

# Research on the treatment of deteriorated slurry in absorption towers of coal-fired power plants

Guosheng Zhang

Chongqing Wanzhou Electric Power Co., Ltd. of National Energy Group, Chongqing, 404027, China

## Abstract

For coal-fired power plants adopting wet desulfurization, addressing the deterioration of absorber slurry during unit operation poses a challenging issue. Drawing from the treatment process of absorber slurry deterioration in a specific power plant, this article summarizes and refines a three-step method for handling slurry deterioration, offering operational insights for other power plants to tackle similar issues.

## Keywords

absorption tower; pH value; wet desulfurization; power plant; slurry; deteriorate

## 燃煤电厂吸收塔浆液恶化处理研究

张国胜

国家能源集团重庆万州电力有限责任公司, 中国·重庆 404027

## 摘要

采用湿法脱硫的燃煤电厂, 在机组运行过程中处理吸收塔浆液恶化是一个比较困难的课题。本文根据某电厂公司吸收塔浆液恶化的处理过程, 总结提炼处理浆液恶化三步法, 为其他电厂处理吸收塔浆液恶化提供了运行经验。

## 关键词

吸收塔; PH值; 湿法脱硫; 发电厂; 浆液; 恶化

## 1 引言

石灰石-石膏湿法脱硫具有脱硫效率高、运行稳定、煤种适应性强的特点, 已经作为燃煤电厂的主要烟气脱硫方式, 吸收塔系统作为该系统的核心, 其安全性和稳定性至关重要。在实际生产过程中, 吸收塔浆液质量因各种因素的干扰而恶化, 造成石膏湿度大无法正常脱石膏, 使得吸收塔密度逐步上升, 最终造成吸收塔搅拌机过电流, 浆液循环泵过电流, 吸收塔失去脱硫能力, 烟气 SO<sub>2</sub> 超标, 造成机组被迫停机。停机后, 吸收塔内 2-3 千吨的恶化浆液, 必须寻找储存空间全部排出, 储存的恶化浆液后期处理也比较困难。放空的吸收塔需重新配置浆液, 重新配置的浆液极可能出现石膏无法结晶, 仍无法脱出的现象。许多电厂反反复复处理, 机组几个月都无法恢复正常的脱硫脱石膏能力。

## 2 系统概况

某电厂一期工程安装两台 1050MW 超超临界燃煤汽轮发电机组, 采用东方锅炉(集团)股份有限公司生产的 1050MW 超超临界压力燃煤直流锅炉, 型号为 DG-3035/29.3-II3, 型式为超超临界参数、直流炉、对冲燃烧, 锅炉主、再热蒸汽温度为 605℃/623℃。配套设置石灰石-石膏湿法烟气脱硫装置及公用系统, 在 BMCR 工况下进行全烟气脱硫, 吸收塔入口烟气浓度 SO<sub>2</sub> 设计 1170mg/Nm<sup>3</sup>, 吸收塔出口烟气 SO<sub>2</sub> 小于 35mg/Nm<sup>3</sup>, 脱硫效率不低于 96%。每台机组设置一座逆流喷淋吸收塔, 吸收塔设计烟气流速上限 3.5m/s。每座吸收塔设 4 台循环泵对应 4 层喷淋层, 运行一台 3950r/min 高速离心氧化风机, 氧化空气系统采用立式喷枪和搅拌器强制扩散方式, 除雾器采用一级旋流管方式。一座吸收塔配置一套真空皮带脱水系统, 吸收塔浆液经过石膏旋流器浓缩后进入真空皮带脱石膏。

## 3 锅炉燃煤情况

锅炉设计煤种采取神华宁东煤, 设计煤种收到基灰分 7.19%, 硫分 0.53%, 吸收塔入口烟气 SO<sub>2</sub> 含量 1170mg/Nm<sup>3</sup>; 实际运行中煤种偏离设计煤种较大, 实际煤种收到基

【作者简介】张国胜(1979-), 男, 中国河南新乡人, 高级技师、工程师, 一级注册消防工程师, 从事火电厂除灰、脱硫专业研究。

灰分 14%，硫分 0.78%，吸收塔入口烟气 SO<sub>2</sub> 含量 1722mg/Nm<sup>3</sup>，超出脱硫系统运行能力，给吸收塔系统稳定运行带来很大的压力。

## 4 吸收塔浆液恶化情况

2025 年初，1 号吸收塔浆液颜色从褐色变为乳白色，浆液密度升高到 1180Kg/Nm<sup>3</sup>，吸收塔搅拌机电流最高 96A（额定电流 86A），A 浆液循环泵电流 75.29A（额定电流 76A），石膏脱水困难，石膏湿度过大拉稀，含水率高，纯度低，颜色发白，1 号石膏筒仓内石膏流至筒仓地面，被迫停运脱石膏系统；对比 2 号吸收塔浆液颜色为褐色，浓度 1111Kg/Nm<sup>3</sup>，吸收塔搅拌机电流 71.03A，浆液循环泵电流 71.06A，石膏颜色发黄表面有少许黑色杂质。分析石膏成分，1 号吸收塔石膏含水率 26.37%、亚硫酸钙含量 15.3%、二水硫酸钙 77%、碳酸钙含量 2.98%；2 号吸收塔石膏含水率 11.35%、亚硫酸钙含量 0.1%、二水硫酸钙 93.58%、碳酸钙含量 0.52%。

## 5 原因分析

1 号机组燃烧高硫煤，超出脱硫系统运行能力，为保证吸收塔出口 SO<sub>2</sub> 浓度达标，吸收塔 PH 长期维持在 5.8-6.0 之间，吸收塔高 PH 环境下亚硫酸钙的氧化和石灰石的溶解受到严重抑制，产品中大量难以脱水的亚硫酸钙，石灰石粉利用率下降，石膏中水分过大拉稀。配合现场的石膏情况，确认浆液已经恶化。恶化的原因是吸收塔 PH 过高，浆液中生产大量的亚硫酸钙无法正常氧化，石膏中亚硫酸钙含量 15.3% 远超标准值 1%。

## 6 事件处理

### 6.1 初步处理

降低 1 号吸收塔 PH 值至 5.5；电除尘调整至最大出力；石灰石粉要求全合格；入炉煤硫份小于 0.5%；1/2 号吸收塔浆液按 4:6 比例共同在 1 号真空皮带脱石膏降低 1 号吸收塔浆液密度；1 号吸收塔快速向事故浆液箱倒出浆液 1700 吨（占该塔浆液量 68%）。初步处理 5 天后效果不明显，石膏仍湿度大拉稀，之后 1/2 吸收塔任何比例混合均无法脱石膏。

### 6.2 降低吸收塔 PH 值

经过化验室取样分析，发现 1 号吸收塔浆液取样值比 DCS 上 PH 值高 0.7。说明浆液实际 PH 值比 DCS 显示值要高，浆液实际 PH 值已经超 6.0。采取增启一台浆液循环泵运行，1 号吸收塔 DCS 画面 PH 值控制范围为 4.3-5.0；2 号吸收塔维持高品质石膏，PH 值控制范围为 4.5-5.4；1、2 号吸收塔氧化风量均提至最大值 18000Nm<sup>3</sup>/h，最大程度将亚硫酸钙氧化为石膏。经过调整 1 号吸收塔浆液品质有所好转，2 天后，1/2 号吸收塔浆液按照 2:1 比例，石膏可以脱出。

### 6.3 排出 1 号吸收塔浆液

利用 2 号吸收塔正常石膏将 1 号吸收塔差浆液逐步带出，逐渐提高 1 号吸收塔浆液的混合比例。1 号吸收塔排出

流量约 55t/h，2 号吸收塔排出泵流量约 96t/h。1 号吸收塔浆液脱完石膏后的废水排至脱硫废水缓存池不返回吸收塔。两机混合脱石膏工况共计运行 123 小时，共计排出 1 号吸收塔浆液 6765 吨，是吸收塔内浆液总量 2.65 倍。1 号吸收塔石膏拉稀仍无法单独脱出。

经检验，双吸收塔混合石膏含水率 22.37%，无亚硫酸钙，二水硫酸钙含量 95.26%，和处理之前石膏中亚硫酸钙含量 15.3% 对比，说明 1 号吸收塔恶化浆液已经排除，但内部石膏结晶环境被破坏，无法全部生成正常石膏。

## 6.4 恢复脱石膏能力

经过前期处理后检验 1 号吸收塔浆液石膏结晶图对比正常的石膏结晶图，图中细小晶体（长度 <25 μm）的石膏偏多。采取从 2 号吸收塔向 1 号吸收塔的方式，将 2 号吸收塔浆液中优质石膏晶体注入 1 号吸收塔。经测算每天 2 号吸收塔进入 1 号吸收塔浆液 410 吨。经过 14 天处理，1 号吸收塔浆液循环泵密度 1140Kg/Nm<sup>3</sup>，吸收塔可以正常脱石膏，经检验石膏各项指标基本正常。石膏含水率 10.72%、亚硫酸钙含量 0.1%、二水硫酸钙 97.05%、碳酸钙含量 0.83%。

## 7 异常处理中的注意事项

吸收塔恶化的浆液不管加入优质的浆液还是加入优质的石膏，浆液的密度都会快速上升，需要有脱石膏或倒浆的方案，否则浆液密度持续提高，吸收塔将被迫停运。

晶体差的浆液加入了优质石膏和浆液，并不会快速的改变浆液结晶状况，相反晶核大的浆液更容易被石膏脱水系统脱出，运行中要持续添加才能逐步改变浆液结晶状况。

优质石膏和浆液加入晶体差的浆液中，可能快速被污染，石膏晶体依旧无法长大。这就需要在事故浆液箱留足一个吸收塔浆液的储存空间，吸收塔浆液在运行中无法恢复，就只有吸收塔停运后，向事故浆液箱全倒浆，再配置新浆液的方式才能彻底解决浆液恶化问题。

## 8 吸收塔浆液恶化处理三步法

本次电厂浆液恶化非常严重，处理时间超过一个月，根据此次处理经过，总结出“浆液恶化处理三步法”。

### 8.1 第一步：提高浆液品质

降低吸收塔 PH 值。从二氧化硫的吸收角度来讲，高的 pH 值有利于二氧化硫的吸收。当 pH 值 = 6 时，二氧化硫吸收效果最佳，但此时亚硫酸钙的氧化和石灰石的溶解受到严重抑制，产品中大量难以脱水的亚硫酸钙、石灰石颗粒，导致石灰石的利用率下降，运行成本提高，石膏水分过大拉稀。而低的 pH 值有利于亚硫酸钙的氧化和石灰石溶解度的增加，按一定比例鼓入空气，亚硫酸钙几乎可以全部得到就地氧化，石灰石的利用率也有提高，石膏的品质得到保证。但低的 pH 值使二氧化硫的吸收受到抑制，脱硫效率大大降低，当 pH = 4 时，二氧化硫的吸收几乎无法进行，且吸收液呈酸性，对设备也有腐蚀。正常情况下吸收塔 pH 在 5.2 ~ 5.5 为合适，在浆液恶化的条件下应将 pH 值降低至 5.0

以下,最大程度降低亚硫酸钙产生,恢复浆液脱石膏能力。

提高石灰石品质。吸收塔中参与反应的石灰石颗粒越细,在一定的质量下,其表面积越大,反应越充分,吸收速率越快,石灰石的利用率就越高。石灰石粉中氧化钙含量越高,杂质就越少,浆液内杂质就越少,石膏含水率就越低,石膏品质越高。吸收塔浆液恶化,不应再使用劣质石灰石粉,吸收塔必须加入优质的石灰石粉,提高浆液品质。石灰石粉至少应达到以下标准:氧化钙含量要高于51%,氧化镁低于2%、二氧化硅低于1.5%、石灰石粉的细度325目要求90%及以上通过。

降低吸收塔入口烟尘含量。烟气中的飞灰在一定程度上阻碍了SO<sub>2</sub>与脱硫剂的接触,降低了石灰石中Ca<sup>2+</sup>的溶解速率,同时飞灰中不断溶出的一些重金属如Hg、Mg、Cd、Zn等离子会抑制Ca<sup>2+</sup>与HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>的反应。实践经验证明,如果烟气中粉尘含量持续超过400mg/m<sup>3</sup>(干),将使脱硫效率下降1%~2%,并且石膏中的CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O含量降低,白度降低,影响石膏品质。同时,大量的飞灰也会堵塞喷头。正常吸收塔入口飞灰浓度控制应小于100mg / Nm<sup>3</sup>。吸收塔浆液恶化时要燃烧低灰分煤种,提高电除尘出力,吸收塔入口飞灰浓度小于30mg / Nm<sup>3</sup>。

提高氧化风量。吸收塔烟气中所含的氧不能满足氧化需要。大部分亚硫酸氢离子是在吸收塔浆液池中被氧化为硫酸离子,输入的氧化空气不足,将导致吸收塔生成亚硫酸钙比例变大,石膏生成减少,浆液逐步恶化,石膏拉稀。在浆液恶化的条件下氧化风量应调至系统最大,尽量减少亚硫酸钙生成。

降低吸收塔脱硫负荷。吸收塔入炉煤硫份过高,机组负荷过高,脱硫负荷高。吸收塔加入的石灰石浆液量要加大,吸收塔浆液密度上升加快,石灰石在吸收塔中的反应停留时间缩短,石膏结晶时间缩短,石膏晶体较小,石膏不易脱出。石灰石浆液量加大,氧化风量相对减少,亚硫酸钙产生风险加大,亚硫酸钙为粘稠物质,石膏恢复困难。因此,降低入炉煤硫份、降低机组负荷也是在吸收塔浆液恶化的条件下,尽快恢复浆液脱石膏能力的最有效手段。

## 8.2 第二步: 排出恶化吸收塔浆液

吸收塔浆液恶化后,经过提高浆液品质的方法只能保证后续进入的石灰石粉能正常生成石膏。已经恶化的浆液处理办法主要依靠将恶化浆液排出。若浆液排出速度慢,恶化的浆液将新生成的浆液污染,所以排浆速度越快处理效果越好。排浆的方法有以下几种。

浆液彻底置换。机组停运将吸收塔内浆液全部排出,重新配置石灰石浆液并加入1/5以上优质吸收塔浆液或100吨以上优质石膏。此办法是处理吸收塔浆液恶化最有效的方法。

快速部分置换浆液。50%以上吸收塔浆液在12小时内快速倒出。电厂的事故浆液箱容积一般是吸收塔浆液池的两倍,快速倒浆后吸收塔浆液可能仍不能恢复脱石膏能力。

所以快速倒浆量要计算好,要保证在机组停运后,事故浆液箱仍能储存恶化吸收塔的全部浆液,进行浆液彻底置换。

持续置换浆液。条件允许的情况下,也可以采取恶化浆液和临机浆液混合的脱石膏方法提高石膏品质。脱石膏后浆液应作为废水直接排放,不再返回吸收塔,逐步将恶化浆液排出。此方法虽实施困难,因为机组不停运且不占用宝贵的事事故浆液箱空间,仍是处理恶化浆液最优方案。浆液恶化后实践中处理一般需要一个月时间,只有拥有持续脱石膏能力和废水处理能力才能支撑到浆液品质恢复,如没有持续处理能力应及早申请停机采取浆液彻底置换的方法。

## 8.3 第三步: 浆液晶核重构

吸收塔内绝大多数晶核超过25μm且细小晶核较少,石膏才能正常脱出,否则石膏会湿度大拉稀。浆液恶化处理过程中吸收塔需要置换浆液,此过程会将大量塔内优质晶核排出,留下的恶化浆液晶核普遍较小品质偏差。这时浆液中石膏虽然可以正常生成,却无法结晶并脱出。浆液晶核恢复方法有以下几种。

利用相邻吸收塔优质浆液进入浆液恶化的吸收塔。可以从相邻吸收塔地坑或石膏排泵出口管道接临时管至故障吸收塔地坑,也可以将相邻优质吸收塔浆液倒至事故浆液箱后再倒入故障吸收塔。此方法要求优质浆液密度越高越好,倒入速度越快越好。

故障吸收塔加入优质的石膏作为结晶核。石膏加入量最少要50吨以上,加入后吸收塔至少要保证2天不脱石膏,使浆液中的结晶核尽量增多。此方法可能需要多次重复执行才能有较好效果。

## 9 结语

湿法脱硫吸收塔浆液品质对脱硫系统的运行至关重要。浆液品质恶化会导致脱硫系统运行不稳定,甚至只有停机更换浆液。浆液品质恶化后的处理尤为关键,恶化的浆液几乎不再可能恢复,现场只能采取提高浆液品质、排出恶化吸收塔浆液、浆液晶核重构的方法进行浆液的恢复。首先要找到浆液恶化的原因并彻底解决,其次提高浆液品质在整个处理过程必须持续进行,最后排出故障吸收塔浆液和浆液晶核重构必须按顺序进行。此次电厂排出故障浆液是吸收塔内浆液总量2.65倍,进入优质浆液是吸收塔内浆液总量1.8倍,总的处理时间长达36天,说明恶化的浆液会污染新生成的浆液和进入的优质浆液,处理过程是一个持续污染、持续改进的过程,处理方案一定要考虑过程的可持续性。

## 参考文献

- [1] 火力发电厂中的石灰石-石膏湿法烟气脱硫方法分析.李波.科技风,2018(18)
- [2] 石灰石-石膏湿法脱硫工艺影响因素研究.周炜照.化学工程与装备.2025(10)
- [3] 石膏湿法脱硫吸收塔浆液优化分析.孔宁.聚酯工业.2025.38(05)