

YUNNANSHENG

Mei

zhi Tiaojian

云南省煤层气资源及 开采地质条件

主 编 秦 勇 罗 俊 申 建

副主编 林玉成 吴财芳 唐永洪

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

ANSHENG

Meicengqi Ziyuan Ji Kaicai Dizhi Tiaojian

云南省煤层气资源及 开采地质条件

主 编 秦 勇 罗 俊 申 建

副主编 林玉成 吴财芳 唐永洪

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,获得了对云南省煤层气资源特性的进一步认识。分析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。以滇东地区为重点,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。

本书适合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

云南省煤层气资源及开采地质条件 / 秦勇, 罗俊,
申建主编. — 徐州: 中国矿业大学出版社, 2018.5

ISBN 978-7-5646-3845-0

I. ①云… II. ①秦… ②罗… ③申… III. ①煤层—
煤层气—煤炭资源—研究—云南②煤层—煤层气—煤矿瓦斯
抽采—工程地质条件—云南 IV. ①P618.110.627.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 323851 号

书 名 云南省煤层气资源及开采地质条件

主 编 秦 勇 罗 俊 申 建

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 虎彩印艺股份有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 18.75 字数 470 千字

版次印次 2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷

定 价 100.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《云南省煤层气资源及开采地质条件》

编 委 会

主 编：秦 勇 罗 俊 申 建

副主编：林玉成 吴财芳 唐永洪

参 编：王巨民 王 坚 兰凤娟 王继尧 姜 波

朱炎铭 傅雪海 韦重韬 王爱宽 徐金鹏

苏金禄 陈召英 杜严飞 杨 松 赵丽娟

高和群 邹明俊 常会珍 王 猛 冯 晴

陈 润

前 言

根据国土资源部《关于开展全国矿产资源潜力评价工作的通知》(国土资源[2007]6号)和中国地质调查局《关于加强煤炭资源潜力评价有关问题的通知》(项目办[2007]24号),云南省煤田地质局承担了“云南省煤炭煤层气资源潜力评价”课题。受云南省煤田地质局委托,中国矿业大学负责对“云南省煤层气资源潜力评价”进行专题研究。研究工作开始于2009年3月,开展了大量的野外地质考查和构造观测,采集煤、岩石、地层水样品200余件并进行了测试分析,收集全省相关勘查报告并从中提取煤层气地质信息,研究报告于2010年12月通过了云南省国土资源厅专家组的结题验收。本专著即是在此专题研究报告基础上,结合中国矿业大学课题组等单位和个人近年来的进一步研究成果编撰而成。

中华人民共和国成立以来,云南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;至少进行过四轮煤层气资源调查,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;云南省煤田地质局、中联煤层气有限责任公司、美国远东能源公司等云南省内施工了一批煤层气参数井和排采试验井,开展了某些总结分析工作,对储层特性和煤层气产出特征有了初步认识。同时,前人对云南省煤层气地质条件也有一定的研究成果。

云南省“缺油少气”,但为我国南方煤层气资源最为丰富的省区之一。20世纪90年代中期开展过煤层气资源调查,21世纪初至今断续开展过煤层气勘查,由于煤层气赋存与开发地质条件复杂多变,迄今尚未实现煤层气井工业性气流的突破,但前期尝试已经昭示了煤层气勘探开发的价值和前景。2016年以来,科技部、国家能源局启动了国家科技重大专项滇东-黔西煤层气先导性试验研究工作。配合这一战略背景,本专著出版的目的是主要包括三个方面:一是进一步查明云南省煤层气资源的数量、质量与分布特征;二是为探讨云南省东部(滇东)煤层气成藏的主要特点与关键控制因素;三是分析云南省煤层气资源开发潜力与开发技术适应性。

围绕上述三个方面目标,本专著总结了如下五个方面主要研究成果:

一是云南省煤层含气性及煤层气资源。在前期评价结果的基础上,进一步从丰富的煤炭资源勘探资料中提取煤层气信息,筛分和厘定相关信息与参数的可用性,按照地质区划、行政区划、控气地质要素等评估煤层含气性特征,采用先进方法推测深部煤层含气性特点,重新计算了煤层气资源量,分析了煤层气资源的分布规律,更为客观、科学地获得了对全省煤层气资源特性的认识。

二是云南省煤储层物性及其地质控制因素。实地观测主要煤田、矿区、勘查区煤储层宏

观裂隙发育特征,实验室观测显微裂隙和孔隙特征,补充测试了上二叠统和新近系主要煤层吸附性和基本力学性质,结合现有煤层气试井与开采试验资料,初步分析阐述了煤储层主要物性的分布规律和地质控制因素。

三是云南省煤层气成藏效应与有利区带。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,以滇东地区为重点建立煤层气成藏系统,划分煤层气成藏效应类型,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,提出了下一步勘探和开发试验的方向性建议。

四是云南省煤层气资源开发潜力。分析不同地质条件(埋深、水文地质条件)、不同开采方式(地面、井下)的各煤阶储层煤层气的解吸率、采收率及可解吸量,计算相应的煤层气可采资源量,分析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。

五是云南省煤层气勘探开发技术适应性。针对滇东地区煤层气地质条件,对比分析各类技术的地面煤层气勘探开发效果。在此基础上,提出关于云南省煤层气开采方式、完井、增产激励措施等方面的认识。

本专著由秦勇、申建撰写初稿,秦勇负责统稿,罗俊、林玉成参与统稿,林玉成、秦勇、唐永洪、王巨民等组织并参与了现场调研,傅雪海、吴财芳、姜波、韦重韬等对部分章节进行了内部审读修改,秦勇最后定稿。勘查资料收集、数据统计与分析、煤层气资源量计算、相关图件编制及清绘由申建、兰凤娟、杨松、赵丽娟、高和群、邹明俊、陈召英、杜严飞、常会珍、冯晴等完成,王继尧、王猛、王爱宽、陈润等参加了部分现场考查和样品采集工作。

本专著参考和引用了中国矿业大学相关博士、硕士学位论文的部分内容,借鉴了云南省煤田地质局等单位几十年来的大量煤炭、煤层气勘查开发资料和前期研究成果。云南省煤田地质局协助组织了现场调研和样品采集,并为研究生学位论文研究提供了方便。课题立项和验收得到云南省国土资源厅的大力支持。样品测试分析由中国矿业大学分析测试中心、江苏省煤田地质研究所、中国石油勘探开发研究院廊坊分院等单位完成。谨此,对上述单位和个人为本专著所做的贡献表示衷心感谢!

本专著主要研究工作完成于2010年年底之前,虽然在正式出版前做了修订和少量补充,但所依托的一些基础依据难以更新,如当时采用的一些规范标准目前已经过时、煤炭资源不是最新一轮评价预测成果等,加之编著者对煤层气勘探开发新技术的了解不一定全面深入,导致其中的一些认识不一定十分客观。尽管如此,本专著作为一项云南省煤层气资源潜力专题研究成果的总结,期望能为云南省内正在开展的新一轮煤层气勘探和开发试验活动提供借鉴。

编者谨识

2017年2月

目 录

第一章 煤层气资源评价基础	1
第一节 煤层气勘探开发与研究现状	1
一、煤层气资源评价与预测	1
二、煤层气地质条件研究	2
三、煤层气勘探开发试验	4
四、煤矿瓦斯抽采与利用	6
第二节 煤田地质概况	7
一、区域地层与含煤地层	7
二、区域构造与盆地构造	13
三、区域岩浆活动及现代地温场分布	26
四、水文地质条件	29
第三节 煤炭资源及其分布	33
一、煤炭资源概况	33
二、煤炭资源区域分布	34
三、煤炭资源的层域分布	35
四、煤类及其资源量	35
第四节 评价研究方法	37
一、评价内容与目的	37
二、评价流程与技术方法	38
三、评价结果表述与提交	44
第二章 煤层及其物质组成	45
第一节 聚煤规律与煤层分布	45
一、晚二叠世聚煤规律与煤层分布	45
二、晚三叠世聚煤规律与煤层分布	53
三、新近纪聚煤规律与煤层分布	55
第二节 煤的岩石学组成	58
一、上二叠统煤的岩石学组成	58
二、上三叠统煤的岩石学组成	60
三、新近系煤的岩石学组成	60
第三节 煤的化学组成	63
一、上二叠统煤的灰分产率和全硫含量	63

二、上三叠统煤的灰分产率和全硫含量	66
三、新近纪煤的灰分产率和全硫含量	67
四、煤化作用程度	69
第四节 煤的孔隙率与孔隙结构	75
一、煤的孔隙率分布	76
二、煤的孔隙结构	77
第三章 煤层含气性及其地质控制	80
第一节 煤层含气量预测方法	80
一、地质类比分析法	80
二、实测解吸数据外推法	80
三、等温吸附-含气饱和度法	81
四、低阶煤层含气量数值模拟方法	81
五、深部煤层含气量预测方法	85
第二节 煤层气化学组成与风化带	89
一、煤层气化学组成统计特征	89
二、煤层气化学组成区域分布	90
三、煤层气化学组成的垂向分布	91
四、煤层气风化带深度	92
五、恩洪向斜煤层重烃气异常地质影响因素	97
第三节 煤层含气量及其分布	98
一、煤层含气量统计特征	98
二、煤层含气量区域分布	99
三、煤层含气量层域分布	104
四、煤层含气量埋深分布	106
第四节 煤层气富集的地质控制因素	106
一、煤层厚度和顶板岩性对煤层含气量的影响	107
二、沉积层序与叠置煤层气系统	109
三、煤层含气量的煤岩与煤阶控制	110
四、构造特征与煤层气保存条件	113
第四章 煤层渗透性及其地质控制	116
第一节 煤层渗透性预测方法	116
一、注入压降试井法	116
二、测井曲线解释法	116
三、数值模拟法(应力渗透率)	116
四、构造曲率法	117
第二节 煤体结构与煤层裂隙观测结果	118
一、钻孔煤层编录及观测结果	118

二、矿井采样观测结果	121
第三节 煤体结构的地球物理测井解释	122
一、煤体结构测井曲线解释方法	122
二、煤体结构测井解释成果统计特征	124
三、煤体结构区域和层域分布特征	130
第四节 煤层试井渗透率发育与分布	134
一、煤层试井渗透率区域分布	134
二、煤层试井渗透率层域分布	135
三、影响煤层试井渗透率发育的地质因素	135
第五章 煤层气能量系统及其地质控制	141
第一节 煤层气能量系统的构成和显现	141
一、煤储层的三相物质组成	141
二、煤储层的弹性能	143
三、煤储层压力和流体动力条件及其影响因素	144
四、煤层气能量系统的评价方法	145
第二节 含煤地层的地下水动力条件	147
一、地下水动力场与煤储层压力的相互作用原理	147
二、基于水头高度换算的等效煤储层压力	148
三、等效煤储层压力的埋深分布	152
第三节 煤储层试井压力及其分布	154
一、煤层试井压力统计特征	154
二、煤层试井压力的区域分布	154
三、煤层试井压力的层域分布	156
四、煤层试井压力的埋深分布	156
第四节 煤层弹性能及其地质控制因素	157
一、煤层弹性能统计特征	157
二、煤层弹性能区域分布	159
三、煤层弹性能深度分布	159
四、煤层综合弹性能及其选区地质意义	161
第六章 煤层气资源量及其可采潜力	164
第一节 煤层气资源量估算参数	164
一、煤层含气性参数取值	164
二、煤层气采收率参数取值	164
三、煤层气资源量/储量分类分级	178
第二节 煤层气资源量估算结果	181
一、煤层气资源量统计特征	181
二、煤层气地质资源量区域分布	182

三、煤层气资源量层域分布	186
四、煤层气地质资源量深度分布	192
第三节 煤层气资源可采潜力	197
一、煤层气可采资源量及其分布	197
二、煤层气可采资源基础类级	201
三、煤层气井产能数值模拟分析	203
四、煤层气井排采试验结果分析	209
第七章 煤储层可改造性及其技术选择	211
第一节 煤储层可改造性及其地质控制	211
一、煤储层可改造性及其增产意义	211
二、煤储层伤害的地质影响因素	212
三、煤储层增渗可行性与地质影响因素	213
四、强化煤层气可解吸性及其地质影响因素	215
五、煤层工程稳定性的地质影响因素	216
第二节 煤层气地面井开采技术适应性分析	217
一、地面井原位开采技术的地质约束与适应性	217
二、地面井排水降压技术的地质约束与适应性	219
三、地面井煤储层增渗地质约束与技术适应性	224
四、煤储层注气增产地质约束与技术适应性	236
第三节 煤层气抽采模式与优先技术	240
一、应力约束型煤层气资源卸压抽采技术	240
二、应力—压力协同释放煤层气抽采技术	244
三、煤层气分类开采模式与技术选择	245
第四节 老厂矿区煤层气地面开发试验先导区选择与描述	251
一、老厂矿区煤层气地质背景	251
二、老厂矿区煤储层描述	257
三、老厂矿区煤层气资源潜力	264
四、老厂矿区煤层气地面开发技术建议	267
第八章 结论与建议	268
一、以可采资源量和富集程度为基础的煤层气资源类别评价标准	268
二、上二叠统煤层含气性分布特点及其控制因素	268
三、上二叠统煤层渗透性发育状况及其地质控制特点	270
四、煤层能量系统的基本特征和煤层气成藏效应	272
五、煤层气资源分布与可采潜力	274
六、煤储层可改造性及煤层气开采适用技术建议	276
参考文献	279

第一章 煤层气资源评价基础

云南省是我国南方煤炭和煤层气资源较为丰富的省份之一,两类资源量在南方各省市中均仅次于贵州省,居第二位。某些矿区煤矿瓦斯涌出现象严重,瓦斯爆炸事故频发,严重危及煤矿安全生产。云南省能源资源具有“缺油、少气、多水、富煤”的特征,煤炭消费从2010年的56.73%下降到2014年的43.07%,可再生能源发电量明显增长(云南省工业和信息化委员会,2016)。云南省人民政府提出:加强常规油气资源调查评价与勘探开发利用,加快煤层气、页岩气开发利用(云南省发展和改革委员会,2016)。为此,客观认识和评价云南省煤层气资源开发潜力,对合理利用能源资源、改善能源结构、降低矿井瓦斯灾害、保护大气环境等具有重要的现实价值。本章简要分析云南省煤层气勘探开发与研究现状,简述煤田地质概况和煤炭资源及其分布特征,阐述云南省煤层气资源潜力预测与评价方法。

第一节 煤层气勘探开发与研究现状

自20世纪90年代中期至今,云南省至少组织过四轮较大规模的煤层气资源调查,同时对煤层气地质条件进行了研究。2002年以来,云南省开始进行煤层气勘探与开发试验。中华人民共和国成立以来的煤炭资源勘查和开采活动,积累了大量的地质资料,其中蕴含着丰富的煤层气地质与资源信息。前人这些实践和研究工作,为本书煤层气资源潜力预测评价奠定了重要基础。

一、煤层气资源评价与预测

20世纪90年代中期至21世纪初,云南省煤田地质局、滇黔桂石油指挥部、云南省煤炭地质勘察院、国土资源部等先后对云南省煤层气资源做过概略评价。

1997年,云南省煤田地质局结合中国煤田地质局组织的全国煤层气资源评价项目,提交全省埋深2 000 m以浅的煤层气地质资源量4 252.79亿 m^3 ,位列全国各省区第九名,占华南聚气区煤层气资源总量的10.31%。但是,计算范围只包括圭山、恩洪、宣威3个目标区,估算对象只涉及平均含气量高于4 m^3/t 的可采煤层。

2000年,滇黔桂石油指挥部和云南省煤田地质局计算了滇东地区煤层气资源,获得资源总量为4 523亿 m^3 (滇黔桂石油指挥部,2000;桂宝林等,2000;顾成亮,2002)。其中,预测资源量1 589亿 m^3 ,推测资源量2 934亿 m^3 ,计算范围只涉及羊场、新寨、恩洪、圭山4个地区,没有包括褐煤以及滇中地区。根据云南省煤田地质局研究成果,全省煤层气资源量约5 000亿 m^3 (林玉成,2004)。其中,滇东和滇东北烟煤、无烟煤的煤层气资源量为4 000亿~4 500亿 m^3 ,占全省煤层气资源量的90%;恩洪、老厂、圭山矿区和镇威煤田是云南省煤层气主要富集区,煤层气资源量约3 910亿 m^3 。

2001年,云南省煤炭地质勘察院选择恩洪、老厂、圭山、羊场、来宾、镇雄、华坪、蒙自、昭通9个矿区/煤田/盆地,对煤层气资源进行了评价(王巨民等,2001;朱绍兵,2004)。评价面积4 848.72 km²,计算深度2 000 m以浅,提交煤层气资源量3 851.15 亿 m³。其中,预测资源量471.95 亿 m³,占12%;远景资源量3 379.20 亿 m³,占88%。据邓明国等(2004)资料,云南全省煤层气资源总量4 240.88 亿 m³。其中,预测资源量637.47 亿 m³,占15%;远景资源量3 603.41 亿 m³,占85%。这些结果表明,云南省煤层气资源控制程度极低,有必要加大专门勘探与评价工作。

2001年年底,云南省煤田地质局完成了《恩洪-老厂矿区煤层气资源评价》报告,系统分析了煤层含气性特点和物性特征,计算了风化带以深、2 000 m以浅、含气量大于4 m³/t的可采煤层空气干燥基煤层气资源量。提交煤层气资源量1 482.53 亿 m³,包括恩洪矿区612.92 亿 m³,老厂矿区869.61 亿 m³。其中,预测资源量363.08 亿 m³,远景资源量1 119.45 亿 m³;1 000 m以浅资源量872.84 亿 m³(占59%),1 000~1 500 m资源量339.45 亿 m³(占23%),1 500~2 000 m资源量270.24 亿 m³(占18%)。

2006年,国土资源部组织新一轮全国煤层气资源评价(新一轮全国油气资源评价项目办公室,2006),获得云南省煤层气地质资源量为2 577.46 亿 m³,可采资源量为1 001.33 亿 m³,平均可采率38.85%(国土资源部,2006)。其中,滇东地区地质资源量2 028.96 亿 m³,可采资源量717.80 亿 m³,可采率35.38%;滇中地区地质资源量548.50 亿 m³,可采资源量283.53 亿 m³,可采率51.69%。所有资源量包括褐煤以及全部煤层中的煤层气资源量,但此次评价缺乏煤层气井试井、煤层气专项测试以及煤储层数值模拟结果的支持,煤田勘探资料也利用得不甚全面。

可以看出,各部门给出的评价结果差异极大,评价标准及范围不统一。即使大致换算到统一标准进行比较,各部门评价结果的差别仍然很大。换言之,某些评价结果的依据不明或不是十分充足,云南全省的煤层气资源量家底先前并未真正查明。

二、煤层气地质条件研究

云南省从20世纪90年代前半期开始煤层气地质研究,然后逐渐进入选区评价,近年来开始煤层气基础地质研究。

席维实(1994)分析了云南褐煤与烟煤中煤层气的成分。艾斌等(1994)初步分析了恩洪矿区煤层气地质条件和开发前景,建议在适当的构造部位布置5口煤层气探井。龚永能(1997)从构造环境、成烃演化、保存条件等方面,探讨了滇东地区上二叠统煤层气赋存地质控制因素,认为主要控制因素是埋深和构造,并分析了煤层气的富集规律。21世纪初,滇黔桂石油指挥部开展滇东-黔西煤层气资源评价,分别从羊场、新寨、恩洪、圭山4个区块各采1块煤样,结合显微镜观测对煤层裂隙开展了初步观测、统计和描述(顾成亮等,2000)。

桂宝林等(2000,2004)从深部构造、基底构造和盆地构造三个层次,探讨了滇东煤层气构造特征,分析了恩洪-老厂地区煤层气成藏条件,认为恩洪盆地主要煤层气系统均为复向斜的几个主体向斜,包括营上-都格、中吉克、大河-小河口、大地德-新村4个复向斜,其中,营上-都格系统为煤层气勘探开发有利地区,中吉克系统和大河-小河口系统为较有利地段,大地德-新村系统总体上次于前面3个系统;老厂矿区有老厂四勘区、德黑-箐口向斜(北预测区)、龙滩断裂环状断裂区(南预测区)、老厂背斜4个煤层气系统,其中,老厂四勘区的小老

厂-雨汪区带成藏条件较好。

依据恩洪矿区 EH-1 和 EH-2 两口井的实际资料,分析了造成煤储层特性不理想的影响因素,认为构造复杂是导致煤层缺失的重要原因,构造煤发育致使煤层渗透率降低,发现煤储层压力正常~超压,地应力梯度显著高于国内其他地区(张宗羲等,2003)。研究认为,构造通过对煤层地应力、渗透性等的影响,进一步影响到煤层气井后期压裂效果,最终对煤层气井的产气量起到决定性的控制作用。建议重点研究低渗条件下如何实施后期改造,进一步提高渗透性,增加产气量。

采用数理统计方法,分析了恩洪盆地煤层含气量异常及其分布规律,通过多次趋势面分析确定了煤层气相对富集的区域(陈励等,2004)。采用相似方法,对老厂四勘区煤层气资源量进行了克里格估计(崔建福等,2004)。总结老厂矿区煤层综合对比方法,对中外合作煤层气探井 FCY-LC01 各主要目的煤层进行了准确预测(孔令国等,2004)。

根据恩洪、老厂矿区煤储层参数的构造影响分析,建议优先考虑在恩洪矿区老书桌或清水沟区块拉张应力场部位施工 2~3 口煤层气参数井,全面获取该区煤储层参数(储层压力、渗透率、破裂压力、煤等温吸附特性等),并研究人工造穴、储层压裂试验等提高煤层气井产能的方法,为正确评价和合理开发该区煤层气资源提供依据(王巨民,2003;屠红勇等,2007)。

提炼煤炭资源勘查中的煤层气地质信息,分析了老厂矿区煤层含气性特征及控气地质因素(陈召英,2011)。云南省 198 煤田地质队总结了云南煤矿瓦斯地质特征,就构造对煤层影响、区域性煤层瓦斯含量、区域性煤矿瓦斯涌出差异性控制因素等,以及近 20 年来云南煤矿瓦斯事故进行了专题研究(苗琦,2013)。

关于同一矿区煤层气开发前景,前人看法不一:

(1) 恩洪向斜煤层渗流孔隙结构单一,非均质性不高,渗流能力相对较好,显微裂隙以较小微裂隙为主,定向性和连通性较差,可能造成渗流通道不连续和受阻等问题,导致渗透性变差(吴建国等,2012)。认为云南省内煤层气资源开发潜力以恩洪向斜最好,其中首采区块位于向斜南部(刘金融,2014)。恩洪-老厂煤层气勘查区煤系埋深适中,中高阶中厚煤层,含气量高,构造复杂,资源潜力大,是西南地区最有希望实现煤层气勘探开发商业化的地区之一(贾高龙等,2016)。

(2) 老厂矿区属中型富 CH_4 煤层气目标区,煤层气成藏地质条件和开采条件优越(蒋天国等,2015)。认为镇雄县牛场-以古勘查区煤储层渗透率低,储层压力低,地应力高,煤层厚度薄,构造煤发育,在目前技术、经济条件下不具备规模化煤层气地面抽采的条件(徐金鹏,2014)。发现威信县玉京山勘查区上二叠统龙潭组 C5 煤层孔隙和裂隙都较发育,但裂隙常被方解石充填,致使 CH_4 的扩散和渗流能力不强,一定程度限制了煤层气的释放(李金龙等,2016)。

关于云南省煤层气地质条件,前人从基础研究角度做过一些探讨:

(1) 根据构造形迹及其配套组合,定性分析了恩洪盆地和老厂矿区的构造应力特征(王朝栋等,2004),但是没有区分特定构造应力场发生的地质时期,也未能研究构造应力场发生发展地质过程对煤层气成藏的控制效应。研究了老厂矿区煤层气水文地质条件,分析了构造对地下水动力条件的控制作用(郭秀钦等,2004)。

(2) 探讨了昭通褐煤本源菌条件下生物气生成机制:认为生物气经历了两个产气周期,

第一周期为腐植组乙酸发酵产气,第二周期是在 CO_2 还原作用参与下的惰质组、稳定组产气;发现褐煤族组分中饱和烃是受微生物降解的主要成分,厌氧细菌对偶数碳烷烃及正构烷烃的降解能力更强,认为褐煤生物气产出是多种微生物共同作用的结果,煤矸石本身不能作为基质被厌氧细菌利用(王爱宽,2010;王爱宽等,2011)。

(3) 发现老厂矿区四勘区煤层含气量与埋深关系在 580~750 m 埋深段出现递减的“异常”现象,发现区内主要次级背斜轴部与局部地温异常区段在空间上高度叠合,使得煤饱和吸附量的“临界深度”相对变浅,造成煤层含气量与埋深关系出现“异常”现象(赵丽娟等,2010)。发现富源县大河矿区富煤一矿后备区随埋深增大,煤层含气量明显呈“波动式”增高(刘复焜,2013)。

(4) 认为恩洪向斜存在次生生物煤层气(陶明信等,2012)。发现恩洪向斜上二叠统煤层重烃气浓度极端异常(陈励等,2004);部分地区煤层重烃浓度在垂向上具有“半旋回”分布特征,在区域上成片集中分布,认为重烃浓度垂向分布模式受沉积层序、向斜构造和地下水活动的控制(兰凤娟等,2012;兰凤娟,2013)。

(5) 对比分析了恩洪向斜和老厂地区煤储层孔隙-裂隙系统,发现老厂煤样吸附孔隙结构优于恩洪煤样,但恩洪煤样渗流孔隙结构均质性较好,渗流能力较强;老厂煤样显微裂隙密度相对较高,弥补了其渗流孔隙结构的不足(李松等,2012)。

利用灰色关联度法识别出威信县观音山勘探区煤层含气量主控地质因素,建立了煤层含气量预测的 $\text{GM}(1,N)$ 模型和 $\text{GM}(1,1)$ 模型,认为煤层埋藏深度、煤层顶板 5 m 内砂岩厚度和顶板岩性是影响该区煤层含气量的 3 个关键因素(王盼盼等,2012)。发现威信县新庄矿区瓦斯分布规律总体上在次级向斜轴部较高,瓦斯含量与煤层厚度呈正相关,区内岩溶对 C5 煤层含气量影响甚微(庞君等,2012)。

三、煤层气勘探开发试验

云南省登记煤层气矿权区 6 个(图 1-1)。施工煤层气参数井和开发试验井 40 余口,例如恩洪盆地 8 口、老厂矿区 12 口、牛场-以古勘查区 3 口以及新庄矿区、蒙自盆地、昭通盆地各 1 口,开展了煤层气二维地震勘探以及大地电磁频谱探测工作。通过钻井、测井、试井、试气和样品测试获得了煤储层有关资料,为客观认识云南省煤储层特性提供了关键性资料。EH-2 井通过 5 个月的排采试验,获得最高日产气量 700 m^3 的初步成果,为今后的小井网开采试验积累了重要经验。

云南煤层气开发试验工程集中在滇东地区。2002 年年底开始,中联煤层气公司、云南省煤田地质局、美国远东能源公司三方合作,在恩洪向斜、老厂矿区完成二维地震勘探剖面 46.86 km,施工煤层气参数井和生产试验井 17 口(恩洪矿区 7 口,老厂矿区 10 口),进行了相应的地质录井、气测录井、测井等工作,其中恩洪 2 口井、老厂 4 口丛式井组压裂试气(中联煤层气公司等,2014)。恩洪向斜 2 口井日产气量 $300\sim 750 \text{ m}^3$,老厂雨旺区块 2 口井产气量 $500\sim 1\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ (贾高龙等,2016)。

2010 年 3 月,云南云投镇雄矿业能源开发有限公司委托云南省煤炭地质勘查院开展了牛场、以古勘查区煤层气资源地面抽采条件评估,先后施工煤层气参数井 9 口,均进行了煤芯解吸实验及注入/压降试井(云南省煤田地质勘查研究院,2014)。2016 年至今,中联煤层气公司牵头启动国家科技重大专项项目,在恩洪向斜布置煤层气勘探井 3 口,在老厂矿区布

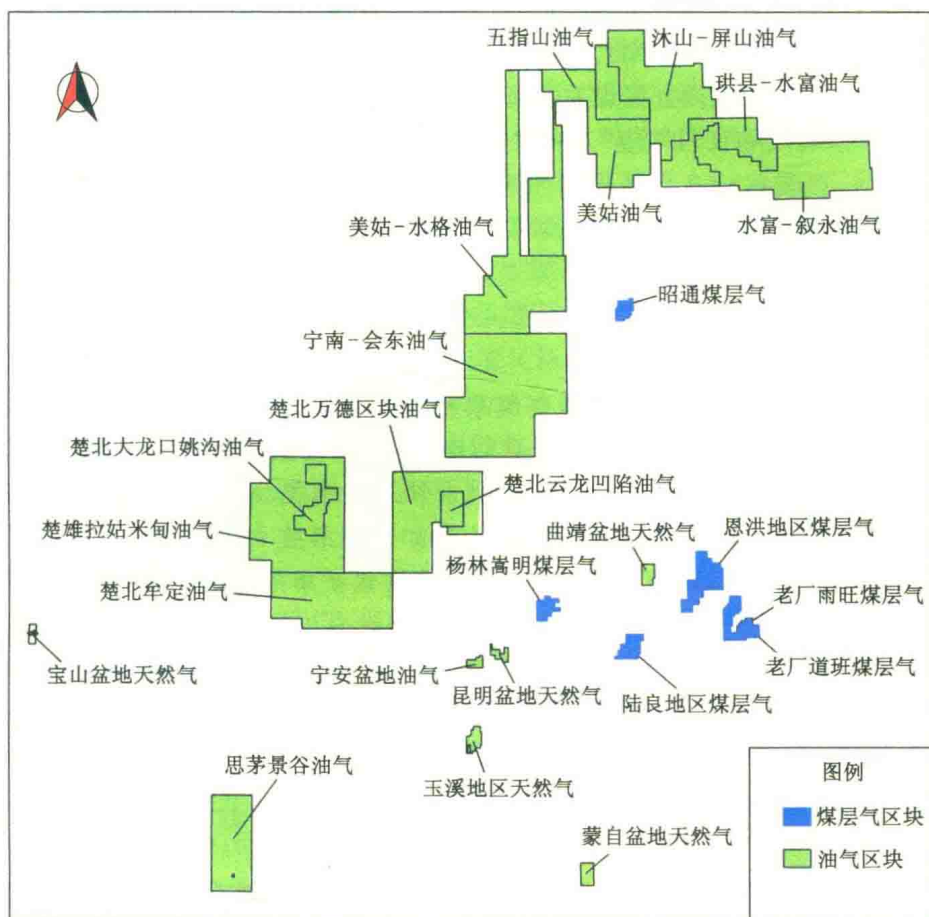


图 1-1 云南省煤层气及油气矿权区块分布示意图

置煤层气勘探井 5 口,目前已施工完成 5 口。

发现滇东-黔西地区前期煤层气勘探工作中存在许多重要问题,提出了解决办法(孟宪武等,2006)。在开发选层方面,建议对厚度大于 1 m 的所有煤层进行测试,按照相距大于 20 m 含煤井段煤层相对集中的煤组进行测试。在开发方法方面,建议使用“射孔→排采”的顺序进行测试作业,以避免对多数煤层的歧视、降低投入,缩短完钻后到测试的时间间隔。在排采作业方面,建议排采必须要有足够的时间,正常排采时间(不含停泵时间)一般都应在 1 年以上。尽可能让目标层裸露,产液量、产气量处于相对稳定状态;对于产液困难的井,可注液氮或 CO_2 等(ECBM 技术)进行排驱。在开发方法和技术方面,可以考虑利用原有的(含煤勘井)不同井深、不同地质特点且井眼条件较好的 2~3 口井,采用不同方法进行测试及储层改造。

在恩洪向斜开展了高能气体压裂技术在煤层气开发中的试验应用,以期在煤储层中产生和形成多裂缝体系,同时产生较强的脉冲震荡作用于地层,改善和提高煤层导流能力(王建中,2010)。从整个生产环节分析了恩洪向斜前期煤层气勘探项目的得失,建议改进取芯设备,提高取芯率;考虑使用空气钻井技术,避免钻井液对储层的伤害;寻求更适合该地区的压裂工艺,引进、完善压裂设计软件;确定合理的排采强度,加强对气、水产量变化和井底压

力变化的观察;深入研究储层压力、临界解吸压力、产气流动压力之间的相互关系及其对煤层井产能的影响(张宗羲等,2006)。

根据恩洪-老厂煤层气勘查区煤系特征与地形特点,提出了具体的勘探开发策略建议:对煤层气、致密砂岩气和页岩气应“三气共探”;应采用丛式井组、压裂改造和水平井等钻完井技术,试用 N_2 压裂和 CO_2 注入等增产措施;煤层气企业应与煤矿合作,在高瓦斯矿区推广利用煤层气地面抽采技术,在降低煤矿安全风险的同时加快煤层气商业化开发进程(贾高龙等,2016)。

四、煤矿瓦斯抽采与利用

云南省高瓦斯矿井较多,主要集中在滇东和滇东北地区。2013年,全省共有高瓦斯生产矿井155个,127个分布在曲靖市,8个在昭通市,11个在红河州,5个在大理州;按煤与瓦斯突出管理矿井41个,曲靖市23个,昭通市13个;煤与瓦斯突出矿井44个,曲靖市10个,昭通市26个,大理州3个。2012年,全省发生煤矿瓦斯事故9起,死亡37人。2014年,全省发生煤矿瓦斯事故4起,死亡23人,分别占云南省煤矿事故总起数和死亡总人数的21%和36.5%(孟智奇,2015)。2016年上半年,云南省连续发生2起煤矿瓦斯事故,5月3日盐津县沙坝煤矿瓦斯爆炸事故死亡6人,6月18日师宗县泸兴煤矿瓦斯爆炸事故死亡3人(国务院安全委员会办公室,2016)。煤层气地面预抽,正是从源头上防治云南省煤矿瓦斯事故的根本途径。

云南煤矿安全监察局、云南省煤炭工业局2009年上半年正式启动了煤矿瓦斯治理示范工程,确定10对矿井和2个县(市、区)开展示范建设。截至2010年年底,全省已有1320余个井工矿安装了瓦斯监控系统,占井工矿总数的96%;重点产煤地区等12个县(市、区)和云南煤化工集团公司已经实现了县(市、区)、集团公司联网。根据规划,到2010年年底,建成10对全国“双百工程”示范矿井和富源县、麒麟区2个全国“双百工程”示范县(市、区);从2011年起,用3年左右的时间,把煤矿瓦斯治理工作体系示范工程建设全面推广到全省各工矿井和产煤县(市、区)。

2012年3月,云南省人民政府发布了《关于加强煤矿瓦斯治理的实施意见》(云政发[2008]230号)指出:贯彻落实“先抽后采、监测监控、以风定产”的瓦斯治理工作方针,紧紧抓住矿井通风系统、抽采抽放、监测监控、现场管理四个关键环节;加大瓦斯治理投入力度,煤矿瓦斯治理专项资金由煤矿企业按原煤实际产量从成本中税前提取列支,煤与瓦斯突出矿井40元/t,高瓦斯矿井30元/t,低瓦斯矿井20元/t;落实瓦斯抽采利用政策,用足用好已出台的销售煤层气(煤矿瓦斯)增值税先征后退、免征所得税、加速抽采设备折旧、煤层气(煤矿瓦斯)利用财政补贴、鼓励煤层气(煤矿瓦斯)发电上网和优惠电价等优惠政策。

2015年10月,《国家煤矿安全监察局办公室关于转发〈云南省强化煤矿瓦斯防治十条规定实施意见〉的通知》(煤安监司办[2015]26号)中强调:突出矿井必须建立地面永久瓦斯抽采系统,鼓励具备条件的矿井采取地面钻孔抽采煤层瓦斯等先进适用的区域防突措施;根据煤层瓦斯压力、瓦斯含量、煤层透气性等参数合理选择抽采方式方法和工艺,采取多种形式利用瓦斯,以抽保用、以用促抽,实现煤与瓦斯共采;必须将煤层瓦斯含量降到 $8\text{ m}^3/\text{t}$ 以下或将瓦斯压力降到0.74 MPa以下。

2016年4月,云南省人民政府出台《云南省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲

要》(云政发[2016]36号)。相关规划目标为:推进老厂、恩洪、镇雄、新庄等矿区煤层气资源勘查工程项目,推进曲靖市、昭通市煤矿瓦斯抽采利用工程项目;开发地面煤层气,抽采地下采空区、废弃矿井和井下瓦斯,实施一批瓦斯发电工程;“十三五”期间,全省煤层气和煤矿瓦斯抽采量实现4.1亿 m^3 /年,利用量实现3亿 m^3 /年,瓦斯发电装机容量达到12.4万kW。

近年来,云南省煤矿瓦斯抽采量不断增长,2007年突破了6000万 m^3 ,2008年达到了6300万 m^3 ,2009年在7500万 m^3 左右,2012年达到1.85亿 m^3 ,省政府期望2020年全省煤层气和煤矿瓦斯抽采量实现4.1亿 m^3 。云南省煤矿抽采瓦斯利用率较低,但增长较快,2007年全省煤矿抽放瓦斯利用率3.3%,2012年增至11.22%,2013年达到12.35%,省政府期望2020年达到73%。规划建设了一批低浓度瓦斯发电站:2006年6月,以昭通威信花家坝煤矿三号井为试点,建成云南省第一台功率为500kW的瓦斯发电机组,设计年利用纯瓦斯100万 m^3 ;随后,曲靖市小窑沟煤矿、合乐武煤矿等多座瓦斯发电机组相继投入运行;2015年10月,云南能投集团首座低浓度瓦斯发电站在观音山煤矿成功并网发电,装机容量 $3\times 500\text{ kW}$ 。

第二节 煤田地质概况

云南省聚煤期多,沉积类型多,含煤盆地构造变形历史不一,由此造成赋煤构造复杂多样。这一特殊的煤层气地质背景条件,与华北地区存在显著区别。

一、区域地层与含煤地层

云南省地层发育齐全,地层分区包括滇东、滇西两大分区及12个小区,含煤地层分别形成于早寒武世、中泥盆世、早石炭世、中二叠世、晚二叠世、晚三叠世、晚白垩世和新近纪。

(一) 区域地层

1. 元古界及其之前地层

前震旦系。古元古界出露于云南中部的元谋、大红山、点苍山、哀牢山及南部的瑶山一带,为一套浅~深变质的沉积岩及火山岩,主要为片岩、片麻岩、大理岩、角闪岩等,厚2000m~大于9253m;中元古界出露于云南东部和西部,岩性以千枚岩、板岩、砂岩夹碳酸盐岩、片麻岩、变粒岩及变质火山岩为主,厚度大于11469m。

震旦系。有两种类型:一为稳定型沉积,广泛出露于云南中、东部地区,与下伏昆阳群地层不整合接触,以砂岩夹砾岩、凝灰岩、碳酸盐岩及磷块岩为主;二为活动型沉积,屏边地区为细碎屑复理石建造,中甸地区和潞西地区为类复理石建造。

2. 下古生界

寒武系。出露于滇东罗平~师宗、个旧~屏边一带,滇中丽江~祥云~新平一带,在滇西高黎贡山~腾冲一带缺失。在华坪一带缺失下统底部及中上统,昆明一带缺失上统,昭通、巧家一带缺失上统上部。其他地区为一套碎屑岩及碳酸盐岩建造,与下伏地层整合或假整合接触,厚2431m~大于10755m。

奥陶系。主要出露于滇东北、昆明、宁蒗、大理~金平,滇东南及滇西保山~镇康一带,滇东北、大理及保山~镇康一带发育比较齐全,与下伏地层接触类型多样,以假整合为主。下统岩性主要为碎屑岩夹灰岩;中统主要为泥质碳酸盐岩夹碎屑岩;上统主要为页岩、粉砂