

文章编号 :1000-0550(2002)03-0447-09

“西气东输”探明天然气的地球化学特征及资源潜势

徐永昌 沈平 刘全有

(中国科学院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室 730000)

摘要 “西气东输”是西部大开发宏伟工程之一。第一期输气目标为 $120 \times 10^8 \text{m}^3$ 。供气基地主要为西部四大盆地,特别是其中的塔里木盆地。塔里木盆地剩余可采储量 $3397 \times 10^8 \text{m}^3$,基本满足了第一期工程对资源储备的要求。但随着西气东输工程的完善和全国对天然气需求的增大,提供更充分的资源保证是地学工作者光荣而艰巨的任务。研究四大盆地主要大中型气田地球化学特征,对此有积极意义。研究表明,塔里木盆地以几个前陆盆地的煤型气为主,四川盆地以川东为过成熟油型为主,鄂尔多斯盆地以台盆型煤型气和高—过熟油型与煤型复合气为主,柴达木盆地则以低演化煤型气为主。特别是前三个盆地,其资源潜势很大,都可能在短期内成为探明储量突破万亿立方米的大气区。它们不仅会为西气东输,而且将我国在今后 5 至 15 年间,天然气产能达 $500 \times 10^8 \text{m}^3$ 和 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 作出重大贡献。

关键词 西气东输 天然气 资源量

第一作者简介 徐永昌 男 1932 年出生 研究员 天然气地球化学

中图分类号 P593 文献标识码 A

1 概述

“西气东输”是中央西部大开发重大决策所启动的宏伟工程之一,其基本内涵是把西部丰富的天然气资源输送到我国经济发达的东部,从而达到优势互补,东西部共同加速发展的目的。

“西气东输”最主要的工程是从塔里木盆地的轮南油田向东途经库尔勒、鄯善、哈密、兰州、洛阳、合肥和南京最终到达上海市;输气管道全长 4 000 余千米。管道为平行的两条,第一期目标是年输气量 $120 \times 10^8 \text{m}^3$ 。^[1]

西部六大含油气盆地,至 1998 年,其中四川盆地已探明储量发现大小气田 96 个。累计探明天然气储量 $5 859 \times 10^8 \text{m}^3$,鄂尔多斯 $3 400 \times 10^8 \text{m}^3$,柴达木盆地已探明储量 $1 472 \times 10^8 \text{m}^3$,塔里木盆地库车凹陷已累计探明储量 $3 806 \times 10^8 \text{m}^3$ 。这些储量已初步满足了“西气东输”工程启动所需保证储量(未计新近发现的储量)。当然随着输气管道建成,天然气利用下游工程的完善配套,输气量进一步增加是拟议中的事。扩大探明储量满足这种需要乃是油气地学工作者光荣的使命。下文将基于已探明储量相关的大中型气田的地球化学特征来探讨为“西气东输”提供资源保证的西部四大盆地天然气资源的潜势。我国和世界的经验都表明天然气储量主要取决于大中型气田,特别是大型气田,

因此下文的讨论,也是以典型大中型气田为对象。

2 西部四大盆地典型大、中型气田的地球化学特征

“西气东输”的资源保证主要依靠西部四大盆地,即塔里木、柴达木、鄂尔多斯和四川(川渝)盆地。实践证明一个国家,一个地区,油气储量主要取决于大、中型油气田,特别是大型和特大型的油气田。基于国际和我国的情况,油气田按储量分类如表 1 所示。

表 1 中国油气田分类表^[2]

Table 1 The classification of oil and natural gas fields^[2]

分类	探明储量(油田) 10^4t	探明储量(气田) 10^8m^3
特大型	$\geq 10^5$	≥ 3000
大型	$\geq 10^4 \sim 10^5$	$\geq 300 \sim 3000$
中型	$\geq 10^3 \sim 10^4$	$\geq 100 \sim 300$
小型	$< 10^3$	< 100

康竹林等^[2]统计了我国已发现天然气田和气藏的情况,至 1998 年底,全国共发现气田 162 个,气藏 230 个,总计 392 个。其中特大型气田 1 个,探明储量为 $3 097 \times 10^8 \text{m}^3$,占全国气层气探明储量的 15.93%;大型气田 16 个,共探明天然气地质储量 $6 730 \times 10^8 \text{m}^3$,占全国气层气探明地质储量的 34.80%;中型气田和气藏 29 个,探明天然气地质储量 $4 798.88 \times$

表 2 中国大中型气田具体分级与规模表^[2]Table 2 The detailed classification and sizes of large-middle gas fields in China^[2]

级别	规模	探明储量 / $\times 10^8 \text{ m}^3$	个数	气田名称	储量总数 / $\times 10^8 \text{ m}^3$	占储量总数 的比例 /%
I	特大型	>3000	1	长庆气田	3 097.95	15.93
II	大型	300~3 000 (包括 300)	16	牙哈、和田河、克拉 2、台南、涩北一号、 涩北二号、卧龙河、五百梯、沙坪场、 威远、磨溪、崖 13-1、东方 1-1、 乐东 22-1	6 730.37	34.60
III	中型	100~300 (包括 100)	29	汪家、昌德、兴隆台、板桥、苏桥、文中、 丘东、呼图壁、英买力 7 号、羊塔克、 雅克拉、柯克亚、吉拉克、南八仙、 福成寨、大池干井、双家坝、高峰场、 铁山、龙门、渡口河、中坝、新场、 平落坝、锦州 20-2、乐东 15-1、平湖、 宝云亭、春晓		
合计			46		14 627.20	75.2
IV	小型	<100	346		4 825.89	24.8
总计			392		19 453.09	100

10^8 m^3 , 占全国气层气探明地质储量的 24.67%; 小型气田和气藏 346 个, 探明天然气地质储量 $4 825.89 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占全国气层气探明储量的 24.8%, 详见表 2。

基于上述思路, 下文将在西部四大典型盆地中选取部分大气田为主, 展开本文的论述。

2.1 塔里木盆地

2.1.1 概述

塔里木盆地位于新疆维吾尔自治区南部, 北界天山, 南被昆仑山、阿尔金山环绕, 面积约 $5.6 \times 10^5 \text{ km}^2$, 平均海拔 1 000 m 左右, 是我国最大的内陆盆地。盆地中部面积达 $3.2 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的塔克拉玛干沙漠是我国面积最大、气候最干燥的沙漠。盆地内沉积岩最大厚度达 15 000 m, 盆地的主体由古生代不同时期海相克拉通盆地所复合而成, 在其南北两侧又叠加了几个中、新生代陆相前陆盆地。目前发现的油气主要分布在塔北隆起、中央隆起和斜坡以及库车、塔西南两个前陆盆地逆冲带和前缘隆起上。

“西气东输”工程最主要的干线即为从塔里木至上海全长 4 112 km 的输气管线, 也是目前对天然气后备资源的保证是否充分争议较多的部分。对此笔者同意戴金星院士的论点^[3]。根据 1994 年全国油气资源评价的结果, 盆地天然气的总资源量为 $8.39 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全国常规天然气总资源量近四分之一, 占该盆地油气总资源量的 43.8%, 即塔里木盆地油气资源之比约为 1:1。实践正趋于证明, 盆地气资源可能起到愈来愈重要的作用。新的研究表明, 仅库车坳陷计算的资

源量($2.359 \times 10^{12} \text{ m}^3$)比二次资源评价的结果($0.436 \times 10^{12} \text{ m}^3$)多出了近 $2 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 而库车坳陷正是“西气东输”工程后备资源最关键的保证基地。

塔里木盆地共发现气田 13 个, 气藏 10 个, 探明地质储量 $5 049.9 \times 10^8 \text{ m}^3$, 计有大中型气田 9 个, 其中分布在库车坳陷和塔北隆起有克拉 2、牙哈、英买 7、羊塔克、雅克拉和吉拉克。前四个为大型气田, 后三个为中型气田, 另有两个气田位于中央隆起和塔西南坳陷, 即和田河大型气田和柯克雅中型气田。

2.1.2 烃源岩

“八五”期间认为盆地内有四套源岩, 即寒武系—奥陶系源岩, 石炭系—下二叠统源岩, 上三叠统—中下侏罗统源岩以及上白垩统—下第三系源岩, “九五”以来普遍主张将塔里木盆地源岩划分为两大套主力烃源岩, 即海相的寒武、奥陶系泥质碳酸岩, 它们有相对较高的有机质丰度, 如塔东 1 和库南 1 井 TOC 平均值分别为 1.24% 和 2.28%, 最高可达 5.52%, 方 1 井下寒武统烃源岩 TOC 为 0.49%~2.43%, 平均 0.91%。和 4 井下寒武统烃源岩 TOC 值为 0.21%~2.14%, 平均为 0.81%。目前多数学者趋向于认为 TOC 如小于 0.1%~0.2% 不再列为有效烃源岩。这种认识必然导致对古生界海相气源岩成烃量的估算, 海相寒武、奥陶系泥质碳酸岩分布在克拉通盆地区。另一套主力气源岩是陆相三叠系、侏罗系泥岩, 主要与煤系地层相关, 分布在库车和塔西南两个前陆盆地。如前所述, 在全国第二次资源评价时, 对这套烃源岩的资源量估算

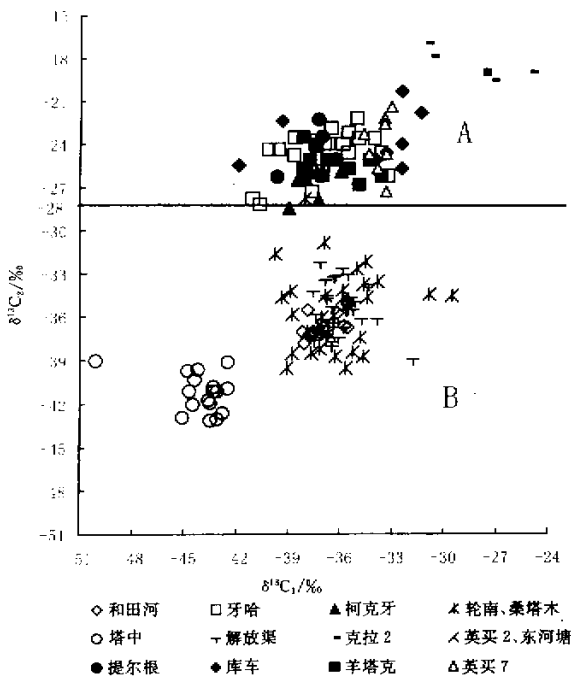


图 1 塔里木盆地天然气的 $\delta^{13}C_1 - \delta^{13}C_2$ 相关关系图

Fig. 1 The relationships of $\delta^{13}C_1 - \delta^{13}C_2$

for the natural gas compositions in Tarim Basin, China

过低,所幸现时已受到充分重视,实际“西气东输”后备资源的潜力将主要寄托于这套主力源岩。

2.1.3 天然气同位素地球化学特征

甲烷同系物的碳同位素对天然气成因类型、成熟度演化、气—气对比和气—源对比均可提供关键的科学依据。图 1 是笔者基于文献^[2,4]和赵孟军等^①、徐永昌等^②的内部资料绘制的 $\delta^{13}C_1 \sim \delta^{13}C_2$ 相关关系图。

从图 1 可以看出：

(1) 坐标 $\delta^{13}C_2$ 为 -28‰ 处划了一条线。这是地质实践和实验地质学都证明了的油型气和煤型气的基本划分标准,此横线将塔里木盆地天然气划分为两个区,即 A 区 $\delta^{13}C_2 > -28\text{‰}$ 的点群和 B 区 $\delta^{13}C_2 < -28\text{‰}$ 的点群, A 区天然气与煤型气相关,而 B 区与油型气相关。

(2) 分布在 A 区,即 $\delta^{13}C_2 > -28\text{‰}$ 的气样来自牙哈、柯克亚、提尔根、库车、英买 7 和克拉 2 等气田。现有研究表明,除柯克亚外,它们主要源于库车坳陷三叠—侏罗系烃源岩,属煤型气。它们是塔里木盆地天然气探明储量的主体部分,累计为 $3.839 \times 10^8 \text{m}^3$,占塔里木探明储量 $5.049.9 \times 10^8 \text{m}^3$ 的 76%。图中 A 区气样点群分布,西南角气体同位素组成较轻,向东北方向延展同位素变重,这一趋势体现了相关源岩热演化程度

增高的方向,即牙哈、柯克亚、提尔根等演化程度相对较低,克拉 2 的演化程度较高,而克拉 2 为塔里木盆地乃至国内目前最大的整装气田,它意味着高演化煤型气在库车坳陷有巨大潜力。

(3) B 区为与油型气相关的点群,它们主要与塔里木盆地海相寒武系、奥陶系泥质碳酸盐岩烃源岩相关,这些气样同样从图中西南向东北方向延展同位素值也是由轻变重的趋势,这一趋势同样反映了源岩热演化程度的增高,塔中与油伴生的天然气演化程度低,而和田河和轮南油区的天然气热演化程度高,已达到高熟—过熟阶段,其中部分轮南和解放渠的样品存在 $\delta^{13}C_1 > \delta^{13}C_2$ 的同位素反序列,解释之一,即成熟度很高所致。作为资源,油型气中高温裂解气具有较大潜势。和田河气田占盆地油型气探明储量的 50% 以上,也是一个实际的例子。由于塔里木盆地从古生代到新生代经历多次构造运动,故古生界烃源岩形成天然气藏要求更严格的保存条件。

基于塔里木盆地天然气地球化学特征和地质背景,可以认为盆地主要而现实的潜在资源最主要的是几个前陆盆地的煤型气,特别是演化程度较高的煤型气。

2.2 四川(川渝)盆地

2.2.1 概况

四川盆地位于扬子板块西北部,属前陆复合盆地,基底为元古宙变质岩系和少量酸性—基性岩浆岩,其上沉积了震旦系至第三系厚约 13 000 m 的沉积岩系。四川盆地具有多产层的特点,有上震旦统、上石炭统、上、下二叠统的碳酸盐岩储集层和上三叠统和侏罗系致密砂岩储集层,其中成层性较好,孔隙度较高的川东区的石炭系气藏和川西区上三叠统—侏罗系气藏均探明较大的储量并显示了巨大的潜力。

至 1998 年底四川盆地共发现气田 96 个,共探明天然气储量 $5.859 \times 10^8 \text{m}^3$,其中川东 $3.281 \times 10^8 \text{m}^3$,川南 $634 \times 10^8 \text{m}^3$,川西南 $281 \times 10^8 \text{m}^3$,川西北 $727 \times 10^8 \text{m}^3$ 。大中型气田 15 个,共探明天然气储量 $3.861 \times 10^8 \text{m}^3$,占盆地探明储量的 65%,其中大型气田 5 个,探明储量 $2.102 \times 10^8 \text{m}^3$,占盆地探明储量 35%。15 个大中型气田主要分布在川东、磨溪—威远、川西三个聚集带。它们分别为川东聚集带的卧龙河、福成寨、铁山、双家坝、渡口河、五百梯、龙门、沙坪场、高峰场和大池干井,计 10 个大中型气田;威远—磨溪穹窿聚气带

① 赵孟军等. 塔里木盆地天然气成藏条件及勘探方向. 中国石油勘探开发院. 2000. 10

② 徐永昌. 塔里木盆地天然气成因类型、气源判识及稀有气体同位素地球化学研究. 中国科学院兰州地质所. 1994. 4

的威远和磨溪两个大气田以及川西聚气带的平落坝、新场和中坝等三个中型气田。显然目前四川盆地天然气探明资源和剩余可采资源主要集中在川东聚气带。

据有关资料可知四川盆地的 5 个大气田和 3 个接近 $300 \times 10^8 \text{m}^3$ 的气田^[2], 总计 8 个气田, 占盆地发现气田的 8%, 但其探明储量之和大于 $2\,900 \times 10^8 \text{m}^3$, 即占盆地探明储量的 50%。关于四川盆地以川东聚气带为主予以叙述。

2.2.2 烃源岩

川东地区储层以石炭系为主, 但研究表明, 其源岩主要为下覆志留系深灰色泥页岩、志留系厚 800~1 200 m, 以深灰色, 灰绿色泥岩为主夹灰岩和砂岩。厘定为烃源岩的泥质岩厚 250~650 m, TOC 为 0.5%~1.25%, 氯仿“ A ”含量大于 0.01%, 为好的烃源岩, 镜检资料有机母质为 I、II 型。川东志留系烃源岩 R_o 值分布于 2.2%~4.0% 之间, 大部分地区 $R_o > 3%$, 即志留系烃源岩已演化到过成熟阶段, 以产干气为主。

2.2.3 天然气同位素地球化学特征

基于川东天然气碳同位素资料^[5] 编制了 $\delta^{13}\text{C}_1$ — $\delta^{13}\text{C}_2$ 的关系图。从图 2 可知:

1) 乙烷碳同位素组成不仅小于 -28‰ , 而且 $\delta^{13}\text{C}_2 < -30\text{‰}$, 一般而言, 这是天然气为油型气的重要判识指标。

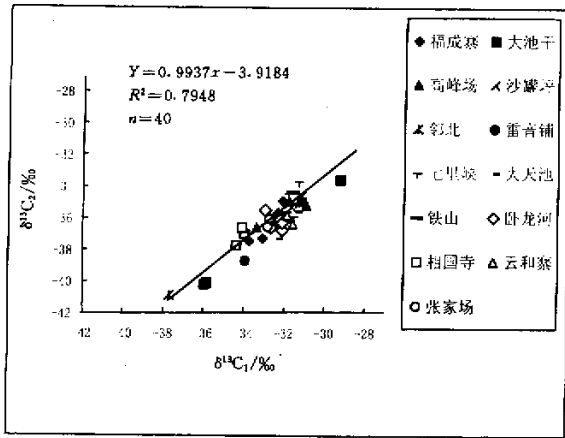


图 2 川东石炭系气藏 $\delta^{13}\text{C}_1$ — $\delta^{13}\text{C}_2$ 关系图 (据文献 5 编制)

Fig. 2 The relationship of $\delta^{13}\text{C}_1$ — $\delta^{13}\text{C}_2$ in Carboniferous gas reservoirs of Chuandong region, China^[5]

2) 甲烷碳同位素具有较重的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值, 主峰群之值为 $-31\text{‰} \sim -33\text{‰}$, 计 31 个气样占图中样品的 83%, 对于油型气而言, 这是高温裂解过熟气的特征。

3) 图中 4 个气样全部构成 $\delta^{13}\text{C}_1 > \delta^{13}\text{C}_2$ 的反序列, 而具有很好的线形关系。甲烷同系物 $\delta^{13}\text{C}_1$ 和 $\delta^{13}\text{C}_2$ 构成倒转一般有四种解释: a. 不同成熟度气体的混合; b. 非生物成因气; c. 差异扩散造成同位素分馏; d. 有机成因高温裂解的过熟气。川东大、中型气田的 $\delta^{13}\text{C}_1 > \delta^{13}\text{C}_2$ 笔者倾向于最后一种解释。这和该地区源岩热演化标尺 $R_o > 3\%$ 是吻合的。

这些资料表明, 川东大中型气田主要为油型气, 其热演化阶段已为过成熟高温裂解气。实际威远大气田也属于此类型。它们是四川探明资源的主要成因类型, 也是四川盆地具有最大潜势的天然气资源类型。此外, 川西的三个中型气田中坝、新场、平落坝和川中的大气田磨溪都属于煤型气, 累计探明储量达到 $983 \times 10^8 \text{m}^3$, 也应给予足够的重视, 特别在川西, 更具有较好的前景。

2.3 鄂尔多斯盆地

2.3.1 概况

在地理位置上跨陕、甘、宁、蒙、晋五省, 又称陕甘宁盆地, 面积 $3.7 \times 10^5 \text{km}^2$ 。处于华北地块的西缘, 盆地基底为太古宇和下元古界变质岩系。早古生代以来, 形成了厚达 5 000~10 000 m 的沉积盖层。该盆地是中国第二大沉积盆地和重要的含油气区。油气分布的总体格局是中生界含油, 古生界含气, 浅部含油, 深部含气。

盆地探明特大型气田一个, 也是我国至今发现的唯一的特大型气田, 即长庆气田, 探明含气面积 $5\,056 \text{km}^2$, 储量 $3\,400 \times 10^8 \text{m}^3$ 。最近发现的苏里格庙气田未计算在内。

长庆气田简要基础数据是: 发现年代为 1989 年, 含气层位为 P、C、O, 气层埋深 2 800~3 000 m, 储集层为砂岩和灰岩, 类型为孔隙—裂隙—溶孔, 为地层—岩性气藏。

2.3.2 烃源岩

长庆气田的烃源岩主要有两套, 即盆地中部奥陶系和石炭系、二叠系。奥陶系烃源岩主要为白云岩、灰岩和膏质白云岩, 总厚 500 m 左右, TOC 含量 0.08%~0.64%, 平均 0.22%, 烃含量平均 40.5×10^{-6} , R_o 为 2.07%~2.86%, T_{max} 平均 538℃, 有机质演化已达到过成熟的干气阶段。

石炭、二叠系烃源岩为灰黑色泥岩, 深灰色灰岩和煤层, 总厚 70~100 m, 相应地地化指标如表 3 所示。

长庆特大型气田属过成熟油型气与煤型气复合藏, 应属不争的事实, 但从主源定型的角度, 主力气源为何种类型存在较大分歧。

表 3 鄂尔多斯盆地上古生界烃源岩主要地化参数表
Table 3 The geochemical parameters of Upper-paleozoic hydrocarbon rocks in Ordos Basin, China

岩性	有机碳含量 /%	沥青“A” /%	烃含量 / $\times 10^{-6}$	干酪根类型
煤	65.05	0.2532	1300.2	腐殖型
泥岩	1.66	0.0518	45.09	腐殖型
灰岩	0.61	0.005	28.44	腐殖、腐泥型

2.3.3 天然气同位素地化特征

我们仍然以 $\delta^{13}C_1 \sim \delta^{13}C_2$ 的关系图来讨论长庆气田的天然气特征及其成因分类。黄第藩^[6]基于 $\delta^{13}C_1 \sim \delta^{13}C_2$ 的关系将长庆气田天然气划分为源于石炭—二叠系煤型气和下奥陶统高过成熟油型气及二者混合气,并认为主要气源为下古油型气,笔者同意其见。徐永昌^[7]基于 $\delta^{13}C_1$ 、 $\delta^{13}C_2$ 和 $^{40}Ar/^{36}Ar$ 相关资料,结合源岩成熟度特征,经计算认为中部气田源于下古油型气所占比例为 70%,而源于上古煤型气的比例为 30%。当然认为长庆大气田主源为上古煤型气的意见也不少^[8,9,10],特别是目前对碳酸盐岩成烃的一些新认识,使后一种观点有更趋于占主导地位的情况。但

笔者认为有几点仍值得强调 (1)长庆气田主要产层为下古生界,源岩有机质的低丰度和气田的低丰度是对应的 (2)这与鄂尔多斯盆地上古生界可能是主力烃源岩并不矛盾 (3)低有机质碳酸盐岩作为有效气源岩应与油源岩有差别,在下古生界碳酸盐岩 TOC 平均为 0.22% 的情况,笔者认为应予以考虑。

2.4 柴达木盆地

2.4.1 概况

柴达木盆地位于青藏高原北部,四周为山系围绕,西北为阿西金山,东北为祁连山,南为昆仑山,东以秦岭为界,面积约为 $12.1 \times 10^4 km^2$,是我国西部一个大型中、新生界盆地,沉积岩厚度大于 10 000 m。油气产层以新生界为主。盆地到 1998 年底为止,共发现气田和气藏 9 个,探明含气面积 $125 km^2$,天然气储量 $1.472 \times 10^8 m^3$ 。共探明大中型气田 5 个。四个大型气田,即台南、涩北一号、涩北二号和台吉乃尔均分布于盆地东部的三湖拗陷区。它们是“西气东输”系统工程中柴达木—西宁—兰州管线主供基地。此外,盆地北缘的南八仙为中型气田。该气田已建成通敦煌的管线。

五个大中型气田的简要基础数据如表 4 所示。

表 4 柴达木盆地大中型气田基础数据表^[2]

Table 4 The basic data of large-middle fields in Qaidam Basin, China^[2]

气田名称	发现时间	产气层位	含气面积 / km^2	气层埋深 /m	储集层岩性	储集层类型	气藏类型	探明天然气储量 / $\times 10^8 m^3$	储量丰度 / $\times 10^8 m^3 / km^2$	备注
台南	1988.3.	Q	38.8	835~1746	砂岩	孔隙	构造	425.3	10.96	
涩北一号	1964.12	Q	38.9	540~1520	砂岩	孔隙	构造	492.22	12.65	
涩北二号	1975	Q	39.8	500~1300	砂岩	孔隙	构造	422.89	10.62	
台吉乃尔	1976.8	Q	61	210~765	砂岩	孔隙	构造	310.69	5.09	控制储量 探明凝析
南八仙	1995	N-E		421~3219	砂岩	孔隙	构造断块	124.35	13.66	油储量 $7.8 \times 10^4 t$

2.4.2 烃源岩

塔里木盆地存在二套烃源岩,即第四系和侏罗系。第四系在年平均 1 mm 的快速沉积作用下,沉积了最厚达 3 400 m,以暗色泥岩为主的地层,又可细分为两类,有机碳含量平均为 9% 的碳质泥岩和平均有机碳为 0.3%,但总体积达百万 km^3 的暗色泥岩,它们为第四系生物气藏提供了丰厚的物质基础。

侏罗系在盆地北缘分布极广,分布面积可达 $13\ 000 km^2$,厚度大于 800 m,其有机碳含量可达 2.78%~8.26%,沥青“A”为 0.086%~0.19%,总烃 0.051%~0.092%, R_o 为 0.9%~1.3%,其母质类型

以 II 为主, I、III 型为辅,这套烃源岩的确定为柴达木盆地油气资源提供了极大的前景。

2.4.3 天然气同位素地化特征

表 5 为柴达木盆地三湖拗陷天然气组分和同位素组成有关数据。

从表列数据可以看出 (1)三湖地区几个气田 $\delta^{13}C_1$ 值均小于 -60‰,处于 -64.9‰~-68.5‰ 的范围,为典型生物气的特征,这是我国唯一的大、中型生物气气田群的分布区。(2)和云南中小型盆地生物气气田相比^[11],三湖区生物气 $\delta^{13}C_1$ 值较陆良气田 ($\delta^{13}C_1 \approx -78.8‰ \sim -75.4‰$) 重,但普遍较保山气田

表 5 柴达木盆地三湖坳陷大中型气田地球化学参数

Table 5 The geochemical parameters of natural gas of Sanhu Depression in Qaidam Basin China

气田(构造)	井号	井深 /m	主要组分含量/%					$\delta^{13}\text{C}_1$ /‰	$\delta^{13}\text{C}_2$ /‰	$\delta^{13}\text{C}_3$ /‰
			N_2	CO_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8			
台南	台南 4	1717.8~1721.9			99.93	0.06	0.1	-68.5		
	台南 6	1599.0~1602.0	1.05	0.59	98.24	0.05	0.03	-68.2	-36.3	-24
涩北一号	涩北 13	1053.4~1056.8	0.68		99.24	0.06	0.02	-68.5		
	涩北 3		2.05	0.11	97.84			-66.4		
涩北二号	涩北 21	1479.2~1482.0		0.44	99.21	0.25	0.06	-64.9		
	涩新深 1	1132.2~1135.6	2.17	0.68	96.95	0.07	0.03	-67.0		
盐湖								-65.0	-37.7	-23.6

($\delta^{13}\text{C}_1 \approx -65.4\text{‰} \sim -60.0\text{‰}$) 轻。可以认为作为生物气的演化程度介于二者之间,其中涩北 2 号、涩北 21 井的 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值(-64.9‰)与保山保 2 井甲烷碳同位素值(-65.4‰)相似,即它们具有相近的演化程度。从表 5 的资料也可看出,涩 21 井除 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为三湖区生物气中较重者外,其 C_2 和 C_3 组分分别达 0.255% 和 0.06%,也是重烃组分含量相对高的井,同时,也是涩北 1 号和 2 号气层埋深相对较大的层位。可以认为,其成藏期较表列其它气层早(3)三湖区气田母质主要为 III 型,即它们可以定为煤型生物气,但其 $\delta^{13}\text{C}_2$ 远小于 -28‰,我们早已指出^[11]在 III 型有机质的生物成气阶段,不能用 $\delta^{13}\text{C}_2 > -28\text{‰}$ 作为判别指标。柴达木盆地生物气再次对此作出验证。

柴达木盆地除三湖区生物气资源,在盆地北缘也探明了以南八仙为代表的中型气田表 6 为柴达木盆地北缘一些天然气的碳同位素值。

从表列数据还可以看出,以南八仙为代表柴达木盆地北缘发现的天然气显然属于煤型气,与盆地广泛分布的侏罗系煤系源岩有关,而且其演化程度已较高,属高熟煤型气,此一类型虽然目前仅发现一个中型气田,但潜力巨大。

3 “西气东输”天然气资源潜势

3.1 我国天然气资源概况(未包括台湾省)

资源量:1994 年全国油气第二次资源评价的结果,我国天然气资源量为 $38 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。新近的计算结果有较大的增加为 $50 \times 10^{12} \text{ m}^3$,并可初步折算为可采资源量 $13 \times 10^{12} \sim 14 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。探明储量:至 1999 年底累计探明地质储量为 $2.06 \times 10^{12} \text{ m}^3$,如按 65% 的采收率计,则可采储量为 $1.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$,减去历年采出部分,剩余可采储量为 $1.02 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。西部四大盆地探明储量:塔里木盆地 $5000 \times 10^8 \text{ m}^3$,柴达木盆地 $1472 \times 10^8 \text{ m}^3$,四川盆地 $5800 \times 10^8 \text{ m}^3$,鄂尔多斯盆地

表 6 柴达木盆地天然气同位素参数

Table 6 The isotopic parameters of natural gas in Qaidam Basin China

井号	$\delta^{13}\text{C}_1$ /‰	$\delta^{13}\text{C}_2$ /‰	$\delta^{13}\text{C}_3$ /‰	$\delta^{13}\text{C}_4$ /‰
南八仙	-30.6	-22.8	-22	-22.6
南 5	-38.6	-25.6	-24.1	-23.9
马中 1	-30.6	-24.6	-24.0	-22.9
鄂 1	-27.7	-23.1	-21.8	-

$3400 \times 10^8 \text{ m}^3$,西部四大盆地总计为 $15672 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全国探明储量 78%。

天然气生产能力和预测,长期产量在 $15010^8 \sim 170 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{年}$ 范围,1999 年增长到 $243 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{年}$,预计 2005 年天然气年产可达 $500 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{年}$,而 2015 年可达 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{年}$ ^[3]。

上述资料表明,按目前可采储量不能满足 2005 年产 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 稳产 30 年的要求。前文所述库车坳陷的探明储量要保证“西气东输”的第一期目标 $120 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{年}$ 尚有一定差距,更不用说增加年输气量的要求从实际需要和经济核算角度都是必要的。

3.2 资源潜势分析

从前文论述可知,西部四大盆地探明储量主要分属两种类型天然气即以四川盆地川东区为代表的过成熟油型气和塔里木盆地库车坳陷以克拉 2 大气田为代表的煤型气。柴达木盆地三湖坳陷的几个大型气田,按成气阶段定名,它们属生物气,但就成气母质的类型划分,则应属煤型生物气,即从大类型而言它们仍属煤型气。

下文仍按西部四大盆地,基于现有的资料,结合地质、地化背景讨论其资源潜势。

3.2.1 塔里木盆地

首先是库车坳陷,这是“西气东输”主干线天然气

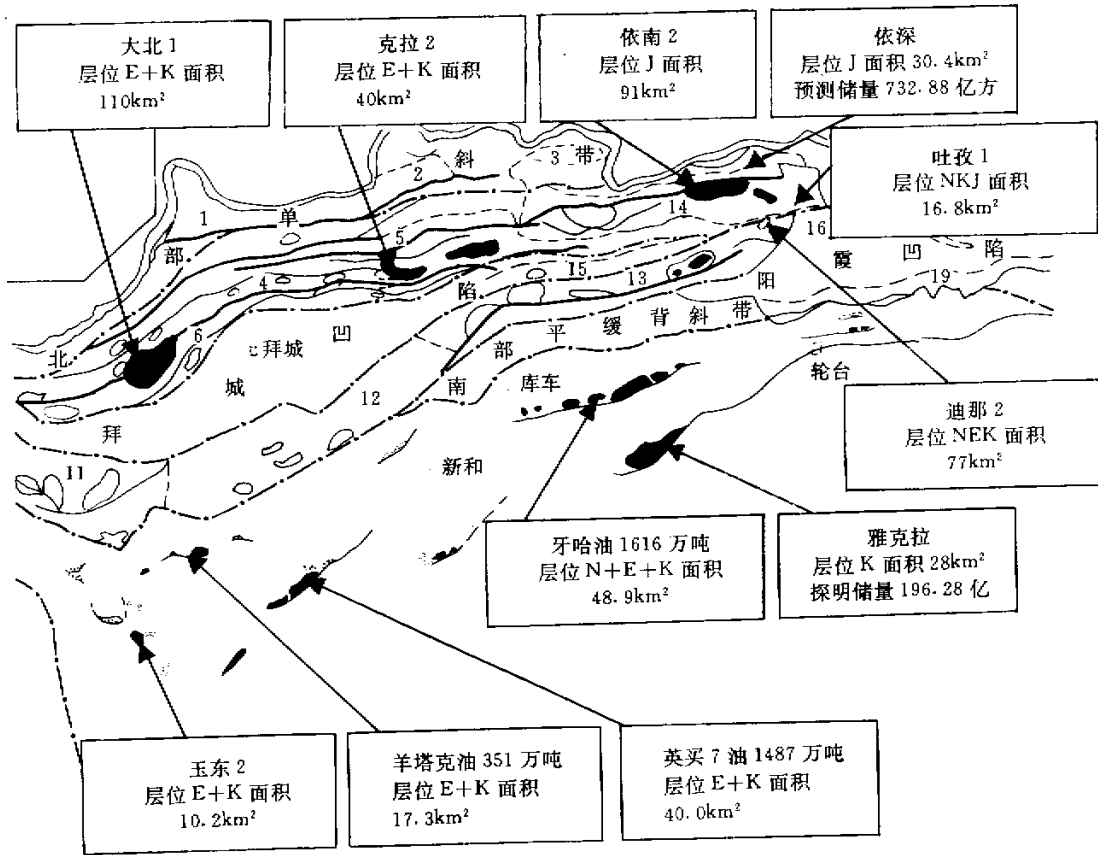


图 3 塔里木盆地库车—塔北区气田分布图 [据赵孟军]

Fig. 3 The distribution of gas reservoirs in Kuche-Tabei region, Tarim Basin, China

资源供给的主要基地,如前所述该区天然气主要类型为煤型气,而且主要与高过熟煤型气有关,可归入前陆盆地煤型气。库车—塔北区气田(藏)的分布如图 3 所示。图中标明了该区分布气田的探明储量或预测储量,同时,将 2001 年 4 月发现的迪拉 2 号位置及圈闭资源量预测也予以标注。

从图可知,塔里木盆地探明天然气储量 $5\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中 $3\,765 \times 10^8 \text{ m}^3$ 分布在库车—塔北地区,即占总探明储量的 75%,而盆地总探明储量中煤型气又占 84%。

目前库车—塔北区预测储量加迪拉 2 号的圈闭资源量预测总计达 $5\,330 \times 10^8 \text{ m}^3$,这是很乐观的资源潜势,30%~60%甚至更高效率地转化为探明储量的前景是乐观的。它们对保证‘西气东输’主管线的资源储备提供了有力的保证,应进一步说明的是预测的 $5\,330 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气资源基本为煤型气。

塔里木计划在‘十五’期间探明天然气储量 3 000

$\times 10^8 \text{ m}^3$ 到 $4\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。并对探明 $4\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 认为是可行的,主战场仍为库车—塔北地区,这一切给‘西气东输’主管线的资源储备提供了重要保证。

3.2.2 四川盆地

主要后备资源应与川东地区过成熟油型气有关。川西北浅层气藏也具有很大潜力,四川盆地二次资源量为 $7.36 \times 10^{12} \text{ m}^3$,位居全国第二,虽然四川是我国的天然气大省,但资源量转化为探明储量的比率也仅为 8%,应当说天然气资源潜势是巨大的。据有关资料,四川盆地在‘十五’期间计划探明天然气储量 $1\,750 \times 10^8 \text{ m}^3$,控制储量 $1\,750 \times 10^8 \text{ m}^3$,预测储量 $2\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$,预期成果大体与‘九五’相当。到 2015 年,四川盆地再探明天然气储量 $3\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$,控制储量 $4\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$,预测储量 $5\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$,在新增储量中,川东地区过成熟油型气将是主要的贡献者。以‘十五’为例,川东地区新增探明储量将占总新增探明储量的 63%。到 2015 年时四川盆地累计探明储量将超过

10 000 × 10⁸m³, 并有 10 000 × 10⁸m³ 以上控制和预测储量作后备, 一个巨型气区的宏伟图景清晰可见。

3.2.3 鄂尔多斯盆地

在讨论长庆气田时曾指出, 笔者认为长庆气田主力气源以下古生界海相过熟油型气为主。但上古生界煤型气的巨大潜力却是客观存在的事实。对鄂尔多斯天然气资源量的新一轮评估结果, 天然气资源量达 8.4 × 10¹²m³(或 10.7 × 10¹²m³), 新增资源量达 4.2 × 10¹²m³, 与这一认识相映证的是 2000 年天然气勘探的历史性大突破。在长庆气田的西北侧发现了苏里格庙巨型气田, 在石炭—二叠煤系地层发现了盒 8、山 1 两套气层组, 气层埋深 3 280~3 320 m, 提交天然气探明储量 2 204.75 × 10⁸m³, 控制储量 1 000 × 10⁸m³ 和预测储量 1 031.71 × 10⁸m³。估计该气田储量规模将达 5 000 × 10⁸m³ 至 7 000 × 10⁸m³, 成为世界级的超大型气田。苏里格庙巨型气田的发现, 再次显示了“中国煤成气开发研究”这一国家级科研课题的科技成果对生产实践的巨大指导作用。正是有了这种巨大的资源潜力, 故“十五”计划中, 该盆地计划新增探明储量 1 300 × 10⁸m³, 控制 2 733 × 10⁸m³, 到 2015 年再新增探明储量 3 600 × 10⁸m³, 控制储量 4 400 × 10⁸m³, 届时鄂尔多斯盆地不仅为“西气东输”可作出重要贡献, 对全国年产天然气 1 000 × 10⁸m³ 也将是核心的资源供应基地之一。

3.2.4 柴达木盆地

1994 年二次资评时盆地资源评估仅为 0.294 × 10¹²m³, 而目前探明资源量已达 1.472 × 10¹²m³, 即资源探明率已达 50%。根据近年的研究, 对柴达木盆地天然气的资源前景有了全新的认识, 估计资源量达 2.872 × 10¹²m³, 是全国资源量增加最多的三个盆地之一, 不仅生物气还有巨大的潜力, 在笔者看来, 生物—热催化过渡带气也是极待研究的领域, 应有极大潜力。侏罗系一套分布极广的优质烃源岩的发现, 更为盆地天然气资源前景提供了重要的基础。基于这些有利的条件, “十五”计划中拟再增探明储量 1 000 × 10⁸m³, 控制储量 550 × 10⁸m³。至 2015 年再新增探明储量 1 300 × 10⁸m³, 作为《西气东输》的支管线之一, 其资源潜力也是乐观的。

4 结语

“西气东输”工程已启动, 主干线第一期目标年输气量 120 × 10⁸m³, 塔里木盆地现有可采剩余储量 3 397 × 10⁸m³, 基本满足工程对资源储备的要求。库车—塔北地区现有预测储量 5 330 × 10⁸m³, 为“西气东输”工程增加输气量提供了资源潜力。鄂尔多斯盆地

上古生界苏里格庙超大型煤型气田的发现, 四川盆地川东区过熟油型气的巨大资源潜势, 以及塔里木盆地第四系生物气和侏罗系烃源岩极大的潜力, 不仅为整个“西气东输”工程, 而且为今后 5 年至 15 年将我国天然气年产量提高到 500 × 10⁸m³/年和 1 000 × 10⁸m³/年提供了后备资源储量的重要保证, 届时塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地和中国的海域等四个探明储量 10¹² m³ 级的大气区将呈现在国人面前。

天然气资源潜势是诱人的, 但要将潜势变为现实仍需艰苦的工作。我国油气工业的发展充分体现科技是第一生产力的科学论断。可以说没有陆相生油理论就没有今天我国石油工业的辉煌, 也可以说没有煤成气的理论就没有当前天然气工业的飞速发展。“六五”国家实施了“中国煤成气开发研究”的国家科技攻关项目, 其科研成果的后效正在转化为巨大的生产力。从 1981 年至今, 国家在四个五年计划中, 都将天然气列为国家重点科技攻关项目, 相应地, 我国天然气探明储量也出现连续翻番的可喜局面, 即四个五年计划分别为 1 345 × 10⁸m³、3 082 × 10⁸m³、6 970 × 10⁸m³, “九五”期间则超过了 10 000 × 10⁸m³。而且煤成气在探明储量中所占比例也由 1978 年的 9% 上升到 1999 年的 54%^[12]。如果再考虑到 2000 年克拉 2 和苏里格庙两个大型煤成气田的发现, 其探明储量的总和近 5 000 × 10⁸m³, 因此煤成气在现有探明储量中所占比例将超过 80%。笔者认为我国天然气工业的飞跃发展充分体现了科研是产业发展的先导, 科技是第一生产力的典型和生动的实例。

参考文献(References)

- 1 石宝珩. 科技为“西气东输”奠定资源基础[N]. 科技日报, 2000-5-8(4) [Shi Baoheng. Sciences and technology provide a source base for “West gas transporting to east region” [N]. Science Technology Daily, 2000-5-8(4)]
- 2 康竹林, 傅诚德, 崔淑芬, 杨宪一. 中国大中型气田概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000 [Kang Zhulin, Fu Chende, Cui Shufen, Yang Xianyi. Outline of large middle-sized gas reservoirs in China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000]
- 3 戴金星, 夏新宇, 卫延召. 中国天然气资源及前景分析——兼论“西气东输”的储量保证[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 1~8 [Dai Jinxing, Xia Xinyu, Wei Yanzhao. Estimation of natural gas resources and reservoirs in China with concerning to reservoirs for west-east gas pipeline project [J]. Oil and Gas Geology, 2001, 22(1): 1~8]
- 4 Chen Jianfa, Xu Yongchang, Huang Difan. Geochemical characteristics and origin of natural gas in Tarim Basin China [J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(5): 591~606
- 5 王兰生. 川东石炭系气藏地球化学研究[D]. 成都理工学院, 2001 [Wang Lansheng. The geochemical study of Chuandong gas reservoirs in Carboniferous system [D]. Chendu University of Technology 2001]

- 6 黄第藩, 杨俊杰. 鄂尔多斯盆中部大气田的气源判识[J]. 科学通报, 1996, 41(17): 1 588~1 592 [Huang difan, Yang Junjie. Gas resource indicator of large gas reservoir in the middle of Ordos Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 1996, 41(170): 1 588~1 592]
- 7 徐永昌等. 天然气成因理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 178~188 [Xu Yongchang, *et al.* Genetic theory of natural gas and its application [M]. Beijing: Science Press, 1994. 178~188]
- 8 戴金星, 夏新宇. 长庆气田奥陶系风化壳气藏气源研究[A]. 见: 戴金星. 天然气地质和地球化学文集(卷二)[C]. 247~255 [Dai Jinxing, Xia Xinyu, Wei Yanzhao. The gas-source study of eroded crust reservoir of Ordovician system in Changqing gas field [A]. In: Dai Jinxing, ed. Miscellany of natural gas geology and geochemistry (volume II) [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000. 247~255]
- 9 张文正, 裴戈, 关德师. 鄂尔多斯盆地中、古生界南厚原油轻烃单体系列碳同位素研究[J]. 科学通报, 1992, 73(3): 248~251 [Zhang Wengzheng, Pei Ge, Guan Deshi, The study of carbon isotopic composition of Nanhou original oil unit light hydrocarbon series in Mesozoic-Paleozoic System in Ordos Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 1992, 73(2): 248~251]
- 10 关德师, 张文正. 鄂尔多斯盆地中部大气田奥陶系层的油气源[J]. 石油与天然气地质, 1993, 14(3): 191~199 [Guan Deshi, Zhang Wengzheng. The oil-gas sources of Ordovician system strata for large gas reservoir in the middle of Ordos Basin [J]. Oil and Gas Geology, 1993, 14(3): 191~199]
- 11 徐永昌, 沈平, 郑建京等. 云南中、小盆地低演化天然气地球化学特征[J]. 科学通报, 1999, 44(8): 887~889 [Xu Yongchang, Shen Ping, Zheng Jianjing, *et al.* The geochemical characteristics of low maturity natural gas in large-middle Yunnan Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(8): 887~889]
- 12 傅承德. 天然气科学研究促进了中国天然气工业的起飞[A]. 见: 戴金星, 傅承德, 关德范. 天然气地质研究新进展[C]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1~11 [Fu Chende. The study of natural gas promotes the great development of natural gas technology [A]. In: Dai Jing, Fu Chende, Guan Defan, eds. New development on natural gas geology [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 1~11]

Geochemical Characteristics of the Proved Natural Gas for the Project “ West Gas Transporting to the East ” and Its Resource Potential

XU Yong-chang SHENG Ping LIU Quan-you

(The State Key Laboratory of Gas Geochemistry Lanzhou Institute of Geology CAS Lanzhou 730000)

Abstract West gases transporting to the east China is one of huge projects related to the development on the west China. The amount of first transportation gas that is 120 billion m^3 will be provided by four basins in the western China especially Tarim Basin. The remnant gas excavated in the basin is $3\ 397 \times 10^8 m^3$, basically satisfy the demand required by the first phase of the project. To provide such enormous resources is still in need of arduous assignment of geologists. The geochemical study on four basins, mainly including large-middle basins, is very significant for reaching this goal. The results show that the natural gas from coal was mostly generated in several foreland basins in Tarim in Basin, China; and the gas from high rank oil of Chuandong region existed mainly in Sichuan Basin, China; the natural gases of platform Basin are the gas from coal and the composite gas from high-excessive rank oil gas and coal in Ordos Basin, China; the gas of the Qaidam basin mainly came from the low rank gas from coal. The resource potential is optimistic in the first three basins where may be found more than trillion cubic meter natural gas in the near future. They will contribute to not only the west gases transporting to east region project, but also to our natural gas industry, and the amount of natural gas will be increased more than 500 billion m^3 and 1000 billion m^3 in the future five and fifteen years, respectively.

Key words West gas transporting to the East, natural gas, resource potential