

文章编号:1008-0058(2000)02-0180-05

青藏高原北缘重力场特征与深部地壳构造

孟令顺¹,崔军文²

(1. 长春科技大学 地球探测与信息技术学院, 吉林 长春 130026; 2. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘要:以老茫崖—阿尔干和格尔木—额济纳旗 2 条 1 50 万实测重力剖面数据为基础,研究了青藏高原北缘的重力场特征,划分了 5 个地质构造单元,计算并分析了研究区 Airy 均衡异常,推测阿尔金断裂带和北祁连断裂带为青藏高原北缘的动力边界。

关键词:青藏高原北缘;重力场;均衡异常;地壳构造;莫霍界面

中图分类号:P631.1

文献标识码:A

1 概 述

位于青藏高原后陆部位的高原北缘,包括阿尔金山、祁连山和昆仑山及其间的柴达木盆地和塔里木盆地南缘。该区以强烈新生代变形^[1-3]、复杂的

变形机制(逆冲-推覆、走滑、伸展和旋转^[4])、典型的盆-山构造格局和青藏高原同步隆升为基本构造特征。中生代变形和动力学特征可将其划分为阿尔金断裂系、东昆仑-祁连走滑-逆冲区和塔里木南缘-西昆仑逆冲-叠覆区等3个部分(图1a)。

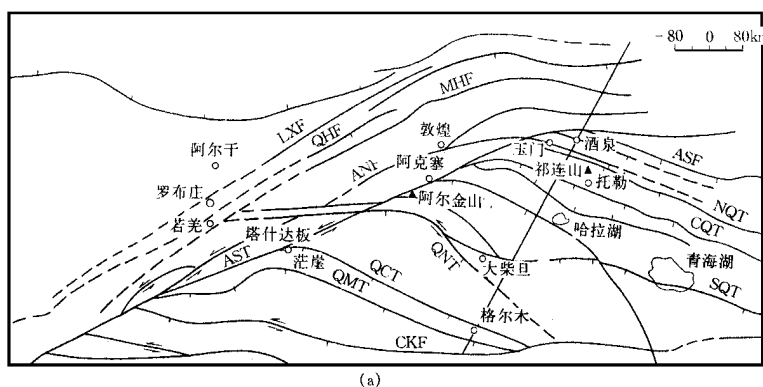
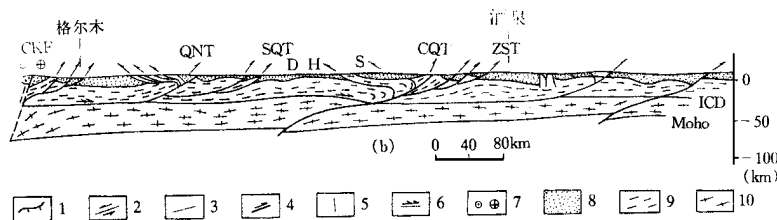


图 1 青藏高原北缘构造简图(a)和构造剖面图(b)

Fig. 1 Sketch map of the northern margin of Qinghai - Tibet plateau (a) and its tectonic section (b)

(a): 1. 冲断裂; 2. 左行走滑断裂; 3. 正断裂或陡倾断裂; (b): 4. 冲断裂; 5. 正断裂; 6. 拆离层; 7. 左行走滑断裂; 8. 沉积盖层; 9. 上地壳结晶岩系; 10. 下地壳; AST. 阿拉善南缘冲断裂; NQT. 北祁连冲断裂; CQT. 中祁连冲断裂; SQT. 南祁连冲断裂; QNT. 柴达木北缘冲断裂; QCT. 柴中冲断裂; QMT. 祁漫塔格冲断裂; CKF. 中昆仑断裂; ASF. 阿尔金南缘断裂; ANF. 阿尔金北缘断裂; MHF. 米兰-红柳园断裂; QHF. 且末-黑尖山断裂; LXF. 罗布庄-星星峡断裂; ICD. 壳内拆离层; D. 党河盆地; S. 疏勒河盆地; H. 哈拉湖盆地



收稿日期:1999-08-25

作者简介:孟令顺,男,1946年生,教授,主要从事固体地球物理学方面的研究。

本文英文稿刊登在《Continental Dynamics》1997年第2卷第1期,本次发表稍加改动,参加本项研究工作的还有高锐、齐立及管烨等。

散布在塔里木盆地和柴达木盆地间一系列近于直立北东走向的断裂,统称为阿尔金断裂系,由阿尔金南缘断裂(ASF)、阿尔金北缘断裂(ANF)、米兰—红柳园断裂(MHF)、且末—黑尖山断裂(QHF)和罗布庄—星星峡断裂(LXF)等5条断裂组成(图1a)。前两条断裂为断裂主体,可称为阿尔金断裂带。阿尔金断裂带构成青藏高原与塔里木盆地、阿尔金山和祁连山、东昆仑山和西昆仑山的构造地貌边界。

东昆仑—祁连走滑—逆冲区,发育一系列北西走向、向南倾斜的弧形走滑—逆冲断裂,剖面上是呈上叠式(图1b)。根据逆冲断裂的剖面组合,可划分走廊南缘—中祁连和南祁连—柴达木北缘等2个上叠式逆冲序列。它们分别对应后陆的2条主要陆内俯冲带:祁连俯冲带和昆仑俯冲带。弧形逆冲断裂内侧发育滞后伸展型构造盆地和反向倾斜的逆冲断裂,组成醒目的盆山构造(图1b)。处于上叠式逆冲序列峰带的北祁连和柴达木北缘由于强烈构造变形、广泛出露深源岩石,而内带的中南祁连和柴达木盆地则以新生代盆地为主,发育巨厚的沉积地层。

塔里木南缘—西昆仑逆冲—叠覆区以西昆仑山前强烈拗陷和近于东西向逆冲、叠覆作用为基本构造特征。

2 重力场特征

研究区内异常总体呈东西走向,但阿尔金南缘断裂两侧差别较大,西侧呈北东东—东西向,东侧呈北西西向,且都表现出有多组大型断裂带存在的重力异常梯度带形式。这种区域布格重力场是深部地质构造和物质分布不均一性的反映,结合区域构造资料^[5-8],可将本区划分为柴达木盆地、中南祁连地体、北祁连地体、阿尔金断裂和柴达木盆地等5个地质构造单元,彼此以断裂为界(图1a)。各单元的重力场特征如下。

柴达木盆地 北界为阿尔金南缘断裂和柴达木北缘冲断裂。重力场变化平缓,但有西高东低的变化趋势。异常总体呈东西走向,以格尔木—大柴旦公路为界,东部重力场平缓,异常值平均为 $(-390 \sim -400) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,西部为 $(-400 \sim -420) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,说明盆地基底东浅西深。从异常形态看,柴达木盆地及其周边诸山是一个相对稳定的地块。

中南祁连地体 以柴达木北缘冲断裂和中祁连冲断裂为南、北边界的中南祁连地体,重力场具有明显的不均一性。位于地体北部的大雪山、疏勒南山,异常总体呈北西西走向的梯度带,异常变化范围为 $(-370 \sim -435) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,而变化梯度达 $1.5 \times 10^{-8} \text{ s}^{-2}$ 。地体中部党河南山、哈拉湖盆地重力场平缓,但具有西高东低的变化趋势,异常值在 $-450 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 左右变化,为青藏高原北缘的最低异常区。柴达木北缘断裂带重力场表现为从南到北逐渐降低的大梯度带,梯度变化达 $1 \times 10^{-8} \text{ s}^{-2}$ 。区内断裂除大雪山—疏勒南山冲断裂向北东倾斜,倾角约 $50^\circ \sim 70^\circ$ 外,中祁连冲断裂和柴达木北缘冲断裂均属向南西中等—高角度倾斜的冲断裂。

北祁连地体 位于阿拉善南缘冲断裂和中祁连冲断裂的北祁连地体,以北祁连冲断裂为界可划分北祁连和走廊盆地两个重力区,重力场均表现为北西西走向、南陡北缓的大梯度带。北祁连的异常梯度达 $1.3 \times 10^{-8} \text{ s}^{-2}$,走廊盆地的异常表现从南部的 $-300 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 上升到北部的 $-210 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的大梯度带,梯度最大可达 $2 \times 10^{-8} \text{ s}^{-2}$ 。异常形态显示区内冲断裂均向南高角度倾斜。

阿尔金断裂系 异常呈北东东—东西向分布,异常变化范围为 $(-200 \sim -335) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。在米兰—红柳园断裂和罗布庄—星星峡断裂、阿尔金南缘断裂和阿尔金北缘断裂位置上出现二条异常梯度带,梯度值达 $1 \times 10^{-8} \text{ s}^{-2}$ 。在米兰—红柳园断裂和阿尔金北缘断裂间异常平缓、开阔。根据异常形态分析,米兰—红柳园断裂、且末—黑尖山断裂和罗布庄—星星峡断裂近于直立,断距约0.5 km,而阿尔金南缘断裂和阿尔金北缘断裂为向南东中等倾斜的逆冲断裂,断距约为3 km。

塔里木盆地 罗布庄—星星峡断裂以北的塔里木盆地重力场平缓,平均只有 $-100 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 左右。但盆地边缘异常则表现出梯度带形式。

3 重力均衡异常的分析

采用 Airy 均衡模式,对二条剖面分别计算了30 km和60 km两个补偿深度的均衡异常,见图2、图3。

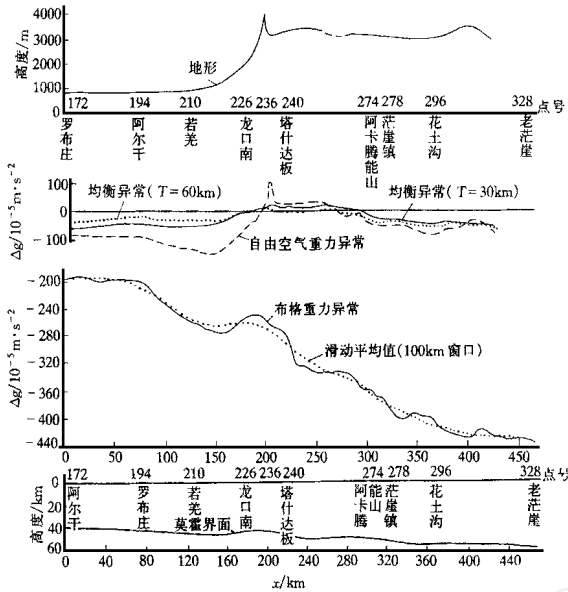


图 2 阿尔干—老茫崖剖面重力异常与莫霍界面深度图
Fig. 2 Gravity anomaly and Moho depth along the Argan-Lamangai profile

利用均衡异常研究均衡信息主要是研究均衡失调与地壳演化和新构造运动的关系。由于均衡恢复时间一般为 $10^3 \sim 10^5$ a, 所以均衡异常地区就是新构造运动发育地区。

从图 2、图 3 中看出, 柴达木盆地与塔里木盆地存在 $(-50 \sim -70) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的均衡异常, 分析与青藏高原后陆部位上地壳和下地壳间(沿壳内拆离层)强烈拆离(图 1b)和深部物质向北逆冲扩展^[9]导致的盆地相对拗陷和盆缘山系的强烈逆冲、推覆作用有关, 拗陷区接受沉积造成质量亏损, 而逆冲、推覆区强烈上隆。钻孔资料证实, 柴达木盆地新生代以来的沉积地层平均厚度 $8 \sim 10 \text{ km}$ ^[7]。如沉积密度比均衡改正密度 $(2.67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)$ 低 $0.15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 用无限大平板公式计算可得 $-63 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 均衡异常。去掉这一数值, 负均衡异常便基本消失。塔里木盆地与此情况类似, 所以二盆地出现的负均衡异常主要是沉积加厚所致。按均衡理论, 该地区受均衡调整力作用应上升, 但由于深层拆离和逆冲扩展作用大于均衡调整作用, 后者作用不占主导, 所以, 目前该区仍以拗陷或构造沉积作用为主^[10]。

Artemiev M E. Territorial isostatic. USSR (in Russian), 1975.

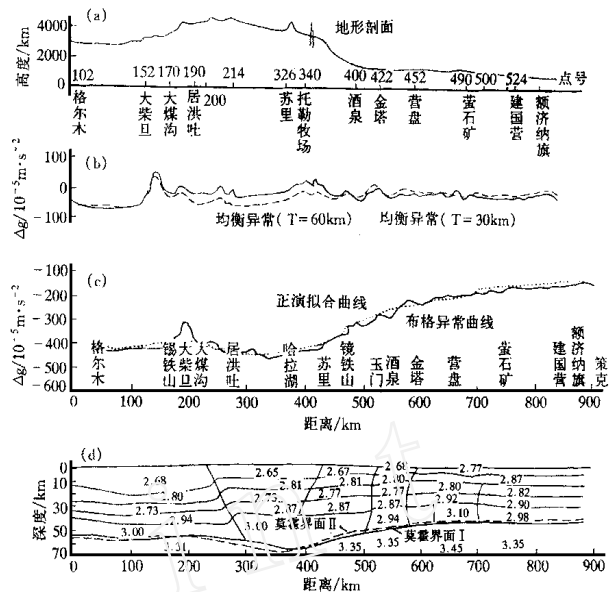


图 3 格尔木—额济纳旗剖面重力异常、莫霍界面深度及重力-地震联合反演地壳密度模型

Fig. 3 Gravity anomaly (a - c) Moho depth along the Golmud - Ejin Qi transect, with a crustal density model from gravity - seismic joint inversion (d)

图 d 中, 代表重力-地震联合反演的莫霍界面; 代表利用重力异常计算的莫霍界面; 数值代表密度, 单位: 10^3 kg/m^3

塔里木盆地补偿深度为 30 km 的异常低于 90 km 的异常近 $20 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 而柴达木盆地两种补偿深度的异常值相当。说明二盆地在 30 ~ 60 km 深度之间物质密度不同, 塔里木盆地密度偏大, 而柴达木盆地密度偏小。推测与两盆地的地壳厚度和莫霍界面形态有关。柴达木盆地的地壳厚度为 55 km, 盆地中部莫霍界面微微向上隆起, 而塔里木盆地地壳厚度仅 45 km^[10], 可见 60 km 的补偿深度已远超过塔里木的莫霍界面深度, 而接近于柴达木莫霍界面深度 (53 ~ 58 km)。所以造成塔里木在 30 ~ 60 km 深度物质密度大于柴达木的。

阿尔金山与祁连山地区存在低缓正均衡异常。30 km 补偿深度的异常二者平均都为 $(15 \sim 20) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$; 60 km 补偿深度的异常平均为 $(-5 \sim 5) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。随着均衡深度的增加, 异常值明显降低, 说明引起正均衡异常的剩余质量主要来自地壳上部, 与山根形态无关。反映出二地区都具有正常的山根。从地壳上部剩余质量的产生, 可推测由于阿尔金山和祁连山均处于青藏高原后陆逆冲扩展峰带^[9]的位置上, 造成深源物质沿断裂上涌到地壳上

部形成高密度体,使地壳上部岩石的平均密度偏大,出现正均衡异常。

两种均衡深度计算的异常在阿尔金山与祁连山地区变化趋势完全一致,说明同处于青藏高原北部边界的二地区,无论在地壳结构和物质密度分布上,都具有相同的特点。

南祁连哈拉湖地区出现平均 $-40 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的均衡异常,且补偿深度 60 km 的异常低于 30 km 的异常近 $25 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,同样与该区的深部构造和变形特征有关。地球物理资料^[10~13]表明中南祁连处于祁连陆内俯冲带的前锋部位或根部,塔里木板块向祁连山体的俯冲,造成中南祁连地壳加厚和莫霍界面错断^[9],根据布格异常计算的地壳最大厚度达 65 km。与下地壳南向俯冲相反,上地壳则表现为沿走廊带至北祁连的一系列逆冲断裂由南向北逆冲、推覆,造成地壳上部物质向北扩展且相对拗陷,堆积巨厚新生代沉积,如哈拉湖盆地中,上新世沉积厚度达 5 000 m。巨厚的新生代沉积造成上地壳平均密度偏低,这是导致 30 km 负均衡异常的主要原因。而 60 km 的负均衡异常则与上地壳质量亏损和塔里木板块俯冲造成的下地壳加厚两种因素有关。

4 莫霍界面深度的计算

利用重力异常计算了阿尔干—老茫崖莫霍界面深度,结果见图 2。计算中,为消除地壳浅部物质密度不均匀体的影响,对布格异常进行了 100 km 窗口滑动平均处理。然后利用 Parker - Oldenburg 方法^[14,15]正反演拟合,求出莫霍界面深度。计算中取若羌点数据^[16](莫霍界面深度 45 km,相应布格异常 $-257 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$)作为反演控制条件,结果是阿尔干最浅,39 km;向南逐渐加深,到若羌东达到 45 km;阿尔金山地区莫霍界面表现为大梯度带,莫霍面从西部的库木达坂 41 km,向东南急剧加深,到阿卡腾能山为 48 km。再向东南至柴达木盆地的老茫崖,莫霍界面平缓加深到 52 km。

采用重力-地震联合反演方法计算了格尔木—额济纳旗剖面的地壳结构(图 3)。崔作舟等^[13]提供了地壳结构初始模型,利用纵波速度 v_p 与密度的经验转换公式^[17],赋予地壳结构及上地幔每一块体(共分 5 层 28 块)一定的密度值。计算中,采用嘉峪关点资料^[18](莫霍界面深 50 km,布格异常 $-300 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$)进行控制,并主要修改了哈拉湖地区

莫霍界面及地壳各层可能变化的厚度及密度,最终达到预期的拟合效果。结果是:柴达木盆地南部(格尔木)58 km,中南祁连哈拉湖地区最深可达 65 km,祁连山地区莫霍界面形态与西部阿尔金地区相对应,同样表现出从南部苏里的 58 km 向北急剧变浅到酒泉 48 km 的大梯度带。图 3 中还可明显看出该区上地幔密度横向变化的特点:中祁连断裂以南 $3.31 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,以北平均 $3.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,金塔、鼎新一带最大可达 $3.45 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

重力异常资料表明,阿尔金山和祁连山地区存在向北突出的弧形莫霍界面大梯度带,其形态和该区断裂构造展布及构造地貌形态完全相似。与阿尔金山重力梯度带和祁连山重力梯度带相对应的地表断裂分别为近于直立的阿尔金北缘—阿尔金南缘断裂带及向南中部陡倾斜的走廊南缘—北祁连逆冲断裂带,断裂带内广泛发育上新世以来逆冲叠覆作用和走滑作用^[9],与青藏高原急剧隆升时期(上新世以来)完全一致,说明上述断裂或断裂带应为青藏高原北缘的动力边界。

5 结 论

(1)按重力场特征,可将青藏高原北缘划分为柴达木盆地、中南祁连地体、北祁连地体、阿尔金断裂系及塔里木盆地等 5 个地质构造单元,它们之间以大型断裂为界。

(2)柴达木盆地与塔里木盆地存在 $-70 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的均衡异常,主要是由南往北逆冲扩展造成地壳拗陷和沉积加厚所致;哈拉湖盆地存在 $-40 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的均衡异常,是由于地壳上部拗陷、沉积和下部陆壳同时加厚引起;阿尔金山和祁连山地区由于处于逆冲扩展的锋部,深部物质沿断裂上涌到地壳上部形成高密度体,使上地壳密度偏大、出现剩余质量,引起这二地区存在 $15 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 的正均衡异常。该异常与山根形态无关。

(3)全区莫霍界面深度平均 50 km。最深处位于哈拉湖盆地可达 65 km,酒泉 48 km,柴达木西部老茫崖 52 km,南部格尔木地区 58 km,塔里木东部阿尔干最浅,只有 39 km,若羌 42 km,阿尔金山和祁连山地区莫霍界面都处在由深变浅的大梯度带(即变异带)上。

(4)北祁连断裂带是青藏高原北缘的东北动力边界,而西北动力边界应为阿尔金断裂带。

参考文献:

- [1] Molnor P, Burchfiel B C, Zhao Ziyun, et al. Geologic evolution of northern Tibet results of an expedition to Uluh Muztagh[J]. Sciences, 1987, **235**:299 ~ 305.
- [2] Zheng Jiandong. Significance of the Altun Tagh fault of China[J]. Episodes, 1991, **14**(4):307 ~ 312.
- [3] 崔军文, 邓晋福, 唐哲民, 等. 青藏高原北缘变形动力学研究的一些新认识[J]. 中国地质科学院院报, 1994, **29**:145 ~ 146.
- [4] Cui Junwen, Xu Zhiqin. The Tethyan Himalayan orogenic complex[J]. Continental Dynamics, 1996, **1**(1):20 ~ 29.
- [5] 中华人民共和国地质矿产部. 区域重力调查技术规定[M]. 北京:地质出版社, 1983. 30 ~ 32.
- [6] 左国朝, 何国琦. 北山板块构造及成矿[M]. 北京:北京大学出版社, 1990. 2 ~ 5.
- [7] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991. 542 ~ 570.
- [8] 崔军文, 朱红, 武长得, 等. 青藏高原岩石圈变形及其动力学[M]. 北京:地质出版社, 1992. 66 ~ 74.
- [9] Cui Junwen. Lithospheric fabric of the Qinghai - Tibet plateau[J]. Proceedings of the 30th International Geological Congress, VSP, Utrecht, The Netherlands, 1997, **6**:141 ~ 153.
- [10] 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.
- [11] 孟令顺, 管焘, 齐立, 等. 格尔木—额济纳旗地学断面及邻区重力场与深部地壳构造[J]. 地球物理学报, 1995, **38**(增刊):36 ~ 45.
- [12] 朱仁学, 胡祥云. 格尔木—额济纳旗地学断面岩石圈电性结构的研究[J]. 地球物理学报, 1995, **38**(增刊):46 ~ 57.
- [13] 崔作舟, 李秋生, 吴朝东, 等. 格尔木—额济纳旗地学断面的地壳结构与深部构造[J]. 地球物理学报, 1995, **38**(增刊):15 ~ 28.
- [14] Parker R L. The rapid calculation of potential anomalies[J]. Geophys J R Aster Soc, 1972, **37**:447 ~ 455.
- [15] Oldenburg D W. The inversion and interpretation of gravity anomalies[J]. Geophysics, 1974, **39**(4):526 ~ 536.
- [16] 马杏垣主编. 中国岩石圈动力学地图集[M]. 北京:中国地图出版社, 1992.
- [17] 孟令顺, 高锐, 等. 青藏高原重力测量与岩石圈构造[M]. 北京:地质出版社, 1992. 16 ~ 30.
- [18] 国家地震局《深部物探成果》编写组. 中国地壳上地幔地球物理探测结果[M]. 北京:地震出版社, 1986. 232 ~ 241.

STUDY ON THE GRAVITY FIELD AND DEEP - SEATED CRUSTAL STRUCTURE AT THE ALTUN MTS - THE QILIAN MTS AREA

MENG Ling-shun¹, CUI Jun-wen²

(1. Changchun University of Science and Technology, Changchun 130026, China;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences (CAGS), Beijing 100037, China)

Abstract :Based upon the 1 500 000 gravity profiles of Laomangai - Argan, a study has been made on the gravity field features of the Qinghai - Tibet plateau's north margin. This area can be divided into five geotectonic units. The Airy isostatic anomaly in this area has been calculated and analyzed. It is speculated that the Altun and the North Qilian fault zone are considered to be the dynamic boundary of the northern margin of the Qinghai - Tibet plateau.

Key words :Qinghai - Tibet plateau; gravity field; isostatic anomaly; crustal structure; Moho