

·矿产资源·

鄂尔多斯盆地煤层气资源及开发潜力分析

冯三利 叶建平 张遂安

(中联煤层气有限责任公司 北京 100011)

摘要:鄂尔多斯盆地含石炭—二叠纪和侏罗纪两套含煤岩系,煤层发育,厚度大。石炭—二叠纪煤层煤级高,为气煤—无烟煤,含气量高,为 $2.46\sim 23.25\text{m}^3/\text{t}$;侏罗纪煤层煤级低,以长焰煤为主,含气量低,为 $0.01\sim 6.29\text{m}^3/\text{t}$ 。全盆地煤层气总资源量为 $107235.7\times 10^8\text{m}^3$,占全国煤层气总资源量的 $1/3$,煤层气勘探开发潜力巨大。煤层气开发最有利区块包括鄂尔多斯东缘的河东煤田和陕北石炭—二叠纪煤田、鄂尔多斯南缘的渭北煤田,有利区块包括鄂尔多斯南部黄陇煤田、鄂尔多斯西部庆阳含煤区和灵武—盐池—韦州含煤区。可见煤层气最有利和有利区块主要沿盆缘分布。鄂尔多斯盆地东缘、渭北煤田、黄陇煤田是目前煤层气勘探的热点地区,勘探成果预示出良好的开发前景。

关键词:鄂尔多斯盆地;煤层气;资源

中图分类号:P618.11 文献标识码:A 文章编号:1671-2552(2002)10-0658-05

鄂尔多斯盆地面积 $40\times 10^4\text{km}^2$,是中国大型煤炭基地,分布着特大型天然气田,石油资源和产量也位居前列。煤层气是一种新的能源,盆地内煤层气资源量占中国煤层气总资源量的 $1/3$,开发潜力巨大。当前,鄂尔多斯盆地是中国煤层气勘探开发的热点地区之一,不仅在东部和南部的石炭—二叠纪煤田进行了广泛的勘探开发试验,而且在西部、西南部的侏罗纪煤田也进行了勘探部署。勘探成果初步显示出该盆地具有良好的煤层气开发前景。鄂尔多斯盆地良好的地质条件和开发基础,已引起国家的高度重视,吸引着众多国内外开发商投资煤层气的勘探开发。对鄂尔多斯盆地石炭—二叠纪煤田和侏罗纪煤田的煤层气进行系统的试验研究显然具有重要意义。以往的工作多侧重于区域性的研究^[1-4],侧重于石炭—二叠纪煤层气的研究^[2,3]。本文将从全盆地角度讨论煤层气赋存的地质条件、资源分布和开发前景。

1 鄂尔多斯盆地地质背景、沉积特征

1.1 盆地地质背景

鄂尔多斯盆地为稳定克拉通内的大型盆地,

基底为太古宙和元古宙的结晶基底,早古生代时为一南北分别与秦岭海槽和兴蒙海槽相通的陆表海盆地^[5],沉积了寒武纪—中奥陶世的碳酸盐岩。中奥陶世后,随华北陆台整体隆升,陆表海消失。中石炭世开始沉降并接受沉积。盆地西缘,由于处于贺兰裂谷部位,是整个鄂尔多斯地块中沉降最大的区域。晚石炭世到二叠纪广泛发育晚古生代聚煤作用。早三叠世未发生的印支运动,使华北地区呈现东隆西拗的构造格局,鄂尔多斯地块也呈东升西降,鄂尔多斯盆地雏形出现,至三叠世末,盆地基本定型。沉积了三叠纪、侏罗纪陆相含煤岩系。燕山运动,盆地内部持续沉降,盆地边缘隆起上升。早白垩世中期盆地开始萎缩,早白垩世晚期盆地整体抬升,湖水退出,湖盆逐渐干涸。晚白垩世缺失沉积。

鄂尔多斯盆地为一级向斜构造,向斜轴位于天环拗陷部位。盆地内部较稳定,以隆起、拗陷、宽缓褶皱为主要形式,地层倾角一般 $1^\circ\sim 3^\circ$ 。周缘活动性较强,褶皱、断裂形迹密集,岩浆活动发育,地层倾角陡。

该盆地连续沉降,构造简单,构造改造弱,含煤

收稿日期 2002-07-02;修订日期 2002-07-10

科研项目:国土资源部“鄂尔多斯盆地综合能源基地油气资源战略研究”项目资助。

作者简介:冯三利,1956年生,男,高级工程师,从事煤层气勘探与开发研究。

岩系在大面积内保存完整,为煤层气的生成富集以及形成良好的储层条件奠定了基础。

1.2 煤系地层的分布和含煤特征

鄂尔多斯盆地含煤地层主要为石炭—二叠系和侏罗系。三叠纪含煤岩系瓦窑堡组,仅 5 号煤层为主要可采煤层,只分布在子长至蟠龙一带。

中石炭世,鄂尔多斯地块内部沉降幅度很小,沉积厚度仅 10~25 m 左右。上石炭统太原组沉积厚度 50~100 m,含煤 5~8 层。各地煤层厚度变化较大,如河东煤田太原组主要可采煤层为 8、9、10 号煤,平均总厚 6.66 m。往南至乡宁一带变薄,甚至不可采。盆地西缘靖远组、羊虎沟组沉积厚度大,含薄煤层及煤线 50 层之多,晚石炭世时拗陷幅度减小,但沉积厚度仍比东部大,含煤 10 余层,是主要含煤地层之一。下二叠统山西组厚 60~100 m,形成较厚的可采煤层。河东煤田 4、5 号煤层平均总厚为 7.82 m。南部渭北煤田由东向西煤厚减薄,3 号煤层一般 5~0.8 m。

侏罗纪含煤岩系延安组,自下而上分为 5、4、3、2、1 煤组,主要可采煤层 5~7 层,可采煤层累计厚度一般 15~20 m。主要可采煤层发育在盆地南部和北部,中部仅有煤线发育。聚煤作用受湖泊—三角洲—河流沉积环境控制,围绕盆地中心形成一个巨大的聚煤环带,煤层层数、煤层厚度均由无煤区向四周逐步增加。

1.3 煤变质特征及构造热演化史

鄂尔多斯盆地石炭—二叠纪煤和侏罗纪煤经受了不同的煤变质演化作用,导致煤级和煤生烃演化的差异较大。石炭—二叠纪煤主要经受深成变质作用。从北部的保德到南部的乡宁,煤级逐渐增高,煤镜质组反射率从 0.65% 增大到 1.95%。随深度增加煤级呈增高趋势,到盆地中部煤镜质组反射率达 2.80% 以上。在盆地西缘,由于叠加岩浆热变质作用,煤级分布比较复杂,镜质组反射率变化在 1.0%~4.0% 之间。

侏罗纪煤变质作用强度小于石炭—二叠纪煤。煤级大多为低变质烟煤。东胜、陕北、灵盐、陇东煤田反射率为 0.42%~0.61%;黄陇煤田为 0.50%~0.75%。盆地内各煤田,煤的镜质组反射率都随煤层埋深增大而增高,但变化幅度较小。同石炭—二叠纪煤级

分布一样,西缘煤的镜质组反射率显著增高,汝箕沟矿区达到无烟煤阶段。

2 煤层气资源及其分布状况^①

2.1 煤层气分布特征

如上所述,石炭—二叠纪主要为中高变质烟煤和无烟煤,煤级高,因此煤层含气量也较高。侏罗纪煤层煤级低,含气量较低。

鄂尔多斯盆地东缘、南部的渭北煤田和西缘桌贺煤田是石炭—二叠纪煤田的分布区。煤田勘探中采集了大量的煤层气解吸资料,煤层气勘探程度高。煤层气分布规律明显。如表 1,鄂尔多斯盆地东缘是煤层气富集区,含气量中部高,北部和南部低。渭北煤田从东到西含气量降低,韩城矿区为煤层气富集区。桌贺煤田,煤类全,含气量较高。

侏罗纪煤的含气量实测资料比较少,煤田地质勘探资料表明,鄂尔多斯盆地侏罗纪煤层含气量大多很低,在局部地区和煤层深部区,含气量将增高。

表 1 鄂尔多斯盆地各矿区煤层含气量

Table 1 Contents of coalbed methane in various coal districts in the Ordos basin

煤田	矿区	含气量(m ³ /t)
东缘北部	保德、府谷、临兴	<5
东缘中部	三交、柳林、吴堡	2.46~18.36
东缘南部	乡宁	3.18~4.19
	韩城	4.53~23.25
渭北	澄合	4.05~11.97
	铜川	5.52~6.44
桌贺	石咀山	3.50~8.40
	韦州	4.12~7.20
	黄陵	4.76
黄陇	彬长	0.01~6.29
	焦坪	4.0~5.35
华亭	华亭	0.01~1.18

注:数据引自中联煤层气有限责任公司、煤炭科学研究总院西安分院《全国煤层气资源评价》,内部报告,2000

① 参阅陕西、山西、甘肃、宁夏、内蒙古煤田地质局 1996 年编著的各省、自治区煤层气资源评价报告。

黄陇侏罗纪煤田,煤炭勘探程度较高,黄陵、焦坪煤级为气煤,在少数点含气量达到 $4\sim 8\text{ m}^3/\text{t}$,大多含气量低。彬长矿区煤层深度 $311.96\sim 885.10\text{ m}$,共采集 235 个煤层气样,甲烷成分 $0.32\%\sim 95.26\%$,甲烷含量 $0.01\sim 6.29\text{ m}^3/\text{t}$ 。煤层气在南部大佛寺井田相对较富集。由于随深度增加含气量增高,预计到深部庆阳勘探区含气量将会增高。陇东华亭矿区含气量很低。如白草峪井田 4 个孔,煤层深度 $531\sim 1009\text{ m}$ 。煤层气以氮气为主,甲烷成分 $1.02\%\sim 47.60\%$,甲烷含量 $0.01\sim 1.18\text{ m}^3/\text{t}$ 。在安口-新窑矿区 5 个钻孔采集煤层气样,煤层深度 $280\sim 483\text{ m}$,处于煤层气风化带,甲烷含量为 0。

2.2 煤层气资源量

鄂尔多斯盆地煤层气资源量十分丰富,计算结果,煤层气总资源量为 $107235.7\times 10^8\text{ m}^3$,占全国煤层气总资源量的 $1/3$ 。区域上,鄂尔多斯北部资源量最大, $55825.6\times 10^8\text{ m}^3$,其次为鄂尔多斯东缘, $19962.27\times 10^8\text{ m}^3$,鄂尔多斯西部 $12732.06\times 10^8\text{ m}^3$,其他依次为桌-贺、渭北、陕北和黄陇(表 2)。

用实测煤层气含量值计算的煤层气资源量为预测储量,总计 $2737.67\times 10^8\text{ m}^3$,占全区总量的 2.6% ,主要分布于东缘、渭北、桌-贺 3 个地区的 1000 m 以浅。根据地质、地球物理资料用类比或统计方法所估算的资源量称为远景资源量,总计 $104498.04\times 10^8\text{ m}^3$,占全区总量的 97.4% 。由此可见,东缘、渭北、桌-贺 3 个地区由于有大量的煤田地质勘探成果以及煤层气勘探成果,煤层气勘探程度与煤层气资源级别相对较高。其他地区煤层气资源级别较低,资源量可靠程度低。

按深度分布, 1000 m 以浅煤层气资源量为 $7597.2\times 10^8\text{ m}^3$,占 7% ; $1000\sim 1500\text{ m}$ 煤层气资源量为 $38483.4\times 10^8\text{ m}^3$,占 36% ; $1500\sim 2000\text{ m}$ 煤层气资源量为 $61155.1\times 10^8\text{ m}^3$,占 57% 。 1000 m 以浅主要分布在东缘、渭北、桌-贺 3 个含煤区。

从含煤时代上,石炭—二叠纪煤层气资源量为 $40460.6\times 10^8\text{ m}^3$,占 38% ;侏罗纪煤层气资源量为 $66775.1\times 10^8\text{ m}^3$,占 62% 。

表 2 鄂尔多斯盆地煤层气资源分布

Table 2 Distribution of coalbed methane resources in the Ordos basin

分区	面积/ km^2	煤层气资源 总量/ 10^8 m^3	不同深度下的气资源量/ 10^8 m^3		
			300~1000m	1000~1500m	1500~2000m
东缘	16310.68	19962.27	5025.69	5860.48	9076.11
渭北	7467.39	7011.02	1209.23	2134.25	3667.54
北部	46026.34	55825.61		21050.38	34775.23
桌-贺	4357.48	7829.14	1362.28	1904.38	4562.47
西部	20131.97	12732.06	0	3760.77	8971.29
陕北	11359.70	3732.81		3732.81	0
黄陇	2213.60	142.79		40.33	102.46
总计	113077.33	107235.7	7597.2	38483.4	61155.1

注:据煤科院西安分院、中联公司 2000

3 煤层气开发有利区块

3.1 鄂尔多斯盆地煤层气勘探开发现状

鄂尔多斯盆地东缘含煤区、渭北煤田、黄陇煤田是目前煤层气勘探的热点地区,截止 2001 年底,共施工 64 口煤层气井,工程量占全国的 $1/3$ 。其中中联煤层气公司在临兴、三交、石楼、柳林 4 个对外合作区块施工煤层气井 31 口,建立 3 个开发试验井组,煤炭、地矿和中国石油天然气总公司在柳林、吉县、乡宁、韩城、黄陇、宁县等地区施工了 33 口,从而取得了大量宝贵的储层参数和生产数。

3.2 有利区块分析

通过对地质资料和煤层气井资料分析研究,鄂尔多斯盆地煤层气资源丰富,煤层气开发潜力巨大。从煤层及其含气量、赋存特点、储层特性、资源条件等综合分析,煤层气开发最有利区块包括鄂尔多斯东缘的河东煤田和陕北石炭—二叠纪煤田、鄂尔多斯南缘的渭北煤田,有利区块包括鄂尔多斯南部黄陇煤田、鄂尔多斯西部庆阳含煤区和灵武-盐池-韦州含煤区。由此可见,煤层气最有利和有利区块主要沿盆缘分布(图 1)。

(1) 鄂尔多斯盆地东缘

面积约 $16\times 10^4\text{ km}^2$,整体上为一向西倾伏的单斜构造。含煤地层为石炭—二叠系,太原组含煤 3~7 层,可采煤层 2~4 层,煤层累计厚度 $4.3\sim 14.6\text{ m}$;

山西组合煤 4~8 层,可采煤层 2~3 层,煤层累计厚度 3.1~12.8m。煤层埋深小于 2000m。

含气量以中部最高,平均 6.49~11.19m³/t,南部次之,平均 3.18~7.92 m³/t,北部较低,为 0.53~2.18 m³/t。

该区煤层气勘探程度是全盆地最高的地区。原地矿部华北石油地质局 1995—1996 年在柳林建成了 7 口井(井深 450~500 m)的小型煤层气勘探开发试验井网,7 口井均获工业煤层气流,有 3 口井达 1000~3000 m³/d,1 口井超过 7000 m³/d。中国石油天然气总公司 2001 年在大宁—吉县地区钻了 6 口井,其中吉试 1 井日产气量达到 2800 m³/d 以上。中联公司的国际合作项目陆续进行了排采。所有这些生产试验成果,显示了本区具有良好的生产潜力。

(2)渭北煤田

东西长 220 km,南北宽 37~50 km,含煤面积约 1×10⁴km²,总体为一向北西倾斜的单斜构造,倾角 5°~15°。煤系地层为石炭—二叠系的山西组和太原

组,含煤层 11 层,可采煤层 3~4 层。韩城矿区煤层累计厚度一般 7~12m,单层厚度 0.19~10.80 m。向西煤层减薄。含气量从东向西由高到低变化,韩城矿区最高,含气量 4.23~23.25 m³/t,铜川最低,含气量 4.41~6.44 m³/t。中国煤田地质总局 1996 年在韩城矿区施工了 3 口煤层气井,其中韩试 1 井产气量达到 1000m³/d。

(3)黄陇煤田

黄陇煤田包括黄陵、焦坪、旬耀、彬长、永陇等矿区。含煤岩系为中侏罗统延安组。

黄陵矿区,广义包含旬耀矿区,位于铜川以北,含煤区面积为 1990km²。共含煤 5 层,煤层平均累厚 32 m 左右。其中 2# 为稳定可采煤层,平均厚度 2.86 m。以长焰煤、气煤为主。本区构造形变微弱,地层基本呈水平产状。区内分布了为数不多十分宽缓的褶皱,断层发育很少。黄陵矿区煤层气含量为 3.00~6.21m³/t。

彬长矿区,面积 1328 km²,总体构造形态为朝北西方向缓倾斜的单斜。其上展布着近东西向的宽缓背向斜,含煤 8 层,其中煤 8 层为主要可采煤层,厚度 10~15 m,最厚达 43.87 m。甲烷含量 0.01~6.29 m³/t,大佛寺井田煤层气相对富集,含气量一般在 3 m³/t 以上,成分在 80% 以上。煤 8 层深度 311.96~885.40 m。随着埋深增加,甲烷含量增高。埋深 600 m,含气量平均 3 m³/t。镜质组反射率平均 0.610%。8 煤分布面积 570.15 km²,估算煤层气资源量 105.93×10⁸m³。

(4)庆阳含煤区

面积 19970.00 km²,南部为陕甘省界,北止甘肃、宁夏边界,东以煤 8 层无煤带为界,西为 2000 m 深度线。煤炭储量 1307.705 1×10⁸t,煤层气资源量 11184.148 1×10⁸m³。庆阳含煤区延安组含可采煤层 3~8 层,可采总厚度 2.12~7.75 m。主要可采层 4 层,煤 4、煤 5、煤 6、煤 8。据正宁南部勘探区资料,煤 8 层稳定发育,厚度 0.10~17.98 m,平均 4.32 m。埋深大都在 600 m 以浅,倾角 3°。镜质组含量低,1.7%~52.3%,平均 35.6%,半镜质组 0.6%~10.1%,平均 5.7%,惰质组 38.2%~96.6%,平均 56.9%,稳定组 0.6%~3.7%,平均 1.8%。镜质组反射率 0.57%。庆阳深部煤层埋深 800~950 m。煤 4、煤 5、煤 6、煤 8 的顶板多为封闭性能较好的泥岩、砂质泥岩、粉砂岩等,底板为粉砂岩和砂质泥岩。

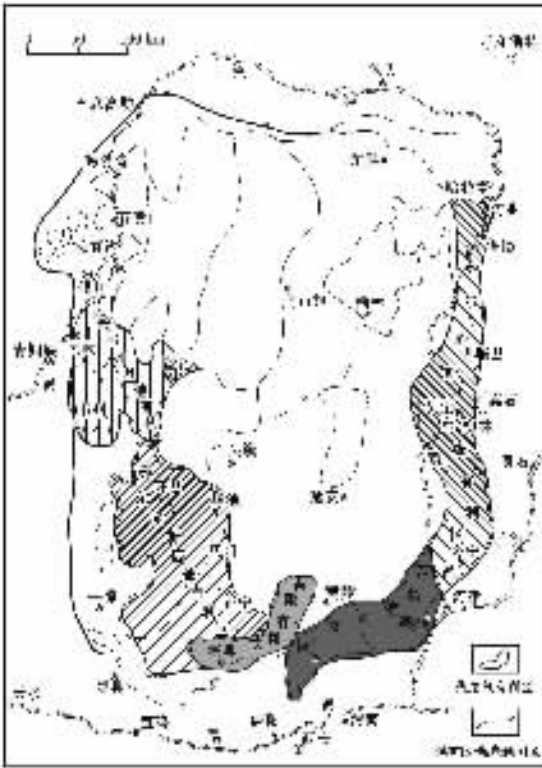


图 1 鄂尔多斯盆地煤层气开发有利区块图

Fig. 1 Favorable districts for coalbed methane development in the Ordos basin

(5)灵武-盐池-韦州含煤区

灵武矿区包含横城、碎石井、鸳鸯湖3个区,面积共900 km²。横城区含煤地层主要为石炭—二叠系,褶皱构造发育,断层较多,倾角陡,落差大,构成井田自然边界。碎石井、鸳鸯湖两区主要为侏罗纪含煤地层,褶皱发育,断层稀少,地层倾角较大,15°~65°。横城区山西组、太原组含煤层8层,厚度11.27 m。主要为气煤。碎石井和鸳鸯湖两区延安组含可采煤层18层,总厚22.37~27.29 m。煤级长焰煤。

韦州矿区面积570 km²,总体构造形态为一向斜构造——韦州向斜,次级褶皱不发育,断层发育。地层倾角大,达10°~40°。断层对煤层破坏严重。含煤地层山西组和太原组,含可采煤层11层,总厚16 m。煤级从气煤到无烟煤均发育。煤层埋深

101~845 m,含气量较高,2.87~10.68 m³/t,甲烷成分75%~97%。本区煤层气风化带很浅,仅几十米。煤层气资源量514.80×10⁸ m³。

参考文献:

- [1] 叶建平,秦勇,林大扬. 中国煤层气资源[M]徐州:中国矿业大学出版社,1998.
- [2] 张胜利,李宝芳. 鄂尔多斯盆地东缘石炭二叠系煤层气分布规律及影响地质因素[J]石油实验地质,1996,18(2).
- [3] 赵庆波,孙斌,李五忠. 鄂尔多斯盆地东部大型煤层气气田形成条件及勘探目标[J]石油勘探开发,1998,25(2).
- [4] Xi Shengli, Ma Chailin, Yang Hua. Preliminary Geological Evaluation of Coalbed Methane Target Areas in Shaan-Gan-Ning Basin[M] China Coalbed Methane, 1997.
- [5] 王双明. 鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价[M]北京:地质出版社,1996.

Coalbed methane resources in the Ordos basin and its development potential

FENG Sanli YE Jianping ZHANG Suian
(Coalbed Gas Co. Ltd., Beijing 100011, China)

Abstract: Two coal measures, the Carboniferous-Permian and Jurassic coal measures, occur in the Ordos basin. In the two coal measures coal beds are well developed and very thick. The coal rank of the Carboniferous-Permian coal beds is high, the coals being gas coal and anthracite, and the gas content is high, being 2.46-23.25 m³/t; whereas the coal rank of the Jurassic coal beds is low, with long frame coal predominating, and the gas content is low, being 0.01-6.29 m³/t. The total coalbed methane resources in the whole basin are 107235.7×10⁸ m³, accounting for 1/3 of the total coalbed methane resources of the whole country. The potential of the coalbed exploration and development is great. The most favorable districts for the coalbed gas development include the Hedong coal field and Carboniferous-Permian coal fields of northern Shaanxi in the eastern margin of Ordos and the Weibei coal field on the southern margin of Ordos; the favorable districts include the Huanglong coal field in southern Ordos and the Qingyang coal-bearing district and Lingwu-Yanchi-Weizhou coal-bearing district in western Ordos. Thus it may be found that the most favorable and favorable districts of coalbed methane are mainly distributed along the basin margins. The eastern margin of Ordos, Weibei coal field and Huanglong coal field are hot-spot areas for the current coalbed methane exploration.

Key words: Ordos basin; coalbed methane; resource