

# 8.7Mpa 水煤浆气化四级闪蒸系统节能降耗措施探究

闫来洲 徐明旭 李 拴

蒲城清洁能源化工有限责任公司 陕西 渭南 715500

**【摘要】**：水煤浆气化闪蒸系统是煤化工装置的重要组成部分，其运行状态直接影响整个气化工艺的能耗水平与经济效益。闪蒸系统通过利用气化黑水的显热，实现高压黑水向低压黑水的相变分离，回收蒸汽并降低后续处理负荷，闪蒸汽冷凝液氨氮物料回收再利用。针对该系统的节能降耗，可从工艺优化、设备升级、余热回收、操作管控四个维度制定具体措施。

**【关键词】**：水煤浆气化；四级闪蒸系统；节能降耗；余热回收；工艺优化；设备升级；操作管控

DOI:10.12417/3041-0630.26.05.024

## 1 工艺优化：深挖系统运行潜力

### 1.1 优化闪蒸级数与压力梯度

结合气化炉工况与后续工序用能需求，合理调整多级闪蒸的压力分布。摒弃传统固定压力梯度模式，采用“高-中-低-真”阶梯式压力匹配策略，使每一级闪蒸的相变过程更充分，最大化回收高品质蒸汽。例如，将中压闪蒸罐压力与变换工段的蒸汽需求联动，直接输送中压闪蒸蒸汽至变换汽提塔，替代外供蒸汽，减少蒸汽输送过程中的管网损耗。同时，精准控制真空闪蒸罐的真空度，避免因真空度过高导致的动力消耗增加，实现能耗与蒸汽回收率的平衡。

### 1.2 黑水换热网络优化

对气化黑水的余热利用路径进行重构，优先将高温高压黑水闪蒸后的闪蒸汽引入高闪气节能、资源回收“双效”零排放装置，利用闪蒸汽热量交换制取蒸汽，同时将冷凝后气体（含有H<sub>2</sub>/CO/CO<sub>2</sub>等）送入变换系统制取甲醇。

技术路线描述：从各系列高压闪蒸罐出来的高压闪蒸气~240℃，3.4MPaG，汇合后进入新增的低压蒸汽发生器，和预热后的锅炉水换热副产1.2MPaG 低压饱和蒸汽（产生的蒸汽可同时进入1.2 MPaG及0.5 MPaG蒸汽管网，供厂区内其它用户使用），高闪气降温至205℃后，进入高闪气气液分离器进行气液分离，出高闪气气液分离器的高闪气进入新增的低压锅炉水水预热器，预热锅炉水，出锅炉水预热器的高闪气~181℃，然后进入高闪气洗涤塔洗涤细灰和降温：在洗涤塔下部，设置两层喷淋，利用塔釜循环灰水对进行气体进行喷淋洗涤；在洗涤塔上部设置6层塔盘（从上至下依次为4层固阀和2层筛板），利用冷密封水对闪蒸气再次洗涤和降温。出闪洗涤塔的闪蒸气温度降至~45℃，最后经高闪气压缩机增压至8.5MPaG后送至气化合成气总管。

此外，通过流程模拟软件对换热网络进行模拟计算，消除换热瓶颈，避免因局部换热不足导致的黑水温度过高，增加后续闪蒸系统的负荷。

### 1.3 闪蒸汽余压梯级利用

针对中闪气利用余压实现机械能转化为电能，将气体引入差压发电系统，凝液降压降温后送入蒸氨系统，提取凝液中氨氮物料。闪气差压发电技术是利用闪蒸现象产生的压力差进行发电的技术：当高压流体（多为液态）进入低压环境时，部分流体因压力骤降快速汽化（即“闪蒸”成气液混合物），此过程中流体的压力能、动能等通过推动涡轮机等动力装置旋转，进而带动发电机将机械能转化为电能，实现对闪蒸过程中余能的回收利用，已应用于化工等工业领域的能量回收场景。节省循环水效果显著。降低循环水冷却塔的风机能耗和锅炉给水预热的蒸汽消耗，实现余热余压资源的“吃干榨净”。

通过对高闪气凝液、高闪气、中闪气凝液、中闪气、进行脱氨净化，对变换返回闪蒸系统凝液、等含氨凝液进行汽提氨回收，对高闪气、低闪气热能和有用组分及热量进行有效利用，对除氧槽放空气进行系统治理能量回收，将回收的氨气副产浓氨水用于锅炉烟气脱硫脱硝，酸性气、高闪气不凝气进入硫回收增产硫磺，高品质净化水回用气化系统，高闪气、低闪气作为新旧汽提系统和渣水系统全部热源，并增产低压蒸汽，从而系统性解决闪蒸系统存在的资源浪费、热能损失、腐蚀结垢，以及气化排污氨氮高、酸性气火炬排放、含硫稀氨水磨煤、除氧槽放空气排空污染环境等系列环保、安全问题，彻底杜绝酸性气直排火炬的环保安全风险，实现环保低碳节能、资源综合利用、助力能耗双控的综合目标。

## 2 设备升级：提升系统运行效率

### 2.1 高效闪蒸设备选型与改造

对传统闪蒸罐进行结构升级，采用高效旋流闪蒸装置，强化黑水的雾化与汽液分离效果，提升蒸汽回收率。在闪蒸罐内加装防涡旋挡板和高效破沫器，减少蒸汽带液现象，降低后续除氧器或换热器的结垢风险。同时，更换闪蒸罐的液位控制阀门为高精度调节阀，实现液位的精准控制，避免因液位波动导致的闪蒸压力不稳定，减少能耗波动及设备磨损。

## 2.2 泵阀与换热器节能改造

针对闪蒸系统中的输送泵,采用高效节能泵替代传统离心泵,结合变频调速技术,根据系统负荷变化实时调整泵的转速,降低无效功率消耗。对系统内的阀门进行密封性能升级,减少阀门内漏导致的介质损耗和压力损失。对于灰水换热器,采用新型高效换热管材,如波纹管、波纹管等,提升换热系数;同时定期对换热器进行化学清洗,清除换热管表面的结垢,恢复换热效率,降低换热过程中的能耗损失。

## 2.3 真空系统节能升级

选用高效真空泵组:优先采用“罗茨真空泵+液环真空泵”串联机组(比单一液环泵节能30%以上),低真空段用液环泵建立基础真空,高真空段用罗茨泵增压,避免单一设备长期满负荷运行。

优化密封与泄漏防护:采用机械密封替代填料密封,减少轴封泄漏;定期检查法兰、阀门、管道接口等部位,用氦质谱检漏仪排查泄漏点(泄漏量每增加10%,真空泵能耗上升8%~12%)。

优化抽气路径:缩短真空管道长度、减少弯头和阀门数量,增大管道管径(避免流速过高导致压力损失);定期清理管道内积污、结垢,降低流动阻力。

## 3 余热回收:拓宽能量回收渠道

### 3.1 闪蒸蒸汽的深度利用

除满足本系统及变换工段的蒸汽需求外,将富余的低压闪蒸蒸汽引入 ORC 发电系统,驱动工质发电机发电,实现电能的自给自足。将产生的蒸汽用于伴热系统,减少伴热蒸汽的外购量,实现蒸汽的梯级利用,同时大大减少整个闪蒸系统循环水消耗。

### 3.2 冷凝水回收与再利用

对闪蒸系统产生的冷凝水进行集中回收,经脱氨脱酸后,作为闪蒸系统灰水系统补水或气化炉激冷水的补充水。冷凝水水质优良,含盐量低,回收利用可减少新鲜水的取用,降低水处理系统的运行负荷和能耗。同时,回收冷凝水的显热,用于闪蒸系统除氧水槽补水,进一步降低除氧水槽蒸汽消耗。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家市场监督管理总局,中华人民共和国国家标准化管理委员会.GB/T 23459-2019 水煤浆气化技术规范[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [2] 陈健,刘尚奇,等.大型水煤浆气化装置渣水系统能量优化关键技术[J].煤炭转化,2022,45(3):1-8.
- [3] 于庆波,赵永椿,等.煤化工过程闪蒸系统余热余压梯级利用技术进展[J].化工进展,2021,40(7):3789-3800.
- [4] 张鸣林,吴春来.煤气化生产技术[M].2版.北京:化学工业出版社,2020:156-168
- [5] 李阳,王启民,等.水煤浆气化黑水余热深度回收与系统集成技术[J].中国电机工程学报,2023,43(5):1890-1899.

## 4 操作管控:强化系统精细化管理

### 4.1 建立智能化运行监控体系

在闪蒸系统关键设备和工艺节点加装在线监测仪表,实时监测温度、压力、液位、流量等参数。通过 DCS 系统构建能耗监测模型,对系统能耗进行实时核算与预警,及时发现异常能耗波动。利用大数据分析技术,挖掘系统最优运行参数区间,系统嵌入先进过程控制(APC)+实时优化(RTO)系统设计,制定标准化操作程序,指导操作人员进行精准调控。

### 4.2 加强设备维护与防垢管理

建立完善的设备定期维护制度,定期对闪蒸罐、换热器、泵阀、管道等设备进行检查与维护,及时处理设备故障和泄漏问题。针对黑水易结垢,易冲刷的特性,优化水质稳定方案,投加高效阻垢剂,减缓设备结垢速率。定期对换热器和闪蒸罐进行化学清洗,恢复设备换热效率和分离效果,避免因结垢导致的能耗上升。

### 4.3 开展员工节能培训与考核

强化操作人员的节能意识,定期开展节能降耗专项培训,普及工艺优化和设备操作的节能知识。将能耗指标纳入员工绩效考核体系,设立节能奖励机制,鼓励操作人员主动发现并实施节能优化措施,形成全员参与的节能管理氛围。

### 4.4 综合提升技术改造能力

针对系统的难点、痛点问题,组织专题技术讨论,从系统角度入手,通过技术改造措施,最大的发挥系统潜在的能力,降低药剂成本、人员成本、水耗、电耗、检维修成本等,助力系统降低运行成本。

## 5 结语

水煤浆气化闪蒸系统的节能降耗是一项系统性工程,需结合工艺特点、设备状况和运行管理水平,采取多维度、全方位的优化措施。通过工艺优化深挖潜力、设备升级提升效率、余热回收拓宽渠道、操作管控精细管理,可有效降低闪蒸系统的能耗水平,提升煤化工装置的整体经济效益,同时助力企业实现绿色低碳发展目标,打造运行稳定高效、节能低碳显著、环保安全先进的煤化工。