

塔里木盆地油气勘探开发进展与 “西气东输”资源保障

宋文杰 江同文

(中国石油塔里木油田公司)

宋文杰等.塔里木盆地油气勘探开发进展与“西气东输”资源保障.天然气工业,2008,28(10):1-4.

摘要 塔里木盆地油气资源丰富,截至2007年底,中国石油塔里木油田公司在该盆地已累计探明油气田26个,探明石油地质储量约 6×10^8 t、天然气地质储量近 1×10^{12} m³,建成了年产原油逾 600×10^4 t、天然气 150×10^8 m³、油气当量接近 $2\,000\times 10^4$ t的生产基地,促成并启动了“西气东输”工程。从天然气资源平面分布看,塔里木盆地具有全盆含气但相对集中的特征,天然气资源主要集中在库车坳陷、中央隆起、塔西南坳陷,上述3个地区的天然气资源量为 $5\times 10^{12}\sim 6\times 10^{12}$ m³,是下一步天然气勘探的重点地区;而从天然气资源纵向分布看,该盆地78%的天然气资源量富集在中新生代地层中,台盆区天然气资源主要富集在下古生界寒武系—奥陶系和上古生界石炭系中,前陆区天然气资源主要富集在白垩系、古近系、新近系中。据第三轮全国资源评价结果,该盆地可探明的天然气储量为 7.96×10^{12} m³,目前的油、气资源探明率均不足15%,勘探前景广阔。“西气东输”工程的实施,将有力地促进塔里木盆地的油气勘探开发,促进西部地区的经济发展,促进中国能源结构和产业结构的调整,改善沿线人民的生活质量,并有效治理大气污染。

关键词 塔里木盆地 油气资源 勘探 储量 开发 产量 西气东输工程

一、油气勘探开发成果

塔里木盆地的油气勘探开发事业已历经近50年,在近半个世纪的工作历程中,经历了“六上五下”的曲折过程,但前期由于受勘探技术的限制,一直没有大的突破。自从1989年以来,对该盆地又开展了大规模的油气勘探开发工作,此间应用了一系列新技术、新工艺,不仅深化了对盆地油气成藏规律的认识,而且取得了显著的勘探开发成效,在塔里木盆地建设起了一座现代化的新型石油基地。

塔里木盆地是由古生界海相克拉通和中、新生界陆相前陆盆地组成的大型叠合复合型盆地。盆地经历了多次沉降、隆升,不同的构造层表现出了不同的复杂构造特征,通常以下古生界“三隆四坳”的构造格局将盆地划分为7个一级构造单元和27个二级构造单元。盆地共发育了寒武系—下奥陶统、中—上奥陶统、石炭—二叠系和三叠—侏罗系共计4

套优质烃源岩,发育碎屑岩和碳酸盐岩两大类储层,组成了6套主要的储盖组合,已经在11个层系中发现了油气藏。其中,奥陶系、石炭系和白垩系—新近系3套储盖组合在盆地内呈区域性分布,并且储集了塔里木盆地已发现的大部分油气储量。根据第三轮全国资源评价的结果,塔里木盆地可探明的油气资源当量为 123.37×10^8 t。

截至2007年底,中国石油塔里木油田公司在塔里木盆地已经探明了以轮南、塔中4、哈得4、克拉2、迪那2、和田河等为代表的26个大中型油气田,发现36个工业性含油气构造。到2007年底,三级石油储量达到 12.4×10^8 t,三级天然气储量达到 1.8×10^{12} m³,油气三级储量达到 26.96×10^8 t。目前,在塔里木盆地已经形成了4大油气区,分别是库车—塔北气区、轮南—塔中油区、塔东气区和塔西南油气区。已投入开发16个油气田,其中油田10个、气田6个,累计动用石油地质储量约 3.6×10^8 t、天然气地

作者简介 宋文杰,1963年生,教授级高级工程师,博士;现任中国石油塔里木油田公司党工委书记、副总经理;长期从事科研、油气田开发工作,负责“西气东输工程”上游塔里木油田年输120亿立方米天然气总体开发方案编制,组织完成了“西气东输工程”上游开发可行性论证,屡获中国石油天然气集团公司和新疆维吾尔自治区科学进步奖。地址:(841000)新疆维吾尔自治区库尔勒市。E-mail:swj-tlm@petrochina.com.cn

质储量 $4\,350 \times 10^8 \text{ m}^3$ (其中溶解气 $336.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、气层气 $4\,013.84 \times 10^8 \text{ m}^3$);原油产量逐年大幅攀升,从1989年的 $3.39 \times 10^4 \text{ t}$ 跃升到2007年的 $643 \times 10^4 \text{ t}$,年均增长 $35 \times 10^4 \text{ t}$;天然气产量从2004年开始“西气东输”时的 $13.39 \times 10^8 \text{ m}^3$ 跃升到2007年的 $153.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,年产气量跃居目前全国之首;到2007年底,已累计生产原油 $6\,924 \times 10^4 \text{ t}$,累计生产天然气 $584.07 \times 10^8 \text{ m}^3$,在风险勘探阶段为国民经济发展作出了贡献。

塔里木盆地地质情况复杂,勘探开发难度大。通过勘探开发攻关和实践,目前已经形成了适合沙漠、山地、戈壁地区的勘探开发技术系列,包括:超深低幅度油气藏勘探配套技术系列,超深碳酸盐岩复杂油气藏勘探配套技术系列,前陆盆地山前高陡构造天然气勘探配套技术系列,深层、超深层砂岩油田高效开发配套技术系列,高压凝析气田高效开发配套技术系列。其中所运用的多项专业技术处于国际领先、国内首创的水平,为该盆地油气田的开发以及“西气东输”工程的实施提供了强有力的技术支持和储备^[1-8]。

二、天然气资源分布规律及气田主要特征

根据第三轮全国资源评价的结果,塔里木盆地可探明的天然气储量为 $7.96 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。从天然气资源平面分布看,具有全盆含气但相对集中的特征,天然气资源主要集中在库车坳陷、中央隆起、塔西南坳陷。上述3个地区具有良好的石油地质条件,发育有多套优质烃源岩和储盖组合,圈闭成排成带发育,是油气聚集的有利场所,天然气资源量达 $5 \times 10^{12} \sim 6 \times 10^{12} \text{ m}^3$,是下一步天然气勘探的重点地区。从天然气资源纵向分布看,塔里木盆地天然气资源量78%富集在中新生代地层中,台盆区天然气资源主要富集在下古生界寒武—奥陶系和上古生界石炭系中,前陆区天然气资源主要富集在白垩系、古近系、新近系中。

库车坳陷作为“西气东输”的主力气区,在近期仍是塔里木盆地天然气勘探的重点地区。塔西南坳陷目前已有有一个油气生产基地,近来在柯深、阿克等地区取得重大进展,发现了一系列深部圈闭,是天然气勘探的准备区。近期在塔东地区(北部坳陷、中央隆起东部)勘探也取得进展,但由于地表条件复杂,勘探程度相对较低,圈闭落实程度较低,为塔里木盆地油气勘探的战略接替区。

塔里木盆地已探明气田分布相对比较集中,16个气田(加上中石化的雅克拉凝析气田、塔河1油气田)中有13个分布在库车—塔北地区。气田具有气层埋藏深、气藏类型多、储量丰度高、储层物性好、流体性质复杂、地层压力高、单井产能高等特点。气层埋深一般大于3 500 m,属于深层—超深层气藏;以背斜构造气藏为主,构造比较简单完整,天然气储量一般大于 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$,属大中型气藏;储量丰度一般大于 $4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,属中高—特高丰度;储层以砂岩为主,储层渗透率一般大于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最高达 $535 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;以干气气藏为主,已开发的气藏硫化氢等酸性气体和非烃气体含量较低,凝析气藏占有较大比例(探明地质储量占27.9%),凝析油含量一般大于 $300 \text{ g}/\text{m}^3$,属于中高凝析油含量;地层压力一般大于45 MPa,部分气藏地层压力接近或超过100 MPa;单井无阻流量一般大于 $120 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,属高—特高产能,“西气东输”主力气田——克拉2气田单井无阻流量大于 $1\,000 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

三、“西气东输”资源保障及气田开发方案

根据探明储量落实程度高、储量规模大、储量品质好、单井产能高、开发效益好、地理位置相对集中以及满足年供气 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$ 等标准的要求,“西气东输”初期,塔里木油田公司选择了库车—塔北气区的克拉2、英买7、羊塔克、玉东2、吉拉克、牙哈等气田建成首批年输气 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的外供气田。截止到2007年底,共动用天然气地质储量 $4\,713.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、可采储量 $3\,219.27 \times 10^8 \text{ m}^3$,建成年产规模为 $163.0 \times 10^8 \text{ m}^3$;部分投入开发的气田有2个,建成年产规模为 $1.8 \times 10^8 \text{ m}^3$;正在建设气田1个,动用地质储量 $1\,752.18 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、可采储量 $1\,138.92 \times 10^8 \text{ m}^3$,预计建成年产规模为 $50.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。以上区块共计可建成年产规模为 $218.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ (其中含伴生气年产规模 $4.0 \times 10^8 \text{ m}^3$),具备向“西气东输”项目稳定供气30 a的资源基础。

1. 克拉2气田

克拉2气田是“西气东输”项目的主力气田,地处新疆维吾尔自治区阿克苏地区拜城县境内,气藏埋深在3 500~4 100 m之间,为一个近东西向展布、南北基本对称的长轴背斜构造,圈闭面积 47.8 km^2 ,闭合度525 m,含气面积 47 km^2 。主要含气地层为古近系白云岩、古近系砂砾岩、白垩系大套砂岩,总体上属于中孔中渗和低孔中低渗储层,纵向上物性

最好的层段主要分布于巴什基奇克组第一段下部和第二段中上部,巴什基奇克组第三段物性相对较差。该气田的天然气地质储量为 $2\,840.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。开发方案设计克拉2气田采用一套井网开发,采气速度4%,年产气规模达 $107.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,主力气层为古近系底砂岩及白垩系巴什基奇克组砂岩,古近系白云岩、巴西盖组气层为产能接替层。井网采用沿构造高部位轴线一排布井,生产井气柱高度不小于250 m,井距为1 000~1 200 m。充分利用气田异常高压巨大的弹性能量,采用直井衰竭式开采,总井数为18口(生产井10口、观察井3口、备用井3口、污水回注井2口),其中新钻井14口、利用老井4口,单井产量在 $160 \times 10^4 \sim 420 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 之间,平均为 $327 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。根据预测,克拉2气田可稳产年限为10~15 a,无水采气期为9~15 a,采收率为85%。

克拉2气田自2004年投产以来,截止到2007年底,气田累计产气 $229.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。地质储量(动用)采气速度为4.02%,可采储量(动用)采气速度为5.36%;地质储量采出程度为8.42%,可采储量采出程度为11.23%。克拉2气田生产井自投产以来,产量和油压比较稳定,单井生产情况良好。通过对克拉2气田动态的跟踪研究,得出克拉2气田自2004年11月生产以来,地层压力下降6 MPa左右,单井油压呈较平稳下降趋势,生产井及全气藏生产状况稳定。多种动态储量法计算其天然气地质储量介于 $2\,240 \times 10^8 \sim 2\,828 \times 10^8 \text{ m}^3$,井网控制程度高,动态储量落实。从克拉2气田低构造部分单井井口取样来看,所取水样矿化度远低于地层水矿化度,说明目前气田产水是来自于气层的凝析水,整个气田仍处于无水采收期阶段。气藏以天然气弹性驱为主,岩石弹性驱动为辅,开发效果与方案预测基本一致,符合异常高压气藏开采规律。根据目前的生产情况预测,2008年以后,按照方案设计的年产气量配产,该气田仍可继续稳产14 a左右。

2. 牙哈2—3凝析气田

牙哈2—3凝析气田是国内首例采取大规模循环注气开发的高压凝析气田,位于新疆维吾尔自治区库车县境内,其构造位置位于塔里木盆地塔北隆起中段的牙哈断裂构造带上。气田产层自上而下依次为新近系吉迪克组底砂岩、古近系底砂岩及白垩系顶部砂岩,产层埋深平均在5 000 m左右,为河流—湖泊相沉积体系。吉迪克组储层属中低孔中渗储层,古近系底砂岩属中孔高渗储层,白垩系顶部砂岩属低孔中低渗储层。探明凝析气地质储量273.39

$\times 10^8 \text{ m}^3$,其中天然气 $245.18 \times 10^8 \text{ m}^3$,凝析油 $1\,772.5 \times 10^4 \text{ t}$ 。气藏原始地层压力为56 MPa、地层温度为138℃,生产气油比为925~1 565 m^3/m^3 ,原始地层流体凝析油含量为537 g/m^3 ,饱和压力高(50 MPa以上),属高温高压、高含蜡、富含凝析油、地露压差小的凝析气藏。

牙哈2—3凝析气田方案设计分为 N_1j 、E+K两套开发层系,采用循环注气部分保持地层压力开发方式开采,注采井距为800~1 100 m。E+K层布井方式以轴部注气,轴部及边部采气相结合为最佳。 N_1j 层布井方式、开发方式以轴部(鞍部)注气、轴部(高部位)结合边部采气布井方式为最优。方案设计新钻井17口,总井数为22口; N_1j 层为2口注气井、4口采气井;E+K层为6口注气井、9口采气井、1口观察井。牙哈2—3气田设计平均采气速度6.3%,可建成年产气 $10.03 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、凝析油 $50 \times 10^4 \text{ t}$ 的生产规模。开发指标预测显示:初期日产油1 749 t、日产气 $304 \times 10^4 \text{ m}^3$;到注气结束时,凝析油采出程度为40.52%,天然气采出程度为0.75%;预测到开采22 a末,累计生产凝析油 $515.63 \times 10^4 \text{ t}$,累计生产天然气 $106.43 \times 10^8 \text{ m}^3$,凝析油采出程度为54.57%,天然气采出程度为66.81%。

牙哈2—3凝析气田循环注气于2000年10月投产,7 a多的开发动态与原循环注气方案对比表明: N_1j 层、E+K层的气油比上升不但比原预测方案的速度慢,而且比原方案发生气窜时间晚,各项开发指标均达到或优于设计预测值,没有出现明显的气窜或反凝析现象,开发效果很好,生产系统运行也非常平稳。截至2007年12月底,累计生产凝析油 $487.19 \times 10^4 \text{ t}$,累计产气 $40.79 \times 10^8 \text{ m}^3$ (已扣除注气量),凝析油采出程度为21.17%,天然气采出程度为14.27%,综合气油比为2 046 m^3/t ,综合含水为3.71%。牙哈2—3气田累计注气 $46.39 \times 10^8 \text{ m}^3$,累计回注比0.54,累计亏空 $37.86 \times 10^8 \text{ m}^3$ (地面体积),连续7 a凝析油产量超过 $50 \times 10^4 \text{ t}$,创造了较好的开发效益。

3. 迪那2凝析气田

迪那2凝析气田是目前塔里木油田公司建成的第二大气田,位于秋里塔格构造带东部迪那一东秋构造区带上,该气田含气层位为古近系苏维依组与库姆格列木群。根据测井资料解释结果,迪那2气田各产层孔隙度平均为3.2%~9%,渗透率为 $0.05 \times 10^{-3} \sim 1.11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于低孔低渗、低孔中渗储层,非均质性强;压力梯度为0.39 MPa/100 m,压

力系数为 $2.06\sim 2.29$,为超高压气田;地温梯度为 $2.259\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,属正常的温度系统。2006年上交探明凝析气地质储量 $1\,773.27\times 10^8\text{ m}^3$ (其中天然气 $1\,752.18\times 10^8\text{ m}^3$ 、凝析油 $1\,338.90\times 10^4\text{ t}$)。属于超深层、高丰度、大型、高产、低含凝析油的凝析气田。

迪那2气田开发方案于2007年3月完成并通过了审查和批复,预计2009年投产。开发方案设计迪那2气田采用整个古近系储层——苏维依组 and 库姆格列木群作为一套开发层系,采用1套井网开发,并且开发井完井射孔时,原则上全部射开,衰竭式开采;采用稀井高产布井方式,井距 $900\sim 1\,200\text{ m}$ 。迪那2气田整体方案设计总井数为33口,其中生产井28口、备用井2口(考虑到保证气田长期稳产、调峰及落实构造需要)、观察井3口,其中新钻井29口、利用老井4口(观察井3口、生产井1口)。迪那2气田设计采气速度为 2.28% ,可建成年产气 $40\times 10^8\text{ m}^3$ 、凝析油 $31.98\times 10^4\text{ t}$ 的生产规模,预测稳产期15 a,到开采40 a末整个气田累计产气 $1\,079\times 10^8\text{ m}^3$ 、累计产油 $852\times 10^4\text{ t}$,凝析油采出程度为 60.86% 、天然气采出程度为 61.57% 。

四、气田开发展望

“西气东输”工程是我国西部大开发的标志性工程,该工程将新疆塔里木盆地所产的天然气通过管道东输,途经甘肃、宁夏、陕西、河南、安徽、江苏等省市,终点为上海市,供应沿线各省(区、市)企业和居民用气,全长 $4\,167\text{ km}$ 。2004年9月1日,塔里木油田公司首次向西气东输管线试供气,掀开了塔里木盆地天然气开发崭新的一页。2004年12月1日,克拉2气田正式投产,当年产气 $2.14\times 10^8\text{ m}^3$;2005年4月1日,桑一吉凝析气田正式投产;2007年玉东2、英买7、羊塔克、塔中6等凝析气田建成投产。塔里木油田公司天然气年产量由2000年的 $14\times 10^8\text{ m}^3$

快速增长到2007年的 $153.8\times 10^8\text{ m}^3$,年均增长 $46.6\times 10^8\text{ m}^3$,2008年天然气产量预计将达到 $182\times 10^8\text{ m}^3$ 。

为了满足“西气东输”资源需求,实现资源接替的良性循环,扩大“西气东输”规模,改善我国的能源结构,塔里木油田将加大天然气勘探开发力度,预计到2015年塔里木盆地累计探明天然气地质储量将达到 $1.5\times 10^{12}\text{ m}^3$,探明+控制天然气地质储量将达 $2.5\times 10^{12}\text{ m}^3$,天然气年生产能力将达到 $400\times 10^8\text{ m}^3$ 。

参 考 文 献

- [1] 宋文杰,刘昌玉,江同文,等.塔里木深层异常高压块状气藏开发早期评价技术研究[C]//天然气勘探开发论文集.北京:石油工业出版社,2000:307-319.
- [2] 宋文杰,江同文,冯积累,等.塔里木盆地牙哈凝析气田地质特征与开发机理研究[J].地质科学,2005,40(2).
- [3] SONG WENJIE, JIANG TONGWEN, WANG ZHEN-BIAO et al. Development techniques for Abnormal high-pressure gas fields and Condensate gas fields in Tarim Basin[J].SPE 88575.
- [4] 孙龙德,宋文杰,刘昌玉,等.塔里木盆地牙哈凝析气田循环注气技术[C]//天然气勘探开发论文集.北京:石油工业出版社,2000:320-326.
- [5] 孙龙德.塔里木盆地凝析气田开发[M].北京:石油工业出版社,2000:1-28.
- [6] 孙龙德,宋文杰,江同文.塔里木盆地牙哈凝析气田循环注气开发研究[J].中国科学:D辑 地球科学,2003,33(2).
- [7] 孙龙德,宋文杰,江同文.克拉2气田储层应力敏感性及对产能影响的实验研究[J].中国科学:D辑 地球科学,2004,34(增刊I).
- [8] 宋武成.天然气与中国能源[J].石油化工技术经济,2002(1).

(收稿日期 2008-06-11 编辑 居维清)