

关键技术的突破 促进塔里木气区的发现

邱中建

(中国石油天然气集团公司, 北京 100724)

[摘要] 塔里木气区包括塔北—库车气区和塔西南气区两大部份。塔北—库车气区已成为我国最大的天然气富集区之一, 该气区北部存在着特大型气田, 但地势陡峭, 地质结构复杂, 长期以来是勘探工作的禁区。经过近十年的系统攻关, 关键技术获得重要进展: 一是山地地震勘探取得突破; 二是综合地质研究取得新认识; 三是复杂地质条件下的钻探取得成功。

这些技术促使库车地区天然气勘探获得大进展, 并发现了克拉2号特大型气田, 探明储量 $2\ 506 \times 10^8\ \text{m}^3$, 是“西气东输”的主力气田。目前, 塔里木气区已探明天然气储量 $4\ 688 \times 10^8\ \text{m}^3$ (16.5TCF), 对“西气东输”项目的启动做出了重要贡献。

[关键词] 关键技术; 突破; 发现; 塔里木气区

塔里木气区包括塔北—库车气区和塔西南气区两大部分, 塔北—库车气区位于塔里木盆地北部, 是我国最大的天然气富集区之一。该气区北部, 库车气区山势陡峭, 地形崎岖, 开展油气勘探工作极为困难, 同时地质结构十分复杂, 逆冲断层和推覆体广泛发育, 深埋地下的岩盐石膏地层受地应力影响, 呈塑性变形, 厚度忽厚忽薄, 最厚可达数千米, 最薄仅有几十米, 使地下状况呈非常规变化, 极难标定及制图选定钻探目标。钻探的地层也十分复杂, 有煤层、盐层、坚硬层、易塌层及高压气层、高压水层, 而且广泛分布, 交替出现。地层倾角陡峭再加上复杂地层因素的交互影响, 使钻探工作进展非常困难, 有时甚至花了很长时间打不成一口井。库车地区地面油气苗众多, 在解放初期就开展了油气勘探工作, 并于1958年发现了依奇克里克小型油田, 但基于上述原因, 勘探工作进展缓慢, 没有大的突破。地质综合研究对该地区天然气生成、运移、聚集和富集的条件和规律认识也十分局限。直到近十年来, 在党中央、国务院“稳定东部、发展西部”方针指引下, 在塔里木盆地开展了较大规模的油气勘探工作, 并以塔北—库车地区作

为勘探的重点, 克服各种困难, 坚持勘探, 加大科技投入, 取得了重要进展, 最终发现了我国规模巨大的天然气富集区。

主要有三项关键技术取得重要进展: 一是山地地震勘探取得突破, 二是综合地质研究取得新认识, 三是复杂地质条件下的钻探取得成功。

1 山地地震勘探取得突破

库车山区长期以来是地震禁区, 很难取得成果, 在野外采集工作上主要因为:

①山势陡峭, 施工难度极大, 车辆无法通行, 全靠人抬肩扛。

②地下结构复杂, 断裂发育, 地层倾角大。地震波场复杂, 很难设计合适的观察系统。

③激发、接收条件极差, 山地风化破碎严重, 砾石发育, 能量很难下传, 山地线性干扰、随机性干扰严重, 资料信噪比低。

④地表变化剧烈, 表层横向速度变化大, 无稳定的折射界面, 很难建立精细的表层模型。高差悬殊, 很难准确选取基准面, 因此野外静校正问题十分突出。

在地震资料处理上,也碰到很多困难,主要是:

①地震资料信噪比低,能量弱,特别是关键部位,模糊一片,无法辨认地下反射层结构。

②由于地质构造复杂,速度横向变化剧烈,并受侧面波强干扰,给速度准确拾取带来困难,并难于建立有效的速度场。

③高陡构造对准确叠加成像带来极大困难,同时对偏移归位也增加了困难。

针对上述技术难关,我们花费了十年功夫,先是沿着山沟进行侦察,然后进行直线排列,由山沟逐步扩大至小山区,地震剖面质量上了一个台阶。1996年以后,攻关取得突破性进展,山地作战能力进一步增强,勘探区域由小山向高大山地进军,取得大面积可信的成果,主要采取以下做法:

第一,观测系统设计技术必须根据野外山地实际情况,灵活多变,必要时必须弯线施工。为确保观测系统设计合理,运用有关软件进行模型正演,设计炮检距长度及排列接收方式。坚持下倾激发,上倾接收。构造部位,增加接收道数,提高构造顶部的覆盖次数。遇障碍区及资料不好的激发区通过两边加密进行补偿。一般的说,长排列、小道距、高覆盖次数,是山地地震取得好资料的重要保证。

第二,多种震源联合施工技术。山地地表条件变化大,采取单一激发方式很难保证剖面质量。近期的做法是,采用大吨位可控震源与泡沫砾石钻、普通深井钻(一般井深18 m)根据地表不同特点联合施工,保证得到好的激发条件。

第三,多种静校正方法相结合求取静校正量技术。地表起伏、岩性变化大的山区,对低速带资料采集,基准面选取,充填速度选择都有很大难度,应以小折射、微测井、露头微测井为基础进行仔细的调查,建立精细的表层模型。并用多种静校正方法包括模型法、初至折射法、自适应统计叠代法相结合的方法求取静校正量、可以取得较满意的效果。

第四,大力充实先进而实用的装备。采取直升飞机支持作业,大大降低劳动强度,提高作业效率。引进大吨位可控震源,可以提高剖面质量,砾石地区钻机改造及钻头改进,都提高了工作效率。

第五,根据山地地质特征对地震资料进行精细处理。这些技术包括叠前去噪技术,压制异常振幅,消除线性干扰,地表一致性技术,剩余静校正

技术,地表一致性振幅补偿、反褶积、精细速度分析技术,交互速度解释,常速扫描,地层倾角时差校正技术,串联偏移技术及叠后去噪技术等。明显地提高了复杂山地、高陡构造的地震资料成像效果。

山地地震勘探经过技术攻关,取得明显成果,剖面质量很好,地下目的层反射清晰可靠,可以大面积工业制图,确定钻探对象。

2 综合地质研究取得新认识

2.1 天然气源岩研究取得新进展

塔北一库车气区天然气源岩厚度很大,主要岩性为暗色泥质岩及煤系地层,主要分布在侏罗系及三叠系地层中,厚度一般都在800~1 100 m,分布范围很广,几乎遍布整个库车坳陷,有机质丰度很高。侏罗系地层各层系中有机碳的质量分数 $w(C)$ 平均分别为:1.6%、2.5%、2.8%,三叠系地层各层系中有机碳的质量分数 $w(C)$ 平均分别为1.9%、1.0%。总烃含量也很高:侏罗系各层系总烃的质量分数 $w_{总}$ 平均分别为 $3\ 160 \times 10^{-6}$ 、 $2\ 530 \times 10^{-6}$ 、和 $2\ 170 \times 10^{-6}$,三叠系平均为 760×10^{-6} 、 470×10^{-6} ;但氢指数较为贫乏,侏罗系平均指数193、103、76 mg/g,三叠系平均指数为36、30 mg/g,有机质类型主要为生气的Ⅲ型甘洛根。烃源岩的成熟度坳陷西部很高,东部较低。西部地区镜煤反射率为1.7~1.8,已处于过成熟阶段,中部地区镜煤反射率0.8~1.4,处于生油气高峰,东部地区镜煤反射率0.6~0.8,为低成熟阶段,但坳陷中心估计指标要高一些。根据地层埋藏史的分析,在最近 $1\ 000 \times 10^4$ a以来,主要是中新世晚期及上新世,地层快速下沉,烃源岩迅速成熟,并产生大量的天然气,同时富集成为天然气气藏。

根据新的资料和新的认识,我们对库车地区的油气资源进行重新评估,与原有资料结果差别较大。

原来的油气资源评价,油资源量为 10.8×10^8 t,天然气资源量为 $2\ 100 \times 10^8$ m³,而1999年油气资源评价这两项数据分别为 4.1×10^8 t和 $22\ 300 \times 10^8$ m³。

2.2 主要储集层白垩系研究的新进展

经野外及井下对白垩系储集层的详细研究,发现其特征为多物源区的辫状三角洲砂体复合叠置,

形成库车地区稳定的连片储集体。特别在野外对地质露头进行观察,发现砂层厚度巨大,横向连续性好,其中夹的薄层泥岩或泥质条带呈不稳定分布。经过大量储油物性资料分析统计,属中孔中渗储集岩,孔隙度平均为10%~14%、最大可达20%,渗透率平均为 $15 \times 10^{-3} \sim 67 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大可达 $2\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。编制的岩相分布图中各岩相分区与孔隙度和渗透率关系很大,其中特别是辫状三角洲前缘相、滨浅湖相物性较好,大面积分布在塔北—库车地区,是很好的天然气储集岩。

2.3 天然气成藏模式的新认识

天然气成藏模式的基础是构造模式的建立。由于库车地区地质结构复杂,地下构造面貌模糊不清,通过大量的野外地质观察研究,同时借鉴国外复杂地质构造的理论和经验,发现库车地区逆冲断层是构造面貌的主线。逆冲断层发育的程度直接影响地下构造复杂的程度,且与地层中的软地层,如盐膏层、煤系地层的滑脱有直接关系。一般地说大型逆冲断层面就是软地层滑脱面。在滑脱面的上下,地质结构、构造面貌差别很大,特别在逆冲断层面以下大量发生有利于油气聚集的圈闭构造。我们总结了一批可以聚集油气的构造模式,包括断层转折构造、断层传播构造、断层传播—滑脱混生构造、双重构造、突发构造等,并用这些构造模式指导地震资料的处理,使之突出地震剖面的有效部分,压制其它干扰部分,取得很重要的成果。

根据大量研究的结果,认为天然气聚集并形成工业性气藏,主要有以下几个因素:

①盐膏层及煤系地层是优良的区域性盖层,与下伏的大砂层相结合,是极佳的储盖组合,有形成高产大气田的条件。

②主要逆冲断层都是油源断层,沟通了烃源岩与储集岩的通道。

③逆冲断层上下发育的有利构造圈闭,形成时间很晚,而烃源岩成熟的时间也很晚,均主要在晚第三纪以后。天然气聚集、富集的时间更晚,主要在晚第三纪以后,直至第四纪仍在进行,目前库车大部分地区仍处在生油气高峰期。因此可以说烃源岩成熟与构造形成和天然气聚集和富集同步完成,这是形成大气区极为有利的条件。当然我们也估计还有相当丰富的石油存在。

3 复杂地质条件的钻探取得成功

库车山地曾经是钻探工程的禁区,多年以来很

难钻成一口深井,由于地层倾角大,有时顺层面产生严重井斜。地层可钻性差,机械钻速极低。普遍钻遇复杂地层再加上山前地应力复杂,井壁不规则和失稳严重。钻遇高压水层、高压气层,钻井及完井难度很大。

从1993年库车山地第一口深井开始,先是进行探索,然后是针对各种难题进行系统技术攻关,钻井速度和钻井质量都有显著提高,在面临并克服各种复杂情况和困难的同时,逐步获得自由。

一是防斜打快技术取得进展。主要是采用了钟摆防斜打快技术,偏轴防斜打快技术和井眼轨迹预控技术。

二是提高钻井机械钻速取得进展。主要是优化井身结构,使其符合井下实际情况;对相应的地层进行钻头优选,开发单牙轮钻头;根据岩石可钻性测定结果,广泛使用国内外PDC钻头,进行比较并加以改进。同时对井下动力钻具进行试验,包括螺杆钻具,涡轮钻具,液动冲击器等。另外还进行了水力加压器试验,均取得很好的效果。

三是开发和应用了聚磺多元醇氯化钾强封堵泥浆,解决了库车山前地区大段高陡、破碎的泥页岩及煤层防塌技术难题。

四是研制并应用高密度盐水水泥浆和普通高密度水泥浆对高压气层进行固井,保证了固井质量,经过分层试气没有串气现象。因此,我们在库车山地可顺利地钻成井深6 000 m以上的深探井,而且钻井速度提高很快。

4 塔里木气区的规模和远景

塔里木气区各气田气层气目前已探明储量为 $4\,688 \times 10^8 \text{ m}^3$,探明加控制储量为 $5\,345 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。三级储量状况见表1。

表1 塔里木气区天然气储量情况

Table 1 Natural gas reserve in Tarim Gas Province

储量级别	气层气/ 10^8 m^3	溶解气 ^① / 10^8 m^3	小计/ 10^8 m^3
探明储量	4 688	361	5 050
控制储量	657	133	790
预测储量 ^②	4 074	196	4 270
合计	9 419	690	10 110

①溶解气指油田伴生气。

②预测储量指某一构造有一口探井获得商业性气流的储量。

特别需要指出的是,1998年初在库车地区发现了我国的整装气田克拉2号气田,现探明储量为

$2\,506 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，单井产量极高，储量丰度极大，是我国西气东输的主力气田。我国海上著名的崖 13-1 气田储量为 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，年产量为 $34 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，向香港及海南岛输气，目前生产状况良好，与克拉 2 号气田主要参数比较，见表 2。

表 2 克拉 2 气田与崖 13-1 气田比较

Table 2 Comparison between Kela 2 and Yacheng 13-1 Gas Field

项目	气田	克拉 2	崖 13-1
探明地质储量/ 10^8 m^3		2 506	1 000
含气面积/ km^2		47	45
储量丰度/ $10^8 \text{ m}^3 \cdot (\text{km}^2)^{-1}$		53	19.6
埋藏深度/m		3 500~3 900	3 500~4 000
气层平均厚度/m		159	85
单井产量/ $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$		200	200
预计年产量 / $10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$		100	34 (已生产)
天然气性质		$\text{CH}_4 > 95\%$	$\text{CH}_4 = 89\%$, $\text{CO}_2 = 10\%$

塔里木气区的远景很大，准备集中力量，加大勘探力度。主要在塔北—库车气区把低级别的储量迅速提升为探明储量，同时再钻探一批有利的大型构造，争取有新的大的发现，并进一步迅速探明新的发现，力争在近五年内在塔北—库车气区天然气累积探明储量达 $7\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，控制储量达 $3\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，形成 $10\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 规模的大型气区。

同时塔里木气区的另一组成部分为塔西南气区，已发现和田河及柯克亚两个大型气田。天然气的远景也非常明朗，准备加强勘探，增加储备，作为西气东输的接替基地。

国务院根据塔里木天然气已探明的储量情况和天然气远景的估计，已经做出了西气东输的决定。西气东输自新疆塔里木盆地轮南油田开始，经甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、安徽、江苏，到达上海，共 9 省、市、自治区，全长 4 200 km。初期年供气量 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，预计 2003 年底全线建成，2004 年全线正式输气。初步测算上下游总投资第一期约为 $1\,200 \times 10^8$ 元，这是一项非常伟大的工程，必将造福全国各族人民。

New Technology promotes the Discovery of the Tarim Natural Gas Province

Qiu Zhongjian

(China National Petroleum corporation, Beijing 100724 China)

[Abstract] The Tarim gas province consist of two major gas regions (Tabei-kuqa and Taxinan). The Tabei region has becom one of the largest natural gas belts in China. In the north of this region, there exist exceptionally large gas fields. Due to the high relief of topography and complexity of geological structure in the region, traditional exploration methods could not be used. Through nearly ten years of tackling of key technical problems, significant progress was made, such as pioneering of seismic exploration in mountain areas, new interpretation of comprehensive geological results and successful drilling under complex geological conditions.

All those technical innovations have greatly facilitated the development of natural gas in Kuqa area and a giant gas field, Kela No.2 (Kara-II) was discovered. The proven reserve of natural gas in this gas field is 250.6 billion cubic meters which makes it a major gas source of the "West-to-East Gas Transmitting Project." The proven natural gas reserve of the Tarim Basin is 468.8 cubic meters (16.5 TCF). The discovery is a catalyst for the commencement of the project to transmit natural gas from the Tarim Basin to Eastern China.

[Key words] key technology; innovation; discovery; Tarim gas province