

© 周守为 编著



页岩气 勘探开发技术

YEYANQI KANTAN KAIFA JISHU



石油工业出版社

页岩气勘探开发技术

周守为 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统地阐述了与页岩气相关的基本概念以及近年来页岩气开发的关键技术，全书介绍了页岩气勘探开发现状、页岩油气的成藏机理及特征，创新性地引入页岩气储层评价技术，深入探讨了页岩气钻完井关键技术，尤其对页岩气开发中至关重要的压裂工艺技术进行了详细论述。另外本书同时还涵盖了页岩气开发过程中成本控制、我国页岩气开发现状与展望，以及大量页岩气开发典型实例等方面的内容。

本书可供从事页岩气资源勘探开发方面生产人员作为参考书，同时也可作为低孔、低渗及致密油气田开发领域的科研人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

页岩气勘探开发技术 / 周守为编著 .

北京 : 石油工业出版社, 2013.11

ISBN 978-7-5021-8944-0

I . 页…

II . 周…

III . ①油页岩 - 油气勘探②油页岩 - 油田开发

IV . ① P618.130.8 ② TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 023843 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) 64523620

经 销 : 全国新华书店

印 刷 : 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本 : 1/16 印张 : 13.5

字数 : 322 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

《页岩气勘探开发技术》

编委会

主 编：周守为

副主编：姜 伟 刘良跃 张春阳 刘书杰

编 委：范白涛 孙东征 唐文波 邓金根

杨 进 袁俊亮 靳 勇 彭成勇

杨秋荣 邢洪宪

序

改革开放 30 余年来，中国国民经济发展逐步驶入快车道。与此同时，中国常规能源对外依存度已超过 50%，经济发展与能源供应的矛盾日益凸显。页岩气作为非常规资源成为解决能源危机的有效途径，但是页岩气开发存在着成本高、产能低的缺点，要达到经济开发目的必须进行准确的地质勘探与有效的储层改造。因此页岩气勘探开发技术成为制约中国非常规能源长足发展的瓶颈，若能实现关键技术的突破必将有助于奠定我国在全球能源战略中的主动地位。

随着《中美关于在页岩气领域开展合作的谅解备忘录》的签署，中国对页岩气研究的紧迫性已经上升到国家层面，中国海洋石油总公司也将页岩气开发作为“十二五”期间的重点发展项目。处于页岩气开发领先地位的美国，在水平钻井、分级压裂等关键技术上都有可借鉴之处。相比之下，中国的页岩气基础理论研究还略显薄弱，为探索适应中国特色的页岩气发展之路，拉近与发达国家之间的差距，并逐步实现技术赶超，中国海洋石油总公司组织专门人才实地考察美国页岩气开发技术。

本书囊括了水平井分段多级压裂、微地震实时裂缝检测、裂缝超高导流能力等关键技术，并对现场实施详加介绍，对于页岩气开发乃至非常规油气的储层解放都有极大参考意义与实用价值。

页岩气资源开发是能源领域的一次历史性革命，在中国的页岩气革命之路上仍横亘着各类艰难险阻。“雄关漫道真如铁，而今迈步从头越”，通过一代代石油人的不懈努力、锐意进取，展现在我们面前的必将是共和国充沛富足的油气资源。

罗平亚

前 言

随着全球油气资源的大幅开采，常规油气已难以满足世界工业化发展，对非常规资源的需求日益迫切。页岩气、煤层气、致密砂岩气等崭露头角，并以常规能源代替品的角色首先出现在北美等发达国家和地区的历史舞台上。页岩气勘探开发技术是目前非常规资源开发的前沿课题，其研究对象是数千米地下深处的古老致密岩石，研究领域包括矿产普查与勘探学、矿物学、地球化学、地球物理学、岩石力学等多学科交融。全球页岩气地质储量达 $623 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，商业化生产前景广阔。

自 1821 年第一口页岩气井钻成至今，页岩气勘探开发历史已达 190 年。1981 年被誉为“页岩气之父”的乔治·米歇尔对 Barnett 页岩的 C.W.Slay 1 井实施大规模压裂并获成功标志着页岩气开发技术已取得突破性进展。一直以来中国海洋石油总公司密切关注页岩气开发动向，为推动国内页岩气的发展，2011 年 5 月 1 日中国海洋石油总公司组建了以周守为为团长的考察团赴美交流。此行增进了中国对页岩气技术的了解深度，同时还就其他非常规资源方面的成功经验进行了学习交流。作者以此为契机，通过广泛调研、细致考察、认真求证编撰了本书。

本书的编写过程中，得到了中国石油大学邓金根教授、杨进教授的大力帮助和支持，袁俊亮博士调研分析了大量资料和图表。主审专家对初稿进行了认真审查，并提出了诸多宝贵意见，本书的出版也得益于石油工业出版社有限公司工作人员的艰辛劳动，在此一并致以诚挚的谢意。在编写过程中，作者参阅了大量国内外文献、著作和业界的相关标准，行业动态及部分野外露头图片（源于中国非常规油气网站）。关键的压裂章节得到中国海洋石油总公司研究总院靳勇工程师与彭成勇工程师的大力支持，监督监理邢洪宪工程师也提供了大量生产资料，在此谨向给予大力支持的单位和个人致以最衷心的感谢。

在编著本书的过程中，编委会付出了极大努力，最终凝结成为集体智慧的结晶。因知识水平所限，局限性与疏漏之处在所难免，恳切欢迎广大读者同仁批评指正。

周守为

2011 年 12 月于北京

目 录

绪论	1
第 1 章 页岩气勘探开发现状	2
1.1 全球页岩气资源分布	2
1.2 北美页岩气勘探开发现状	3
1.3 中国页岩气资源分布与开发前景	10
第 2 章 页岩气成藏机理及特征	16
2.1 页岩气成藏条件	16
2.2 页岩气藏特征	20
2.3 页岩气藏评价参数	29
第 3 章 页岩气储层评价技术	34
3.1 页岩气储层评价方法	34
3.2 页岩气测井解释技术	41
3.3 页岩气录井解释技术	45
3.4 页岩气储量及产能预测	47
3.5 页岩气开发评价方法	51
第 4 章 页岩气钻井关键技术	54
4.1 井场选择与布井方式	54
4.2 井身结构设计与井型优选	56
4.3 井壁稳定性评价技术	62
4.4 井眼轨迹控制技术	68
4.5 钻井液及储层保护	70
4.6 固井工艺技术	75
4.7 取心技术	80
第 5 章 页岩气完井关键技术	84
5.1 完井方式优选	84
5.2 页岩气射孔优化技术	85
5.3 页岩气完井液技术	87
5.4 完井管柱及工具	94

5.5 返排及生产控制工艺	103
第 6 章 页岩气开发压裂工艺技术	111
6.1 页岩气水力压裂技术发展历程	111
6.2 压裂设计	112
6.3 压裂设备及工具	123
6.4 页岩气压裂材料	130
6.5 页岩气压裂工艺	132
6.6 裂缝监测技术	134
第 7 章 成本控制	145
7.1 钻井成本控制	147
7.2 后勤管理成本控制	149
第 8 章 页岩气开发典型实例	150
8.1 Eagle Ford 页岩气田开发实例	150
8.2 Barnett 页岩气田开发实例	172
第 9 章 中国页岩气开发现状与展望	180
9.1 资源落实情况与规划	180
9.2 中国石油、中国石化页岩气工作进展	182
9.3 中海石油页岩气开发展望	184
结语	191
主要参考文献	192
附图 野外露头及压裂现场图集	198

绪 论

1821年在美国东部泥盆系页岩中钻成的第一口页岩气井的出现宣布了页岩气的勘探开发历史大幕的拉开,1914年美国发现了第一个页岩气田——Big Sandy 气田,1981年被誉为“页岩气之父”的乔治·米歇尔对 Barnett 页岩 C.W.Slay No.1 井实施大规模压裂并获成功,页岩气的发展主要历经了以下4个阶段:

第一阶段:1821—1978年的偶然发现阶段;

第二阶段:1978—2003年的认识创新与技术突破阶段;

第三阶段:2003—2006年的水平钻井与水力压裂技术推广阶段;

第四阶段:2007年到现在的页岩气全球化发展阶段。

页岩气作为一种典型的非常规天然气资源,主要分布在盆地中央厚度较大、面积广的暗色泥页岩和高碳泥页岩中,存在的形式以吸附或游离状态为主。与常规能源相比,页岩气具有开采寿命较长、产量稳定等优点。美国地质调查局的数据显示,位于得克萨斯州 Fort Worth 盆地的 Barnett 页岩气田的开采寿命可达80~100年。由于页岩气藏的储层具有低孔隙度、低渗透率的特点,气流的阻力比常规天然气大,几乎所有气井都需要实施储层改造才能将资源开采出来。

由于页岩气储层的高度致密性和极低渗透率,页岩气开发的规模化生产和商业化利用一直面临技术瓶颈问题。近年来,随着得克萨斯州 Barnett 页岩层实验室成功融合水平钻井技术和水力压裂技术,使得页岩气开采技术有了质的突破,开采成本大幅降低。技术的进步、政策的扶持、加之全球高涨的天然气价格,使得美国页岩气的发展更具强劲发展势头。在其他方面,储层评价技术、水平井分段多级压裂技术、裂缝超高导流能力、纤维压裂转向技术、微地震裂缝监测技术、随钻测量等关键技术的应用提高了页岩气储层的泄流面积,对产能提高和储量的动用起到了促进作用,同时对于储层物性极为相似的低渗油气田开发也可以借鉴应用。

在对美国页岩气项目进行了认真考察的基础上,笔者对页岩气勘探开发技术进行了细致严谨地总结,统筹各方面力量编著了本书,使其尽可能全面覆盖页岩气的成藏机理、资源分布、储层评价、钻完井关键技术及压裂增产工艺等方面,并对其他创新性的页岩油气资源增产技术做了介绍。

第 1 章

页岩气勘探开发现状

页岩气是一种广分布、低丰度、易发现、难开采的自生自储连续型非常规气藏，主要储存于暗色泥页岩之中。所谓页岩是指由粒径小于 0.005mm 的细粒碎屑、黏土、有机质等共同组成，具有页状或薄片状层理，易碎裂的一类沉积岩。页岩气是指以热成熟作用或连续的生物作用生成，并以吸附态或游离态赋存于暗色泥页岩、高碳泥页岩、页岩及粉砂质岩类夹层中的天然气聚集。游离状态的页岩气存在于天然裂缝与粒间孔隙中，吸附状态的页岩气存在于干酪根或黏土颗粒表面。

1.1 全球页岩气资源分布

全球页岩气资源分布广泛，根据 2011 年美国能源信息署的最新预测，全球共有 32 个国家、48 个盆地普遍都含有页岩气资源。页岩气风险地质储量总和为 $623 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，相当于煤层气与致密砂岩气的总和，可采储量约为 $163 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。全球页岩气资源主要分布于北美、中亚、中国、中东、北非和非洲南部等国家和地区。作为非常规资源的典型代表，页岩气具有极大的商业开发潜力，其风险地质储量和可采储量在 6 大洲的具体分布情况如表 1-1 所示，页岩气的地质储量在全球的分布情况如图 1-1 所示。

表 1-1 全球页岩气风险地质储量和可采储量

大洲	风险地质储量 ($\times 10^{12} \text{m}^3$)	可采储量 ($\times 10^{12} \text{m}^3$)
北美	109.1896	30.27066
南美	129.3795	34.68808
欧洲	73.25556	17.66968
非洲	112.1912	29.50611
亚洲	160.3014	39.75679
大洋洲	39.1055	11.21345
总计	623.4227	163.1048

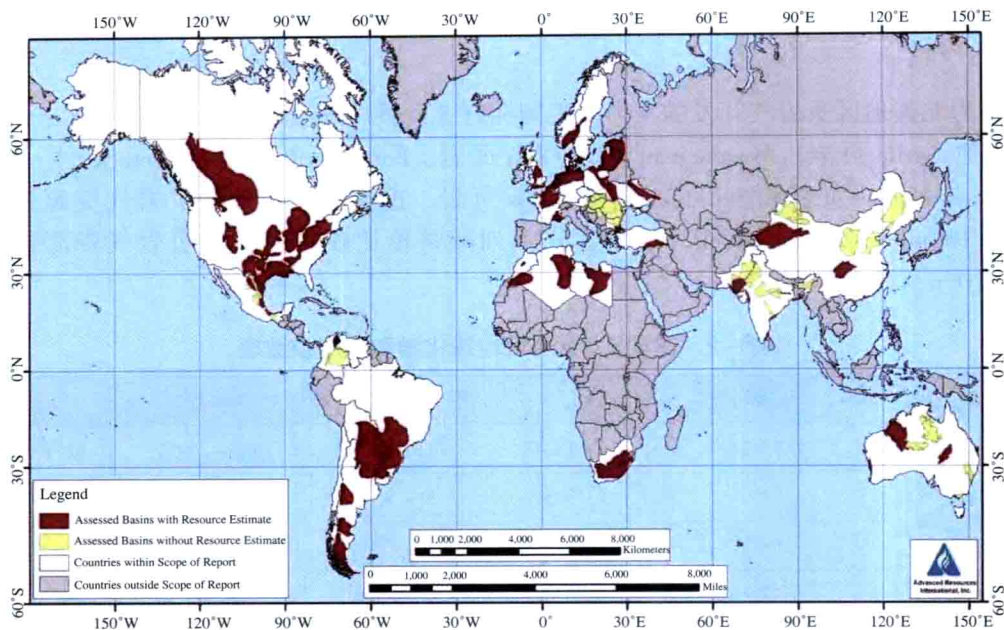


图 1-1 页岩气地质储量全球分布图

1.2 北美页岩气勘探开发现状

据统计到 2009 年底，北美地区共发现含有页岩气的盆地 30 个，钻开发井 50000 余口，井深范围在 2500 ~ 4500m 之间。2009 年北美地区页岩气产量达到 $950 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2010 年攀升到 $1178 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中美国占 $1075 \times 10^8 \text{m}^3$ 。也正是由于页岩气的成功开采，使得原本属于天然气进口国的美国，在几年间戏剧性地逆转成为潜在的天然气出口国。近 10 年主要页岩气盆地的产量统计情况如图 1-2 所示。

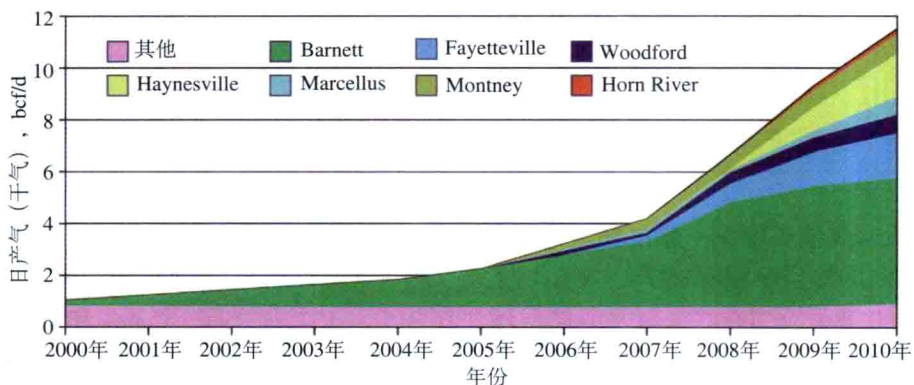


图 1-2 北美主要页岩气盆地产量统计

1.2.1 美国

作为北美地区页岩气开发的主力,美国拥有5大页岩气系统,如表1-2所示:Michigan盆地Antrim页岩、Appalachian盆地Ohio页岩、Fort Worth盆地Barnett页岩、Illinois盆地New Albany页岩和San Juan盆地Lewis页岩,这5大页岩系统页岩气资源量约为 $12.85 \times 10^{12} \text{m}^3 \sim 25.14 \times 10^{12} \text{m}^3$,加拿大仅不列颠哥伦比亚省泥盆系页岩气资源量就达 $7.08 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。如表1-2所示。

表1-2 美国5大页岩气地球化学和储层参数表

参数	Antrim	Ohio	New Albany	Barnett	Lewis
深度(m)	183~730	610~1524	183~1494	1981~2591	914~1829
总厚度(m)	49	91~305	31~122	61~91	152~579
有效厚度(m)	21~37	9~31	15~30	15~60	61~91
井底温度(℃)	23.9	37.8	26.7~40.6	93.3	54.4~76.7
总有机碳含量(%)	0.3~24	0~4.7	1~25	4.5	0.45~2.5
镜质组反射率(%)	0.4~0.6	0.4~1.3	0.4~1.0	1.0~1.3	1.6~1.88
总孔隙度(%)	9	4.7	10~14	4~5	3~53.5
充气孔隙度(%)	4	2	5	2.5	1~3.5
充水孔隙度(%)	4	2.5~3	4~8	1.9	1~2
储能系数 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$)	0.3~1524	0.05~15.24	—	0.003~0.61	1.83~121.92
含气量(m^3/t)	1.13~2.83	1.69~2.83	1.13~2.26	8.50~9.91	0.42~1.27
吸附气含量(%)	70	50	40~60	20	60~85
储层压力(psi)	400	500~2000	300~600	3000~4000	1000~1500
压力梯度(psi/m)	1.15	0.49~1.31	1.41	1.41~1.44	0.66~0.82
产气量($\times 10^3 \text{m}^3/\text{d}$)	0.79~79.49	0	0.79~79.49	0	0
井距	160~240	160~640	320	320~640	320~1280
生产区	密歇根州Otsego郡	肯塔基州Pike郡	印第安纳州Harrison郡	得克萨斯州Wise郡	新墨西哥州San和Rio Aeeiba郡

美国页岩气储层埋深一般在76~2440m之间,例如在New Albany和Antrim页岩气藏中,有9000口井的储层埋深在76~610m之间,而在Appalachian盆地页岩、泥盆系页岩和Lewis页岩气藏中有20000余口井的储层埋深在915~1525m之间,Caney和Fayetteille页岩气藏埋深在610~1830m之间,Barnett和Woodford页岩埋深更深,大部分储层埋深都在1300m以上。好页岩气勘探区页岩厚度较厚,一般为92~183m。总体来说,美国的主力盆地和地区的页岩气资源具有面积大、厚度厚、分布范围广的特点,美国页岩气资源分布

情况如图 1-3 所示。

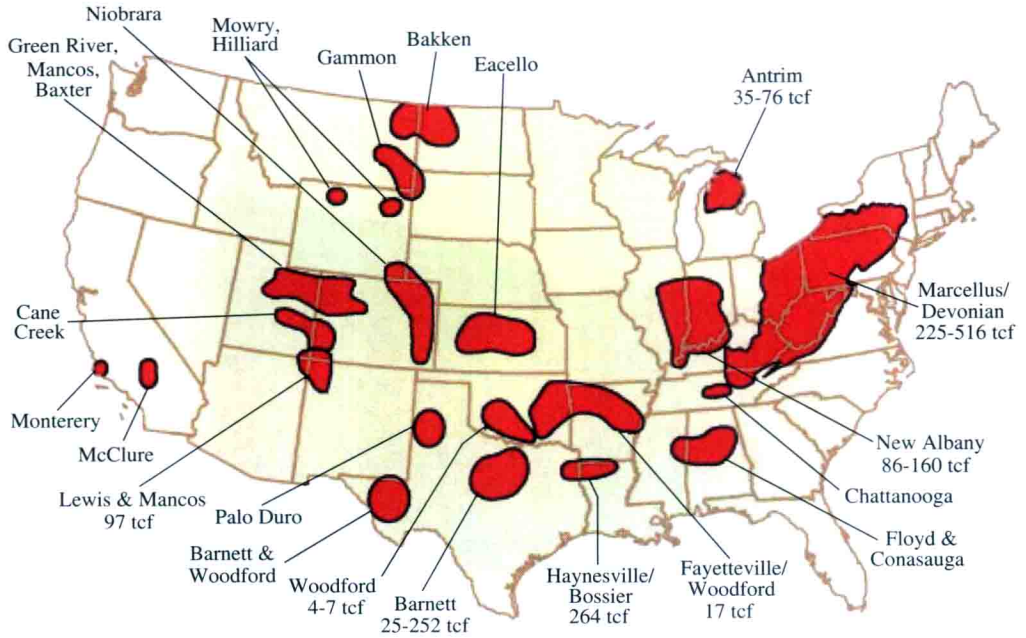


图 1-3 美国页岩油气资源分布情况

回顾过往的 10 年，2001 年美国页岩气产量仅为 $122 \times 10^8 \text{m}^3$ ；2003 年，采用水平井开发技术后，页岩气产量达到 $200 \times 10^8 \text{m}^3$ ；2007 年美国规模化采用压裂增产技术，页岩气产量约 $361 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2008 年美国页岩气产量首次超过煤层气，达到 $572 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2009 年页岩气产量达到 $878 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2010 年就已经攀升至 $1075 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占美国天然气总产量的 18% 左右，已接近中国国内天然气产量总和。在过去 10 年美国页岩气产量增长了近 10 倍，已开发地页岩气田分布如图 1-4 所示。2009—2010 年间，与页岩油气田相关的钻井工作量已经占到了全部钻井工作量的 53%。美国页岩气发展势头异常迅猛，页岩气已逐步成为美国常规油气产量的重要接替产品。

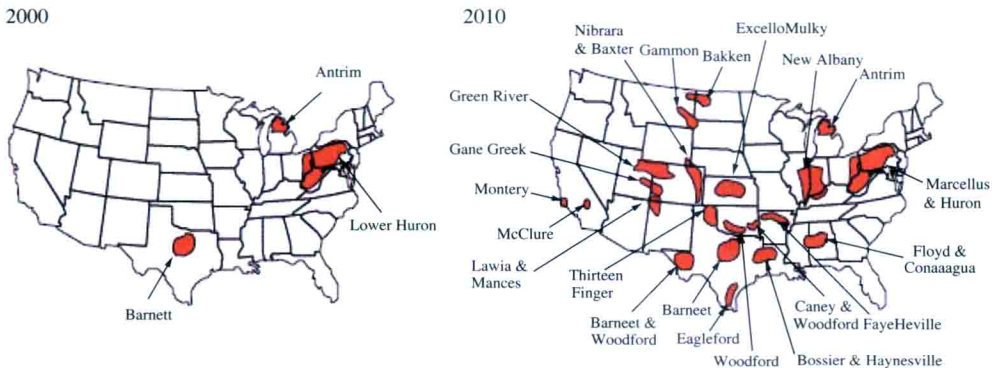


图 1-4 美国页岩气过去 10 年发展局面

从1990—2035年美国天然气产量及预测情况如图1-5所示。未来几十年,根据美国能源情报署的预测,到2020年美国页岩气产量将增至 $2066 \times 10^8 \text{m}^3$,到2035年,美国的页岩气产量将达到 $3398 \times 10^8 \text{m}^3$,天然气总产量将从2009年的 $6240 \times 10^8 \text{m}^3$ 增至 $7650 \times 10^8 \text{m}^3$,页岩气在整个天然气产量中将占到47%的份额。

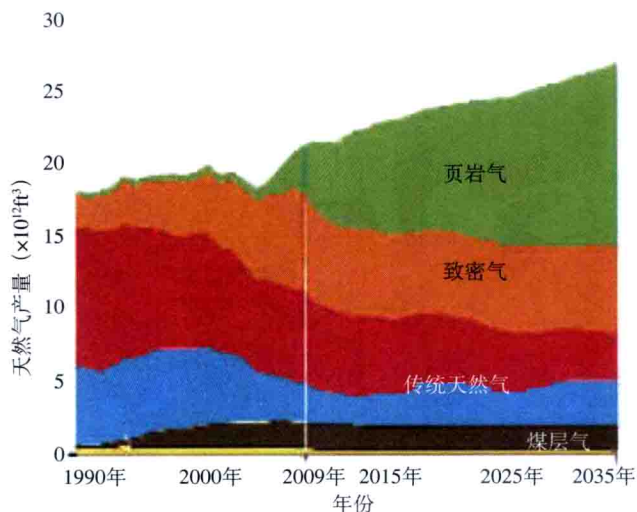


图 1-5 1990—2035 年美国天然气产量及其预测情况 (源于 EIA, 2009)

1.2.2 加拿大

除美国以外,加拿大是另一个对页岩气进行规模化开发的国家,页岩气已成为加拿大重要的代替能源。与美国相比,加拿大的页岩气商业开采还处于起步阶段,但与世界其他国家和地区相比已步入了前列。尤其近两年,加拿大面对传统天然气开发利用的紧张局势,加大了对本国页岩气的研究投入和勘探开发力度。

加拿大页岩气资源分布广、层位多,预测页岩气资源量超过 $42.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。主要的页岩气资源分布在不列颠哥伦比亚(British Columbia)、阿尔伯塔(Alberta)和萨斯喀彻温(Saskatchewan)、南安大略(Ontario)、魁北克(Quebec)低地、滨海诸省(Maritimes)5个地区,如表1-3所示。其中,西部不列颠哥伦比亚地区的下白垩统、侏罗系、三叠系和泥盆系的页岩气资源量丰富。目前,已有多家油气生产商在加拿大西部地区进行页岩气开发试验,2007年该地区页岩气产量约 $8.5 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

受美国页岩气大规模商业化开采的启发,加拿大地质学者和加拿大能源公司EnCana对加拿大西部的沉积盆地进行了广泛研究。当前加拿大的页岩气开采热点地区为不列颠哥伦比亚的Horn河盆地泥盆系Muskwa组页岩和位于不列颠哥伦比亚与阿尔伯塔交界地区的三叠系Montney地层。加拿大能源公司用水平井加多级压裂技术对2个地区进行开采,目前有超过 $0.07 \times 10^8 \text{m}^3/\text{d}$ 的产气量。魁北克地区在2008年进行了试井测试,表现了良好的生产潜力,有望成为下一个开采热点地区。加拿大页岩气主要产地及资源量如表1-3所示。

表1-3 加拿大页岩气主要产地及资源量 (源于CSUG, 2009)

地 区	盆地/地层	资源量 ($\times 10^{12} \text{m}^3$)	生产情况
不列颠哥伦比亚 (British Columbia)	Horn河盆地	14.16	商业开采中
	Cordova湾	5.66	
	Montney地层	11.33	商业开采中
阿尔伯塔 (Alberta) 和萨斯喀彻温 (Saskatchewan) 平原	Colorado组	8.50	
南安大略 (Ontario)	Michigan盆地	0.06	
魁北克 (Quebec) 低地	Utica和Marcellus页岩	1.13	试井阶段
滨海诸省 (Maritimes)	Windsor盆地		试井阶段
	Frederick Brook地层		试井阶段

1.2.3 对中国的启示

欧美国家采取的是“先由小公司进行勘探，再由大集团收购”的模式。经过多年的研究和开发实践，美国在页岩气形成机理、富集条件等方面已经形成深刻的认识。目前多家跨国石油公司、天然气公司加入了美国页岩油气资源的开发大军，并加大了在页岩油气资源开发方面的投入力度。美国通过页岩气的开发实践，来推动装备和技术发展，与页岩气相关的设备、软件及技术已经成熟且商业化。与此同时页岩油气资源的开发改变了美国甚至世界的天然气生产格局，2009年美国依靠国内猛增的页岩气产量，以 $6240 \times 10^8 \text{m}^3$ 的天然气总产量首次超过俄罗斯，成为世界第一大天然气生产国，由此导致了当年国际天然气价格大幅下跌。

美国页岩气的生产真正进入大规模发展阶段，是在 20 世纪 80 年代中期，主要的助推力有两方面：第一，美国政府对非常规能源开发实施税收优惠政策；第二，水平钻完井技术和水力压裂技术的进步。

美国页岩气的成功开发被认为是能源领域“静悄悄的革命”，这不仅改变了美国国内能源结构，也深刻影响着全球能源格局。美国页岩气能源的快速发展离不开当局政策的扶持，主要体现在以下几个方面：

第一，非常规资源开发的税收抵免，促进了包括页岩气在内的非常规能源的发展。20 世纪 70 年代末期，美国政府在《能源意外获利法》中规定对 1979—1993 年钻探的非常规油气资源，以及 2003 年之前生产和销售的页岩气和致密气实施税收减免政策，还专门设立了非常规油气资源研究基金。除实施税收抵免外，2004 年《美国能源法案》还规定，10 年内联邦政府每年投资 4500 万美元用于包括页岩气在内的非常规天然气生产研究。

第二，对油气行业实施其他 5 种税收优惠政策，包括无形钻探费用扣除、有形钻探费用扣除、租赁费用扣除、工作权益视为主动收入、小生产商的耗竭补贴等。这些税收优惠政策鼓励了小企业的钻探开发投资积极性，促进了油气行业的发展。1990 年的《税收分配

的综合协调法案》和 1992 年的《能源税收法案》均扩展了对非常规能源的补贴范围，1997 年的《纳税人减负法案》中延续了替代能源的税收补贴政策。例如，2006 年投入运营的用于生产非常规能源的油气井，可在 2006—2010 年享受 22.05 美元/t 的补贴。1980—1992 年勘探的气井，其生产的非常规天然气享受相同额度的补贴，此项政策使得美国非常规天然气井勘探量大幅上升，天然气储量和产量也随之大幅上升。

第三，在私有土地上，开发商必须和矿业权利人签署租约，在设钻井与铺管道的土地上与地表权利人签署单独的协议，并取得得克萨斯州管理机构的许可。美国联邦政府在全美拥有 11% 的土地。联邦法律规定对共有土地的使用实行规划，规划每 10 年审核一次，公众广泛参与，私营公司可竞标获取在公用土地上的钻探权，并支付给政府相应的租金、费用及矿区使用费。

第四，是发达的天然气管网设施与第三方准入条款。美国目前有 40 多万千米的天然气管道，并自 1993 年起实现了天然气开发和运输的全面分离。即对开发商和管道运输商进行不同的政策监管，保证天然气生产商和用户对管道拥有无歧视准入条件。美国联邦能源管理委员会 1992 年取消了管道公司对天然气购销市场的控制，规定管道公司只能从事输送服务。天然气供销的市场化，使得非常规天然气的供应更加便捷，供应成本大幅降低，市场竞争力更强。

第五，联邦政府以外，州政策中最具代表性的就是得克萨斯州，其自 20 世纪 90 年代初以来，就对页岩气的开发免征生产税，实施每立方米 3.5 美分的政府补贴，另外还有其他税收优惠。

需要注意的是，页岩气开发对环境的要求极严。页岩气开发对环境的主要影响是水力压裂所用化学药剂对地下水的潜在污染和地下爆破对地表的影响，另外还有空气污染、土壤污染、噪声污染以及栖息地丧失等。在大力推进页岩气开发的同时，美国联邦政府及州政府也在环境保护方面出台了一系列措施，这些措施涵盖了页岩气开发的全过程：从钻井勘探到页岩气生产，到废水处理，再到气井的遗弃与封存，法律法规的严密与细致性有效保障了美国页岩气发展过程中的环境保护。适用的法律包括《美国联邦环境法》、《清洁水法案》、《饮用水安全法》、《资源保护和恢复法》、《清洁空气法》等法规。美国环保部目前正在针对压裂液成分进行立法，要求页岩气开发商披露压裂液的化学成分，以便充分评估对地下水的影响。

美国政府对页岩气开发的重视，以及各项鼓励政策为页岩气发展提供了强劲的动力，这无疑大大降低了开发成本，刺激了页岩气的发展，环境保护举措又使页岩气开发得以可持续发展。显然，适应本国国情的有力政策是美国页岩气得以异军突起快速发展的重要因素。为促进中国页岩气的进步和发展，政府也必须采取适应中国国情的优惠政策及相关法律。

中国页岩气发展面对的是与美国不同的地质环境与国情，要合理借鉴美国经验必须认清我国与美国在页岩气开发方面的相似点与不同点：一是土地的拥有权不一样，中国土地属于公有制，矿产资源归国家所有。二是监管框架不一样。中国地方政府服从中央政府管理，而美国为各州自治，有权独立立法。三是目前中国的天然气行业管理、生产、运输、销售还是一体化，没有实现垂直分离管理。四是美国的页岩气开发主要由中小公司推动，美国有 8000 余家油气公司，85% 的页岩气由中小公司生产，中国能源企业多为大型国有企业。

在高成本、低回报的压力下，中小型油气开发商的革新行动更为快捷，而大公司可以在长期性和财政稳定性上给予更多保证，因此就出现了中小公司取得技术和产业突破后，大公司则通过对中小公司兼并参与市场的现象。五是页岩气的地质条件存在诸多差异，中国页岩气形成的地质年代可能晚于美国，埋深较深，地层古老破碎。

尽管存在上述差别，美国页岩气开发中有许多共性的经验仍然值得我们借鉴。立足中国页岩气发展的现实状况，借鉴美国已有经验，特对中国页岩气发展提出如下建议：

第一，更加重视页岩气作为中国能源战略的重要组成部分及其对中国能源结构调整和应对气候变化所能发挥的重要作用。

第二，启动页岩气资源评估和评价，加快掌握页岩气勘探开发的整套技术。目前中国所钻页岩气井数量不过十几口，对于支撑页岩气储量评价远远不够，应将页岩气勘探尽快列入议事日程，摸清中国页岩气地质储量及开发侧重点。

第三，完善页岩气管理体制，鼓励中小企业参与。要总结国内煤层气管理、规划、投资和技术开发过程中出现的问题，同时在充分调研和准备的基础上，制定资源勘探、应用规划、技术研究、投融资政策、财税扶持和行业管理等相关政策。美国中小公司在页岩气勘探过程中产生的推动力、及大、中、小公司之间相互协作的合作经验值得我们借鉴。如果要求中国国有油企在其登记区实现相当的开采速度，那么在目前的体制框架下几乎是不可能的。页岩气开发要实现快速启动，可行的办法是将页岩气作为区别于常规天然气的新矿种来进行管理。目前国内的民间资本多，参与开发页岩气的积极性高，适当放开页岩气的投资准入，对引导民间投资、调动地方积极性、加快页岩气开发进程有重要意义。

第四，在天然气的“自然垄断”环节——管道运输方面加强监管，选择适当的时机引入强制性第三方准入条款。美国在进行页岩气开发之前，已有非常发达的天然气管网，页岩气出井之后直接并入管网大大降低了储运成本，中国在考虑页岩气开发成本时应考虑天然气管网密集程度的区别。

第五，以最有效的方式为页岩气的开发提供财政支持，使页岩气的开发活动有利可图。美国采用税收减免的方法而不是政府直接补贴的方法来支持非常规能源的发展经验也值得我们借鉴。

第六，加强页岩气勘探开发的国际合作。2010年5月，中美双方签署了《美国外交部和中国国家能源局关于中美页岩气资源工作行动计划》，各大公司也正在与一些国际公司商讨合作。由于页岩气勘探开发技术的“非排他性”和一段时间后的“技术贬值性”，美国希望抓住历史机遇输出技术，占领中国这个广阔的市场。为此我们需要在起步阶段借力美国，在最短时间内建立起能够独立自主开发的技术。

第七，严格的环境监管是持续发展的保障。

开发主体多、开发速度快并不会必然带来开采混乱，关键是要在开采前制定并执行严格的监管制度。环境问题应作为页岩气的监管重点，我们应该跟踪了解美国在页岩气环境监管方面的最新发展，并结合中国的特点，及时制定有关法规和管理办法，确保监管先行到位，开发可控。