

全球页岩气资源概况

十年前，从富有机质页岩中进行天然气商业开采并不常见。美国得克萨斯州中部 **Barnett** 页岩的成功开采，引发了人们对页岩的全新思考。开采 **Barnett** 页岩气的技术被应用到北美那些条件有利于从源岩开采天然气的其他盆地。不久，美国和加拿大许多地区都成功实现了页岩气开采，由此引发了全球对页岩气勘探的兴趣，诸多公司都希望能够复制 **Barnett** 页岩的成功。

Chuck Boyer

美国宾夕法尼亚州匹兹堡

Bill Clark

美国俄克拉何马州俄克拉何马城

Valerie Jochen

美国得克萨斯州College Station

Rick Lewis

Camron K. Miller

得克萨斯州达拉斯

《油田新技术》2011年秋季刊：23卷，第3期。
©2011 斯伦贝谢版权所有。

页岩是地球上最丰富的沉积岩。页岩一方面作为源岩，使油气运移至渗透性储层，一方面又充当盖层的作用，用于圈闭下伏沉积层中的油气。不久以前，油气行业在钻探目标砂岩和石灰岩储层时，一般还是将页岩层视为不利层段。但地质学家和工程师已经认识到一种特殊类型的页岩（即富有机质页岩）具有重要价值。如果具有适当的特征条件，富有机质页岩不仅有可能成为油气源岩，也可成为可开采储层。从页岩层勘探和开采天然气最早在北美进行，但现在许多勘探公司已在全球各地开展此项作业。

得克萨斯州 **Barnett** 页岩的成功是近期页岩气勘探热潮的催化剂。用了20年的时间进行试验研究才确定 **Barnett** 页岩的开采经济可行。两项技术（即压裂增产和水平井钻井）的开发和应用也确保了取得这一成功。

虽然北美地区的盆地最受关注并拥有最多的资本投资，但作业公司正在世界各地寻找可复制这一成功的其他地区。在那些当前自身油气产量很低的国家（如欧洲的一些国家），页岩气勘探十分重要。然而这一发展趋势

并不限于北美和欧洲，全球许多地区都在吸引着此类资本投资。本文对全球页岩气勘探与开发现状进行了介绍。

非常规资源

具有油气开采潜力的富有机质页岩被称为非常规油气藏，或资源远景区。非常规气藏是指具有很低或极低渗透率的沉积层，主要生产干气。渗透率高于0.1 mD的气藏为常规气藏，而低于该限值的气藏则为非常规气藏，虽然这一界定并无科学依据。

根据前不久提出的定义，非常规气藏是指除非气井经过水力压裂增产处理，或者通过水平井、多分支井或其他技术来增加气藏接触面积，否则既无法获得经济产量的气藏^[1]。该定义包括致密气砂岩和碳酸盐岩地层，以及资源远景区，如煤层和页岩层^[2]。资源远景区指既作为油气藏又作为油气源的沉积层。与常规远景区不同，非常规资源远景区分布范围广，且通常不受地质构造的限制。



从页岩中开采油气并不是什么新鲜事，作业实践的出现要早于现代石油工业。1821年，也就是在钻第一口油井之前的数十年前，在美国纽约州Fredonia钻了一口商业页岩气井^[3]。在20世纪20年代，全球最高产的天然气开采来自附近阿巴拉契亚盆地的类似页岩沉积层。当时使用的含气页岩开采方法与当今采用的方法十分不同。作业公司钻的是直井，产量较低。然而，阿巴拉契亚盆地天然气的成功开采让人们看到了希望，有助于之后对Barnett页岩以及其他类似资源远景区的开发。

对Barnett页岩的开发可追溯至

1981年，当时Mitchell能源开发公司钻了一口井，专门开采页岩气。当时并没有马上获得令人满意的结果，20年的钻井与完井技术创新，以及商品价格的增长，都为该资源远景区的商业开采创造了条件。

水力压裂增产是开采页岩气的首项技术。该技术可提高天然渗透率极低的岩层的渗透率。对页岩层中的直井进行压裂会获得很高的初始产量，但之后产量会快速下降。作业公司意识到需要增加与储层的接触面积，来避免产量快速下降。因此伴随着水力压裂技术，诞生了第二项技术，即大位移水平井钻井技术，与直井相比，

可大幅增加储层接触面积。

通过综合使用这两项技术，Barnett页岩的作业公司证实了页岩气开采的经济可行性。此次成功后，作业公司争先寻找类似能够成为“第二个Barnett”的盆地。一直都被勘探与生产行业忽略的页岩突然受到了极大的关注。

2008年，Barnett页岩成为美国最大的天然气开采远景区，占该年本土48州天然气总产量的7%，说明页岩气开采取得很大成功^[4]。其他含气页岩远景区的开采也相继取得了成功。2011年3月，仅在3年的开发后，位于路易斯安那州和得克萨斯州东部的

1. 美国国家石油委员会 (NPC): “Unconventional Gas Reservoirs – Tight Gas, Coal Seams, and Shales”, 华盛顿特区, NPC 全球石油与天然气研究工作文件, 29号主题论文, 2007年7月18日。

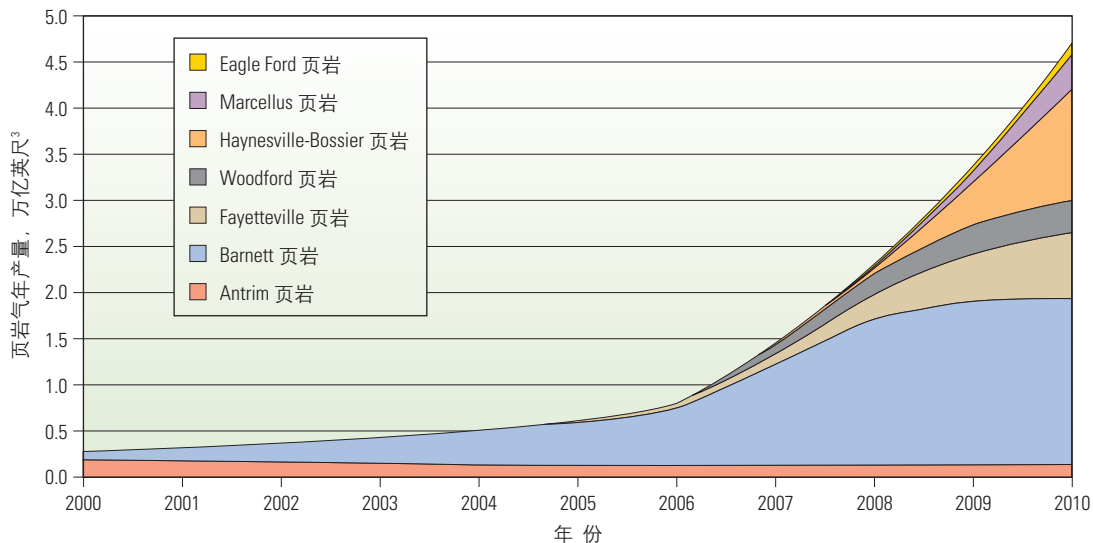
2. 地下水保护委员会和ALL咨询公司: “Modern Shale Gas Development in the United States: A Primer”, 华盛顿特区, 美国能源部办公室和化石能源与国家能源技术实验室, 2009年。有关煤层气更多的信息, 请参见: Al-Jubori A,

Johnston S, Boyer C, Lambert SW, Bustos OA, Pashin JC 和 Wray A: “煤层气藏评价与开采技术新进展”, 《油田新技术》, 21卷, 第2期(2009年夏季刊): 4-13。

3. 美国能源部 (DOE) 和国家能源技术实验室 (NETL): “Shale Gas: Applying Technology to Solve America’s Energy Challenges”, 华盛顿特区, 美国 DOE 和 NETL (2011年3月), http://www.netl.doe.gov/technologies/oil-gas/publications/brochures/shale_Gas_March_2011.pdf (2011年8

月22日浏览)。

4. Warlick D: “A Current View of the Top 5 US Gas Shales”, *Oil & Gas Financial Journal*, (2010年2月1日), <http://warlickenergy.com/oil-gas-articles/a-current-view-of-the-top-5-gas-shales/> (2011年10月17日浏览)。



▲ 美国页岩气产量快速增长情况。自 2000 年以来，美国页岩气年产量已从几乎可以忽略不计增长至占其总产气量的近四分之一。2010 年，图中所示的 7 个远景区预计生产天然气 4.5 万亿英尺³ (1274 亿米³)。美国所有页岩资源远景区干气总产量达到 4.87 万亿英尺³ (1379 亿米³)。(根据美国 DOE 和 NETL 的资料整理，参考文献 3)。

高产 Haynesville-Bossier 页岩天然气产量达到 1.591 亿米³/日 (56.2 亿英尺³/日)，超过了 Barnett 页岩 1.529 亿米³/日 (54 亿英尺³/日) 的产量^[5]。

2010 年，美国多个页岩资源远景区的干气产量达到 1379 亿米³ (4.87 万亿英尺³) (上图)。这一数字占美国天然气年产量的 23%^[6]。页岩气开采的未来前景十分光明。位于美国东部阿巴拉契亚地区的 Marcellus 页岩目前正处于勘探开发阶段，预计其潜在产量将超过 Barnett 和 Haynesville-Bossier 页岩^[7]。勘探公司正将其重点转移至其他地区，希望找到未开发的页岩气资源。

全球展望

从页岩中开采油气已成为勘探与生产公司的日常作业活动。例如，巴西、爱沙尼亚、德国和中国的作业公司利

用干馏技术从页岩中开采石油^[8]。然而，截至 2011 年，北美以外地区还没有商业开采页岩气的成功案例。这一状况可能会迅速改变。南美、非洲、澳大利亚、欧洲和亚洲等地正在进行页岩气勘探。全球各地的勘探与生产公司都在采集与分析地震数据、钻探井并评价地层的天然气开采能力。随着全球页岩资源评价工作的继续，对资源潜力的评估数据也大幅提高 (下一页，上表)。近期的一项研究预计，全球页岩气潜在资源量为 25300 万亿英尺³ (716 亿米³)。然而，在许多情况下，在开发方面都面临巨大挑战。

对于美国的页岩气开发而言，小型作业公司在许多作业中都发挥着重要作用，而与美国不同，欧洲页岩气勘探与开发主要以大型跨国能源公司和国家石油公司为主。在欧洲页岩气开发中占有重要地位的公司包括埃克

森美孚公司、道达尔公司、康菲石油公司以及马拉松石油公司。由于在页岩勘探与开发方面的经验有限，这些公司正与北美页岩气的开发公司进行合作。例如，道达尔公司收购了 Chesapeake 能源公司 (美国多个页岩气开发作业中的积极参与者) 的很大一部分股份。埃克森美孚公司近期收购了 XTO 能源公司，许多能源分析师认为这是其试图向页岩气资源开发领域进军而迈出的一步^[9]。

除了缺乏技术经验外，还有其他一些因素阻碍着欧洲、亚洲和南美地区的页岩气资源开发。如何找到钻井与增产作业需要的大量水源以及油田服务设备 (主要是水力压裂设备) 的供应有限，都是必须要考虑的主要问题。

5. 美国能源信息署 (EIA): “Haynesville Surpasses Barnett as the Nation’s Leading Shale Play”, 华盛顿特区, 美国 EIA (2011 年 3 月 18 日), <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=570> (2011 年 10 月 6 日浏览)。
6. Kuuskraa V, Stevens S, Van Leeuwen T 和 Moodhe K: “World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States”, 华盛顿特区, 美国 DOE EIA, 2011 年 4 月。
7. Monteith G: “Ohio Shale’s Energy Potential: It Could Be Big”, hiVelocity (2011 年 5 月 5 日), http://www.hivelocitymedia.com/features/Shale5_11.aspx (2011 年 10 月 16 日浏览)。

8. Allix P, Burnham A, Fowler T, Herron M, Kleinberg R 和 Symington B: “开采页岩油”, 《油田新技术》, 22 卷, 第 4 期 (2010 年冬季刊): 4-15。
9. Durham LS: “Poland Silurian Shale Ready for Action”, *AAPG Explorer*, 31 卷, 第 2 期 (2010 年 2 月): 14, 18。

10. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。
11. Arthur JD, Langhus B 和 Alleman D: “An Overview of Modern Shale Gas Development in the United States”, ALL 咨询公司 (2008 年), <http://www.all-llc.com/publicdownloads/ALLShaleOverviewFINAL.pdf> (2011 年 9 月 28 日浏览)。

此外，在西欧人口稠密地区还存在潜在的土地使用问题。美国许多土地的矿权归土地所有者所有，而在其他国家并非如此，是由国家控制地下资源。土地所有者与资源开发者间可能出现的冲突也许是欧洲资源开发中最棘手的难题。

在开发热潮中，很难回避非技术性难题，其中包括地缘政治、公众观念等许多其他问题。尽管存在这些因素，但由于美国页岩气资源的开采大获成功，因此引发全球对页岩气资源的高度关注。美国能源信息署（EIA）在2011年发布了一项综合报告，对32个国家48个含气页岩盆地进行了评价，并对页岩气开发现状进行了分析（下图）^[10]。基于这项报告，全球将要开展一场页岩气革命。

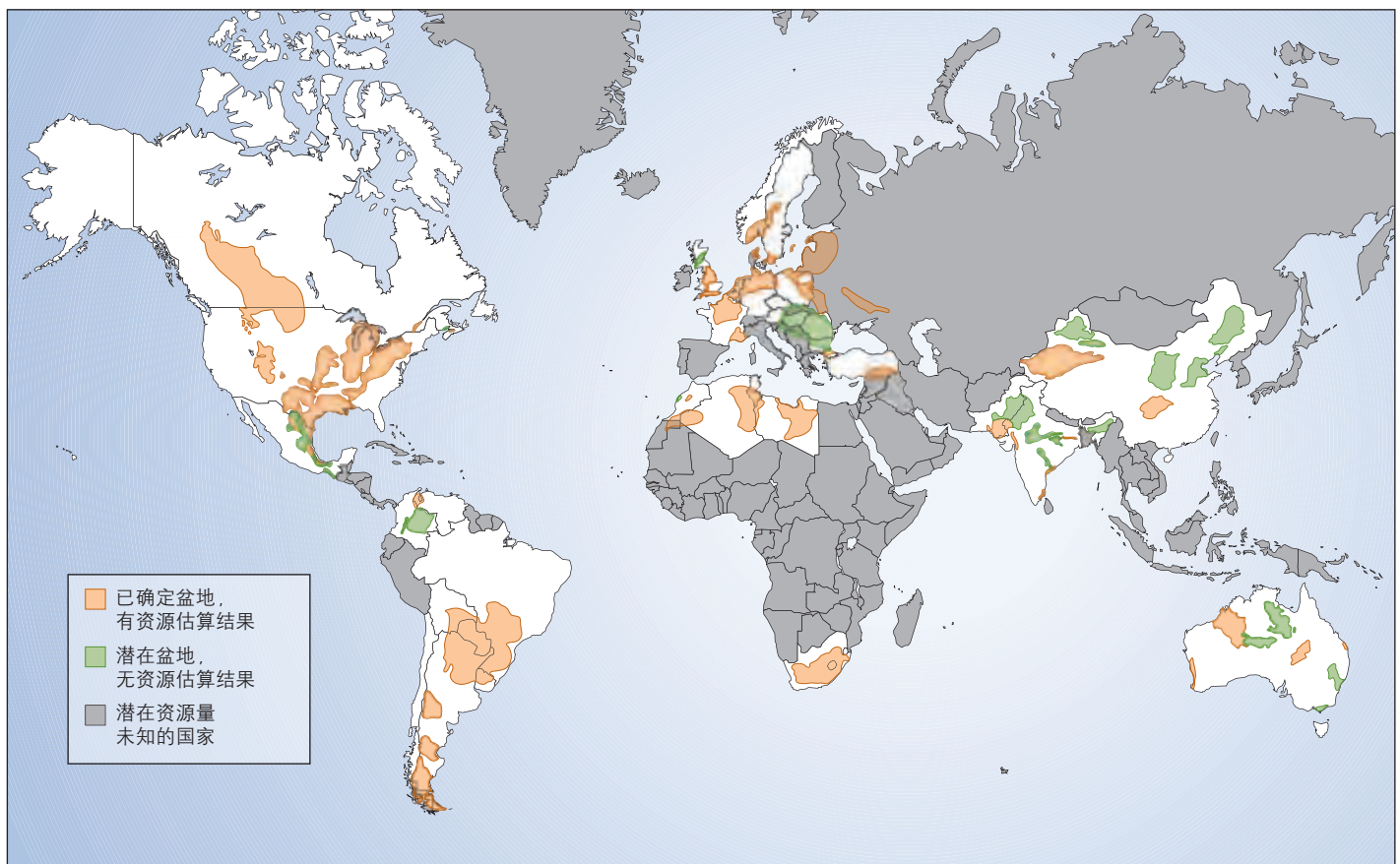
地区	1997年Rogner研究, 万亿英尺 ³	2011年EIA研究, 万亿英尺 ³
北美	3,842	7,140
南美	2,117	4,569
欧洲	549	2,587
非洲	1,548	3,962
亚洲	3,528	5,661
澳大利亚	2,313	1,381
其他地区	2,215	无
总计	16,112	25,300

▲ 页岩气储量评估。1997年的一项研究预计全球页岩气储量为16112万亿英尺³（456万亿米³）。2011年美国EIA的研究将这一数字修改为25300万亿英尺³（716万亿米³），增加了近60%。（根据Rogner H-H：“An Assessment of World Hydrocarbon Resources”，加拿大不列颠哥伦比亚省维多利亚：综合能源系统研究所，维多利亚大学（IESVic，1997年）和Kuuskraa等人的资料改编，参考文献6）。

页岩气评价

美国—目前唯一的商业页岩资源远景区位于北美，其中大部分位于美国。美国东北部的Marcellus页岩是迄今为止最大的远景区，预计占地面积达到24.6万平方公里（9.5万英里²）。

New Albany是第二大页岩远景区，面积约为Marcellus页岩的一半^[11]。美国其他主要含气页岩的面积在13000—30000平方公里（5000—12000英里²）之间，其中不少都是高产区（下一页图）。



▲ 全球页岩气资源。美国EIA对14个地区的页岩气潜在资源量进行了研究。该报告未包括俄罗斯、中东和非洲等地的大部分地区（灰色阴影）。该报告未包括这些地区的原因是缺乏勘探数据，或者这些区域常规资源量巨大，使得页岩气在目前还没有吸引力。（根据Kuuskraa等人的资料改编，参考文献6）。

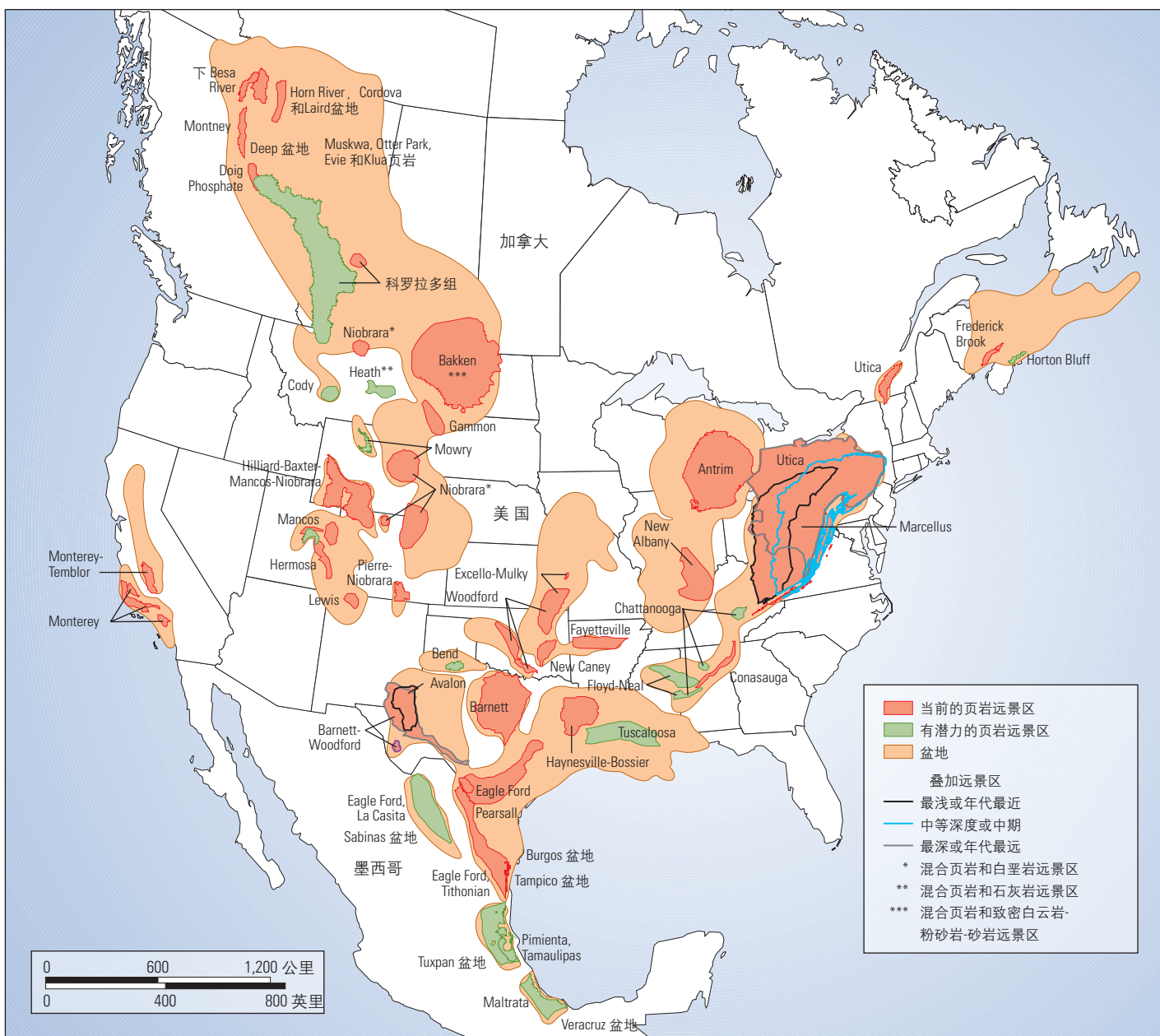
根据 2011 年的估算数据, Barnett 和 Haynesville-Bossier 页岩拥有最高的综合日产量。产量数据虽然是一个重要指标,但以产量来评定可能会造成误导,因为不同的远景区开发程度不一样。当以原始天然气地质储量(GIP)为依据来评定美国各远景区时,Marcellus 页岩则排在第一位,达到 42.5 万亿米³(1500 万亿英尺³)。虽然 Marcellus 页岩似乎拥有最大的潜力,但该地区的作业者仅在近期才开始该远景区的勘探与开发工

作。目前正在加紧开采的页岩中, Haynesville-Bossier 页岩规模最大,预计原始 GIP 达到 20.3 万亿米³(717 万亿英尺³)。Barnett 页岩位居第二,预计原始 GIP 达到 9.3 万亿米³(327 万亿英尺³)^[12]。但目前许多页岩资源都投入开采。其中有一些比较重要的远景区包括 Fayetteville 页岩、Woodford 页岩、Antrim 页岩、Eagle Ford 页岩和 New Albany 页岩等。

加拿大 - 加拿大许多盆地都有巨大的页岩气开采潜力。最大的远景区

位于加拿大西部,包括 Horn River 盆地、Cordova 湾、Laird 盆地、Deep 盆地和科罗拉多组盆地。这五个盆地的综合 GIP 预计将达到 37.6 万亿米³(1326 万亿英尺³),其中有 10 万亿米³(355 万亿英尺³)被认为是技术可采储量^[13]。

Horn River、Cordova 和 Laird 盆地中的目标沉积层是泥盆纪地层,主要地层包括 Muskwa、Otter Park、Evie、Klua 和下 Besa River 页岩等。



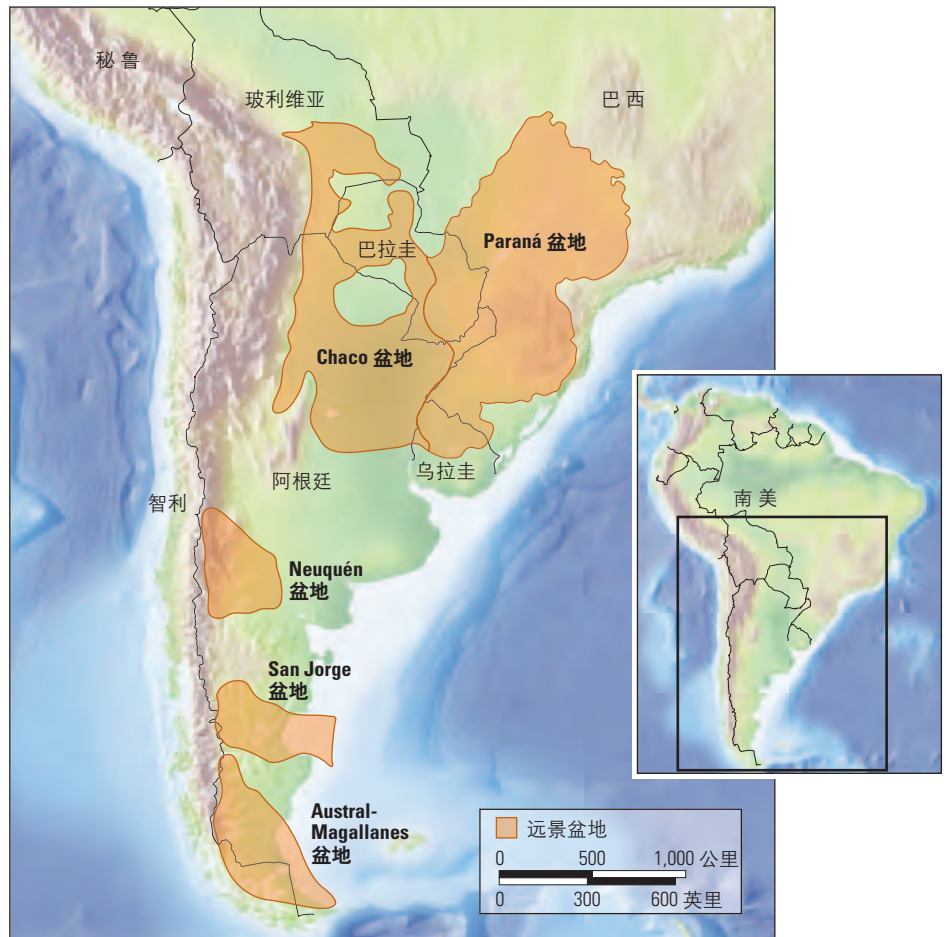
▲ 北美页岩远景区。(根据 Kuuskraa 等人的资料改编,参考文献 6)。

多家作业公司已在这些地区积极开展作业，并取得了不错的结果。三叠纪 Montney 页岩和 Doig Phosphate 位于 Deep 盆地。截至 2009 年 7 月，作业公司已在 Montney 页岩钻了 234 口水平井，天然气日产量达到 1070 万米³ (3.76 亿英尺³) [14]。

加拿大东部地区拥有多个页岩远景区，但尚未像西部页岩远景区那样得到广泛的研究。其中包括位于阿巴拉契亚褶皱带的晚奥陶纪 Utica 页岩在加拿大的部分，该页岩横跨加拿大美国边境，预计 GIP 达到 4.4 万亿米³ (155 万亿英尺³)，其中技术可采储量为 8770 亿米³ (31 万亿英尺³)。Utica 地层钻井的数量有限，试井时采出天然气，但产量较低。

位于 Windsor 盆地的湖相 Horton Bluff 页岩规模就小得多，GIP 为 2550 亿米³ (9 万亿英尺³)，预计技术可采储量为 566 亿米³ (2 万亿英尺³)。再往西，位于新不伦瑞克省 Maritimes 盆地的 Frederick Brook 页岩目前处于勘探与评价初期阶段。

墨西哥 - 在墨西哥发现了富有机质和热成熟侏罗纪与白垩纪页岩（有关富有机质页岩特征的更多信息，请参见“页岩气革命”，第 40 页）。这些页岩类似于美国相同时期的高产含气页岩，如 Eagle Ford、Haynesville-Bossier 和 Pearsall 页岩 [15]。页岩远景



▲ 南美的页岩盆地。（根据 Kuuskraa 等人的资料改编，参考文献 6）。

区位于墨西哥东北部和中东部，墨西哥湾盆地沿线。其中一些页岩勘探目标也是墨西哥部分大型常规气藏的源岩。

虽然美国 EIA 研究的墨西哥 5 个盆地的页岩气勘探作业活动很少，但预计 GIP 为 67 万亿米³ (2366 万亿英尺³)，其中技术可采储量达到 19.3 万亿米³ (681 万亿英尺³) [16]。这 5 个页岩开发目标盆地包括 Burgos 盆地（包含 Eagle Ford 和 Tithonian 页岩）、Sabinas 盆地（包含 Eagle Ford 和 Tithonian La Casita 页岩）、Tampico 盆地（Pimienta 页岩）、Tuxpan 盆地（Pimienta 和 Tamaulipas 页岩）以及 Veracruz 盆地（Maltrata 页岩）。尽管作业公司对开发墨西哥的页岩气藏兴致盎然，但许多富有机质页岩都在逆掩断层作用下形成复杂的构造，或者深度超过 5000 米 (16400 英尺)，利用当前技术无法在该深度上进行开发。最可能的目标位于北部地区，即 Burgos 和 Sabinas

盆地的 Eagle Ford 和 Tithonian 页岩。

Eagle Ford 页岩横跨得克萨斯州南部的 Rio Grande 河，既产气也产油。该地层跨过边境延伸至墨西哥的 Burgos 和 Sabinas 盆地，因此美国一侧的成功开采基本上可以确保在墨西哥一侧能够获得类似的结果。

在第一口页岩气探井中，墨西哥国家石油公司（Pemex）勘探与生产分公司最近报告在 Burgos 盆地的 Eagle Ford 页岩成功进行了天然气测试。2011 年 5 月开始生产，产量约为 84000 米³/日 (300 万英尺³/日)。Pemex 计划在不久的将来再钻 20 口井，进一步评价上述 5 个盆地的资源潜力 [17]。

南美 - 南美拥有多个含气页岩远景区（上图）。迄今为止，阿根廷是南美拥有最大资源潜力的国家，预计 GIP 为 77 万亿米³ (2732 万亿英尺³)，其中技术可采储量达到 21.9 万亿米³ (774 万亿英尺³) [18]。

12. Arthur 等人，参考文献 11。

13. Kuuskraa 等人，参考文献 6。

14. 加拿大国家能源委员会：“A Primer for Understanding Canadian Shale Gas - Energy Briefing Note”，卡尔加里：加拿大国家能源委员会（2009 年 11 月），http://www.neb-one.gc.ca/clf-nsi/rnrngynfntn/nrgyrprt/ntrlrgs/prmrndrstndngshlgs2009/prmrndrstndngshlgs2009-eng.html（2011 年 10 月 10 日浏览）。

15. Salvador A 和 Quezada-Muñeton JM: “Stratigraphic Correlation Chart, Gulf of Mexico Basin”，Salvador A (编辑): *The Geology of North America, Volume J, The Gulf of Mexico Basin*. 美国科罗拉多州 Boulder: 美国地质协会 (1991 年): 131-180。

16. Kuuskraa 等人，参考文献 6。

17. Weeden S: “Mexico Aims to Tap World’s Fourth Largest Shale Gas Reserves”，Hart Energy E&P, (2011 年 8 月 26 日)，http://www.epmag.com/2011/August/item87574.php (2011 年 9 月 20 日浏览)。

18. Kuuskraa 等人，参考文献 6。

其次是巴西, GIP 达到 25.7 万亿米³ (906 万亿英尺³), 可采储量为 6.4 万亿米³ (226 万亿英尺³)。智利、巴拉圭和玻利维亚也有相当大的资源量。乌拉圭、哥伦比亚和委内瑞拉的页岩气开发潜力有限。

位于阿根廷中西部的 Neuquén 盆地拥有极大的页岩气开发潜力。该地区已是一个大型常规与致密砂岩油气开采地。中侏罗纪 Los Molles 组地层与早白垩纪 Vaca Muerta 组地层都有富有机质沉积层。这两个深水海相页岩是 Neuquén 盆地中大多数油气田的源岩。

Vaca Muerta 组地层的某些特征非常有利于开发, 包括较高的平均总有机碳 (TOC) 含量 (4.0%)、中等深度 (2440 米, 8000 英尺) 以及超压环境^[19]。Los Molles 地层比 Vaca Muerta 地层更成熟, 平均深度为 3810 米 (12500 英尺)。尽管分布范围更大, 但由于 TOC 较低 (平均为 1.5%), Los Molles 组地层的净 GIP 要低于 Vaca Muerta 组地层。然而, Los Molles 组地层也存富有机质层段, TOC 平均值在 2% 至 3% 之间。雷普索尔 YPF 公司近期开始在 Neuquén 盆地进行钻井、完井、压裂增产和试井作业, 并在 Vaca Muerta 组地层成功完成了一口油井^[20]。阿帕奇阿根廷公司近期在 Los Molles 组地层完钻了一口页岩气井, 天然气产量较高^[21]。

巴拉圭中部 San Jorge 盆地的常规油气产量占阿根廷总油气产量的 30%。晚侏罗纪和早白垩纪 Aguada Bandera 页岩是这些油气藏的主要源岩。Aguada Bandera 页岩在盆地大部分地区拥有良好的热成熟度以及中到高的 TOC, 因此具备页岩气开采潜力。其深度在 3487 米 (11440 英尺) 至 3706 米 (12160 英尺) 之间。这些沉积层的湖相沉积环境是开发作业的潜在风险因素, 因为湖相页岩通常要比海相页岩难开采^[22]。

早白垩纪 Pozo D-129 页岩地层是另一个湖相页岩, 也位于 San Jorge 盆地。该页岩层在盆地中部的厚度为 915 米 (3000 英尺), 对这些沉积层的初步分析显示其具有中等的 TOC 值和

良好的热成熟度。该盆地中部和北部最适于页岩气勘探开发, 因为南部具有易生油的特点。

位于巴拉圭南部的 Austral-Magallanes 盆地横跨阿根廷智利边境。位于智利一侧的盆地 (Magallanes) 基本上是该国全部原油产量的来源地。该盆地的主要源岩是早白垩纪下 Inoceramus 组地层, 包含富有机质页岩沉积层。该地层厚度约 200 米 (656 英尺), 深度为 2000 - 3000 米 (6562 - 9842 英尺), 具备低至中等 TOC 值^[23]。

Chaco-Paraná 盆地幅员辽阔, 占地面积超过 1294994 公里² (500000 英里²)。该盆地覆盖巴拉圭大部和部分巴西、乌拉圭、阿根廷和玻利维亚地区。该地区勘探程度有限, 整个盆地钻井不到 150 口。泥盆纪 Los Monos 组地层包含多个海相页岩沉积层。最有开发潜力的是 San Alfredo 页岩, 该页岩是厚的均质黑色页岩, 其下是一个砂岩地层。虽然该页岩最大厚度达 3658 米 (12000 英尺), 但认为仅有 600 米 (2000 英尺) 富含有机质^[24]。有限的可用数据显示页岩基质拥有适合压裂增产的特性。

基于假设的厚度、热成熟度和含气饱和度数据, 并利用该盆地已钻井的数据, 工程师给出了保守预计数据, 即 GIP 为 59 万亿米³ (2083 万亿英尺³), 技术可采储量为 14.8 万亿米³ (521 万亿英尺³)^[25]。

欧洲 - 欧洲拥有很多页岩气远景盆地 (下一页图)。由于波兰看似具有极大的开发潜力, 因此是欧洲页岩气勘探活动最活跃的国家之一。志留纪 Baltic 和 Lublin 盆地从中北部向东南部延伸, 横跨整个国家, 以跨欧洲断层为边界。Podlasie 盆地位于这两个盆地的东侧。在地质特征和区域构造断层特征上, Lublin 和 Podlasie 盆地彼此类似, 但与 Baltic 盆地不同。这三个盆地的预计天然气地质储量 GIP 为 22.4 万亿米³ (792 万亿英尺³), 技术可采储量为 5.3 万亿米³ (187 万亿英尺³)^[26]。Podlasie 盆地某些储层特性非常好, 但 Baltic 盆地是分布范围最广、总 GIP 最高的盆地。

许多勘探公司都积极致力于波兰的勘探作业, 第一口页岩探井于 2010 年钻于 Baltic 盆地。这口垂直评价井由 3Legs 资源公司和康菲石油公司合资。BNK 石油公司在 Baltic 盆地进行了钻井和试井作业, 以志留纪和奥陶纪地层为钻探目标^[27]。

法国页岩气估算资源量仅次于波兰, 预计 GIP 为 20.4 万亿米³ (720 万亿英尺³), 可采储量为 5.1 万亿米³ (180 万亿英尺³)^[28]。这些资源主要位于巴黎盆地和东南盆地。巴黎盆地包含两个富有机质页岩层: 多尔斯阶黑色页岩和二叠纪 - 石炭纪页岩。多尔斯阶页岩热成熟度低, 含油量较高, 因此限制了其天然气资源潜力。较成熟的二叠纪 - 石炭纪页岩 (年代在宾夕法尼亚纪至晚二叠纪之间) 要比巴黎盆地北部层深更深, 勘探程度较低。页岩平均厚度在 350 米 (1150 英尺) 左右, 虽然在盆地东部边缘, 在某些孤立层段发现有厚度 2200 米 (7200 英尺) 的页岩。测井数据极少, 因此天然气资源量主要是根据外推假设来估算。

在巴黎盆地进行的大多数勘探都以页岩油为目标, 而非页岩气。然而最近, 勘探与生产公司一直在对位于气窗的深层远景区为目标进行勘探。东南盆地中最引人关注的页岩层是晚侏罗纪 Terres Noires 黑色页岩和早侏罗纪 Liassic 黑色页岩。Terres Noires 页岩的东部位于气窗内, 而西部边缘仍处于湿气 - 油窗内。由于 Liassic 页岩曾经由深层区域沿着西部边缘向上抬升, 因此通常要比 Terres Noires 页岩具有更高的热成熟度。虽然 Liassic 页岩要比 Terres Noires 页岩具有更高的资源潜力, 但其较高的粘土含量使其很难进行压裂增产。

目前, 法国暂停了对页岩油气的研究与钻探, 等待环境影响研究报告^[29]。更严重的是, 法国政府禁止了所有水力压裂作业, 并于 2011 年 6 月起执行^[30]。并未明令禁止页岩气开采, 但不使用压裂技术, 很难实现页岩气商业开采。

在法国以北，北海 - 日耳曼盆地沿着北海从比利时穿过荷兰延伸至德国东部边界。该盆地有许多具有页岩气潜力的地层，包括 Posidonia 页岩（位于荷兰和德国某些地区）、Wealden 页岩（德国）和石炭纪 Namurian 页岩（荷兰）^[31]。

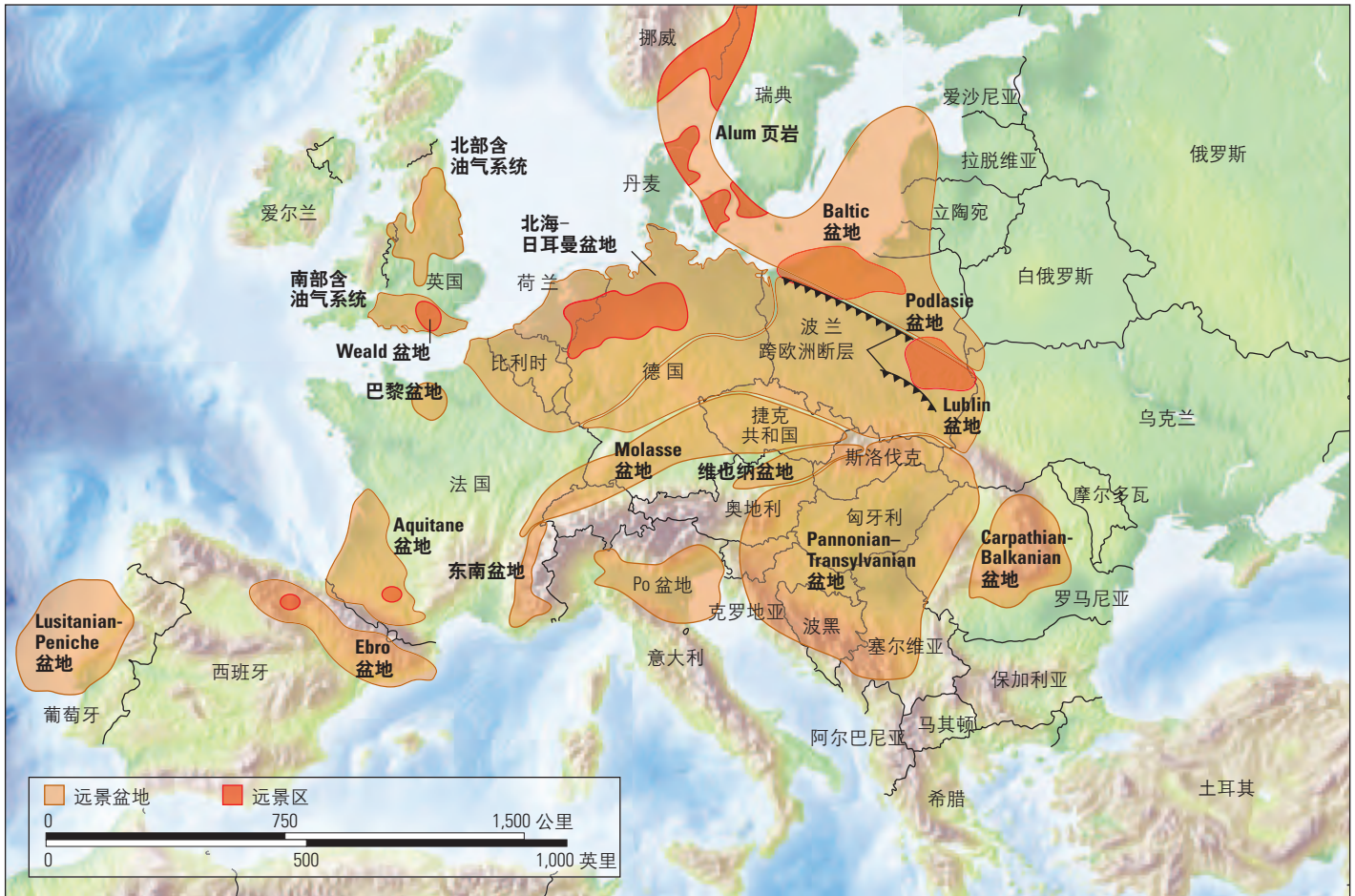
Posidonia 和 Wealden 页岩大部分热成熟度低，且仅某些孤立层段具有天然气开采潜力。这两个页岩开采潜力较低，预计 Posidonia 页岩的 GIP 为 7360 亿米³（26 万亿英尺³），可采

储量为 1980 亿米³（7 万亿英尺³），Wealden 页岩的 GIP 为 2540 亿米³（9 万亿英尺³），可采储量为 566 亿米³（2 万亿英尺³）。更深层且成熟度很高的石炭纪 Namurian 页岩预计 GIP 为 1.8 万亿米³（64 万亿英尺³），可采储量为 4530 亿米³（16 万亿英尺³）^[32]。一些作业公司目前正在德国和荷兰进行勘探作业。

再往北，Alum 页岩穿过挪威、瑞典和丹麦。位于气窗内的地区具有开采潜力，但缺乏数据。基于可用的数据，

预计 GIP 为 16.7 万亿米³（589 万亿英尺³），技术可采储量为 4.2 万亿米³（147 万亿英尺³）。

Pannonian-Transylvanian 盆地覆盖匈牙利、罗马尼亚、斯洛伐克大部分地区。在渐新世沉积于该盆地的海相地层是匈牙利大部分常规油气的主要源岩。虽然页岩暴露于很高的地热梯度下，加速了有机质的成熟过程，但富含粘土的岩石品质差，页岩气开采潜力低。勘探仍处于初期摸索阶段，一些初期测试结果令人失望。

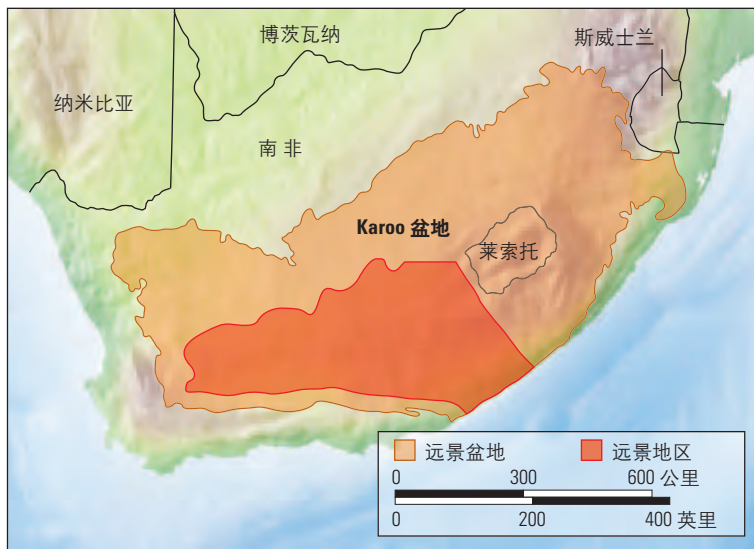
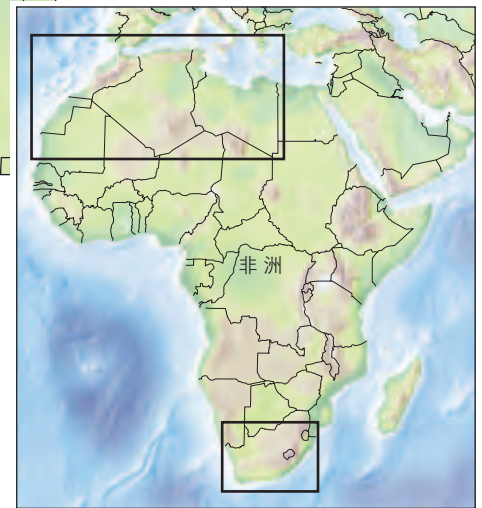
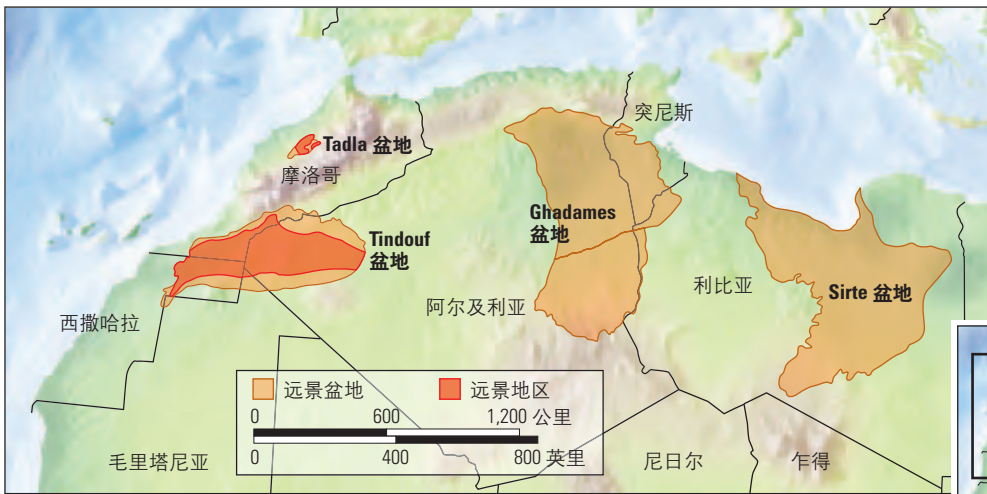


▲ 欧洲的页岩盆地。（根据 Kuuskraa 等人的资料改编，参考文献 6）。

19. TOC 决定了页岩的资源潜力。勘探目标的 TOC 值通常在 2% 至 10% 之间。
 20. OilandGasInvestor.com: “Argentina’s Neuquén Basin Shales”, http://www.oilandgasinvestor.com/article/Argentinan-Neuquen-Basin-Shales_84718 (2011 年 9 月 20 日浏览)。
 21. Natural Gas Americas: “First Horizontal Shale Gas Well Completed in Argentina”, (2011 年 8 月 19 日), <http://naturalgasforamerica.com/horizontal-shale-gas-completed-argentina.htm> (2011 年 9 月 25 日浏览)。
 22. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。

23. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。
 24. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。
 25. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。
 26. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。
 27. BNK 石油公司: “BNK Petroleum Inc. Baltic Basin Update”, (2011 年 9 月 4 日), <http://www.bnkpetroleum.com/newsletters/BNK%20Press%20Release%20Poland%20update%20Sept%204th%20final.pdf> (2011 年 9 月 5 日浏览)。
 28. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。
 29. Sheehan J: “Europe Gears Up for the Shale Gale”,

Journal of Petroleum Technology, 63 卷, 第 7 期 (2011 年 7 月): 32-37。
 30. Patel T: “France Vote Outlaws ‘Fracking’ Shale for Natural Gas, Oil Extraction”, 彭博 (2011 年 7 月 1 日), <http://www.bloomberg.com/news/2011-07-01/france-vote-outlaws-fracking-shale-for-natural-gas-oil-extraction.html> (2011 年 9 月 20 日浏览)。
 31. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。
 32. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。



▲ 非洲的页岩盆地。由于缺乏非洲大陆大部分地区的数据,因此图中只给出了南非和北非地区盆地分布。(根据 Kuuskraa 等人的资料改编,参考文献6)。

英国和爱尔兰是另外两个开展页岩气勘探的国家。英国有两大含油气系统,即石炭纪北部含油气系统和中生代南部含油气系统^[33]。这两大系统包含几个具有相似沉积史和构造史的盆地。政府在2011年5月取消了对页岩气勘探的限制,最近对这两大系统的钻探作业不断增多。

北部含油气系统的石油勘探已经有100多年的历史,该地区Cheshire盆地的Bowland页岩具有很高的开发潜力。需要更多的数据来全面评价这一资源,尤其是西部地区的资源^[34]。当前预计的GIP约为2.7万亿米³(95

万亿英尺³),技术可采储量为5380亿米³(19万亿英尺³)。近期,Cuadrilla资源公司宣布在Bowland页岩发现了5.7万亿米³(200万亿英尺³)页岩气,远远超过了该地区公布的估测数据^[35]。

自20世纪20年代以来,一直对南部含油气系统进行勘探,但在1973年发现Wytch Farm油田之前没有什么大的发现。Liassic页岩源岩天然气资源潜力有限,虽然深度为4114米(13500英尺),但热成熟度较低。可采资源量仅为283亿米³(1万亿英尺³)。Celtique Energie石油公司拥有Weald盆地Liassic页岩的开采许可证。作业

者认为可对该页岩中的湿气、凝析油和原油进行商业开采^[36]。

欧洲诸多盆地中的其他页岩层也可能具备勘探和开发潜力。其中大多数页岩都未经大规模勘探,或其数据还未对外公布,无法评价其总体资源潜力。

非洲—非洲有几个页岩盆地被认为是潜在资源远景区。由于还有常规资源尚未得到开发,因此页岩气勘探活动的报道很少(上图)。南非是一个特例,大型油公司以及独立勘探与生产公司一直在该国积极开展页岩气开采作业。

Karoo 盆地位于南非中南部，覆盖整个国家近三分之二区域。二叠纪 *Ecca* 页岩组蕴含大量天然气，预计 GIP 为 51.9 万亿米³ (1834 万亿英尺³)，技术可采储量为 13.7 万亿米³ (485 万亿英尺³)^[37]。该盆地中的页岩富含大量有机质，热成熟度高，并位于干气窗内。

北非的盆地中有多个富有机质页岩，从西撒哈拉和摩洛哥，到阿尔及利亚、突尼斯和利比亚，但大多数勘探公司都在这些地区勘探和开发常规资源。然而，与阿尔及利亚、突尼斯和利比亚不同，摩洛哥的天然气储量很低，主要依靠天然气进口来满足国内消费需求。正是由于这一原因，摩洛哥正在进行页岩气勘探作业。

Tindouf 盆地（跨越摩洛哥、西撒哈拉、毛里塔尼亚和阿尔及利亚西部）和 Tadla 盆地（位于摩洛哥中部）是页岩气勘探与开发的目标。这些志留纪页岩的 GIP 预计为 7.5 万亿米³ (266 万亿英尺³)，技术可采储量为 1.5 万亿米³ (53 万亿英尺³)^[38]。摩洛哥的勘探活动包括地震采集和勘探钻井，最近才刚开始，仍处于初期阶段。San Leon 能源公司已表示对页岩气勘探感兴趣，但目前该公司正在摩洛哥西部进行油页岩勘探^[39]。

勘探与生产公司继续在上述地区以及非洲西海岸沿岸进行勘探、生产和开发常规资源，除这些地区外，非洲其余大部分地区仍处于未勘探状态。由于缺乏信息，钻探活动少，因此目前该地区进行页岩气开发的环境较差。

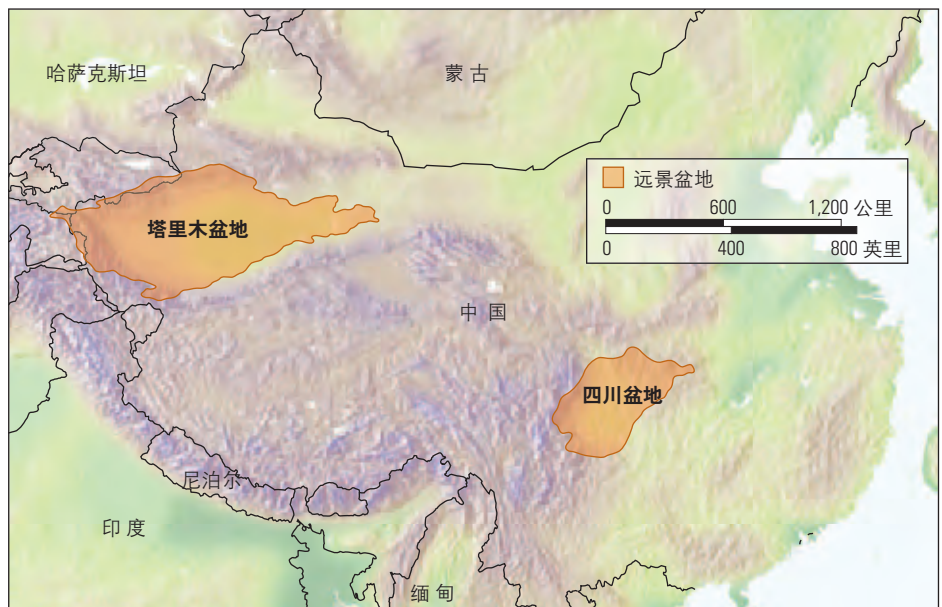
中国 - 中国已发现许多有希望成为远景区的富有机质页岩（右上图）。预计 GIP 达到 144.4 万亿米³ (5101 万亿英尺³)，技术可采储量为 36.1 万亿米³ (1275 万亿英尺³)，资源潜力可与北美相匹敌^[40]。西南部的四川盆地和西部的塔里木盆地是两大沉积盆地。这两大盆地都有很厚的富有机质页岩层，分布范围很广，具备有利于开发的储层特性。

在四川盆地发现了成熟度很高的海相页岩，即早寒武世页岩（筇竹寺组）和下志留统页岩（龙马溪组）。由于在探井中发现了气显示，勘探公司对这两个地层十分感兴趣。这些地层的低粘土含量也是一大优势，使其很适于进行压裂增产作业。然而，也存在大量褶皱和断层，构造十分复杂，增加了未来开发作业的风险。

作业公司目前正在四川盆地进行评价和测试，尚未有商业开采作业。然而在 2010 年，中石化（Sinopec）宣布在四川盆地两个不同区域（东北部的元坝和东南部的涪陵）的试井作业中获得了工业气流^[41]。

中国西部的塔里木盆地是世界最大的勘探盆地之一。具有页岩气资源潜力的页岩是寒武纪和奥陶纪地层，这些页岩层还是该地区常规碳酸盐岩油藏的源岩，该地区常规油气藏的储量为 7.95 亿米³ (50 亿桶) 油当量。然而该地区位于塔克拉玛干沙漠，属于干旱环境，很难找到压裂作业所需的水源。

满加尔和阿瓦提凹陷的寒武纪页岩厚度超过 1 千米 (3280 英尺)，都位于干气窗内。这些页岩的埋藏深度很深，但储层品质较高，如低粘土含量、干气、中等 TOC 和良好的孔隙度，这些都使其成为勘探和评价的主要目标。



▲ 中国的页岩盆地。（根据 Kuuskraa 等人的资料改变，参考文献 6）。

33. Kuuskraa 等人，参考文献 6。

34. Kuuskraa 等人，参考文献 6。

35. Chazan G: "U.K. Gets Big Shale Find", *The Wall Street Journal* (2011 年 9 月 22 日), <http://online.wsj.com/article/SB10001424053111904563904576584904139100880.html> (2011 年 9 月 26 日浏览)。

36. Celtique Energie 石油公司: "Central Weald - Further Data", http://www.celtiqueenergie.com/operations/uk/southern_england/central_weald_data.html (2011 年 9 月 21 日浏览)。

37. Kuuskraa 等人，参考文献 6。

38. Kuuskraa 等人，参考文献 6。

39. Petroleum Africa: "San Leon Moves Toward Moroccan Shale Oil", (2011 年 6 月 28 日), <http://www.petroleumafrika.com/en/newsarticle.php?NewsID=11703> (2011 年 9 月 1 日浏览)。

40. Kuuskraa 等人，参考文献 6。

41. 路透社: "Sinopec Strikes Shale Gas Flow in Sichuan Basin", (2010 年 12 月 23 日), <http://www.reuters.com/article/2010/12/23/sinopec-shale-gas-idUSTOE6BM03X20101223> (2011 年 9 月 27 日浏览)。

满加尔凹陷奥陶纪页岩比寒武纪页岩具有更大的资源潜力，其富有机质页岩层净厚度为1600米(5250英尺)。阿瓦提凹陷奥陶纪页岩的厚度约为400米(1300英尺)。遗憾的是，对于页岩开发来说这些页岩埋藏深度太深，使用现有技术无法进行开发。截至目前尚未有针对塔里木盆地页岩勘探与评价活动的报告^[42]。

中国还有另外五个沉积盆地，但均为陆相盆地且热成熟度很低，但这并未影响对这些盆地的勘探和潜能评价。根据初步勘探结果，这五个盆地并不具备页岩气开发潜力，但仍在继续采集和评价相关数据。

印度和巴基斯坦—印度的多个盆地都包含富有机质页岩，但仅有四个

盆地被作为勘探重点，而巴基斯坦仅有一个页岩远景盆地(下图)。其他盆地不是热成熟度低，就是数据太少，无法进行全面评价。这五个盆地包括Cambay盆地(印度西部)、Krishna-Godavari盆地(印度东海岸沿岸)、Cauvery盆地(印度南部)、Damodar Valley盆地(印度东北部)和Southern Indus盆地(巴基斯坦东南部)。这五个盆地的综合GIP预计为14万亿米³(496万亿英尺³)，技术可采储量为3.2万亿米³(114万亿英尺³)^[43]。由于构造活动，印度和巴基斯坦的盆地地质构造都比较复杂。

印度 Krishna-Godavari 盆地的 Kommugudem 页岩似乎具有最大的开采潜力，其次是 Cambay 盆地的

Cambay 页岩。通过对 Damodar Valley 盆地 Barren Measure 页岩的分析，发现该盆地是印度四个盆地中资源开发潜力最小的盆地。

印度目前正在进行勘探作业，并取得了一定的成果。虽然分析显示 Damodar Valley 盆地二叠纪 Barren Measure 页岩具有较低的商业开采价值，但却是印度第一口页岩气井的所在地。RNSG-1 井井深 2000 米(6562 英尺)，由印度石油天然气公司(ONGC)钻探，是美国和加拿大以外地区第一批具有商业开采产量的气井之一^[44]。作业公司计划在该盆地钻更多的探井和评价井。

巴基斯坦 Southern Indus 盆地中有两个富有机质页岩：Sembar 和 Ranikot 页岩。目前没有针对这些地层的页岩气勘探与开发公开的数据。根据之前的数据，预计 GIP 为 5.8 万亿米³(206 万亿英尺³)，技术可采储量为 1.4 万亿米³(51 万亿英尺³)^[45]。

澳大利亚—澳大利亚作业公司在非常规资源，包括致密气和煤层气(CBM)开发方面有很长的历史。由于CBM开发和页岩气开发所用的设备和技术相似，因此可以很好地借鉴CBM开发方面的经验。然而，具有页岩气资源潜力的四个主要盆地与CBM气田不在相同区域。这四个主要盆地包括Canning盆地、Cooper盆地(澳大利亚主要陆上常规资源产量的盆地)、珀斯盆地和Maryborough盆地(下一页图)。这些盆地的预计GIP达到39.1万亿米³(1381万亿英尺³)，技术可采储量为11.2万亿米³(396万亿英尺³)。

Canning 盆地奥陶纪 Goldwyer 组地层是澳大利亚可采资源量最大的地层，其覆盖范围最广。然而该地区勘探程度很低，目前缺乏开发所需的基础设施。前不久作业公司开始在该地区进行常规油气开采作业，该盆地的首个商业石油发现是在1981年。预计可采天然气为6.5万亿米³(229万亿英尺³)，由于仅钻了60口井，产量数据还有待进行进一步勘探和分析。



▲ 印度和巴基斯坦的页岩盆地。(根据 Kuuskraa 等人的资料改编, 参考文献6)。

42. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。

43. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。

44. LNG World News: “India: ONGC Finds Shale Gas near Durgapur”, (2011 年 2 月 4 日), <http://www.lngworldnews.com/india-ongc-finds-shale-gas-near-durgapur/> (2011 年 9 月 11 日浏览)。

45. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。

46. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。

47. 构造稳定的沉积盆地的地热梯度范围通常在 0.45°C – 0.92°C/30 米(0.82°F – 1.65°F/100 英尺)之间。

48. Kuuskraa 等人, 参考文献 6。



▲ 澳大利亚的页岩盆地。(根据 Kuuskraa 等人的资料改编, 参考文献 6)。

Cooper 盆地是澳大利亚主要的陆上天然气生产盆地, 常规和低渗透气藏的天然气产量约为 1400 万米³/日 (5 亿英尺³/日)。通常通过水力压裂技术开采低渗透致密气藏。因此, Cooper 盆地拥有开采页岩气所需的专业技术和水力压裂设备^[46]。

Cooper 盆地二叠纪 Roseneath 和 Murteree 页岩似乎有利于进行页岩气开发。其厚度为 50 - 100 米 (165 - 330 英尺)。Epsilon 地层是该盆地另一个地层, 主要是砂岩与碳质页岩和煤层的混合。作业公司通常将这三个目标层一起进行综合考虑, 并将其称作 REM 地层。

这三个地层属于湖相沉积以及烃源岩属 III 型干酪根, 通常不是页岩气开发的目标, 但 REM 地层也有一些有利开发的特征。地层粘土含量低, 使得更容易对其进行水力压裂作业。此外, 通常具有极高的地热梯度 - 1.4°C/30 米 (2.55°F/100 英尺), 部分区域高达

1.9°C/30 米 (3.42°F/100 英尺), 加速了源岩的成熟过程^[47]。

作业公司仍在进行初期勘探, 目前正在对 Cooper 盆地进行评价和测试。该盆地至少已钻了一口探井, 某勘探与生产公司正在对岩心进行分析, 以获得含气量和岩石力学特性数据。Santos 能源公司和 Beach 能源公司是该地区最活跃的致力于含气页岩勘探的两大公司。

珀斯盆地相对较小。该盆地陆上部分的海相沉积层具有开采潜力, 但大部分目标层太深, 不利于页岩气开发。Dandaragan 海槽北部地区的地层是有潜力的源岩。一些年代较近的海相页岩 (如二叠纪 Carynginia 和 Kockatea 页岩) 地热梯度高、TOC 中到高, 具有很好的开发前景^[48]。

Maryborough 盆地位于澳大利亚东海岸。该地区没有常规油气生产, 用于评价其潜能的数据也十分有限。作业公司仅有 5 口探井的数据, 需要

更多的信息才能全面描述该地区页岩气资源潜力。但白垩纪 Maryborough 组地层 (很厚的海相地层) 确实有很好的开发前景。最新的估算天然气技术可采储量为 6510 亿米³ (23 万亿英尺³), 并且在未进行勘探的南半部盆地进行评价后, 该估算结果还可能会增加。

全球各地还在进行其他勘探活动。一些地区, 如中东和俄罗斯, 有着巨大的页岩气资源潜力, 但由于常规资源开采很容易, 因此未对页岩气资源进行大规模开发。急需能源和资源匮乏的国家是目前勘探活动的主要地区。

发展前景

能源是现代经济发展的命脉。二十年前, 美国发出了严重警告, 即天然气供应在迅速萎缩, 急需替代资源。因此建议从其他国家进口 LNG。而如今情况却大不相同。由于作业公司掌握了非常规天然气 (主要为页岩气, 也包括 CBM) 的开采技术, 因此美国目前拥有丰富的天然气资源, 并确保长期可靠供应。世界许多地区的作业公司目睹了北美取得的成功, 正在迎头赶上。

钻井和油藏工程师曾经将页岩作为勘探开发中的一个不利因素, 并认为从页岩中进行天然气商业开采根本不现实。但油气行业始终不断地开发新的技术, 探寻新的方法, 加大对油气资源的开发力度。在全球页岩气开发革命浪潮的推动下, 勘探公司在挖掘页岩油气资源潜力方面已经迈出了重要的一步。

- TS