

贵州织金平桥向斜煤层气储层地质特征及有利开发层优选

蔡 路¹, 姚艳斌², 全贵龙¹, 陈 华¹, 陈庆刚¹, 李 勇¹, 杜胜江³

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局 115 地质大队, 贵州 贵阳 550000; 2. 中国地质大学煤层气国家工程中心煤储层实验室, 北京 100083; 3. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550000)

[摘 要]基于平桥向斜地面地质调查, PQT-1 井钻、录、测井及取芯测试资料的分析, 对该区煤储层地质特征进行了总结, 并深入探讨了有利开发层与煤厚、煤间距、显微组分、灰分产率和含气性特征之间的对应关系。研究结果表明: PQT-1 井纵向上 8 套主力煤层呈“厚度小、层数多、间距近”的特征, 适合“分层压裂, 多层合采”的开发工艺。其中, C14 与 C16 组合煤厚大、含气量适中、灰分产率较低、解吸压差较小, 为最有利煤层气开发层; C30 与 C32 组合、C17 与 C20 组合受制于煤厚, 为第二、第三有利煤层气开发层。

[关键词]贵州织金; 平桥向斜; PQT-1 井; 煤层气; 有利开发层

[中图分类号]P618.13 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2016)04-0278-06

织金县地处贵州西部织纳煤田的腹地, 是我国西南地区重要的煤炭生产基地, 同时蕴藏着丰富的煤层气资源。王国司等初步估算了贵州西部煤层气资源量, 结果显示该区煤层气资源量巨大, 平均资源丰度达到 $1.42 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^3$, 高于 $1.12 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^3$ 的全国平均资源丰度水平(叶建平, 1999), 其中埋深 200 m ~ 1 200 m 资源量高达 $2.5197 \times 10^8 \text{ m}^3$ (王国司等, 2001)。初期贵州西部煤层气的开发及研究工作主要集中在六盘水煤田(徐宏杰等, 2016), 研究认为该区煤储层的煤岩学特征、含气条件、裂隙发育条件、区域岩浆活动等均有利于煤层气的富集高产, 并初步优选出格目底向斜、盘关向斜、六枝向斜等有利开发区域(徐会军等, 1997; 桂宝林, 1999; 王国司等, 2000; 易同生等, 2006; 鲍森, 2007); 但 2008 年以来, 中石化华东分公司在织纳煤田钻出了一批工业气流的煤层气井。与此同时, 各学者对织纳煤田煤层的分布规律、媒体结构、含气性、渗透性等各项煤层气开发地质条件进行了深入系统研究(熊梦辉等, 2007; 秦勇等, 2008; 徐宏杰等, 2014), 分析认为该区煤储层渗透性好, 含气量高, 预示织纳煤田同样具有广阔的煤层气商业开

发前景。本文在深入研究织纳煤田平桥向斜煤层气储层地质特征的基础上, 对该区煤层气开发潜力进行了初步探讨, 以期指导后续的地质选区工作, 从而实现该地区煤层气的开发突破。

1 地质背景

织纳煤田位于扬子板块(I级)一川黔滇盆地(II级)一黔北断拱(III级)西部南缘(图1), 煤系地层盖于燕山运动形成的褶皱之上, 此类褶皱形态宽缓且延伸距离短, 使一系列短轴式向斜、背斜成为控煤构造的主体。构造上织金县境内主要发育 2 组 NE 向、NW 向的构造线, NE 向的构造线以三塘向斜、阿弓向斜、官寨向斜、珠藏向斜、桂果背斜、牛场向斜、大猫场向斜为代表; NW 向的构造线以比德向斜、加夏向斜、水公河向斜为代表。

平桥矿区的主体为平桥向斜, 它位于阿弓向斜与官寨向斜之间, 整体为一近 NE 向的向斜构造。向斜西北部以 AF5 正断层为界, 地层断距大于 100 m, 地层倾角为 $60^\circ \sim 80^\circ$; 东南部以 GF6 逆断层为界, 地层断距为 250 m ~ 300 m, 地层倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$; 西部以 GF7 逆断层为界, 地层断距

[收稿日期]2016-09-01

[基金项目]国家自然科学基金“煤储层流体微观相互作用的动态地质效应”(41472137); 贵州省科技计划社会攻关项目“煤系非常规天然气(煤系气)富集规律研究”(黔科合[2016]支撑 28074)。

[作者简介]蔡路(1989—), 男, 湖北荆州人, 硕士, 助理工程师, 主要从事煤层气地质与开发的研究工作。

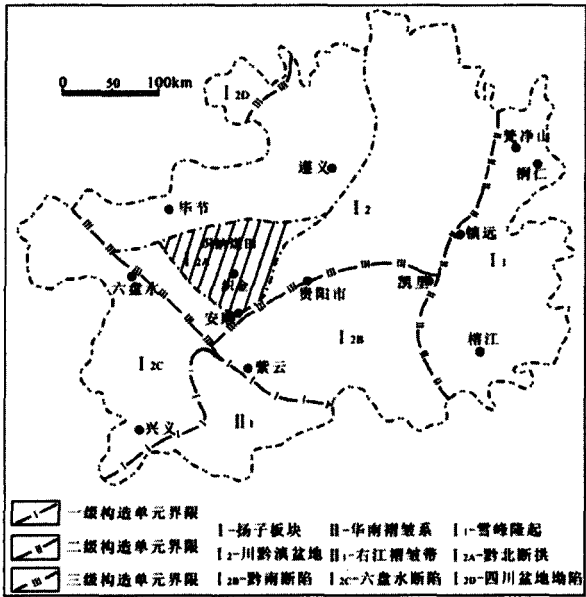


图 1 织纳煤田构造纲要图(汤良杰等,2008)

Fig. 1 Structure outline of Zhina coalfield

100 m~150 m,地层倾角 60°~70°。向斜的内部发育 2 条近 NE 向的小型断层,分别为 F01 正断层、F05 逆断层;3 条近 NW 向的小型正断层,分别为 F2、F3、F4。PQT-1 井位于平桥向斜的近核部地区(图 2),井位周边地层产状平缓、无断层发育。

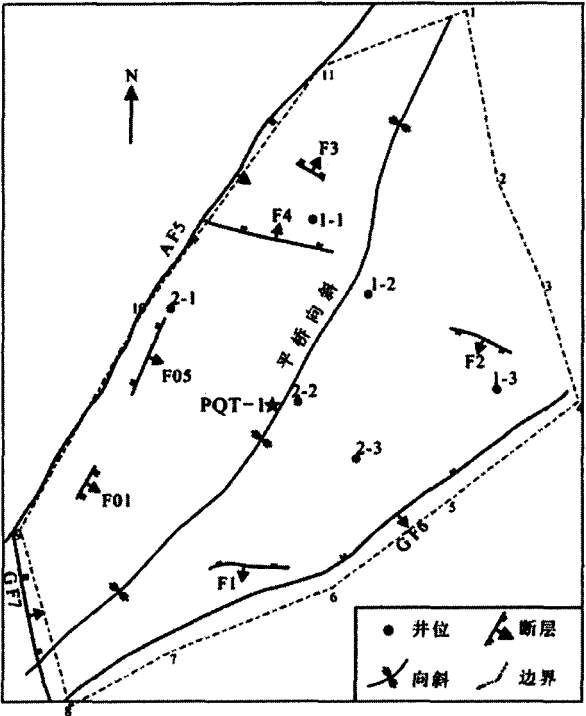


图 2 PQT-1 井地理位置图

Fig. 2 Geographic position of well PQT-1

2 煤厚及煤层间距

PQT-1 井自上而下钻遇第四系浮土、三叠系上统飞仙关组、二叠系上统大隆组、二叠系上统长兴组、二叠系上统龙潭组。钻井过程总体顺畅,未见大型断层。通过现场岩芯观测,研究区龙潭组为一套以煤、砂岩、粉砂岩、泥页岩及灰岩频繁互层的煤系地层。煤系地层总厚 239 m,含煤 22 层,煤层累计厚度 23.59 m;具有煤层气商业开发价值(单层厚度大于 1 m)(孟召平等,2013)的煤层共 8 套,分别为 C14、C16、C17、C20、C23、C27、C30 和 C32,这 8 套煤的累计厚度为 15.87 m,其中,单层厚度最大的为 C14,厚度为 4.87 m(图 3)。

整体上,PQT-1 井呈现“煤层层数多、单层煤厚小”的特征,单层厚度小于 1 m 的煤层占 63.6%;单层厚度大于 1 m 的主力煤层占 26.4%,其中,仅 C14 与 C16 的单层厚度大于 2 m,占层位总数的 9.1%(图 4)。因此,由于单层煤厚较小的限制,独立开采某一煤层的难度较大。

但 PQT-1 井 8 套主力煤层的间距较小,累计间距为 124.16 m,平均间距 17.74 m。其中,C16 与 C17 煤层间距最小,为 10.47 m;C14 与 C16 煤层间距最大,为 29.09 m(图 5)。开发过程中可考虑采用“多层合采”的方式开采该区煤层气,以弥补单层煤厚较小的劣势。

3 煤岩学特征

3.1 镜质体反射率及显微组分

PQT-1 井煤层 RO 值(钻井取芯 3 组煤样)分布范围为 3.07%~3.11%,平均 3.09%。各主力煤层热演化程度相差不大,均为无烟煤阶段。煤的显微组分以镜质组为主,惰质组其次,壳质组及少见。镜质组含量为 97.8%~98.2%,平均 98.0%,惰质组含量为 1.8%~2.2%,平均 2.0%。不同类型的显微组分具有不同的地球化学及力学特性。壳质组具有较强的生烃能力,镜质组为次之,惰质组最差。但镜质组脆度最大,在相同力学条件下更易破裂形成裂隙,因此镜质组是煤中裂隙的主要载体,这些裂隙可有效改善煤的渗透性能(刘浩等,2012)。PQT-1 井各主力煤层的镜质组含量均较高,有利于裂隙发育,提高煤储层的渗透率。

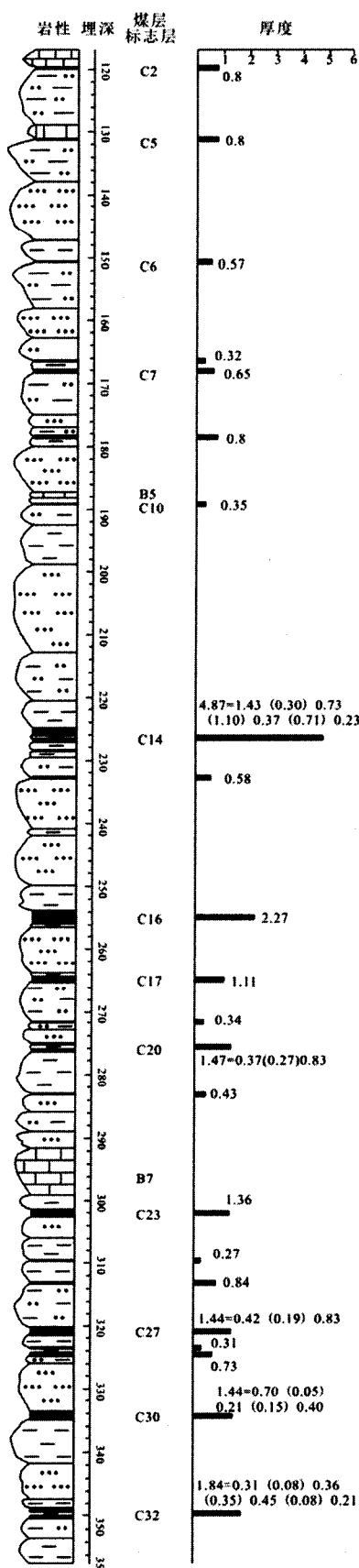


图3 PQT-1井龙潭组煤系地层综合解释图

Fig. 3 Coal measure strata comprehensive interpretation of well PQT-1 in Longtan formation

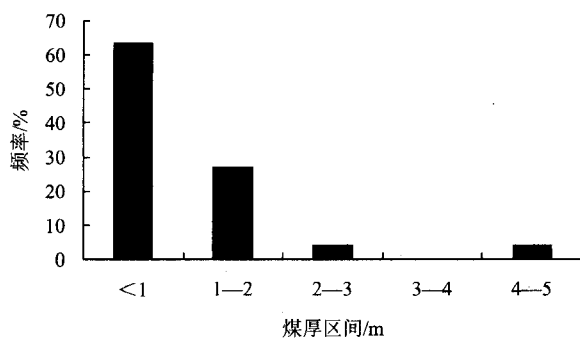


图4 煤层厚度区间频率直方图

Fig. 4 Frequency histogram of coal thickness section

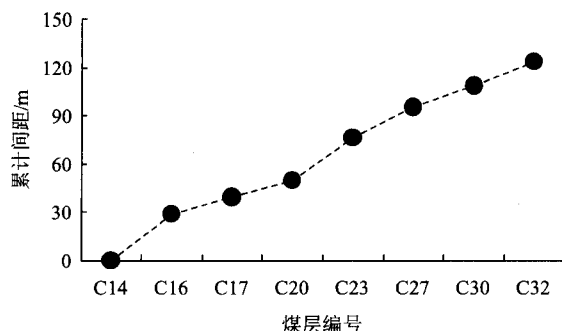


图5 主力煤层累计间距图

Fig. 5 Accumulated distance of major coal strata

3.2 灰分产率

灰分产率是煤在彻底燃烧后所剩下的残渣,它主要来源于矿物质,在一定程度上可反映煤中矿物的含量。矿物含量偏高会在一定程度上降低煤储层的吸附性能(刘贝等,2014),但它可以改变煤储层的岩石力学性质,使得煤层的脆性增大,压裂过程中煤层更容易破碎形成明显的主缝,改善煤储层的水力压裂效果(陈扬等,2014)。

PQT-1井7套煤层的灰分产率为6.43%~23.08%,平均值为13.36%(图6)。其中C14、C23、C27灰分产率小于10%,为特低灰煤;C16、C30灰分产率10%~15%,为低灰煤;C17、C32灰分产率15%~25%,为中灰煤。以上资料表明,C14、C23、C27具有较好的吸附性能,C17、C32在水力压裂过程中更易破裂形成主缝。

4 含气性特征

4.1 现场解吸

PQT-1井现场共完成7套煤层7组样品的解吸作业工作,结合后期残余气、损失气的计算及

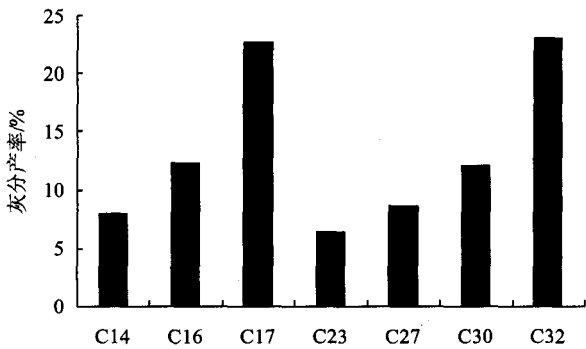


图 6 主力煤层灰分含量直方图

Fig. 6 Ash content histogram of major coal strata

气体成分分析,获得了这 7 组样品的解吸气量数据(表 1)。结果显示,煤样空气干燥基总含气量为 9.23 ~ 21.23 cm³ · g⁻¹,其中 32#煤最高为 21.23 cm³ · g⁻¹,14#煤最低为 9.23 cm³ · g⁻¹;空气干燥基甲烷含量为 8.76 ~ 20.32 cm³ · g⁻¹,其中 32#煤最高为 20.32 cm³ · g⁻¹,14#煤最低为 8.76 cm³ · g⁻¹。分析认为,PQT-1 井的这 7 套煤层含气条件均十分良好。并发现,煤层总含气量与甲烷含量均与埋深呈一定正相关性(图 7)。

表 1 现场解析结果表
Table 1 Analytic results in the field

样品编号	煤层	干燥无灰基	
		总含气量 (cm ³ /g)	甲烷含量 (cm ³ /g)
PQT-1-W01	C14	9.23	8.76
PQT-1-W02	C16	10.05	9.32
PQT-1-W04	C17	12.71	9.62
PQT-1-G07	C23	14.82	13.53
PQT-1-G08	C27	13.16	12.56
PQT-1-G09	C30	16.78	16.39
PQT-1-G10	C32	21.23	20.32

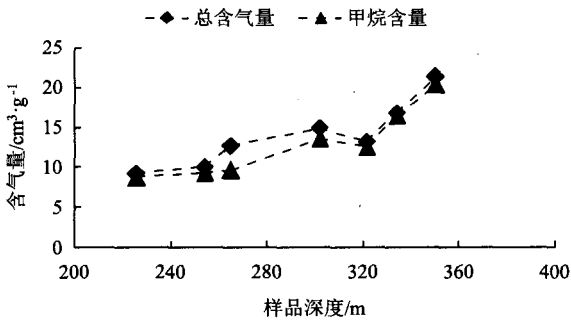


图 7 样品深度与总含气量和甲烷含量关系图

Fig. 7 Sample depth and relation between sample total content and methane content

4.2 等温吸附

通过等温吸附试验,获得了 PQT-1 井 6 套煤层 6 组样品的实验数据(表 2),结果表明,干燥无灰基 langmuir 体积 VL 为 35.24 ~ 48.90 cm³ · g⁻¹,平均 41.21 cm³ · g⁻¹;干燥无灰基 langmuir 压力 PL 为 2.56 MPa ~ 3.45 MPa。经计算得到 6 组样品的临界解吸压力为 0.83 MPa ~ 1.80 MPa,平均值为 1.17 MPa。C17 与 C30 的临界解吸压力高于平均值,表明这两层煤解吸潜力较大。计算得到 6 组样品的解吸压差为 1.16 MPa ~ 2.02 MPa,平均值为 1.49 MPa。C14、C17、C23 与 C30 的解吸压差均低于平均值,表明这三层煤解吸时间较短,排采过程中产气时间较早。通过对 PQT-1 井临界解吸压力与解吸压差的分析可知,C17、C30 解吸潜力大、解吸时间短,最适合煤层气的开发;C14、C23 解吸时间短,较适合煤层气开发。

5 有利开发层优选

通过上述分析,结合煤层气“分层压裂,多层合采”的工艺要求,本次研究从 PQT-1 井的 8 套主力煤层划分出 3 组有利开发层(表 3)。

表 2 等温吸附结果表
Table 2 Results of isothermal adsorption

样品编号	煤层	干燥无灰基		临界解吸 压力/MPa	静水柱 压力/MPa	压差/MPa
		VL/ cm ³ · g ⁻¹	PL/MPa			
PQT-1-M01	C14	37.63	2.56	0.83	2.21	1.38
PQT-1-M02	C16	38.08	2.63	0.94	2.49	1.55
PQT-1-M03	C17	35.24	2.56	1.44	2.60	1.16
PQT-1-M04	C23	43.51	3.22	0.87	2.21	1.34
PQT-1-M05	C27	43.87	2.63	1.13	3.15	2.02
PQT-1-M06	C30	48.90	3.45	1.80	3.27	1.47

注:压差=静水柱压力-临界解吸压力。

表 3 PQT-1 井主力煤层地质参数综合评价表

Table 3 Geologic data comprehensible evaluation of PQT-1 in the major coal strata

煤层	厚度/m	间距/m	灰分产率/%	解吸气量/ $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	临界解吸压力/MPa	压差/MPa	层位组合
C14	4.87	/	8.04	9.23	0.85	1.36	C14、C16
C16	2.27	29.09	12.32	10.05	0.94	1.55	
C17	1.11	10.47	22.82	12.71	1.44	1.16	C17、C20
C20	1.47	10.65	/	/	/	/	
C23	1.36	26.41	6.43	14.82	0.87	1.34	C30、C32
C27	1.44	18.84	8.7	13.16	1.13	2.02	
C30	1.44	13.33	12.14	16.78	3.27	1.47	
C32	1.84	15.37	23.08	21.23	/	/	

第一组:C14 与 C16 组合,这两层煤的厚度最大,解吸气量均高于开发下限,煤层气资源潜力最大;同时镜质组含量高,有利于煤中裂隙的发育;灰分产率较低,煤对甲烷的吸附能力较强;解吸压差较小,见气时间较快。综合考虑煤厚、间距、含气性特征、煤岩学特征,认为 C14 与 C16 组合是 PQT-1 井最有利煤层气开发层。

第二组:C30 与 C32 组合,这两层煤层间距较小、解吸气量较高,C30 解吸潜力大、解吸时间短,适合多层合采的地质条件。但其煤厚较小,煤层气资源潜力有限。分析认为 C30 与 C32 组合是 PQT-1 井第二有利煤层气开发层。

第三组:C17 与 C20 组合,这两层煤间距最小,解吸气量与临界解吸压力均适中,C17 解吸压差小,见气时间快。但其煤厚小,分析认为 C17 与 C20 组合是 PQT-1 井第三有利煤层气开发层。

6 结论

(1)PQT-1 井揭示了平桥向斜龙潭组煤储层的基本地质特征。该井共钻遇 8 层厚度大于 1 的煤层,分别为 C14、C16、C17、C20、C23、C27、C30 和 C32,纵向上总体表现为“煤层层数多、单层煤厚小,煤层间距近”的特征,适合采用“分层压裂,多层合采”的方式开发该区煤层气。

(2)各主力煤层 RO 值分布范围为 3.07%~3.11%,平均 3.09%,热演化程度相差不大,均为无烟阶段。煤的显微组分以镜质组为主,有利于煤中裂隙的发育,提高煤层渗透率;7 套煤层的灰分产率为 6.43%~23.08%,平均值为 13.36%,C14、C23、C27 具有较好的吸附性能,C17、C32 在水力压裂过程中更易破裂形成主缝。

(3)空气干燥基总含气量为 9.23~21.23 cm^3

$\cdot \text{g}^{-1}$,空气干燥基甲烷含量为 8.76~20.32 $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$,这 7 套主力煤层含气条件均十分良好,并发现煤层总含气量与甲烷含量均与埋深呈一定正相关性。等温吸附结果显示,C17、C30 解吸潜力大、解吸时间短,最适合煤层气的开发;C14、C23 解吸时间短,较适合煤层气开发。

(4)综合考虑煤厚、间距、含气性特征、煤岩学特征等因素,优选出 3 组煤层气有利开发层。其中,C14 与 C16 组合为最有利煤层气开发层;C30 与 C32 组合、C17 与 C20 组合受制于煤厚,为第二、第三有利煤层气开发层。

【参考文献】

- 鲍森. 贵州六盘水地区晚二叠世龙潭组煤系地层瓦斯富集规律的研究[D]. 贵阳:贵州大学,2007.
- 陈扬,姚艳斌,崔金榜,等. 郑庄区块煤储层水力压裂裂缝扩展地质因素分析[J]. 煤炭科学技术,2014,42(7):98-102.
- 桂宝林. 六盘水地区煤层气地质特征及富集高产控制因素[J]. 石油学报,1999,20(3):31-37.
- 刘贝,黄文辉,敖文华,等. 高阶煤的吸附性能及其影响因素—以沁水盆地柿庄区块为例[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2014,29(5):31-37.
- 刘浩,黄文辉,敖卫华,等. 沁南 3#煤与 15#煤显微煤岩组分对微裂隙的控制研究[J]. 资源与产业,2012,12(4):75-81.
- 孟召平,刘翠丽,纪懿明. 煤层气/页岩气开发地质条件及其对比分析[J]. 煤炭学报,2013,38(5):728-736.
- 秦勇,熊梦辉,易同生,等. 论多层叠置独立含煤层气系统—以贵州织纳煤田水公河向斜为例[J]. 地质评论,2008,28(1):24-27.
- 汤良杰,郭彤楼,田海芹,等. 黔中地区多期构造演化、差异变形与油气保存条件[J]. 地质学报,2008,82(3):298-307.
- 王国司,刘诗荣,郭炳钊. 贵州西部煤层气资源勘探前景[J]. 天然气工业,2001,21(6):22-26.
- 王国司,赵黔荣. 贵州西部六盘水地区类岩裂隙的初步研究[J]. 贵州地质,2000,17(3):166-169.
- 熊梦辉,秦勇. 五轮山矿区煤层气赋存规律及其资源潜力[J]. 煤炭科学技术,2007,35(9):79-82.
- 徐宏杰,桑树勋,杨景芬,等. 贵州省煤层气勘探开发现状与展望

[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(2): 1-7.

徐宏杰, 桑树勋, 易同生, 等. 黔西地区煤层埋深与地应力对其渗透性控制机制[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2014, 39(11): 1507-1516.

徐会军, 王万兴. 盘江矿区煤层气资源及开发前景[J]. 中国煤

层气, 1997, (1): 17-19.

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, 1999: 37-58.

易同生, 李新民. 贵州省六盘水煤田盘关向斜煤层气开发地质评价[J]. 中国煤田地质, 2006, 18(2): 30-32.

Geological Characteristics of Coal Reservoir in PingQiao Syncline of Zhijin, Guizhou Province and Favorable Horizons Evaluation

CAI Lu¹, YAO Yan-bin², QUAN Gui-long¹, CHEN Hua¹, CHEN Qing-gang¹,
LI Yong¹, DU Sheng-jiang³

(1. No. 115 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang 550000, Guizhou, China; 2. Coal Reservoir Laboratory of National CBM Engineering Center, China University of Geosciences, Beijing 100083 China; 3. Guizhou Geological Survey, Guiyang 550000, Guizhou, China)

[Abstract] Based on the geological survey in Pingqiao syncline, this paper analyzes the drilling, logging date and Coring test data of the Well PQT-1 to summarize the geological characteristics of coal reservoir in the area. Furthermore, the relationship between favorable formation for development and key parameters were deeply discussed, including coal thickness, coal pitch, micro components, ash yield and gas content. The results show that eighth sets of main seam featured "small thickness, multi layers, close interval" in vertical of Well PQT-1, which make it suitable for the development process of separate fracturing and co-production. Among the eighth sets, the C14 and C16 strata characterized with great thickness coal, moderate gas content, low ash yields and small desorption pressure were evaluated the most favorable layers. Limited to the coal thickness, the C30, C32 two strata and the C17, C20 two strata take the second and the third place respectively.

[Key words] Zhijin Guizhou Province; Pingqiao syncline; PQT-1; CBM; Favorable horizons evaluation

(上接第 277 页)

Genesis Discussion of Maochang Super-large Bauxite Deposit

ZHUANG Zhi-xian, TAO Yong-chang, ZHOU An-le

(No. 115 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Qingzhen 551400, Guizhou, China)

[Abstract] Maochang bauxite deposit situated in Maochang dome anticline of northeast Daweiling anticline. Because the carbonate rock ancient karst erosion surface of Cambrian suffered long time weathering corrosion and leaching progress, claypan formed on the ancient karst positive landform, then the claypan formed ore source bed of gibbsite by further weathering corrosion desilication and deferrization, the negative landform supported enough space for bauxite sediment. By analysis the characteristics of ore-bearing rock series, with the study of sedimentary facies and paleographic environment, improved that the formation of Maochang bauxite deposit was controlled strictly by geotectonics and ancient karst topography.

[Key words] Bauxite deposit; Ancient karst; Ore-bearing rock series; Sedimentary cycle; Weathering corrosion and leaching progress