

文章编号: 0253-9985(2011)02-0245-06

自然电位测井在低阻油气层识别中的应用

——以塔里木盆地吉拉克地区三叠系低阻油气层为例

赵军^{1,2} 王淼² 闫爽³ 李华伟³

(1. 油气藏地质与开发工程国家重点实验室, 成都 四川 610500; 2. 西南石油大学 资源与环境学院, 成都 四川 610500;
3. 中国石油 塔里木油田分公司 石油勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 由于低阻油气层电阻率和水层电阻率接近, 给应用常规测井资料识别低阻油气层油水层、确定油水界面位置带来了困难。对低阻层和非低阻层样品进行的完全含水电导率(C_o)和溶液电导率(C_w)关系的实验证实, 在低阻层由于粘土矿物附加导电作用是形成吉拉克地区三叠系第二油组低阻的主要原因。研究表明, 该类低电阻油层被钻穿后, 粘土表面阴离子将吸附溶液中的阳离子, 被吸附到粘土矿物表面的阳离子又会进一步牵制溶液中阴离子的迁移, 使低阻油气层内出现离子滞留现象, 形成电荷屏蔽。造成低阻油气层段自然电位测井曲线与非低阻层相比, 负差异下降。通过建立一条非低阻状态下的拟自然电位曲线 SP_n , 将其与 SP 曲线进行对比, 根据叠合特征可识别低阻油气层。实际资料应用表明, 该方法在吉拉克地区应用效果明显, 能较好地识别低电阻油气层。

关键词: 自然电位测井; 低电阻油层; 粘土矿物; 三叠系; 吉拉克地区; 塔里木盆地

中图分类号: TE132.1

文献标识码: A

Application of spontaneous potential logging to the identification of low resistivity reservoirs

—an example from the Triassic reservoirs in Jilake area of the Tarim Basin

Zhao Jun^{1,2}, Wang Miao², Yan Shuang³, Li Huawei³

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu, Sichuan 610500, China;

2. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China;

3. Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China)

Abstract: As low resistivity reservoirs have similar resistivity as water layers, it is difficult to differentiate water layers from low resistivity reservoirs, and to determine oil-water contacts by using conventional logging data. Experimental study on relationship between full water-bearing conductivity (C_o) and solution conductivity (C_w) with samples from low-resistivity layers and non-low-resistivity layers shows that the additional conductivity contributed by clay minerals is the main factor leading to the low resistivity of the second unit of the Triassic in Jilake area. When this type of low-resistivity reservoirs is penetrated, anions on clay surface may absorb cations in the solution. The cations absorbed to clay surface in turn may further impede the migration of anions in the solution, resulting in ion retention in the low resistivity reservoirs and charge shielding. The negative difference of SP log of the low-resistivity layers decreases in comparison with the non-low-resistivity layers. A quasi-spontaneous curve (SP_n) of non-low-resistivity layers is then created and compared with the SP curve to identify low-resistivity layers. This method has been successfully applied to recognize the low-resistivity reservoirs in the study area.

Key words: spontaneous potential logging, low-resistivity reservoir, clay mineral, Triassic, Jilake area, Tarim Basin

众所周知, 低阻油气层的电阻率较低, 与水层电阻率相差不大, 根据国内外对低阻油气层的认识, 结合塔里木盆地油气层地质及测井特征, 把相

对电阻增大率(油气层电阻率与水层电阻率的比值)小于3的油气层定义为低阻油气层^[1-3]。由于低阻油气层电阻率和水层电阻率接近, 因此给应

收稿日期: 2010-10-15。

第一作者简介: 赵军(1970—), 男, 教授, 油气地质、测井。

基金项目: 四川省重点学科建设项目(ZXK-JS-2009025-016)。

用常规测井资料对低阻油气层油水层的识别、确定油水界面位置带来了困难。从一定意义上说,为实现上述目的,必须紧密结合钻井取心和试油资料,才能得到准确结果^[4-5]。但这一过程需要以较长的钻采周期和投资消耗作为代价,如何在没有钻井取心和试油结果的前提下,运用常规测井技术快速、准确地识别低阻油气层、确定油水界面,是目前测井仍需要解决的一大难题^[6-9]。本文在对吉拉克地区三叠系低阻油气层解释的过程中,发现低阻油气层自然电位测井曲线和下伏水层相比,出现正幅度差,吉南 S 井 4 321.5 ~ 4 326.7 m 低阻油气层段 SP 值高于 4 327.8 ~ 4 346.9 m 水层段 SP 值,吉南 S-2 井 4 310.0 ~ 4 316.5 m 低阻油气层段 SP 值高于 4 322.5 ~ 4 339.0 m 水层段 SP 值(图 1,图 2)。根据这一特征,在分析了该区低电阻成因的基础上,通过构建非低阻状态下的拟自然电位曲线与测井自然电位曲线的交会,可有效地识别低阻油气层。

1 储层 SP 幅差形成原因及油水层识别方法

毛志强等(1999)对低阻层和非低阻层样品进行了完全含水电导率(C_o)和溶液电导率(C_w)关系的实验,通过实验认为:在低阻层由于粘土矿物附

加导电作用,不同温度下岩样电导率(C_o)和溶液电导率(C_w)均呈曲线关系;而且不同温度下的 $C_o - C_w$ 曲线明显分开,说明在高温条件下,含高矿化度地层水的岩样仍具有明显的附加导电作用存在。非低阻层(正常油层和水层)的样品 $C_o - C_w$ 关系不受温度影响,其实验数据点几乎均落在同一条直线上,说明无附加导电作用。因此,粘土矿物附加导电作用是形成吉拉克 T_{II}油组低阻的主要原因^[10-13]。

和非低阻层相比,粘土矿物附加导电作用形成的低阻油气层在 SP 曲线上表现为和下伏水层有正幅度差。形成这种现象的原因归结于粘土表面电荷作用,使得储层在被钻穿以后,其表面阴离子将吸附溶液中的阳离子,用于电中和,被吸附到粘土矿物表面的阳离子又会进一步牵制溶液中阴离子的迁移,使低阻油气层内出现离子滞留现象,形成电荷屏蔽。此时,低阻油气层段 SP 测井曲线依然出现明显的负差异,但和非低阻层相比,这种差异有所下降。

为了充分利用自然电位曲线的这种差异来区分低阻油气层和水层,我们构建了一条非低阻状态下的 SP 测井曲线,命名为模拟自然电位(SP_{rt}),其定义为:

$$SP_{rt} = f(RT) \tag{1}$$

式中: SP_{rt} 为模拟自然电位, mV; RT 为深侧向电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

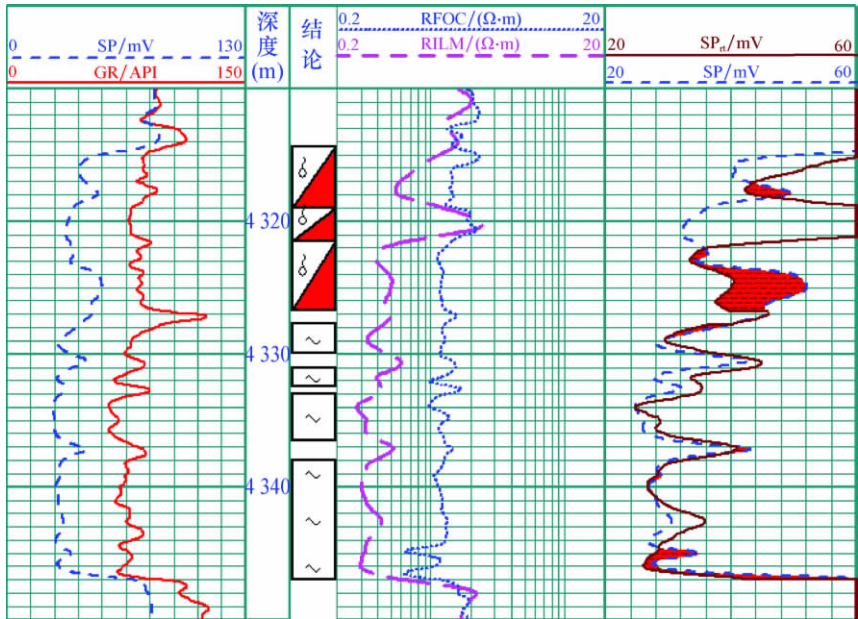


图 1 塔里木盆地吉拉克地区吉南 S 井测井解释

Fig. 1 Log interpretation of Well JNS in Jilake area, the Tarim Basin

模拟自然电位(SP_n) 是将低阻油气层描述成和非低阻层相同的储层物性状态 这样低阻层和非低阻层就会有相似的自然电位测井响应 使得低阻油气层的粘土矿物对自然电位测井(SP) 曲线的影响程度体现在和模拟自然电位(SP_n) 的对比中。构建 SP_n 时 选低阻油气层下伏标准水层的深侧向电阻率测井曲线(RT) 值作为自变量 对应的 SP 值作为因变量 进行拟合 找出 SP 相对于 RT 的线性关系, 通过这种关系针对储层计算出一条模拟自然电位(SP_n) 将 SP_n 与 SP 曲线进行对比 根据曲线的叠合特征找出低阻油气层的位置。实践表明 对于水层 SP_n 与 SP 曲线基本重合 而对于低阻油气层 SP_n 与 SP 曲线具有一定的反向幅度差异。

吉南 S 井位于轮南低凸起吉拉克构造 主要目的层是三叠系 T_{II} 油组 属粘土附加导电作用形成的低阻凝析气藏。应用上述油水层识别方法对该井 T_{II} 油组进行处理 为消除油气层的影响 选择标准水层为参照样本 读取 SP 和 RT 测井值 拟合出储层物性相同条件下的模拟自然电位(SP_n)。在水层段 模拟自然电位和实测自然电位一样 都是仅反映储层物性变化的一个物理量 所以两种曲线基本重合在一起。对于低阻油气层 模拟自然电位是反映储层物性和含油气性的一个物理量 而实测自然电位在反映储层物性的同时 还综

合反映了粘土含量相对于岩石组分的变化情况, 由此两种曲线叠置后会出现反向幅度差异。根据上述响应机理和表现特征 将由标准水层拟合出的模拟自然电位(SP_n) 和实测自然电位(SP) 以相同刻度显示在同一曲线道内 就很容易把低阻油气层识别出来。如在吉南 S 井低阻油层识别中(图 1) 在 4 323.5 ~ 4 325.5 m 井段模拟自然电位(SP_n) 曲线和实测自然电位(SP) 曲线呈一定的反向幅度差异 说明该层为低阻油气层 而下伏水层则表现为两条曲线基本重合。对该层进行 8 mm 油嘴试油 折日产油 83.68 m³、气 146 453 m³ 平均电阻为 0.5 $\Omega \cdot m$ 证实为低阻油气层。

2 应用效果及适用范围

利用该方法对吉拉克油田进行了应用 取得了较好的应用效果。但该方法不适用于非粘土附加导电成因的低阻油气层的识别。

吉南 S-2 井是塔里木盆地满加尔凹陷吉南地区吉南 S 号构造高点上的一口开发井 在 4 311.0 ~ 4 316.5 m 井段钻遇低阻油气层 和吉南 S 井一样在成因上同属于粘土附加导电作用。在处理成果图上(图 2) 模拟自然电位(SP_n) 曲线和自然电位测井(SP) 曲线呈反向的幅度差特征 而

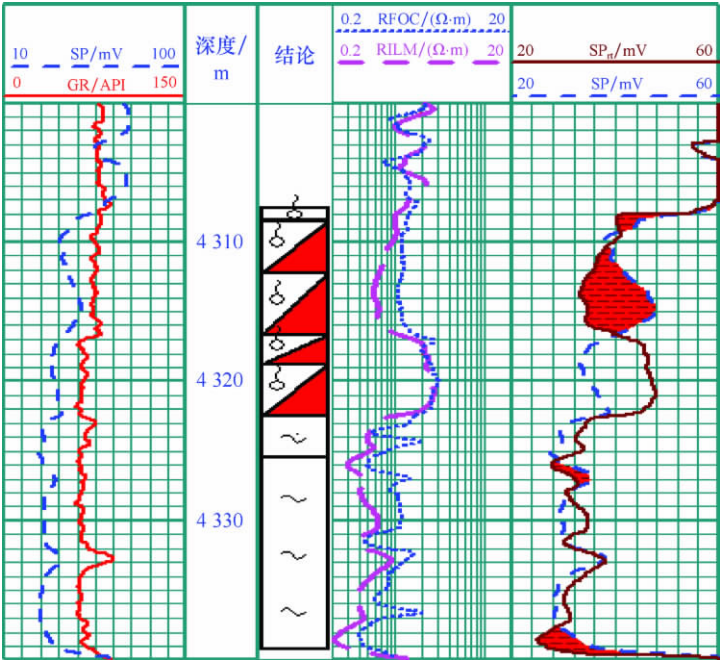


图 2 塔里木盆地吉拉克地区吉南 S-2 井测井解释

Fig. 2 Log interpretation of Well JNS-2 in Jilake area , the Tarim Basin

下伏水层表现为两者基本重合。该层经试油证实也为低阻油气层。

轮南 A 井是布置在吉拉克背斜构造上的探井,分别在 4 338.5 ~ 4 342.0 m、4 344.8 ~ 4 347.0 m 井段钻遇低阻油气层(图 3),在该井 4 341.8 ~ 4 344.0 m 井段 6.35 mm 油嘴试油求产,折日产油 37.9 m³、日产气 80 700 m³,模拟自然电位(SP_n)曲线和自然电位测井(SP)曲线在该井的低阻油气层段出现反向正差异的叠合特征,而下伏水层两曲线基本重合,从而,较好地识别了低阻油气层。

轮南 X 井在主要目的层 J_{IV} 油组 4 565.5 ~ 4 570.5 m 井段钻遇低阻油层,电阻率最低为 0.45 $\Omega \cdot m$,研究认为地层中普遍含有黄铁矿是形成低阻的原因,应用自然电位测井(SP)低阻油气层识别方法对该井低阻油层进行处理,研究表明模拟自然电位(SP_n)曲线和自然电位测井(SP)曲线出现同向月牙形叠合,虽然表面上能和两条曲线重合部分代表的水层段区分开,但同

上述在低电阻储层段 SP_n 与 SP 曲线出现反向幅度差的形态特征不一致(图 4)。说明该方法不适用于由粘土附加导电引起的低阻油气层的识别。

3 结论

- 1) 通过对两种低阻成因的代表井应用模拟自然电位与自然电位曲线重叠技术处理结果的分析,认为该方法可用于由粘土附加导电作用形成的低阻油气层的识别。
- 2) 储层自然电位受地层水矿化度和泥浆滤液矿化度影响较大,只有满足 $C_w > C_{mf}$ 时,受粘土矿物影响的低阻油气层段才能和下伏水层出现明显的幅度差。
- 3) 通过在吉拉克地区低电阻油气层的识别中的应用,证明该方法简单、实用,能有效地识别该区的低电阻油气层与水层,为该区低电阻油气层的识别提供了一条有效的途径。

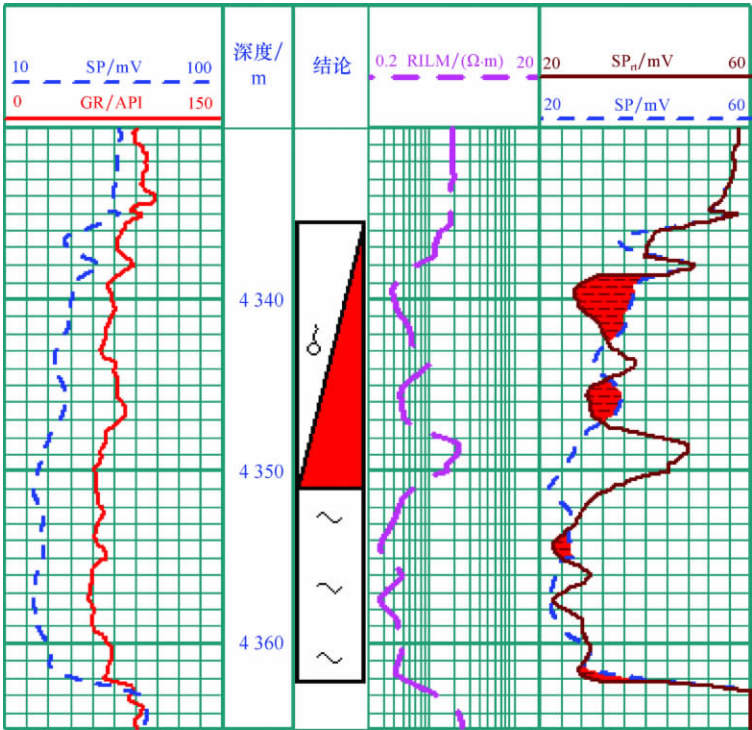


图 3 塔里木盆地吉拉克地区轮南 A 井低阻油气层测井解释

Fig. 3 Log interpretation of low-resistivity reservoirs in Well LNA in Jilake area , the Tarim Basin

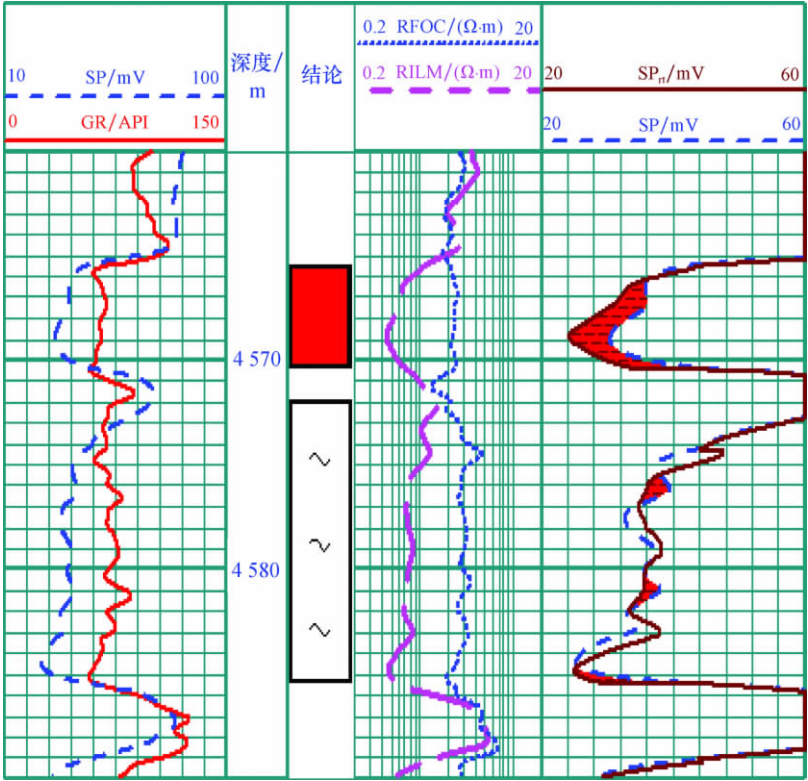


图 4 塔里木盆吉拉克地区轮南 X 井低阻油气层测井解释

Fig. 4 Log interpretation of low-resistivity reservoirs in Well LNX in Jilake area , the Tarim Basin

参 考 文 献

[1] 中石油油气勘探部. 渤海湾地区低电阻油气层测井技术与解释方法[M]. 北京: 石油工业出版社 2000: 1-5.
Petrol China Oil and Gas Exploration. The logging technology and interpretation method for low resistivity oil and gas reservoirs in Bohai Bay Region [M]. Beijing: Petroleum Industry Press ,2000: 1-5.

[2] 韩成,张日供,李留中,等. 吐哈盆地台北凹陷低电阻率油气层测井评价[J]. 测井技术,2008,32(1): 49-52.
Han Cheng ,Zhang Rigong ,Li Liuzhong ,et al. Log evaluation for low resistivity oil-gas reservoir in western Turpan-hami Basin [J]. Well Logging Technology 2008 ,32(1) : 49-52.

[3] 杨青山,艾尚君,钟淑敏. 低电阻率油气层测井解释技术研究[J]. 大庆石油地质与开发 2000 ,19(5): 33-36.
Yang Qingshan ,Ai Shangjun ,Zhong Shumin. Log interpretation technique of low resistivity reservoirs [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in DaQing 2000 ,32(1) : 33-36.

[4] 李舟波. 利用测井方法识别复杂油气储层的流体性质[J]. 石油与天然气地质 2004 25(4): 356-362.
Li Zhoubo. Problem and advance on the fluid typing for complex reservoirs using well log [J]. Oil & Gas Geology 2004 25 (4) : 356-362.

[5] 吴金龙,孙建孟,耿生臣,等. 低电阻率油气层宏观地质影响因素与微观机理的匹配关系[J]. 测井技术,2005,29

(5) : 461-464.
Wu Jinlong ,Sun Jianmeng ,Geng Shengchen ,et al. Interaction between geologic genesis and micro-geological causes in low-resistivity pay zones ,Shengli Oilfield [J]. Well Logging Technology 2005 29(5) : 461-464.

[6] 苏国英. 济阳拗陷低电阻油层常规测井识别方法[J]. 断块油气藏 2006 ,13(4): 83-85.
Su Guoying. An identification method of conventional log for low-resistivity reservoirs in Jiyang Depression [J]. Fault-block Oil & Gas Field 2006 ,13(4) : 83-85.

[7] 王宣龙,白全胜,赵文. 胜利油区低电阻率油层类型及成因研究[J]. 特种油气藏 2004 ,11(1): 21-23.
Wang Xuanlong ,Bai Quansheng ,Zhao Wen. The type and genesis of low resistivity reservoirs in Shengli Oil Province [J]. Special Oil and Gas Reservoirs 2004 ,11(1) : 21-23.

[8] 赵佐安,何绪全,唐雪萍. 低电阻率油气层测井识别技术[J]. 天然气工业 2002 22(4): 34-37.
Zhao Zu'an ,He Xuquan ,Tang Xueping. Logging Technology of identifying low-resistivity hydrocarbon reservoirs [J]. Natural Gas Industry 2002 22(4) : 34-37.

[9] 周明顺,左银卿,郝以岭,等. 华北廊固凹陷低电阻油气藏测井解释技术[J]. 中国石油勘探 2002 7(2): 51-56.
Zhou Mingshun ,Zuo Yinqing ,Hao Yiling ,et al. Low-resistant logging interpretation technique for oil and gas reservoir of Langgu Sag in North China [J]. China Petroleum Exploration ,

- 2002, 7(2): 51-56.
- [10] 张冲, 毛志强, 张超, 等. 低阻油层的成因机理及测井识别方法研究[J]. 工程地球物理学报, 2008, 5(1): 48-53.
Zhang Chong, Mao Zhiqiang, Zhang Chao, et al. A survey on genetic mechanism and identification methods of low-resistivity layer[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2008, 5(1): 48-53.
- [11] 张莹, 刘强, 陈清华. 沙捻油田沙19断块阜三段低电阻率油层成因分析[J]. 石油地质与工程, 2007, 27(5): 30-33.
Zhang Ying, Liu Qiang, Chen Qinghua. Analysis of the causes of low-resistivity oil reservoirs of the third member of Funing Formation of fault block Sha19 in Shanian Oilfield[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2007, 27(5): 30-33.
- [12] 马晓昌, 崔勇, 赵澄林. 多井测井储层表征技术在八面河油田中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 152-154.
Ma Xiaochang, Cui Yong, Zhao Chenglin. Reservoir characterization technique with multi-well log used in Bamanhe Oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 152-154.
- [13] 陈学义, 魏斌, 陈艳, 等. 辽河油田滩海地区低阻油层成因及其精细解释测井技术[J]. 测井技术, 2000, 24(1): 55-59.
Chen Xueyi, Wei Bin, Chen Yan, et al. Genesis of conductive reservoir in the bleach zone of Liaohe Oilfield and its fine interpretation[J]. Well Logging Technology, 2000, 24(1): 55-59.

(编辑 张亚雄)

天然气将是未来全球发展最快的化石燃料

据BP公司2011年初发布的首个前瞻性分析报告《BP 2030 能源展望》预测,未来20年,天然气将成为全球产量和消费量增长最快的化石燃料。除欧洲外,世界其他地区天然气产量均保持增长,产量和消费量增长最大的是亚洲,其中中国消费量增长将占亚洲总量的56%;中东地区产量和消费量增长位居世界第二,该地区在全球消费中所占份额将从1990年的5%和2010年的12%提高到2030年的17%。中东地区在全球产量的份额也将由2010年的15%增长至2030年的19%。尽管北美地区的天然气产量持续增长,但增速仍不敌其他地区,在全球所占的份额将从2010年的26%降至2030年的19%。前苏联和非洲的产量增长强劲,可以满足出口需求。

在未来20年全球的天然气消费量增长中,非经合组织国家将占80%,平均年增速3%。增长最快的是亚洲非经合组织国家和非洲地区,分别年均增长4.6%和3.9%。巴西、俄罗斯、印度和中国金砖四国占非经合组织国家消费增量的40%,其中增长最为迅速的是中国(年均7.6%)、印度和巴西年均增速分别达4.7%和4.6%。预计到2030年,中国的天然气消费量将达 $430 \times 10^8 \text{ ft}^3/\text{d}$,与现今欧盟消费量大致相当($470 \times 10^8 \text{ ft}^3/\text{d}$)。由于起点较低,中国的天然气在一次能源中所占的比重仍相对较低,预计将从2010年的4%增长到2030年的9%。

在经合组织市场,特别是北美,天然气消费增幅相对较缓,年均增速仅为1%。能源效率的提高和人口的低增长率,使整个经合组织国家工业和民用部门的天然气消费增速保持在年均0.5%左右,增长主要集中在电力部门。

截至2009年底,世界天然气剩余可采储量 $187.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$,按目前的生产水平,可开采63年。非常规天然气资源在全球范围内虽有待进一步评估,但足可以再增加30年的供应。非常规天然气已经改变了北美天然气市场,预计到2030年,页岩气和煤层气产量将占北美天然气产量的57%。在北美以外地区,非常规天然气有可能在未来发挥日益重要的作用。技术和监管方面的问题将是决定其发展步伐的关键。人们期待着2020年左右,欧洲非常规天然气生产实现显著增长。

(周庆凡 供稿)