

中国非常规油气的潜力和发展

胡文瑞¹, 翟光明¹, 李景明²

(1. 中国石油天然气集团公司, 北京 100724; 2. 中石油煤层气公司, 北京 100028)

[摘要] 概述了国外和我国非常规油气资源开发利用状况, 分析了我国发展非常规油气存在的困难, 提出了加快发展我国非常规油气的对策与建议。

[关键词] 非常规油气; 勘探开发; 技术; 潜力; 对策

[中图分类号] TE1 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)05-0025-05

1 前言

非常规油气资源主要包括煤层气、页岩气、致密砂岩气、页岩油、超重油及油砂矿、天然气水合物等。当前, 非常规油气资源作为最现实的接替能源, 在世界能源结构中扮演着日益重要的角色^[1]。在我国, 随着工业化进程的加快, 能源消费需求快速增长, 能源供应安全及能源环境与可持续发展等问题日益突出。2009年, 我国生产原油 1.89×10^8 t, 进口原油 1.99×10^8 t, 我国原油依存度 51.3%。能源问题是制约我国可持续发展的大问题, 破解这个难题, 我国要大力开展非常规油气的开发利用。

中国非常规油气资源非常丰富。国家在 2008 年对全国非常规油气资源进行了初步评价, 结果显示, 全国煤层气可采资源量是 10 万亿 m^3 ; 页岩气资源量是 26 万亿 m^3 ; 估计致密砂岩气资源量是 12 万亿 m^3 ; 页岩油资源量是 476×10^8 t; 超重油和油砂矿资源量超过 59.7×10^8 t, 天然气水合物 70 万亿 m^3 。中国非常规油气资源有着巨大的发展潜力^[2]。一些开发利用非常规油气资源比较好的国家经验表明, 非常规油气资源的开发利用需要从思路上转变观念, 技术上搞好研发应用, 实践上大胆尝试探索^[3]。我国的这些非常规油气能源如能得到规模有效开发和利用, 中国可持续发展的能源问题

也就迎刃而解。

2 国外非常规油气资源开发利用状况

以美国为代表的能源消费大国, 十分重视非常规油气资源的开发利用。一般是采取超前室内研究, 现场技术试验, 规模开发这样一套开发利用路线。在煤层气、致密砂岩气、页岩气开发利用方面都取得了显著的成效。

2.1 世界煤层气资源分布

世界煤层气资源储量为 256.3 万亿 m^3 , 约为常规天然气资源量的 50%, 主要分布在北美、俄罗斯/中亚和中国等煤炭资源大国, 其中北美地区占 35%, 俄罗斯/中亚 32%, 亚太 21% (见表 1)。美国、加拿大和澳大利亚煤层气勘探开发最具代表性。

表 1 世界主要国家煤层气资源储量

Table 1 Coalbed methane of the leading countries in world

排位	国家	煤层气资	产量/ $\times 10^8 m^3$
		源量/万亿 m^3	
1	俄罗斯	66.72 (17~80)	研发/试验
2	美国	48.87	500 (2007 年)
3	中国	36.8	7.5 (2008 年)
4	加拿大	20 (17~85)	30 (2005 年)
5	澳大利亚	14.16	11.8 (2004 年)

美国的煤层气资源在 16 个盆地广泛分布, 已钻

[收稿日期] 2010-03-10

[作者简介] 胡文瑞 (1950-), 男, 甘肃平凉县人, 教授级高级工程师, 博士生导师, 主要研究方向为低渗透油气田勘探开发与工程管理;
E-mail: hwr@petrochina.com.cn

煤层气井近6万口,探明储量从1989年的 $1\ 040 \times 10^8 \text{ m}^3$ 提高到2007年的 $6\ 191 \times 10^8 \text{ m}^3$,平均每年递增11%;并且已在圣胡安、黑勇士、北阿帕拉契亚、粉河、拉顿等多个盆地形成商业规模产能,煤层气产量从1989年的 $26 \times 10^8 \text{ m}^3$,提高到2005年的 $490 \times 10^8 \text{ m}^3$,平均每年递增近19%,2005—2007年连续3年保持在 $490 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上(见图1)。目前已钻煤层气井6万余口,2009年底,年煤层气产量已超过 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全美天然气产量的近9%。

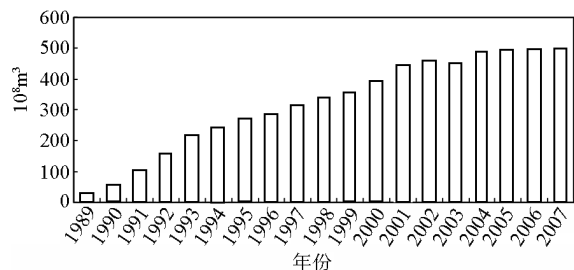


图1 1989—2007年美国煤层气产量
Fig.1 Coalbed methane production of USA in 1989—2007

加拿大煤层气资源主要分布在阿尔伯塔盆地,2001年阿尔伯塔省只有几口试验井,2005年则已经有3000多口井连接到输气管线(见图2)。到2005年底,阿尔伯塔省剩余探明煤层气储量估计为 $209 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。加拿大规划到2010年煤层气产量达到 $140 \times 10^8 \text{ m}^3$,2020年达到 $280 \times 10^8 \sim 390 \times 10^8 \text{ m}^3$,煤层气产量将占天然气产量的15%左右,形成与美国规模相近的煤层气产业。

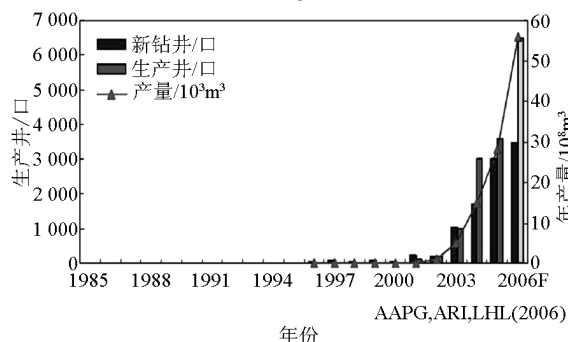


图2 1989—2007年加拿大煤层气产量
Fig.2 Coalbed methane production of Canada in 1989—2007

澳大利亚是世界上除美国之外煤层气开发最活跃的国家。其煤层气开发潜在地区主要分布在东部悉尼盆地、苏拉特盆地和鲍温三个含煤盆地。澳大利亚煤炭可采储量为 $399 \times 10^8 \text{ t}$,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1000 m,渗

透率多分布在1~500 MD,煤层气资源量为8~14万亿 m^3 。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 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$,与美国20世纪90年代初期一样,2009年地面抽采煤层气产量已达到 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$,目前正处于煤层气产业飞速发展的时期。

2.2 页岩气的开发利用现状

页岩气是从页岩层中开采出来的天然气,往往分布在盆地内厚度较大、分布广的页岩烃源岩地层中。由于页岩气开发具有开采寿命长和生产周期长的优点,大部分产气页岩分布范围广、厚度大且普遍含气,使得页岩气井能够长期地稳定产气,但页岩气储集层渗透率低、开采难度较大。

按照2007年美国《油气杂志》的数据,全球页岩气资源量达456.24万亿 m^3 。其中,油气地质研究程度较高的北美地区 $10^8.79$ 万亿 m^3 ,占23.8%;中亚和中国99.90万亿 m^3 ,占21.9%;中东和经合组织太平洋国家、拉丁美洲等3个地区依次为72.15万亿 m^3 ,65.50万亿 m^3 ,59.95万亿 m^3 ,分别占15.8%,14.4%,13.1%。

全球对页岩气的开发并不普遍,仅美国和加拿大在这方面做了大量工作。其中,美国已进入页岩气开发的快速发展阶段,加拿大商业开采还处于起步阶段。美国页岩气开发有80多年的历史,参与的石油企业从2005年的23家发展到2007年的64家。2000年美国页岩气年产量为 $122 \times 10^8 \text{ m}^3$,而2009年底,已钻页岩气井4万余口,页岩气产量接近 $900 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全美天然气总量的近15%。

2.3 致密砂岩气

全球致密砂岩气储量巨大,据估算,目前世界上现今技术可采的致密砂岩气储量为10.5~24万亿 m^3 。据统计,全球已发现或推测发育致密砂岩气的盆地有70个,主要分布在北美、欧洲和亚太地区。美国900个气田中致密砂岩气生产井超过40000口,年产量为 $1\ 000 \times 10^8 \text{ m}^3$,占美国陆上除了阿拉斯加和夏威夷外天然气产量的13%。

2.4 页岩油

据不完全统计,全球油页岩蕴藏资源量是巨大的,估计有10万亿t,比煤资源量7万亿t还多40%。全球油页岩广泛产于寒武系至第三系,主要分布于美国、扎伊尔、巴西、意大利、摩洛哥、约旦、澳大利亚、中国和加拿大等国家。

世界页岩油资源量约为 $4\,539 \times 10^8$ t。其中,美国西部的绿河页岩油资源量约为 $2\,055 \times 10^8$ t,仅科罗拉多州页岩油就达 $1\,370 \times 10^8$ t,美国东部泥盆系黑色页岩油约 259×10^8 t。中国页岩油资源量为 476×10^8 t。此外俄罗斯、刚果(金)、巴西、意大利、澳大利亚、爱沙尼亚也存在丰富的油页岩资源。

2000年,世界页岩油产量为 50×10^4 t;目前,全球页岩油产量已超过 100×10^4 t。

2.5 超重油及油砂

目前,世界上超重油及油砂可采资源量分别约为 $4\,340$ ($690 \times 10^8 \text{ m}^3$) 亿桶和 $6\,510$ ($1\,035.1 \times 10^8 \text{ m}^3$) 亿桶,约占世界油气资源可采总量的 21%,32% (见图3)。全球超重油和油砂资源分布很不均衡,主要分布在北美洲、前苏联、拉丁美洲和加勒比海地区。西半球油砂技术可采资源量占全球 82%。

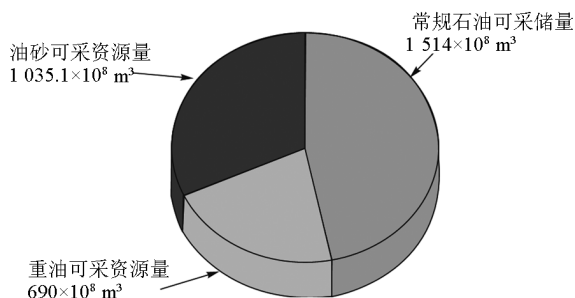


图3 世界石油资源分布图

Fig. 3 Petroleum reserves distribution in world

世界油砂储量为 $4\,483 \times 10^8$ t,剩余可采储量为 337×10^8 t,截至 2005 年底,累计采出 6.9×10^8 t。油砂主要分布在加拿大、哈萨克斯坦和俄罗斯,其地质储量分别为 $3\,283 \times 10^8$ t, 576×10^8 t 和 475×10^8 t,分别占世界的 73%,13%,11%。

最大的油砂矿位于加拿大的阿尔伯达,目前估计有原地沥青资源 $2\,700 \times 10^8 \text{ m}^3$ (或相当于 16 980 亿桶)。以目前的技术水平开采,已经有 $275 \times 10^8 \text{ m}^3$ (约合 1 730 亿桶) 可回收的资源。2001 年,加拿大从油砂中生产的石油产量首次超过常规油产量;之后,油砂油产量持续增长。2005 年,油砂油的产量接近常规油产量的两倍。2007 年,加拿大的油砂油日产量为 120 万桶,预计到 2020 年将会达到 350 万桶。过去 10 年内,阿尔伯达的沥青原矿产量比前 10 年增加两倍多,预计今后 10 年可以增产到日产 300 万桶以上。2006 年,原矿沥青和合成石油的产量占该省原始沥青总产量的 62%,预计到 2016 年,将会占到总产量的 86%。

世界超重油地质储量为 $3\,403 \times 10^8$ t,剩余可采储量为 82×10^8 t,截至 2005 年底,累计采出 22.5×10^8 t。世界超重油主要分布在委内瑞拉,其地质储量为 $3\,350 \times 10^8$ t,占世界总量的 98.5%。

2.6 天然气水合物

天然气水合物也叫甲烷水合物、水合物气,是一种由气体(主要是甲烷、乙烷、 CO_2 、 H_2S 等)和水组成的冰状固态化合物,它是一种典型的笼形结构络合物。可以在低温高压条件下的自然界和人为环境中形成。

据美国和前苏联研究结果,世界陆地天然气水合物资源为 2 830 万亿 m^3 ,海洋为 85 000 万亿 m^3 ,相当于已探明化石燃料总含碳量的两倍,资源巨大。

目前陆地上发现的天然气水合物主要分布在北半球永久冻土带的俄罗斯、美国和加拿大极区地带,几乎均是蕴藏在成岩的地层中,天然气水合物中的气源,主要来自下伏常规油气层中的热解气。

3 中国非常规油气开发利用状况

我国非常规油气资源相当丰富。针对非常规油气资源的开发和利用已经引起了国家和企业层面的重视,煤层气、致密砂岩气、页岩气、页岩油等非常规油气资源的开发利用正在起步;油砂油以及水合物等非常规油气资源的基础研究工作也正逐步展开。

3.1 中国煤层气勘探开发正在稳步推进

我国煤层气资源丰富,继俄罗斯和加拿大之后居世界第 3 位(见表 1)。据最新一轮全国油气资源评价结果显示,我国 45 个聚煤盆地埋深 2 000 m 以内煤层气地质资源量为 36.8 万亿 m^3 ,其中 1 500 m 以内煤层气可采资源量为 10.9 万亿 m^3 。按照煤层气资源的地理分布特点可分为东部、中部、西部及南方 4 个大区^[4],其中东部区地质资源量 11.32 万亿 m^3 ,可采资源量 4.32 万亿 m^3 ,分别占全国的 30.8% 和 39.7%,是中国煤层气资源最为丰富的大区;中部区煤层气地质资源量 10.47 万亿 m^3 ,可采资源量 2.00 万亿 m^3 ,分别占全国的 28.4% 和 18.4%;西部区煤层气地质资源量 10.36 万亿 m^3 ,可采资源量 2.86 万亿 m^3 ,分别占全国的 28.1% 和 26.3%;南方区煤层气地质资源量 4.66 万亿 m^3 ,可采资源量 1.70 万亿 m^3 ,分别占全国的 12.3% 和 15.6% (见表 2)。

截至 2009 年底,我国累计探明煤层气储量 $1\,700 \times 10^8 \text{ m}^3$,资源探明率仅为 0.32%,主要分布于鄂尔多斯盆地东部和山西沁水盆地;全国共钻煤

层气井 3 600 余口(探井 540 口,开发井 2 860 口),水平井 85 口;投产 745 口,日产气 $204 \times 10^4 \text{ m}^3$,年产气能力 $7.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ (见表 3)。

表 2 我国煤层气资源量及可采资源量分布状况表

Table 2 Coalbed methane distribution of reserves and recoverable reserves

地区	盆地	面积/ km^2	资源量/ $\times 10^8 \text{ m}^3$	可采资源量/ $\times 10^8 \text{ m}^3$
东部	沁水	27 137	39 500	11 216
	二连	34 853	25 816	21 026
	海拉尔	12 986	15 957	4 503
	豫西	5 923	6 744	1 154
	徐淮	3 490	5 784	1 482
中部	宁武	1 718	3 643	1 129
	鄂尔多斯 C-P	37 515	45 858	11 706
	鄂尔多斯 J	71 330	52 775	6 164
西部	四川	19 684	6 042	2 110
	天山	10 500	16 261	6 671
	塔里木	40 637	19 338	6 866
	三塘湖	2 763	5 942	1 752
	准噶尔	34 607	38 268	8 077
南方	吐哈	9 393	21 198	4 100
	川南黔北	19 428	9 693	3 045
	滇东黔西	16 055	34 723	12 892
	其他	26 590	20 568	4 803
全国		37 4665	368 118	108 704

表 3 我国近几年煤层气产量统计表

Table 3 Coalbed methane production in recent years in China $\times 10^8 \text{ m}^3$

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
井下抽采	9	10	12	15	19	23	32	44	57
地面开发						0.3	1.3	3.8	7.5

预计 2010 年我国煤层气产量将达 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中地面抽采 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$;2020 年产量 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$;2030 年产量 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$,与美国现阶段产量相当(见图 4)。

3.2 页岩气的研究工作正在起步

多家机构和专家对我国页岩气资源进行了预测,结果表明,我国页岩气资源潜力也十分巨大(见表 4),据统计页岩气的远景资源量可达到 26 万亿 m^3 。初步研究表明,中国南方地区,从震旦纪到中三叠世,页岩层发育了广泛的海相沉积,分布面积达 $200 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。下寒武统、上奥陶一下志留统以及二叠系等地层分布广泛、厚度大,有机质丰富、成熟度高,是南方地区区域上的页岩气发育最有利层位,四川盆地、鄂东渝西及下

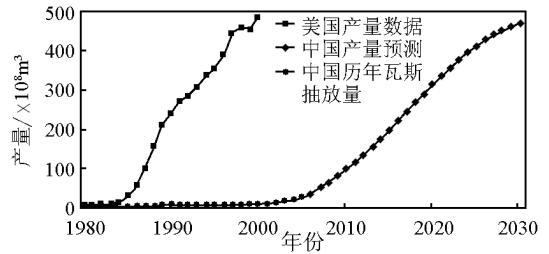


图 4 中国煤层气产量预测

Fig. 4 Coalbed methane production prediction of China

扬子地区是平面上分布的有利区。四川盆地寒武和下志留统已发现页岩气显示。

表 4 中国页岩气资源量预测表

Table 4 Shale gas reserves prediction of China

范围	资源量/ 万亿 m^3	机构	年份
中国	100	Rogner	1997
中亚和中国	99.9	Kawata, Fujita	2001
中国(主要地区)	15 ~ 30	科罗拉多矿业大学 (John B. Curtis)	2002
中国	35	中国石油勘探开发研究院廊坊分院	2008

鄂尔多斯、塔里木、吐哈等其他地区的页岩也具有形成页岩气的基础与条件。在华北—东北地区,页岩气更可能发生在主力产油气层位的底部或下部,区域上的古生界、鄂尔多斯盆地的中—古生界、松辽盆地的中生界、渤海湾盆地埋藏较浅的古近系等,泥页岩累计厚度介于 $50 \sim 2 000 \text{ m}$,平均有机碳含量为 $1.0 \% \sim 2.0 \%$,局部平均值可超过 4.0% ,有机质成熟度变化较大。尽管青藏地区的地表环境较差,但中—古生界泥页岩地层厚度大,有机质含量高,有机质热演化程度适中,也是页岩气发育的前景地区。

3.3 致密砂岩气勘探开发前景广阔

我国致密砂岩气资源量约为 12 万亿 m^3 ,部分与常规气在资源量上存在着交叉。中国致密砂岩气藏勘探领域广阔,四川、鄂尔多斯、松辽、渤海湾、柴达木、塔里木及准噶尔等十余个盆地都具有形成致密砂岩气藏的有利地质条件。其中四川和鄂尔多斯盆地的致密砂岩气较为丰富。

四川盆地致密砂岩气勘探潜力大。根据最新评价结果,川西坳陷侏罗系与上三叠统天然气资源量为 $18 000 \times 10^8 \sim 25 000 \times 10^8 \text{ m}^3$,而目前的探明储量约为 $2 200 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅占资源量的 10% 左右。在四川盆地已发现并开发中坝、平落坝、九龙山、合兴场、新场、洛带、新都、邛西、马蓬等气田,但仍有大

量的资源有待发现。川中地区遂南、南充、八角场气田均在须家河组致密砂岩气藏生产工业天然气。

鄂尔多斯盆地致密砂岩气开发已具规模,在盆地北部已发现了苏里格、榆林、长北、大牛地等致密砂岩气田。苏里格气田是近年来发现的大气田,探明天然气地质储量 $6\ 025 \times 10^8\ \text{m}^3$,为目前中国最大的气田,具有极其广阔的开发潜力。

3.4 页岩油开发迈出关键性步伐

我国页岩油资源十分丰富,按已探明的页岩油资源统计,全国页岩油资源储量为 $7\ 199.37 \times 10^8\ \text{t}$,技术可采资源储量为 $2\ 432.36 \times 10^8\ \text{t}$;页岩油资源储量为 $476.44 \times 10^8\ \text{t}$,技术可采资源储量为 $159.72 \times 10^8\ \text{t}$,可回收资源储量为 $119.79 \times 10^8\ \text{t}$ 。我国储量仅次于美国、巴西和爱沙尼亚,位居世界第4。新一轮全国页岩油资源评价结果表明,我国页岩油主要分布在47个盆地,主要分布在松辽盆地、华北盆地、准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地、茂名盆地、抚顺盆地、依兰—伊通盆地等。总体来看,我国页岩油资源规模大、分布广、勘查程度低、含油率中等偏好。

在中国,页岩油的开发已迈出关键性的步伐,辽宁省抚顺矿业集团2005年产页岩油约 $20 \times 10^4\ \text{t}$,2009年页岩油产量已近 $40 \times 10^4\ \text{t}$ 。

3.5 油砂与超重油

中国具有比较丰富的油砂资源,油砂资源量为 $59.7 \times 10^8\ \text{t}$,可采资源量超过 $30 \times 10^8\ \text{t}$,重点分布在准噶尔、柴达木、松辽、鄂尔多斯、塔里木、四川等大盆地中(见图5)。最近在松辽盆地的西坡距扎赉特旗图牧吉镇25 km的图牧吉农场发现了大面积的“油砂”分布,油质好,埋藏浅,含油率高,具有极大的开发潜力。目前,我国油砂正处于规模化开发的前期试验阶段。

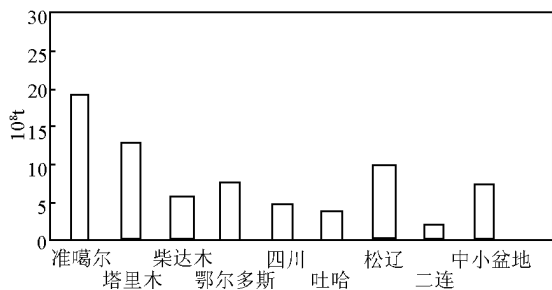


图5 我国油砂资源分布图

Fig. 5 Oil sand resources distribution in China

我国重质油、沥青资源分布广泛、储量丰富,已在15个大中型含油气盆地和地区发现了近百个重

质油油气藏,规模大且成带分布,年产量已达 $1\ 000 \times 10^4\ \text{t}$,预计我国的重质油、沥青资源量达 $80 \times 10^8 \sim 300 \times 10^8\ \text{t}$,其中渤海湾盆地重油沥青总资源量可达 $40 \times 10^8\ \text{t}$ 以上,准噶尔盆地西北缘资源量达 $10 \times 10^8\ \text{t}$ 以上。我国重质油、沥青主要产于中、新生代的陆相地层,少量产于古生代的海相地层。总体上,东部的第三系资源丰富,如松辽盆地、渤海湾盆地、扬子地台、南阳盆地、苏北盆地和江汉盆地等都是最主要的分布区域,预计我国未发现的重质油资源约为 $250 \times 10^8\ \text{t}$,沥青资源潜力更大。

3.6 天然气水合物

我国天然气水合物资源量巨大。据估算,我国东海冲绳海槽附近的天然气水合物资源中约含天然气2400亿 m^3 ;南海天然气水合物的资源量为 $700 \times 10^8\ \text{t}$ 油当量。根据目前的调查表明,我国的南海、东海和台湾以东的广大海域具备天然气水合物的形成条件;南海的西沙海槽、台湾西南陆坡和台西南盆地、笔架南盆地及其东缘增生楔、东沙群岛东南坡和南部陆坡区、东海的冲绳海槽和台湾省东北部是我国最有利的天然气水合分布带;南海西部陆坡区、台湾东北部海域、青藏高原的冻土层也是值得注意的找矿远景区。只要加强研究和调查就会有重大发现,是我国天然气的后备超级资源库,会对我国21世纪能源产生重大的影响。

4 发展中国非常规油气的政策与建议

作为重要的接替能源,非常规油气资源的开发利用有着非常重要的战略意义,中国油气工业重心向非常规油气转移只是个时间问题。但由于中国非常规油气存在着地质条件具有复杂性和特殊性;部分开发技术适用性差、不成熟;低渗透储层单井产量低,缺乏有效增产技术;综合利用效率低,环境污染严重等亟待解决的问题。发展我国非常规能源需要着重解决好以下几个方面的问题。制订优于常规油气的经济扶持政策,以增强非常规油气市场竞争能力;加强非常规油气基础理论研究,寻找优质资源;解放思想,开拓思路。优化现有工艺技术,发展特色技术,加快非常规油气资源勘探开发;加快页岩气、天然气水合物综合评价工作。发展综合利用技术,缓解环境压力。在开发非常规油气的同时,处理好废水、废气、废渣,采用多种途径对其进行综合利用,变废为宝,保护生态环境,走可持续发展道路。

(下转63页)