

Recommendations for low-load drainage systems in high-pressure heaters of newly constructed thermal power units

Guanghong Fan¹ Zixi Chen² Qinghui Meng³ Simin Cao³ Zhi Li³

1. Huaneng Yuwang Phase II (Yunnan) Energy Co., Ltd., Qujing, Yunnan, 655000, China

2. China Electric Power Engineering Consulting Group Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

3. Yunnan Dian Dong Yuwang Energy Co., Ltd., Qujing, Yunnan, 655000, China

Abstract

During the design phase of new thermal power plants, the fundamental principle for arranging main building units of domestically constructed or operational 1000 MW ultra-supercritical thermal power units is to comprehensively optimize the layout of various specialized process systems and equipment—including turbine rooms, deaeration chambers, coal storage rooms, and boiler rooms—along with the building's length, span, and floor height dimensions, while ensuring adequate operational, maintenance, and inspection conditions. This approach also involves strategically distributing electrical and thermal control equipment to reduce material consumption for pipelines, cables, and civil engineering components, thereby ensuring the plant's economic efficiency throughout its entire lifecycle. This article focuses on two key aspects following the optimized main building layout: issues arising from low-load condensate discharge in high-pressure heaters and corresponding mitigation strategies. It aims to provide valuable references and insights for relevant professionals.

Keywords

Thermal power plant; High-pressure heater; Low-load drainage; Recommendation

新建火电机组高压加热器低负荷疏水建议

范光红¹ 陈子曦² 孟庆辉³ 曹思敏³ 李智³

1. 华能雨汪二期（云南）能源有限公司，中国·云南曲靖 655000

2. 中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司，中国·四川成都 610000

3. 云南滇东雨汪能源有限公司，中国·云南曲靖 655000

摘要

在新建火电厂设计阶段，国内在建或者已投产的1000MW超超临界火电机组，主厂房布置的基本原则是：在保证电厂运行维护和检修条件的前提下，对主厂房区域，包括汽机房、除氧间、煤仓间、锅炉房等各有关专业工艺系统及设备的布置，厂房的长度、跨度和层高尺寸进行综合的优化，适当安排电气和热控设备的物理分散，从而节省管道、电缆和土建三材，保证电厂在全寿命期内有良好的经济性，本篇文章也将目光集中在主厂房布置优化后，高压加热器低负荷疏水出现的问题及应对策略两个方面展开论述，希望通过本篇文章的探讨和分析可以为相关工作人员的工作开展提供更多的参考与借鉴。

关键词

火电厂；高压加热器；低负荷疏水；建议

1 引言

在电力系统向高参数、大容量方向持续演进的背景下，1000MW 等级超超临界机组已成为火电领域的主流配置，其运行特性对系统布置与工艺匹配提出了更高要求。主厂房作为机组设备集成与流程组织的核心载体，其空间结构与设备布置不仅关系到工程投资控制水平，也直接影响汽水系统的运行稳定性与热经济性。近年来，为降低土建投资并提升

厂房利用效率，取消除氧间、拓展大跨汽机房等布置方式逐步应用，但由此引发的设备标高变化与流程路径调整，使部分关键设备在变工况运行下出现新的适应性问题。高压加热器作为回热系统的重要组成部分，其疏水过程对机组热效率具有显著影响，在低负荷运行阶段尤为敏感。当系统布置导致除氧器标高提高后，疏水压差减小，易出现疏水不畅甚至倒灌风险，进而影响整套回热系统的连续性与安全性。围绕上述问题，从主厂房布置优化与高压加热器低负荷疏水特性出发，对其运行影响机理及优化路径进行系统分析，对于提升机组在宽负荷区间内的运行经济性与可靠性具有现实意义。

【作者简介】范光红（1976-），男，中国云南弥勒人，工程师，从事火力发电厂汽机设备检修研究。

2 火电厂主厂房布置格局对除氧器、高压加热器布置的影响

2.1 主厂房布置

国内新建火电机组主厂房布置格局主要有如下几种：

(1) 前煤仓四列式布置(即汽机房、除氧间、煤仓间、锅炉房)，是应用最为成熟的主厂房布置格局。

(2) 侧煤仓三列式布置(即汽机房、除氧间、锅炉房)，是当采用侧煤仓时主要采用的主厂房布置格局。

(3) 侧煤仓两列式布置(即汽机房、锅炉房)，取消除氧间，在侧煤仓三列式基础上，取消混凝土结构的除氧间，扩大汽机房跨度，将加热器布置在汽机房内，除氧器及其它汽机房布置不下的加热器考虑布置在炉前锅炉增设的钢构架上。此方案由于其新颖的技术亮点，近几年越来越受到相关建设方的关注度，现阶段已有一定数量的实施项目。

(4) 前煤仓三列式布置(即汽机房、煤仓间、锅炉房)，取消除氧间，方案是在前煤仓四列式方案基础上，尝试取消混凝土结构的除氧间，其它汽机房布置不下的加热器考虑布置在煤仓间内，除氧器考虑布置在煤仓间顶层。实现大汽机房平台的技术优点，此方案现阶段国内应用较少。

为了节省新建火电机组的投资费用，提升投资收益率，目前新建火电厂越来越多的项目采用取消除氧间的主厂房布置格局，节约初投资的同时实现大汽机房平台的技术优点。

2.2 对除氧器、高压加热器的影响

采用前煤仓三列式布置格局的主厂房(即汽机房、煤仓间、锅炉房)，取消除氧间后，除氧器布置可以放在煤仓间顶层，也可以放炉前锅炉构架内。

除氧器布置在炉前锅炉构架内方案需要拉大煤仓间与锅炉首排柱之间的距离，造成A列与烟囱距离加大，锅炉钢结构投资增加，抵消了取消除氧间带来的优势，因此该方案不予考虑。这里以除氧器布置在煤仓间顶层进行讨论。

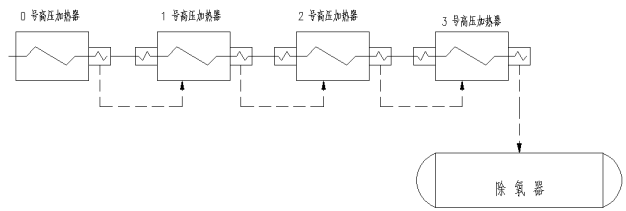
(1) 由于取消除氧间，汽机房布置不下的部分高压加热器需零散分布在煤仓间，煤仓间内各平台间的建筑楼梯布置相对较为分散，后期巡检、维护不便利。

(2) 将除氧器布置在煤仓间顶的皮带层屋面上，除氧器布置标高约相比设置除氧间时除氧器标高提高了约10m。运行时3号高加正常疏水进入除氧器，除氧器标高提高后，造成低负荷在40%THA以下时疏水压力不够，无法自流进入除氧器。

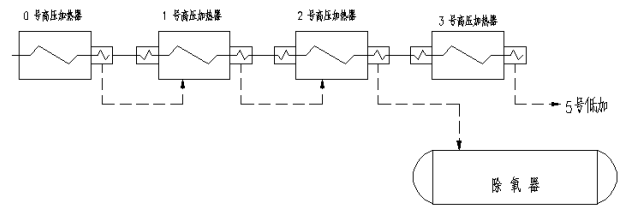
3 高压加热器低负荷疏水的建议

3.1 高加疏水系统优化

高加是逐级自流疏水至除氧器，即0号高加疏水(如有)至1号高加，1号高加疏水至2号高加，2号高加疏水至3号高加，3号高加疏水至除氧器。如下图所示。



40%以下低负荷时，3号高加正常疏水至除氧器存在疏水不畅，造成0、1、2、3号四台高加的疏水都无法进入除氧器，热经济性影响较大。为进一步减少热损失，针对此工况对高加疏水系统进行优化，0、1、2逐级疏水越级进入除氧器方式，3号高加疏水越级进入5号低加。如下图所示。



这样即使除氧器布置较高，但仍能保证高压加热器在低负荷时能正常疏水，避免低负荷开启事故疏水造成的热损失。此项优化会额外增加管道阀门及控制相关费用，但能提高机组低负荷时的经济性，从经济性看利大于弊。

4 高压加热器低负荷疏水问题的运行机理与优化策略

4.1 低负荷工况下疏水压差与流动驱动机制分析

在机组负荷降低至40%THA以下时，抽汽压力与温度同步下降，高压加热器内部蒸汽凝结后的疏水压力显著减弱，驱动疏水自流的压差随之降低。正常工况下，高加疏水依赖各级加热器之间的压力梯度以及与除氧器之间的标高差实现稳定排放，当驱动力不足时，疏水流速下降甚至出现滞留现象。流动状态由稳定重力流逐渐转变为低速非稳定流，局部区域可能形成汽液两相交替流动，增加流阻损失。同时，疏水调节阀在低开度运行区间内调节精度下降，进一步削弱系统对流量波动的适应能力。在此条件下，系统原有的逐级自流模式难以维持稳定，易引发疏水积存、液位波动加剧等问题，影响加热器换热效果与运行安全。

4.2 除氧器标高变化对疏水系统运行特性的影响

在取消除氧间的布置模式下，除氧器通常上移至煤仓间顶层或更高位置，整体标高提升约8~12m，使得高压加热器至除氧器的疏水路径重力势能条件发生明显变化。标高提升直接增加了疏水排放的静压要求，当低负荷下疏水压力降低时，难以克服上升管段的液柱阻力，导致疏水排放受阻。此外，疏水管道布置长度增加，弯头及阀门数量增多，沿程阻力和局部阻力叠加，进一步降低系统通流能力。除氧器压力通常受给水系统工况控制，其波动范围有限，在低负

荷阶段难以提供额外的压差补偿,造成系统整体压力平衡被打破。由此,高加疏水由原本的连续排放转变为间歇排放甚至倒灌风险增大,对回热系统稳定性产生不利影响。

4.3 高压加热器低负荷疏水系统的优化路径与调控措施

针对低负荷工况下疏水不畅问题,可通过调整疏水流程与强化系统调控能力实现优化。一方面,对原有逐级自流疏水方式进行改造,设置越级疏水通道,使部分高压加热器疏水在低负荷时可直接进入除氧器或转入低压加热器系统,从而降低对单一压差路径的依赖。另一方面,通过优化管道布置减少不必要的弯头与局部阻力,提高疏水通道通流能力,同时合理选型疏水调节阀,确保在低开度区间仍具备稳定调节性能。在运行控制层面,可结合机组负荷变化制定分工况疏水策略,对阀门开度与切换逻辑进行精细化设定,减少疏水滞留与能量损失。通过系统结构与运行方式的协同优化,可在保证安全性的前提下提升低负荷运行阶段的热经济性。

5 高压加热器疏水系统运行保障与综合效益提升路径

5.1 疏水系统结构优化与设备配置完善

在主厂房布置调整及除氧器标高提升的条件下,疏水系统需通过结构层面的优化实现运行保障能力的提升。针对高压加热器疏水路径长、阻力大等问题,应在设计阶段合理缩短疏水管道长度,减少弯头及不必要的阀门设置,从源头降低沿程阻力与局部损失。同时,根据不同工况需求增设越级疏水管线与旁路通道,使系统具备多路径排放能力,提高运行灵活性。设备选型方面,应优先采用低阻力、高精度调节性能的疏水调节阀,保证在低流量工况下仍具备良好的调节稳定性。此外,对高压加热器液位测量与控制装置进行优化配置,提升液位信号的准确性与响应速度,为疏水调节提供可靠依据。通过系统结构与设备配置的协同优化,可有效增强疏水系统在复杂工况下的适应能力。

5.2 低负荷工况下运行调控策略与参数优化

在机组低负荷运行阶段,疏水系统需通过精细化调控实现稳定运行。运行过程中应根据负荷变化及时调整各级高压加热器疏水阀开度,保持合理的液位区间,避免因液位波动导致换热效率下降或设备安全隐患。针对低负荷疏水驱动力不足的问题,可通过分阶段启用越级疏水路径,实现疏水流向的动态切换,减少系统内滞水现象。同时,应对除氧器

压力及给水系统运行参数进行协调控制,确保系统整体压力分布处于合理范围。在参数优化方面,可结合历史运行数据对疏水流量、压力及温度进行分析,形成不同负荷区间的最优运行曲线,为操作人员提供明确的调节依据。通过建立动态调控机制,使疏水系统在低负荷条件下仍能保持良好的运行状态与较高的热经济性。

5.3 疏水系统可靠性提升与经济性综合评估

疏水系统的可靠运行是保障机组安全与经济性的关键环节,应从全寿命周期角度进行系统评估与优化。在可靠性方面,可通过完善监测手段,对疏水流量、压力及关键阀门状态进行实时监控,及时识别潜在异常并采取干预措施,降低故障发生概率。同时,建立定期检修与状态评估机制,对关键设备进行性能检测与维护,确保系统长期稳定运行。在经济性方面,应综合考虑疏水不畅导致的热损失、能耗增加及设备磨损等因素,通过定量分析评估优化措施的实施效果。对于增加的管道及控制系统投资,应结合机组运行周期内节约的能耗成本进行对比分析,判断其经济合理性。通过可靠性与经济性的协同提升,实现疏水系统运行效益的整体优化。

6 结语

在新建火电机组设计阶段,主厂房布置会对投资成本及机组运行产生影响,如何在保证电厂运行维护和检修条件的前提下,对主厂房区域,包括汽机房、除氧间、煤仓间、锅炉房等有关专业工艺系统及设备的布置进行综合的优化,从而节省管道、电缆和土建三材,节约投资成本,提供机组低负荷经济性是可行且必要的。

参考文献

- [1] 李勇,严后强,罗少春,张梦,欧阳官喆.大型燃煤火电机组智能控制系统的设计[J].机械设计与制造工程,2026,55(02):59-63.
- [2] 徐彤彤,王桂芳,王进仕,张瑜,陈娜娜.“双碳”目标下火电瞬态过程虚拟仿真实验设计与教学实践[J].中国现代教育装备,2026,(01):97-100.
- [3] 陈文韬,黄林滨,徐洪涛,焦安瑶,韩向新,张海峰.1 000 MW二次再热燃煤机组熔盐储热系统优化设计及性能分析[J].热能动力工程,2025,40(12):97-108.
- [4] 石亮,乌悦伦,毛华西,俞明锋,鲁奎,章颖缤.330 MW火电机组耦合熔盐储能系统设计与经济性分析[J].电力科技与环保,2025,41(06):950-958.
- [5] 徐林.“双碳”目标下的火电机组灵活性改造方案设计[J].中国机械,2025,(33):105-108.