

文章编号:0253-9993(2011)03-0442-05

煤尘润湿性的实验研究

赵振保¹, 杨 晨², 孙春燕², 舒新前²

(1. 北京大学 工学院, 北京 100871; 2. 中国矿业大学(北京) 化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘 要:为了探索煤尘润湿性快速测定和表征方法,在分析5种具有代表性煤尘的煤质特征基础上,采用 Nicolet Magna-IR750 傅里叶变换红外光谱仪,测定了这5种煤尘的表面官能团。根据煤尘润湿性测定结果,通过数值计算,建立了煤尘润湿性与煤质参数和煤尘表面官能团间的关系,得出煤尘的有机大分子结构(以固定碳为代表)以及表面官能团,尤其是煤尘表面的无机矿物质官能团(以石英 Si—O—Si 为代表),决定和影响煤尘的润湿性质。结果表明,可以通过煤尘的煤质特征以及 FTIR 分析,结合煤质数据以及表面官能团数据,快速进行煤尘的润湿性测定和表征。

关键词:煤尘;润湿性;红外光谱;表面官能团

中图分类号:TD714.4 **文献标志码:**A

Experimental study of coal dust wettability

ZHAO Zhen-bao¹, YANG Chen², SUN Chun-yan², SHU Xin-qian²

(1. College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China; 2. School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: To find out a method to quickly determine and characterize coal dust wettability, after analyzing the properties of five kinds of typical coal dust, adopted Nicolet Magna-IR750 Fourier transform infrared spectrometer and measured the surface functional groups of the coal dust. Then, in combination with the measurement results of coal dust wettability, numerical computations were performed and the relationship between coal dust wettability and coal quality parameters and its surface functional groups was deduced. It is concluded that organic macro-molecular structure (represented by fixed carbon) and surface functional groups of coal dust, especially inorganic mineral functional groups on coal dust surface (represented by Si—O—Si) determine and affect coal dust wettability. The results suggest that, quick study and characterization of coal dust wettability can be made by means of coal quality analysis and FTIR analysis, along with coal quality data and surface functional group data.

Key words: coal dust; wettability; infrared spectrum; surface functional groups

煤尘抑制涉及减尘、降尘和排尘等环节,包括预湿煤体、湿式凿岩、煤体注水、喷雾、水幕降尘、隔尘帘降尘、磁化水降尘、荷电水雾防尘、气幕控尘、超声波除尘等技术^[1-6]。总体看来,在目前所用的防尘技术中,湿式除尘比较经济和有效^[7]。但是,由于煤尘本身的疏水性,加之水的表面张力较大,使煤尘不易被水迅速湿润和团聚。王开松^[8]对综采工作面进行综合防尘试验结果表明,喷雾洒水对呼吸性粉尘的降尘效率只有30%~50%,特别是对于粒径小于5 μm 粉

尘的防治一直是个难点。这是因为缺乏对煤尘润湿性质的深入了解和认识,其前提是进行煤尘的快速、准确测定和表征。

目前国内外大多是通过测定煤的ζ-电位、接触角、润湿热等参数,或者将这些参数与煤的含氧官能团等进行关联来表征煤的润湿性^[9-15]。也有学者利用沉降法、渗透法、滴液法等方法进行煤尘润湿性的测定,但是存在着重现性较差、可靠性较低的问题^[16-17]。还有学者采用煤尘成型-滴液法或者成型-

动态接触角测定法表征煤尘的润湿性,但是存在着测定过程复杂、费时耗力的问题^[18-19]。显然,找到一种快速、简便测定煤尘润湿性的方法,对煤尘高效抑制具有十分重要的意义。为此,本文在进行煤尘煤质分析以及 FTIR 分析的基础上,得到了煤尘的表面官能团以及煤质数据,然后结合实测的煤尘润湿性数据,通过数值分析,得出了影响煤尘润湿性的主要因素,进而探讨了利用 FTIR 进行煤尘润湿性表征和研究的可行性。

1 煤尘表面官能团分析

1.1 煤尘的煤质特征

为了分析煤尘的煤质特征,实验采取了山西霍州三交河煤矿肥煤、汾西曙光煤矿焦煤、西山西峪煤矿瘦煤、长治夏店煤矿贫煤和晋城成庄煤矿无烟煤等 5 种不同变质程度的井下煤尘样进行研究。参照国家标准 GB/T 212-2001《煤的工业分析方法》进行了煤尘的煤质特征研究。表 1 给出了 5 种煤尘的工业分析。

表 1 煤尘样的工业分析

Table 1 Proximate analysis of coal dust samples %

样 品	水分 M_{ad}	灰分 A_{ad}	挥发分 V_{ad}	固定碳 FC_{ad}
三交河肥煤	14.82	15.88	25.39	43.91
曙光焦煤	11.11	40.08	18.30	30.51
西峪瘦煤	2.32	20.44	12.66	64.58
夏店贫煤	4.03	15.72	9.49	70.76
成庄无烟煤	3.73	20.27	6.88	69.12

由表 1 数据可知,不同煤尘样的水分、灰分和挥发分不同,说明试验所选择样品具有一定的代表性。

1.2 煤尘的表面官能团分析

煤是芳香大分子缩聚而成的高分子聚合物,这些大分子由许多不同特点的基本结构单元组成,核心是缩合芳香环^[8]。不同结构单元由桥键、烷基侧链和各种官能团连接,官能团主要为含氧官能团。在煤的大分子内部、表面或边缘,则有一些分散的矿物质。显然,煤尘的润湿性与煤尘结构、表面性质以及矿物质组成和含量密切相关。为了探求其间的关系,进而摸索一种方便快速测定和表征煤尘润湿性的方法,本文选择上述煤尘样,利用 FTIR 分析,解析了各自的表面官能团。

FTIR 分析利用的是 Nicolet Magna-IR750 傅里叶转换红外光谱仪。显微镜型号为 Nicolette NICPlan IR Microscope,检测仪为 MCR/A,分速器 KBr/Ge,测试范围为 $4\ 000 \sim 650\ \text{cm}^{-1}$,扫描次数 128 次,扫描速度 $30\ \text{kHz}$,分辨率 $8\ \text{cm}^{-1}$ 。5 种煤尘的 FTIR 分析如图 1 所示。解析 FTIR 图谱,并且基于基线校正方法,选取吸收峰一侧最低点的水平切线为基线^[20],得到了相关官能团及其吸收峰高值,见表 2。分析煤尘表面的基团,主要有 4 类,即脂肪烃、芳香烃、含氧官能团和无机矿物类基团。其中,脂肪烃、芳香烃等基团是煤尘表面的主要疏水基团,是决定煤尘表面疏水性的主要因素,而羧基、羟基、羰基等含氧官能团以及矿物类基团,则是造成煤尘亲水性的决定性因素。各样品中最强的吸收峰为 $1\ 020 \sim 1\ 100\ \text{cm}^{-1}$ 处的石英的

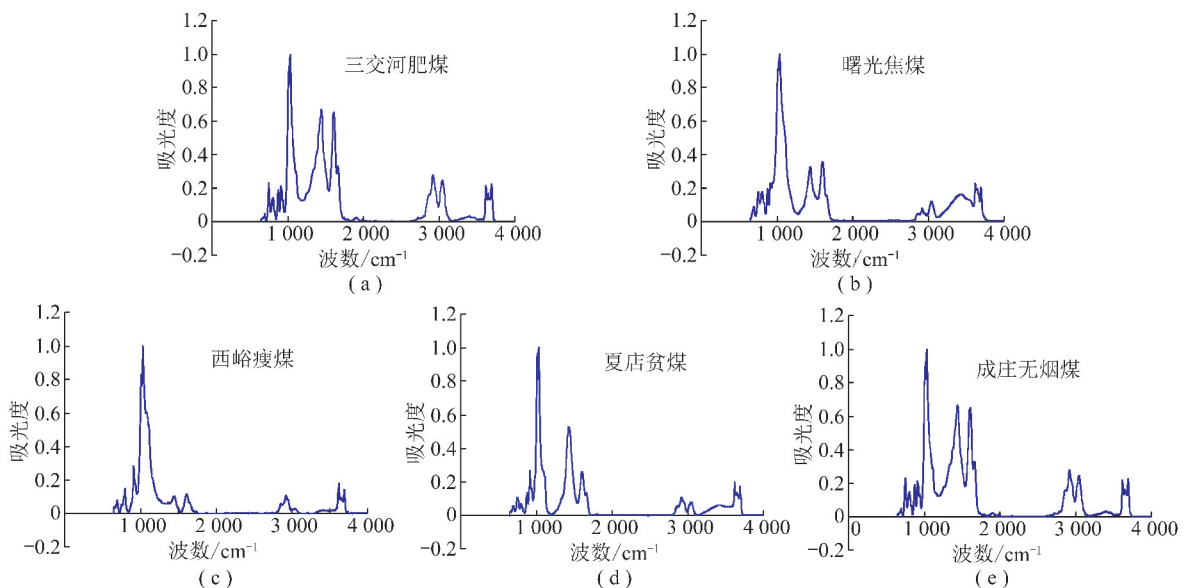


图 1 煤尘的红外光谱

Fig. 1 Infrared spectrum of coal dust

表2 煤尘样的红外光谱主峰峰值数据

Table 2 Peak data of infrared spectrum of coal dust samples

吸收峰	三交河	曙光	西峪	夏店	成庄
700: 不饱和键	5.425 946	7.210 361	9.069 892	5.025 126	5.419 311
750: 4个临氢被取代的苯环	28.614 350	18.480 920	6.224 435	11.372 650	28.519 980
800: 石英的 Si—O—Si 对称伸缩	16.790 390	16.660 830	17.819 670	7.282 024	16.755 270
879: 单氢被取代的苯环	23.170 730	18.463 420	不明显	15.851 190	23.134 970
920: CH ₂ 面外摇摆	19.105 690	16.730 840	25.858 080	25.443 000	20.305 260
1 010: 亚硫酸酯的 O—S—O 反伸缩	106.822 200	85.666 780	89.969 770	110.411 700	106.705 500
1 020 ~ 1 100: 石英的 Si—O—Si 反对称伸缩	109.084 500	120.231 000	119.082 300	123.635 700	110.838 600
1 450: CH ₂ 、CH ₃ 不对称变角	68.663 840	35.701 79	12.715 630	57.286 430	68.633 170
1 610: 芳环 C=C、C=N 伸缩	59.544 010	28.456 420	14.547 390	23.644 540	59.475 220
1 650 ~ 1 680: 醌羰基 C=O 伸缩、羧酸羰基 C=O 伸缩	39.095 090	19.163 460	不明显	16.344 880	38.501 110
2 880 ~ 2 990: —CH ₂ 烯烃对称伸缩, CH ₃ 反对称伸缩, 烷烃 C—H 伸缩	24.072 110	5.880 294	11.773 070	11.337 390	24.043 900
3 050: 芳烃 C—H 伸缩	30.452 460	11.270 560	2.756 536	9.556 555	29.943 410
3 400 ~ 3 450: 芳香烃基伸缩	4.542 241	17.640 880	2.134 092	6.365 159	4.596 124
3 625: OH 伸缩	25.450 690	17.203 360	20.362 800	18.213 880	25.776 020
3 690: OH 伸缩或面外弯曲旋转	28.649 700	25.306 270	16.788 190	21.334 740	28.519 980

Si—O—Si 的反对称伸缩吸收峰, 其次为 $1\ 010\ \text{cm}^{-1}$ 处的亚硫酸酯 O—S—O 反伸缩吸收峰, 接着依次为 $1\ 450\ \text{cm}^{-1}$ 处的 CH₂、CH₃ 不对称变角吸收峰, $1\ 610\ \text{cm}^{-1}$ 处的 C=C、C=N 伸缩吸收峰, $1\ 650\sim 1\ 680\ \text{cm}^{-1}$ 处的醌羰基 C=O 伸缩、羧酸羰基 C=O 伸缩吸收峰, $3\ 050\ \text{cm}^{-1}$ 处的芳烃 C—H 伸缩吸收峰。特别是, 本文鉴别出煤尘中具有较强的 Si—O—Si 吸收基团, 这是首次提出利用 FTIR 鉴别煤尘中石英的 Si—O—Si 伸缩振动吸收峰。

2 煤尘润湿性测定

2.1 测定方法和步骤

为了考察粉尘的润湿性能, 采用毛细管上向渗透法实测了煤尘的润湿性^[21]。实验选取内径为 5.5 mm、高 8 cm 的玻璃管, 下端装有直径略大的过滤膜, 用透水胶带固定, 使煤尘不泄漏。测定时先将上述 5 种煤尘样 (-200 目) 分别迅速装填到玻璃管中, 用量大约为 0.6 g, 煤尘高度大约为 1.5 cm。最后将装有煤尘的玻璃管一端垂直置于实验用润湿溶液中, 经过一段时间后, 将玻璃管取出并称重, 计算吸收的溶液质量, 为了保证结果的准确性, 实验中统一进行了平行试验, 测定过程如图 2 所示。

2.2 煤尘润湿性测定结果

实验中选择了 0.1% 的表面活性剂曲拉通、SDBSO 和 JFC, 在不同水介质中进行了润湿性试验, 结果分别如图 3~5 所示。

由图 3 可以看出, 使用 0.1% 的不同表面活性

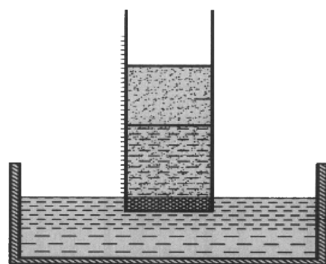


图2 毛细管上向渗透湿润实验装置

Fig. 2 Experimental device of capillary upward seepage wettability

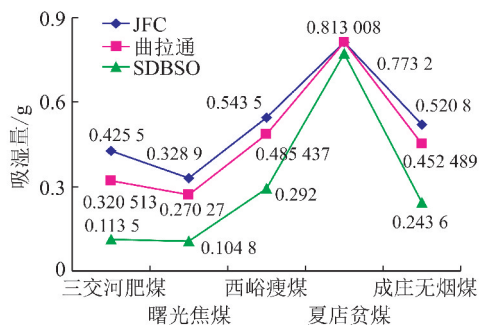


图3 浓度 0.1% 的表面活性剂对煤尘的润湿性

Fig. 3 Effect of 0.1% surfactant on coal dust wet performance 剂, 夏店煤尘的润湿性最好, 其次分别是西峪瘦煤、成庄无烟煤和三交河肥煤, 曙光焦煤的润湿性最差。由图 4 可以看出, 在矿井水、自来水和蒸馏水中加入 0.1% 的曲拉通时, 不同煤尘的润湿性与上述情况类似。由图 5 可以看出, 在矿井水、自来水和蒸馏水中加入 0.1% 的 JFC 时, 成庄煤尘的润湿性有所改善。

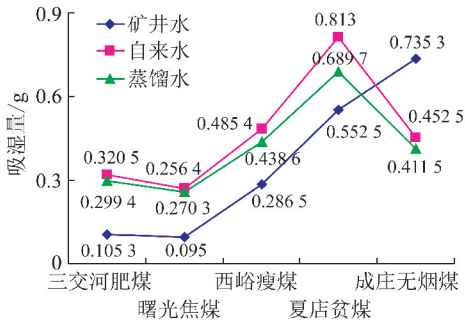


图4 浓度0.1%曲拉通在不同水介质下煤尘的润湿性

Fig. 4 Coal dust wettability of 0.1% Triton in different water medium

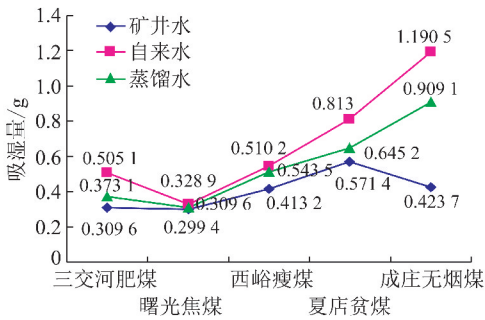


图5 浓度0.1%JFC在不同水介质下煤尘的润湿性

Fig. 5 Coal dust wettability of 0.1% JFC in different water medium

3 煤尘润湿性和煤尘表面官能团以及煤质参数间的关联

将上述煤尘润湿性数据(利用0.1%的JFC在水介质中的吸湿数据)与煤尘的表面官能团的吸收峰数值以及煤质数据进行关联,发现煤尘吸湿量和许多吸收峰以及煤质参数之间存在相关关系,特别发现煤尘吸湿量和800 cm⁻¹处的吸收峰强度以及煤尘固定碳值间的相关性较高,相关系数均超过0.90。其中煤尘吸湿量和800 cm⁻¹处的吸收峰强度间的相关关系为: $y = 0.016x^2 - 0.459x + 3.243$, 相关系数 $R^2 = 0.927$, 其中, y 为煤尘吸湿量, x 为煤尘在800 cm⁻¹处的吸收峰强度,如图6所示。

从图6可以看出,煤尘吸湿量随煤尘在800 cm⁻¹处的吸收强度增加而降低,但是当吸收强度超过一定值之后,煤尘吸湿量则随吸收强度的增加而增大。

煤尘吸湿量与固定碳间的相关关系为 $y = 0.0005x^2 - 0.041x + 1.0433$, 相关系数 $R^2 = 0.906$ 。其中, y 为煤尘吸湿量, x 为煤尘的固定碳含量,如图7所示。从图7中可以看出,随着煤尘固定碳含量增加,吸湿量略有降低,但是当固定碳达到一定值后,煤尘吸湿量则随固定碳的增加而增大。

这说明,煤尘中有机大分子结构(以固定碳含量

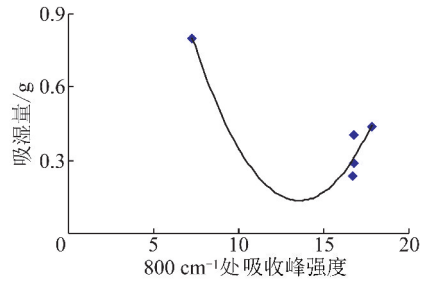


图6 吸湿量与800 cm⁻¹处吸收峰值间的相关关系

Fig. 6 Correlation of moisture absorption and absorption peak at 800 cm⁻¹

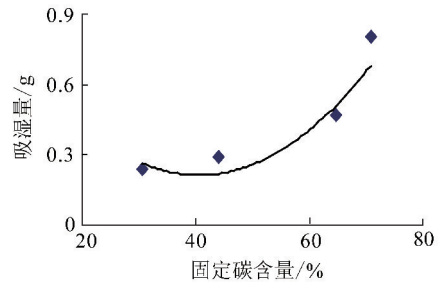


图7 吸湿量和固定碳的相关性

Fig. 7 Correlation of moisture absorption and fixed carbon

为代表的相对疏水组成)以及煤尘的表面官能团,尤其是煤尘表面的无机矿物质官能团(以石英 Si—O—Si 为代表的相对亲水组成),决定和影响煤尘的润湿性质。也就是说,煤尘润湿性是煤尘中亲水组成和疏水组成相互作用、相互影响的综合体现。

4 结论

(1)可以通过煤尘的煤质分析以及红外光谱分析,快速进行煤尘的润湿性表征和研究。

(2)煤尘的表面官能团,尤其是 FTIR 图谱上800 cm⁻¹处的伸缩振动吸收峰值与煤尘的润湿性之间有比较密切的相关关系。煤尘吸湿量与800 cm⁻¹处伸缩振动吸收峰值间的相关关系式为 $y = 0.016x^2 - 0.459x + 3.243$, 相关系数 $R^2 = 0.927$ 。

(3)煤尘的固定碳含量与煤尘润湿性之间有比较密切的相关关系。煤尘吸湿量与煤尘固定碳值间的相关关系式为 $y = 0.0005x^2 - 0.041x + 1.0433$, 相关系数 $R^2 = 0.906$ 。

参考文献:

[1] 刘 军,周蒲生,汤继昌.综采工作面短壁高压短时注水的应用效果分析[J].煤矿安全,1999(7):55-57.
Liu Jun, Zhou Pusheng, Tang Jichang. Application efficiency analysis of short wall, high pressure and short duration water injection in mechanized face[J]. Safety in Coal Mines, 1999(7):55-57.

[2] 黄声树.我国煤炭粉尘防治技术的现状及进展[J].煤炭工程

- 师,1998(3):13-15.
- Huang Shengshu. Current situation and progress of coal dust prevention and control techniques in China[J]. Coal Engineer,1998(3):13-15.
- [3] Wu C. A comprehensive survey of chemical dust suppressants in the world over the last 15 years[A]. Proc. of the 2 Int. Symp. on Safety Sci. & Tech. (2000 ISSST)[C]. Beijing,2000:705-717.
- [4] 李战军. 水预湿降低爆破粉尘机理初探[J]. 煤炭科学技术,2004,32(6):68-70.
- Li Zhanjun. Discussion on blasting dust reduction mechanism with pre-watering[J]. Coal Science and Technology,2004,32(6):68-70.
- [5] 郭胜均,张设计,吴百剑,等. 气幕控尘模拟试验研究[J]. 矿业安全与环保,2005,32(1):11-13.
- Guo Shengjun, Zhang Sheji, Wu Baijian, et al. Simulating test and study of dust control by air curtain[J]. Mining Safety & Environmental Protection,2005,32(1):11-13.
- [6] 李德文. 粉尘防治技术的最新进展[J]. 矿业安全与环保,2000,27(1):10-13.
- Li Dewen. Development of dust prevention and control techniques [J]. Mining Safety & Environmental Protection,2000,27(1):10-13.
- [7] 隋金君,胥奎. 湿式旋流除尘中呼吸性粉尘除尘效率与风速关系的探讨[J]. 矿业安全与环保,2004,31(6):34-35.
- Sui Jinjun, Xu Kui. Probing into relationship between dust removal efficiency and air velocity of wet cyclone dust collector[J]. Mining Safety & Environmental Protection,2004,31(6):34-35.
- [8] 王开松. 综采工作面的煤尘综合防治[J]. 煤炭科学技术,2005,33(1):48-50.
- Wang Kaisong. Comprehensive coal dust control of fully mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology,2005,33(1):48-50.
- [9] Orumwense F S. Estimation of the wettability of coal from contact angles using coagulants and Flocculants[J]. Fuel,1998,77(9-10):1107-1111.
- [10] James O Glanville, Leighton H Haley. Studies of coal dust wetting by surfactant solutions [J]. Colloids and Surfaces,1982,4(3):209-212.
- [11] James O Glanville, James P Wightman. Wetting of powdered coals by alkanol-water solutions and other liquids [J]. Fuel,1980,59(8):557-562.
- [12] Howard W Kilau, John E Pahlman. Coal wetting ability of surfactant solutions and the effect of multivalent anion additions[J]. Colloids and Surfaces,1987,26:217-242.
- [13] Howard W Kilau, Jon I Voltz. Synergistic wetting of coal by aqueous solutions of anionic surfactant and polyethylene oxide polymer[J]. Colloids and Surfaces,1991,57(1):17-39.
- [14] 村田逞论. 煤的润湿性研究及应用[M]. 朱春笙,龚祯祥,译. 北京:煤炭工业出版社,1992.
- [15] 吴超. 化学抑尘[M]. 长沙:中南大学出版社,2003.
- Wu Chao. Chemically suppressing dust [M]. Changsha: China South University Press,2003.
- [16] 解兴智,傅贵. 煤润湿性测量方法的探讨[J]. 煤炭科学技术,2004,32(2):65-68.
- Xie Xingzhi, Fu Gui. Discussion on coal wettability measuring method[J]. Coal Science and Technology,2004,32(2):65-68.
- [17] 李满. 表面活性剂促进煤尘润湿的作用研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2008.
- Li Man. Research on surfactant promoting coal dust wettability [D]. Beijing:China University of Mining & Technology (Beijing),2008.
- [18] 杨静,谭允祯,顾景梅,等. 动态接触角测定法研究润湿剂对煤尘的润湿性能[J]. 煤矿安全,2008(12):7-10.
- Yang Jing, Tan Yunzhen, Gu Jingmei, et al. Research of wet agent on coal dust wettability by dynamic contact angle measuring method [J]. Safety in Coal Mines,2008(12):7-10.
- [19] 徐海宏,李满,舒新前,等. 煤尘润湿性能测试技术分析[J]. 煤炭科学技术,2009,37(10):47-49.
- Xu Haihong, Li Man, Shu Xinqian, et al. Analysis of coal dust wettability testing techniques[J]. Coal Science and Technology,2009,37(10):47-49.
- [20] 翁诗甫. 傅里叶变换红外光谱仪[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- Weng Shifu. Fourier transform infrared detector [M]. Beijing: Chemical Industry Publishing House,2005.
- [21] 谭天译. 工业粉尘理化性质的测定方法[M]. 北京:化学工业出版社,1988.
- Tan Tianyi. Measuring methods for physio-chemical properties of industrial dust [M]. Beijing: Chemical Industry Publishing House,1988.