

深部未发现天然气资源 ——美国地质调查局对本土的评价

T. Dyman J. Schmoker D. Root(美国地质调查局)

摘要 介绍了美国地质调查局(USGS)对美国深部未发现天然气的评价方法及评价结果,简要比较了USGS评价结果与其它评价机构评价的差异,列出了美国深部天然气资源评价工作的发展方向。

关键词 深部气 未发现天然气 常规远景区 非常规远景区 美国

美国地质调查局1995年估计在美国沿岸地区总计有 $39.96 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的技术可采的未发现天然气资源。其中 $3.23 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 属沿岸地区和国家海域深部沉积盆地中未发现的天然气。这些深部($\geq 4572 \text{ m}$)天然气藏广泛分布于不同的地质背景中(图1)。大部分资源集中在墨西哥湾沿岸、阿拉斯加、中大陆和洛基山盆地。随着深井钻探技术的提高和深部沉积盆地知识的增加,使得发现深部资源将成为可能。

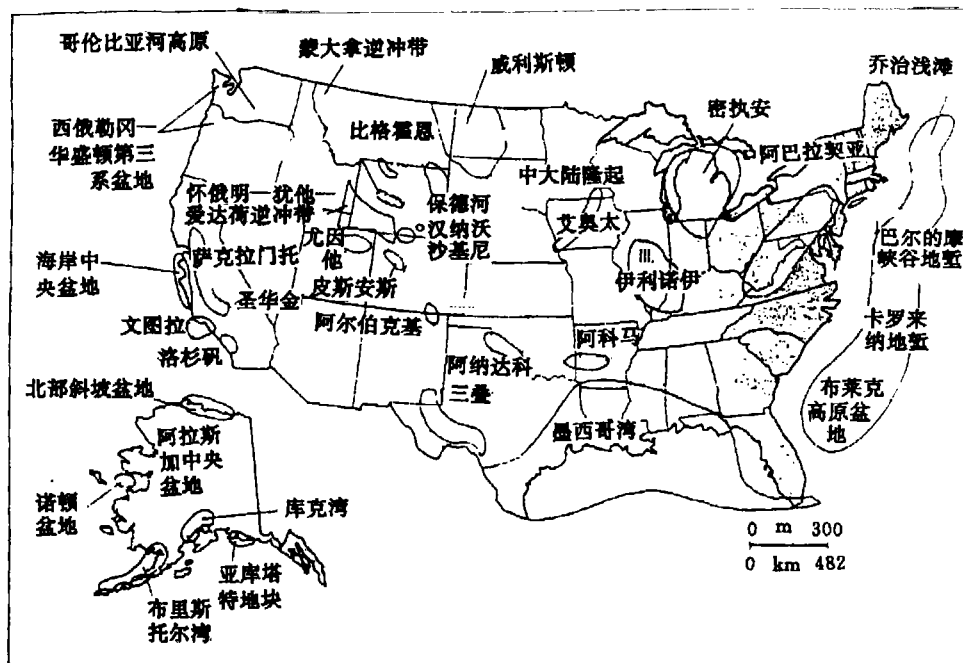


图1 含沉积岩深度超过4572 m的盆地

1995年USGS国家石油评价委员会识别出162个深部常规天然气远景区和11个深部非常规(连续)天然气远景区。

对 101 个常规远景区和 6 个非常规远景区未发现的技术可采天然气进行了定量评价。Dyman 等对深部天然气远景区做了更详细的讨论:①描述了由 USGS 部门地质工作者提供的深部气远景区;②从上述远景区评价了未发现的技术可采天然气;③比较了 USGS 的评价与其它近期有关评价。有关深部天然气远景区和图件详细的讨论请参考 1995 年 USGS 国家石油评价委员会的 CD-ROM。联邦近海水域由美国矿业管理局(MMS)进行评估,但对近海远景区未按深度进行细分。

1 评价方法

1.1 常规远景区

1995 年 USGS 的评价是基于远景区分析的思想。一个远景区被认为是当前证实的(已发现的)或假设的(未发现超过 $1.70 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的重要气田)。

通过野外分布区域大小、已知堆积数量、生产深度和其他地质和生产因素对证实的远景区进行分析。假设的远景区则通过地质类似物或基于地质、地球物理和地球化学数据的模拟模型来分析。假设的远景区是假定至少能发现一个重要气藏。

利用远景区性质和其他数据,以及未探明气田的估计数量和规模进行 Monte Carlo 模拟建立资源评价。这些估计提供了一个取值的范围(F95, F50, F5)和平均数(算术平均),F95 代表估计资源 20 次中至少出现 19 次,F5 代表 20 次至少出现 1 次。

按 1 524 m 深度间隔对未发现的天然气资源细分。深度超过 4 572 m 被认为是一个带。

1.2 非常规远景区

通过 USGS 开发的一种特殊方法对非常规远景区进行评价。非常规远景区的气是多种多样的,包括煤层甲烷、生物气、页岩裂隙气和盆地中央气藏。非常规远景区具有大的潜在生产区,不能用具有下倾烃和水包围的气田或分离单元来定义。与常规远景区一样,按 1524m 深度间隔对非常规远景区分带,深度超过 4 572 m 被认为是一个带。

2 深部未被发现的天然气远景区和资源

USGS 估计,大约 $3.23 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 技术可采未探明天然气等待从美国沿岸和国家水域深部沉积盆地中去发现(表 1)。油田伴生气仅在油气省尺度作了评价。

除表 1 所列的 101 个深部常规远景区外,还识别出 60 个其它常规天然气远景区,但未进行定量评价,因而也未在表 1 列出。

表 2 给出了 6 个非常规远景区的名称、深度范围和深部气资源量。表 2 列出的另外 5 个远景区因缺乏地质信息未进行评价。

2.1 深部常规天然气

USGS 估计在阿拉斯加 48 个地区海岸和国家水域的 101 个深部常规近岸远景区大约有 $1.56 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 技术可采未探明天然气,大部分深部常规天然气资源($1.27 \times 10^{12} \text{ m}^3$)位于墨西哥湾沿岸和阿拉斯加。

图 2 显示累积未探明深部常规天然气资源所占 101 个深部远景区包含估计资源量的百分比。

表 1 未发现的技术可采深部常规天然气资源 (10^8 m^3)

区域和油气省	远景区编号和名称	状态 ¹	可能度 ²	深度(m)		气体份额 ³	
				最小值	中值	最大值	非伴生气
区域 1 阿拉斯加(4999.03; 76.81 = 5075.83) ⁴ 北阿拉斯加(4969.03; 36.17)	102 特伯迪特	C	1.0	152.4	2438.4	7620	0.2
	105 埃斯特米尔—博福特碎屑岩	C	1.0	609.6	3048	7924.8	1.0
	106 利斯本	H	0.5	2743.2	7620	9144	1.0
	109 褶皱带	C	1.0	30.48	1219.2	7620	0.8
南阿拉斯加(21.51; 40.64) 区域 2 太平洋(58.95; 96.59 = 155.54) 西俄勒冈和华盛顿(4.30; 0.85)	110 西逆冲带	H	0.2	304.8	3048	10568	0.6
	111 东逆冲带	C	1.0	609.6	3962.4	7620	0.7
	303 库克湾—贝卢—斯特灵气区	C	1.0	609.6	1219.2	6096	1.0
	403 皮尔特低地深部气区	H	0.1	3048	4572	6096	1.0
索诺马—利弗莫尔盆地(0.17; 0.03) 萨克拉门托盆地(26.80; 0.00) 文拉图盆地(27.68; 19.05)	404 托非诺—富卡盆地气区	H	0.2	152.4	1828.8	6096	1.0
	801 索诺马—利弗莫尔	C	1.0	304.8	1828.8	4876.8	0.5
	902 南福布斯—基奥勒	H	0.4	1219.2	2438.4	6096	1.0
	903 西温特斯地堑—多明基恩	C	1.0	609.6	2133.6	4876.8	1.0
区域 3 科罗拉多高原、盆地和山脉(35.94; 0.76 = 36.70) 爱达荷斯勒克河沉降带(0.59; 0.00) 西格雷特盆地(0.34; 0.00) 东格雷特盆地(11.83; 0.48)	1301 早第三系海岸	C	1.0	304.8	2133.6	6096	0.4
	1311 早第三系近岸水域	C	1.0	1219.2	2438.4	6096	1.0
	1701 迈欧纪湖泊(布鲁诺湖)	H	0.2	1524	2133.6	4572	0.6
	1803 二叠—三叠系内华达西北和俄勒冈中东和东部	H	0.2	1524	3048	7620	0.5
尤因塔—皮斯盆地(2.24; 0.28) 帕拉多克斯盆地(1.84; 0.00) 阿尔伯克基盆地—桑蒂非隆起(14.21; 0.00) 北亚利桑那(4.90; 0.00) 区域 4 落基山脉(526.15; 24.59 = 550.75) 蒙大拿逆冲带(74.63; 0.03)	1902 上古生界	H	0.2	914.4	2438.4	6096	0.2
	1905 年轻的第三系盆地	H	0.5	1981.2	3657.6	6096	0.7
	1907 塞维尔前缘带	H	0.1	1828.8	4267.2	6096	0.6
	2014 盆地边缘次逆冲带	H	0.4	914.4	2133.6	6096	0.8
西南藏大拿(8.55; 0.00) 威利斯顿盆地(3.79; 0.00) 比格霍恩盆地(16.53; 0.00)	2104 二叠—宾西法尼亚阶边缘碎屑岩	H	0.5	2438.4	3657.6	6096	0.8
	2301 阿尔伯克基盆地	H	0.3	1828.8	2743.2	6096	0.5
	2403 上元古界(丘阿兰源岩)和下古生界	C	1.0	914.4	3657.6	5791.2	0.95
	2701 因布里克特逆冲带气区	H	0.5	152.4	2743.2	6096	1.0
比格霍恩盆地(16.53; 0.00)	2704 海伦娜凸起气区	H	0.3	609.6	2438.4	4876.8	0.8
	2706 第三系盆地油区	C	1.0	304.8	1524	6096	1.0
	2901 克雷齐山和盆地白垩系气区	H	0.4	1219.2	3657.6	6096	0.4
	2904 贝尔图斯前缘油区	H	0.2	60.96	3657.6	5486.4	0.8
比格霍恩盆地(16.53; 0.00)	2907 第三系盆地油区	C	1.0	3657.6	—	4876.8	1.0
	3107 前红河气区	H	0.5	1524	3657.6	6096	0.3
	3401 盆地边缘次逆冲带	C	1.0	2438.4	4267.2	6096	1.0
	3403 深部盆地构造	C	1.0	2438.4	4267.2	6096	1.0

续表

4741 下中新统斜坡和扇相砂岩气区	C	1.0	2438.4	4267.2	6096	1.0	317.87\
4742 中中新统河流相砂岩气油区	C	1.0	304.8	3048	5181.6	0.8	19.39
4743 中中新统三角洲相砂岩气油区	C	1.0	2438.4	4267.2	6096	0.8	37.33
4744 上中新统斜坡和扇相砂岩气油区	C	1.0	304.8	2438.4	4876.8	0.4	0.99
4745 上中新统三角洲相砂岩气油区	C	1.0	1219.2	4267.2	6096	0.6	27.39
4901 皮尔萨斯蒙特丘翼部油气区	C	1.0	1219.2	3048	4876.8	0.7	9.03
4903 诺夫利特莫比尔湾深部气区	C	1.0	5181.6	6096	7315.2	1.0	1488.47
4904 诺夫利特威金斯—汉考克斜气区	H	0.6	3962.4	5181.6	6400.8	1.0	66.02
4905 诺夫利特盐盆油气区	C	1.0	2438.4	3657.6	5181.6	0.0	60.39
4907 诺夫利特东南边缘杰克逊穹隆侧翼深部气区	H	0.5	6096	6705.6	7315.2	1.0	31.44
4909 斯马科弗威金斯—鲍德温翼部气区	C	1.0	3657.6	4876.8	6096	1.0	100.89
4910 斯马科弗亚拉巴马/佛罗里达周边断层带油气区	C	1.0	3048	4572	6096	0.3	90.53
4912 斯马科弗盐盆气油区	C	1.0	2438.4	3657.6	5486.4	0.6	51.08
4913 斯马科弗杰克逊穹隆侧翼气区	C	1.0	6096	6400.8	7010.4	1.0	73.52
4918 海恩斯维尔盐盆气油区	C	1.0	1828.8	4267.2	6096	0.9	107.52
4920 吉尔摩灰岩气区	C	1.0	3048	4267.2	5486.4	1.0	103.86
4922 卡顿瓦利盐盆气区	C	1.0	2438.4	4267.2	6096	1.0	44.09
4926 霍斯顿/特拉维斯皮克盐盆气区	C	1.0	1219.2	3657.6	5486.4	1.0	68.15
4929 斯莱格/佩蒂特盐盆气区	C	1.0	1524	3357.8	4876.8	1.0	4.58
4931 詹姆斯石岩气区	C	1.0	2438.4	3357.8	4876.8	0.8	17.26
4933 格伦罗斯/罗德萨盐盆气区	C	1.0	914.4	3048	4876.8	1.0	14.80
5101 前寒武系中大陆断裂系统	H	0.4	1524	3048	7620	0.6	24.20
5801 深部构造气区	C	1.0	3962.4	5181.6	12192	1.0	217.91
5812 深部地层气区	C	1.0	3962.4	4572	9144	1.0	367.14
6101 深部气区	C	1.0	3962.4	4572	12192	1.0	30.51
6207 石英系浊积岩逆冲带气区	H	0.2	1828.8	3962.4	6096	1.0	0.99
6405 伊利诺依盆地—拉克里克地堑	H	1.0	1371.6	3657.6	5791.2	1.0	29.06
6501 寒武和奥陶系碳酸盐岩	H	1.0	304.8	3048	7620	0.8	11.97
6502 上密西西比阶砂岩	C	1.0	762	2438.4	4876.8	0.8	3.99
6505 泥盆系燧石和砂岩	H	0.8	609.6	2438.4	5486.4	1.0	1.44
6701 罗马地堑	H	0.8	1828.8	3048	7620	1.0	7.56
6702 上寒武、奥陶和中/下志留统逆冲带	C	1.0	304.8	3048	6096	1.0	11.35
6703 比克曼城/诺克斯碳酸盐岩/气区	C	1.0	762	3048	5486.4	0.5	7.61
6704 罗斯郎/盖茨博格/特里萨砂岩气区	C	1.0	1524	2743.2	6096	1.0	10.16

区域7 中大陆(640.74; 0.00=640.74)

苏必利尔(24.20; 0.00)

阿纳达科盆地(585.05; 0.00)

南俄克拉荷马(30.51; 0.00)

阿科莫盆地(0.99; 0.00)

区域8 东部(83.15; 0.00=83.15)

伊利诺依盆地(29.06; 0.00)

黑茨里尔盆地(17.40; 0.00)

阿巴拉契亚盆地(36.68; 0.00)

注1: C为当前证实远景区, H为假设远景区;

注2: 假设远景区存在1.70×108m³未发现天然气的最小可能度;

注3: 表示未发现的非伴生气所占远景区的份额;

注4: 第一个数据为非伴生气, 第二个数据为油田伴生气, 等号后数据为总量。

表2 未发现的技术可采深部非常规天然气远景区

油气省号和名称	油气远景区名称(编号)	深度(m)			未发现的天然气 (10^9 m^3)
		最小值	中值	最大值	
04 西俄勒冈—华盛顿	维拉米特—皮吉特松德盆地中央气(412)		未评价		—
05 东俄勒冈—华盛顿	歌伦比亚盆地—盆地中央气(503)	2895.6	3962.4	5334	74.60
14 落杉矶盆地	向斜中央深部超压岩石(1408)		未评价		—
20 尤因他—皮切安斯盆地	尤因他梅萨弗德深部向斜(2020)	4572	5486.4	7315.2	16.13
34 比格霍恩盆地	盆地中央气(3404)		未评价		—
35 温德河盆地	盆地中央气(3505)		未评价		—
37 西南怀俄明	格林河盆地—克洛弗利—弗蒂尔(3740)	3505.2	5181.6	6705.6	707.61
	格林河盆地—梅萨弗德(3741)	2590.8	4572	6431.3	731.50
	格林河盆地—刘易斯(3742)	3200.4	3657.6	5791.2	120.70
	格林河盆地—尤宁堡(3744)	2895.6	3109.0	5181.6	2.69
58 阿拉达科盆地	中大陆伍德弗德/查塔努加/阿肯色致密石英岩(5811)		未评价		—

最重要的深部天然气远景区是北阿拉斯加东部逆冲带远景区,其有 $28.58 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 未探明深部天然气。墨西哥湾沿岸的塔斯卡卢萨深部砂岩和诺夫利特·莫比尔湾远景区分别包含 $15.00 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 和 $13.58 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 未探明深部天然气。这3个远景区总计占深部未发现天然气资源量的35%。

101个常规深部天然气远景区中,20个远景区最大深度范围为6 096~7 620 m,5个远景区最大深度范围为7 620~9 144 m,3个远景区深度超过9 144 m。70个远景区得到了确认(已进行生产),31个远景区为假设的。已确认的59个远景区有超过估计资源量一半的非伴生气。

2.2 深部非常规天然气

据USGS估计数据预测在美国沿岸和国家水域存在 $1.65 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 技术可采深部非常规天然气(表2)。

在11个识别出的深部非常规天然气远景区中,USGS对6个进行了定量评价。进行定量评价的4个远景区位于怀俄明大格林河r盆地白垩和第三系的低渗砂岩储层中,其占非常规深部天然气资源的主要部分。

位于格林河盆地中的2个最大的深部非常规天然气远景区梅萨贝尔德和克洛弗利—弗兰蒂尔资源量分别为 $0.74 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 和 $0.71 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (图3)。

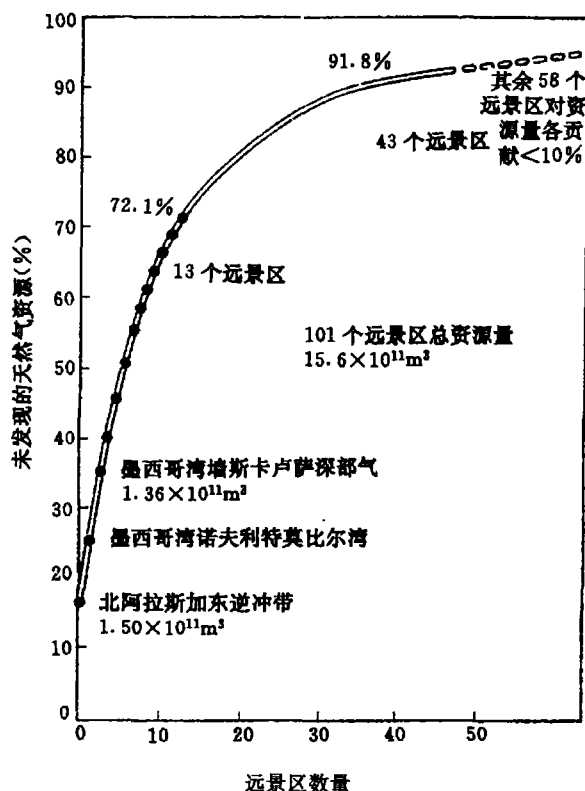


图2 未发现的深部常规天然气

随着对盆地中央气藏认识的增加,定义其它的深部非常规天然气远景区成为可能。例如,深部非常规天然气远景区可以位于阿拉斯加和加利福尼亚沿岸盆地内部和洛基山盆地,如克雷齐山、拉顿、保德河和温德河远景区。

2.3 评价方法比较

4 个单位近期对国家未发现深部天然气资源按区域和深度间隔进行了评价(表 3)。

每一种评价都基于一种独特的评价方法和程序并用于某种不同的地质区域、定义和资料来源。例如,天然气研究所(GRI)总量中不包括阿拉斯加深部天然气,因为 GRI 未对阿拉斯加的资料按深度细分。国家石油委员会(NPC)未评价阿拉斯加深部天然气,天然气预测委员会(PGC)的评价仅忽略了阿拉斯加盆地的深部天然气。

对这 4 种评价的简要比较。

4 种评价都显示出墨西哥湾沿岸和洛基山地区存在大量的深部天然气(表 4),尽管对这两个地区估计值呈现出很大差异。

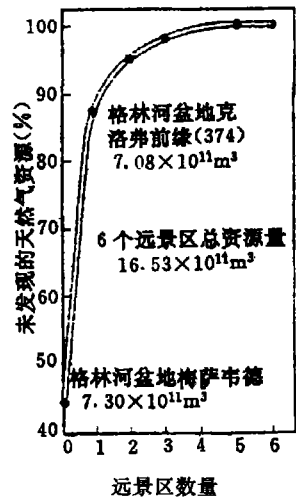


图 3 未发现的深部天然气

表 3 未发现天然气分区评价(深度≥4 572 m,10⁹ m³)^{*}

区域	国家石油委员会(1992)			天然气预测委员会	美国地质调查局(1995)			天然气研究所
	常规	非常规	总计	(1995)总计	常规	非常规	总计	(1995)总计
阿拉斯加	未评价			0	507.59	0	507.59	■
太平洋	120.50	0	120.50	41.04	15.57	74.23	90.16	139.12
洛基山	331.90	254.47	586.40	1025.42	55.07	1562.50	1617.57	1253.78
科罗拉多高原	★	★	★	★	3.68	16.13	19.81	★
西德克萨斯— 东新墨西哥湾	348.88	0	348.88	★	133.15	0	133.15	926.37
墨西哥湾沿岸	711.01	25.95	736.96	1262.18	776.52	0	776.52	1868.76
中大陆	464.52	154.83	619.35	996.27	64.07	0	64.07	965.96
美国东部	61.10	0	61.10	362.24	8.32	0	8.32	60.36
总计	2037.91	435.28	2473.19	3687.15	1563.97	1653.23	3222.83	5214.36

注: * 数据包括油田伴生气和非伴生气;
■ GRI 对阿拉斯加的数据未按深度划分,故未包括在内(GRI 对阿拉斯加未发现资源评价总量是 3 437.12×10⁹ m³);
★ 评价结果列入表中其他区域。

总的来说,GRI 对未发现的深部天然气资源量预测最高为 5.21×10¹² m³。GRI 将其评价的深部天然气资源的最大部分放在墨西哥湾沿岸。

表 4 未发现的深部天然气(10¹⁰ m³)

评价机构	墨西哥湾沿岸	洛基山盆地	总量	中大陆盆地	二叠盆地	总量
NPC	73.58	59.43	133.01	62.26	33.96	96.22
PGC	127.35	101.88	229.23	62.26	36.79	99.05
USGS	76.41	161.31	237.72	5.66	14.15	19.81
GRI	186.78	124.52	311.30	96.22	93.39	189.61

对中大陆和二叠盆地深部天然气资源量估计也存在差异,其包含比墨西哥湾沿岸和洛

基山地区少的估计资源量(表 4)。

与其它 3 种方法相比,USGS 对中大陆和二叠盆地深部天然气的估计值明显偏低,对洛基山地区的预测部分明显偏高,因为其中包括了非常规远景区。

3 今后研究领域

从 USGS 和其它单位对深部天然气评价中可以反映出今后研究的一些领域。

(1) 不断更新当前(或潜在)深部天然气远景区气藏特征和生产信息,对 1995 年粗略评价的优先远景区进行重新评价,其数据将用于建立地质环境,保护和提高深部地层的储集特征。

(2) 进行地质研究以确定一些盆地中深部常规和非常规远景区存在的空间关系。常规圈闭的深部天然气远景区位于盆地中央,连续天然气远景区下倾入阿巴拉契亚盆地、阿纳达科盆地、保德河盆地和其它盆地中。

(3) 定量评价已确定的非常规(盆地中央)远景区,但不是对先前可获得准确地质资料的远景区进行评价。在 USGS1995 年的评价中,有 61 个深部常规和 5 个深部非常规远景区因缺乏基础地质信息还未进行评价。

(4) 进行深部天然气藏的经济分析。经济分析将提供深部天然气资源的短期、中期和长期供应信息。

(5) 确定盆地中先前未评价的非常规(盆地中央)远景区。这些盆地中央的远景区可能包含大量未发现的技术可采深部天然气。

郑军卫 译自 Oil & Gas Journal,1998,96(16):99~104.