

## 安全技术及工程

# 西曲煤矿矸石山自燃火区探测及治理技术

曾凡宇<sup>1</sup>，田云福<sup>1</sup>，芦根玲<sup>1</sup>，樊少武<sup>2,3</sup>，姚海飞<sup>2,3</sup>

(1. 西山煤电集团有限责任公司, 山西 太原 030053; 2. 煤炭科学研究院 矿山安全技术研究分院, 北京 100013;  
3. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室, 北京 100013)

**摘要:** 针对自燃的矸石山散发出有害气体污染环境, 还有可能发生爆炸的问题, 对自燃严重的西曲煤矿矸石山进行综合灭火, 以达到净化环境、消除危险的目的。采用红外测温、多参数气体检测和钻孔测温相结合的综合探测技术, 确定火区分布于矸石山的东侧, 面积为  $650\text{ m}^2$ , 进而合理布置注浆钻孔, 确定注浆参数, 选用电厂粉煤灰与新型防灭火材料对火区进行注浆灭火。治理结果表明: 矸石山的 CO 体积分数从  $840 \times 10^{-6}$  降至  $12 \times 10^{-6}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  体积分数从  $89 \times 10^{-6}$  降至趋近于 0,  $\text{SO}_2$  体积分数为 0, 矸石山表面温度与当地气温相同, 内部温度从最高  $420\text{ }^\circ\text{C}$  降至  $80\text{ }^\circ\text{C}$  以下, 达到了《煤矿矸石山灾害防范与治理规范》要求。

**关键词:** 矸石山自燃; 火区探测; 粉煤灰; 防灭火材料; 注浆

中图分类号: TD751 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336 (2012) 06-0041-03

## Detection and Control Technology of Spontaneous Combustion Area in Coal Rejects Dump of Xiqu Mine

ZENG Fan-yu<sup>1</sup>, TIAN Yun-fu<sup>1</sup>, LU Gen-ling<sup>1</sup>, FAN Shao-wu<sup>2,3</sup>, YAO Hai-fei<sup>2,3</sup>

(1. Xishan Coal and Electric Power Group Corporation, Taiyuan 030053, China; 2. Mine Safety Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 3. National Key Lab of High Efficient Mining and Clean Utilization of Coal Resources, Beijing 100013, China)

**Abstract:** According to the problem that the spontaneous combustion coal rejects dump would send out the harmful gas to pollute environment and could have explosion dangers, thus a comprehensive fire distinguishing was conducted to the serious spontaneous combustion coal rejects dump in Xiqu Mine in order to purify the environment and eliminate the danger purposes. The comprehensive detection technology with the infrared temperature measurement, multi parameters gas detection and borehole temperature measurement was applied to determine the fire distribution at the east side of the coal rejects dump with an area of  $650\text{ m}^2$ . An rational layout of grouting boreholes, grouting parameters determined, fly ash from coal-fired power plant and the new fire prevention and control material was applied to the fire extinguishing with grouting. The fire prevention and control results showed that the CO volume fraction in the coal rejects dump was reduced from  $840 \times 10^{-6}$  to  $12 \times 10^{-6}$ , the  $\text{H}_2\text{S}$  volume fraction was reduced from  $89 \times 10^{-6}$  closed to 0 and the  $\text{SO}_2$  volume fraction was 0. The surface temperature of the coal rejects dump and the local temperature was the same and the internal temperature was reduced from  $420\text{ }^\circ\text{C}$  below to  $80\text{ }^\circ\text{C}$ . Those results could meet the requirements stipulated in *Disaster Prevention and Control Standard of Coal Rejects Dump in mine*.

**Key words:** spontaneous combustion of coal rejects dump; detection of firing zone; fly ash; fire prevention and control material; grouting

矸石山自燃火灾是目前煤矿安全生产重大隐患之一。由于多年积累、自然风化, 国内煤矿矸石山普遍存在自燃、水煤气爆炸、滑坡、有害气体中

毒、污染空气环境、占用大量耕地等问题<sup>[1-3]</sup>。如 2004 年 6 月 5 日, 南桐矿业公司东林煤矿矸石山垮塌引起滑坡, 造成重庆市万盛区万东镇新华村

收稿日期: 2012-03-18; 责任编辑: 曾康生

基金项目: 国家自然科学基金煤炭联合基金资助项目 (51174272); 中国煤炭科工集团科技创新基金资助项目 (2012MS001)

作者简介: 曾凡宇 (1963—), 男, 江西赣州人, 高级工程师 (教授级)。Tel: 13934539697

网络出版时间: 2012-06-15 10:27:00; 网络出版地址: [http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.41\\_011.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120615.1027.201206.41_011.html)

引用格式: 曾凡宇, 田云福, 芦根玲, 等. 西曲煤矿矸石山自燃火区探测及治理技术 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (6): 41-43, 85.

14户居民民房被毁。2005年5月15日,平煤集团四矿矸石山先后发生2次自燃崩塌爆炸,造成多人死伤<sup>[4]</sup>。对煤矿矸石山自燃治理,国内外有许多学者进行大量研究,提出了挖除火源法、注浆灭火法、黄土覆盖法、泡沫灭火法等许多方法<sup>[5-8]</sup>。这些传统的矸石山火区治理方法有的存在治理效果差、易复燃等缺点,有的存在材料价格昂贵等问题。针对传统矸石山火区治理方法存在的问题,研发出以粉煤灰为骨料的新型防灭火材料MH1和MH2。MH1为灭火材料,MH2为封堵材料,经济实用,为对其应用工艺及相关参数进行研究,在西山煤电集团西曲煤矿矸石山进行了现场应用。

## 1 西曲煤矿矸石山探测

1) 眸石山基本情况。西曲煤矿矸石山位于西曲煤矿排矸井筒东面的沟壑里,排矸轨道南侧。1980年开始投入使用,1993年封场,矸石山占地约25 100 m<sup>2</sup>,矸石堆积量约539 000 m<sup>3</sup>。该矸石山大部分堆放的是开拓巷道的岩石矸和少量的煤巷掘进煤矸石。矸石由排矸绞车将矸石提升至山顶,然后向南侧山沟倾倒而成,最大堆积厚度35 m,最大高度110 m,最小高度90 m,最大宽度180 m,

3) 探测结果分析。初始探测时,用MS+红外线测温仪和CO气体检测仪对矸石山顶部表面进行了探测,探测结果见表1。由表1可知,矸石山表面温度普遍高于30℃,最高温度达到了89℃,CO气体体积分数最高达 $840 \times 10^{-6}$ ,并有H<sub>2</sub>S气体析出。矸石山山顶平整后深度为1 m处的火区探测结果为:钻孔A<sub>1</sub>—A<sub>30</sub>的温度分别为70、96、79、81、87、78、57、66、403、67、95、420、75、110、61、380、51、64、62、71、62、91、87、86、283、280、94、86、50、87℃,由此可计算得矸石山顶部自燃火区面积为650 m<sup>2</sup>,如图2b中虚线所示。深度1 m处温度普遍高于50℃,较高温度点分布于矸石山的东侧,即东侧边缘的A<sub>6</sub>、A<sub>9</sub>、A<sub>15</sub>、A<sub>19</sub>、A<sub>23</sub>、A<sub>24</sub>号测点,最高温度达420℃。通过现场测试数据和后期的削坡造台时反映的情况可知,从矸石山顶部到第1个马道之间东部斜坡表面水平向矸石山内部3~15 m的范围都存在矸石山自燃火区。

表1 初始探测结果

最小宽度53 m。最大堆积角43°,最小堆积角25°。如图1所示。



图1 西曲煤矿矸石山实景

从现场踏勘可知,在西曲煤矿矸石山上部东侧的矸石表面冒着烟气,在表面有大量的裂隙生成,有明显的着火迹象,并能闻到强烈的刺激性气味,表明矸石山存在自燃。

2) 探测测点布置。测温钻孔按矩形方式进行布置,在矸石山没有施工之前,用MS+红外测温仪、多参数气体检测仪对火源的分布进行了探测,测点间距5~30 m,具体布置如图2a所示。当矸石山山顶平整后,又用钻探的方式对其进行了探测,将AFTX型温度变送器伸入到钻孔1 m深度测量温度情况,钻孔间距5 m,如图2b所示。

测点	温度/℃	气体体积分数/ $10^{-6}$	
		CO	H <sub>2</sub> S
1	42	70	1
2	89	170	21
3	59	111	25
4	51	840	89
5	62	830	89
6	62	150	6
9	44	460	6
10	75	834	89

注:测点7、8、12、13的温度为22、31、37、86、51℃。

## 2 火区灭火工程实施

### 2.1 注浆钻孔布置

注浆钻孔采用正三角或菱形方式进行布置,孔间距为3 m,深度为5 m(图3a)。为了防止注浆过程中塌孔,钻孔需要套管,套管直径50 mm。套管前段1 m为花管,在花管管壁上附有直径10 mm的小孔(图3b),每个花管从矸石表面向下2 m需要用水泥进行封闭。

### 2.2 灭火注浆材料计算

1) 每立方米高温矸石的用水量。矸石山火区灭火注浆量计算有2种方式:①按照注浆体积进行

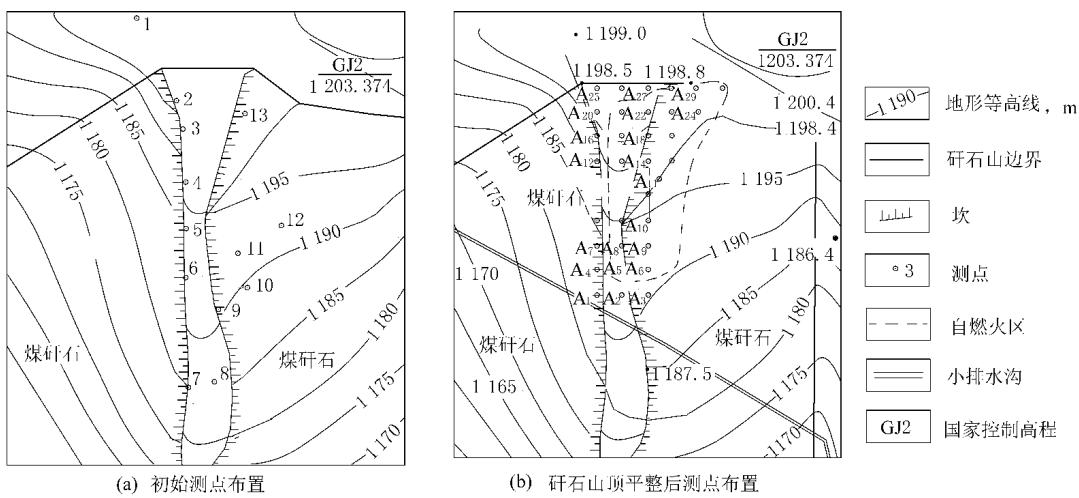


图2 探测测点布置

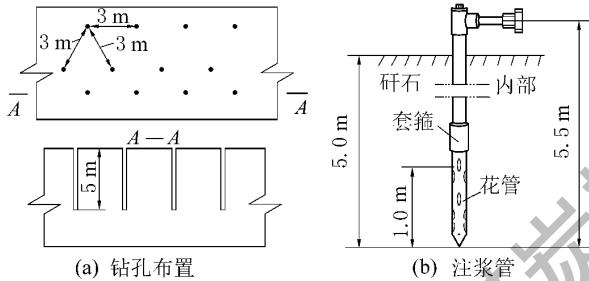


图3 灭火注浆钻孔布置示意

计算; ②按注浆区域煤矸石的平均温度降到80℃时用水量的多少, 再配比折算成注浆量。根据实际情况和经验, 用第2种计算方式较为准确。

西曲煤矿矸石山的温度较高, 平均在230℃, 矸石的平均视密度2.0 g/cm<sup>3</sup>, 比热容C<sub>g</sub>为0.9×10<sup>3</sup> J/(kg·℃)。根据热力学有关公式, 可以计算出将1 m<sup>3</sup>的矸石从平均230℃降至80℃的需水量V<sub>s</sub>, 其计算公式为V<sub>s</sub>=C<sub>g</sub>M<sub>g</sub>(T-100)/(C<sub>s</sub>ρ<sub>s</sub>ΔT<sub>s</sub>+ΔQ)+C<sub>g</sub>M<sub>g</sub>(100-t)/(C<sub>s</sub>ρ<sub>s</sub>ΔT<sub>s</sub>)≈0.2 m<sup>3</sup>, 其中: M<sub>g</sub>为矸石质量, 取2.0×10<sup>3</sup> kg; T为矸石山的初始温度, 取230℃; t为矸石山的最后温度, 取80℃; C<sub>s</sub>为水的比热容, 取4.2×10<sup>3</sup> J/(kg·℃); ρ<sub>s</sub>为水的密度, 取1.0×10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>; ΔT<sub>s</sub>为水的温差, 取80℃; ΔQ为水的汽化热, 取2 256.8 kJ/kg。折算成质量Q<sub>s</sub>=ρ<sub>s</sub>V<sub>s</sub>=0.2 t。考虑20%的损失量, 则平均每立方米高温矸石的需水量为0.24 t。

2) 注浆量计算。西曲煤矿矸石山火区面积650 m<sup>2</sup>, 每个循环注浆厚度3 m, 需水量468 t。水、粉煤灰、新型防灭火材料的比为2.0: 1.0:

0.3, 则每个循环需粉煤灰142 t, 新型防灭火材料42.5 t, 即每个循环注浆量142 t, 需水量468 t、新型防灭火材料42.5 t。每注完一个循环后进行削坡, 从矸石山顶部到最终形成的平台共削了30 m, 共需要注浆10个循环, 所以粉煤灰用量1 420 t, 需水量4 680 t, 新型防灭火材料用量425 t。

3) 其他注浆参数。钻孔的扩散半径1.5 m, 注浆深度5 m, 封孔深度2 m。

### 3 灭火效果检验

#### 3.1 灭火效果检验点的布置

按《煤矿矸石山灾害防范与治理规范》(征求意见稿)相关要求, 对灭火工程实施后的矸石山进行有害气体、表面温度、矸石山内部温度检测。

1) 有害气体检测。在矸石山平台布置2个测点, 在周边布置4个测点, 编号分别为Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>、Q<sub>3</sub>、Q<sub>4</sub>、Q<sub>5</sub>、Q<sub>6</sub>。

2) 表面温度检测。在矸石山范围内随机布置5个测点, 编号分别为B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub>、B<sub>4</sub>、B<sub>5</sub>。

3) 矸石山内部温度检测。从试验地——西曲煤矿矸石山的平台随机布置3个点, 每个马道布置1个点, 共5个测点, 编号分别为L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub>、L<sub>4</sub>、L<sub>5</sub>。然后施工用XY-1B(GS)-1钻机施工出4 m深的钻孔, 当钻孔施工好后, 将AFTX型温度变送器伸入到钻孔中测量温度情况, 并记入表中。

#### 3.2 灭火效果分析

通过检测, 得出西曲煤矿矸石山灭火试验后的结果, 见表2。矸石山表面和内部温度检测结果如

(下转第85页)

暂态过程有一定的影响。从限流效果来看, 限流电抗器阻抗值越大则短路电流越小, 限流效果越好。这与时间常数构成了矛盾, 所以选择限流电抗器阻抗时需要综合考虑衰减时间与限流效果及其他相关因素, 找到最优的阻抗值。

#### 参考文献:

- [1] 江道灼, 敖志香, 卢旭日, 等. 短路限流技术的研究与发展 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19 (6): 18 - 19, 87.
- [2] 施生才. 煤矿井下供电电压升级改造 [J]. 煤炭技术, 2008, 27 (5): 32 - 34.
- [3] 周宏云, 张乐中. 大容量高速开关与限流电抗器并联运行应用分析 [J]. 湖南电力, 2008, 28 (5): 51 - 53.
- [4] 陶学仪, 尚药世. 现代化矿井安全高效综采工作面供电 [J]. 煤炭学报, 2010, 35 (11): 1930 - 1934.
- [5] 彭小兵. 一种高速开关装置与电抗器并联限流方法设计与应用 [J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2003, 3 (12): 43 - 46.
- [6] 周静华. 变电站低压侧限流电抗器电抗值的选择 [J]. 供用电, 2009, 26 (3): 48 - 49.
- [7] 胡东波. 大容量高速开关的应用 [J]. 中国设备工程, 2010 (1): 64 - 65.
- [8] 邓文君. 限流电抗器在变电站的应用及存在问题 [C] //贵州省电机工程学会2010年优秀论文集. 贵阳: 贵州省科学技术协会, 2010.
- [9] 郎伟明, 郭权利, 徐春明. 大容量高速开关装置的应用 [J]. 东北电力技术, 2004 (10): 37 - 38, 43.
- [10] 李禄松, 邹增春, 徐刚. 一种新型大容量高速开关装置FSR的应用 [J]. 电工技术杂志, 2003 (4): 84 - 85.
- [11] 陈水明, 王威, 杨鹏程. 限流电抗器对输电线路工频过电压的影响 [J]. 电网技术, 2010, 34 (3): 193 - 196.
- [12] 靳波, 邵富平. 大容量高速开关装置的应用 [J]. 河北电力技术, 2004, 23 (5): 24 - 25, 41.
- [13] 周挺, 文远芳, 毛柳明, 等. 用EMTP/ATP研究高压限流熔断器暂态过程 [J]. 高电压技术, 2007, 33 (10): 37 - 40.
- [14] 毛柳明. 高压限流熔断器开断过电压研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.

(上接第43页)

下: 测点  $B_1$ — $B_5$  的温度分别为 7、4、5、4、3  $^{\circ}\text{C}$ , 测点  $L_1$ — $L_5$  的温度分别为 76、56、65、55、57。

表2 有害气体检测结果

测点	气体体积分数/ $10^{-6}$			测点	气体体积分数/ $10^{-6}$		
	CO	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{SO}_2$		CO	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{SO}_2$
$Q_1$	11	2	0	$Q_4$	0	0	0
$Q_2$	12	3	0	$Q_5$	0	0	0
$Q_3$	2	0	0	$Q_6$	2	0	0

由表2可知, 通过使用新型防灭火材料进行综合治理后, 西曲煤矿矸石山的CO体积分数从 $840 \times 10^{-6}$ 降至 $12 \times 10^{-6}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ 体积分数从 $89 \times 10^{-6}$ 降至趋于0,  $\text{SO}_2$ 气体检测为0, 眸石山表面温度与当地气温一致, 内部温度从最高420  $^{\circ}\text{C}$ 降至80  $^{\circ}\text{C}$ 以下, 达到了《煤矿矸石山灾害防范与治理规范》要求。

## 4 结 论

初始探测时, 眸石山表面温度普遍高于30  $^{\circ}\text{C}$ , 最高温度达到了89  $^{\circ}\text{C}$ , CO体积分数最高达 $840 \times 10^{-6}$ , 并有 $\text{H}_2\text{S}$ 气体析出。眸石山平整后经过火区探测与分析, 发现眸石山顶部自燃火区面积为

$650 \text{ m}^2$ , 深度1 m处温度普遍高于50  $^{\circ}\text{C}$ , 较高温度点分布于眸石山的东侧, 最高温度达420  $^{\circ}\text{C}$ 以上。通过注浆量计算, 得出西曲煤矿眸石山治理粉煤灰用量1420 t, 需水量4680 t, 新型防灭火材料用量425 t。通过使用新型防灭火材料进行综合治理后, 西曲煤矿眸石山的CO体积分数从 $840 \times 10^{-6}$ 降至 $12 \times 10^{-6}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ 体积分数从 $89 \times 10^{-6}$ 降至趋于0,  $\text{SO}_2$ 气体检测为0, 眸石山表面温度与当地气温相一致, 内部温度从最高420  $^{\circ}\text{C}$ 降至80  $^{\circ}\text{C}$ 以下, 达到了相关要求。

#### 参考文献:

- [1] 允新, 朱字顺, 宋长斌, 等. 煤矸石的危害与防治 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001 (2): 35 - 38.
- [2] 郑云峰. 浅谈煤矸石的自然及治理 [J]. 煤矿环境保护, 1989 (2): 9 - 17.
- [3] 杜忠. 煤矸石的综合利用现状 [J]. 资源环境与工程, 2007, 21 (5): 621.
- [4] 段志鹏, 王向成, 闫海晶. 眸石山自然的防治 [J]. 山西焦煤科技, 2009 (6): 122 - 124.
- [5] 董现锋, 谷明川. 平煤集团自然矸石山灭火工程实践 [J]. 煤炭科学技术, 2009, 37 (1): 82 - 84.
- [6] 贺春玲. 眸石山自然的灭火技术及预防措施 [J]. 煤炭技术, 2008, 27 (3): 93 - 94.
- [7] 张爱青. 大同矿区煤矸石山自然防治及高效灭火技术 [J]. 洁净煤技术, 2010, 16 (1): 110 - 112.
- [8] 江洪清. 煤矸石对环境的危害及其综合治理与利用 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2003 (3): 44 - 45.