

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

论羌塘地块结构的不均一性和深部信息

杨兴科^{1,2)} 刘池洋¹⁾ 韦振权²⁾ 孙冬胜^{1,3)} 鲁兵^{1,4)} 高凤亮²⁾

1) 西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西安, 710069

2) 长安大学地球科学与国土资源学院, 西安, 710054

3) 石油大学, 北京, 102249; 4) 国家地震局地质研究所, 北京, 100029

内容提要 根据藏北羌塘地区最新地质、地球物理资料(以 MT 为主)综合分析,对比西部和东部综合剖面各单元结构特征,发现羌塘地块结构不均一性特征明显。西部隆起区结构独特,浅中部与深部结构有别,存在一南倾低阻异常带。西中部剖面南羌塘拗陷与西部隆起区深部结构相似,壳内低阻层呈双层。其他地段和东部剖面均呈中隆两拗格局,壳内低阻层仅一层。中部隆起带的深部总是对应一直立极低阻异常带。北羌塘拗陷低阻凹陷规模大,基底埋深大,横向分块明显,北中段热力改造较强,深部存在1~2个极低阻异常区带。总体上表现为南北分区带、东西分块段、垂向分圈层,MT 显示壳内低阻层顶界面深度不一,横向变化大,低阻层呈① 直切式:从深50~60 km 处呈柱状直接切断两侧高阻体,升达地面;② 蘑菇云状:从深100 km 处呈宽约50 km 的蘑菇云状升入到地下10 km;③ 上下叠置三明治式:以双层低阻层或多层高阻体上下叠置呈三明治式结构。南部基底电阻率显著高于北部,基底构造分三块:西南部、中东部和东部。这种结构不均一既有其深部构造作用控制,可能存在热异常柱,又有后期改造作用的叠加。

关键词 青藏高原 羌塘地块 地壳结构 不均一性 深部构造 热异常柱

地壳的结构和其是否均一是当代地质科学前沿研究之一,其蕴涵着极为深刻的地球动力学信息。青藏高原为全球活动性最强的地区之一。近年来,对青藏高原岩石圈结构构造的研究发现,高原岩石圈结构的不均一性较为明显(曾融生等,1994;李廷栋,1996;朱介寿,1996;赵文津等,2001),存在上地幔各向异性(史大年等,1996)、地震各向异性(吕庆田等,1997)、重力异常、磁异常和电性结构的横向非均匀性(王谦身等,1997;余钦范等,1996;程振森等,1996;孔祥儒等,1996)、壳幔热结构的南北不均一性(沈显杰等,1996)。已有研究多涉及到整个高原岩石圈及各块体间具分界意义的缝合带构造等。而对高原内部研究程度较低的藏北羌塘地块内的结构不均一性特征及其深部构造等研究论述较少。本文通过野外重点地段调研和室内资料分析,尤其是以近年来羌塘地区14条大地电磁测深(MT)、重磁地震等资料(赵政璋等,2001;熊盛青等,2001;周伏洪等,2001)为基础,优选出5条 MT 剖面,编制了横穿羌

塘地区的三条地学综合剖面,研究发现羌塘地块内部具有明显的地壳和地幔结构特殊性,其内结构构造不均一性特点较鲜明。这一认识对揭示青藏高原构造演化和藏北深部构造信息有重要意义。

1 羌塘地区综合剖面结构特征

本次研究选择横穿羌塘地区的西部、中部、东部三条南北向剖面(图1中 I、II、III),以大地电磁测深(MT)为主、结合重力、航磁、地震、遥感解译等资料,进行剖面区带内的地质地球物理综合解释和对比,研究整个地块内及邻区地壳结构特点。现以西部(a)和东部(b)两条 MT 剖面(图2)和地质—地球物理综合解释剖面(图3),中部剖面(MT234+C 线)部分特点已有简述(叶和飞等,2001),故以下仅描述东西两剖面其结构特点。

1.1 西部综合剖面结构

西部剖面(I)横跨南羌塘断陷(SQT)、西部隆起区(WD)、中部隆起带(MD)和北羌塘拗陷区

注:本文为国家重点基础研究发展规划项目(编号 G1998040801-5)和中国油气集团公司青藏“九五”科技工程项目(编号 970204-02)资助的成果。

收稿日期:2001-12-23;改回日期:2003-03-18;责任编辑:任希飞。

作者简介:杨兴科,男,1961年生。教授,1982年本科、1988年硕士毕业于西安地质学院,1998年在西北大学地质系在职攻读博士学位。目前主要从事地质构造与矿产资源预测、盆地地质与地球物理研究工作。通讯地址:710054,西安市雁塔路126号,长安大学地球科学与国土资源学院。

(NQT)及盆地南北边界断裂构造带:班公湖—丁青带(BJB)、拉竹龙—西金乌兰带(LXB)(图1中 I、图2a、图3a)。该剖面各单元典型地质地球物理特征详见表1。

南羌塘坳陷区下伏层出现两个壳内低阻层(图2a),第一层电阻率仅10~60 Ωm,在剖面中南段均有分布,为一深约6~12 km 南倾拆离构造带(图3a)。下部第二层低阻层顶界面埋深40~45 km,比北羌塘坳陷区埋深大(图3a)。

西部隆起区是我们本次新划分的一个单元^①,它是羌塘地区是否存在古老结晶基底的重要地段。前人研究称为中央隆起带^{②③},近年来部分研究者认为其存在古老基底或元古宙地层系统(黄继钧,

2001a,2001b;王国芝等,2001;Wang Guozhi et al.,2001;李永铁等,2001;叶和飞等,2001),目前多认为主要出露前泥盆系戈木日群变质岩和下二叠统鲁谷组灰岩、砂页岩及火山岩,但李才(2003)对此提出质疑,根据野外产状和同位素测年认为其主体时代为晚石炭世。该区 MT 等最新资料显示,中亚段依布茶卡之下存在一明显的极低阻带,电阻率仅2~20 Ωm(图2a、图4中 LR1),推断为基底破碎含水的拆离构造带。深部相对高阻基底块体电性层(>1100Ωm)之下,为第二层壳内低阻层(LR2),更深部,除壳幔混合层(过渡带 CMB)外,可能存在有规模不大的壳内拆离块体(图4b 中的 DB)。壳内低阻层的发育及双层(或多层)低阻层的出现,表明该地段存在多层次壳内拆离、滑脱(或推覆)构造。

据中部隆起带地震剖面分析,在玛尔果茶卡东有一南北长25 km 的玛尔果隆起,其内基底和上覆层均呈近水平状,基底埋深一般小于200 m(<0.9 S),除第四系和上新统外,附近有上侏罗统索瓦组和中侏罗统,前白垩系厚度较小,表明其为一前白垩纪同沉积古隆起。在该隆起之南明显的巨厚沉积层的层状反射,显示该隆起之南为一迅速下降、接受快速沉积、相对较宽的斜坡环境,具有陆架外缘隆起性质。推断在侏罗纪—三叠纪期间的玛尔果隆起与其南的西部隆起区之间,曾有一定宽度。目前二者之间距离仅约25 km,则是由于后期南北向挤压缩短、逆掩叠覆所致(刘池洋等,2001)。据该剖面综合研究认为南段由南向北发生逆掩叠覆造成中生代地层较大范围的掩埋(图3a),此在油气勘探中,值得重视研究。

北羌塘坳陷沉积地层发育较全。电性分层较多,侏罗系底界面埋深、上三叠统底界面、基底和火成岩顶界面埋深均较大,具体数据见表1。壳内低阻层发育,顶界面高低起伏变化明显,多在20~45 km,深部有垂向极低电阻率值异常柱区(图2a、3a),推测深部局部地段存在低阻热异常柱。总体为高阻和低阻相间,在低阻柱区两侧多为高阻岩体。

西、中部剖面壳内低阻层的最浅处在北羌塘北段确旦错附近及其以东(110°)约80 km 的半岛湖—白滩湖和中部隆起

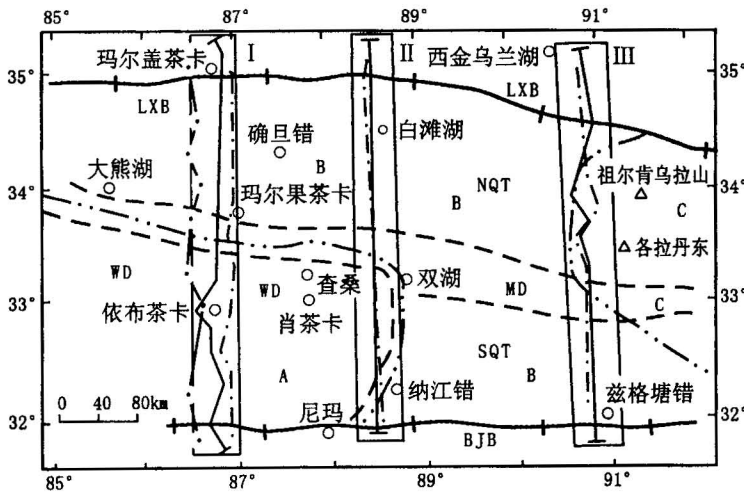


图 1 羌塘地区主要单元和基底构造分区示意图(附综合剖面位置)

Fig. 1 The major unit of Qiangtang area and outline map of divide into district of the basement structure

(enclosed here with figure of location of the composite profile)

带十字的粗实线为南北边界断裂构造带;LXB—拉竹龙—西金乌兰带,BJB—班公湖—丁青带;虚线为主要单元分区界线;双点虚线为基底构造分区线;单元代号:WD—西部隆起区,MD—中部隆起带,NQT—北羌塘坳陷,SQT—南羌塘坳陷;基底构造区块代号:A—西南部块体,B—中东部块体,C—东部块体;长条框为综合剖面区带范围;I—西部剖面,II—中部剖面,III—东部剖面;各剖面区带中及附近的两端带短折线的实线代表地质调查路线剖面;带单圆点的(近南北向)虚点线为 MT 剖面线位置

Heavy line with cross stands for the fracture belts of north or south boundary; LXB—Lazhulong—Xijinwulan fracture belt, BJB—Banggonghu—Dingqing fracture belt; dotted line stands for the division line of main units; dotted line with double point stands for the line of the basement structure; units symbols: WD—western uplift area, MD—middle uplift zone, NQT—north Qiangtang depression, SQT—south Qiangtang depression; block symbols of the basement structure: A—southwest part block, B—mid-east part block, C—east part block; galley stands for the range of composite profile; I—western composite profile, II—middle composite profile, III—east composite profile; fine line with folder short line on the two side in or near every range of composite profile stand for the line of geological survey sections; dotted line with single point (nearly north—south trend)stand for MT cross line

带(图1),深仅约10~15 km处(图3a NQT和MD中间之下)。总体看,剖面深部垂向上从浅到深均可见基底层、中地壳壳内高导低阻层、基底高阻层段、低阻热异常柱区和壳幔混合层等。综合对比各单元垂向结构不尽相同(图3)。

在北羌塘坳陷区双湖以北约70 km的东湖及更北部的半岛湖一带地表以下发现有电阻率值仅在20~100 Ωm 的壳内近直立极低电阻率区带,推断为一低阻热异常柱。该异常柱顶部向周围分别与波状起伏的壳内高导层(拆离—滑脱带)相连通。这一中地壳存在的壳内低阻高导层基本贯通了整个北羌塘坳陷区,构成了北羌塘中、下地壳呈现出较大范围的低阻异常区组成相对塑性软弱层与范围不大、相对刚硬的高阻基底之间的间互镶嵌,形成明显的横向分块特征(图3)。

1.2 东部综合剖面结构

东部剖面(Ⅲ)以MT560线为主,兼顾626线特点,主体沿西金乌兰湖—兹格塘错分布,除南北边界断裂带外,仅横跨了南羌塘坳陷、中部隆起带和北羌塘坳陷三个单元(图1Ⅲ、2b、3b)。

南羌塘出露侏罗系,褶皱、断裂均较发育。电阻率总体为相对高阻,夹有低阻区段,深部推断为高阻岩体(电阻率 $>800 \Omega\text{m}$)(图3b)。

中部隆起带主要出露肖茶卡组,次为部分中—上侏罗统。褶皱和断裂均较发育。电阻率为相对高阻,向东高阻异常更明显。在北部边界断裂带处有一较明显陡立的极低电阻率异常区带,顶界面埋藏较浅(深10 km),向下部延深大(图3b),推测为壳内低阻异常柱。

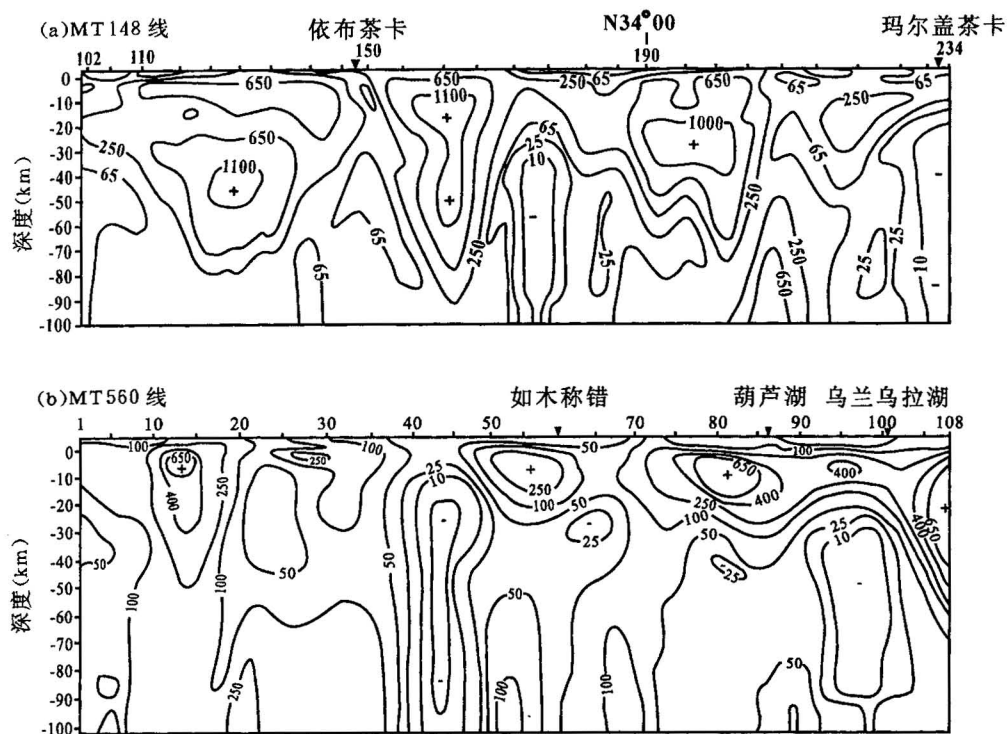


图2 羌塘地区MT一维连续介质反演剖面图(100 km)

Fig. 2 The correlation and composite profiles in Qiangtang area(100 km)

(a)—西线MT148线一维反演电阻率数据分布等值线剖面图;(b)—东线MT560线一维反演电阻率数据分布等值线剖面图;纵坐标为深度(km),横坐标MT测点位置和编号;倒三角处为剖面内重要地名;其中剖面内数据为选择的部分电阻率反演值,电阻率单位: $\Omega\cdot\text{m}$,正号代表电阻率反演高值异常区,负号代表电阻率反演低值异常区;(选自青藏油气工程项目经理部资料,反演数据和等值线已重新整理和修改);剖面位置见图1

(a)—Isoline profile of data distribution of one-dimension's inversion of resistivity in west line of MT148;(b)—isoline profile of data distribution of one-dimension's inversion of resistivity in east line of MT560;ordinate stand for depth (km), abscissa stand for the location and No. of MT's measuring point; the place where there is a inverted trigon stand for the important toponym in the cross section; digits in the profile are partial selective inversion value of resistivity, unit of resistivity: $\Omega\cdot\text{m}$, positive symbol stands for high-resistivity anomaly column (area), negative symbol stands for low-resistivity anomaly column (area); (selected from the data of the Managing Department of Qinghai—Tibet Oil and Gas Engineering Program, inversion data had been rearranged and modified); the location of the cross section shown in Fig. 1

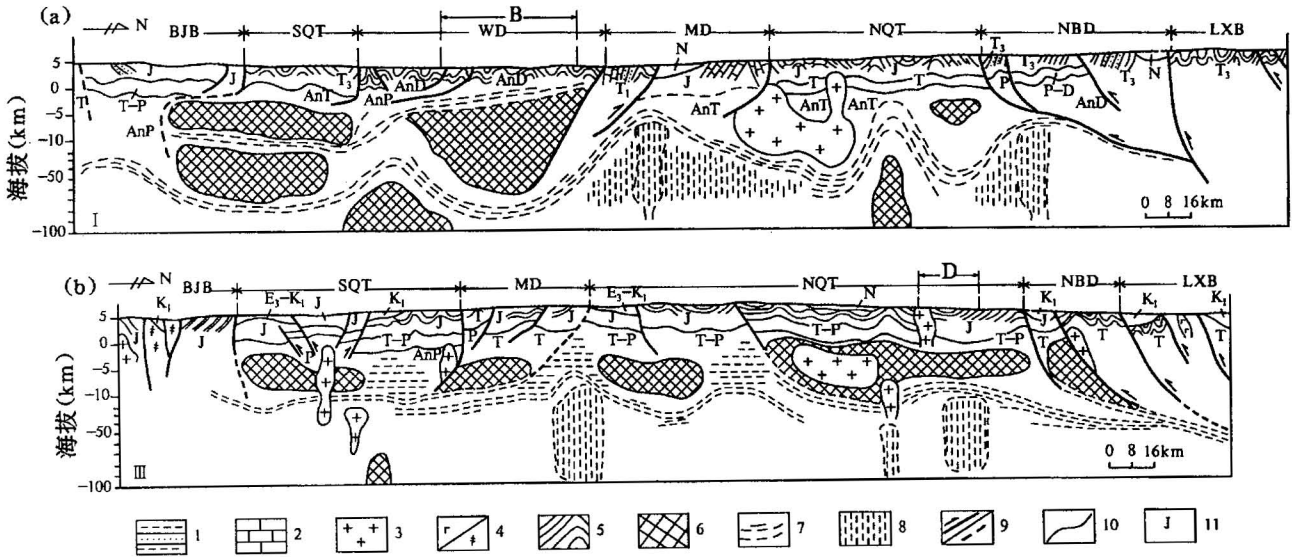


图3 羌塘地区西部(a)和东部(b)综合剖面各单元地壳结构对比和综合解释图

Fig. 3 The correlation and composite explanatory figure of crust texture of each unit of western (a) and eastern (b) composite profile in Qiangtang area

1—砂岩、页岩;2—灰岩;3—花岗岩;4—基性岩/超基性岩;5—沉积地层及褶皱;6—基底高阻块体;7—壳内低阻层;8—壳内低阻异常柱(区);9—实测断裂与运动方向及推测断裂;10—地质界线;11—地层代号(侏罗系);各时代地层代号:N—上新统和中新统;E₃—渐新统;K₁—下白垩统;J—侏罗系;T—三叠系;T₃—上三叠统;T₁—下三叠统;T—P—三叠—二叠系;AnT—前三叠系;P—二叠系;P—D—二叠系—泥盆系;AnP—前二叠系;AnD—前泥盆系变质岩;NBD—盆地北缘隆起带;其他代号如构造分区单元代号等同图1

1—Sandstone, shale; 2—limestone; 3—granite; 4—basic rock/ultra-basic rock; 5—sedimentary strata and fold; 6—high resistivity block of basement; 7—inner-crust low-resistivity layer; 8—inner-crust low-resistivity anomaly column (area); 9—actual fracture with its movement direction and inferred fracture; 10—geological line; 11—strata symbol (Jurassic Period); other strata symbols: N—Pliocene and Miocene; E₃—Oligocene; K₁—lower Cretaceous series; J—Jurassic Period; T—Triassic System; T₃—Upper Triassic Series; T₁—Lower Triassic Series; T—P—Triassic—Permian System; AnT—Pre-Triassic System; P—Permian System; P—D—Permian—Devonian System; AnP—Pre-Permian System; AnD—metamorphic rock of Pre-Devonian; NBD—north edge uplift of the basin; other symbols are the same as figure 1

表1 西部综合剖面典型地质地球物理特征

Table 1 Typical geological geophysical feature of western composite profile

构造单元	南羌塘断陷	西部隆起区	中部隆起带	北羌塘拗陷区
出露地层岩性	T _{3x} 碳酸盐岩; J ₂ 灰岩	AnDgm 变质岩 ^① ; P _{1l} 灰岩、火山岩	P _{2r} 碎屑岩; T _{1kl} 灰岩、碎屑岩	T _{3x} 灰岩; J ₁ —J ₃ 灰岩、碎屑岩
构造类型	褶皱 + 断裂	褶皱 + 断裂 + 变质 + 岩体	断裂 + 褶皱	褶皱 + 断裂 + 隐伏岩体
MT194线点位 ^②	23~36	36~65	65~87	87~115
视电阻率	中部低两端高	南倾低阻带	低阻 + 高阻	高阻 + 低阻
电性分层	8层: Q, N—Q, J ₂ , T _{3x} , P—T, 拆离带, 高阻块, 壳内低阻	7层: Q, N—Q, P _{1l} , AnDgm, 拆离带, 基底, 壳内低阻层	5层: Q, N—Q, P—T, AnD, 壳内低阻层	7层: N—Q, J _{3s} , J ₂ —J _{3s} , J ₁₋₂ , T, AnT, 壳内低阻层
侏罗系底界面埋深	<1 km	0(缺失)	<0.5 km	1.5~4 km
上三叠统底界面埋深	<3 km	0(缺失)	<3 km	1.8~5 km
壳内低阻层分布和顶界埋深	有两层, 第一层6~12 km; 第二层40~45 km	20~50 km	20~35 km	20~45 km
深部作用信息	浅中部结构与西部隆起区相似	浅中部与深部结构有差别	存在有壳内热异常柱	深部有垂向极低的电阻率值区, 构成低阻异常柱

注: 据野外调研和970204-02项目研究汇总; ① 李才认为主体是晚石炭世地层; ② 主要按MT194线点位并参考MT148线划分各单元并统计其电性特征。

北羌塘拗陷中、上侏罗统分布广,宽缓褶皱发育,拗陷幅度大。电性结构分三凹两凸,呈凸凹相间格局。电阻率断面显示低阻区段多、范围大,说明低阻凹陷规模较大,基底顶界面埋深可达6~7 km(图3b、5)。剖面结构显示,低阻层和高阻块段相间分布,呈横向分块。垂向基底层之下亦见有中地壳低阻高导层(LR)、下地壳复合层(壳内低阻层 LR+拆沉块体 DB+极低阻异常柱 GDR)、壳幔混合层(DB+GDR)等(图3b、5)。

东部剖面北羌塘拗陷范围大,宽达170 km,虽褶皱变形相对较弱,断裂逆冲叠覆不大,但表现出强度大、规模大的岩浆活动,在各拉丹东、祖尔肯乌拉山一带尤为显著(图3b 北羌塘中部),表现出该带此区段地壳内的热力改造程度较强。

该剖面壳内低阻层呈波状高低起伏分布,在中地壳层大致相连通、横贯于南北各带,与西部剖面不

同的是壳内低阻层仅为单一层(图2、3)。低阻层顶界面大致在深20~45 km内,最浅处仅深约12~15 km,局部地段仅7~10 km(图3b、5C),最浅处深部多对应一陡立的极低阻区带,推断为壳内(或壳下)高导热异常柱。

2 结构不均一性的平面展布形式

据东、中、西综合剖面对比,该区地壳结构呈现较明显的不均一性,其中地块、盆地、构造活动带三位一体,平、剖面多级多层次多方式耦合,具有南北分区带、东西分块段、垂向分圈层的特征。

2.1 南北分区带

羌塘地块目前构造格局以近东西向构造带发育为主,尤以挤压性近东西向断裂最为发育,短轴褶皱和穹隆亦较多。据笔者等统计,盆地500余个褶皱,北羌塘拗陷白滩湖一带较发育,约占总数54%之多,且

以剖面中部强于东西两侧。这类褶皱大多属于盆地后期改造——喜马拉雅期形成的一类构造,造成其内褶皱和断裂的南北分区片。

航磁测量和计算结果显示,整个地块内磁异常平面内呈东西向断续带状并集中成段分布,尤其是双湖以西的查桑段,集中成段分布了4~5条较强烈的 ΔT 正负磁异常带(刘池洋等,2001)。无论是从 ΔT 异常平面等值线图(江民忠等,2001)还是 ΔT 化极异常平面等值线图分析,均有较清晰的分区分段显示,说明其内部纵横向结构不均一是客观存在的。

重力异常测量和计算结果显示,该区南西部(图1A区)重力异常高、北东部(图1B区)重力异常逐渐降低。也大体显示了横向不均一特点。

从MT剖面综合确定的壳内低阻层顶界面埋深分析可知,该地块壳内低阻层较发育,电阻率值多在10~40 Ωm ,顶界面深度变化大,深度在-45~-1 km,平面上大部分等值线呈近东西向或北西西向,由南向北呈现高、低带状相间分布,显示出南北分带特征。

2.2 东西分块段

该区数条近南北向横向断裂构造带的厘定和研究,是东西分块段的重要表

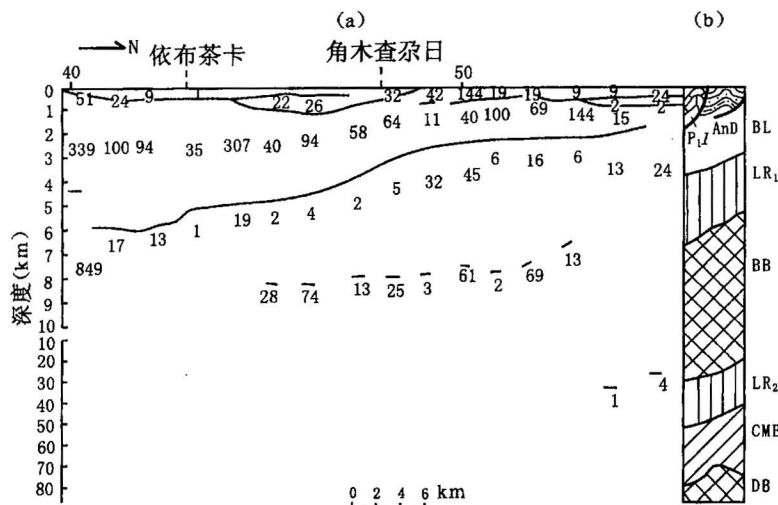


图4 羌塘地区西部隆起区壳内低阻层电阻率值和结构分析综合解释图

Fig. 4 Resistivity value of low-resistance layer in western uplift of Qiangtang area and composite explanatory figure of structural analyze

(a)——维反演电阻率数据分布和界面特点,其中数据为实测的该区段电阻率反演值,虚线或实线代表电阻率界面;电阻率单位: $\Omega \cdot m$ (节选自青藏油气工程项目经理部资料);(b)——垂向结构分析解释图(位置见图3a所示西部隆起区段);P₁l—下二叠统鲁谷组灰岩、火山岩;BL—基底层;LR₁—第一壳内低阻层;LR₂—第二壳内低阻层;BB—基底块体;CMB—壳幔混合层;DB—壳下拆沉块体

(a)—Distribution of one dimension inverse resistivity data and boundary characteristics, unite of electricity resistivity: $\Omega \cdot m$ (selected from the data of the Manage Department of Qinghai—Tibet Oil and Gas Engineering Program);(b)—composite explanatory figure of vertical structural analyze (the location see the section marked in the figure 3a); P₁l—limestone, volcanic rock of Lugu Formation of Lower Permian Series; BL—basement layer; LR₁—first inner-crust lower resistivity layer; LR₂—second inner-crust lower resistivity layer; BB—basement block; CMB—crust—mantle mixed layer; DB—delamination block beneath crust; other symbols see figure 3

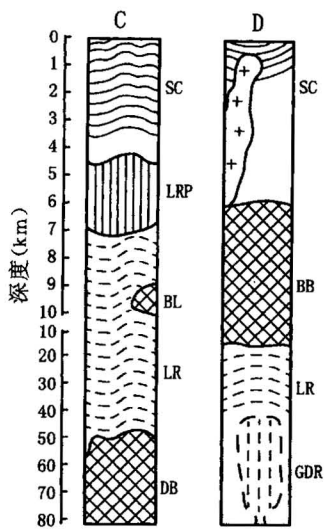


图5 北羌塘拗陷区不同剖面垂向结构综合解释对比图

Fig. 5 Comparative graph of vertical structural in different section of the north Qiangtang depression

C—中部剖面,白滩湖以南约50 km的半岛湖一带(图1);D—东部剖面,祖尔肯乌拉山以北的沱沱河一带(图3b标示D);图中代号:SC—沉积盖层;LRP—壳内低阻层;GDR—极低阻异常柱;其他图例花纹同图3,4

C—Bangdaohu area, 50 km away from south of Beitanhu in the mid section (fig. 1); D—Tuitui river area, away from north of Zu'erkenwulashan in east section (its location see figure 3b—D); symbols in the figure: SC—sedimentary cap rock; LRP—inner-crust lower resistivity layer; GDR—extremely lower resistivity abnormal post; other map symbols and patterns are the same as figure 3,4

现形式。从航磁异常等多方面分析确认89°E以西的双湖南北向构造带和87°E以西的依布茶卡—玛尔果茶卡西约10 km的喷呐湖南北向构造带的存在方式较明显(刘池洋等,2000),造成的东西分块段更显著(图1)。大致以2°经度间隔出现航磁异常和壳内低阻层内电阻率等值线呈现较明显的高低起伏和错断,构成东西分块段。

羌塘盆地火山—岩浆活动亦呈现较明显的分区分段特点,除受近南北向断裂构造带控制外,还受其深部构造控制,与地壳热异常柱活动有关。航磁异常、重力异常及电性结构在东西向也存在较明显的差异,基底构造分区(图1)和东西部不同剖面地壳结构特征(图3)均有较大差别。

2.3 垂向深浅圈层

垂向上从MT剖面电性结构分析发现西、中、东各区段均由浅表→地壳中部→深部,呈现有规律的分层特点。各剖面内,地壳深部均出现:相对高阻基底层段之下的中地壳内塑性低阻层、下地壳基底层块、近直立的极低阻热异常柱、壳幔混合层(局

部夹有拆沉块体)等(图3、5)。各剖面的垂向深浅圈层结构有一定的相似性,基底层和壳内低阻层顶界面埋深均呈现波状起伏或高低突变,差别在于各层块顶、底界面位置在不同断面内是不一致的。表现出各层块纵横向不连续、不均一性特点。

2.4 壳内低阻层的分布和特点

该区MT剖面一维和二维反演资料(深度有37 km和100 km),均揭示出壳内低阻层普遍存在,已有剖面显示其顶界面深度不一,横向变化大。主要表现为①直切式:从深50~60 km处呈柱状直接切断两侧高阻体,升达地面(图3b、4b中段);②蘑菇云状:从深100 km(或更深)处呈宽约50 km的蘑菇云状升入到地下10 km(确且错一带);③上下叠置三明治式:以双层低阻层或多层高阻体上下叠置呈三明治式结构(图3a、4a中北段)。这不仅反映了该区壳内具垂向分层,亦存在壳内推覆(或滑覆)及壳内拆沉等区域拆离带。在部分地段,基底层内或顶面也存在着规模和厚度不等的拆离层。壳内低阻层的普遍发育及其对盆地基底和盖层的发育演化、对盆地改造的动力来源和物质变形转换、并与下地壳或深部构造热异常柱相连通、对盆地深部垂向热动力转化为近水平构造动力等起了重要的控制作用。

此研究与羌塘地区南北向断裂构造带(Liu et al., 2000),藏北地壳结构特殊性及其岩石圈结构分块分层(高锐,1997;吴功建,1996)、南北羌塘深部电性结构差异(张胜业等,1996)、高原中北部差异应力和温度异常(王岳军等,1998)等研究结论相近,且对藏北羌塘地区普遍发育的壳内低阻层研究是一深化和完善,并将其与深部构造热异常柱相联系,揭示了其深部构造信息。

2.5 基底结构特点

主要表现在电性结构上,以大熊湖附近的布若岗日—玛尔果茶卡—双湖—兹格塘错东北—安多一线为界,南部基底电阻率显著高于北部。基底结构呈现分区块的特点。南羌塘西部基底(图1A区)呈现整体厚大块,与东部基底(图1Ⅱ剖面以东的SQT)的碎小块形成鲜明对比(图2、3)。北羌塘与南羌塘又呈现出较显著的差异。在北羌塘地区,无论西、中、东部MT剖面,均发育有壳内低阻层和极低阻异常柱,造成基底的明显不完整性,部分地段似曾存在壳下拆沉块体,发育有层位较高、MT反演可探测得到的壳幔混合层。综合MT剖面显示出北羌塘下地壳的壳下部分熔融特点较为明显。此与中法合作高原北部地震探测剖面研究成果(许志琴等,2001,1996)

和近年来北羌塘新生代火山岩研究认识(赖少聪等, 2001)相吻合。而北羌塘确且错热点的发现(刘池洋等, 2000)则是这类壳下熔融热异常柱的部分近地表显示。

基底构造多见有逆冲叠覆、叠瓦式逆冲、反冲和背冲等样式(图2、3、4)。盆地基底也已遭受强烈改造,电性上加入了高阻与低阻体,具有基底电性层增厚、减薄或中断特点。如大熊湖—玛尔果茶卡以南、查桑地段等。基底叠瓦式叠覆使其加厚,地表隆升。一些相对高阻块体表现为隆起或次级凸起,并有强烈磁异常显示,如双湖北东20°约70 km的普若岗日、佣钦错等区段。

根据基底电阻率和结构特点,基底构造分为三块(图1):西南部(A区)电阻率值较高(50~1000 Ω m), ρ 等值线变化较大,反映了岩性变化大,构造运动剧烈;中东部(B区)电阻率值普遍较低(<100 Ω m),等值线变化不大,反映了基底岩性较稳定;东部(C区)电阻率值高(1000~2000 Ω m),且较平缓,如各拉丹东一带,推断是侵入岩体强烈活动区,而且最新1:25万区调所测该花岗岩体单颗粒锆石U-Pb年龄为40Ma(白云山等, 2002),属喜马拉雅期同碰撞花岗岩,即该期构造—热事件活动时较新,为盆地改造期的深部热力作用之体现。

3 深部信息和科学意义

综合多种地质、地球物理场资料对比发现,羌塘地块结构不均一是客观存在的,不但浅表部,而且深部均存在此现象。其结构上呈现多向不均一、不连续,表现为横向南北分区带,纵向东西分块段,垂向深浅分层块,说明各层块现今物质结构纵横垂三向可能为各向异性。这种不均一,既有深部构造作用的强烈控制,又有后期强烈改造作用的叠加,其科学意义和油气勘探意义是:

(1)结构不均一表现在垂向上分层块,但又明显表现出各层块顶界面深浅不一,纵横向不连续,尤其是在北羌塘中下地壳和上地幔内发现有电阻率极低的垂向高导异常柱,显示出该区深部可能存在一类范围较大的热异常柱。上升热异常柱与壳下拆沉块体组成的壳幔混合层(过渡带)很可能是羌塘沿莫霍面传播的地震折射横波(Sn)缺失(Barazangi et al., 1982; 史大年等, 1996)的重要原因。

MT测量揭示北羌塘深部可能存在较明显的地下构造—热异常活动,存在一定规模的壳下拆沉和上升热地幔柱构成的壳幔混合层,此为地幔热柱活

动的上部显示,同时表现出该段岩石圈厚度较薄,现今热流值较高,地震波速度低,新生代火山岩发育,且存在新生代同碰撞花岗岩侵位活动等,这些现象无疑其蕴涵着丰富的深部热力构造信息。关于北羌塘深部热力构造如壳幔活动特征、规模和动力学意义等重大科学问题,还须进一步研究。

(2)该地块结构不均一性也反映了其经历过一定强度的改造作用,造成盆地原貌与现今面貌差别较大,对该区油气和矿产评价影响较大。壳内低阻高导层的存在所指示的拆离构造,虽增加了油气勘探的复杂性,但它启迪我们注重研究如西部隆起区查桑段各构造叠覆块体之下是否存在有侏罗系—三叠系及其规模与油气远景,结合地震勘探综合研究玛尔果隆起附近叠瓦状构造与油气关系等,此是该区油气评价研究思路转折的关键之一。今后研究中切忌以点代面(刘池洋等, 2000),不能以某点或局部的今面貌去简单恢复盆地全貌和原貌,尤应注意地质与地球物理,地表、中浅层与深层的紧密结合研究。

注 释

- ① 刘池洋, 王定一, 郑孟林, 杨兴科, 赖绍聪. 1999. 羌塘盆地构造特征及其演化(科研报告).
- ② 王成善, 王国芝. 1995. 羌塘盆地中央隆起带基底的同位素地质年代及隆升史研究(科研报告).
- ③ 李才, 徐锋. 1988. 西藏羌塘中央隆起区物质组成与构造演化(科研报告).

参 考 文 献

- 白云山, 李莉, 汤朝阳. 2002. 长江源各拉丹冬花岗岩体的基本特征及其构造属性. 华南地质与矿产, 4: 7~12.
- 曾融生, 丁志峰, 吴庆举. 1994. 青藏高原岩石圈构造及动力学过程研究. 地球物理学报, 37(增刊II): 99~116.
- 程振森, 郭新峰. 1996. 岩石圈电信结构. 见: 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 105~113.
- 高锐, 吴功建. 1996. 地球物理综合解释模型与现今地球动力学过程. 见: 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 138~148.
- 高锐. 1997. 青藏高原岩石圈结构与地球动力学的30个为什么. 地质论评, 43(5): 460~464.
- 黄继钧. 2001a. 羌塘盆地基底构造特征. 地质学报, 75(3): 333~337.
- 黄继钧. 2001b. 藏北羌塘盆地基底构造特征及演化. 中国区域地质, 20(2): 178~186.
- 江民忠, 王怀武. 2001. 藏北羌塘盆地的航磁特征. 地质科技情报, 20(2): 95~99.
- 孔祥儒, 王谦身, 熊绍柏. 1996. 西藏高原西部综合地球物理与岩石圈结构研究. 中国科学, 26(4): 308~315.
- 李廷栋. 1996. 对青藏高原地质构造主要特点的再认识. 见: 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 160~163.
- 吕庆田, 姜枚, 马开义, 许志琴. 1997. 由震源机制和地震波各向异性探讨青藏高原岩石圈变形. 地质论评, 43(4): 337~346.

- 赖绍聪,刘池阳. 2001. 青藏高原北羌塘榴辉岩质地壳及富集型地幔源区. 岩石学报, 17(3): 459~468.
- 李才. 2003. 羌塘基底质疑. 地质论评, 49(1): 4~9.
- 李永铁, 罗建宁, 卢辉楠, 等. 2001. 青藏高原地层. 北京: 科学出版社, 10~30.
- 刘池洋, 杨兴科, 魏永佩, 任战利, 赖绍聪, 陈刚, 郑孟林, 赵政璋, 叶和飞, 李永铁, 李庆春. 2002. 藏北羌塘盆地西部查桑地区结构及构造特征. 地质论评, 48(6): 593~602.
- 刘池洋, 杨兴科, 任战利, 赖绍聪, 陈刚, 赵红格, 魏永佩, 郑孟林, 王成善. 2001. 藏北羌塘盆地查桑地区构造格局与演化. 中国科学(D辑), 31(增刊): 14~19.
- 刘池洋, 杨兴科. 2000. 改造盆地研究和油气评价的思路. 石油与天然气地质, 21(1): 11~14.
- 沈显杰, 张文仁, 杨淑贞, 管烽, 金旭. 1996. 岩石圈热结构. 见: 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 114~125.
- 史大年, 董英君, 姜枚, 赵红, Poupinet G, Hirn A, Nercessian A. 1996. 西藏定日—青海格尔木上地幔各向异性研究. 地质学报, 70(4): 291~297.
- 王谦身, 武传真, 江为为. 1997. 青藏高原西部吉隆—鲁谷地区的重力场与地壳构造. 科学通报, 42(8): 858~861.
- 王岳军, 林舸, 范蔚若. 1998. 青藏高原中北部热—应力演化及隆升作用机制. 地球学报, 19(1): 4~11.
- 王国芝, 王成善. 2001. 西藏羌塘基底变质岩系的解体和时代厘定. 中国科学, 31(增刊): 77~82.
- 吴功建. 1996. 岩石圈结构构造及其动力学. 见: 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 149~159.
- 熊盛青, 周伏洪, 姚正煦, 薛典军, 刘振军, 张永军. 2001. 青藏高原中西部航磁概查取得重要成果. 中国地质, 28(2): 21~24.
- 许志琴, 杨经绥, 姜枚. 2001. 青藏高原北部的碰撞造山及深部构造物理作用. 地球学报, 22(1): 5~10.
- 许志琴, 姜枚, 杨经绥. 1996. 青藏高原北部隆升的深部动力学. 地质学报, 70(3): 195~206.
- 叶和飞, 张昱文, 夏邦栋, 刘池阳. 2001. 青藏高原大地构造特征及盆地演化. 北京: 科学出版社, 67~101.
- 余钦范, 孙运生, 楼海. 1996. 磁结构和地体划分. 见: 青藏高原岩石圈结构构造和形成演化. 北京: 地质出版社, 94~104.
- 张胜业, 魏胜, 王家映, 张先觉. 1996. 西藏羌塘盆地大地电磁测深研究. 地球科学——中国地质大学学报, 21(2): 198~202.
- 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 张昱文. 2001. 青藏高原大地构造特征及盆地演化. 北京: 科学出版社, 51~202.
- 周伏洪, 姚正煦, 薛典军, 刘振军, 张永军. 2001. 航磁概查对青藏高原一些地质问题的新认识. 物探与化探, 25(2): 81~89.
- 朱介寿. 1996. 全球地幔三维结构模型及动力学研究新进展. 地球科学进展, 11(5): 421~431.
- 43(5): 460~464 (in Chinese with English abstract).
- Huang Jijun. 2001a. Structural characteristics of the basement of the Qiangtang basin. Acta Geological Sinica, 75(3): 333~337 (in Chinese with English abstract).
- Huang Jijun. 2001b. Tectonic characteristics and evolution of the Qiangtang basin. Regional Geology of China, 20(3): 178~186 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Minzhong, Wang Huaiwu. 2001. Aeromagnetic anomaly character in Qiangtang Basin, Northern Tibet. Geological Science and Technology Information, 20(2): 95~99.
- Kong Xiangru, Wang Qiangsheng, Xiong Shaobai. 1996. Study on the lithosphere texture and geophysics in west part of Xizang Plateau. Science in China (Series D), 26(4): 308~315 (in Chinese).
- Lai Shaocong, Liu Chiyang. 2001. Enriched upper mantle and eclogitic lower crust in north Qiangtang, Qinghai—Tibet Plateau; petrological and geochemical evidence from the Cenozoic volcanic rocks. Acta Petrologica Sinica, 17(3): 459~468 (in Chinese with English abstract).
- Li Cai. 2003. Question about the Basement of the Qiangtang Microplate. Geological Review, 49(1): 4~9 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongtie, Luo Jianning, Lu Huinan, et al. 2001. Stratigraphy of Qinghai—Tibet Plateau. Beijing: Science Press, 10~30 (in Chinese).
- Lithosphere Research Center, Chinese Academy of Geological Sciences Institute of Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources. 1996. Lithosphere Structure and Evolution of Qinghai—Tibet Plateau (Yadong—Golmud GGT). 5(20): 94~124, 138~163 (in Chinese).
- Liu Chiyang, Yang Xingke, Ren Zhanli, Wang Dingyi, Chen Gang, Zheng Menglin. 2000. Definiting and its geologic meaning of south—north trend faulted structure belt in Qiangtang basin, North part of Tibet. Earth Science Frontiers, 7 (Suppl.): 223~224.
- Liu Chiyang, Yang Xingke, Ren Zhanli, Lai Shaocong, Chen Gang, Zhao Hongge, Wei Yongpei, Zheng Menglin, Wang Chengshan. 2001. Structural framework and its evolution in Chasang area of Qiangtang Basin in Northern Tibet. Science in China (Series D), 44 (Suppl.): 18~26.
- Liu Chiyang, Yang Xingke, Wei Yongpei, Ren Zhanli, Lai Shaocong, Chen Gang, Zheng Menglin, Zhao Zhengzhang, Ye Hefei, Li Yongtie, Li Qingchun. 2002. Structure and tectonic feature of Chasang Area in West Part of Qiangtang basin. Geological Review, 48(6): 593~602 (in Chinese with English abstract).
- Lu Qingtian, Jiang Mei, Ma Kaiyi, Xu Zhiqin. 1997. The deformation characters of Qinghai—Xizang Lithosphere; implication from earthquake mechanism and seismic anisotropy. Geological Review, 43(4): 337~346 (in Chinese with English abstract).
- Shi Dalian, Dong Yingjun, Jiang Mei, Zhao Hong, Georges Poupinet, Alfred Hirn, Alexandre Nercessian. 1996. Shear wave anisotropy of the Upper Mantle beneath the Tingri of Tibet to Golmud of Qinghai. Acta Geologica Sinica, 70(4): 291~297 (in Chinese with English abstract).
- Wang Guozhi, Wang Chengshan. 2001. Disintegration and age of basement metamorphic rocks in Qiangtang, Tibet, China. Science in China (Series D), 44 (supp.): 86~93.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Jiang Mei. 2001. Collosion-orogeny of the Northern Qinghai—Tibet Plateau and its deep dynamics. Acta

References

- Bai Yunshan, Li Li, Tang Zhaoyang. 2002. Characteristics and tectonic setting of Geladandong granitoids from the source of Yangtze River. Geology and Mineral Resources of South China, 4: 7~12 (in Chinese with English abstract).
- Barazangi M, Ni J. 1982. Propagation characteristics of Pn and Sn beneath the Himalayan arc and Tibetan plateau; Possible evidence for underthrusting of Indian continental lithospheric beneath Tibet. Geology, 10: 179~185.
- Gao Rui. 1997. Thirty problems of the lithospheric structure and geodynamics in the Qinghai—Xizang Plateau. Geological Review,

- Geoscientia Sinica, 22(1): 5~10 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Jiang Mei, Yang Jingsui. 1996. Deep tectonic—physics process of uplifting of the Northern Qinghai—Tibet Plateau. *Acta Geologica Sinica*, 70(3): 195~206.
- Yang Xingke, Liu Chiyang, Sun Dongsheng, Wang Dingyi, Lu Bing. 2000. Anisotropic feature of Qiangtang Massif Texture. *Earth Science Frontiers*, 7(Suppl.): 137~138.
- Ye Hefei, Zhang Yuwen, Xia Bangdong, Liu Chiyang. 2001. The tectonic characteristics of Qianghai—Tibet Plateau and Basin Evolution. Beijing: Science press, 67~101(in Chinese).
- Zeng Rongsheng, Ding Zhifeng, Wu Qingju. 1994. Study on dynamic process and lithospheric tectono of Qinghai—Tibet Plateau. *Chinese Journal of Geophysics*, 37(Suppl. I): 99~116 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shengye, Wei Sheng, Wang Jiaying, Zhang Xianjue. 1996. Magnetotelluric sounding in the Qiangtang Basin of Xizang (Tibet). *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 21(2): 198~202 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Hefei, Zhang Yuwen. 2001. The Tectonic Characteristics of Qianghai—Tibet Plateau and Basin Evolution. Beijing: Science press, 51~202(in Chinese).
- Zhou Fuhong, Yao Zhengxu, Xue Dianjun, Liu Zhengjun, Zhang Yongjun. 2001. New understanding on some geological problems of Qinghai—Tibet Plateau on the basis of generalized aeromagnetic survey. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 25(2): 81~89 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jieshou. 1996. The recent development of three-dimensional models and geodynamics of the earth's mantle. *Advance in Earth Sciences*, 11(5): 421~431 (in Chinese with English abstract).

On Structural Anisotropism of the Qiangtang Massif and Deep Information

YANG Xingke^{1, 2)}, LIU Chiyang¹⁾, WEI Zhenquan²⁾, SUN Dongsheng^{1, 3)},
LU Bing^{1, 4)}, GAO Fengliang²⁾

1) *Continental Dynamic Laboratory of the Education Bureau, Northwest University, Xi'an, 710069*

2) *School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an, 710054*

3) *University of Petroleum, Beijing, 102249*; 4) *Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing, 100029*

Abstract

Based on synthetic analysis of recent geological and geophysical data (mainly from MT survey) and the comparison of the structural features between the west and east composite profiles, the authors have found very obvious anisotropic features of the structure in the Qiangtang massif. The west uplift has a special structure with a south-dipping low-resistivity abnormal zone. Its shallow and deep layers have different features. In the west and central profile, the structure of the south Qiangtang depression is similar to the deep structure of the west uplift, featuring a double-layer intracrustal low-resistivity zone. The other areas and the east profile all have a form with an uplift in the middle and downwarping zones on the two sides with only vertical low-resistivity zone. The deep layer of the middle uplift always corresponds to a vertical very low-resistivity zone. The northern Qiangtang depression has a large-scale downwarping low-resistivity zone with a large basement depth and obvious horizontal blocks. The northern and central parts of this area have 1~2 very low-resistivity zones with a strong thermal reformation feature. In general, this area has the following structure: in the south—north direction it can be divided into zones or belts, in the east—west direction divided into blocks or segments, and vertically there appear spheres or layers. The top boundary of the intracrustal low-resistivity layer has different parts with different depths. There are three types of low-resistivity layers: (1) straight-cutting form, i. e. the low-resistivity layer has a prism shape which directly cuts the high-resistivity bodies on both sides from a depth of 50~60 km up to the ground; (2) mushroom shape, i. e. the low-resistivity layer has a mushroom shape, about 50 km wide, from 100 km up to 10 km underground; (3) vertical sandwich form, i. e. double low-resistivity layers are interbedded vertically with multiple high-resistivity layers. The resistivity of the south part of the basement is clearly higher than that of the north part. The basement can be divided into three blocks: southwest part, middle east part and east part. The anisotropic feature of the area is controlled by both the deep tectonic process with probable several thermal-abnormal zones and the late-stage reformation process.

Key words: Qinghai—Tibet plateau; Qiangtang massif; crustal structure; anisotropism; deep structure; thermal-abnormal zone