“中国石油”天然气勘探开发形势与展望

李景明 李东旭 李小军

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院)

李景明等.“中国石油”天然气勘探开发形势与展望.天然气工业,2007,27(2):1-5.

摘 要 中国天然气工业正处于大发展的早期阶段。天然气勘探蓬勃发展,天然气开发处于快速发展的初期阶段。新一轮资源评价结果表明,中国天然气资源丰富,勘探潜力大。截止到 2005 年底,全国探明天然气地质储量 $4.92 \times 10^{12} \text{ m}^3$,2005 年全国天然气总产量已近 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$,2006 年全国天然气总产量近 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。中国石油天然气股份有限公司(简称“中国石油”)所属区块拥有的天然气资源量。占全国的 60% 左右;截止到 2005 年底,“中国石油”已探明天然气地质储量近 $3.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$,2006 年“中国石油”天然气年产量达 $440 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在“十一五”期间,“中国石油”的天然气储量仍将大幅度增长,天然气产量还将快速增加。

主题词 中国石油天然气股份有限公司 天然气 资源 勘探 开发 储量 产量 发展

一、天然气勘探处在蓬勃发展的时期

1. 陆上主要含气盆地的探矿权集中在中国石油天然气股份有限公司

截止到 2005 年底,中国石油天然气股份有限公司(以下简称“中国石油”)拥有油气探矿权面积 $177.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全国已登记油气探矿权面积的 41.3%。

在天然气资源丰富的四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木、松辽盆地,“中国石油”拥有的油气探矿权面积占主导地位。

2. 资源探明率低,勘探潜力大

据 2004 年完成的全国第三次资源评价结果,估算中国拥有天然气资源量 $47.14 \times 10^{12} \text{ m}^3$,估算中国陆上拥有天然气资源量 $36.22 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。其中“中国石油”拥有天然气资源量 $28.36 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。“中国石油”拥有的天然气资源量占全国的 60.16%,占中国陆上天然气总资源量的 78.31%。

截止到 2005 年底,“中国石油”探明天然气地质储量 $35986.59 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气资源探明率仅 12.69%。较低的资源探明率预示着未来巨大的勘探潜力。

3. 储量持续高速增长

从 2000 年以来,“中国石油”连续 6 年年新增探明天然气地质储量均超过 $2000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2000~

2005 年“中国石油”新增天然气地质储量 $20652.45 \times 10^8 \text{ m}^3$,平均年新增探明天然气地质储量 $3442 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

“中国石油”近 6 年新增的探明天然气地质储量是其 1999 年以前累计探明储量 ($15594.32 \times 10^8 \text{ m}^3$) 的 1.32 倍。

4. 近年发现一批大气田

2000 年以来,新发现了苏里格、子洲、罗家寨、铁山坡、克拉 2、迪那 2、塔中、徐深等 8 个大气田。天然气探明地质储量的高速增长,主要依赖于大气田的发现。

2000 年以来在鄂尔多斯盆地相继发现了苏里格、子洲气田。苏里格气田已探明天然气地质储量 $5336.52 \times 10^8 \text{ m}^3$,子洲气田已探明天然气地质储量 $1151.97 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。另外靖边、榆林、长东、乌审旗气田储量也进一步增长。至此,鄂尔多斯盆地已有靖边、苏里格、榆林、子洲、乌审旗等 5 个气田的天然气储量超过 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2000 年以来在四川盆地相继发现了罗家寨、铁山坡等大气田。罗家寨气田探明天然气地质储量 $581.08 \times 10^8 \text{ m}^3$,铁山坡气田探明天然气地质储量 $373.97 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。八角场、渡口河气田储量进一步扩大,也跻身大气田的行列。四川盆地探明的大气田由 1999 年末的 5 个增长到目前的 9 个。另外,近年

作者简介:李景明,1956 年生,教授级高级工程师,博士,博士生导师,本刊第六届编委会委员;现任中国石油勘探开发研究院廊坊分院副院长。地址:(065007)河北省廊坊市 44 号信箱。电话:(010)69213418。E-mail:lijim@petrochina.com.cn

在广安等地的天然气勘探也取得了重大发现,预计广安等地区将成为新的大气田。

2000年以来在塔里木盆地相继发现了克拉2、迪那2、塔中等大气田。克拉2气田已探明天然气地质储量 $2840.29 \times 10^8 \text{ m}^3$,迪那2气田已探明天然气地质储量 $807.61 \times 10^8 \text{ m}^3$,塔中气田已探明天然气地质储量 $366.25 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。柯克亚气田储量规模进一步扩大,也跻身大气田的行列。塔里木盆地探明的大气田由1999年末的2个增长到目前的6个。

2000年以来在柴达木盆地通过重新认识,涩北一、涩北二、台南气田储量不断扩大,目前上述3个气田储量规模均已接近千亿立方米。

近年在松辽盆地深层发现了徐深气田和长岭气田。徐深气田已探明天然气地质储量 $1258.54 \times 10^8 \text{ m}^3$,目前勘探成果正进一步扩大,储量还会大幅度增加。长岭气田目前已提交预测储量 $558.28 \times 10^8 \text{ m}^3$,预计2006年底基本探明 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。

截止到2005年底,“中国石油”已在鄂尔多斯、四川、塔里木、柴达木、松辽、渤海湾盆地探明了靖边、苏里格、榆林、子洲、乌审旗、长东、卧龙河、威远、五百梯、沙坪场、罗家寨、铁山坡、磨溪、八角场、渡口河、克拉2、迪那2、塔中、和田河、牙哈、柯克亚、涩北一、涩北二、台南、徐深、千米桥等26个地质储量超过 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的大气田。另外广安、长岭气田也基本探明,将跻身大气田之列。

二、天然气开发处在快速上产的时期

1. 天然气产量高速增长

从20世纪50年代末期在四川盆地川东南地区发现一批中小型气田起步,中国天然气开发已逐步形成规模,到1960年,中石油天然气年产量达到 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$;随着松辽、渤海湾盆地大批油气田的发现,油田伴生气产量大幅度提高,到1977年,中石油天然气年产量突破 $100 \times 10^8 \text{ m}^3$ 大关;随着鄂尔多斯盆地天然气开发的全面展开,1998~2001年天然气年产量以年增 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的速度增长,到2001年,“中国石油”天然气年产量超过 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$;近年随着四川盆地、鄂尔多斯盆地、柴达木盆地、塔里木盆地等天然气的大规模开发,天然气年产量呈高速增长,2003~2004年天然气年产量增长接近 $40 \times 10^8 \text{ m}^3$,2005年较2004年天然气年产量增长接近 $80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2005年“中国石油”天然气产量达到 $365 \times$

10^8 m^3 ,2006年“中国石油”的天然气总产量已达 $440 \times 10^8 \text{ m}^3$,较上年增加 $75 \times 10^8 \text{ m}^3$,为“中国石油”跻身全球第7大石油公司作出了突出贡献。

2. 气层气储量动用程度不高,储采比仍处在较高水平

截至2005年底,“中国石油”探明气层气地质储量 $35986.59 \times 10^8 \text{ m}^3$,已开发动用天然气地质储量 $15507.13 \times 10^8 \text{ m}^3$,储量开发动用率43.1%。26个探明地质储量超过 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的气田中的苏里格、子洲、乌审旗、长东、罗家寨、铁山坡、渡口河、迪那2、塔中、台南、徐深、千米桥等12个气田储量未开发动用或基本未开发动用。

截至2005年,“中国石油”剩余可采储量 $19708 \times 10^8 \text{ m}^3$,气层气井口产量 $304.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,储采比为65。

3. 近年已投入开发的大气田在产量增长中发挥了重要的作用

近年来,榆林、克拉2、涩北一、涩北二等4个大型气田相继投入开发。克拉2气田2004年12月投产,2005年产气 $32.47 \times 10^8 \text{ m}^3$;榆林气田1999年投产,2005年产气 $17.51 \times 10^8 \text{ m}^3$;涩北一气田2004年投产,2005年产气 $13.41 \times 10^8 \text{ m}^3$;涩北二气田2005年投产,2005年产气 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。上述4个大型气田2005年共产气 $66.39 \times 10^8 \text{ m}^3$,占2005年“中国石油”天然气年产量的18.19%。上述4个大型气田均达到开发方案设计的产量,预计近年产量会大幅度提高,将在产量增长中发挥更重要的作用。

三、天然气勘探开发趋势及展望

1. 天然气勘探趋势及展望

(1)六大盆地天然气资源潜力大,是天然气勘探的主战场

近期资源评价结果表明,鄂尔多斯、四川、塔里木、柴达木、松辽、准噶尔盆地天然气资源量均超过 $2 \times 10^{12} \text{ m}^3$,是中国陆上天然气资源极丰富的盆地。鄂尔多斯盆地、四川盆地、塔里木盆地、柴达木盆地、松辽盆地深层均已发现大气田,已经成为“中国石油”五大天然气主探区,未来仍是“中国石油”寻找大型气田的主要地区。准噶尔盆地陆东—五彩湾地区石炭系、腹部深大构造具备大气田形成的基本地质条件,目前天然气勘探工作已经全面启动,可望在不远的将来成为“中国石油”第六大天然气探区。

(2) 天然气勘探对象更趋于复杂

1) 勘探对象多分布于地面条件复杂的地区

鄂尔多斯、四川、塔里木、柴达木、松辽、准噶尔六大盆地是“中国石油”未来寻找大型气田的主战场。除松辽盆地外,其他五大盆地地面条件都相当复杂,自然环境相当恶劣。

鄂尔多斯盆地地貌大致以古长城为界,以南为沟壑纵横的黄土高原,黄土厚度 200~300 m;北为沙漠草原,地势相对平坦,其间分布活动沙丘和草滩。随着勘探领域向东、向西、向南扩展,交通相对不便的黄土塬地区将占重要地位,地震和钻井难度进一步加大。

四川盆地被龙泉山、华蓥山分割成 3 个自然景观不同的地区。龙泉山以西为川西平原,龙泉山、华蓥山之间为川中丘陵,华蓥山以东为谷岭相间的复杂地貌。未来寻找大气田的最有利地区为华蓥山以东的川东北地区、龙门山和米仓山山前,复杂的地面条件,势必加大地震、钻井和目标优选的难度。

塔里木盆地腹部为被称为“死亡之海”的塔克拉玛干沙漠所覆盖,南北两个山前带为典型的山地地貌。库车坳陷、塔西南山前带及塔东沙漠区是塔里木盆地未来寻找大气田的主要领域,复杂的地面条件加大了地震勘探的难度,同时加大了选择井位的难度。

柴达木盆地西部沟壑纵横、峭壁陡立、荒丘遍布,盆地东部盐沼广布,遍地盐碱。加之海拔 2600~3200 m,高寒缺氧,自然环境极为恶劣。

准噶尔盆地南缘山前,地表地形变化剧烈,山高谷深坡陡;陆东—五彩湾地区地处古尔班通古特沙漠腹地,自然条件恶劣。

2) 勘探对象普遍具埋深大、物性差、圈闭条件复杂的特点

陆上主要含气盆地除柴达木盆地东部三湖地区、四川盆地川西侏罗系、塔里木巴楚地区主要勘探目的层埋深浅于 3000 m 外,寻找大气田重点勘探领域的四川盆地川东飞仙关组鲕滩、四川盆地川西须家河组、塔里木盆地库车坳陷、塔里木盆地塔西南山前带、鄂尔多斯盆地上古生界、松辽盆地火山岩气藏、准噶尔盆地南缘、准噶尔盆地腹部深大构造等主要目的层的埋深均大于 3000 m,部分地区目的层埋藏深度超过 6000 m。

储层物性较差是中国天然气储层的普遍特征。

中国碎屑岩储层岩性复杂,岩石的结构成熟度和矿物成熟度普遍较低,导致储层非均质性强。如鄂尔多斯上古生界砂岩储层主要以低孔、低渗为特征,一般需压裂改造后才能获得工业产能;四川盆地的川西侏罗系砂岩和川中上三叠统须家河组砂岩,储层埋深虽浅,但仍需压裂改造才能获得工业产能;塔里木盆地库车坳陷第三系、白垩系储层物性普遍较好,但部分埋深大的砂岩气藏也需要通过酸化提高产能(如大北 2、迪那 11 气田等)。中国碳酸盐岩储层由于时代较老,多进入成岩作用晚期阶段,基质孔隙度和渗透率都较低,虽由于裂缝和溶孔的存在,对物性有所改善,但仍未能从根本上改变低孔、低渗特征。

随着勘探程度的提高,易于发现的简单构造圈闭越来越少,复杂类型的圈闭将成为主要钻探目标。如鄂尔多斯盆地圈闭类型主要为大面积岩性圈闭,准确识别难度大;四川盆地主要勘探对象为构造—地层、构造—岩性圈闭,受地面构造(高陡)的影响,准确识别的难度大;塔里木盆地库车坳陷及塔西南山前带,冲断构造发育,加之地面地形十分复杂,地下构造的识别和落实难度大;松辽盆地深层和准噶尔盆地火山岩圈闭的识别和落实难度也较大。

(3) 适应于复杂地面和地下条件的勘探技术将不断取得进步

随着天然气勘探的不断突破,天然气勘探技术也取得不断发展,形成了一系列的配套勘探技术。预计随勘探领域的扩展,更能适应地面、地下条件的勘探技术将不断取得进步。

以精确地下成像为目的的山地地震采集处理解释技术在过去十多年中取得了突破性进展,为复杂山前地带的天然气勘探突破起了关键作用。预计随勘探的不断深入,以精确地下成像为目的的山地地震采集处理解释技术将不断完善和发展。

以储层预测为目的的地震资料综合反演技术在过去十多年中进行了工业化推广,促进了大面积低丰度岩性气藏勘探的发展。未来天然气勘探目标中储层类型趋于复杂,岩性气藏的比重增大,发展以降低地质勘探风险为目的的储层预测、物性预测和天然气直接检测技术的需求迫切。随技术攻关力度的加大,地震资料综合反演技术将得到进一步的完善和发展。

近年来以成像测井和核磁测井为核心的气层识别和评价技术,在特殊岩性(火山岩)、复杂储层的气

层评价和识别中发挥了极其重要的作用。未来天然气勘探目标中特殊岩性、复杂储层比例将加大,以识别和评价油气层为目的的先进测井技术将继续得到发展和完善。

(4) 储量仍将保持较高的增长速度

近几年“中国石油”天然气的勘探已进入快速发展阶段。1990年中石油累计探明天然气储量 $5064.71 \times 10^8 \text{ m}^3$,2005年“中国石油”累计探明天然气地质储量 $35986.59 \times 10^8 \text{ m}^3$,15年间新增天然气探明储量 $30921.88 \times 10^8 \text{ m}^3$,平均年新增探明天然气地质储量 $2061 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。预计未来一段时间天然气储量仍将保持较高的增长速度。

由于天然气市场不断扩大,天然气供求矛盾已经初步显现。加强天然气勘探,为天然气开发提供优质资源是当前和今后一段时间内的重要任务。未来相当长的时间内,“中国石油”天然气勘探工作量将保持较高的水平。根据市场的需求状况、天然气资源潜力和勘探程度,预计未来天然气储量增长也将保持较高的水平。

分别利用翁氏旋回法、龚珀兹法和历史趋势预测法等3种方法对未来天然气探明储量增长进行了预测。3种方法的预测结果均表现为储量高速增长。综合预测2006~2020年年新增探明地质储量 $2500 \times 10^8 \text{ m}^3$,预计到2020年“中国石油”累计探明天然气地质储量将到达 $68422 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2. 天然气开发趋势及展望

(1) 五大盆地天然气开发潜力大,是开发的主战场

四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木、松辽盆地探明天然气地质储量 $32939.35 \times 10^8 \text{ m}^3$,占“中国石油”探明天然气地质储量的91.53%。已开发动用天然气地质储量 $13396.86 \times 10^8 \text{ m}^3$,储量开发动用程度为40.67%。

四川盆地探明天然气地质储量 $8422.83 \times 10^8 \text{ m}^3$,已开发动用天然气地质储量 $5276.15 \times 10^8 \text{ m}^3$,储量开发动用程度62.64%;鄂尔多斯盆地探明天然气地质储量 $13107.53 \times 10^8 \text{ m}^3$,已开发动用天然气地质储量 $3987.71 \times 10^8 \text{ m}^3$,储量开发动用程度30.42%;塔里木盆地探明天然气地质储量 $6800.52 \times 10^8 \text{ m}^3$,已开发动用天然气地质储量 $2623.19 \times 10^8 \text{ m}^3$,储量开发动用程度38.57%;柴达木盆地探明天然气地质储量 $2900.35 \times 10^8 \text{ m}^3$,已开发动用天然气地质储量 $1375.75 \times$

10^8 m^3 ,储量开发动用程度47.43%;松辽盆地探明天然气地质储量 $1708.12 \times 10^8 \text{ m}^3$,已开发动用天然气地质储量 $163.18 \times 10^8 \text{ m}^3$,储量开发动用程度9.58%。

上述五大盆地储量开发动用程度均不高,开发潜力大。另外,上述五大盆地是今后一段时期天然气勘探的主探区,储量仍会不断增长,也给开发提供可靠的资源基础。

(2) 天然气开发对象更趋于复杂

未来一段时间内,主要开发对象相对复杂。未开发动用储量中,高含硫、低渗透、火山岩占有较大的比重。

四川盆地未开发动用储量中,高含硫的罗家寨、铁山坡、滚子坪、金珠坪等气田储量共计 $1477.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,约占四川盆地未动用储量的46.95%。

鄂尔多斯盆地未开发动用储量中,主要为上古生界的低孔低渗储量。上古生界的低孔渗储量不均质性强,单井测试产量低,开发经济性相对较差。鄂尔多斯盆地未动用储量占“中国石油”未动用储量的44.53%。

松辽盆地未开发动用储量主要为深层火山岩和砂砾岩气藏,气藏类型复杂,开发尚无可借鉴的经验。

(3) 适应复杂气藏的开发技术将不断取得进步

“中国石油”未开发的复杂气藏类型包括大面积低渗岩性气藏、高含硫气藏、火山岩气藏等。

以鄂尔多斯盆地上古生界砂岩、川中上三叠统须家河组气藏、川西侏罗系浅层气藏为代表的大面积低渗岩性气藏,普遍具有低渗透、低丰度、低产的特征。如何提高单井产量是经济开发上述气藏的关键。要提高单井产量,一是要搞好储集层的预测,在普遍低渗区寻找相对高渗区、裂缝发育带;二是降低气层的伤害,其主要措施是钻井完井中要加强气层保护;三是有效的压裂改造,其主要手段是发展大型压裂改造技术;四是广泛推广和应用水平井技术。大面积低渗岩性气藏储量占的比例高。2005年以来,苏里格气藏开发试验工作的全面推进,将逐步形成经济有效开发大面积低渗岩性气藏的开发技术。

以四川盆地川东北地区罗家寨飞仙关鲕滩气藏等为代表的高含硫气藏,硫化氢含量最高达17%,实现安全有效开发是其关键。其面临的主要问题是硫沉积、防腐和安全生产及运行。硫沉积主要是由于硫的凝固点在标准大气下高达 $119 \text{ }^\circ\text{C}$,在高压情况下,硫的凝固点会下降,在井筒和地下,硫通常以

固态相是存在,会导致产能的降低。高含硫天然气具有强烈的腐蚀性,在钻完井过程中及生产过程中,防腐不仅要考虑尽可能使用抗硫管材,还要考虑如何优化生产井的部署和接替问题。要保证安全生产运行,动态监测腐蚀情况和防腐措施效果是确保安全的关键。预计随着罗家寨气田的开发,上述问题会逐渐得到相应的解决。

以松辽盆地深层徐深气田和长岭气田等为代表的火山岩气藏,储集层不均质性强、气水关系复杂,并普遍含有 CO₂。国内外普遍缺乏相应的开发经验和开发模式。目前徐深气田开发工作已经启动,随着徐深气田的有效开发,将逐渐形成针对火山岩气藏的有效开发技术系列。

(4) 天然气产量仍将保持较高的增长速度

为了保证西气东输、涩宁兰、忠武线、陕京二线管道的满负荷运行和气源产地周边不断增长的天然气需求,塔里木、柴达木、四川、鄂尔多斯盆地的未动用的储量将会相继投入开发,产量会保持较高的增长幅度。目前东北天然气管线正在筹划之中,该管道的启动对加快松辽盆地深层天然气的开发将会起到重要的推动作用。

预计在今后一段时间内,天然气年产量仍将以 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上的幅度持续增长,2010 年以前,“中国石油”的天然气年产量将超过 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

(5) 煤层气将在未来产量中占有一席之地

煤层气勘探开发试验近年在山西沁水、宁武、鄂尔多斯、吐哈、准噶尔等盆地展开,已在山西晋城地区樊庄区块提交探明地质储量 $352.26 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。目前已全面启动了樊庄区块的开发试验,近期将建成年产 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的生产能力。预计今后一段时期,会借鉴樊庄开发试验区的经验,进一步扩大煤层气的开发试验,煤层气产量将在天然气产量中占有一席之地。

参 考 文 献

- [1] LI JINGMING, LIU SHENGZHI, LI DONGXU, et al. Natural gas exploration in China: Current status and development trends[J]. China Oil & Gas, 2006, 13(2).
- [2] 李景明, 魏国齐, 等. 中国大中型气田富集区带[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [3] 赵贤正, 李景明, 李东旭, 等. 中国天然气勘探快速发展的十年[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [4] 王涛. 中国天然气地质理论基础与实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [5] 戴金星, 王庭斌, 宋岩, 等. 中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [6] 李景明, 魏国齐, 李东旭. 中国西部叠合盆地天然气勘探前景[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(1): 1-6.
- [7] 顾家裕, 邓宏文, 朱筱敏. 层序地层学及其在油气勘探开发中的应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [8] 戴金星, 傅诚德, 关德范. 天然气地质研究新进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [9] 钱凯, 张雅斌, 周堃. 中国油气区天然气[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [10] 钱凯, 赵庆波, 汪泽成. 煤层甲烷气勘探开发理论与实验测试技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [11] 赵贤正, 李景明, 李东旭, 等. 中国天然气资源潜力及供需趋势[J]. 天然气工业, 2004, 24(3): 1-4.
- [12] 《煤层气地质研究》编委会主编. 煤层气地质研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987.
- [13] 李振铎, 胡义军, 谭芳. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆气研究[J]. 天然气工业, 1998, 18(3): 10-16.
- [14] 罗志立, 李景明, 刘树根, 等. 中国板块构造和含油气盆地分析[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.

(收稿日期 2006-11-06 编辑 居维清)