

GUIZHOU SHENG

Meicengqi Ziyuan Qianli Yuce Yu Pingjia

贵州省煤层气资源 潜力预测与评价

主 编 秦 勇 高 弟

副主编 吴财芳 易同生 洪愿进

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

GUIZHOU SHENG

Meicengqi Ziyuan Qianli Yuce Yu Pingjia

China University of Mining and Technology Press

责任编辑 姜华 / 封面设计 肖新生

ISBN 978-7-5646-1739-4



9 787564 617394 >

GUIZHOU SHENG

M...i Yuce Yu Pingjia

贵州省煤层气资源 潜力预测与评价

主 编 秦 勇 高 弟

副主编 吴财芳 易同生 洪愿进

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

内 容 简 介

本书建立了以可采量和富集程度为基础的煤层气资源类别评价标准,分析和计算了煤层气资源量及其分布规律,从而获得了对贵州省煤层气资源特性的进一步认识。观测了主要煤田煤储层的裂隙-孔隙发育特征、吸附性和基本力学性质,结合煤层气试井和排采试验资料阐释了主要煤田煤储层物性的分布规律和地质控制因素。以黔西地区为重点,耦合分析了煤层气成藏关键要素和成藏效应,预测了煤层气有利区带的展布规律。分析了不同地质条件、不同开采方式下的煤层气可采性特征,以及钻井、完井方式和排采制度对煤层气井产能的影响及开发技术对地质条件的适应性,提出了主要煤田煤层气开发的技术方案模式。

本书适宜于煤层气地质科研人员、勘查开发技术人员、煤层气勘查开发企业决策人员和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

贵州省煤层气资源潜力预测与评价 / 秦勇, 高弟主编.

徐州:中国矿业大学出版社,2012.12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1739 - 4

I. ①贵… II. ①秦… ②高… III. ①煤层-地下气
化煤气-资源潜力-贵州省 IV. ①P618.110.627.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 293843 号

书 名 贵州省煤层气资源潜力预测与评价
主 编 秦 勇 高 弟
责任编辑 姜 华
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 江苏徐州新华印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 17.25 字数 430 千字
版次印次 2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷
定 价 80.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《贵州省煤层气资源潜力预测与评价》

编 委 会

主 编：秦 勇 高 弟

副主编：吴财芳 易同生 洪愿进

参 编：傅雪海 曹志德 杨兆彪 雷 波 杨通保

王宝文 苏 勤 王国玲 赵 霞 姜 伟

熊孟辉 杜严飞 赵福平 王 聪 张卫平

彭 伦 唐显贵 陈召英 陈小青 申 建

刘祥先 陈义林 周国正 石 碧 张 伟

张 飞 王华英

前 言

贵州省是我国南方最大的煤炭生产基地和煤层气资源富集区。20 世纪 90 年代以来,贵州省煤田地质局、滇黔桂石油指挥部、国土资源部等先后按照不同标准对本省煤层气资源做过评价,预测全省煤层气资源量为 2.23 万亿~5.02 万亿 m^3 ;煤层气资源主要赋存于六盘水煤田和织纳煤田,其中,甲烷含量超过每吨 8 m^3 的“富甲烷”区资源量占全省资源总量的 90% 以上。

贵州省煤层气地面勘探和开发试验始于 20 世纪 80 年代末期。贵州省煤田地质局、西南地质局、中石化西南分公司、滇黔桂油田分公司、新海石油公司、加拿大石油公司、中联煤层气有限责任公司、加拿大亚加能源有限公司、中国矿业大学等单位,先后对全省或重点地区的煤层气地质条件、资源评价、战略选区开展了不同程度的研究,在部分地区实施了地震、化探、钻井、试井、完井和排采试验工作。截至 2009 年年底,贵州省内共施工煤层气参数井和排采试验井 14 口,主要分布在盘关向斜和保田—青山向斜,其中有 2 口参数井位于织纳煤田。

贵州省煤矿瓦斯抽采和利用工作始于 20 世纪 70 年代,相继在六枝、水城、盘县等矿区建立了煤层气抽采利用系统,供民用、发电等。近年来,贵州全省煤矿瓦斯抽采量和利用量逐年提高,分别从 2005 年的 34001 万 m^3 和 4321 万 m^3 提高到 2008 年的 61197 万 m^3 和 8283 万 m^3 ;2009 年,全省共抽采和利用煤矿瓦斯 76335 万 m^3 和 9204 万 m^3 。截至 2008 年 10 月,全省已建成煤层气发电站 16 座,总装机容量超过 40000 kW。2010 年实际抽采量和利用量分别为 99050 万 m^3 和 16134 万 m^3 。

2007 年 12 月 28 日,经贵州省人民政府批准,由省煤田地质局、盘江煤电有限责任公司、水城矿业(集团)有限责任公司、六枝工矿(集团)有限责任公司、林东矿业集团有限责任公司、省煤矿设计研究院、贵州煤炭实业总公司、贵州燃气(集团)有限责任公司八家企事业单位共同出资组建贵州煤层气开发利用有限公司,全省煤层气开发利用进入统一规划、整合发展阶段。

然而,从煤层气资源评价结果来看,不同部门和单位给出的评价结果差异极大,评价标准和范围亦不统一,即使大致换算到统一标准进行比较也是如此。从煤层气地质条件来看,尽管从构造、地层、水文、沉积、地球化学等方面对控气地质规律做过诸多研究,但了解程度却较低,工作主要停留在区域分析上;从煤层气勘查开发试验来看,虽然进行了近 20 年的尝试,尤其是近年来加大了该方面工作的力度和投入,但效果仍然不甚理想,没有找到适合于本省地质条件的工艺和方法,且注意力主要集中在盘县矿区。换言之,贵州全省的煤层气资源量家底并未真正查清,煤层气地质研究程度较低,勘探开发试验

工作没有取得理想进展。

为此,贵州省煤田地质局等受省国土资源厅委托,对贵州省煤层气资源潜力开展深入研究,目的是查明全省煤层气资源的数量/质量和分布特征、探讨黔西地区煤层气成藏的主要特点和关键控制因素、评价全省煤层气资源开发潜力和开发技术适应性。研究内容包括如下五个主要方面:

① 煤层含气性和煤层气资源——参考前期评价结果,进一步提取煤炭资源勘查资料中的煤层气信息,按照不同要素评估煤层含气性特征,计算煤层气资源量,分析煤层气资源的分布规律,以便更为客观地获得对全省煤层气资源特性的科学认识。

② 煤储层物性及其地质控制因素——补充观测主要煤田煤储层的裂隙—孔隙发育特征以及吸附性和基本力学性质,结合现有煤层气试井和开采试验资料,初步阐明煤储层主要物性的分布规律和地质控制因素。

③ 煤层气成藏效应和有利区带——借鉴前期相关研究成果,耦合分析煤层气成藏的构造条件、热力条件、水动力条件及其动力学机制,以黔西为重点进一步阐明煤层气成藏关键要素及其显现特征,预测煤层气有利区带展布规律。

④ 煤层气资源开发潜力——分析不同地质条件、不同开采方式下的煤层气可采性特征,评价煤层气资源开发地质条件和开发潜力,预测适合于煤层气地面开发的地带及其分布,结合经济、技术、环境等方面的特点提出有关开发规划建议。

⑤ 煤层气勘查开发技术适应性——针对主要区块煤层气地质条件,模拟分析不同钻井、完井方式和排采制度对煤层气—水产能的影响,提出关于本省煤层气开采方式、完井、增产激励措施等方面的意见或建议。

研究工作从2008年7月开始,至2010年8月结题,历时两年零两个月。提交研究报告一套,约42万字,工业性图件计68幅,资料数据附表4套。

本书由研究报告整理而成,由秦勇教授、高弟高级工程师任主编,吴财芳副教授、易同生应用研究员、洪愿进高级工程师任副主编,秦勇、高弟对报告全稿进行了修改、补充和完善。各章节撰稿人分工为:前言,秦勇;第一章的第一节和第四节,秦勇,第二节和第三节,雷波、秦勇、高弟;第二章的第一节、第二节和第四节,王宝文、洪愿进,第三节,秦勇、高弟;第三章的第一节,杨兆彪、洪愿进,第二节和第三节,杨兆彪、赵福平、秦勇,第四节和第五节,秦勇;第四章的第一节和第二节,杨兆彪、周国正,第三节,杨兆彪、申建、刘祥先,第四节,秦勇;第五章的第一节,吴财芳、易同生,第二节和第四节,吴财芳、秦勇、易同生,第三节,秦勇、曹志德、熊孟辉;第六章的第一节和第二节,秦勇、雷波、陈小青,第三节,秦勇、申建;第七章的第一节和第四节,秦勇、傅雪海、杨通保,第二节和第三节,秦勇、高弟;第八章,秦勇。另外,吴财芳、易同生、洪愿进完成了煤储层弹性能的计算工作,申建、张卫平完成了煤层气井产能数值模拟,王国玲、苏勤、洪愿进、王宝文、唐显贵、雷波、赵霞、杨兆彪、彭伦、姜伟、杜严飞、王聪、张飞、王华英、陈召英、陈义林、石碧、张伟完成了资料统计、煤层气资源量计算以及工业性图件编制和计算机清绘。煤层气资源量由秦勇教授审校,工业性图件由吴财芳副教授、易同生应用研究员审校。

贵州煤田地质局提供全部勘查资料,贵州省国土资源厅、贵州省能源局等单位提供了全方位帮助,姜波、傅雪海、郭英海、韦重韬、朱炎铭等教授参加了现场考察、资料收集和地质研究工作。现场考察得到了盘江煤电集团、水城煤业集团和织纳煤田相关煤矿的大力支持。

样品测试分别由中国矿业大学、中国石油勘探研究院廊坊分院、贵州省煤田地质实验室、江苏省煤田地质研究所等单位完成。

在本书正式出版之际,谨向为之做出贡献的上述单位、个人以及其他工程技术人员表示衷心感谢!

秦勇 高弟 谨识

2012年8月

目次

前 言	1
第一章 煤层气资源评价基础	1
第一节 煤层气勘查开发和研究现状	1
一、煤层气资源预测和评价情况	1
二、煤层气地质条件研究	3
三、煤层气勘查和开发试验	5
四、煤矿瓦斯的抽采和利用	6
第二节 煤田地质概况	9
一、区域地层和含煤地层	9
二、地质构造及其控煤作用	14
三、岩浆活动	19
四、水文地质条件	20
第三节 煤炭资源及其分布	21
一、煤炭资源概况	22
二、煤炭资源的区域分布	23
三、煤炭资源的层域分布	24
四、煤炭资源的煤类分布	25
第四节 评价方法和实物工作量	26
一、评价的内容和目的	26
二、评价的流程和技术方法	27
三、评价结果的表述和提交	33
四、实物工作量	34
第二章 煤层及其物质组成	35
第一节 上二叠统煤层厚度及其分布特点	35
一、六盘水煤田煤层厚度及其分布特点	35
二、织纳煤田煤层厚度及其分布特点	44
第二节 煤的岩石学组成	46
一、显微煤岩组分组成	46
二、显微煤岩类型组成	48
第三节 煤的化学组成	49

一、煤中硫分含量及其分布特点	49
二、煤中灰分产出特征及其分布	51
三、煤的挥发分产率及其分布特点	53
四、煤化作用程度	53
第四节 煤的孔隙率和孔隙结构	55
第三章 煤层含气性及其地质控制	60
第一节 煤层含气量预测方法	60
一、地质类比法	60
二、实测解吸数据外推法	60
三、等温吸附—含气饱和度法	61
四、深部煤层含气量预测方法	61
第二节 煤层气的化学组成及其分布	62
一、煤层气化学组成的统计特征	62
二、煤层气化学组成的区域分布	63
三、煤层气化学组成的层位分布	64
第三节 煤层含气量及其分布	67
一、煤层气各组分含量的统计特征	67
二、煤层甲烷含量的区域分布	69
三、煤层甲烷含量的层位分布	73
第四节 煤层含气性的垂向分布和风化带深度	76
一、煤层气化学组成的垂向分布	76
二、煤层甲烷含量的垂向分布	79
三、煤层气风化带的深度	83
第五节 煤层气富集的地质控制因素	85
一、煤层含气量的煤质控制	85
二、煤层厚度与煤层含气量的关系	88
三、富气中心的沉积—水文—构造条件耦合控制	90
四、富气中心的埋深—构造—水文条件耦合控制	92
第四章 煤层渗透性及其地质控制	96
第一节 煤层渗透性的预测方法	96
一、注入压降试井法	96
二、测井曲线解释法	96
三、数值模拟法(应力渗透率)	96
四、构造曲率法	97
第二节 煤体结构和煤层裂隙的发育特征	97
一、煤体结构的实际观测	97
二、煤体结构的测井解释	99

三、六盘水煤田煤层裂隙的发育特征	100
四、织纳煤田煤层裂隙的发育特征	103
第三节 煤层渗透性的地球物理测井解释	105
一、煤层渗透性的测井曲线预测方法	105
二、煤层测井渗透性的统计特征	107
三、煤层测井渗透性的分布	107
第四节 煤层气试井渗透率的发育和分布	109
一、煤层气试井渗透率的统计特征	110
二、煤层气试井渗透率的分布	111
三、影响煤层气试井渗透率发育的地质因素	112
第五章 煤层气能量系统及其地质控制	118
第一节 煤层气能量系统的构成和显现	118
一、煤储层的三相物质组成	118
二、煤储层的弹性能	120
三、煤储层压力和流体动力条件及其影响因素	121
四、煤层气能量系统的评价方法	122
第二节 含煤地层的地下水动力条件	124
一、地下水动力场与煤储层压力的相互作用原理	124
二、异常高压的煤层气显示特征	125
三、基于水头高度换算的等效煤储层压力	126
四、等效煤储层压力随埋深的分布	131
第三节 煤层试井压力及其分布	133
一、煤层试井压力的统计特征	134
二、煤层试井压力的分布特征	135
三、构造应力场对煤层试井压力的影响	137
第四节 煤层气能量系统的地质控制因素	139
一、煤层气能量系统的显现特征	139
二、煤层气能量系统和成藏效应	147
第六章 煤层气资源及其可采潜力	150
第一节 煤层气资源量的估算参数	150
一、煤层含气性参数的取值	150
二、煤层气可采率参数的取值	150
三、煤层气资源/储量的分类分级	161
第二节 煤层气地质资源量估算结果	164
一、煤层气地质资源量的统计特征	164
二、煤层气地质资源的区域分布	166
三、煤层气资源量的层域分布	171

四、煤层气资源深度分布的特征	175
第三节 煤层气资源的可采潜力	180
一、煤层气可采资源量及其分布	180
二、煤层气可采资源的基础类级	183
三、煤层气井产能的数值模拟分析	185
四、煤层气试验井排采结果分析	192
第七章 煤储层的可改造性及其技术选择	195
第一节 煤储层的可改造性及其地质控制	195
一、煤储层伤害的地质影响因素	195
二、煤储层增渗的可行性与地质影响因素	197
三、煤储层气体可注入/置换性与地质影响因素	198
四、煤层工程稳定性的地质影响因素	199
第二节 煤层气地面井开采技术适应性分析	201
一、地面井原位开采技术的地质约束和适应性	201
二、地面井排水降压技术的地质约束和适应性	203
三、地面井煤储层增渗的地质约束和技术适应性	207
四、煤储层注气增产的地质约束和技术适应性	215
第三节 煤层气抽采模式和优先技术	218
一、应力约束型煤层气资源的卸压抽采技术	219
二、应力—压力协同释放煤层气的抽采技术	223
三、煤层气分类开采的模式和技术选择	224
第四节 煤层气地面勘查开发试验先导区的选择和描述	231
一、中岭一坪山区块的地质概况	231
二、中岭一坪山区块的煤储层描述	235
三、中岭一坪山区块的煤层气资源潜力	240
四、中岭一坪山区块的煤层气地面开发技术建议	244
第八章 结论和建议	245
一、建立了以可采量和富集程度为基础的煤层气资源类别评价标准	245
二、阐明了上二叠统煤层含气性的分布特征及其控制因素	246
三、分析了上二叠统煤层渗透性的发育状况及其地质控制特点	247
四、阐释了煤层能量系统的基本特征和煤层气成藏效应	249
五、评价了煤层气资源的数量特征及其可采潜力	252
六、分析了煤储层的可改造性特征,提出了煤层气开采适用技术建议	255
参考文献	258

第一章 煤层气资源评价基础

总体而言,贵州省富煤、贫油、少常规天然气,全省煤炭和煤层气资源十分丰富。能源矿产资源的这一特点,一方面给省内能源生产结构、煤矿安全生产、大气环境保护等造成巨大压力,另一方面亦为全省带来了大力开发利用贵州煤层气资源的契机。然而,贵州作为我国南方煤层气资源量最为丰富的省份,煤层气地质条件研究较为薄弱,煤层气资源家底尚未真正查清,勘查开发试验相对滞后。国家发展和改革委员会“先采气、后采煤”的强制性政策使得矿区和煤炭规划基地的煤层气开发更为紧迫。为此,受贵州省国土资源厅委托,贵州省煤田地质局和中国矿业大学就全省煤层气资源潜力开展了评价和预测,目的是查明全省煤层气资源的数量、质量和分布特征,探讨黔西煤层气成藏的主要特点和关键控制因素,评价全省煤层气资源的开发潜力和开发技术适应性。

第一节 煤层气勘查开发和研究现状

新中国成立以来,贵州省积累了十分丰富的煤炭资源勘查和开采资料,其中蕴含着丰富的煤层气地质与资源信息。至少进行过三轮煤层气资源调查,为本次煤层气资源潜力预测评价奠定了良好基础。地矿、石油等部门从事常规油气等矿产的勘查,为深部煤层气资源评价提供了难得的有利条件。施工了一批煤层气参数井和排采试验井,开展了一定的总结分析工作,对认识煤储层特性和煤层气产出特征有所帮助。同时,前人在煤层气地质条件方面也取得了一定的研究成果。

一、煤层气资源预测和评价情况

贵州省的含煤面积约 7 万 km^2 , 占全省面积的 40% 左右,其煤炭和煤层气资源均位列我国南方各省之首(徐彬彬等,2003)。自 20 世纪 80 年代以来,煤炭工业部、贵州煤田地质局、滇黔桂石油指挥部、国土资源部等先后曾对本省煤层气资源做过概略评价。

1981~1986 年,杨力生先生承担全国瓦斯地质编图项目,对全国煤矿区瓦斯资源进行过测算。其中,黔西含煤区瓦斯资源量估计为 18660 亿 m^3 。

根据现有资料,杨瑞东(1990)最先公开报道了关于贵州上二叠统煤层甲烷资源状况的认识。根据 56 个定性的和 62 个定量的瓦斯资料,绘制了贵州上二叠统瓦斯分布图,并将其与晚二叠世岩相古地理进行对比,发现沉积环境严格控制着瓦斯分布——即陆相冲积环境、三角洲间湾和陆表海碳酸盐岩台地环境煤层含气量和矿井瓦斯涌出量低,三角洲环境煤层含气量高且有突出倾向,湖坪环境煤层含气量和矿井瓦斯涌出量变化大。利用聚集系数法估算六枝、二塘—汪家寨、金沙—织金四个地区煤层气资源量为 1670 亿 m^3 ,认为这 4 个地区是黔西最有利的煤层气勘查区。

1997年,贵州省煤田地质局结合中国煤田地质总局组织的“全国煤层气资源评价”项目,提交的全省埋深2000 m以浅、含气量大于 $4\text{ m}^3/\text{t}$ 可采煤层中的煤层气地质资源量为31511.59亿 m^3 ,平均可抽放率40.93%,其中埋深1500 m以浅资源量为23000亿 m^3 (易同生,1997;叶建平等,1999)。其煤层气资源量位列全国各省区第二,占华南聚气区煤层气资源总量的76.34%(图1-1)。但是,由于当时对深部煤层含气量推导方法相对简单,织纳矿区煤层含气量取值相对保守,加之缺乏平衡水等温吸附资料、无试井资料可资借鉴,因而对煤储层特性了解比较少。

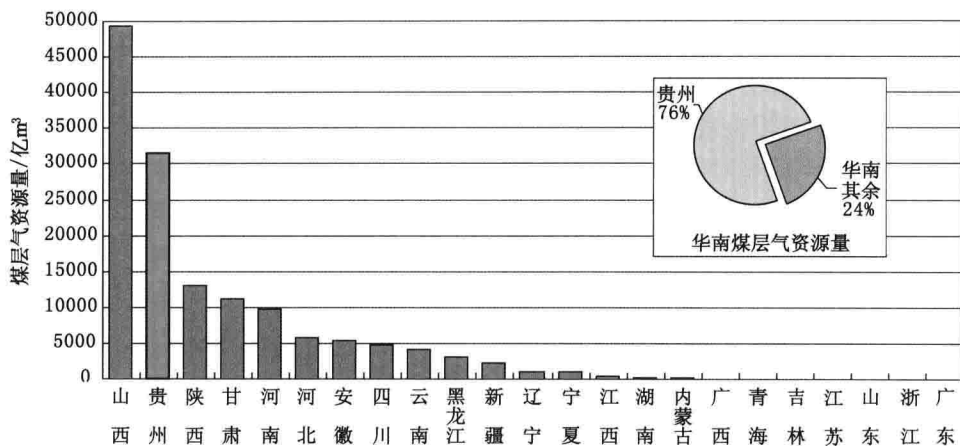


图1-1 全国各省区煤层气资源量分布对比图

(据叶建平等1999年资料编绘)

1999~2001年,滇黔桂石油指挥部估算了贵州西部煤层气资源,获得总资源量50226.9亿 m^3 ,平均资源丰度为 $1.42\text{ 亿 m}^3/\text{km}^2$,其中埋深200~1500 m资源量为25197.4亿 m^3 ;六盘水地区埋深200~1500 m煤层气资源量为11548.8亿 m^3 ,资源丰度为 $3.6\text{ 亿 m}^3/\text{km}^2$ (王国司等,2001)。同时,采用资源、渗透性、煤岩、水文地质、井网、用途等6大类20项参数,对六盘水含煤区进行了煤层气选区(赵黔荣等,2003)。但是,选区中同样缺乏某些具有实证意义的试井资料,如煤储层渗透率、储层压力、临界解吸压力等,评价结果主要亦是推测的。更为重要的是,工程上马之前并没有对煤储层特点以及煤层气可采性进行深入研究,采取的增产措施针对性不足。

2004~2006年,在国家发改委和国土资源部的组织下,中联煤层气公司、中国石油天然气集团、中国石油化工集团、中国矿业大学等单位具体承担了新一轮全国煤层气资源评价工作。评价结果如下:贵州西部和北部地区煤层气地质资源量为22287.88亿 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8567.69亿 m^3 ,平均可采率为38.44%。其中:六盘水含气带煤层气地质资源量为17065.15亿 m^3 ,可采资源量为7299.72亿 m^3 ,可采率为42.78%;黔北含气带煤层气地质资源量为5222.73亿 m^3 ,可采资源量为1267.97亿 m^3 ,可采率为24.28%。显然,上述评价结果的客观性值得商榷,包括可采率计算依据、资源量计算基础数据等。

由上述可以看出,不同学者和单位给出的评价结果差异极大,评价标准和范围很不统一。

即使大致换算到统一标准进行比较,各家结果的差别仍然很大。换言之,由于某些评价结果的依据不明确或不十分充足,贵州全省的煤层气资源量家底可以认为目前并未真正查清。

二、煤层气地质条件研究

除了煤层气资源评价外,以往贵州省也有部分煤层气地质研究工作,所取得的成果和认识为本次评价提供了可贵的参考。

易同生(1997)对省内煤层气控气地质因素进行了研究,取得某些有价值的认识。例如,在煤层围岩相对封闭较好情况下,倾角平缓的煤层其煤层含气量较倾角陡的煤层高;在转折端或次级褶曲发育部位,煤层甲烷含量常偏高;煤层厚度越大,煤层含气量越高;在黔西地区,从NW向SE方向及由上至下煤级逐渐增高,含气量逐渐增加。再如,煤系地层含水量小,循环深度不大,煤系中泥岩具有较好的封闭性和隔水性,在纵向上有多套盖层叠加组合形成多层封闭,在横向上与各种非流动边界组合而构成不同程度的遮挡,气藏得以保存;煤系地下流体具有压力大、水头高、水量小的特征,水质主要为 NaHCO_3 型,矿化度为 $1000\text{ g/L}\sim 2000\text{ g/L}$,由浅向深略有增加,说明大气降水对气藏影响不大,保存条件有利。

徐会军等(1997)分析了盘江矿区煤层气资源及开发前景。认为向斜翼部含煤带宽缓平坦,有利于煤层气富集;煤种以中变质烟煤为主,煤层储气能力强,煤层甲烷含量为 $12.4\sim 15.0\text{ m}^3/\text{t}$,甲烷资源总量为 1092 亿 m^3 ;煤层埋藏较浅,地质构造简单,煤层渗透率较高,市场条件优越,具有良好的煤层气开发前景。梁福谅(1998)重点讨论了格目底向斜煤层气资源及其利用问题。认为格目底向斜东段具生气率高、含气量高($>15\text{ m}^3/\text{t}$)、可解吸率高($>70\%$)特色,具备煤层气高产富集条件;其余煤层镜质组组分含量高,易于压裂激化;贵州中部地区安顺市具有民用气用户市场前景,有利于全省煤层气市场的合理布局。

桂宝林(1999)分析了六盘水地区煤层气地质特征及富集高产控制因素,认为该区煤层分布广、厚度大,煤岩镜质组组分含量高,处于区域岩浆热变质区,煤层裂隙发育,构造裂缝适中,含气量高,可解吸率高,有利于煤层气富集高产;盖层条件优良,处于承压水区,煤层压力大;盘县盆地、格目底向斜、郎岱向斜、六枝向斜、补郎向斜、青山向斜北西翼具备形成煤层气富集高产区带的有利地质条件。桂宝林(2000,2004)进一步从深部构造、基底构造和盆地构造三个层次探讨了黔西各向斜的构造特征。认为莫霍面由东向西呈阶梯状下降,上地壳由东向西增厚,沉积盆地与基底具有明显的继承性,在晚二叠世为西高东低的陆相、海陆交替相和浅海相的沉积环境,形成巨大的聚煤盆地,经各期构造变动成为现今众多的残留煤盆地。

王国司等(2000)根据手标本对六盘水地区煤岩裂隙进行了初步研究。他们发现:在肥煤区,亮暗煤中面裂隙平均密度为 $24\text{ 条}/5\text{ cm}$,可见延伸长度 $4\sim 6\text{ cm}$,壁距 $<0.1\text{ mm}$,端裂隙发育不均;在焦煤区,亮暗煤面裂隙平均密度为 $43\text{ 条}/5\text{ cm}$,可见延伸长度 $7\sim 20\text{ cm}$,壁距 $<0.1\text{ mm}$;在贫煤至无烟煤区,面裂隙平均密度为 $35\text{ 条}/5\text{ cm}$,可见延伸长度 $4\sim 20\text{ cm}$,壁距 $<0.1\text{ mm}$ 。据此他们预测该地区煤层渗透性较好,有利于煤层气的勘查开发。

陈本金(2001)基于对煤层气地质特点、资源状况和地理经济条件的分析,将六盘水地区煤层气勘查目标分为四类。其中,I类区为最有利区,包括格目底向斜南西翼、盘关向斜北西翼和南东翼;II类区为有利区,包括格目底向斜北东翼、土城向斜北东翼、比德—三塘向斜和大河边向斜;III类区为较有利区,包括郎岱向斜南西翼、旧普安向斜北东翼和南西翼、青山向斜北西翼、补郎向斜西翼、郎岱向斜北东翼、六枝向斜南西翼和北东翼;IV类区为较差目标区。

熊孟辉等(2006)分析了贵州晚二叠世含煤地层沉积格局及其构造控制。作者认为,晚二叠世期间发育的同沉积断裂对含煤地层沉积格局起着区域性控制作用,形成了“东西分带、南北分区”的沉积和聚煤格局。总体来看,以横贯中部的遵义—惠水 NNE 向断裂带为界,东部地区海相沉积较为发育且煤层发育极差,西部地区以海陆交互相沉积为主且煤层发育较好;以盘县—六盘水 NNE 向断裂带为界,西部主要表现陆源区,而东部为沉积区。在此构造背景上,六盘水—瓮安断裂带将贵州中、西部进一步划分为黔北隆起和黔南坳陷两个一级构造单元,两个单元的沉积作用和聚煤特征差异显著。不同断裂带在不同沉积阶段沉降活动的差异性,是导致龙潭早期、龙潭晚期、长兴期沉积格局和聚煤特征有所不同的重要原因。这一认识,对进一步研究贵州煤层气区域富集规律及其地质控制因素提供了有价值的认识基础。

熊孟辉(2006, 2009)和熊孟辉等(2007, 2009)对织纳煤田五轮山矿区煤层气地质条件进行了解剖分析。结果表明:主煤层原生结构总体上保存完好,单一煤层原生结构均能识别,由此推测该矿区煤层渗透性应该远远高于黔西其他地区,可能与晋城地区有可比之处;其煤的储气能力相对略低,但吸附能力相对较强,两者耦合作用可能导致五轮山煤层含气量较高但解吸能力相对较弱;在煤层甲烷浓度与埋藏深度上总体上没有明显关系,暗示不同煤层之间可能基本上不存在水力联系;煤层甲烷含量在平面上表现出“东高西低、南高北低、深高浅低”的总体趋势,呈现出向斜控气的总体特征;煤中矿物质含量增高,煤层气解吸速率随之增大;煤层气平均理论抽采率高于美国(20.62%),枯竭压力 0.70 MPa 的平均抽采率与中国全国平均水平(28.94%)相当,但枯竭压力 0.50 MPa 的平均抽采率却显著高于全国平均水平;煤层气平均资源丰度为 8.04 亿 m^3/km^2 ,平均可采资源丰度为 2.63 亿 m^3/km^2 ,远远高于全国平均水平。

易同生等(2006)对六盘水煤田盘关向斜煤层气开发地质条件进行了研究。发现该区煤层甲烷含量随煤化程度、深度、碳含量、镜质组含量增加而增加,随壳质组含量增加而下降,随矿物质增加而降低,与地下水活动的影响不明显。认为该区煤层气资源量丰富、含气量较高、渗透性较好、埋藏深度适中;煤系地层受到上、下含水层的封隔而使煤层气聚集成藏,为水压向斜煤层甲烷气藏;煤层主要属于勉强可以抽放煤层和易于抽放煤层,部分为较难抽放煤层;下部煤层透气性较上部煤层为好。

鲍森(2007)从构造、煤层厚度、煤级、顶底板岩性、含气量等方面讨论了六盘水煤田龙潭组煤层气富集规律。认为多数煤层镜质组反射率在 1.2%~3.0%之间,对煤层气具有较好的吸附能力;煤层顶底板主要是泥岩和页岩,较有利于煤层气保存;含煤地层中夹有砂岩层,很有可能找到适合工业开采的煤成气资源;大部分区域断层比较发育,构造应力较强,煤层微裂隙系统发育,提供了煤层气运移通道;大部分高瓦斯区的主要控制因素是煤层厚度大和压、剪性断裂构造发育,发耳勘探区北部高瓦斯区可能受水文地质因素控制,发耳以东地区低瓦斯区可能是受构造不发育和具块状煤岩结构的控制。作者建议,六盘水地区的响水镇—断江镇—普古乡—普安镇、发耳镇北部—比德西部—双嘎镇—水塘镇以及化乐镇—阿嘎乡一线以东地区分别是三个煤层气富集闭合区,具有最好的开采远景。

秦勇等(2008)基于对织纳煤田水公河向斜的研究,提出了“多层叠置独立含气系统”的学术观点。研究发现:单一煤层的甲烷平均含量随煤层层位呈现出波动式变化;相邻主煤层之间含气量梯度呈波动式变化;挥发分产率与煤层气解吸率之间关系在不同煤层组合(群)

之间明显分为两个区域,煤层埋深—压力系数关系以 8 煤层为界分为上、下截然不同的两套系统,龙潭组层序地层格架中的二级层序与含气量梯度的独立分段高度吻合。作者认为,多层叠置独立含气系统的形成,是沉积—水文—构造条件耦合控制的结果。首先,含煤地层的层序格架特点限定了多层叠置独立含气系统的物性基础,每套独立含气系统分别被限定在对应的二级层序地层格架之内。其次,含煤地层与上覆下伏含水层之间缺乏水力联系,含煤地层内部不同岩层(组合)之间由于致密岩层的存在而导致水力相互封闭。这些条件,构成了多层叠置含气系统的沉积基础和水文基础。

高弟等(2009)认为,贵州省煤层气地质条件具有“一弱、两多、三高、四大”的特点,即龙潭组富水性弱,控气构造类型多和煤层层数多,煤层含气量高、资源丰度高、储层压力和地应力高,以及煤层气资源量大、煤级变化大、煤层渗透性变化大和地质条件垂向变化大。贵州煤层气的赋存特点,一方面体现出其煤层气资源富集程度高、储层能量大、开发潜力巨大的优势;另一方面存在影响煤层渗透性和储层改造的不利因素,因此煤层气勘查开发需要寻找新的思路和方法。提出近期应加大对煤层气勘查开发投入,准确摸清全省煤层气资源潜力状况。在此基础上,分析各类煤层气开发技术对煤层气地质条件的适应性并进而合理制定煤层气资源勘探开发利用战略和规划。建议将织纳煤田作为现阶段煤层气地面勘探开发的主攻区域,借鉴煤层气开发晋城模式,尽快在未采动区实施以地面直井和丛式井组为主的上部煤层群煤层气开发先导性示范工程;六盘水及其他煤田则可借鉴淮南模式,通过远距离保护层大面积采动卸压,综合利用采前、采中、采后矿井和地面煤层气抽采技术,实施采动区煤层气开采,继而建设与之配套的分布式煤层气小型化利用、储运技术和装置。

此外,不同单位和作者从构造、水文、沉积、地球化学等方面对贵州煤田地质条件和成因亦做过诸多研究(赵黔荣,2001;顾成亮等,2000;顾成亮,2002;王国司,2003;许国明等,2005)。这些工作,同样对本项目研究具有重要参考价值。

三、煤层气勘查和开发试验

贵州煤层气开发试验工作主要集中于黔西地区。80 年代初至 90 年代末,贵州省先后开展了“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”等项研究工作,部分地区还开展了地震、化探和钻井工作。自“九五”以来,进行了不同程度的选区评价,共施工煤层气参数井和排采试验井 14 口。

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。2000 年,滇黔桂油田分公司勘探开发科学研究院对滇东—黔西地区煤层气进行了研究,主要侧重构造对煤层气的控制作用,并提出了一些重要的煤层气远景区(桂宝林等,2000)。2000 年,新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。

在 1998~2000 年期间,滇黔桂石油指挥部实施“九五”国家重点工业性试验项目——“六盘水煤层气开发利用示范工程”,完钻 5 口浅层天然气(含煤层气)勘探参数井,进行了地质录井、测井、含气量测定等作业,并进行了钻井、煤岩取芯、完井、试井、压裂、排采等工程工艺试验,获取了 43 km² 试验区内的煤层气基础地质资料。如:煤层资源量 235 亿 m³,资源丰度 5.5 亿 m³/km²;煤层原始渗透率 0.001~1.05 mD,储层压力和地应力梯度较高(王国