

# 预防矸石山自燃在“动态”中掌控技术要点

张弘弛

(煤炭科学研究总院杭州环保研究院, 浙江杭州, 311201)

**摘要:**在研发矸石山自燃预警技术中着重了解煤矸石山自燃机理,同时对煤矸石堆积中矸石内部的动态的要素探索,达到阻断煤矸石自燃的目的,矸石山自燃区的准确定位和自燃的早期临界温度监控很重要,所以,很有必要针对矸石山自燃预警系统的研发来确保煤矿生产安全,促进恢复矸石山生态环境着手于基础工作。

**关键词:**矸石山;自燃;温度动态;预警

中图分类号:TD75

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2011)05-0023-04

## THE TECHNICAL POINTS OF PREVENTION OF COAL GANGUE SPONTANEOUS COMBUSTION IN THE “DYNAMIC” CONTROL

ZHANG Hong-chi

(Hangzhou Environmental Protection Research Institute, CCRI, Hangzhou 311201, China)

**Abstract:** In the development of gangue spontaneous combustion warning technology, this paper focused on the understanding of spontaneous combustion of coal gangue dump mechanism, at the same time, it explored dynamic elements on coal gangue piles in gangue internal and achieved the blocking of gangue spontaneous combustion gangue. The accurate positioning of the area of objective spontaneous combustion and the monitoring of the early critical temperature in spontaneous combustion are very important. It is necessary for early warning system research and development on the gangue spontaneous combustion to ensure safe production of coal mine, to promote the recovery of gangue hill ecological environment on the basis of work.

**Keywords:** gangue hill; spontaneous combustion; dynamic temperature; early warning

煤矸石是煤炭企业主要污染物之一,因矸石含有大量的硫铁矿及可燃炭,不采取一定措施的简单堆积成矸石山极易引起自燃。矸石山自燃后排放出大量的有毒有害气体,严重地污染了大气,腐蚀金属设备和器材,浪费了能源,造成矸石山四周土壤酸化,水质变坏,植物枯萎衰退。更严重的是自燃会产生形成有爆炸能力的混合气,有可能造成爆炸等事故,而矸石山爆炸这样惨痛的教训也时有发生。

矸石山是大量颗粒矸石堆积形成的,由于煤

矸石组成比较复杂,可燃物质和惰性物质的分布、粒度大小等不均匀,造成自燃后燃烧强度不均匀,自燃的不均匀反过来又加强了温度和空气流动分布的不均匀;另一方面燃烧发展过程十分缓慢而隐蔽,燃烧强度不大,处于缓慢引燃状态时间较长。因此,矸石山自燃区的准确定位和自燃的早期温度变化发现与监控很重要,预防于未“燃”措施。

### 1 煤矸石山自燃机理

#### 1.1 煤矸石的自燃过程

煤矸石山的自燃是一个极其复杂的物理化学

过程,它必须同时具有三个条件:(1)煤矸石本身具有燃烧倾向,在常温条件下,煤矸石与空气中的氧气有良好的结合能力。(2)矸石能得到充分的氧供应,以保证低温氧化反应得以持续进行。(3)矸石有良好的蓄热条件,当低温氧化反应放出热量不能及时消散于周围环境中,就会导致局部升温,环境温度的升高又会促使矸石的氧化反应加速。在达到临界温度点(80℃~90℃)后氧化反应速度迅速提高,矸石很快由放热状态进入自燃状态。煤矸石的自燃过程见图1。

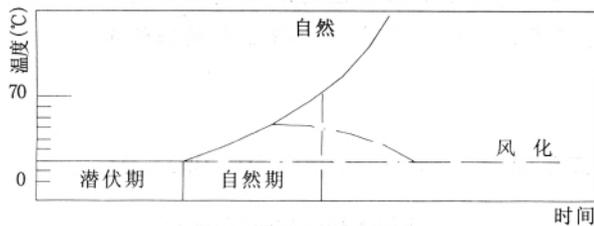


图1 煤矸石的自燃过程

### 1.2 煤矸石的低温氧反应

矸石中可燃物主要有煤、炭质岩、黄铁矿、混杂在里面的杂物,这些物质都会发生低温氧化反应。其中影响最大是矸石中的含炭物质与黄铁矿。煤与空气接触时会吸附空气中的氧并放出一定的热量。在常温阶段,氧化过程是缓慢的进行。此时煤吸附空气中的氧所致,此阶段为煤的自燃潜伏期。在潜伏期内煤的总体结构没有发生变化,表现为具有更强的化学活性,这种化学活性增强程度受到煤种、煤的孔隙率、表面分子结构、水分、氧化时间及温度等多种因素的影响。经过潜伏期后,煤的氧化速度增加,开始生成CO、CO<sub>2</sub>及H<sub>2</sub>O等产物,同时释放出更多的热量。当达到自热的临界温度后,氧化反应更进一步加速,并产生一些碳氢化合物气体,进而发生自燃。

表1 自燃倾向性等级分类表(高硫煤、无烟煤、挥发份<18)

自燃等级	自燃倾向性	30℃吸氧量 cm <sup>3</sup> /g 干煤	全硫
	容易自燃	>1.00	>2.0
	自燃	≤1.00	>2.0
	不易自燃	≤0.80	<2.0

矸石中含有相当数量的9#煤,尤其是选煤厂排出的洗研发热量可达1200~2600 KJ/Kg,含炭量在20%左右。可以认为在矸石自燃过程中,矸石中的煤起到了很重要的作用。

### 1.3 热对流供氧

矸石发生自热后,温度升高,并把热量传递给周围的空气,空气受热后密度减少,使得矸石山内

部的空气与外部的空气之间产生一个压力差。

由于矸石山内部温度一般总是高于环境温度,所以在热风压的作用下,矸石山内部空气向上流动,外界空气源源不断流入,给矸石继续氧化提供氧气。热风压的大小与矸石内部温度与环境温度差有关,温差越大,热风压也就越大。

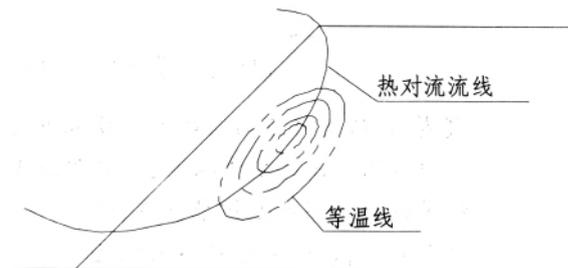


图2 自热区与热对流的示意图

### 1.4 自燃对流供氧

当风流吹到矸石山的斜坡上时,将改变流动方向,同时风流的部分动压转化为静压,使空气向矸石内部流动形成自然对流(图5)这是矸石的另一条氧气补给途径。

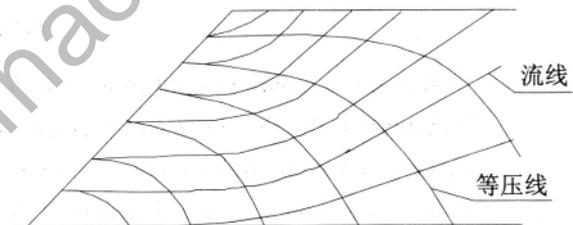


图3 矸石山内部的自然对流

风流造成的自然对流效应与风流的速度,矸石的堆积角度,矸石山的渗透有关,风流遇到矸石山表面,一部分动压转变成静压,其值的大小在矸石山各个高度上是不同的。矸石山斜坡上的静压是随高度增加而减少的。在相同的风流下,矸石山的堆积角度越大,风流产生的平均静压也就越大,越利于矸石山供氧。

## 2 矸石山自燃区域和维持温度蔓延

矸石山自燃区域维持和蔓延机理研究是矸石山灭火工程技术开发和灭火工程有效性、安全性判断的理论基础。

相关领域的研究主要集中在灾害燃烧和阴燃。矸石山自燃是灾害燃烧中相对缓和的一种,但也是处在失控状态下的一种。灾害燃烧除了具有燃烧学的特点外,还存在着自己的特有规律:煤矸石的低温氧反应、热对流供氧、自燃对流供氧等都

存在确定性与随机性的双重性规律,存在特有的阴燃过程与辐射引燃过程。阴燃是一种自维持,不断传播的,异相反应的放热燃烧过程,不完全的氧化反应和可燃物热解都会产生很多的有毒气体,对人造成危害。在一定的条件下,阴燃还会突然转化为有焰火,进行更猛烈的燃烧,造成更大的破坏。一些材料的阴燃传播速度可以通过实验确定。

## 2.1 煤矸石吸氧特性

### 2.1.1 氧气传输形式

矸石山自燃区域中在自热过程中,需不断从外界得到氧的供应,矸石堆中氧气的传输扩散过程有以下几种:

- ①氧气的浓度梯度造成的分子扩散;
- ②自然风造成的自然对流;
- ③矸石堆自热后产生的热对流(烟囱效应);
- ④昼夜温差造成的矸石山的“热呼吸”;
- ⑤大气压变化产生的矸石山“气压呼吸”。

### 2.1.2 临界风速

矸石氧化需要氧气,只有当外界的供氧速率大于某一临界值时,氧化反应放出的热量大于散热速率,热量才可能被积聚起来,使矸石发生升温(图3)。若达不到这一临界值,反应放出的热量会通过传导,对流等途径全部散失到周围环境中。当反应放出的热量小于散热速率时,矸石就会逐渐冷却。这一临界值就是临界风速。

矸石堆中风流的作用是双方面的,它既供给矸石反应所需的氧,又会带走矸石反应生成的热量。所以临界风速有上限与下限值,当风速超过上限时,反应生成的热量会全部带走。对于矸石来说,不可能通过增大矸石堆的透气性的方式来作为防治自燃的措施,所以关键的是临界风速的下限值。

通过矸石的自燃临界风进行了实验室试验,试验结果表明,矸石中空气流速为  $4.4 \times 10^{-5} \text{m/s}$  时,矸石没有发生燃烧,因此可以认为矸石山中的空气流速低于它时,不会发生自燃,这是个比实际值偏小的临界流速。

## 2.2 自燃矸石山内部气体与温度

矸石山的自燃主要负面效应是环境污染和爆炸灾害,都和矸石山内部气体的成份有关。为此,在测定矸石山内部温度的同时,进行内部气体取样分析并寻找温度和气体组成之间的关系,为矸石山自燃和防范预警系统研究提供基础数据。

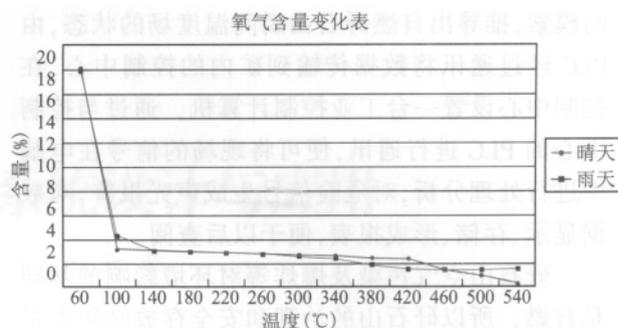


图4 矸石山内部温度与氧气浓度的关系

可以看出:氧气的含量在  $90^{\circ}\text{C}$  到  $100^{\circ}\text{C}$  之后变化就很缓慢,而在  $60^{\circ}\text{C}$  到  $90^{\circ}\text{C}$  之间随着温度的升高在急剧下降。这样的结果与现有的煤矸石自燃理论完全符合,与现有的矸石山自燃临界温度在  $80^{\circ}\text{C}$  到  $90^{\circ}\text{C}$  之间的结论得到进一步验证。随着温度的升高,煤矸石中氧气的含量越来越少,一氧化碳的含量越来越多,在  $60^{\circ}\text{C}$  到  $90^{\circ}\text{C}$  之间,煤矸石自燃产生的一氧化碳量基本为0。

从自燃矸石山内部气体成份测试分析,得出矸石山自燃爆炸的基本结论:

矸石山自燃爆炸是由多种因素共同作用的结果,它不仅与内在自燃因素有关,还与矸石山所在的环境、气候条件等有关,综合目前的调查和研究资料,普遍认为:矸石山的燃烧核心通常在矸石山表层  $3\text{m}$  以下的部位,当大气降雨量比较大时,矸石山的顶部可能为积聚一定量的水,一旦矸石山出现滑坡或错位较大变形时,大量的水与矸石山燃烧核心之间一旦形成良好的通道,水将很快灌入燃烧核心区。大量降水遇到炽热的矸石(通常在  $800^{\circ}\text{C}$  以上),首先将通过化学反应分解释放出大量的  $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2$ ,并与矸石中碳反应产生  $\text{CO}$  形成水煤气。同时,矸石山巨大的蓄热使水迅速变成水蒸汽,体积膨胀  $1700$  倍,造成燃烧区内压力急剧提升,当压力超过承受值时,矸石表面破裂,即发生物理爆炸。由于物理爆炸作用,水煤气会移出燃烧核心,其氧气供量迅速增加,其中的  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$  会产生剧烈的化学反应,即形成化学爆炸。矸石山一旦爆炸,大量的矸石应松动会形成泥石流。

## 3 预警系统选取技术参数

矸石自燃预警装置以温度作为判断指标,因此,对矸石山温度的准确测量和计算是矸石山自燃预警系统的基础。预警装置就是通过对矸石山表层温度探头的数据采集和对矸石山温度场规律

的摸索,推导出自燃矸石山瞬间温度场的状态,由 PLC 经过通讯将数据传输到矿内的控制中心,在控制中心设置一台工业控制计算机,通过与控制中心的 PLC 进行通讯,便可将现场的信号在电脑中进行处理分析,对危险信号生成声光报警,对数据显示、存储、形成报表,便于以后查阅。

矸石山空气污染及爆炸等对环境影响的基础是自燃,所以矸石山的治理和安全存放必须先预防矸石山的自燃。据前述试验及测试结果,矸石山自燃过程其内部的温度、气体成份、压力等产生一定的变化并存在相互联动。

根据矸石山自燃的机理和试验结论,以判断该地段是否有自燃的倾向,矸石山自燃预警装置的温度测试设置如下:

(1)温度检测点设置在矸石山的表面以下 1m 左右处;

(2)根据临界温度的试验结论,矸石山自燃预警装置的温度报警设计设置在临界温度以下 10~20℃范围内;临界温度设置为 70℃。

(上接第 31 页)

脱硫除尘器入口烟气参数如表 2

#### 4.2.3 脱硫剂

作为脱硫剂用的电石渣干粉(主要成份为  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ),技术要求为:

- (1)95%粒径 $\leq 50\mu\text{m}$ 。
- (2)纯度 $\geq 85\%$ ,水分 $\leq 3\%$ 。

#### 4.2.4 设计参数

脱硫除尘器的设计要求同时满足锅炉燃用设计煤种和校核煤种两种情况,具体设计参数如表 3。

#### 4.2.5 工艺配置

脱硫除尘器内具体布置见图 4 平面布置图。

脱硫除尘器内 2 条脱硫工艺线沿锅炉中心轴,顺烟气方向对称布置,公用石灰料仓布置在 2 只脱硫反应器之间。脱硫除尘器内的建构筑物主要有 1 台 1 电场双室电除尘器(设计除尘效率 85%)、2 只脱硫反应器(单只反应器规格为 4 000mm $\times$ 1 375mm)、2 台布袋除尘器、1 只石灰料仓(200m<sup>3</sup>)、空压机站、脱硫电控楼等。脱硫电控楼直接布置在 NID-FGD 附近地面,主要布置 MCC 柜及工程师站,操作员站与锅炉机房主控室一起。

#### 4.3 运行情况

(3)温度检测点布置密度为 50~100 m<sup>2</sup> 设置 1 个;

(4)矸石山堆积垂直高 50~60 m 裸露斜坡面,因在垂直高度 2/1 处布置温度检测点。(常状下矸石山高度 2/1 处较为形成自燃点)

## 4 结论

揭示矸石山自燃起始期和发展期动态过程的规律,定量预测用于自然与避免灾害性事故发生,实施安全生产预警机制,有利于矸石山自燃预警和预防技术的发展,对保护矿区自然环境、减少矸石山安全隐患,促进煤矿产业绿色生产及和谐发展具有积极作用。

## 参考文献

- [1]2011 年度“煤矸石自燃预警技术及设备开发”研究报告。
- [2]2007 年度“煤矿矸石山自燃爆炸机理及综合治理技术研究”项目研究报告。
- [3]2006 年度“煤矿无自燃排矸关键技术研究”项目报告。

2006 年 3 月初到 4 月中旬,脱硫除尘器完成调试。4 月下旬顺利通过了 96 h 性能考核,5 月中旬完成环保测试。在考核运行时,锅炉负荷持续稳定在 110%,脱硫除尘器的入口  $\text{SO}_2$  浓度约 15 00 mg/Nm<sup>3</sup>,出口烟气温度为 78℃,脱硫效率稳定在 91%以上,最高可达 96%,同时脱硫除尘器出口粉尘排放在 20~40 mg/Nm<sup>3</sup>。

#### 4.4 技术经济分析

分析结果见表 5。

## 5 结束语

循环半干法脱硫工艺是一种集脱硫除尘于一体的先进技术,占地面积小,投资省,运行成本低,脱硫效率高及具有较强煤种适应性等特点,特别在对一些受场地限制的新建或改造脱硫项目更具优势,在机组容量 25MW~200MW 区间段的烟气脱硫治理上极具性价比。

## 参考文献

- [1]葛介龙,王新龙.NID 脱硫工艺在国内的应用研究[J].电力环境保护,2002,18(1):10~12.