

镁合金回转窑烟气治理工艺探讨

许灵通 郑月华

浙江天蓝环保技术股份有限公司

摘要：介绍了一种回转窑的烟气治理工艺，提出了“NaHCO₃干法脱硫（SDS）+高温布袋除尘+热风炉+低温SCR脱硝”的工艺路线，介绍了该工艺的系统组成及技术特点，为镁合金回转窑窑尾烟气治理提供一种可借鉴的技术。

关键词：镁；白云石；回转窑；脱硫；脱硝；除尘

一、概述

随着国内环保要求的日益提高，对烟气中SO₂、NO_x和颗粒物的控制力度逐渐加大。电力行业的超低排放改造正有序逐步推进，非电行业烟气治理的需求也越来越强烈。镁合金行业煅白生产线的回转窑窑尾烟气污染物主要为SO₂、NO_x和颗粒物。为满足《镁、钛工业污染物排放标准》（GB 25468-2010）修改单中关于大气污染物特别排放限值的要求，有些地区甚至参照了电力行业超低排放的指标，因此必须对回转窑窑尾烟气中的SO₂、NO_x和颗粒物进行末端治理。

二、工艺路线确定

金属镁行业回转窑主要用于煅烧白云石（CaMg（CO₃）₂）。MgCO₃分解温度需要720℃~800℃，CaCO₃分解温度需要900℃~930℃。在实际生产中，因各地矿石特性的差异以及煅烧矿石粒度的不同，煅烧温度也略有差异，一般将煅烧温度设定为1100℃~1250℃。该类回转窑一般以煤粉和煤气作为燃料。因此窑尾烟气中含有SO₂、NO_x和颗粒物。

白云石中的CaCO₃经煅烧分解后生成CaO，CaO可与SO₂在有氧条件下反应生成CaSO₄，具有一定的脱硫作用。因此窑尾烟气中初始SO₂浓度一般较低，可采用NaHCO₃干法脱硫（SDS）工艺，该工艺设备简单，一次性投资较低。

窑尾烟气温度一般为180-230℃，常规 SCR脱硝催化剂

（280-350℃）在该条件下活性不足，效率极低，而且粉尘中含有大量的Ca、Mg等碱土金属，常规催化剂极易中毒失活。因此SCR脱硝建议布置在除尘器后面，先经除尘后降低进入SCR工段的初始粉尘浓度，从而有效降低Ca、Mg等碱土金属对催化剂的毒化害，同时采用高抗碱土金属的低温SCR催化剂，反应温度可在180-230℃。由于脱硝反应器入口温度要求为180-230℃，少数运行工况下不能满足该温度要求，因此考虑增设热风炉系统以提高烟气温度，在必要时开启。

除尘器可选用袋式除尘器，采用耐高温的PTFE滤袋，最高能承受运行温度250℃。并通过选择合适的过滤风速，出口粉尘可以小于5mg/Nm³。

综合考虑，针对金属镁行业回转窑窑尾烟气，“NaHCO₃干法脱硫（SDS）+高温布袋除尘器+热风炉+低温 SCR 脱硝”是一条可行的工艺路线。

三、工艺系统组成

（一）SDS脱硫工艺

窑尾烟气先进入SDS脱硫系统。在SDS反应器内喷入NaHCO₃细粉（800目以上），NaHCO₃细粉在高温烟气作用下分解出高活性高比表面积的Na₂CO₃和CO₂，活性强的Na₂CO₃与SO₂及其他酸性介质充分接触发生化学反应，被吸收净化。脱硫后粉状颗粒产物随气流进入布袋除尘器进一步除尘。脱硫效率可达90%以上。研磨机是关键设备，需注意选型和品牌选择。

钠基干法脱硫的原理是利用脱硫剂超细粉与烟气充分混合、接触，在催化剂和促进剂的作用下，与烟气中SO₂快速反应，并且在反应器、烟道及布袋除尘器内，脱硫剂超细粉一直与烟气中的SO₂发生反应，并通过布袋回收副产物。

A - 小苏打热激活

$2 \text{NaHCO}_3 \xrightarrow{T > 130^\circ\text{C}} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

小苏打热激活前 (SEM x 5000)

小苏打热激活后 (SEM x 5000)

B - 与酸性气体反应

$\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

$2 \text{NaHCO}_3 + \text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

$\text{NaHCO}_3 + \text{HF} \rightarrow \text{NaF} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

关键技术指标

- 烟气最低温度: 130℃
- 小苏打与烟气接触的最短时间: 2秒
- 小苏打的粒径要求: 90w% < 35 μm (脱HCl); 90w% < 30 μm (高效脱SO_x)

SDS干法脱硫技术主要包括烟气系统、脱硫剂制粉系统、脱硫反应系统、副产物系统和电仪系统等。

（二）除尘系统

干法脱硫后的烟气进入布袋除尘器，在布袋除尘器内部，NaHCO₃超细粉进一步与烟气中的SO₂发生反应。

布袋除尘器的工作机理是含尘烟气通过过滤材料时，尘粒

被过滤下来。过滤材料捕集粗粒粉尘主要靠惯性碰撞作用，捕集细粒粉尘主要靠扩散和筛分作用。工作时，烟气经引风机的作用被吸入和通过除尘器，含尘气体从灰斗侧上部的进风烟道进入灰斗，粗尘粒经通过自然重力沉降分离后直接落入灰斗，细尘粒随气流转折向上进入箱体。在负压的作用下烟气均匀而缓慢地穿过滤袋。烟气在穿过滤袋时，固体尘粒被捕集在滤袋

的外侧并积附在滤袋的外表面。过滤后的洁净气体进入上箱体的净气区集合后，再经出气烟道排出。随着过滤工况的进行，当滤袋表面尘粒积附达到一定量时，使用脉冲压缩空气将已捕集在滤袋上的灰尘从滤袋上剥落并使之落入底部的灰斗内，再通过输送设备把灰尘从灰斗内输送出。

布袋除尘器可采用耐高温的PTFE滤袋，能承受运行温度250℃。并通过选择合适的过滤风速，出口粉尘可以小于5mg/Nm³。

除尘器主要由灰斗、箱体、花板、喷吹系统等部分组成。

(三) 热风炉系统

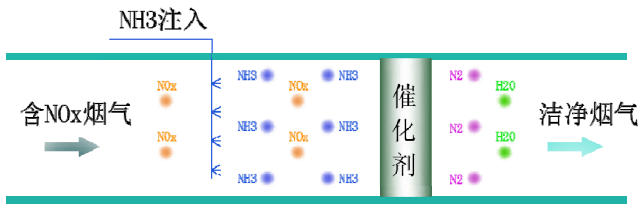
由于脱硝反应器入口温度要求为180-230℃，少数运行工况下不能满足低温SCR催化剂的反应温度要求。因此，考虑在烟道上布置一台烟道加热器（热风炉）作为低温补燃使用。燃料为煤气，每台炉燃气母管配置两套滤网（选配）进一步净化煤气。热风炉包括煤气燃烧器、耐火浇注料衬里的热风炉、管路系统、就地控制柜等。对于某些改造项目，可通过拆除前端的管式换热器，进而提升烟气温度，以降低热风炉的功率。

(四) SCR脱硝系统

脱硝系统主要包括还原剂储存及供应系统、计量混合系统、还原剂喷射系统、SCR反应系统及控制系统等。

SCR脱硝系统是利用催化剂，在一定的温度下，使烟气中的NO_x与还原剂混合后发生还原反应，生成N₂和H₂O，从而降低NO_x的浓度。

SCR 反应机理如下：



低温催化剂活性极易受到烟气温度、SO₂、H₂O、碱金属和碱土金属的影响，因此低温催化剂使用条件比较苛刻，当烟气温度低于活性温度时，还需配合采用热风炉进行适当升温。

还原剂喷射系统可采用端面雾化的双流体喷枪，采用压缩空气将氨水雾化成微小液滴，以减少氨水的蒸发时间。



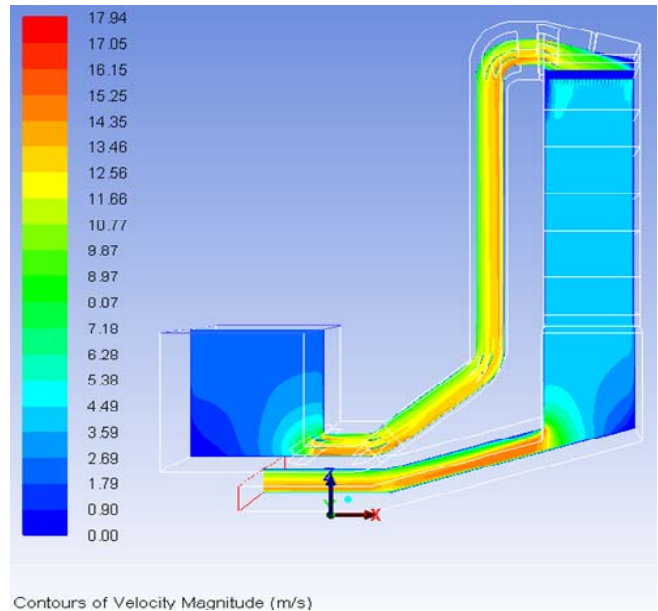
双流体喷枪

通过CFD模拟反应器内烟气流速、浓度的动态分布，使反应器内烟气速度场及浓度场分布更加均匀。

反应器本体采用固定床设计，并预留空间。为防止未处理过的烟气泄漏，在催化剂模块间及模块与反应器壳间有密封设计。

四、工艺技术特点

(1) 脱硫剂制备系统是SDS干法脱硫系统的关键设备，其



Contours of Velocity Magnitude (m/s)

选型及配置直接关联到系统的脱硫效率、脱硫剂的耗量及系统运行的稳定性。因此需注重研磨机的选型和品牌。NaHCO₃细粉经研磨后达到设计要求的粒径。脱硫剂制备系统具有在线自动调节功能，可以依据进出口SO₂浓度调整NaHCO₃粉的喷入量。

(2) 采用高抗碱土金属的SCR 脱硝催化剂，保证催化剂在含碱土金属烟气中的高活性与稳定性。通过结构与化学组成的巧妙设计，锚定或屏蔽碱土金属等毒性物质，大幅提高催化剂的抗中毒能力，延长催化剂寿命，保证 SCR 脱硝系统的长周期稳定运行。

(3) 采用端面雾化的双流体喷枪，实现了脱硝还原剂的稳定供给和高效利用，显著减少氨逃逸。

(4) 采用智能调控的快速响应-反馈控制系统，基于模型分析优化进行快速响应、基于智能调控进行及时反馈控制，解决了常规脱硝技术对负荷变化不能及时跟踪、响应和调整的问题。保证逃逸氨在负荷波动时也能低于 3ppm。

(5) 采用高性能耐高温的布袋滤料，混合优化比例的混纺超细纤维材质，并进行表面覆膜处理，提高微细粉尘的收集率，实现 99.99%以上的颗粒物去除率。滤袋采用耐高温材质，能应对负荷变化时的高温冲击。

五、结语

本文提供的“NaHCO₃干法脱硫（SDS）+高性能高温布袋除尘+热风炉+低温SCR脱硝”的工艺路线，已在镁行业的众多实际工程中投入使用，系统长周期稳定运行，SO₂、NO_x、粉尘各项排放指标均能达到环保要求，是一种在金属镁回转窑及其他类似工程的烟气治理中可以推广的技术路线。

参考文献

[1]何启贤. 石灰-石膏法在回转窑烟气脱硫中的应用[J]. 广州化工, 2016, 2,(44) 4:124-126.
 [2]梅迪,谢峻林,方德等. SCR脱硝催化剂的碱及碱土金属中毒研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2014 (6).
 [3]漆从玉,马晓宇,丁琳等,碱金属及碱土金属氧化物对SCR脱硝催化剂毒化的影响[J]. Frontier of Environmental Science June, 2016.
 [4]朱法华. 燃煤电厂烟气污染物超低排放技术路线的选择[J]. 中国电力, 2017,(3).
 [5]刘海峡,何奇善. 燃煤机组深度超低排放技术路线的综合性研究[J]. 华北电力技术, 2017 No. 1: 50-55.