

单流程低阻力省煤器在燃机的研究与应用

宋修科 董志超
华电济南章丘热电有限公司 山东 济南 250216

摘要:探讨单流程低阻力省煤器在燃气轮机里的应用效果,用对比分析、数值模拟和实验测试结合的办法,对单流程与双流程省煤器的技术机制、受热面流动阻力、热交换性能以及经济性展开系统性研究。单流程省煤器构造简单,流动阻力下降幅度大概是78.7%,管路中介质流速下降比例接近50%,凝结水泵的能耗明显降低,年度节电收益能达到324000元。它的吸热能力和传热效能跟原设计差不多,在冬季供热高流量运行状况下,该单流程结构呈现出良好的供热稳定性和快速的响应能力。

关键词:单流程省煤器;低阻力;换热效率;经济效益

引言

燃气-蒸汽联合循环发电技术持续进步,热电联产模式被广泛应用,慢慢变成该行业发展的关键方向之一。在北方地区,燃气-蒸汽联合循环装置得负责电网调峰,还得在寒冷季节给集中供暖系统供应足够的热源。这一双重需求对机组的省煤器形式提出了更高要求^{[1][2]}。传统双流程省煤器可实现基本热交换功能,可它结构复杂,流动阻力也大,这对系统整体能效和节能潜力有不利影响。单流程低阻力省煤器的技术机制、创新特点以及它在工程实践里的经济和社会价值,努力给燃气轮机技术的持续改进提供理论依据和实践指导。研究单流程和双流程省煤器性能的不同,采用对比方式,说明单流程低阻力型式在减小系统流动阻力、增强传热效能、提升节能表现等方面有突出优点。

1 研究背景与技术原理

1.1 燃气-蒸汽联合循环机组的发展趋势

燃气-蒸汽联合循环发电技术发展速度加快,在国内的应用范围不断拓展,技术也越来越完善。现阶段,热电联产技术正慢慢变成燃气-蒸汽联合循环技术进步的关键方向。尤其在北方区域,燃气-蒸汽联合循环装置除了要承担起电力调峰的任务,在冬季供暖阶段还得为居民供应大量热水,以保障供暖需求。合理选择省煤器的结构类型,对于保障机组系统运行的高效性和稳定性,具有重要的研究价值。山东华电章丘2×400MW级燃机热

电项目配置了F级燃气-蒸汽联合循环供热装置,列入山东省“十四五”期间重点推进的重型燃机示范工程,对增强区域电力保障能力、提升供热系统运行效率作用关键。

1.2 单流程低阻力省煤器的设计原理

单流程低阻力省煤器依据优化设计想法,简化汽水流程与受热面构造,借此降低系统阻力,从而提升能量利用效率。单流程省煤器的给水从下集箱进口流入受热区域,接着直接从上集箱出口排出,构造简单、水流阻力也小。双流程省煤器里的给水在受热面中得走过更曲折的流动路线,这样一来流速会提高,流动阻力也会增大。单流程省煤器的下集箱内部没设金属隔板,有效降低了流动阻力。根据热力学计算结果,低压省煤器布置在低压蒸发器出口与烟道入口之间的区域,并且配置了再循环管道,以此提高给水温度,防止受热面出现水露点腐蚀。

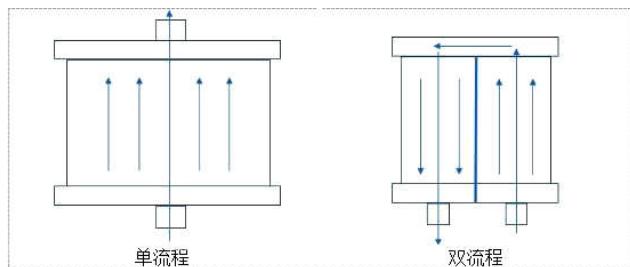


图1 汽水流程示意图

表1 汽水流程与受热面结构对比表

对比项	单流程	双流程
汽水流程	给水从下集箱进口进入,从上集箱出口流出	给水从下集箱进口进入,经过上集箱混合后,从另一侧下集箱出口流出
结构特点	下集箱无金属隔板	下集箱有金属隔板分隔成两个空间

1.3 阻力计算与分析

为精准评估单流程低阻力省煤器运行特性,借助

BESS (Boiler Engineering Simulation System) 平台开展建模与仿真分析。该软件输入锅炉基础几何参数、材质特

性及运行工况后，可精细模拟受热面内部流体状态，输出各管段压力损失分布结果。BESS软件依据锅炉的基本几何参数、材质特性和运行工况等输入条件，能对受热面内部的流体流动进行精细建模，还能算出各管段间的压力损失分布。表2给出了单流程结构和双流程结构在流动阻力特性上的对比结果。

表2 单、双流程阻力对比表

对比项	单流程	双流程
工质进口温度(℃)	53.2	53.2
工质出口温度(℃)	154.4	155.1
换热面积(m ²)	108243.1	108243.1
吸热量(MJ/h)	238486.1	240188.2
管内介质流速(m/s)	0.81	1.61
低压省煤器阻力(Mpa)	0.12	0.5

从表2的数据能看出，单流程省煤器内部介质的流动速度大概是双流程设计的一半，流动阻力降低了将近78.7%。这种显著的阻力降低不仅简化了系统结构，还对凝泵的选型带来了极大的优势。阻力明显降低，给凝泵选

型带来更灵活的空间，能优先考虑功率小、扬程低的设备规格，从而有效减少初期购置支出。智能化管理策略则利用现代信息技术手段，实现水利工程的远程监控、数据分析与智能决策，提高维护效率和管理水平^[4]。

2 单流程低阻力省煤器的创新点

2.1 新型省煤器的研发

随着燃气-蒸汽联合循环技术不断发展，开发新型省煤器成了提升整体系统能量利用效率的核心环节。用单流程结构方案，改进了受热面配置方式和多管路凝结水的分布。与传统双流程结构比起来，单流程省煤器在构造简化程度以及水流阻力控制方面，呈现出极为明显的优越性。单流程省煤器的给水从下集箱进口流进去，接着直接从上集箱出口流出来，省掉了双流程结构里给水在下集箱内汇合后从对侧排出去的复杂路径。设计方案整体构造有效精简，让水流通道的阻力减小，使输送设备的能源消耗明显降低。智能化管理策略则利用现代信息技术手段，实现余热锅炉的远程监控、数据分析与智能决策，提高维护效率和管理水平^[5]。

表3 汽水流程与受热面结构对比表

对比项	单流程	双流程
汽水流程	给水从下集箱进口进入，从上集箱出口流出	给水从下集箱进口进入，经过上集箱混合后，从另一侧下集箱出口流出
结构特点	下集箱无金属隔板	下集箱有金属隔板分隔成两个空间

2.2 再循环管路系统的发明

设计一种循环管路结构，它能提升系统能源利用效率，减少运行支出，有低再循环能耗的特点，还能适配多种工况。本系统对省煤器受热面和凝结水管路结构进行优化配置，达成再循环水流量的精确调控。针对烟温最低的第六组受热面，系统配置了再循环回路，用来提高凝结水加热器入口处工质的温度，防止受热面出现低温腐蚀。在烟温最低的区域设置再循环结构，大大减少了循环水的流量需求，进而有效降低了流动阻力和泵送能耗。再循环管路系统优化配置各支路凝结水流量，可有效维持受热面内部介质温度，增强系统运行的稳定和可靠程度。在冬季供暖负荷明显上升时，该系统能实现更平稳的热能供应，保障供热体系高效运转。

联合循环机组在冬季供暖阶段要持续供应大量热水，保障居民采暖需求。这种运行工况对热源的稳定性和输出能力要求很高。传统省煤器在高流量运行时常常出现流动阻力大、运行状态不稳定等状况。采用的单流程低阻力省煤器设计则有效解决了这一问题。单流程结构的流动阻力小，系统在大流量状况下也能稳定运行，进而实现持续的热能供应。较低阻力能提升系统响应性能，让锅炉更快调节到目标供热工况，增强对外部环境变化的适应能力。

2.4 经济效益与社会效益的实现

单流程低阻力省煤器的运用，提高了经济收益，也在社会层面产生了积极影响。经济效益层面，流动阻力下降了约78.7%，使得凝结水泵的能耗明显降低。按年运行时长2000小时、燃气电价0.6元每千瓦时的标准来算，预计可实现节电量约54000千瓦时，由此带来的节能经济效益折合金额是324000元。社会效益方面，采用单流程且低流动阻力特性的省煤器装置，大大提升了系统整体运行的可靠性与稳定性。尤其在冬季供暖需求大幅上升的工况下，该设备能保持更平稳的热能释放效果，保障供热体系持续高效运转。

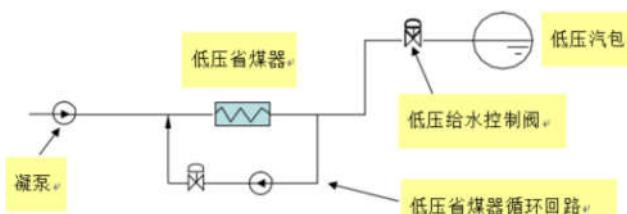


图2 再循环系统

2.3 冬季供热省煤器高流量工况的满足

表4 经济效益指标表

指标	数值
年利用小时数(h)	2000
节省电量(kwh)	54000
燃机电价(元/kwh)	0.6
节电效益(元)	324000

表5 技术指标对比表

对比内容	本项目技术	同类先进技术	结论
低温省煤器	单流程设计, 阻力低	双流程设计, 阻力高	国内领先
再循环系统设计	仅对第6组受热面设置再循环	多组受热面再循环	国内领先
省煤器热水供热大流量工况	阻力低, 工况稳定	阻力高, 工况可能不稳定	国内领先

由表4可知, 在低温省煤器方面, 采用单流程设计, 显著降低了受热面阻力, 相比同类先进技术的双流程设计, 阻力减少约78.7%, 具有显著的节能效果^[6]。在再循环系统设计上仅对处在烟温最低的第6组受热面设置再循环, 有效减少了再循环回路的负荷要求, 降低了再循环泵的流量、扬程和电耗, 而同类先进技术通常对多组受热面进行再循环, 导致流动阻力损失及电耗增加^[7]。在省煤器以热水供热大流量模式运行时, 技术因系统整体流动阻力大幅减小, 水力状态更契合供热过程中大流量引发的压降变化, 还能维持输出功率稳定。

3.2 经济效益指标的分析

经济优势主要是凝结水泵能耗大幅下降, 原因是系统流动阻力被有效削减。根据已有统计数据, 阻力下降幅度大概是78.7%。按年运行时长2000小时、燃气发电电价0.6元/千瓦时来算, 预计一年能节省电量54000千瓦时, 由此产生的节能收益大约为324000元。这种经济收益不光来自电费支出的直接降低, 还包括系统流动阻力下降导致的装置初期投入资金以及后续运维开支的减少。低阻力结构优化了能量转化过程, 提升了系统整体能效, 让更多能量投入到实际生产环节, 增强了项目的经济收益水平。

3.3 推广应用及前景

研究成果已在山东华电章丘2×400MW级燃机热电工程和东莞中堂燃气热电联产二期工程中有效应用, 实际运行中, 展现出良好经济收益和广泛社会影响。单流程低阻力省煤器采用低阻力结构设计, 实实在在降低系统运行能量损耗, 提高整体能量转换效率。并且, 这种设计显著优化了系统运行的稳定性与可靠性。随着燃气-蒸汽联合循环发电技术不断进步, 还有热电联产技术越来越普及, 单流程低阻力省煤器呈现出不错的应用潜力和推广空间。这种设备靠着高效节能的特点, 正慢慢成为电力行业关注的重点, 有机会在各种能源项目里广泛应用。

3 技术对比与推广应用前景

3.1 与同类先进技术的技术指标对比

单流程低阻力省煤器, 在多项性能参数上表现突出, 优越性显著。该设备在关键指标对比中, 技术领先性明显。为更直观呈现上述优势和同类先进方案拿来做对比研究。

表5 技术指标对比表

对比内容	本项目技术	同类先进技术	结论
低温省煤器	单流程设计, 阻力低	双流程设计, 阻力高	国内领先
再循环系统设计	仅对第6组受热面设置再循环	多组受热面再循环	国内领先
省煤器热水供热大流量工况	阻力低, 工况稳定	阻力高, 工况可能不稳定	国内领先

4 结论

研究归纳分析了单流程低阻力省煤器在燃气轮机领域研究和实际应用的成果, 发现这种设计模式在提升省煤器整体效能上优势显著。和双流程结构比起来, 单流程省煤器管内介质流速下降了大概50%, 流动阻力减少了大约78.7%。这项技术改进切实降低了泵送能耗, 增强了系统运行的稳定性与效率。新型省煤器及其再循环管路系统的优化结构, 成功缓解受热面低温腐蚀现象, 明显减少再循环过程能量消耗。单流程设计在冬季供热大流量运行状况下, 适应能力强, 运行稳定, 保障了热能输出的持续性和可靠性。该单流程低阻力省煤器技术性能出色、经济回报不错、社会效益也好, 应用潜力与推广意义都很大, 能推动未来燃气轮机技术向前发展。

参考文献

- [1]李强,邹建,周守杰.H型翅片椭圆管低低温省煤器换热与阻力特性研究[J].锅炉技术,2020,51(04):25-28.
- [2]解瑞.低温省煤器在600MW火电机组的应用研究[D].安徽省:合肥工业大学,2021.
- [3]朱锋,李胜忠,鲍家乐,等.基于知识封装的船舶阻力性能虚拟试验流程研发及其应用效果分析[J].船舶力学,2025(1):23-30.
- [4]尹建朋,陈智贺.煤炭转接塔料斗流程挡板防冻技术研究与应用[J].设备管理与维修,2025(1):35-37.
- [5]张莉娟,史海威.智能化机械设备在药物生产流程中智能控制技术的应用研究[J].流程工业,2025(2):10-12.
- [6]覃薇薇,张勇.RPA流程自动化技术在企业运行分析中的应用研究[J].信息产业报道,2025(2):0050-0052.
- [7]刘均伟,张先锋,刘闻,等.空腔膨胀理论靶体阻力模型及其应用研究进展[J].爆炸与冲击,2021(10):1-27.
- [8]黄晶,和晓春,杨影.数字化装配生产线运行流程仿真应用技术研究[J].科技与创新,2025(2):85-88.