

藏北羌塘盆地二维反射地震新认识

李忠雄¹⁾, 邱海军²⁾, 程明道²⁾, 廖建河³⁾, 王孝勋³⁾, 王安志³⁾, 王 玲³⁾

1) 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081;

2) 中石化华北石油局地球物理勘探公司, 河南新乡 453700;

3) 中石化西南石油局第二物探大队, 四川德阳 618000

摘 要: 针对羌塘盆地复杂的地震地质条件, 从提高资料信噪比入手, 近几年在羌塘盆地开展了数百千米二维地震采集与处理技术试验, 初步总结出一套适合羌塘盆地地震采集与处理方法技术。试验结果证明: 单井(18 m 以上井深)、16~20 kg 炸药药量、50 m 以下道距、120 次以上覆盖次数、“X”型检波器组合图形为较好的激发接收参数。处理获得的地震叠加剖面反射信息丰富, 揭示出盆地古生界基底、三叠系、侏罗系中上部、侏罗系顶界各构造层以及断裂的空间展布特征, 为查明地层埋深、构造圈闭和构造界面等提供了高质量数据。另外, 穿过中央隆起带的地震剖面清楚显示该隆起带不是一个古老构造, 而是一个现今构造。

关键词: 藏北; 羌塘盆地; 二维地震剖面; 构造特征; 中央隆起带

中图分类号: P631.411; P631.425 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.04.11

Characteristics of New Two-dimensional Seismic Reflection Profiles in Qiangtang Basin, Northern Tibet

LI Zhong-xiong¹⁾, QIU Hai-jun²⁾, CHENG Ming-dao²⁾, LIAO Jian-he³⁾,
WANG Xiao-xun³⁾, WANG An-zhi³⁾, WANG Ling³⁾

1) Chengdu Center of Geological Survey, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081;

2) Geophysical Exploration Company, North China Bureau of Petroleum, SINOPEC, Xinxiang, Henan 453700;

3) No. 2 Geophysical Exploration Party, Southwest China Bureau of Petroleum, SINOPEC, Deyang, Sichuan 618000

Abstract: It is difficult to acquire high-quality seismic sections in Qiangtang basin because of its complex seismic geological condition and low signal-noise ratio. In order to find out suitable technique for this basin, the authors conducted tests along a seismic profile more than several hundred kilometers long on the basis of increasing signal-noise ratio. The results indicate that a single hole with the depth of at least 18 meters, 16~20 kilogram charge sizes, 20~40 meters trace group interval, more than 120 folds and “X” type geophone array map constitute the optimum shooting and receiving parameters suitable for the feature of Qiangtang basin. And the quality of 2D seismic profiles obtained by using these parameters and techniques can be increased greatly and is obviously superior to that of the profiles obtained in the past. The processed stacking profiles show informative reflection and reveal the features of spatial distribution of Palaeozoic basement, Triassic, middle-upper Jurassic, upper Jurassic strata and faults, thus providing high-quality data for ascertaining the layer thickness and the structural traps and boundaries. In addition, the processed stacking profile across the central uplifting belt clearly shows that this uplifting belt is an anticline structure formed recently instead of an ancient dome.

Key words: northern Tibet; Qiangtang basin; 2D seismic profile; structure characteristic; central uplifting belt

本文由中国地质调查局青藏矿产专项“羌塘盆地油气勘探目标优选与科探井井位预研究”(编号: 资[2008]青藏 15-01)、中国地质调查局青藏油气项目“羌塘盆地及其外围重点盆地油气远景调查”(编号: 资[2011]02-03-01)和国家自然科学基金项目(编号: 40972087)联合资助。

收稿日期: 2012-08-16; 改回日期: 2013-01-11。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 李忠雄, 男, 1964 年生。博士, 教授级高级工程师。主要从事青藏高原油气地质调查与勘探工作。通讯地址: 610081, 成都市一环路北三段 2 号。E-mail: lzhongxiong@163.com。

羌塘盆地位于西藏自治区的北部,面积约 $16 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是一个在古生代基底之上以中生代海相沉积为主体的残留含油气盆地。盆地南、北分别以班公湖—怒江缝合带和拉竹龙—金沙江缝合带为界,盆地东、西以中生代地层逐渐尖灭线为界(赵政章等, 2001; 王剑等, 2004; 杨日红等, 2000)。根据航磁异常和大地电磁(MT)基底测深资料, 可以将羌塘盆地划分为三个次级构造单元, 即北羌塘拗陷、中央隆起和南羌塘拗陷(和钟铎等, 2000), 见图 1。

羌塘盆地目前处于石油地质普查-盆地评价的前期阶段, 大量资料主要来源于野外地质剖面, 缺乏地震和井下资料, 对地腹构造了解甚少, 严重影响了对羌塘盆地油气资源的评价工作。但是, 羌塘盆地地表及深部地质条件复杂, 海拔高、气候多变, 自然环境恶劣, 地震勘探难度极大, 虽经中国石油集团公司(孙志华等, 1997, 1998)、中国地质科学院(高锐等, 2008)等多年努力, 取得大量资料, 但至今尚未取得突破性进展。

对已有地震资料分析发现, 影响地震资料采集品质的主要因素是: 该区表层结构纵横向变化剧烈, 潜水面及激发岩性变化大, 导致记录品质变化大; 地形起伏强烈, 地表岩石风化破碎严重, 第四系砾石覆盖层厚, 地表多为老地层出露, 尤其是灰岩出露区对地震勘探是难题; 声波、面波、随机高频噪音等干扰波发育, 资料信噪比低; 构造

复杂, 断层及喀斯特溶洞发育(李忠雄等, 2008), 加之存在冻土层, 对震源激发及地震波的能量传递极为不利; 主要目的层埋藏深, 而以往 48~60 次的覆盖次数偏低, 加上炮点距大, 致使主要目的层覆盖次数低、成像效果差。另外, 藏北高原气候恶劣, 高寒风大, 气温时常骤变, 雷暴、冰雹、下雪天较多, 也影响了地震采集效果。

为推动羌塘盆地石油地震勘探进程, 针对上述技术难点, 2008—2011 年中国地质调查局在北羌塘拗陷托拉木地区部署了 12 条、长约 442 km 的二维地震反射试验剖面(含宽线试验剖面, 测线编号、具体位置及起止点坐标见图 1 和表 1), 以提高资料信噪比为目的, 从干扰波和表层精细结构调查入手, 开展了激发接收各种参数的对比性试验, 优选适合羌塘盆地的二维地震采集方法技术。同时, 加强野外施工质量监督与检查, 确保采集资料的真实性和可靠性。最终, 经过室内精细处理, 获得了一批具有丰富反射信息的地震剖面资料, 为羌塘盆地地腹构造研究提供了一些可靠资料。

1 地震资料的采集与处理

二维反射地震剖面为共深度点(CDP)叠加和偏移剖面, 野外采集使用 408UL-2000CMXL 数字地震仪和 408UL 采集站, 仪器前放增益 12 db; 单深井, 井中炸药激发, 井深不低于 15 m(绝大多数大于

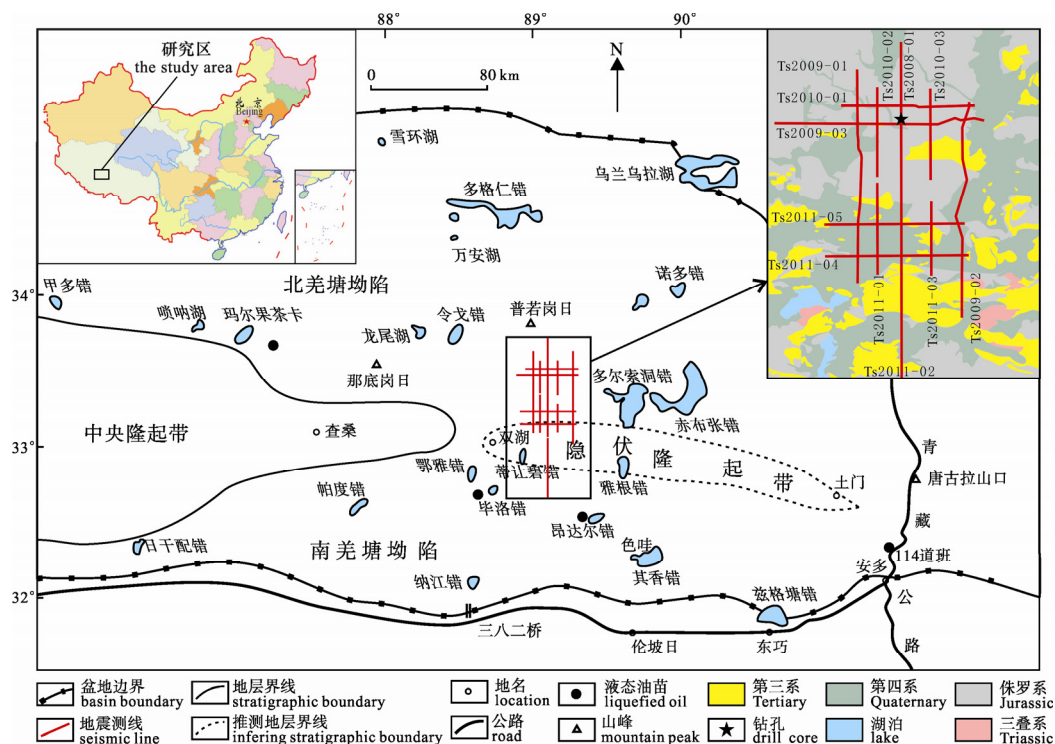


图 1 区域地质背景与测线部署

Fig. 1 Regional geological background and seismic line distribution

表 1 地震测线编号及起止点坐标
Table 1 Serial number and location of the seismic line

年份	编号	剖面起止点坐标				剖面长度 /km
		起点		终点		
		经度	纬度	经度	纬度	
2008	TS2008-01	E89°15′	N33°11′	E89°15′	N33°44′	60
2009	TS2009-01	E89°08′	N33°14′	E89°09′	N33°39′	45
	TS2009-02	E89°22′	N33°11′	E89°23′	N33°41′	55
	TS2009-03	E89°02′	N33°35′	E89°35′	N33°34′	50
	TS2010-01	E89°06′	N33°36′	E89°26′	N33°36′	30.94
2010	TS2010-02	E89°12′	N33°26′	E89°12′	N33°38′	22.96
	TS2010-03	E89°19′	N33°26′	E89°20′	N33°38′	22.96
	TS2011-01	E89°11′	N33°13′	E89°12′	N33°26′	24.08
2011	TS2011-02	E89°14′	N32°51′	E89°15′	N33°10′	35.14
	TS2011-03	E89°19′	N33°13′	E89°19′	N33°22′	17.22
	TS2011-04	E89°04′	N33°16′	E89°24′	N33°16′	31.71
	TS2011-05	E89°04′	N33°20′	E89°24′	N33°20′	30.87

18 m, 河滩砾石区最低井深大于 14 m); 药量一般采用 18 kg 激发, 平原地段 16 kg, 山地地段 20 kg, 山顶地段增至 22 kg; 炮间距 70~90 m, 最大炮间距 7400~8300 m, 最小炮间距可变; 道距 20~40 m, 接收道数 396~480 道; 采样间隔 1 ms, 记录时间 6~7 s; 20DX-10 检波器, 组合图形为 2 串 22 个检波器、组内距为 2 m、组合基距 16~20 m; 单线剖面覆盖次数 72~120 次, 宽线剖面覆盖次数最高达 480 次。

本次采集工作与前人最大的不同之处是: 大幅度提高了观测系统的覆盖次数并采用了多炮多线的宽线施工方式, 最高覆盖次数可达 480 次。

室内处理系统为 CGG Geocluster 4110, 处理采样率 2 ms, 处理长度 6000 ms, 基准面高程 5300 m, 替换速度 3000 m/s。

处理流程包括观测系统定义、叠前自动去噪、坏道坏块编辑、一维时变滤波、几何扩散补偿、相干噪音压制、地表一致性振幅补偿、地表一致性反褶积、共中心点选排、层析成像静校正、速度分析、地表一致性剩余静校正、浮动基准面-固定基准面校正、叠加、叠后去噪、叠后时间偏移。

处理中结合复杂山地资料处理的经验, 采用层析成像静校正技术解决资料中、长波长静校正问题; 采用外科手术式自动去噪技术去除低频强振幅噪声, 均值加权去噪技术消除相干噪声, 叠后随机去噪技术消除随机噪声等, 实现高保真去噪; 采用地表一致性预测反褶积加时频域有色谱校正处理技术逐步提高资料子波、频率一致性; 采用速度分析与地表一致性剩余静校正迭代处理逐步提高速度精度、消除剩余静校正影响, 提高资料信噪比和连续性; 采用叠后 F-X 域有限差分偏移进行合理的偏移归位。

处理中充分发挥人机交互处理具有的方便、灵活、有效的试验和质量控制手段, 与地质解释人员紧密结合, 采用精细保真处理技术, 通过精心试验, 选择针对性模块, 合理搭配, 优选参数, 取得波组特征清晰、信噪比较高、分辨率适中、构造合理的二维处理水平叠加、叠后时间偏移成果。

2 反射波层位标定与波组特征

2.1 反射波层位标定

由于研究区没有钻井, 无法通过井-震层位标定方法对地震解释层位的属性进行标定。因此, 地质解释层位标定的方法为:

1)根据露头资料所得的各地层厚度(朱同兴等, 2005; 杜佰伟等, 2009), 估算各地层间的时间厚度, 对各反射层地震属性进行推断性标定;

2)根据地震反射特征和内部结构进行推断标定: 前人研究成果表明该区主要有三大侵蚀面即侏罗系侵蚀面、三叠系侵蚀面、二叠系侵蚀面(王剑等, 2008), 这些侵蚀面在地震剖面上可能有上超、削蚀点存在, 加之不同的沉积环境其地质结构不同, 沉积差异可形成不同的地震结构, 可以间接地确定特殊界面的反射属性;

3)参考前人的解释成果(孙志华等, 1997, 1998; 高锐等, 2008; 王剑等, 2008), 进行推断性标定;

最终确定了侏罗系顶部反射层(T_{K_1})、侏罗系中上部索瓦组反射层($T_{Js_3^1}$)、三叠系顶部反射层($T_{J_1-J_2q}$)和古生界顶部反射层(T_{Pz}) (见图 2)。

2.2 反射波组特征

T_{K_1} 波(侏罗系顶部): 为 5~6 个连续强反射的顶部, 这些强反射视频率较高, 连续性较好; 在该

反射波之上局部存在上超反射特征, 对比解释中, 以连续性较好的强反射波组及上超反射特征作为控制, 能在全区进行可靠的对比解释。该界面埋深未超过 1000 m, 已在连续取芯的浅钻工程中得到证实(杜佰伟等, 2010)。

$T_{Js_3^1}$ 波(侏罗系中上部): 为 5~6 个连续强反射的底部, 视频率 30 Hz 左右; 该反射层连续性较差, 剖面特征不明显, 主要为连续性较差的弱反射, 但其上部有连续性较好的强反射存在, 对比解释中参照强反射的特征进行解释。

$T_{J_1-J_2q}$ 波(三叠系顶部): 该波组位于剖面的中

部地震时间约 2500 ms, 为 4~5 个连续强反射的顶部, 视频率 30 Hz 左右, 该波组连续性较差, 剖面特征不明显, 主要为连续性较差的弱反射, 但其下部有连续性较好的强反射存在, 对比解释中参照强反射的特征和该界面之上为弱反射的特征进行解释。

T_{Pz} 波(古生界顶部): 该波组位于剖面的下部、地震时间约 3500~4000 ms, 为 8~10 组连续较好的强反射的顶部, 这些强连续反射在测区内均有分布; 在该界面之上存在绕射, 为典型的基底特征, 对比解释中主要参照强连续反射波组进行。

如果上覆沉积层的地震波速度按照 5.8~6 km/s

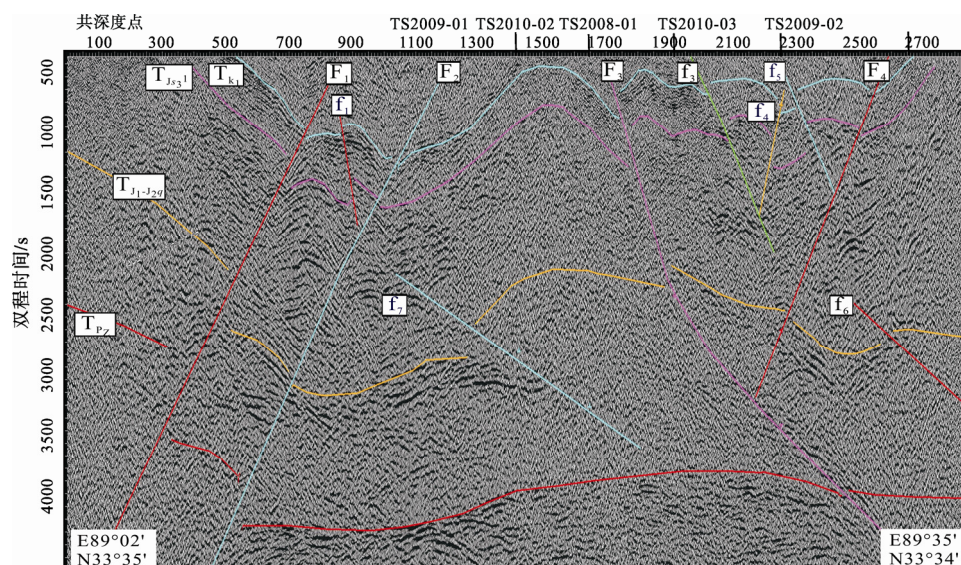


图 2 地震剖面解释成果(TS2009-03)

Fig. 2 Seismic interpretation profile along line TS2009-03

$F_1 \sim F_4$ -主断层及编号; $f_1 \sim f_7$ -次级断层及编号

$F_1 \sim F_4$ -major fault and its serial number; $f_1 \sim f_7$ -secondary fault and its serial number

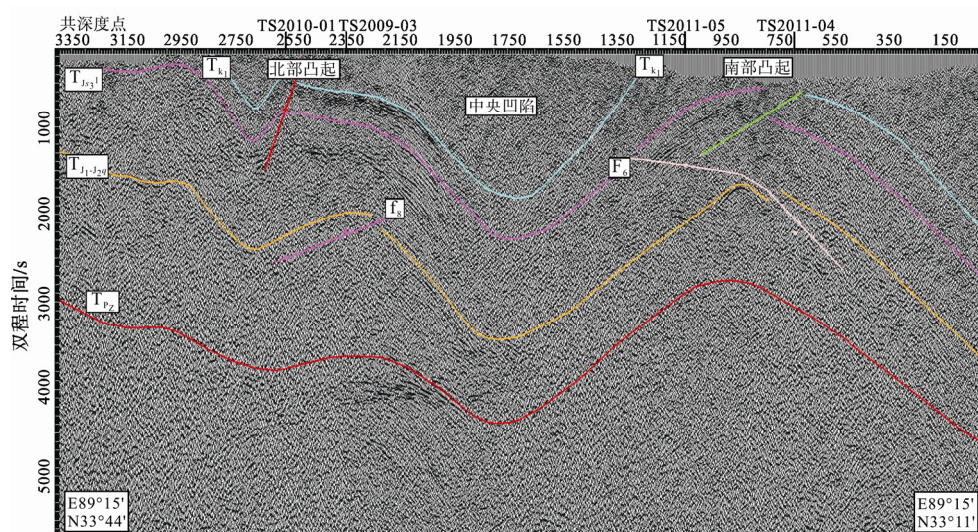


图 3 地震解释剖面成果(TS2008-01)

Fig. 3 Seismic interpretation profile along line TS2008-01

F_6 -主断层及编号; f_8 -次级断层及编号

F_6 -major fault and its serial number; f_8 -secondary fault and its serial number

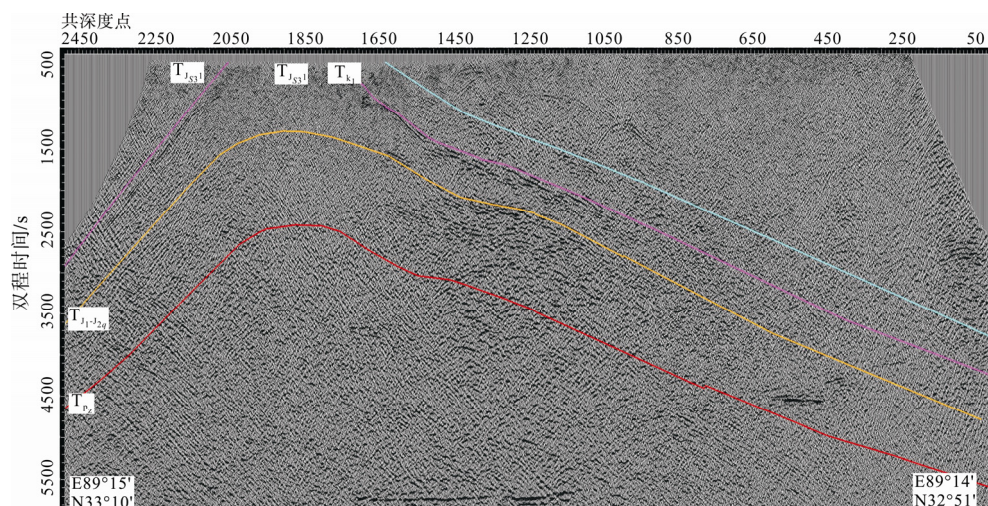


图 4 地震解释剖面成果(TS2011-02)
Fig. 4 Seismic interpretation profile along line TS2011-02

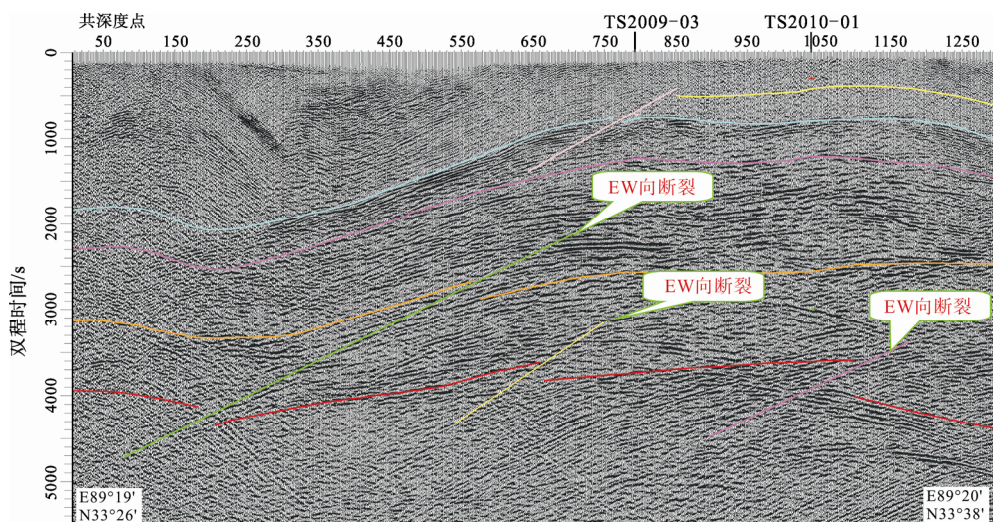


图 5 EW 向断裂特征(TS2010-03 剖面)
Fig. 5 Characteristics of EW-trending fracture structure (TS2010-03 interpretation section)

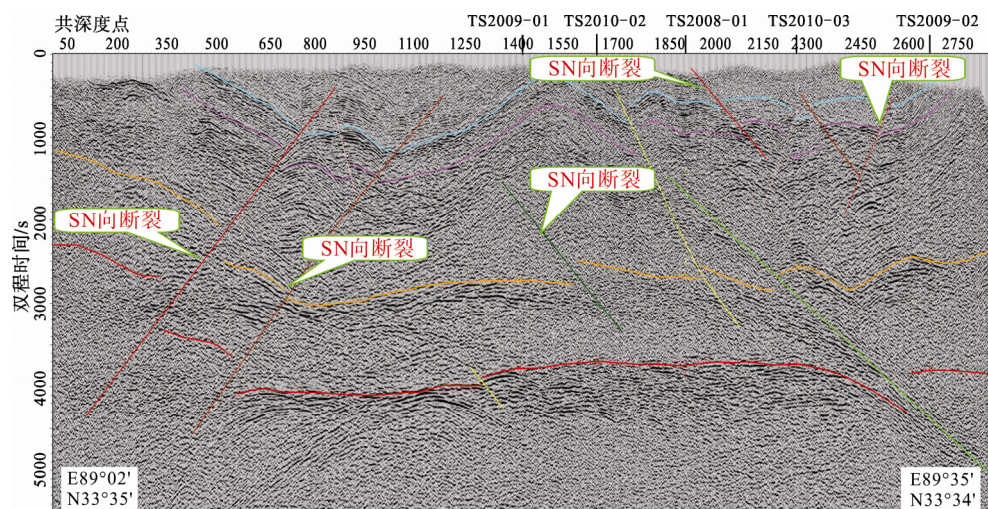


图 6 SN 向断裂特征(TS2009-03 剖面)
Fig. 6 Characteristics of SN-trending fracture structure (TS2009-03 interpretation section)

计算(卢占武等, 2006a, c), 该界面折合深度为 10~12 km。

3 构造与断裂特征

3.1 构造特征

现有的地球物理研究成果已经客观地将青藏高原构造演化的地球动力学模型塑造为“南北夹挤, 双向增厚, 侧向滑动”的变形模式(卢占武等, 2006b), 在南北相向挤压作用下, 青藏高原上地壳物质发生逆冲叠置增厚与缩短。羌塘盆地地处青藏高原的核心位置, 在高原隆升过程中, 无论是深部莫霍面数据(高锐等, 2009), 还是存在地震低速体(薛光琦等, 2011), 以及岩石圈缩短(高锐等, 2011)等方面的证据, 均显示羌塘盆地受上述模型影响至深。盆地内地表褶皱和断裂构造较发育, 褶皱以东西向为主, 偶见北西向、北东向和近南北向; 断层以北西西—近东西向逆(冲)断层、北西—南东向、北东—南西向平移断层为主, 见少量南北向正断层(黄继钧等, 2006)。

研究区位于北羌塘坳陷南向隐伏中央隆起区的过渡部位, TS2008-01 测线地震资料解释成果显示(图 3), 工作区整体上由两个局部凸起(南部凸起、北部凸起)和一个局部凹陷(中央凹陷)组成凸凹相间的构造格局(如果将南部的 TS2011-02 测线联系起来统一考虑, 则工区为两凸两凹的构造格局), 明显为南北向挤压作用所致, 此构造特征与羌塘盆地区域构造特征相吻合(黄继钧等, 2003, 2006; 黄继钧, 2000, 2001)。

平面上, 凸起和凹陷构造则表现出不同的特征: 北部凸起为向南倾斜的鼻状构造(凸起的最高部位在北部), 南部凸起为向东倾斜的鼻状构造(最高部位在西部)。纵向上, 北部鼻状构造从深层向浅层由宽缓逐步演变为高陡; 南部凸起鼻状构造浅层明显向东倾斜, 深层鼻状构造逐步向东打开, 并在 T_{Pz} 反射层形成一个圈闭面积较大的穹窿。

3.2 中央隆起带特征

中央隆起带就是被有的学者用来划分古特提斯阶段冈瓦纳大陆与欧亚大陆界线的、著名的龙木错—双湖—吉塘缝合带(李才, 1987; 李才等, 2001, 2006), 也有学者认为该缝合带在双湖以东一带倾没(黄继钧等, 2003)。地表资料显示中央隆起带是前侏罗纪的隆起区, 形成于三叠纪末, 由龙木错—双湖缝合带闭合、碰撞形成, 是一个复杂的褶皱带, 经历了裂谷裂解、碰撞闭合等复杂的构造演化阶段(李才

等, 2001)。

2010 年以前的地震测线未穿过中央隆起带, 故不能完全揭示北羌塘凹陷与中央隆起带之间的关系, 2011 年部署了一条穿过中央隆起带并与 TS2008-01 测线相接的二维地震测线, 即 TS2011-02 线, 目的是查明羌塘盆地中央古隆起带的形态及与北羌塘凹陷的接触关系。地震解释剖面(图 4)显示该处发育了一个规模较大的、简单的背斜构造, 背斜两翼从浅层的白垩系至深层的古生界基底各反射层都存在, 且各反射层均具有较为相似的构造形态, 为同一变形事件产物, 可能是一个形成于白垩纪以后的大型现今构造, 而不是一个古隆起。

3.3 断裂特征

地震资料揭示测区断裂较为发育, 共解释大小断层数十条, 主要呈 SN 向、NE 向、EW 向, 所有断层均为逆断层, 表明本区构造运动以挤压作用为主。地震剖面上, 断层的识别标志较为清楚, 断层性质也较好判断, 与柴达木盆地地震资料中断层特征不易识别形成鲜明对比(王桂宏等, 2011)。根据断裂发育规模(活动期次、错断层位、断距大小)和平面展布特征, 将断裂分为两个期次, 一是早期形成的 EW 向和 NE 向断裂(图 5); 二是晚期形成的 SN 向断裂(图 6)。早期形成的 EW 向和 NE 向断裂受晚期构造运动的改造, 规模较小, 断距不大, 纵向延伸较短, 对区域构造形态的控制较弱。SN 向断裂主要分布于工区的北部, 纵向上主要分布于浅层, 断裂规模较大, 延伸较长, 对区域构造具有一定的控制作用。而且, 从地震构造图上看, 该期断裂对白垩系以后的构造圈闭形态具有控制作用。

4 结论

羌塘盆地构造复杂, 断层、溶洞发育, 岩石风化破碎严重, 砾石覆盖厚, 冻土层发育, 表层结构变化剧烈, 规则与随机干扰波发育, 是地震资料低信噪比地区。羌塘盆地二维地震数据采集工作通过干扰波和表层结构精细调查, 进行客观严谨的采集参数论证和认真细致的激发接收参数试验, 加上使用先进仪器设备, 室内处理获得了可用于地质解释的高质量地震剖面, 综合分析得出以下认识:

1)剖面资料确定了 T_{K_1} (侏罗系顶部)、 T_{J_3} (侏罗系中上部)、 $T_{J_1-J_2g}$ (三叠系顶部)和 T_{Pz} (古生界顶部)四个反射层, 侏罗系顶部(T_{K_1})反射层已被浅钻工程证实, 而古生界顶部(T_{Pz})反射层埋深约 10~12 km。

2)测区地腹构造整体上由两个局部凸起(南部

凸起、北部凸起)和一个局部凹陷(中央凹陷)组成凸凹相间的格局。这种构造特征与整个羌塘盆地区域构造特征相吻合。

3)地震资料并未显示存在中央隆起带,而是发育了一个晚期形成的、规模较大的背斜构造,该构造从浅至深各反射层都存在,并具有较为相似的构造形态。

4)测区发育两个期次的断裂,早期形成 EW 和 NE 向断裂,断裂规模较小,断距不大;晚期形成 SN 向断裂,断裂规模较大,纵向上延伸较长,对构造具有一定的控制作用。

参考文献:

- 杜佰伟, 陈明, 熊兴国, 吴涛, 白培荣, 马白胜, 蒋开元. 2009. 羌塘盆地托拉木-笙根区块 1:5 万石油地质调查报告[R]. 成都: 成都地质矿产研究所.
- 杜佰伟, 何江林, 彭清华, 颜吉林. 2010. 羌塘盆地托拉木地区石油地质浅钻 QZ-3 综合研究报告[R]. 成都: 成都地质矿产研究所.
- 高锐, 李秋生, 卢占武. 2008. 《青藏高原二维地震反射剖面试验研究》成果报告[R]. 北京: 中国地质科学院.
- 高锐, 王海燕, 王成善, 尹安, 张玉修, 李秋生, 郭彤彬, 李文辉. 2011. 青藏高原东北缘岩石圈缩短变形——深地震反射剖面再处理提供的证据[J]. 地球学报, 32(5): 513-520.
- 高锐, 熊小松, 李秋生, 卢占武. 2009. 由地震探测揭示的青藏高原莫霍面深度[J]. 地球学报, 30(6): 761-773.
- 和钟铎, 李才, 杨德明, 陈光权. 2000. 西藏羌塘盆地的构造沉积特征及演化[J]. 春科技大学学报, 30(4): 347-352.
- 黄继钧, 伊海生, 林金辉. 2003. 羌塘盆地构造特征及油气远景初步分析[J]. 地质科学, 39(1): 1-10.
- 黄继钧, 李亚林. 2006. 羌塘盆地构造应力场初步分析[J]. 地质力学学报, 12(3): 363-370.
- 黄继钧. 2000. 羌塘盆地性质及构造演化[J]. 地质力学学报, 6(4): 58-66.
- 黄继钧. 2001. 羌塘盆地基底构造特征[J]. 地质学报, 75(3): 333-338.
- 李才, 黄小鹏, 翟庆国, 朱同兴, 于远山, 王根厚, 曾庆高. 2006. 龙木错-双湖-吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界[J]. 地学前缘, 13(4): 136-147.
- 李才, 王天武, 杨德明, 杨日红. 2001. 西藏羌塘中央隆起区物质组成与构造演化[J]. 长春科技大学学报, 31(1): 25-31.
- 李才. 1987. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. 长春地质学院学报, 17(2): 155-166.
- 李忠雄, 杜佰伟, 汪正江, 付修根, 段志明. 2008. 藏北羌塘盆地中侏罗统石油地质特征[J]. 石油学报, 29(6): 797-803.
- 卢占武, 高锐, 匡朝阳, 贺日政, 李鹏武, 朱军. 2006a. 青藏高原羌塘盆地二维地震数据采集方法试验研究[J]. 地学前缘, 13(5): 382-390.
- 卢占武, 高锐, 李秋生, 管烨, 张季生, 贺日政, 黄立信. 2006b. 中国青藏高原深部地球物理探测与地球动力学研究(1958-2004)[J]. 地球物理学报, 49(3): 753-770.
- 卢占武, 高锐, 薛爱民, 匡朝阳, 李秋生, 贺日政, 李鹏武. 2006c. 羌塘盆地石油地震反射新剖面及基底构造浅析[J]. 中国地质, 33(2): 286-290.
- 孙志华, 全海燕, 郑永林, 刘安成, 杨长友, 陈玉明, 陈益华, 徐烨, 邹雪峰. 1997. 羌塘盆地西部金星湖-浩波湖地区二维地震勘探工程报告[R]. 北京: 中石油石油物探局第四地质调查处.
- 孙志华, 全海燕, 郑永林, 徐烨, 陈玉明, 刘安成, 杨长友, 陈益华, 邹雪峰, 白旭明, 孙增玖, 王延. 1998. 羌塘盆地毕洛错地区二维地震勘探工程报告[R]. 北京: 中国石油集团石油物探局第四地质调查处.
- 王桂宏, 马达德, 周川闽, 周苏平. 2011. 柴达木盆地北缘走滑断层地震剖面解释及形成机理分析[J]. 地球学报, 32(2): 204-210.
- 王剑, 丁俊, 王成善, 谭富文, 陈明, 胡平, 李亚林, 高锐, 方慧, 朱利东, 李秋生, 张明华, 杜佰伟, 付修根, 李忠雄, 万方. 2008. 青藏高原油气资源战略选区调查与评价[M]. 北京: 地质出版社: 26-196.
- 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. 2004. 青藏高原重点沉积盆地油气资源潜力分析[M]. 北京: 地质出版社: 140-198.
- 薛光琦, 赵文津, 宿和平, 钱辉, 冯梅, JAMES M. 2011. 藏北低速体存在的地球学证据-INDEPTH4 宽频地震结果[J]. 地球学报, 32(3): 331-335.
- 杨日红, 李才, 杨德明, 和钟铎, 任云生, 刘焱. 2000. 西藏羌塘盆地中生代构造岩相演化及油气远景[J]. 长春科技大学学报, 30(3): 237-242.
- 赵政章, 李永铁, 叶和飞, 张昱文. 2001. 青藏高原羌塘盆地石油地质[M]. 北京: 科学出版社: 174-238.
- 朱同兴, 董瀚, 石文礼, 李鸿睿, 欧春生. 2005. 1:25 万吐错幅区域地质调查报告[R]. 成都: 成都地质矿产研究所.

References:

- DU Bai-wei, CHEN Ming, XIONG Xing-guo, WU Tao, BAI Pei-rong, MA Bai-sheng, JIANG Kai-yuan. 2009. Regional Map and Report of the oil and gas resources for the Tuolamu-Shenggen area at the scale of 1:50000[R]. Chengdu: Chengdu Institute of Geology and Mineral Resource(in Chinese).
- DU Bai-wei, HE Jiang-lin, PENG Qing-hua, YAN Ji-lin. 2010. Comprehensive Research Report of Petroleum Geological drilling(QZ-3) in Tuolamu aera of Qiangtang Basin(in Chinese)[R]. Chengdu: Chengdu Institute of Geology and Mineral Resource (in Chinese).
- GAO Rui, LI Qiu-sheng, LU Zhan-wu. 2008. Research report of 2-D seismic reflective testing profile in the Tibetan plateau[R]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- GAO Rui, WANG Hai-yan, WANG Cheng-shan, YIN An, ZHANG Yu-xiu, LI Qiu-sheng, GUO Tong-lou, LI Wen-hui. 2011. Lithospheric Deformation Shortening of the Northeastern Tibetan Plateau: Evidence from Reprocessing of Deep Seismic Reflection Data[J]. Acta Geoscientia Sinica, 32(5): 513-520(in Chinese with English abstract).
- GAO Rui, XIONG Xiao-song, LI Qiu-sheng, LU Zhan-wu. 2009. The Moho Depth of Qinghai-Tibet Plateau Revealed by Seismic Detection[J]. Acta Geoscientia Sinica, 30(6): 761-773(in

- Chinese with English abstract).
- HE Zhong-hua, LI Cai, YANG De-ming, CHEN Guang-quan. 2000. The tectonic-sedimentary feature and evolution of Qiangtang basin in northern Tibet[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 30(4): 347-352(in Chinese with English abstract).
- HUANG Ji-jun, LI Ya-lin. 2006. Analysis of the structural stress field of the Qiangtang Basin [J]. *Journal of Geomechanics*, 12(3): 363-370(in Chinese with English abstract).
- HUANG Ji-jun, YI Hai-sheng, LIN Jin-hui. 2003. Structural features of the Qiangtang basin and preliminary analysis on oil-gas potentials[J]. *Chinese Journal of Geology*, 39(1): 1-10(in Chinese with English abstract).
- HUANG Ji-jun. 2000. Nature of the Qiangtang basin and its tectonic evolution[J]. *Journal of Geomechanics*, 6(4): 58-66(in Chinese with English abstract).
- HUANG Ji-jun. 2001. Structural characteristics of the basement of the Qiangtang basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(3): 333-338(in Chinese with English abstract).
- LI Cai, HUANG Xiao-peng, ZHAI Qing-guo, ZHU Tong-xin, YU Yuan-shan, WANG Geng-hou, ZENG Qing-gao. 2006. The Longmu co-Shuanghu-Jitang plate suture and the northern boundary of Gondwanaland in the Qinghai-Tibet plateau[J]. *Earth Science Frontiers*, 13(4): 136-147(in Chinese with English abstract).
- LI Cai, WANG Tian-wu, YANG De-ming, YANG Ri-hong. 2001. The lithological composition and tectonic evolution of Qiangtang central uplift region, Tibet[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 31(1): 25-31(in Chinese with English abstract).
- LI Cai. 1987. The Longmucuo-Shuanghu-Lancangjiang plate suture and the north boundary of distribution of Gondwana facies Permo-Carboniferous system in northern Xizang, China[J]. *Journal of Changchun University of Earth Science*, 17(2): 155-166(in Chinese with English abstract).
- LI Zhong-xiong, DU Bai-wei, WANG Zheng-jiang, FU Xiu-gen, DUAN Zhi-ming. 2008. Petroleum geologic characteristics of the Middle Jurassic strata in Qiangtang basin of Northern Xizang area[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 29(6): 797-803(in Chinese with English abstract).
- LU Zhan-wu, GAO Rui, KUANG Chao-yang, HE Ri-zheng, LI Peng-wu, ZHU Jun. 2006. Acquisition technique test of 2-D seismic survey in Qiangtang basin of Tibet[J]. *Earth Science Frontiers*, 13(5): 382-390(in Chinese with English abstract).
- LU Zhan-wu, GAO Rui, LI Qiu-sheng, GUAN Ye, ZHANG Ji-sheng, HE Ri-zheng, HUANG Li-xin. 2006. Deep geophysical probe and geodynamic study on the Qinghai-Tibet Plateau(1958-2004)[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 49(3): 753-770(in Chinese with English abstract).
- LU Zhan-wu, GAO Rui, XUE Ai-ming, KUANG Chao-yang, LI Qiu-sheng, HE Ri-zheng, LI Peng-wu. 2006. New seismic reflection profiles and basement structure in the Qiangtang basin, northern Tibet[J]. *Geology in China*, 33(2): 286-290(in Chinese with English abstract).
- SUN Zhi-hua, QUAN Hai-yan, ZHENG Yong-lin, LIU An-cheng, YANG Chang-you, CHEN Yu-ming, CHEN Yi-hua, XU Ye, ZOU Xue-feng. 1997. The 2-D seismic exploratory project report of Jinxinghu-Haobohu area in the western Qiangtang Basin[R]. Beijing: The Fourth Geological Survey Team of the Bureau of Oil Geophysical Exploration, CNPC(in Chinese).
- SUN Zhi-hua, QUAN Hai-yan, ZHENG Yong-lin, XU Ye, CHEN Yu-ming, LIU An-cheng, YANG Chang-you, CHEN Yi-hua, ZOU Xue-feng, BAI Xu-ming, SUN Zeng-jiu, WANG Yan. 1998. The 2-D seismic exploring project report of Biluocuo area in the Qiangtang Basin[R]. Beijing: The Fourth Geological Survey Team of the Bureau of Oil Geophysical Exploration, CNPC(in Chinese).
- WANG Gui-hong, MA Da-de, ZHOU Chuan-min, ZHOU Su-ping. 2011. The Seismic profile Interpretation and Development Mechanism of Strike-slip Faults in Northern Qaidam Basin[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 32(2): 204-210(in Chinese with English abstract).
- WANG Jian, DIN Jun, WANG Cheng-shan, TAN Fu-wen, CHEN Ming, HU Ping, LI Ya-lin, GAO Rui, FANG Hui, ZHU Li-dong, LI Qiu-sheng, ZHANG Ming-hua, DU Bai-wei, FU Xiu-gen, LI Zhong-xiong, WAN Fang. 2008. Regional strategic survey and evaluation of the oil and gas resources in the Qinghai-Xizang plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House: 26-196(in Chinese).
- WANG Jian, TAN Fu-wen, LI Ya-lin, LI Yong-tie, CHEN Ming, WANG Cheng-shan, GUO Zu-jun, WANG Xiao-long, DU Bai-wei, ZHU Zhong-fa. 2004. The potential of the oil and gas resources in major sedimentary basins on the Qinghai-Xizang plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House: 140-198(in Chinese).
- XUE Guan-qi, ZHAO Wen-jin, SU He-ping, QIAN Hui, FENG Mei, JAMES M. 2011. Seismological Evidence for the Existence of the Low-velocity body in Northern Tibet: A Result from INDEPTH-IV Based Broad-Band Seismological Study[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 32(3): 331-335(in Chinese with English abstract).
- YANG Ri-hong, LI Cai, YANG De-ming, HE Zhong-hua, REN Yun-sheng, LIU Yan. 2000. Mesozoic tectonic-petrographic evolution and oil-gas perspective in Qiangtang basin, Tibet[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 30(3): 237-242(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Zheng-zhang, LI Yong-tie, YE He-fei, ZHANG Li-yu. 2001. Petroleum Geology of Qiangtang Basin in Qinghai-Xizang Plateau[M]. Beijing: Science Press: 174-238(in Chinese).
- ZHU Tong-xin, DONG Han, SHI Li-wen, LI Hong-rui, OU Chun-sheng. 2005. Regional Map and Report of the Geology and Mineral Resources for the Tucuo sheet at the scale of 1: 250000[R]. Chengdu: Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources(in Chinese).