

鄂尔多斯盆地优质煤资源分布及有利区块

顾广明, 李小彦, 晋香兰

(煤炭科学研究总院 西安分院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 以鄂尔多斯盆地侏罗纪煤炭资源为研究对象, 在系统分析煤基本性质的基础上, 确定该盆地优质煤的定义。根据近年鄂尔多斯盆地勘探及聚煤规律研究成果, 依据定义确定优质煤主要分布在东胜、榆横、大保当、马家滩、神北、灵武、彬长、华安、黄陵、汝箕沟 10 个煤矿区和鄂托克旗、杭锦旗、盐池、靖定、环县、庆阳、旬东 7 个预测区, 统计含煤面积达 $11.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 总资源量 $1.44 \times 10^{12} \text{ t}$ 。选择含煤面积、资源丰度、资源量指标对鄂尔多斯盆地优质煤资源进行评价, 划分出最有利、有利、较有利、一般区块, 绘制了鄂尔多斯盆地优质煤资源评价分区图。

[关键词] 优质煤; 资源分布; 有利区块; 鄂尔多斯盆地

[中图分类号] P618.11 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6561(2006)04-0026-05

Resource Distribution and Available Block of High Quality Coal in Ordos Coal Basin

GU Guang ming, LI Xiao yan, JIN Xiang lan

(Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: After studying the high quality coal resource and its properties in the Ordos coal basin, the definition of high quality coal is given. According to research results on explorations and coal accumulations in the Ordos coal basin, the distribution range of the high quality coal is determined which includes ten coal mines, i. e., Dongsheng, Yuheng, Dabaodang, Majiatan, Shenbei, Lingwu, Binchang, Hua'an, Huangling and Rujigou, and seven prediction areas, i. e., Otog, Hanggin, Yanchi, Jingding, Huanxian, Qingyang and Xundong. The total distribution area of high quality coal is $11.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ and the resource amount is $1.44 \times 10^{12} \text{ t}$. Three indicative index, including the coal area, the abundance and the amount of the coal resource are chosen to evaluate the high quality coal resource of the Ordos coal basin and the whole area is divided into four different levels, that is, the most available, the available, the less available and the ecumenic block. The distribution map of the evaluation on the high quality coal resource of the Ordos coal basin is drawn.

Key words: high quality coal; resource distribution; available block; Ordos coal basin

0 引言

人类对地球环境问题的关注, 引发对于煤炭资源开发战略的思考。国家十五规划指出, 优化能源结构, 提高利用效率, 加强环境保护, 以煤炭为基础

能源, 提高优质煤的比重。专家呼吁促使洁净煤技术产业化、有序开发西部优质煤炭资源、重视优质煤资源特性研究^[1-3]。中国优质煤主要形成于早中侏罗世, 占优质煤总量的 90%, 几乎全部分布在甘青宁新和晋陕蒙西规划区^[4]。鄂尔多斯盆地是中国最大的聚煤盆地, 也是优质煤的主要聚集地。

[收稿日期] 2006-01-20

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划项目(2003CB214602); 国家十五重点科技攻关项目(2003BA612A-11); 科技部科研院所社会公益研究专项项目(2005DIB5J212)

[作者简介] 顾广明(1954-), 男, 安徽寿县人, 高级工程师, 从事煤田地质与环境保护研究。

近20年,鄂尔多斯聚煤盆地研究取得了丰硕成果,张泓等^[5-9]应用活动论观点,系统总结了盆地地球物理场和深部构造背景、不同大地构造单元区域地质和构造样式、构造古地理、构造演化、构造作用及岩相古地理与聚煤作用的关系,认为燕山期构造格局控制着侏罗纪煤的聚集。钱丽君等^[10-12]对早中侏罗世延安组含煤地层及旋回结构进行了详细划分,李思田等^[13-14, 7]运用层序地层学方法,以无机沉积作用区域性废弃的主煤层和湖泊最大扩张期湖泛面为界面,把富县组和延安组划分为5段、13个小层序、6个小层序组、3个体系域。有关侏罗纪煤的煤岩煤质、煤变质规律、煤中微量元素分布、煤的物理化学和工艺性能、煤的分子结构等也有研究报道^[15-20]。煤的低灰、低硫、低磷特性,为煤炭的洁净、高效利用奠定了基础,引起国家重视,规划在鄂尔多斯盆地展开科技攻关,研究优质煤的自然属性、资源分布、安全开采、高效利用战略问题,为西部大开发决策提供科学依据。

1 优质煤的定义

优质煤的概念不同学者由于研究目的不同有各自的界定。毛节华^[21]提出“灰分、硫分较低,可选性好,工艺性能优越,符合某种特定工业用煤质量的煤为优质煤”。袁三畏^[22]根据煤类、煤的灰分、硫分、发热量、可选性指标把中国煤炭资源划分为优质煤、中质煤、低质煤,认为“灰分在15%左右、硫分小于1%、发热量大于22.5 MJ/kg的易选、中等可选煤可作为优质煤”。

笔者从地质及采矿学角度出发,定义优质煤“系指自然条件下赋存的低灰小于15.0%、低硫小于1.0%、低磷小于0.05%的煤炭资源,是简单的可供加工利用的天然原料”,以其品质优良的自然属性与经过工艺流程或技术加工而成的配煤或洁净煤相区分。此定义更突出煤炭资源本身的自然属性的重要性,不受成煤时期、聚集地域、演化阶段、工业用途等外部条件的限制,便于矿产勘探和开采利用。

2 优质煤性质及资源分布

2.1 优质煤基本特征

鄂尔多斯盆地侏罗纪延安组含5个煤组,每个

煤组有一主要可采煤层(1^{-2} 煤、 2^{-2} 煤、 3^{-1} 煤、 4^{-2} 煤、 5^{-2} 煤),根据以往研究成果^[7, 10-11, 15-19]及本次采样测试分析,对主采煤层煤质分析结果系统研究,厘定盆地优质煤的基本性质如表1。

表1表明,鄂尔多斯盆地绝大多数矿区侏罗纪煤的灰分、硫分、磷分均在定义划定的界限内,属于优质煤范畴。

2.2 优质煤的时空分布

盆地优质煤的时空分布,在盆地南缘的华安、黄陵、彬长一带为延安组下段含煤,发育5~4煤组;盆地西缘和中部的汝箕沟、灵盐一带为延安组中下段含煤,发育5~2煤组;盆地北部东胜、神木一带整个延安组5个煤组均发育(表1)。除现有开发的煤矿区,大部分优质煤资源分布在目前勘探的预测远景区。

2.2.1 勘探开发区

(1)汝箕沟矿区:该区包括大风沟、白茆沟、汝箕沟3个井田和二道岭勘探区,含煤面积86.5 km²,其中探明面积45.5 km²,资源丰度 $1\,452\times 10^4$ t/km²,资源量 12.6×10^8 t。主要为延安组中下段2~5煤组发育,煤层厚度大稳定,为低-低中灰、特低硫、特高发热量、工艺性能好的高煤级烟煤和无烟煤。

(2)灵武矿区:该区包括鸳鸯湖、碎石井、磁窑堡、积家井矿区,含煤面积724.9 km²,资源丰度 $1\,795\times 10^4$ t/km²,资源量 130.1×10^8 t。延安组中下段含煤,有18个可采煤层,为中厚煤层,分布稳定-较稳定,为低灰、低硫、特低-低磷、高-特高发热量、工艺性能好的不粘煤和长焰煤。

(3)马家滩矿区:该区含煤面积943.8 km²,其中勘探面积为658.4 km²,资源丰度 $2\,672\times 10^4$ t/km²,资源量 252.2×10^8 t。延安组各段均含可采煤层,多为中厚煤层,较稳定,为低-低中灰、低-低中硫、低磷、高-特高发热量、工艺性能好的不粘煤和部分长焰煤。

(4)华安矿区:该区包括华亭、安口、新窑井田,含煤面积211.8 km²,其中探明面积139.7 km²,资源丰度 $2\,638\times 10^4$ t/km²,资源量 55.9×10^8 t。主要为5煤组,含煤层数多,煤层厚度一般在10 m以上,最厚约60 m,属特厚、结构复杂煤层。煤质为低灰-低中灰、低硫、低磷、高发热量的长焰煤、不粘煤和弱粘煤。

(5)彬长矿区:该区含煤面积1 178.5 km²,资源丰度 737×10^4 t/km²,资源量 86.9×10^8 t。延安

表 1 鄂尔多斯盆地优质煤煤质分析结果

Tab. 1 High Quality Coal Property Result of the Ordos Coal Basin

矿 区	煤层	w(A _d) /%	w(S _{t,d}) /%	w(P _d) /%	煤 种
汝箕沟	2 ⁻¹	7. 11 ~ 7. 14/7. 13(2)	0. 20		无烟煤
	2 ⁻²	7. 44 ~ 8. 97/8. 03(3)	0. 18 ~ 0. 29/0. 23(3)		无烟煤
	3 ⁻¹	8. 50 ~ 11. 28/9. 83(3)	0. 13 ~ 0. 36/0. 28(3)		无烟煤
	4 ⁻²	9. 47 ~ 9. 50/9. 49(3)	0. 31 ~ 0. 48/0. 37(3)		无烟煤
	5 ⁻²	11. 60 ~ 13. 52/12. 41(3)	0. 35 ~ 0. 51/0. 42(3)		无烟煤
灵武	1 ⁻²	8. 43 ~ 11. 09/10. 19(2)	0. 56 ~ 0. 83/0. 70(2)	0. 01	长焰煤、不粘煤
	2 ⁻²	6. 19 ~ 6. 54/6. 37(2)	0. 57 ~ 1. 05/0. 81(2)	0. 01	不粘煤
	3 ⁻¹	7. 62 ~ 8. 26/7. 94(2)	0. 56 ~ 1. 00/0. 78(2)	0. 022 ~ 0. 043	不粘煤
	4 ⁻²	5. 47 ~ 9. 14/7. 98(2)	0. 49 ~ 0. 53/0. 51(2)	0. 010 ~ 0. 042	不粘煤、长焰煤
	5 ⁻²	10. 17 ~ 10. 47/10. 32(2)	0. 29 ~ 0. 46/0. 38(2)	0. 010 ~ 0. 047	不粘煤
马家滩	1 ⁻²	11. 04	1. 20	0. 01	不粘煤
	2 ⁻²	6. 87	0. 93	0. 01	不粘煤
	3 ⁻¹	9. 88	0. 94	0. 022 ~ 0. 043	不粘煤
	4 ⁻²	8. 60	0. 58	0. 010 ~ 0. 042	不粘煤
	5 ⁻²	15. 87	0. 50	0. 010 ~ 0. 047	不粘煤
东胜	1 ⁻²	7. 20 ~ 10. 89/8. 94(10)	0. 38 ~ 1. 00/0. 66(9)	0. 02	不粘煤
	2 ⁻²	4. 79 ~ 8. 73/7. 39(7)	0. 35 ~ 0. 66/0. 46(7)	0. 01	不粘煤、长焰煤
	3 ⁻¹	5. 97 ~ 9. 03/7. 58(4)	0. 36 ~ 0. 75/0. 53(4)	0. 022 ~ 0. 043	不粘煤、长焰煤
	4 ⁻²	4. 80 ~ 12. 76/8. 31(6)	0. 30 ~ 0. 97/0. 48(6)	0. 01(3)	不粘煤、长焰煤
	5 ⁻²	8. 52 ~ 13. 50/11. 13(4)	0. 33 ~ 0. 54/0. 44(4)	0. 05(2)	不粘煤
神北	1 ⁻²	8. 91 ~ 11. 46/10. 19(2)	0. 39 ~ 0. 71/0. 55(2)	0. 01	不粘煤
	2 ⁻²	4. 00 ~ 8. 30/6. 05(5)	0. 36 ~ 0. 56/0. 45(5)	0. 01	长焰煤、不粘煤
	3 ⁻¹	6. 06 ~ 8. 87/7. 91(3)	0. 38 ~ 0. 84/0. 58(3)	0. 01	长焰煤
	4 ⁻²	5. 80 ~ 9. 46/7. 59(4)	0. 24 ~ 0. 35/0. 30(4)	0. 010 ~ 0. 042	不粘煤、长焰煤
	5 ⁻²	4. 19 ~ 9. 50/7. 57(5)	0. 22 ~ 0. 36/0. 30(5)	0. 01	不粘煤
榆横	1 ⁻²	13. 05			长焰煤
	2 ⁻²	11. 73			长焰煤
	3 ⁻¹	9. 74 ~ 10. 62/10. 18(2)			不粘煤、长焰煤
	4 ⁻²	11. 10	0. 88	0. 010 ~ 0. 042	长焰煤
	5 ⁻²	8. 10	0. 47	0. 055 ~ 0. 099	弱粘煤、气煤
大保当	1 ⁻²	11. 50	0. 68	0. 01	不粘煤
	2 ⁻²	7. 21	0. 69	0. 01	长焰煤
	3 ⁻¹	7. 65	0. 45	0. 022 ~ 0. 043	长焰煤
	4 ⁻²	9. 04	0. 40	0. 010 ~ 0. 042	长焰煤
	5 ⁻²	10. 80	0. 43	0. 010 ~ 0. 047	不粘煤
华安	5 ⁻²	9. 87 ~ 13. 49/12. 18(3)	0. 61 ~ 0. 84/0. 69(3)	0. 010 ~ 0. 047	长焰煤、不粘煤
黄陵	4 ⁻²	13. 44 ~ 16. 13/14. 79(2)	0. 62		弱粘煤、气煤
	5 ⁻²	15. 17 ~ 16. 16/15. 67(2)	0. 79	0. 078	
彬长	4 ⁻²	9. 37	1. 47		不粘煤、弱粘煤
	5 ⁻²	12. 23 ~ 16. 36/14. 30(2)	0. 90	0. 045	

注: 表中数据为最小值~最大值/平均值(统计的数目)

组下段含煤, 其中 5⁻² 煤层全区稳定可采, 4⁻² 煤层 发热量、热稳定性好的不粘煤和弱粘煤。
局部可采。煤层厚度大, 为低-中灰、低-低中硫、高 (6)黄陵矿区: 该区含煤面积 1 290. 9 km², 资源

1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

丰度 $174 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $22.5 \times 10^8 \text{ t}$ 。延安组下段含煤, 含煤 8 层, 其中 5^{-2} 煤层全区稳定可采, 4^{-2} 煤层局部可采, 最大厚度约 30 m。煤质为低-低中灰、低-低中硫、中高-高发热量的弱粘煤和气煤。

(7) 榆横矿区: 含煤面积 $10\,868.5 \text{ km}^2$, 其中探明面积 $8\,931.0 \text{ km}^2$, 资源丰度 $731 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $652.9 \times 10^8 \text{ t}$ 。延安组各段均含煤, 其中 3^{-1} 煤层分布最稳定, 2^{-2} 煤层次之, 为低-低中灰、低-低中硫、低-低中磷、特高发热量的不粘煤、弱粘煤, 局部为长焰煤和气煤。

(8) 大保当矿区: 该区含煤面积 $6\,767.0 \text{ km}^2$, 资源丰度 $916 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $619.9 \times 10^8 \text{ t}$ 。各段均含可采煤层, 厚约 20 m, 为厚-中厚煤层, 煤层结构简单, 为低-低中灰、特低-低硫、低磷、特高发热量的不粘煤、长焰煤。

(9) 神北矿区: 该区含煤面积 $2\,381 \text{ km}^2$, 资源丰度 $967 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $230.2 \times 10^8 \text{ t}$ 。延安组各段均含可采煤层, 分布稳定, 一般约 20 m, 中厚煤层, 5^{-2} 煤层分布最广, 2^{-2} 煤层、 3^{-1} 煤层厚度稳定。煤质为低灰、特低-低硫、低磷、特高发热量的不粘煤和长焰煤。

(10) 东胜矿区: 该区含煤面积 $15\,622 \text{ km}^2$, 其中预测面积为 $7\,730 \text{ km}^2$, 资源丰度为 $1\,424 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $2\,224.6 \times 10^8 \text{ t}$ 。延安组各段均含可采煤层, 含煤 18 层, 厚约 20 m, 分布稳定, 中厚-厚煤层, 煤层结构简单, 为低灰、特低-低硫、低磷、高-特高发热量的不粘煤、长焰煤。

2.2.2 预测远景区

(1) 盐池预测区: 该区含煤面积 $4\,168.8 \text{ km}^2$, 资源丰度 $2\,547 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量为 $1\,061.8 \times 10^8 \text{ t}$ 。据油田勘探资料^[23], 含煤层数多, 较稳定, 预测深部有气煤。

(2) 环县预测区: 该区含煤面积 $8\,728.3 \text{ km}^2$, 资源丰度 $1\,024 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $893.8 \times 10^8 \text{ t}$ 。延安组中下段含煤, 有 3 层可采, 煤层分布稳定, 单层厚度一般 2~4 m 左右, 最厚可达 20 m。煤种推测为气煤。

(3) 庆阳预测区: 该区含煤面积 $10\,835.5 \text{ km}^2$, 其中预测面积 $9\,935.5 \text{ km}^2$, 找煤面积 900 km^2 , 资源丰度 $473 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $512.6 \times 10^8 \text{ t}$ 。据石油钻孔控制^[23], 可采 3 层, 层位稳定, 单层厚度 2 m 左右。局部为低-中灰、低-富硫、中高发热量的不粘煤和弱粘煤。

(4) 旬东预测区: 该区含煤面积 516.6 km^2 , 资源丰度 $274 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $14.2 \times 10^8 \text{ t}$ 。延安组下段含煤 2 层, 其中 1 层可采, 煤层层位稳定, 单层厚度 3.92 m 左右, 为中-低灰、特低-低硫、中高发热量的不粘煤。

(5) 靖定预测区: 该区根据研究和石油钻孔资料^[23], 含煤面积 $9\,335.5 \text{ km}^2$, 资源丰度 $976 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $911.1 \times 10^4 \text{ t}$ 。延安组各段均含煤, 3^{-1} 煤层和 5^{-2} 煤层分布广且稳定, 为弱粘煤。

(6) 杭锦旗预测区: 该区含煤面积 $21\,764.2 \text{ km}^2$, 资源丰度 $1\,270 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $2\,764.1 \times 10^8 \text{ t}$ 。延安组各段均含煤, 3^{-1} 和 4^{-2} 煤层分布稳定, 主要可采层为中厚-厚煤层, 预测为弱粘煤。

(7) 鄂托克旗预测区: 该区含煤面积 $15\,404 \text{ km}^2$, 资源丰度 $2\,471 \times 10^4 \text{ t/km}^2$, 资源量 $3\,806.3 \times 10^8 \text{ t}$ 。延安组各段均含可采煤层, 总厚约 15 m, 为中厚煤层。预测为不粘煤、弱粘煤和气煤。

上述 10 个勘探开发区, 含煤面积 $40\,074.9 \text{ km}^2$, 资源量 $4\,429.4 \times 10^8 \text{ t}$; 7 个预测远景区, 含煤面积 $70\,752.9 \text{ km}^2$, 资源量 $9\,963.8 \times 10^8 \text{ t}$; 鄂尔多斯盆地优质煤分布总面积达 $11 \times 10^4 \text{ km}^2$, 总资源量 $1.44 \times 10^{12} \text{ t}$ 。

3 优质煤资源评价

3.1 评价指标及分级

为了对资源状况有宏观认知, 笔者用含煤面积、资源丰度、资源量 3 个指标, 对盆地优质煤进行资源分级评价。最终选择资源量指标作为判识的依据: 资源量大于 $1\,000 \times 10^8 \text{ t}$ 为 I 级, 是最有利区块; 大于 $500 \times 10^8 \text{ t}$ 为 II 级, 是有利区块; 大于 $100 \times 10^8 \text{ t}$ 为 III 级, 是较有利区块; 小于 $100 \times 10^8 \text{ t}$ 为 IV 级, 是一般区块。

3.2 优质煤资源分区

3.2.1 勘探开发区分级

勘探开发区排序: I 级最有利区块为东胜矿区, II 级有利区块为榆横和大保当矿区, III 级较有利区块为马家滩、神北、灵武矿区; IV 级一般区为彬长、华安、黄陵、汝箕沟矿区。

3.2.2 预测远景区分级

预测远景区排序: I 级最有利区块为鄂托克旗含煤区、杭锦旗含煤区和盐池含煤区; II 级有利区块为定靖含煤区、环县含煤区和庆阳含煤区; IV 级

一般区块为旬东含煤区。

根据以上研究, 绘制出鄂尔多斯盆地优质煤资源分区图(图 1)。

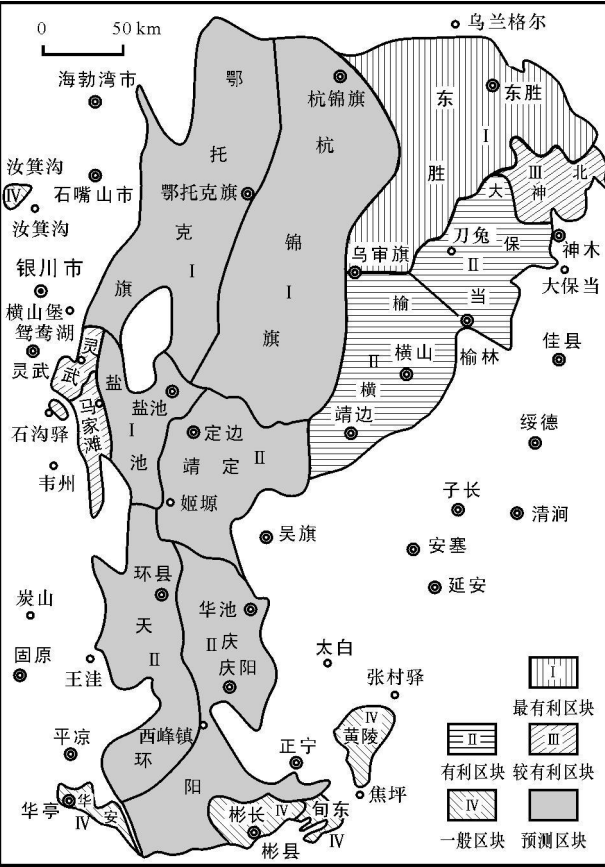


图 1 鄂尔多斯盆地优质煤资源有利区块分布
Fig. 1 Distributive Map of the Available Sections of the High Quality Coal Resource of the Ordos Coal Basin

4 结论

- (1)系统研究鄂尔多斯盆地侏罗纪煤的性质特点, 从地质采矿角度提出优质煤的定义。查明盆地优质煤的煤岩、煤质、工艺性质特征及其在垂向和平面上的变化规律, 为优质煤的高效利用战略提供基础数据。
- (2)在以往勘探资料基础上, 确定优质煤在盆地的分布范围及时空分布规律。统计优质煤分布面积达 $11\times 10^4\text{ km}^2$, 总资源量 $1.44\times 10^{12}\text{ t}$, 给出鄂尔多斯盆地优质煤的资源分布及资源量信息。
- (3)选择资源量指标, 对鄂尔多斯盆地优质煤进行资源区划。划分出最有利区块、有利区块、较有利区块、一般区块 4 个级别。绘制出盆地优质煤

资源分区图, 为鄂尔多斯盆地优质煤勘探开发部署提供技术支撑。

[参 考 文 献]

[1] 骆振福. 中国西部煤炭能源的优化利用[J]. 中国矿业, 2001, 10(1): 36 - 39.

[2] 曹代勇, 赵锋华. 重视我国优质煤炭资源特性的研究[J]. 中国矿业, 2003, 12(10): 21 - 23.

[3] 李小彦, 晋香兰, 李贵红. 西部煤炭资源开发中优质煤概念及利用问题的思考[J]. 中国煤田地质, 2005 17(3): 5 - 8.

[4] 唐书恒, 李正越. 试论有序开发西部优质煤炭资源[J]. 中国煤田地质, 2001, 13(2): 105 - 106.

[5] 张 泓, 白清昭, 张笑薇, 等. 鄂尔多斯聚煤盆地形成与演化[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1995.

[6] 张 泓, 何宗连, 晋香兰, 等. 鄂尔多斯盆地构造演化与成煤作用[M]. 北京: 地质出版社, 2005.

[7] 中国煤田地质总局. 鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.

[8] 刘池洋, 赵红格, 王 锋, 等. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 737 - 747.

[9] 王 锋, 刘池洋, 赵红格. 鄂尔多斯地块西部南北向拆离滑覆构造[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(1): 17 - 20.

[10] 钱丽君, 白清昭, 熊存卫, 等. 陕西北部侏罗纪含煤地层及聚煤特征[M]. 西安: 西北大学出版社, 1987.

[11] 陕西煤田地质局 185 队. 陕北早中侏罗世含煤岩系沉积环境[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989.

[12] 张 泓, 李恒熊, 熊存卫, 等. 中国西北侏罗纪含煤地层与聚煤规律[M]. 北京: 地质出版社, 1998.

[13] 李思田, 程守田, 杨士恭, 等. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层及沉积体系分析[M]. 北京: 地质出版社, 1992.

[14] 罗小泉, 许 晔, 高山林. 陕甘宁盆地灵盐定地区下侏罗统充填特征和层序演化[J]. 西安工程学院学报, 2002, 22(2): 32 - 35.

[15] 吴传荣, 张 慧, 李远虑, 等. 西北早中侏罗世煤岩煤质与煤变质研究[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995.

[16] 范立民, 寇贵德, 侯飞龙. 榆神低硫煤中硫含量特征及成因探讨[J]. 中国煤田地质, 2003, 15(2): 12 - 13.

[17] 龚廷焕, 肖达先, 董亚琴, 等. 神府东胜矿区煤种微量元素初步研究[J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(3): 11 - 15.

[18] 白向飞, 李文华, 张寿禄, 等. 神东矿区侏罗纪 2⁻² 煤煤质特征研究[J]. 煤炭转化, 2002, 25(3): 85 - 88.

[19] 曾凡桂. 神府大柳塔 2⁻² 煤层煤岩特征[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(3): 25 - 28.

[20] 葛岭梅, 李建伟. 神府煤低温氧化过程中官能团结构演变[J]. 西安科技学院学报, 2003, 23(2): 187 - 190.

[21] 毛节华. 关于煤炭资源分类分级问题[J]. 中国煤田地质, 1996, 8(3): 9 - 12.

[22] 袁三畏. 中国煤质论评[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.

[23] 姚素平, 张景荣, 王可仁, 等. 鄂尔多斯聚煤盆地延安组煤有机岩石学研究[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 1 - 12.