

羌塘地体内部双湖—冈玛错—龙木错构造带地质与地球物理特征

郑洪伟¹ 贺日政¹ 杨 贵²

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 福建省地震局, 福州 350003)

摘要: 本文概要总结了羌塘地体内部的双湖—冈玛错—龙木错构造带地质与地球物理特征。从地表出露的蓝闪片岩、混杂堆积和生物古地理特征的差异, 以及重力异常带分布、Pn 波异常特征及地震层析成像等可以看出, 双湖—冈玛错—龙木错构造带很可能是冈瓦那大陆和欧亚大陆之间的缝合带。

关键词: 双湖—冈玛错—龙木错构造带; 地质特征; 地球物理特征

中图分类号: P631 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)05-1229-07

羌塘地体位于青藏高原腹地, 南北介于班公湖—怒江缝合带和金沙江缝合带之间, 西界为阿尔金山走滑断裂带, 东界止于北澜沧江断裂带。羌塘地体对解释青藏高原形成演化、高原隆升有重要的科学价值, 所以成为当前青藏高原研究的国际热点和焦点地区。前人多认为羌塘地体为一稳定地块。但近年来, 在羌塘地体中部不断发现蓝闪石片岩带、混杂堆积, 同时含冷水型生物的冈瓦那岩系北界逐渐推延至羌塘中部, 并且沿着双湖—冈玛错—龙木错构造带存在重力、磁法异常现象等。因此, 羌塘中部的双湖—冈玛错—龙木错构造带的地质、地球物理特征逐渐被人们所重视。

1 构造带的区域地质地表构造现象

1.1 生物古地理界限

双湖—冈玛错—龙木错构造带将羌塘地体分为羌南和羌北两个盆地。在羌南与羌北的生物古地理特征差异明显, 即晚古生代生物面貌和沉积特征差别很大。羌南地区大面积分布的是上石炭统, 岩石组

合具有裂谷堆积和冰海沉积特点, 含冷水型生物群化石。羌北地区为中泥盆统至下石炭统, 多为相对稳定的陆缘沉积碳酸岩盐碎屑岩系, 含丰富的华南型生物化石和华夏植物群化石。由此推测, 该构造带可能是青藏高原内部一个重要的生物古地理区系的分界线, 即冈瓦那大陆和欧亚大陆之间生物区系划分的重要界限^[1,2]。

1.2 蓝片岩构造带

羌塘中部沿着双湖—冈玛错—龙木错构造带基性超基性岩带内发现了高压低温环境下形成的蓝片岩带^[1-9]和榴辉岩^[10,11], 且在其内部还发现了蓝闪石^[9]。邓希光等^[9]认为羌塘中部的冈玛日—桃形错的蓝片岩源岩是碱性玄武岩, 形成环境是大洋内的洋岛玄武岩。也有学者认为, 该蓝片岩带是大陆裂谷作用的产物^[12]。许多学者认为该构造带可能为晚古生代冈瓦纳大陆和劳亚大陆之间的古特提斯洋闭合的结果^[1-3,5,6]。

经典板块构造理论^[13]认为, 高压低温变质带是板块构造接触代的主要象征之一, 且其典型的接触

收稿日期: 2012-02-10; 改回日期: 2012-04-17

基金项目: 国家自然科学基金(40904026, 40774051, 40974060)、中国地质科学院地质所基本科研业务费(J1204, J1216)、科技部国际合作项目(2006DFA21340)、地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室(中国地质大学, 北京)开放课题项目(GDL0901)、国家专项深部探测技术实验与集成项目 SinoProbe-2(201011044)及国土资源部公益行业科研专项(201011013)联合资助。

作者简介: 郑洪伟, 女, 1977年生, 副研究员, 主要从事地震层析成像研究; E-mail: zhenghongwei004@sina.com。

产物就是蓝片岩带和榴辉岩。热模拟结果^[14]证实,产生蓝片岩和榴辉岩的适当环境只能存在于俯冲和相关的汇聚板块处。因而,羌塘中部的冈玛日—桃形错的蓝片岩源被认为是晚古生代冈瓦纳大陆和劳亚大陆间的古特提斯洋闭合的位置^[1-3,6,10,11,15],即古特提斯缝合带。榴辉岩和蓝片岩带内蓝闪石形成年龄^[3,11]显示,该缝合带的主碰撞时间为三叠纪早期(约220 Ma),最终于三叠纪末形成。羌塘中央隆起在中泥盆世至早白垩世经历了大陆裂离—大洋化—碰撞闭合过程^[9]。热模拟证实,产生蓝片岩的适当环境只能存在于俯冲和相关的汇聚板块处,但如果俯冲作用持续进行,已形成的蓝片岩将被带到上地幔中,所以蓝片岩的保存、抬升、剥蚀机制是相当重要的^[6]。因此,蓝片岩的出现常被认为是大洋板块向大陆板块之下俯冲的直接证据。

1.3 混杂堆积

混杂堆积(Mélange)作为蛇绿岩组合中的一个重要构造岩证据,已被认为是板块结合带的一个重要证据。在青藏高原内部,目前发现的缝合带中,大多广泛分布着混杂堆积。而在羌塘中部也存在混杂堆积^[6],它们集中分布在靠近龙木错—双湖构造带附近的狭长地域内,主要见于双湖办事处查桑区北西的江赛额附近和双湖北西的恰格勒拉两地,并与高压低温变质岩相互伴生。

查桑—双湖一带分布的混杂堆积并不是孤立的地质现象。该混杂堆积可能是由于印度板块向北俯冲,在俯冲带发生强烈构造作用,两板块相向移动,彼此前缘发生碰撞,使印度板块向欧亚板块下俯冲,在俯冲板块部位形成了深海复理石沉积。这些沉积物由于受欧亚板块的阻碍不能随印度板块俯冲下去,而被刮下停积在板块接合缝上,同时由于板块前缘的冲撞,使北部欧亚仰冲板块前缘遭到强烈撞击破碎,形成大小不等的岩块塌落在海沟中,与俯冲板块被刮积下的堆积物相混,再由于蛇绿岩构造侵位上升,使一些蛇绿岩成分的岩块夹杂之中,就形成了具有外来岩块特征的灰岩和复理石相混杂的堆积体。

沿着双湖—岗玛错—龙木错一线多处发现了蛇绿岩^[17-19]。

2 构造带的地球物理特征

2.1 羌塘盆地磁性基底特征

由于双湖—冈玛错—龙木错构造带的存在,使得羌塘盆地西部被分为三部分^[20],即中央隆起区、北羌塘拗陷区和南羌塘拗陷区。羌塘盆地航磁 ΔT 等值线如图1所示。

北羌塘拗陷区总体形态为东西向延伸的长条状拗陷,西南部磁性基底埋深一般为2~5 km,东南部埋深为3~7 km,而中北部埋深较大,为5~9 km,最

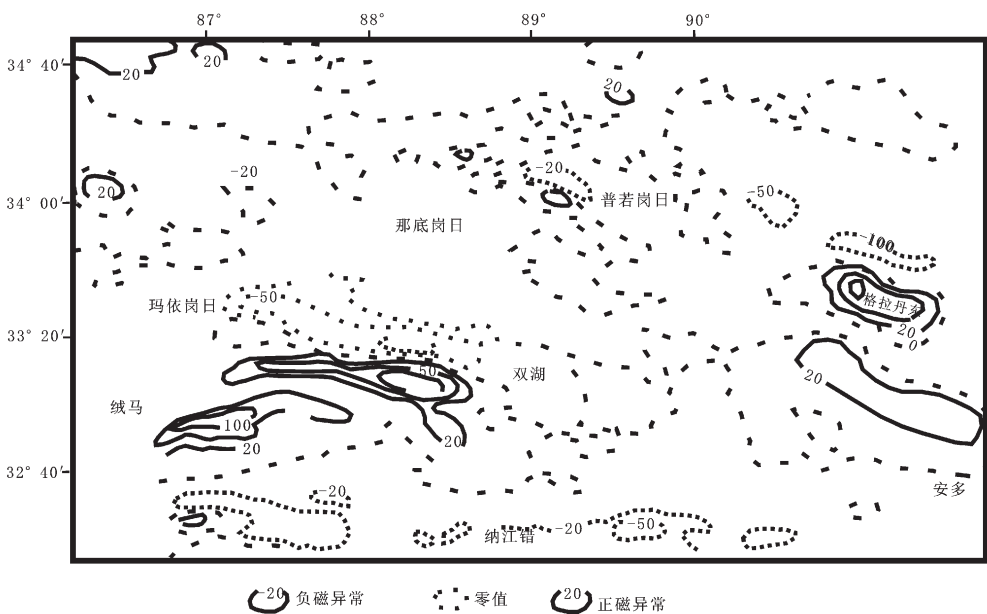


图1 羌塘盆地航磁 ΔT 等值线略图^[20]

Fig.1 Aeromagnetic anomaly ΔT contour map of Qiangtang Basin^[20]

深达 11 km。因此,北羌塘拗陷区呈现出由西南向东北倾、东南向西北倾、中北部为深拗陷的构造特征。

中央隆起区位于北羌塘拗陷区之南,夹于南北拗陷之间,总体呈 EW 向展布,在中央隆起上,基底局部出露。因此,本区的基底埋深较浅,一般小于 2 km。中央隆起西段宽(大约 120 km),东段窄,在戈木茶卡以西其走向转为 NW 向,以东为 EW 走向,但向东至吐错地区,隆起的位置明显偏北。中央隆起的东段北移,西段走向转变。

南羌塘拗陷区位于盆地南部,呈 EW 向展布。磁性基底表现为南浅北深,中段浅向东西两边变深的趋势。

显然,该构造带南北两侧的基底特征也有所差异。若按照古裂谷伸展成因^[2]来认识该构造带,那么其两侧的古生代基底应该具有大致相同的特征。故不是裂谷伸展的结果。

2.2 羌塘盆地的布格重力异常特征

重力异常数据来自地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所 1989 年主编的《中华人民共和国 1:250 万布格重力异常图》。青藏高原布格重力异常场总体呈 EW 和 NWW 向展布,为一个似纺锤形的不对称封闭异常。异常长 2400 km,宽约 1000 km,变化幅值达 $250 \times 10^{-5} \sim 350 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。在边缘负异常值小,内部值大,形成了一个不对称的“重力盆地”。

利用匹配滤波方法提取的中下地壳和主要来自深部地幔岩石圈引起的重力异常场^[21](图 2~3)。匹配滤波计算过程及可靠性分析,详见笔者文章^[21]。从图 2 可以看出,双湖—冈玛错—龙木错构造带是一条明显的线状布格重力异常带,以该带为界,其北侧为大面积低速异常区,南侧为相对高异常区。该构造带将羌塘分为南北两部分,南部主要以线状圈闭异常为主,而北部则为大面积的平缓异常。图 3 显示深部布格重力异常变化更加平缓。羌塘地体内的龙木错—双湖—线为一异常梯度带,整个青藏高原的布格重力异常以该带为轴,呈 NW 走向,异常变化平缓均匀。这种异常特征表明,该构造带在向深部的延深可能已经影响到了莫霍面,甚至岩石圈底部。

2.3 羌塘盆地的 Pn 波特征

在岩石圈上地幔顶部的数十千米厚传播的 Pn 波常常能够在年青的造山带中观测到。Pn 波各向异性被认为是由于最近热构造事件引起的变形产生的。McNamara 等^[23]利用 11 台宽频地震台站接收的波形资料反演了青藏高原上地幔二维 Pn 波速度结构(图 4)。结果显示,青藏高原北部(主体在羌塘北部)的新生代火山岩出露区深部对应于 Pn 波衰减区,且其地壳的泊松比高。这些特征表明羌塘北部下面的岩石圈地幔是异常热,且其软流圈已上升到浅部,形成了壳幔过渡层^[23]。该壳幔过渡层对应是玄武

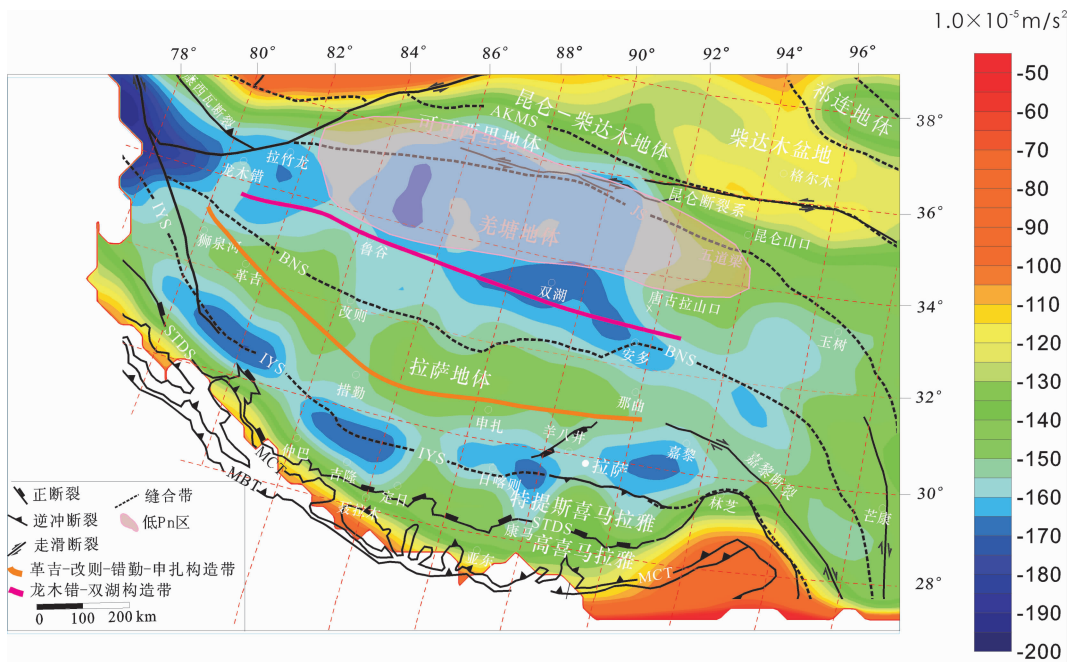


图 2 青藏高原中下地壳重力异常场^[21]

Fig.2 Gravity anomaly field of the middle and lower crust in Tibet^[21]

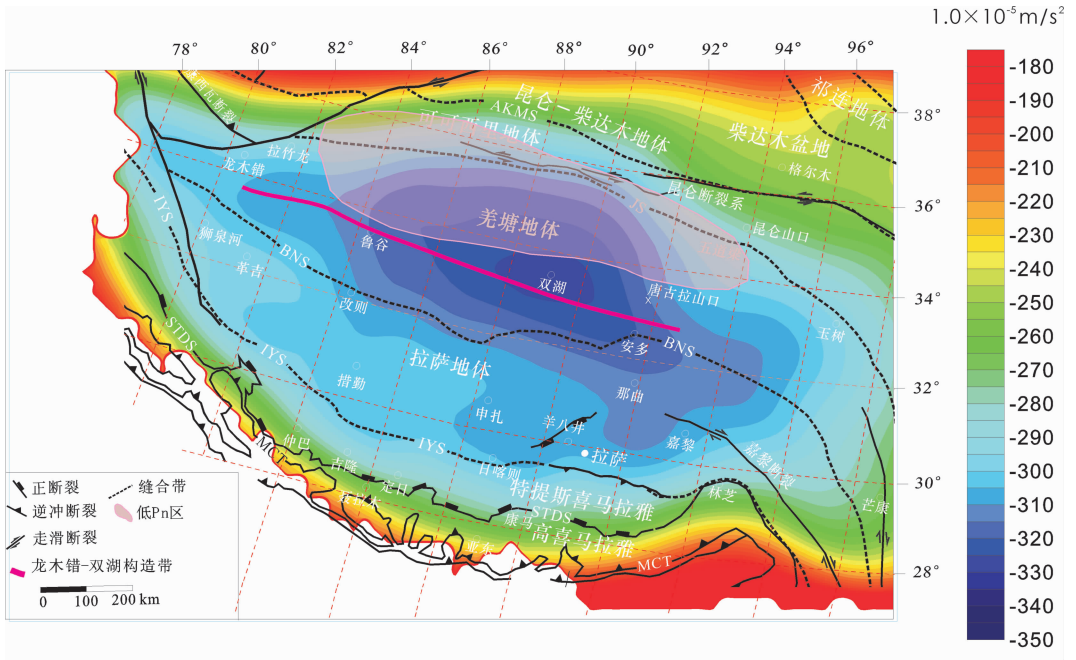


图3 青藏高原深部岩石圈重力异常场^[21]

Fig.3 Gravity anomaly field of the deep lithosphere in Tibet^[21]

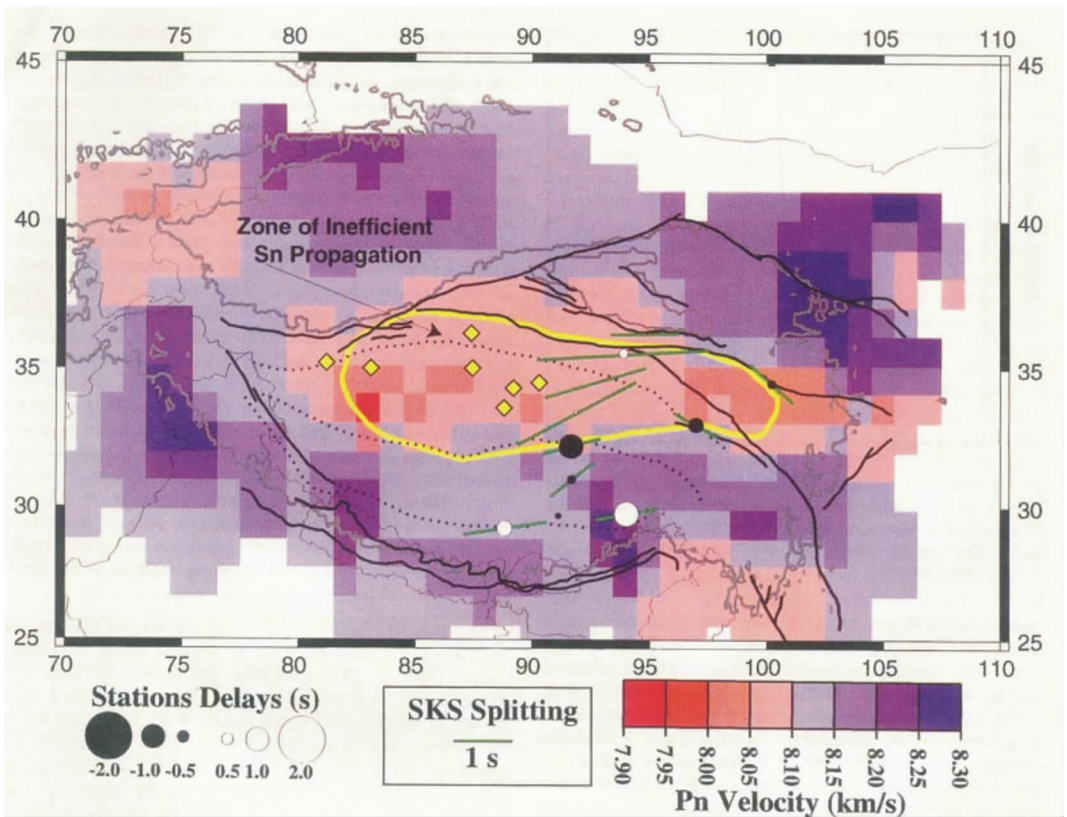


图4 青藏高原 Pn 波上地幔二维速度结构图像^[22]

Fig.4 Two-dimensional velocity image for the uppermost mantle beneath the Tibetan Plateau when Pn is modeled as a head wave^[22]

岩浆的源地,地幔密度减小的程度随地幔物质溶解的水平而变化,这可以用来解释异常地幔的地震纵波速度值的变化。作为冈瓦纳大陆碰撞前缘的羌塘古陆就会成为古特提斯洋壳物质消失、重力分异的主要部位,之后发生了大面积的古近—新近纪火山的喷发和侵入。地表地质研究成果对双湖—龙木错地区的蓝片岩的存在不仅给予了肯定^[8],而且还给出了蓝片岩的变质作用发生在二叠纪早期^[5]。

2.4 羌塘盆地的地震层析成像研究

横过羌塘盆地中央隆起的地震反射初至波层析成像结果显示一条近乎垂直的断裂构造的存在^[24],它可能就是 Kapp 等^[25]所指的双湖以西的隐伏断裂冈玛错—双湖逆冲断裂。

天然地震层析成像结果^[26](图 5)显示东西方向的剖面 AA'和 BB'内,南羌塘和北羌塘内壳幔比较稳定,而 2 条南北剖面 CC'和 DD'显示在羌塘中央隆起带下的速度结构大致相同,且都是高低速过渡带,表明羌塘中央隆起带在其形成过程中确有可能

是一个重要的构造边界。

3 结语

综合上述,在双湖—冈玛错—龙木错构造带一线发现了在俯冲板块一侧特定构造位置发生的混杂堆积和高压低温条件下的变质作用的代表矿物——蓝闪石片岩。以该构造带为界,其南北两侧的生物古地理区系也有着重大的变化。并且该构造带控制了羌塘盆地的磁性基底和重力异常,地震层析成像等地球物理特征,近年对于双湖—龙木错断裂是一个重要构造界线的认识上已逐步形成共识。

根据这些地表地质以及地球物理证据,双湖—冈玛错—龙木错构造带可能具有缝合带的某些特征。若这种推测成立,该构造带有可能是古特提斯洋闭合的位置。它的发现对确定冈瓦纳及欧亚古陆的界线和位置具有重要意义。值得指出的是,由于地球物理反映的是当代的构造特征,因此,本文仅对双湖—冈玛错—龙木错构造带区的地球物理特征进行

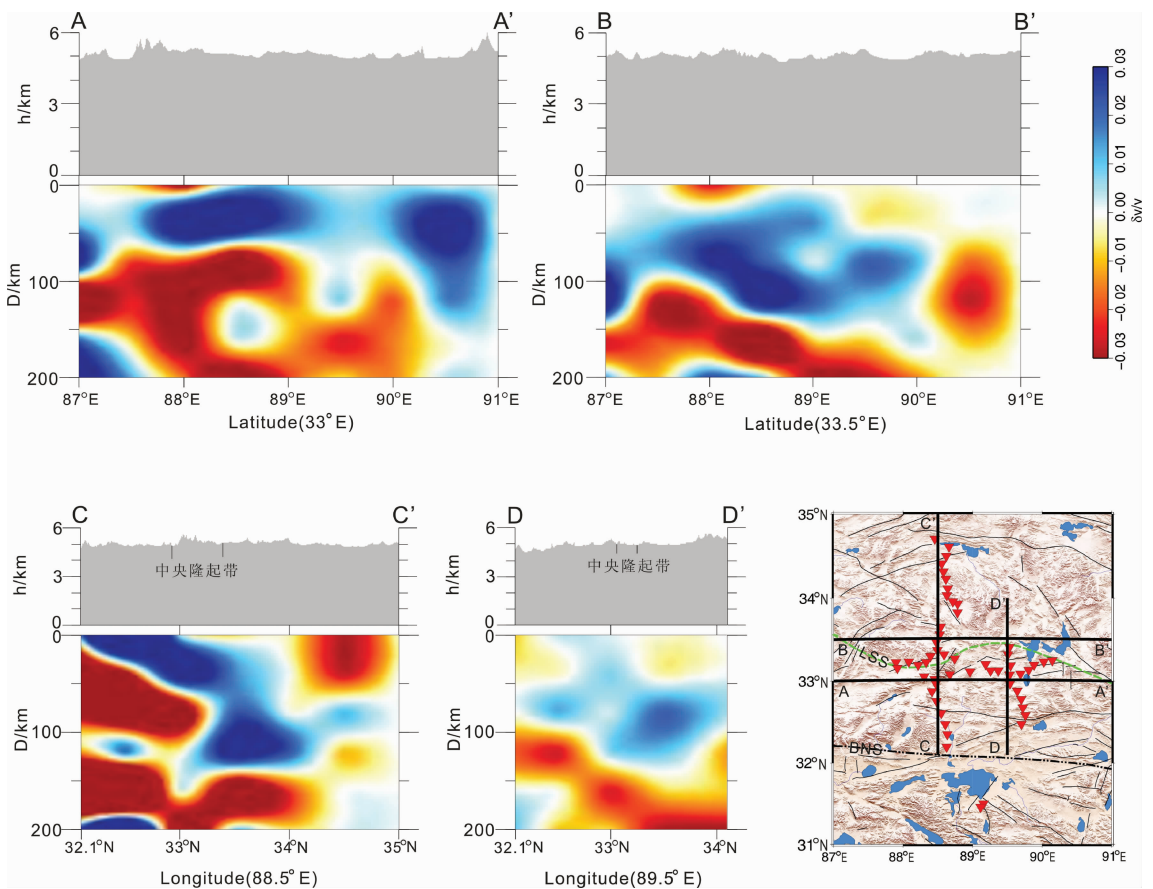


图 5 羌塘中央隆起带的远震 P 波层析成像图像^[26]

Fig.5 P-wave tomography image of the central uplift in Qiangtang basin^[26]

归纳总结,而该带是否为缝合带性质,还有待于进一步地表地质的深入研究。

参考文献 (References):

- [1] 李才. 龙木错—双湖—澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. 长春地质学院学报, 1987, 17(2):155-166.
Li Cai. The Longmuco-Shuanghu-Lanchangjian Plate suture and the north boundary of distribution of Gondwana facies Permian-Carboniferous system in northern Xizang, China [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1987, 17 (2):155-166(in Chinese with English abstract).
- [2] 李才, 程立人, 胡克, 等. 西藏龙木错-双湖古特提斯缝合带研究[M]. 北京:地质出版社, 1995.
Li Cai, Cheng Liren, Hu Ke, et al. Study on the Paleo-Tethys Suture Zone of Lunmu Co-Shuanghu, Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995(in Chinese).
- [3] 李才, 王天武, 杨德明, 等. 西藏羌塘中央隆起区物质组成与构造演化[J]. 长春科技大学学报, 2001, 31(1):25-36.
Li Cai, Wang Tianwu, Yang Deming, et al. The lithological composition and tectonic evolution of Qiangtang central uplift region, Tibet[J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 2001, 31(1):25-36(in Chinese with English abstract).
- [4] 胡克, 李才, 程立人, 等. 西藏羌塘中部冈玛错-双湖蓝片岩带及其构造意义[J]. 长春地质学院学报, 1995, 25(3):268-274.
Hu Ke, Li Cai, Cheng Liren, et al. Gangmacuo Shuanghu blueschist belt in central Qiangtang area of Tibet and its geological significance [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences, 1995, 23 (3):268-274(in Chinese with English abstract).
- [5] 邓希光, 丁林, 刘小汉. 藏北羌塘中部冈玛日-桃形错蓝片岩地发现[J]. 地质科学, 2000, 35:227-332.
Deng Xiguang, Ding Lin, Liu Xiaohan. Discovery of blueschists in Gangmar-Taoxing Co area, central Qiangtang, northern Tibet [J]. Science Geologica Sinica, 2000, 35:227-332 (in Chinese with English abstract).
- [6] 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 青藏高原羌塘中部蓝片岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 2002, 18(4):517-525.
Deng Xiguang, Ding Lin, Liu Xiaohan, et al. Geochemical characteristics of the blueschists and its tectonic significance in central Qiangtang area, Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002, 18 (4):517-52(in Chinese with English abstract).
- [7] 冯中平, 邓万明. 藏北茶布-茶桑地区“蓝闪石”片岩中角闪石的成因及其构造意义 [C]//青藏项目专家委员会编. 青藏高原形成演化. 环境变迁与生态系统研究. 北京:科学出版社, 1996: 56-64.
Wo Zhongping, Deng Wanming. Tectonic implication and Petrogenesis of hornblende in Glaucophane Schists in Chabu-Chasang area, northern Tibet [C]//Expert Committee of Qinghai-Xizang Project (ed.). Research of the formation, enviroment change on Qinghai-Xizang (Tibetan) plateau. Beijing: Science Press, 1996: 56-64(in Chinese).
- [8] 鲍佩声, 肖序常, 王军, 等. 西藏中北部双湖地区蓝片岩带及其构造涵义[J]. 地质学报, 1999, 73:302-314.
Bao Peisheng, Xiao Xuchang, Wang Jun, et al. The blueschist belt in the Shuanghu region, Central-Northern Tibet and its tectonic implications [J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73:302-314 (in Chinese with English abstract).
- [9] 翟庆国, 李才, 王军, 等. 藏北羌塘中部戎玛地区蓝片岩岩石学、矿物学和⁴⁰Ar/³⁹Ar年代学 [J]. 岩石学报, 2009, 25 (09):2281-2288.
Zhai Qingguo, Li Cai, Wang Jun, et al. Petrology, mineralogy and ⁴⁰Ar/³⁹Ar chronology for Rongma blueschist from central Qiangtang, northern Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25 (09):2281-2288(in Chinese with English abstract).
- [10] 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩的发现及其意义[J]. 科学通报, 2006, 51(1):70-74.
Li Cai, Zhai Qingguo, Dong Yongsheng, et al. Discovery and significance of the eclogite from central Qiangtang area, Qinghai-Tibet Plateau [J]. Chinese Science Bulletin, 2006a, 51(1):70-74(in Chinese with English abstract).
- [11] 李才, 翟庆国, 陈文, 等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩 Ar-Ar 定年 [J]. 岩石学报, 2006b, 22(12):2843-2849.
Li Cai, Zhai Qingguo, Che Wen, et al. Ar-Ar chronometry of the eclogite from central Qiangtang area, Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006b, 22 (12):2843-2849 (in Chinese with English abstract).
- [12] 王成善, 胡承祖, 王瑞忠, 等. 西藏北部茶桑-茶布裂谷的发现及其地质意义[J]. 成都地质学院学报, 1987, 14(2): 33-45.
Wang Chenshan, Hu Chengzu, Wng Zhongrui, et al. Significance of the discovery of Chasang-Chabu Rift in Northern Xizang (Tibet) [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1987, 14 (2): 33-45(in Chinese with English abstract).
- [13] 李春昱. 再谈板块构造 [J]. 西北地质科技情报 (西北地质科学研究所), 1973, 1(增刊):1-26.
Li Chunyu. Talk about Tectonics again [J]. Northwest Geological Science and Technology Information, 1973, 1 (Supp.):1-26 (in Chinese).
- [14] Dobretsov N L. Blueschists and eclogites: a possible plate tectonic mechanism for their emplacement from the upper mantle [J]. Tectonophysics, 1991, 186:253-268.
- [15] 任纪舜. 中国及邻区大地构造图 [M]. 北京: 中国地质出版社, 1997.
Ren Jishun. China and its Adjacent Area Tectonic Map [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997(in Chinese).
- [16] 程立人, 李才, 胡克. 西藏羌塘地区中部混杂堆积的发现及其地质意义[J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(3):354-365.
Cheng Liren, Li Cai, Hu Ke. Discovery and geological implications of the melange in central Qiangtang region, Tibet [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1998, 28 (3): 354-365(in Chinese with English abstract).
- [17] 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 冈瓦纳大陆北缘早期的洋壳信息——

- 来自青藏高原羌塘中部早古生代蛇绿岩的依据 [J]. 地质通报, 2008, 27(10):1605-1612.
- Li Cai, Zhai Qingguo, Dong Yongsheng, et al. Oceanic crust on the northern margin of Gondwana—evidence from Early Paleozoic ophiolite in central Qiangtang, Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27 (10):1605-1612 (in Chinese with English abstract).
- [18] 翟庆国, 李才, 黄小鹏. 西藏羌塘角木日地区二叠纪蛇绿岩地质特征及构造意义 [J]. 地质通报, 2004, 23(12):1228-1230.
- Zhai Qingguo, Li Cai, Huang Xiaopeng. Geochemistry of Permian basalt in the Jiaomuri area, central Qiangtang, Tibet, China, and its tectonic significance [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(12): 1419-1427 (in Chinese with English abstract).
- [19] 翟庆国, 李才, 黄小鹏. 西藏羌塘中部古特提斯洋残片——来自果干加山变质基性岩地球化学证据 [J]. 中国科学(D 辑), 2007, 37(7):866-872.
- Zhai Qingguo, Li Cai, Huang Xiaopeng, et al. The fragment of Paleo-Tethys ophiolite from central Qiangtang, Tibet: geochemical evidence of metabasites in Guoganjianian [J]. Science in China (Series D.), 2007, 50 (9):1302-1309 (in Chinese with English abstract).
- [20] 鲁兵, 刘池阳, 刘忠, 等. 羌塘盆地的基底组成、结构特征及其意义 [J]. 地震地质, 2001, 23(4):581-587.
- Lu Bing, Liu Chiyang, Liu Zhong, et al. Basement formation and structural features of the Qiangtang basin and their implications [J]. Seismology and Geology, 2001, 23(4):581-587 (in Chinese with English abstract).
- [21] 郑洪伟, 孟令顺, 贺日政. 青藏高原布格重力异常匹配滤波分析及其构造意义 [J]. 中国地质, 2010, 37(4):995-1001.
- Zheng Hongwei, Meng Lingshun, He Rizheng. Matched-filter analysis of Bouguer gravity anomaly in Tibetan Plateau and its tectonic implications [J]. Geology in China, 2010, 37(4):995-1001 (in Chinese with English abstract).
- [22] McNamara D E, Walter W R, Owens T J, et al. Upper mantle velocity structure beneath the Tibetan plateau from Pn travel time tomography [J]. J. Geophys. Res. 1997, 102:493-505.
- [23] 邓万明, 钟大赉. 壳-幔过渡带及其在岩石圈构造演化中的地质意义 [J]. 科学通报, 1997, 42(23):2475-2482.
- Deng Wanming, Zhong Dalai. Crust-Mantle translational zone and its Tectonic evolution significance [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(23):2475-2482 (in Chinese with English abstract).
- [24] 侯贺晨, 高锐, 卢占武, 等. 青藏高原羌塘盆地中央隆起近地表速度结构的初至波层析成像试验 [J]. 地质通报, 2009, 28(6): 738-745.
- Hou Hesheng, Gao Rui, Lu Zhanwu, et al. First arrival seismic tomographic imaging test of the near-surface velocity structure of central uplift in the Qiangtang basin, Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28 (6):738-745 (in Chinese with English abstract).
- [25] Kapp Paul, Yin An, Harrison T Mark, et al. Cretaceous - Tertiary shortening, basin development, and volcanism in central Tibet [J]. Geological Society of America, 2005, 117(7/8):865-878.
- [26] 邹长桥, 贺日政, 高锐. 远震 P 波层析成像研究羌塘中央隆起带深部结构 [J]. 科学通报, 2012(待刊).
- Zou Changqiao, He Rizheng, Gao Rui, et al. Deep structure of the central uplift belt in the Qiangtang terrane, Tibet Plateau from teleseismic P-wave tomography [J]. Chinese Science Bulletin, 2012, in press (in Chinese with English abstract).

Geological and geophysical characteristics of Shuanghu-Gangmacuo-Longmucuo structural belt in Qiangtang area

ZHENG Hong-wei¹, HE Ri-zheng¹, YANG Gui²

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, Fujian, China)

Abstract: This paper has summarized the geological and geophysical characteristics of the Shuanghu-Gangmacuo-Longmucuo structural belt in Qiangtang. The blue schist, mélange, gravity anomaly, Pn wave anomaly and seismic tomography image show that the Shuanghu-Gangmacuo-Longmucuo structural belt may be a suture between Gondwana plate and Asia-India plate.

Key words: Shuanghu-Gangmacuo-Longmucuo structural belt; geological characteristics; geophysical characteristics

About the first author: ZHENG Hong-wei, female, born in 1977, doctor, engages mainly in the study of dynamics and deep structure of Tibetan Plateau; E-mail: zhenghongwei004@sina.com.