

青藏高原中部北北东向 深部负磁异常带的成因及其意义

周伏洪,姚正煦,刘振军,张永军

(中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083)

摘要:根据最新测量获得的青藏高原中西部航磁异常图,经不同高度向上延拓后,发现在测区东部,即青藏高原中部自柴达木向西南延伸的广大地区,出现一条极为明显的北北东向负磁异常带。从对航磁区域场的分析,并结合人工地震、重力计算莫霍面深度、热水活动、最新火山岩活动、地貌特征和天然地震活动等多种资料的解释,认为负异常带是由于深部热流沿北北东向上升引起局部岩浆熔融,使上地壳下部具有较高的地温,导致磁性层底部消磁作用的结果。与此同时也加快了青藏高原隆升的幅度,为高原形成和演化的研究提供了新的证据。

关键词:负磁异常带,青藏高原,深部热流,消磁作用

中图分类号:P631 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2002)01-0012-05

近年来,为贯彻中央关于加快我国中西部地区发展的指示精神,提高国土研究程度,由中国国土资源航空物探遥感中心在青藏高原中西部地区开展了 1:100 万航磁概查,填补了我国西部地区的航磁最大空白区。根据最新获得的航磁资料,经与相邻地区以往航磁资料编图结果对比,发现在青藏高原中部有一条明显的北北东向负磁异常带,随着磁场向上延拓高度的增加变得更为突出。它与这一地区总体呈东西走向的原平面磁异常截然不同,这在其它地区的磁异常图中是并不多见的现象。作者针对青藏高原这一地球物理现象进行探讨,解释它的成因和意义。

1 立交桥式的磁异常结构

青藏高原中西部测区内的航磁异常具有明显的南北分带特征:测区最南部喜马拉雅山北坡地区,为平静的负异常;向北在冈底斯山、念青唐古拉山一带为近东西走向强度较大、梯度剧烈变化的正负磁异常带;再向北,羌塘地区为具有一定强度的北东走向和东西走向局部磁异常组成的块体;继续向北,在可可西里地区为强度很弱梯度极为平静的近东西走向磁异常带;稍北至东昆仑和祁漫塔格山地区,为具有一定强度的东西和北西走向磁异常带;在西昆仑和阿尔金山一带为强度很大、梯度剧烈变化的线性磁异常带;介于阿尔金和祁漫塔格山之间的柴达木盆地为

平静负异常,最北塔里木盆地为强度很大的宽缓正异常。航磁异常所反映的这种特征正好与目前所认识的这一地区板块构造格局是完全一致的。

青藏高原中西部总体磁异常走向为北西西—东西走向,航磁反映无论是磁异常分区或规模较大磁异常带均为近东西走向,磁异常的这种特征显然是客观地反映了高原各块体的构造走向。

根据航磁不同高度上延图,随着上延高度的增加,在测区最东部自柴达木向西南延伸的广大地区出现一条北北东向的负磁异常带(图 1),这一负磁异常带东西宽可达 300~400 km,南北长则纵贯整个高原,可达 1 200 km 以上。而在原平面图上,这一北北东向的区域负磁异常背景上一些浅层局部磁异常又显示为北西西—东西走向,与高原的区域构造走向一致,在东昆仑中段、可可西里、羌塘东等地均有清晰反映,形成类似于立交桥式的磁异常结构。这是在其它地区很少见到的。这种独特的地球物理现象可能仅在青藏高原中部出现。负异常表明高原中部为弱磁性基底组成的塑性块体,也显示了深部可能是北北东向构造,与浅层的北西西—东西向构造完全不同。造成这种深浅层构造方向截然不同的原因是什么呢?我们认为主要是由于晚近地质时期,深部热流沿北北东方向上升引起磁性层底部部分消磁作用的结果。

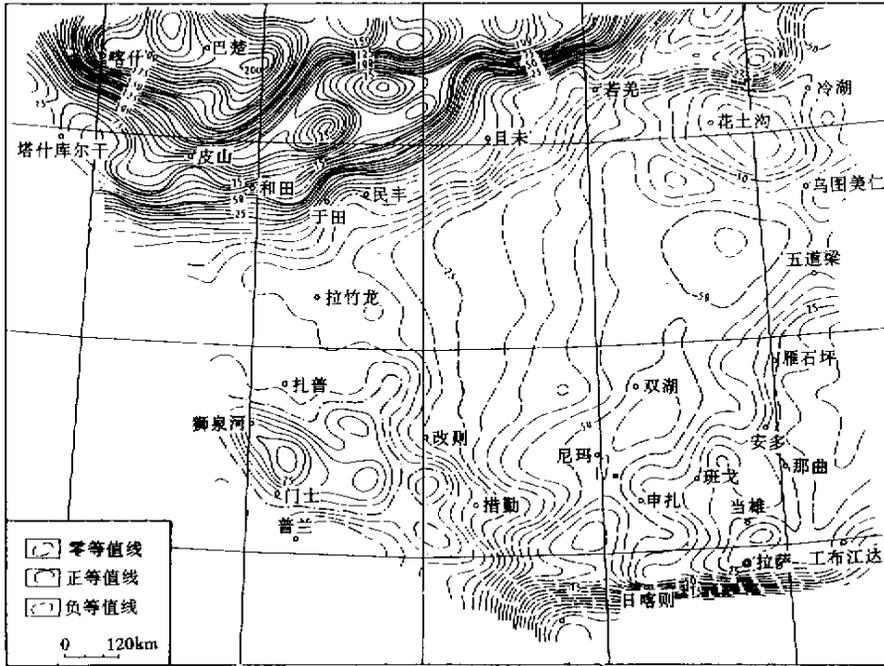


图 1 青藏高原中西部及邻区航磁上延 50 km 异常(单位 nT)

2 北北东向负磁异常带成因探讨

2.1 影响区域磁异常强弱的主要因素

影响一个地区磁异常的强弱有 2 个因素,一个是异常源本身的磁性强弱,另一个是异常源埋藏深度。对航磁区域磁异常来说,磁源深度的变化对异常影响不大,如测区东部安多北五道梁地区背景磁异常强度原平面为 -40 nT,上延 10 km 后则为 -45 nT,再如可可西里湖地区原平面磁异常图为 -60 nT,上延 10km 后为 -65 nT,而上延 20 km 后则仍为 -65 nT。看来区域异常的强度跟磁性层深度变化的关系是较小的。因此我们认为北北东向负磁异常带的出现并不是磁性层埋藏深度加大引起,况且根据磁异常深度计算,负磁异常带又正好处于磁性基底隆起部位,所以推测它主要应与岩石磁性变化有关。根据区域磁异常的反映青藏高原内部各块体基本上为弱磁性,一般沿走向磁性不会有太大的变化,而如今这种沿块体走向磁性的突然变弱,较为合理的解释是存在有局部地段的消磁现象,即很可能是地壳下部受热,磁性层底部抬高变薄的结果。

2.2 人工地震剖面的证据

根据中法合作亚东—格尔木地震剖面中安多南的一条东西向短剖面资料(韩同林,1987),正好横切这一北北东向负磁异常地区,发现位于上地壳内出现有一个低速层隆起,认为是花岗岩浆的熔融体,这可能是地壳内热流较高引起消磁作用的直接原因。

据实验资料证明,花岗岩熔点为 $(950 \pm 50) ^\circ\text{C}$,当压力为 385 Pa 时,花岗岩熔浆的流动性在 $575 ^\circ\text{C}$ 就非常显著,而在 $700 ^\circ\text{C}$ 时则呈完全流动状态。所以当花岗岩浆在熔融状态时,完全可达到或超过铁磁性矿物的居里点温度 $(580 ^\circ\text{C})$,因而失去磁性。

上述东西向剖面总长约 500 km(图 2),西起色林错,向东经蓬错、那曲至雅安多。探测结果表明,

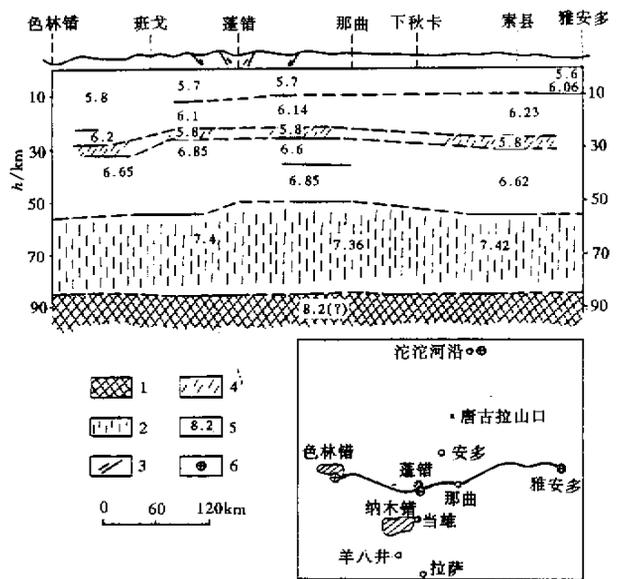


图 2 西藏色林错—雅安多一带地壳、上地幔结构与速度分布
1—上地幔 2—壳幔过渡层 3—活动断裂 4—低速层 5—层速度;
6—炮点(右下图为剖面位置,据韩同林,1987)

莫霍面反射波组并不十分清晰,能量不强,地壳厚50~55 km,平均速度为6.2~6.3 km/s,同时在50~55 km之下至80 km左右,还存在着层速为7.57 km/s的壳幔过渡层,过渡层底界速度为8~8.2 km/s。从色林错至雅安多近500 km剖面上,地壳结构有较明显变化,雅安多和色林错东西两侧地壳厚度为56 km,而剖面中部蓬错地壳厚为52 km(韩同林,1987)。由上可以看出,在蓬错附近形成一个巨大的

隆起区,并在地壳深约27 km处有厚约5 km的低速层存在,这也正好是航磁计算磁性层底界的深度(图3)。据研究蓬错附近活动构造主要表现为近南北方向,以张性为主的断裂带、断陷带和隆起带组成,地震活动十分频繁和强烈,据断裂带的力学性质分析,蓬错一带正好是处于东西方向强烈拉伸的张性地带。这一壳幔过渡层的隆起正好横跨负磁异常带,也说明负磁异常带所处的部位可能较东西两

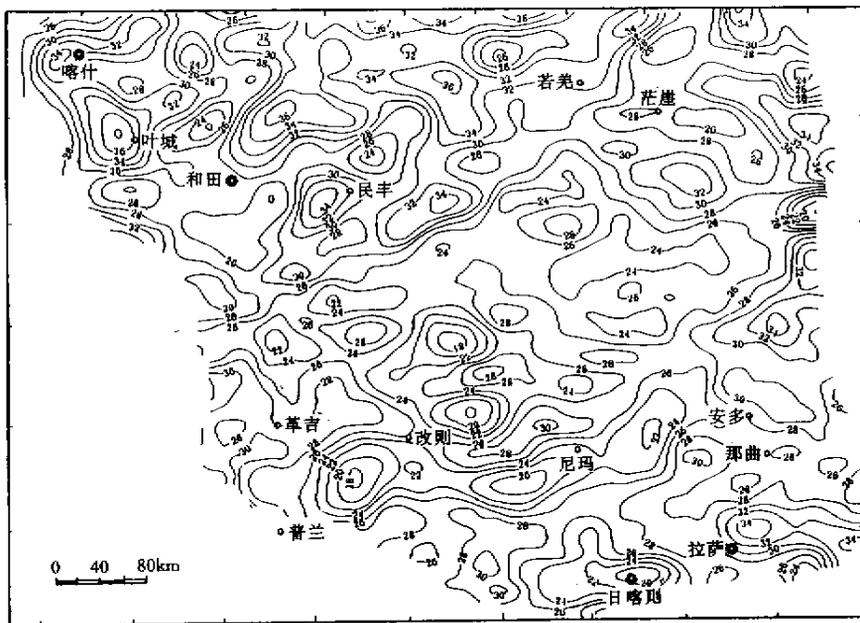


图3 青藏高原西部及邻区磁性层底界深度(等深线单位 km)

侧有较高的热流,致使岩石发生局部消磁作用。

潘裕生等(1999)认为上部地壳中存在着波速为5.6~5.8 km/s的低速层,厚度为4~7 km。低速区埋深约20 km,在横向上分布极不均匀,从雅安多向西连续延伸至班戈附近消失,低速区的上下界面不十分明显,主要通过地震折射和反射波拟合,周围速度为6.2 km/s。从现有地震剖面看,似乎有的地方南北向低速层分布要比东西向的连续性好。但对整个西藏地区来说,低速层的存在不具有普遍性,局部可能缺失。上地壳内的低速层和电性高导层的埋深,通常是一致的,有的可能属部分熔融区。但对于广泛分布的低速层,更可能是脆弱的构造层,即由于构造活动产生破碎而形成的壳内剪切带。该低速层与上地壳中的断裂构造有密切关系,低速层往往由于断裂构造影响而消失或发生变化。在构造强烈活动地区,地壳深部物质可能通过构造通道侵入到上地壳中,这种热物质与西藏地表地热活动与地壳浅部热构造有密切关系,如羊八井的强烈地热活动区、羊卓雍错高热流区以及其它水热活动带,表明了高

原地区上地壳内有异常热源。在下地壳中也探测到波速倒转现象,表明在40 km深度附近有一个贯穿整个剖面的低速层,厚约6 km,速度6.1 km/s。大地电磁测深结果,也发现下地壳中有低阻层。

2.3 莫霍面深度的差异

根据已知人工地震测定的地壳厚度和布格重力异常的关系,对青藏高原及其周边地区莫霍面深度

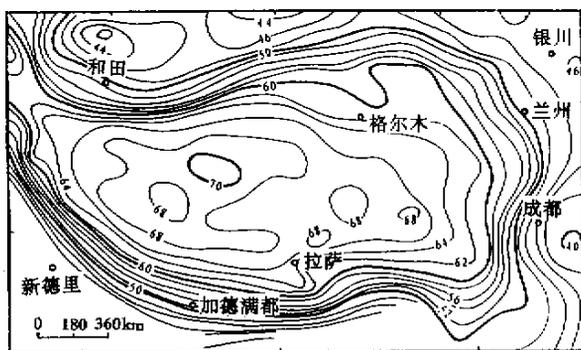


图4 青藏高原莫霍界面深度 (据周姚秀,1984;单位 km)

推算结果,青藏高原内部虽然为一东西向的巨大上地幔拗陷区,但在内部仍然可能存在有不同的差别(图4)。图中以格尔木至拉萨的北北东向一线,似乎显示出有一条相对较高的地幔隆起带,大致对应于航磁深部北北东向的负磁异常带。莫霍面深度图显示,格尔木—拉萨以西莫霍面深度可达 68~70 km,为次一级的深凹陷,而以东为几个局部小凹陷,深度 68 km,中间北北东向一线,深度为 66 km,表明北北东向这一线对东西两侧深部构造具有一定的分割作用。

2.4 热水分布

虽然青藏高原总体地温以安多为界,具有南高北低的特征,这显然是受雅鲁藏布江缝合带和冈底斯岩浆弧的影响。但根据温泉分布资料,负异常与东西两侧之间地温还是有差别的。在安多以北负磁

异常所处部位有 80~100℃ 的热水泉分布,而东西两侧未发现有热水泉,说明负磁异常带所处部位有较高的地温。

2.5 最新火山活动

根据航磁局部磁异常结合地质资料的推断,在安多以北深部负磁异常背景上发育有强度不大而梯度剧烈变化的众多局部磁异常,它们有可能是第三纪—第四纪火山岩的反映(图5),说明这一地区最新火山活动较为强烈,因而造成地温较高,有可能使底部磁性层局部消磁。

2.6 地貌特征

这一北北东向的负磁异常带正好是高原地形较高的地带,是高原面较为完整的地区,又是高原湖泊较为集中的地区,说明上述北北东向深部热流上升所形成的隆起是最新构造活动的迹象。

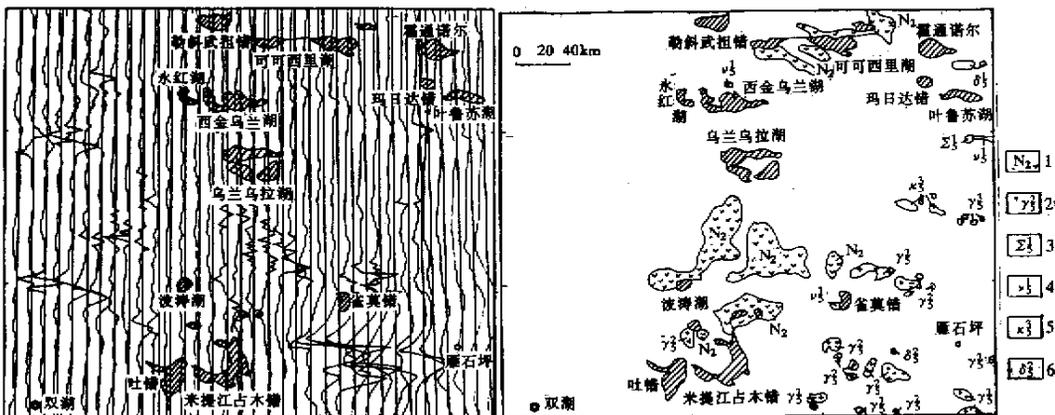


图5 青海乌兰乌拉湖地区航磁局部异常(左)和火山岩(右)对比

1—火山岩及时代 2—花岗岩及时代 3—超基性岩及时代 4—辉长岩或基性岩体及时代 5—碱性岩及时代 6—中性岩及时代

2.7 地震活动

根据青藏高原地震活动的震中分布,从格尔木向南经安多、那曲至江孜一线,有明显的北北东向地震活动带,规模较大的地震活动就发生在航磁深部负磁异常带处,说明此带地震活动频繁的原因与深部热流上升引起的构造活动密切相关。

2.8 火山岩捕虏体研究

据最新报道,Bradley R. Hacker 等^[4]对青藏高原中部分火山岩及其捕虏体的研究,认为它们的时代为 3 Ma,来自地壳深部 30~50 km,形成温度为 800~1 000℃。它们的深度上限与磁性层底界的深度基本相当,所具有的温度完全能使磁性层底部产生消磁作用。

所以各种资料都表明了深部负磁异常带所处部位要比东西两侧具有较高的地温,尽管这种热的来源有各种不同看法,但对于这一地区地壳下部具有

较高的温度是客观的事实。也有人认为高原的地温是以安多为界具有明显的南高北低的分带特征,而不是东西的差别。我们认为,由于受到雅江缝合带的影响,高原地温南北分带是显而易见的,但这并不能说明高原东西方向不会有这样的差别,航磁深部异常的显示正好反映了这种差异。

3 结论

从以上分析,我们认为青藏高原中部出现的北北东向负磁异常带可能是地壳深部热流上升的结果。反过来,负磁异常带的分布范围和走向也就提供了我们对深部热流活动的规模和动向的了解。地壳深部热流的活动,可能是由于印度板块持续向北挤压的结果,初期的挤压造成了各地块南北方向缩短而东西方向拉长,而当这种挤压使南北方向无法进一步缩短时,会造成深部沿北北东方向的张裂或

形成深部层间剪切带,深部热流沿构造通道上升,使局部岩浆熔融,致使上部地壳具有较高的地温。与此同时也加快了青藏高原隆升的幅度,由于负磁异常带正好处于高原中部,也就使高原受到整体隆升。所以负磁异常带的形成是青藏高原受热隆升的一个有力证据,对高原隆升的探讨具有重要意义。

参考文献:

[1] 韩同林. 西藏活动构造[A]. 地质专报 构造地质、地质力学,

第4号[C]. 北京:地质出版社,1987.

[2] 孙鸿烈,潘裕生,孔祥儒,等. 青藏高原岩石圈结构演化和动力学[M]. 广州:广东科学技术出版社,1999.

[3] 青海省地矿局. 青海省区域地质志[M]. 地质出版社,1991.

[4] Hacker B R, Gnos E, Ratschbacher L, et al. Hot and dry deep crustal xenoliths from Tibet[J]. Science, 2000, 287: 2463 - 2466.

[5] 钱辉,姜枚,宿和平,等. 中国天然地震探测深部构造的研究现状与发展[J]. 物探与化探, 2000, 24(1): 1 - 6.

[6] 孟令顺,齐立,高锐,等. 青藏高原北缘重力场研究[J]. 物探与化探, 1998, 22(3): 183 - 190.

THE ORIGIN AND IMPLICATION OF THE NNE-TRENDING DEEP NEGATIVE MAGNETIC ANOMALY ZONE IN CENTRAL QINGHAI-TIBET PLATEAU

ZHOU Fu-hong, YAO Zheng-xi, XUE Dian-jun, LIU Zhen-jun, ZHANG Yong-jun
(China Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: The different-altitudes upward continuation of the recently-surveyed aeromagnetic anomalies in central and western Qinghai-Tibet plateau revealed an extremely distinct NNE-trending negative magnetic anomaly zone in the eastern part of the surveyed area, i. e., in the vast area extending from Qaidam southwestward within central Qinghai-Tibet plateau. According to an analysis of the aeromagnetic regional field in combination with man-made earthquake, Moho depth calculated by gravity, hydrothermal activity, recent volcanic activity, morphologic characteristics and natural seismic activity, it is held that the upward migration of deep heat flow in NNE direction caused local melting of magma and hence the rising of geotemperature in the lower part of the upper crust, which led to the demagnetization at the bottom of the magnetic bed, the appearance of negative magnetic anomalies, and the acceleration of the uplifting of Qinghai-Tibet plateau. All this has provided new evidence for the study of the formation and evolution of the plateau.

Key words: negative magnetic anomaly zone; Qinghai-Tibet plateau; deep heat flow; demagnetization.

作者简介:周伏洪(1937 -)男,浙江东阳人,1961年毕业于南京大学区域地质专业。现就职于中国国土资源航空物探遥感中心,教授级高级工程师,长期从事航空物探资料的解释和研究工作,发表论文20余篇。

(上接5页)

THE ADVANCES IN AIRBORNE GEOPHYSICAL SURVEY IN THE PERIOD OF THE NINTH FIVE-YEAR PLAN

XIONG Sheng-qing

(China Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center For Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper has given a brief review of the general conditions, the main technological development and the application results of airborne geophysical survey in departments of national land and resources during the period of the Ninth Five-Year Plan, and made an analysis and prognosis of the further development trend of airborne geophysical exploration in China.

Key words: aerogeophysical survey, technological development.

作者简介:熊盛青(1963 -)男,博士,教授级高级工程师,现任中国国土资源航空物探遥感中心副主任、总工程师,曾发表30余篇论文,专著数部。

万方数据