

Analysis and application of waste heat boiler pollutant reduction technology based on chemical industry

Shenghong Zhu

Jiangxi Jinxiushan Engineering Consulting Co., Ltd., Ganzhou, Jiangxi, 341000, China

Abstract

Chemical industry in the production process will produce a lot of waste heat, waste heat boiler as an important equipment for recycling waste heat, widely used in chemical enterprises. However, the waste heat boiler will discharge a variety of pollutants during operation, which will have a negative impact on the environment. This paper deeply analyzes the pollutant emission characteristics of waste heat boilers in chemical industry, and discusses the principle, advantages and application of various pollutant emission reduction technologies in detail, aiming to provide technical reference and practical guidance for chemical enterprises to achieve energy saving and emission reduction of waste heat boilers and practice green development.

Keywords

chemical industry; Waste heat boiler; Pollutant reduction technology; Energy conservation and emission reduction

基于化工行业的余热锅炉污染物减排技术分析与应用

朱圣洪

江西锦绣山工程咨询有限公司, 中国·江西 赣州 341000

摘 要

化工行业在生产过程中会产生大量余热, 余热锅炉作为回收利用余热的重要设备, 在化工企业中应用广泛。然而, 余热锅炉运行过程中会排放多种污染物, 对环境造成负面影响。本文深入分析化工行业余热锅炉的污染物排放特征, 详细探讨各类污染物减排技术的原理、优势及应用情况, 旨在为化工企业实现余热锅炉节能减排、践行绿色发展提供技术参考与实践指导。

关键词

化工行业; 余热锅炉; 污染物减排技术; 节能减排

1 引言

化工行业是国民经济的重要支柱产业之一, 其生产过程伴随着高温反应, 产生大量余热。余热锅炉作为一种高效的余热回收设备, 能够将这些余热转化为蒸汽或热水, 用于生产工艺或发电, 提高能源利用效率, 降低企业能耗。但与此同时, 余热锅炉在运行时会排放诸如二氧化硫(SO_2)、氮氧化物(NO_x)、颗粒物等污染物, 若不加以有效控制, 将对大气环境造成严重污染, 不符合当前绿色发展的要求。因此, 研究和应用余热锅炉污染物减排技术, 对化工行业的可持续发展至关重要。

2 化工行业余热锅炉污染物排放特征

2.1 二氧化硫排放

化工生产原料中常含有硫元素, 在燃烧或化学反应过

程中, 硫被氧化生成二氧化硫。在以煤为燃料的化工企业余热锅炉中, 煤中的有机硫和无机硫在高温下与氧气反应, 生成二氧化硫排放到大气中。不同化工工艺所使用的原料含硫量差异较大, 导致余热锅炉二氧化硫排放浓度波动范围广。一些以高硫煤为燃料的化工企业, 余热锅炉出口二氧化硫浓度可达数千毫克每立方米, 而采用低硫燃料或经过脱硫预处理的企业, 二氧化硫排放浓度相对较低^[1]。

2.2 氮氧化物排放

氮氧化物主要包括一氧化氮(NO)和二氧化氮(NO_2), 在余热锅炉中, 其生成途径主要有热力型、燃料型和快速型三种。热力型 NO_x 是由于燃烧过程中高温下空气中的氮气与氧气反应生成, 温度越高、停留时间越长, 热力型 NO_x 生成量越大; 燃料型 NO_x 则是燃料中的含氮化合物在燃烧过程中氧化产生; 快速型 NO_x 是在富燃料燃烧时, 碳氢化合物分解产生的自由基与氮气反应生成。化工行业余热锅炉的运行工况复杂, 燃烧温度和燃料种类多样, 使得氮氧化物排放情况较为复杂, 排放浓度通常在几百到上千毫克每立方

【作者简介】朱圣洪(1985-), 男, 中国江西南康人, 本科, 工程师, 从事化工技术在环保领域的应用研究。

米之间^[2]。

2.3 颗粒物排放

颗粒物排放主要来源于燃料燃烧产生的飞灰以及化工生产过程中的粉尘泄漏等,以煤为燃料时,煤中的灰分在燃烧过程中部分形成飞灰,随烟气排出余热锅炉。化工生产中的一些工艺,如矿石焙烧、粉体物料输送等环节,若密封不严,会导致粉尘进入余热锅炉烟气系统,增加颗粒物排放。颗粒物的粒径分布较广,从几微米到几十微米不等,其中可吸入颗粒物(PM_{10})和细颗粒物($PM_{2.5}$)对人体健康和大气环境危害较大^[3]。

3 余热锅炉污染物减排技术分析

3.1 脱硫技术

3.1.1 湿法脱硫技术

湿法脱硫凭借其高效的脱硫能力,在众多脱硫技术中占据重要地位,是目前应用最为广泛的脱硫手段之一。其核心原理是借助碱性吸收剂溶液与烟气里的二氧化硫展开化学反应,从而实现二氧化硫的脱除,生成亚硫酸盐或硫酸盐。

石灰石-石膏法是湿法脱硫工艺中的典型代表。在此工艺里,以石灰石粉末调制制成的浆液充当吸收剂。在吸收塔内,吸收剂浆液与烟气呈逆流状态接触,增加二者的接触面积与反应时间^[4]。二氧化硫与石灰石发生反应,生成亚硫酸钙,随后结合氧化工序,亚硫酸钙进一步转化为石膏。该工艺展现出卓越的脱硫性能,脱硫效率通常可达95%以上。而且,对各类含硫量的烟气具备强大的适应性,无论是高硫煤燃烧产生的高浓度二氧化硫烟气,还是含硫量较低的烟气,都能有效处理(图1)。此外,石灰石作为吸收剂,来源广泛,成本相对低廉,这使得该工艺在大规模应用中具备显著的经济优势。然而,任何技术都并非十全十美,石灰石-石膏法存在一些不容忽视的弊端。设备在长期运行过程中,易受到酸性环境的侵蚀,出现腐蚀问题,同时,溶液中的杂质导致设备结垢,影响运行效率。并且,该工艺会产生大量脱硫废水,废水中含有重金属等污染物,若不妥善处理,将对环境造成二次污染,这就要求企业配套建设专门的废水处理设施,增加投资与运营成本。

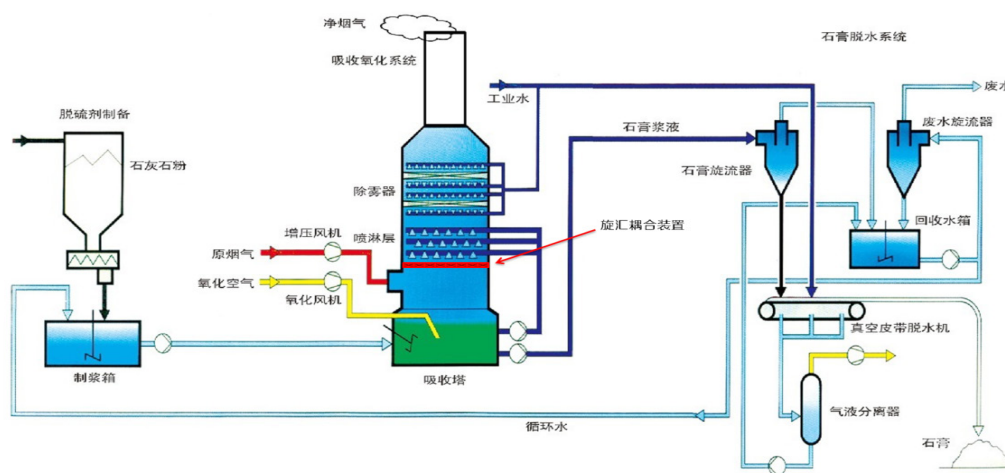


图1 湿法脱硫技术

3.1.2 干法脱硫技术

干法脱硫技术以其独特的优势,为余热锅炉脱硫提供另一种可行路径,主要包括活性炭吸附法、循环流化床干法脱硫等。活性炭吸附法利用了活性炭强大的吸附性能。在特定温度条件下,活性炭能够有效吸附烟气中的二氧化硫。当活性炭吸附饱和后,利用加热解吸的方式,可使二氧化硫得以回收利用,实现资源的循环。该技术脱硫效率较为可观,可达80%-90%,并且在整个过程中不产生废水,从源头上避免废水处理的难题。其设备构造相对简单,占地面积小,对于一些场地有限的企业而言具有吸引力。活性炭的吸附容量存在一定限制,在实际运行中需频繁更换活性炭,无疑增加运行成本,在一定程度上限制其大规模应用。循环流化床干法脱硫工艺则是将脱硫剂,如石灰粉,与烟气在循环流化床反应器内充分混合。在流化状态下,脱硫剂与二氧化硫迅速发生脱硫反应。该工艺脱硫效率较高,可达90%左右,投

资和运行成本相对较低,且无废水排放困扰。但它对脱硫剂的粒度有着严格要求,需保证脱硫剂粒度均匀、合适,以确保反应充分进行。同时,对反应条件,如温度、气体流速等,也需精准控制,否则会影响脱硫效果。

3.2 脱硝技术

3.2.1 选择性催化还原(SCR)技术

选择性催化还原(SCR)技术在当前余热锅炉脱硝领域占据着重要地位,是应用最为广泛的脱硝技术之一。其工作原理基于在特定催化剂的作用下,向余热锅炉排出的烟气中精准喷入氨气(NH_3)、尿素等还原剂。这些还原剂会与烟气中的氮氧化物(主要为一氧化氮 NO 和二氧化氮 NO_2)发生选择性还原反应,最终将氮氧化物转化为无污染的氮气(N_2)和水(H_2O)。在众多SCR技术应用中,钒钛系催化剂凭借其良好的催化活性、稳定性以及抗中毒能力,成为工业实践中的常用选择。该反应通常需要在300-400℃的

温度区间内进行,在此温度条件下,催化剂能够充分发挥其效能,促使反应高效进行。**SCR**技术展现出诸多显著优势:首先,其脱硝效率极高,在理想工况下,脱硝效率可达90%以上。将大部分的氮氧化物从烟气中脱除,有效降低污染物的排放浓度,对改善大气环境质量具有重要意义;其次,该技术对不同浓度的氮氧化物均具有出色的处理能力,无论是高浓度的氮氧化物烟气,还是低浓度的排放情况,**SCR**技术都能稳定发挥作用,表现出良好的适应性;此外,**SCR**技术在反应过程中不会产生二次污染,避免因处理污染物而带来新的环境问题。然而,**SCR**技术也并非完美无缺。一方面,其投资成本相对较高,不仅需要购置价格昂贵的催化剂,还需配套建设专门的还原剂储存、输送和喷射系统,以及相应的监测和控制系统,无疑增加企业的前期投入。另一方面,催化剂在长期使用过程中,会因烟气中的粉尘、重金属等杂质而逐渐失活,需要定期进行更换,进一步加大企业的运行成本。此外,在运行过程中,还需严格控制氨逃逸量,若氨逃逸量过高,氨气会与烟气中的其他成分反应,生成硫酸铵等物质,导致设备堵塞、腐蚀,同时也会对环境造成新的污染。

3.2.2 选择性非催化还原 (SNCR) 技术

选择性非催化还原 (SNCR) 技术为余热锅炉脱硝提供另一种可行方案,与 **SCR** 技术不同,SNCR 技术无需使用催化剂,而是在合适的温度窗口内,直接将还原剂(如尿素、氨水等)喷入余热锅炉的烟气中。当还原剂与烟气混合后,在 850-1100℃ 的温度区间内,还原剂会与氮氧化物发生还原反应,将其转化为氮气和水。SNCR 技术具有一些独特的优势。从投资角度来看,由于不需安装价格高昂的催化剂,其投资成本相对较低,对于一些资金有限的企业而言具有较大吸引力。同时,该技术的工艺相对简单,设备占地面积小,易于操作和维护,对企业的技术人员要求相对不高。在一些规模较小的化工企业余热锅炉脱硝项目中,SNCR 技术得到了广泛应用。但 SNCR 技术也存在一定的局限性。其脱硝效率相较于 **SCR** 技术相对较低,一般在 50%-80% 之间。是因为在没有催化剂的作用下,反应的速率和选择性受到一定影响。此外,SNCR 技术对反应温度窗口的要求极为严格,温度过高或过低都会影响脱硝效果。当温度过高时,还原剂会发生热分解,无法与氮氧化物充分反应;而温度过低时,反应速率会变慢,导致脱硝效率下降。并且,SNCR 技术同样存在氨逃逸问题,若控制不当,氨逃逸量过高会对环境和设备造成不利影响。

3.3 除尘技术

3.3.1 静电除尘技术

静电除尘技术利用高压电场使烟气中的颗粒物荷电,在电场力的作用下,荷电颗粒物向集尘极运动并被收集下来。其除尘效率高,可达 99% 以上,能有效捕集不同粒径的颗粒物,尤其对细颗粒物的捕集效果显著。静电除尘器处理烟量大,运行稳定,阻力小,能耗低。但设备投资较大,

对烟气的性质(如温度、湿度、粉尘比电阻等)较为敏感,当烟气参数发生较大变化时,可能会影响除尘效果。

3.3.2 布袋除尘技术

布袋除尘技术是利用纤维滤料对烟气中的颗粒物进行过滤,使颗粒物被拦截在滤袋表面,从而达到除尘目的。滤袋材质多样,可根据不同工况选择合适的滤料。布袋除尘器除尘效率高,一般可达 99.5% 以上,对细微颗粒物的过滤效果良好,且对烟气的适应性强,不受粉尘比电阻等因素影响。但布袋使用寿命有限,需要定期更换,运行过程中滤袋会出现堵塞、破损等问题,影响除尘效果和设备正常运行,且设备运行阻力较大,能耗相对较高。

4 余热锅炉污染物减排技术的应用案例

某大型煤化工企业拥有多台余热锅炉,在污染物减排方面采用多种技术组合。针对二氧化硫排放,采用石灰石-石膏法湿法脱硫工艺,建设大型吸收塔和配套的浆液循环系统、氧化系统等。在脱硝方面,选用选择性催化还原 (SCR) 技术,配备高效的钒钛系催化剂。除尘则采用静电除尘器与布袋除尘器相结合的方式,先利用静电除尘器去除大部分颗粒物,再经布袋除尘器进行精细过滤。经过这些技术改造后,余热锅炉出口二氧化硫浓度降至 50mg/m³ 以下,氮氧化物浓度降至 100mg/m³ 以下,颗粒物浓度降至 10mg/m³ 以下,各项污染物排放指标均满足国家严格的环保标准,取得显著的环境效益。同时,余热回收利用,企业每年可节约大量能源,降低生产成本,实现了经济效益与环境效益的双赢。

5 结论

化工行业余热锅炉的污染物减排技术种类繁多,每种技术都有其独特的原理、优势和适用范围。在实际应用中,化工企业应根据自身余热锅炉的运行工况、燃料特性、污染物排放情况以及经济实力等因素,综合选择合适的减排技术或技术组合。通过采用先进的脱硫、脱硝和除尘技术,化工企业能够有效降低余热锅炉的污染物排放,满足日益严格的环保要求,同时实现余热的高效回收利用,提高能源利用率,促进企业的可持续发展。随着环保技术的不断创新和发展,未来余热锅炉污染物减排技术将朝着高效、低成本、低能耗、智能化的方向发展,为化工行业的绿色转型提供更有力的支持。

参考文献

- [1] 杜昊岩.耦合污染物减排及余热利用的层燃锅炉能效评价研究[D].黑龙江:哈尔滨工业大学,2021.
- [2] 樊贵友,刘晨.基于化工行业的余热锅炉污染物减排技术研究[J].化工设计通讯,2025,51(1):116-117,126.
- [3] 汤华振,李科育.低温省煤器支持下的锅炉余热回收节能改造方法研究[J].化工设计通讯,2024,50(8):60-62.
- [4] 倪文翔,赵京,李博,等.转炉煤气全干法显热回收工艺中余热锅炉积灰特性研究[J].化工学报,2023,74(8):3485-3493.