文章编号：1008－8857(2023)02－0124－04　**DOI**: 10.13259/j.cnki.eri.2023.02.008

贵州合层开发煤层气井产层孔渗特征研究

周培明[1,2]，汪　俊[3]，魏元龙[1,2]，向　刚[1,2]，徐　虎[1,2]

（1. 自然资源部复杂构造区非常规天然气评价与开发重点实验室，贵州 贵阳 550009；2. 贵州省油气勘查开发工程研究院，贵州 贵阳 550009；3. 中国矿业大学 资源与地球科学学院，江苏 徐州 221116）

摘　要：贵州省煤层发育，煤层气资源富集，对其合层开发煤层气产层孔渗特征进行研究能够为煤层气高产、稳产提供依据。基于贵州合层排采煤层气井产层特征统计，综合现有地质及工程数据，系统研究产层孔渗特征。研究结果表明：贵州境内受煤变质程度高的影响，煤层气产层孔隙度较低，主要在 2% ～ 6% 之间；煤储层大多发育两组相互近正交的内生裂隙，外生裂隙则与区内深大断裂活动以及煤层厚度有关；产层渗透率均低于 0.35 mD，属于中低渗透率产层，且以小于 0.1 mD 的低渗产层为主。

关键词：贵州；煤层气；煤层气井；孔渗特征

中图分类号：P631.8　　**文献标志码**：A

Study on the production layer porosity and permeability characteristics of coalbed methane wells in the multi-coal seam development in Guizhou

ZHOU Peiming[1,2]，WANG Jun[3]，WEI Yuanlong[1,2]，XIANG Gang[1,2]，XU Hu[1,2]

(1. Key Laboratory of Unconventional Natural Gas Evaluation and Development in Complex Tectonic Areas, Ministry of Natural Resources, Guiyang 550009, China; 2. Guizhou Engineering Research Institute of Oil & Gas Exploration and Development, Guiyang 550009, China; 3. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In Guizhou Province, coal seams developed, which concentrated the coalbed methane. The production layer porosity and permeability characteristics of coalbed methane wells in the multi-seam development were studied to provide a basis for high yield and stable production of coalbed methane. Combining the statistics on the production layer characteristics of coalbed methane wells and the existing geological and engineering data in Guizhou, systematic study on the porosity and permeability characteristics of the production layers was performed. Results show that in Guizhou, the low porosity of 2% to 6% in the coalbed methane production layers is dominated by the high degree of coal metamorphism. Two groups of near-orthogonal endogenous fissures

收稿日期：2022－04－12

基金项目：贵州省地质勘查基金项目(208-9912-JBN-UTS0, 52000021MGQSE7S7K6PRP)

第一作者：周培明(1990—)，男，硕士，高级工程师。研究方向：煤层气地质与勘查开发技术。

E-mail：1053294107@qq.com

develop in most of coal reservoirs, while the exogenous fissures are related with both the deep fracture activity and coal thickness in the area. The production layers with the permeability less than 0.35 mD belong to medium and low permeability production layer and are dominated by the low permeability of less than 0.1 mD.

Keywords: Guizhou Province; coalbed methane; coalbed gas well; porosity and permeability characteristics

贵州省地处我国西南地区，境内煤层发育，在煤层中蕴藏着大量可供开发利用的煤层气资源，是我国南方最大的煤层气富集区。近年来，多家单位先后在六盘水煤田、织纳煤田、黔北煤田施工了 300 余口煤层气参数井、排采井(组)，积累了大量的地质工程资料和施工组织经验，极大推动了贵州煤层气勘探开发进程。贵州省内所施工的煤层气井多采用合层开发方式，且煤层气井产层数量、特征存在显著差异。为了查明贵州合层开发煤层气井产层孔渗特征，本文在省内外煤层气勘探开发现状调研的基础上，收集、整理了贵州省及周边地区(滇东、川南、重庆)63 口合层开发煤层气井产层孔渗特征数据，对比研究了贵州省合层开发煤层气井产层孔渗特征。

1　贵州地区煤层气地质背景

贵州省位于我国西南地区，有着“江南煤海”的称号，煤炭资源储量十分丰富，总含煤面积大约为 7 万 km^2，在这其中赋存着大量的煤层气资源，勘探开发潜力巨大[1]。

贵州省煤层的主要形成时期为晚二叠世，由于我国南方地区在二叠纪之后，构造演化发展频繁，在沉积发展过程中经历了多次海陆交互，使得贵州煤层气与其他地区煤层气差异显著，且特点鲜明，可总结为“一弱”“两多”“三高”和“四大”四个方面。其中，“一弱”表现为贵州的主要含煤地层龙潭组的地下水动力条件较弱，含水量低。“两多”表现为煤层的层数多以及控气构造类型多。在聚煤后期，由于强大的改造作用，贵州境内的含煤地层被分割从而赋存在多个独立次级向斜单元。“三高”包括煤层含气量高、资源丰度高、储层压力以及地应力高。在织纳地区，煤层平均含气量大于 18 $m^3 \cdot t^{-1}$，最高含气量甚至可以达到 27 $m^3 \cdot t^{-1}$。含气量大于 4 $m^3 \cdot t^{-1}$，且埋深小于 2 000 m的可采煤层中煤层气资源丰度大于 2.2 亿 $m^3 \cdot t^{-1}$，而全国的平均水平只有 1.12 亿 $m^3 \cdot t^{-1}$，足以证明贵州地区有着丰富的煤层气资源。通过省内煤层气的试井资料得到煤储层压力系数普遍在 0.9以上。“四大”指煤层气资源量大、煤级变化大、煤储层渗透性变化大、地质条件垂向变化大。贵州省煤层气资源储量十分丰富，占到全国煤层气资源总量的 18% 左右。境内从肥煤到无烟煤均有分布，且煤级的分布成带状，以中变质烟煤–高煤级煤为主要煤级[2]。

2　孔裂隙发育特征

贵州合层开发煤层气井产层孔隙度统计如图 1 所示。从图中可知：产层孔隙度较低，变化范围在 1.04%～6.70% 之间，且主要孔隙度在 2%～6%，仅少量产层孔隙度小于 2% 或大于 6%。区内煤层气井产层孔隙度较低，主要受控于煤变质程度较高的影响。此外，煤层具有相对较低的孔隙度，也导致煤储层渗透率偏低[3]。

从贵州各煤田的情况来看：六盘水煤田合层开发煤层气井产层孔隙度为 2.5%～6.7%，且以 nm～μm 级的微孔为主，中孔、大孔占比较低。其中，水城矿区 DC−1 井钻遇可采煤层孔隙率为 3.6%～6.7%，平均为 5.8%；盘江矿区松沙井田 SC−1 井主要目的煤层孔隙率为 2.8%～3.4%，平均为 3.2%；松河井田 GC−1 井煤层孔隙率 2.5%～5.1%，平均为 4.1%。从孔隙度的变化来看，DC−1 井主要目的煤层的孔隙度变化较大，表现为随着煤层埋深增加，孔隙度逐渐减小；SC−1 井主要

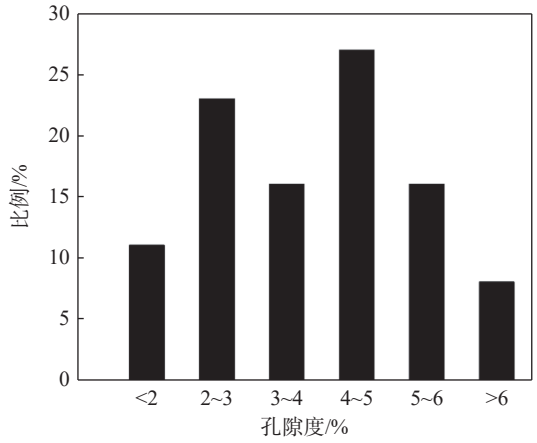

图 1 贵州合层开发煤层气井产层孔隙度统计

Fig. 1 Statistics on the production layer porosity of coalbed methane wells in the multi-coal seam development in Guizhou Province

目的煤层孔隙度相近，与埋深的关系不明显；GC−1 井煤层孔隙度与灰分/矿物质含量有关，灰分含量越高，煤层孔隙率越小。由于矿物质充填了煤中一部分中、大孔隙，导致煤层总孔容下降，虽然有些矿物本身就存在一些孔隙，但总体而言还是使得煤层孔隙发育程度降低。与六盘水煤田相比，织纳煤田、黔北煤田煤层气井产层孔隙度相对较低，这与煤变质程度高、微孔比例高有密切关系。

图 2 为六盘水煤田盘江矿区火烧铺区块产层内生裂隙发育情况。由图中可知：六盘水煤田盘江矿区、水城矿区广泛发育的中变质程度煤层(产层)内生裂隙最发育，裂隙密度大。

以盘关向斜和格目底向斜为例，盘关向斜煤层的面裂缝宽度大约为 1 ～ 36 mm，端裂缝宽的变化在 1～30 mm 之间，裂隙密度为 5.4～8.7 条·m^{-1}；格目底向斜煤层的面裂缝宽度大约为 1～26 mm，段裂缝的宽度变化在 1～20 mm 之间，裂隙密度 5.3～11.3 条·m^{-1}。但是，由于地应力对煤层裂隙开合及产层渗透率有显著影响，内生裂隙充填(方解石、黄铁矿等矿物)及地应力增加不利于裂隙导流，导致产层渗透率普遍较低。

3 产层渗透率特征

产层渗透率决定了煤层气渗流的难易程度，

图 2 六盘水煤田盘江矿区火烧铺区块产层内生裂隙发育情况

Fig. 2 Endogenous fissures development in the production layers of Huoshaopu block in Panjiang mining area of Liupanshui coalfield

因此在煤层气开发过程中受到广泛关注[4]。产层渗透率高，气水渗流速度越快，压降漏斗扩展距离越长，影响面积越大，煤层气井产量越高。但当渗透率过高时，在供液能力充足的条件下，使得产水量过大，井底流压降低越困难，不利于煤层气的解吸产出[5−7]。当渗透率偏低时，煤层中的气、水渗流速度越慢，压降速度越小，压降传播距离越短，仅在井筒附近存在压降，最终导致煤层气井产气量偏低[8]。

图 3 为贵州合层开发煤层气井产层渗透率统计。由图中可知：贵州产层渗透率均低于 0.35 mD，属于中低渗透率产层，且以小于 0.1 mD 的低渗产层为主。表 1 为六盘水煤田部分勘查试采井煤层厚度、埋藏深度及渗透率。由表中可知：煤层气井产层渗透率偏低，主要受区域高地应力、高变质程度及局部煤层开发深度大的共同影响，这与贵州省内煤储层渗透率总体特征及空间变化规律一致。图 4 为六盘水煤田部分勘查试采井煤层厚度、埋藏深度与渗透率关系。由图中可知：产层渗透率总体表现为随着埋藏深度增加而减少，这是由于当埋藏深度增加时，煤储层受到的地应力也在增加，地应力是影响渗透率的首要因素，且随地应力增大渗透率逐渐减小。

综上所述，贵州合层开发煤层气井产层渗透性差，使得区域煤层气开发面临挑战。由于煤层埋深和煤储层渗透两者关系密切，为了降低煤层气开发的难度，就需要合理选择开发煤层深度，保障煤层气开发效果。在织纳煤田和黔北煤田

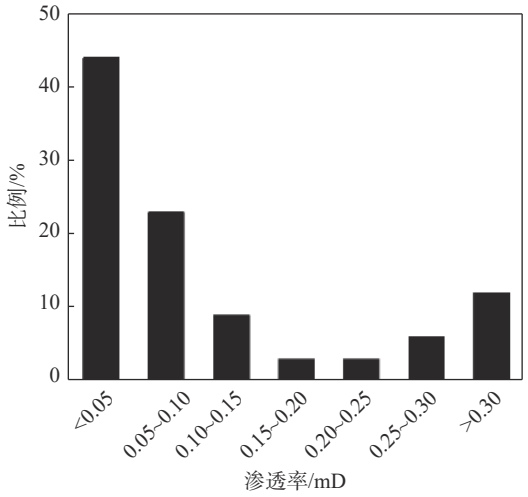

图 3　贵州合层开发煤层气井产层渗透率统计

Fig. 3　Statistics on the production layer permeability of coalbed methane wells in the multi-coal seam development in Guizhou

中，由于其含气饱和度相对较低且煤变质程度较高，则在开采过程中应与煤矿开采工作紧密结合，在煤层埋藏较浅的位置进行瓦斯地面预抽，以获得经济、安全与环保综合效益[9–10]。

表 1　六盘水煤田部分勘查试采井煤层厚度、埋藏深度及渗透率

Tab. 1　Coal seam thickness, burial depth, and permeability from part of the exploration and test mining wells in Liupanshui coalfield

井名	煤层厚度/m	埋藏深度/m	渗透率/mD
杨煤参1井	2.66	599	0.07
	1.83	636	0.35
	1.93	659	0.31
SC−1井	2.50	441	0.49
	1.53	557	0.16
	3.45	605	0.13
	2.63	634	0.08
DC−1井	0.98	573	0.07
	3.05	632	0.17
	1.67	806	0.13
黔水参1井	2.90	560	0.35
	2.15	623	0.31
	1.65	663	0.28

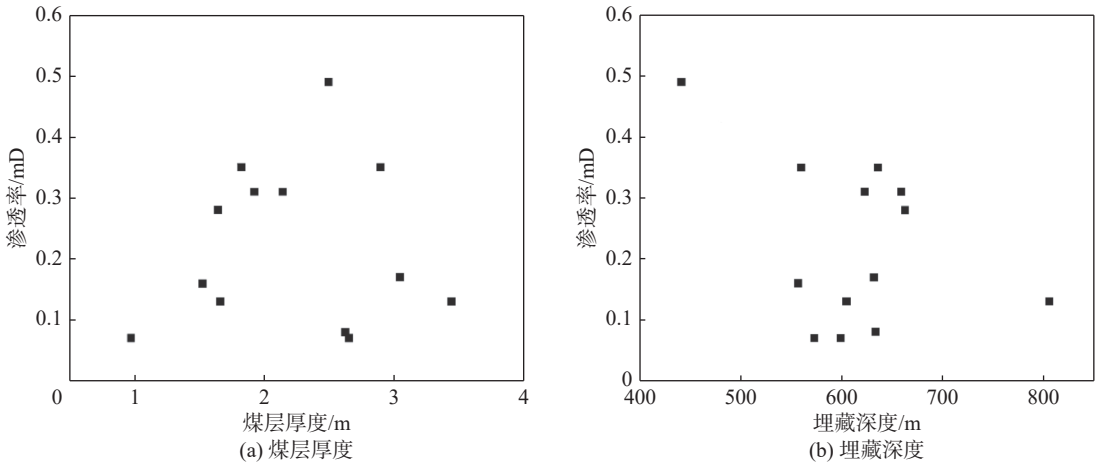

图 4　六盘水煤田部分勘查试采井煤层厚度、埋藏深度与渗透率关系

Fig. 4　Relationship between the seam thickness, burial depth, and permeability from part of the exploration and test mining wells in Liupanshui coalfield

4　结 论

（1）贵州省内受煤变质程度高的影响，煤层气产层孔隙度较低，主要孔隙度在 2% ～ 6% 左右。

（2）省内煤储层大多发育两组相互近正交的内生裂隙，且内生裂隙的非均质性极强，密度很大。外生裂隙及构造煤发育与区内深大断裂活动有关，并与煤厚的相关性明显。

（3）省内产层渗透率均低于 0.35 mD，以小于 0.1 mD 的低渗产层为主，总体上属于中低渗率产层。

参考文献：

[1] 徐彬彬, 何明德. 贵州煤田地质 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.

(下转第 135 页)