

doi: 10.11720/wtyht.2017.6.31

徐明才,刘建勋,李培,等.羌塘盆地戈木错地区天然气水合物地震探测[J].物探与化探,2017,41(6):1220-1227.http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.6.31

Xu M C, Liu J X, Li P, et al. Seismic exploration of natural gas hydrate in Gemucuo surveying area, Qiangtang basin[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(6): 1220-1227. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.6.31

## 羌塘盆地戈木错地区天然气水合物地震探测

徐明才<sup>1,2</sup>, 刘建勋<sup>1,2</sup>, 李培<sup>1,2</sup>, 张凯<sup>1,2</sup>, 王凯<sup>1,2,3</sup>,  
王小江<sup>1,2</sup>, 张保卫<sup>1,2</sup>, 王广科<sup>1,2</sup>, 柴铭涛<sup>1,2</sup>, 高景华<sup>1,2</sup>

(1. 国家现代地质勘查技术研究中心, 河北 廊坊 065000; 2 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000; 3. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026)

**摘要:** 戈木错测区位于羌塘盆地中央隆起带北缘, 在该区开展的天然气水合物区域地质调查成果表明该区具有较好生成天然气水合物的外部气源条件, 输导构造条件、冻土条件、藏保条件, 并圈定了天然气水合物有利区块。为研究适合于探测冻土区天然气水合物的地震方法技术和更好地勘探有利于天然气水合物分布区, 在该区开展了浅层和中深层反射地震对比试验及勘查工作。试验结果表明: 除浅层地震方法获得的剖面分辨率较高和探测深度较浅外, 在浅层和中深层反射地震剖面上反映的地质构造和地层分布特征类似。根据地震探测结果制作了测区地质构造图, 依据测区地质资料和其他物化探资料, 参考木里地区已知天然气水合物储层反射波的属性预测了测区天然气水合物有利分布区, 并提出了验证孔位建议。

**关键词:** 永冻土区; 天然气水合物; 反射地震; 不同道间距对比试验; 断裂构造

**中图分类号:** P631.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2017)06-1220-08

### 0 引言

天然气水合物是以甲烷为主的气态烃类物质和水在低温高压下形成的貌似于冰的结晶状固体物质, 具有分布广、储量大、热值高及污染小三个主要特点, 主要分布在海底和永久冻土区。海洋天然气水合物地震勘探开展的较多, 其方法技术比较成熟<sup>[1-2]</sup>, 而冻土区天然气水合物地震勘探仅在俄罗斯北部极地区含油气省、北美普拉德霍湾油田和阿拉斯加陆坡, 以及加拿大三角洲大陆冻土带地区开展了少量的物探和钻井取芯工作, 发现了分布范围大、含量高的天然气水合物<sup>[3-4]</sup>。

我国永久冻土区天然气水合物调查起步较晚。自 2008 年在青海省祁连山南缘木里永久冻土带成功钻获天然气水合物实物样品后<sup>[5-6]</sup>, 先后在祁连山木里和哈拉湖地区开展过反射地震方法技术与勘查工作<sup>[7-10]</sup>。

西藏羌塘盆地海拔高、冻土面积广, 自然环境恶劣, 地质结构复杂, 烃源岩层厚度大<sup>[11-12]</sup>, 勘探程度较低, 开展地震勘探的难度较大<sup>[13-15]</sup>, 为进一步研究羌塘盆地天然气水合物反射地震勘探技术, 2013 年, 我们在羌塘盆地戈木错地区开展了天然气水合物地震方法试验和勘查工作, 其主要目的是研究适合于在羌塘盆地寻找天然气水合物储层的地震方法技术, 探测与天然气水合物成藏有关的地质构造和地层分布特征, 为羌塘盆地天然气水合物勘查提供地球物理依据。

### 1 调查区概况

调查区位于西藏羌塘盆地中部, 区内没有乡级以上行政驻地, 大部分为无人区, 通行条件差。

#### 1.1 地质概况

羌塘盆地由北而南划分为羌北凹陷、中央隆起带、羌南凹陷 3 个二级构造单元<sup>[16]</sup>, 戈木错测区位

收稿日期: 2017-09-08

基金项目: 国家高新技术研究发展计划(“863”计划)课题(2012AA061403)

作者简介: 徐明才(1955-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事复杂条件下地震方法技术研究和勘查工作。Email: xumingcai@igge.cn

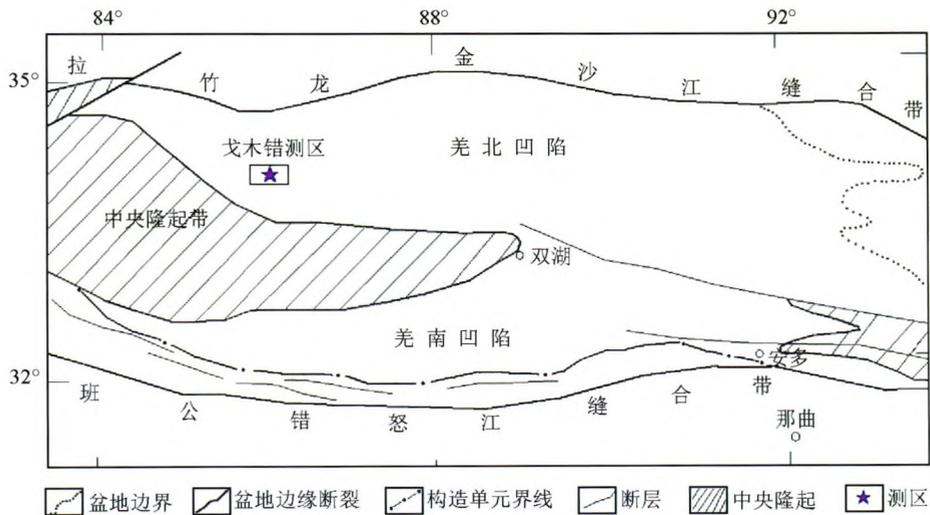


图1 测区大地构造位置

于中央隆起带北缘(图1)。

#### 1.1.1 地层

戈木错测区地层之间多呈断层接触,其主要地层由上石炭统一二叠统展金组( $C_2-P_1z$ )、晚三叠统望湖岭组( $T_3w$ )、古近系喷呐湖组( $E_3s$ )、上更新统冲洪积( $Qp^3$ )、全新统冲积( $Qh$ )等地层单元组成。

1) 上石炭统一二叠统展金组( $C_2-P_1z$ ):展金组是一套浅—中绿片岩相变质层状岩系,岩石组合成层型良好,岩石中变余层理、变余碎屑结构、变余斑状结构、变余杏仁构造发育,指示原岩为海相碎屑岩—碳酸盐夹基性火山岩。

2) 晚三叠统望湖岭组( $T_3w$ ):望湖岭组划分为两段,总厚度大于1633 m。下段厚度约500 m,由底砾岩、砂岩、灰岩和流纹岩组成,以夹有流纹岩为特征。上段以薄层石英砂岩和钙质、硅质粉砂岩为主,并见有大小不等的生物礁灰岩,厚度大于1633 m,未见顶。

3) 古近系喷呐湖组( $E_3s$ ):喷呐湖组由粉砂岩、泥岩夹多层石膏组成。

4) 新生界第四系(Q):区内第四纪沉积物主要为上更新统冲洪积( $Qp^3$ )和全新统冲积( $Qh$ )。

上更新统冲洪积( $Qp^3$ )由半固结的砂、砾和沙土混积而成,由多次冲洪积作用叠加形成。

全新统冲积( $Qh$ )主要以砾石和砂砾石为主,个别地区有少量砂、粘土。

由于区内不同方向、规模的断裂发育,出露的地层多受到强烈的断裂构造错动、挤压和褶皱构造的影响,但岩层总体走向近东西向,总体倾向向北,其总体特点与区域内定义的展金组一致。

戈木错区块岩浆岩比较发育,基性杂岩、基性岩墙、玄武岩、花岗岩等均有不同程度出露。

研究区变质岩石分布较为广泛,主要出露于研究区的中部和东南部,区内晚石炭统展金组、基性杂岩、基性岩墙均发生变质。

研究区范围内展金组主要为变质岩,下二叠统和晚三叠统两组段的泥微晶灰岩有机质丰度极低,不具备生排烃能力。研究区的丰富气源来源很可能是由于羌塘盆地北拗陷上千米覆盖层的压实排驱作用,使中生代多层优质烃源岩形成的油气藏沿断裂通道向中央隆起带运移和少量的壳幔深部无机气形成的<sup>[17]</sup>。

#### 1.1.2 构造

戈木错测区地质构造如图2所示。测区褶皱不发育,断裂发育,断裂活动时间长、规模大、方向性强。不同走向之间的断裂相互叠加、改造构成较为复杂的构造格局。研究区主要发育EW、NW、NE和NS向4组断裂,其中EW、NW两组深大断裂构造形成时间早、规模大、切割深为研究区内油气运移的主通道。

研究区新构造运动主要表现为断裂构造的活化、泥火山的喷发,最明显的大沙河断裂( $F_2$ )现今仍表现强烈的活动性,在大沙河北岸形成北盘高、南盘低的陡崖,为一条在基底断裂基础上活化的正断层。该断裂每一次活化都将导致油气的向上运移,而在气候由冷变暖的时候,气体冲破冻土层形成泥火山。

#### 1.2 地震地质条件

由于冻土层的存在,第四系覆盖区、地层出露区纵横交替分布,致使表层结构变得非常复杂。由于

是构造残留盆地,表层褶皱剧烈,地层倾角大,产状多变;逆掩断裂发育,反射界面物性差异较弱,且横向变化大,地震地质条件十分复杂。

测区地表湖泊、沼泽、沟壑纵横,地形起伏相对

高差大,老地层的广泛出露和近地表冻土层的普遍存在,对地震波能量的屏蔽、吸收、散射作用严重。地下地质条件复杂,新老地层互相切割,不利于反射波正确成像。

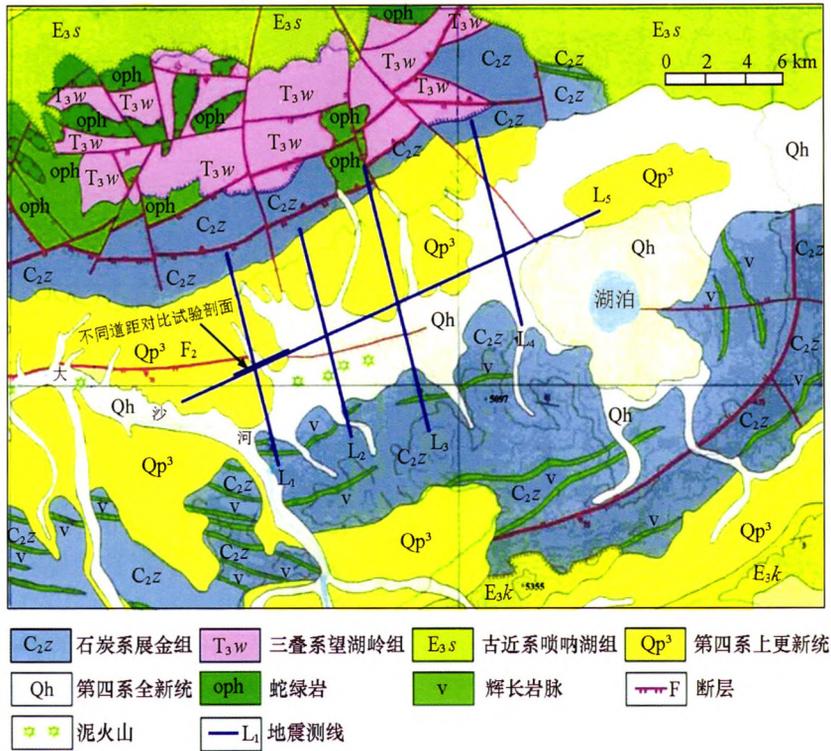


图 2 戈木错测区地质构造

## 2 工作方法

在开展地震勘探工作之前,在戈木错测区已开展过天然气水合物区域地质调查工作,并勾画出了天然气水合物远景分布区,在该远景区内共布置 5 条地震剖面,其中 L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub> 为纵剖面,垂直地质构造走向,L<sub>5</sub> 为地震联络剖面,与 L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub> 地震纵剖面垂直,如图 2 所示。

在羌塘盆地开展天然气水合物地震调查是地震方法在青藏高原的一次尝试,为便于今后更好地开展工作,积累经验,我们在开展地震调查的同时,还开展了浅层(L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 线)和中深层(L<sub>3</sub>、L<sub>4</sub>、L<sub>5</sub> 线)反射地震方法技术试验,其试验参数如表 1 所示。

在 L<sub>5</sub> 地震测线上同一地段,还开展了 2 m 和 5 m 不同道间距接收对比试验,以对比不同道间距反射地震方法的探测效果。

为避免表层高速冻土层对地震波屏蔽的影响,选择在冬季(10~11 月份)地表全结冻条件下施工。

表 1 试验参数

反射地震方法	浅层	中深层
道间距	2 m	5 m
偏移距	1 m	10 m
炮间距	10 m	20 m
覆盖次数	73 次	125
接收道数	730	1000
观测系统	729-1-2-1-729	2505-10-5-10-2505
震源台数	1 台	2 台
震动次数	2~4 次	3 次
扫描频率	10~120 Hz	10~120 Hz
扫描长度	12 s	12 s
震动出力	75%	75%
仪器型号	428XL	428XL
采样长度	2 s	4 s
采样间隔	0.5 ms	0.5 ms
前放增益	12 dB	12 dB
陷波器	OUT	OUT
接收	每道 6 个 60 Hz 串检波器点组组合接收	每道 24 个 10 Hz 串检波器沿线矩形面积组组合接收

地震数据处理的好坏是地震勘探成功的关键。由于在野外获得的羌塘盆地地震资料十分复杂,在戈木

错地区获得的地震资料品质差别较大,采用常规的地震数据处理技术和流程都难以对其进行很好地处理,并获得好的成像效果。为此,在该地震资料处理时,我们首先选取一条有代表性的剖面进行试验,在此基础上,对测区其他剖面的资料进行处理,已获得满意的处理结果。

对戈木错地震数据处理的基本出发点是在提高地震记录信噪比的基础上,提高地震记录的分辨率。因为只有从强干扰背景中提取出有效的反射信息,并使复杂的地震波场正确归位,才能使处理后的地震剖面真实反映地下地质情况。

对不同道间距的地震数据采用的数据处理技术和流程基本相同。

### 3 不同道间距叠加剖面分析

图 3a 表示了在  $L_5$  线地震剖面截取的一段 5 m 道间距剖面,为便于对比,图 3b 为沿  $L_5$  线单独采集的一段约 3 km 长,2 m 道间距地震剖面。由此看出,尽管 2 m 道间距采集采用了 73 次覆盖,而 5 m 道间距采集采用了 125 次覆盖,但两叠加剖面反映的地层分布和构造特征没有明显差别,重要的差别在于 5 m 道间距采集获得的浅层信息更丰富,2 m 道间距采集得到的反射波频率更高。

该试验结果表明,除极浅层的反射信息外,采用浅层和中深层地震采集方法获得的地震资料能够放在一起解释。

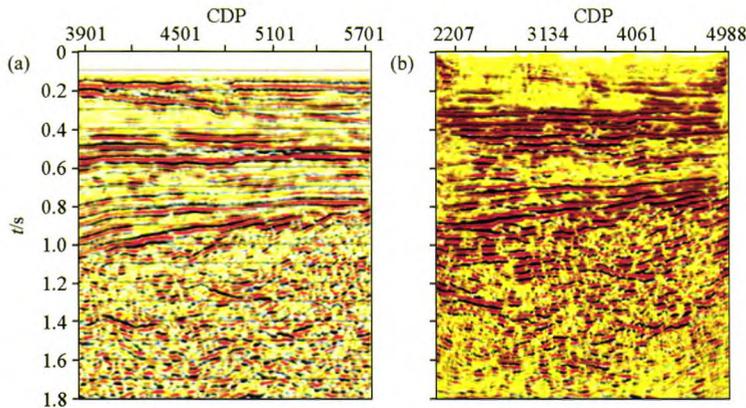


图 3 5 m 道间距(a)和 2 m 道间距(b)叠加剖面

## 4 地震地质调查成果

由于  $L_1$ 、 $L_2$  线平行分布,且采用的工作方法相同,所得到的地震剖面具有相同的构造特征,这里仅论述其中的  $L_1$  线地震剖面成果。同理,对于  $L_3$ 、 $L_4$  线中深层地震剖面,仅选其中的  $L_3$  线地震剖面进行讨论。 $L_5$  线为联络剖面,且该剖面反映的构造特征与其它 4 条主剖面完全不同,这里进行专门讨论。

### 4.1 $L_1$ 线地震剖面

图 4 表示了经解释的  $L_1$  线浅层地震时间剖面,该剖面反映出来了单斜构造。在  $L_1$  线地震剖面上反映出来了多组信噪比较高的反射波,最值得关注的有两组反射波,分别标注为  $T_1$  和  $T_2$ ,其中: $T_1$  反射波为新生界地层底界面反射波,该反射界面近水平分布,与下伏地层存在一个明显的角度不整合。因在剖面两侧,基岩裸露, $T_1$  反射波缺失,因此, $T_1$  反射波仅出现在第四系覆盖区段内。 $T_2$  反射波在整条地震剖面上均有分布,推断为石炭系地层底界

面反射波,在  $T_2$  反射波以上和  $T_1$  反射波以下之间的地层波阻抗界面形成的反射波能量强,连续性好,因缺乏钻孔资料,初步解释为是由侏罗系、三叠系、二叠系和石炭系地层之间的波阻抗界面形成的反射波,在  $T_2$  反射波以下,基本没有可追踪的反射波组,推断为在前石炭系地层内,介质相对均匀,波阻抗差异较小,没有形成能量较强、连续性较好的反射波。

在图 4 所示的  $L_1$  线地震时间剖面上,解释了 3 条断层 Fg1、Fg2 和 Fg3,这 3 条断层均倾向 N,为逆冲断层。断层 Fg1 为沉积凹陷的一条边界断层,该断层使  $T_2$  反射波错断十分明显,在断层上盘,由于断层的作用,使得  $T_1$  以下反射波在断层附近出现隆起,由该反射波表示的弧状构造为断层牵引作用形成的,因此把该断层解释为逆冲推覆断层。该断层未使剖面上的最浅一组反射波发生明显错断,表明沿该断层向上运移的深部气体有可能富集在断裂破碎带内,不会耗散在大气中。在推断的前石炭系地层内,断层 Fg1 两侧的反射波组特征也不尽相同。

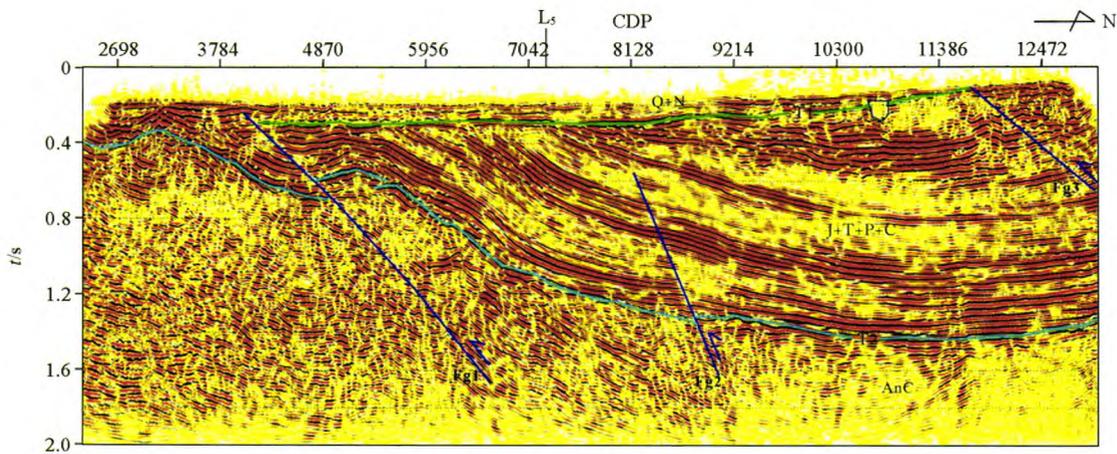


图4 L<sub>1</sub>线地震时间剖面

断层 Fg<sub>2</sub> 使 T<sub>2</sub> 反射波发生错断明显, 虽未使解释断层断点上面的一组反射波发生明显错断, 但该反射波的形态在解释的断层位置出现了明显的扭曲, 分析原因可能为断层断距较小, 目前的地震记录分辨率难以使之完全错断开。依据反射波组的扭曲也是解释断层的一个依据, 故解释的 Fg<sub>2</sub> 断层的可信度相对较高。该断层未使新近系底界面发生明显错断。

断层 Fg<sub>3</sub> 位于剖面 N 端, 断层浅部位于剖面内, 断层深部位于剖面外, 该断层是根据地震剖面上的波组特征, 参考 L<sub>2</sub> 地震剖面上的断层分布特征解释的。

#### 4.2 L<sub>3</sub> 线地震剖面

图 5 表示了经解释后的 L<sub>3</sub> 线中深层地震时间剖面, L<sub>3</sub> 剖面与 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 剖面平行, 该剖面反映的地层和构造特征与 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 剖面类似。

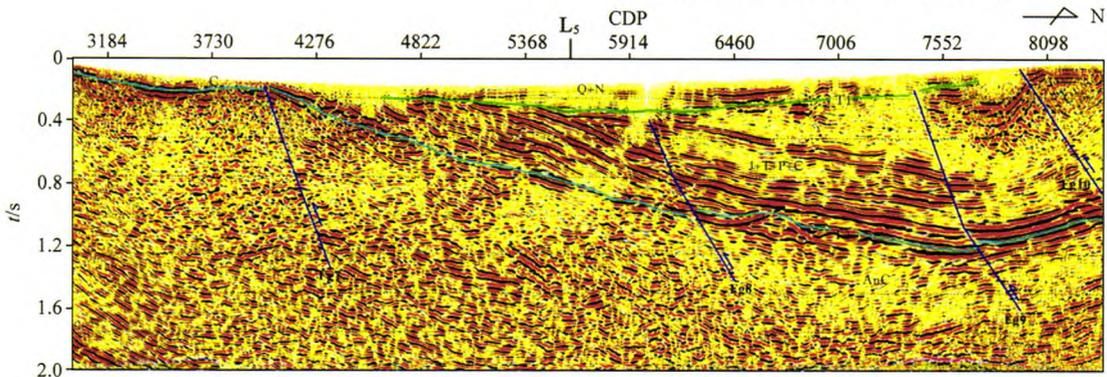


图5 L<sub>3</sub>线地震时间剖面

分布在 L<sub>3</sub> 地震剖面上 T<sub>1</sub> 反射波近水平分布, 与下面的反射波组存在一个明显的角度不整合, 解释为新生界地层底界面形成的反射波。因在两侧基岩裸露, T<sub>1</sub> 反射波缺失, T<sub>1</sub> 反射波仅出现在测区有第四系地层沉积的低洼部位。T<sub>2</sub> 反射波在整条地震剖面上均有分布, 推断为石炭系地层底界面反射波, 在 T<sub>2</sub> 反射波以下, 基本没有可追踪的反射波组。

断层 Fg<sub>8</sub> 使 T<sub>2</sub> 反射波及其以上波组发生明显错断, 由于在 Fg<sub>8</sub> 附近 T<sub>1</sub> 反射波振幅弱, 不连续, 未对该断层是否错断 T<sub>1</sub> 反射波作出解释。T<sub>1</sub> 反射波在该处不连续, 可能与断层附近地层含气量大有关。

在图 5 所示的 L<sub>3</sub> 线地震时间剖面上, 解释了 4 条断层 Fg<sub>7</sub>、Fg<sub>8</sub>、Fg<sub>9</sub> 和 Fg<sub>10</sub>, 这 4 条断层均倾向 N, 为逆冲断层。

断层 Fg<sub>9</sub> 断距较小, 但使深浅反射波组发生错断的特征比较明显。

在该剖面上断层 Fg<sub>7</sub> 使 T<sub>2</sub> 反射波组发生错断, 断层 Fg<sub>7</sub> 与 L<sub>1</sub> 和 L<sub>2</sub> 剖面上的 Fg<sub>1</sub> 和 Fg<sub>4</sub> 在平面上同属一条断层, 但该断层的断距在平面上由 W 向 E, 断层断距逐渐变小。

断层 Fg<sub>10</sub> 位于剖面 N 端, 断层浅部位于剖面内, 断层深部位于剖面外, 该断层错断引起浅层反射波组形态发生明显改变。该断层与地表裸露的断层具有很好的对应关系。

在平面上, L<sub>3</sub> 线地震时间剖面上分布的断层 Fg<sub>7</sub>、Fg<sub>8</sub> 和 Fg<sub>9</sub> 与 L<sub>2</sub> 地震剖面上的断层 Fg<sub>4</sub>、Fg<sub>5</sub> 和 Fg<sub>6</sub> 具有一一对应关系。

### 4.3 L<sub>5</sub> 线地震剖面

图 6 表示了解释后的 L<sub>5</sub> 线地震时间剖面,该剖面为 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、L<sub>3</sub> 和 L<sub>4</sub> 的联络剖面,近平行地质构造走向分布,剖面上反映的构造形态相对较平缓。

在 L<sub>5</sub> 地震剖面上反映出来了多组信噪比较高的反射波,通过与 L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub> 线地震剖面闭合,同样解释了两组反射波 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub>,其中:T<sub>1</sub> 反射波为新生界地层底界面反射波,新生界地层厚度在剖面上变化

不大;T<sub>2</sub> 为侏罗系、三叠系、二叠系和石炭系地层底界面形成的反射波,反映的中—古生界地层厚度在横向上变化较大,即在剖面 SWW 一侧厚度较大,在剖面 NEE 一侧厚度较小。

在图 6 所示的 L<sub>5</sub> 线地震时间剖面上,解释了 3 条断层 Fg16、Fg17 和 Fg18,这 3 条断层均为逆冲断层,应为岩石裸露区已揭示的 NNW 向断层在地震剖面上的反映。

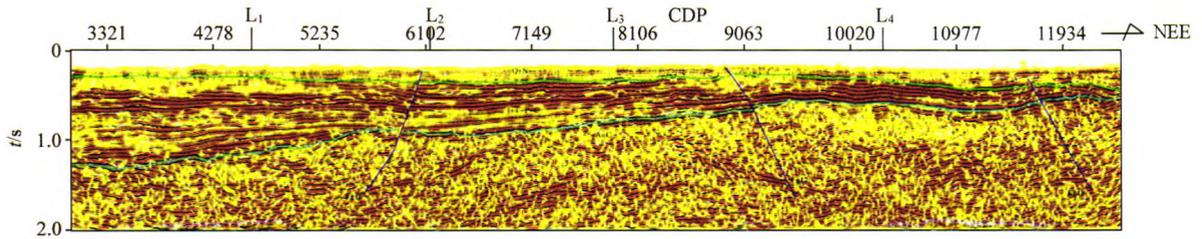


图 6 L<sub>5</sub> 线地震时间剖面

## 5 地震地质构造平面分布图

根据在 L<sub>1</sub>~L<sub>5</sub> 地震剖面上解释的断点分布特征,结合测区地质资料,解释的戈木错测区断层平面分布图如图 7 所示。

在图 7 所示的戈木错测区断层平面分布图中,已发现未知断层 3 条 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>,这 3 条断层在 L<sub>1</sub>~L<sub>4</sub> 地震剖面中,断点特征类似,在相邻剖面上具有很好的相干性和可对比性,在平面上 3 条断层断点呈线性分布。这 3 条断层走向 NEE,倾向 N,倾角较陡,为逆断层。

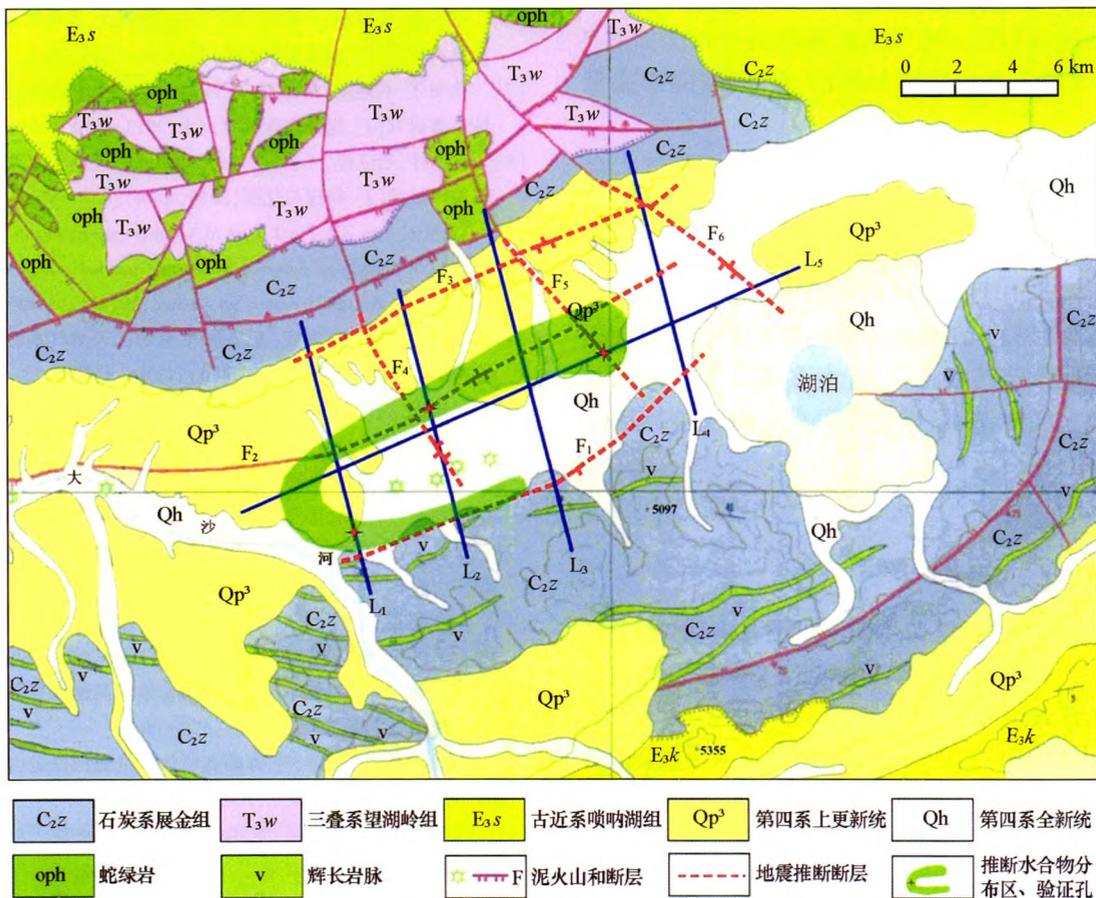


图 7 地震地质构造及天然气水合物分布预测

原地质上认为大沙河断裂  $F_2$  为正断层,该认识是依据大沙河北岸北盘高、南盘低的陡崖做出的,实际地震探测结果认为该断层至少在新生界以下的深部为向北倾的逆冲断层,且该断层在相互平行的 4 条地震剖面上都有近似相同的震相特征。

此外,对地质构造图上已揭露的 3 条 NNW 走向的断层( $F_4$ 、 $F_5$ 、 $F_6$ )在第四系覆盖区内的分布进行了刻画,这 3 条断层大都由  $L_5$  剖面上的一个断点控制。由于这 3 条断层的走向与  $L_1 \sim L_4$  地震纵剖面之间的交角较小,即使这 3 条断层穿过其中的一条纵剖面,在该纵剖面上,断层的断点特征也不是特别明显。

## 6 天然气水合物富集区预测

研究区范围内的地层虽不具备生排烃能力,但由于羌塘盆地北拗陷上千米覆盖层的压实排驱作用,使中生代多层优质烃源岩形成的油气藏沿断裂通道向中央隆起带运移的结果使得该区具有丰富的气源,该区分布的泥火山是深部存在丰富的气源的有力证据。

参照木里地区已知天然气水合物的地震反射特征,根据戈木错测区地震地质构造分布特征,解释了戈木错地区有利于天然气水合物富集分布图如图 7 所示,即天然气水合物富集区沿 NE 向深部断裂带分布。

根据图 7 所示的戈木错地区有利于天然气水合物富集分布图,结合音频大地电磁测量和化探测量结果,经与有关专家讨论,最后确定的 3 个验证孔位如图 7 所示。由于泥火山的形成与深部水、气、泥等流体的运移有关。在泥火山中央部位由于温度较高而不会形成天然气水合物,且大多深部气体向上运移耗散在大气中,故不建议在泥火山附近进行钻探验证。

## 7 小结

通过本次试验,可初步得出以下几点认识:

1) 在青藏高原,选择冬季施工,采用可控震源激发可避开表层冻土层对地震波屏蔽的影响。

2) 不同道间距的试验结果表明,采用小道间距、小偏移距、排列中间激发的多次覆盖观测方法能够获得分辨率更高、探测深度更浅的反射信号。

3) 羌塘盆地天然气水合物调查是一个十分复

杂的课题,验证孔需根据地震资料解释的地质构造及地层分布及其它物化探和地质资料,参考木里已知天然气水合物的地震响应特征综合分析后得出。

**致谢:**本项目得到了“863”课题“冻土带天然气水合物地球物理勘查技术”项目经费支持,在论文撰写过程中,参考了中国地质科学院物化探研究所电磁综合室和化探方法室所取得的音频大地电磁测量和化探调查结果。

## 参考文献:

- [1] 唐志远,胡云亭,郭清正,等.天然气水合物勘探开发新技术进展[J].地球物理学进展,2015,30(2):805-816.
- [2] 邢军辉,姜效典,李德勇.海洋天然气水合物及相关浅层气藏的地球物理勘探技术应用进展——以黑海地区德国研究航次为例[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2016,46(1):80-85.
- [3] Riedel M, Bellefleur G, Mair S, et al. Acoustic impedance inversion and seismic reflection continuity analysis for delineating gas hydrate resources near the Mallik research sites, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada[J]. Geophysics, 2009, 74(5): 125-137.
- [4] Bellefleur G, Riedel M, Brent T. Seismic characterization and continuity analysis of gas-hydrate horizons near Mallik research wells, Mackenzie Delta, Canada[J]. The Leading Edge, 2006, 25(5): 599-604.
- [5] 祝有海,张永勤,文怀军,等.祁连山冻土区天然气水合物及其基本特征[J].地球学报,2011,31(1):7-16.
- [6] 王平康,祝有海,卢振权,等.祁连山冻土区天然气水合物岩性和分布特征[J].地质通报,2011,30(12):1839-1850.
- [7] 徐明才,刘建勋,张保卫,等.陆域天然气水合物地震探测有效性试验研究[J].物探化探计算技术,2013,35(4):375-382.
- [8] 徐明才,哈立洋,王小江,等.哈拉湖地区天然气水合物地震探测技术试验[J].物探与化探,2016,40(4):667-674.
- [9] Xu M C, Sun Z J, Liu J X, et al. Validity experiment of natural gas hydrate in permafrost detected by seismic method[C]//Szczecin: Ocean Mining & Gas Hydrates Symposium, 2013: 121-125.
- [10] 于常青,王琪,卢振权,等.青海木里地区天然气水合物三维地震探测[J].现代地质,2015,29(5):1130-1138.
- [11] 吴珍汉,高锐,卢占武,等.羌塘盆地结构构造与油气勘探方向[J].地质学报,2014,88(6):1130-1143.
- [12] 刘怀山,韩晓丽.西藏羌塘盆地天然气水合物地球物理特征识别与预测[J].西北地质,2004,37(4):33-36.
- [13] 李忠雄,邱海军,程明道,等.藏北羌塘盆地二维反射地震新认识[J].地球学报,2013,34(4):477-484.
- [14] 卢占武,高锐,匡朝阳,等.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,2006,13(5):382-389.
- [15] 刘建勋,张保卫,王小江,等.羌塘盆地浅层地震探测方法技术[J].物探与化探,2015,39(4):678-685.
- [16] 王剑,丁俊,王成善,等.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,2009.
- [17] 魏继生,颜泽,岑海涛,等.羌塘盆地戈木错区块天然气水合物区域地质调查[R].核工业二八〇研究所,2012.

## Seismic exploration of natural gas hydrate in Gemucuo surveying area, Qiangtang basin

XU Ming-Cai<sup>1,2</sup>, LIU Jian-Xun<sup>1,2</sup>, LI Pei<sup>1,2</sup>, ZHANG Kai<sup>1,2</sup>, WANG Kai<sup>1,2,3</sup>, WANG Xiao-Jiang<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Bao-Wei<sup>1,2</sup>, WANG Guang-Ke<sup>1,2</sup>, CHAI Ming-Tao<sup>1,2</sup>, GAO Jing-Hua<sup>1,2</sup>

(1. National Modern Geological Exploration Technology Research Center, Langfang 065000, China; 2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China; 3. College of GeoExploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China)

**Abstract:** Gemucuo surveying area is on the northern margin of central uplift belt in Qiangtang basin. The results of regional geological survey of natural gas hydrate indicate that the area is provided with relatively good external gas source condition, transport tectonic condition, permafrost condition, reservoir and storage condition for generating gas hydrate and the delineation of the gas hydrate favorable block. In order to study the seismic method suitable for detecting gas hydrate and to better search for the distribution area of gas hydrate in the permafrost area, the authors carried out exploration work and contrast experiment of shallow and mid deep seismic reflection. The test results show that the characteristics of geological structure and stratigraphic distribution reflected in the shallow and mid deep seismic reflection profile are similar, except for that fact that the resolution is higher and the detection depth is shallower on the shallow seismic section. According to the results of the seismic exploration, the geological structure map of the survey area is made. On the basis of the geological data and other geophysical and geochemical data in the surveying area in combination with the attributes of reflection from known natural gas hydrate reservoirs in Muli surveying area, favorable distribution areas of natural gas hydrate are predicted, and the proposal of verification hole position is put forward.

**Key words:** permafrost region; natural gas hydrate; seismic reflection; comparison experiment of different group distance; fault structure

(本文编辑:叶佩)