

# 西藏羌塘盆地的深部结构特征与含油气远景评价

赵文津 赵 逊 蒋忠惕 刘 葵 吴珍汉 熊嘉育

(中国地质科学院, 北京 100037)

**摘要:**羌塘盆地是目前国内石油勘探的热点地区之一,本文综合研究了羌塘盆地的地球物理、石油地质调查资料及 INDEPTH-3 深部调查结果,得出:①盆地内烃源层、储集层、盖层及其组合条件很好,局部构造发育,有利于形成和保存油气藏,断裂不会成为致命问题,提出了今后工作的主要目的层上三叠统一侏罗统组成的中构造层;②对盆地二级、三级构造作了新的划分,否定羌中隆起,提出盆地表层的主要构造方向为北西—南东向,成“三凹三隆”及“一深凹”的地壳结构特征,其中主沉降带内部及其两侧是最有利的找油气远景地带;③本区壳幔之间的相互作用较强,盆地北部火山及热活动多,对油气远景评价有较大影响,而盆地南部沉积厚度大,受深层热影响相对较小,是找油气的更有利地段;④强调查明深部地层物性、油气赋存状况,烃类物质的来源和上下构造符合情况是当务之急,重点是加强点上的调查和评价研究;⑤提出不能轻视伦坡拉陆相古近—新近系盆地找油前景,它可能汇聚有两侧海相地层的油气。

**关键词:**羌塘盆地;INDEPTH;油气评价;壳幔相互作用

**中图分类号:**P542+.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)01-0001-13

羌塘盆地位于青藏高原的昆仑山之南,羌塘地块的中部。盆地面积约  $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,为海相中生界所覆盖(图 1)<sup>[1]</sup>。

早在 1954 年初中国石油大普查工作开展之前,李四光<sup>[2]</sup>预测其为有希望发现大油田的远景地区之一。后来有多家单位在盆地开展了石油地质普查评价工作,其中主要有前中国地质科学院 562 队、原地质部中南石油局(还勘探了伦坡拉盆地的古近—新近系陆相油田,获得一定工业储量)、中国地质大学(武汉)、中石油集团公司西藏经理部、成都理工大学和成都地质矿产研究所,但是除中石油集团公司西藏经理部和原地质部中南石油局做过较多地球物理调查外,其他都是以石油地质工作为主。INDEPTH 项目组开展了跨越盆地的地质地球物理深剖面工作和石油地质调查,并综合研究了已有的石油地质、石油地球物理调查结果,对羌塘盆地的含油气远景进行了新的研究评价。

## 1 羌塘盆地具有良好的找油气远景

对本区的油气远景评价,上述各家都有一个共识,即本区内有多组烃源层、储层以及密闭的盖层,盆地内已发现几十到上百处油气苗和沥青显示;各家估算的盆地油气资源量都很大,为十几亿吨到上百亿吨(成都所)不等,存在有利的

生储盖组合和局部构造,有利于形成和保存油气藏。但是,对这些油气资源保存情况看法则分歧很大,如西藏经理部估算烃资源总量(聚烃量)可达 52 亿吨以上,但认为构造破坏可能达到 70%<sup>[3]</sup>;另外认为盆地内有机质热演化程度偏高,本区内岩浆岩火山岩较发育,对油气藏破坏厉害。

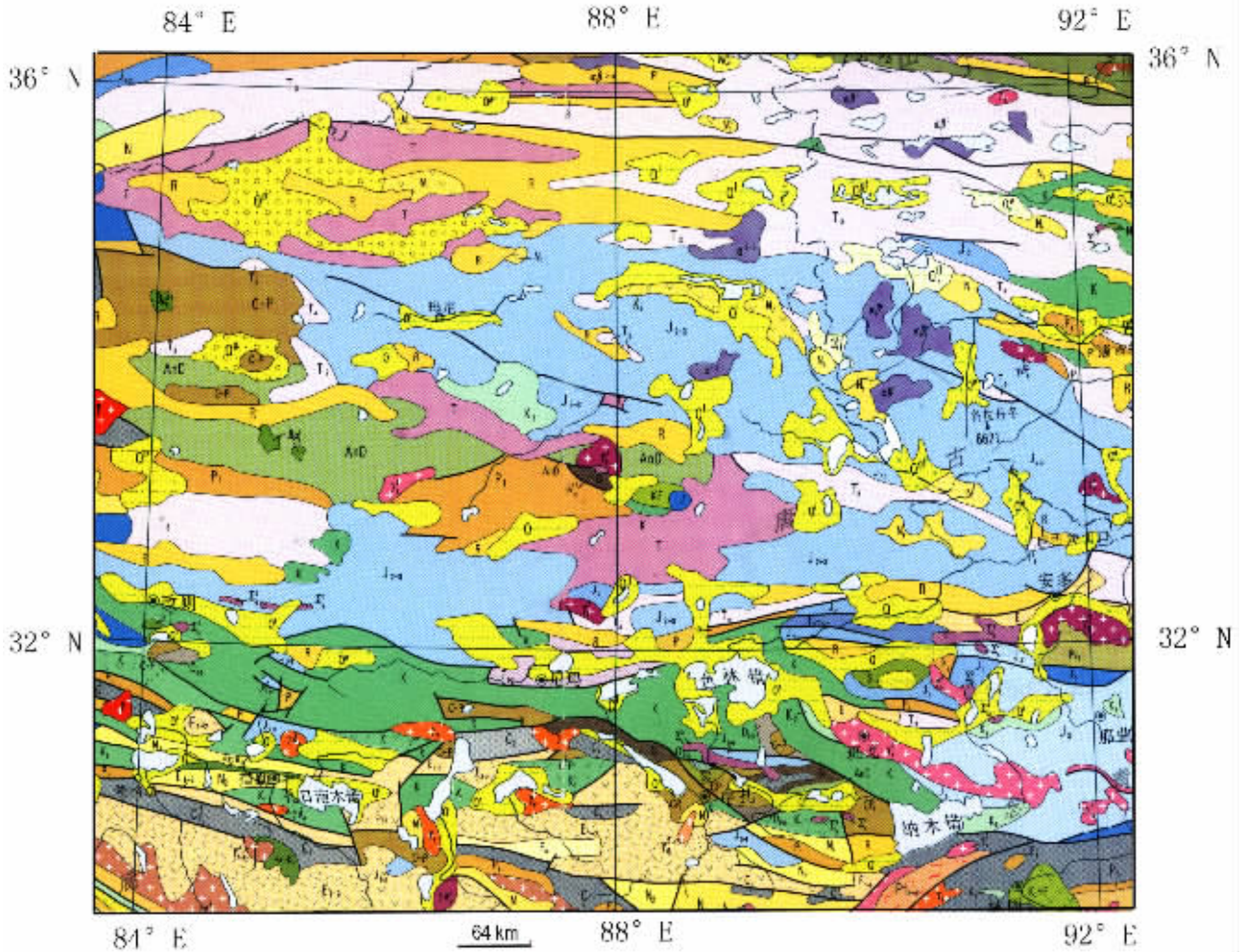
笔者经过多年的工作后形成的总体看法是,盆地找油气是很有远景的,构造破坏不会太大,找油还是大有可为的。

盆地内找油工作首选对象应是以中三叠统的上部(肖查卡组)一下、中侏罗统(布曲组和夏里组)的浅海相泥页岩和碳酸盐岩及煤系地层组成的中构造层为主,尽快查明深部情况。与陆相油气田不同,羌塘盆地内的肖查卡组、布曲组均是以碳酸盐岩储层为主,夏里组是一些砂岩为主,还有一些煤系地层是主要储集层,泥页岩和广泛分布的膏盐层可以成为良好的盖层。中构造层之上的上构造层和之下的下构造层在一些局部地段也有很好的找油前景。而其上的陆相地层也很有意义,不能忽视;逆冲为主的断裂发育并不会对油层保存产生致命的破坏作用,特别是盖层内大量发育的膏盐层,甚至油气苗氧化形成的沥青脉也可以成为良好的封堵材料,起到对油气的保护作用,笔者也圈定了 50 多个局部构造。以上是盆地含油气远景的基本评价条件,至于热演化程度和油气

收稿日期:2005-10-08;改回日期:2005-10-25

基金项目:国家科技部“九五”科技攻关项目(97-924)资助。

作者简介:赵文津,男,1931 年生,研究员,中国工程院院士,从事勘探地球物理和深部探测研究;E-mail:xzwzwj@sina.com。

图1 羌塘盆地地表地质图<sup>[1]</sup>Fig.1 Surface geological map of the Qiangtang basin<sup>[1]</sup>

保存条件,还需要做进一步的深部评价工作,只有在取得了更多资料的情况下才有可能进行。

## 2 控制油气分布聚集的二级构造

为了进一步评价盆地含油气远景,探寻油气分布规律,需要对盆地的二级构造及深层断裂情况进行调查评估。按照李四光<sup>[2]</sup>的说法对一个盆地总的含油气远景肯定后,构造体系则是控制油气分布的主要因素。

经过多年石油地质调查工作,已在羌塘盆地发现了大量局部构造,针对控制这些局部构造含油气远景的盆地二级和三级构造单元,研究人员已提出了3种主要划分方案,一是以赵政璋等<sup>[3]</sup>为代表的将盆地划分为3个部分,即“两凹一

隆”,强调在盆地中间有一羌中隆起呈东西向穿过盆地,南边为南羌塘凹陷,北边为北羌塘凹陷(图2)。熊盛青等<sup>[4]</sup>持同样的看法。第二种划分是蒋忠惕等<sup>[5]</sup>提出的“三凹两隆”方案。他们认为存在有两个隆起带(南部的未穿过盆地),呈近东西向延伸,并将盆地划分为3个凹陷,即北部凹陷、中部凹陷和南部凹陷,均为近东西走向。但是,认为羌中隆起在双湖以东延伸有限,从而否定了赵政璋提出的东西向羌中隆起。易积正等<sup>[6]</sup>提出第三种划分方案。认为羌中隆起仅伸展到双湖;其北为中央凹陷,盆地的东北角为北部冲断带,中央凹陷的南部为羌南凹陷,三者都呈北西—南东走向,但未说明其划分的依据。

本文主要依据的资料是区域剩余重力、航空磁测、大地

① 地质矿产部 562 综合大队,青藏高原北部地区含油气条件及前景预测,1990。

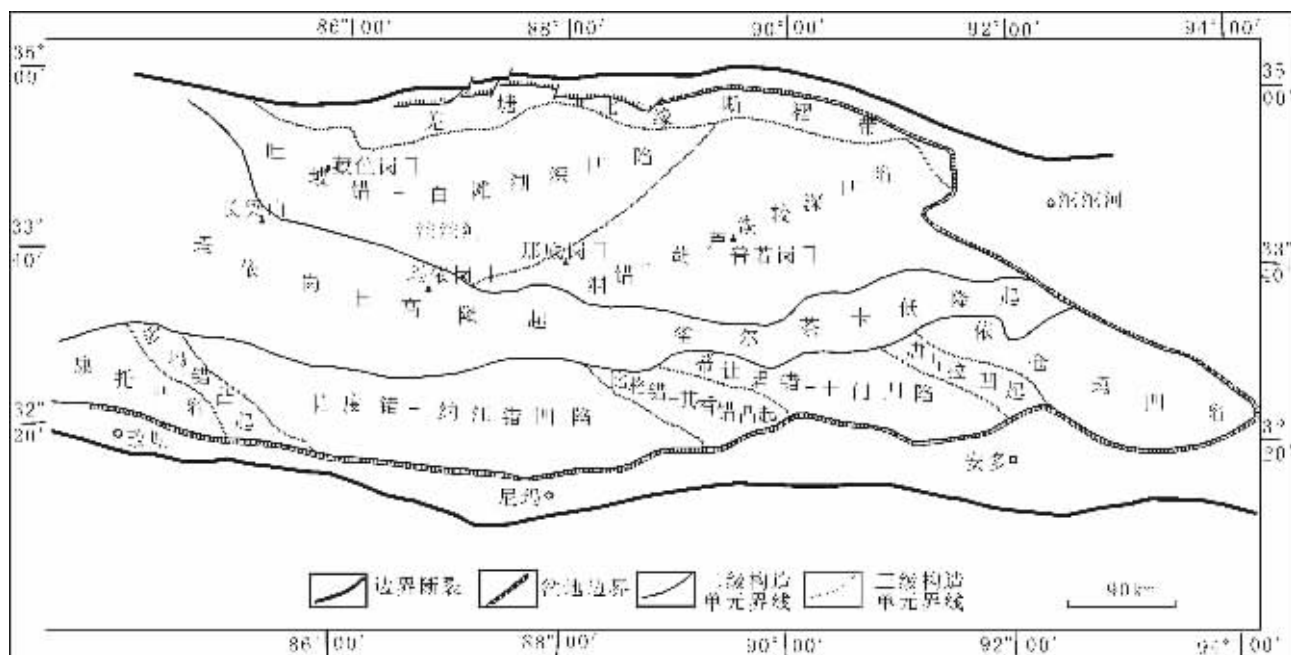


图 2 羌塘盆地构造单元划分简图  
Fig.2 Tectonic units of the Qiangtang basin

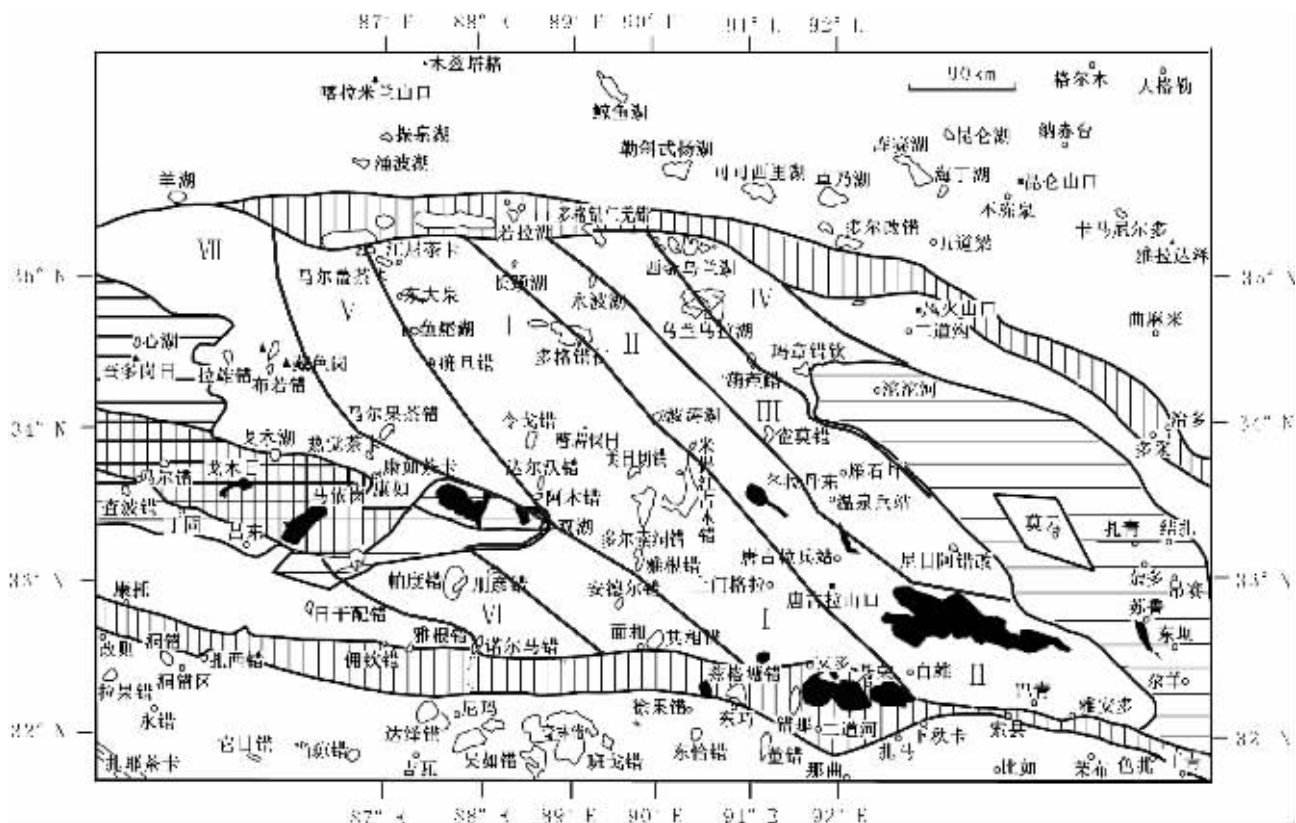


图 3 羌塘盆地二级构造划分图  
I、III、VI—沉积带; II、IV、V、VII—火山岩岩浆岩带  
Fig.3 Second-order tectonic divisions in the Qiangtang basin  
I, III and VI—sedimentary belts; II, IV, V and VII—volcanic-magmatic belts

电磁法及地质资料对盆地二级构造提出一个新的划分方案。笔者认为羌中隆起并不存在,盆地内主要二级构造线为北西—南东走向,构成斜列分布的6个条带,其中3条沉积岩带与3条岩浆岩带(具体年代还有待进一步加以确定)呈相间分布,这是区域构造的第一个特点。沉积岩带及其两侧将是找油气的更有利地带。新的二级构造划分见图3。

盆地内还存在有中新世较新的岩体,其分布还有待进一步查明,它们可能对油气起着破坏作用。

## 2.1 羌中隆起不存在

(1)赵政璋等<sup>[3]</sup>提出存在羌中隆起(或称雀尔茶卡低隆起)的主要依据,一是从分析蚀源区入手,利用采集的不同地区不同层位的大量砂岩样品做薄片岩石学与人工重砂矿物学分析,做出1/ZTR等值线图等一系列图件,从中得出,羌中隆起从晚三叠世到晚侏罗世一直存在,呈北西—南东向延伸,西、中段高,东段低缓。隆起为中深变质岩屑的主要供应地,到晚侏罗世索瓦期被夷平。二是依据磁测结果。认为从双湖镇向东在89°E~91°E存在一系列小磁性体,由这些小磁性体构成雀尔茶卡低隆起,并和东部的各拉丹冬岩体相连接。报告提出“这一带的磁场西宽东窄,磁场强度一般为-25~25 nT,其中前泥盆系变质基底上显示有±50 nT,二叠—三叠纪基性侵入岩和玄武岩出现强的磁异常条带,中生代花岗闪长岩体上出现的磁场强度为±25~±50 nT,呈团块状异常,黑云母花岗岩磁性很弱未见明显磁异常。”另外,航空磁测结果向上延拓一定高度后,异常全部消失。但是没有解释这些“-25~25 nT”小异常是什么地质体引起的以及地质体的产出状况。

(2)从熊盛青等<sup>[4]</sup>最近完成了新的高精度航空磁测平面图(1:100万)和平面图(图4)可以看到,双湖以东,推定的“羌中隆起”的中、东段没有发现任何东西向伸展的局部异常存在。在91°E以东,高磁异常呈北西—南东向分布,与唐古拉山岩体—各拉丹冬岩体的范围较一致。而在双湖西侧老地层之上,磁场出现3条异常,北部为一正一负近东西走向的强磁场,南部的则是一条南西—北东走向的相对正磁异常。在双湖以东地段异常特征又与西段和东段的完全不同,显然三者的异常特征反映着3种完全不同的构造地质背景。

将这一磁测结果向上延拓了10 km后得到的磁场图,呈现为一片区域性负磁场,更是看不到任何东西向异常场的显示。如果赵政璋等<sup>[3]</sup>所说的低隆起为以“中深变质岩”为核心的隆起,则应当有地球物理异常的显示,可是实际上连微弱磁异常也没有发现。在四周的沉积地层中中深变质岩层的存在也会在重力和电性场上有所反映,因为通常它们具有较大的密度和电阻率值。

在东段(90.6°E~91.5°E)的唐古拉山范围内出现了一个较强的负磁异常带,并有强磁异常和高电阻率异常相伴随,为典型的岩浆岩体(即唐古拉山花岗岩体,时代为燕山早期)的综合异常反映,异常走向也不是东西向的。

(3)在剩余重力图(图5)<sup>[4]</sup>上的异常也不见有东西向伸展的特征。双湖西、双湖东和90.6°E线以东3段的剩余重力场

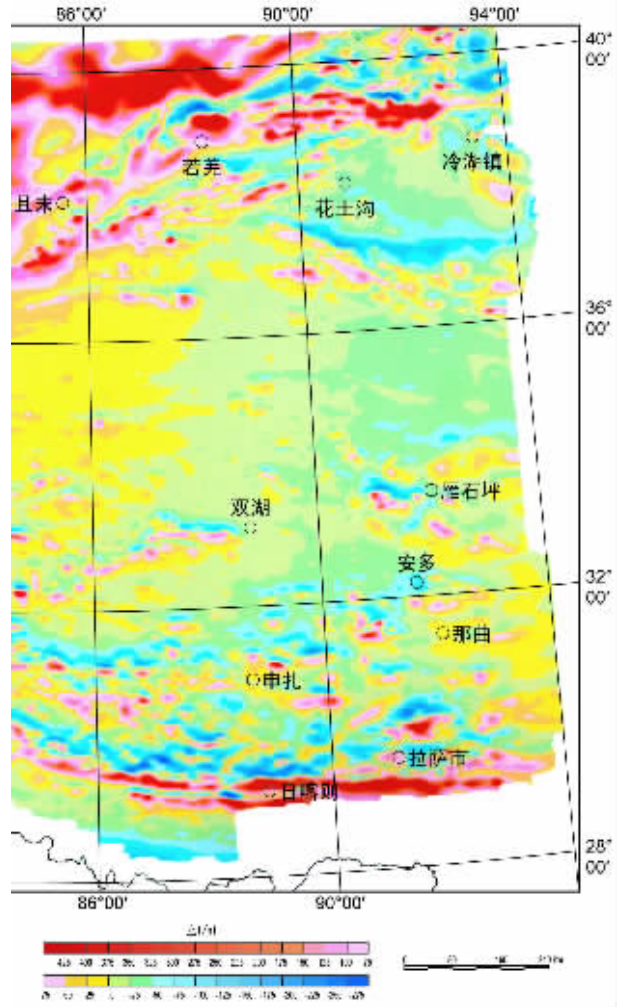


图4 高精度航空磁测平面图

Fig.4 High-precision aeromagnetic plan

特征完全不同,呈现的是近北西—南东走向的6个条带。

所谓的“雀尔茶卡低隆起”正处于一个大型正剩余重力区( $5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}^2$ )内,其内部完全不见东西走向的局部异常显示;此外,“雀尔茶卡低隆起”在基底电性图上<sup>[4]</sup>也是位于一个北西向分布的低电性带的南部,同样也没有东西向局部异常条带出现。

综上所述“雀尔茶卡低隆起”在地球物理场上是找不到证据的。如果它不存在,那么,呈北西向分布的中深变质岩碎屑是从那里来的呢?笔者认为可能是相邻的岩浆岩带抬升过程中所带上的。

上述的重力图、磁力图和电性图的等值线均呈现北西走向的优势分布,这应当是显示了区域构造的特征信息。

此外,从地质条件上看双湖西与唐古拉山一带地层和构造等地质特征也是完全不能对比的。

因此,笔者的结论是,所谓的“羌中隆起”是不存在的。

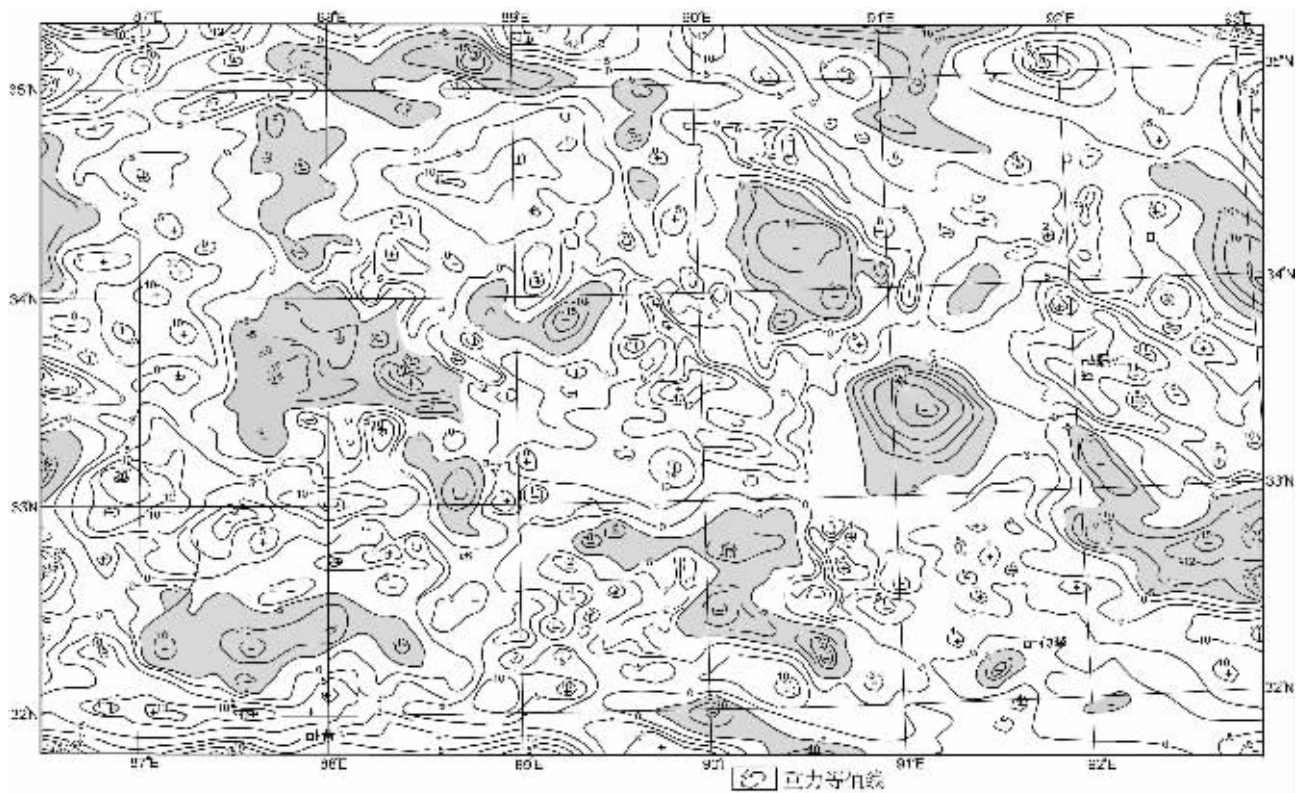


图 5 羌塘盆地剩余重力图

Fig.5 Residual gravity map of the Qiangtang basin

2.2 盆地内二级构造的新划分——“三凹三隆”方案

(1) 剩余重力图所反映的主要是几千米深以浅的质量分布状况。本区内密度相对较小的有第四系疏松沉积和花岗岩类,密度相对较大的有玄武岩类及老的结晶岩类。安山岩和灰岩、砂页岩等碎屑岩密度相差不大,为 2.5~2.65 g/cm<sup>3</sup>,花岗岩质岩浆岩体体积大、密度小时多显示为负剩余重力异常。唐古拉山岩体、各拉丹冬岩体及普若岗日岩体都显示了综合

性的异常(图 6)即强的磁异常、低的重力异常和高电阻率异常,其中剩余重力值可达(-10~28)×10<sup>5</sup> cm/s<sup>2</sup>。

剩余重力图(图 5)显示了盆地内重力场是由 3 条近北西—南东向正重力异常条带与 3 条负重力异常条带平行相间斜列分布组成。其中主要正剩余重力条带(I 带)是从雪环湖、畅饮湖、多格错仁一直向东南伸展到土门凹陷及安多一带,可称主凹陷带或雪环湖—安多沉积带,为中生代沉积较

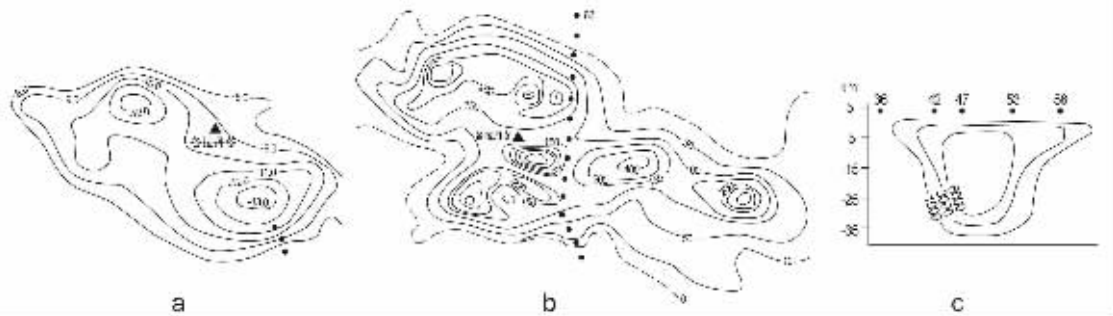


图 6 各拉丹冬岩体综合性异常图

a—重力异常;b—磁力异常;c—电性剖面

Fig.6 Composite anomaly map of the Gêladaindong rock body

a—Gravity anomaly map;b—Magnetic anomaly map;c—Electric Profile

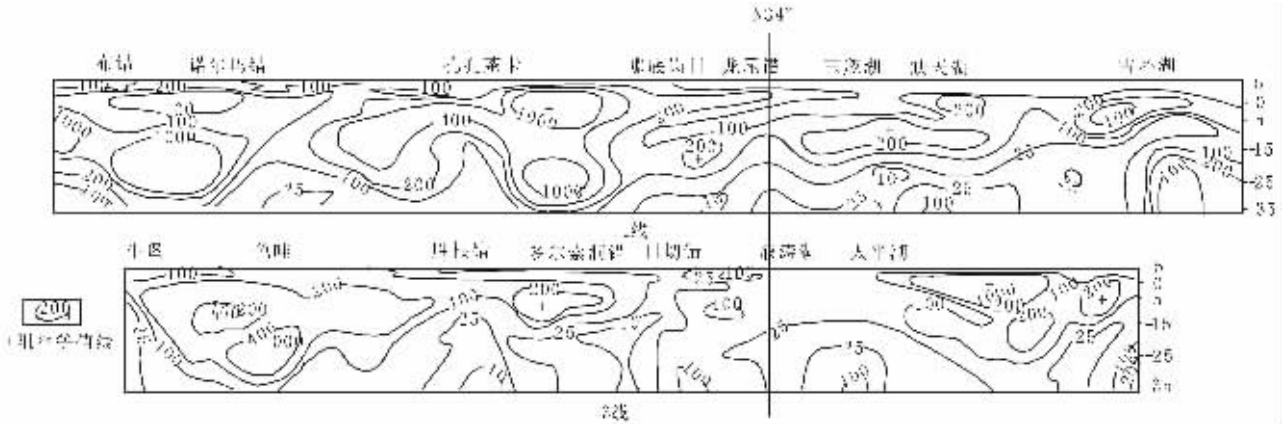


图7 由北向南穿过羌塘盆地达班公错—怒江断裂带北缘的大地电磁测深一维连续介质反演剖面图

Fig.7 One-dimensional continuum inversion section of magnetotelluric sounding on the northern margin of the Bangong Co-Nujiang fault belt across the Qiangtang basin from north to south

厚地区。带内除在普若岗日岩体四周出现一条北东东向的负剩余重力(应为岩浆岩体引起的)之外,都是正剩余重力异常场。3条负剩余重力异常带中以唐古拉山—各拉丹东异常带(Ⅱ带)为主,两端向西北和东南延伸较长,强度也最大。据赵政璋等<sup>[4]</sup>介绍这一岩带的时代以燕山早期(192~135 Ma)为主,为中生代中后期的产物,与公认的班公湖—怒江洋闭合的时间是一致的。从重力异常延伸规模看,隐伏岩带比地表所见的要大。相反,北东向伸展的普若岗日岩体的年龄为48 Ma,比前者的年龄要晚得多。这两个时代的岩体对有机质的热演化可能会有影响,但影响多大尚难评估。

(2)从电性上看,一般致密的岩浆岩体和碳酸盐岩电阻率较高,而其他地质体则相对较低,断层、破碎带一般应为低的,甚至是很低的电阻率。当地质体含水率高,或温度高时也会表现为低电阻率特征。在盆地范围内有9条大地电磁剖面穿过(4条测线有近于重复的观测结果)。通过剩余重力、电测结果和磁性特征的综合,可对岩浆岩体、碳酸盐岩、泥页岩及断裂破碎带产生的剩余重力异常加以区分。以1线和3线为例。3线南北向穿过多尔索洞错(在双湖东,即洞错),1线南北向穿过龙尾错、诺尔玛错等地,电性结构剖面见图7。

从大地电磁法结果看<sup>[4]</sup>,笔者给出本区内与结晶变质基底和火成岩相当的电性层的电性为250~1000 Ω·m,是全区电阻率最高值。由于本区电性变化范围较大,用一维BOSTIC法进行反演结果只能是定性的。

1线(N)显示双湖镇以北直到玉环湖浅部的低阻层比较薄,100 Ω·m等值线向下延深也较大,与典型岩体1000~2000 Ω·m的数值相差较大,表明它所代表的沉积层可能较厚。结晶基底在高原面下4 km深度处,在34°N相当于龙尾错以北的地段则加深了1~2 km。这一情况与广角地震所得出的结果一致,与反射地震法得出的5~6 km,局部达7 km深的

数值也是基本一致。

在双湖北34°N的普若岗日地表已发现有花岗岩露头,与重力观测发现的低剩余重力负异常带反映的深部存在的花岗岩体范围也是一致的,它的电阻率也较高,但是比典型岩体如唐古拉山岩体的电性显示又小很多,这有什么地质含义还不清楚。

向南在双湖与孔孔茶卡之间为一高电阻率区,电性高达1000 Ω·m以上,为典型的岩体反映;而在孔孔茶卡与诺尔玛错之间则为一低阻带(Ⅵ带),它向下延伸可达几千米,宽度在50 km以上。这与INDEPTH广角地震与大地电磁结果也基本一致。不过比INDEPTH结果更宏观一些。在诺尔玛错与布错之间深处则见有高阻体异常存在,可能是深层岩体的显示。

3线正好南北向地穿过中部的湖区,其电性剖面显示在双湖东部,多尔索洞错、米提江占木错一带,电性都不高,基底加深到7~8 km。仅在北部的太平湖以北地下浅处出现有岩体显示的高电阻率带,南部色哇地段很深处也有高电阻率体反映。其余各地段均为低和中等电性区分布,表明它们都为沉积岩分布为主的地段。这一点也验证了剩余重力的结果。

(3)地表背斜构造的分布也反映了上述的区域构造线方向(图8)。羌塘盆地内盖层褶皱构造非常发育,目前已发现背斜与向斜达数百个,主要分布在羌塘盆地的西北部吐波错—白滩湖地区(即Ⅰ带的北段),其次为南羌塘地区及北羌塘东部地区,而在基底出露区则相对较少。

背斜轴线以近EW—NWW向为主,占70%;NW向次之,占23%;其余为NE、NNE以及少量NS向。

背斜的特征均以长轴型至线状为主。在盆地内面积为300 km<sup>2</sup>以上的特大背斜有7个,平均长短轴之比值为3.9,属于典型的短轴型褶皱;100~300 km<sup>2</sup>的大型背斜有18个,

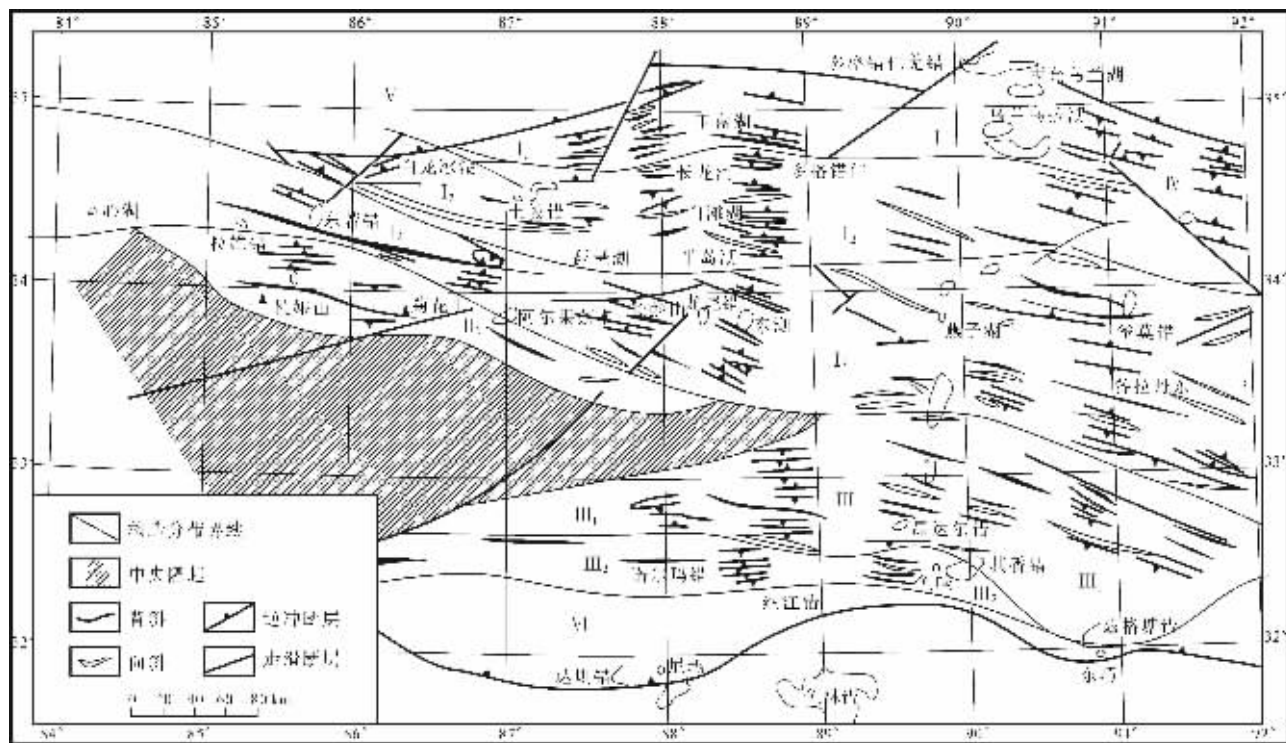


图 8 羌塘地区构造纲要图

I—羌北前陆坳陷; I<sub>1</sub>—羌北强烈挤压构造带; I<sub>2</sub>—羌北过渡构造带; I<sub>3</sub>—羌北和缓构造带; II—羌中隆起; II<sub>1</sub>—羌中隆起带; II<sub>2</sub>—羌中过渡构造带; III—羌南冲断带; III<sub>1</sub>—羌南过渡构造带; III<sub>2</sub>—羌南强烈挤压构造带; IV—沱沱河—金沙江逆冲岩席; V—羌北前陆冲断带; VI—班公湖—怒江缝合带

Fig.8 Tectonic map of the Qiangtang area

I—North Qiangtang foreland depression; I<sub>1</sub>—North Qiangtang strongly compressional tectonic zone; I<sub>2</sub>—North Qiangtang transition tectonic zone; I<sub>3</sub>—North Qiangtang gentle tectonic zone; II—Central uplift; II<sub>1</sub>—Central Qiangtang uplift zone; II<sub>2</sub>—Central Qiangtang transition tectonic zone; III—South Qiangtang thrust zone; III<sub>1</sub>—South Qiangtang transition tectonic zone; III<sub>2</sub>—South Qiangtang strongly compressional tectonic zone; IV—Tuotuo River—Jinsha River thrust sheet; V—North Qiangtang thrust zone; VI—Bangong Co—Nujiang suture zone

平均长短轴之比值为 4.9,为长轴型褶皱;50~100 km<sup>2</sup> 的中型背斜有 39 个,平均长短轴之比值为 6.7,为长轴型至线状褶皱;其余为小型背斜<sup>[9]</sup>。

背斜的形状类型有倒转、不对称、尖顶和对称平顶 4 种类型。

成因类型以挤压背斜为主,约占 95%以上;其次为推覆背斜。背斜主要形成时间为晚侏罗世末期—早白垩世早期,仅少数形成于印支期和喜马拉雅期<sup>[9]</sup>。

这种表层构造的特点应当是羌塘构造的第二个特点。

从 GPS 测量结果可以看出,区域应力场的方向亦为北东向,正是垂直于背斜的轴向,这种一致性可能表明地史上的构造应力方向在较长时期内变动是不大的。

(4)延拓重力异常图(图 9)<sup>[6]</sup>是将地表重力换算到距地面 30km 高的平面上所得到的重力图,它可将地表浅处的密度不均匀性过滤掉了,仅保留较深部的构造特征信息。

图 9 上也显示了盆地中部的深部为北西—南东向与北东向两组构造线交叉的特征。即安多—温泉东一线为北西—南东走向,而在东温泉之南的普若岗日则出现一北东方向的异常走向。总的形成一个楔状块体向东南伸出。

从区域上看,安多以北,32°N~34°N 间的风火山一带就是一系列北西—南东向的断裂,称为风火山逆冲带。这一断裂系向西变为近东西向,而向东则变得更偏于南南东向。羌塘内部构造为北西—北西西向,相当于上述风火山构造系向南西方向的平行扩展。这些地块总体都是处于地块逐步向东南转弯的构造部位。

该构造格局应当是印度大陆向北推进中产生的一组北东—南西向与北西—南东的共轭剪切断裂,与北部地块向南转弯产生的西南方向的反作用力的合成结果。羌塘盆地西南部分的二级构造带总体走向也是更接近东西向伸展。也可能与羌塘地块安多以东的部分向北推进更多所造成的。这一构

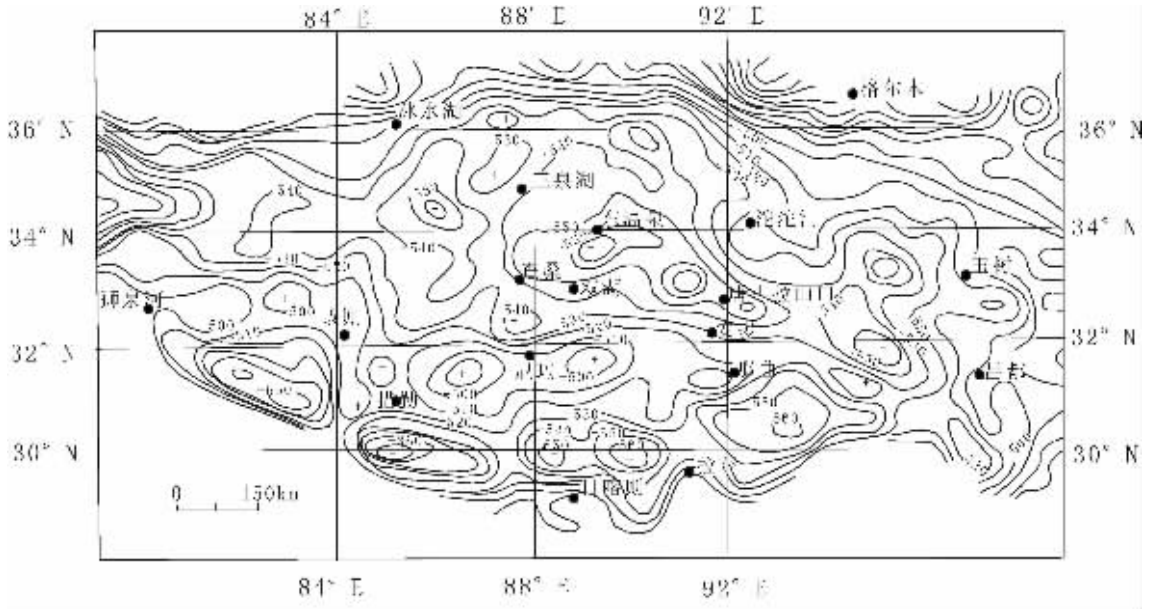


图9 羌塘盆地延拓重力异常图

Fig.9 Continuation gravity anomaly map of the Qiangtang basin

造方向与李四光<sup>[2]</sup>提出的西域系的方向是一致的,两者的力学关系还需要进一步做构造力学体系的分析。

(5)上述大体上成北西—南东走向的6条平行斜列剩余重力条带中:

1)主沉积带(I带)的西北端到88°E、35°N,或87°E、35°N,直到藏色岗日,这一沉积带向东南伸展,经东湖,多尔索洞错,一直到土门凹陷和安多,可称为“雪环湖—安多沉积带”。

2)主岩浆岩带(II带)则是从87.8°E、35.2°N向东再向东南,沿太平湖北向各拉丹冬岩体,再到唐古拉山,到93°E、32.5°N。在岩体中间一些地段也存在巨厚沉积地段,其找油气前景也是不能忽视的。可称为“若拉湖—唐古拉山口岩浆带”。

3)第二沉积带(III带)为86.7°E、33.2°N—91°E、32°N,包括羌中隆起的南带,走向为北东—南西走向的异常带,大体与帕度错—纳江错凹陷相当,但范围上有所扩大,可称为“纳江错—其香错沉积带”。

4)第二岩浆岩带(V带)为那底岗日—双湖—其香错凸起一带,包括有羌中隆起的一部分和其香错凸起。

5)第三沉积带(VI带)是指从雁石坪向西北伸展的正重力异常带,大体上为93°E、32.5°N—90°E、35°N,宽约几十千米的地带,与易积正<sup>[5]</sup>划出的中央凹陷带的东部相一致,可称为雁石坪—乌拉乌拉湖沉积带。但是这一地带向北有所扩大,包括了沱沱河隆起的前缘鼻状构造区玛章错钦湖一带。

6)第三岩浆岩带(IV带)。分布在93°E、34°N到91°E、35°N一带,为沱沱河隆起向北西的延长带,可称为“沱沱河岩浆岩带”。这一地带岩浆岩出露较少,中间部分在玛章错钦湖一带。

这些岩浆岩带内的岩体时代多为燕山早期,后期又有一些北东向的燕山晚期的岩体以及更晚的古近—新近纪火山岩的发生。羌塘北部的火山岩浆活动较多,将会对油气的热演化程度产生不利的影响。

本区内沉积岩地带是在一东北和西南向挤压力和一左行的逆时针的扭力作用下形成了盆地内的构造体系,它如何控制盆地内油气的分布,还需作进一步的研究。

### 3 南羌塘的大凹陷与“班公湖—怒江缝合带”

在双湖南约50km处的多马与尹安推定的“班公湖—怒江缝合带”(扎加藏布位置)之间,广角地震发现一个大的低速深槽,与赵政璋<sup>[3]</sup>划分的南羌塘凹陷位置相当,位于“班公湖—怒江缝合带”的北侧,这是羌塘盆地构造的第三个特点。

(1)INDEPTH-3进行的广角地震<sup>[7]</sup>探测揭示的低速槽宽达100km,5.7km/s的速度等值线可向下伸展到10km,5.8km/s速度等值线可向下伸展到20km(图10)。通常是以5.8~6.2km/s的速度值代表了结晶基底的界面速度。和北羌塘对比明显偏深。凹陷内沉积岩速度值偏高,可能与碳酸盐岩的分布有关,也可能与其热演化程度有关。地下含油层的地震波速度值高低,可能与对其评价有直接关系。

在这一低速带范围内地壳浅处还出现有3个速度小于



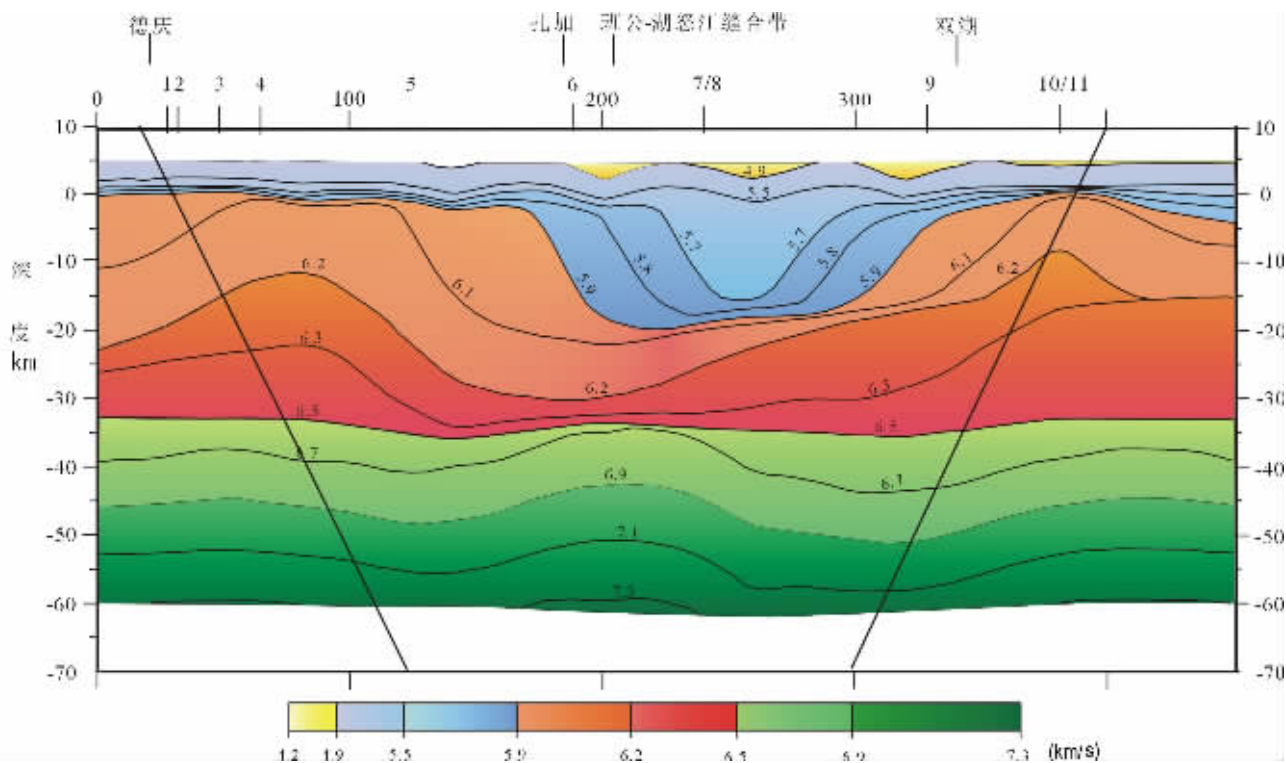


图 10 广角地震速度结构剖面图

Fig.10 Wide-angle seismic velocity structure section

4.9 km/s 的小盆地,与地表的小盆地的分布是对应的。

(2)沿着尹安<sup>[8]</sup>所确定的“班公湖—怒江缝合带”重力场的分布是不均匀的,总体上是以正的剩余重力异常显示为主,与伦坡拉盆地出现正剩余重力异常相似,后者沉积有很厚的陆相古近—新近系。因此推测其可能也是与下部广泛分布有古近—新近系沉积地层有关。而安多附近地区则为负的剩余异常,则可能是“若拉湖—唐古拉山口岩浆岩带”的反映,是其延伸部分。与雅鲁藏布缝合带的地球物理场特征有些不同<sup>[9]</sup>。在西部改则—洞错一带的低速凹槽有些相似,东西是否可对比有待进一步查明。

(3)在所谓的“班公湖—怒江缝合带”内伦坡拉盆地有陆相古近—新近纪沉积,厚度可达到 4~5 km,而在其边部出现侏罗系或三叠系—侏罗系逆冲到陆相古近—新近系之上的现象表明:古近纪初印度大陆与欧亚大陆碰撞后,这一地带应是先发生抬升并出现很深的裂隙,从而才有可能沉积了厚的陆相古近—新近纪沉积,到中上新世即 20 Ma 以后再次发生强烈的挤压作用才使老的地层逆冲到古近系之上。这一区域性抬升和裂隙再挤压反映了一个弧后的应力环境,应是一个弧后拉张带。仅在区域转变为挤压体制后,才出现了安多、双湖南等地的侏罗纪地层推覆到陆相古近—新近系之上的现象,显然依据这一地层关系来确定侏罗纪洋的存在,并依

此确定所谓的“班公湖—怒江缝合带”位置,在时间上是不协调的。如果说中生代末存在大洋闭合,那么这个大洋闭合的遗迹应以在中生代的时间段作为约束,按此推论,中生代的缝合带应在申扎—纳木错—嘉黎断裂一线<sup>[4]</sup>,那里的洋壳逆冲到白垩纪地层之上。

这一缝合带向西则与喀拉昆仑断裂相连接,向东则与嘉黎断裂相连接。而北部的蛇绿岩套可能为中生代沉积层下面的洋壳,因逆冲推覆而抬升上来。

如果说申扎—纳木错—嘉黎断裂一线代表了存在一个古海洋,那么从纳木错到班戈岩体一带则应为岛弧带。而北、南羌塘凹陷内的更老的中生代海相地层的沉积来源在哪里?这些中生代海相地层应当是中生代或中生代前的山区或高地剥蚀下来并沉积在盆地内的。有人说来自羌塘西部隆起区,也有人说是来自北部或南部,这些都将有待今后进一步工作。

(4)龙尾错以北的沉积层厚度。INDEPTH-3 剖面仅伸展到龙尾错,龙尾错以北的沉积层的分布是利用了中国石油集团公司西藏项目经理部公布的石油地震勘探剖面 880 线<sup>[10]</sup>推算的。这一剖面(图 11)位于双湖镇以西,沿 88.4°E 线向北延伸了 180 km,即从 33°20' N 到 34°42' N。

这一地段最深的地震反射  $T_{3r}^3$  为肖查卡组的上段的底部  $T_{10}$ ,其  $t_0$  值为 2.360s(估计为双程走时!?),深度为 5326m。按

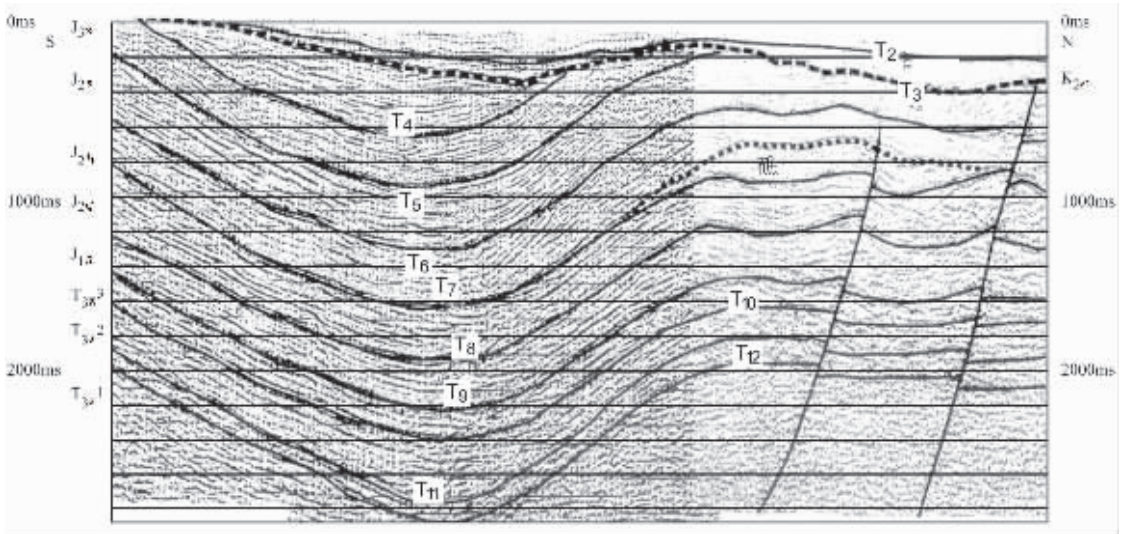
图 11 880 线地震反射时间剖面图<sup>[6]</sup>

Fig.11 Seismic reflection time section along line 880

照这些数值计算上覆地层地震波的平均速度为 4.5 km/s,与广角反射地震求出的速度值基本一致。 $T_{12}$  界面推测它代表了上三叠统肖茶卡组的底界,为一削蚀不整合界面,是盆地内普遍存在的标志性界面,其双程走时  $t_0$  值为 2.850s,地层厚度约 7000m(按书中给出的地层厚度相加),平均速度为 4.9 km/s。剖面上显示出半地段的  $T_{12}$  界面深度都在 2.0s 左右,相当于 4000m 左右,其下则为中三叠统以老的地层。这些地层的大部分地段反射同相轴并不丰富,延伸也不大。上三叠统肖茶卡组的底部为火山岩段。广角地震得到的深部地层速度达到 5.8 km/s 以上,可能包括了一些下二叠统及以下的浅变质基底地层。在剖面之西的热觉茶卡地层剖面上存在着中三叠统和下三叠统。平均速度为 4.9 km/s,对油气层来讲,这一速度值是高还是低尚需做具体分析,对碳酸盐岩储集层来说,这一数值可能高了,但不一定就是“不利于油气藏的保存”。

从地震剖面看,到了北部的白滩湖(约为 34.5°N 以北)沉积厚度变为 4 km 左右;中构造层内部起伏可达 0.6s,即近 3000m 之巨,而不是变为平缓了;从剖面看,上下构造的形态大体上一致,没有因为局部侵蚀和不整合面的存在而发生上、下构造间的大错位。此外还可见深部的两条断裂似乎并没有穿到地表,成为向上开放的通道;中三叠统以老的地层内由反射同相轴反映其成层性很差,其可能显示了下面的地层为浅变质地层,或者可能是代表了洋壳物质。总的看来,这些情况还是令人鼓舞的。但是,需要进一步着重探讨深部变化情况,以便对上述推论加以检验。由于目前还不清楚这一剖面的实际工作质量情况和其代表性,上述讨论也只能是个初步看法。

大地电磁法结果显示深凹槽内主要是沉积岩类<sup>[8]</sup>。

#### 4 关于地壳与地幔的连通关系

笔者主要是通过地震层析成像(图 12)和大地电磁法结果探讨问题<sup>[10,11]</sup>。

(1)西线(德庆—龙尾错)的 st33 站到 st40 站的下方,从浅到深为一个较宽的向北倾斜产生的低速条带,其下 150 km 深处与东线的 ku32 站以北地段地下 150 km 深处均有一低速体,东线的低速体较西线的低速体向北偏移和扩大。速度较模型速度低 4% 以下。按 Wittlinger<sup>[12]</sup>估计速度减低这样多,其温度应较四周高出 300°K 以上,这一低速带上下应有较大的热交流。羌塘北部晚期的火山较多,将与其这一情况有关,表明了深部的热对地壳有重要影响。

(2)与上述情况相反,在西线所谓的“班公湖—怒江缝合带”位置处也呈现为一低速凹槽,它与广角地震得出的低速凹槽完全吻合,但和深部没有明显的热联系,推测这一低速槽应当与低速沉积盖层加厚有关。

(3)而在 st14 站之下出现的低速条带则与深部一低速条带相联系,并向下延伸很深,可能与 150 km 深的低速体相连接,发生热交换。

(4)在东线,两线相距 100(南部)~300 km(北部),西线北部的低速带呈东北向扩展,规模变大。

(5)在东线,与西线“班公湖—怒江缝合带”位置相当处的低速槽不见了,相反,出现了一个高阻体,该高阻体在深部是向南伸展出去,达到当雄以南,地表存在有唐古拉山岩体,为高阻体,故推测上述高阻体可能是岩体向南的伸展。而在

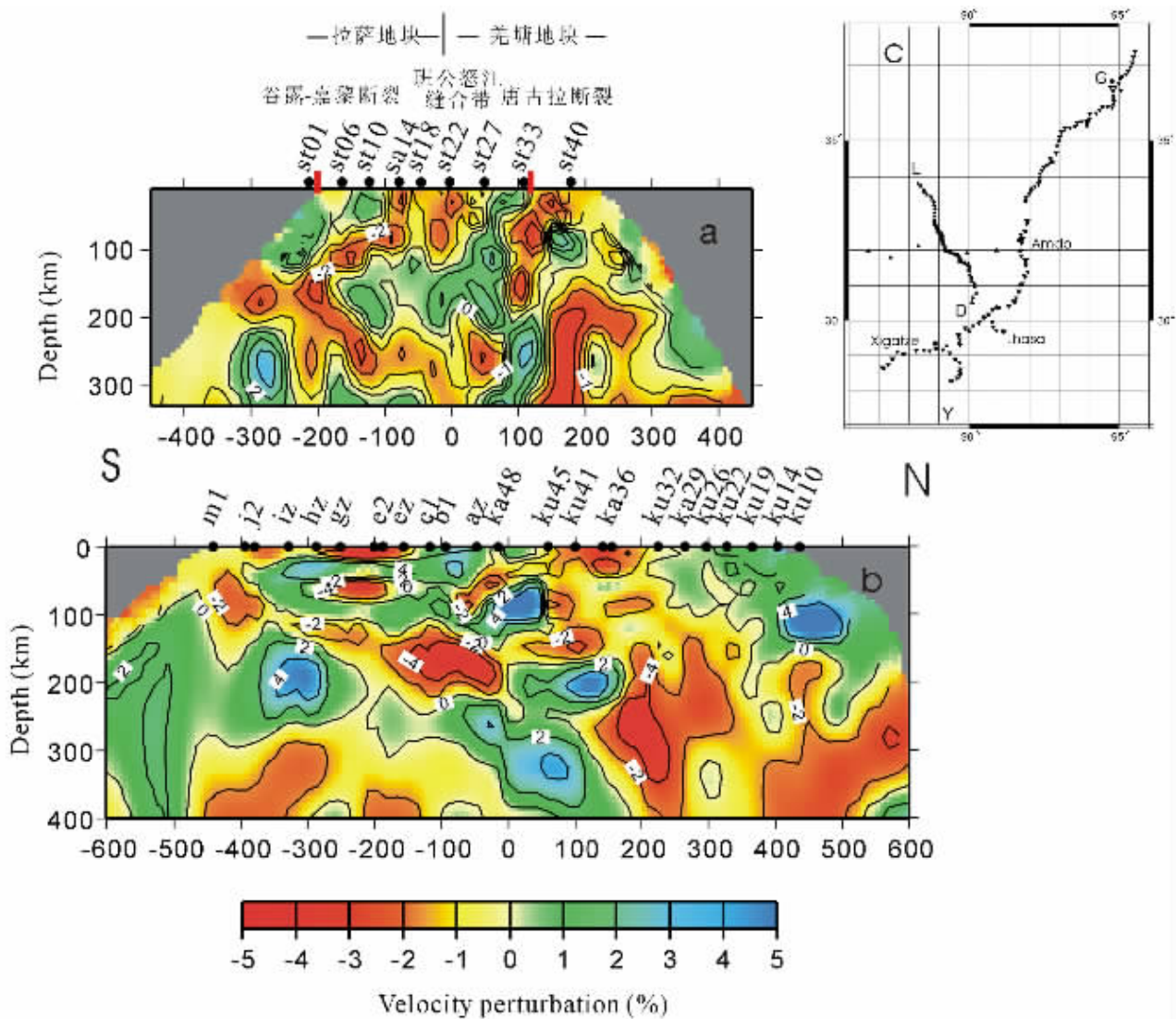


图 12 两条测线的地震层析成像图<sup>[11-12]</sup>

a-INDEPTH—III;b—中法合作格尔木定日;c—剖面位置

Fig.12 Seismic tomographic images of two profiles

a-INDEPTH—III;b—Golmud-Tingri Profile of the Sino-French joint Project;c—Position of the profile

安多—当雄地表浅处出现的一个相对导电层,则可能与地表伸展的羊八井地堑内存在的较厚新沉积有关。

(6) 东西两条剖面速度结构差别大,说明所谓的“班公湖—怒江缝合带”是不存在的。这两个地点地表虽然都有侏罗纪的蛇绿岩逆冲到新近系上面的构造现象,地质学家依此推测这是同一个缝合带的表现,但实际地下结构却不同,所以必须从其他角度寻求答案。

(7) 西线与东线的大地电磁法观测结果用二维共轭梯度法反演得出的电性结构图显示了 100 km 以浅的电性分布大体一致,中地壳以下电性较低,局部更低;但浅部高电阻率层

的变化较大,不能对比;在东线沱沱河下面(西线龙尾错的纬度以北)出现一更深更大的高导体和地震速度层析成像发现的大低速体相近。

### 5 对羌塘盆地油气远景带的分析

(1) 羌塘盆地内从上二叠统到海相白垩系,再到陆相古近—新近系,可以分为 3 个构造层即:上二叠统( $P_3$ )—中三叠统( $T_2$ ),上三叠统( $T_3$ )—中侏罗统( $J_2$ ),中侏罗统( $J_2$ )—上侏罗统( $J_3$ ),各个构造层内都有烃源层、储层和盖层的组合,但是以中构造层条件最好,应当是今后找油气的优先选择对

象;在地表油气保存条件较好的地区上构造层也是很好的勘查对象,下构造层虽然生烃量大,但是因为其他条件差而排在最后。在地区上,南部要比北部更好一些。主凹陷带是重点工作对象。

(2)盖层与断裂构造对油气藏保存的影响。本区发育多套盖层,以泥岩、泥灰岩及石膏层为主,总厚可达3000m,其中石膏单层厚可达近百米,对油层起到重要的保护作用,特别是对断层的影响可能起着重要的减轻作用。本区内的断层以逆冲为主,可占到98.4%;正断层仅占1.6%。

对69条切割地层的断裂统计表明,盆地内的断裂于新近纪末最活跃,是断裂的主要活动期,断层占总数的47.9%,而中生代末的断裂占到了31.9%,第四纪仍在活动的断层仅占2.9%。切割侏罗系的断层仅占24.6%,切割古近系的占14.5%,而切割到新近系的达33.4%。总的看来断层距不是很大的。

由于是以挤压形成的逆冲断裂为主,在中构造层的下部、上构造层的中下部(侏罗系内)都存在较厚的石膏层,总厚度达500m以上,单层厚度可达80m以上;泥质岩的总厚度也在1500m以上。这些地层柔性强、易挤压变形起封堵作用可减小油气外泄。此外油气苗出露的地点,对比克拉玛依油田的情况推测,油苗氧化成为沥青后也可起到封堵作用,防止油气的进一步外泄。因此,断层不大可能会造成绝大部分油气藏的破坏。

(3)在二级构造带内又划分出了14个三级构造,圈定了59个局部构造(包括了陆相盆地的构造6个)。其中主凹陷带内的三级构造有:多格错仁凹陷,司务岗隆起,戈木日—阿木岗隆起边缘,令戈错—龙尾错凹陷,普若岗日隆起四周,多尔索洞错、安德尔错凹陷及土门格拉斜坡等以及佣钦错凹陷,找凹中隆或其边缘地带。挤压应力作用下油气聚集,沿背斜轴向易于流动,生油层是从高应力区向低应力区走,储油层内则相反,是从低处向构造高点处流动。

(4)今后工作重点应放在查明深层(几千米以上)的状况,包括深部地层物性变化,油气演化和保存情况,深部的构造形态与地表的构造形态是否一致?断裂向下延伸情况以及烃物质的来源等等。可在上述重点地段开展精细的地球物理、地球化学以及地面地质调查,打一些浅钻孔及少量的深的基准井,已经作过的地质地球物理资料给出的深部情况是很有限的。最后再在详细工作的构造部位打验证性的钻井。应当说羌塘盆地油气保存情况是好的。在松辽盆地及大庆油田的发现过程中,打一系列浅钻及一些深钻应具有决定性意义的。鉴于伦坡拉盆地位于盆地深凹的边缘,周围是海相含油气的地层,可能深凹中的烃物质运移并保存在古近—新近系内,故应予重视研究。

#### 参考文献(References):

[1] 马丽芳,等. 中国地质图集[M].北京:地质出版社,2002.109~112.  
Ma Lifang, et al. Geological Atlas of China[M].Beijing:Geological

Publishing House, 2002.109~112(in Chinese with English abstract).  
[2] 李四光. 从大地构造看我国石油资源勘探的远景[J].石油地质, 1955, (16):1~40.  
Li Siguang. China's petroleum prospects as viewed from a tectonic perspective [J]. Petroleum Geology, 1955, (16):1~40 (in Chinese).  
[3] 赵政璋,李永铁,叶如飞,等. 青藏高原羌塘盆地石油地质[M].北京:科学出版社,2001.  
Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Rufe, et al. Petroleum Geology of the Qiangtang Basin, Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Science Press, 2001 (in Chinese).  
[4] 熊盛青,周伏洪,姚正煦,等. 青藏高原中西部航磁概查成果报告[M].北京:地质出版社,2001.  
Xiong Shengqing, Zhou Fuhong, Yao ZhengXu, et al. Aeromagnetic Survey in Central and Western Qinhai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001 (in Chinese with English abstract).  
[5] 易积正,邓光辉,张修富. 藏北羌塘盆地成油气地质条件探讨[J]. 地球科学, 1996, 21(2):141~146  
Yi Jizheng, Deng Guanghui, Zhang Xiufu. Geological Conditions for the Petroleum Generation in the Qiangtang Basin, Northern Tibet [J]. Earth Science, 1996, 21 (2):141~146(in Chinese).  
[6] 赵政璋,李永铁,叶如飞,等. 青藏高原大地构造特征及盆地演化,北京:科学出版社,2001.  
Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Rufe, et al. Tectonic Characteristics and Basin Evolution on the Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Science Press, 2001 (in Chinese).  
[7] 赵文津,刘葵,蒋忠惕,等. 西藏班公湖-怒江缝合带深部地球物理结构给出的启示[J].地质通报,2004,23(7):623~635.  
Zhao Wenjin, Liu Kui, Jiang Zhongti, et al. Bangong Co-Nujiang suture zone, Tibet—a suggestion given by deep geophysical structure[J]. 2004,23(7):623~635(in Chinese with English abstract).  
[8] 尹安. 喜马拉雅—青藏高原造山带地质演化[J]. 地球学报, 2001, 22(3):193~230.  
Yin An. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen in the context of Phanerozoic continental growth of Asia[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22 (3):193~230 (in Chinese with English abstract).  
[9] 赵文津及 INDEPTH 项目组. 喜马拉雅山及雅鲁藏布江缝合带深部结构与构造研究[M].北京:地质出版社,2001.  
Zhao Wenjin & INDEPTH Group. The Deep Structures and Tectonics of Himalayan and the Yarlungzambo Suture[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001(in Chinese with English abstract).  
[10] 赵文津,薛光琦,赵逊,等. INDEPTH-III 地震层析成像——藏北印度岩石圈俯冲断落的证据[J]. 地球学报, 2004, 25(1):1~10.  
Zhao Wenjin, Xue Guangqi, Zhao Xun, et al. Seismic imaging of the subducting Indian lithosphere beneath North Tibet [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2004, 25 (1):1~10 (in Chinese with English abstract).  
[11] 赵文津,薛光琦,吴珍汉,等. 青藏高原上地幔的精细结构与构造——地震层析成像给出的启示 [J]. 地球物理学报, 2004, 47

(3):449~455.

Zhao Wenjin, Xue Guangqi, Wu Zhenhan, et al. Fine velocity structure of the upper mantle beneath the Xizang plateau from tomography and its geological interpretations[J]. Chinese Journal of

Geophysics,2004,47(3):449~455(in Chinese with English abstract).

[12] Wittlinger G, Frederic Masson, Poupinet G, et al. Seismic tomography of northern Tibet and Kunlun: Evidence for crustal blocks and mantle velocity contrasts[J]. EPSL, 1996,139:263~276.

## Deep structure and petroleum prospect evaluation of the Qiangtang basin, Tibet

ZHAO Wen-jin, ZHAO Xun, JIANG Zhong-ti, LIU Kui, WU Zhen-han, XIONG Jia-yu

(Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The Qiangtang basin is now one of the hot areas of petroleum exploration in China. Recent geophysical and petroleum geological survey and INDEPTH-3 deep exploration have revealed the following points: (1) In the basin, hydrocarbon source rocks, reservoir rocks and seal rocks, as well as their association are quite good, with local structures well developed, which is favorable for the formation and preservation of petroleum accumulations, and faults will not constitute a vital problem; the main target in the future work will be the Upper Triassic-Middle Jurassic intermediate tectonic layer. (2) A new tectonic division into the second- and third-order structures in the basin has been made and the existence of the Central Qiangtang uplift has been negated; the main structures at the surface of the basin are oriented in a NW-SE direction and characterized by the form of "three subbasins and three rises" and "a deep subbasin", among which the main subsidence zone and its two sides are the most favorable areas. (3) The intense interaction between crust and mantle in the area led to repeated volcanic and thermal activities, which has significant influence on petroleum prospect evaluation in the northern part of the basin; whereas the southern part of the basin has been subjected to less deep-seated thermal influence because of its thick sediments and therefore is more favorable for petroleum finding. (4) It is a task of top priority to ascertain the physical parameters of deep-seated rocks, mode of occurrence of petroleum, sources of hydrocarbon and coincidence between the upper and lower structures. The focus should be on intensifying the investigation and evaluation of sites of interest. (5) The petroleum prospects in the Tertiary Lunpola continental basin should not be ignored because petroleum might be accumulated in marine rocks on its two sides.

**Key words:** Qiangtang basin, Tibet; INDEPTH; petroleum evaluation; crust-mantle interaction

**About the first author:** ZHAO Wen-jin, male, born in 1931, senior researcher and academician of the Chinese Academy of Engineering, engages in the research on exploration geophysics and survey of the Earth's deep interior; E-mail: xzwzwj@sina.com.