

柿庄南煤层气富集主控因素及开发潜力分析

郭广山,邢力仁

(中海油研究总院 新能源研究中心,北京 100028)

摘要:基于煤层气富集主控因素及开发潜力,对柿庄南区块进行详细解剖。从沉积环境、水文地质条件、地质构造等3个方面对柿庄南区块煤层气富集的主控因素进行分析,此外,还通过研究柿庄南煤储层参数,分析了煤层气的开发潜力。结果表明,3号煤层顶底板以厚层泥岩为主,15号煤层顶板为大套灰岩沉积,封闭性较好,均有利于煤层气的保存;区内地下水由高势能的东南部向低势能的西北方向顺层流动,煤层气在水力运移作用下发生解吸、扩散,并形成一定程度的富集;封闭性较好的寺头断层可以作为煤层气富集的侧向边界,使得断层东部气体含量升高。3号和15号煤层厚度较大,煤级较高,埋深适中,含气量、含气饱和度较高,均有利于煤层气的开发;而煤储层渗透率较低,且受最小主应力影响较大,采取压裂措施时应当避免应力异常高值区。

关键词:煤层气;柿庄南;沉积环境;水文地质;地质构造;渗透率

中图分类号:P618.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-6772(2015)04-0117-05

Primary geological controlling factors of coalbed methane enrichment and its exploration potential in Southern Shizhuang Block

GUO Guangshan, XING Liren

(New Energy Research Center, China National Offshore Oil Corporation Research Institute, Beijing 100028, China)

Abstract: The Southern Shizhuang block was analysed in details on the base of coalbed methane (CBM) enrichment controlled factors and exploration potential in the paper. Firstly, the main control factors of CBM enrichment were analyzed from the aspects of sedimentary environment, hydrogeological conditions and geological structure. The results showed that, the roof and floor of No. 3 coal seam were mainly composed of thick mudstone. The roof of No. 15 coal seam was huge thick limestone deposition. The sealing ability was good, and it was good to CBM preservation. In the study area, the groundwater flowed from the southeast of high potential energy to the northwest of low potential energy. CBM desorption and diffusion happened under the influence of hydraulic migration. CBM was enriched to some extent. Sitou fault of good sealing ability could be used as the lateral boundary of CBM enrichment. The gas content in the east of the fault increased. At last, CBM exploration potential was analyzed based on coal reservoir parameters. It was promising to exploit CBM in No. 3 and No. 15 coal seams because of the thick seam, high coal rank, moderate burial depth, high CBM content and gas saturation. However, the permeability of coal reservoir was relatively low, and it was greatly influenced by the minimum principal stress. The abnormally high stress area should be avoided when taking fracture measures.

Key words: coalbed methane; Southern Shizhuang Block; sedimentary environment; hydrogeology; geological structure; permeability

0 引 言

我国2011年煤层气产量首次突破百亿立方米,标志着煤层气产业进入了高速发展的初期阶段^[1]。我国煤层气勘探和开采经过20余年的探索,已经取

得了丰硕的成果,提高了煤层气勘探开发效益^[2]。虽然我国煤层气资源量巨大,但多数资源在现有开发技术水平下难以利用,开发规模的提升速度和程度依赖于勘探与开发技术的支撑。我国地质构造运动频繁,煤盆地的后期构造破坏严重,盆地原型及构

收稿日期:2014-09-23;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.04.030

作者简介:郭广山(1982—),男,河北沧州人,工程师,博士,从事非常规油气地质方面的研究工作。E-mail:guogsh2@cnooc.com.cn

引用格式:郭广山,邢力仁. 柿庄南煤层气富集主控因素及开发潜力分析[J]. 洁净煤技术,2015,21(4):117-121.

GUO Guangshan, XING Liren. Primary geological controlling factors of coalbed methane enrichment and its exploration potential in Southern Shizhuang Block[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(4): 117-121.

造样式复杂多样^[3]。研究煤层气富集控制因素对煤层气的开采具有重要的意义。笔者以沁水盆地东南部柿庄南区块为例,对煤层气富集主控因素进行研究,并通过研究煤储层地质特征,对煤层气开发潜力进行分析。

1 区域地质背景

柿庄南区块位于沁水盆地东南部,行政区划属于高平市与沁水县管辖。地质构造上位于沁水盆地东南部向西北倾的斜坡带上,西部发育 NE 向展布的寺头断层。区块东南部发育一系列的褶皱构造,主要有南庄向斜、上梁背斜等^[4]。该区自下而上发育奥陶系,中石炭统本溪组、太原组,下二叠统山西组、下石盒子组,上二叠统上石盒子组、石千峰组以及第四系等地层,其中山西组的 3 号煤层与太原组的 15 号煤层在区块内广泛展布,厚度较大且埋深适中,有利于煤层气的勘探与开发。

2 煤层气富集的主控因素

2.1 沉积环境

沉积作用在很大程度上决定了煤层气生成的物质基础、煤储层与盖层的几何特征以及物性,并通过煤层与围岩之间组合关系、煤层厚度等影响到煤层气的保存条件^[5]。在柿庄南主要含煤地层中,山西组为发育于陆表海沉积背景之上的三角洲沉积,太原组为海陆交互相沉积,2套地层在本区内广泛分布,形成了较厚的 3 号煤层(3.34~7.6 m)和 15 号煤层(3.1~10.5 m)。煤层厚度越大,煤层气资源量越多,相同条件下的产气量也越高,有利于煤层气的长期稳定开采。

对于围岩来说,其条件好坏主要取决于煤层顶底板岩性、厚度及封闭性。顶底板岩性越致密,厚度越大,则封闭性越好,越有利于煤层气的保存与富集;反之,则易于造成煤层气的逸散。柿庄南区块 3 号煤层顶底板以泥岩为主(图 1),多在 10 m 以上,局部为细、中粒砂岩,封闭条件较好,煤层气含量平均在 $8 \text{ m}^3/\text{t}$ 以上;15 号煤层顶板以大套灰岩为主,溶蚀性灰岩发育较少,且岩层厚度较大,因而对煤层气藏的破坏作用较小,含气量不低于 $11 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

2.2 水文地质条件

煤层气主要以吸附状态赋存在煤的孔隙中,水文地质条件既能使其发生逸散,又能使其富集成藏,总体上可以分为 3 种作用类型,包括水力

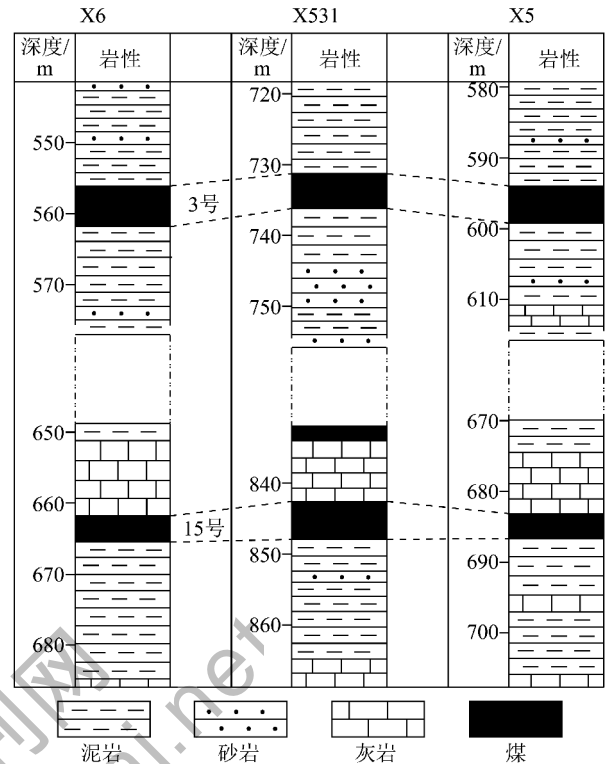


图1 柿庄南3号和15号煤层顶底板岩性

运移逸散作用、水力封闭控气作用和水力封堵控气作用^[6]。其中后 2 种作用类型有利于煤层气的保存,而水力运移逸散作用可导致煤层气的溶解与散失,使得气体在地下水的流动作用下,脱离煤层的吸附而溶解于水中,沿水流方向发生顺层运移。

柿庄南区块地下水埋藏较深,受外部水动力影响较弱。地下水流动缓慢,基本为单向流动^[7]。在重力作用下,地下水由高势能的东南部向低势能的西北方向顺层流动,使得含水层矿化度沿水流方向具有逐渐增加的趋势。煤层气在水力运移作用下解吸、溶解,并向西北方向发生聚集,在含水层矿化度较高的滞留区,煤层气含量较高。

2.3 地质构造条件

煤层形成后,受构造运动控制,会经历多次抬升或沉降。在此过程中,煤层经历不同的演化阶段而生成煤层气。受构造演化回返早晚、抬升幅度的影响,煤层气保存条件有所不同。回返抬升时间晚且短,煤层气散失的时间就短,对煤层气藏的保存就越有利^[8]。对于长时间处于隆起受剥蚀的地区,煤层气沿着裂隙等运移通道散失,煤层气含量降低。

对于背斜构造,两翼受挤压应力作用,压力分布相对均匀,封闭性较好,有利于煤层气赋存。核部张

性裂隙发育,煤层气容易发生逸散^[9];而向斜核部表现为强烈的挤压应力,对于煤层气封存有利^[10];断层构造对于煤层气的富集成藏也至关重要,张性断层具有强开放性,煤层气易于解吸而散失^[11],挤压性断层由于挤压作用形成封闭断层面,使煤层气易于保存下来。

柿庄南区块构造简单,区内发育的地质构造主要为西部的寺头断层与东南部的小型褶皱。东南部

的褶皱构造对含气量的影响相对较小,总体上宽缓背斜部位有利于聚气,两翼较陡的向斜与背斜轴部气体较易散失。寺头断层是一条封闭性断层,导气、导水能力极差^[7]。煤层气在水力运移作用下由东南部的径流区向西北方向扩散,在遇到断层处的水力滞流封闭区时,较高的静水压力对煤层气产生封堵作用,有利于煤层气的保存、富集,使该区域内煤层气含量升高(图2),平均在 $16\text{ m}^3/\text{t}$ 以上。

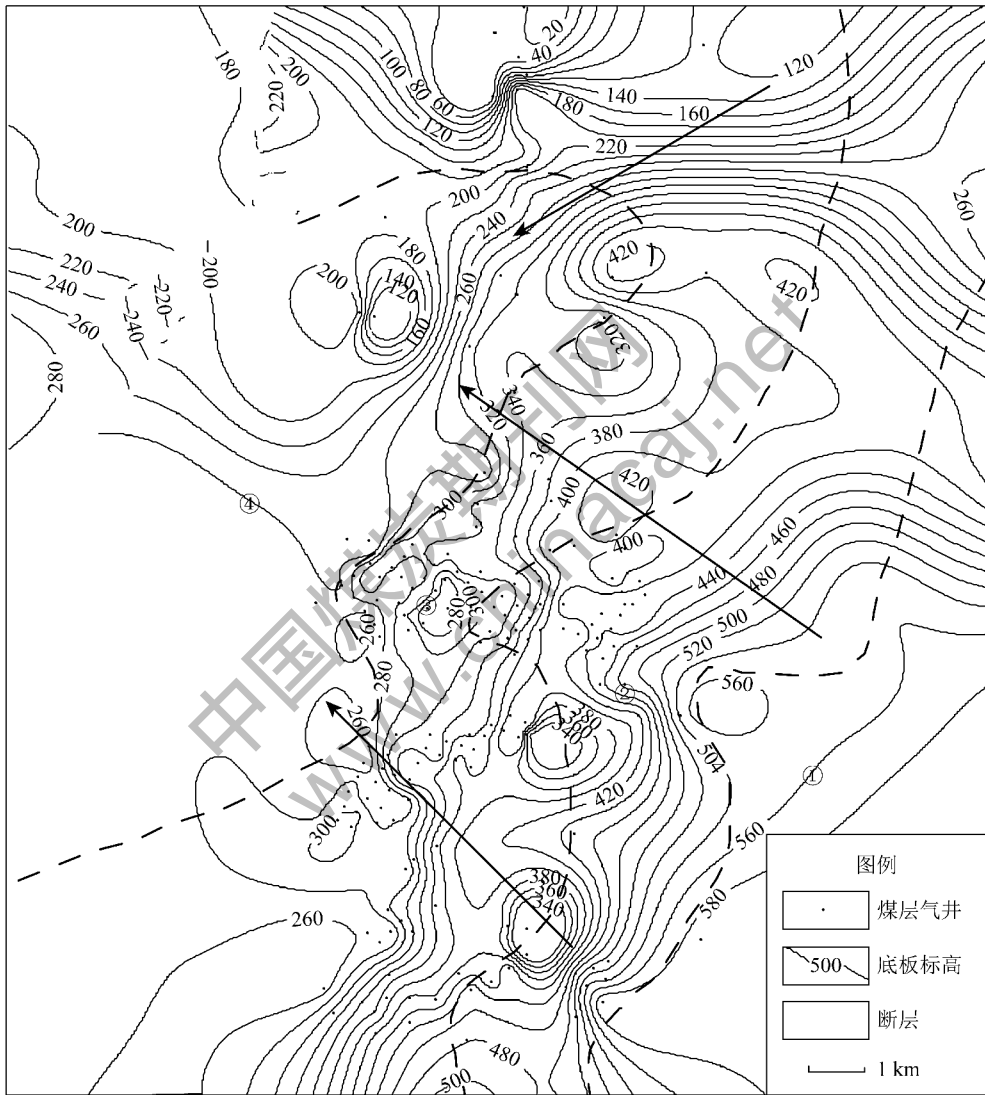


图2 寺头断层对煤层气含量的控制作用

3 煤层气开发潜力分析

煤层气的储集机制比常规天然气复杂得多,其影响因素多样而相互联系。娄剑青^[12]认为影响煤层气产量的主要因素是煤层渗透率、煤厚及含气量;倪小明等^[13]认为基于同一地区煤层含气量、含气饱和度和地下水补给情况、煤厚等基本相同的前提下,

渗透率对煤层气垂直井产气量影响最大;陶树等^[14]分析了影响沁南煤层气井产能变化的多种因素,得出煤层埋深及地下水动力条件、含气量以及气井所处的构造部位是影响该区煤层气井产能的主控地质因素。

本文对柿庄南煤储层地质特征进行研究,得出该区块的有利储层参数见表1。

表1 柿庄南区块煤储层地质特征参数

煤层	含气量/($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	甲烷含量/%	兰氏体积/($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	平均含气饱和度/%	$R_{o,\max}/\%$	储层温度/ $^{\circ}\text{C}$
3号	7.50~9.13	91.18~93.31	26.91~36.71	69.44	2.95~3.41	20.5~23.0
15号	11.32~15.44	92.75~94.66	32.37~37.89	60.96	2.61~3.09	23.0~23.5

1) 煤层含气性较好,3号煤层平均含气量 $8.24 \text{ m}^3/\text{t}$ 、甲烷含量占92.16%、含气饱和度69.44%;15号煤层平均含气量 $14.12 \text{ m}^3/\text{t}$ 、甲烷含量占93.82%、含气饱和度60.96%。较高的含气量与含气饱和度有利于煤层气井的高产稳产。

2) 煤的镜质组反射率较高,3号煤层最大镜质组反射率平均为3.18%,15号煤层为2.82%,表现为煤层吸附气体的能力较强,吸附量较大。

3) 煤层稳定发育,厚度较大,3号煤层厚度平均为6.2 m,15号煤层厚平均为4.53 m,厚层煤岩是煤层气富集的物质基础,也是勘探开发的优选层位。

4) 煤层埋藏适中,基本处于1000 m以下,有利于开采,3号煤层埋深主要介于450~850 m,15号煤层埋深主要为550~900 m。

5) 储层温度有利于煤层气开发,3号煤层平均储层温度为 $21.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$,15号煤层为 $23.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$,在有利开发深度(300~600 m)范围内,储层温度变化一般为 $18 \sim 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

在柿庄南区块,较低的渗透率是影响煤层气产量的主要因素,平均低于1 mD,其中3号煤层试井渗透率为 $0.01 \sim 0.46 \text{ mD}$,15号煤层试井渗透率为 $0.03 \sim 0.807 \text{ mD}$ 。显微裂隙以B型(宽度 $W \geq 5 \mu\text{m}$ 且长度 $L < 10 \text{ mm}$)为主,A型裂隙(宽度 $W \geq 5 \mu\text{m}$ 且长度 $L \geq 10 \text{ mm}$)较少,且连通性一般,从而使煤储层渗透率较差。区内煤岩类型以光亮型、半亮型为主(表2),煤体结构以原生结构和碎裂结构为主。经过压裂的原生结构煤将会改善煤岩渗透性,而碎裂结构煤的裂隙相对发育,有利于煤层气的开采。

表2 柿庄南区块煤岩类型和裂隙发育

煤层	样品编号	深度/m	煤岩类型	煤体结构	裂隙密度	光泽
3号	X3-1	767.93~768.18	光亮型	碎裂结构	8~12条/5 cm	金刚光泽
	X3-2	597.99~598.24	光亮型	碎裂结构	6条/5 cm	似金属光泽
	X3-3	559.85~560.15	半亮型	原生结构	较发育	强玻璃光泽
15号	X15-1	854.80~855.05	光亮型	碎裂结构	5~8条/5 cm	金刚光泽
	X15-2	684.57~684.82	光亮型	碎裂结构	7条/5 cm	似金属光泽
	X15-3	662.88~663.18	半暗型	碎裂结构	煤体破碎	玻璃光泽
	X15-4	663.90~664.20	光亮型	碎裂结构	3~7条/5 cm	强玻璃光泽

本区内,最大主应力方向平行于煤储层主裂隙方向,所以渗透率主要受控于最小主应力的变化情况(图3)。当最小主应力小于12 MPa时,随着应力的增大,渗透率下降速率较快,当应力进一步增加时,渗透率下降速率趋缓。

图4为柿庄南3号煤层最小主应力分布图,北部应力值较高,排采过程中渗透率所受影响较大,容易造成裂缝闭合而使渗透率减小。中部向斜的发育使得构造因素的影响作用增大,从而在向斜轴部地区的X332井和W387井附近出现了应力的异常高值区,不利于煤层气的开采。中南部地区应力值较向斜轴部由较大的降低趋势,主要介于8~14 MPa,为应力值最小的分布区,也是对储层物性影响最弱

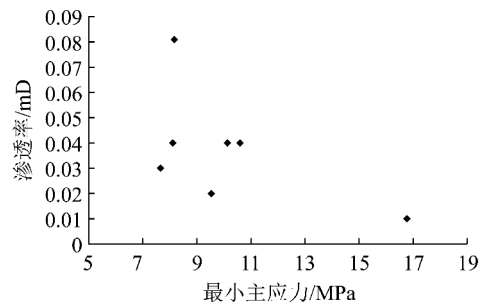


图3 最小主应力对渗透率的影响作用

的地区。

4 结 语

煤层气的富集成藏受多种地质因素的控制,其中沉积环境、水文地质条件、地质构造对煤层气的富

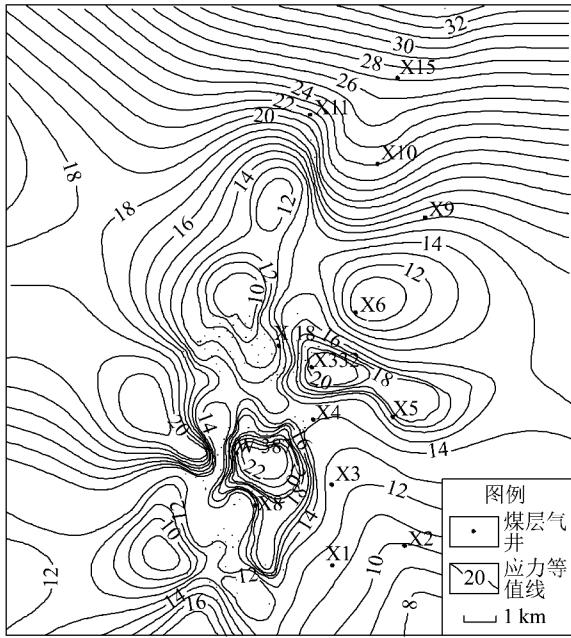


图4 柿庄南3号煤层最小主应力分布特征

集影响较大。通过研究分析,得出稳定的聚煤沉积环境和封闭的水动力系统有利于煤层气的保存。而煤层气的局部富集则受控于地质构造条件,封闭性较好的断层可以作为煤层气富集成藏的侧向边界,使得气体含量升高。通过研究柿庄南区块煤储层地质条件,对煤层气开发潜力进行了分析。该区煤层厚度较大,埋深适中,含气量、含气饱和度较高,煤岩变质程度高,储层温度适中,均有利于煤层气的开发。然而煤储层渗透率较低,且受最小主应力影响较大,不利于煤层气井的高产稳产,可以选取应力值范围适宜的区域,通过采取压裂措施改善煤储层地质条件,提高产气量。

参考文献:

[1] 秦勇,袁亮,胡千庭,等.我国煤层气勘探与开发技术现状及发展方向[J].煤炭科学技术,2012,40(10):1-6.
 [2] 翟光明,何文渊.中国煤层气赋存特点与勘探方向[J].天然气工业,2010,30(11):1-3.
 [3] 孙茂远,杨陆武.开发中国煤层气资源的地质可能性与技术可行性[J].煤炭科学技术,2001,29(11):45-46.
 [4] 孙强,孙建平,张健,等.沁水盆地南部柿庄南区块煤层气地质特征[J].中国煤炭地质,2010,22(6):9-12.
 [5] 秦勇,傅雪海,岳巍,等.沉积体系与煤层气储盖特征之关系探讨[J].古地理学报,2000,2(1):77-84.
 [6] 叶建平,武强,王子和.水文地质条件对煤层气赋存的控制作用[J].煤炭学报,2001,26(5):459-462.
 [7] 王红岩,张建博,刘洪林.沁水盆地南部煤层气藏水文地质特征[J].煤田地质与勘探,2001,29(3):33-36.

[8] 宋岩,秦胜飞,赵孟军.中国煤层气成藏的两大关键地质因素[J].天然气地球科学,2007,18(4):545-553.
 [9] 桑树勋,范炳恒,秦勇,等.煤层气的封存与富集条件[J].石油与天然气地质,1999,20(2):104-107.
 [10] 李贵中,王红岩,吴立新,等.煤层气向斜控气论[J].天然气工业,2005,25(1):26-28.
 [11] 李梦溪,刘庆昌,张建国,等.构造模式与煤层气井产能的关系:以晋城煤区为例[J].天然气工业,2010,30(11):10-13.
 [12] 娄剑青.影响煤层气井产量的因素分析[J].天然气工业,2004,24(4):62-64.
 [13] 倪小明,苏现波,魏庆喜,等.煤储层渗透率与煤层气垂直井排采曲线关系[J].煤炭学报,2009,34(9):1194-1198.
 [14] 陶树,汤达祯,许浩,等.沁南煤层气井产能影响因素分析及开发建议[J].煤炭学报,2011,36(2):194-198.

(上接第116页)

[5] Fernández-Jiménez A, Torre A G, Palomo A, et al. Quantitative determination of phases in the alkali activation of fly ash. Part I: potential ash reactivity[J]. Fuel, 2006, 85(5): 625-634.
 [6] 曹超,彭同江,孙红娟,等.热处理温度对CaO-Al₂O₃-SiO₂系粉煤灰微晶玻璃析晶及性能的影响[J].非金属矿,2013(4):5-8.
 [7] 黄继武,李周.多晶材料X射线衍射:实验原理、方法与应用[M].北京:冶金工业出版社,2012.
 [8] 钱觉时,王智,吴传明.粉煤灰的矿物组成(中)[J].粉煤灰综合利用,2001(2):37-41.
 [9] Matsunaga T, Kim J K, Hardcastle S, et al. Crystallinity and selected properties of fly ash particles[J]. Materials Science and Engineering A, 2002, 325(1): 333-343.
 [10] 刘忠,阎维平,高正阳.煤颗粒在快速升温过程中非傅立叶导热效应的计算研究[J].中国电机工程学报,2002,22(9):141-145.
 [11] 邵靖邦,邵绪新,王祖訥.煤中矿物成分对粉煤灰性质的影响[J].煤炭加工与综合利用,1996(6):37-41.
 [12] 王文龙,骆仲泱,施正伦,等.煤粉高掺钙燃烧时煤灰矿物形成机理的热力学分析[J].中国电机工程学报,2005(18):116-120.
 [13] 白向飞,李文华,陈文敏,等.我国西部弱还原程度煤分布及煤质特征研究[J].煤炭学报,2005,30(4):502-506.
 [14] 钱觉时,纪宪坤,范英儒,等.粉煤灰中的含钙矿物及其影响[J].重庆建筑大学学报,2008(5):148-152.
 [15] 邵龙义,陈江峰,王玉珍,等.准格尔电厂炉前煤矿物组成及其对高铝粉煤灰形成的贡献[J].煤炭学报,2007,32(4):411-415.
 [16] 苏秋成,陈佩丽,张少鸿,等.勃姆石热转化过程的原位表征与分析[J].无机化学学报,2012(11):2280-2284.
 [17] 赵蕾,代世峰,张勇,等.内蒙古准格尔燃煤电厂高铝粉煤灰的矿物组成与特征[J].煤炭学报,2008,33(10):1168-1172.