

# 超临界锅炉运行参数异常诊断与处理

张 浩

贵州黔西中水发电有限公司 贵州毕节 551500

**摘 要：**超临界锅炉运行参数异常会对整个机组的安全稳定与经济运行造成严重影响。文章聚焦超临界锅炉运行参数异常的诊断与处理，诊断方法包括基于热工机理分析、数据驱动建模及智能监测与预警系统，可精准识别异常。处理措施针对蒸汽温度、水位、燃烧参数异常，分别采用分级调控、动态平衡处理和协同优化等手段，能有效解决问题，保障锅炉安全经济运行，为实践提供参考。

**关键词：**超临界锅炉；运行参数异常；诊断方法

超临界锅炉在电力生产中占重要地位，其运行参数稳定关乎机组安全与效益。但受设备、操作等因素影响，参数易异常，可能引发故障、停机等问题。本文探讨其异常诊断方法，如热工机理分析等，及针对性处理措施，为保障锅炉高效稳定运行提供支持。

## 1. 超临界锅炉运行参数异常诊断方法

### 1.1 基于热工机理分析的诊断方法

超临界锅炉的运行遵循严格的热工原理，其参数之间存在明确的内在关联，基于热工机理分析的诊断方法正是利用这一特性实现异常识别。该方法以锅炉的汽水循环、燃烧反应、传热过程等核心机理为基础，建立参数间的理论关系模型。例如，在正常工况下，过热汽温与燃料量、给水量、减温水量之间存在特定的函数关系，当实际运行中这些参数的匹配偏离理论模型时，即可判断存在异常。具体操作中，通过推导热平衡方程、动量守恒方程等，明确各参数的理论取值范围及相互影响系数。当监测到某一参数（如再热汽温）异常时，结合机理模型分析其与烟气流量、燃烧器摆角等参数的关联性，快速定位异常源头。比如，若再热汽温偏低且烟气挡板开度正常，可通过机理分析判断是否为再热器积灰导致传热系数下降，或因燃料挥发分降低使燃烧放热不足。这种方法的优势在于逻辑严谨，能从根本上解释异常成因，适用于设备结构稳定、机理明确的场景。

### 1.2 基于数据驱动建模的诊断方法

随着工业大数据技术的发展，数据驱动建模成为超临界锅炉参数异常诊断的重要手段。该方法无需依赖精确的机理模型，而是通过挖掘历史运行数据中的隐藏规律，构建参

数异常识别模型。首先收集锅炉在正常运行、典型故障等工况下的海量数据，包括温度、压力、流量、氧量等关键参数，经清洗、归一化等预处理后，利用机器学习算法（如神经网络、支持向量机、随机森林等）训练模型。例如，采用长期记忆网络（LSTM）对蒸汽温度的时序数据进行建模，模型可学习正常工况下的温度变化趋势，当实时监测值与模型预测值的偏差超过设定阈值时，判定为异常<sup>[1]</sup>。数据驱动方法的优势在于适应性强，能处理复杂非线性关系，尤其适用于机理复杂、参数耦合性强的超临界锅炉系统。同时，通过不断输入新的运行数据，模型可持续优化，提高诊断精度，对新型故障模式也具有一定的识别能力。

### 1.3 基于智能监测与预警系统的诊断方法

智能监测与预警系统整合了传感器技术、实时数据传输、智能算法等多种技术，构建全流程的参数异常诊断体系。该系统通过布置在锅炉各关键部位的高精度传感器（如热电偶、压力变送器、流量计等），实时采集温度、压力、流量、成分等参数，经工业总线传输至数据处理中心。中心服务器利用边缘计算技术对数据进行实时分析，结合预设的诊断模型（如机理模型、数据驱动模型）快速识别异常。系统具备分级预警功能，当参数轻微偏离正常范围时，发出一级预警并提示运行人员重点关注；当参数严重超标或出现恶性关联变化时，触发二级预警，自动推送可能的故障原因及处理建议，甚至联动控制系统进行初步调节（如自动调整减温水量）。此外，系统还支持历史数据回溯与故障案例库建设，通过对比当前异常与历史案例的相似度，提高诊断效率。这种方法实现了异常诊断的自动化、实时化和智能化，大幅

提升了锅炉运行的安全性和可靠性。

## 2. 超临界锅炉运行参数异常处理措施

### 2.1 蒸汽温度异常的分级调控措施

蒸汽温度异常需根据偏差程度采取阶梯式处理策略，这是因为超临界锅炉的受热面材质对温度变化极为敏感，骤升或骤降可能引发热疲劳裂纹，甚至导致爆管事故。因此，必须通过分级调节实现参数的平滑过渡，避免因调节幅度过大引发次生问题<sup>[2]</sup>。

当过热汽温超出正常范围 5–10℃ 时，优先通过燃烧调整干预，这是由于燃烧系统的响应特性更适合小幅度参数修正。若汽温偏高，可降低上层燃烧器负荷（通常降低 10%–15%）、增大下层给粉量（增幅控制在 5%–8%），通过改变火焰中心高度实现传热调节——火焰中心下移后，炉膛上部受热面吸热量减少，可直接降低过热蒸汽吸热量。同时需启动过热器区域吹灰装置，利用高压蒸汽（压力维持在 3.5–4.0MPa）对过热器管束进行脉冲式吹灰，清除表面积灰以恢复传热效率。值得注意的是，吹灰过程需按“从低温段到高温段”的顺序进行，每段吹灰时间控制在 30–60 秒，避免长时间吹灰导致局部温度骤降。若汽温偏低，则采取相反的燃烧调整逻辑：提高上层燃烧器负荷、减少下层给粉量，使火焰中心上移以增加过热器吸热；同时减少减温水量（单次调节不超过 5t/h），通过逐步降低喷水量实现汽温回升，防止因减温水骤减导致汽温反弹超标。当汽温偏差超过 10℃ 或呈现持续恶化趋势（如 5 分钟内上升超过 8℃）时，需立即联动减温系统进行应急调节，此时燃烧调整已无法满足快速控温需求。对于过热汽温骤升，开启事故减温水阀时需严格遵循“小幅度、多频次”原则，控制单次调节幅度不超过总流量的 10%，这是因为超临界压力下蒸汽的比热容随温度变化剧烈，过量喷水可能使管壁温度在 10 分钟内骤降 50℃ 以上，导致热应力超过材质许用值。操作时应密切监测减温器出口温度，确保每小时温降不超过 30℃。若通过压力曲线和流量偏差判断为减温器堵塞（如同一工况下减温水量不变但出口汽温持续上升），应立即切换至备用减温回路，同时记录堵塞发生的精确时间、对应负荷（精确到 MW 级）、蒸汽压力及流量等参数，这些数据可帮助检修人员分析堵塞物成分（如结垢或异物卡塞），为停机后的内窥镜检测和疏通方案制定提供关键依据。

### 2.2 水位异常的动态平衡处理措施

水位异常处理的核心是区分虚假水位与真实水位偏差，这是因为超临界锅炉的汽水系统具有极强的动态响应特性，盲目调节可能导致水位剧烈波动，甚至引发汽轮机水冲击或水冷壁爆管等恶性事故。虚假水位的本质是负荷突变引发的汽水膨胀或收缩现象，并非真正的水量失衡，而真实水位偏差则是给水量与蒸发量长期失衡的结果，二者的处理逻辑截然不同<sup>[3]</sup>。

当负荷骤增（如 5 分钟内负荷上升超过 30% 额定值）引发水位短暂上升（虚假水位）时，运行人员需通过蒸汽流量、给水流量与压力的联动变化判断：若蒸汽流量突增而给水流量未变，同时炉膛压力短暂升高，即可确认为虚假水位。此时应严格维持给水量稳定，避免因误判而减少给水——因为负荷骤增会使炉水瞬间受热膨胀，水位上升只是暂时现象，约 30–60 秒后随着蒸发量稳定，水位会自然回落。待参数稳定后，再按新负荷对应的给水曲线阶梯式调整（每 5 分钟增幅不超过 10%），确保给水量与蒸发量逐步匹配。若水位在虚假波动后仍持续上升，且超过 +100mm（以汽包中心线下 150mm 为零位），则需启动真实高水位处理流程：开启连续排污阀（开度从 20% 逐步增至 50%），通过排出高含盐量炉水降低水位；同时降低上层燃烧器出力（单台燃烧器负荷降低不超过 20%），减少炉膛上部热负荷，从而降低蒸发强度。操作过程中需每 10 秒记录一次水位变化，防止排污过量导致水位骤降。针对水位偏低问题，需建立分步骤的恢复机制，兼顾安全性与调节精度。首先通过给水系统参数诊断原因：检查给水泵电流（应在额定值的 80%–110% 范围内）、出口压力（超临界工况下应维持在 25–28MPa）及流量曲线，若三者匹配且无明显波动，可判定为调节偏差而非设备故障。此时逐步提高给水泵转速，每次增幅不超过 50r/min（对应流量变化约 20t/h），同时关闭连排、定排等不必要的排污阀（关闭顺序为先定排后连排，避免压力波动）。若水位降至 -150mm 以下且给水流量持续低于蒸发量 10% 以上，需立即启动备用给水泵——启动前需确认泵体预热温度（与主泵温差不超过 50℃）、出口阀状态（全开），双泵并联运行时通过调节再循环阀使两台泵流量偏差控制在 5% 以内，防止抢水现象。

### 2.3 燃烧参数异常的协同优化措施

燃烧参数异常处理需兼顾安全性与经济性，实现多参

数协同调节。这是因为燃烧系统是超临界锅炉能量转换的核心,氧量、一氧化碳含量等参数的异常不仅会降低锅炉热效率(每偏离设计值1个百分点,效率可能下降0.3%~0.5%),还可能引发炉膛爆炸、受热面腐蚀等安全隐患,因此必须通过多参数联动调节实现安全与经济的平衡<sup>[4]</sup>。

当氧量偏高(超过设计值1.5个百分点)时,意味着炉膛内过量空气系数过大,会导致排烟热损失增加(排烟温度每升高10℃,热损失约增加0.6%)。此时应采用“送风-配风”协同调节策略:先降低送风机转速(每次下调不超过50r/min),同时按“分层调节”原则关小二次风挡板(上层挡板关小幅度可略大于下层,通常差5%~8%),使过量空气系数逐步回归1.1~1.2的最优区间。调节过程中需每30秒记录一次氧量值与排烟温度,确保两者同步下降。若调整15分钟后排烟温度仍比设计值高15℃以上,需重点检查空气预热器的漏风率(正常应 $\leq 8\%$ )——可通过测量空预器进出口烟气与空气的氧含量差计算漏风系数,若漏风率超标,需利用停炉间隙调整密封片与转子的间隙(冷态间隙通常控制在0.5~1mm),减少空气泄漏。氧量偏低时,表明燃料燃烧缺氧,易产生一氧化碳等不完全燃烧产物,此时需优先增加一次风量(增幅控制在5%~10%),同时提高二次风与一次风的配比(从1.5:1逐步调至2:1),增强空气与煤粉的混合效果。操作中需同步监测燃烧器出口温度,避免因风量骤增导致局部温度骤降(每分钟降幅不超过20℃)。同时必须检查燃烧器喷口是否存在堵塞——可通过对比各燃烧器的煤粉流量偏差(正常应 $\leq 5\%$ )判断,若发现堵塞,立即采用0.6~0.8MPa的高压空气进行脉冲吹扫(每次吹扫10~15秒,间隔30秒,重复3~5次),清除喷口积灰和结渣,恢复煤粉喷射的均匀性。一氧化碳含量超标(超过1000ppm)时,需结合实时煤质分析数据(尤其是挥发分和灰分含量)制定调整方案。若因煤质变差(如挥发分从25%降至18%)导致燃烧不充分,可通过预热器提高一次风温(从280℃逐步升至320℃,但不得超过设备耐热极限),增强煤粉的着火性能;同时通过调整燃烧器摆角(向下倾

斜 $2^{\circ}$ ~ $3^{\circ}$ )延长煤粉在炉膛内的停留时间(从2~3秒延长至3~4秒),促进充分燃烧。若炉膛负压出现 $\pm 50\text{Pa}$ 的剧烈波动且伴随CO升高,大概率是炉墙存在漏风点——需通过烟气压力分布测试定位漏风区域(重点检查看火孔、人孔门等密封部位),采用耐高温密封胶(耐温 $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ )进行临时封堵,同时适当提高引风机出力(电流增幅不超过10%),将炉膛负压稳定在-50至-100Pa的合理范围,避免冷空气侵入破坏燃烧场。

### 3. 结语

超临界锅炉运行参数异常的诊断与处理对机组安全经济运行至关重要。本文所述的热工机理分析、数据驱动建模等诊断方法,结合蒸汽温度、水位、燃烧参数异常的针对性处理措施,形成了完整的应对体系。实践中,需灵活运用这些方法与措施,持续优化改进。未来,应结合新技术提升诊断精度与处理效率,为超临界锅炉稳定运行提供更坚实保障,推动电力行业高质量发展。

### 参考文献:

- [1] 吴晓丹.一种应用于超超临界参数变压运行直流锅炉的脱硫废水处理工艺[J].清洗世界,2023,39(09):1-3.
- [2] 韩平,张东旺,辛胜伟,谢国威,郑伟佳,张曼,吕俊复.运行参数对660MW高效超超临界CFB锅炉四循环回路气固流动特性的影响研究[J].热力发电,2022,51(03):96-101.
- [3] 李江浩,刘洋,闫博康,牛艳青.660MW超超临界二次再热锅炉烟气再循环对锅炉运行参数影响[J].电力科技与环保,2019,35(06):37-40.
- [4] 孙俊威,蔡培,黄启龙,阎维平,戴维葆,陈国庆,李超凡,马凯.烟气再循环对某1000MW超超临界二次再热锅炉运行参数的影响[J].动力工程学报,2018,38(11):861-866+873.

**作者简介:** 名字: 张浩, 性别: 男, 出生: 1996年10月, 民族: 汉族, 籍贯: 贵州遵义; 学历: 本科; 职称: 助理工程师; 研究方向: 火电厂锅炉集控运行;