网加热器改造中，将原来的光管更换为螺纹管，并在传热管表面涂覆了一层纳米涂层。改造后，热网加热器的传热系数提高了约15%，在相同的供热条件下，热网加热器的换热面积可减少约10%，有效降低了设备成本和占地面积。同时，由于传热效率的提高，热网水的加热时间缩短，提高了供热系统的响应速度。

2.3 热网循环水泵配置技术

2.3.1 热网循环水泵选型

热网循环水泵的选型需根据热网系统的阻力、流量和扬程等参数进行精确计算。要确保水泵的流量和扬程

能够满足供热需求，同时要考虑水泵的运行效率，选择高效节能的水泵型号。在选型过程中，还需考虑水泵的备用情况，一般设置1-2台备用泵，以保证在部分水泵出现故障时，供热系统仍能正常运行^[3]。例如，大唐太原第二热电厂在供热系统改造中，根据热网系统总阻力约为1.5MPa、热网水流量为6000t/h的设计要求，选用了3台流量为2000t/h、扬程为1.6MPa的离心式热网循环水泵，其中1台作为备用。该型号水泵具有高效节能的特点，其效率可达85%以上，相比传统水泵可节约电能约20%。

2.3.2 热网循环水泵变频调速技术

采用变频调速技术对热网循环水泵进行控制，可根据热网负荷的变化实时调整水泵的转速，从而改变水泵的流量和扬程，实现按需供热。与传统的定速水泵相比，变频调速水泵能够显著降低水泵的能耗，节能效果可达30%-50%。同时，变频调速技术还可以减少水泵的启动电流冲击，延长水泵的使用寿命，提高系统的运行稳定性。例如，华电国际莱城发电厂在供热系统中采用了热网循环水泵变频调速技术。通过安装变频器，根据热网负荷的变化自动调整水泵的转速。在供热初期和末期，热负荷较低时，水泵转速降低，流量和扬程相应减小，电能消耗大幅降低。经实际运行测算，采用变频调速技术后，热网循环水泵的年耗电量比原来降低了约40%，每年可节约电费约50万元。

3 热电联产机组供热改造案例分析

3.1 案例一：华能玉环电厂4×1000MW机组供热改造

3.1.1 机组概况

华能玉环电厂位于浙江省玉环市，拥有4台1000MW超超临界燃煤发电机组，原设计为纯凝工况运行，主要向华东电网供电。随着当地经济发展和城市集中供热需求的增长，为提高能源利用效率、减少污染物排放，决定对机组进行供热改造。

3.1.2 改造方案

采用打孔抽汽和热网加热器优化相结合的技术方案。在中压缸合适位置开孔，抽取压力为2.0-2.5MPa、温度为350-400℃的蒸汽作为供热抽汽。同时，对热网加热器进行重新选型和配置，选用6台换热面积为3000m²的高效热网加热器，采用三台并联为一组，两组串联的配置方式。此外，对热网循环水泵进行变频调速改造，安装变频器实现水泵的智能控制。

3.1.3 改造效果

改造后，4台机组总供热能力达到2000MW，可满足约2500万平米的供热面积需求。机组热效率从原来的约42%提高至70%以上，年节约标准煤约50万吨，减少二

氧化碳排放约120万吨。同时，供热业务的开展为企业带来了新的经济增长点，每年增加供热收入约3亿元，提高了企业的经济效益和市场竞争力。

3.2 案例二：国电泰州电厂2×1000MW二次再热机组供热改造

3.2.1 机组概况

国电泰州电厂拥有2台1000MW二次再热燃煤发电机组，是世界上首批百万千瓦级二次再热机组，具有高效、清洁等特点。原设计主要考虑发电功能，为适应市场变化和满足供热需求，对机组进行供热改造。

3.2.2 改造方案

采用高背压供热和低真空循环水供热相结合的技术。将汽轮机排汽压力提高至0.4MPa（绝压），排汽温度升高至约250℃，同时降低另一部分排汽压力至0.08MPa（绝压），排汽温度降至约40℃。通过这两种方式的结合，充分利用汽轮机的排汽余热。对热网加热器进行优化设计，选用新型高效传热管和表面涂层技术，提高传热效率。热网循环水泵采用变频调速控制，根据热负荷变化自动调整运行参数。

3.2.3 改造效果

改造后，机组供热能力达到1200MW，可满足约1500万平方米的供热面积需求。机组热效率提高至75%以上，相比改造前提高了约12%。年节约煤炭约30万吨，减少二氧化碳排放约75万吨。同时，供热系统的稳定性和可靠性得到显著提升，为用户提供了优质的供热服务，增强了企业在市场中的竞争力。

4 热电联产机组供热改造技术发展趋势

4.1 智能化控制技术的应用

随着信息技术的发展，智能化控制技术将在热电联产机组供热改造中得到更广泛的应用。通过安装传感器、智能仪表等设备，实现对机组运行参数、热网参数的实时监测和数据采集。利用先进的控制算法和人工智能技术，对供热系统进行智能优化控制，根据热负荷变化自动调整机组运行工况和热网设备参数，实现供热系统的高效、稳定运行，进一步提高能源利用效率和供热质量。

4.2 多能互补供热技术的发展

未来热电联产供热将朝着多能互补的方向发展，结合太阳能、地热能、生物质能等可再生能源，构建多元化的供热体系^[4]。例如，在热电联产供热系统中引入太阳能集热系统，在光照充足时利用太阳能加热热网水，减少对传统能源的依赖；利用地热能作为辅助热源，在极端寒冷天气时补充供热能力，提高供热系统的可靠性和稳定性。

4.3 供热系统节能技术的创新

不断研发和创新供热系统节能技术是提高热电联产机组供热效率的关键。例如，开发新型高效热网加热器、热网保温材料等，降低热网系统的热损失；研究热网水的水质处理技术，减少热网设备的结垢和腐蚀，提高设备的使用寿命和运行效率；探索热泵技术在热电联产供热中的应用，进一步回收利用低品位热能，提高能源综合利用效率。

结语

热电联产机组供热改造是提高能源利用效率、保护环境、满足供热需求的重要举措。本文对热电联产机组供热改造的关键技术进行了详细分析，包括汽轮机改造技术、热网加热器优化技术、热网循环水泵配置技术等，并通过实际案例展示了不同类型机组供热改造的具体方案与实施效果。随着技术的不断进步，智能化控制技术、多能互补供热技术和供热系统节能技术的创新将为热电联产机组供热改造带来新的发展机遇。未来，应进一步加强技术研发和应用推广，不断提高热电联产机组供热改造的技术水平，推动热电行业的可持续发展，为实现能源与环境协调发展目标做出更大贡献。

参考文献

- [1]梁晶,贾继钢,朱良君,等.热电联产机组供热改造技术研究[J].科技与创新,2021,(08):164-165.
- [2]季浩.350MW热电联产机组梯级供热技术应用研究[D].华北电力大学(北京),2023.
- [3]刘光耀,王学栋.热电联产机组协同改造及其调峰与供热能力分析[J].内蒙古电力技术,2023,41(06):50-56.
- [4]陆树银,刘浩晨,顾煜炯,等.大型热电联产机组供热改造分析[J].工程热物理学报,2022,43(05):1182-1189.