羌塘盆地结构构造与油气勘探方向

吴珍汉¹⁾, 高锐²⁾, 卢占武²⁾, 叶培盛³⁾, 陆露¹⁾, 殷裁云¹⁾

1) 中国地质科学院,北京,100037;

2) 中国地质科学院地质研究所,北京,100037;

3) 中国地质科学院地质力学研究所,北京,100037

内容提要:羌塘盆地是我国陆域大型中生代海相沉积盆地,富含烃源岩,但结构构造非常复杂。结合野外观测 及相关资料对地震反射剖面进行地质构造详细解释,良好地揭示了羌塘盆地结构和深部构造。羌塘盆地逆冲推覆 构造延伸存在显著差别,北羌塘凹陷多格错仁逆冲推覆构造、阿木错逆冲推覆构造与南羌塘凹陷肖茶卡一双湖逆 冲推覆构造、多玛一其香错逆冲推覆构造仅发育于盆地表层 0~3km 深度范围,北羌塘凹陷龙尾错逆冲推覆构造、 羌中隆起北缘逆冲推覆构造、南羌塘凹陷赛布错一扎加藏布逆冲推覆构造、拉萨地块北缘色林错逆冲推覆构造系 统自地表向深部延伸深度超过 6 km,羌塘盆地深部还发育中生界底部逆冲系和基底逆冲系,伴有不同规模的褶皱 构造。逆冲推覆构造形成活动时代包括晚白垩世、古近纪早期和古近纪晚期,晚白垩世与古近纪早期逆冲推覆构 造运动导致构造隆升的裂变径迹年龄分别为 87±5~75±4 Ma、64±5~46±4 Ma。经过多期逆冲推覆构造改造 和褶皱变形,羌塘盆地中生界海相沉积地层与烃源岩显著增厚,为新生代晚期二次生烃及油气成藏提供了非常有 利的地质构造条件;北羌塘凹陷发育万安湖向斜、半岛湖背斜、东湖向斜、阿木错向斜,南羌塘凹陷发育宁日圈闭、 鲁雄错背斜、诺尔玛错圈闭、协德圈闭、崩则错圈闭,羌中隆起下伏侏罗系和三叠系烃源岩,色林错下白垩统下伏古 近纪湖相沉积,这些构造部位都是油气勘探的重要靶区。

关键词:盆地结构、逆冲推覆构造、地震反射、油气资源、勘探靶区、羌塘地块

羌塘盆地位于青藏高原北部(图1),中生代早 中期形成了厚达数千米的海相沉积地层,成为我国 陆域大型海相含油气盆地;但由于处于高寒冻土环 境,野外工作条件非常艰苦,迄今油气勘探程度仍然 很低。前人对羌塘盆地的形成环境、岩相古地理及 演化、沉积地层、烃源岩与油气资源潜力进行了长期 观测和综合研究(赵政璋,2001;伍新和等,2004;王 剑等,2005),地表先后发现200余处油气显示,部分 地点发现液态油苗(王剑等,2005,2009),局部发现 较大规模沥青脉(谭富文等,2002),在昂达尔错一比 洛错地区发现大型古油藏(王成善等,2004)。尽管 如此,目前对羌塘盆地油气资源勘探前景仍然存在 不同看法,不少专家认为羌塘盆地由于碰撞造山作 用及强烈构造改造,油气资源勘探前景不容乐观,部 分专家认为羌塘盆地存在巨大的油气资源潜力和良 好的油气勘探前景(赵政璋等,2001;卢明国等, 2004;许怀先等,2004;赵文津等,2006;王剑等, 2009;吴珍汉等,2009)。导致对羌塘盆地油气资源 认识分歧的重要原因是对羌塘盆地的勘查研究程度 不足,对盆地结构、深部构造及油气地质构造保存条 件,现有认识仍然比较肤浅,难以满足羌塘盆地油气 资源潜力评价和油气勘探部署的需要,亟待加强相 关研究工作。

近年来,中国地质科学院 Sinoprobe-02 项目组 完成了南起色林错西岸马跃、北至多格错仁湖西,长 达 310 km 深地震反射剖面(图 1),获得比较清晰的 Moho 界面及全地壳地震反射记录(Gao et al., 2013);通过对 Sinoprobe 地震反射资料(0~6s)和 石油地震反射资料进行连线处理,得到横穿羌塘盆 地不同构造单元的浅层地震反射剖面(Lu et al., 2013)。同时沿地震反射测线进行了野外观测与构 造填图,地表发现大型逆冲推覆构造系统(吴珍汉

注:本文为深部探测技术与实验研究专项青藏高原腹地地壳断面构造实验研究专题(编号 SinoProbe-02-01-A)、青藏高原地质矿产调查评价专项羌塘盆地油气地质构造保存条件研究项目(编号 1212011221111)、科技部国际科技合作重点项目 2006DFB211330 联合资助成果。 收稿日期:2014-04-24;改回日期:2014-05-10;责任编辑:郝梓国。

作者简介:吴珍汉,1965年生。博士,研究员,长期从事青藏高原区域地质调查与地质构造研究工作;通讯地址:100037,北京市西城区百 万庄大街 26号;Email: zhenhanwu@cags.ac.cn。



图 1 青藏高原构造地貌格局与研究区位置图

 Fig. 1
 Tectonic and topographic framework of the Tibetan Plateau with the studied areas marked by dashed lines

 MBT—主边界断裂; YZS—雅鲁藏布江缝合带; BNS—班公—怒江缝合带; HJS—可可西里—金沙江缝合带;

KLS-东昆仑缝合带; B5230~BD5239 表示取样位置及样品编号

MBT—Main boundary thrust; YZS—Yarlung—Zangbu suture; BNS—Bangoin—Nujiang suture; HJS—Hoh—Xil Jinsha suture; KLS—Eastern Kunlun suture; BD5230~BD5239 refer to samples for fission track dating

等,2011;Wu et al.,2012)。现将地表观测与深部 探测紧密结合,综合野外观测、测试分析及相关资料,通过对 0~6s 地震反射剖面进行地质构造详细 解释,分析羌塘盆地二维结构、深部构造与油气地质 构造保存条件,力求为羌塘盆地油气资源勘查部署 提供有价值的深部地质构造资料。

1 区域地质构造背景

羌塘盆地是羌塘地块的一个次级构造单元,夹 于可可西里一金沙江缝合带和班公一怒江缝合带之 间,北侧为可可西里一巴颜喀拉一松潘地块,南侧为 拉萨地块(图1)。三叠纪一早白垩世特提斯古大洋 板块沿班公一怒江缝合带向南俯冲,羌塘盆地处于 俯冲大洋板块北侧边缘海沉积环境,形成厚达数千 米的海相沉积地层(表1),自北向南依次为北羌塘 凹陷、羌中隆起、南羌塘凹陷(赵政璋,2001;王剑等, 2005)。羌塘盆地中生界海相沉积地层包括上三叠 统肖茶卡组碳酸盐岩与碎屑岩、下侏罗统曲色组复 理石建造、中下侏罗统雀莫错组与色哇组碎屑岩、中 侏罗统布曲组碳酸盐台地相灰岩与白云岩、中侏罗 统夏里组杂色碎屑岩夹灰岩、上侏罗统索瓦组碳酸 盐岩、上侏罗统雪山组粉砂岩与泥岩互层,发育多套 烃源岩(表1)、储层、盖层系统(赵政璋,2001;杨桂 芳等,2003;王剑等,2009),油气成藏条件比较好的 烃源岩包括上侏罗统索瓦组、中侏罗统布曲组、上三 叠统肖茶卡组,中下三叠统和石炭系一二叠系碳酸 盐岩一碎屑岩也具有生烃潜力(表1)。晚侏罗世晚 期一早白垩世发育扎窝茸组杂色砂岩夹灰岩及白龙 冰河组浅海相泥灰岩、泥岩、灰岩、页岩(王剑等, 2009)。晚白垩世广泛分布河湖相红色砾岩、砂岩、 粉砂岩、泥岩(红层),夹中酸性火山岩(图 2),比洛 错北侧和多玛南侧火山岩夹层锆石 U-Pb 年龄为 83.3±1.3~75.65±0.82 Ma(吴珍汉等,2014)。 古近纪大部分地区处于隆升剥蚀状态,低洼部位发 育棕红色河湖相砾岩、含砾砂岩、砂岩、泥岩,部分地 区发育强烈火山喷发和中酸性岩浆侵入(图1);中

100

28°

26

104

38

36

34°

32

30

28

26

3

表 1 羌塘盆地中生代地层系统及烃源岩对比表

Table 1 Mesozoic stratigraphic systems and oil-gas source rocks in the Qiangtang basin

南羌塘凹陷				北羌塘凹陷		北羌塘凹陷			
地层单元	也层单元 地质时代 最大厚度		岩性组合	地层单元 地质时代		最大厚度	岩性组合	烃源岩及油气成藏条件	
阿布山组 (K ₂ a)	上白垩统 (K ₂)	1120~2249n	陆相沉积地层。上部为 紫红色中薄层钙质岩 屑砂岩和含砾砂岩,下 部为红色中厚层巨砾 岩、中砾岩、细砾岩, 夹粉砂岩、泥灰岩、火 山岩,与下伏地层角度 不整合接触。	阿布山组 (K2a)	上白垩统 (K2)	684~1207m	陆相沉积地层。紫、 紫灰、土红色砾岩、 砂岩、砂砾岩、含砾 砂岩、粗砂岩、细砂 岩、粉砂岩夹泥灰岩, 与下伏地层呈角度不 整合接触。	烃源岩油气成藏条件较差,有 机质含量低,平均含量为 0.26%~0.3%;生烃量平均为 1.04mg/g。	
			河湖相和三角洲相沉						
雪山组 (K ₁ x)	下白垩统 (K ₁)	533~1914m	积。上部为紫红色砾 岩、砂岩、粉砂岩、泥 岩,下部为杂色砂砾 岩、砂岩、泥岩						
索瓦组 (J ₃ s)	上侏罗统 (J ₃)	896~1677m	灰岩、泥岩、泥晶灰岩、 泥灰岩、微晶灰岩夹细 砂岩、粉砂岩、膏岩。	索瓦组 (J ₃ s)	上侏罗统 (J ₃)	1228~1320m	灰色、深灰色钙质泥 岩、粉砂岩、页岩、 泥晶灰岩、生物介壳 灰岩、薄层状泥灰岩 夹膏岩。	包括未成熟烃源岩、生油高峰 烃源岩、成熟烃源岩、过成熟 烃源岩,三组烃源岩镜质体反 射率分别为 Ro=0.35%~0.47%、 0.66%~1.38%、1.53%~2.31%。	
夏里组 (J ₂ x)		617~842m	粉砂质泥岩、粉砂质页 岩、砂岩。	夏里组 (J ₂ x)		1306~1434m	上部为砂岩、含砾砂 岩、粉砂岩,下部为 泥灰岩、泥岩夹石膏	成熟生油烃源岩,镜质体反射 率平均值1.405%。	
布曲组 (J ₂ b)	中侏罗统 (J2)	1446~2041n	顶部为灰黑色泥岩、泥 灰岩互层,上部为深灰 色泥晶灰岩、泥灰岩夹 生物碎屑灰岩,下部为 灰色微晶灰岩、砂屑灰 岩、泥晶灰岩、泥灰岩 夹泥岩。	布曲组 (J ₂ b)	中侏罗统 (J ₂)	773~815m	上部为泥晶灰岩、鲕 粒灰岩、泥灰岩,中 部为泥岩、白云岩、 泥晶灰岩夹石膏,下 部为泥晶灰岩、泥灰 岩、生物碎屑灰岩。	成熟—生油高峰烃源岩,生油 岩最大厚度 2041m,有机碳含 量 0.11%~0.26%(平均 0.20%), 生烃潜量 3.85mg/g;泥岩有机 碳含量 0.30%~9.83%(平均 0.52%),生烃潜量 2.55mg/g,灰 岩和泥质岩的镜质体反射率 Ro=1.44%~1.79%。	
色哇组 (J ₂ s)		1332~1958u	上部为泥晶灰岩、粉砂 质泥岩夹细砂岩条带, 下部为钙质页岩夹粉 砂岩条带。	雀莫错组 (J ₁₋₂ q)		1686~1812m	上部为紫红色砂岩、 含砾粗砂岩、细砂岩、 粉砂岩,下部为杂色 砂岩、细砾岩、泥岩、	生油高峰烃源岩,镜质体反射 率(Ro)平均值为1.14%。	
曲色组 (J ₁ q)	下侏罗统 (J.)	955~1537m	上部为钙质页岩、泥灰 岩、灰岩互层,中部为 粉砂质泥岩、粉砂岩、 细砂岩,下部为黑色钙 质面岩束。	曲色组 (J ₁ q)	下侏罗统 (J.)	520~630m	页岩夹白云质灰岩、 灰岩。 泥岩、粉砂岩、砂岩、 页岩	镜质体反射率(Ro)平均值分 别为1.34~4.25%。泥页岩有机 碳含量平均为0.29%,生烃潜 量1.87mg/g; 灰岩、泥灰岩有	
			上部书孙忠 秋孙忠	那底岗日组		217 1571	安山岩、英安岩、凝		
肖茶卡组 或日干配 错组 (T ₁ x)	上三叠统 (T ₃)	1400~2675n	研究地名、初边名、 研究地名、初边名、 研究中的一部为生物碎屑灰岩、鲕粒灰 岩、泥灰岩、凝灰质泥 岩夹煤层、煤线,下部 为复成分砾岩、砂岩、 玄武岩、安山岩夹灰 岩。与下伏地层不整合 接触。	(T ₁ n) 肖茶卡组或 藏夏河组 (T ₁ x)	上三叠统 (T ₃)	南部~ 1063~1214m 北部~ 3153m	灰岩夹砂岩 南部为砂岩、页岩、 泥晶灰岩、灰岩、泥 岩夹煤线,底部含、泥 岩、水部为薄层状 粉砂岩、泥岩、岩屑 砂岩、砂岩、砾岩、 薄层状细砂岩。与下 伏地层不整合接触。	高成熟烃源岩, 灰岩有机碳含 量 0.09%~0.28%(平均 0.14%), 生烃潜量 1.85mg/g, 镜质体反 射率 Ro=2.054%; 泥岩有机碳 含量 0.11%~13.45% (平均 2.74%), 生烃潜量 2.76mg/g, 镜 质 体 反 射 率 变 化 范 围 Ro=2.62%~5.35%。	
缺失				康南组 (T ₂ c)	中三叠统 (T2)	301~540m	上部为泥岩、粉砂岩、 砂岩,下部为灰岩、 泥灰岩、泥岩	具有生烃潜力,成熟度偏高。	
				康鲁组 (T ₁ c) 下三叠统 (T ₁)		608~1738m	上部为泥晶灰岩、鲕 粒灰岩,下部为含砾 砂岩、粉砂岩、页岩		
二叠系-石炭系 (C-P)		1500~2600m 白云岩、灰岩与砂岩 石英岩、粉砂岩,部 发生浅变质。		二叠系-石炭系 (C-P)		2100~4420m	生物碎屑灰岩、微晶 灰岩、砂岩、粉砂岩、 泥岩、页岩夹火山岩	高成熟—过成熟,有机质含量 0.61%~2.49%,平均 1.27%, 生烃潜量平均 0.1mg/g。	

注: 地层岩石据王剑等, 2009 及 1:25 万区域地质调查报告: 烃源岩及油气地质据伍新和等, 2004: 王剑等, 2009; 赵政璋等, 2001。



图 2 羌塘盆地中段地质构造与测线分布图(据 Wu et al., 2012 修编)

Fig. 2 Tectonic map of the Qiangtang basin with deployment of seismic reflection (modified after Wu et al., 2012) 1-逆冲断层;2-正断层;3-走滑断层;4-前中生代古断层;5-蛇绿混杂岩;6-晚白垩世火山岩;7-古近纪火山岩;8-上新世火山岩;9-火 山机构;10-中新生代中酸性侵入岩;11-反射地震测线;12-现代湖泊。Q-第四系;N-新近纪(中新世为主)灰白色河湖相沉积;E-古近 纪红色与杂色河湖相沉积;K₂-晚白垩世陆相红层;K₁-早白垩世海相灰岩、砂岩、页岩;J-体罗系灰岩、白云岩、砂岩、泥岩;T-三叠系页 岩、砂岩、灰岩;P-二叠系白云岩、灰岩、砂岩夹火山岩;Pz-古生代变质岩;Oph-蛇绿混杂岩;γ³⁻²-三叠纪一侏罗纪中酸性侵入岩;γ³-白 垩纪花岗岩;γ²-古近纪中酸性侵入岩。DCT-多格错仁逆冲推覆构造;LCT-龙尾错逆冲推覆构造;ACT-阿木错逆冲推覆构造;NCT-差 中隆起北缘逆冲推覆构造;XST-肖茶卡-双湖逆冲推覆构造;DQT-多玛-其香错逆冲推覆构造;SZT-赛布错-扎加藏布逆冲推覆构造; NST-色林错逆冲推覆构造;黑点标注野外观测点及取样位置

1—Thrust fault; 2—normal fault; 3—strike-slip fault; 4—fault formed before Mesozoic; 5—ophiolite; 6—Late Cretaceous volcanic rocks; 7— Paleogene volcanic rocks; 8—Pliocene volcanic rocks; 9—volcanic crater; 10—Cenozoic granitic rocks; 11—seismic reflection profile; 12 present lake. Q—Quaternary; N—Neogene (mainly Miocene) lacustrine—fluvial and alluvial deposits; E—Paleogene terrestrial red-beds and gray lacustrine deposits; K₂—Late Cretaceous terrestrial red-beds; K₁—Early Cretaceous marine limestone—sandstone and shale; J—Jurassic limestone—dolostone—sandstone and mudstone; T—Triassic shale—sandstone and limestone; P—Permian dolostone—limestone—sandstone intercalated with volcanic rocks; Pz—Paleozoic metamorphic rock; Oph—ophiolite; γ_5^{1-2} —Triassic-Jurassic granite; γ_5^3 —Cretaceous granite; γ_6^2 —Paleogene granite. DCT—Dogai Coren thrust; LCT—Longwei Co thrust; ACT—Armu Co thrust; NCT—North-Central thrust; XST— Xiaocaka-Shuanghu thrust; DQT—Doma-Qixiang Co thrust; SZT—Saibu Co-Zagya thrust; NST—Nima-Silin Co thrust; the black dots refer to outcrops for photographs and sampling locations

新世早期和第四纪分别发育古大湖,形成厚达数十 米一百余米的灰白色砂砾岩、泥灰岩、粉砂岩、淡水 灰岩、白云岩(Wu et al., 2008;吴珍汉等,2009)。

羌塘盆地历经多期构造运动,早期泛非运动伴 有区域变质作用,形成变质基底(李才等,2005;王剑 等,2009; Pan et al., 2012), 羌中隆起沿龙木错一双 湖缝合带发育晚古生代蛇绿混杂岩与超高压变质岩 (李才等,1995,2005);羌塘盆地部分地区出露古生 代碳酸盐岩一碎屑岩系,三叠系与下伏地层呈角度 不整合接触关系(王剑等,2009)。三叠纪一早白垩 世特提斯古大洋板块沿班公一怒江缝合带俯冲,在 拉萨地块北部形成大量岛弧型中酸性侵入岩和多期 火山岩,羌塘盆地长期处于滨浅海沉积环境,三叠 系、侏罗系、下白垩统沉积地层之间呈整合接触或平 行不整合接触关系(赵政璋,2001;王剑等,2005)。 晚白垩世一古近纪早期,新特提斯古大洋板块沿雅 鲁藏布江缝合带向北俯冲,导致拉萨地块和羌塘地 块发生逆冲推覆构造运动(Kapp et al., 2007; Wu et al., 2013a;李亚林等, 2006);古近纪中晚期印度 大陆向北俯冲,导致青藏高原不同地块发生强烈挤 压缩短(解超明等,2010;Wu et al., 2013b),在羌塘 地块形成规模巨大的逆冲推覆构造系统(吴珍汉等, 2011; Wu et al., 2012)。北羌塘发育多格错仁逆冲 推覆构造(DCT)、龙尾错逆冲推覆构造(LCT)、中 央隆起北侧逆冲推覆构造(Wu et al., 2012),南羌 塘发育肖茶卡---双湖逆冲推覆构造(XST)、多玛--其香错逆冲推覆构造(DQT)、赛布错一扎加藏布逆 冲推覆构造(SZT),拉萨地块北缘发育色林错逆冲 推覆构造系统(吴珍汉等,2011;Wu et al.,2012), 地表形成不同类型的逆冲岩片、不同规模的飞来峰 及大量构造窗(图 2)。中生代海相沉积地层及烃源 岩发生长距离逆冲推覆构造运动,如北羌塘凹陷阿 木错南侧中上侏罗统灰岩自北向南逆冲推覆于上白 垩统红层之上,形成大量逆冲岩片与不同规模飞来 峰(图 3b);南羌塘凹陷比洛错南侧下侏罗统烃源岩 自北向南逆冲推覆于上白垩世砂砾岩之上(图 3a), 在断层产状反向部位侏罗系烃源岩与沥青脉沿断层 倾向滑移错断约 20~30cm(图 3c)。在羌塘地块南 部边缘,三叠系和侏罗系海相沉积地层自北向南逆 冲推覆盖于古近纪红层之上,形成长达百余公里、宽 约 10~18 km 的大型逆冲岩席(图 2),在赛布错南 侧形成三叠系页岩飞来峰(图 3d)。

强烈逆冲推覆构造运动使中生代海相沉积地层 发生广泛褶皱变形,导致晚白垩世红层、古近纪河湖 相沉积地层与中生代海相沉积地层之间呈角度不整 合接触关系(Wu et al., 2013)。自新新世晚期开 始,羌塘地块逆冲推覆构造运动强度显著减弱,大部 分逆冲断层和大量逆冲岩席被弱变形中新世早中期 湖相沉积地层角度不整合覆盖,说明新生代早期大 规模强烈逆冲推覆构造运动结束于中新世早期之 前,随后发生新生代晚期地壳伸展及断裂走滑运动 (Yin et al., 1999; Blisniuk et al., 2001; Wu et al., 2012,2013b)。羌塘盆地中新世湖相沉积地 层、上新统、第四系河湖相沉积褶皱变形比较微弱,



图 3 羌塘地块逆冲推覆构造照片

Fig. 3 Photos of regional thrust in the Qiangtang block

(a)一比洛错东南侧下侏罗统烃源岩自北向南逆冲推覆于上白垩世砂砾岩之上(镜向北西);(b)一阿木错南侧上白垩统红层上覆中上侏罗统灰 岩逆冲岩片与飞来峰(镜头向北);(c)一比洛错南侧断层错断侏罗系烃源岩与沥青脉(镜头向西);(d)一赛布错南侧三叠系页岩自北向南逆冲 推覆于古近纪红层之上(镜头向北);照相位置详见图 1

(a)—view northwestward at Lower Jurassic hydrocarbon source rocks thrust southward over Upper Cretaceous conglomerate and sandstone in the southeast of Bilog Co; (b)—view northward at Middle-Upper Jurassic limestone thrust over Upper Cretaceous red-beds in the south of Armu Co; (c)—view westward at offset of hydrocarbon source rocks and bitumen vein along a fault in the south of Bilog Co; (d)—view northward at Triassic shale thrust southward over Paleogene red-beds in the south of Saibu Co. Locations of outcrops are marked in Fig. 1

远离断层部位基本保持近水平产状(Wu et al., 2008; 吴珍汉等, 2009)。

2 盆地结构与深部构造

差塘盆地沉积地层具有比较连续的地震反射界 面,尤其三叠系和侏罗系不同层位烃源岩地震反射 界面比较清晰,顺地震反射界面能够从浅表向深部 对沉积地层进行追索,如东湖向斜侏罗系不同时代 沉积地层(图 4a)。地层角度不整合接触关系根据 不整合面上覆地层与下伏构造层的变形不协调关系 进行识别,不整合面产状与上覆地层一致,下伏构造 层发育更为复杂的褶皱变形,如北雷错上白垩统红 层与侏罗系之间角度不整合及三叠系与石炭一二叠 系之间角度不整合(图 4b)。断层错断不同时代沉 积地层,正断层伴有拖曳变形(图 4b);逆冲断层上 盘和下盘分别发育不同样式的褶皱构造,如阿木错 逆冲推覆构造断层上下盘地震反射界面及构造变形 存在显著差别(图 4c)。羌塘盆地古生代基底岩石 地层的地震反射连续性较差,但逆冲推覆构造通常 具有明显的地震反射界面,断层上盘和下盘分别发 育伴生褶皱变形,如羌中隆起下深度 11~14 km 的 变质基底缓倾斜逆冲断层(图 4d)。羌塘盆地三叠 系和侏罗系沉积地层发育不同规模的盐丘构造,规 模较大的盐丘构造(Salt dome)在地震反射剖面也 有良好显示,如半岛湖背斜底部三叠系盐丘构造,盐 丘顶部三叠系沉积地层由于盐丘顶托导致显著减



图 4 羌塘盆地地震反射显示地层与构造关系 Fig. 4 Stratigraphy and structures inferred from seismic reflection across the Qiangtang basin

薄,上覆地层产生较大规模的背斜构造变形(图 5a、 b)。

根据地表地质构造观测资料及地层接触关系, 对横穿羌塘盆地的地震反射剖面进行综合解释(图 5)。如北羌塘凹陷万安湖向斜,地表出露烃源岩为 上侏罗统索瓦组(J₃s),侏罗系不同地层单元在地震 反射剖面都具有比较连续的反射界面,成为揭示羌 塘地块北部中生代海相沉积盆地结构的重要窗口 (图 5a、b);根据侏罗系地层层序及各岩石地层单元 最大厚度(表 1),沿地震反射界面自浅表向深部分 别厘定上侏罗统索瓦组(厚1320m)、中侏罗统夏里 组(厚1434m)、中侏罗统布曲组(厚815m)、中下侏 罗统雀莫错组(厚 1812m)、下侏罗统曲色组(厚 630m)的顶底界面,下伏地层为上三叠统肖茶卡组 (图 5b)。自万安湖向斜向南至半岛湖、向北至白滩 湖,沿地震反射界面能够追踪侏罗系和三叠系主要 岩石地层单元;在半岛湖南侧存在较大规模的背斜 构造,下伏三叠系发育盐丘构造,盐丘顶部断层滑脱 导致上覆地层显著减薄(图 5a、b)。应用类似方法, 较好地厘定了东湖向斜、阿木错复式向斜及两侧的 地层系统和深部产状(图 5b)。羌中隆起、南羌塘凹 陷及班公一怒江缝合带构造变形更为复杂,根据地 表地质观测资料、不同岩石地层单元地震反射特征 及断层切割关系,综合解释地震反射剖面并厘定深 部岩石地层系统,同时揭示盆地结构和深部构造,发 现较大规模的褶皱构造如鲁雄错背斜和色林错向斜 (图 5c、d)。色林错向斜规模较大,发育于羌塘地块 和拉萨地块结合部位;核部应为古近纪晚期丁青湖 组湖相沉积地层,翼部为古近纪早期牛堡组河湖相 沉积及上白垩统阿布山组红色砂砾岩(简称红层) (图 5d)。在协德及两侧深度 15~18 km 存在反射 非常清晰、规模较大的沉积地层,其地震反射特征与 色林错上白垩统红层非常相似(图 5c),推断为变质 基底逆冲断层下伏上白垩统红层(图 5d)。

不同深度的逆冲推覆构造在地震反射剖面都具 有较好显示(图 5)。地表观测发现的很多逆冲推覆 构造仅发育于盆地表层(深度(3 km),如多格错仁 逆冲推覆构造(DCT)、阿木错逆冲推覆构造(XST)、多 玛一其香错逆冲推覆构造(DQT)。多格错仁逆冲 推覆构造(DCT)自北向南逆冲,前锋抵达万安湖向 斜核部,形成较大规模的飞来峰(图 5a、b)。阿木错



Fig. 5 Seismic reflection and geological structures of the Qiangtang basin

三叠纪--侏 NBT-北羌塘凹陷底部逆冲系;NCT--羌中隆起北缘逆冲系;SBT--南羌塘凹陷底部逆冲系;BMT--基底逆冲系;其它断层代号含义如图 2,岩石地层 Q--第四系; N--新近纪(中新世为主)灰白色河湖相沉积; E--古近纪红色与杂色河湖相沉积; K--晚白垩世陆相红层; K,--早白垩世海相灰岩、砂岩、顶岩; J--侏罗系灰岩、白云岩、砂岩、泥岩; J。--L侏罗统:J₂-一中侏罗统:J.一下侏罗统:T一三叠系页岩、砂岩、灰岩:C-P一石炭系一二叠系白云岩、灰岩、砂岩,板岩夹火山岩:Pz一古生代岩石地层及变质基底:Oph一蛇绿混杂岩:Y₅ 代号含义如表 1。地震反射剖面据 Gao et al., 2013 与 Lu et al., 2013 罗纪中酸性侵入岩; >6一古近纪中酸性侵入岩。

ussic-Jurassic granite; γ_6 -Paleogene granite; NBT-Northern Bottom Thrust; NCT-North-Central thrust; SBT-Southern Bottom Thrust; BMT-Basement Thrust. Explanations for symbols of T—Triassic shale, sandstone und limestone; C-P-Carboniferous-Permian dolostone, limestone, sandstone, slate intercalated with basalt; Pz-Paleozoic strata and metamorphic basement rocks; Oph-Ophiolite complex; γ_5 -Tri-Q-Quaternary; N-Neogene (mainly Miocene) lacustrine, fluvial and alluvial deposts; E-Paleogene red-beds and lacustrine deposits; K2-Upper Cretaceous terrestrial red-beds; K1-Lower Cretathe other faults and regional stratigraphic units are the same as those in Fig. 2 and Table 1, respectively, and seismic reflection profile came from Gao et al., 2013 and Lu et al., 2013 $\frac{1}{2}$ ceous marine limestone-sandstone and shale; J-Jurassic limestone, dolostone, sandstone and mudstone; J_3-U pper Jurassic; J_2-M iddle Jurassic; J_1-L ower Jurassic;

逆冲推覆构造(ACT)由3条缓向北倾斜的逆冲断 层及2条反向断层组成,导致侏罗系发生复式褶皱 变形,前锋抵达羌中隆起北侧,在上白垩统红层顶部 形成灰岩飞来峰(图 3b、图 5a、b)。肖茶卡一双湖逆 冲推覆构造(XST)发育于羌中隆起南侧,由缓波状 起伏的逆冲断层系组成,总体表现为自北向南逆冲 推覆构造运动,形成石炭系一二叠系、三叠系和侏罗 系等构造岩片,在上白垩统红层顶部形成不同规模 的飞来峰(图 3a、图 5c、d),在断层产状反向部位显 示类似正断层上盘下滑运动特征(图 3c、图 4d)。多 玛一其香错逆冲推覆构造(DQT)在地震剖面也表 现为薄皮构造,中部发育上白垩统红层构造窗,前锋 抵达协德并形成规模不等的侏罗系灰岩飞来峰,伴 有广泛分布宽缓褶皱变形(图 5d)。南羌塘凹陷 XST 与 DQT 首尾相连,共同组成大型薄皮推覆构 造系统(图 5c、d)。

羌塘盆地部分逆冲推覆构造自地表向深部延伸 深度超过6 km,穿切三叠系一侏罗系海相沉积盆 地,甚至深切盆地古生界及变质基底,如北羌塘凹陷 中部龙尾错逆冲推覆构造(LCT)、南羌塘凹陷南部 赛布错一扎加藏布逆冲推覆构造(SZT)、拉萨地块 北缘色林错逆冲推覆构造(NST)(图 2,5)。龙尾错 逆冲推覆构造(LCT)主要断层向南倾斜,发育自南 向北逆冲推覆构造运动,前锋位于半岛湖,形成侏罗 系烃源岩飞来峰,盖于上白垩统红层之上(图 5b); 地震反射剖面显示,LCT沿3条缓向南倾斜的逆冲 断层延伸至深部,上部逆冲断层穿切中侏罗统布曲 组碳酸盐岩和夏里组杂色碎屑岩,中部逆冲断层穿 切侏罗系和上三叠统不同时代沉积地层,底部逆冲 断层向深部延伸穿切石炭系一二叠系沉积地层和古 生界变质岩,沿主要逆冲断层发育宽缓褶皱变形(图 5a、b)。赛布错—扎加藏布逆冲推覆构造(SZT)缓 向北倾斜,在地表对应于班公一怒江缝合带蛇绿混 杂岩(图 2),向深部延伸穿切南羌塘凹陷,成为中生 界沉积地层与古生界变质基底之间的重要构造界 线;伴有褶皱变形,断层上盘和下盘变形不协调,地 震反射界面比较清晰(图 5c、d)。色林错逆冲推覆 构造(NST)主体位于拉萨地块北缘,主要逆冲推覆 断层向南倾斜,穿切白垩系和石炭系一二叠系不同 时代的海相沉积地层;地表自南向北逆冲推覆于上 白垩统红层和古近纪湖相沉积地层之上(图 5c、d), 在色林错及西岸形成规模不等的下白垩统碳酸盐 一碎屑岩飞来峰(图 2)。在羌中隆起北缘发育规 岩 模很大、缓向北倾斜的逆冲断层 NCT,穿切中生界 不同时代的沉积地层及古生界基底岩石地层,伴有 规模不等的褶皱变形,向北部延伸与基底逆冲断层 BMT 归并复合(图 5a,b)。

在南羌塘凹陷、羌中隆起和北羌塘凹陷,中生界 海相沉积盆地底部发育大型逆冲断层,包括北羌塘 凹陷底部逆冲断层(NBT)和南羌塘凹陷底部逆冲 断层(SBT),对中生界海相地层构造变形及逆冲推 覆构造运动具有比较明显的调节作用,成为盆地深 部控制盖层变形的重要构造界面(图 5)。中生界海 相沉积下伏变质基底发育很多缓倾斜逆冲断层,总 体向北倾斜,部分断层产状反转,指示自北向南逆冲 推覆构造运动,地震剖面显示明显的反射界面,统称 为基底逆冲推覆构造(BMT),BMT 逆冲断层上盘 和下盘均伴有比较明显的褶皱变形(图 5);在协德 及南侧,深部 NST 与 BMT 逆冲断层下伏上白垩统 红层,伴有比较强烈的褶皱变形(图 5d)。

3 形成时期与演化过程

差塘盆地逆冲推覆构造对中生界海相沉积地层 具有强烈改造作用,部分逆冲断层控制晚白垩世红 层盆地及形成演化;大部分逆冲推覆构造古近纪发 生强烈构造运动,如 DCT、LCT、ACT、XST、SZT 对古近纪沉积盆地具有显著控制作用,很多逆冲断 层穿切错断古近纪沉积地层(图 2、5)。沿色林错逆 冲推覆构造(NST)前锋断层,下白垩统郎山组灰岩 自南向北发生长距离逆冲推覆构造运动,下伏丁青 湖组和牛堡组河湖相沉积地层发生强烈褶皱变形, 形成复式向斜构造(图 5c、d)。绝大部分逆冲断层 被渐新世晚期一中新世早期弱变形湖相沉积地层角 度不整合覆盖(图 2),说明羌塘地块主要逆冲推覆 构造渐新世晚期或中新世早期基本结束逆冲推覆构 造运动(Wu et al., 2012)。

根据区域地质构造资料,色林错逆冲推覆构造 (NST)向东延伸为安多微陆块北侧逆冲断层,肖茶 卡一双湖逆冲推覆构造(XST)、多玛一其香错逆冲 推覆构造(DQT)向东南延伸为安多微陆块南侧逆 冲断层(Wu et al., 2003a)。对南羌塘凹陷比洛错 北侧晚白垩世粗面安山岩(BD5171)、多玛南侧晚白 垩世安山岩(BD5801)及安多微陆块中生代花岗岩 (BD5230~ BD5239)分别取样,挑选磷灰石进行裂 变径迹测年,分析区域逆冲推覆构造运动时代。花 岗岩取样位置如图 1,火山岩取样位置如图 2,磷灰 石裂变径迹测年由中国地质大学(北京)裂变径迹实 验室协助完成,测试数据如表2。南羌塘凹陷及班 公一怒江缝合带磷灰石裂变径迹长度呈单峰正态分 布,8个样品的峰值年龄全部分布于晚白垩世晚 期一古近纪早期(85±5~46±4 Ma)(表 1)。安多 微陆块北部 BD5231、BD5232、BD5235 磷灰石裂变 径迹峰值年龄分别为 74±5 Ma、81±6 Ma、85±5 Ma,对应于晚白垩世自南向北逆冲推覆构造运动导

$ar{F}$										
$ar{FF}$ $egin{array}{c} \ Map \ Ma$		样具		$(10^{5}/\text{am}^{2})$	$= (10^{5}/\text{cm}^{2})$	$(10^{5}/\text{am}^{2})$		峰值年龄	平均年龄	径迹长度
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	序号	作用	(n)	(Ns)	(Ni)	(N)	P(%)	(Ma)	(Ma)	$L(\mu m)$
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		编号						(±1 ₀)	(±1 ₀)	(N)
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	1	PD5201	28	1.558	6.019	11.835	12 2	64±5	65±5	12.7 ± 1.8
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$		BD3801		(371)	(1433)	(7312)	43.2			(73)
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	2	BD5171	3	7.904	33.962	11.835	0.6	46±15	57 ± 7	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				(101)	(434)	(7312)	0.0			
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	3	BD5231	22	8.459	37.59	19.063	0.0	74 ± 5	75 ± 4	12.8 ± 1.6
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				(2773)	(12323)	(9117)	0.0			(103)
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	4	BD5232	25	8.714	34.761	19.241	0.0	81±6	85±5	13.0 ± 1.8
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				(2251)	(8980)	(9117)				(100)
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	5	BD5235	28	6.004	23.824	19.596	0.0	85 ± 5	87 ± 5	12.7 ± 1.9
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$				(2605)	(10337)	(9117)				(100)
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	6	BD5238	28	3.515	25.453	19.85	0.0	47±3	48±3	13.5 ± 1.8
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $				(1431)	(10361)	(9117)				(102)
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	7	BD5239	28	2.483	15.983	20.13	72 0	55 ± 4	55 ± 4	12.2 ± 2.1
8 BD5230 29 $\begin{pmatrix} 2.146 \\ (331) \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} 16.747 \\ (2583) \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} 20.308 \\ (9117) \end{pmatrix}$ $62.6 \end{pmatrix}$ $46 \pm 4 \qquad 46 \pm 4 \qquad 12.6 \pm 2.0 $				(679)	(4371)	(9117)	12.0			(102)
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	8	BD5230	29	2.146	16.747	20.308	62.6	46±4	46±4	12.6 ± 2.0
				(331)	(2583)	(9117)				(106)

表 2 羌塘盆地及邻区磷灰石裂变径迹测年表 Table 2 Fission track dating of apatites sampled from the Qiangtang basin and its vicinity

*各样品的取样位置如图1、2。

致的构造隆升时代。安多片麻岩南部 BD5238、 BD5239、BD5230磷灰石裂变径迹峰值年龄分别为 47±3 Ma、55±4 Ma、46±4 Ma,多玛南侧安山岩 BD5801和比洛错北侧粗面安山岩 BD5171 的裂变 径迹峰值年龄分别为64±5 Ma、45±15 Ma,对应于 古近纪早期自北向南逆冲推覆构造运动导致的构造 隆升时代。古近纪晚期逆冲推覆构造运动导致的构造 造抬升幅度可能小于 3~4 km,对应温度变化小于 90~120℃,低于磷灰石裂变径迹封闭温度,导致该 期构造运动缺乏磷灰石裂变径迹年龄记录,尽管古 近纪晚期逆冲推覆构造运动非常强烈(Wu et al., 2012, 2013b)。

综合现有各类观测资料,分析差塘盆地逆冲推 覆构造形成演化过程(图 6)。差塘盆地逆冲推覆构 造运动自晚白垩世开始发育(图 6a),差中隆起自北 向南逆冲至三叠系和侏罗系之上,多格错仁逆冲推 覆构造(DCT)与龙尾错逆冲推覆构造(LCT)的前 锋逆冲断层联合控制北羌塘万安湖晚白垩世红层盆 地及沉积分布, 羌中隆起北缘逆冲推覆构造(NCT) 反向逆冲断层控制阿木错红层盆地及沉积分布,肖 茶卡一双湖逆冲推覆构造(XST)和色林错逆冲推覆 构造(NST)的前锋逆冲断层联合控制南羌塘晚白 垩世红层盆地及沉积分布,部分晚白垩世红层盆地 可能属逆冲推覆构造前陆盆地(图 6a)。古近纪早 期差塘盆地逆冲推覆构造运动加剧,NCT 与 XST 自北向南逆冲在南羌塘凹陷形成薄皮推覆构造,多 格错仁逆冲推覆构造(DCT)、南羌塘逆冲推覆构 造、色林错逆冲推覆构造(NST)前锋分别发育古新 世一始新世沉积盆地(图 6b)。古近纪晚期羌塘盆 地逆冲推覆构造运动达到高峰(Wu et al., 2012, 2013b),原有逆冲推覆构造活动强度增大,新形成 大量逆冲推覆构造,如北羌塘形成阿木错逆冲推覆 构造(ACT),南羌塘地表形成薄皮推覆构造(XST, DQT, SZT),前锋形成大量飞来峰和构造窗,深部





图 6 羌塘盆地结构构造演化模式图

Fig. 6 Sketch map showing tectonic evolution of the Qiangtang basin from Late Cretaceous to Oligocene (剖面垂向放大,地质代号含义如图 5,红色线条表示逆冲断层,淡红色线条表示早期逆冲断层)

(Vertical exaggeration has designed for each cross-section, geological symbols refer to the same as in Fig. 5,

the red lines represent major thrust faults, and the pink lines represent the previous thrust faults)

形成中生界盆底逆冲推覆构造 NBT、SBT 及基底逆 冲系 BMT(图 6c)。羌塘盆地强烈逆冲推覆构造运 动至渐新世晚期一中新世早期基本结束(Wu et al., 2012, 2013b)。

4 油气资源潜力与重点勘探方向

羌塘盆地晚白垩世一古近纪逆冲推覆构造对中 生界海相沉积地层和烃源岩具有强烈改造作用,导 致三叠系和侏罗系碳酸盐岩一碎屑岩系发生长距离 水平运动(Wu et al., 2012),形成不同规模的逆冲 岩片和大量飞来峰(图5)。大规模逆冲推覆构造运 动使中生界海相烃源岩自深部逆冲推覆至地表(图 5),对中生代形成的部分油气资源产生严重破坏(图 3c);如南羌塘凹陷北部沿肖茶卡——双湖逆冲推覆构 造(XST),侏罗系烃源岩自北向南逆冲推覆于上白 垩统红层之上(图 3a),在地表形成富含沥青的碳酸 盐岩逆冲岩席和飞来峰构造(Wu et al., 2012),局 部如昂达尔错与比洛错形成出露地表的大型古油藏 (王成善等,2004)。羌塘盆地逆冲推覆构造还对油 气勘查部署产生重要影响,由于地表出露的烃源岩 多为经历长距离水平运移的异地系统(图 6),因此 根据地表地质构造资料部署深部油气资源勘查风险 很大,羌塘盆地油气资源勘查部署需要充分考虑逆 冲推覆构造改造及不同层次地质构造的显著差异 (图5)。

尽管逆冲推覆构造改造中生界海相烃源岩并破 坏部分油气资源,但多期逆冲推覆构造运动也导致 三叠系和侏罗系海相烃源岩显著增厚(图 5、6c),经 过缩短增厚的海相烃源岩新生代二次生烃能够形成 巨量油气资源(吴珍汉等,2009)。现有观测资料表 明,羌塘盆地海相烃源岩自新新世开始二次生烃,中 新世早中期进入二次生烃高峰(许怀先等,2004;王 成善等,2004;王剑等,2005)。由于大规模逆冲推覆 构造运动至渐新世晚期一中新世早期基本结束(Wu et al.,2012),因此逆冲推覆构造运动对羌塘盆地 二次生烃形成的油气资源不会产生显著破坏作用; 不仅不会破坏新生油气资源,而且逆冲推覆构造运 动及伴生褶皱变形导致的海相烃源岩缩短增厚对新 生代晚期二次生烃具有重要的促进作用(吴珍汉等, 2009)。

差塘盆地晚白垩世一古近纪逆冲断层及伴生褶 皱为新生代二次生烃及油气成藏提供了非常有利的 构造条件,很多构造成为羌塘盆地油气勘探重要靶 区。北羌塘凹陷重要勘探靶区包括:(1)万安湖向 斜,南北宽达 30 km,地表发育规模较大的飞来峰, 飞来峰下伏侏罗系和上三叠统海相沉积地层(图 5a、b);在向斜核部,自飞来峰底界(深 2500m)至盆 底断层 NBT (深 10000m),厚达 7500m 的碳酸盐 岩一碎屑岩系基本没有受到逆冲断层显著破坏。由 于逆冲推覆构造改造破坏相对较弱,万安湖向斜不 仅能够保存二次生烃产生的油气资源,还蕴藏有晚 侏罗世一早白垩世第一次生烃高峰(许怀先等, 2004)形成的油气资源,资源潜力巨大,成为羌塘盆 地非常重要的油气勘查靶区。(2)半岛湖背斜,位于 万安湖向斜南侧,宽约10km,褶皱地层包括中侏罗 统布曲组、中下侏罗统雀莫错组、下侏罗统曲色组及 三叠系,沿盆底逆冲断层(NBT)三叠系发育较大规 模的盐丘构造,构成背斜核部;背斜顶部被龙尾错逆 冲推覆构造(LCT)前锋逆冲断层穿切,上覆上侏罗 统索瓦组碳酸盐岩,成为二次生烃非常好的油气成 藏构造(图 5a、b),属北羌塘凹陷油气勘探重要靶 区。(3)东湖向斜,南北宽12 km,深达7500m,褶皱 地层包括侏罗系和上三叠统海相沉积地层,侏罗系 和三叠系厚度分别为 6000m 和 1500m; 深部 NBT 逆冲断层切割错断石炭系一二叠系沉积地层,向斜 两翼发育不同方向的逆冲断层;但向斜核部逆冲断 层不甚发育(图 5a、b),逆冲推覆构造对东湖向斜二 期生经产生的油气资源破坏较弱,因此油气勘探前 景良好,应属北羌塘凹陷油气勘查重要靶区,油气勘 探有利部位包括向斜核部岩性圈闭、向斜北翼逆冲 断层及伴生背斜构造、向斜南翼逆冲断层及上盘背 斜构造(图 5a、b)。(4)阿木错复式向斜,位于羌中 隆起北侧,属阿木错逆冲推覆构造(ACT)伴生褶 皱,南北宽达18 km,地表为古近纪河湖相沉积和晚 白垩世红层覆盖,深部发育多条向北倾斜的逆冲断 层;阿木错复式向斜侏罗系海相沉积地层厚达 4500m,下伏三叠系发育盐丘构造,核部及两翼均发 育多个背斜构造(图 5a、b),为二次生烃成藏的有利 部位,也是油气勘探重要靶区。

南羌塘凹陷晚白垩世一古近纪发育多重薄皮推 覆构造,形成很多有利于二次生烃成藏的构造圈闭, 包括宁日圈闭、鲁雄错背斜、诺尔玛错圈闭、协德圈 闭、崩则错圈闭(图 5c、d),均属南羌塘凹陷油气勘 探重要靶区。这些构造圈闭分别发育多条逆冲断 层,经过构造增厚,侏罗系和三叠系海相沉积地层厚 达4500~7000m,其中发育大量褶皱构造,规模较大 的褶皱包括鲁雄错背斜和崩则错复式褶皱(图 5c、 d)。多重逆冲断层及伴生褶皱既是南羌塘凹陷二次

13

生烃成藏的有利部位,也是南羌塘凹陷油气重要勘 探的重要目标。在南羌塘凹陷南缘发育色林错复式 向斜,宽达 20 km,褶皱地层主要包括古近纪丁青湖 组和牛堡组;向斜核部古近系沉积地层总厚度达 6000m,南翼为赛布错一扎加藏布逆冲推覆构造 (SZT)前锋,北翼为色林错逆冲推覆构造(NST)前 锋;在色林错向斜南翼,沿 NST 前锋逆冲断层发育 大量下白垩统郎山组灰岩逆冲岩片和飞来峰,覆盖 于古近系沉积地层之上,导致古近系发生复式褶皱 变形,深部隐伏2条 SZT 逆冲断层(图 5c、d)。色林 错复式褶皱及南翼缓倾斜逆冲断层是古近系烃源岩 油气成藏的有利构造部位,油气勘探前景良好,属伦 坡拉盆地西侧新生代陆相油气勘探重要靶区。羌中 隆起地表出露石炭系一二叠系、蛇绿混杂岩及下古 生界变质岩,深部发育多重推覆构造系统,包括 NCT 前锋逆冲断层、XST 后缘逆冲断层、SBT 逆冲 断层(图 5); 羌中隆起古生界逆冲岩席下伏侏罗系 和三叠系海相沉积地层,深部逆冲断层及伴生背斜 是中生界海相烃源岩二次生烃成藏的有利构造部 位,经过详细勘查在古生界逆冲岩席下伏中生界海 相碳酸盐岩一碎屑岩系可能发现有工业价值的大中 型油气藏。

5 讨论

结合野外观测及相关资料,对横穿羌塘盆地的 地震反射剖面进行地质构造详细解释,不仅揭示了 盆地结构和深部构造,而且为油气勘探选区提供了 重要依据。综合研究表明,北羌塘凹陷多格错仁逆 冲推覆构造(DCT)、阿木错逆冲推覆构造(ACT)及 南羌塘凹陷肖茶卡一双湖逆冲推覆构造(XST)、多 玛一其香错逆冲推覆构造(DQT)主要发育于盆地 表层(深度3km),属于薄皮推覆构造,在地表形成 大量逆冲岩席、逆冲岩片、飞来峰及构造窗。北羌塘 凹陷中部龙尾错逆冲推覆构造(LCT)、羌中隆起北 缘逆冲推覆构造(NCT)、南羌塘凹陷南缘赛布错一 扎加藏布逆冲推覆构造(SZT)、拉萨地块北缘色林 错逆冲推覆构造系统(NST)的主要逆冲断层分别 穿切三叠系一侏罗系海相沉积盆地,自地表向深部 延伸深度都超过6 km,部分逆冲断层深切古生界变 质基底。南羌塘凹陷自地表向深部发育多重推覆构 造。羌塘盆地深部还发育盆部逆冲系 NBT、SBT 和 基底逆冲系 BMT。区域逆冲推覆构造形成活动时 代主要为晚白垩世、古近纪早期、古近纪晚期,其中 晚白垩世与古近纪早期逆冲推覆构造运动导致构造 隆升的裂变径迹年龄分别为 87±5~75±4 Ma、64 ±5 Ma~46±4 Ma,区域强烈逆冲推覆构造运动 至渐新世晚期一中新世早期基本结束。

羌塘盆地逆冲推覆构造对中生界海相沉积地层 及烃源岩具有强烈改造作用,部分烃源岩沿主要逆 冲断层发生长距离水平运移,导致三叠系和侏罗系 海相烃源岩自深部逆冲推覆至地表,对晚侏罗世--早白垩世第一次生烃产生的部分油气资源产生严重 破坏。晚白垩世一古近纪逆冲推覆构造及伴生褶皱 也使三叠系和侏罗系海相沉积地层及烃源岩显著增 厚,为新生代晚期二次生烃及油气成藏提供了非常 有利的地质构造条件;经过缩短增厚的海相烃源岩 经历中新世一上新世一第四纪二次生经,能够产生 巨量油气资源。北羌塘凹陷万安湖向斜、半岛湖背 斜、东湖向斜、阿木错复式向斜及南羌塘凹陷鲁雄错 背斜、宁日圈闭、诺尔玛错圈闭、协德圈闭、崩则错圈 闭,均属油气成藏有利部位,对二次生烃油气成藏具 有特别重要的控制作用,是羌塘盆地油气勘探的重 要靶区。羌中隆起古生界逆冲岩席之下伏侏罗系一 三叠系海相烃源岩、色林错复式向斜及南翼下白垩 统逆冲岩片之下伏古近纪陆相烃源岩也具有良好的 油气成藏条件,经过详细勘查有望发现有工业价值 的油气藏。

尽管对地震反射剖面进行地质构造综合解释良 好地揭示羌塘盆地二维结构和深部构造,但由于缺乏 必要的深部钻探控制,对盆地深部岩石地层单元及时 代归属分析可能存在较大偏差,不同专家对相同地震 剖面也可能给出不同解释(赵政璋,2001;王剑等, 2009;Lu et al., 2013);尤其对南羌塘凹陷分析复杂 推覆构造及下伏地层时代难度很大,相关认识有待于 更多高分辨率地震反射剖面及深部钻探验证。不同 学者根据地震观测资料计算分析地壳不同层位的地 震波速,计算结果存在较大差异(赵政璋等,2001;赵 文津等,2006; Mechie et al., 2011), 这里暂取上地壳 平均速度~6.0 km/s 代表羌塘盆地中生界海相沉积 地震波速。另外,羌塘盆地结构和深部构造非常复 杂,现有研究程度不足以建立平衡剖面(Wu et al., 2012; Lu et al., 2013;李忠雄等, 2013);前人曾依据 地表观测资料尝试建立平衡剖面并估算地壳缩短量 (Kapp et al., 2007),由于缺乏地震反射剖面控制,取 得的认识与实际情况偏差很大。尽管如此,综合地表 观测、地震反射及相关资料,能够估算逆冲推覆距离 (李亚林等,2006; Wu et al., 2012); 在探测研究程度 不够难以建立平衡剖面的情况下,鉴别地表异地系统

6 结论

(1)羌塘盆地发育复杂结构和深部构造,不同深 度逆冲推覆构造叠加形成多重推覆构造系统,伴有 强烈褶皱变形;地表出露烃源岩很多为经历长距离 水平运移的异地系统,盆地浅表和深部结构构造存 在显著差异,对羌塘油气资源勘探部署具有重要影 响。

(2)差塘盆地经过晚白垩世、古近纪早期、古近 纪晚期逆冲推覆构造强烈改造,中生代海相沉积地 层及烃源岩发生显著增厚,为新近纪以来二次生烃 及油气成藏提供了非常有利的地质构造条件,能够 产生巨量的油气资源,具有巨大的油气勘探前景。

(3)北羌塘凹陷万安湖向斜、半岛湖背斜、东湖 向斜、阿木错向斜,南羌塘凹陷宁日圈闭、鲁雄错背 斜、诺尔玛错圈闭、协德圈闭、崩则错圈闭,羌中隆起 逆冲岩席下伏海相烃源岩,这些构造均属羌塘盆地 油气勘探的重要靶区。

参考文献

- 李忠雄,邱海军,程明道,廖建河,王孝勋,王安志,王玲,2013. 藏北羌 塘盆地二维反射地震新认识.地球学报,34(4):477~484.
- 李才,程立人,胡克等,1995.西藏龙木错一双湖古特提斯缝合带研 究.北京:地质出版社,1~45.
- 李才,翟庆国,程立人,徐峰,黄小鹏,2005.青藏高原羌塘地区几个关 键地质问题的思考.地质通报,24(4):295~301.
- 李亚林,王成善,尹海生,刘志飞,李勇,2006.西藏北部新生代大型逆 冲推覆构造与唐古拉山的隆起.地质学报,80(8):1118~1130.
- 卢明国,童小兰,王必金,2004. 藏北羌塘盆地油气勘探前景探讨.油 气地质与采收率,11(3):28~30.
- 谭富文,王剑,王小龙,杜佰伟,2002. 藏北羌塘盆地最大规模沥青脉的发现.地质通报,21(11):801~802.
- 王成善,尹海生,刘池洋,李亚林,邹艳荣,伍新和,邓斌,杨兴科, 2004.西藏羌塘盆地古油藏发现及其意义.石油与天然气地质, 25(2):139~143.
- 王剑,谭富文,李亚林,李永铁,陈明,王成善,郭祖军,王小龙,杜佰 伟,朱忠发,2005.羌塘、措勤及岗巴一定日沉积盆地岩相古地理 及油气资源预测.北京:地质出版社,1~317.
- 王剑,丁俊、王成善、谭富文等著,2009. 青藏高原油气资源战略选区 调查与评价.北京:地质出版社,1~424.
- 伍新和,王成善,尹海生,2004. 羌塘盆地中生界含油气系统特征. 煤 田地质与勘探,32(6):27~30.
- 吴珍汉,吴中海,胡道功,赵逊,赵希涛,叶培盛,2009. 青藏高原新生 代构造演化与隆升过程.北京:地质出版社,1~331.
- 吴珍汉,叶培盛,胡道功,陆露,2011. 青藏高原羌塘盆地南部古近纪 逆冲推覆构造系统. 地质通报,30(7):1009~1016.

- 吴珍汉,吴学文,赵珍,陆露,叶培盛,张耀玲,2014. 羌塘地块南部晚 白垩世火山岩离子探针测年及其对红层时代的约束.地球学报, 待刊.
- 解超明,李才,董永胜,吴彦旺,王明,胡培远,2010. 青藏高原羌塘中 部冈玛日一菊花山地区大型逆冲推覆构造的基本特征及形成机 制.地质通报,29(12):1857~1862.
- 杨桂芳,藤玉洪,卓胜广,鲁兵,2003.藏北羌塘盆地双湖地区油气成 藏条件.地质通报,22(4):285~289.
- 许怀先,秦建中,2004.羌塘盆地中生界海相烃源层热演化史.石油勘 探与开发,31(2):59~63.
- 赵文津,赵逊,蒋中惕,刘葵,吴珍汉,熊嘉育,2006.西藏羌塘盆地的 深部结构特征与含油气远景评价.中国地质,33(1):1~13.
- 赵政璋,李永铁,叶如飞,张昱文,2001.青藏高原羌塘盆地石油地质. 北京:科学出版社,1~398.
- Blisniuk M P, Hacker R B, Glodny J, Ratschbacher L, Bi S, Wu Z, McWilliams O M, Calvert A. 2001, Normal faulting in central Tibet since at least 13.5 Ma ago: Nature, 412: 628~632.
- Gao Rui, Chen Chen, Lu Zhanwu, Larry D. Brown, Xiong Xiaosong et al. 2013. New constraints on crustal structure and Moho topography in central Tibet revealed by SinoProbe deep seismic reflection profiling. Tectonophysics, doi.org/10.1016/ j. tecto. 2013. 08. 006.
- Kapp P, DeCelles P G, Gehrels G E, Heizler M, Ding L. 2007. Geological records of the Lhasa- Qiangtang and Indo- Asia collisions in the Nima area of central Tibet. GSA Bulletin, 119 (7/8): 917~932, doi: 10.1130/B26033.1.
- Lu Zhanwu, Gao Rui, Li Yongtie, Xue Aimin, Li Qiusheng et al. 2013. The upper crustal structure of the Qiangtang basin revealed by seismic reflection data. Tectonophysics, doi. org/ 10.1016/j.tecto.2013.07.019.
- Mechie J, Kind R, Saul J. 2011. The seismological structure of the Tibetan Plateau crust and mantle down to 700 km depth. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 353, 109~125.
- Pan Guitang, Wang Liquan, Li Rongshe, Yuan Sihua, Ji Wenhua, Yin Fuguang, Zhang Wanping, Wang Baodi, 2012. Tectonic evolution of the Tibetan Plateau. Journal of Asian Earth Sciences, doi:10.1016/j.jseaes.2011.12.018.
- Wu Zhenhan, Patrick J. Barosh, Wu Zhonghai, Hu Daogong, Zhao Xun, Ye Peisheng, 2008. Vast early Miocene lakes of the central Tibetan Plateau. Geological Society of America Bulletin, 120(9/10):1326~1337, Doi:10.1130/B26043.1.
- Wu Zhenhan, Ye Peisheng, Patrick J. Barosh, Hu Daogong, Lu Lu, Zhang Yaoling. 2012. Early Cenozoic mega thrusting in the Qiangtang block of the Northern Tibetan Plateau. ACTA Geologica Sinica, 86(4): 799~809.
- Wu Zhenhan, Hu Daogong, Ye Peisheng and Wu Zhonghai, 2013a. Early Cenozoic Tectonics of the Tibetan Plateau. ACTA Geologica Sinica, 87(2): 289~303.
- Wu Zhenhan, Ye Peisheng, Patrick J. Barosh, Hu Daogong & Lu Lu, 2013b. Early Cenozoic Multiple Thrusts in the Tibetan Plateau. Journal of Geological Research, 2013;1~12, doi:10. 1155/2013/784361.

northern Tibet. Geology, 27(9): 787~790.

Yin An, Paul A. Kapp, Michael A. Murphy, Craig E. Manning et al. 1999. Significant Late Neogene east- west extension in

Structures of the Qiangtang Basin and Its Significance to Oil-Gas Exploration

WU Zhenhan¹¹, GAO Rui²¹, LU Zhanwu²¹, YE Peisheng³¹, LU Lu¹¹, YIN Caiyun¹¹

Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;
 Institute of Geology, CAGS, Beijing, 100037;
 Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing, 100081

Abstract

Qiangtang basin is a large marine basin formed in the Triassic and Jurossic Periods with abundant hydrocarbon source rocks and very complicated structures. Seismic reflection together with field geological mapping reveal well deep structures of the Qiangtang Basin in northern Tibetan Plateau. The Duoge Coren Thrust (DCT) and Armu Co Thrust (ACT) in the Northern Qiangtang Depression and the Xiaochaka-Shuanghu Thrust (XST) and Doma-Qixiang Co Thrust (DQT) in the Southern Qiangtang Depression mainly formed in upper Qiangtang Basin with depth less than 3km. The Longwei Co Thrust (LCT) and Northern Central Thrust (NCT) in the northern Qiangtang, Saibu Co-Zajia Zangbu Thrust (SZT) in the southern Qiangtang, and Northern Silin Co Thrust (NST) in the northern Lhasa Block formed in upper crust with depth larger than 6km. And the Northern Bottom Thrust (NBT), Southern Bottom Thrust (SBT) and Basement Thrust (BMT) formed below Triassic marine deposits of the Qiangtang Basin. Anticlines and synclines of different sizes formed widely along major thrust faults. Most thrust systems in Qiangtang Basin formed in Late Cretaceous, Paleocene-Early Eocene and Late Eocene-Oligocene. Fission track dating of apatites further indicate that uplift caused by regional thrust occurred in 87 $5 \sim 75$ 4Ma 64 $\pm 5 \sim 46 \pm 4$ Ma, respectively, during Late Cretaceous and Early Paleogene. Regional thrust and folding in Late Cretaceous-Early Tertiary leads to evident thickening of the Triassic and Jurassic marine strata and hydrocarbon source rocks, which provides favorite geological setting for hydrocarbon generation and oilgas accumulation after intensive thrust stopped in Late Oligocene-Early Miocene. The Wananhu syncline, Baodaohu anticline, Donghu syncline and Armu Co syncline in the Northern Qiangtang Depression, together with the Ningri trap, Luxiongco anticline, the Norma trap, Xiede trap and Bengze Co trap as well as Triassic-Jurassic marine source rocks beneath thrust sheets of the Paleozoic basement rocks in Central Qiangtang Uplift and Paleocene-Oligocene lacustrine deposits beneath frontier thrust fault of the NST, are all important targets for oil-gas exploration in the Qiangtang Basin and its adjacent areas.

Key words: basin structure, thrust system, seismic reflection, oil-gas resources, target for exploration, Qiangtang Block