

中国

煤层气勘探开发技术研究

Study on Exploration and Development
Technology of China's Coalbed Methane

中联煤层气有限责任公司 编著



石油工业出版社

中国煤层气勘探开发技术研究

中联煤层气有限责任公司 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书为国家“十五”科技攻关课题“中国煤层气有利地区优选及勘探开发关键技术研究”和“中国煤层气勘探开发配套技术研究”的成果，阐述了煤层气富集的地下水条件、欠平衡钻井技术、煤层气测井技术、水力携砂压裂技术、氮气泡沫压裂技术、注 CO₂ 提高煤层气采收率技术和煤层气田排水采气技术等方面的最新研究成果，集中展示了“十五”期间我国煤层气勘探开发的新理论和新技术。

本书可供从事煤层气勘探开发和科学研究的科技工作者、管理者及高校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国煤层气勘探开发技术研究/中联煤层气有限责任公司编著.
北京:石油工业出版社,2007.9

ISBN 978-7-5021-6238-2

I. 中…

II. 中…

III. ①煤层-地下气化煤气-地质勘探-研究-中国

②煤层-地下气化煤气-资源开发-研究-中国

IV. P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 134171 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523623 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:18.75

字数:477 千字 印数:1—1000 册

定价:78.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

“十五”国家重大科技攻关项目煤层气课题研究成果
(课题编号：2001BA605A-07 和 2004BA616A-08)

《中国煤层气勘探开发技术研究》编辑委员会

主 任：冯三利

副 主 任：胡爱梅

委 员：(以姓氏笔画为序)

叶建平 孙晗森 李五忠 吴建光

陈 东 范志强 赵庆波

主 编：冯三利 胡爱梅 叶建平

编写人员：(以姓氏笔画为序)

叶建平 冯三利 孙晗森 李五忠

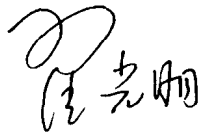
陈 东 孟英峰 赵庆波 胡爱梅

序

煤层气是一种洁净能源。我国拥有十分丰富的煤层气资源，开发利用煤层气一举多得、利国利民，应坚持走产业化发展道路，大干快干。但是，煤层气是一种以吸附状态储集于煤层中的非常规天然气，其赋存形式和储层的特殊性决定了煤层气富集规律、开发技术和工艺与常规天然气不同。我国发展煤层气产业首先必须研究在我国特定煤储层条件下的煤层气地质理论，形成煤层气产业特色的和适宜的勘探开发技术体系。回顾我国煤层气的勘探和开发，经历了一个长期的研究和探索过程，首先从煤层气地质基础理论和勘探开发技术的进步促进了我国煤层气产业的形成和发展。

在“六五”至“八五”期间，我国煤层气科技攻关主要集中于煤层气的成因、富集条件研究以及煤层气产出机理和资源评价等方面，野外结合单井的钻井工艺和生产试验。“九五”期间，煤层气开发的经济和社会意义逐步被认识和接受，并开始引起政府部门和有关企业的重视。煤层气专业公司成立，煤层气科技攻关更加重视野外勘探开发技术及其应用性研究，一些重点地区的井组勘探开发试验取得了成功。

“十五”是我国煤层气科技攻关最重要和成果最丰富的时期，国家从更高层面上设立了煤层气科技攻关专项，全面解决我国煤层气勘探开发过程中遇到的理论和技术难题。煤层气科技工作者在过去 20 年攻关成果的基础上，结合野外井组试验和示范工程项目的实施，遵循“室内实验——野外试验——总结和升华”的攻关路线，使我国煤层气勘探开发关键技术“在十五”期间取得了突破性的进展，加速了我国煤层气产业的形成。煤层气产业是一个技术密集型产业，需要有好的技术图书为煤层气科技工作者提供指导和参考。本书以“十五”期间我国煤层气科技攻关专项的研究成果为基础，全面总结和展示了我国煤层气地质理论和勘探开发关键技术的研究进展及成果，内容丰富，数据翔实。我相信本书的出版很有意义，将对“十一五”期间我国煤层气科技攻关的进一步深化及勘探开发技术体系的最终形成提供非常有价值的参考，提倡广大煤层气科技工作者细心研读，希望能从中获益。



王光明
二〇〇七年八月

前 言

煤层气是以吸附状态赋存在煤层中。煤层既是生气源岩又是储集岩，为特低孔特低渗的双孔隙储层，具有抗张强度小、杨氏模量低、体积压缩系数大的特点。它的特殊储层特性和岩石物理性质使其与常规油气储层具有显著的差异。煤层气产出的理论基础是“解吸扩散—渗流”，主要的生产工艺技术流程是“排水—降压—采气”。因此，煤层气要实现高效开发，面临着诸多理论和技术难题。

自“六五”以来，我国有关部门和企业相继开展了大量的煤层气研究和勘探，引进吸收了国外的一些先进技术和经验。当前我国已从全国资源评价步入到重点试验区的单井和井组排采试验，并初步形成了具有一定规模的产业化示范区。勘探开发成果表明，煤层气是我国资源最为丰富、技术相对成熟、重点开发区较为明朗、实现产业化最为现实、已独立列入国家能源专项规划的非常规能源品种之一，成功开发煤层气对煤矿的采煤安全、降低大气污染和节约资源具有特别明显的作用，因此“加强煤矿瓦斯综合治理，加快煤层气开发利用”已列入了国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要。

“十五”是我国煤层气实现产能突破的重要时期，可把它归结为产业化发展启动的关键时期，在这一阶段勘探开发技术的进步对推动煤层气产业化进程起了重要的作用。在国家科技部“中国油气资源发展关键技术研究”专项中设立的煤层气课题，即“中国煤层气有利地区优选及勘探开发关键技术研究”（编号：2001BA605A-07），及后两年滚动课题“中国煤层气勘探开发配套技术研究”（编号：2004BA616A-08），对煤层气地质评价、钻井、测井、增产改造和排采等重要关键技术难题进行了新的探索，取得了重要成果。投入了大量研究和实物工程量，特别是在欠平衡钻井、泡沫压裂和注CO₂提高煤层气采收率等技术方面开创了我国煤层气领域的先河，取得了创新性的科研成果，这些技术成果正在山西沁南煤层气高技术产业化示范工程中发挥着重要作用。煤层气“十五”攻关研究一个重要的成功经验，就是工程配套落实，研究课题与煤层气产业化过程中存在的技术难题紧密结合。“全国煤层气开发利用‘十一五’规划”的制定，标志着煤层气开始走向产业化。我们力图将这些成果展示给读者，希望它对推动我国煤层气产业具有参考价值。

本书是在“十五”攻关课题“中国煤层气有利地区优选及勘探开发关键技术研究”及后两年滚动课题“中国煤层气勘探开发配套技术研究”的成果基础上编制而成。在“十五”攻关项目煤层气课题中开展了煤层气富集成藏规律与勘探开发有利地区优选、煤层气富集的地下水条件、煤层气田开采技术、欠平衡钻井技术、煤层气测井技术、泡沫压裂技术、注CO₂提高煤层气采收率技术及其经济性评价、煤层气开发的经济评价模型、废弃矿井煤层气抽放技术、煤层气井下开发成套工艺技术等方面的专题攻关研究。中联煤层气有限责任公司作为牵头单位，联合国内有关科研机构和大学，形成产学研联合攻关队伍，为提交高质量、高水平的科研成果奠定了基础。课题及其专题在执行过程中，得到了国家科技部农村与社会发展司有关领导的支持和关心，同时也得到协作单位中国石油天然气股份公司勘探开发研究院廊坊分院、煤炭科学研究总院及其西安分院和重庆分院、煤炭信息研究院、中国地质大学、西南石油大学、成都理工大学和吉林大学的全力配合和支持。课题专家组的专家也付出了艰苦

的劳动。本书得以出版是课题所有参与人员辛勤劳动和集体智慧的结晶，是中联煤层气有限责任公司领导支持并积极促成的结果，在此一并表示感谢。

本书由中联煤层气有限责任公司编著，具体分工为：前言由胡爱梅执笔；第一章由冯三利执笔；第二章由叶建平执笔；第三章由胡爱梅、孟英峰执笔；第四章由赵庆波、李五忠执笔；第五章由孙晗森执笔；第六章由胡爱梅、陈东执笔；第七章由叶建平执笔；第八章由胡爱梅、陈东执笔；全书由冯三利负责统稿。除此之外，丰庆泰、高洪烈、周晓红、刘蔚、鲜保安、崔思华、潘军、唐贵、郭本广、吴建光、范志强、王国强、唐书恒、孙英南、鹿爱莉、何岷、杨秀春、李玉魁、冷雪、冯文光、贺承祖等同志参加了前期专题研究工作。

限于经验和水平，本书中如有不当之处，望读者不吝指正。

编著者

2006年11月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 中国煤层气资源状况	(1)
一、煤层气资源/储量状况	(1)
二、我国煤层气资源分布与储层特点	(1)
第二节 煤层气勘探开发技术发展现状	(4)
一、技术现状	(4)
二、技术发展方向	(6)
第三节 中国煤层气勘探开发现状	(6)
一、具有煤层气商业化开发前景的十大重要勘探区块	(7)
二、煤层气地面开发情况	(9)
三、矿井瓦斯(煤层气)抽放利用	(9)
第四节 我国煤层气“十一五”发展规划目标	(10)
第二章 煤层气富集的地下水条件研究	(12)
第一节 沁水盆地地质和储层特征	(12)
一、地质构造背景	(12)
二、含煤地层和煤层	(13)
三、煤储层和含气性特征	(14)
四、沁水盆地煤层气资源	(18)
第二节 沁水盆地区域水文地质特征和煤层气富集条件	(18)
一、沁水盆地煤系基底水文地质特征	(18)
二、沁水盆地煤系水文地质特征	(24)
第三节 不同水文地质系统与煤层气富集的关系	(28)
一、边界条件的影响作用	(28)
二、煤层气富集的地下水系统模式	(32)
三、地下水条件与煤层含气量、储层压力和渗透性作用关系分析	(39)
第四节 古水动力场演化模拟及其对煤层气运移富集的影响	(40)
一、沁水盆地南部古水动力场演化模拟	(40)
二、水动力场演化对煤层气赋存和产能的影响分析	(45)
第三章 煤层气欠平衡钻井技术研究	(47)
一、美国欠平衡钻井技术现状	(47)
二、加拿大欠平衡钻井技术现状	(48)
三、中国欠平衡钻井现状	(48)
第一节 煤储层物性分析及伤害机理研究	(50)
一、概述	(50)
二、实验数据分析与评价	(51)

第二节 煤层气空气钻井工艺技术研究	(66)
一、空气钻井井壁稳性理论研究	(67)
二、地层产出流体分析及其处理技术	(71)
三、井下安全性分析	(75)
四、合理井身结构	(82)
五、井筒流动计算模型及数值算法	(82)
第三节 空气雾化钻井装备配置及地面系统	(91)
一、注入管汇系统设计	(91)
二、井口装置组合系统设计	(93)
三、排出管汇系统设计	(94)
四、入井钻具组合设计	(96)
第四节 空气钻井后的煤储层改造技术方案	(98)
一、裸眼完井小型扩孔的原理	(98)
二、储层改造技术方案	(98)
第五节 空气钻井过程中的动态分析技术	(99)
一、煤层段空气钻井随钻测试手段	(100)
二、煤层钻穿后储层测试办法	(102)
第六节 欠平衡钻井技术在辽宁沈北和山西沁南地区的应用	(102)
一、辽宁沈北欠平衡钻井及完井效果分析	(102)
二、山西沁南煤层气欠平衡钻井效果分析	(103)
第四章 煤层气测井评价技术	(106)
第一节 测井解释煤层含气量	(106)
一、煤层含气量与测井响应相关性分析	(106)
二、煤层含气量解释和分析	(109)
第二节 煤层力学参数测井评价及应用	(112)
一、煤层力学参数评价	(112)
二、井眼稳定性分析	(119)
三、地层强度分析	(122)
四、水力压裂裂缝高度预测	(122)
第五章 氮气泡沫压裂技术研究	(126)
第一节 泡沫压裂液分类、特点和性能影响因素	(126)
一、泡沫压裂液的组成和分类	(126)
二、泡沫液的类型	(126)
三、泡沫压裂液特点	(127)
四、影响泡沫压裂液性能的因素	(128)
第二节 孔隙结构和相对渗透率特征	(128)
一、煤层气流动规律及影响因素	(129)
二、煤样的孔隙特征	(130)
三、相对渗透率特征	(132)
第三节 煤储层的损害特征研究	(133)

一、煤的化学结构·····	(133)
二、煤的孔隙结构·····	(134)
三、基液采用去离子水的污染实验·····	(135)
第四节 压裂液基液特征研究·····	(149)
一、作用原理·····	(149)
二、压裂液性能·····	(149)
三、压裂液的特点·····	(153)
第五节 泡沫压裂液特征研究·····	(153)
一、泡沫的结构·····	(153)
二、泡沫稳定性·····	(154)
三、泡沫流变性·····	(155)
四、携砂能力·····	(155)
五、降滤失性·····	(156)
六、减阻性·····	(156)
七、泡沫压裂液的使用性能·····	(157)
第六节 氮气泡沫压裂工艺技术·····	(159)
一、概述·····	(159)
二、资料准备和参数分析·····	(159)
三、支撑剂评价·····	(160)
四、氮气泡沫压裂设计方案·····	(162)
五、压前及压后效果评估分析·····	(164)
六、施工安全及注意事项·····	(164)
七、排液和试采要求·····	(165)
第七节 现场工业试验·····	(166)
一、PH1-006井的基本数据·····	(166)
二、PH1-006井施工方案·····	(166)
三、PH1-006井现场准备·····	(167)
四、PH1-006井现场施工·····	(167)
五、PH1-006井压裂结果及分析·····	(169)
六、PH1井的基本数据·····	(169)
七、PH1井施工方案·····	(171)
八、PH1井现场准备·····	(171)
九、PH1井现场施工·····	(171)
十、PH1井压裂结果及分析·····	(173)
第六章 水力携砂压裂技术·····	(175)
第一节 煤层气井水力压裂裂缝特征及裂缝形状·····	(176)
一、煤岩的岩石力学特征·····	(176)
二、煤岩的裂缝启裂与展布特征·····	(177)
三、煤层压裂裂缝类型·····	(178)
第二节 压裂液应用分析·····	(179)

一、煤层水力压裂能够应用的压裂液类型及主要性能特征	(179)
二、沁南地区应用的主要压裂液	(180)
三、现场应用情况对比分析	(181)
四、沁水地区压裂液伤害实验分析	(181)
五、适用于该区的压裂液筛选	(185)
第三节 支撑剂应用分析	(186)
一、煤层压裂对支撑剂的基本要求	(186)
二、常用支撑剂的主要性能指标	(186)
三、支撑剂现场应用情况	(186)
第四节 泵注程序应用分析	(187)
一、常用的水力加砂压裂泵注程序	(187)
二、沁南地区煤层水力加砂压裂泵注程序	(187)
三、现场应用情况分析	(187)
四、适用于该区煤层水力加砂压裂的一般泵注程序	(188)
第五节 压裂裂缝监测技术应用分析	(188)
一、压前压后分析	(188)
二、该区已应用的压裂监测技术	(189)
三、该区煤层压裂裂缝形态	(190)
四、推荐使用的压裂监测技术	(190)
第六节 典型压裂井实例分析	(190)
一、P21 井压裂实例分析	(190)
二、P35 井压裂实例分析	(192)
三、TL-003 井压裂实例分析	(195)
第七章 注 CO ₂ 提高煤层气采收率技术	(197)
第一节 单相和多相气体置换煤层甲烷的实验研究	(197)
一、CO ₂ 置换煤层 CH ₄ 的机理	(197)
二、煤岩分析及工业分析	(201)
三、相对渗透率特征	(202)
四、吸附解吸与置换实验结果	(204)
五、实验效果分析和评价	(209)
六、置换实验对工业试验的指导作用	(218)
第二节 沁水盆地南部注 CO ₂ 提高煤层气采收率微型先导性试验	(224)
一、TL-003 井注 CO ₂ 微型先导性试验流程和工艺技术	(224)
二、注入后生产试验结果	(230)
第三节 注 CO ₂ 提高煤层气采收率微型先导性试验数值模拟	(237)
一、概述	(237)
二、地质模型	(237)
三、数值模型和数值模拟描述	(239)
第四节 微型先导性试验的生产历史拟合	(242)
一、历史拟合方法	(242)

二、数值模拟预测分析·····	(249)
第五节 注 CO ₂ 提高煤层气采收率预测研究 ·····	(250)
一、多井先导性试验预测模型·····	(250)
二、多井先导性试验的模拟预测·····	(250)
三、注 CO ₂ 提高煤层气采收率的影响因素分析 ·····	(250)
第八章 沁南煤层气排采技术及煤层气井排采分析·····	(254)
第一节 国内煤层气排采设备及工艺技术概述·····	(254)
一、排采设备概况·····	(254)
二、排采工作制度·····	(257)
第二节 沁南地区典型单井、井组排采曲线实例分析·····	(258)
一、TL-003 井 ·····	(258)
二、FZ-002 井·····	(260)
三、FZ-015 井·····	(261)
四、枣园井组排采·····	(262)
五、晋试井组排采·····	(262)
第三节 产能影响因素分析·····	(263)
一、储层参数对产能影响·····	(263)
二、构造因素对产能影响·····	(265)
三、排采组合方式直接影响产气效果·····	(267)
四、关井停排对产气将产生负面影响·····	(268)
五、日平均产气量与关井停排天数似乎呈负相关·····	(269)
六、气井成功率与压裂液类型有关·····	(270)
七、小结·····	(272)
参考文献·····	(273)

第一章 概 述

第一节 中国煤层气资源状况

一、煤层气资源/储量状况

我国是世界上第一煤炭生产大国，煤炭资源量巨大，同时我国的煤层气资源也十分丰富，2000年由中联煤层气有限责任公司（以下简称“中联公司”）承担的国家计委一类项目“全国煤层气资源评价报告”，预测我国陆上烟煤和无烟煤煤田中，在埋深300~2000m范围内煤层气资源量为 $31.46 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，与我国陆上天然气资源量相当，位居世界第三位（表1-1）。

表 1-1 世界主要产煤国家的煤层气资源

国家名称	煤层气资源 (10^{12} m^3)	国家名称	煤层气资源 (10^{12} m^3)
俄罗斯	17~113	波兰	2.8
加拿大	5.6~76	英国	1.6
中国	31.46*	乌克兰	1.6
美国	11.3~19	哈萨克斯坦	1.1
澳大利亚	8.4~14	印度	0.8
德国	2.8	南非	0.8

* “全国煤层气资源评价报告”，中联煤层气有限责任公司，2000年

截至目前，我国已探明煤层气地质储量 $1023.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中以地面开发为主探明储量 $754.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，矿井抽放为主探明储量 $268.64 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，（表1-2）。

表 1-2 我国煤层气探明地质储量一览表

地区/矿区	层位	储量面积 (km^2)	探明地质储量 (10^8 m^3)	可采储量 (10^8 m^3)	提交储量单位
沁水盆地南部	$P_1 - C_3$	164.20	402.18	218.38	中联公司
沁水盆地南部	$P_1 - C_3$	182.20	352.26	176.13	中石油股份公司
铁法矿区	J_3	135.49	77.30	—	铁法煤业
阳泉矿区	$P_1 - C_3$	94.04	191.34	75.06	阳泉煤业
合 计		575.95	1023.08	469.57	—

二、我国煤层气资源分布与储层特点

我国煤层气资源的分布特点是煤层气地域分布广、分布时代多、埋深较为适中、受区域构造控制明显，总体表现为低压、低渗、低饱和度的特点。

①我国煤层气在地域上分布广泛，但以中部大区煤层气资源量最大。

根据煤层气区划原则，将中国煤层气资源分布区划分为4个大区、10个含气区和56个含气带，即：东部大区，包括黑吉辽（I）、冀鲁豫皖（II）、华南（III）三个含气区；中部

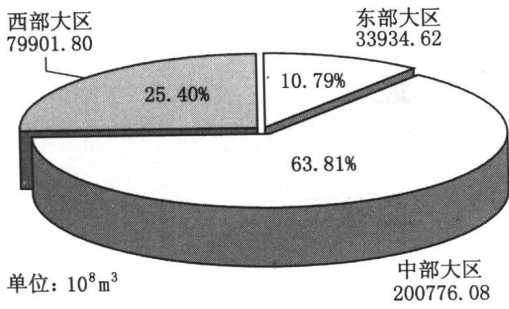


图 1-1 全国煤层气资源量分布图
(引自“全国煤层气资源评价报告”,
中联煤层气有限责任公司, 2000)

大区, 包括内蒙古东部 (IV)、晋陕蒙 (V)、云贵川渝 (VI) 三个含气区; 西部大区, 包括北疆 (VII)、南疆—甘青 (VIII)、滇藏 (IX) 三个含气区; 海域大区, 只有台湾 (X) 一个含气区。其中, 中部大区煤层气资源量最大, 为 $20.08 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全国煤层气总资源量的 63.81%; 其次是西部大区, 为 $7.99 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全国煤层气总资源量的 25.40%; 东部大区最少, 只有 $3.39 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 仅占全国煤层气总资源量的 10.79% (台湾含气区因资料所限, 未进行煤层气资源量计算, 下同)。具体如图

1-1 所示。

按照煤层气含气区的划分, 其中, 以晋陕蒙含气区资源量最大, 为 $17.25 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全国煤层气总资源量的 54.83%; 其次是北疆区, 为 $6.88 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全国煤层气总资源量的 21.86%; 华南区最少, 只有 $0.16 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 仅占全国煤层气总资源量的 0.5%。

按煤层气含气带划分, 在全国 56 个含气带中, 煤层气资源量大于 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的含气带有 9 个, 具体情况见表 1-3。这些含气带均位于中部大区的晋陕蒙和云贵川渝含气区, 以及西部大区的北疆含气区。

表 1-3 煤层气资源量大于 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的含气带情况表

含气带	成煤时代	总资源量 (10^{12} m^3)	资源丰度 ($10^8 \text{ m}^3 / \text{km}^2$)
鄂盆北部	C-P、J ₁₋₂	5.58	1.09
沁水	C-P	5.52	2.01
吐哈	J ₁₋₂	2.63	1.51
鄂盆东缘	C-P	2.0	1.22
六盘水	P ₂	1.51	1.7
准东	J ₁₋₂	1.45	0.74
鄂盆西部	J ₁₋₂	1.27	0.63
伊犁	J ₁₋₂	1.22	1.21
川南黔北	P ₂	1.04	0.33

注: 引自“全国煤层气资源评价报告”, 中联煤层气有限责任公司, 2000

②我国煤层气分布时代较多, 主要以早—中侏罗世及石炭—二叠纪煤层气资源最为丰富。

根据煤层的形成时代, 我国主要有 7 个成煤时代的煤层, 即早石炭世、石炭—二叠纪、晚二叠世、晚三叠世、早—中侏罗世、早白垩世和古近—新近纪。各时代煤层气资源量的分布以早—中侏罗世资源量最大, 为 $14.51 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全国总量的 46.13%; 石炭—二叠纪次之, 为 $13.69 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全国总量的 43.52%。其他各成煤时代的资源量很少 (图 1-2)。

③我国煤层气赋存深度较为适中, 煤储层埋深 1500 m 以浅的煤层气资源约占煤层气资

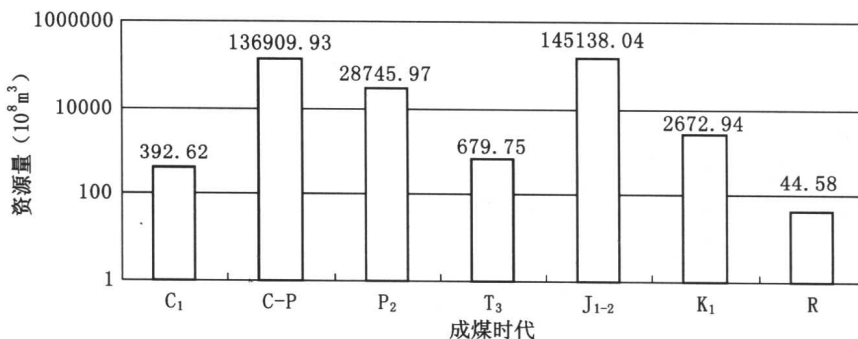


图 1-2 各成煤时代煤层气资源分布图

(引自“全国煤层气资源评价报告”，中联煤层气有限责任公司，2000)

源总量的 60%。

在当前技术条件下，适于煤层气资源评价的范围大致在 300~2000m 之间，在此深度范围，煤层气赋存深度又可进一步划分为 300~1000m，1000~1500m 和 1500~2000m 三个区间。各深度区间煤层气资源量所占比例分别为 29.05%、31.60%、39.35% (图 1-3)。其中，埋深 1500m 以浅的煤层气资源约占煤层气资源总量的 60%，有利于煤层气的勘探与开发。

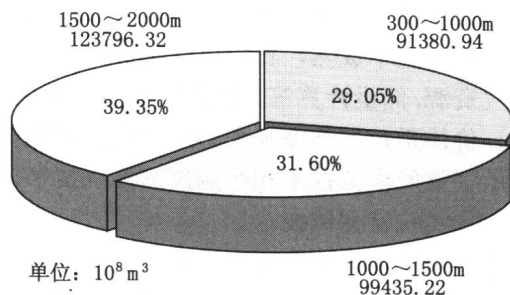


图 1-3 不同深度煤层气资源量分布图

(引自“全国煤层气资源评价报告”，中联煤层气有限责任公司，2000)

④我国煤层气分布严格受区域构造所控制，其中以构造稳定的地台型基底的含煤盆地煤层气最为丰富。

按照中国区域大地构造格架与含煤盆地分布，莽东鸿 (1994) 将中国含煤盆地的基底划分为地台、褶皱带和中间地块三种类型。其中，地台型基底的含煤盆地构造稳定，煤层气资源量最为丰富，达 $23.08 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，占全国煤层气总资源量的 73.39%；其次是中间地块型含煤盆地，煤层气资源量为 $6.47 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，占全国煤层气总资源量的 20.59%；褶皱带基底的含煤盆地，构造作用强烈，煤层气资源量最少，只有 $1.89 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，仅占全国煤层气总资源量的 6.01%。

⑤我国煤层气藏总体表现为低压、低渗、低饱和度的特点。

与目前煤层气勘探开发技术比较先进的美国煤层气藏相类比，我国煤层气藏总体表现为低渗、低压、低饱和度的特点。其主要原因是由于我国含煤地层时代普遍偏老，在其沉积之后，其上不仅叠加了较厚的成煤期后的沉积，并在成煤期后经历了多次构造运动的改造。这样，不仅使得我国煤层气遭受部分逸散或散失，不利于煤层气的保存，而且，也使得我国广大地区煤储层在沉积压实及多期构造运动的作用下，煤储层物性条件普遍变差，致使煤层气具有低压、低渗、低饱和度的特点，这在一定程度上影响了我国煤层气的勘探开发工作。鉴于上述情况，我国煤层气在当前勘探开发技术条件下，适于煤层气资源勘探开发的工作应主要集中在埋深 1500m 以浅的煤层气资源，即当前可利用的煤层气资源约为 $19.08 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

第二节 煤层气勘探开发技术发展现状

一、技术现状

经过“六五”到“九五”特别是“十五”国家科技攻关项目的实施，学习国外煤层气勘探开发成功经验，结合我国煤田地质特点，使我国煤层气从选区评价到勘探开发技术方面取得了长足发展，形成了一系列具有自主知识产权的煤层气勘探开发技术体系，基本掌握了煤层气勘探开发的常规技术，这些技术主要包括：

①煤层气选区评价与勘探技术。

煤层气选区评价技术是煤层气勘探和开发最前端、最重要的关键技术，是寻找和确定煤层气开发有利区块的核心技术，多年来广大技术人员针对我国煤层气地质条件、资源分布情况、煤储层特征等因素进行综合评价研究，初步建立了一套利用综合指标进行煤层气选区评价的方法体系和评价技术。但是，由于我国煤层气地质条件比较复杂，适应中国特点的煤层气基础理论不成熟，在煤层气勘探选区，高渗富集区预测、储层特征与产能预测评价以及煤层气资源/储量计算等方面仍需要进一步完善：一是要完善煤层气资源评价方法、评价准则和评价体系；二是完善利用遥感方法和地球物理方法预测煤层气高渗富集区技术；三是完善煤层气数值模拟技术和产能预测评价技术。

②实验室测试技术。

引进了美国的等温吸附测试设备，基本解决了吨煤含气量的测定、含气饱和度的测定和解吸压力测定的问题，其测定的准确度得到国内外的认可，目前已制定了这方面的测试规范。

③试井技术。

经过十几年的实践，对常规天然气和石油试井常用的段塞/压恢试井、水箱试井、注入/压降试井等试井方法的试验，证明注入/压降试井适合于我国煤层气井的试井，目前已形成了较为成熟的试井技术规范。

④储层模拟技术。

储层模拟技术主要是利用计算机和专用软件对于煤层气排采一定时间后进行储量计算和产量、产能及生产年限的预测，当前国内使用的主要软件是引进美国有关公司的 Coal-gas 软件、Comet-3D 软件和加拿大的 CMG 软件等。

⑤煤层气井取心技术。

为提高煤层气勘探井的取心率，分别对取心工具和取心方法进行了专题研究，目前采用的半合式取心和绳索取心技术，可使煤层取心率达到 85% 以上，时间在 20~30min 内完成，基本可以满足煤层气勘探对取心的要求。

⑥煤层气生产井空气/雾化钻井技术（欠平衡钻井技术）。

煤层气生产井空气/雾化钻井技术是煤层气开发的先进技术，它的显著优点是：钻井效率高、施工周期短，一般完井只需 3~5d，而水基钻井液钻井技术一般需要 15~20d；钻井工程成本低，可节省 30% 的费用；对煤层伤害小，大约是泥浆钻井技术的 10%。

这项技术在国外已广泛地应用于油气勘探和开发领域，美国 90% 以上的煤层气井都是采用欠平衡技术钻成的。在我国，欠平衡钻井在煤层气行业的研究和应用起步较晚，但仍然取得了喜人的成果。主要有：2003 年，中联公司利用国家“十五”攻关项目支持，在沈北

煤田第一次成功进行了煤层气空气钻井的尝试；并于 2004 年开始在沁水盆地南部潘河先导性试验区推广应用该项技术，由于其效率高，成本低，成为该项目的主力钻井技术；通过国家“十五”科技攻关项目的研究，已基本掌握了煤层气直井欠平衡钻井核心技术，积累了实施欠平衡钻井的相关经验，锻炼了一批主要技术骨干，引进和国产配套欠平衡钻井的关键设备，为欠平衡技术的产业化应用打下了基础。

⑦煤层气羽状水平井钻井完井技术及其排采工艺技术。

羽状水平井技术是近年来才发展起来的一项快速开采煤层气资源的先进技术，其基本特点是单井产能高、开发周期短，特别适宜煤矿待采区的煤层气开采。根据目前国内外的试验成果，在采煤前 3~5 年，采用羽状水平井开采煤层气，煤层气采收率可达 70% 以上。这样可以较好地改善采煤作业环境，促进煤矿安全生产，其综合经济效益与社会效益十分明显。

该技术是美国 CDX 公司首先发明的，在美国煤层气开发中发展非常迅速，到 2004 年底，美国已经钻成的煤层气羽状水平井 92 口。在我国，2004 年 11 月 28 日由奥瑞安能源国际有限公司设计和组织施工的 DNP02 羽状水平井正式投入生产并实现了预期工艺和产能的双重突破。该井第一次在中国实现了地面煤层水平多分支钻进，煤层中水平井眼总进尺近 8000m，实现了煤层气井的稳产高产，日产气量达 30000m³ 以上。继 DNP02 水平井之后，在我国山西宁武和寿阳又先后施工了两口羽状水平井，特别是中联公司承担的国家油气资源战略选区与评价项目——山西省沁水县端氏煤层气多分支水平井示范工程，分别在沁南 3[#] 煤层和 15[#] 煤层成功实施了 4 口多分支水平井，总结形成了一套从设计施工到评价的技术体系，并通过学习引进消化吸收，其中两口井利用国产的关键设备和技术，自主设计和施工完成，应该说我国已基本掌握并形成了多分支水平井的核心技术。

由于我国的地质条件变化很大，因此推广应用该项技术还要针对不同的煤岩性质和地质条件进行必要的技术攻关。主要有水平井在煤矿采空区及采动影响区的可行性；羽状水平井布井技术；大位移水平井管柱力学优化与应用技术；羽状水平井井壁稳定技术；羽状水平井井眼净化技术；羽状水平井储层保护技术；羽状水平井完井技术和修井技术等。

⑧煤层气增产改造技术。

煤层气增产改造技术是提高煤层气产量的核心技术，为获得工业产量，几乎所有煤层气生产井都必须进行必要的增产改造处理。目前，煤层气工业界主要有洞穴完井技术、活性水压裂技术和氮气泡沫压裂增产改造技术等三项较为有效的增产改造技术。

一是洞穴完井技术，该技术在美国的圣胡安盆地取得了良好的增产效果。因洞穴完井适用于高渗高压储层，目前中国还没有找到适合洞穴完井的煤层气田，还没有真正使用这项技术。二是活性水压裂技术，这是一项经济、低伤害的煤层气增产改造方式，在我国已得到了广泛地应用，并取得了显著的成效。中联公司在潘河煤层气开发示范项目和对外合作潘庄煤层气地面开发项目中主要采用的就是活性水压裂技术。活性水压裂技术在我国是一项较为成熟的煤层气增产改造技术，以其伤害小、成本低为主要特征。三是氮气泡沫压裂增产改造技术，在美国，氮气泡沫压裂增产改造技术早已被广泛应用于煤层气井压裂改造，该项技术除具有携砂能力强、易返排、低伤害等优点外，还具有作业快速高效、占地少、节约用水等优点。中联公司在山西沁水潘河煤层气示范项目中用氮气泡沫压裂增产改造技术压裂了两口试验井取得了很好的效果，该技术具有很好的推广应用前景。另外，加拿大的煤层气产业得以快速发展的一个重要原因就是得益于连续油管氮气泡沫压裂增产改造技术的发展，该技术具有作业效率高、压裂效果好等优点，值得我们引进和研发。