

# 超超临界机组低压旁路减压阀频繁内漏问题分析与治理

王志宁<sup>1</sup> 关志成<sup>2</sup> 王 飞<sup>1</sup> 汤皓杰<sup>1</sup> 王春雪<sup>1</sup>

1. 华能威海发电有限责任公司 山东 威海 264200

2. 华能集团公司北方联合电力达拉特发电厂 内蒙古 鄂尔多斯 014300

**摘要:** 随着电网深度调峰及机组日内启停日益频繁, 某电厂#5超超临界680 MW机组低压旁路减压阀多次出现内漏缺陷, 阀后温度接近200℃, 严重超出设计值, 影响机组热效率及安全运行。本文通过对阀门内漏问题的系统分析, 识别出阀芯阀杆连接形式不合理、密封结构设计缺陷、电动执行机构关闭力矩不足及机组频繁启停为主要原因。针对上述问题, 提出并实施了阀杆阀芯活络连接改造、防冲刷保护套结构设计、增加减速箱提高关闭力矩、优化旁路系统投运方式等综合治理措施。实施后, 低旁减压阀阀后温度降至55℃以下, 彻底解决了内漏问题, 提高了机组运行经济性与可靠性。本文为同类机组旁路系统阀门内漏治理提供了可借鉴的技术方案。

**关键词:** 超超临界机组; 低压旁路; 减压阀; 内漏; 阀门改造

## 引言

火电机组旁路系统是机组启动、停机及事故工况下的重要保护装置, 其中低压旁路减压阀承担着将高压蒸汽减压后送入凝汽器的重要功能。随着电力市场改革的深入和新能源大规模并网, 火电机组参与深度调峰和日内启停已成为常态, 这对旁路系统的可靠性提出了更高要求。

某电厂#5机组为超超临界680 MW机组, 配置高、低压两级串联电动旁路系统, 低压旁路为双路布置, 阀门型式为角式结构(水平进、下出), 由德国BOMAF A公司生产, 型号为BMF-4, 配套SIPOS电动执行机构。近年来, 随着机组调峰频次增加, 低旁减压阀多次出现内漏缺陷, 阀后温度接近200℃, 远超设计温度(≤100℃), 每次停机检查均发现阀芯密封面存在不同程度冲刷痕迹。该问题严重影响机组热效率, 亟需解决。

本文针对上述问题, 通过系统分析找出内漏主要原因, 并提出综合治理措施, 以期同类问题的解决提供参考。

## 1 现状调查与问题分析

### 1.1 缺陷统计

2025年1月至7月, 对#5机组低旁减压阀运行参数进行跟踪监测, 选取典型工况数据如表1所示。

表1 2025年#5机组低旁减压阀阀后温度统计

日期	机组负荷/ MW	A低旁温度/℃		B低旁温度/℃	
		入口	出口	入口	出口
2025.01.24	660	376.14	190.27	384.52	175.51
2025.04.14	520	372.63	190.21	380.64	172.73
2025.07.22	340	352.44	175.79	360.60	148.64

由表1可见, 各工况下低旁减压阀阀后温度均远高于设计值(≤100℃), 最高达190.27℃, 内漏问题严重。

### 1.2 问题影响分析

低旁减压阀内漏主要导致以下问题:

热效率降低: 高压蒸汽未经做功直接泄漏至凝汽器, 造成工质和热量损失, 降低机组热效率;

设备损伤: 高速蒸汽冲刷阀芯密封面, 加剧磨损, 形成恶性循环;

安全隐患: 阀后管道超温, 影响管系寿命及安全运行;

经济性下降: 增加补水、燃料消耗, 提高运行成本<sup>[1]</sup>。

## 2 原因分析

### 2.1 因果分析

项目组通过专题研讨, 广泛收集意见, 从人员、设备、工艺、运行等方面对低旁减压阀内漏问题进行因果分析, 梳理出以下末端因素:

2.1.1 检修人员研磨工艺质量差;

2.1.2 密封面合金材质不合格;

2.1.3 阀芯阀杆连接形式不合理; 阀门阀杆阀芯连接为刚性连接(见下图), 此连接方式不利于阀门关闭时的密封, 是一种过定位的结构, 阀杆与盘根定位、阀芯平衡密封圈与阀笼定位、阀芯与阀座密封时的锥面密封定位, 为3点定位。又由于低旁阀开关时的温差变化, 此连接方式难以保证阀门严密不漏。

2.1.4 密封结构设计不合理; 根据解体阀门的解体后冲刷的痕迹可以看出, 阀门阀芯的冲刷与阀门调整笼罩的调整孔相对应, 也就是阀门密封面的损坏是因为机组起机过程中, 由于湿蒸汽速度很快, 达到110m/s以上, 高

速气流夹带湿蒸汽或水珠打在阀门密封面上，对阀芯冲刷非常大，往往开机一次就已经将阀门冲刷损坏，引起阀芯受损。

2.1.5 阀门全关位行程定位不准；

2.1.6 电动执行机构关闭力矩不够；阀门电动执行机构为德国SIPOS生产，型号为2SA5554-9DE10-4BB3-Z(150-500Nm)，实际最大输出力矩为500Nm。不考虑过

定位因素，实际计算阀门全关扭矩为548.88Nm，不能满足阀门关闭力矩需要。

2.2 要因确认

针对上述7个末端因素，制定要因确认计划，通过现场检查、资料查阅、数据分析等方式逐一验证，结果如表2所示。

表2 要因确认结果

序号	末端因素	确认内容	确认标准	确认方法	确认结论
1	检修人员研磨工艺质量差	密封面密封效果	密封线连续均匀无断开	现场检查	非要因
2	密封面合金材质不合格	密封面合金材质	材质符合要求	材质分析	非要因
3	阀芯阀杆连接形式不合理	阀芯阀杆连接形式	连接形式应利于阀门关闭	结构分析	要因
4	密封结构设计不合理	密封面冲刷情况	减少密封面冲刷	现场检查	要因
5	阀门全关位行程定位不准	阀门关位行程	阀门关闭到位	现场测试	非要因
6	电动执行机构关闭力矩不够	电动执行机构关闭力矩	力矩满足阀门关闭需要	力矩测试	要因
7	机组频繁日内启停	统计日内启停次数	减少低旁减压阀开关次数	数据分析	要因

确认结果表明，阀芯阀杆连接形式不合理、密封结构设计不合理、电动执行机构关闭力矩不足及机组频繁启停是导致低旁减压阀内漏的主要原因<sup>[2]</sup>。

3 对策制定与实施

3.1 对策方案

针对上述4条主要原因，项目组制定了对策措施，如表3所示。

表3 对策措施表

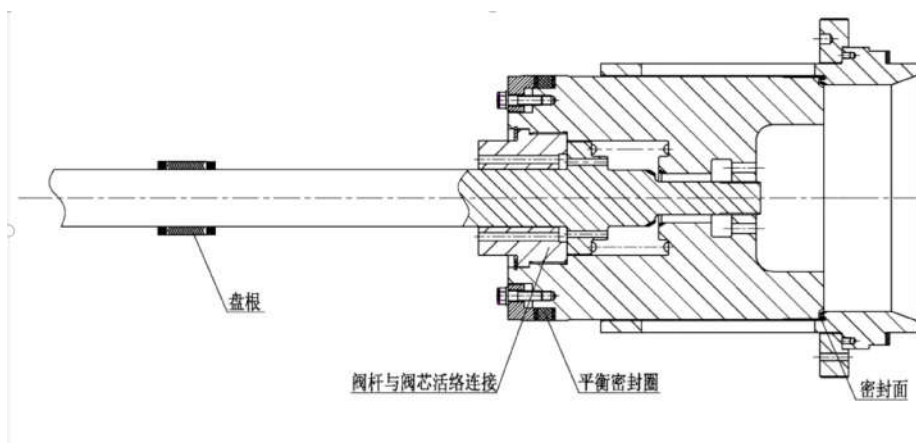
序号	要因	对策	目标	措施
1	阀芯阀杆连接形式不合理	改进阀芯阀杆连接形式	连接形式应利于阀门关闭	阀杆阀芯连接形式由刚性连接改为活络连接
2	密封结构设计不合理	改进密封结构设计	减少密封面冲刷	采用防密封面冲刷的保护套结构
3	电动执行机构关闭力矩不够	提高电动执行机构关闭力矩	力矩满足阀门关闭需要	增加减速箱，增大阀门关闭力矩
4	机组频繁日内启停	改进机组启停时旁路装置的投运方式	减少低旁减压阀开关次数	与运行部门协商优化旁路系统投运策略

3.2 实施过程

3.2.1 阀杆阀芯活络连接改造

原阀门阀杆与阀芯采用刚性连接，阀芯关闭时无法

自动对中，易造成密封面偏磨。改造后将连接形式改为活络连接，使阀芯在一定角度范围内可自由摆动，确保关闭时密封面均匀接触，提高密封可靠性。



### 3.2.2 防冲刷保护套结构设计

针对阀门开启瞬间高速蒸汽对密封面的直接冲刷问题,设计了防冲刷保护套结构。该保护套安装在阀芯前端,在阀门开启初期遮挡密封面,引导蒸汽流经保护套内侧,避免直接冲刷密封面,大幅降低冲刷磨损<sup>[3]</sup>。

### 3.2.3 增加减速箱提高关闭力矩

经测试,原电动执行机构输出力矩在阀门关闭后期不足,导致阀芯未能完全压紧密封面。解决方案是在电动执行器与阀门之间增加一级减速箱,将输出力矩提升2.5倍,确保阀门可靠关闭。

### 3.2.4 优化旁路系统投运方式

与运行部门协商后,优化了机组启停过程中旁路系统的投运策略:机组停运时不投入旁路系统,减少低旁减压阀不必要的开关次数;启动时在参数稳定后投入旁路,避免频繁动作对密封面的冲击。

## 4 效果分析

### 4.1 目标达成情况

改造完成后,对#5机组低旁减压阀运行参数进行跟踪监测,选取典型工况数据如表4所示。

表4 改造后#5机组低旁减压阀后温度统计

日期	机组负荷/ MW	A低旁温度/℃		B低旁温度/℃	
		入口	出口	入口	出口
2025.08.24	660	376.26	52.24	375.80	42.62
2025.09.14	540	371.89	48.22	370.67	41.94
2025.09.22	335	348.15	41.21	346.08	40.36

由表4可见,改造后各工况下低旁减压阀后温度均降至55℃以下,最低达40.36℃,远低于设计值100℃,内漏问题得到彻底解决。

### 4.2 经济效益分析

节能效益:消除蒸汽内漏后,减少工质和热量损失,提高机组热效率,按年运行300天估算,年节约标煤约150吨,折合经济效益约12万元;

维修成本节约:避免每年因密封面冲刷需进行的阀芯修复或更换,年节约维修费用约8万元;

延长设备寿命:减少密封面磨损,延长阀门使用寿命,降低备件采购成本。

### 4.3 社会效益

提高机组可靠性:消除内漏隐患,保障机组安全稳定运行;

提升调峰能力:优化后阀门适应频繁启停工况,提升机组参与深度调峰的能力;

节能减排:减少燃料消耗和CO<sub>2</sub>排放,符合绿色发展理念<sup>[4]</sup>。

## 5 巩固措施

为确保治理效果长期稳定,制定以下巩固措施:

5.1 缩短检修间隔:对调峰频繁的机组,适当缩短高低旁减压阀的检修周期,解体检查时采用内窥镜对阀后减温装置、减温水喷嘴及减压装置进行细致检查;

5.2 纳入防磨防爆计划:将高低旁阀后管系接管座及一次门前焊缝纳入机组检修防磨防爆检查范围,定期检测;

5.3 运行监控优化:高低旁减温水投入期间,运行人员应重点关注阀后温度变化,避免大幅波动,必要时切手动调节减温水;

5.4 启动过程管控:机组启动旁路投入过程中,运行人员密切关注高低旁开度、阀后压力、温度等参数,发现异常及时分析并就地检查,原因未查清前暂停启机操作;

5.5 巡检制度完善:机组启动旁路投入过程中,运行、检修值班人员定期对旁路系统进行巡检,重点关注高低旁阀及阀后测点状态<sup>[5]</sup>。

## 结束语

本文针对某电厂#5超超临界机组低压旁路减压阀频繁内漏问题,通过系统分析和现场验证,识别出主要原因包括阀芯阀杆连接形式不合理、密封结构设计缺陷、电动执行机构关闭力矩不足及机组频繁启停。针对上述原因,实施了阀杆阀芯活络连接改造、防冲刷保护套结构设计、增加减速箱提高关闭力矩、优化旁路系统投运方式等综合治理措施。

实施效果表明,低旁减压阀后温度由改造前的近200℃降至55℃以下,彻底解决了内漏问题,年节约综合成本约20万元,显著提高了机组运行经济性和可靠性。本文的研究成果可为同类机组旁路系统阀门内漏治理提供有益借鉴。

## 参考文献

- [1] 电厂热力系统阀门内漏检测研究[J]. 孙小翔. 中国机械,2024(09)
- [2] 阀门内漏监测系统在火力发电厂蒸汽管道上的应用[J]. 王子铭;吴选;蹇建军. 产品可靠性报告,2025(02)
- [3] 大型火电机组SCR烟气脱硝全流场数值模拟分析与优化[J]. 刘一帆;董建宁;田煜昆;潘佩媛;陈衡;徐钢;欧阳朔;刘文毅. 热力发电,2022(09)
- [4] 基于阀点优化的超超临界机组节能控制技术分析. 付钦学;曾宪平;张丽新. 电子技术,2024(05)
- [5] 汽轮机低旁阀在调峰工况下的强度与寿命分析. 王东健;仇友泽;梁海滨;李万仁;赵文杰. 电站系统工程,2024(03)