

文章编号:1000-582X(2008)12-1451-04

湿度对煤自燃倾向性影响

姜德义¹, 李 林¹, Beamish B Basil²

(1. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400030;

2. 澳大利亚昆士兰大学 工学院, 布里斯班 4079)

摘 要:煤自燃多因素影响的结果,主要是煤中的活性部位与空气中氧气的放热反应过程。水在煤氧化反应过程中起重要作用,湿度影响煤中氧化反应的活性结构,从而影响煤的自燃倾向性。通过2组干煤和湿煤煤样的绝热氧化实验,得到煤样绝热氧化温度随湿度变化曲线,表明煤的湿度对煤自热性质有明显的影 响。由于氧化过程产生的热量不能弥补蒸发损失的热量,一般温度降到大约40%~50%左右,煤的自热会强烈增加。随着煤湿度的增加,煤的自热率也增加。

关键词:湿度;自燃;倾向性;绝热试验

中图分类号:TD75

文献标志码:A

The effect of moisture content on the tendency of coal to combust spontaneously

JIANG De-yi¹, LI Lin¹, BEAMISH B Basil²

(1. Chongqing University, Key Laboratory for the Exploitation of Southwestern Resources and Environmental Disaster Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing 400030, P. R. China;

2. University of Queensland, School of Engineering, Brisbane 4079, Australia)

Abstract: The self-heating of coal is influenced by many factors, but mainly it involves exothermic reactions between reactive sites in the coal and oxygen from the air. Moisture affects the nature of the radical sites where oxidation occurs, and affects the tendency of coal to combust spontaneously. Adiabatic tests show the coal self-heating rate increases as the moisture content increases. At approximately 40% to 50% of the moisture holding capacity of the coal, the self-heating rate becomes measurable. Above this critical level of moisture content, the heat produced by oxidation is dissipated by moisture evaporation and coal self-heating is significantly delayed.

Key words: moisture content; self-heating; tendency; adiabatic test

煤的自燃一直是煤在开采,运输和储存过程中的重要危险,造成生命财产和经济的重大损失^[1-4]。因此,研究自燃发火规律有重要的现实意义,科学的鉴定煤自然倾向性,寻找煤自燃的控制因素是探索煤自燃规律的最要途径。

湿度对煤自热的影响是复杂的,许多专家和学者在这方面已经做过大量的研究^[5-8]。煤的自燃主要是由于煤中的活性结构与氧气发生放热反应的结果,水得存在增强或者缓解了这种反应,这也是煤能继续发展导致发火的原因^[9-10]。曾经有学者提出了

收稿日期:2008-06-20

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(50334060);国家创新研究群体基金资助项目(50621403);国家留学基金资助项目(留学出[2007]3020)

作者简介:姜德义(1962-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事采矿方向的研究,(E-mail)daney0803@163.com。

欢迎访问重庆大学期刊网 <http://qks.cqu.edu.cn>

在煤氧化率最大时有一个临界湿度^[11-12]。

1 绝热氧化实验装置

实验装置是澳大利亚昆士兰大学的绝热氧化实验装置(如图1、2)。分别又预热气路、绝热煤样器皿、程序控制温度箱、温度控制系统和计算机数据采集系统组成。

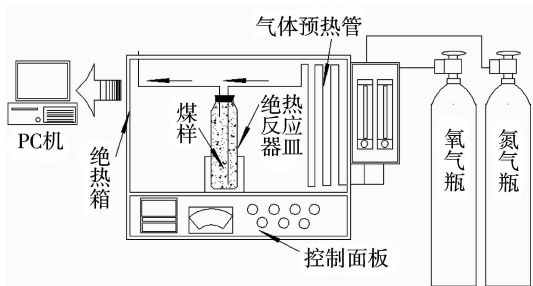


图1 绝热氧化反应装置示意图

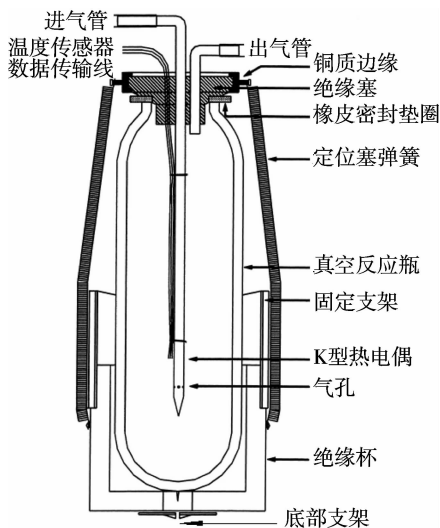


图2 绝热煤样罐示意图

绝热被认为是绝热实验的最基本实验条件,因此在对煤自燃倾向性进行鉴定所进行的煤自燃过程中,决不能允许在反应器皿中有热量的损失,模拟需要尽可能消除外在因素的影响^[13-14]。在鉴定过程中可以采取尽可能消除外在因素的影响(即热传导、对流换热和水分的影响)。

为了达到煤样氧化过程最好的绝热行而采取的绝热措施主要有:1)跟踪温度控制。温度控制箱体内部环境温度始终跟踪煤样内的温度而上升;2)使用绝热性煤样罐作为煤低温氧化反应器;3)采用预热气路。进入煤样罐内的气体先经过炉膛内的长钢管进行预热,使进入煤样的气体与煤样温度一样。

2 实验过程

2.1 煤样

试验采用2组煤样B1和B2。每组煤样150g,粒径小于212 μm ,同时通入氮气保护。B1组煤样准备常规的实验(干燥)。B2组煤样需要不同的湿度,因此对B2组煤样的干燥时间将不一样,这样就能获得不同湿度的煤样。每组煤样的质量参数见表1。

表1 煤样参数表

	湿度/%	含灰量/(%,db)
B1A	0	9.0
B1B	8.4	8.4
	8.0	8.3
B2A	0	5.8
B2B	2.6	5.8
B2C	14.8	5.6
B2D	9.8	6.2
B2E	6.2	5.6
B2F	7.5	6.2
B2G	5.2	6.4

2.2 干煤绝热氧化实验

为确保煤样完全干燥,所有的煤样在氮气的保护下,在105~110 $^{\circ}\text{C}$ 的温度下干燥大约16h。干燥完成之后,煤样送入到温度稳定在40 $^{\circ}\text{C}$ 绝热箱中。当温度稳定在40 $^{\circ}\text{C}$ 时,通入氮气保护,同时将煤样放入反应器皿中。当煤样温度稳定后,将绝热箱调至监控模式(这一模式能够跟踪煤样氧化反应的温度变化),同时通入恒定流量的氧气(50 mL/min)。计算机将记录并保存煤样温度随时间的变化数据。当温度达到180 $^{\circ}\text{C}$ 时,绝热箱将自动关闭,同时停止氧气的供给。

2.3 湿煤绝热氧化实验

湿煤与干煤的绝热氧化实验是有区别的。由于在湿煤反应中有蒸发和浓缩作用,因此要将煤样稳定维持在40 $^{\circ}\text{C}$ 是很困难的。因为温度升高导致蒸发也逐渐增大,蒸发作用又反过来影响煤样温度升高。为了解决这个问题,需要在湿煤放入绝热箱的时候立即通入氧气,这样能减小煤样温度的来回摆动^[15-16]。

3 实验结果分析

B1煤样是在干燥环境下进行的绝热试验。其中B1A煤样的 R_{70} 值是8.61 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$,最初的湿度为17.0%。B1B和B1C煤样的湿度分别是8.4%和8.0%,B1组煤样的绝热氧化曲线在图3中。

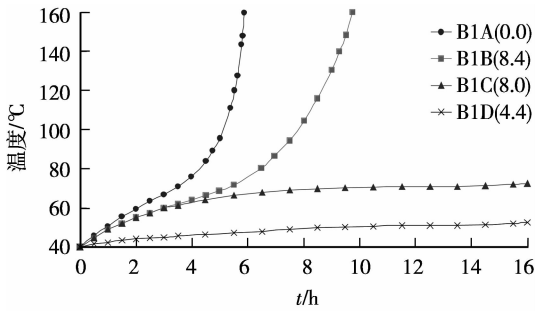


图 3 不同湿度下的 B1 煤样绝热氧化曲线

B2 组煤样的绝热氧化曲线在图 4、5 中。B2A 煤样是在干燥环境下进行试验的,他的最初的 R_{70} 值和湿度分别是 12.23°C/h 和 18.6%。煤样 B2C 由于具有高达 14.9% 的湿度,所以基本上他不具备自燃性质。而 B2D 煤样再 B2 组煤样里面,能出现自燃现象的煤样中,它的湿度是最高的(9.8%),大约 97 h 后,它的温度达到 158°C。

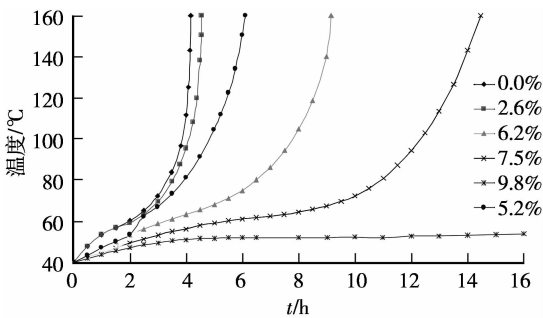


图 4 不同湿度下的 B2 煤样绝热氧化曲线

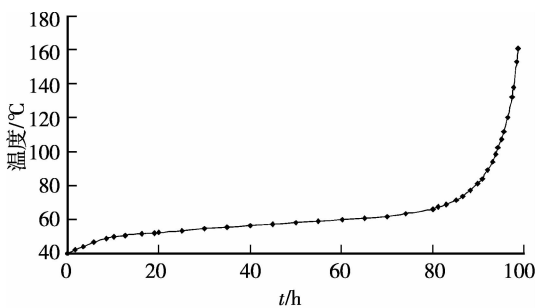
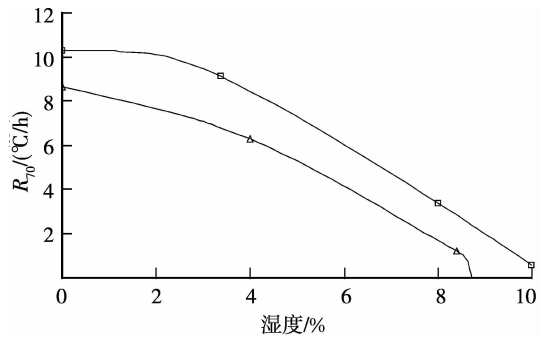


图 5 B2D 煤样的绝热氧化试验曲线

煤样的湿度对煤绝热自热率的影响,可以从图 6 中清晰地看出。随着湿度的增加煤样的 R_{70} 值明显的下降。重复实验研究发现误差在 +5% 之内。

可以把具有湿度的煤氧化过程分为 3 个阶段:1)准备阶段;2)蒸发作用阶段;3)剧烈氧化阶段。在第 1 阶段,实际上就是煤样的低温氧化,煤中的活性结构与氧气反应,温度逐渐上升;当温度上升到一定程度时进入第 2 阶段,由于温度的升高,煤中的

图 6 煤样湿度与自燃率 R_{70} 之间的关系

水分开始蒸发,蒸发的水分带走氧化反应释放的热量;在第 3 阶段,当温度达到临界条件,煤中的活性结构被激活,达到最大的氧化反应速度,剧烈的氧化作用使煤温度迅速上升直达燃点。

4 结论

绝热实验表明煤的湿度对煤自热率有明显的影响。由于氧化过程产生的热量不能弥补蒸发损失的热量,一般温度降到大约 40%~50% 左右,煤的自热会强烈增加。因此,可以保持煤有一定的湿度,只要在其临界水平以上,可以发现煤的自热有明显的延时,而不需要完全干燥煤。这些理论的研究可以为煤的开采,运输和储存提供现实参考。

参考文献:

- [1] 秦书玉,赵书田,张永吉. 煤矿井下内因火灾防治技术[M]. 沈阳:东北大学出版社,1993.
- [2] 徐精彩. 煤自然危险区域判定理论[M]. 北京:煤炭工业出版社,2001.
- [3] 李增华. 煤炭自燃的自由基反应机理[J]. 中国矿业大学学报,1996,25(3):111-114.
LI ZENG-HUA. Mechanism of free radical reaction in spontaneous combustion of coal[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1996, 25(3): 111-114.
- [4] 罗海珠,梁运涛,吕国金. 高瓦斯易燃特厚煤层综放开采自燃防治技术[J]. 煤炭科学技术,2002,30(9):1-4.
LUO HAI-ZHU, LIANG YUN-TAO, LV GUO-JIN. Technology of spontaneous combustion control for fully mechanized caving mining in high gassy combustible thick seam[J]. Coal Science and Technology, 2002, 30(9):1-4.
- [5] BEAMISH B B, BARAKAT M A. Spontaneous combustion propensity of New Zealand coals under adiabatic conditions [J]. Int J Coal Geol, 2001, 45(2-3):217-224.
- [6] CHEN X D, STOTT J B. The effect of moisture content on the oxidation rate of coal during near-equilibrium drying and wetting at 50°C[J]. Fuel, 1993,

- 72(6):787-792.
- [7] BATTACHARYYA K K. The role of desorption of moisture from coal in its spontaneous heating[J]. Fuel, 1972, 51(3):214-220.
- [8] GUNNEY M. An adiabatic study of the influence of moisture on the spontaneous heating of coal[J]. CIM Bulletin, 1971, 64(3):138-146.
- [9] CLEMENS A H, MATHESON T W. The role of moisture in the self-heating of low-coals [J]. Fuel, 1996, 75:891-895.
- [10] VANCE W E, CHEN X D. The rate of temperature rise of a subbituminous coal during spontaneous combustion in an adiabatic device: the effect of moisture content and drying methods [J]. Combustion and Flame, 1996, 106(3):261-270.
- [11] WALTERS A D. Joseph Conrad and the spontaneous combustion of coal: part 1[J]. Coal Preparation, 1996, 17(3-4):147-165.
- [12] BHAT S, AGARWAL P. The effect of moisture condensation on the spontaneous susceptibility of coal[J]. Fuel, 2005, 64(1-2):523-1532.
- [13] 陆伟,王德明,周福宝,等. 绝热氧化法研究煤的自燃特性[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(2):213-217.
- LU WEI, WANG DE-MING, ZHOU FU-BAO, et al. Study on spontaneous combustion of coal by adiabatic oxidation[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2005, 34(2): 213-217.
- [14] 陆伟,王德明,仲晓星,等. 基于活化能的煤自燃倾向性研究[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(2):201-205.
- LU WEI, WANG DE-MING, ZHONG XIAO-XING, et al. Tendency of spontaneous combustion of coal based on activation energy[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2006, 35(2):201-205.
- [15] 国家煤炭安全监察局. 煤矿安全规程[S]. 北京:煤炭工业出版社, 2001.
- [16] 徐精彩,文虎,郭兴明. 应用自燃实验研究煤的自热倾向性指标[J]. 西安矿业学院学报, 1997, 17(2):103-107.
- XU JING-CAI, WEN HU, GUO XING-MING. Tendency of spontaneous combustion of coal based on testing [J]. Journal of Xi'an of Mining & Technology, 1997, 17(2): 103-107.

(编辑 赵 静)

(上接第 1450 页)

- [4] ALBERTI M, KOH G, KOENIG G. Phenomenology of dynamic thermal signatures around surface mines[J]. Proceedings of SPIE-the International Society for Optical Engineering, 2005, 5794(2): 846-856.
- [5] GRUJICIC M, PANDURANGAN B, CHEESEMAN B A. The effect of degree of saturation of sand on detonation phenomena associated with shallow-buried and ground-laid mines[J]. Shock and Vibration, 2006, 13(1):41-61.
- [6] ZHOU S N, HE X Q. Rheological hypothesis of coal and methane outburst mechanism[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1990, 19(2):1-8.
- [7] 徐增和,徐小荷,唐春安. 坚硬顶板下煤柱岩爆的尖点突变理论分析[J]. 煤炭学报, 1995, 20(5):485-491.
- XU ZENG-HE, XU XIAO-HE, TANG CHUN-AN. Theoretical analysis of a cusp catastrophe bump of coal pillar under hard rocks [J]. Journal of China Coal Society, 1995, 20(5):485-491.
- [8] 毕华照,宋振盟,乔福祥,等. 煤矿顶板事故的防治[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1991.
- [9] 贾剑青,王宏图,唐建新,等. 硬软交替岩层的复合顶板主关键层及其破断距的确定[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 974-978.
- JIA JIAN-QING, WANG HONG-TU, TANG JIAN-XIN, et al. Determination of key strata and interval of roofing breaking of hard and soft composite roofs [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(5): 974-978.
- [10] 许家林,钱鸣高,朱卫兵. 覆岩主关键层对地表下沉动态的影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5):787-791.
- XU JIA-LIN, QIAN MING-GAO, ZHU WEI-BING. Study on influences of primary key stratum on surface dynamic subsidence [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(5):787-791.
- [11] 刘元雪,施建勇,许江. 盾构法隧道施工数值模拟[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(2):239-243.
- LIU YUAN-XUE, SHI YONG-JIAN, XU JIANG. Numerical simulation of excavation of shield tunnel[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(2):239-243
- [12] LAN H, YAO J G, ZHANG H X. Development and application of constitutive model of jointed rock mass damage due to mining based on FLAC^{3D} [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(3):572-579.
- [13] LI Z X, PAN Y X, TI Z Y. Numerical simulation study on the high-pressure water injection into coal seam in muchengjian coal mine [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(11): 1895-1899.
- [14] DAI G F, YIN G Z, PI W L. Study of nonlinear dynamic characters in deep exploitation activities [J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24(2): 133-137.
- [15] 尹光志,鲜学福,代高飞,等. 岩石非线性动力学理论及其应用[M]. 重庆:重庆大学出版社, 2004:83-85.

(编辑 赵 静)