

氨法烟气脱硫湿式电除尘技术的工业应用

图门

内蒙古蒙东能源有限公司鄂温克电厂

[摘要]燃煤电厂采用湿钙法或氨法脱硫,采用喷淋碱液吸收烟气中的SO₂。脱硫后的尾气中含有大量的钙盐或铵盐的固态微粒,这些细颗粒气溶胶随烟气从烟囱排出后进入大气,成为灰霾的重要组成部分,是形成PM_{2.5}污染的主要原因之一。

[关键词]氨法脱硫;湿式电除尘技术;应用

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2021.09.807

氨法烟气脱硫技术以其脱硫效率高、副产硫酸铵易利用、部分氮氧化物同时脱除、初投资低等优点在我国燃煤烟气脱硫工艺中得到了广泛应用。另外,氨法烟气脱硫技术是目前世界上商业化应用的脱硫方法之一,该工艺能有效脱硫,实现资源回收利用,是控制酸雨及SO₂污染最有效、最环保的湿法烟气脱硫技术。

一、氨法烟气脱硫工艺技术的发展

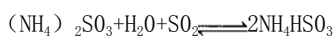
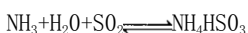
早在二十世纪七十年代初期,日本、意大利等国家就已开始进行了氨法脱硫工艺技术的研究,并且获得了很不错的成果,但由于氨自身的价格相对于石灰石等吸收剂来讲实在是过于太高,从而导致氨法脱硫工艺技术在工程实际中并不认可被应用。同时早期的氨法脱硫工艺技术出现过例如尾气排放中的气溶胶、管道遭受一定程度的腐蚀等问题,由于当时的技术及科技有限所以无法从根本上解决这些问题。在伴随着时间不断推移世界各国的技术及其经济都在不断地进步与发展,各国中合成氨的产量也越来越越多越来越大。这一问题也得到了相应的解决,促使了氨法脱硫工艺技术被更多的国家所认可并被有效的应用。

燃料在相关工作人员加以燃烧后进行烟气脱硫技术,是目前我国工业控制SO₂气体排放最为有效且应用最广泛的技术。在该技术中相关工作人员会采取将脱硫剂的种类分为改、镁、钠及机碱与案发脱硫等。随着我国不断地快速发展,近年来合成氨的产量在不断增加,其氨法烟气脱硫工艺技术在我国以非常快速的方式进行发展并得到了普遍的认知关注。氨法脱硫工艺技术的方式有很多,但其中的原理则是氨、SO₂及水等所产生的相应脱硫技术。

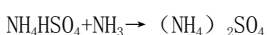
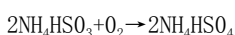
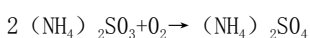
二、氨法烟气脱硫概述

1、原理。氨法烟气脱硫是典型的气液二相接触过程,既存在化学吸收,也存在物理吸收,并在液相中伴随发生各种化学反应,是复杂的电解质混合体系。

吸收过程主要发生的化学反应:



氧化过程主要发生的化学反应:



由吸收过程发生的反应可知,实际对SO₂起吸收作用的是

(NH₄)₂SO₃, NH₄HSO₃不吸收SO₂,而NH₃主要是调节吸收液的pH值,将NH₄HSO₃转化为(NH₄)₂SO₃,为吸收SO₂提供吸收剂。

2、优点。氨法脱硫优点为:反应动力强(液气反应,接触面积大,脱硫效率高);烟气条件适应性强(可实现气量及浓度的较大幅度波动);脱硫剂来源稳定(对有合成氨和焦化制气的企业可实现以废治废);脱硫副产物应用市场大、附加值高;技术成熟,运行可靠;运行费用低(脱硫产物冲抵绝大部分运行费用);无二次污染(无废水、废渣及CO₂排放);投资省(无需设置废水、废渣处理处置单元,处理烟气塔顶直排,无需单独设置湿烟囱或砼防腐处理)。

氨法脱硫对含各种质量分数的硫的煤均能适应,尤其适合于高硫煤的脱硫。若采用石灰石-石膏法,煤的含硫质量分数越高,石灰石用量越大,相应的费用就越高。而采用氨法,尤其是采用废氨水作为脱硫吸收剂时,由于副产物硫酸铵价值高,煤中硫质量分数越高,副产物硫酸铵产量越大,得到的经济价值越高。同时在生产中不会有废水和废渣产生,无二次污染,而且使用高硫煤也降低了企业的投入成本。相比钙法脱硫,氨法是气液反应过程,反应速度快,SO₂的吸收率高,有很高的脱硫效率,同时相对于钙法系统简单、设备体积小、能耗小。

三、氨法烟气脱硫现状

氨法烟气脱硫吸收剂为NH₃,与烟气中的SO₂的反应是气/液两相反应,反应速率高,快速完全,对SO₂的吸收能力比其他工艺高。对高硫煤质也能达到97%~99%的脱硫效率。由于氨易溶于水,在液气比一定情况下,容易提高其对SO₂的吸收能力,满足燃料含硫量波动时的脱硫要求。在石化行业采用氨法烟气脱硫工程具备的有利条件包括:有液氨或废氨水供应,有复合肥装置可供利用,有完善的氮肥销售体系,符合我国“低碳环保”“节能减排”与“循环经济”的发展方向。

氨法脱硫液气比小,系统阻力低,装置小时电耗比湿式钙法低近40%。副产物硫酸铵作为农用化肥,具有较高的经济价值,能显著降低装置运行费用,无废水废渣,具有明显的经济、环保效益。如采用废氨水作为脱硫剂,又能变废为宝,符合节能减排、循环经济的要求。

氨法脱硫母液介质及最终产物易溶于水,对设备的磨损及其引起的堵塞风险都明显低于其他工艺。流程简洁,易于实现长周期稳定运行。

目前常规投入运行的大部分氨法脱硫后段,只有折板式除雾器,虽然SO₂依赖氨的强制加入达到排放标准,但烟囱检

测口的雾滴和颗粒物检测浓度很难达到真正意义上的75mg/m³以下。常见问题为：①烟囱飘雨、PM_{2.5}气溶胶烟羽拖尾明显，持续时间长，污染环境。②硫酸随酸雾夹带飘落、腐蚀生产生活设施，影响厂区和附近居民生活。③氨逃逸严重，铵盐损失大，影响脱硫系统运行的经济性。

四、脱硫电除雾技术

新国标GB 13223《火电厂大气污染物排放标准》要求重点区域SO₂和烟尘分别执行50mg/m³和20mg/m³的限值。某公司在氨法烟气脱硫后段采用湿式电除尘（电除雾）技术，结合脱硫塔工艺设计，实现了脱硫效率高，氧化快速，除雾能力强的预期，显著降低可见烟气浊度，成功解决了PM_{2.5}气溶胶烟雾超标、硫酸液滴夹带和氨逃逸等问题。

氨法烟气脱硫及电除雾一体化工艺系统主要由预洗塔、吸收塔、电除雾器、氧化系统、硫酸装置等设备组成。

1、烟气经除尘后进入脱硫系统，经预洗塔、吸收塔喷淋吸收，NH₃与烟气中的SO₂反应生成(NH₄)₂SO₃和NH₄HSO₃，经氧化成(NH₄)₂SO₄，完成热化学吸收过程。

2、吸收后烟气经电除雾器除雾，控制残氨逸出，高效捕集微细雾粒子，控制SO₃排放，解决脱硫系统尾气氨逸出及气溶胶酸雾排放等问题，净化后尾气送烟囱排放。

3、硫酸母液经后处理脱水干燥成为农用铵肥。

五、电除雾技术对脱硫气溶胶烟雾的控制

气溶胶由固体或液体粒子分散并悬浮在气体介质中形成的胶体分散体系，其粒径比单一气体分子大但小于500 μm。空气中超过65%的PM_{2.5}来自煤的燃烧，其中主要是燃煤电厂，锅炉烟气在湿式脱硫吸收塔运行中，除喷淋气液接触中形成粒径10~60 μm的雾滴（这些雾滴包括悬浮物和溶解盐）外，还存在严重的气溶胶（含硫酸、氨雾、酸雾、水雾、微尘等），其粒径为0.001~10 μm，机械式折板除雾器只能除去>40 μm的雾滴，很难满足对PM_{2.5}控制的现实要求。

电除雾器是通过静电控制装置和直流高压发生装置向除雾器电场供电，阴极线和阳极板间形成强大的电场，空气分子被电离，瞬间产生大量的电子和正、负离子，在电场力作用下作定向运动，构成了捕集雾粒子的媒介。雾粒子在电场中荷电，在电场力作用下，作定向运动，抵达捕集雾滴的阳极板上。荷电粒子在极板上释放电子，酸雾被集聚，在重力作用下流到储槽中，达到净化除雾的目的。电除雾原理与电除尘器原理相似，能高效除去0.01~100 μm的气溶胶细微颗粒物。

六、氨法脱硫及电除雾技术的应用及效果

对氨法脱硫技术，NH₃与SO₂的反应很快，但不合理的脱硫系统工艺只能以过量加入NH₃来实现低SO₂排放，直接后果是未反应的过量残氨以气溶胶形式被烟气携带外排。该公司氨法烟气脱硫及电除雾技术从脱硫工艺到尾段除雾全盘考虑，足够的脱硫能力在保证NH₃与SO₂化学计量比情况下具备高效脱硫，避免为了单纯的SO₂达标排放过量注氨引起的大量烟雾，控制雾源的产生，同时也合理设计了电除雾器的除雾能力。在电除雾器电场结构和烟气流速一定条件下，出口雾滴浓度与电除雾器施加电压等级有密切关系，更高的电压意味着能

收集更多的粒子。

采用氨法烟气脱硫及电除雾技术，建设完成一套220t/h燃煤电厂烟气脱硫装置。设计要求脱硫效率大于95%，氨逃逸小于8mg/m³，排放雾滴浓度小于75mg/m³。此外，脱硫工艺以质量分数约为5%的废氨水为吸收剂，无需液氨。脱硫后的产物输出外运，硫酸铵质量分数为35%~38%。

经多次检测，各项指标达到或超过相关标准和设计要求，脱硫效率为96%~99.9%，出口烟气SO₂平均浓度≤40mg/m³，雾滴浓度≤20mg/m³，氨逃逸≤5mg/m³，亚盐氧化率98.0%~99.9%，有效控制了气溶胶排放，无硫酸夹带，实现了装置建设的预期目标。最新检测结果显示，电除雾器出口烟尘浓度14.4mg/m³，能满足未来更严格的环保要求。既保证了SO₂达标排放，也消除了烟尘尤其是PM_{2.5}气溶胶烟雾的排放，显著减低可见烟雾浊度，消除排烟尾羽。

七、氨法烟气脱硫技术的发展前景

氨法烟气脱硫技术因具有较低的初期投资、无二次污染、运行可靠、副产品容易利用、较高的脱硫效率等一系列优势，受到了人们的普遍关注。然而，在具体使用中，氨法烟气脱硫技术还具有一系列的问题。采用湿烟囱排放技术能有效降低运行费用和设备投资，而且具有更加理想的效果。未来氨法烟气脱硫技术主要有以下发展趋势：首先，对工艺系统进行进一步的改进和完善；其次，脱硫系统中的防垢、防腐的内衬技术的研发；再次，进一步控制运行成本和设备投资；最后，对多种污染物在氨法脱硫条件下的协同脱除技术进行进一步研发，这是未来氨法烟气脱硫技术的一个重要发展方向。

八、结论

1、开发脱硫专用湿式电除尘（电除雾）器技术应用于脱硫尾气的除雾治理：传统的机械式折板除雾器只能除去大于40 μm的雾滴，脱硫电除雾器能捕捉并收集0.01 μm甚至更小粒径的雾滴，成功解决排烟降水、铵盐夹带、PM_{2.5}气溶胶烟羽拖尾、氨逃逸、烟囱结晶结块等问题，实现真正意义上的达标排放。

2、双塔设计：双塔结构从工艺上区别于石化系统现有氨法脱硫的单塔技术，脱硫效率高，可解决结晶、堵塞、结垢和硫酸夹带等关键问题。

3、抑制氨逃逸：通过气相低氨硫比、强制逸氨吸收、电除雾装置捕雾能力抑制雾滴携带氨的排出。

4、高效气液传质使亚硫酸盐快速氧化。

5、以废治废，变废为宝：利用废氨水为吸收剂，以化肥为终产物，既节省了高额排污费及废氨水的后处理费，节省了水资源，还能增加硫酸铵化肥收益，具有明显的经济效益，尤其符合石化行业的操作特性。

6、工艺流程合理，系统阻力小，节能效果明显。

参考文献

- [1] 肖文德. 二氧化硫脱除与回收[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [2] 胡小吐. 氨法烟气脱硫湿式电除尘技术的工业应用[J]. 环境工程, 2015(02).