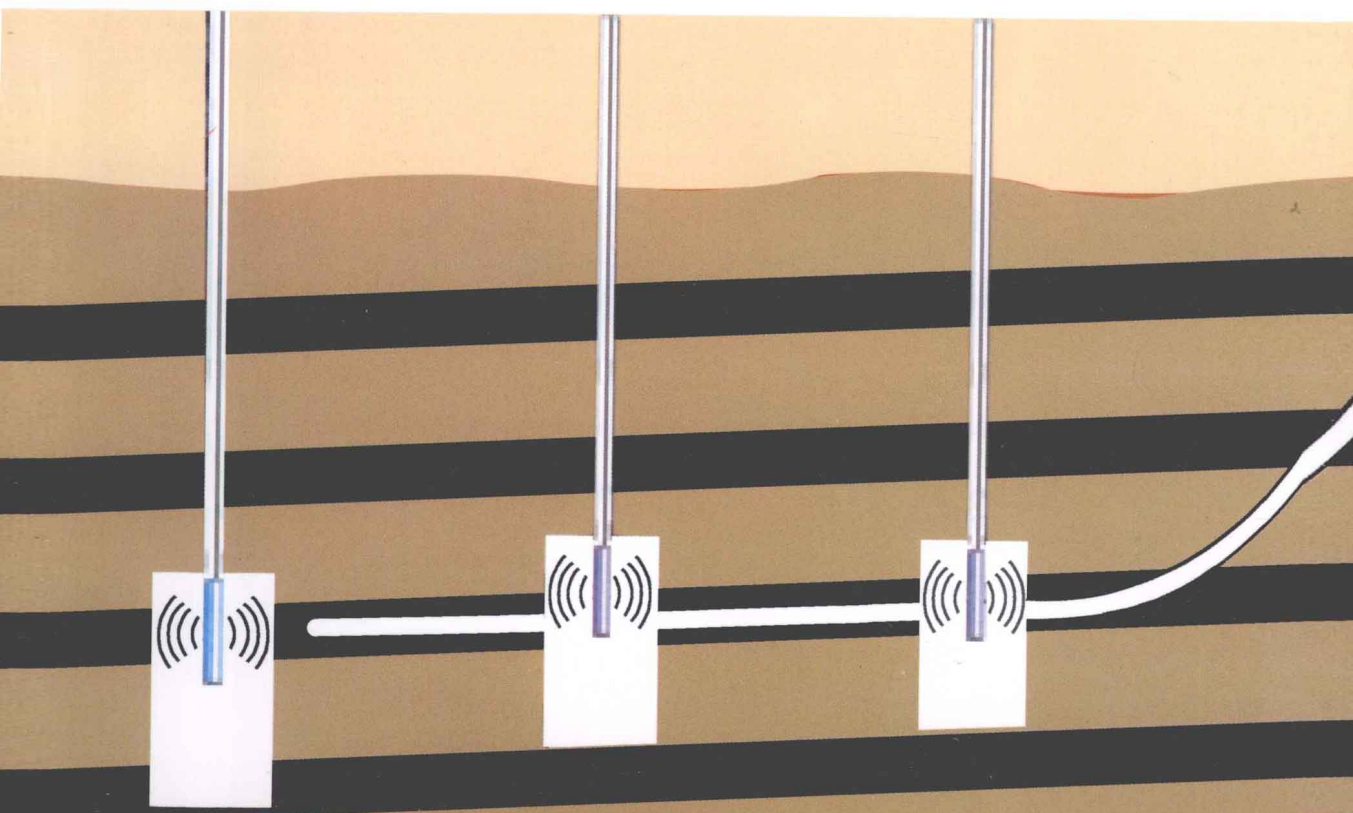




煤层气勘探开发地质 理论与实践

赵庆波 孙粉锦 李五忠 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书在介绍国内外煤层气勘探开发现状及地质理论研究与勘探技术进展的基础上,对我国主要含煤盆地及主要目的层进行了系统评价,对指导我国今后煤层气勘探开发具有重要指导作用。

本书可供从事煤层气勘探与开发的科技人员及管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

煤层气勘探开发地质理论与实践/赵庆波等主编.

北京:石油工业出版社,2011.9

ISBN 978-7-5021-8669-2

I. 煤…

II. 赵…

III. 煤层-地下气化煤气-地质勘探-中国

IV. P618.110.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第180767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)64523539 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京市前进印刷厂

2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:21.75

字数:552千字

定价:88.00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

《煤层气勘探开发地质理论与实践》

编 委 会

主 编：赵庆波 孙粉锦 李五忠

副主编：李贵中 梁宏斌 孙 斌 王 勃

陈 刚 孙钦平

编 委：李安启 王一兵 鲍清英 张继东

秦 勇 王生维 马财林 陈信平

田文广 陈振宏 刘得光 林绍华

刘建军 林建东 权海奇 孔祥文

薛 冽 李新宁

序

初步预测世界 74 个国家煤层气总资源量达 $268 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。已有美、加、澳、中进入煤层气地面工业化开发,初步估算 2010 年年产气约 $690 \times 10^8 \text{m}^3$ 。中国煤层气资源潜力巨大,41 个含煤层气盆地 114 个区带,煤层埋深 2000m 以浅的煤层气资源面积为 $41.5 \times 10^4 \text{km}^2$,远景资源量 $36.8 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。而 3000m 以浅煤层气资源面积为 $55.1 \times 10^4 \text{km}^2$,资源量 $55.2 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。中国已钻煤层气井直井约 6300 口,水平井 160 余口,已探明煤层气地质储量 $2811 \times 10^8 \text{m}^3$,探明可采储量 $1439 \times 10^8 \text{m}^3$,发现沁水、鄂东两个千亿立方米的大气田。近 5 年每年井下抽采量增加 $10 \times 10^8 \text{m}^3$ 左右,地面开发每年翻一番。2010 年新增探明储量 $1115 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

该书首次利用沉积相研究成煤母质:作者用灰分、镜质组含量等研究沉积相,分析煤层的层内微旋回,划分优质煤层富含气段;探索其内成煤母质类型和封盖条件的有利环境对煤层气高产富集的控制作用,在地质理论上有较大突破。

首次系统总结了我国煤层气高产富集规律和开采特征,建立了成藏模式和单井开采产量稳产递减模式;划分早期成藏、后期构造改造成藏和开采中二次成藏三类成藏期,并进一步论述了开采中的二次成藏条件。

初步攻克煤层气二维地震 AVO 勘探技术,解释的高产富集区块经钻探获工业性气流。

探讨了深部温压条件下煤岩吸附特征,建立了含气量预测模型,揭示了“临界深度带”。

分析了我国煤层气勘探适用技术,认为 $55 \times 10^{12} \text{m}^3$ 资源量中仅 7.3% 可用常规技术开发,38.2% 需适用技术开发,54.5% 要今后发展特色技术才能开发。建立了目标评价技术指标体系,在 36 个评价目标中,进一步优选出 19 个有利勘探目标,预测总资源量 $9 \times 10^{12} \text{m}^3$,并进行了分类排序。

揭示了煤层吸附气和砂岩游离气藏同源性、伴生性、转换性、叠置性的成藏机理,首次在沁水盆地预测游离气含气面积 320km^2 ,天然气地质储量 $251 \times 10^8 \text{m}^3$,有的井已获工业气流。

本书内容充实,是一部理论与生产实践结合紧密、实用性强的著作。本书的出版将为从事煤层气生产、地质及工程研究人员提供一个内容较齐全的、方法可参考的教材,对国内外煤层气勘探开发有一定指导意义。



2011 年 5 月 27 日

前 言

本书以中国目前煤层气勘探开发实际资料和经验教训为重点,以新的勘探技术方法和实验基础为手段,借鉴国外成功经验,通过实践认识,力求为煤层气广大工作者和学生提供一部参考资料。

本书是在国家“十一五”煤层气科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”项目33“煤层气富集规律研究及有利区块预测评价”及中国石油天然气集团公司重点项目“煤层气富集规律、有利区块评价及勘探技术研究”科研成果的基础上编写而成的。参加课题攻关的单位有中国石油勘探开发研究院廊坊分院,华北油田、长庆油田、新疆油田、吐哈油田研究院,中国煤炭地质总局地球物理勘探研究院,中国地质大学(武汉),中国矿业大学等。

本书共分10章。前言由赵庆波编写;第一章国内外煤层气勘探开发现状,由赵庆波、李贵中、孔祥文编写;第二章煤层气“三控论”与五种高产富集类型,由赵庆波、李五忠编写;第三章利用沉积相探讨成煤母质和煤层气富集条件,由赵庆波、王勃、马财林编写;第四章煤层气藏和开采中二次成藏条件分析,由赵庆波、李五忠、孙斌、陈刚、孙钦平编写;第五章二维地震AVO技术预测煤层气富集区,由赵庆波、陈信平、林建东编写;第六章煤层气开采特征,由赵庆波、梁宏斌、王一兵编写;第七章煤系地层游离气分布特征,由赵庆波、梁宏斌、刘建军编写;第八章煤层气目标评价体系及有利目标评价,由赵庆波、孙粉锦、李贵中、孙斌、王勃、陈刚、孙钦平、王生维、马财林、田文广、刘得光、林绍华、权海奇、孔祥文、薛冽、李新宁编写;第九章煤层气勘探开发适用技术分析,由赵庆波、李安启、鲍清英、李贵中、王一兵、秦勇、陈刚编写;第十章国内外现行煤层气技术经济政策分析,由赵庆波、李贵中编写。

在本书编写中先后得到了沈阳欧亚东地煤层气科技有限公司曹立刚,辽宁宏地勘煤层气公司陈照山,蓝焰集团副总经理李国富,中国石化华东分公司王志立,中国石化勘探开发研究院王峰、叶欣,黑龙江煤田地质局曲延林,煤炭科学研究总院西安分院张培河,大庆石油学院秦皇岛分院腾玉红,以及阳泉煤业集团、铁法能源有限公司、奥瑞安公司、富地公司、龙门公司、亚美大陆公司等的大力支持,在此谨向他们表示感谢!

目 录

第一章 国内外煤层气勘探开发现状	(1)
第一节 国外煤层气勘探开发现状	(1)
第二节 国内煤层气勘探开发现状	(5)
第二章 煤层气“三控论”与五种高产富集类型	(12)
第一节 区域含煤区构造高点	(12)
第二节 直接盖层稳定的上斜坡	(15)
第三节 构造抬升盆地凹中隆火山岩活动区	(18)
第四节 封闭好的浅层低煤阶厚煤层	(19)
第五节 断裂活动次生割理发育区	(20)
第三章 利用沉积相探讨成煤母质和煤层气富集条件	(21)
第一节 沉积相对成煤原始母质的控制	(21)
第二节 沉积相对煤储层封盖条件的控制作用	(22)
第三节 沉积相对煤储层储集物性的控制	(24)
第四节 鄂尔多斯盆地上古生界石炭—二叠系聚煤环境与成煤模式	(24)
第四章 煤层气藏和开采中二次成藏条件分析	(37)
第一节 煤层气藏类型、生气作用及成因分带	(37)
第二节 煤层气成藏的空间分类	(42)
第三节 煤层气的成藏期次	(43)
第四节 煤层气开采中的二次成藏	(44)
第五节 低煤阶煤层气成藏类型	(46)
第五章 二维地震 AVO 技术预测煤层气富集区	(49)
第一节 煤层气储层及其围岩的弹性特征	(49)
第二节 煤层气储层的 AVO 响应特征	(55)
第三节 地震资料的 AVO 异常解释	(61)
第六章 煤层气开采特征	(66)
第一节 沁水煤层气田开采现状	(66)
第二节 煤层气井开采特征及效果分析	(67)
第七章 煤系地层游离气的分布特征	(76)
第一节 煤系地层游离气的概念及研究现状	(76)
第二节 煤系地层游离气藏形成模式	(77)
第三节 沁南地区吸附气与游离气共生成藏研究	(78)
第四节 煤系地层游离气显示与气层识别和评价	(81)
第八章 煤层气目标评价体系及有利目标评价	(89)
第一节 煤层气选区评价技术指标体系及富集有利区优选	(89)
第二节 沁水盆地南部煤层有利区块评价	(98)

第三节	鄂尔多斯盆地东缘煤层气有利区块评价	(107)
第四节	准噶尔盆地东南缘煤层气有利目标评价	(132)
第五节	阳泉一和顺地区煤层气有利区块评价	(146)
第六节	宁武盆地南部地区煤层气区块评价	(154)
第七节	霍林河盆地煤层气有利区块评价	(158)
第八节	乌审旗地区煤层气有利区块评价	(169)
第九节	盘关地区煤层气有利区评价	(178)
第十节	神木地区煤层气有利区评价	(185)
第十一节	横山堡地区煤层气有利区评价	(192)
第十二节	古蒲一叙永地区煤层气有利区评价	(196)
第十三节	黄陵、彬县长武地区煤层气有利区块评价	(200)
第十四节	三道岭雅尔地区煤层气有利区评价	(207)
第十五节	三塘湖盆地西峡沟地区煤层气有利区评价	(211)
第十六节	呼和浩特地区煤层气有利区评价	(216)
第十七节	勃利盆地煤层气有利区评价	(224)
第十八节	鸡西一鹤岗地区煤层气有利区评价	(239)
第九章	煤层气勘探开发适用技术分析	(258)
第一节	定向羽状水平井钻井技术	(259)
第二节	超短半径水力喷射钻井技术	(265)
第三节	U型井钻井技术	(268)
第四节	高角度沿煤层钻完井技术	(270)
第五节	煤层气井高效增产开发技术	(273)
第六节	煤层气实验测试新技术	(289)
第十章	国内外现行煤层气技术经济政策分析	(322)
第一节	国外煤层气产业相关政策	(322)
第二节	我国政府出台的煤层气产业优惠政策	(326)
第三节	我国煤层气鼓励政策实施的效果	(332)
第四节	加快我国煤层气产业发展的政策建议	(332)
参考文献	(334)

第一章 国内外煤层气勘探开发现状

第一节 国外煤层气勘探开发现状

全球煤层气远景资源量很大,目前世界上 74 个国家拥有煤层气资源总量 $268 \times 10^{12} \text{m}^3$, 主要分布在 12 个国家(俄、加、中、澳、美、德、波兰、英、乌克兰、哈萨克斯坦、印度、南非,煤层气总资源量在 $107.8 \times 10^{12} \text{m}^3$ 到 $124.8 \times 10^{12} \text{m}^3$ 之间)。资源量最多的 5 个国家依次为:俄罗斯、中国、加拿大、美国、澳大利亚,其中美、加、澳、中已形成煤层气产业(表 1-1)。

表 1-1 世界煤层气资源统计表

国家	煤层气资源量(10^{12}m^3)	煤炭资源量(10^{12}t)
俄	17 ~ 113	6.5
中	36.8	5.6
加	22.7	7
美	21.2	3.95
澳	14	1.7
德	2.8	0.326
波兰	2.8	0.16
英	1.6	0.19
合计	214.9	25.426

2009 年,美国煤层气产量为 $493 \times 10^8 \text{m}^3$,加拿大产量为 $84 \times 10^8 \text{m}^3$,澳大利亚产量为 $40 \times 10^8 \text{m}^3$,德国、英国、波兰、印度、俄罗斯等国家也在进行煤层气资源评价和勘探工作,但截至目前,除美国、澳大利亚和加拿大外,其他国家都还没有形成大规模的地面商业化开发,目前以煤矿瓦斯井下抽采为主。造成这种局面的原因可能有 3 个:① 煤层气作为一种非常规天然气,其前期工作需要大量的资金投入,如果没有优惠的税收政策支持,很难吸引资金;② 未能彻底解决各自存在的关键技术问题;③ 由于煤层本身的特殊性,从地质评价到工业开采一般需要相当长的时间。

一、美国煤层气勘探开发现状

美国是世界上开采煤层气最早和最成功的国家,有丰富的煤层气资源,居世界第三位。48 个州 14 个含煤盆地煤层气资源量为 $21.2 \times 10^{12} \text{m}^3$,可采资源量为 $3.1 \times 10^{12} \text{m}^3$,探明储量 $1 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。美国煤层气资源主要分布在西部的落基山脉中—新生代含煤盆地,在这一地区集中了美国 85% 的煤层气资源,其余 15% 分布在东部阿巴拉契亚和中部石炭纪含煤盆地中。目前产气的 6 个主要盆地中,低煤阶有 3 个:粉河、尤因塔、拉顿,中煤阶 2 个:圣胡安、黑勇士,高煤阶 1 个:阿巴拉契亚盆地(图 1-1)。

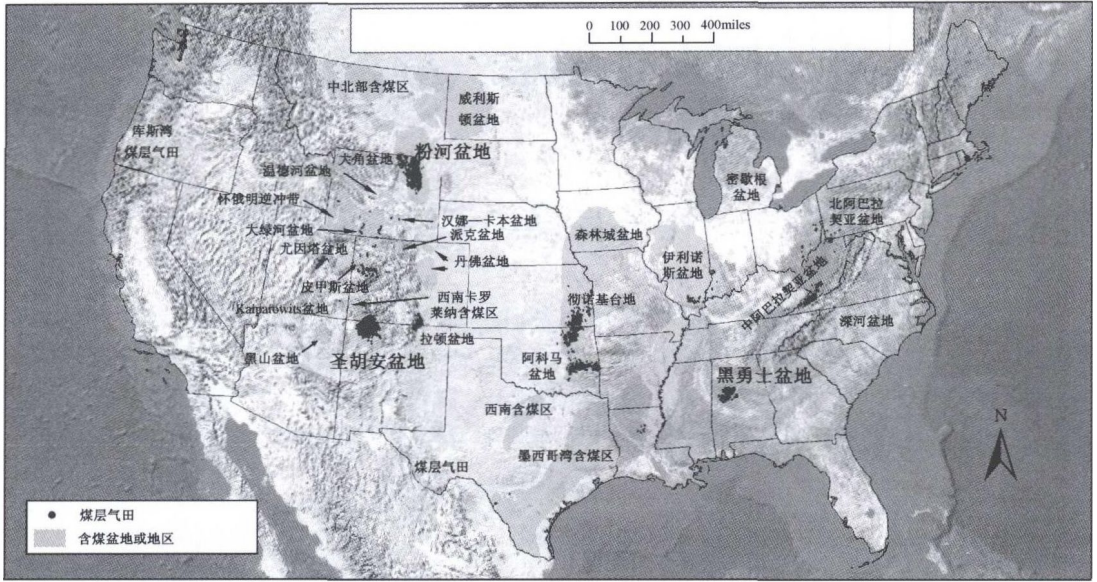


图 1-1 美国主要含煤盆地及煤层气田

其煤层气工业起步于 20 世纪 70 年代,大规模的发展则是在 80 年代。煤层气年产量在短短的几年里大幅度增长,从 1980 年的不足 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$, 迅速上升到 1990 年的约 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$, 1993—1994 年稳定在 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。1984 年共有 2840 口煤层气井,1990 年上升到 2982 口,1995 年增到 7256 口井,2000 年 13986 口,2006 年生产井达到 30000 口,生产井数每五年翻一番,2007 年煤层气累计钻井 36500 口,年产量 $540 \times 10^8 \text{ m}^3$, 约占美国天然气年总产量的 13%;2009 年生产井 38000 口,探明可采储量 $2.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$,年产气 $493 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (图 1-2)。美国出台了《能源以外获利法》等煤层气财政补贴政策,并有完善的天然气管道销售系统,所生产的煤层气大部分进入天然气管网销售给燃气公司,矿井抽放煤层气有的直接供给坑口发电厂,有的则与煤混合燃烧作为锅炉燃料,这一系列措施推动了美国煤层气产业的发展。

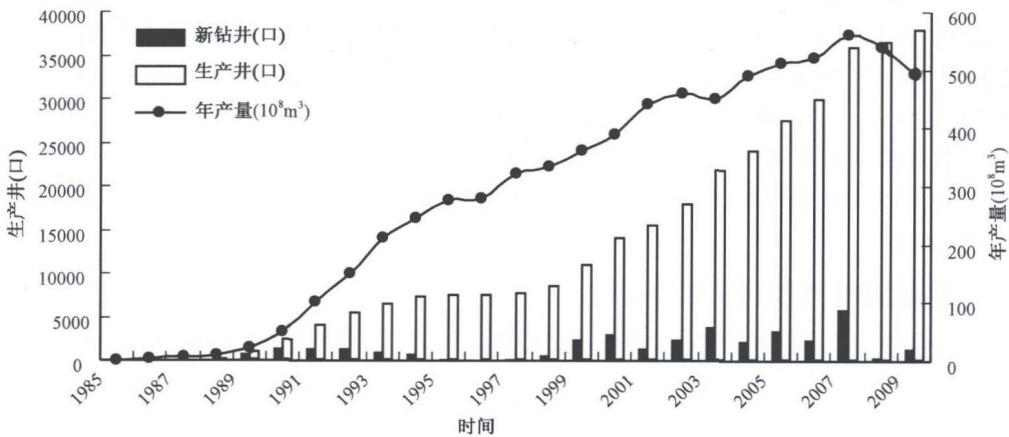


图 1-2 美国历年煤层气钻井及产量分布图

二、加拿大煤层气勘探开发现状

据估计,加拿大 17 个盆地和含煤区煤层气资源量为 $22.7 \times 10^{12} \text{m}^3$,其中阿尔伯达省是加拿大最主要的煤层气资源区(图 1-3),含煤层系为白垩系马蹄谷组,煤层埋藏浅(200~800m),煤层多(30 层),累计厚度大于 30m,单层厚 0.5~3m,含气量 $5 \text{m}^3/\text{t}$, R_0 为 0.4%~0.5%。

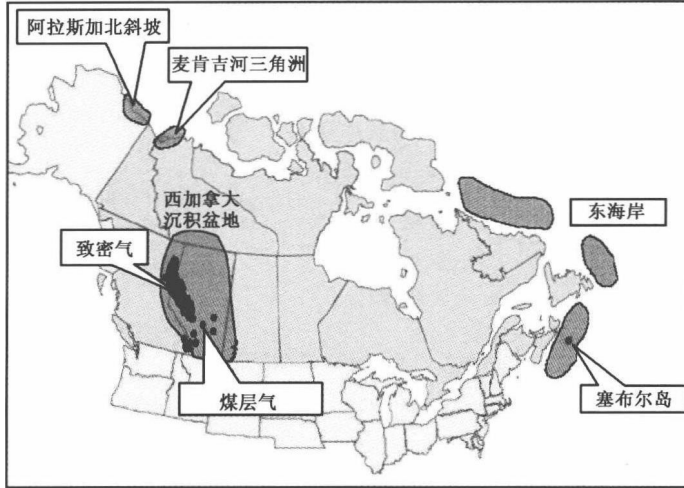


图 1-3 加拿大煤层气田分布

加拿大煤层气开发起步较晚,1987—2001 年,加拿大仅有 250 口煤层气生产井,其中 4 口单井产量达到 $2000 \sim 3000 \text{m}^3/\text{d}$ 。2003 年,Encana 和 MGV 公司合作,钻井 1015 口,试采气 $5.1 \times 10^8 \text{m}^3$;2007 年累计钻井 6500 口,产量达 $55 \times 10^8 \text{m}^3$,开发井深 200~800m;2009 年生产井 9900 口,探明可采储量 $3.7 \times 10^{12} \text{m}^3$,产量 $84 \times 10^8 \text{m}^3$ (图 1-4)。加拿大规划到 2020 年年产量达到 $280 \times 10^8 \sim 390 \times 10^8 \text{m}^3$,煤层气产量将占其天然气总产量的 15% 左右,形成与美国规模相近的煤层气产业。

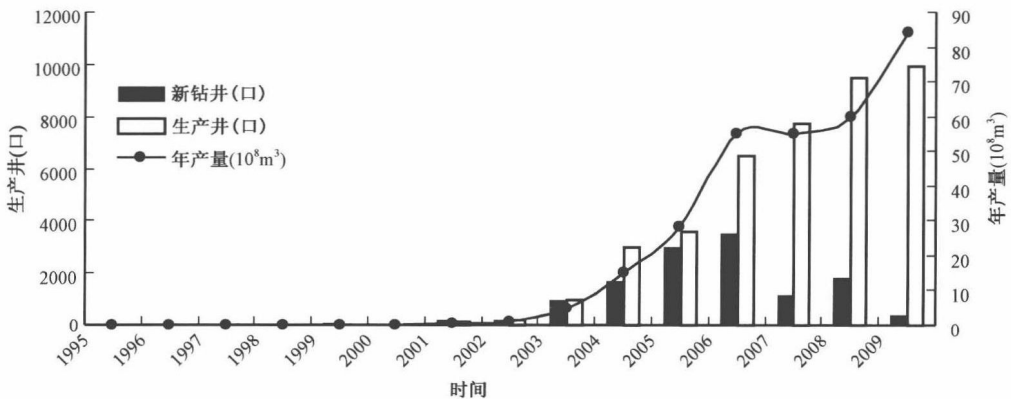


图 1-4 加拿大历年煤层气钻井及产量分布图

三、澳大利亚煤层气勘探开发现状

澳大利亚煤炭资源量为 $1.7 \times 10^{12} \text{t}$,平均甲烷含量为 $0.8 \sim 16.8 \text{m}^3/\text{t}$,煤层埋深普遍小于 1000m,渗透率多分布在 $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,煤层气资源量为 $14 \times 10^{12} \text{m}^3$,主要分布在东

部悉尼、鲍恩和苏拉特 3 个含煤盆地(图 1-5)。澳大利亚的煤层气勘探工作始于 1976 年, 1998 年的产量只有 $0.56 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2004 年煤层气产量占天然气总产量的 25%, 约为 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$, 煤矿瓦斯抽采达到 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2008 年累计钻井 3800 口, 产量达 $35 \times 10^8 \text{ m}^3$, 已进入商业化开发阶段。2009 年生产井 5200 口, 探明可采储量 $4934 \times 10^8 \text{ m}^3$, 产量 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 1-6)。

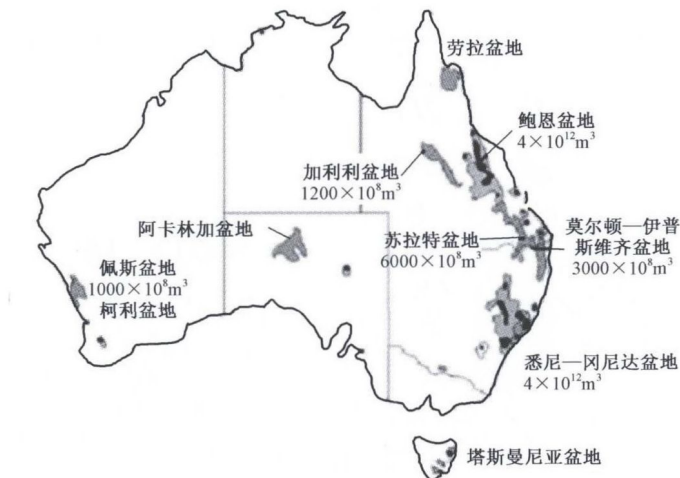


图 1-5 澳大利亚煤层气盆地分布

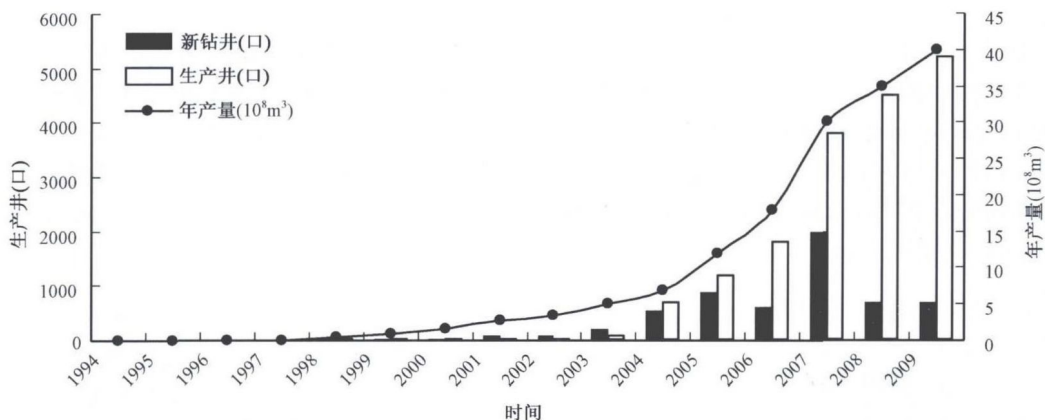


图 1-6 澳大利亚历年煤层气钻井及产量分布图

四、国外煤层气地质理论的认识

煤层气开发包括地面垂直井抽采和矿井下抽采两种开采方式。美国 1976 年第一口商业性煤层气井的成功投产, 向世界揭示出煤层气资源地面开发的前景, 使煤层气资源从“能否有效开发”的争论步入了“全面投入开发”的研究和实施阶段。从 1980 年初至今, 美国先后投入 60 余亿美元进行煤层气的勘探和开发活动, 其中约 4 亿美元专门用于基础研究。考察这一过程不难发现: 正是前期一系列重大基础研究项目的成功实施, 才带动了美国煤层气产业的崛起; 理论认识上的每次重大突破, 都推动了美国煤层气工业的飞跃式发展。

20 世纪 80 年代初, 美国在与西部落基山带和东部阿帕拉契亚带相关的 13 个含煤盆地群中启动了全面的煤层气成藏条件探索, 形成了煤层气产出“排水—降压—解吸—扩散—渗流”

过程的认识突破,最后选择圣胡安盆地和黑勇士盆地为试验基地,在1984年使地面垂直井开发的煤层气年产量达到近 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$,并得出美国许多地区具有煤层气生产可能性的重要推论。以此为依据,随后将勘探扩大到皮申斯、尤因塔等6个含煤盆地,经过理论与勘探开发实践的多轮相互反馈,提出了北美西部洛基山带高产走廊的煤层气成藏模式,形成以煤储层双孔隙导流、中煤阶煤生储优势与成藏优势、低渗极限与高煤阶煤产气缺陷、多井干扰、煤储层数值模拟等为核心的煤层气勘探开发理论体系,并于1995年将地面垂直井煤层气年产量提升至 $275 \times 10^8 \text{ m}^3$,大大超过了我国同期的天然气总产量。90年代以来,美国又提出“生物型或次生煤层气成藏”理论,实现了自身煤层气地质理论的突破,并于1998年在低煤阶褐煤的粉河盆地成功地实现了煤层气商业性开发。2000年以来又在阿帕拉契亚盆地西弗吉尼亚地区低渗透煤层利用定向羽状水平井技术成功进行了商业性开发,如美国西弗吉尼亚石炭系焦煤, R_0 为1.5%,煤层厚2m,含气量 $8.5 \sim 15.6 \text{ m}^3/\text{t}$;渗透率 $3 \times 10^{-3} \sim 4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;单井日产气 $3.4 \times 10^4 \sim 5.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,比常规钻井提高10倍,8年采收率为85%。

20世纪以来,澳大利亚充分吸收美国煤层气资源评价和勘探、测试方面的成功经验,针对本国煤层含气量高、含水饱和度变化大、原地应力高等地质特点,提出了无承压水封闭成藏理论,成功开发和应用了超短半径水力喷射技术,使鲍恩盆地煤层气勘探开发取得了重大突破。澳大利亚的一些矿井还广泛应用了U型水平钻井、高角度煤层沿煤层钻井、斜交钻孔和地面采空区垂直钻孔抽放等技术。如鲍恩盆地moura区块煤层单层厚4m,含气量 $6.5 \sim 7.5 \text{ m}^3/\text{t}$ 。50口井采用直井套管水力压裂,单井日产气平均 2800 m^3 ;而4口井采用沿煤层倾向钻井,单井平均日产气 $1.4 \times 10^4 \text{ m}^3$,单井煤层段进尺为800~1000m。

2000年以来,在加拿大政府的支持下,一些研究机构根据本国以低变质煤为主的特点,开展一系列技术研究工作,定向羽状水平井、多煤层薄煤层连续油管压裂等技术取得了重大进展,降低了煤层气开发成本。

2000年以来,国外重视了低煤阶煤层气的开发,这类气藏埋藏浅、渗透率高、开发成本低、单井产量高,发现的一些好的气田多为这种类型,年产能力为 $271 \times 10^8 \text{ m}^3$,占43%。

总之,美国煤层气商业性开发的成功,带动了澳、加、德、英、波、印、俄等近30余个重要产煤国家或地区启动了煤层气的研究与发展。然而,在直接引用美国相关理论和技术的同时,除加拿大由于与北美大陆地质条件具有一致性而进一步证实了美国煤层气理论的适用性以外,只有澳大利亚结合本国煤储层的低渗特点,发展了地应力评价理论,并在开发出水平井高压水射流改造技术后获得产气突破,其余各国均暂未获得地面垂直井商业性开发的成功。

第二节 国内煤层气勘探开发现状

一、中国煤层气资源主要富集在14个盆地

中国煤层气资源潜力巨大,全国41个含煤层气盆地114个含气区带,煤层埋深2000m以浅的煤层气资源分布面积为 $41.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,远景资源量 $36.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$;其中 $0.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 以上的盆地14个,资源量占93.4%; $0.1 \times 10^{12} \sim 0.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的盆地10个,资源量占5.6%;小于 $0.1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的盆地17个,资源量占1.0%(图1-7)。此外,经初步预测,3000m以浅煤层气资源面积 $55.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,资源量 $55.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。煤层埋深2000m以浅可靠资源量约 $4.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占13%(表1-2),煤层埋深2000~3000m的煤层气远景资源量约 $18.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (表1-3)。

0 200 400 600 800km



图1-7 中国煤层气盆地分布图

表 1-2 煤层埋深 2000m 以浅资源量表

资源类别	埋深 (m)			合计 (10^4m^3)	含气区带	占总资源量 (%)
	<1000	1000 ~ 1500	1500 ~ 2000			
可靠	40445	7495		47940	18	13.0
推断	34668	18671	30516	83850	31	22.8
远景	67595	79946	88787	236328	65	64.2
合计	142708	106112	119299	368118	114	100

表 1-3 煤层埋深 2000 ~ 3000m 的煤层气远景资源量表

盆地	面积 (km^2)	资源量 (10^{12}m^3)	备注
鄂尔多斯	63863	5.9	中生界: $9200\text{km}^2, 0.9 \times 10^{12}\text{m}^3$; 石炭—二叠系: $54663\text{km}^2, 5.0 \times 10^{12}\text{m}^3$
吐哈	15800	3.6	含三塘湖
六盘水	8862	2	
准噶尔	14500	2.3	
沁水	8800	1.4	
塔里木	2654	0.3	
伊宁	5700	0.9	
渤海湾	7000	0.8	辽河 $400 \times 10^8\text{m}^3$, 南宮新河 $7000 \times 10^8\text{m}^3$, 文安 $600 \times 10^8\text{m}^3$
海拉尔	3379	0.4	
宁武	1400	0.3	
三江、汤原	2530	0.3	三江 $1700\text{km}^2, 0.2 \times 10^{12}\text{m}^3$, 汤原 830km^2 , $0.1 \times 10^{12}\text{m}^3$
古舒	2000	0.2	
合计	136488	18.4	

二、中国煤层气资源潜力大、勘探形势好

中国煤炭资源达 $5.6 \times 10^{12}\text{t}$, 保有储量 $1.03 \times 10^{12}\text{t}$; 2010 年 1.5 万个煤矿产煤 $32 \times 10^8\text{t}$, 煤层气抽采 $76.2 \times 10^8\text{m}^3$, 利用 $23.78 \times 10^8\text{m}^3$, 利用率由前几年的 19.7% 提高到 31%, 但仍低于国外几倍。

到 2011 年 6 月底, 全国钻煤层气井约 6300 口, 探明储量 $2811 \times 10^8\text{m}^3$, 探明可采储量 $1439 \times 10^8\text{m}^3$ 。探明 2 个千亿立方米大气田: 沁水气田探明 $1560 \times 10^8\text{m}^3$, 鄂东气田探明 $764.6 \times 10^8\text{m}^3$, 控制、预测 $1722.65 \times 10^8\text{m}^3$, 资源量比美国多, 但是年产量仅是美国的 3%; 资源探明率低, 仅为 0.76%。

表 1-4 国内外煤层气勘探开发数据表

国家	钻井 (口)	远景资源量 (10^{12}m^3)	可采储量 (10^8m^3)	年产气 (10^8m^3)	单井日产气 (m^3)	采气速度 (%)	探明率 (%)
美国	38000	21.2	25000	542	3900	5	11.8
澳大利亚	5200	14	2300	50.2	2300	2.2	5.9
加拿大	9900	22.7	490	84	2200	17.5	18.5
中国(投产直井)	3200	36.8	1439	13.6	1100	0.9	0.76

煤层气矿权面积 $21 \times 10^4 \text{km}^2$, 仅动用 0.46%。其中, 中国石油已登记面积 $16.1 \times 10^4 \text{km}^2$, 已登记区资源量约 $16.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。

全国探明储量 $2811.43 \times 10^8 \text{m}^3$, 2010 年增长约 $1115.58 \times 10^8 \text{m}^3$, 详见表 1-5。

表 1-5 中国煤层气探明储量表

单位	地区	区块	层位	含气面积 (km^2)	探明储量 (10^8m^3)	可采储量 (10^8m^3)
中国石油	沁水气田	樊庄	P_{1s}, C_3t	182.22	352.26	176.13
		郑庄	P_{1s}, C_3t	482.19	800.27	400.15
	鄂东	三交	P_{1s}, C_3t	282.9	435.4	218
		韩城	P_{1s}, C_3t	292.44	329.2	161.35
	合计				1239.75	1917.13
中联公司	沁水气田	柿庄	P_{1s}, C_3t	50.70	137.87	74.86
		潘庄	P_{1s}, C_3t	175.50	206.39	182.12
		合计		226.20	344.26	237.24
铁法煤业	铁法	合计		135.49	77.30	38.65
阳泉煤业	阳泉	合计		94.04	191.34	75.06
东宝能	长子	长子西部	P_{1s}, C_3t	70.56	142.42	64.09
		慈林山区	P_{1s}, C_3t	11.24	16.37	7.36
		合计		81.80	158.79	71.45
港联	韩城	板桥	P_{1s}, C_3t	4.19	3.61	1.8
其他	柳林、寺河、成庄、郑村			127.74	119	59.5
全国	总计			1909.21	2811.43	1439.33

2009 年地面采气 $10.17 \times 10^8 \text{m}^3$, 利用 $5.82 \times 10^8 \text{m}^3$, 利用率 57.3%; 2010 年地面采气 $15 \times 10^8 \text{m}^3$, 利用 $11.8 \times 10^8 \text{m}^3$, 利用率 78%。目前日产气情况: 亚美 13 口井, $19.7 \times 10^4 \text{m}^3$; 晋煤潘庄 2024 口, 阳泉 461 口, 潞安 10 口, 西山 15 口, 日产 $320 \times 10^4 \text{m}^3$, 其中阳泉 $15 \times 10^4 \text{m}^3$, 年产 $9.08 \times 10^8 \text{m}^3$ 。中国石油投产直井 914 口, 水平井 90 口, 年产 $2.9 \times 10^8 \text{m}^3$, 日产 $120 \times 10^4 \text{m}^3$, 其他水平井井数和产量以奥瑞安为主(表 1-6)。近几年来, 煤层气产量逐年增高(图 1-8), 中国煤层气产业正处于稳步快速发展阶段。

表 1-6 中国煤层气勘探开发数据表

单位	钻井 (口)	探井 (口)	投产老井 (口)	日产气 (10^4m^3)	单井日产气 (m^3)
中国石油	2127 + 120 水平井	655	1238	132	1000 ~ 55000
中联煤	772 + 5 水平井	155	230	50	2000 ~ 5000
格瑞克	169 + 1 水平井	18	53	6	500 ~ 3000
中国石化	53 + 1 水平井	53			1600 ~ 2560
晋煤、阳煤、潞煤集团	2810 + 3 水平井	46	1850	320	1500 ~ 10000
阜新、铁法、抚顺、沈北	90	24	69	9	2000 ~ 16000
亚美、焦作、美中能源、奥瑞安、 富地、远东、寺河	84 + 34 水平井	55	60	14	5000 ~ 100000
其他国企、外资、民营(河南 45 口,云南 20 口,新疆 50 口)	185 + 3 水平井	160			900 ~ 2000
合计	6290 + 167 水平井	1166	3500	531	

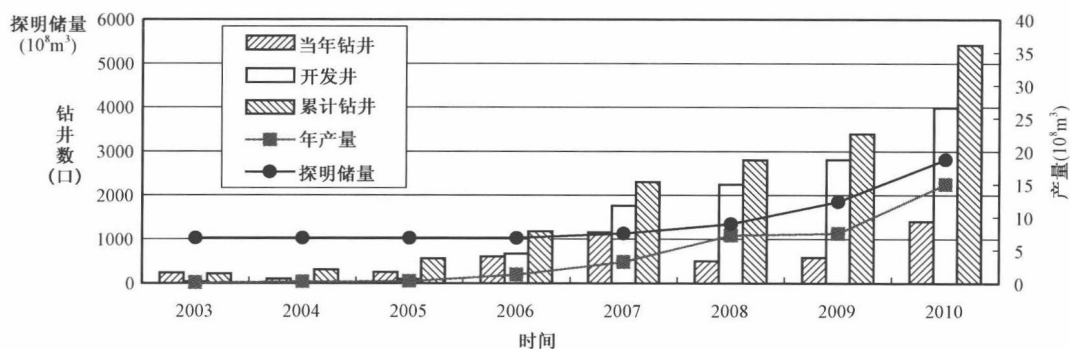


图 1-8 中国历年煤层气钻井及产量分布图

三、“十一五”煤层气开发取得八大成果

① 2010 年新增探明储量突破 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

近几年煤层气钻井每年增加约 1000 口,2010 年新钻井 1400 口,历年累计 5520 口。累计探明煤层气地质储量 $2811 \times 10^8 \text{m}^3$,其中 2010 年新增探明 $1116 \times 10^8 \text{m}^3$ 。主要是在中国石油沁水气田郑庄区块和鄂尔多斯盆地东部三交、韩城区块。

② “十一五”探明两个千亿立方米的大气田。

沁水气田位于沁水盆地南部,C—P 高煤阶含煤层系,是世界上独一无二的以断块气藏为主的大型缓坡富气带。中国石油煤层气经理部 1993 年和中联煤 1996 年勘探以来,2000 年获探明储量 $754 \times 10^8 \text{m}^3$ 。“十一五”经中国石油、中联煤、晋煤集团等进一步工作,累计钻井 3700 口,投产约 3000 口,探明含气面积 946km^2 ,探明煤层气地质储量 $1568 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

鄂东气田主要位于鄂尔多斯盆地东部晋西挠皱带,发育于 C—P 中煤阶煤层,是以断块气藏为主的大型富气带。1996 年中国石油煤层气经理部开始进行煤层气勘探,获三级储量 $803 \times 10^8 \text{m}^3$ 。“十一五”经中国石油、中联煤等进一步工作,累计钻井 750 余口,投产约 590 口,累计探明含气面积 902km^2 ,探明煤层气地质储量 $1109 \times 10^8 \text{m}^3$ (含基本探明 $288 \times 10^8 \text{m}^3$)。

③ 低煤阶煤层气勘探遍地开花。

黑龙江煤田地质局 2011 年在东北伊兰—依通地堑伊兰区块钻井 3 口,单井日产气 3000 ~ 4000 m³;辽宁抚顺一个小井组 6 口井单井日产气稳产 800 m³;新疆煤田地质局在西北淮南阜煤 1 井日产气 1020 m³;中国石油煤层气经理部在华北二连盆地霍林河地区霍试 1 井日产气约 1300 m³;彬长煤业集团在鄂尔多斯盆地中生界彬长区块钻 1 口水平井日产气 5600 m³。

④ 煤层气地面开发步入产业化。

“十一五”煤层气产量地面开发每年翻一番,井下抽采每年增加约 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2005 年地面开发年产气仅有 $0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,2010 年达到 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$,井下抽采为 $76.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

⑤ 新技术的应用大幅度提高单井产量。

我口已钻 160 口定向羽状水平井,单井日产气最高 $10.5 \times 10^4 \text{ m}^3$,比直井压裂提高 5 ~ 10 倍;钻 U 型井 16 口以上,在煤层较稳定、渗透率较高地区单井日产气为 $0.56 \times 10^4 \sim 1.4 \times 10^4 \text{ m}^3$;煤层气井重复压裂解堵 100 余口,77% 有效,单井日产气平均增产 1000 m³。

⑥ 建成多种产量流向体系。

山西省建成 6 条 610 km 煤层气管道外输;中国石油建成 32 km 西气东输支线,日外输 $120 \times 10^4 \text{ m}^3$,并投产 $10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 中央处理厂;中华煤气在晋城建成 $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 压缩能力的 LNG 厂,现日压缩 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$;山西、陕西省等建成多个 CNG 压缩厂,使管道、管汇车、液化罐车等多种输气方式并举。

⑦ 国家重大科技攻关推动地质理论和开发技术的创新。

“十一五”国家重大专项“大型油气田及煤层气开发”启动 16 个煤层气研发项目和示范工程,在煤层气选区评价、成藏机理与类型、高产富集规律和开发特征、增产措施及技术等方面取得理论创新和技术创新。

⑧ 国家政策和规范出台加快煤层气产业发展。

国家下发国办 47 号文和适度放开专营权等文件,发布煤层气储量、勘察、开发、钻井、排采、集输、实验室等相关技术规范,编制“十一五”、“十二五”煤层气开发和科技发展规划等一系列举措,推动了先采气后采煤政策贯彻落实,有效遏制了煤矿瓦斯灾害,保护了大气环境,资源得到了充分利用。

四、煤层气开发大大降低了百万吨采煤死亡率

我国煤层气井下抽放开始于 20 世纪 50 年代,主要是基于煤矿安全的井下瓦斯抽采,年抽采量约 $0.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。最近几年,我国煤矿瓦斯抽采非常活跃,2008 年,全国煤炭资源 $5.57 \times 10^{12} \text{ t}$,保有储量 $1.03 \times 10^{12} \text{ t}$,1.6 万个煤矿采煤 $27.4 \times 10^8 \text{ t}$,煤层气抽采 $58 \times 10^8 \text{ m}^3$,利用率由前几年的 19.7% 提高到 31%。2008 年煤矿安全死亡 3210 人(瓦斯爆炸死亡 778 人),百万吨死亡率 1.2 人;2009 年煤矿安全死亡 2631 人(瓦斯爆炸死亡 750 人),百万吨死亡率 0.889 人,首次降到 1 以下;2010 年煤矿安全死亡 2433 人,百万吨死亡率 0.749 人,由 2005 年是国外的 100 倍下降为 27 倍,主要是地面开发产量大幅度上升、井下抽放向抽采利用发展,近 5 年井下抽采年增 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$,地面开发年翻一番。地面开发煤层气产量 2005 年为 $0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,2006 年为 $1.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,2007 年为 $3.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,2008 年为 $4.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,2009 年为 $7.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,2010 年为 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。同时由以往井下抽放向井下抽采发展,每年抽采量约增长 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$,如 2005 年为 $23 \times 10^8 \text{ m}^3$,2006 年为 $32 \times 10^8 \text{ m}^3$,2007 年为 $43 \times 10^8 \text{ m}^3$,2008 年为 $58 \times 10^8 \text{ m}^3$,2009 年为 $64.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,2010 年为 $76.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 1-7、图 1-9)。