

古蔺叙永地区煤层气勘探开发前景分析

柯 军^{1,2} 尹中山^{2,3} 赵文峰^{2,3} 尹雪松⁴

1. 四川省煤田地质局一三五队, 四川 泸州 646000;
2. 四川省煤矿瓦斯(煤层气)工程研究中心, 四川 成都 610072;
3. 四川省煤田地质局, 四川 成都 610072;
4. 武汉理工大学自动化学院, 湖北 武汉 430070

摘 要:在加大油气资源勘探开发力度,提升国内油气资源保障程度,加快四川省清洁能源示范省的建设进程中,古蔺叙永地区煤层气资源的勘探开发,对加快四川省煤层气资源开发利用步伐意义重大。在总结 2002 年以来古蔺叙永地区煤层气资源勘探研究、煤层气参数井施工、地面抽采井试气工程的成果基础上,阐明由层滑构造控制形成的构造煤是制约该地区煤层气商业化开发的主因,从煤储层解吸效率等参数角度剖析提高煤层气井产量的原理和方法,认为临储压差、临废压差、有效解吸量和解吸效率四者共同控制着煤层气井产气潜力。研究区煤层气资源富集,具有较好的开发前景。建议加快规模化开发,开展适合构造煤储层改造方式的研究,加强深部煤层气勘探,扩大煤层气工作有利区,实现四川省煤层气资源综合勘查开发利用的目标。

关键词:古蔺叙永地区;龙潭组;构造煤;煤系气;解吸效率;深部煤层气勘探

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2019.05.014

Analysis on Exploration and Development Prospects of Coalbed Methane in the Area of Xuyong and Gulin County

Ke Jun^{1,2}, Yin Zhongshan^{2,3}, Zhao Wenfeng^{2,3}, Yin Xuesong⁴

1. Sichuan Coalfield Geological Bureau 135th Team, Luzhou, Sichuan, 646000, China;
2. The Engineering Research Center of Sichuan for Coal Mine Methane (CBM), Chengdu, Sichuan, 610072, China;
3. Sichuan Coalfield Geological Bureau, Chengdu, Sichuan, 610072, China;
4. Wuhan University of Technology. Institute of Automation, Wuhan, Hubei, 430070, China

Abstract: In order to realize the development and utilization of coalbed methane (CBM) resources in Sichuan Province, especially in the area of Gulin and Xuyong, it is of great significance to intensify the exploration and development of oil and gas resources, improve the guarantee level of domestic oil and gas resources, and accelerate the construction process of a clean energy demonstration province in Sichuan Province. On the basis of summarizing the achievements of CBM resource exploration research, CBM parameter well construction and surface extraction well gas test project in the area of Gulin and Xuyong since 2002, it is clarified that the structural coal controlled by the slip structure is the main factor

收稿日期:2019-07-18

基金项目:四川省科技厅科技支撑计划项目“煤系中页岩气与煤层气共采先导性技术及试验研究”(2016 JZ 0037)

作者简介:柯 军(1968-),男,四川南部人,高级工程师,硕士,从事煤田地质、煤层气、页岩气勘查及管理工作。

restricting the commercial development of CBM in this area. The principle and method of improving CBM well yield are analyzed from the perspective of parameters such as desorption efficiency of coal reservoir, etc. It is believed that the temporary storage pressure difference, temporary waste pressure difference, effective desorption amount and desorption efficiency jointly control the gas production potential of CBM wells. The coal seam (system) gas resources in the study area are enriched and have good development prospects. It is suggested to speed up large-scale development, carry out research on suitable structural coal reservoir reconstruction methods, strengthen deep coalbed methane (DCBM) exploration, expand favorable areas for coalbed (system) gas work, and realize the goal of comprehensive exploration, development and utilization of coalbed methane resources in Sichuan Province.

Keywords: The area of Xuyong and Gulin; Longtan formation; Structural coal; Gas of coal measures; Desorption efficiency; Deep coalbed methane exploration

0 前言

四川省煤层气勘探工作起步于1996年,于1996、2002、2011年对全省煤层气资源进行过评价与利用研究工作。全省煤层气开发潜力地区为古蔺叙永地区、宜宾筠连、芙蓉地区。上述地区下二叠统龙潭组(P_{31})具有煤层层数多且厚度2 m左右、含气量高、埋深适中、保存条件好、煤储层以常压为主、局部有异常高压区、临界解吸压力较高等有利条件,但渗透率较低~极低、地层倾角 20° 及以上等主要不利静态指标。地面抽采试验显示有利区块出气性有较大差异,古蔺叙永地区煤层气井口口见气,日产气量波动大、稳产期短等情况^[1-2],证实古蔺叙永地区是四川省煤层气及煤系泥页岩气开发最有利的地区之一。1996、2002、2011年评价的四川省晚二叠世煤层气资源量分别为 $4\,415 \times 10^8$ 、 $3\,107 \times 10^8$ 、 $4\,668 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中古蔺叙永地区 788×10^8 、 $1\,001 \times 10^8$ 、 $1\,925 \times 10^8 \text{ m}^3$,均为中等丰度大型煤层气田^[3-10]。

研究区古蔺叙永地区指该区有煤层露头、煤矿开采及开展过煤炭勘探的地区,划分为两河、叙永、古蔺、大村、庙林、石宝、观文、海风和河坝等9个矿段,其目的层为下二叠统龙潭组 C_{11} 、 C_{17} 、 C_{24} 等煤层,属无烟煤三号。大村矿段已于2015年完成了煤炭、煤层气综合勘查工作,施工参数井、试验井共17口。

研究区开展煤层气探索试验工作的有石宝SQ1、石地1等8口井,大寨某50井、两河矿段川南地2、海风、河坝矿段49-2井、石屏井田42-2井、仁页1井等。从 C_{17} 煤层42-2井最浅埋深247 m—石地1井1 450 m—仁页1井最深3 200 m的煤层气资源得到证实,大村、大寨、石宝等试气效果表明仅大村达到工业气流,却尚未形成井网试采,未获取探明储量,因此该地区煤层气勘探研究评价与试气的空间非常大^[11]。

2010年在古蔺县大村取得日产 $1\,600 \text{ m}^3$ 的重大突破^[12-13],但到目前为止仍未实现商业化,国家明确加大

油气工作力度的同时,再次深入分析本区煤层气勘探难点问题,有助于加快古蔺叙永地区煤层气开发进程。

1 地质构造特征

研究区主体构造为近东西向的古蔺复式背斜,背斜东端转向北东向。北翼倾角较缓,北翼西段以宽缓的次级褶皱为主,中段和东段以单斜为主;南翼较陡,以紧密褶皱为主,主要赋煤构造如古蔺复式背斜、新街背斜等共10个。褶皱带的展布控制了晚二叠世煤层及煤层气资源的分布格局^[4]。褶皱带内破坏煤系的区域性大断层不发育,而由褶皱控制的次级断层则较发育。

地质构造发育过程中受由南向北水平挤压应力作用形成的纵弯褶皱,称古蔺复式背斜。区内褶皱发育,规模较大,其中背斜轴部出露最老地层多为寒武系或震旦系,向斜轴部出露最新一般为侏罗系中下统地层。在向斜或背斜翼部赋存 C_{17} 等煤层。

上二叠统龙潭组主要为泻湖—三角洲—泥炭沼泽—障壁岛及潮坪相的海陆过渡相沉积,沉积环境、聚煤作用基本稳定。岩性为粉砂岩、泥岩、页岩夹煤层。

研究区含煤20余层,可采煤层有 C_6 或 C_7 、 C_{7-10} 、 C_{12-13} 、 C_{14} 、 C_{17-20} 、 C_{21} 、 C_{22} 、 C_{23} 、 C_{24} 和 C_{25} 等10层,煤层累厚9~11 m,含煤系数10%~14%,煤炭资源勘查成果表明该地区中富含烃类气体。其中 C_{7-10} (或 C_7 、 C_{8-10})、 C_{17-20} 、 C_{23} 、 C_{25} 等4层为主要可采煤层,含煤平均总厚度8.75 m。古蔺叙永地区煤层瓦斯含量较高,最高为观文矿段 C_{11} 煤层 $30.84 \text{ m}^3/\text{t}$,最高瓦斯压力3.3 MPa,煤的最大理论吸附量平均 $34.85 \text{ m}^3/\text{t}$,煤的渗透率平均值为 $0.159 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,煤体破坏类型II~IV为主,构造煤普遍发育。

大量研究表明,上二叠统龙潭组地层分布面积大,深度范围广,有机质丰度高,煤层成组出现、层数多、厚度较薄、厚度变化大,含气量高,泥页岩连续厚度大,具备开展煤层(系)气评价试验的最佳条件^[14-16]。而煤系气是由整

个含煤岩系中的成煤母质、煤和分散有机质在生物化学、物理化学及煤化作用过程中演化生成的全部天然气^[17]。

2 问题分析

2.1 地质技术问题

煤层气工作研究不深入、不系统,停留在含煤地层、构造、含煤性、含气性等基础数据的收集与常规研究上,而对煤储层黏土成分比例与类型、泥页岩层的氩离子抛光镜鉴定等研究不多,深度不够,作为面积约 2 000 km² 范围的古蔺叙永地区,以 DCMT-3 井^[12-13] 技术模式推广施工、采气技术,产气效果不如预期,阻碍了本区煤层气开发进度。

2.2 产气量问题

煤层气开采的目的是创造经济效益,直接体现在增加日产气量、累计产气量上。单井产量越低、稳产时间越短,经济效益越差。制约产气量的因素有地质、工程施工^[12-13]、排采工作制度的合理性等。

2.2.1 构造煤普遍分布

从宏观看,煤与瓦斯突出需要有一定厚度的“构造煤”,而由纵弯褶皱控制的层滑构造是形成“构造煤”的主因。

研究区普遍发育纵弯褶皱,其控制的层间滑动容易形成顺层断层。机理在于煤系地层中上部的 P_{3c} 、下部 P_{2m} 均为岩性硬脆的灰岩,横张、“X”剪节理或断层较发育,软弱的煤系岩层则发生部分塑性变形,前者主要发育层间褶曲,伴生走向逆断层,后者则在主要煤层(近距离煤层群)及其附近软岩层中发育顺层滑动,形成层滑构造带等塑性变形构造,部分可显现为顺层断层。具体看,煤层受到了强有力的挤压、搓揉,不仅造成煤层厚度大幅度变化,而且破坏部分煤层的原生结构,形成大量岩体破碎系数 f 值一般都 < 0.5 ,煤体破坏类型为 II ~ IV 类的构造煤。表现为煤层及其顶底板中小断层较为发育,以正断层居多,据古蔺复式背斜北翼东端岔角滩井田宏达煤矿采煤工作面揭露断层统计,断距 0.2 ~ 1.35 m 不等,多小于 1.0 m,但对煤层的破坏和瓦斯聚集影响较大。构造煤分布在煤层上部,其厚度为全层厚的 $2/3$ 左右。总体使井田(矿井)地质构造复杂化^[5,8-10]。

2.2.2 岩溶原因

关注 P_{2m} 地层的溶蚀,原因是岩性为生物碎屑灰岩、砂屑灰岩、微晶灰岩,方解石含量高达 95% 以上,同时岩溶发育区受区域地质构造线控制,燕山期形成的褶皱、断裂及构造节理裂隙为岩溶的形成、发展和地下水活动提供了十分有利的条件,并控制着岩溶发育方向和地下水的流向。古蔺复式背斜派生了大量微细构造如成组出现的裂隙,其发育形态和延伸方向对岩溶起到了次生的控制或影响作用^[18-19]。全区 C_{25} 煤层沉积前茅口组地

层基底抬升、剥蚀、溶蚀对煤层储气性的影响较大,灰岩水、断层、侵蚀基准面高低、物源供给等对产气量的作用应作进一步深入分析。

综上所述,龙潭组中煤组(C_{13} 、 C_{17-20} 煤层)附近发育顺层滑动构造,构造煤改造是当前煤层气开发尚未攻克的难题,加之煤系地层底部又发育溶蚀地层,对煤层气保存封盖起到负面作用。

2.3 单层、合层采气的效益问题

2.3.1 单一煤层产气量

在大村、大寨、石宝的勘探试验井均采用分层压裂、合层采气方式,基于多煤层解吸供气以提高产量的思路,实现经济效益。研究区煤层气井分散,试气曲线、日产气量可对比性差,而针对本区成组出现的煤层群,目前难以对单一煤层产气贡献进行评价。

2.3.2 试气方案缺乏科学依据

过分依赖开发成功地区如沁水盆地的作法。沁水、四川地区的煤储层虽同属无烟煤三号,但在煤层厚度、地层倾角、煤质煤体结构等方面差异较大。由于本区煤层气试验井数量少,储层改造、试验方式方法有限,未就各煤层、煤系页岩气的储层压力系数差异、煤层(系)气层间距离远近、渗透率差异性、含气量、岩石物理力学参数的差异性条件开展评价和系统分析,未总结出适合研究区单层开采、合层开采起决定作用的因素。

2.4 应对策略

1) 研究区煤层气参数井分布不均匀,仅大村与石宝矿区煤层气资料较丰富,应当运用煤层气、煤系气评价理论优选最有利地区。

2) 加强对构造煤样品的微观研究,以及单层合层改造与排采技术的详细研究。

3) 落实茅口组溶蚀地层对 C_{25} 等煤层保存条件的影响,制定科学合理的试气方案。

4) 井位选择避开构造煤影响区、 P_{2m} 溶蚀程度严重区,对区内有利目标层 C_{17} 、 C_{23} 、 C_{25} 煤层的单层产气能力开展评价,为实施科学采气提供依据。

3 参数井数据对比

3.1 含煤性对比

研究区含煤地层厚度具有较好的可比性,发育环境稳定,含煤性及含煤系数基本掌握,体现在浅部采煤地区的龙潭组总厚度较深部薄,深部地层倾角变小、厚度基本稳定、煤体结构较好、含气量高及气侵显示明显等特征(石地 1 井^[7]),各矿区煤系地层厚度对比示意图见图 1,参数井煤层对比示意(东西)见图 2^[7-9]。

3.2 储层参数对比

研究区内 4 口参数井测试数据对比见表 1。表 1 数

据表明,研究区包含欠压、常压、超压煤储层,主力煤层吸附能力强、含气量高,埋深适中,渗透率低或极低。

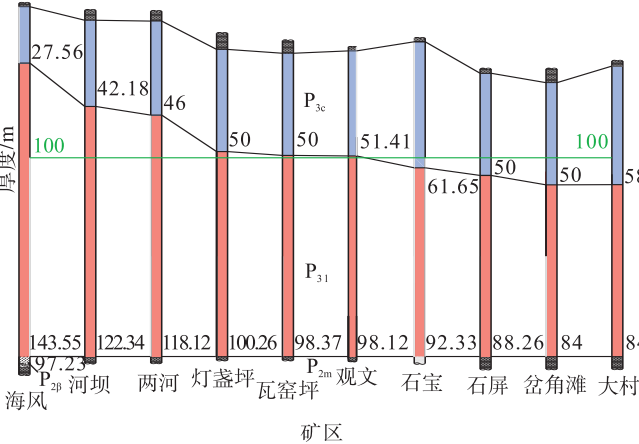


图 1 各矿区煤系地层厚度对比示意图

3.3 开发前景分析

3.3.1 深部煤系气的证据

煤层具有极大的生气能力,从褐煤到无烟煤阶段,煤生气可达 $400\text{ m}^3/\text{t}$ 以上,同时煤系中的炭质泥岩、泥岩对煤系气的生成贡献大。如果煤层气储层和页岩气储层相邻或相距很近,煤层气和页岩气就可能形成相邻或相近的气体储层,该气体运移到两个储层相邻处就可能出现煤层气和页岩气的混合储层。具备良好的保存组合就会形成有价值的煤系气藏。

在深度超过 $1\ 200\text{ m}$ 的石地 1 井龙潭组中,获得较好的深层“三气”显示,龙潭组厚 128.01 m ,煤层厚 17.88 m ,

含气量 $3.10\sim 26.31\text{ m}^3/\text{t}$,平均含气量 $12.32\text{ m}^3/\text{t}$;炭质泥岩厚 39.92 m ,含气量 $0.61\sim 4.70\text{ m}^3/\text{t}$,平均含气量 $2.16\text{ m}^3/\text{t}$;砂岩含气量 $0.10\sim 0.47\text{ m}^3/\text{t}$,平均含气量 $0.24\text{ m}^3/\text{t}$,石地 1 井三气解吸测试示意图见图 3^[7]。

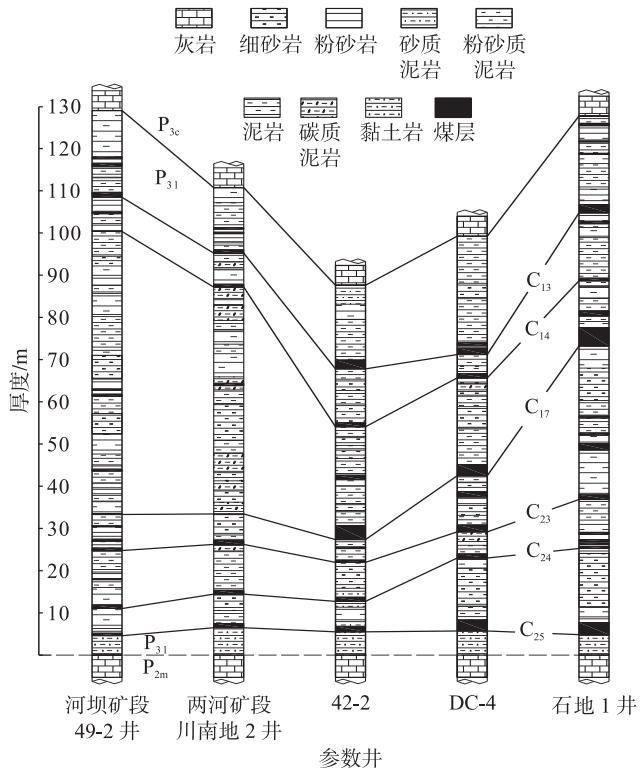


图 2 参数井煤层对比图(东西)

表 1 4 口参数井测试数据对比表

测试数据	河坝矿段 49-2 井		两河矿段川南 2 井		石屏井田 42-2 井		大村 DC 4 井		
	C ₁₁ 煤层	C ₁₃ 煤层	C ₂₄ 煤层	C ₁₄ 煤层	C ₂₅ 煤层	C ₁₅ 煤层	C ₁₇ 煤层	C ₁₄ 煤层	C ₁₇₊₂₃ 煤层
测试井段中部深度 /m	425.70	432.50	531.00	866.16	941.95	247.77	260.90	816.28	843.85
储层压力 p/MPa	4.32	4.40	5.84	8.49	9.52	1.30	1.34	8.50	8.50
储层压力梯度 / ($\text{MPa}\cdot 100^{-1}\text{m}^{-1}$)	1.015	1.017	1.100	0.980	1.011	0.52	0.51	1.04	1.01
渗透率 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	0.078 0	0.044 0	0.075 8	0.062 1	0.217 9	0.039 3	0.135 8	—	0.681 2
表皮系数	-2.48	-3.02	-2.29	-2.05	-3.12	-2.81	-2.79	-2.37	-2.91
储层温度 / $^{\circ}\text{C}$	22.94	23.14	25.97	—	—	24.21	24.72	29.30	29.40
平均破裂压力梯度 / ($\text{MPa}\cdot 100^{-1}\text{m}^{-1}$)	3.64	3.25	3.32	2.93	—	—	2.27	—	—
平均闭合压力梯度 / ($\text{MPa}\cdot 100^{-1}\text{m}^{-1}$)	3.05	2.93	2.75	—	—	—	2.51	—	—
孔隙度 /($\%$)	3.00	—	—	7.41	7.20	—	—	—	3.52
兰氏体积 $V_L/$ ($\text{m}^3\cdot \text{t}^{-1}$)	—	—	—	22.37	22.94	19.73	20.31	21.05	23.75
兰氏压力 p_L/MPa	—	—	—	0.94	0.61	1.02	1.15	0.97	1.12
含气量 $C_{\text{daf}}/(\text{m}^3\cdot \text{t}^{-1})$	—	—	—	15.51	9.18	8.76	10.15	19.72	21.24

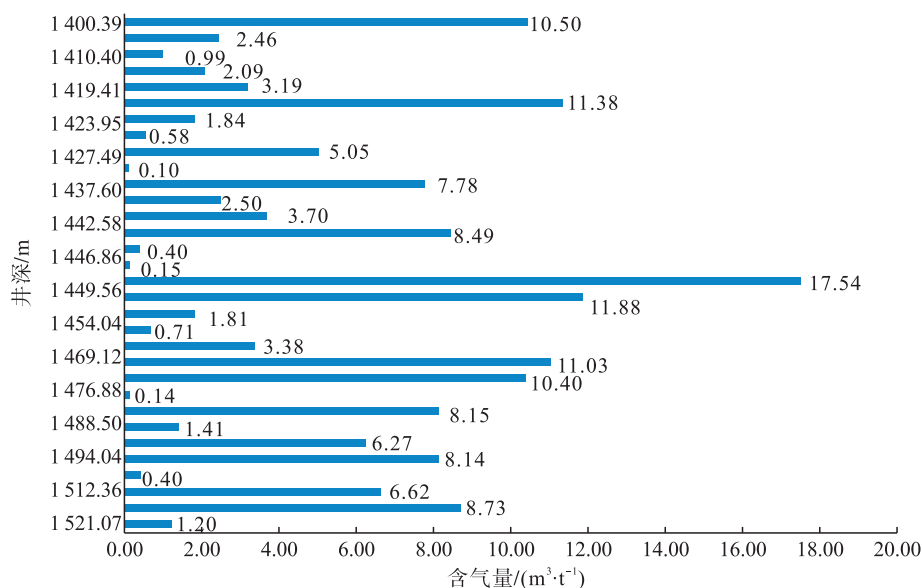


图 3 石地 1 井三气解吸测试示意图

3.3.2 解吸效率 V' 与产气效果关系的分析

通过传统简化的 Langmuir 公式可以计算理论含气量、临界解吸压力 p_{cd} 、采收率、含气饱和度等指标,对早期煤层气勘探开发决策和方案的制定发挥了较好的指导作用。随着大量煤层气井的施工、采气工程实践的延长,上述计算预测的情况和实际见气时间有较大的出入。“十一五”以来,国家油气重大专项有关课题组通过技术创新,提出用解吸效率 V' 来表征煤层气解吸快慢和产气速率的高低^[20-22]。

解吸效率 V' 的工程意义为吨煤压力降低单位压力 1.0 MPa 时的产气量,它反映了储层产气速率的快慢和数量,可以表征某地区产气速率对经济效益评价的影响。解吸效率 V' 与解吸阶段等温吸附曲线是压力与气含量的关系曲线:

$$V' = V_L p_L / (p + p_L)^2$$

式中: V_L 为朗氏体积, m^3 ; p_L 为朗氏压力, MPa; p 为原始地层压力, MPa。

一般的废弃压力 $p_{\text{废}}$ 按 0.7 MPa 计算,通过国内 20 余年煤层气地面开发的经验,可以以 0.1 为等差从 0.2 至 0.6 MPa 预设废弃压力,释放出更多的煤层气。临废压差越大,地层释放产能的机会越多,有效解吸量越多。产气阶段的压降空间相对较大,煤层气理论采收率较高。

临储压差 $(p - p_{\text{cd}})$ 反映见气难易程度,临废压差 $(p_{\text{cd}} - p_{\text{废}})$ 则指示地层能量强度,有效解吸量 $V_{\text{实}}$ 决定了煤层气采收率,这三个量化指标可以反映煤储层产气潜力^[17-19]。煤层气解吸对储层压力变化较为敏感,具体表现为不同解吸阶段的解吸效率差异明显。简言之,较高的解吸效率可使煤层在较短时间内解吸大量气体,还能

增大解吸体积、增强煤基质收缩效应,提高煤层气产出动态渗透率和气井产能。因此,临储压差、临废压差、有效解吸量和解吸效率四者共同控制着煤层气井产气潜力,若临废压差值对应较高解吸效率时,煤层气井获得较高产能。

4 结论与建议

1) 研究区煤层气资源富集区块产气量指标可达工业产量标准,在层滑断层、底部茅口岩溶发育区域地面并试产气量变化、波动大。

2) 研究区煤层气具有开发前景,有继续开展煤层气工作的必要。在大型古蔺复背斜的整体格局下,仍有相对稳定的小区块存在,具备开展研究实验工作的基础。在煤系气理论的指导下,研究本区煤系气成藏规律,扩大工作有利区。

3) 研究区煤系气研究程度不够,参数偏少,部分地区排采井少、试验效果不佳,如石宝、大寨,宜再次对全区实施煤系气试验井。

4) 深部煤系气勘探试验、开发规模化是解决目前四川省煤层气事业跟不上全国步伐问题的有效途径,建议按照“地质评价—工程措施—试气一体化”思路推动四川省煤层气工作,力争实现资源综合勘查目标。

参考文献:

- [1] 杨在全. 四川古蔺石宝矿段煤层气富集特征及影响因素[J]. 四川地质学报, 2013, 33(4): 430-434.
Yang Zaiquan. Accumulation and Control Factors for Coalbed Gas in the Shibao Block, Gulin Coal Field [J]. Acta Geologica Sichuan, 2013, 33(4): 430-434.

- [2] 何俊宏,巫晓兵,刘 强,等. 川南古叙矿区石宝矿段煤层气地质主控因素分析[J]. 中国煤层气,2012,9(5):12-15.
- He Junhong, Wu Xiaobing, Liu Qiang, et al. Analysis of Major CBM Geological Controlling Factors in Shibao Mine Section, Guxu Mine Area in South Sichuan [J]. China Coalbed Methane, 2012, 9 (5): 12-15.
- [3] 谢晓东. 四川省煤层气资源评价[R]. 成都:四川省煤田地质局,1996.
- Xie Xiaodong. Evaluation of Coalbed Methane Resources in Sichuan Province [R]. Chengdu: Sichuan Coalfield Geological Bureau, 1996.
- [4] 谢晓东. 四川省煤层气开发利用研究[R]. 成都:四川省煤田地质局,2002.
- Xie Xiaodong. Study on the Development and Utilization of Coalbed Methane in Sichuan Province [R]. Chengdu: Sichuan Coalfield Geological Bureau, 2002.
- [5] 尹中山,熊建龙,张 军,等. 四川省瓦斯地质图说明书[R]. 成都:四川省能源局,2011.
- Yin Zhongshan, Xiong Jianlong, Zhang Jun, et al. Sichuan Gas Geological Map Manual [R]. Chengdu: Sichuan Provincial Energy Administration, 2011.
- [6] 尹中山. 川南煤田古叙矿区煤层气勘探选层的探讨[J]. 中国煤炭地质,2009,21(2):24-27.
- Yin Zhongshan. A Discussion on CBM Exploration Target in Guxu Mining Area, South Sichuan Coalfield [J]. Coal Geology of China, 2009, 21 (2): 24-27.
- [7] 余 谦,肖 华,叶定南,等. 黔西北页岩气调查石地1井总结报告[R]. 成都:中国地质调查局成都地质调查中心,2015.
- Yu Qian, Xiao Hua, Ye Dingnan, et al. Summary Report of Shidi 1 Well Survey of Shale Gas in Northwestern Guizhou [R]. Chengdu: Chengdu Geological Survey Center of China Geological Survey, 2015.
- [8] 柯 军,朱永贵,刘 策,等. 四川省叙永县河坝矿段煤炭资源普查勘探报告[R]. 泸州:四川省煤田地质局一三五队,2011.
- Ke Jun, Zhu Yonggui, Liu Ce, et al. Survey and Exploration Report on Coal Resources Survey of Heba Mining Section, Xuyong County, Sichuan Province [R]. Luzhou: 135th Team of Sichuan Coalfield Geological Bureau, 2011.
- [9] 张玉法,柯 军,张 峰,等. 四川省古蔺县大村矿段煤炭资源勘探报告[R]. 成都:四川省煤田地质工程勘察设计院,四川省煤田地质局一三五队,2016.
- Zhang Yufa, Ke Jun, Zhang Feng, et al. Report on Coal Resource Exploration in Da Village, Gulín County, Sichuan Province [R]. Chengdu: Sichuan Institute of Coal Field Geological Engineering Exploration and Designing, 2016.
- [10] 刘 策,吴永贵,车怀庆. 四川古叙矿区石屏二矿龙潭组沉积特征及控煤因素分析[J]. 中国煤炭地质,2013,25(10):7-11.
- Liu Ce, Wu Yonggui, Che Huaqing. Longtan Formation Sedimentary Characteristics and Coal Controlling Geologic Factor Analysis in Shiping No. 2 Coalmine, Gulín-Xuyong Mining Area, Sichuan [J]. Coal Geology of China, 2013, 25 (10): 7-11.
- [11] 门玉澎,陈小炜,戚明辉,等. 川南古叙矿区煤层气资源有利区优选[J]. 沉积与特提斯地质,2019,39(1):68-74.
- Men Yupeng, Chen Xiaowei, Qi Minghui, et al. Assessment of the Favourable Areas of the Coalbed Gas Resources in the Gulín-Xuyong Mining District in Southern Sichuan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2019, 39 (1): 68-74.
- [12] 尹中山,李茂竹,徐锡惠,等. 四川古叙矿区大村矿段煤层气煤储层特征及改造效果[J]. 天然气工业,2010,30(7):120-124.
- Yin Zhongshan, Li Maozhu, Xu Xihui, et al. Characteristics of Coalbed Methane Gas Reservoirs and Fracturing Results of Pilot Test Wells in the Dacun Zone of the Guxu Coal Field, South Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30 (7): 120-124.
- [13] 尹中山,肖建新,汪 威. 四川古蔺 DCMT-3 井排采曲线特征及开发前景分析[J]. 中国煤炭地质,2012,24(1):13-16.
- Yin Zhongshan, Xiao Jianxin, Wang Wei. Analysis of DCMT-3 Well Drainage Curve Characteristics and Exploitation Prospect, Gulín, Sichuan [J]. Coal Geology of China, 2012, 24 (1): 13-16.
- [14] 张玉法,冉茂云,黎冬林,等. 川南煤田古叙矿区岔角滩井田煤储层特征评价[C]//中国煤炭学会. 第七届全国煤炭工业生产一线青年技术创新文集. 北京:中国煤炭学会,2012.
- Zhang Yufa, Ran Maoyun, Li Donglin, et al. Coal Reservoir Characteristics Evaluation of Chajiaotan Mine Field, Guxu Mining Area, Southern Sichuan Coal Field [C]//China Coal Society. Proceedings of the 7th National Coal Industry Technological Innovation from Youth of Production Line. Beijing: China Coal Society, 2012.
- [15] 张吉振,李贤庆,刘 洋,等. 川南地区龙潭组页岩气成藏条件及有利区分析[J]. 中国煤炭地质,2014,26(12):1-6.
- Zhang Jizhen, Li Xianqing, Liu Yang, et al. Longtan Formation Shale Gas Reservoiring Conditions and Favorable Region Analysis in Southern Sichuan Area [J]. Coal Geology of China, 2014, 26 (12): 1-6.
- [16] 张吉振,李贤庆,王 刚,等. 四川盆地南部上二叠统龙潭

- 场试验[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(4): 57-60.
- Wang Enhe, Wang Xueliang, Wang Xuecheng, et al. Research and Field Experiment of Dynamic Vibrating Cementing Technique [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(4): 57-60.
- [17] 张 鹏, 吴文瑞, 董海鹏, 等. 振动固井井下水力震荡装置的研究[J]. 辽宁化工, 2010, 39(10): 1069-1070.
- Zhang Peng, Wu Wenrui, Dong Haipeng, et al. Study on Downhole Hydraulic Concussion Generator in Well Cementing [J]. Liaoning Chemical Industry, 2010, 39(10): 1069-1070.
- [18] 梅明佳, 江 维, 魏周胜. 偏心机械式振动固井技术在长庆油田的应用[J]. 钻井液与完井液, 2016, 33(4): 97-100.
- Mei Mingjia, Jiang Wei, Wei Zhousheng. The Application of Eccentric Mechanical Vibration Cementing Technique in Changqing [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2016, 33(4): 97-100.
- [19] 尹宜勇, 王兆会, 任 星, 等. 井下螺杆马达双向振动固井工具的研制[J]. 石油机械, 2017, 45(1): 10-14.
- Yin Yiyong, Wang Zhaohui, Ren Xing, et al. Development of Downhole PDM Bidirectional Vibration Cementing Tool [J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(1): 10-14.
- [20] 曲 刚, 李亚伟, 尹文波, 等. 移动式振动固井装置的研制与现场试验[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(5): 43-47.
- Qu Gang, Li Yawei, Yin Wenbo, et al. Development and Field Test of Mobile Vibration Cementing Device [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(5): 43-47.
- [21] 王友文, 袁进平, 王兆会, 等. 机械振动对固井水泥石强度影响规律实验研究[J]. 天然气勘探与开发, 2018, 41(1): 96-100.
- Wang Youwen, Yuan Jinping, Wang Zhaohui, et al. Experimental Study on the Effect of Mechanical Vibration on Cement Strength During Cementing [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2018, 41(1): 96-100.

(上接第84页)

- 组页岩气储集层矿物组成特征及意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2016, 35(5): 957-965.
- Zhang Jizhen, Li Xianqing, Wang Gang, et al. Mineral Compositions of Upper Permian Longtan Formation Shale in Southern Sichuan Basin and Its Significance for Gas Reservoir [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2016, 35(5): 957-965.
- [17] 王 佟, 王庆伟, 傅雪海. 煤系非常规天然气的系统研究及其意义[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(1): 24-27.
- Wang Tong, Wang Qingwei, Fu Xuehai. The Significance and the Systematic Research of the Unconventional Gas in Coal Measures [J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(1): 24-27.
- [18] 牛光亮. 石屏一矿岩溶暗河发育特征及示踪试验[C] // 国际管理科学与工程协会. 水资源管理与工程国际学术会议论文集. 郑州: 国际管理科学与工程协会, 2011.
- Niu Guangliang. Development Characteristic and Tracer Test of Karst Underground River in Shiping No. 1 Mine [C] // International Association of Management Science and Engineering Technology. Proceedings of the International Conference on Water Resources Management and Engineering. Zhengzhou: International Association of Management Science and Engineering Technology, 2011.
- [19] 陈立官, 王洪辉, 陆正元, 等. 川南地区古岩溶与阳新统天然气局部富集关系的探讨[J]. 成都地质学院学报, 1992(4): 99-106.
- Chen Liguang, Wang Honghui, Lu Zhengyuan, et al. Discussion on the Relationship Between Local Gas Accumulation and Paleokarst in the Yangxin Limestones in Southern Sichuan [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1992, 19(4): 99-106.
- [20] 秦 勇, 郑长东, 王博洋, 等. 基于等温吸附曲线的煤储层产气潜力定量评价——以黔北地区长岗矿区为例[J]. 天然气工业, 2018, 38(9): 40-47.
- Qin Yong, Zheng Changdong, Wang Boyang, et al. Quantitative Evaluation on the Gas Production Potential of Coal Reservoirs Based on Isothermal Adsorption Curves: A Case Study of the Changgang Field, Northern Guizhou, China [J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(9): 40-47.
- [21] 安 林, 韩保山, 卢昭阳. 芦岭井田单煤层产气潜力定量评价[J]. 中国煤炭地质, 2019, 31(3): 23-25.
- An Lin, Han Baoshan, Lu Zhaoyang. Single Coal Seam Gas Production Potential Quantitative Assessment in Luling Minefield [J]. Coal Geology of China, 2019, 31(3): 23-25.
- [22] 孟艳军, 汤达祯, 许 浩, 等. 煤层气解吸阶段划分方法及其意义[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(5): 612-617.
- Meng Yanjun, Tang Dazhen, Xu Hao, et al. Division of Coalbed Methane Desorption Stages and Its Significance [J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(5): 612-617.