水泥窑湿法脱硫常见问题分析及对策

水泥窑[湿法脱硫](http://huanbao.bjx.com.cn/tech/search_hyt0_hys0_zn0_key%CA%AA%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD.html)沿用火电厂石灰石-石膏法[脱硫技术](http://huanbao.bjx.com.cn/tech/search_hyt0_hys0_zn0_key%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD.html)，脱硫剂采用增湿塔或余热锅炉灰，降低了运行成本。目前，已投运[水泥窑湿法脱硫](http://huanbao.bjx.com.cn/tech/search_hyt0_hys0_zn0_key%CB%AE%EF%BF%BD%EF%BF%BD%D2%A4%CA%AA%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD.html)技术的水泥厂在运行过程中存在浆液制备故障、浆液中毒、浆液脱水困难及石膏雨问题，本文阐述了上述问题的解决方案。



**1、背景**

GB4915-2013《水泥工业大气污染物排放标准》规定，2015年7月1日起，现有水泥窑及窑磨一体机SO2最高允许排放浓度为200mg/Nm3，2014年3月1日起新建水泥窑及窑磨一体机SO2最高允许排放浓度为200mg/Nm3，重点地区将根据国务院环境保护行政主管部门或省级人民政府决定执行100mg/Nm3更严格的标准。水泥厂SO2来自原料和燃料，主要是由原料和燃料中的无机硫与有机硫氧化反应生成。目前，我国许多水泥熟料生产企业SO2减排任务十分严峻，每年SO2排污费用高达几百万元，水泥厂烟气脱硫迫在眉睫，水泥窑湿法脱硫可有效解决窑尾烟气SO2排放超标的问题。

**2、水泥窑湿法脱硫技术**

水泥窑湿法脱硫技术是沿用火电厂石灰石-石膏法脱硫技术，水泥窑湿法脱硫可利用水泥熟料企业生产过程中的增湿塔或余热锅炉灰作为脱硫剂，可降低成本，水泥窑湿法脱硫技术目前已有部分水泥厂正式投产使用。脱硫过程：增湿塔或余热锅炉灰制成浆液后输送到吸收塔;吸收塔内浆液经循环泵送到喷淋装置喷淋;烟气在吸收塔中与喷淋的石灰石浆液接触，除掉烟气中的SO2，脱硫后的净烟气经除雾器除去液滴后，进入烟囱排放;吸收塔内吸收SO2后生成的亚硫酸钙，经氧化处理生成硫酸钙，从吸收塔内排出的硫酸钙经旋流分离(浓缩)、真空脱水后回收利用。

**3、水泥窑湿法脱硫常见问题及分析**

**3.1浆液制备故障**

浆液制备是水泥窑湿法脱硫技术关键的一步，制浆不及时或制浆出现故障将影响烟气中SO2的脱除。水泥窑湿法脱硫制浆故障一般是从拉链机无法取到增湿塔或余热锅炉灰，导致没有足够的窑灰进行制浆。浆液制备不及时会造成脱硫塔内浆液PH下降，浆液无法实现吸收反应脱硫，导致烟囱SO2排放超标。因此单独设增湿塔或余热锅炉灰仓可解决脱硫剂供应不足的问题。

**3.2浆液中毒**

水泥窑浆液中毒可能有以下原因：

1)吸收塔的烟气含硫量突变，造成吸收塔内反应加剧，CaCO3含量减少，pH值下降，为保证脱硫效率要增加增湿塔或余热锅炉灰供浆量以提高吸收塔的pH 值，但由于反应加剧，吸收塔浆液中的亚硫酸钙含量大幅增加，若此时不增加氧量使亚硫酸钙迅速反应成 CaSO4˙2H2O ( 生石膏) ，则由于 CaSO3˙1/2H2O( 半水亚硫酸钙) 可溶解性强，先溶于水中，而 CaCO3溶解较慢，过饱和后形成固体沉积，造成“脱硫剂盲区”。

2)吸收塔浆液密度高没有及时外排，浆液中的 CaSO4˙2H2O 饱和会抑制 CaCO3溶解反应。

3)工艺水水质差，系统中的 Cl-浓度高，浆液中的 Cl-含量增加，氯化物有抑制吸收剂的溶解。

4)氟离子超标。浆液中的三价铝和氟离子反应生成 AlF3和其他物质的络合物，呈粘性的絮凝状态，附着于石灰石表面。这会导致: 封闭石灰石颗粒表面，阻止其溶解，降低了浆液的pH值，石膏结晶困难，增加了脱水的难度。

5)废水排放量小或无外排，会导致浆液中氯离子超标，影响反应效果。

解决方案：

水泥窑浆液中毒后，浆液脱硫失效，烟囱SO2排放超标。水泥窑湿法脱硫浆液中毒可通过废水外排解决。大部分熟料生产的原料磨需要喷水维持原料磨正常运行，所以将脱硫石膏浆液脱水后废水通过泵和管道引到原料磨可有效防止浆液中毒;将脱硫石膏浆液脱水后废水引至水泥熟料生产窑头篦式冷却机，达到废水外排的目的，这两种方法均可有效降低脱硫浆液Cl-超标的问题，将Cl-浓度控制在20000ppm以下。

**3.3脱硫浆液脱水困难**

石膏脱水困难的常见原因及解决方案：

水泥窑湿法脱硫运行过程中，由于脱硫塔内浆液中 CaSO3˙1/2H2O不能充分被氧化，CaSO3˙1/2H2O由于石膏颗粒小，粘度大，难以脱水，造成真空皮带脱水机脱水困难。因此充足的氧化风量是保证石膏脱水的关键，有些水泥窑湿法脱硫氧化风机风量设计不足，导致备用氧化风机同时运行，在以后的设计中，氧化风机风量计算要留有足够的安全系数。

由于Cl-比碳酸根离子强，使得Cl-易于Ca2+结合，以CaCl2存在浆液中，浆液中Ca2+浓度变大，根据同离子效应，碳酸钙溶解被抑制，不利于烟气中SO2与浆液中Ca2+反应，石膏生成困难。在脱水过程中，由于Cl-堵塞了晶体中游离水的通道，使石膏脱水变得困难。因此，废水外排降低Cl-浓度，控制Cl-含量可解决由Cl-超标引起的石膏脱水困难。

石膏脱水困难也有可能是因为滤布堵塞，气液分离器堵塞引起的，滤布堵塞和气液分离器堵塞会引起真空度过高，石膏脱水困难。及时更换滤布和清洗气液分离器可解决由滤布堵塞和气液分离器堵塞引起的脱水困难。

**3.4脱硫装置防腐材料损坏**

目前运行[湿法脱硫](http://huanbao.bjx.com.cn/tech/search_hyt0_hys0_zn0_key%CA%AA%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD.html)的水泥厂，防腐材料的损坏多发生在吸收塔，目前吸收塔多采用玻璃鳞片进行防腐处理，玻璃鳞片损坏，浆液在短时间将脱硫塔腐蚀穿孔，造成漏浆现象。

解决方案：

首先，脱硫塔防腐施工过程中应严把质量关，脱硫塔不同部位采用相应特性的玻璃鳞片，严格玻璃鳞片施工检测;其次一旦出现玻璃鳞片脱落的情况，及时修补，避免浆液将脱硫塔腐蚀穿孔。

**3.5石膏雨问题**

石膏雨产生的原因：

水泥窑湿法烟气脱硫系统中，吸收塔出口净烟气温度一般为45～60℃，烟气成分中固体状态的粉尘和石膏与烟气中液态水混合形成石膏浆液，以液体状态存在于烟气中，另外烟气成分中还包括气体状态的二氧化碳(CO2)、 氮氧化物(NOX)、二氧化硫(SO2)、氧气(O2)和汽态的水蒸汽(H2O)等。湿法烟气脱硫系统吸收塔出口净烟气由于处于湿饱和状态，在流经烟道、烟囱排入大气的过程中因温度降低，烟气中汽态水会有所凝结，液体状态的浆液量会增加，形成“白色烟羽”和“石膏雨” 现象。

目前已投入湿法脱硫的水泥窑熟料生产线大部分出现了石膏雨现象，石膏雨不仅影响厂区卫生，且会对吸收塔周围设备造成严重腐蚀，给业主带来了困扰，经过对脱硫系统改造，可有效解决石膏雨问题。

**解决方案：**

烟气流速控制：烟气流速是造成“石膏雨”的一个重要原因，塔内烟气流速应该综合多方面因素，合适的流速，才能避免“石膏雨”。吸收塔设计烟气流速一般为3～5m/s左右，除雾器的设计流速稍高于吸收塔设计流速。吸收塔流速高，烟气中所携带的浆液液滴将增多，除雾器的负荷增大，导致“石膏雨”出现，因此，吸收塔的流速不能过高。控制烟囱出口烟气流速一般不超过18m/s，可有效抑制烟气对液滴的携带量，从而控制“石膏雨”。对于新建脱硫装置，可合理设计烟囱的出口直径来控制烟囱出口烟气流速。但对于已经运行的脱硫项目，烟囱的出口直径已经确定，无法改变。增加烟气出口烟囱内径，降低烟气流速，可减缓石膏雨的产生。

除雾器压差：在操作过程中，除雾器压差是一个重点关注的参数。除雾器压差一般在100～150 Pa，压差增大，会形成“石膏雨”，除雾器压差增大是因为堵塞造成的，堵塞的原因有多种，如：烟气流速高、pH值高、液气比高、烟尘等都会造成除雾器堵塞，当发现除雾器堵塞，首先要正确判断堵塞的原因，然后采取合理的处理措施。

除雾器冲洗水：除雾器冲洗水是保证除雾器压差满足正常运行的主要手段。冲洗效果的好坏取决于冲洗水量、冲洗周期、冲洗压力。 冲洗水量及冲洗周期与烟气量、烟气温度有关，烟气量高所需冲洗水量大，因此烟气量发生变化时，冲洗水量及冲洗周期应随之调整。

除雾器选型：平板式除雾器设计流速一般在3.5～4.5m/s左右，屋脊式除雾器设计流速一般为3.8～7m/s左右，屋脊式除雾器具有更宽的烟气流速的适应范围。烟气通过屋脊式除雾器内叶片法线的流速小于塔内水平截面的平均流速，由于流通面积增大而使得烟气流速减小，烟气带浆量减少。此外，屋脊型除雾器的结构较平板型除雾器更稳定，可以耐受的温度较高，因此吸收塔宜选用能有效减少浆液夹带和安全性更好的屋脊式除雾器。

较小的液气比：液气比(L/G)是指单位时间内吸收塔循环浆液量与吸收塔出口烟气的体积比。脱硫系统的液气比是保证烟气中SO2、SO3及烟尘有效吸收的关键指标之一，足够的液气比是保证脱硫效率的前提，吸收塔的液气比范围较广，一般控制在8～25 L/Nm3，液气比不能过高，太高的液气比会使烟气中的液滴夹带量增多，同样会增大除雾器的负荷。因此，在保证脱硫效率的前提下，液气比调整越小越好。

PH值控制：pH值高对“石膏雨”的形成有一定的影响。正常工况下，pH值应控制在5.2～5.8范围内，浆液pH值高，能提高脱硫效果，但高的pH值也会带来负面的影响，由于pH值高，浆液中碳酸钙浓度增大，易在系统表面形成结垢，若结垢形成在除雾器表面，就会造成除雾器的堵塞，因此，浆液pH值应在设计值范围内操作，操作过程中在保证脱硫效率前提下合理调整pH值。

浆液密度控制：一般情况浆液密度控制在1.14g/cm3，所对应浆液固含量在20%左右。浆液密度高，浆液的粘度会有所提高，易附着在除雾器表面形成结垢，因此，在操作时，浆液密度应控制在设计范围内。

烟囱：尽量使烟囱内壁光滑，如果烟囱内壁较粗糙，烟气凝结水易飞溅， 与烟气混合被带出烟囱排入大气。如果是光滑内壁，烟气凝结水不易飞溅，不易与烟气混合被带出烟囱排入大气。

**4、结论**

水泥厂湿法[脱硫技术](http://huanbao.bjx.com.cn/tech/search_hyt0_hys0_zn0_key%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD%EF%BF%BD.html)沿用当前世界上技术最成熟、运行最可靠的石灰石-石膏脱硫工艺，可以满足目前水泥行业的环保指标要求。尽管在脱硫运行过程中，存在一些缺陷，但随着脱硫技术的不断提高，可以通过设计、安装、及运行调整等方面进行优化来保证脱硫系统的安全、稳定、高效运行。