

湿法脱硫改造中原有烟囱防腐问题的探讨

夏宏君 张兰春

山东电力工程咨询院 济南 250013

摘要：通过对湿法脱硫改造前后烟囱的运行环境进行分析，提出湿法脱硫时烟囱鉴定和改造的一些建议，以确保改造后烟囱结构的安全性和耐久性。

关键词：烟囱 脱硫 石灰石-石膏湿法 耐腐蚀

大量 SO₂ 排放造成的酸雨污染是全球范围内的重大环境问题，我国 SO₂ 排放的控制政策正在逐渐加强和实施，要实现国家排放控制标准的远期目标，必须对几乎占总排放量 1/2 的燃煤电厂的锅炉采取相应的控制手段。近阶段新建电厂多数都已配备烟气脱硫系统，烟囱的结构形式已按照运行时的烟气条件进行合理选择，如钢、砌体或整体浇筑料排烟筒套筒式烟囱。而早期建设的燃煤电厂大多数都没有配备有效的脱硫系统，其烟囱以普通的单筒钢筋混凝土烟囱为主，燃用高硫煤的火电厂，多数也是采用负压式单筒烟囱来解决其较为严重的烟气腐蚀问题。已运行机组在重新安装脱硫设施之后，烟气的成份、温度、湿度与原设计相差较大，此工况对烟囱运行寿命的影响在原设计中未曾考虑。如果不对原有烟囱安全性进行分析和鉴定，将给脱硫改造后电厂的安全运行留下隐患。

1. 石膏湿法脱硫烟气特点及腐蚀等级的判断

目前，已实现工业应用的燃煤电厂烟气脱硫技术主要有：湿法、半干法和干法，湿法脱硫技术主要有石灰石（石灰）-石膏法、海水脱硫法、氧化镁法、氢氧化镁法、氨-酸法、氨-硫酸氨法、双碱法、磷氨肥法等。湿法脱硫工艺具有技术成熟、脱硫效率高、运行稳定及副产品可利用等诸多优点，已成为烟气脱硫的首选工艺。湿法脱硫工艺的基本原理是高温状态下的烟气与含有化学介质的水混合，使烟气中的 SO₂、SO₃ 及 HF 等有害成份与介质发生反应，形成稀硫酸、硫酸盐及其它化合物。国内目前广泛应用的湿法脱硫技术是以石灰石-石膏法，其脱硫效率可达 95% 以上，生成副产品以石膏为主。

通常采用湿法脱硫处理且不设烟气加热系统时，烟气处于全结露状态。相关调查资料表明，湿烟气中水份接近饱和状态，烟囱入口温度约为 50℃，筒身混凝土如泡在水中一样。工艺运行水量计算也证实了这一情况，采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺的一台 300MW 机组正常运行时，除发生化学反应、湿石膏带水及污水排放外，由烟气带走的水量约为 30 吨/小时。相关资料显示，湿法脱硫工艺对烟气中的 SO₂ 脱除效率很高，但对造成烟气腐蚀主要成分的 SO₃ 脱除效率仅为 20% 左右。含有 SO₃、氟化氢和氯化物等物质的饱和水蒸气遇到温度较低的筒壁时将快速冷凝，形成一种腐蚀强度高、渗透性强的低温高湿稀酸型腐蚀环境，对烟囱的结构耐久性影响更为严重。

国际工业烟囱协会（CICIND）相关设计标准认为，燃煤电厂烟气经脱硫后大部分的氧化硫均被除去，但是脱硫后烟气温度低、湿度大，单位体积烟气中的稀释硫酸含量明显增加。因此，对处于脱硫系统下游的烟囱来说，其烟气腐蚀性等级通常被视为强腐蚀等级。

根据调查，在采用高效静电除尘并配有脱硫装置时，烟气中氮氧化物的浓度仍然维持在 400mg/m³（标态，其中 NO₂ 的含量约占 10%）左右，文献[1]在气态介质对建筑材料的腐蚀性分级时提出，当氮氧化物（折合二氧化氮）的浓度在 5~25mg/m³、环境相对湿度大于 75% 时，对钢筋混凝土的腐蚀性等级为强腐蚀性，由此也可以判断出脱硫后的湿烟气对钢筋混凝土烟囱仍然为强腐蚀性。

当采用烟气加热系统 (GGH) 对湿法脱硫处理后烟气温度进行提升后, 正常运行时烟囱入口温度约 70~80℃, 从一定程度上减缓了烟气的冷凝结露现象。而 GGH 运行时能否满足运行温度值的要求, 尤其是发电机组低负荷运行、机组开启和关停期间及其它不利工况时能否满足运行温度值的要求很值得关注。而升温后烟气的湿度仍然很大, 其腐蚀性成分并未减少, 烟气结露依然存在。因此, GGH 加热系统对烟气的流速、抬升高度及扩散效果非常有利, 可使电厂排放的烟气满足环保要求, 却并不能降低烟气的腐蚀性等级。

2. 单筒烟囱的腐蚀情况

西北电力设计院 1991 年至 1998 年间对十几座烟囱的运行及腐蚀情况进行了调查, 结果表明: 钢筋混凝土烟囱的砖内衬由于砂浆腐蚀后体积膨胀, 使内衬的整体性遭到破坏; 当含硫量超过 2% 时, 砂浆腐蚀较严重, 粘结力部分或全部丧失, 结构变得酥松且体积急剧膨胀; 砖灰缝内灰浆难以密实, 砖砌内衬对钢筋混凝土外壁的保护作用十分有限, 高硫煤烟气腐蚀区内的混凝土结构酥松无强度, 如果运行烟气处于较大的正压时, 钢筋混凝土筒壁在有烟气渗漏的裂缝处很容易发生局部性、穿透性腐蚀孔洞; 一般烟囱筒壁内表面都结露, 保温层长期处于潮湿状态, 当保温层的憎水性、耐酸性能很差时, 几乎被腐蚀成泥浆状, 作用完全丧失。

2001 年华能辛店电厂二期油改煤工程中, 对原有烟囱结构进行了详细的检查和鉴定, 调查结果与上述情况基本吻合。‘筒身内衬出现随机的区域性酥松无强度, 一碰即散, 并且局部有缺失现象; 烟囱外壁裂缝较多, 其中部分属贯穿性裂缝, 一些裂缝周围混凝土保护层脱落, 筒身钢筋出现裸露, 并且钢筋已受到一定程度的腐蚀’。

以上情况表明, 普通的单筒式烟囱在运行一段时间之后, 均有不同程度的腐蚀发生, 筒壁内衬的破损、保温层的破坏以及大量裂缝的出现, 使烟囱抵御烟气腐蚀的能力大幅度降低, 腐蚀速度也在不断加快。

3. 单筒烟囱在湿烟气环境中的腐蚀情况分析

湿法脱硫改造前后烟囱的使用环境发生了很大的变化, 由于防腐目标的转移, 原有防腐措施失去了防护作用, 并且有可能助长了湿烟气的腐蚀, 如耐火砖及砂浆对腐蚀性湿烟气的吸附, 不仅加剧了烟气在筒壁的凝结, 还可直接渗透到钢筋混凝土内壁上, 对筒身进行腐蚀。而且单筒烟囱因受腐蚀而出现的缺陷, 会在脱硫后烟气环境下引起烟囱结构快速的腐蚀。

表 1

湿法脱硫改造前后烟气指标及腐蚀情况对比

编号	烟气指标	不脱硫		脱硫后烟气	
		运行烟气	防腐情况	运行烟气	防腐情况
1	温度 ()	150、250	耐火砖耐腐蚀情况较好,普通砖内衬砂浆腐蚀严重,筒身形成裂缝,部分为贯穿性裂缝,烟囱腐蚀速度逐渐加快	50、80、150、250	当前脱硫系统启、停机次数较多,使烟囱的使用工况较为复杂,筒内环境频繁出现干湿交替,原有的耐火砖及保温材料腐蚀情况严重,酸性水、盐溶液对钢筋混凝土筒身的腐蚀更快、更便宜
2	湿度	完全干燥		近似饱和状态	
3	烟气流速及压力	流速高,压力较小		流速低、湿度大,压力大	
4	SO ₃ 含量	-		脱除 20%	
5	SO ₂ 含量	-		基本脱除	
6	氮氧化物等	-		基本不减少,Cl ⁻ 离子增加	
7	烟气结露	有酸结露		在水露点时,壁温凝结膜与烟气中 SO ₂ 结合成 H ₂ SO ₃ 溶液,残存的 HCl/HF 也会溶于水膜中	
8	运行工况	较为单一		GGH 运行、混合、GGH 停运、事故工况下排放高温烟气	
9	适宜防腐材料	耐酸、耐高温	耐酸砌块等	耐酸、耐高温、耐水性好	耐侯钢、整体浇筑料等
10	常用烟囱形式	(负压)单筒式烟囱	普遍采用	套筒烟囱、高防腐单筒烟囱	均有工程实践
11	腐蚀性等级划分标准	按煤含硫量		按湿度、冷凝液、介质含量	

另外,烟气温度降低后,密度随之增大,烟囱自抽吸能力减小,引起烟囱内部烟气压力的分布状况发生变化,其正压区范围扩大,烟气腐蚀范围增加,当新增正压区无防腐措施时,烟气对筒身的腐蚀作用更直接、更强烈。

尽管通过对工艺系统进行调节可影响脱硫后的烟气条件,如:提高除雾效果减少烟气带水量;有条件地减少过剩空气量,降低 SO₂ 向 SO₃ 的转化率;控制烟气流速,使烟囱尽可能负压运行。但此类措施对烟气的腐蚀等级改善较为有限,必须从提高烟囱自身的防腐性能。

4. 湿法脱硫改造中烟囱的鉴定和改造

现有烟囱的鉴定工作应选择有合格资质的单位。鉴定内容应以钢筋混凝土筒身为主,对材料现有强度及腐蚀性裂缝等情况进行详细调查,并提出适当的处理建议。对于使用时间较长或运行条件较差

的烟囱，其内衬的防护作用较差，筒身的腐蚀通常较为严重，所以宜将内衬全部清除后对筒身内外进行详细检查。对使用年限较短的烟囱，当筒身内侧暂时未被腐蚀时，可仅将内壁的积灰清除之后对内衬及未防护的筒身进行检查。筒身裂缝的处理时需先将筒壁进行清洗，再采用树脂胶泥对筒身裂缝、内衬缝隙进行修补和找平。当筒身结构的强度不足时，应根据具体情况对其进行补强加固。

烟囱新增防腐层的选择和设计尚无成熟经验可供参考，根据国内外脱硫工程的运行情况，常见的做法有以下几种。当筒身内衬完好，经鉴定后强度满足要求时，可在内衬外侧粘贴呋喃耐酸耐高温隔水板、喷涂玻璃鳞片或粘砌发泡玻璃砖；当内衬腐蚀情况较严重，强度较低时，可拆除原有内衬，直接在内壁上粘砌发泡玻璃砖，当工期比较充裕时，也可在拆除原内衬后，采用防水型耐酸耐热轻质隔热浇筑料内衬。各方案的处理效果如何，都还有待工程运行时间的验证。

按上述几方案对烟囱进行改造时，总费用均在 200 万元以上，尚未考虑施工期间机组停运造成的经济损失，一些没有意识到脱硫后烟气对烟囱腐蚀严重性的业主部门，要求仅做简单处理甚至不做处理，由于电厂运行中两台锅炉同时停机的情况很少发生，投运后烟囱的腐蚀情况只能做外观观测，因此只有当烟囱腐蚀情况极为严重时才会被发觉，对电厂安全运行的影响较大。

5. 结语

通过以上分析，由于湿法脱硫改造前后烟囱使用环境的变化，烟囱原有防腐措施在新环境下不具备防护作用，已有缺陷也会严重影响烟囱耐久性。因此，在烟气脱硫改造时，必须对现有烟囱的腐蚀情况进行严格鉴定，并根据具体情况对烟囱结构及内部防腐进行合理的加固、修补或改造，确保改造后烟囱结构的安全性和耐久性。

注：本文发表在《高耸建构筑物设计》2006 年