

贵州煤层气开发与瓦斯治理技术

【编者按】煤层气资源的开发利用,具有改善煤矿安全生产条件、优化能源产业结构、保护大气环境等多重意义。贵州素有“西南煤海”之称,煤炭资源丰富,在煤层中蕴藏着大量可供开发利用的煤层气资源,据贵州省煤田地质局资料显示,贵州省埋深2 000 m以浅的煤层气资源量达 $3.06 \times 10^{12} \text{ m}^3$,仅次于山西,居全国第二。贵州省煤层气的有效开发,有助于缓解区内油气能源短缺形势、改善能源产业结构、稳固国家能源基地地位。近几年,贵州省煤田地质局与众多高校及科研单位合作,开展了多项课题的研究,实施了贵州省煤层气勘查开发示范工程,在煤层气开发地质理论与适配性开发工艺及瓦斯治理等方面取得了一系列的科研成果,实现了“产、学、研、用”的有机结合,对贵州省煤层气产业发展具有很好的指导作用。为进一步促进学术交流和科研成果的转化,我刊与中国矿业大学、贵州省煤层气页岩气工程技术研究中心等单位合作,结合国家科技重大专项、国家自然科学基金、贵州省科技重大专项等基金项目,组织了“贵州煤层气开发与瓦斯治理技术”专题,集中报道贵州省煤层气产业发展战略研究、多薄煤层群储层特性与选区选层、煤层气气藏地质、煤层气勘探开发工程技术和装备、多煤层矿区煤层气合采技术、矿井瓦斯防治等方面的科研成果。在此,特别感谢秦勇教授、桑树勋教授、汤达祯教授、易同生研究员、韩真理研究员在专题组约稿方面给予的大力支持和帮助,同时对各位作者积极为本刊撰稿表示衷心感谢,并希望此专题能给科技工作者以借鉴和启迪。

贵州省煤层气勘探开发现状与展望

徐宏杰^{1,2} 桑树勋³ 杨景芬¹ 陈捷²

(1. 安徽理工大学 地球与环境学院,安徽 淮南 232001; 2. 贵州省煤层气页岩气工程技术研究中心,贵州 贵阳 550008;
3. 中国矿业大学 资源与地球科学学院,江苏 徐州 221008)

摘要:根据贵州省实际开展煤层气勘探开发工作的现状和中国学术期刊全文数据库(CNKI)的煤层气文献系统检索,系统分析了贵州省煤层气勘探历史进程与发展,将贵州省煤层气勘探开发工作划分为早期理论探索、资源评价与勘探开发试采、风险勘探与开发试验、工程模式探索等4个发展阶段;梳理了贵州省煤层气工程进展,总结了每个阶段取得的成果与经验;分析了煤层气研究的阶段演进与研究地域分布。最后,探讨了贵州省煤层气勘探开发工作中面临的地质与技术问题,从地质、技术和政策3个方面提出了贵州省煤层气勘探开发工作的建议。

关键词:贵州省;煤层气;勘探开发;风险勘探

中图分类号: P618.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)02-0001-07

Status and expectation on coalbed methane exploration and development in Guizhou Province

Xu Hongjie^{1,2}, Sang Shuxun³, Yang Jingfen¹, Chen Jie²

(1. School of Earth Science and Environmental Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;
2. Guizhou Provincial Engineering and Technology Research Center of Coalbed Methane and Shale Gas, Guiyang 550008, China;
3. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: According to status of the coalbed methane exploration and development work actually conducted in Guizhou Province and the search on the coalbed methane literature system from CNKI, the paper systematically analyzed the historical progress and development of

收稿日期: 2015-09-21; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.02.001

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41330638, 41402140); 贵州省重大科技专项资助项目(黔科合重大专项字[2014]6002号)

作者简介: 徐宏杰(1981—),男,河南信阳人,讲师,博士。Tel: 18255432562, E-mail: xiaonzm@163.com

引用格式: 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):1-7,196.

Xu Hongjie, Sang Shuxun, Yang Jingfen et al. Status and expectation on coalbed methane exploration and development in Guizhou Province[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(2): 1-7, 196.

the coalbed methane exploration in Guizhou Province. The coalbed methane exploration and development work of Guizhou Province could be divided into a early theoretical discovery ,the resources evaluation and exploration and development trial mining ,the risk exploration and development test ,engineering mode discovery and others development stages. The coalbed methane engineering progress of Guizhou Province was prepared and the achievement and experiences of each stage were summarized. The paper analyzed the stage evolution of the coalbed methane study and the distribution of the study region. Finally ,the paper discussed the geological and technical problems faced in the coalbed methane exploration and development of Guizhou Province. From the geologic ,technical and policy aspects ,the paper provided the proposals on the coalbed methane exploration and development in Guizhou Province.

Key words: Guizhou Province; coalbed methane; exploration and development; risk exploration

0 引言

我国煤层气商业化生产始于2003年^[1-2]。十余年来,我国煤层气产业取得了长足进步,尤其在山西沁水盆地、鄂尔多斯盆地东缘、辽宁阜新盆地取得了成功。2013年我国煤层气产量达到 $1.45 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ^[3],但贵州省作为我国南方煤层气资源最为丰富的省份,虽然煤层气基础研究和地面勘探试验起步较早,但开发进程相对滞后,至今未能形成商业化开采的局面。近几年来,经过本省与外界科研院所、勘查设计单位、高等院校与相关企业的共同努力,贵州省煤层气开发已初见成效,但仍无实质性突破,规模性地面抽采仍然难以企及。基础性地质研究和开发技术攻关仍然是不变的发展方向和研发目标。鉴于此,笔者分析了贵州省煤层气勘探开发现状与技术需求,针对贵州省煤层气资源特点提出了理论和技术创新方向的建议。

1 贵州省煤层气资源及勘探开发现状

1.1 贵州省煤层气资源分布

根据《贵州省煤层气资源评价》(1996),全省2000 m以浅煤层气资源总量为 $3.15 \times 10^{12} \text{ m}^3$,其中甲烷平均含量大于 $8 \text{ m}^3/\text{t}$ 的为 $2.92 \times 10^{12} \text{ m}^3$;全省垂深1500 m以浅的煤层气资源总量为 $2.33 \times 10^{12} \text{ m}^3$,其中甲烷平均含量大于 $8 \text{ m}^3/\text{t}$ 的为 $2.11 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。煤层气资源主要分布在六盘水、毕节、遵义和黔西南的较完整含煤向斜构造,其中以六盘水煤田、织纳煤田和黔北煤田煤层气资源量最大,贵阳煤田、兴义煤田和黔西北煤田次之(表1)。

根据国土资源部(2006)进行的新一轮全国煤层气资源评价结果,贵州西部和北部地区煤层气地质资源量为 $2.23 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占整个中国南方煤层气地质资源总量的49.94%;可采资源量为 $0.86 \times 10^{12} \text{ m}^3$,平均可采率38.44%。其中:六盘水含气带煤层

气地质资源量 $1.71 \times 10^{12} \text{ m}^3$,可采资源量 $0.73 \times 10^{12} \text{ m}^3$;黔北含气带煤层气地质资源量 $0.52 \times 10^{12} \text{ m}^3$,可采资源量 $0.13 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

表1 贵州省各煤田煤层气资源量统计

Table 1 Coalbed methane resources statistics of each coalfield in Guizhou

	10 ¹² m ³					
煤田	六盘水	织纳	黔北	贵阳	兴义	黔西北
资源量	1.42	0.76	0.74	0.12	0.09	0.012

2011年,由贵州省煤田地质局和中国矿业大学组织实施的《贵州省煤层气资源潜力预测与评价》,提交全省上二叠统可采煤层的煤层气推测资源量 $3.06 \times 10^{12} \text{ m}^3$,推测可采地质资源量 $1.38 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。其中:煤层气地质资源平均丰度 $1.12 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,比全国平均水平略高或持平;可采资源占地质资源总量的45.31%。六盘水煤田、黔北煤田和织纳煤田的煤层气资源量共为 $2.83 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占全省煤层气地质资源总量的92.57%。

1.2 贵州省煤层气资源的赋存基础

贵州省境内的煤炭资源的煤类较齐全,各变质阶段的煤种均有分布,主要有气煤、肥煤、焦煤、瘦煤、贫煤和无烟煤。煤炭资源主要分布于上二叠统龙潭组,其次在下石炭统祥摆组、中二叠统梁山组 and 上三叠统火把冲组,也有中高变质烟煤和无烟煤分布。宏观煤岩类型在西部如盘县、水城和东部的沿河、石阡、瓮安、都匀等地以半暗型为主;中部和西南部广大地区以半亮-半暗型为主,光亮型较少,仅在大方、金沙等地分布。煤的煤岩组分主要为暗煤、亮煤,其次是镜煤、丝炭。镜质组反射率在贵州省东部和西部,一般为2.0%;在中部和西南部,一般为1.78%~3.56%。有机显微组分中以镜质组含量最多,平均含量为70%~85%;无机组分以黏土矿物、石英为主,其次是硫化物和碳酸盐。黏土矿物变化不大,一般在6.71%~8.54%。

1.3 贵州省煤层气勘探开发历程

贵州省煤层气勘探开发历程可以归为4个发展

阶段。

1) 煤层气勘探开发早期理论探索阶段(1982—1996年),1982—1996年为贵州省煤层气勘探开发早期理论探索阶段。20世纪80年代初,贵州省煤层气的研究工作首先由原地质矿产部西南石油地质局开展,工作范围主要集中在黔西地区。依据国家科技攻关项目,先后完成了《贵州上二叠统煤层气研究》《黔西地区煤层甲烷资源远景评价》《贵州西部地区煤层甲烷资源初步选区评价》《贵州西部浅层天然气(含煤层气)地质综合研究》等研究工作,部分地区还开展了地震、化探及钻井工作^[4]。1989年,西南地质局05项目工程处分析了盘县地区上二叠统煤层气地质条件,随后进行了钻井试采,但由于成本高,没有经济利益而停止。1996年,由贵州省煤田地质局完成的《贵州省煤层气资源评价》,成为贵州省煤层气真正被外界认知的标志性事件,也为后来贵州省的煤层气工作奠定了基础。

2) 煤层气资源评价与勘探开发试采阶段(1998—2002年),自1998年以来,贵州省煤田地质局、原滇黔桂石油指挥部、煤炭科学研究总院西安研究院、国土资源部和中国矿业大学先后对贵州省煤层气资源进行了评价工作,并优选了含煤层气盆地和靶区,为后期煤层气开发提供了依据。2000年,星海石油公司联合加拿大石油公司对盘县煤层气开展进一步的勘探和排采试验,但没有取得明显进展。1998—2002年,滇黔桂石油指挥部实施了“九五”国家重点工业性试验项——“六盘水煤层气开发利用示范工程”,先后在亮山、金竹坪区块部署了5口煤层气勘探参数井,并对其中4口井(黔红1井、黔红2井、贵煤1井、贵煤2井)中的4个煤层进行了加砂压裂试采,但抽采效果差。抽采时间95~200 d,产液量最低67.86 m³,最高5 234.41 m³;单井累计产气量663.60~15 563.17 m³,日产量最高350.65 m³,低于工业气流下限标准^[5-6]。

3) 煤层气风险勘探与开发试验阶段(2005—2009年) 2005年,中联煤层气有限公司与贵州省煤田地质局、亚加能源有限公司等中外企业合作,启动了贵州省保田-青山煤层气项目。2006年底完成了总长65 km的二维地震勘探,6口小井眼煤层气参数井的施工,标志着贵州省煤层气勘探开发热潮的到来。随后,贵州省煤田地质局组建煤层气钻井工程公司,将煤层气勘察施工列入潜在支柱产业,在推进保田-青山项目的勘察、资源地质评价研究等方

面取得了一些成果。2007—2009年,贵州省煤矿设计院为盘江煤电(集团)公司、盘南煤炭公司、玉舍煤业公司、中岭矿业公司、安顺煤矿、五轮山煤业公司共设计了6口地面瓦斯抽采钻孔,但仅在老屋基煤矿与中岭煤矿施工,效果较差。

4) 煤层气勘探开发工程模式探索阶段(2009年至今) 本阶段共试验了煤层气压裂直井、水平井、“U”型井、丛式井等多种煤层气开发井型模式。

2009—2014年,中石化华东分公司在织金区块共陆续完成约24口煤层气压裂直井的施工,单井最大日产量达5 000 m³,取得了商业性开发突破;2010年,由格瑞克公司与胜利油田钻井工程技术公司在盘关向斜合作施工了连通水平井GGZ-005L1井与GGZ-005V1井,并实现双井对接成功,共钻穿主力煤层380.34 m。同年,山东能源新矿集团贵州能源公司龙场煤矿和香港中华煤气易高公司合作,对贵州松软、低渗透煤层进行开采前瓦斯预抽采试验。

2012—2014年,盘江投资控股集团在土城向斜松河煤矿布置了煤层气地面丛式井抽采井组,尝试分段小层压裂、合层排采技术;以煤层气抽采为重点,兼顾页岩气与致密砂岩气,开启了贵州省煤层气勘探开发模式的新探索。目前,已施工了1口参数井和9口开发试验井,单井产能达2 800 m³/d。2014—2015年,西南能矿集团在遵义鸭溪向斜进行煤层气勘查,并施工煤层气参数井枫1井和枫2井;六枝特区完成煤层气参数井“牛一井”的施工及比德向斜2口煤层气参数井的施工;同年,更多的煤层气探井和评价井在六盘水、毕节、遵义地区得到部署,煤层气勘查工作有序开展。至此,贵州省煤层气勘探开发进入了煤层气开发工程模式的探索阶段。

2 煤层气论文的研究阶段与地域分布

中国学术期刊全文数据库(CNKI)系统检索结果显示,该数据库共收录了1984年至今贵州省煤层气文献129篇。其中报纸类12篇,会议论文8篇,期刊论文109篇。

煤层气论文的时序分布清晰描述了煤层气研究阶段的演进与发展特征(图1)。从1982年至今,贵州省煤层气研究文献一直保持增长态势,但不同时段增长速度略有差别,且论文发表时间相对滞后于煤层气勘探开发的发展阶段。2005年以前为贵州省煤层气勘探开发早期理论探索阶段和煤层气资源评价与勘探开发试采阶段,文献发表内容主要围绕

贵州省煤层气资源前景、区域评价、靶区选择与试采工程等,是对贵州省煤层气研究的早期理论探索。2006—2009年是煤层气风险勘探与开发试验阶段,煤层气论文发表数量增长较快,论文的理论研究开始偏重于煤层气赋存地质条件分析,勘探开发工程研究着重于对保田—青山区块煤层气参数井的工程经验总结。值得提出的是,秦勇及其科研团队在这一时期提出了“多层叠置独立含煤层气系统”的学术观点,使更多学者开始关注贵州省特殊地质条件下的多煤层煤层气成藏,并引领了后期有关贵州省煤层气研究论文的快速增长。2010年至今,贵州省煤层气开发进入多种工程模式的探索阶段,煤层气数量快速增加,论文研究内容覆盖了煤层气研究基础地质理论及勘探开发工艺技术等相关要素,且着重体现在煤层气储层物性分析、多煤层煤层气成藏效应、施工工艺与排采增产优化上。该阶段在煤层气地质理论研究上进一步深化,在开发试验上表现为多种工程模式的摸索和产能的寻找。总之,该阶段的研究主要是试图通过地质信息挖掘解决贵州省煤层气开发地质问题,借鉴、引进并消化国内外煤层气相关工艺技术以形成本土化煤层气开发技术解决煤层气产能问题。

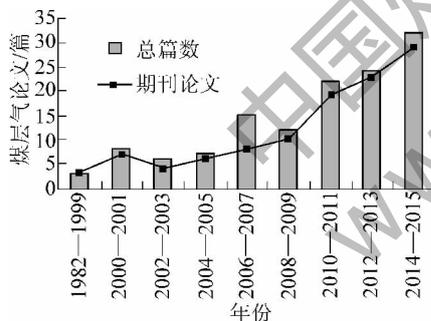


图1 贵州省煤层气论文时序分布特征

Fig. 1 Temporal distribution of coalbed methane papers in Guizhou

从研究地域分布看,贵州省煤层气研究主要集中于贵州省西部的六盘水煤田盘江矿区和织纳煤田的织金区块,六盘水煤田的水城矿区和六枝矿区、织纳煤田其余部分较少涉及;仅有少数几篇文章涉及贵州省中部及东部煤田的煤层气资源赋存情况(图2)。从数量比例上看,在129篇期刊论文中,涉及贵州省西部的文献数量占总发文量的97%;其中,针对六盘水煤田的文献占24%,针对织纳煤田的文献占30%,黔北和黔东北煤田所占比例较小,均在5%以下。文献地域分布总体表明贵州省西部煤层气的

勘探开发是近年来本省煤层气研究的主要对象。时间序列分析表明,2007—2008年是贵州省煤层气研究地域分化的时间节点。在此之前,研究文献集中于对贵州省西部煤层气研究的总述和六盘水煤田的分述,研究地域主要为六盘水煤田,文献的研究机构主要为西南石油地质局、中石化西南分公司和贵州省煤田地质局等单位;在此之后,针对织纳煤田煤层气研究的文献总量基本呈爆发式增长,文献数量占2008年以后总文献量的40%,发文单位主要为中国矿业大学、贵州省煤田地质局及其下属单位、中石化华东分公司与中国地质大学(北京)等。统计还表明,近年来以秦勇教授为学术带头人的中国矿业大学团队,走在了贵州省煤层气研究队伍的前列,在贵州省特定地质条件下的煤层气勘探开发基础地质研究中发挥了重要作用。

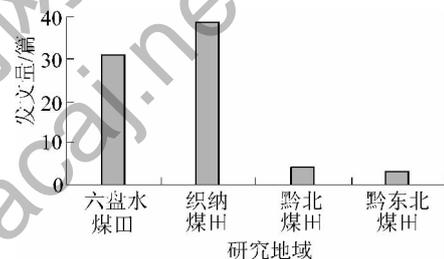


图2 贵州省煤层气论文数量按地域分布

Fig. 2 Regional distribution of coalbed methane papers in Guizhou

3 贵州省煤层气勘探开发的新认识

3.1 煤层气勘探开发的地质约束

贵州省上二叠统含煤地层厚度大,煤层气资源丰富,是薄至中厚煤层群发育的典型地区。主要含煤区煤层气勘探开发的地质约束特点如下。

1) 煤层数量多,累计厚度大,单层厚度偏小,层间距不均。可采煤层总厚平面分布不均,薄至中厚煤层均有发育,煤层合并、分叉、尖灭等现象并存,这种煤层几何特征的变化造成了煤炭与煤层气资源量的极分散分布。煤层单层厚度偏小且垂向分布不均使得直井试井与压裂煤层难以筛选,水平井开采的优势也无法得到发挥;纵向煤层分散或成组分散,现有煤层气开发技术只能优选一至数个煤层单独抽采;煤层较多但区块之间的目的煤层可能不同,单一气井的不同煤层测试、压裂数据在相邻区块难以有效适用;地形条件与煤层平面的“鸡窝”状展布使部署井网只能呈现不连续的“鸡窝”状分布趋势^[7];煤层总厚与总含气量大但单层资源量相对分散,必然造成开发过程中煤层气资源量的极大浪费。

2) 黔西六盘水煤田和织纳煤田的上二叠统煤层含气量和煤层气资源丰度极高,与国内目前煤层气商业性开发成功的任何地区相比均相差不大,不存在煤层含气性条件的地质约束^[8]。煤层含气性普遍具有向斜控气特征,煤层群煤层气含气系统包括“多层统一煤层气系统”和“多层叠置独立含气系统”^[9-11]。独立含气系统与统一含煤层气系统存在本质不同,在煤层气纵向上的有序开发与排采制度确定存在挑战。

3) 黔西地区煤系地层为富水性弱的碎屑岩地层,与下伏的茅口组强岩溶含水层有峨眉山玄武岩组地层相隔,与上覆的中-强岩溶含水层之间有隔水能力较好的飞仙关组地层相隔,且断层带一般阻水性强而不构成水力联系的通道,煤层与强含水层及地表水之间没有直接水力联系。从试采工程看,多数煤层气井日产水量较少,后期甚至无水可排。水文地质条件要求在煤层气开发过程中排采制度要注意到本省与国内外其他地区地质条件的巨大差异,排采制度的制定需因地制宜,适当调整。

4) 贵州省以中-低山地貌为主,地形切割严重,沟壑纵横、坡度和相对高差大,交通条件普遍较差;地形高差较小且坡度相对较缓的施工现场难以寻找,更难以形成规则井网。加之气候多潮湿阴雨、道路泥泞,形成对钻前工程的规模性制约。

5) 煤系上覆地层石灰岩、泥灰岩段岩溶、溶蚀现象发育,在钻进过程中易钻遇溶洞和裂隙,形成裂隙性漏失或溶洞性漏失,形成对钻进安全、快速施工的工程制约;原生结构煤多不完整,限制了钻孔井眼的稳定性和压裂半径、排采半径的扩展。

6) 存在制约煤层气地面开发的中-高地应力与中低-特低渗透率条件。受印度板块向北碰撞欧亚大陆和西侧地块的侧向挤压和喜山期以来的来自西侧地块侧向挤压的影响,黔西地区整体上属于中至高等应力区^[12],单井煤层渗透率平面展向受地应力强度控制并在深度上与地应力场类型转变一致^[13],不利于煤层气的地面开发。

3.2 煤层气勘探开发面临的主要技术问题

1) 尽管贵州省在部分区块钻井数较多,已经形成井网,并且已经试验了不同煤层气井型开发模式,本土化了煤层气的钻井完井、压裂与排采工艺,但多数煤层气井依然存在成井困难、多次压裂效果差、选层选段困难、排采制度不匹配等问题,煤层气资源“可见难取”,开发前景还不十分明朗。

2) 贵州省煤层气藏地质条件和储层物性具有煤层多薄、构造复杂、低渗、高压、高应力等显著不同于国内其他有利开发区块的特性。目前,国内外主流煤层气开发井型模式在本省的多数试验均以失败告终,工程有效性和地质适应性难以适配。因此,还需进一步认识煤层气开发工艺技术与本省多煤层、中-高应力状态下的煤层气成藏与开发地质条件的适配性,从开发模式层面回答现有煤层气开发工程的地质适配性与工程有效性问题。

3) 煤层气单井日产量较低,产能维持时间短。如何利用一切可以利用的气源,集中煤系地层煤层气、页岩气和致密砂岩气等资源优势,克服单一煤层偏薄、煤层气资源量分散等地质不足,还需要研发、探索与本省煤层气地质条件相适应的开采方法与技术。

4 贵州省煤层气勘探开发的建议

贵州省贫油富煤,全省煤炭和煤层气资源在我国南方地区最为丰富,加强贵州省煤层气资源的勘探和开发意义重大。为了促进贵州省煤层气的可持续发展,提出以下建议。

1) 地质研究。煤层群煤层气藏开发地质条件的特殊性决定了煤层气开发工艺技术选择的复杂性。贵州省中薄煤层群普遍发育,成藏效应宏观受控于沉积、构造、地热场、水文条件等地质因素,微观上与煤层的物质组成、物质结构和物理性质密切相关^[14-17]。煤层群地质条件以含煤地层中煤层数量多、相对分布集中、纵向上连续沉积为典型特征,在这种状态下煤层气地质条件(煤层能量状态、煤层应力分布、储层物性等)与单煤层赋存地质条件会有所不同,多因素的耦合叠加会增加开发地质条件的复杂程度。因此,加强煤层气开发地质条件研究,在煤储层物性及其微观非均质性、煤层平面与纵向的宏观非均质分布特征、煤储层赋存地质环境等3个方面刻画煤层气地质条件,分析三者之间的动态匹配关系,对比不同区域、不同尺度条件下三者之间的协同作用与耦合条件,采用多尺度模型表征煤层气开发地质条件并凝练煤层气开发地质类型,奠定煤层气开发地质基础,是煤层气开发取得突破的前提条件。

2) 技术研究。煤层群煤层气地质特征的特殊性造就了煤层气开发技术的明显选择性,煤储层显著变化决定了煤层气开发方式的多样化,需要优选与开发地质特点适配的开发技术^[18]。煤层气的富

集与高产需要诸多因素的有效配合,不同技术的选择必须依据地质和储层条件,以及不同开发方式的技术、工艺要求。广泛分析国内外现有煤层气开发技术优缺点,从开采机理上认识煤层气开发方式的地质选择过程,有效降低煤层气开发技术套用或移植的不利影响,从开发模式层面理解现有煤层气开发工程地质适配性与工程有效性问题。结合目前贵州省已实施的煤层气压裂直井、水平对接井、丛式井及相关井网的开发工程,深入分析煤层气开发工艺与排采效果,从开发模式层面关注煤层气开发技术的地质适配性与工程有效性,研究建立适应贵州煤层气勘探开发技术系列,为煤层气勘探开发提供技术支撑。煤层气勘探实践表明,煤系地层砂岩和页岩也含气,美国犹他州中部盆地、阿巴拉契亚盆地、皮申斯盆地等煤层气井均有煤系砂岩气的产出^[19]。黔西诸含煤盆地龙潭组地层形成陆源碎屑岩夹碳酸盐岩的含煤混合沉积,富含有机质黑色泥、页岩层,为非常规气的形成提供了物质基础。煤系地层非常规气共生在理论上应该有一定的普遍性,且共生成藏具有良好的勘探显示。阿弓向斜、盘关向斜、水城格目底向斜和盘县亦资孔向斜的泥岩、砂岩等均具游离气显示^[20-22],证实了非煤储集层也含气。煤系地层含气的不同储集层呈层状叠置分布,决定了储层物性与气体可采性差异。由此,提高煤层气单井产能的多薄煤层分段压裂、非煤储集层助产压裂等技术应根据资源共生特点与储集层物性差异,优选目标层段,分时段、分层位、分区域递进式开发。探索贵州省煤系地层非常规气共采可能性,相关技术途径原理及其开发模式,有助于利用一切可能的气源,提高原位煤层气井抽采产能。理论研究认为,黔西存在煤层气独立含气系统,含气系统之间的分划性阻隔岩层使不同含气系统相互独立^[9-11],下部煤层含气量可能低于上部煤层。同时,黔西地区无论是在六盘水煤田还是在织纳煤田,构造煤在含煤岩系全段煤层均有不同程度发育,如果将下部含气系统内的低含气煤层优先开采而形成保护层,将对上部含气系统内的一个或数个高含气煤层均产生卸压增流增渗作用。下保护层采掘工作面的持续推进与地面煤层气井的合理配置可以形成煤矿采动区被保护层卸压煤层气的有效抽采。

原位煤层气抽采与卸压煤层气抽采分属不同开发原理与不同抽采工程模式,匹配不同的煤层气开发地质类型条件。两套技术在理论上存在抽采时间序

列规划,应用中有煤矿生产与地质实际需求。因此,在六盘水、黔西、织纳等煤田选择有利于煤层气开发的目的区块或矿井,查清煤层气地质条件和煤炭生产要求,进一步开展不同煤层气开发工程模式的示范工程建设,探索贵州省煤层群区煤层气勘探开发的新技术、新模式,总结成功经验与失败教训,把煤层气开发的不利因素转变为有利条件,积极推动煤层气开发的稳步发展。

3) 政策保障。煤层气的规模性开发具有良好的经济、社会与环境效益,但在煤层气勘探开发早期,面临勘探风险高、资金投入量大、投资回收期长等问题。贵州省虽然对煤矿瓦斯的利用较早,但地方政府和煤矿企业抽采煤层气多从安全生产角度出发,优先开发煤炭资源,而煤层气的开采因涉及经济效益、矿权重叠,容易发生权属问题纠纷而滞后。矿权与气权分置,造成了贵州在煤层气开发方面缺乏应有的主导权,直接影响到贵州本土煤层气开发利用企业的积极性;同时,煤层气的早期开发因经营者难以窥见经济效益而易搁浅遇阻。因此,建议政府能够制定并健全高瓦斯煤矿必须先采气、后采煤的基本建设程序,统筹煤炭采矿权与采气权,加大资金扶持力度并出台奖惩约束机制,鼓励煤矿企业开发和利用煤层气,从而在政策上给予煤层气开发强有力的保障。

5 结 论

1) 贵州省煤层气勘探开发工作划分为早期理论探索、资源评价与勘探开发试采、风险勘探与开发试验、工程模式探索等4个发展阶段。前2个阶段发展较慢,且煤层气开发方式单一,支撑工程较少;最后一个阶段发展迅速,开发方式向多种工程模式转变。

2) 贵州省煤层气研究从早期的煤层气资源前景、区域评价与靶区选择向后期煤层气赋存地质条件、工程经验总结与储层物性精细分析、成藏效应、排采工艺优化等逐渐过渡,以中国矿业大学秦勇为代表的学术团队成果丰富;研究地域主要集中在黔西地区,文献研究重点从六盘水煤田转移至织纳煤田,开发工程在西部两大煤田“齐头并进”。

3) 贵州省煤层气勘探开发存在诸如煤层分布与储层物性、地质地形条件和开发特殊地质环境的制约,面临选井选层、成井稳定性与单井产能低等诸多问题,需要从宏微观地质条件、开发工程模式层面

深入研究, 相关示范工程配套支撑, 政策上要给予保障, 促进煤层气开发迅速发展, 尽早结束探索阶段而向商业化方向发展。

参考文献(References):

- [1] 秦勇, 袁亮, 程远平. 中国煤层气产业战略效益影响因素分析 [J]. 科技导报, 2012, 30(34): 70-75.
Qin Yong, Yuan Liang, Cheng Yuanping. Factors affecting the strategic benefits of CBM industry in China [J]. Science & Technology Review, 2012, 30(34): 70-75.
- [2] 秦勇, 汤达祯, 刘大锰, 等. 煤储层开发动态地质评价理论与技术进展 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(1): 80-88.
Qin Yong, Tang Dazhen, Liu Dameng, et al. Geological evaluation theory and technology progress of coal reservoir dynamics during coalbed methane drainage [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 80-88.
- [3] 曹作华, 范亚芳, 王健, 等. 我国十年来煤层气研究热点分布转换与产业发展 [J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(2): 5-9.
Cao Zuohua, Fan Yafang, Wang Jian, et al. Transformation and industrial development of coalbed methane study hot point distribution in passed ten years of China [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(2): 5-9.
- [4] 赵黔荣. 贵州西部煤层气开发前景分析 [J]. 贵州地质, 2001, 18(1): 53-59.
Zhao Qianrong. Perspective analysis of coal-bed gas exploration and development in western Guizhou [J]. Guizhou Geology, 2001, 18(1): 53-59.
- [5] 孟宪武, 刘诗荣, 石国山, 等. 滇东黔西地区煤层气开发试验及储层改造效果分析与建议 [J]. 中国煤层气, 2006, 3(4): 31-34.
Meng Xianwu, Liu Shirong, Shi Guoshan, et al. Results of CBM testing and remoulding of reservoir in eastern Yunnan and western Guizhou and related problems & suggestions [J]. China Coalbed Methane, 2006, 3(4): 31-34.
- [6] 许国明, 王国司, 孟宪武. 云贵地区晚二叠世煤层气资源及勘探选区评价 [J]. 中国煤层气, 2005, 2(1): 26-30.
Xu Guoming, Wang Guosi, Meng Xianwu. Evaluation on CBM resources of Late Permian Epoch and selected exploration areas in Yunnan and Guizhou region [J]. China Coalbed Methane, 2005, 2(1): 26-30.
- [7] 赵黔荣. 六盘水煤层气选区评价参数及勘探开发模式 [J]. 贵州地质, 2000, 17(4): 226-235.
Zhao Qianrong. Discussion on geological feature of coal-bed gas and its mode of exploration and development in Liupanshui area [J]. Guizhou Geology, 2000, 17(4): 226-235.
- [8] 秦勇, 高弟, 易同生. 贵州省煤层气资源潜力预测与评价 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2012.
- [9] 秦勇, 熊孟辉, 易同生, 等. 论多层叠置独立含煤层气系统: 以贵州织金-纳雍煤田水公河向斜为例 [J]. 地质论评, 2008, 54(1): 65-70.
Qin Yong, Xiong Menghui, Yi Tongsheng, et al. On Unattached multiple superposed coalbed-methane system: in a case of the Shuigonghe Syncline, Zhijin-Nayong coalfield, Guizhou [J]. Geological Review, 2008, 54(1): 65-70.
- [10] 杨兆彪, 秦勇, 高弟. 黔西比德-三塘盆地煤层群发育特征及其控气特殊性 [J]. 煤炭学报, 2011, 36(4): 593-597.
Yang Zhaobiao, Qin Yong, Gao Di. Development character and particularly of controlling coalbed methane under coal seam groups from Bide-Santang Basin, western Guizhou [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(4): 593-597.
- [11] 沈玉林, 秦勇, 郭英海, 等. 黔西上二叠统含煤层气系统特征及其沉积控制 [J]. 高校地质学报, 2012, 18(3): 427-432.
Shen Yulin, Qin Yong, Guo Yinghai, et al. The upper permian coalbed methane bearing system and its sedimentary control in western Guizhou, China [J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(3): 427-432.
- [12] 徐宏杰, 桑树勋, 易同生, 等. 黔西地应力场特征及构造成因 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2014, 45(6): 1960-1966.
Xu Hongjie, Sang Shuxun, Yi Tongsheng, et al. Characteristics of in-situ stress field and its tectonic origin in western Guizhou [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2014, 45(6): 1960-1966.
- [13] 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): 1607-1616.
Xu Hongjie, Sang Shuxun, Yi Tongsheng, et al. Control mechanism of buried depth and in-situ stress for coal reservoir permeability in western Guizhou [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2014, 39(11): 1607-1616.
- [14] 吴财芳, 秦勇. 煤储层弹性能及其控藏效应: 以沁水盆地为例 [J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 248-255.
Wu Caifang, Qin Yong. Flexibility energies of coal-bed gas reservoir and the controlling function on coal-bed gas reservoir formation: A case study from Qinshui Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 248-255.
- [15] 秦勇, 姜波, 王继尧, 等. 沁水盆地煤层气构造动力条件耦合控藏效应 [J]. 地质学报, 2008, 82(10): 1355-1362.
Qin Yong, Jiang Bo, Wang Jiyao, et al. Coupling control of tectonic dynamical conditions to coalbed methane reservoir formation in the Qinshui Basin, Shanxi, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(10): 1355-1362.
- [16] 吴财芳, 秦勇, 傅雪海. 煤储层弹性能及其对煤层气成藏的控制作用 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(9): 1163-1168.
Wu Caifang, Qin Yong, Fu Xuehai. The coal reservoir and the elastic to the control function of accumulating coalbed methane [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2007, 37(9): 1163-1168.
- [17] 吴财芳, 秦勇, 傅雪海, 等. 煤层气成藏的宏观动力能条件及其地质演化过程: 以山西沁水盆地为例 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 299-308.

- 析[J].江苏电机工程,2014,33(6):68-72
Zhu Peifeng.The application and optimization analysis on high frequency power supply technique in dust collection for 1000 MW power generating unit [J].Jiangsu Electrical Engineering,2014,33(6):68-72.
- [16] 李昆,钟磊,张洪泉.烟尘浓度测量方法综述[J].传感器与微系统,2013,32(2):8-11.
Li Kun,Zhong Lei,Zhang Hongquan.Review of smoke concentration measurement method [J].Transducer and Microsystem Technologies,2013,32(2):8-11.
- [17] 焦庆丰,雷霖,李明,等.国产600MW超临界机组宽度调峰试验研究[J].中国电力,2013,46(10):1-4.
Jiao Qingfeng,Lei Lin,Li Ming et al.Testing on domestically-made 600 MW supercritical units in broad peak-regulation of power grids [J].Electric Power,2013,46(10):1-4.
- [18] 孟庆喜,申建建,程春田.多电网调峰负荷分配问题的目标函数选取与求解[J].中国电机工程学报,2014,34(22):3683-3690.
Meng Qingxi,Shen Chuntian,Cheng Chuntian et al.The objective function and solution method for load distribution of peak shaving operation among multiple provincial power grids [J].Proceedings of the CSEE,2014,34(22):3683-3690.
- [19] 倪维斗.中国可持续能源系统刍议[J].能源与节能,2011(6):1-5.
Ni Weidou.Discussion on China's sustainable energy system [J].Energy and Energy Conservation,2011(6):1-5.
- [20] 张玉卓,刘玮.我国煤烟型污染防治策略研究[J].中外能源,2013,18(4):1-6.
Zhang Yuzhuo,Liu Wei.A Study on China's strategies for controlling soot pollution from coal combustion [J].Sino-global Energy,2013,18(4):1-6.
- 疆石油地质,2002,23(2):106-110.
Gu Chengliang.Geological characteristics and prospect evaluation on coal-seam gas in East Yunnan and West Guizhou Areas [J].Xinjiang Petroleum Geology,2002,23(2):106-110.
- [21] 桂宝林.煤层气勘探目标评价方法:以滇东黔西地区为例[J].天然气工业,2004,24(5):33-35.
Gui Baolin.Exploration target evaluation of coalbed methane in East Yunnan: West Guizhou region [J].Natural Gas Industry,2004,24(5):33-35.
- [22] 余开富,杨宏.黔西地区上二叠统煤层气储集条件研究[J].贵州地质,1993,10(1):35-44.
Yu Kaifu,Yang Hong.The study of gas reservoir conditions of coal seam of Upper Permian Age in west Guizhou [J].Geology of Guizhou,1993,10(1):35-44.
- (上接第7页)
- Wu Caifang,Qin Yong,Fu Xuehai et al.Macroscopic dynamic energies for the formation of coalbed gas reservoirs and their geological evolution: a case study from Qinshui Basin in Shanxi Province [J].Earth Science Frontiers,2005,12(3):299-308.
- [18] 秦勇,程爱国.中国煤层气勘探开发的进展与趋势[J].中国煤田地质,2007,19(1):26-29.
Qin Yong,Cheng Aiguo.CBM Exploration and exploitation advances and trend in China [J].Coal Geology of China,2007,19(1):26-29.
- [19] Gurba L W,Weber C R.Effects of igneous intrusions on coalbed methane potential,Gunnedah Basin,Australia [J].International Journal of Coal Geology,2001,46(2):113-131.
- [20] 顾成亮.滇东、黔西地区煤层气地质特征及远景评价[J].新