

文章编号: 1009-6248 (2003) 01-0062-08

河西走廊—巴彦浩特盆地石炭系含油气远景评价

曹代勇¹, 刘善印¹, 张守仁¹, 李龙滢², 陈恭阳²

(1. 中国矿业大学北京校区, 北京 100083; 2. 江汉石油学院, 湖北 荆州 434102)

摘要: 河西走廊至巴彦浩特盆地地区石炭纪地层厚逾千米, 是一套海陆交互相含煤岩系, 发育暗色泥岩、灰岩、煤层及碳质泥岩等 3 大类烃源岩。石炭系烃源岩有机质丰度较高, 有机质类型以 III 型和 II₂ 型为主, 绝大部分处于生油高峰至干气期, 为良好的气源岩, 并具有一定数量的生油能力。石炭纪地层具有良好的生储盖组合和适宜的成藏条件。根据石炭系石油地质条件分析, 划分出巴彦浩特盆地、河西走廊东部、河西走廊西部等 3 个评价区块。其中, 巴彦浩特盆地是最有利的油气区, 河西走廊东部可作为远景目标, 走廊西部油气地质条件较差。

关键词: 石炭系; 油气评价; 生储盖组合

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A

祁连山以北的河西走廊至贺兰山—六盘山以西的巴彦浩特盆地一带, 发育巨厚石炭纪地层。虽然早在 20 世纪 50 年代走廊地区开展的石油地质普查中就曾提出石炭系具有较好的油气远景^[1], 但长期以来, 本区石炭系石油地质条件研究一直十分薄弱。随着我国油气工业“稳定东部、发展西部”战略的确立, 西北地区的石炭系油气潜力再度受到人们的重视。80 年代后期以来, 尤其是“九五”期间, 不少单位在本区相继开展了石炭纪地层、构造、沉积相和生储条件的研究工作^[2,3,4]。本文在上述工作基础上, 着重从生储盖组合角度评价石炭系含油气远景。

1 地层与烃源岩

1.1 地层发育

本区的石炭纪地层包括下石炭统前黑山组和臭牛沟组, 上石炭统靖远组、羊虎沟组和太原组 (表

1), 地层残余厚度 40~1100 余 m (图 1)。东部的巴彦浩特、中卫和景泰地区较厚, 460~1100 余 m, 地层齐全, 为沉降—沉积中心, 天祝—武威以西地层发育不全, 尤其在金昌—张掖—玉门以北仅存太原组, 厚度 < 100 m; 向南靠近祁连山逐渐增厚, 在俄博北山可达 753 m。

1.2 烃源岩时空分布特征

本区石炭系总体上为一套滨浅海—三角洲相的含煤地层。发育暗色泥岩、灰岩、煤层及碳质泥岩等 3 大类烃源岩。代表性剖面岩性分析结果表明, 3 大类烃源岩在石炭系各层位中都有分布, 其中以上石炭统各组较发育。

暗色泥岩厚度平面展布具有东厚西薄的趋势。在天祝—武威以西小于 100 m, 在中卫—巴彦浩特一带可达 500 m 以上, 约占地层总厚的 50%。前黑山组暗色泥岩局限于走廊东段的响水一带, 厚度不超过 50 m。臭牛沟组以上各层位的暗色泥岩分布范

收稿日期: 2001-12-28; 修回日期: 2002-10-21

作者简介: 曹代勇 (1962-), 男, 44 岁, 教授, 从事煤田与油气地质、构造地质的研究。

大庆石油勘探局开发研究院, 中国地质大学, 巴彦浩特盆地东缘古生界石油地质研究, 1989。

大庆石油勘探局开发研究院, 巴彦浩特盆地地质研究联队, 巴彦浩特盆地巴参 2 井地球化学研究和生油定量评价报告, 1990。

表 1 祁连地区石炭纪地层对比简表

Tab. 1 Brief contrast of Carboniferous strata in Qilian area

系	统	玉门地区	永昌地区	肃南地区	武威—景泰地区	中宁—中卫地区	巴彦浩特区	贺兰山地区
上覆地层		N	O (断层接触)	P ₁ 山西组	P ₁ 大黄沟组	P ₁ 大黄沟组	J ₁	P ₁ 山西组
石炭系	上统	太原组		太原组	太原组	太原组		太原组
				羊虎沟组	羊虎沟组	羊虎沟组	羊虎沟组	羊虎沟组
				靖远组	靖远组	靖远组	靖远组	靖远组
	下统			臭牛沟组	臭牛沟组	臭牛沟组	臭牛沟组	
					前黑山组	前黑山组	前黑山组	
下伏地层		奥陶系	寒武系	志留系	奥陶系	寒武系	奥陶系	寒武系

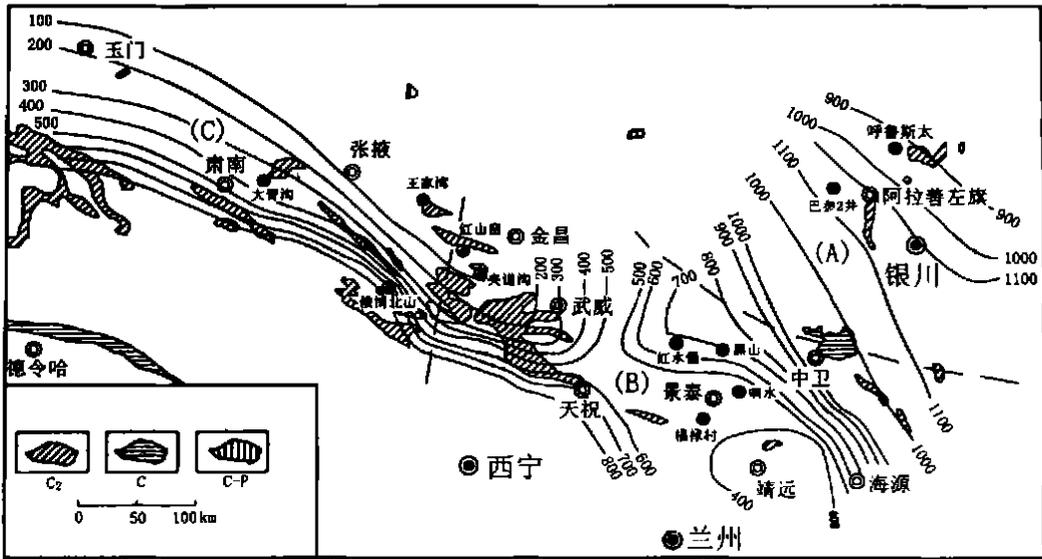


图 1 河西走廊—巴彦浩特盆地石炭系残留厚度等值线图

Fig. 1 Residual thickness contour of Carboniferous in the area of Hexi corridor to Bayan Haotai basin

(A) 巴彦浩特盆地地区; (B) 走廊东部地区; (C) 走廊西部地区

围扩大, 厚度中心由走廊东段逐步迁移至巴彦浩特盆地。靖远组暗色泥岩以巴彦浩特盆地最发育, 巴参 2 井可达 246 m; 而羊虎沟组暗色泥岩分布(残留)范围最广、厚度最大, 在巴参 2 井达 250 m; 太原组暗色泥岩仅在贺兰山地区比较发育, 厚逾 100 m, 其余大部分地区不超过 20 m。

碳酸盐岩烃源岩包括灰色泥晶灰岩和生物碎屑灰岩。石炭系灰岩总厚 10~160 余 m, 具有东厚西薄的展布规律, 走廊东段中卫—海源一带为地层厚度中心。在垂向上, 前黑山组灰岩仅局限在响水一带, 厚逾 80 m。臭牛沟组灰岩最为发育, 分布于肃南—金昌东

南的广大地区, 在巴参 2 井可达 90 m。靖远组灰岩分布于东部和南部, 以东部最为发育, 厚逾 20 m。羊虎沟组灰岩仅分布在东部边缘和西南边缘, 一般不超过 10 m。太原组灰岩的分布与羊虎沟组类似。

臭牛沟组、靖远组、羊虎沟组和太原组均含有煤层, 总厚一般 4~10 m, 最厚可达 27.4 m。时空平面展布同样具有东厚西薄的趋势, 煤层最大厚度沿巴彦浩特盆地东缘展布。臭牛沟组仅含几米厚的煤线, 靖远组、羊虎沟组和太原组含可采或局部可采煤层。垂向上由下而上, 平面分布范围扩大, 以靖远组和羊虎沟组煤层厚度最大。平面上, 厚煤带

沿贺兰山西麓展布的基本格局维持不变。

2 生储盖组合

2.1 生烃条件

2.1.1 有机质丰度

暗色泥岩、碳质页岩、灰色泥晶灰岩和生物碎屑灰岩等3类烃源岩均具有较丰富的有机质，有机

碳含量为0.1%~14.24%（煤样除外）。其中，暗色泥岩的平均有机碳含量为0.52%~3.20%，一般都在2%以上；高碳泥岩为6.85%~17.95%，一般在10%以上（表2）。灰岩中有机碳含量多数大于0.2%，部分样品达1.0%~3.0%。

有机质丰度垂向变化的统计结果表明，上石炭统尤其是靖远组和羊虎沟组为主力生烃层段（图2）。参考华北地区和渤海湾盆地同为海陆交互的

表2 祁连地区泥岩和高碳泥岩有机质丰度统计表

Tab.2 Statistics of organic matters abundance of mudstone & high-carbon mudstone in Qilian area

地点	泥岩				高碳泥岩			
	有机碳(%)	氯仿A(%)	总烃($\times 10^{-6}$)	S ₁ +S ₂ (kg/t)	有机碳(%)	氯仿A(%)	总烃($\times 10^{-6}$)	S ₁ +S ₂ (kg/t)
巴参2井	3.23 (110)	0.069	411 (31)	4.33 (139)	13.28 (26)	0.298 0	2 101 (4)	27.12 (14)
锡1井	2.76 (8)				12.36 (10)			
乌达	1.84 (19)	0.022 8 (4)	67.9 (4)	0.93 (4)	7.34 (2)	0.014 2 (2)	38 (2)	1.28 (2)
呼鲁斯太	2.06 (57)	0.010 5 (6)	29.7 (6)	0.55 (6)	12.84 (5)	0.017 3 (2)	42.8 (2)	0.76 (2)
贺兰山响水	1.37 (13)	0.277 (7)	21.4 (7)	0.16 (5)				
大石头井沟	0.63 (90)				3.25 (1)			
宁卫照壁山	0.72 (5)							
西碱窝子	1.31 (43)	0.003 3 (3)	10.6 (33)	286 (33)	16.94 (2)			
青羊山	0.63 (5)	0.004 4 (4)	11.2 (4)					
下河沿	5.51 (29)	0.048 8 (13)	93.3 (13)	293 5 (4)	11.51 (9)			
大柳树	2.61 (5)	0.013 5 (4)	52.6 (4)		7.72 (3)			
营盘水	5.02 (18)	0.005 2 (18)	8.4 (18)	228 (5)	10.75 (7)			
前黑山	0.52 (2)	0.002 6 (2)	8.2 (2)					
红水堡	3.35 (34)	0.004 8 (28)	10.5 (28)	205 (10)	11.33 (6)			

资料来源: 长庆石油勘探局开发研究院、中国地质大学、北京石油勘探开发研究院等单位研究报告。

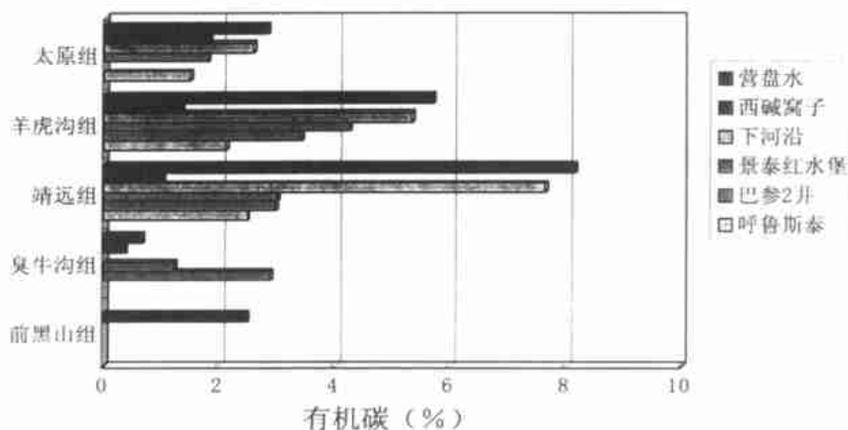


图2 石炭系典型剖面暗色有机碳含量垂向分布直方图

Fig.2 Longitudinal distribution section of organic carbon content in Carboniferous strata

石炭—二叠系煤系烃源岩有机质丰度评价标准, 本区石炭系烃源岩为良好的气源岩, 大多达到生油岩标准, 巴彦浩特盆地和河西走廊东段发育中等—好生油岩。

2.1.2 有机质类型

石炭系烃源岩有机质类型以干酪根III型为主, 少量II型, 这是以陆源高等植物生源为主的煤系地层烃源岩的典型特征。河西走廊东部地区34个样品的干酪根鉴定结果, 17个样品的干酪根为III型(腐殖质), 占50%; 14个样品为II型(腐殖质与腐泥质混合型), 占41%; 只有3个样品为I型(腐泥质), 占9%。其H/C原子比在0.26~0.56, 个别为1.29, O/C原子比在0.025~0.28, 其中以0.08~0.15较多。巴彦浩特盆地巴参2井40个样品的干酪根鉴定结果, 干酪根为III型(腐殖质)。其H/C原子比均小于1, 在0.6~1.0, 是一种以成气为主的成烃母质。其红外吸收光谱也表现为典型的III型干酪根特征, 即芳核及其核外氢原子的吸收峰较强, 而脂族吸收峰较弱。

2.1.3 有机质成熟度

根据收集到的167个样品分析结果, 镜质体反射率 R_o 在0.42%~2.99%。其中 R_o 大于2%者占12.6%, 处于干气期; R_o 为1.3%~2.0%者占28.1%, 处于湿气和凝析油期; R_o 为0.7%~1.3%者占46.7%, 处于生油高峰期, R_o 小于0.7者占12.6%, 处于未成熟期。

有机质成熟度的平面分布规律明显, 走廊地区

为西高东低、南高北低, 成熟度由走廊内部向祁连山区增加; 巴彦浩特盆地则为西低东高, 成熟度由盆地内部向盆地东缘贺兰山带增加。成熟度的平面展布与地层现代埋深无直接对应关系, 而与构造活动性差异有关, 反映不同构造部位石炭系源岩所经历的构造—热演化历史不同。巴彦浩特盆地—中卫地区基底构造活动相对较弱, 其有机质热演化以深成变质作用类型为主, R_o 值较低; 走廊南部祁连山带和巴彦浩特盆地东侧贺兰山构造带具有较复杂的构造—热演化历史, 异常地温对有机质演化影响较显著, 除深成变质作用外, 还叠加有岩浆热变质或动力变质作用类型, 有机质成熟度高。

2.2 储集条件

石炭系为滨岸相和三角洲相沉积, 碎屑岩和碳酸盐岩多, 具有较好的原始储集条件。其中, 砂岩总厚可达246m, 武威—天祝以西较薄, 一般小于100m; 巴彦浩特—中卫一带较厚, 大于200m。

储层样品分析结果, 孔隙率最低为1.8%, 最高为20.5%。渗透率最小为小于0.1MD, 最大为292.4MD(图3)。按有关碎屑岩和碳酸盐岩的储集层分类标准, 有一半样品属于低孔隙的储集岩类型。通过分区典型剖面砂岩厚度、孔隙率和渗透率的对比分析, 上石炭统, 尤其是羊虎沟组的储集条件最好, 砂岩的厚度较大, 单组中最大可达120余m, 平均孔隙率为4%~14%, 平均渗透率可达 $15 \times 10^{-3} \sim 23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。在平面上以东部和东北部最好, 即景泰、中卫和巴彦浩特一带。

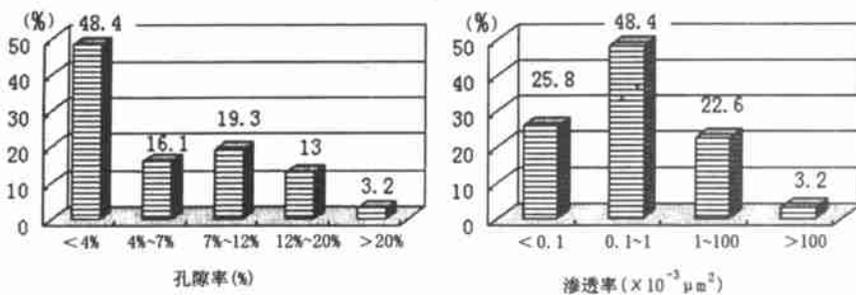


图3 储层孔渗参数直方图

Fig. 3 Distribution of porosity and permeability in reservoirs

2.3 盖层和保存条件

石炭系生油层与储层交互出现, 具有自生自储的油气组合特征, 作为生油层的页岩和泥晶灰岩同

时也起到了盖层作用。这种生储盖组合条件, 是以三角洲为主的沉积环境所决定的。它既有利于生油的三角洲前缘细粒沉积物、滨岸相黑色页岩与泥

地层				岩性剖面	厚度 m	岩性描述	构造 演化	沉积 相	生储盖组合			物性特征			储层 评价	盖层 评价									
系	统	组	代号						生	储	盖	孔隙 类型	孔隙 度%	渗透 率											
二叠系 P															好										
石炭系	上统	太原组	C ₂₁	0	340	以石英砂岩、碳质和泥质砂岩、碳质页岩夹煤层或煤线，发育有稳定的生物灰岩。		滨海、三角洲	生	储	盖	4-20	0.1-37	中等偏低孔隙度，低渗透率，中等偏差储层。	较好										
				18												152	灰黑、深灰色泥岩与浅灰色细-中粒及含砾中-粗粒石英砂岩互层，夹煤层、泥灰岩和灰岩。	滨海、三角洲	生	储	盖	7-13	0.1-292	偏低孔隙度，中等渗透率，中等储层。	较好
				33																					
	99	360	下部一般以杂色、灰色砂岩、灰黑色页岩为主夹煤线，底部为砾岩或含砾砂岩；中部为灰白色砂岩、灰色粉砂岩及黑色页岩夹石灰岩；上部以石灰岩为主夹黑色砂质页岩。	滨海、三角洲	生	储	盖	2-18	0.1-0.3	偏低孔隙度，及低渗透率，差储层。	较差														
	0											183	以石灰岩为主，夹灰白色砂岩、粉砂岩和灰黑色泥岩、碳质泥岩和煤线。	滨海、三角洲	生	储	盖	1-10	0.1-17	低孔隙度，较低渗透率，差储层。	较差				
	下统	奥牛沟组	C ₁₆																						
		前黑山组	C ₁₄																						
前寒武或泥盆系																									

图 4 河西走廊东部地区石炭系石油地质条件综合评价图

Fig. 4 Petroleum geological condition synthesizing evaluation of Carboniferous in the eastern Hexi corridor

地层				岩性剖面	厚度m	岩性描述	构造演化	沉积相	生储盖组合			物性特征			生油层评价	储层评价	盖层评价	
系	统	组	代号						生	储	盖	孔隙类型	孔隙度%	渗透率				
二叠系				P														
石炭系	上统	太原组	C _{2t}	0 259	黑色泥岩、粉砂质泥岩、煤与灰白色中粗粒岩屑石英砂岩和褐灰色粉砂岩互层。	前陆盆地	三角洲平原	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	
			C _{2y}	260	深灰色泥岩、碳质泥岩和煤，夹浅灰色岩屑石英砂岩和薄层石灰岩。		滨海、三角洲	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖
	C _{2z}	728	浅灰白色细-粗粒岩屑石英砂岩与深灰色泥岩、泥质粉砂岩互层。	滨海、水下三角洲	生储盖		生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖
	C _{2j}	83 447	灰黑色泥岩、砂质泥岩与浅灰色岩屑石英砂岩互层，夹薄层石灰岩和煤层。	滨海、前三角洲	生储盖		生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖
	C _{2i}	0 172	深灰色石灰岩、黑色泥岩及浅灰色砂岩	滨海	生储盖		生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖	生储盖
下统	奥牛沟组	C _{1c}																
奥陶系																		

图5 巴彦浩特盆地石炭系油气地质条件综合评价图

Fig. 5 Hydrocarbon-bearing geological condition synthesizing evaluation of Carboniferous in Bayan Haot basin

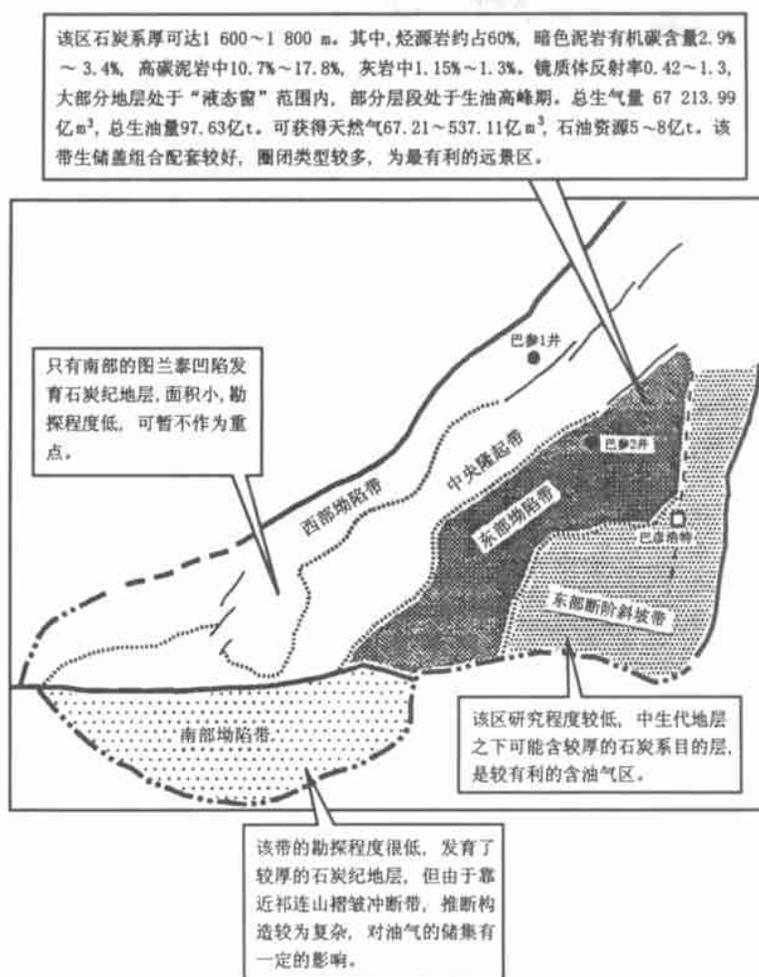


图6 巴彦浩特盆地油气远景评价图

Fig. 6 Hydrocarbon-bearing prospect evaluation in Bayan Haotai basin

晶灰岩, 同时又有三角洲前缘的河道砂、指状砂坝、滨海相砂坝的碎屑岩储集层及白云岩、生物碎屑灰岩的碳酸盐岩储集层。这些生油层或储层, 就单层来说, 在平面上分布大都不很稳定, 但它们所处的相带是比较稳定的, 而且分布的范围较大。

后期构造活动对石炭系保存状况有很大的影响。巴彦浩特地区后期连续性沉降, 盆地内部坳陷带上覆中新界厚 2 800 余 m, 构造变动相对较弱, 油气保存条件较好。河西走廊地区尽管同样曾经发育较厚的上覆地层, 但受祁连山造山带影响, 构造活动强烈, 石炭纪地层保存状况差异明显。走廊东部后期沉降幅度较大, 覆盖于石炭系之上的下二叠统大黄沟组具有一定的厚度, 其原生孔隙已消失, 次生孔隙不发育, 又有凝灰岩夹层和大量的砂质泥岩, 可作为区域性盖层; 该区的生油层和储层厚度也较

大, 是生储盖条件相对较好的地区。河西走廊西段西部地区虽也有生油层和储层, 但因处于古隆起附近, 石炭系下部缺失地层较多, 总厚度较小, 石油地质条件远不及东部地区; 更由于后期隆起和剥蚀, 上覆地层缺失较多, 油气保存条件较差。

3 有利区块评价

根据石炭系石油地质条件分析, 本区可分为巴彦浩特盆地、河西走廊东部、河西走廊西部 3 个区块。

3.1 走廊东部地区

该区位于景泰、靖远和中卫一带, 地层厚度一般 400~700 m, 在中卫一带可达 1 000 m 以上。其中, 暗色泥岩的厚度为 130~210 m, 煤层厚度可达

18.5 m, 其镜质体反射率大多为0.71%~2.0%。据有机质类型和丰度分析, 石炭系为气源岩, 并有一定的液态烃生成潜力。生油层和储层厚度大, 是生储盖条件相对较好的地区, 其后期沉降幅度也较大, 保存条件较好(图4)。但该区的石油地质研究程度较低, 难以进行详细的评价, 可作为远景目标。

3.2 走廊西部地区

走廊西部指天祝、古浪和武威以西地区, 大部分位于古隆起之上。石炭系缺失较多, 厚度较小, 一般50~250 m, 仅在南部靠近祁连山一带发育较全, 厚度有所增加。该区虽然也有生油层和储层, 由于后期隆起和剥蚀, 上覆地层缺失较多, 保存条件较差。总体上看, 该区的石油地质条件较差, 开展进一步工作的必要性不大。

3.3 巴彦浩特盆地

巴彦浩特盆地具有良好的油气成藏条件。石炭系残留厚度400~2000 m, 平均1000 m左右, 暗色泥岩、石灰岩和煤层等烃源岩的总厚度占地层总厚的60%。其中, 暗色泥岩和煤层的平均厚度分别为500 m和21.8 m。这套地层的有机质丰度高, 生烃潜力大, 是一套优质气源岩, 并具有较好的生油潜力。该区处于滨浅海—三角洲环境, 由于沉积微相的变化, 在横向上和纵向上均可与烃源岩交替形

成储集岩系, 构成有利的生储盖组合(图5)。巴参2井地化分析表明烃源岩生烃门限为3000~3100 m, 盆地沉积—沉降史研究结果, 石炭系烃源岩在中生代末期方进入生烃门限, 生烃高峰和排烃高峰出现在新第三纪以后, 目前石炭系大部分地层处于生油“液态窗”范围之内。盆地构造演化史分析表明, 现今的构造样式主要形成于燕山运动和喜山运动早期, 意味着多数构造圈闭形成早于生、排烃高峰期, 为油气成藏提供了有利条件。巴彦浩特盆地的东都塌陷带为最有利的油气远景区(图6)。

参考文献:

- [1] 中国石油地质志编写组. 中国石油地质志卷十三玉门油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.
- [2] 西安地质学院, 玉门石油管理局开发研究院. 甘肃河西走廊东部地区石炭纪和二叠纪地层以及沉积相和生储条件的研究[M]. 西安: 西北大学出版社, 1989.
- [3] 汤锡元, 冯乔, 李道燧. 内蒙古西部巴彦浩特盆地的构造特征及其演化[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11, (2).
- [4] 徐旺, 霍水禄, 颜水贵. 河西走廊地区构造特征与油气分布[A]. 见: 中国中生代沉积盆地[C]. 北京: 石油工业出版社, 1990.

Hydrocarbon-bearing prospect evaluation of Carboniferous from Hexi corridor to Bayan Haot basin

CAO Dai-yong¹, LIU Shan-yin¹, ZHANG Shou-ren¹,
LI Long-yan², CHEN Gong-yang²

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 7100083, China;

2. Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou 434102, China)

Abstract: Carboniferous strata, more than 1000 m in thick in the area of Hexi corridor to Bayan Haot basin, is the coal measures of transitional phase, in which there are three kinds of hydrocarbon source rocks including dark mudstone, limestone, coal and carbonaceous mudstone. These source rocks are good gas source rocks and have a certain extent of oil-generating capability based on high abundance and type II₂-III of organic matters. And the most of them are the stage of “oil window” to dry gas. There are well source-reservoir-cap rock assemblages and suitable petroleum pool-forming conditions in Carboniferous strata. Three districts are divided based on the petroleum geological condition, in which the Bayan Haot basin is the most favorable exploration district, the eastern Hexi corridor is a prospect target and the western Hexi corridor lacks hydrocarbon-bearing prospect.

Key words: Carboniferous strata; petroleum evaluation; source-reservoir-cap rock assemblages