

青藏高原区域重磁异常的 东西向分区 及其构造地质特征

薛典军^{1,4} 姜 枚² 吴良士³ 李庆庆² 汪兴旺^{5,6}

(1. 国土资源部航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 4. 中国地质大学(北京)地下信息探测技术与仪器教育部
重点实验室, 北京 100083; 5. 成都理工大学油气藏地质与开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059;
6. 核工业井巷建设公司, 浙江 湖州 313000)

摘要:自从大陆整合以来作为一个整体的青藏高原继续受着印度板块向北俯冲的影响,也必定不断地改造着原各地体的结构构造,形成了高原整体意义上东西向的差异。这种差异与原本各地体的组成、结构和东西向延伸不一致。这不仅表现在南北向断裂构造跨单个地体范围的出现,而且,逐步形成了东西的分区。这种分区突出地表现在区域重力与磁场的特征上,这不仅是局部的岩石磁性与密度变化的结果,而且是由于印度板块向北俯冲过程中,在其前缘的不同部位上经受的压力不同,以及地块的隆升与扩张作用的差异造成了高原东西各区段的地壳组分与厚度的变化。青藏高原的南北向断裂构造并非地壳上层的局部断裂,它具有深层的原因。由于印度板块向北推进的过程中不是均匀地齐头并进,而是在帕米尔高原以东的青藏高原范围内存在着推进速度和俯冲深度的差异,随着高原隆升的加剧高原本身出现断裂,自中生代以来就存在着一定差异,所以南北向的断裂构造比目前地表见到的多些,而且具有较大的深度, Moho 面的深度和地壳厚度都受南北向断裂的控制,并形成了区域重磁场的变化。同时,高原的东西向拉伸作用也使南北断裂带发育加剧。

关键词:青藏高原;重磁异常;东西向分区;南北向构造特征

中图分类号: P313.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)04-0912-08

青藏高原是由多个块体拼合而成,在海洋闭合、大陆整合后印度板块向北俯冲,欧亚板块向南运动促使青藏高原隆升、地壳缩短,在地表形成了非常清晰东西向山脉、断裂,各地体呈东西伸长南北狭窄的形态,其岩石地层、古生物也具有一定的东西向连续性,甚至在深部,岩石圈的剪切波各向异性也是相对稳定的。但是,自从大陆整合以来,作为一个整体的青藏高原还继续接受着印度板块向北俯冲的影响,也必定不断改造原各地体的结构构造,形成了高原整体意义上东西向的差异,这种差异与原本各地体的组成、结构和东西向延伸不一致。这不仅表现在南北向断裂构造跨单个地体出现,而且,逐步形成了东西的分区。这种分区突出表现在区域重力场与磁场的特征上,这不是局部的岩石磁性与密度变化的结果,它具有深部的原因,即在印度板块俯冲过程中,在其前

缘的不同部位上经受的压力、隆升与扩张作用的差异造成了高原东西各区段的地壳组分与厚度的变化。

1 青藏高原的航磁异常

青藏高原航磁 ΔT 图(图 1)是使用中国国土资源航空物探遥感中心^[1]的数据,根据青藏高原地区磁场特征选取新的基点绘出的。可以看出,青藏高原航磁异常分布与该区区域构造方向基本一致,均呈近东西向。在高原边缘以及各地体边界磁异常强度较大,多呈近东西向的条带状、线状磁异常,其大多是由出露地表且有较大延深的基性岩、超基性岩以及蛇绿岩套引起的,且具有磁异常形状狭窄尖锐等特征,表明其与断裂有密切关系,反映了各个地体之间的结合状况。各个地体内部磁异常相对平静。但是,从青藏高原整体上看

收稿日期:2006-04-14; 改回日期:2006-06-03

基金项目:国土资源部科技专项计划项目(2001010103)资助。

作者简介:薛典军,男,1964 生,教授级高级工程师,主要从事航空物探勘查、数据处理软件开发、科学技术研究等工作;

E-mail: djxueags@163bj.com。

区域磁异常是不均匀的。例如在北纬 33°以北相当于冈底斯—念青唐古拉地体范围,东西向磁场就存在着差异,大体在东经 100°~105°为正磁场。东经 92°~100°为正、负相间的过渡性磁场,东经 88°~92°为负磁场。东经 88°向西又趋于正磁场^[1,2]。

区域磁场中大面积负磁异常的出现最引人注目。青藏高原负磁异常区位于青藏高原腹地,相当于东经 88°~92°,北纬 32°~36°(可能还向南延)。其西界起自木孜塔格—康若—达雄一线,东界于康通湖—唐古拉山—麻青一线;北界在木孜塔格—布伦台附近,南界可达申扎—措勤以南。负异常区范围近似矩形,其长轴近南北向或东北向。负异常区在地质构造位置上,北以昆仑山断裂带为界,南可至雅鲁藏布江活动带,涵盖可可西里与羌唐地块以及冈底斯—念青唐古拉地块的一部分,基本占据了青藏高原中部大部分地区。负异常区内磁异常变化不大,一般在 10~20 nT,若需进一步划分,可以班公错—怒江断裂为界分南、北两个部分。在北部负磁场区磁异常比较平静,异常强度为-20~50 nT。南部为正负相间、变化剧烈的线状或串珠状磁异常叠加在负磁场背景上(图 1)。

在负磁异常区内有局部呈块状、条带状、串珠状强磁异常,强度一般为-100~200 nT,最大可达 1 200 nT 以上^[2-4]。对图 1 资料进行化极向上延拓换算,当化极上延 20 km 时,上述强磁异常几乎衰减殆尽,即高频成分消失,清晰地显示出变幅较小的平静负磁异常特征,显示出它与周围区域磁场的

差异,当化极上延至 50 km 时,这种差异更加明显。说明负磁异常的成因具有一定深度的区域性质特征(图 2)。

而图中原有的东西向分布的线状、条带状强磁异常,则显然属于埋深不大的甚至出露地表的地质体引起的,在这里主要是沿断裂带分布的基性超基性岩体的磁异常特征^[3,4]。

2 青藏高原的重力场

图 3 给出了青藏高原的重力布格异常图^[5],该图中标出了从图 1~2 中所识别的正负磁场区大致范围。对比分析发现,在航磁图中的负异常区范围正是青藏高原 Δg 异常最低的地段,也是高原腹地地壳厚度最大的部位。并且重力负异常从东至西也分割成若干块段,与磁场变化有相似之处。如前所叙,航磁异常在东经 88°~92°的负异常范围与重力 Δg 的低值相对应,100°~105°的正重力值范围对应着航磁 ΔT 的正区域场范围,而且,图 2 中的东经 88°以西地区与东经 92°~100°之间的两个正负磁异常的过渡地区也正是重力场正负值的过渡地段。这种简单的对应关系绝不是偶然的,而是地壳演化过程中其结构发生变化的反映,是诸多地质、地球物理因素影响的产物^[5]。

3 青藏高原负磁异常区的地质构造特征

据西藏地质矿产局的划分,青藏高原负磁异常区的大地

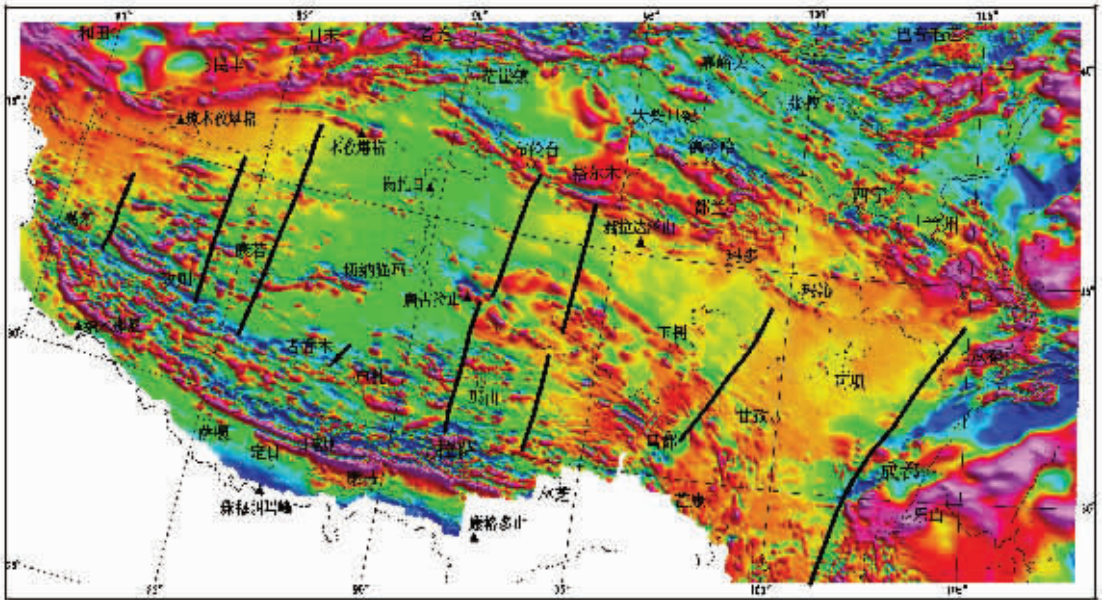


图 1 青藏高原的区域磁场分布及近南北向构造图

图中青藏高原航磁 ΔT 图取自参考文献[1,2];黑线由笔者推断,仅表示了磁异常区段的大致位置,即可能存在的南北向构造的位置,图中黑色箭头指示部分东西向线状磁异常的位置

Fig.1 Distribution of regional magnetic anomalies and nearly N-S-trending structure on the Qinghai-Tibet Plateau
Aeromagnetic ΔT map is cited from references [1] and [2]; black line is deduced by the first author, which only show the approximate location of the magnetic anomalies, i.e. the location of the possible N-S-trending structure; black arrow indicates the location of a part of E-W-trending linear magnetic anomalies

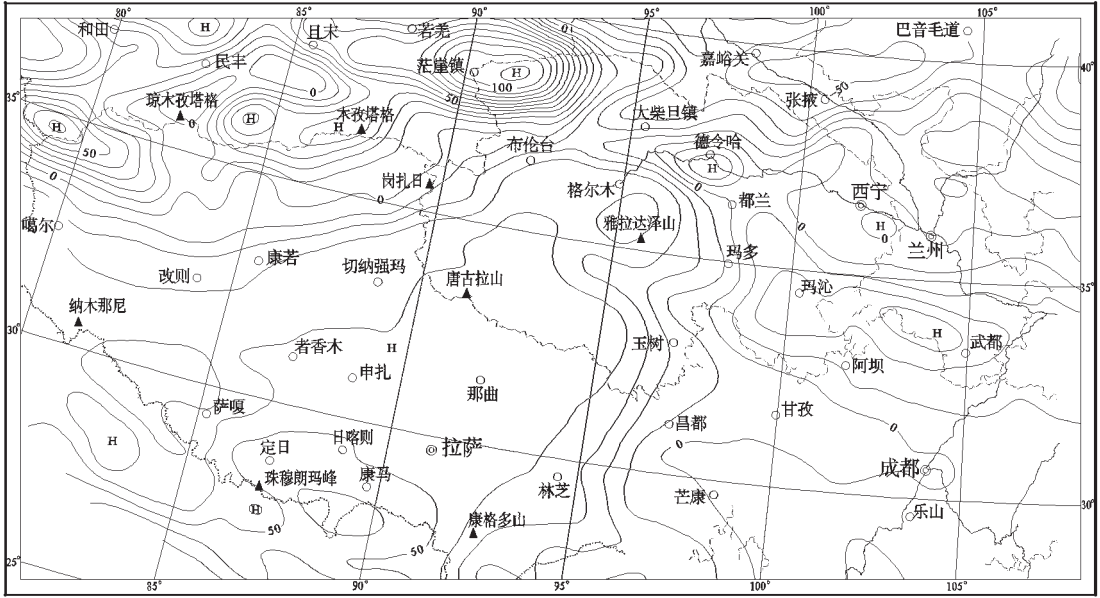


图2 青藏高原航磁化极上延 50 km 平面图
(单位:nT,图中H表示正的高磁异常)

Fig.2 Map showing upward continuation of aeromagnetic polarity 50 km on the Qinghai-Tibet Plateau
(unit: nT; H denotes the positive high magnetic anomaly)

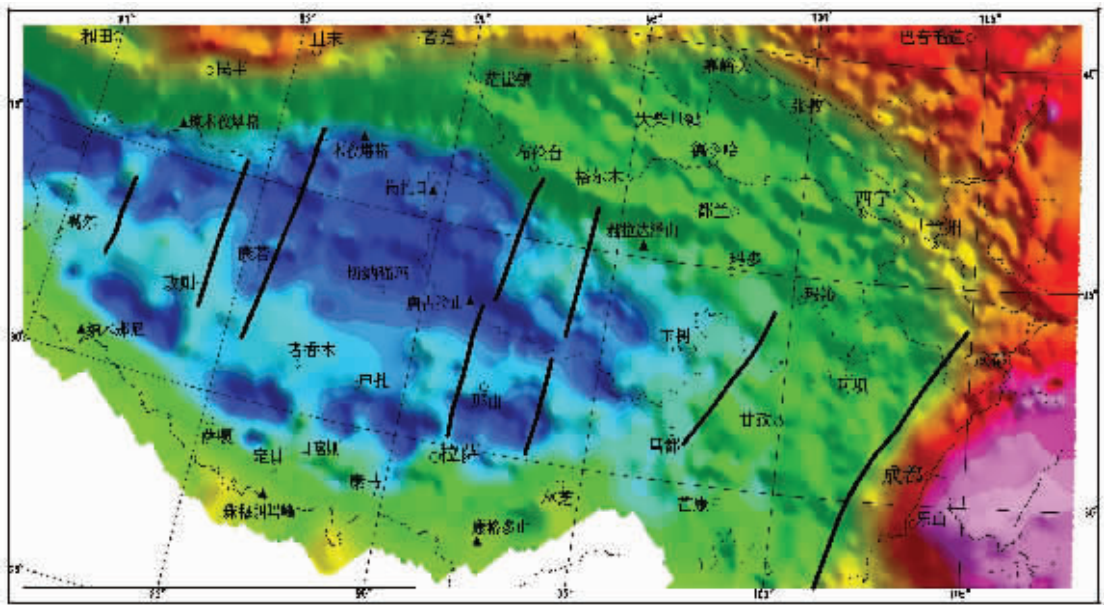


图3 青藏高原布格重力 Δg 平面图^[5]

图中黑线取自图1推断的磁场分区位置,负磁异常恰好位于高原重力低(蓝色)的范围(88°~92°)

Fig.3 Bouguer gravity Δg anomaly map of the Qinghai-Tibet Plateau^[5]

Black lines denote the location of magnetic divisions inferred from Fig. 1; negative magnetic anomalies just lie in the region (88°~92°) of the gravity low (blue) of the plateau

构造位置位于羌塘地体中部与冈底斯—念青唐古拉地体北部。该处构造线方向近东西,广布中、新生代地层,尤其侏罗纪、白垩纪地层。局部见有前中生界,但与中生界多为断层接触。区内岩浆活动不强烈,仅有小规模燕山期花岗岩岩株和新生代安山玄武岩^[6-9]。该范围内的地质特征具有以下特点:

3.1 受区域构造格局演化的控制

众所周知,印度板块与欧亚大陆碰撞最终于古近纪完成对接。在构造活动中,印度板块各段以不平衡的速度向北推进,其构造活动前锋是在境外帕米尔高原区,并以大约 60° 夹角向两侧翼展开,其西翼于阿富汗、巴基斯坦;东翼在中国西藏,因而碰撞带的不同部位应力场将有所差别。在前锋帕米尔一带以压应力为主体,而两侧则处于复合应力场环境中。它一方面受突出前锋压应力的效应,在其侧翼产生横向拉伸,另一方面又受由南向北的俯冲作用在碰撞带上产生纵向挤压。前者随侧翼弧度加大而增强,后者随远离碰撞带而衰弱(图 4)^[9-10]。

青藏地区处于其右侧翼,在上述应力场作用下,藏南雅

鲁藏布江一带,直面印度板块俯冲,以纵向挤压应力最明显,而向北逐渐远离碰撞带,纵向挤压相对减弱,而横向拉伸明显,将产生局部抬升与陷落的断块构造,使地层沿走向其厚度与埋深将发生很大变化,这种变化将直接影响地球物理场的性质。负异常区即处于陷落的断块构造部位,它至少有 2 期,一期是侏罗—白垩纪,另一期是古近纪至更新世,从而在陷落断块上接受了巨厚的无磁性或弱磁性的沉积层,加大了深部磁性体的埋深,同时陷落断块边界又控制磁异常区范围,从而使负异常区在磁航图与重力图上清楚地呈现出来。

值得提出的是,藏北地区纵向压力仍然存在,并还在起作用,而且往往使岩层出现逆冲而将深部地质体推至表层。如负磁异常区内康若—纳里雍错一带出现了近东西向展布的元古宙片麻岩与片岩层,在磁场上显示了局部正磁场异常。

3.2 地层岩性与厚度变化因素

负磁异常区出露地层按岩性与物性特征基本上可分 3 部分。最下部为前中生界,其中以元古宙地层最为特征,主要为片麻岩、片岩等,于改则—康若一带,磁化率为 1500×10^{-5}

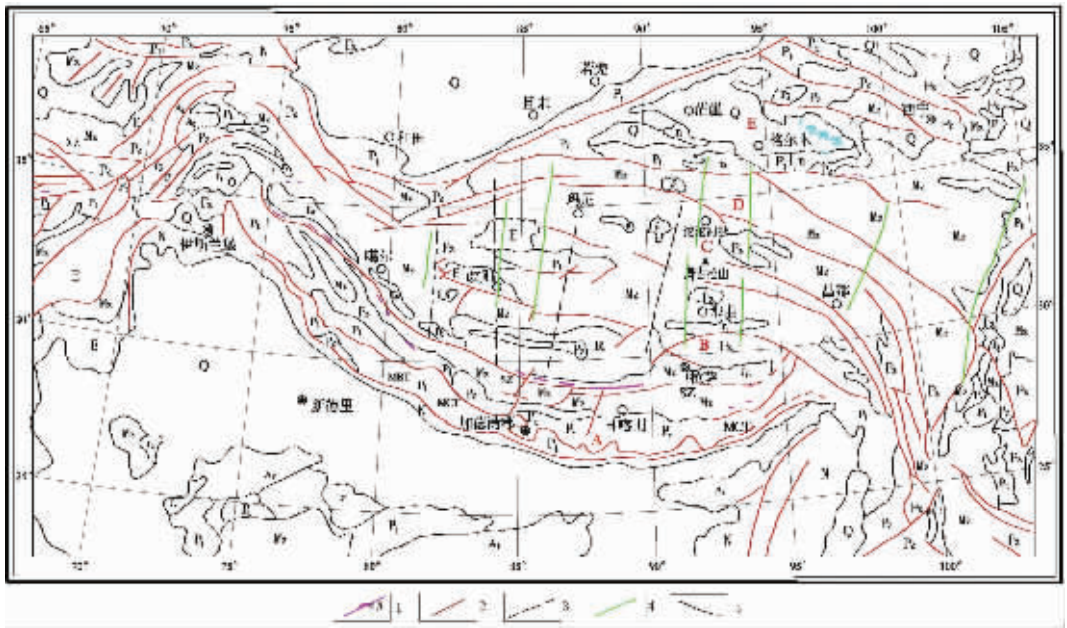


图 4 帕米尔—青藏高原构造略图

Q—第四系;N—新近系;E—古近系;Mz—中生界;Pz—古生界;Pt—元古界;Ar—太古界;γ₆—喜马拉雅期花岗岩类;γ₅—燕山期花岗岩类;γ₄—华力西期花岗岩类;γ₃—加里东期花岗岩类;γ₂—元古宙花岗岩类;γ₁—太古宙花岗岩类;MBT—主边界逆掩断裂;MCT—主中央逆掩断裂;SZ—印度—雅鲁藏布江缝合带;XZ—兴都库什—北帕米尔缝合带;1—蛇绿岩、超基性—基性岩和第四纪玄武岩(β);2—断裂;3—卫星影像解释断裂;4—磁场分区界线;5—地层界线;构造单元:A—喜马拉雅地体;B—冈底斯地体;C—羌塘地体;D—巴颜喀拉地体;E—东昆仑—柴达木地体

Fig.4 Tectonic sketch map of the Pamir-Qinghai-Tibet Plateau

Q—Quaternary; N—Neogene; E—Paleogene; Mz—Mesozoic; Pz—Paleozoic; Pt—Proterozoic; Ar—Archean; γ₆—Himalayan granitoids; γ₅—Yanshanian granitoids; γ₄—Variscan granitoids; γ₃—Caledonian granitoids; γ₂—Proterozoic granitoids; γ₁—Archean granitoids. MBT—Main Boundary Thrust; MCT—Main Central Thrust; SZ—India-Yarlung Zangbo (Brahmaputra) suture; XZ—Hindu Kush-north Pamir suture.

1—Ophiolite, consisting of ultrabasic—basic rocks and Quaternary basal (β); 2—Fault; 3—Satellite image interpretation of faults;

4—Magnetic field boundary; 5—Stratigraphic boundary. Tectonic units: A—Himalaya terrane; B—Gangdise terrane; C—Qiangtang terrane;

D—Bayan Har terrane; E—East Kunlun—Qaidam terrane

11000×10⁻⁵ SI,属强磁性。侏罗纪、白垩纪以及三叠纪地层以海相沉积的灰岩、砂岩为主,偶夹火山岩,属弱磁性。最上部为古近纪、新近纪与第四纪地层,主要是陆相砂岩,粉砂岩以及砂、砾、冰水沉积等,分布较广,属弱磁性^[6,7,11,12]。

从地层发育程度看,负磁异常区内以侏罗纪与白垩纪的沉积岩层最发育,厚度巨大,呈大面积出露。据区域地层资料统计,该区内侏罗系一般厚3 000 m,最厚可达5 700 m;白垩系通常厚1 000 m以上,最厚达6 700 m。若再加上古近系—新近系厚50~1 000 m,负磁异常区内上部盖层(包括侏罗系、白垩系及古新近系)总厚度已超过8 000 m以上。区域地层对比表明负磁异常区内侏罗系和白垩系的厚度比相邻的昌都、丁青、比如地区内同时期岩层厚度大1~2倍(图5),并且后者分布比较零星。在横向上负磁异常区内侏罗系与白垩系向东在青海杂多以东,向西在西藏日上多玛以西,其厚度不足2 000 m。负磁异常区内如此巨大的弱磁性体出现,无疑对区域磁场强度以及深部磁性体在浅部的反映都有影响;磁场强度的降低是在所难免的。因此在讨论西藏北部、青海西南部地区大面积负磁异常区出现时,不能不考虑该区出露最广,厚度最大,分布最集中的侏罗系、白垩系岩性与厚度的影响。

3.3 局部岩浆作用与变质作用影响程度

在负磁异常区内岩浆活动不很发育,侵入体主要为燕山期花岗岩与古近纪安山玄武岩。前者多于地体边缘部位,后者常在地体中央。其磁化率变化为10×10⁻⁵~6000×10⁻⁵ SI,属于中强磁性。但岩体分布零星,规模较小,多呈小岩株、岩床或岩脉产出,影响范围有限,仅在岩体出露范围内能使局部磁场发生变化。至于喷发作用,在该区仅个别层位有火山岩夹层,如中下侏罗统那底岗日组于拉雄措附近有火山岩夹层,其他侏罗系与白垩系中则很少或几乎没有,并且火山岩夹层多为中酸性火山岩,厚度几十米,很少超过百米,磁化率较低,因此,很难对全区磁场产生全面影响。

变质作用,特别在地体拼合以及挤压变形过程中使本区地层发生轻度变质作用,但由于主体侏罗纪与白垩纪地层是以海相砂岩、灰岩为主,含铁质成分甚低,在区域变质过程中不可能出现大量磁性矿物,致使磁场发生变化。何况其变质程度很低,最高达绿片岩相。虽然个别地段(如断裂带附近),出现退变质作用,使磁异常衰退,但其规模较小,也不可能导致大面积负异常区出现。

总之,该区浅部岩浆作用与变质作用对区域岩石磁性以及区域磁场有局部影响,但它规模小,强度弱,分布不均匀,很难成为该区大面积负磁异常区出现的主要原因。

3.4 负磁异常区的其他地球物理特征

重力资料表明负磁异常区是青藏地区Δg异常最低,地壳厚度最大的地段^[1,5]。它证实了地壳浅部巨厚的低密度、弱磁性的侏罗系与白垩系岩层存在及其对磁场、重力场探测结果的影响。同时在地震探测中也反映了该区Sn波的缺失以及地壳的泊松比较高等深部地球物理场特征^[13-15]。地震层析研究表明在200 km深处存在高温低速体,这种高温低速体只能与深部岩浆活动、部分熔融以及下地壳与上地幔的物质组合的变化有关^[16,17],而且,该区段也正是上地幔各向异性变化最大的部位^[18-20]。它也自然影响了地壳中岩石磁性及磁场的变化,热液作用,高温低速体的上升^[10,11,18]。在一定程度上起着退磁作用,使负磁异常区内磁场减弱,不过从负磁异常区内推覆至浅部的地质体,如元古宙变质岩系磁性研究表明,其磁化率虽然是负磁异常区内各类岩石最高的,但与塔里木以及华北地区基底变质岩系对比,其磁化率相对还是比较低,一般为1500×10⁻⁵~11000×10⁻⁵ SI单位,而后者通常在5000×10⁻⁵~20000×10⁻⁵ SI单位。这说明深部构造及其岩浆活动对该区磁场有一定影响,并且由于该区地壳厚度较大,可达50 km以上,所以对地壳磁场影响也是有限的。地震源机制的研究表明,青藏高原中部高海拔地区的东西向张性构

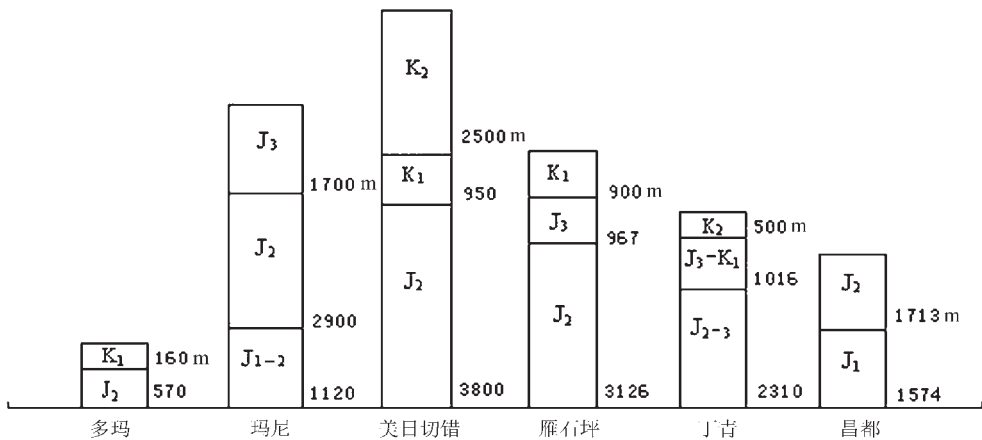


图5 负磁异常区侏罗系与白垩系厚度对比图

Fig.5 Comparison between the thickness of the Jurassic and that of the Cretaceous in negative magnetic anomaly areas

造运动可能与持续隆升的高原自重增大引起的重力崩塌有关,它控制着高原中部的地壳应力场和断裂活动,震源机制解的T轴水平分量较大,近于EW向分布^[23-26]。各地体之间边界和青藏高原边缘的线状、条带状磁异常是沿断裂分布的基性、超基性岩石引起的。负磁异常区出现预示了在西藏南部地表观察到的南北向断裂已向北延伸,也就是说青藏高原腹地的深部和岩石圈存在近南北向的构造。这种近南北向的断裂是整个青藏高原南部边缘前弧断裂的配套断裂,是在青藏高原总体东西向构造基础上形成的,因此,对其地球物理场、地质构造、岩浆活动与成矿作用的影响不可忽视。

4 结论与讨论

笔者介绍了青藏高原整体的东西向分区,并以航磁 ΔT 负异常区、重力 Δg 低值区为例分析了高原自西向东的不同区段地质地球物理特征。这丝毫也没有改变组成青藏高原各地体的东西向伸展,南北向被挤压缩短的基本构造格局。事实上,各地体边界断裂、高原边缘断裂、航磁和重力场呈的线状、带状延伸的强异常都非常显著地展现着高原的基本构造特征。

这里强调的是依据早已为人所共知的南北向构造划分出的高原的东西向分区,而南北向断裂构造并非地壳上层的局部断裂,它具有深层的原因。由于印度板块向北推进的过程中不可能是均匀地齐头并进,在帕米尔高原以东的青藏高原范围也存在着推进速度和俯冲深度的差异,随着升降的加剧高原本身也出现断裂,自中生代以来就存在着一定差异,所以南北向的断裂构造比目前地表见到的多些,而且具有较大的深度,至少Moho面的深度和地壳厚度上受南北向断裂的控制,才形成了区域重磁场的变化。同时,由于高原的东西向拉张作用也使南北断裂带加剧。

笔者从负磁异常区重力低值区的震源机制解的地应力特征、剪切波各向异性特征、岩石磁性特征、密度等特征从不同方面的叙述,目的是表明 ΔT 和 Δg 的分区特征不是孤立的,也不是浅部的。

青藏高原的南北向断裂是整个高原南缘前弧断裂的配套断裂,是在青藏高原总体东西向构造基础上形成的,对高原的地球物理场、地质构造、地震活动、岩浆活动与成矿作用都有重要意义。

致谢:感谢李廷栋院士、许志琴院士、熊盛青、梁秀娟、王有学、徐纪人等同仁们的支持和协助。

参考文献(References):

[1] 中国国土资源航空物探遥感中心. 中国及其毗邻海域航空磁力 ΔT 图[M]. 北京:地质出版社,2004.
Aerogeophysiscal Survey & Remote Sensing Center. Aeromagnetic Map of China and Its Adjacent Seas [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004(in Chinese).

[2] 熊盛青,周伏洪,姚正煦,等. 青藏高原中西部航磁概查 [M]. 北京:地质出版社,2002.
Xiong Shengqing, Zhou Fuhong, Yao Zhengxu, et al. The Aeromagnetic Survey Conducted in Central and Western Qinghai Tibet Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House 2002(in Chinese).

[3] 姚正煦,周伏洪,薛典军,等. 雅鲁藏布江航磁异常带性质及其意义[J]. 物探与化探,2001,25(4):241~252.
Yao Zhengxu, Zhou Fuhong, Xue Dianjun, et al. The property of the Yarlung Zangbo River aeromagnetic anomaly zone And its significanece [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2001,241~252(in Chinese With English abstract).

[4] 周伏洪,姚正煦,薛典军,等. 航磁概查对青藏高原一些地质问题的新认识 [J]. 物探与化探,2001,25(2):81~89.
Zhou Fuhong, Yao Zhengxu, Xue Dianjun, et al. New understanding on some geological problem of Qinghai-Tibet Plateau on the basis of generalized aeromagnetic survey [J]. Geophysical and Geochemical Exploration,2001,25 (2):81~89 (in Chinese With English abstract).

[5] 地矿部区域重力调查方法技术中心. 中国及其毗邻海域布格重力异常图[M].北京:地质出版社,1999.
Methodological and Technical Center of Regional Gravity Sarvey, MGMR. Bouguer Gravity Anomaly Map of China and its Adjacent seas[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999(in Chinese).

[6] 青海地质矿产局. 青海地质志[M]. 北京:地质出版社,1988.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. Geological Memoirs of Qinghai Province [M]. Beijing:Geological Publishing House,1988(in Chinese With English abstract).

[7] 西藏地质矿产局. 西藏地质志:西藏自治区地质构造图 [M]. 北京:地质出版社,1988.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Tibert. Geological Memoirs of Tibert [M]. Beijing:Geological Publishing House,1988 (in Chinese With English abstract).

[8] 李廷栋. 欧亚地质图[M]. 北京:地质出版社,2002.
Li Tingdong. Geological Map of Asia and Europe [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002(in Chinese With English abstract).

[9] 肖序常,李廷栋,李光岑,等. 青藏高原的构造演化 [J]. 中国地质科学院院报,1990,20:123~125.
Xiao Xuchang, Li Tingdong, Li Guangcen, et al. Tectonic evolution of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1990,20:123~125(in Chinese With English abstract).

[10] 袁学诚. 论中国西部岩石圈三维结构及其对寻找油气资源的启示[J]. 中国地质,2005,32(1):1~12.
Yuan Xuecheng. 3D lithospheric structure of western China and its enlightenment on petroleum prospecting [J]. Geology in China, 2005,32,(1):1~12(in Chinese With English abstract).

[11] 谭富文,王剑,李永铁,等. 羌塘盆地侏罗纪末—早白垩世沉积特征与地层问题 [J]. 中国地质,2004,31(4):400~405.
Tan Fuwen, Wangjian, Li Yongtie, et al. Late Jurassic-Early

- Cretaceous strata and their sedimentary characteristic in the Qiangtang basin, northern Tibet [J]. *Geology in China*, 2004, 31(4): 400~405 (in Chinese with English abstract).
- [12] 葛肖虹, 刘永江, 任收麦. 青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂 [J]. *中国地质*, 2002, 29(4).
Ge Xiaohong, Liu Yongjiang, Ren Shoumai. Uplift dynamics of the Qinghai-Tibet Plateau and Altun fault [J]. *Geology in China*, 2004, 29(4): 346~350 (in Chinese With English abstract).
- [13] Xu Jiren, Zhao Zhixin, Kazuo Oike. Tectonic Characteristics of Seismogenic Stress Field in East Asia [A]. In: Fujinawa Y, Yoshida A (eds.). *Seismotectonics in Convergent Plate Boundary* [C]. Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, 2002. 481~497.
- [14] Xu J R, Zhao Z X, Ishikawa K, et al. Properties of the stress field in and around west China derived from earthquake mechanism solutions [J]. *Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute Kyoto University*. 1988, 38: 49~78.
- [15] 徐纪人, 赵志新, 石川有三. 青藏高原中部的东西向扩张构造运动, Sn 缺失区 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(5): 418~424.
Xu Jiren, Zhao Zhixin, ISHIKAWA. EW-trending extensional motions in central Tibetan Plateau [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2005, 24(5): 418~424 (in Chinese with English abstract).
- [16] Wittlinger G, Masson F, Poupinet G. et al. Seismic tomography of northern Tibet and Kunlun: evidence for crustal blocks and mantle velocity contrasts [J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 1996, 139, 263~279.
- [17] Galve A, Hirn A, Jiang M, et al. Modes of raising northeastern Tibet probed by explosion seismology [J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 2002, 203: 35~43.
- [18] Mei Jiang, Hui Qian, Heping Su. Teleseismic anisotropy and its features in the upper mantle beneath the Tibet Plateau and neighboring areas [J]. *Global Tectonics and Metallogeny*, 2003. 18, Nos. 1~4.
- [19] 姜枚, Hirn A, 薛光琦, 等. 青藏高原地震剪切波各向异性特征及解释 [J]. *现代地质*, 1999, 13(增刊): 56~59.
Jiang Mei, A. Hirn, Xue Guangqi, et al. Anisotropism character of shear wave of earthquake in Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Geoscience*, 1999. 13(supp.) 56~59 (in Chinese).
- [20] 姜枚, 许志琴, 刘妍, 等. 青藏高原及其部分邻区地震各向异性如上地幔特征 [J]. *地球学报*, 2001, 22(2): 111~116.
Jiang Mei, Xu Zhiqin, A. Hirn, et al. Teleseismic anisotropy and corresponding features of the upper mantle in Tibet Plateau and its neighboring areas [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 22(2): 111~116 (in Chinese with English abstract).
- [21] Hirn A, Jiang M, Sapin M, et al. Seismic anisotropy as an indicator of mantle flow beneath the Himalayas and Tibet [J]. *Nature*, 1995, 375, 571~574.
- [22] Vergne J, Wittlinger G, Qiang Hai, et al. Seismic evidence for stepwise thickening of the crust across the NE Libecan plateau [J]. *Earth and Planetary Science Letter*, 2002, 203: 25~33.
- [23] 李廷栋. 青藏高原隆升的过程和机制 [J]. *地球学报*, 1995, 34(1): 1~8.
Li Tingdong. The uplifting process and mechanism of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1995, 34(1): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- [24] 肖序常, 李廷栋, 陈炳蔚, 等. 青藏高原岩石圈结构、隆升机制及其对大陆变形的影响 [J]. *地质研究*, 1993, 27: 115~116.
Xiao Xuchang, Li Tingdong, Chen Bingwei, et al. Lithospheric structure of Qinghai-Tibet Plateau, mechanism of uplift and its infection to metabolic of continent [J]. *Journal of Geoscientific Research*, 1993, 27: 115~116 (in Chinese with English abstract).
- [25] 姜枚, 许志琴, 钱荣毅, 等. 从德令哈地震分析青藏高原北缘东段的深部构造活动 [J]. *中国地质*, 2006, 33(2): 268~274.
Jiang Mei, Xu Zhiqin, Qian Rongyi, et al. Analysis of deep tectonic activity in the eastern segment of the northern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau based on the Delingha earthquake [J]. *Geology in China*, 2006, 33(2): 268~274 (in Chinese with English abstract).
- [26] 徐纪人, 赵志新. 青藏高原及其周围地区区域应力场与构造运动特征 [J]. *中国地质*, 2006, 33(2): 275~285.
Xu Jiren, Zhao Zhixin. Characteristics of the regional stress field and tectonic movement on the Qinghai-Tibet Plateau and in its surrounding areas [J]. *Geology in China*, 2006, 33(2): 275~285 (in Chinese with English abstract).

East–west division of regional gravity and magnetic anomalies on the Qinghai–Tibet Plateau and its tectonic features

XUE Dian–jun^{1,4}, JIANG Mei², WU Liang–shi³, LI Qing–qing², WANG Xing–wang^{5,6}

(1. Airborne Geophysical and Remote Sensing Center of Land and Resources, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4. Geo–detection Laboratory, Ministry of Education of China, Beijing 100083, China; 5. State Key Lab. of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

6. Nuclear Industrial Well & Tunnel Construction Company, Huzhou 31300, Zhejiang, China)

Abstract: The Qinghai–Tibet Plateau as an integral unit has continued to be affected by northward subduction of the Indian plate since the assembling of the continent; so certainly the structures of various original terranes have been constantly reworked. As a result, the differences of the plateau as a whole in the E–W direction have been formed. These differences are not in agreement with the constitutions, structures and east–west extensions of the various original terranes. This is not only manifested in the appearance of the N–S–trending fault structure across various individual terranes, but also in the gradual division in the E–W direction. This division is highlighted by the features of the regional gravity and magnetic fields, which is not only the result of the sectional rock magnetism and density variations but also the result of the variations in crustal composition and thickness of various areas and segments in the east and west parts of the plateau caused by different compressions undergone by different parts of the leading edges of the northward subduction of the Indian plate and the differences in block uplift and expansion. Based on the above, the paper analyzes the cause for the E–W division of the Qinghai–Tibet Plateau. The N–S–trending fault structure on the Qinghai–Tibet Plateau is not a local fault in the upper crust but is of deep origin. In the course of northward pushing, the various parts of the Indian plate did not keep abreast of each other. There were differences in pushing speed and subduction depth within the limits of the Qinghai–Tibet Plateau east of the Pamir Plateau. Due to the acceleration of the uplift of the Qinghai–Tibet Plateau, faults appeared on the Qinghai–Tibet Plateau itself. Because the differences have existed since the Miocene, more N–S–trending faults are found at the earth’s surface and they extend to greater depths. The Moho depth and crustal thickness are both controlled by these faults, causing the variation in the regional gravity and magnetic fields. At the same time, the E–W extension of the plateau also affects the N–S–trending fault belt.

Key words: Qinghai–Tibet Plateau; gravity and magnetic anomalies; division in the east–west direction; characteristics of N–S–trending structure

About the first author: XUE Dian–jun, male, born in 1964, PhD and professor; specializes in airborne geophysics and software development; E–mail: djsxueags@163bj.com.