

# 燃煤电厂湿烟囱防腐隔离层的选择

夏宏君 张兰春

山东电力工程咨询院 济南 250013

**提 要** :本文介绍燃煤火力发电厂烟囱在排放不同工况脱硫烟气条件下烟囱型式与防腐隔离层的选择,针对目前排放脱硫烟气的烟囱设计进行探讨,确保烟囱设计安全性和经济性。

**关键词** :烟囱;排烟筒;脱硫烟气;GGH;防腐隔离层;

为减少燃煤火电厂排放烟气对大气环境的污染,严格执行《火电厂大气污染物排放标准》,国家环保总局规定自2005年1月1日起新建燃煤火力发电厂烟气排放要同期配套建设脱硫设施,2004年1月1日以前建设的火电机组达不到“排放标准”的应限期改造,烟气经过脱硫处理达到排放标准后方可直接排放到大气环境。烟气脱硫后的温度、成分、运行工况与脱硫前有很大区别,本文主要探讨排放脱硫烟气烟囱的设计选型问题。

## 1. 火电厂脱硫烟气腐蚀性特点

### 1.1 烟气脱硫工艺及烟气温度特点

目前国内烟气脱硫工艺有湿法脱硫、干法脱硫、半干半湿法脱硫、循环流化床脱硫等多种脱硫工艺。其中石膏-石灰石湿法脱硫工艺因技术成熟、稳定的脱硫效率不低于90%,应用最为广泛。

火电厂锅炉排放的高温烟气一般在130-160℃,烟气经过湿法脱硫吸收塔洗涤后一般为40-50℃。设置烟气加热装置(GGH)增温后,烟气可以达到70-80℃左右。

### 1.2 烟气腐蚀性实验

用混合的稀硫酸和盐酸水溶液作为酸性气体的发生源,将其加热微沸后,酸性蒸汽通往半回流半排放的烟囱模拟装置中,其中一部分酸性气体沿装置的排放口排放,其余部分凝结到模拟装置的内壁上,凝结的酸液沿模拟装置内壁下流。酸液下流过程中,部分又被蒸发,造成了内壁凝结液中酸浓度的不断累积增大,其累积程度与模拟装置中的温度、时间以及发生器内酸的浓度有关,通过在各种不同情况下(温度、时间以及发生器内酸的浓度)不断采集并分析凝结液的酸度,即可了解烟囱内壁的腐蚀介质在湿烟气气流动态过程中的变化状况。对多次实验过程和收集的数据进行分析,得出以下实验结果。

(1) 烟囱内壁酸液的浓度与发生器内酸的浓度紧密相关,并随发生器内酸的浓度增加而增加,当发生器内酸液浓度分别为1.1%、0.66%和0.2%时,烟囱内壁酸液浓度的极限累积值分别为42.1%、26.4%和3.7%。

(2) 当发生器内的酸液浓度保持一定时,内壁上凝结的酸液浓度在开始时不断增加,达到一定的时间后其浓度不再随时间变化,基本维持在一个稳定浓度值上。

(3) 烟囱内壁酸液的累积浓度随烟囱内温度的升高而有所增大。

(4) 模拟烟囱内钢的腐蚀速率比在同温度和同酸度下普通静态浸泡时高。

### 1.3 湿烟囱内凝结水质分析

对唐山电厂运行中烟道及烟囱中烟气凝结水进行了水质分析,其中1、2号水样为烟道中凝结水,3号水样为烟囱中凝结水,分析结果详见下表1。

表1 水样分析对比表

序号	检验项目	单位	1号样	2号样	3号样
			2006gy001	2006gy002	2006gy003

1	PH		2.48	2.45	8.10
2	Ca <sup>2+</sup>	mg/L	33.5	32.1	12.1
3	Mg <sup>2+</sup>	mg/L	4.01	4.13	29.7
4	TFe	mg/L	5.31	5.09	0.02
5	Na <sup>+</sup>	mg/L	0.12	0.10	57.2
6	HC03 <sup>+</sup>	mg/L	0.00	0.00	118
7	C03 <sup>2+</sup>	mg/L	0.00	0.00	0.00
8	Cl <sup>-</sup>	mg/L	5.00	5.10	22.9
9	N03	mg/L	20.9	21.1	1.0
10	S04 <sup>2-</sup>	mg/L	275	301	408
11	S03 <sup>2-</sup>	mg/L	0.95	1.44	2.86

唐山电厂为石膏-石灰石湿法脱硫，未采用GGH烟气升温装置，取样时发现烟道、烟囱内凝结水量比较大。分析结果表明3号水样中SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>离子明显高于1、2号，但其PH值却呈弱碱性，同时3号水样中的Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>离子明显增多。由于此烟囱内衬防腐形式与不脱硫工程基本一样，因此水样变化的原因应是酸性凝结水与烟囱筒壁混凝土、砂浆等材料发生了反应。

#### 1.4 湿烟囱内壁的腐蚀状况分析

从上述实验结果可以看出，模拟烟囱内壁的腐蚀介质浓度很高，烟囱内在工作时温度较高（40 - 80 ），这种情况营造出了一个极为恶劣的腐蚀环境，在该环境下，钢和水泥等金属和非金属结构材料会产生极为迅速的腐蚀破坏。

腐蚀研究不但要了解腐蚀介质的相关数据，而且还必须弄清腐蚀介质作用和实际环境作用过程的动力学的因素，挂片实验证实，模拟烟囱内钢的腐蚀速率比同温度和同酸度下普通静态浸泡时的速率要高出数倍，这种现象是由于烟囱内动态的腐蚀环境造成的。首先烟囱内壁凝结的酸液在烟囱工作期间是不断流动的，这导致了在钢铁表面的腐蚀介质是随时更新的，腐蚀时产生的铁盐会立即离开腐蚀原地，不会产生静态浸泡时在钢表面附近产生的盐浓度累积而造成的主要腐蚀介质浓度降低现象；其次是烟囱内温度自上而下呈梯度变化，上下温差较大，这样就造成自上而下不同点之间腐蚀电位增大，进而形成高的腐蚀速率。

## 2. 烟囱设计方案的选择

### 2.1 烟囱结构形式的选择

《烟囱设计规范》(GB50051-2002)、《火力发电厂土建结构设计技术规定》(DL5022-93)以及《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB50046-95)等有关规范根据烟气对排烟筒的腐蚀程度，对烟囱结构型式的选择规定：

- (1) 当排放强腐蚀性烟气时，宜采用多管式或套筒式烟囱；
- (2) 当排放中等腐蚀性烟气时，可根据烟囱的重要性宜采用多管式或套筒式烟囱，采用单筒式烟囱应设置多重防腐措施；
- (3) 当排放弱腐蚀性烟气时，可采单筒式烟囱，应采取有效的防腐措施。

## 2.2 排烟筒形式的选择

采用湿法脱硫的烟气温度一般在 40 ~ 50 之间, 烟气冷凝后产生大量的腐蚀性较强的酸性液体, 同时由于烟气温度低、湿度大、流速低, 容易产生烟气聚集并对排烟筒内壁产生压力。排烟筒应选用闭性好、抗渗防腐性能强的钢排烟筒。根据有关资料, 40 -80 的低浓度酸液对普通钢材的腐蚀速度比其他温度环境高出 3-8 倍, 因此钢排烟筒的内壁须进行防腐处理。

脱硫烟气经 GGH 烟气加热装置升温后一般在 70 ~ 80 之间, 烟气温度相对较高, 湿度也有所减小。采用等径直管排烟筒时, 有利于提高烟气上抽力, 大部分湿烟气快速由排烟筒排入大气, 不易产生烟气聚集并对排烟筒内壁产生压力, 烟气凝结露相对较少。排烟筒优先采用密封性能好的钢筒, 当排烟筒外侧采取相应的密封措施后, 也可以采用砌筑材料排烟筒。

根据机组容量及电厂的重要性, 考虑到排烟筒便于维护和更换, 大容量机组采用每台锅炉配置单独排烟筒。

## 3. 钢排烟筒内部防腐隔离层的选择

由于国内烟气脱硫历史较短, 专项的腐蚀调查研究资料很少, 经验也不多, 并且国内烟囱设计标准中对脱硫处理的烟囱防腐设计尚无明确说明。对于脱硫后烟气对烟囱结构的腐蚀性分析主要是借鉴国外的资料和做法, 国内设计行业主要是依据自己的经验和参考资料进行设计。电力行业常用的几种防腐隔离层主要有以下几种。

### 3.1 金属防腐隔离层

金属防腐隔离层的厚度一般为 1-1.2mm, 采用爆炸复合、爆炸-轧制复合、直接轧制等加工工艺, 将耐腐蚀效果极好的钛、镍金属与钢板结合形成钛(镍)-钢复合板。该材料防腐效果及耐久性很好, 但焊接技术要求高, 工程造价高。目前国内排放低温脱硫烟气(40-50)的钢排烟筒多采用金属复合钛板, 如华能玉环电厂 4×1000MW 烟囱、山西王曲电厂 2×600MW 烟囱等。

### 3.2 发泡玻璃砖隔离层

发泡玻璃砖是无机材料硼硅玻璃经发泡后形成的, 采用专用粘接剂粘贴在钢质排烟筒内侧。该材料具有轻质、耐高温、耐腐蚀、低导热性特点, 形成的隔离层密闭性能好, 结构安全性高, 运行期间维护费用低。发泡玻璃砖具有良好的隔热效果, 兼作钢排烟筒的隔热层。早期发泡玻璃砖多采用美国汉高公司的产品, 烟囱造价相对偏高。目前国内已有多家企业生产发泡玻璃砖及其配套的粘接剂, 价格相对较低, 施工相对简单, 应用比较广泛。如山西霍州电厂、江苏利港电厂等。

### 3.3 钾水玻璃耐酸砂浆隔离层

钾水玻璃(硅酸钠)与砂浆料按照一定比例配制的钾水玻璃耐酸砂浆, 采用喷涂方式(一般为 50mm 厚)固定在排烟筒内侧。由于防腐隔离层与钢材膨胀系数不同, 钢排烟筒产生纵向变形时钾水玻璃砂浆会产生裂缝, 为此防腐层内配有防止开裂的钢筋网, 而且在防腐砂浆与钢排烟筒内壁之间再涂刷一层防腐隔离涂料作为第二道防线。钾水玻璃耐酸砂浆具有耐高温、抗渗性强、耐酸性好、抗冲击等优点。但防腐隔离层开裂会使烟气对排烟筒存在腐蚀性, 安全性相对较低, 运行维护比较复杂。该方案材料费用比较低, 应用广泛。如北仑港电厂、韩城第二发电厂等。

### 3.4 复合涂层隔离层

复合涂层种类较多, 一般包括底层结合层、中间防腐隔离层、防腐面层。复合涂层中间隔离内层一般为树脂鳞片材料。复合涂层防腐隔离层具有抗渗性强、耐酸性好、变形能力与钢材接近, 在排烟筒产生纵向变形时不易出现裂缝, 有效地阻止了腐蚀性烟气与钢排烟筒的接触。适用于烟气温度不大于 200 的工作环境, 在国内外脱硫设备及烟道中应用广泛, 材

料价格适中,施工难度也不大,近几年已有用于烟囱排烟筒的工程实践,如洛阳新安电厂等。

#### 4 烟囱排烟筒经济技术比较

以内陆地区 240m/2×6.5m 双排烟筒烟囱为例,考虑钢结构和耐酸砖砌体两种排烟筒形式,钢排烟筒防腐隔离层考虑金属防腐隔离层、发泡玻璃砖、复合涂层三种方案,表 2 对几种常用烟囱进行综合经济比较。

表 2 烟囱各方案经济方案比较

组成项目造价 (万元)	烟囱方案	钢结构排烟筒				耐酸砖砌 体排烟筒
		金属隔离层	发泡玻璃砖	复合涂层	钾水玻璃砂浆	
钢排烟筒		2704	715	935	935	0
玻璃丝棉保温		19	0	19	19	41
发泡玻璃砖		0	1023	0	0	0
复合涂层		0	0	200		0
耐酸轻质混凝土排烟筒		0	0	0	0	357
钾水玻璃砂浆		0	0	0	350	42
基础、混凝土外筒、钢结构平台		1331	1331	1331	1331	1868
烟囱总造价(万元)		4054	3069	2485	2635	2308
备注	以上费用均为工程取费前价格					

#### 5 结束语

一般来说,排放低温脱硫烟气无 GGH 烟温加热装置时应采用钢结构排烟筒;排放 GGH 装置升温脱硫烟气优先考虑钢排烟筒,在保证烟气沿排烟筒全高程呈负压运行时可以采用砌体排烟筒,但应采取有效密封措施。单机容量在 600MW 级以上的烟囱应考虑每台锅炉对应单独排烟筒,以便于维护检修。总之,烟囱的设计选型应根据烟气的腐蚀程度、烟气温度、湿度、烟气在排放过程中存在的压力参数、烟囱的重要性等多种因素确定。确保结构的安全的前提下,充分考虑工程造价低、运行维护方便等因素。

注:本文发表在《高耸建构物设计》2006 年