

文章编号: 0253-9985(2006)04-0460-07

川西前陆盆地南段薄皮冲断构造之下隐伏裂谷盆地及其油气地质意义

陈竹新¹, 贾东¹, 魏国齐², 李本亮², 曾庆³, 杨光³

(1. 南京大学地球科学系, 江苏南京 210093

2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

3. 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司勘探开发研究院, 四川成都 610051)

摘要: 地震剖面构造解释发现, 川西前陆盆地南段二叠纪之前发育伸展裂谷盆地, 其中可能充填沉积了数千米厚的志留系—石炭系的古生代地层; 晚期经历了新生代的构造挤压变形, 最终在几何学上表现为一个双层构造, 即浅层逆冲褶皱构造和深部裂谷构造。浅层构造表现为一些断坪—断坡式逆冲断层以及与其伴生的褶皱变形, 构造样式主要表现为断层转折褶皱, 局部褶皱发育突破断层; 而深部裂谷构造则发育地堑盆地和半地堑盆地, 遭受挤压变形后发育局部正反转变形, 并使得上覆的二叠系、中生界和新生界发生同步褶皱变形。深部裂谷构造在一定程度上控制了浅层冲断构造的发育形成。川西前陆盆地南段深部的古生界以及由于构造反转形成的古生界和中生界背斜中具有巨大的油气潜力, 是川西地区油气勘探的新领域。

关键词: 正反转; 裂谷盆地; 前陆盆地; 二叠纪; 构造解析; 油气勘探; 四川盆地

中图分类号: TE111.1 **文献标识码:** A

Buried rift basins under the Thin-skinned Fold-Thrust Belts in the South Segment of the western Sichuan Foreland Basin and their Geological Significance

Chen Zhuxin¹, Jia Dong¹, Wei Guoqi², Li Benliang², Zeng Qing³, Yang Guang³

(1. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093

2. Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing 100083

3. Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Chengdu, Sichuan 610051)

Abstract Seismic interpretation reveals the rift basin in the south segment of the western Sichuan foreland basin, which had been developed before Permian, might be filled up with thousands of meters of Silurian-Carboniferous strata. The late stage of the area had gone through a tectonic compression in the Cenozoic, and as a result, the foreland basin exhibits a double-layer structure characterized by shallow fold-thrust structures and deep rift basins. The shallow structures consist of some flat-and-ramp-related thrust faults and the associated fault bend folds, while the deep structures occur as graben-type basins and half-graben-type basins, which had experienced local positive inversion, resulting in the synchronous folding of the Permian, Mesozoic, and Cenozoic. The deep rift structures, to some extent, controlled the development of the shallow ones. It is suggested that the deep rift basins in the Paleozoic and

收稿日期: 2006-07-06

第一作者简介: 陈竹新(1979-), 男, 博士研究生, 构造地质与盆地构造分析

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40372091); 国家“十五”重点科技攻关项目(2001BA605A-06-01)

the inverted anticlines in the Paleozoic and Mesozoic in the south segment in western Sichuan foreland basin may have large hydrocarbon potentials, thus are frontiers for exploration

Key words positive inversion, rift basin, foreland basin, Permian, structural interpretation, oil and gas exploration, Sichuan basin

四川盆地龙门山前陆冲断带和川西前陆盆地被华北、扬子和羌塘三大陆块拼贴围限, 位于松潘-甘孜褶皱带的东缘, 同时也是青藏高原的东界^[1-3] (图 1a)。许多学者认为, 龙门山冲断带及川西前陆盆地的发育是一个构造正反转过程, 早期受扬子陆块被动陆缘上的同沉积正断裂控制, 接受沉积; 三叠纪晚期以来受周缘陆块碰撞产生的 NW-SE 向挤压的影响, 川西和龙门山地区至

少发生了两次强烈的构造挤压变形和褶皱-逆冲作用, 从而形成构造变形复杂强烈的龙门山前陆冲断带及其耦合的川西前陆盆地^[4-11]。

然而, 在川西和龙门山地区依然缺乏古生代正断裂的直接证据, 尤其是构造方面的证据。笔者在地震剖面精细解析的基础上, 发现川西前陆盆地南段呈现一个明显的双层构造, 即浅层薄皮冲断构造之下隐伏古生代裂谷盆地。这一发现对

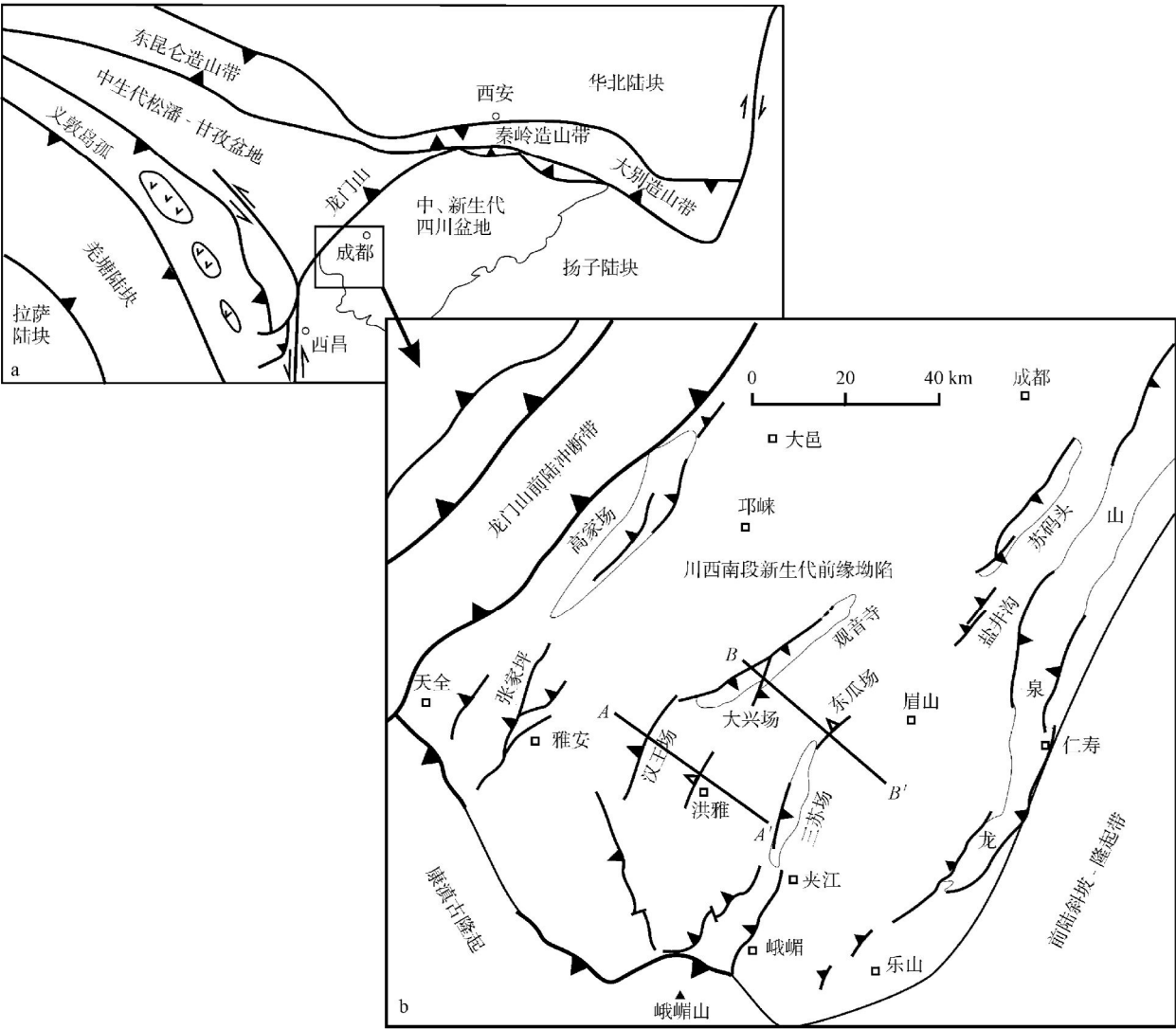


图 1 川西前陆盆地南段构造纲要
a 大地构造背景; b 构造简图

Fig. 1 Outline map showing the structures in the south segment in western Sichuan foreland basin

于认识和理解川西及龙门山地区的构造特征和地质历史具有十分重要的意义。同时,笔者还分析讨论了川西前陆盆地南段油气勘探的新思路和新领域。

1 地质特征

龙门山冲断带东南侧的川西盆地是一个晚三叠世时期由于松潘-甘孜海盆封闭所产生的与龙门山冲断带相耦合的周缘前陆盆地,其上叠加了新生代形成的分布于南段的川西再生前陆盆地^[12~15]。根据地层发育和构造变形特征,川西前陆盆地可以分为南、北两段,分界线位于安县附近^[7,8]。龙门山挤压推覆构造向前陆方向的传播导致川西前陆盆地南段内部发育了多条逆冲构造带,主要表现为一些走向几乎平行于龙门山南段构造走向的正向或反向的逆冲断层以及与冲断层相伴生的褶皱构造。虽然盆地中地表构造表现出

了不同的变形特征,但整体上呈带状展布,主要包括高家场-张家坪构造带、观音寺-汉王场构造带、苏码头-盐井沟-三苏场构造带以及龙泉山背斜(图 1b)。研究区位于川西前陆盆地南段,主要为图 1b 中测线所及范围,包括汉王场构造、洪雅背斜、大兴场构造和东瓜场构造(图 2 图 3)。

2 薄皮冲断构造之下隐伏裂谷盆地

本文对川西前陆盆地南段的两条地震剖面进行了精细的构造解析。一条剖面横切汉王场和洪雅背斜(图 1b AA');另一条剖面切过大兴场构造和东瓜场背斜(图 1b BB')。其构造特征如图 2 和图 3 所示,整体上表现为一个双层构造,即浅层的薄皮冲断构造和深部的隐伏裂谷盆地。其中,早期的深部裂谷构造在一定程度上控制了川西盆地南段晚期浅层冲断构造的发育。

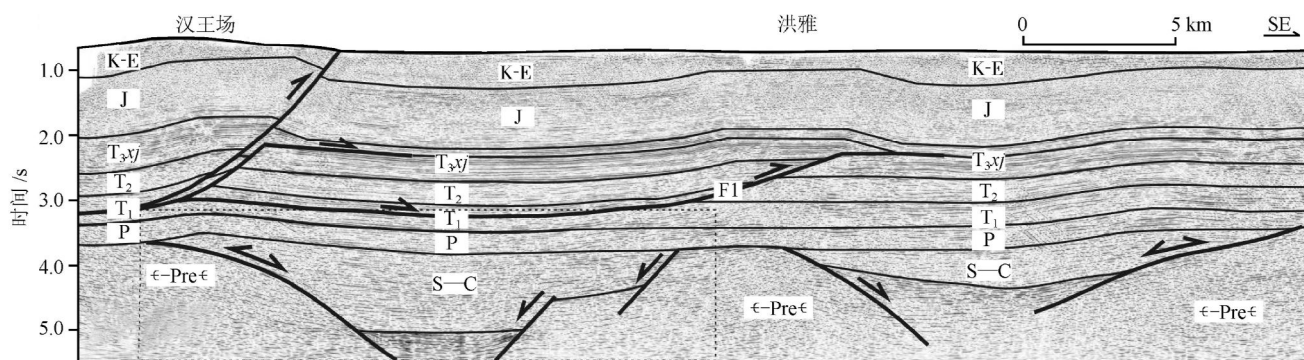


图 2 川西前陆盆地南段汉王场-洪雅地震剖面构造解释

(剖面位置见图 1b 中剖面 AA')

Fig. 2 Structural interpretation on Hanwangchang-Hongya seismic section in the south segment of western Sichuan foreland basin (see AA' in Fig 1b for the location of the section)

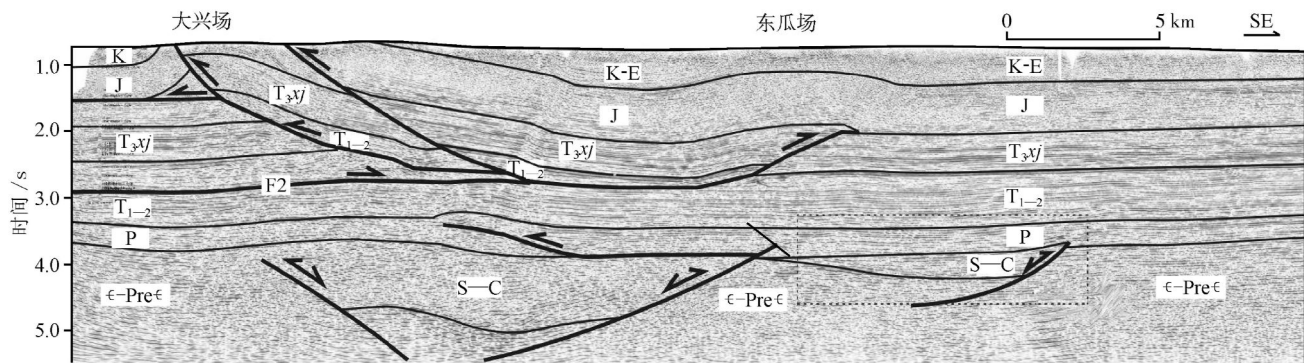


图 3 川西前陆盆地南段大兴场-东瓜场地震剖面构造解释

(剖面位置见图 1b 中剖面 BB')

Fig. 3 Structural interpretation on Daxingchang-Dongguachang seismic section in the south segment of western Sichuan foreland basin (see BB' in Fig 1b for the location of the section)

2.1 二叠系之下隐伏裂谷盆地

挤压逆冲构造是龙门山和川西地区的主体构造表现, 地表地质事实和地震剖面解析都证实了这一认识。然而在地震剖面上, 笔者等发现在川西前陆盆地南段二叠系之下发育早期裂谷盆地, 表现为一些地堑盆地构造以及箕状盆地构造。

图 4 是汉王场-洪雅构造剖面中的一个深部裂谷盆地地震剖面的地堑构造解释。图中可以清晰地识别出断面波以及盆地内部同相轴和断面波之间的角度接触关系, 体现了一种断陷盆地的沉积特征。因此笔者等认为, 该构造是一个地堑构造, 可能是古生代拉张环境下形成的一个古裂谷, 由 3 条正断层控制形成, 盆地中可能充填沉积了较厚的志留系-石炭系。图 5 是大兴场-东瓜场构造剖面中的一个深部裂谷盆地。图中可以清晰地观察到地震剖面中同相轴所表现出的箕状断陷盆地的正断作用和超覆沉积现象, 但该盆地发育规模相对较小。

图 4 和图 5 中裂谷盆地边缘的正断层之上二

叠系及以上的地层发生小规模褶皱弯曲, 这表明裂谷盆地后期遭受构造挤压, 盆地内的物质沿早期的正断层发生逆冲推覆, 使得其上的地层发生弯曲变形, 最终在早期正断层的上部形成背斜构造 (图 4)。通过地震剖面的精细构造解析, 笔者等在两条地震测线的深部发现了 4 个裂谷盆地 (图 2 图 3), 而且这些深部裂谷构造都经历了小幅度的构造反转。至于这两条近平行测线中的深部裂谷盆地在空间上的联系及平面展布特征, 则需要更精确和详细的地球物理工作来厘定。

人们普遍认为四川盆地内部缺失大部分古生界, 一般情况下是二叠系直接覆盖在寒武系或者局部的奥陶系之上^[16-17]。结合龙门山冲断带的构造演化历程^[8], 本文认为川西盆地南段的深部裂谷盆地中可能沉积了志留系-石炭系的古生代地层。

2.2 二叠系之上发育薄皮冲断构造

在深部裂谷盆地之上, 川西前陆盆地内部发育了较为完整的二叠系、中生界和新生界, 薄皮冲

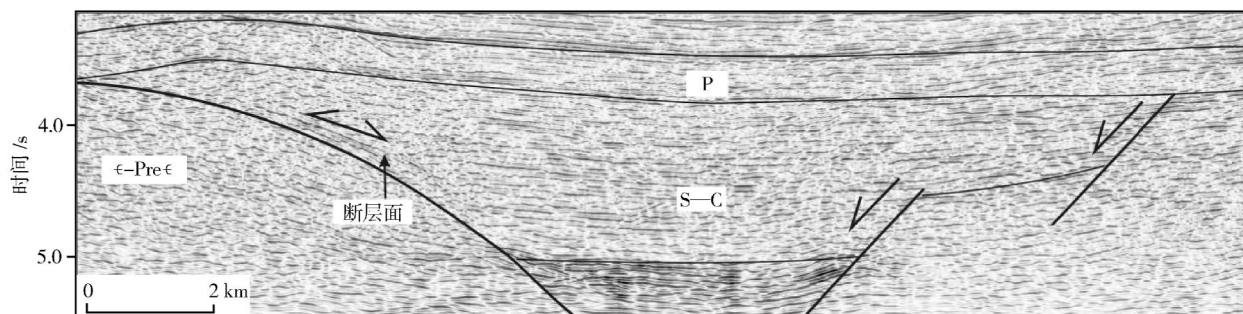


图 4 汉王场-洪雅构造剖面中的深部地堑盆地
(位置见图 2 虚线内)

Fig. 4 Graben-type basin in deep of Hanwangchang-Hongya seismic profile (box on Fig 2)

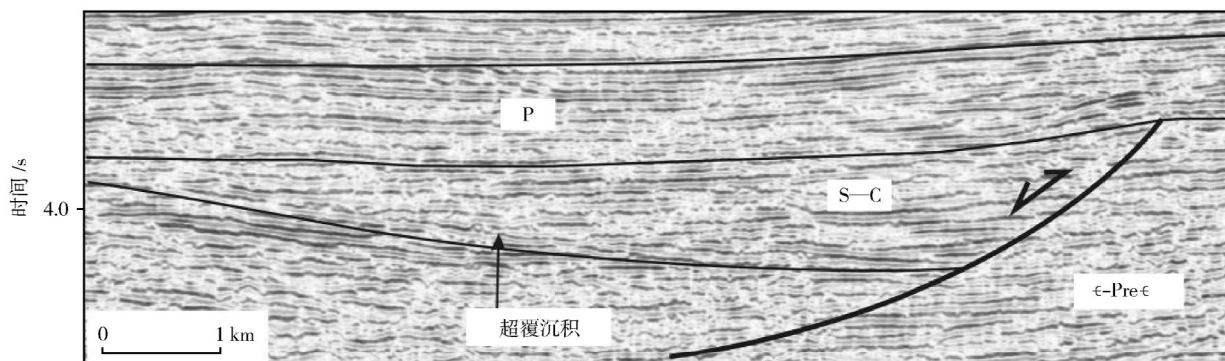


图 5 大兴场-东瓜场构造剖面中的半地堑盆地
(位置见图 3 虚线内)

Fig. 5 Half-graben-type basins in deep of Daxingchang-Dongguangchang seismic profile (box on Fig 3)

断构造(图 2 图 3)。冲断滑脱层主要位于三叠系内,而且随着挤压变形向前陆方向的传播滑脱断层也从老地层向上切入新地层从而变得越来越浅。二叠系之上的浅层薄皮冲断构造表现为一些断坪-断坡式逆冲断层作用以及伴生的褶皱变形,其构造样式主要是断层转折褶皱^[18],局部褶皱发育次级的突破断层。

在汉王场-洪雅剖面中,浅层构造发生正向冲断作用,发育两条滑脱冲断层,汉王场构造中发育突破断层。浅滑脱断层控制了汉王场背斜的形成,而深部的滑脱断层则控制了洪雅背斜的形成。根据前锋构造的前展式发育特点,笔者等认为该剖面中浅层滑脱断层形成早、后期不活动,而汉王场背斜中的突破断层和深部滑脱断层(F1)则形成晚。在大兴场-东瓜场构造剖面中,浅层构造同时发生强烈的反向冲断和微弱的正向冲断作用。其中反向逆冲形成了变形相对强烈的大兴场背斜,而且该背斜中发育两条突破断层;而正向冲断则控制形成了完整的东瓜场背斜。

在图 2 和图 3 中,所有浅层的逆冲和褶皱变形均卷入了三叠系、侏罗系、白垩系以及古近系。这些地层发生了同步的褶皱和掀斜变形,从而说明新生代挤压构造变形基本上控制了川西前陆盆地南段内部浅层冲断构造的发育和形成。

2.3 深部构造对浅层构造的控制

通过上文分析可知,川西盆地南段发育由浅层薄皮冲断构造和深部隐伏裂谷构造构成的双层构造体系。图 2 和图 3 的构造剖面中有一个明显的构造特征,就是二叠系之下的裂谷盆地在经历了后期挤压变形以后发生了局部的构造反转,裂谷中的地层沿早期的正断层产生小规模逆冲并发生褶皱变形形成背斜构造。这种构造反转变形作用对裂谷盆地的所有上覆地层都产生了影响,最终使得二叠系及其以上地层发生同步褶皱,形成了多个深部背斜构造。

结合图 2 和图 3 还可以观察到一个非常显著的构造变形特征,就是深部的断裂构造与浅层的冲断构造在垂向上具有很好的一致性。在汉王场构造中,深部裂谷盆地的边缘断层和浅层的冲断层在垂向上的发育类似于镜像关系,而洪雅背斜则正好发育在深部隆起的地垒之上。而且大兴场构造和东瓜场背斜的构造位置在垂向上

与其深部裂谷边缘断层的发育同样有比较好的一致性。这说明,浅层逆冲断层及褶皱的发育可能受到深部早期的正断层以及构造反转形成的深部构造的控制。而且这种构造一致性的特点也进一步验证了深部裂谷盆地的存在。因此笔者推测,在川西前陆盆地南段内部其他地表背斜之下可能也发育深部裂谷盆地,但这同样需要开展更精细和准确的地球物理和钻探工作来探索和验证。

3 裂谷的地质意义

笔者等借助平衡剖面分析^[8]认为,龙门山冲断带及川西前陆盆地的发育是一个构造正反转过程(图 6)。古生代和早-中三叠世时期,川西地区整体上处于被动大陆边缘。而在志留纪-中三叠世期间,川西地区发生了陆缘裂解事件,其地层发育受被动陆缘上同沉积正断裂控制。晚三叠世和新生代的两期挤压构造变形,使得川西地区产生构造反转,形成龙门山逆冲推覆构造。新生代构造挤压向前陆方向的传播形成了川西盆地南段内部的多条冲断构造带。

笔者等在川西盆地内部发现二叠系之下存在发育构造反转的裂谷盆地,而且裂谷构造的发育与龙门山冲断带的演化在空间和时间上具有较好的一致性。因此笔者等认为,裂谷盆地中可能沉积有志留系-石炭系的古生代地层;而且裂谷盆地正反转构造演化说明川西地区在二叠纪以前存在伸展构造,后期遭受挤压变形。这一认识进一步论证了龙门山及川西前陆盆地形成的构造正反转演化过程。

4 油气勘探新领域

在川西地区,三叠系和侏罗系是目前油气勘探的重点,发育有大套的生油岩、储集层和盖层,而且其中也发现了大量的油气资源^[19-22]。显然,在川西地区的浅层构造中,完整发育的构造背斜仍然是当前油气勘探的重点对象,例如洪雅背斜和东瓜场背斜。而且浅层构造中的隐蔽油藏同样是川西地区油气勘探的重点领域。在四川盆地中,古生界是海相地层,油气地质条件好(图 6)。

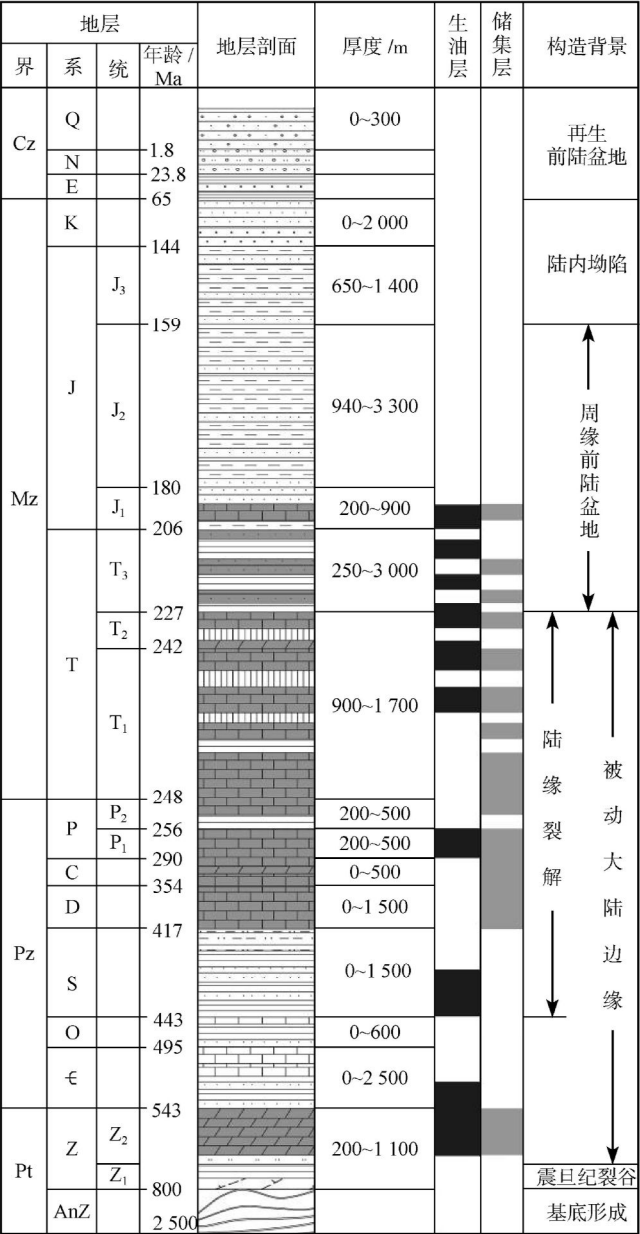


图 6 川西地区地层系统及构造演化
Fig. 6 Stratigraphic succession and tectonic evolution in western Sichuan

其中生油气层多, 主要为海相生油气岩, 既有碳酸盐岩也有碎屑岩, 如上震旦统灯影组的灰色-灰白色白云岩、下寒武统的一套灰-灰黑色泥质岩和碳酸盐岩、志留系的暗色泥质岩以及下二叠统的深灰-灰色生物灰岩和含生物灰岩^[19]。而且储集层在古生界中也有很好的分布, 但是其中的油气勘探未取得突破性的进展, 其主要原因之一则可能是在川西地区尚未发现完整的古生界圈闭构造。

在薄皮冲断带之下的原地和准原地地层中往往拥有巨大的油气储量, 这一认识已经在世界上

多个前陆冲断带中得到验证, 喀尔巴阡 (Carpathian) 就是其中最好的例子^[23]。而油气远景最好的构造圈闭则是由局部正反转形成的背斜构造, 即早期为正断层控制的断陷盆地、后期遭受弱挤压形成的背斜构造^[24-25]。尤其在前陆冲断带中, 由于区域性滑脱层的存在, 使得前陆冲断构造中可能存在多套完全不同的构造体系, 而且区域性的滑脱层是比较好的盖层^[26-28]。如果生油岩、储集岩和盖层在时间和空间上配置良好, 这些构造层系中将可能分别拥有良好的油气资源。因此, 裂谷盆地是油气勘探的首选对象, 其中的油气勘探具有很高的成功率^[29-30]。

川西盆地南段薄皮冲断带之下隐伏有裂谷盆地, 而且裂谷盆地正好发育局部构造反转变形, 形成了古生界和中生界完整的背斜构造, 其上发育有很好的盖层, 例如上三叠统须家河组以及区域性滑脱层等等。因此笔者等认为, 川西盆地南段的深部裂谷盆地和深部背斜构造是川西地区油气勘探的新领域和新方向。

5 结论

1) 川西前陆盆地南段薄皮冲断构造之下隐伏裂谷盆地。二叠系之上的挤压构造表现为一些断坪-断坡式逆冲断层以及与其伴生的褶皱变形, 构造样式主要为断层转折褶皱, 局部褶皱发育次级的突破断层; 二叠系之下则发育裂谷盆地, 其中可能沉积了志留系-石炭系地层。而且深部的裂谷构造在一定程度上控制了浅层冲断构造的发育形成。

2) 川西前陆盆地南段构造的发育是一个构造正反转演化过程。在二叠纪之前处于伸展构造背景, 发育由正断层控制的裂谷盆地; 在三叠纪晚期以来, 川西地区经历了构造挤压变形, 其中新生代的构造变形控制了盆地内部逆冲构造变形的发育和形成。后期的构造挤压变形使得深部早期裂谷构造产生小幅度构造反转, 并在浅层产生冲断作用和褶皱变形。

3) 川西前陆盆地南段深部的古生界以及由于构造正反转形成的古生界和中生界背斜中具有巨大的油气潜力, 是川西地区油气勘探的新领域, 但需要开展精细的地球物理及其他油气勘探工作。而在浅层构造中, 隐蔽油气藏和完整发育的

背斜构造仍然是川西地区油气勘探的重点对象。

致谢: 研究工作得到中国石油勘探开发研究院贾承造院士、浙江大学陈汉林教授、南京大学卢华复教授、舒良树教授、张庆龙教授、王良书教授的热情帮助和指导, 特此致谢!

参 考 文 献

- 1 潘桂棠, 徐耀荣, 王培生. 青藏高原东部边缘新生代构造 [A]. 见: 地质矿产部青藏高原地质文集编委会, 编. 青藏高原地质文集 (12) [C]. 北京: 地质出版社, 1983. 129~142
Pan Guitang Xu Yaorong Wang Peisheng The Cenozoic tectonics at the eastern margin of Tibetan Plateau [A]. In Ministry of Geology and Mineral Resources ed Contribution to the geology of the Tibetan Plateau [C]. Beijing Geological Publishing House, 1983. 129~142
- 2 黄汲清, 陈炳蔚. 中国及邻区特提斯海的演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1987. 109
Huang Jiqing Chen Binwei The evolution of the Tethys in China and its adjacent regions [M]. Beijing Geological Publishing House, 1987. 109
- 3 许志琴, 侯立玮, 王宗秀. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程 [M]. 北京: 地质出版社, 1992. 73~86
Xu Zhiqin Hou Liwei Wang Zongxiu Orogenic processes of the Songpan-Garzê Orogenic Belt, China [M]. Beijing Geological Publishing House, 1992. 73~86
- 4 Chen Shefa Wilson C J L. Emplacement of the Longmenshan thrust-nappe belt along the eastern margin of the Tibetan Plateau [J]. Journal of Structure Geology, 1996, 18(4): 413~430
- 5 龙学明. 龙门山中北段地史发展的若干问题 [J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(1): 8~16
Long Xueming Several questions of geochronic evolution in the mid-northern segment of Longmenshan mountains [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1991, 18(1): 8~16
- 6 杨克明, 朱彤, 何鲤. 龙门山逆冲推覆带构造特征及勘探潜力分析 [J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 685~693, 700
Yang Keming Zhu Tong He Li Structural characteristics and exploration potential of the thrust block in Longmenshan [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(6): 685~693, 700
- 7 贾东, 陈竹新, 贾承造, 等. 龙门山褶皱冲断带构造解析与川西前陆盆地的发育 [J]. 高校地质学报, 2003, 9(3): 402~410
Jia Dong Chen Zhuxin Jia Chengzao et al Structural features of the Longmenshan fold and thrust belt and development of the western Sichuan foreland basin, central China [J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(3): 402~410
- 8 陈竹新, 贾东, 张恢, 等. 龙门山前陆褶皱冲断带的平衡剖面分析 [J]. 地质学报, 2005, 79(1): 38~45
Chen Zhuxin Jia Dong Zhang Qie et al Balanced cross-section analysis of the fold-thrust belt of Longmen Mountains [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(1): 38~45
- 9 钟锴, 徐鸣洁, 王良书, 等. 川西两期前陆盆地南北两段构造演化的地球物理特征 [J]. 石油学报, 2004, 25(6): 29~32, 37
Zhong Kai Xu Mingjie Wang Liangshu et al Geophysical evidences of two-segment tectonic evolution of two-phase foreland basin in western Sichuan province [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(6): 29~32, 37
- 10 林茂柄, 吴山. 龙门山推覆构造变形特征 [J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(1): 46~54
Lin Maobing Wu Shan Deformational features of nappe structures in the Longmenshan mountains [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1991, 18(1): 46~54
- 11 陶晓风. 龙门山南段推覆构造与前陆盆地演化 [J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(1): 73~77
Tao Xiaofeng Evolution of nappe tectonic and foreland basin in the southern section of Longmen mountains [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(1): 73~77
- 12 Burchfiel B C, Chen Zhiliang Liu Yuping et al Tectonics of the Longmenshan and adjacent regions, central China [J]. International Geology Review, 1995, 37(8): 661~735
- 13 罗志立. 龙门山造山带岩石圈演化的动力学模式 [J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(1): 1~7
Luo Zhili The dynamical model of the lithospheric evolution in Longmenshan orogenic belt [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1991, 18(1): 1~7
- 14 刘树根, 罗志立, 戴苏兰, 等. 龙门山冲断带的隆生和川西前陆盆地的沉降 [J]. 地质学报, 1995, 9(3): 205~213
Liu Shugen Luo Zhili Dai Sulan et al The uplift of Longmenshan thrust belt and subsidence of the western Sichuan foreland basin [J]. Acta Geologica Sinica, 1995, 9(3): 205~213
- 15 刘和甫, 梁慧社, 蔡立国, 等. 川西龙门山冲断系构造样式与前陆盆地演化 [J]. 地质学报, 1994, 68(2): 101~118
Liu Hefu Liang Huishe Cai Liguang et al Structural styles of the Longmenshan thrust belt and evolution of the foreland basin in western Sichuan province, China [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(2): 101~118
- 16 郭正吾, 邓康龄, 韩永辉. 四川盆地形成与演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1996. 48~138
Guo Zhengwu Deng Kangling Han Yonghui The formation and development of Sichuan basin [M]. Beijing Geological Publishing House, 1996. 48~138
- 17 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991. 1~200
Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province Regional geology of Sichuan Province [M]. Beijing Geological Publishing House, 1991. 1~200
- 18 Suppe J. Geometry and kinematics of fault-bend folding [J]. American Journal of Science, 1983, 283(7): 684~721
- 19 刘洛夫, 金之钧. 中国大中型油气田的主力烃源岩分布特征 [J]. 石油学报, 2002, 23(5): 6~13

(下转第 474 页)

- 12 Manuyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present [J]. *Island Arc*, 1997, 6(1): 121–142
- 13 侯贵廷, 钱祥麟, 宋新民. 渤海湾盆地形成机制研究 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 1998, 34(4): 503–509
Hou Guiting, Qian Xianglin, Song Xinmin. The origin of the Bohai Bay basin [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 1998, 34(4): 503–509
- 14 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中-新生代构造演化研究 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2001, 37(6): 845–851
Hou Guiting, Qian Xianglin, Cai Dongsheng. The tectonic evolution of Bohai basin in Mesozoic and Cenozoic time [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2001, 37(6): 845–851
- 15 宗国洪, 施央申, 王秉海, 等. 济阳盆地中生代构造特征与油气 [J]. *地质论评*, 1998, 44(3): 289–294
Zong Guohong, Shi Yangshen, Wang Binghai, et al. Mesozoic structures and their relations to hydrocarbon traps in the Jiyang basin [J]. *Geological Review*, 1998, 44(3): 289–294
- 16 朱建辉. 中国东部构造-热体制与断陷盆地多期性迁移特征 [J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(4): 367–370, 400
Zhu Jianhui. Tectonic thermal regime and multiple transporting characteristics of faulted basins in eastern China [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(4): 367–370, 400
- 17 徐嘉伟, 朱光, 马国锋. 东亚大陆边缘演化的若干认识 [A]. 见: *IGCP 第 321 项中国组*, 编. 亚洲的增生 [C]. 北京: 地震出版社, 1993, 25–30
Xu Jiawei, Zhu Guang, Ma Guofeng. Some recognition about continental margin evolution in east China [A]. In: *IGCP No. 321 Chinese work group ed. The accretion of Asia* [C]. Beijing: Seismological Press, 1993, 25–30
- 18 Montgomery C W. *Physical geology* [M]. Dubuque: W C Brown Publishers, 1990, 555
- 19 徐杰, 高战武, 孙建宝, 等. 1969 年渤海 7.4 级地震区地质构造和发震构造的初步研究 [J]. *中国地震*, 2001, 17(2): 121–133
Xu Jie, Gao Zhanwu, Sun Jianbao, et al. Analysis of structures in 1969 Bohai sea M_s 7.4 earthquake area and discussion about the causative structure [J]. *Earthquake Research in China*, 2001, 17(2): 121–133
- 20 徐杰, 宋长青, 高战武. 营口-潍坊断裂带新生代活动的特征 [J]. *地震地质*, 1999, 21(4): 289–300
Xu Jie, Song Changqing, Gao Zhanwu. Active characters of the Yingkou-WEIFANG fault zone in the Cenozoic era [J]. *Seismology and Geology*, 1999, 21(4): 289–300

(编辑 李 军)

(上接第 466 页)

- Liu Luofu, Jin Zhijun. Distribution characteristics of major hydrocarbon source rocks in the middle-large oil and gas fields of China [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2002, 23(5): 6–13
- 20 吴世祥, 汪泽成, 张林, 等. 川西前陆盆地勘探思路分析 [J]. *石油与天然气地质*, 2001, 22(3): 210–216
Wu Shixiang, Wang Zecheng, Zhang Lin, et al. Exploration strategy for the foreland basin in western Sichuan [J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(3): 210–216
- 21 杨克明. 川西坳陷油气资源现状及勘探潜力 [J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(4): 322–326, 331
Yang Keming. Status of oil & gas resources and prospecting potential in western Sichuan depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(4): 322–326, 331
- 22 杨克明, 叶军, 吕正祥. 川西坳陷上三叠统成藏年代学特征 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(2): 208–213
Yang Keming, Ye Jun, Lv Zhengxiang. Chronological characteristics of Upper Triassic reservoirs in western Sichuan depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(2): 208–213
- 23 Picha F J. Exploring for hydrocarbons under thrust belts—a challenging new frontier in the Camathians and elsewhere [J]. *AAPG Bulletin*, 1996, 80(10): 1547–1564
- 24 Thomas F, Patrick J. Influence of basin architecture on the style of inversion and fold-thrust belt tectonics—the southern Adelaide fold-thrust belt, South Australia [J]. *Journal of Structural Geology*, 1997, 19(8): 1093–1110
- 25 Chaelton T R. The petroleum potential of inversion anticline in the Banda Arc [J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(5): 565–585
- 26 Mitra S. Duplex structures and imbricate thrust system: geometry, structural position, and hydrocarbon potential [J]. *AAPG Bulletin*, 1986, 70(9): 1087–1112
- 27 贾承造, 卢华复. 库车-柯坪再生前陆冲断带油气聚集和勘探 [M]. 北京: 科学出版社, 2004, 1–132
Jia Chengzao, Lu Huafu. Hydrocarbon migration and exploration of Kuqa-Keping rejuvenated foreland thrust belt [M]. Beijing: Science Press, 2004, 24–67
- 28 卢华复, 贾承造. 库车-柯坪再生前陆冲断带构造 [M]. 北京: 科学出版社, 2003, 1–171
Li Huafu, Jia Chengzao. Structures of Kuqa-Keping rejuvenated foreland thrust belt [M]. Beijing: Science Press, 2003, 19–112
- 29 金强, 翟庆龙. 裂谷盆地的火山热液活动和油气生成 [J]. *地质科学*, 2003, 38(3): 342–349
Jing Qiang, Zhai Qinglong. Volcanic and thermal water activities and hydrocarbon generations in the rift basins, eastern China [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(3): 342–349
- 30 Macgregor D S. Hydrocarbon habitat and classification of inverted rift basins [A]. In: *Geological Society of London Basin inversion* [C]. Geological Society Special Publication, 1995, 88, 83–93

(编辑 李 军)