

湿法脱硫后尾气烟囱结构选型及防腐方案论述

岳焕玲

(中国恩菲工程技术有限公司,北京 100038)

[摘要] 烟囱是工业企业一个重要的不可缺少的构筑物,同时也是一个排放烟气的重要设施,通过烟囱将废气排放入周围大气。湿法脱硫工艺对烟气中的 SO_2 脱除效率很高,但对造成烟气腐蚀主要成分的 SO_3 脱除效率不高,因此烟气脱硫后,对烟囱的腐蚀隐患并未消除,相反脱硫后的烟气环境会使腐蚀状况进一步加剧。本文分析了烟气经过湿法脱硫后的腐蚀机理,叙述了常见的排放烟气的烟囱结构形式,总结了排放腐蚀性烟气的烟囱结构型式选择原则,介绍了烟囱内衬的类别及八种常见的烟囱防腐蚀内衬材料。排放经过湿法脱硫后烟气的烟囱必须根据工程实际情况选择合适的防腐蚀内衬材料。

[关键词] 湿法脱硫; 烟囱; 防腐内衬; 烟囱结构

[中图分类号] X773

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2022)04-0087-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.04.019

0 前言

烟囱是工业企业一个重要的不可缺少的构筑物,同时也是一个排放烟气的重要设施,通过烟囱将废气排放入周围大气。经过废气在高空中的扩散,降低周边烟气浓度,使得厂区周围的环境达标。其可靠性直接关系到整个工厂的安全运行。近年来,为了满足污染物排放控制要求,工业企业都安装了脱硫装置以减少 SO_2 的排放,其中湿法脱硫以其脱硫效率高而被广泛应用,湿法脱硫后烟气温度降低会导致在烟囱排烟筒内表面上的湿气凝结增加,这种凝结具有较强腐蚀性,会增加设备腐蚀的风险,甚至对结构安全形成重大威胁。保证烟囱安全运行,首先必须保证结构的安全性。除此之外,做好烟囱的结构选型、排烟筒的防腐以及防腐隔热材料的选择,对保证烟囱结构安全、正常可靠运行也具有重要意义^[1]。

1 脱硫烟气的特点和腐蚀性

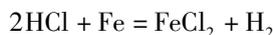
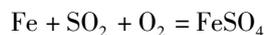
湿法脱硫工艺对烟气中的 SO_2 脱除效率很高,

但对造成烟气腐蚀主要成分的 SO_3 脱除效率不高,约 20% 左右。因此,烟气脱硫后,对烟囱的腐蚀隐患并未消除,相反脱硫后的烟气环境(低温、高湿、冷凝结露和正压状态等)会使腐蚀状况进一步加剧。对烟气湿法脱硫,且不设置烟气加热系统 GGH 的状况,由于排放的烟气温度低于冷凝结露温度,烟气冷凝结露突出,烟囱内的腐蚀环境复杂恶劣,腐蚀情况十分严重,带来的影响则是烟囱运行检修周期将会变短,检修维护、甚至补修修复的工程量将会增大,烟囱的安全运行面临较大的腐蚀渗漏问题。

烟气腐蚀性机理分析对于确定烟囱防腐方案有着直接关系。烟囱腐蚀类型,按其腐蚀机理可分为电化学腐蚀和化学腐蚀两大类;按环境可分为烟气腐蚀和大气腐蚀;按防腐蚀状态可分为气态腐蚀和液态腐蚀。

(1) 化学腐蚀

烟气中对钢有腐蚀作用的成分主要是 SO_2 、 SO_3 、 HF 、 HCl 、 CO_2 、水汽等。湿法脱硫后烟气中含有足够的水分,烟囱内壁产生的酸性液体会与金属材料发生化学反应,生成可溶性铁盐,对烟囱产生严重的腐蚀作用,使金属部件逐渐被破坏,其部分反应方程式如下:



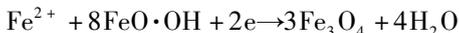
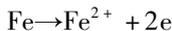
[收稿日期] 2022-03-26

[作者简介] 岳焕玲(1981—),女,河北邢台人,硕士,高级工程师,主要从事脱硫、脱硝及制酸工程设计工作。

[引用格式] 岳焕玲.湿法脱硫后尾气烟囱结构选型及防腐方案论述[J].有色设备,2022,36(4):87-91.

(2) 电化学腐蚀

烟气中残余的水及电解质在烟囱内表面形成原电池,存在着阳极反应和阴极反应,并伴有电流产生,使金属逐渐锈蚀,特别在焊缝接点处更易发生。电化学反应式如下:



此外,对采用石灰石-石膏法脱硫后的烟气还有结晶腐蚀。石灰石浆液吸收二氧化硫后生成可溶性硫酸盐或亚硫酸盐。脱硫系统正常运行时,烟气中夹带的大量未经除尘或未被除净的脱硫产物随高速流动的烟气进入吸收塔出口烟道及烟道与烟囱的连接处,由于惯性作用,这些颗粒会附着于烟囱与烟道连接处的对面,部分液体渗透到防腐表面的毛细孔内。当系统停止运行时,这些液体在自然干燥下生成结晶盐,同时体积膨胀,破坏防腐材料,使其蜕皮、疏松、破裂损坏。烟道气中固体颗粒(如灰尘)与烟囱表面发生湍动摩擦,烟囱不断被磨损,加速腐蚀过程,使烟囱壁逐渐变薄,造成了磨损腐蚀。

钢筋混凝土烟囱和砖烟囱主体材料为非金属材料,其腐蚀属于化学腐蚀或物理腐蚀,表现为化学溶蚀和膨胀腐蚀。化学溶蚀是材料与介质相互作用,生成可溶性化合物或无胶结性产物的一类腐蚀。化学介质与材料中的一些矿物成份产生化学作用,使材料产生溶解或分解。对于烟囱主要是烟气中酸性介质与混凝土中碱性材料产生化学作用,其结果是烟囱筒壁内表面腐蚀剥落,截面日益减小。膨胀腐蚀是由于新产生化合物体积膨胀,对材料产生较大的辐射压力而导致材料结构破坏的一类腐蚀。引起体积膨胀的原因,主要是由于介质与材料反应生成的新生物的体积要比参与反应的体积更大,或者是由于盐类溶液渗入多孔材料内部,所生成的结晶物的体积增大。烟囱砌筑类内衬最容易发生该类腐蚀。

2 烟囱的结构选型分析

2.1 烟囱结构型式

按烟囱结构形式一般有单筒式、套筒式、自立式、塔架式和拉索式等。根据相关国家标准关于烟囱选型的相关要求,当排放强腐蚀性烟气时,宜采用多管式或套筒式烟囱结构型式,即把承重的钢筋混凝土外筒和排烟筒分开,使外筒受力结构不与强腐

蚀性烟气相接触。

按烟囱材质分类一般有砖烟囱、钢筋混凝土烟囱、钢烟囱和玻璃钢烟囱等;单筒式烟囱一般有砖单筒式和混凝土单筒式两种;套筒式烟囱有砖内筒、钢内筒和玻璃钢内筒等,也可以分为单管式、双管式和多管式。目前砖内筒套筒式烟囱一般为单管式,现在国内也有设计过双管式的,但是设计和施工都非常困难,难以推广。钢内筒套筒式烟囱单管、双管和多管都有,目前国内最大的有四管。自力式、塔架式和拉索式主要为钢烟囱。塔架式烟囱也有采用玻璃钢材质的。

按烟囱的基础受力方式分为自力式和悬吊式。自立式排烟筒结构是其筒体下部是通过锚栓与基础相连,筒体本身独立承受各项外部荷载。钢筋混凝土外筒壁与排烟筒之间均留有不小于1 m的空隙,并沿高度方向设有数层用于检修维护的平台,部分平台设置制晃装置,用于钢筋混凝土外筒壁对排烟筒在水平方向的支承。悬吊式排烟筒结构是在钢筋混凝土外筒壁与排烟筒之间也都留有不小于1 m的空隙,并沿高度方向设有数层用于检修维护的平台,排烟筒则是分段悬吊在这些平台中的几层。根据不同的设计思想,排烟筒下部段可为自立式坐落在烟囱基础上,也可悬空直接与水平烟道相连。各段排烟筒之间通过伸缩节相连,排烟筒的荷载(下部自立式除外)都是通过支撑平台先传给钢筋混凝土外筒壁,再传递到基础上。

2.2 烟囱结构型式选择原则

由于烟气脱硫装置安装后烟温下降较大,因此对于烟气脱硫装置安装后的烟囱须考虑烟温变化带来的影响。烟囱内烟气温度变化可能对烟囱带来的影响主要有:由于烟气温度降低出现酸结露现象,造成烟囱内部腐蚀,同样由于烟温降低,烟囱抽力下降后造成烟囱内正压区范围扩大会使这种腐蚀现象加重;另外由于烟气温度的变化会使烟囱的热应力发生改变。

烟气脱硫装置安装后可能使烟气温度低于酸露点,造成对烟囱内衬料以及钢筋混凝土筒壁的腐蚀,致使其强度下降。

按照烟囱设计规范^[2]要求,排放腐蚀性烟气的烟囱结构形式选择原则如下:

(1) 烟囱高度小于或等于100 m时,一般采用单筒式烟囱。

但当烟气属强腐蚀性时,宜采用套筒式烟囱,即在承重外筒内,另做独立砖内筒,使外筒受力结构不与强腐蚀性烟气接触。

(2) 烟囱高度大于 100 m 时,烟囱型式可根据烟气腐蚀等级按下列规定采用:

① 当排放强腐蚀性烟气时,宜采用套筒式或多管式烟囱。

② 当排放中等腐蚀性烟气时,可根据烟囱的重要性既可采用套筒式或多管式烟囱,也可以采用防腐型单筒式烟囱。

③ 当排放弱腐蚀性烟气时,可采用普通单筒式烟囱,但应采取有效防腐措施。

3 烟囱防腐内衬材料

受烟气脱硫设施和炉窑运行状况变化的影响,烟气的温度和湿度也随之发生变化,即烟气干-湿、高-低温状态转换难以避免。因此,烟囱的防腐蚀设计很难做到完全适应这些频繁变化的运行条件。从防腐蚀设计的角度考虑,选择的材料优劣与烟囱的使用寿命成正比,优质的材料使用寿命长,但造价高;所以对于烟囱的防腐蚀设计,需要根据不同时期的各项条件统筹控制好烟囱安全可靠性与经济性的平衡点。一般情况下,当考虑经济因素、降低本期工程直接投资、选用常规防腐蚀设计方案时,还应考虑运行后出现腐蚀状况需检修维护或加固所需的投资费用,即烟囱投资应是烟囱使用寿命全周期内的投资费用,它包括初期的直接投资和正常运行期间由于腐蚀危及安全带带来的检修维护及加固费用。

烟囱内衬可分为有机内衬和无机内衬两大类。在温度超过 149 °C 时,大多数的有机内衬的弹性和耐酸性能力都要降低或失效。对于强腐蚀性烟气内衬方案的选择上,要综合考虑其技术性、经济性、耐久性和施工方面等因素。目前可供选择的方案主要有:镍基复合钢板或钛基复合钢板;泡沫玻璃砖内衬;玻璃钢排烟筒;密实型耐酸混凝土内衬;玻璃鳞片、OM 等防腐蚀涂料;宾高德玻璃砖内衬;ECTFE 内衬等。

3.1 采用镍基复合钢板或钛基复合钢板内衬

金属合金钢内衬一般为镍基合金板和钛板耐腐蚀性能较好。镍基合金是一种含钨的镍-铬-钼合金,其硅、碳的含量极低,在氧化和还原状态下,对大多数腐蚀介质具有优异的耐腐蚀性能、出色的耐点

腐蚀、缝隙腐蚀和应力腐蚀性能;钼、铬含量较高,能够耐氯离子的侵蚀;而钨元素的存在,进一步提高了其耐腐蚀性。钛的强度高,耐蚀性能良好,密度介于钢和铝之间,为 4.5 t/m³,其价格很昂贵。钛的优点就是钝化能力强,很容易与氧结合成氧化膜。钛的氧化膜因机械损伤破坏后,会很快愈合。因此,钛对海水和其他氯化物盐溶液、次氯酸盐和湿氯气、硝酸均有很好的耐蚀性。钛及钛合金的耐蚀性取决于是否保持钝化。在不能钝化的条件下,化学活性很高,不仅不耐蚀,甚至发生强烈的化学反应。

使用镍基复合钢板或钛基复合钢板做防腐内衬,防腐、耐温、耐磨性能都非常好,使用寿命长。缺点是价格昂贵、焊接技术有一定的特殊性。

3.2 采用轻质发泡玻璃砖内衬

泡沫玻璃是一种以玻璃为主要原料,加入适量发泡剂,通过高温隧道窑炉加热焙烧和退火冷却加工处理后制得,具有均匀的独立密闭气隙结构的新无机绝热材料。由于它完全保留了无机玻璃的化学稳定性,具有容重低、导热系数小、不透湿、不吸水、不燃烧、不霉变、不受鼠啃、机械强度高却又易加工,能耐除氟化氢以外所有的化学侵蚀。泡沫玻璃不但本身无毒,化学性能稳定,以及能在超低温到高温的广泛温度范围内不会变质的良好隔热性能,而且本身又起到防潮、防火、防腐的作用。它在低温深冷、地下、露天、易燃、易潮以及化学侵蚀等苛刻环境下使用时,不但安全可靠,而且经久耐用,被誉为“不需更换的永久隔热材料”。所以被广泛应用于石油、化工、建筑、冷库、地下工程、造船、国防军工等永久性工程的隔热保冷。

泡沫玻璃砖做为烟囱防腐内衬系统分为三重保护:第一层为底层耐温涂料,该涂料由双组份构成,其主要成分为环氧树脂,其具有极强的附着力和耐温性,耐温可达 200 °C,且干燥时间快,强度大,抗摩擦,施工简便。第二层为耐温粘胶剂,其主要成分为硅橡胶,主要由高分子量的线性聚硅氧烷与填料及其它添加剂混合而成。按固化温度不同可分为高温固化、室温固化和低温固化三类,其中室温固化型由含端羟基的聚硅氧烷加入填料、铰链剂及其它添加剂组成,其操作简单,使用方便而被广泛应用。第三层为泡沫玻璃砖,由于泡沫玻璃砖以玻璃为原料,经窑炉高温发泡烧制的无机材料,因此具有很好的稳定性和耐温性,抗老化性能优良。

3.3 玻璃钢

玻璃钢别名玻璃纤维增强塑料,俗称 FRP(Fiber Reinforced Plastics),即纤维增强复合塑料。根据采用的纤维不同分为玻璃纤维增强复合塑料(GFRP),碳纤维增强复合塑料(CFRP),硼纤维增强复合塑料等。它是以玻璃纤维及其制品(玻璃布、带、毡、纱等)作为增强材料,以合成树脂作基体材料的一种复合材料。纤维增强复合材料是由增强纤维和基体组成。纤维(或晶须)的直径很小,一般在 $10\ \mu\text{m}$ 以下,缺陷较少又较小,断裂应变约为千分之三十以内,是脆性材料,易损伤、断裂和受到腐蚀。基体相对于纤维来说,强度、模量都要低很多,但可以经受住大的应变,往往具有粘弹性和弹塑性,是韧性材料。采用玻璃钢做烟囱材料时一般不做内衬使用,而是直接采用玻璃钢烟囱。

3.4 密实型耐酸混凝土内衬

通常耐酸混凝土是指普通的水玻璃耐酸混凝土,它虽然有较高的力学强度和良好的耐酸稳定性,但由于材料的孔隙率大,抗渗性差,因而不耐结晶盐的腐蚀,特别不耐水和稀硫酸的腐蚀,使用范围受到很大限制。所谓密实性耐酸混凝土,就是在普通水玻璃耐酸混凝土中加入一些外加剂,如抗渗剂、渗透剂等,用于改善混凝土的孔结构,可大幅度提高水玻璃耐酸混凝土的密度和遏制酸液的渗透能力,因而它适用范围越来越广,从单纯的用于浓硫酸场合而发展成为用于稀、浓硫酸并且和水交替的场合。实践证明,防腐效果良好。且投资费用较低。

3.5 玻璃鳞片内衬

玻璃鳞片树脂衬里是以树脂为主要基料,以薄片状填料(10%~40%片径不等的玻璃鳞片)为骨料,添加各种功能添加剂混配成胶泥状或涂料状防腐材料,再经专用设备或人工按一定施工规程涂覆在被防护基体表面而形成的防腐蚀保护层。鳞片胶泥的耐温性及耐腐蚀性主要取决于树脂的性能,目前应用最多的乙烯基树脂耐温、耐腐蚀性较高。玻璃鳞片涂层抗渗透性好,胶泥在施工完毕后,重叠排列的扁平玻璃鳞片构成致密的防渗层结构,形成迷宫效应,腐蚀介质在固化后的胶泥中的渗透须经过较长时间和复杂的路径,从而能够有效地抑制腐蚀介质的渗透速度。鳞片胶泥内衬有较好的防腐性能,但适应温度较低,使用寿命较短,需要定期进行检查、修复。

3.6 OM 防腐涂料内衬

OM 防腐涂料是一种高效防腐涂料,有效成分为一种高分子渗透聚合物添加防腐颜料,耐候性好,防腐性能优异。漆膜坚硬,附着力好,光亮丰满。有较好的耐磨、耐酸、耐水、耐油、耐热等性能。漆膜坚硬耐磨致密性好,漆膜对一氧化碳、二氧化硫等腐蚀干热潮湿气体均具有承耐性,该类型涂料常温自干。目前做为烟囱内壁防腐涂料应用较多。

3.7 宾高德玻璃砖内衬

宾高德玻璃砖是具有一定厚度的块体材料,分为国产宾高德玻璃砖和进口玻璃砖,目前在国内常见的是国产宾高德玻璃砖,它由与之配套的粘结剂粘贴在排烟筒与烟气接触的内表面,形成防护层。对排烟筒来说,不但起到防腐防渗的作用,还起到隔热保温作用,是目前较常采用的排烟筒防腐蚀方案,玻璃砖防护层的厚度一般考虑 50 mm 厚。宾高德玻璃砖方案的优点是:施工相对便利,容易检查,排烟筒可选用常规的 Q235B 钢,其外表面不需要再设置专门的隔热保温层,可靠性和耐久性相对较好,但已运行烟囱中也出现过国产玻璃砖防护层温度变化开裂、局部脱落和腐蚀渗漏状况;缺点是施工周期较长,施工质量控制难度大,宜出现施工方面材料选取的人为差错,需有效控制玻璃砖的耐湿变性能、耐气流冲刷性能和粘结耐久性能的要求和措施。

3.8 ECTFE 内衬

ECTFE 由乙烯与三氟氯乙烯以等摩尔比共聚物制得的交替共聚物,具有优良的化学稳定性和不燃性,以及良好的电性能和机械性能,可用于一般热塑性塑料的成型方法加工。可在 $-50\sim 170\ ^\circ\text{C}$ 的范围内使用,其强度、耐磨性、抗蠕变性大大高于 PTEE、FEP 和 PFA,它在室温和高温下耐大多数腐蚀性化学品和有机溶剂,不着火,可防止火焰扩散。用于烟囱内衬比较合适。

4 结束语

湿法脱硫后烟气由于温度降低,且烟气基本处于饱和状态,烟气中的 SO_3 与水蒸汽结合形成硫酸,使烟气的腐蚀性能大大增加,造成对烟囱内衬材料以及钢筋混凝土筒壁的腐蚀,致使其强度下降。因此排放脱硫后烟气的烟囱必须根据工程实际情况考虑适宜的防腐内衬。

[参考文献]

川建材,2014,40(2):121-123.

[1] 王波. 火力发电厂烟囱结构选型及防腐方案论述[J]. 四

[2] GB 50051—2013, 烟囱设计规范[S].

Discussion on Structure Selection and Anti-corrosion Scheme of Off-gas Stack After Wet Desulfurization

YUE Huan-ling

Abstract: Stack is an important and indispensable structure of industrial enterprises, and it is also an important facility to discharge off-gas, through which waste gas is discharged into the surrounding air. Wet desulfurization process has high efficiency in removing SO_2 in off-gas, but low efficiency in removing SO_3 which is the main component causing off-gas corrosion. Therefore, after off-gas desulfurization, the potential corrosion of the stack is not eliminated, on the contrary, the off-gas environment after desulfurization will further aggravate the corrosion situation. This paper analyzes the corrosion mechanism of off-gas after wet desulphurization, describes the common structure forms of stack to discharge off-gas, summarizes the principle of structure selection of stack to discharge corrosive off-gas, and introduces the categories of stack lining and eight common anti-corrosion lining materials of stack. The stack to discharge off-gas after wet desulfurization shall adopt suitable anti-corrosion lining material according to actual engineering conditions.

Key words: wet desulfurization; stack; anti-corrosion lining material; stack structure

▲