

# 炉膛负压波动的现场仪表诱因及解决对策

朱 涛

中国石化海南炼化化工有限公司 海南 儋州 578101

**摘要:** 炉膛负压是保障锅炉燃烧稳定、设备安全及能耗控制的关键参数,其异常波动易引发烟气泄漏、炉膛喷火、燃烧失稳等安全隐患,还会增大锅炉热损失、造成能源浪费。本文围绕现场仪表系统、锅炉内部工况及外界气象环境,系统分析核心测量仪表故障、辅助部件失效、安装选型不当、运维校准缺失、燃烧工况失衡、设备运行异常、人为操作失误及风雨气象干扰等多重诱因影响,结合工业锅炉运行实际情况,提出了全流程、针对性的解决方案与防控对策,优化仪表测量精度、完善运行调控逻辑,实现炉膛负压稳定可控,为锅炉系统安全、高效、节能运行提供全面的技术支撑。

**关键词:** 炉膛负压波动; 现场仪表诱因; 燃烧调控; 解决对策; 锅炉安全运

引言: 锅炉作为电力、化工、石化等工业生产领域的核心动力与供热设备,炉膛负压稳定运行直接关乎燃烧效率、设备使用寿命及现场操作人员人身安全。现场仪表系统是炉膛负压测量、信号传输与调控指令执行的核心载体,其运行状态直接决定负压数据的准确性与调节响应的及时性。同时,炉膛负压本质是炉内产气、进风与引风机排风的动态平衡结果,燃烧工况波动、风机等设备故障、操作调整不当,以及外界刮风、降雨等气象因素,都会打破这一平衡,引发负压异常波动<sup>[1]</sup>。

当前工业现场中会出现一些情况,比如,仪表突发故障、安装运维不规范操作、燃烧调控滞后,外部环境干扰等等一系列问题频发,且各类诱因相互叠加影响,导致炉膛负压波动难以有效管控,制约生产安全与能耗优化。现有研究多单一聚焦仪表或燃烧单侧因素,缺乏多维度综合分析,因此,全面梳理炉膛负压波动各类诱因、制定一体化防控对策,这样对保障锅炉长周期稳定运行起到了至关重要的作用。

## 1 炉膛负压测量相关理论及现场仪表系统概述

### 1.1 炉膛负压的核心作用与波动判定标准

#### 1.1.1 炉膛负压的核心作用

炉膛负压运行的核心作用是维持锅炉燃烧系统压力平衡,通过保持炉膛内部压力略低于外界大气压,常规控制范围为\*\* $-20 \sim -80\text{Pa}$ \*\*<sup>[2]</sup>,既能杜绝炉膛正压导致的烟气外泄、高温喷火等安全隐患,又避免污染现场生产环境、威胁人员安全,又能防止过量冷空气漏入炉内降低燃烧温度,减少锅炉热损失,提升燃料燃烧效率,实现节能降耗与设备安全双重保障<sup>[2]</sup>。

#### 1.1.2 炉膛负压波动的判定标准

结合目前工业锅炉运行规范标准,明确炉膛负压正

常与异常波动界限:所以在正常工况下,负压波动幅度不能超过 $\pm 100\text{Pa}$ ,且波动周期短、可快速自行恢复;当波动幅度超过 $200\text{Pa}$ 、持续时间超 $30\text{s}$ ,或出现负压骤变、正负频繁跳变、长时间偏离设定值等情况,均判定为异常波动,需立即排查诱因并开展调控及时处理妥当。

### 1.2 炉膛负压测量的基本原理

炉膛负压测量主要采用差压测量的基本原理,是通过取样装置采集炉膛内烟压力,与外界大气压力形成的差值,负压变送器将压力差信号转换为 $4\sim 20\text{mA}$ 标准电信号,经导压管路、信号传输模块输送至DCS控制系统;系统对信号进行分析处理后,自动调节引风机转速、入口挡板开度等参数,形成“压力采集-信号传输-数据处理-自动调节”的闭环控制流程,实现炉膛负压实时调控<sup>[3]</sup>。

### 1.3 炉膛负压测量现场仪表系统组成

#### 1.3.1 核心测量仪表

核心测量仪表为差压式负压变送器、微压变送器,常用量程 $-500\sim 500\text{Pa}$ ,精度等级不低于 $0.1$ 级,负责精准采集炉内与外界大气压力差,完成压力信号向电信号的转换,是负压测量的核心设备,直接决定数据采集精度。

#### 1.3.2 辅助仪表及部件

辅助部件包括取样管、取样母管、导压管路、控制阀门、自动吹扫装置、信号隔离器等。取样装置负责压力信号采集,导压管路实现信号稳定传输,吹扫装置避免粉尘堵塞管路,信号隔离器抵御现场电磁干扰,各部件协同配合,保障核心测量仪表稳定的运行。

#### 1.3.3 仪表控制系统

以DCS系统为核心,配置负压信号处理模块,采用三取中逻辑提升信号可靠性,预设负压调节阈值,实现引风机、送风机联动自动调节,同时具备异常报警功

能,在负压超标时将会及时发出预警。

一是精度要求,测量误差需控制在允许范围内,满足锅炉精细调节需求;二是稳定性要求,可抵御现场高温、振动、电磁干扰,零点漂移、信号跳变控制在标准范围内;三是可靠性要求,适配锅炉高温、高粉尘、高湿度恶劣工况,无泄漏、无堵塞,实现了长期连续稳定运行。

## 2 炉膛负压波动的多重诱因分析

炉膛负压波动的根本原因是炉内气体压力与引风机抽力失衡,进风、产气、排风动态平衡被打破,诱因可分为现场仪表、燃烧工况、设备运行、人为操作、外界环境五大类,各类因素相互影响,这样就共同加剧了负压波动。

### 2.1 现场仪表类诱因

#### 2.1.1 核心测量仪表故障

变送器长期运行受到高温、振动影响,内部元器件慢慢老化,就易出现零点漂移,所以会导致测量信号失真、数据出现偏差;如果未按期进行校准、元器件磨损会造成变送器精度下降,无法真实反映炉内负压状态;电路板损坏、防护失效进水进尘,会引发信号跳变、无输出等故障,直接导致了负压调控的失灵。

#### 2.1.2 辅助仪表及部件故障

炉膛内也会又大量的粉尘堆积情况,这样就易造成取样口、以及取样管堵塞了,压力信号采集会中断;取样位置靠近燃烧器、风口等湍流区域,采集信号失真;导压管路积水、接头松动泄漏、管径不合理,会导致信号传输滞后、衰减;吹扫装置失效、阀门卡涩、信号隔离器故障,将会进一步加剧测量误差,引发负压波动判断失误。

#### 2.1.3 仪表安装与选型不当

变送器安装位置低于取压点,导压管路积水无法排出;安装在高温辐射、强振动、强电磁区域,破坏仪表运行稳定性;未根据工况选用高精度微压变送器,防护、防爆等级不达标;导压管路坡度不合理、接线错误、连接不严密,均会影响仪表正常运行。

#### 2.1.4 仪表运维与校准缺失

未按规范周期开展仪表校准,误差就会持续累积;日常巡检不到位,未及时清理管路堵塞、更换老化部件;加上运维人员专业能力不足,无法快速排查处理仪表小故障,结果就是导致了问题扩大化,影响负压测量的准确性。

### 2.2 燃烧工况类诱因

燃烧过程中炉内气体量瞬时变化是负压波动最常见

诱因:燃料供给压力不稳定,导致燃烧产气量骤增骤减;送引风配比失调、风门卡涩或调节失灵,进风量与排烟量不匹配;炉膛灭火、爆燃、结焦掉焦,会瞬间挤压炉内烟气,引发负压剧烈冲击,且波动伴随火焰、烟温同步变化。

### 2.3 设备运行类诱因

引风机电机故障、轴承卡涩、入口挡板卡涩松动,抽风能力忽强忽弱;送风机出力波动,进风量不稳定;烟道积灰结焦堵塞、空气预热器密封失效泄漏,改变排烟阻力与漏风量,直接破坏进风与排风的平衡,导致负压持续波动且伴随设备运行报警。

### 2.4 人为操作类诱因

锅炉启停机、负荷增减时,燃料与配风未同步调整,操作滞后引发负压失衡;手动调节风门、挡板时开度变化过快,造成抽力、进风量骤变,负压出现超调;锅炉吹灰、清焦操作时,高压蒸汽或焦块掉落干扰炉内烟气流动,引发瞬时负压波动。

### 2.5 外界气象环境类诱因

风向、降雨通过改变烟囱抽力、排烟阻力影响炉膛负压:顶风迎面阻碍烟气排出,排烟阻力增大,负压变小甚至变正;顺风、侧风增强烟囱抽力,负压大幅变负;阵风、乱流会导致负压无规律剧烈摆动。雨水冷却烟气降低烟囱抽力,烟道积灰遇水板结增大排烟阻力,整体使负压偏向正压,风雨叠加时,负压波动进一步加剧,极易引发调控震荡。

## 3 炉膛负压波动的综合解决对策

### 3.1 现场仪表问题专项解决对策

#### 3.1.1 优化核心变送器运行管理

建立定期校准合理化机制,比如:每月按时校准变送器零点,每半年进行一次全面校准、每年进行精度复核,及时更换掉老化的元器件;选用抗温漂、抗振动的高性能变送器,防护等级不低于IP65;优化安装位置,远离高温、振动源,加装隔热、减震装置,减少外部环境干扰;建立仪表全生命周期台账,强化日常巡检,及时更换故障仪表<sup>[4]</sup>。

#### 3.1.2 完善辅助部件运维管控

优化取样点布置,避开湍流区域,选用大管径取样管,加装定时自动吹扫装置,每周要进行清理、每月全面疏通取样管路;采用304不锈钢耐腐蚀导压管路,设置不小于1:100的坡度,便于冷凝水排出,每日检查管路泄漏、积水情况,及时紧固接头、疏通堵塞;定期维护吹扫装置、阀门与信号隔离器,更换老化部件,保障辅助系统稳定运行。

### 3.1.3 规范仪表安装与选型

结合炉膛负压量程、现场工况科学选型，低负压工况选用高精度微压变送器；变送器安装高度高于取压点2-3米，选择无强干扰、便于维护的位置；严格按照规范施工，确保管路连接严密、接线牢固，安装后开展气密性与信号调试，杜绝安装工艺缺陷<sup>[5]</sup>。

### 3.1.4 强化仪表运维能力建设

制定标准化运维与校准流程，明确巡检、维护、校准周期；定期开展运维人员专业化培训学习，提升仪表故障排查、校准实操的能力；建立运维考核机制，确保各项运维措施落地执行。

### 3.2 燃烧工况优化对策

稳定燃料供给系统，保障燃气、燃油压力恒定，杜绝燃料量骤变；优化配风自动调节逻辑，实现送引风机联动调节，避免风门单独异动；定期清理炉膛结焦，防止掉焦冲击烟气流动；加强燃烧监控，及时处理灭火、爆燃等异常工况，维持炉内燃烧稳定<sup>[6]</sup>。

### 3.3 设备运行故障防控对策

定期检修引风机、送风机，排查电机、轴承、挡板故障，保障风机出力稳定；定期清理烟道积灰、检查烟道与空气预热器密封性能，及时处理堵塞、泄漏问题；建立设备定期维保机制，降低硬件故障发生率，维持进排风系统稳定性。

### 3.4 规范现场操作流程

为进一步稳定锅炉运行状态，需严格规范现场各项操作流程。制定锅炉负荷调整、启停机等关键环节的标准化操作方案，执行过程中做到燃料供给与配风同步缓慢调节，严禁操作幅度过大、节奏过急，防止运行参数大幅波动。吹灰、清焦等作业应优先选择锅炉工况稳定时段开展，合理控制操作频次与强度，避免对燃烧及负压系统造成扰动。同时积极推广自动调节控制模式，充分发挥自动化系统调节优势，最大限度减少不必要的手动干预，规范人员操作行为，有效降低因人为操作不当引发的参数异常及设备误动风险，保障锅炉运行安全可靠。

### 3.5 外界气象环境应对对策

针对外界多变气象环境带来的运行干扰，制定专项应对对策。面对风力干扰，在负压取样端加装阻尼罐，同时将仪表箱保持非密封状态，以此平衡内外大气压，有效减小阵风对负压监测的冲击影响。优化引压管整体

敷设路线，做好全面保温防护措施，避免管内外温差过大产生凝液，改造引压管平缓过渡段，杜绝管路内出现积液干扰数据的情况。雨天作业提前加大引风机出力，顶风工况下适当增大引风、减小送风，精准调节运行参数；若遭遇风雨交加、负压剧烈波动的极端情况，立即切换至手动调节模式，稳定系统负压状态，避免设备保护装置出现误动作，保障生产运行平稳安全。

### 结束语

炉膛负压稳定是锅炉安全、高效、节能运行的核心前提，其波动诱因覆盖现场仪表、燃烧工况、设备运行、人为操作及外界气象等多个维度，具有复杂性、关联性、突发性特点。其中，现场仪表作为负压测量与调控的核心环节，其故障与运行异常是引发数据失真、调控失灵的关键因素，而燃烧失衡、设备故障、操作不当与风雨干扰，会进一步加剧负压波动风险。实践中，需构建“仪表精准管控+燃烧优化调节+设备可靠运行+操作规范执行+环境主动应对”的全维度防控体系，通过规范仪表选型安装、强化运维校准、完善燃烧调控逻辑、定期检修核心设备、细化操作流程、针对性抵御气象干扰，全方位消除各类波动隐患。同时，持续优化自动调节系统、提升运维人员应急处置能力，建立长效管控机制，才能从根本上解决炉膛负压异常波动问题，筑牢锅炉运行安全防线，实现工业锅炉长周期、稳定、经济运行，助力工业生产安全提质与节能降耗目标落地。

### 参考文献

- [1] 刘海明, 刘林波, 黄中柏. 330MW机组锅炉满负荷无法断油下的调整与分析[J]. 陕西电力, 2024, 14(9): 97-100.
- [2] 宋绍伟, 邱现堂, 杨真学, 等. W火焰锅炉炉膛负压波动大的原因分析与对策[J]. 中国电力, 2022, 7(8): 45-48.
- [3] 戴剑平. 炉膛负压波动原因分析及处理[J]. 热力发电, 2024, 16(7): 60-65.
- [4] 韩磊, 郭严昊. 炉膛负压波动造成停机的典型案例[J]. 基层建设, 2020, 9(23): 171-174.
- [5] 肖竹青. 工业煤粉锅炉炉膛负压波动原因分析及解决措施[J]. 电力设备, 2023, 22(6): 97-99.
- [6] 马宝成, 刘驰, 李德成. 基于锅炉DCS系统外挂式APC优化燃烧控制系统的架构及实际应用效果浅析[J]. 工业锅炉, 2025, (03): 30-34.