

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.124>



东昆仑南缘布青山复合增生型构造混杂岩带 组成特征及其形成演化过程

裴先治¹, 李瑞保¹, 李佐臣¹, 刘成军¹, 陈有忻¹, 裴磊¹,
刘战庆², 陈国超^{1,3}, 李小兵^{1,4}, 王盟¹

1. 长安大学地球科学与资源学院, 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西西安 710054
2. 桂林理工大学地球科学学院, 广西桂林 541004
3. 南阳理工学院土木工程学院, 河南南阳 473000
4. 山西师范大学地理科学学院, 山西临汾 041000

摘要: 为了研究东昆仑南缘布青山复合增生型构造混杂岩带的物质组成、构造属性及形成演化历史, 在前人资料基础上从构造混杂岩带物质组成、形成时代、构造属性等方面对其进行综合研究。研究结果表明, 布青山复合增生型构造混杂岩带是一条分隔东昆仑造山带与巴颜喀拉造山带的增生型构造边界, 主要由元古代—古生代不同构造属性的大型构造混杂岩块与混杂基质组成。构造混杂岩块包括中元古代中深变质基底岩块(苦海岩群)、寒武纪蛇绿岩岩块、奥陶纪蛇绿岩岩块、石炭纪蛇绿岩岩块、石炭纪洋岛/海山玄武岩岩块、奥陶纪中酸性弧岩浆岩岩块、格曲组磨拉石沉积等。基质岩系主要为一套强烈构造变形的早中二叠世马尔争组浊积岩系。该混杂岩带记录了东昆仑南缘布青山地区东特提斯洋(布青山洋)自新元古代晚期开启以来, 从晚寒武世—中三叠世长期持续向北的洋壳消减及俯冲增生过程, 并于中三叠世晚期布青山洋消减完毕而使巴颜喀拉地块与东昆仑地块碰撞拼合。该次造山事件导致了不同类型、不同时代构造岩块与马尔争组浊积岩强烈混杂, 最终形成了布青山复合增生型构造混杂岩的基本构造格架。

关键词: 东昆仑; 蛇绿岩; 布青山; 构造混杂岩; 俯冲作用; 原特提斯洋; 构造地质学。

中图分类号: P548

文章编号: 1000-2383(2018)12-4498-23

收稿日期: 2018-04-07

Composition Feature and Formation Process of Buqingshan Composite Accretionary Mélange Belt in Southern Margin of East Kunlun Orogen

Pei Xianzhi¹, Li Ruibao¹, Li Zuochen¹, Liu Chengjun¹, Chen Youxin¹, Pei Lei¹,
Liu Zhanqing², Chen Guochao^{1,3}, Li Xiaobing^{1,4}, Wang Meng¹

1. School of Earth Science and Resources, Key Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, Ministry of Natural Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China
2. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China
3. School of Civil Engineering, Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473000, China
4. School of Geography, Shanxi Normal University, Linfen 041000, China

Abstract: In order to study the material composition, tectonic affinity and evolution history of the Buqingshan composite accre-

基金项目: 国家自然科学基金项目(Nos.41472191, 41172186, 41502191); 青海省国土资源厅—中国铝业公司公益性区域地质矿产调查基金项目(No.200801); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(Nos.CHD2011TD020, 2013G1271091, 2013G1271092, 310827161002, 310827161006, 310827173702)。

作者简介: 裴先治(1963—), 男, 教授, 主要从事构造地质学和区域地质学研究。E-mail: peixzh@263.net

引用格式: 裴先治, 李瑞保, 李佐臣, 等, 2018. 东昆仑南缘布青山复合增生型构造混杂岩带组成特征及其形成演化过程. 地球科学, 43(12): 4498—4520.

tionary mélange belt in the southern margin of East Kunlun orogen, we make a comprehensive study on the composition, formation age and tectonic affinities of the mélange belt based on the previous data. This research shows that the Buqingshan composite accretionary mélange belt is a tectonic boundary of accretionary tectonic belts separating the East Kunlun tectonic belt and Bayanhār tectonic belt, and is composed of large-scale tectonic mélange rock blocks and matrices with different tectonic properties formed in Proterozoic-Paleozoic. Tectonic mélange blocks mainly include the Mesoproterozoic metamorphic basement rocks (Kuhai complex), Cambrian ophiolite rocks, Ordovician ophiolite rocks, Carboniferous ophiolite rocks, Carboniferous oceanic island/seamount basalt rocks, Ordovician island arc magmatite rocks, and Gequ Formation etc.. The matrices rocks are mainly composed of a series of Maerzheng Formation turbidite strata with strong deformation. This mélange belt records geological events that the East Tethys Ocean (Paleo-Buqingshan Ocean) opened since the Late Neoproterozoic in the Buqingshan area, southern margin of the East Kunlun orogen, subducted northward from Late Cambrian to Middle Triassic in a continuing subduction process, and ultimately closed at the end of the Middle Triassic. This subduction and collision events led to a strong intermixing of different types tectonic blocks with the turbidites, and finally formed the key tectonic framework of the Buqingshan composite accretionary mélange belt.

Key words: East Kunlun; ophiolite; Buqingshan; tectonic mélange; subduction; Proto-Tethys; tectonics.

0 引言

阿尼玛卿—布青山构造带位于东昆仑造山带、西秦岭造山带、巴颜喀拉造山带交接地区,是原特提斯构造域和古特提斯构造域复合交织的重要构造部位,也是探索中国大陆多期次、多块体拼合、陆壳增生、消减机制的天然实验室(姜春发等,1992,2000;许志琴等,2001,2006a, 2006b, 2006c;张国伟等,2004;莫宣学等,2007).前人研究认为阿尼玛卿—布青山构造带属于秦岭南缘勉略构造带的西延部分(裴先治,2001;张国伟等,2004;莫宣学等,2007;赖绍聰和秦江锋,2010),大地构造位置上从勉略地区经康县—文县—玛曲向西沿东昆仑南缘的玛沁下大武、花石峡到布青山地区,再往西可以与东昆仑西段南缘的东大滩南黑茨沟附近及木孜塔格山北坡的蛇绿岩带相连(Molnar *et al.*, 1987; Burchfiel *et al.*, 1989;边千韬等,2001a; Bian *et al.*, 2004).

阿尼玛卿—布青山构造混杂岩带以保存大量的蛇绿岩岩块及混杂基质为特征,代表了晚古生代古特提斯洋最北缘分支洋盆关闭后的洋壳残余(姜春发等,1992, 2000; 陈亮等, 2000, 2001; 边千韬等, 2001a, 2001b; 裴先治, 2001; 杨经绥等, 2004, 2005; 郭安林等, 2006, 2007a, 2007b; 张航等, 2018).但近 10 年来在阿尼玛卿—布青山构造混杂岩带中陆续发现早古生代岛弧型花岗闪长岩—英云闪长岩(边千韬等,2007; 李王晔等,2007; 李王晔, 2008; Li *et al.*, 2015; Xiong *et al.*, 2015)和早古生代蛇绿岩(边千韬等,2001a, 2001b; Bian *et al.*, 2004; 刘战庆等,2011a, 2011b, 2011c),表明阿尼玛卿—布青山构造混杂岩带曾存在早古生代的洋壳,

并发生过洋壳俯冲消减作用.这意味着阿尼玛卿—布青山蛇绿混杂岩可能同时存在多个阶段的蛇绿岩带,甚至还有学者提出存在晚二叠—中三叠世的蛇绿岩(姜春发等,1992, 2000; 王国灿等,1997, 1999; 许志琴等,2001),但都缺乏必要的年代学及地球化学证据.此外,前人对阿尼玛卿—布青山地区原特提斯洋和古特提斯洋转换体制及洋陆演化过程尚存有较大争议.许志琴等(2006a, 2006b, 2006c)认为,阿尼玛卿—布青山地区的俯冲增生杂岩为古特提斯洋壳北支洋盆俯冲消减的产物,主要由阿尼玛卿蛇绿岩、混杂堆积、弧前增生楔及高应变滑脱带组成,由超镁铁质岩、辉长岩及拉斑玄武岩组成的蛇绿岩残片呈不规则长条状及块状混杂体产于中下三叠统砂板岩中,并混杂了大量含化石的石炭一二叠纪灰岩及三叠纪浊积岩等外来岩块.也有学者提出东昆南构造带与布青山构造带为一大型俯冲增生型构造混杂岩带,以布青山蛇绿岩为代表的古洋盆从寒武纪一直持续演化到三叠纪早期,并于中晚三叠世造成东昆中蛇绿岩与布青山蛇绿岩一同增生拼贴到东昆仑造山带的南缘.根据近年来我们在布青山地区详细的地质填图资料揭示,不但阿尼玛卿—布青山构造带存在古特提斯北洋盆的蛇绿岩残片以及东昆仑造山带存在古特提斯北洋盆北侧的晚海西期—印支期活动陆缘构造岩石组合,而且在阿尼玛卿—布青山构造带还存在有寒武纪、奥陶纪的原特提斯洋盆的蛇绿岩残片以及相应的活动陆缘中酸性火山岩—花岗岩组合.因此,位于东昆仑造山带与巴颜喀拉造山带之间的阿尼玛卿—布青山构造带与东昆仑造山带一起,不但经历了早古生代时期原特提斯洋阶段的洋盆打开、洋壳俯冲直至陆(弧)陆碰撞造山的板

块构造演化过程,形成东昆仑早古生代碰撞造山带,而且同样经历了晚古生代—早中生代时期与古特提斯洋相关的洋壳俯冲与陆陆碰撞过程,于东昆仑造山带南部叠置形成晚二叠世—中三叠世活动陆缘弧型岩浆岩带和东昆仑南弧前盆地沉积组合,并于中三叠世晚期完成洋盆消减、陆陆碰撞造山,最终形成东昆仑复合造山带和巴颜喀拉印支造山带。

本文在综合前人资料基础上,综合论述了布青山复合增生型构造混杂岩带的物质组成、形成时代、构造岩浆活动及构造年代等方面资料,深入研究了布青山地区自寒武纪以来东特提斯洋长期复杂的俯冲消减过程及最终的碰撞造山作用,为中央造山带多期复合造山作用提供新的研究思路与资料。

1 研究现状

阿尼玛卿—布青山构造带以发育蛇绿岩或蛇绿混杂岩为特征。多数学者认为阿尼玛卿—布青山蛇绿岩带主体代表了古特提斯洋最北缘分支洋盆关闭后的洋壳残余体(王国灿等,1997,1999;张克信等,1999a,1999b,2001;朱云海等,1999,2002;陈亮等,2000,2001;姜春发等,2000;裴先治,2001;许志琴等,2001,2006a,2006b,2006c;殷鸿福和张克信,2003;杨经绥等,2004,2005;张国伟等,2004;郭安林等,2006,2007a,2007b;李荣社等,2007,2008;莫宣学等,2007;张雪亭等,2007a,2007b;王敏等,2009;胡楠等,2013),但也有学者认为存在早古生代和晚古生代—三叠纪两个或两个以上不同时代的蛇绿岩及其相关岩石组合(边千韬等,2001a,2001b,2007;Bian et al., 2004;李王晔等,2007;李王晔,2008;刘战庆等,2011a,2011b,2011c)。

姜春发等(1992)将阿尼玛卿—布青山蛇绿岩带划分为布青山、下大武、玛积雪山和玛沁 4 段,并依据下大武蛇绿岩中火山岩的 Rb-Sr 等时线年龄 260 Ma 以及蛇绿岩赋存于早中三叠世地层中等地质事实,将阿尼玛卿—布青山蛇绿岩形成时代确定为晚二叠世—中三叠世。许志琴等(2001,2006a,2006b,2006c)进一步认为阿尼玛卿构造混杂岩带为由洋盆性质的蛇绿岩及混杂堆积组成的北西—南东东向板块缝合带,洋盆形成于晚古生代,洋盆闭合及地体碰撞时间为晚三叠世,并认为该汇聚边界是位于东昆仑南缘的大型转换挤压构造带。王国灿等(1997,1999)、张克信等(1999a,1999b,2001)、朱云海等(1999,2002)、殷鸿福和张克信(2003)、莫

宣学等(2007)、张雪亭等(2007a,2007b)均认为阿尼玛卿—布青山蛇绿岩或蛇绿混杂岩带的形成时代为晚古生代—早中生代,其所代表的洋盆在晚泥盆世—早石炭世开始扩张打开,石炭纪—早二叠世扩张幅度最大,中晚二叠世到早三叠世(240~260 Ma)是洋盆的主要俯冲时期,陆陆碰撞时代为晚二叠世—早中三叠世。陈亮等(2001)获得阿尼玛卿地区玛沁德尔尼蛇绿岩中玄武岩的³⁹Ar/⁴⁰Ar 年龄为 345±7.9 Ma,表明其形成时代为石炭纪,其地球化学特征显示为 N-MORB 型玄武岩。郭安林等(2006,2007a,2007b)对阿尼玛卿地区玛积雪山蛇绿岩中玄武岩进行地球化学研究,结果显示为 OIB 型玄武岩,是大洋板内岩浆活动产物,并提出玛积雪山三联点的新认识。杨经绥等(2004)获得阿尼玛卿地区德尔尼蛇绿岩中 MORB 型玄武岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 276~319 Ma,平均值为 308.2±4.9 Ma,表明其形成时代为石炭纪一二叠纪。张克信等(1999a,1999b,2001)在布青山蛇绿混杂岩中报道有早二叠世的放射虫硅质岩;Bian et al.(2004)在布青山蛇绿混杂岩的硅质岩中发现有石炭纪放射虫化石,并获得得力斯坦和牧羊山枕状玄武岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 340.3±11.6 Ma,获得得力斯坦枕状玄武岩的普通 Pb 等时线年龄为 310±150 Ma,并通过岩石地球化学研究认为布青山地区早石炭世—早二叠世蛇绿岩中的辉长岩和玄武岩具有 N-MORB 特征。这些地质资料表明阿尼玛卿—布青山构造混杂岩带中的蛇绿岩主要形成于石炭纪—早二叠世,与古特提斯洋盆的发育时限基本一致。

近年来的研究也显示,阿尼玛卿—布青山构造混杂岩带中不但存在晚古生代蛇绿岩或洋壳组合,同样也存在早古生代蛇绿岩或蛇绿混杂岩及花岗岩类等。边千韬等(2001a,2001b)、Bian et al.(2004)报道了布青山蛇绿混杂岩中存在早古生代的蛇绿岩,获得布青山地区得力斯坦蛇绿岩中辉长辉绿岩 Rb-Sr 等时线年龄为 495.32±80.6 Ma,辉长岩锆石 U-Pb 年龄为 467.2±0.9 Ma;该蛇绿岩北侧的岛弧型花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为 402±24 Ma;牧羊山辉长辉绿岩 Rb-Sr 等时线年龄为 517.89±101.6 Ma,并在蛇绿混杂岩的硅质岩及泥质硅质岩中分离鉴定出可疑的早古生代放射虫化石。据此提出阿尼玛卿—布青山蛇绿岩带是一条包含有早古生代、早石炭—早二叠世和晚二叠—中三叠世 3 个不同时代蛇绿岩的复合蛇绿混杂岩带(边千韬等,2001a,2001b)。李王晔等(2007)在阿尼玛卿地区获

得具有 IAB 特征的德尔尼闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 493 ± 2 Ma 和具有 OIB 特征的苦海辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 555 ± 9 Ma。这些年代学资料表明阿尼玛卿—布青山构造混杂岩带中确实存在新元古代晚期—早古生代的蛇绿岩和相关的岛弧型岩浆岩组合。

近年来在布青山地区进行 1:5 万地质填图过程中,已基本查明了该区域构造混杂岩带的空间分布及混杂岩中各构造岩块的岩石类型和岩石组合特征及构造变形特征(邵东等,2017),获得布青山地区得力斯坦蛇绿岩中辉长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 516.4 ± 6.3 Ma、哈尔郭勒蛇绿岩中辉长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 332.8 ± 3.1 Ma 和 447.6 ± 5.6 Ma,获得亿可哈拉尔花岗闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 437.5 ± 2.3 Ma 和白日切特中酸性火山岩锆石 U-Pb 年龄为 438 ± 3 Ma(刘战庆等,2011a, 2011b, 2011c)。这些早古生代的蛇绿岩及相关的岛弧型岩浆岩类的进一步确认,表明阿尼玛卿—布青山构造混杂岩带中不但存在代表古特提斯洋演化阶段的晚古生代洋盆组合,同样存在代表原特提斯洋演化阶段并与东昆仑早古生代造山带形成演化密切相关的早古生代洋盆蛇绿岩及相关的岛弧型岩浆岩组合,证实阿尼玛卿—布青山蛇绿构造混杂岩带的确是一条包含有寒武纪、奥陶纪和石炭纪蛇绿岩的复合型蛇绿混杂岩带或复合增生型构造混杂岩带。

2 布青山构造混杂岩带的基本组成特征

布青山蛇绿构造混杂岩带位于东昆仑复合造山带南缘的“阿尼玛卿—布青山—木孜塔格构造混杂岩带”西段,呈北西西向延展,长约 120 km,宽约 10~20 km(图 1a 和 1b),北侧以东昆仑断裂带与东昆仑构造带为界,南侧以长石头山断裂与巴颜喀拉构造带为界。布青山蛇绿构造混杂岩带主要由不同岩石类型和不同时代的构造混杂岩块和马尔争组($P_{1-2}m$)浊积岩组成的基质岩系组成。

布青山构造混杂岩带内的基质部分是二叠纪马尔争组($P_{1-2}m$)深水浊积岩组合(图 1b, 图 2, 表 1)。布青山构造混杂岩带内的构造混杂岩块主要包括以下类型:(1)不同时代的蛇绿岩岩片(块),主要由蛇纹岩(变质橄榄岩)、辉石岩、块状辉长岩(局部有斜

长岩)、辉绿岩墙和变玄武岩等组成;(2)洋岛型玄武岩组合,在蛇绿岩南侧存在大量洋岛型玄武岩,多呈透镜状断续分布,部分地带玄武岩上覆灰岩;(3)中元古代中深变质岩块,归属于苦海岩群(Pt_2K),由黑云母石英片岩、斜长角闪片岩、变粒岩、黑云母斜长片麻岩夹大理岩等组成;(4)中酸性火成岩类,主要由马尼特花岗闪长岩体、亿可哈拉尔花岗闪长岩体及白日切特花岗闪长岩和白日切特中酸性火山岩等组成,形成于早古生代;(5)格曲组(P_3g)磨拉石沉积,分布不均匀,出露规模较小,为浅灰白色厚层状复成分砾岩。

2.1 基质岩系

布青山构造混杂岩带基质组成部分为二叠纪马尔争组($P_{1-2}m$)复理石沉积,主要出露于构造混杂岩带的南、北两侧,是构造混杂岩块的主要围岩,为准原地沉积地层系统(图 1)。岩石类型主要为杂砂岩、长石岩屑砂岩、岩屑砂岩、细砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩、泥质板岩等碎屑岩组合,其中夹有少量紫红色硅质泥岩、灰岩及硅质灰岩。

马尔争组遭受了强烈的构造变形、低级变质作用和构造置换作用。不同岩性地层中发育多种原生沉积构造,如递变层理、平行层理、水平层理、包卷层理、变形层理、重荷模、槽模和冲刷侵蚀面等沉积构造。该套沉积地层中含早中二叠世(*Misellina* sp., *Schwagerina* *spdeng* 等瓣类)—早三叠世(*Limatulasporites-Lundbladispora-Cycadospites-Veryha-chium* 孢粉组合)生物化石种类(冀六祥,1991;冀六祥和欧阳舒,1996)以及早二叠世放射虫化石(张克信等,1999a, 1999b, 2001; 王永标和杨浩,2003; 王永标,2005),其中板岩的全岩 K-Ar 年龄为 247~252 Ma(殷鸿福和张克信,2003),在可可尔塔南侧被晚二叠世格曲组磨拉石沉积(P_3g)不整合覆盖,表明该套沉积地层主体形成时代为早中二叠世。

马尔争组碎屑锆石年龄谱研究表明,碎屑锆石同位素年龄可以分为 5 组:396~573 Ma、727~947 Ma、 $1\ 117\sim 1\ 243$ Ma、 $1\ 559\sim 1\ 993$ Ma、 $2\ 319\sim 3\ 063$ Ma,其中 396~573 Ma 年龄组的锆石约占锆石总量的 38%,并呈现出最强烈的峰值特征(峰值为 421 Ma)(胡楠等,2013; 裴先治等,2015)。从碎屑锆石年龄分布与区域地质特征相关性分析,推测东昆仑造山带的早古生代岩浆弧和元古代变质结晶基底为马尔争组提供主要物质来源。砂岩地球化学特征指示马尔争组复理石岩系形成于沟弧盆系活动大陆边缘构造环境。

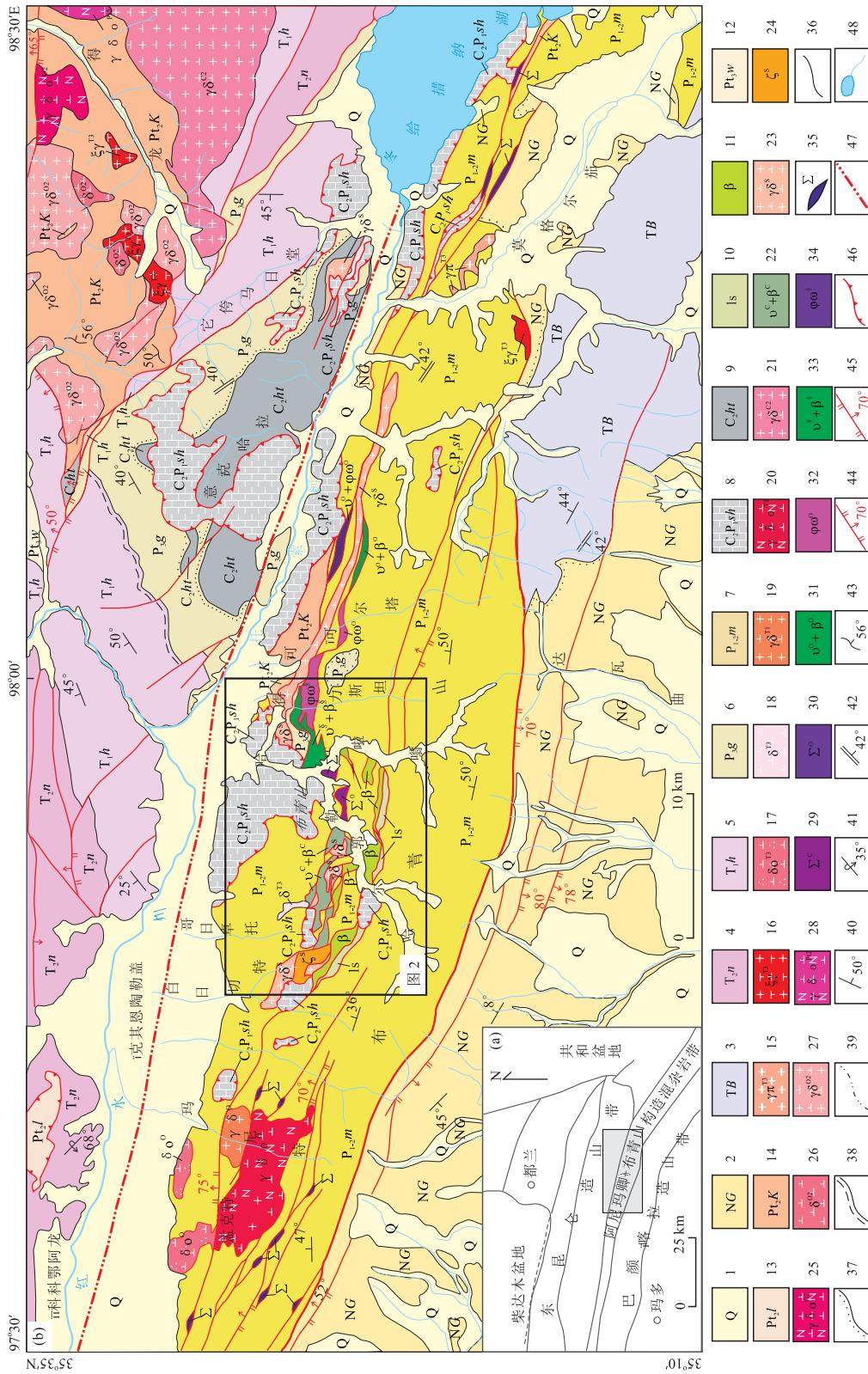


图1 东昆仑造山带大地构造图(a)和布青山构造混杂岩带地质简图(b)

Fig. 1 Simplified tectonic framework of East Kunlun orogen (a) and geological map of Buqingshan tectonic mélange belt (b)

1.第四系; 2.渐近纪贵德群; 3.三叠纪巴颜喀拉山群; 4.中二叠世固金坚硬组; 5.早三叠世洪水川组; 6.晚二叠世格曲组; 7.早中二叠世马尔争组; 8.晚石炭世-早二叠世树维门科组; 9.晚石炭世浩特洛哇组; 10.海山灰岩; 11.海山玄武岩; 12.新元古代宝沟岩群; 13.中元古代狼牙山组; 14.中元古代苦海岩群; 15.晚三叠世英云闪长岩; 16.晚三叠世正长花岗岩; 17.晚三叠世石英闪长岩; 18.晚三叠世闪长岩 (哥日卓托岩体); 19.早三叠世花岗闪长岩; 20.早三叠世麻状闪长岩; 21.晚石炭长岩+玄武岩组合; 22.石炭纪辉长岩+玄武岩; 23.志留纪花岗闪长岩; 24.志留纪英安岩; 25.中奥陶世黑云母英云闪长岩; 26.中奥陶世花岗闪长岩; 27.中奥陶世麻状闪长岩; 28.中元古代英云闪长岩; 29.时代不明蛇纹岩; 30.寒武纪蛇纹岩; 31.奥陶纪辉长岩+玄武岩; 32.奥陶纪蛇纹岩; 33.寒武纪辉长岩+玄武岩; 34.寒武纪蛇纹岩; 35.奥陶纪蛇绿岩组合; 36.奥陶纪蛇绿岩组合; 37.角度不整合; 38.平行不整合; 39.涌动接触; 40.正常地层 (层理) 产状; 41.倒转地层产状; 42.片麻理产状; 43.片麻理产状; 44.正断层产状; 45.逆冲推覆断层; 47.第四纪活动断层; 48.水系

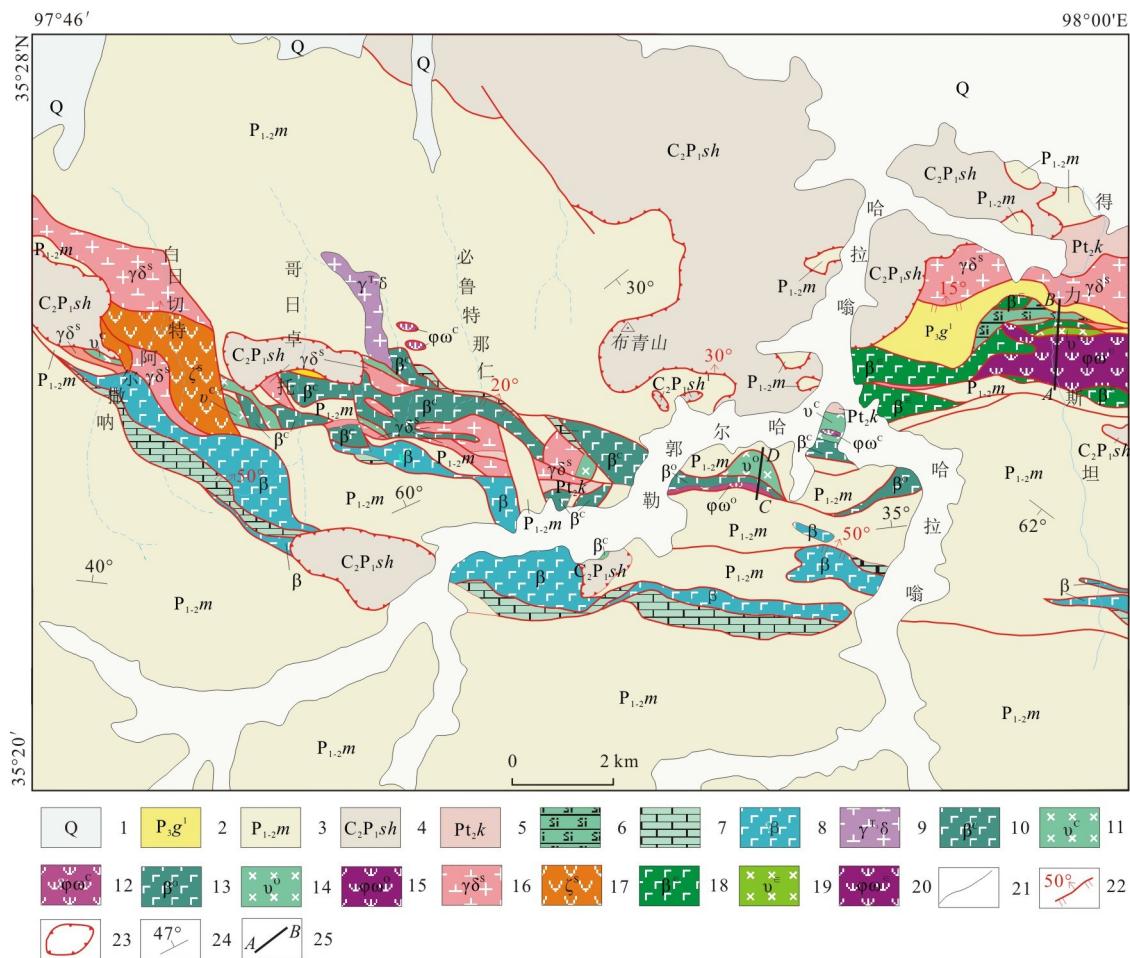


图 2 布青山地区地质简图

Fig.2 Simplified geological map of Buqingshan area

1.第四系;2.晚二叠世格曲组;3.早中二叠世马尔争组;4.晚石炭世—早二叠世树维门科组;5.中元古代苦海岩群;6.硅泥质岩;7.海山灰岩;8.海山玄武岩;9.晚三叠世花岗闪长岩;10.石炭纪玄武岩;11.石炭纪辉长岩;12.石炭纪蛇纹岩;13.奥陶纪玄武岩;14.奥陶纪辉长岩;15.奥陶纪蛇纹岩;16.志留纪花岗闪长岩;17.志留纪英安岩;18.寒武纪玄武岩;19.寒武纪辉长岩;20.寒武纪蛇纹岩;21.地质界线;22.逆断层;23.推覆断层;24.层理及产状;25.实测剖面位置

2.2 变质基底岩块

变质基底岩块主体部分呈长条状分布于可可尔塔—亿可哈拉尔花岗闪长岩北侧(图 1, 图 2),同时也大致分布于构造混杂岩带的最北侧。在得力斯坦一带,变质岩块南侧与亿可哈拉尔花岗闪长岩呈断层接触,北侧被第四系覆盖。其岩性组合主要有黑云母角闪石英片岩、石榴石石英片岩、二云母片岩、斜长角闪片岩、块状一条带状石英岩、黑云石英片岩、黑云斜长片麻岩、黑云斜长变粒岩、灰白色大理岩、纹带状大理岩、钙硅酸砾岩等,并“夹”有花岗质片麻岩等。变质程度达角闪岩相。其形成时代多被认为属于中元古代,为苦海岩群(张克信等,1999a, 1999b, 2001; 朱云海等,1999, 2002; 殷鸿福和张克信,2003)。

2.3 洋壳型岩块

在布青山构造混杂岩带中有 3 套洋壳型混杂岩

块,即以寒武纪得力斯坦蛇绿岩、奥陶纪哈尔郭勒西蛇绿岩、奥陶纪可可尔塔蛇绿岩、石炭纪哈尔郭勒东蛇绿岩、石炭纪得力斯坦南—哈尔郭勒—哥日卓托南洋岛/海山玄武岩等为代表。

2.3.1 寒武纪得力斯坦蛇绿岩 得力斯坦蛇绿岩分布于得力斯坦沟中北部,出露宽约 1.5 km(图 1, 图 2)。南侧与早中二叠世马尔争组浊积岩呈断层接触关系,北侧与晚二叠世格曲组磨拉石复成分砾岩沉积组合也呈断层接触关系(图 2, 图 3a)。蛇绿岩岩石组合由南到北分别为变质(强蛇纹石化)橄榄岩(方辉橄榄岩和二辉橄榄岩)、辉绿玢岩(脉)、块状辉长岩、变玄武岩及灰黑色硅泥质岩。蛇绿岩中各岩石单元之间呈断层接触关系,剖面上构成自北而南逆冲的叠瓦状构造(图 3a)。蛇绿岩南侧向南逆冲推覆于二叠纪马尔争组之上,蛇绿岩北段上覆岩系硅泥

表 1 布青山构造混杂岩带物质组成
Table 1 Compositions of Buqingshan tectonic mélange belt

类型		构造环境	物质组成	形成时代	代表性地质体	同位素年龄	
布青山复合增生型构造混杂岩带物质组成	构造混杂岩块	基质岩系	浊积岩相	马尔争组	早中二叠世	马尔争组浊积岩系 最小峰值年龄: 421 Ma (未刊资料)	
		磨拉石相	格曲组	晚二叠世	格曲组砂砾岩	最小峰值年龄: 426 Ma (杨森等, 2016)	
		变质基底	苦海岩群	中元古代	苦海岩群(变质岩块)		
		洋壳型	寒武纪蛇绿岩	早寒武世	得力斯坦蛇绿岩	辉长岩: 516.4±6.3 Ma (刘战庆等, 2011c)	
			奥陶纪蛇绿岩	中晚奥陶世	哈尔郭勒西蛇绿岩	辉长岩: 450±2 Ma (未刊资料)	
					禾日沟贡玛蛇绿岩	辉长岩: 467±4 Ma (未刊资料)	
					可可尔塔蛇绿岩	辉长岩: 457±2 Ma 斜长岩: 452±9 Ma (未刊资料)	
			石炭纪蛇绿岩	早石炭世	哈尔郭勒东蛇绿岩	辉长岩: 332.8±3.1 Ma (刘战庆等, 2011c)	
		岛弧型	洋岛海山玄武岩/灰岩组合	石炭纪-二叠纪	得力斯坦南玄武岩		
					哈尔郭勒南玄武岩/灰岩组合	玄武岩: 340.8±2.8 Ma (杨杰等, 2014)	
					哥日卓托南玄武岩/灰岩组合		
			玄武岩/安山岩组合		禾日沟贡玛玄武岩/安山岩组合		
		外来推覆体	台地相	早奥陶世早志留世	白日切特花岗闪长岩	花岗岩: 439.0±1.9 Ma (刘战庆等, 2011a)	
					亿可哈拉尔花岗闪长岩	花岗岩: 436.4±6.8 Ma 花岗岩: 436.9±5.7 Ma (Li et al., 2015)	
					玛尼特花岗闪长岩	花岗岩: 479±2 Ma 花岗岩: 487±12 Ma (Li et al., 2015)	
		钉合岩体	后碰撞型	中酸性火山熔岩	早志留世	白日切特中酸性火山岩	英安岩: 437.7±2.8 Ma (刘战庆等, 2011a)

质岩又被晚二叠世格曲砾岩逆冲掩覆。得力斯坦蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 516.4 ± 6.3 Ma, 表明得力斯坦蛇绿岩形成时代为早寒武世(刘战庆等, 2011a, 2011b, 2011c)。

得力斯坦蛇绿岩中的蛇纹岩的 SiO_2 含量介于 $39.01\% \sim 39.39\%$; MgO 含量介于 $37.71\% \sim 38.39\%$, 略低于典型地幔方辉橄榄岩的 MgO 含量。稀土元素总量较低($\sum \text{REE} = 0.46 \times 10^{-6} \sim 0.69 \times 10^{-6}$); (La/Yb)_N=0.63~0.88, 属于强烈亏损型地幔橄榄岩(未刊资料); 球粒陨石标准化稀土元素配分曲线表现为开阔“U”型分布型式。辉长岩、辉绿玢岩和玄武岩均属于拉斑玄武岩系列, 具有相似的稀土元素配分型式, 均表现出 LREE 略具亏损左倾分布特征。综上, 得力斯坦蛇绿岩中的基性岩浆岩的地球化学特征总体显示为 N-MORB 型, 代表了布青

山洋壳扩张阶段的物质记录。

2.3.2 奥陶纪哈尔郭勒西蛇绿岩 哈尔郭勒西蛇绿岩分布于布青山地区哈尔郭勒沟西侧山梁处, 呈北西西—南东东向展布(图 2, 图 3b), 前人未曾报道过该蛇绿岩。哈尔郭勒西蛇绿岩出露宽约 0.8 km, 岩石组合包括蛇纹岩(变质橄榄岩)或蛇纹石化橄榄岩、块状辉长岩、辉绿岩、玄武岩和灰黑色深水硅泥质岩, 该蛇绿岩南北侧均与马尔争组呈断层接触关系, 蛇绿岩各岩石单元之间也呈断层接触关系(图 3b)。其中的玄武岩多为灰绿色枕状玄武岩和紫红色—灰绿色绿帘石化块状玄武岩以及角砾状玄武岩。已获得哈尔郭勒西蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 450 ± 2 Ma(未刊资料), 代表了辉长岩的结晶年龄, 据此确定哈尔郭勒西蛇绿岩的形成时代为晚奥陶世。

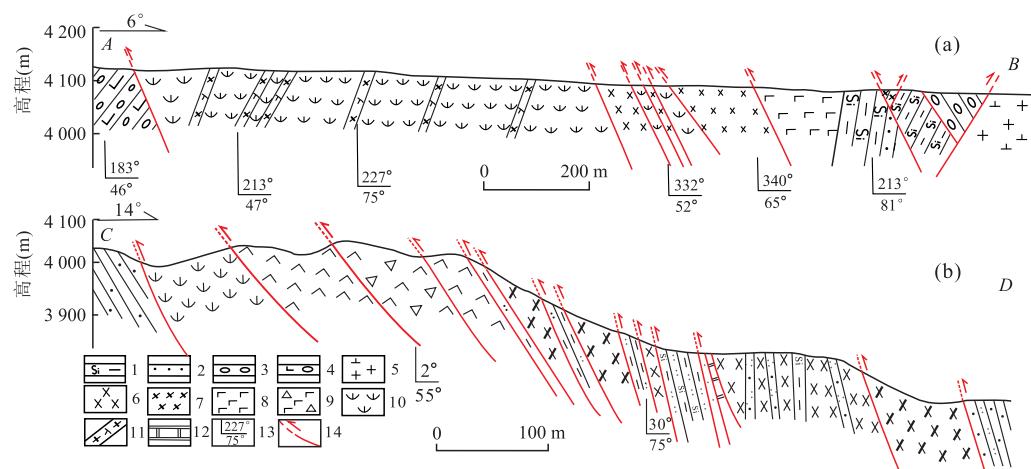


图 3 东昆仑南缘布青山地区得力斯坦蛇绿岩(a)和哈尔郭勒西蛇绿岩(b)地质剖面

Fig.3 Geological section of Delisitan ophiolite (a) and Haerguolexi ophiolite (b) of Buqingshan area in southern East Kunlun

1. 硅泥质岩; 2. 长石英岩屑砂岩; 3. 粗砾岩; 4. 钙质砾岩; 5. 似斑状黑云母花岗闪长岩; 6. 辉长岩; 7. 辉绿岩; 8. 玄武岩; 9. 角砾状玄武岩; 10. 蛇纹岩; 11. 辉绿岩脉; 12. 大理岩; 13. 产状; 14. 断层

哈尔郭勒西蛇绿岩中的蛇纹石化橄榄岩 SiO_2 含量介于 $38.95\% \sim 39.68\%$, MgO 含量介于 $37.64\% \sim 38.69\%$. 稀土元素总量变化范围较窄, $\Sigma \text{REE} = 0.57 \times 10^{-6} \sim 0.95 \times 10^{-6}$, 多数小于 1×10^{-6} , 平均值为 0.80×10^{-6} , 代表了亏损的地幔残余(未刊资料). 哈尔郭勒西蛇绿岩中的辉绿岩—辉长岩均属于拉斑玄武岩系列, 具有较一致的稀土元素配分型式, 均表现为轻稀土元素 LREE 相对略具亏损的左倾分布特征. 辉绿岩—辉长岩的大离子亲石元素(LILE)Cs、Ba、K 相对富集, Th、U 元素相对亏损, 高场强元素(HFSE)含量变化不大, 总体呈平坦型式. 蛇绿岩中的玄武岩类亦属于拉斑系列. 稀土总量较低, $\Sigma \text{REE} = 30.75 \times 10^{-6} \sim 58.87 \times 10^{-6}$; 轻重稀土元素分异不明显, 球粒陨石标准化配分曲线显示总体为轻稀土相对亏损的左倾曲线, 为典型 N-MORB 型玄武岩. 在原始地幔标准化微量元素蛛网图中, 多数玄武岩曲线型式呈平坦型. 综上, 哈尔郭勒西蛇绿岩中玄武岩为 N-MORB 型玄武岩, 证明哈尔郭勒西蛇绿岩也为洋脊型(N-MORB)蛇绿岩, 同时也代表了洋壳扩张阶段的物质记录.

2.3.3 奥陶纪可可尔塔蛇绿岩 可可尔塔蛇绿岩分布于可可尔塔地区和禾日沟贡玛地区(图 4, 图 5). 可可尔塔地区主要包括蛇纹岩(变质橄榄岩)、强蛇纹石化方辉橄榄岩、斜长岩和辉绿岩等. 已获得辉长岩和斜长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 457 ± 2 Ma 和 452 ± 9 Ma, 表明该蛇绿岩形成时代为晚奥陶世(未刊资料). 可可尔塔地区蛇绿岩中的基性端元均属于拉斑玄武岩系列. 稀土元素配分

曲线显示辉长岩及斜长岩的分布型式相似, 均为轻稀土元素略亏损、重稀土元素略富集、Eu 负异常的平坦型分布型式, 与 N-MORB 基本一致. 微量元素蛛网图显示辉长岩及斜长岩具有相同的分布规律, 其中大离子亲石元素具有较强烈的分异特征, 而高场强元素分布形态总体呈平坦型, 与 N-MORB 一致, 表明其形成于洋脊构造环境.

禾日沟贡玛地区蛇绿岩主要包括蛇纹岩(变质橄榄岩)、片麻状辉长岩等. 已获得片麻状辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 467 ± 4 Ma. 禾日沟贡玛地区蛇绿岩中的片麻状辉长岩亦属于拉斑玄武岩系列; 辉长岩稀土元素总量稳定, 其球粒陨石标准化配分型式与 Troodos 蛇绿岩中层状辉长岩的分布范围一致. 微量元素蛛网图显示片麻状辉长岩大离子亲石元素分异明显, 而高场强元素分布型式与 N-MORB 相似, 表明禾日沟贡玛地区蛇绿岩也属于 N-MORB 型.

2.3.4 石炭纪哈尔郭勒东蛇绿岩 哈尔郭勒东蛇绿岩分布于布青山地区哈尔郭勒沟东侧山梁处, 呈北西西—南东东向展布(图 2, 图 6). 出露宽度约 1.3 km, 岩石组合为蛇纹石化橄榄岩、蛇纹岩(变质橄榄岩)、细粒辉长岩、辉绿玢岩、辉绿岩、玄武岩. 该蛇绿岩南北两侧均与中元古代苦海岩群大理岩岩块(片)呈断层接触关系. 获得哈尔郭勒蛇绿岩中的辉长岩的 2 组 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 332.8 ± 3.1 Ma 和 447.6 ± 5.6 Ma(未刊资料). 其中 447.6 ± 5.6 Ma 可能为捕获锆石年龄, 332.8 ± 3.1 Ma 代表了辉长岩的结晶年龄, 因此确定哈尔郭勒东蛇

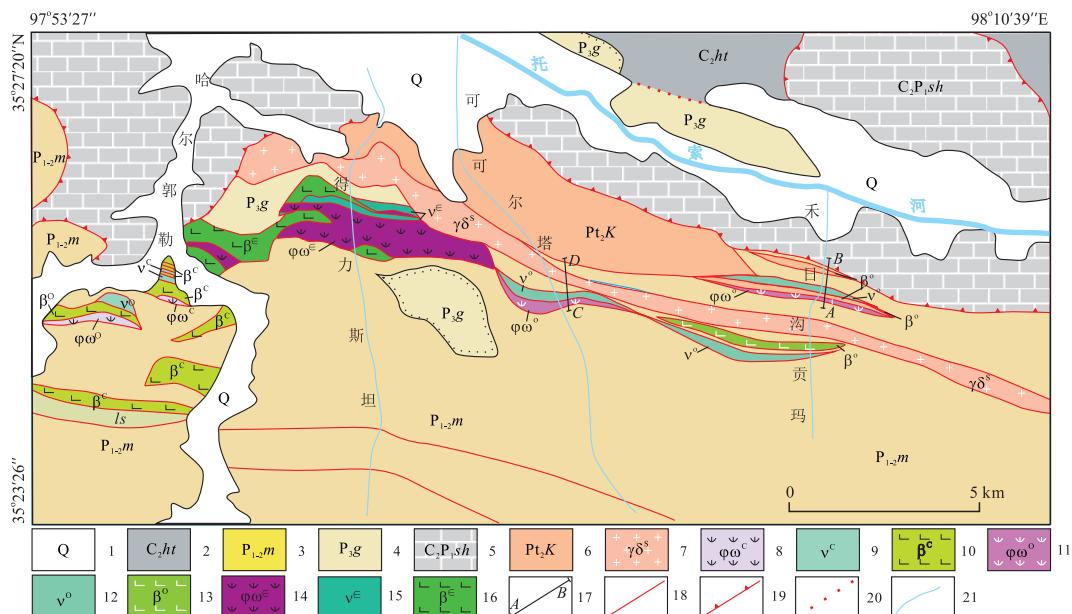


图 4 东昆仑南缘可可尔塔地区蛇绿构造混杂岩地质简图

Fig.4 Simplified geological map of Kekeerta ophiolite in southern East Kunlun

1.第四系;2.晚石炭世浩特洛娃组;3.早中二叠世马尔争组;4.晚二叠世格曲组;5.晚石炭世—早中二叠世树维门科组;6.中元古代苦海岩群;7.志留纪花岗闪岩;8.石炭纪蛇纹岩;9.石炭纪辉长岩;10.石炭纪玄武岩;11.奥陶纪蛇纹岩;12.奥陶纪辉长岩;13.奥陶纪玄武岩;14.寒武纪蛇纹岩;15.寒武纪辉长岩及辉绿玢岩;16.寒武纪玄武岩;17.剖面代号;18.断层;19.逆冲推覆断层;20.区域断裂;21.水系

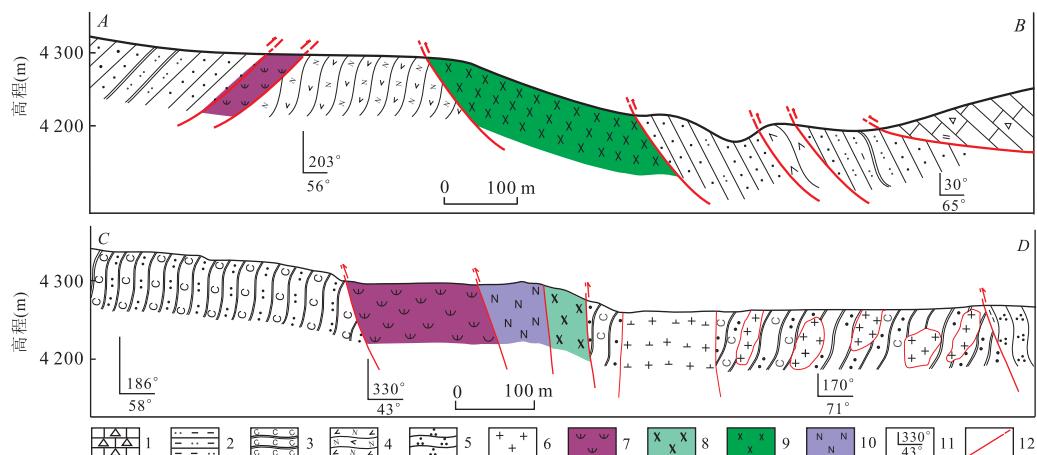


图 5 东昆仑南缘可可尔塔地区蛇绿混杂岩地质剖面

Fig.5 Geological sections of Kekeerta ophiolite in southern East Kunlun

AB.禾木沟贡玛地区蛇绿岩剖面;CD.可可尔塔地区蛇绿岩剖面.1.角砾状灰岩;2.粉砂质泥岩;3.炭质板岩;4.斜长角闪岩;5.石英岩;6.花岗岩;7.蛇纹岩;8.辉绿岩;9.辉长岩;10.斜长岩;11.地层产状;12.断裂

绿岩的形成年龄为 332.8 ± 3.1 Ma, 为早石炭世。

哈尔郭勒东蛇纹石化橄榄岩 SiO_2 含量为 $40.83\% \sim 41.01\%$, MgO 含量为 $37.31\% \sim 37.51\%$; $\Sigma \text{REE} = 0.98 \times 10^{-6} \sim 1.01 \times 10^{-6}$, $\Sigma \text{HREE}/\Sigma \text{LREE} = 0.65 \sim 3.12$, 稀土分配曲线表现为开阔“U”型的分布型式(未刊资料)。辉绿岩—辉长岩主量元素特征表明其属于拉斑玄武岩系列。稀土元素配分型式均表现为轻稀土元素 LREE 相对亏损的

左倾分布特征。在原始地幔标准化微量元素蛛网图中表现为大离子亲石元素(LILE)Cs、Ba、K 相对富集, Th、U 元素相对亏损;高场强元素(HFSE)含量变化不大, 总体呈平坦型式。玄武岩主量元素特征表明其亦属于拉斑玄武岩系列。球粒陨石标准化配分曲线显示总体为轻稀土相对亏损的左倾曲线, 为典型 N-MORB 型玄武岩。在原始地幔标准化微量元素蛛网图中, 多数玄武岩显示大离子亲石元素相对富

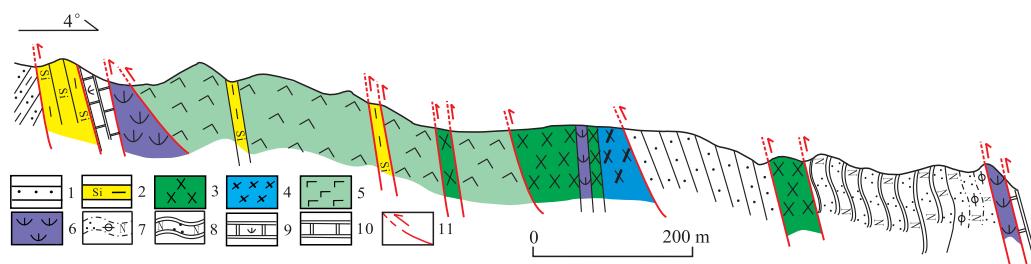


图 6 东昆仑南缘布青山地区哈尔郭勒东蛇绿岩地质剖面

Fig.6 Geological section of Haergoledong ophiolite of Buqingshan area in southern East Kunlun

1. 硅泥质岩; 2. 含砾岩屑砂岩; 3. 中细粒辉长岩; 4. 辉绿岩; 5. 玄武岩; 6. 蛇纹岩; 7. 绿帘石英变粒岩; 8. 长石石英岩; 9. 蛇纹石化菱镁矿化大理岩; 10. 厚层块状大理岩; 11. 断层

集,高场强元素表现为微弱的负异常.以上岩石地球化学特征显示玄武岩为 N-MORB 型,表明哈尔郭勒东蛇绿岩也为 N-MORB 型蛇绿岩.

2.3.5 得力斯坦南—哈尔郭勒—哥日卓托南洋岛/海山玄武岩 在布青山构造混杂岩带的南侧分布一套独立产出或与灰岩紧密共生的基性火山岩,多出露于得力斯坦沟南侧、哈尔郭勒南侧、哥日卓托南侧.平面上多呈透镜状、长条状,呈北西西—南东东向展布,地貌上多形成陡峻的高山,与周围地层多呈断层接触关系(图 7).玄武岩类型多样,多发育有枕状构造、块状构造、气孔—杏仁状构造、角砾状构造等.这种古海山结构的基座几乎全由灰绿色—紫红色玄武岩组成,中部为紫红色—灰绿色角砾状玄武岩,上部为浅灰色块状灰岩.区域上在巴颜喀拉地区也分布有石炭纪的古海山(王永标, 2005).已获得哈尔郭勒洋岛型玄武岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 340.8 ± 2.8 Ma(杨杰等, 2014), 表明其形成于早石炭世.

依据玄武岩类型及上覆沉积岩系特点,可将布青山地区古海山划分为 3 种类型的洋岛/海山玄武岩—碳酸盐岩组合.

(1) 得力斯坦南 MORB 型玄武岩/硅泥质岩/碳酸盐岩组合: 得力斯坦南玄武岩分布于布青山构造混杂岩带南侧,与围岩马尔争组呈断层接触关系(图 7). 该套玄武岩与深水相硅泥质岩及厚层块状灰岩相伴生, 具有洋岛/海山的二元组合特征(图 8). 玄武岩类型多样, 有枕状构造、块状构造、气孔—杏仁状构造、豆粒状构造、角砾状构造等. 玄武岩主量元素表明其属于深海拉斑玄武岩和洋脊拉斑玄武岩系列. 球粒陨石标准化稀土元素配分图与 N-MORB 型玄武岩特征相似(Sun and McDonough, 1989), 应形成于洋中脊或由于洋脊扩张向两侧后移的洋中脊岛弧构造环境, 并在其上沉积有深水相硅泥质岩及

浅水相碳酸盐岩.

(2) 哈尔郭勒南 MORB 型/OIB 型玄武岩/碳酸盐岩组合: 出露于布青山地区的哈尔郭勒南侧(图 2, 图 7), 平面上呈透镜状或长条状近东西向展布, 玄武岩岩块均被断层切断成大小不一的块体, 单个块体的延伸长度最小不足 0.5 km, 最大达 5 km 以上. 地貌特征鲜明, 多形成高耸突出的高山, 玄武岩与周围岩层多呈断层接触关系. 玄武岩和灰岩之间大多呈断层接触, 但局部仍可清楚看到灰岩覆盖在玄武岩之上. 玄武岩类型较多, 主要为枕状玄武岩、块状玄武岩、玄武质角砾岩、粗玄岩等.

依据玄武岩的主量元素地球化学特征, 可划分为碱性玄武岩和拉斑玄武岩系列 2 类. 碱性玄武岩球粒陨石标准化配分曲线呈轻稀土富集型, 与洋岛型玄武岩及夏威夷碱性玄武岩的稀土元素配分形式相似. 拉斑玄武岩球粒陨石标准化配分曲线与 N-MORB 型玄武岩相似.

剖面上, 哈尔郭勒南海山玄武岩柱状图下部为 N-MORB 型玄武岩, 中部为 OIB 型玄武岩, 上部为盖层灰岩. 其可能的形成过程为: 在洋脊扩张中心, 地幔熔融产生具有 N-MORB 性质的岩浆, 随着洋脊的不断扩张, 先期形成的 N-MORB 逐渐远离洋脊扩张中心并位于地幔热柱的上方, 地幔热柱熔融上涌形成 OIB 型玄武岩, 最后浅水相灰岩覆盖其上.

(3) 哥日卓托 OIB 型玄武岩/碳酸盐岩组合: 主要出露于哥日卓托沟南侧(图 2, 图 7), 与马尔争组砂板岩及灰白色厚层块状灰岩均呈断层接触. 哥日卓托玄武岩主量元素特征类似于冰岛拉斑玄武岩或夏威夷玄武岩喷发早期的拉斑玄武岩. 玄武岩稀土元素球粒陨石标准化配分图呈现轻稀土元素富集的右倾曲线. 玄武岩富集 Rb、Ba 和 Th 等大离子亲石元素, 无 Nb 和 Ta 负异常, 但具有明显高的 Zr/Yb 比值, 具有洋岛玄武岩(OIB)的地球化学特征(李瑞

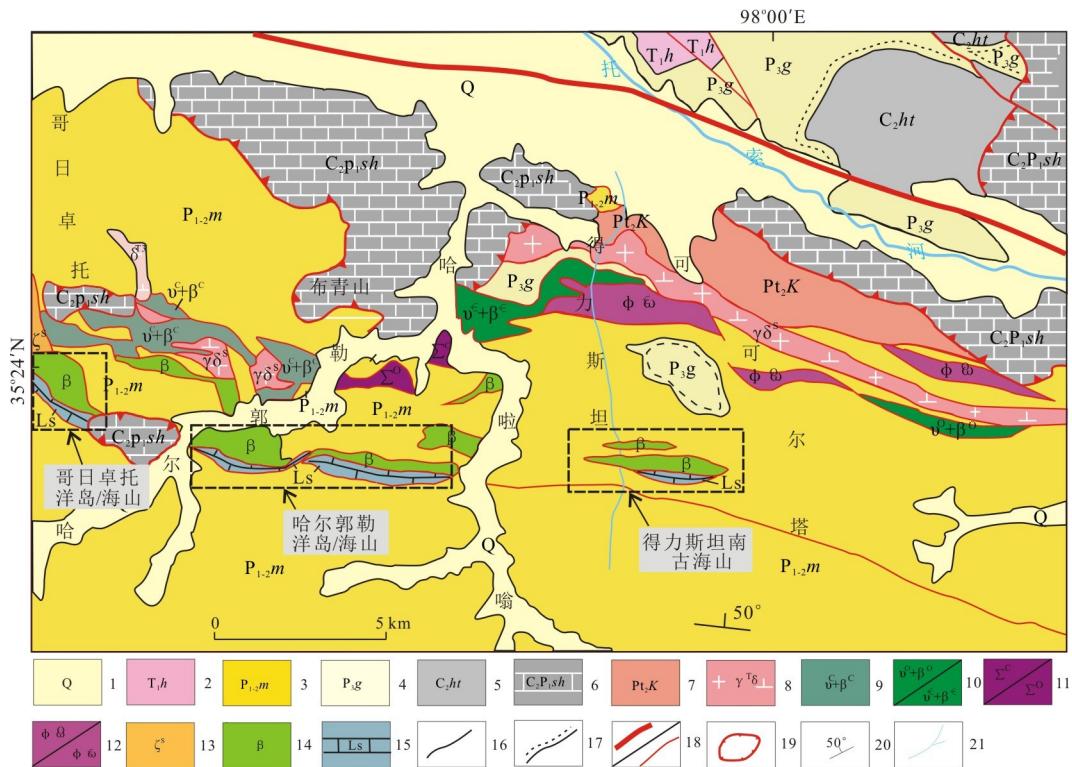


图 7 布青山构造混杂岩带不同类型洋岛/海山玄武岩地质简图

Fig.7 Simplified geological map of different types of oceanic island basalts in Buqingshan area

1.第四系;2.早三叠世洪水川组;3.早中二叠世马尔争组;4.晚二叠世格曲组;5.晚石炭世浩特洛洼组;6.晚石炭世—早二叠世树维门科组;7.中元古代苦海岩群;8.晚三叠世花岗闪长岩;9.石炭纪玄武岩与辉长岩;10.奥陶纪玄武岩与辉长岩/寒武纪玄武岩与辉长岩;11.石炭纪蛇绿岩组合/奥陶纪蛇绿岩组合;12.奥陶纪辉橄榄岩/寒武纪辉橄榄岩;13.英安斑岩;14.洋岛/海山玄武岩;15.厚层块状碳酸盐岩;16.地质界线;17.角度不整合界线;18.区域边界断层/一般断层;19.逆冲推覆构造;20.地层产状;21.水系

保等,2014).从其岩石组合及地球化学特征来看,哥日卓托玄武岩是大洋板块内部与地幔柱有关的洋岛岩浆作用的产物。

2.4 岛弧型岩浆岩

在布青山构造混杂岩带北侧,分布有具岛弧性质的中酸性侵入岩和中基性、中酸性火山岩等混杂岩块.其中中酸性侵入岩岩块在可可尔塔、亿可哈拉尔、白日切特以及玛尼特等地均有分布.岩性主要为灰白色花岗闪长岩;少量灰色中细粒石英闪长岩.

2.4.1 白日切特岛弧型花岗闪长岩 白日切特花

岗闪长岩呈北西西—南东东向长条状展布(图1,图2),北侧和南侧分别与马尔争组浊积岩、白日切特中酸性火山岩呈断层接触关系,西南部被石炭一二叠纪树维门科组碳酸盐岩推覆体掩盖,出露面积约3.5 km².岩性主要为灰白色—浅灰色中粒—细粒花岗闪长岩.已获得花岗闪长岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为439.0±1.9 Ma,代表了白日切特花岗闪长岩结晶年龄,形成时代为早志留世(刘战庆等,2011a).

花岗闪长岩主量元素数据表明其属准铝质—弱

过铝质中钾—钙碱性系列岩石，并具有埃达克岩性质。稀土元素配分曲线显示右倾型，Eu 具弱的负异常至弱的正异常，并具有高 Sr、低 Y、Yb 特征。构造环境研究表明白日切特花岗闪长岩形成于与俯冲作用有关的岛弧环境，属于原特提斯洋洋壳俯冲消减作用形成的岛弧型花岗岩。

2.4.2 白日切特岛弧型中酸性火山岩 白日切特

中酸性火山岩分布在布青山白日切特地区(图1,图2),主要由英安岩一流纹斑岩及少量安山岩等组成。该火山岩系仅出露于白日切特沟南侧,与周边其他岩石地层或岩块均呈断层接触关系。已获得白日切特中酸性火山岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为437.7±2.8 Ma,表明其形成于早志留世,与前述白日切特花岗闪长岩的形成时代基本一致(刘战庆等,2011a)。

中酸性火山岩属于钙碱性系列岩石。其稀土元素总量较低，LREE 相对富集，HREE 相对亏损，具有弱的负铕异常。微量元素中 Nb、Ta、P、Ti 高场强元素呈明显的负异常，但整体上显示岩石具有岛弧火山岩性质。

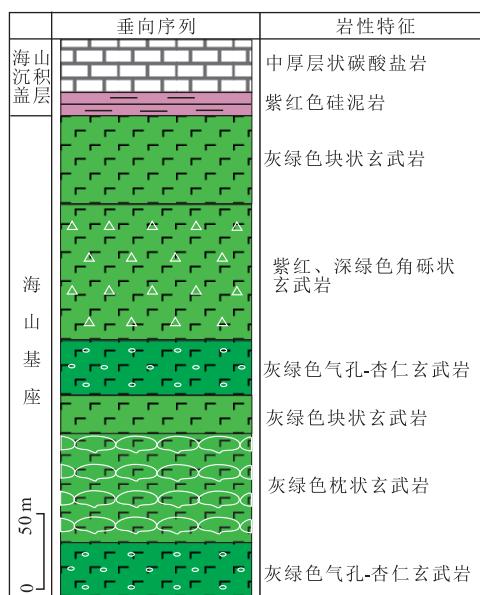


图 8 布青山地区得力斯坦洋岛/海山玄武岩综合地层柱状图

Fig.8 Comprehensive stratigraphic column of Delisitan seamount basalts in Buqingshan area

2.4.3 亿可哈拉尔岛弧型花岗闪长岩 亿可哈拉尔花岗闪长岩位于得力斯坦—亿可哈拉尔一带(图 1, 图 2, 图 7), 呈近北西西向展布, 东西长约 8~10 km, 南北宽约 1~2 km, 出露面积约 15~20 km², 北侧与中元古界苦海岩群变质岩(西段)及马尔争组砂板岩(东段)呈断层接触, 南侧与马尔争组砂板岩及格曲组复成分砾岩也呈断裂接触。岩性主要为灰白色片麻状似斑状中粗粒花岗闪长岩。已获得亿可哈拉尔具有埃达克质的花岗闪长岩和具有钙碱性的花岗闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 436.4±6.8 Ma 和 436.9±5.7 Ma, 形成时代均为早志留世(Li *et al.*, 2015)。

花岗闪长岩属于准铝质—弱过铝质钙碱性系列岩石。微量元素特征显示该岩体北段为埃达克质花岗闪长岩, 南段为钙碱性花岗闪长岩。埃达克质花岗闪长岩稀土总量(Σ REE)为 $123.47 \times 10^{-6} \sim 204.24 \times 10^{-6}$, Σ LREE/ Σ HREE 比值为 $15.11 \sim 31.73$, 平均值为 22.94, 反映了岩石具有较强的轻重稀土分馏。 $(La/Sm)_N$ 为 $4.43 \sim 8.05$, $(La/Yb)_N$ 为 $26.30 \sim 84.76$, δEu 为 $0.62 \sim 1.10$, 具 Eu 弱负异常或正异常特征, 与埃达克岩稀土元素配分曲线基本一致; 具有富集大离子亲石元素(如 Cs、Rb、Ba、Th、U)和轻稀土元素、亏损高场强元素(Nb、Ta、Hf)及 Ti 的弧岩浆岩特征, 突出表现为 Y、Yb、Lu 的亏损和 Sr 的富集, 呈现与埃达克质花岗岩相似的 N-

MORB 标准化曲线。南段的钙碱性弧花岗闪长岩稀土总量(Σ REE)为 $161.96 \times 10^{-6} \sim 338.43 \times 10^{-6}$, Σ LREE/ Σ HREE 为 $8.91 \sim 27.48$, 平均值为 15.62, $(La/Sm)_N$ 为 $3.54 \sim 6.93$, $(La/Yb)_N$ 为 $9.94 \sim 65.42$, 相对北段岩石轻重稀土分馏程度较弱, δEu 为 $0.62 \sim 1.09$, 主体小于 1.0, 具 Eu 负异常特征, 具有轻稀土富集、重稀土亏损的曲线右倾特征, 配分曲线总体高于北段及埃达克质稀土元素配分曲线; 具有富集大离子亲石元素(如 Cs、Rb、Ba、Th、U)和轻稀土元素、亏损高场强元素(Nb、Ta、Hf)及 Ti 的弧岩浆岩特征(Li *et al.*, 2015)。

上述资料表明, 亿可哈拉尔花岗岩是兼具埃达克质花岗岩与钙碱性花岗岩属性的复合型花岗岩。综合区域地质资料, 确定布青山地区于 439~437 Ma 期间, 仍发育有一期重要的与洋壳俯冲相关的构造岩浆事件。

2.4.4 玛尼特岛弧型花岗闪长岩 玛尼特花岗闪长岩出露于布青山构造混杂岩带西段的玛尼特—孟可特地区(图 1)。岩体出露面积约 45 km², 与围岩马尔争组呈断层接触关系。该岩体边部变形较强, 发育有片麻理构造, 内部变形相对较弱, 有少量暗色基性包体(闪长质包体), 包体与寄主岩呈突变接触关系, 界线截然, 包体大小为 $2 \times 2 \sim 10 \times 20$ cm²。其主要岩性为浅灰色中—粗粒花岗闪长岩。已获得花岗闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 479 ± 2 Ma 和 487 ± 11 Ma, 表明其形成时代为晚寒武世—早奥陶世。最近赵菲菲等(2017)获得玛尼特地区片麻状花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为 495.6 ± 1.1 Ma, 为晚寒武世, 表明玛尼特花岗闪长岩主体形成于晚寒武世—早奥陶世。

玛尼特花岗闪长岩具低 SiO₂ (66.06%~68.60%)、K₂O (1.88%~3.36%)、K₂O+Na₂O (6.17%~7.43%) 和低 TiO₂ (0.30%~0.38%) 含量, 具有高 Na₂O/K₂O 比值 (1.16~2.62) 和高 A/CNK (1.02~1.15), 为弱过铝质钙碱性系列花岗岩。轻稀土元素富集而重稀土元素亏损, $(La/Yb)_N = 5.62$; 具 LILE 富集、HFSE 亏损特征, 尤其表现出明显的 Ba、Sr 正异常及 Ti、Zr、Hf 负异常, 显示出与弧岩浆作用相关的地球化学特征。据此认为玛尼特花岗闪长岩形成于与俯冲相关的火山弧环境, 代表了原特提斯洋洋壳的俯冲作用的早期产物。

上述岛弧型花岗岩类的存在, 表明在晚寒武世—早志留世期间, 原特提斯洋洋壳的俯冲作用持续进行并产生岛弧型岩浆岩组合。

2.4.5 禾日沟贡玛岛弧型玄武岩/安山岩组合 布青山地区禾日沟贡玛玄武岩/安山岩呈无根状构造岩片产于禾日沟贡玛沟中段(图 1, 图 4), 主要岩石类型包括玄武岩和安山岩, 岩石片理化明显, 片理南倾, 呈无根岩片产于马尔争组基质中, 宽约 180 m, 呈北西向展布。由于布青山地区岛弧型岩浆岩主要发育在早古生代, 因此, 在缺乏同位素年龄情况下, 暂将该火山岩时代确定为奥陶纪。

禾日沟贡玛玄武岩/安山岩属于成熟岛弧钙碱性系列火山岩。禾日沟贡玛玄武岩/安山岩具有相似的稀土元素分布型式, 表现为轻稀土元素富集的右倾型。微量元素显示富集 Rb、Th、K、U, 亏损 Ta、Nb、Ti、Hf 特征。地球化学特征表明禾日沟贡玛玄武岩/安山岩为形成于俯冲背景下的岛弧钙碱性系列火山岩。

2.5 格曲组磨拉石组合

晚二叠世格曲组(P_3g)主要分布在东昆仑—阿尼玛卿山地区, 主体为一套下部粗碎屑岩及上部碳酸盐岩组合, 灰岩中富含䗴、腕足和珊瑚等化石, 属于磨拉石沉积组合(张克信等, 1999a, 1999b, 2001; 殷鸿福和张克信, 2003)。在布青山地区主要分布于得力斯坦变质基底岩片南侧, 出露规模较小, 为浅灰白色厚层状复成分砾岩, 砾石成分主要为花岗岩、硅质岩、玄武岩及变质岩等, 粒径为 0.5~5.0 cm, 磨圆度较好, 多为椭球状、卵状, 基质为粗砂质成分。砾石成分统计表明, 砾石可以划分为花岗岩砾石、沉积岩砾石、变质岩砾石和基性岩砾石 4 类, 其中沉积岩砾石主要为肉红色硅质岩、青灰色硅质岩、砂岩和灰岩; 变质岩砾石主要为石英岩; 基性岩砾石主要为玄武岩和辉石岩; 4 类砾石中花岗岩砾石和沉积岩砾石为主体部分, 二者的含量分别占砾石含量的 79%、88%, 表明沉积盆地物源比较稳定。砾岩层中碎屑锆石年龄可以分为 3 组: 409~499 Ma、619~744 Ma、2 443 Ma, 其中 409~499 Ma 年龄段呈现强烈的峰值, 峰值年龄为 426 Ma(杨森等, 2016)。以上表明东昆仑造山带变质基底和新元古代—早古生代岩浆岩为格曲组的主要物源。

2.6 树维门科组灰岩推覆体

在布青山主峰地区分布有晚石炭世—早中二叠世树维门科组碳酸盐岩为主要组成的推覆体构造, 叠置在构造混杂岩带不同构造部位(图 1, 图 2)。此外, 在哈尔郭勒南侧、哥日卓托南、白日切特南侧等地也有大型灰岩推覆体, 均属于树维门科组。其主要由厚层状生物碎屑灰岩、礁灰岩、含生物碎屑灰岩组

成, 含丰富的䗴、有孔虫、腕足类等化石。古生物化石资料显示其主体时代为晚石炭世—早中二叠世(张克信等, 1999a, 1999b, 2001; 林启祥等, 2001, 2003; 殷鸿福和张克信, 2003)。在区域上, 树维门科组生物礁灰岩大规模由北向南逆冲推覆叠置于马尔争组复理石以及早古生代蛇绿岩、早古生代岛弧型岩浆岩和晚古生代洋岛/海山玄武岩等构造混杂岩块之上, 形成逆冲推覆体。

2.7 哥日卓托闪长岩体—钉合岩体

在布青山构造混杂岩带中还出露有小型花岗岩类侵入体, 如哥日卓托闪长岩体, 其形态呈不规则状并切割主要构造线, 显然是在构造混杂岩带形成之后的侵入岩体, 具有“钉合岩体”构造属性。与作为构造混杂岩带基质岩系的马尔争组(图 1b)呈侵入接触关系, 仅在南端侵位于作为构造混杂岩带构造岩块的玄武岩和辉长岩中。哥日卓托闪长岩体出露面积较小, 仅为 1.5 km², 平面上呈长条状北北西向展布, 长约 3 km, 宽约 0.4~0.6 km, 与区域构造线斜交。已获得哥日卓托闪长岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 225.8±1.5 Ma 和 224±4 Ma, 表明其形成时代为晚三叠世(李佐臣等, 2013; 刘金龙等, 2015)。

哥日卓托闪长岩属于准铝质钙碱性系列岩石。稀土元素特征表明, 稀土元素总量较低, 轻、重稀土元素之间分馏较明显。稀土元素配分图显示为右倾型特征。微量元素显示高场强元素 Nb、Ta、P 明显亏损, 而 Rb、U、La 等元素具有明显的正异常。地球化学特征显示该岩体具有后碰撞花岗岩特征, 形成于古特提斯洋闭合后碰撞构造环境, 具有“钉合岩体”性质(李佐臣等, 2013), 直接限定了俯冲增生构造混杂岩带的形成时间上限。

2.8 不同时代构造混杂岩块的分布特征

从布青山构造混杂岩带内部不同时代构造混杂岩块的大致分布来看, 早古生代不同类型的构造岩块(寒武纪得力斯坦蛇绿岩、奥陶纪哈尔郭勒西蛇绿岩、独立产出的辉长岩块、玄武岩块以及花岗闪长岩类、中酸性火山岩类以及中元古代变质基底岩块等)大致分布于构造混杂岩带的北部, 而属于晚古生代的不同类型的构造岩块(如哈尔郭勒东蛇绿岩、MORB 型玄武岩块、OIB 型玄武岩/灰岩组合岩块等)大致分布于构造混杂岩带的南部, 显示出构造混杂作用具有一定的时序性、增生性及复合性特征。

根据野外地质调查并结合区域地质研究资料认为, 布青山构造混杂岩带中至少存在 3 期蛇绿岩, 即寒武纪得力斯坦蛇绿岩、奥陶纪哈尔郭勒西蛇绿岩

和可可尔塔蛇绿岩、石炭纪哈尔郭勒东蛇绿岩,分别代表了多期洋壳的物质记录。由此可以推定,在布青山地区曾存在过多个时代的洋盆,并且洋盆持续扩张时间较长,即早古生代原特提斯洋开启并一直持续到晚古生代—印支早期。

3 布青山复合增生型构造混杂岩带蛇绿岩与东特提斯洋演化关系

布青山构造混杂岩带位于阿尼玛卿构造带西段,是东特提斯构造域的重要组成部分,其中发育的早寒武世、中晚奥陶世和早石炭世蛇绿岩,与东特提斯洋的发展演化密切相关。这些蛇绿岩是东特提斯洋演化发展中不同时代洋壳扩张而形成的洋壳残余,并遭受后期构造的破坏拼合混杂而成的复合增生型构造混杂岩带。

3.1 布青山早古生代蛇绿岩与区域相同时代蛇绿岩的关系

布青山地区早寒武世得力斯坦蛇绿岩(516.4 ± 6.3 Ma)、中晚奥陶世哈尔郭勒西蛇绿岩和可可尔塔蛇绿岩与阿尼玛卿构造带中段玛积雪山洋中脊型辉长岩以及苦海洋岛型辉长岩(郭安林等,2006,2007a;李王晔,2008)均代表了早古生代洋盆的残迹,表明了早寒武世为洋壳扩张期,并在中晚奥陶世持续扩张。布青山地区早古生代蛇绿岩与东昆中清水泉蛇绿岩(辉长岩 TIMS 法锆石 U-Pb 年龄为 518 ± 3 Ma 和 522.3 ± 4.1 Ma, Yang *et al.*, 1996; 陆松年等,2002)、阿此特蛇绿岩和曲什昂蛇绿岩及其向南西方向延伸的可可沙—科科可特镁铁—超镁铁质岩带(509.4 ± 6.8 Ma, 冯建赟等,2010)形成时代相当,可能同属于原特提斯洋盆打开同一时代的产物。根据东昆中清水泉蛇绿混杂岩带向阿尼玛卿构造带的延伸方向,显示了阿尼玛卿构造带原特提斯洋东缘扩张演化与东昆中早古生代古洋壳的形成演化有一定的相关性,很可能在早古生代阿尼玛卿—布青山构造带中以蛇绿岩为代表的洋壳与北部东昆中蛇绿岩所代表的古洋盆连通在一起(冯建赟等,2010; Li *et al.*, 2013a)。

3.2 布青山晚古生代蛇绿岩与区域相同时代蛇绿岩的关系

布青山地区晚古生代哈尔郭勒东蛇绿岩中的辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 332.8 ± 3.1 Ma, 哈尔郭勒洋岛玄武岩的 LA-ICP-MS 锆石

U-Pb 年龄为 340.8 ± 2.8 Ma(杨杰等,2014),均形成于早石炭世,表明该区存在晚古生代的洋壳残留物。已有区域地质研究资料表明(陈亮等,2000, 2001; 裴先治,2001; 许志琴等,2001; Bian *et al.*, 2004; 杨经绥等,2004; 郭安林等,2006),阿尼玛卿—布青山构造带主要存在晚古生代蛇绿岩,陈亮等(2001)获得阿尼玛卿地区德尔尼蛇绿岩中玄武岩的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄为 345 ± 7.9 Ma, 表明其形成时代为石炭纪,其玄武岩地球化学特征显示为 N-MORB 类型。郭安林等(2006, 2007a)对阿尼玛卿地区玛积雪山蛇绿岩中玄武岩的地球化学研究结果显示其为 OIB 型玄武岩,是大洋板内岩浆活动产物。杨经绥等(2004)获得阿尼玛卿地区德尔尼蛇绿岩中 MORB 型玄武岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $276 \sim 319$ Ma, 平均值为 308.2 ± 4.9 Ma。因此,阿尼玛卿—布青山构造带被认为属于秦岭南缘勉略构造带的西延部分(陈亮等,2000, 2001; 裴先治,2001; 张国伟等,2004; 郭安林等,2006, 2007a; 赖绍聪和秦江锋,2010)。还有学者提出第三期晚二叠—中三叠世蛇绿岩(姜春发等,1992; 王国灿等,1999; 许志琴等,2001, 2006a, 2006b, 2006c),但就目前区域地质资料来看存在晚二叠—中三叠世蛇绿岩的年代学证据不足,但晚古生代蛇绿岩及其海山/洋岛玄武岩的形成时代与东古特提斯洋的发育时间基本一致。

4 讨论

根据布青山构造混杂岩带的野外地质特征、岩石组合类型及形成时代的综合研究,认为东昆仑南缘布青山复合增生型构造混杂岩带经历了新元古代晚期—古生代—早中生代复杂的洋壳北向俯冲消减和增生作用,于中三叠世晚期洋盆关闭并最终完成复合增生过程(图 9)。

4.1 新元古代晚期—寒武纪原特提斯洋开启阶段

布青山地区早古生代蛇绿岩很可能与新元古代晚期到早寒武世 Rodinia 超大陆的裂解有关,在早古生代东特提斯构造域,东昆仑地体、西秦岭地体及巴颜喀拉地体整体处于离散状态,位于其间的东昆仑南缘的“布青山古洋盆”开启(图 9a)。布青山地区早古生代得力斯坦蛇绿岩以及阿尼玛卿地区的苦海洋岛型辉长岩(李王晔等,2007; 李王晔,2008)均是原特提斯洋在早寒武世开启的证据。出露于东昆中构造带的多个蛇绿岩($522 \sim 518$ Ma)(Yang *et al.*, 1996; 陆松年等,2002)所代表的洋盆也几乎在同一

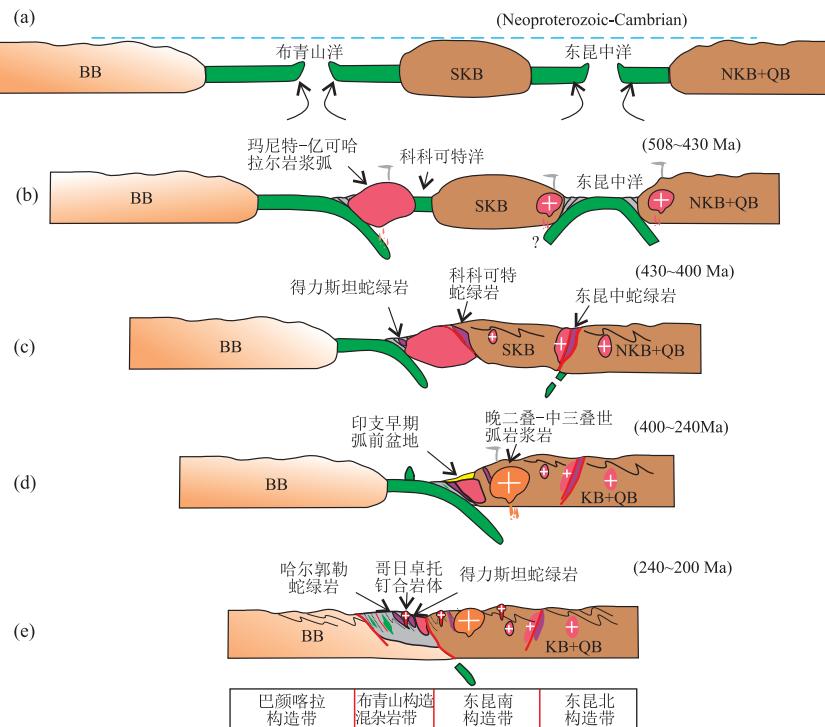


图 9 布青山洋古生代—早中生代构造演化模式

Fig.9 Tectonic evolution cartoon of Buqingshan Ocean in Paleozoic-Early Mesozoic
BB,巴颜喀拉地块;SKB,东昆仑地体;NKB,东昆北地体;QB,柴达木地块

时期打开,在清水泉南西方向可可沙—科科可特地区发现的一套镁铁—超镁铁质混杂岩(509.4 ± 6.8 Ma)(冯建赞等,2010; Li *et al.*, 2013a),也是与布青山洋盆同时代的规模有限的小洋盆或者与其向北俯冲引起的弧后扩张裂解作用有关。此外,在东昆仑构造带的可可沙地区,我们已经获得了敦德沙尔郭勒角闪二长岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为 544.8 ± 7.8 Ma,形成时代为晚震旦世,这是东昆仑地区较早的拉张裂解的岩浆岩记录。

4.2 早古生代原特提斯洋北向俯冲阶段

随着布青山古洋盆不断扩张,规模不断变大,自晚寒武世以来,布青山洋盆开始向北俯冲消减。晚寒武世东昆仑地块转变发育为具有沟—弧—盆体系的活动大陆边缘,相应地形成了寒武纪—早志留世与南侧的早古生代得力斯坦蛇绿岩、哈尔郭勒西蛇绿岩、可可尔塔蛇绿岩近平行展布的玛尼特—白日切特—亿可哈拉尔岩浆弧(图9b)(Li *et al.*, 2015; 赵菲菲等,2017)。例如,阿尼玛卿地区德尔尼岛弧型闪长岩的SHRIMP锆石U-Pb年龄为493 Ma(李王晔等,2007; 李王晔, 2008),下大武地区富闪深成侵入岩的锆石U-Pb年龄为 $447 \sim 466$ Ma(Xiong *et al.*, 2015),布青山地区玛尼特弧花岗岩锆石U-Pb年龄为 $479 \sim 487$ Ma,亿可哈拉尔埃达克质花岗岩

锆石U-Pb年龄为438 Ma(Li *et al.*, 2015)。志留纪晚期洋脊扩张活动可能减弱,洋壳俯冲活动可能也相应地减弱或停止,这也解释了布青山地区及其以北的东昆仑地区几乎没有发育晚古生代弧岩浆岩的现象。边千韬等(2001a, 2001b)在得力斯坦沟泥质粉砂质板岩的夹层中获得的形成于半深海—浅海环境的中晚奥陶世疑源类化石,可能是布青山洋盆萎缩期的产物。与此不同的是,在东昆仑布尔汉布达山地区,受加里东期造山作用影响,东昆中洋盆于志留纪晚期关闭,东昆北地块与东昆仑地体碰撞拼合(陈能松等,2002, 2007; 殷鸿福和张克信, 2003; 张建新等, 2003; 李怀坤等, 2006; Li *et al.*, 2013b; 施彬等, 2016),并导致东昆中蛇绿岩逆冲就位,发生了强烈的变形变质作用(孟繁聪等, 2017)(图9b, 9c)。马尔争组复理石岩系中存在早古生代的峰期物源信息也间接说明了布青山古洋盆以北的岛弧、东昆仑地体与东昆北地块已完成碰撞拼合(图9c),并抬升剥蚀,为马尔争组提供了加里东期岩浆弧和古老变质基底的碎屑物源。

4.3 晚古生代东昆仑地区拉张裂解阶段

东昆仑地区晚志留世—泥盆纪牦牛山组伸展型磨拉石组合及陆相火山岩的开始发育(陆露等, 2010; 张耀玲等, 2010),进一步说明了布青山构造混

杂岩带以北的东昆仑地区早古生代构造旋回的结束和古特提斯洋演化的开启(杨经绥等,2004;陈能松等,2008).石炭纪,在东昆仑地区发育了稳定构造体制下的浅海陆棚相早石炭世哈拉郭勒组和晚石炭世浩特洛洼组,而在布青山—阿尼玛卿地区发育有石炭纪洋岛/海山玄武岩—灰岩组合.现今在布青山构造混杂岩带残留的哈尔郭勒东蛇绿岩(332.8 ± 3.1 Ma)以及阿尼玛卿地区德尔尼蛇绿岩($308 \sim 345$ Ma)(陈亮等,2001;杨经绥等,2004, 2005)是布青山洋在早石炭世仍然发育存在的有力证据.也就是说,布青山洋于晚古生代仍然存在并且洋脊扩张活动可能在石炭纪加强,相应地在东昆仑地区在加里东期造山带基底上拉张裂解并沉积有石炭纪—早中二叠世浅海陆棚相沉积(陈守建等,2010).

区域上,在中国“三江”地区,受古特提斯洋拉张裂解动力学体制控制,在中咱地块与巴颜喀拉地块之间形成了甘孜—里塘洋,在中咱地块和羌塘地块之间形成金沙江有限小洋盆.近年来,在青藏高原中南部的羌塘中部(北羌塘地块与南羌塘地块之间)又相继发现了“双湖—龙木错蛇绿岩带”与高压变质带,依此确立了青藏高原地区的又一古洋盆,该洋盆向南与印度支那—东马来亚地块和西布马苏地块之间的清迈洋盆相连,东西长达4 000 km,并被当作晚古生代东古特提斯洋域的主大洋.

4.4 晚二叠世—中三叠世布青山洋强烈俯冲与碰撞阶段

晚二叠世,布青山洋再次开始向北强烈俯冲消减于东昆仑地块之下(杨经绥等,2005),因洋壳俯冲诱发形成了东昆仑地区近东西向线型展布的大面积中高钾钙碱性陆缘弧型中酸性岩浆岩及幔源基性侵入岩(图 9d)(刘成东等,2004;刘成东,2008;杨经绥等,2005;孙雨等,2009;李瑞保,2012;马昌前等,2015;Chen *et al.*, 2017),其锆石 U-Pb 年龄介于 240~260 Ma.例如,早三叠世巴隆花岗岩体(熊富浩等,2011)和哈拉尕吐花岗岩体(孙雨等,2009;李瑞保,2012)以及香加南山花岗岩体(刘成东等,2004)等.东昆仑西段大灶火—万宝沟地区晚二叠世高钾钙碱性中酸性火山岩亦为该次弧岩浆作用的产物,其锆石 U-Pb 年龄为 254.7 ± 0.6 Ma(史连昌等,2016).沉积方面,东昆仑地区晚二叠世格曲组角度不整合于石炭纪沉积地层之上,代表该时期强烈俯冲作用的构造证据,早三叠世洪水川组($T_1 h$)和中三叠世闹仓坚沟组($T_2 n$)沉积盆地原型为与布青山古洋盆向北俯冲相关的奠基于北侧东昆仑巨型陆缘

岩浆弧与南侧布青山构造混杂岩(刘战庆等,2011a, 2011b;裴先治等,2015;邵东等,2017)之间的弧前盆地(图 9d)(闫臻等,2008;李瑞保,2012),其沉积物源主要来自北侧的东昆仑地区变质基底岩石和弧岩浆岩.布青山古特提斯洋在经历了晚二叠世—早三叠世强烈俯冲作用后,于中三叠世(晚期)洋壳俯冲消减已接近尾声,局部地段陆(弧)陆已经开始差异性碰撞造山而导致海水退出,中三叠世(晚期)希里可特组与闹仓坚沟组之间微角度不整合就是在上述局部差异性初始碰撞的背景上形成,并指示了洋陆转变的过程.东昆仑地区中三叠世晚期希里可特组沉积时期标志着沉积盆地由海相盆地向陆相盆地的重要转折时期以及碰撞造山时期.

4.5 晚三叠世布青山洋盆最终关闭及复合增生型混杂带形成阶段

晚三叠世,巴颜喀拉地块与东昆仑地块发生斜向碰撞(许志琴等,2001, 2006a, 2006b, 2006c;杨经绥等,2005),并转入后碰撞造山阶段(图 9e),产生了具碰撞构造属性的花岗岩体及幔源岩浆侵入岩(李佐臣等,2013;刘金龙等,2015;张明东等,2018),如布青山地区具“钉合岩体”属性的哥日卓托闪长岩体(225.8 ± 1.5 Ma 和 224 ± 4 Ma, 李佐臣等,2013;刘金龙等,2015)、东昆仑构造带科科鄂阿龙花岗岩体(陈国超等,2013a)和勒岗希里可特埃达克质花岗岩体(陈国超等,2013b)、鄂拉山组高 Nb-Ta 流纹岩(丁炼等,2011)和石灰沟辉长岩(罗照华等,2002)等.该期碰撞造山事件最终形成了一系列由北北东向南南西的逆冲断层,并将不同时代、不同成因的构造岩块与马尔争组复理石浊积岩强烈构造混杂到一起,形成了布青山复合增生型构造混杂岩的基本构造格架(图 9e),同时也铸就了整个东昆仑造山带以及中央造山带的主体构造格架.

5 结论

布青山复合增生型构造混杂岩带是一条分隔东昆仑造山带与巴颜喀拉造山带的增生型构造边界,主要由元古代—古生代不同构造属性的大型构造混杂岩块与混杂基质组成.构造混杂岩块包括中元古代中深变质基底岩块(苦海岩群)、寒武纪蛇绿岩岩块、奥陶纪蛇绿岩岩块、石炭纪蛇绿岩岩块、石炭纪洋岛/海山玄武岩岩块、奥陶纪中酸性弧岩浆岩岩块、格曲组磨拉石沉积等.该混杂岩带记录了东昆仑南缘布青山地区东特提斯洋(布青山洋)自新元古代

晚期开启以来,从晚寒武世—中三叠世长期、持续向北的洋壳消减及俯冲增生过程,并于中三叠世晚期布青山洋俯冲消减完毕而使巴颜喀拉地块与东昆仑地块碰撞拼合,最终形成了布青山复合增生型构造混杂岩的基本构造格架。

致谢:审稿人为本文的修改完善提出了建设性的意见与建议,编辑也给予了很多帮助。在此一并致以衷心的感谢!

References

- Bian, Q.T., Li, D.H., Pospelov, I., et al., 2004. Age, Geochemistry and Tectonic Setting of Buqingshan Ophiolites, North Qinghai-Tibet Plateau, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 577—596.
- Bian, Q.T., Luo, X.Q., Li, D.H., et al., 2001a. Geochemistry and Formation Environment of the Buqingshan Ophiolite Complex, Qinghai Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 75 (1): 45—55 (in Chinese with English abstract).
- Bian, Q.T., Yin, L.M., Sun, S.F., et al., 2001b. Discovery of Ordovician Suspected Sources in the Buqushan Ophiolite Melange of East Kunlun. *Chinese Science Bulletin*, 46(2): 167—171 (in Chinese).
- Bian, Q.T., Pospelov, I.I., Li, H.M., et al., 2007. Discovery of the End-Early Paleozoic Adakite in the Buqingshan Area, Qinghai Province, and Its Tectonic Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 23 (5): 925—934 (in Chinese with English abstract).
- Burchfiel, B.C., Molnar, P., Zhao, Z.Y., et al., 1989. Geology of the Ulugh Muztagh Area, Northern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 94(1—2): 57—70.
- Chen, G.C., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2013a. Geochronology and Genesis of the Helegang Xilikete Granitic Plutons from the Southern Margin of the Eastern East Kunlun Orogenic Belt and Their Tectonic Significance. *Acta Geologica Sinica*, 87(10): 1525—1541 (in Chinese with English abstract).
- Chen, G.C., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2013b. Zircon U-Pb Geochronology, Geochemical Characteristics and Geological Significance of Cocoe A'Long Quartz Diorites Body from the Hongshuichuan Area in East Kunlun. *Acta Geologica Sinica*, 87 (2): 178—196 (in Chinese with English abstract).
- Chen, G.C., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2017. Paleo-Tethyan Oceanic Crust Subduction in the Eastern Section of the East Kunlun Orogenic Belt: Geochronology and Petrogenesis of the Qushi'ang Granodiorite. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 91(2): 546—580.
- Chen, L., Sun, Y., Liu, X.M., et al., 2000. Geochemistry of Derni Ophiolite and Its Tectonic Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 16 (1): 106—110 (in Chinese with English abstract).
- Chen, L., Sun, Y., Pei, X.Z., et al., 2001. ^{40}Ar - ^{39}Ar Age of the Deerney Ophiolite: Evidence of the Presence and Extension of the Palaeogene Tethyan Basin, the Northernmost Qinghai-Tibet Plateau. *Chinese Science Bulletin*, 46(5): 424—426 (in Chinese).
- Chen, N.S., He, L., Sun, M., et al., 2002. The Precise Definition of the Early Paleozoic Metamorphic Peak and the Age of Thrust Tectonics in the East Kunlun Orogenic Belt. *Chinese Science Bulletin*, 47(8): 628—631 (in Chinese).
- Chen, N.S., Sun, M., Wang, Q.Y., et al., 2007. Electron Probe of Monazite in Kunzhong Belt of East Kunlun Orogenic Belt Chemical Age: Record of Multiple Tectonism Metamorphic Events. *Chinese Science Bulletin*, 52 (11): 1297—1306 (in Chinese).
- Chen, N.S., Sun, M., Wang, Q.Y., et al., 2008. Zircon U-Pb Dating and Tectonic Evolution in the East Kunlun Orogenic Belt. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 38(6): 657—666 (in Chinese).
- Chen, S.J., Li, R.S., Ji, W.H., et al., 2010. The Permian Lithofacies Paleogeographic Characteristics and Basin-Mountain Conversion in the Kunlun Orogenic Belt. *Geology in China*, 37(2): 374—393 (in Chinese with English abstract).
- Ding, S., Huang, H., Niu, Y.L., et al., 2011. Geochemistry, Geochronology and Petrogenesis of East Kunlun High Nb-Ta Rhyolites. *Acta Petrologica Sinica*, 27 (12): 3603—3614 (in Chinese with English abstract).
- Feng, J.Y., Pei, X.Z., Yu, S.L., et al., 2010. The Discovery of the Mafic-Ultramafic Melange in Kekesha Area of Duolan County, East Kunlun Region, and Its LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age. *Geology in China*, 37(1): 28—38 (in Chinese with English abstract).
- Guo, A.L., Zhang, G.W., Sun, Y.G., et al., 2006. Geochemistry and Spatial Distribution of OIB and MORB in Animaqing Ophiolite Belt. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 36(7): 618—629 (in Chinese).
- Guo, A.L., Zhang, G.W., Sun, Y.G., et al., 2007a. Geochemistry and Spatial Distribution of Late Paleozoic Mafic Volcanic Rocks in the Margins of Gonghe Basin. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 37(S1): 249—261.
- Guo, A.L., Zhang, G.W., Sun, Y.G., et al., 2007b. Sr-Nd-Pb Isotopic Geochemistry of Late-Paleozoic Mafic Volcanic Rocks in the Surrounding Areas of the Gonghe Basin, Qinghai Province and Geological Implications. *Acta Pet-*

- rologica Sinica*, 23(4): 747—754 (in Chinese with English abstract).
- Hu, N., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2013. Provenance and Tectonic Setting Study of the Maerzheng Formation at the Delistan of Buqingshan Area in the Southern Margin of East Kunlun. *Acta Geologica Sinica*, 87(11): 1731—1747 (in Chinese with English abstract).
- Ji, L.X., 1991. New Recognition of Some Stratigraphic Ages of the Buqingshan Group, Qinghai Province. *Regional Geology of China*, 10(1): 28—29, 9 (in Chinese with English abstract).
- Ji, L. X., Ouyang, S., 1996. Spore-Pollen Assemblage from Buqingshan Group, Qinghai and Its Geological Age. *Acta Palaeontologica Sinica*, 35(1): 1—25 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, C.F., Wang, Z.Q., Li, J.Y., 2000. Open and Close Structure of Central Orogenic Belt. Geological Publishing House, Beijing, 1—154 (in Chinese).
- Jiang, C. F., Yang, J. S., Feng, B. G., et al., 1992. Open and Close Structure of Kunlun Orogenic Belt. Geological Publishing House, Beijing, 1—171 (in Chinese).
- Lai, S.C., Qin, J.F., 2010. Ophiolite and Volcanic Rocks in the Mianlue Suture Zone in Southern Qinling Orogenic Belt. Science Press, Beijing, 1—257 (in Chinese).
- Li, H.K., Lu, S.N., Xiang, Z.Q., et al., 2006. SHRIMP U-Pb Zircon Age of the Granulite from the Qingshuiquan Area, Central Eastern Kunlun Suture Zone. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 311—321 (in Chinese with English abstract).
- Li, R.B., 2012. Research on the Late Paleozoic-Early Mesozoic Orogeny in East Kunlun Orogen (Dissertation). Chang'an University, Xi'an (in Chinese with English abstract).
- Li, R.B., Pei, X.Z., Li, Z.C., et al., 2013a. Geochemical Features, Age, and Tectonic Significance of the Kekekete Mafic-Ultramafic Rocks, East Kunlun Orogen, China. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 87(5): 1319—1333.
- Li, R.B., Pei, X.Z., Li, Z.C., et al., 2013b. Regional Tectonic Transformation in East Kunlun Orogenic Belt in Early Paleozoic: Constraints from the Geochronology and Geochemistry of Helegangnaren Alkali-Feldspar Granite. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 87(2): 333—345.
- Li, R.B., Pei, X.Z., Li, Z.C., et al., 2014. Geochemical Characteristics of Gerizhuotuo OIB and Its Tectonic Significance in Buqingshan Tectonic Mélange Belt, Southern Margin of East Kunlun Orogen. *Earth Science Frontiers*, 21(1): 183—195 (in Chinese with English abstract).
- Li, R.B., Pei, X.Z., Li, Z.C., et al., 2015. Geochemistry and Zircon U-Pb Ages of Granitic Rocks in the Buqingshan Tectonic Mélange Belt, Northern Tibet Plateau, China and Its Implications for Prototethyan Evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 105: 374—389.
- Li, R.S., Ji, W.H., Yang, Y.C., et al., 2008. Kunlun Orogenic Belt and Its Adjacent Area Geology. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Li, R.S., Ji, W.H., Zhao, Z.M., et al., 2007. Progress in the Study of the Early Paleozoic Kunlun Orogenic Belt. *Geological Bulletin of China*, 26(4): 373—382 (in Chinese with English abstract).
- Li, W.Y., 2008. Geochronology and Geochemistry of the Ophiolites and Island-Arc-Type Igneous Rocks in the Western Qinling Orogen and the Eastern Kunlun Orogen: Implication for the Evolution of the Tethys Ocean (Dissertation). University of Science and Technology of China, Hefei, 1—124 (in Chinese with English abstract).
- Li, W.Y., Li, S.G., Guo, A.L., et al., 2007. Zircon SHRIMP U-Pb Ages and Trace Element Geochemistry of the Tamachian Gabbro and the Daritic Diorite in the East Kunlun Tectonic Belt of Qinghai Province—Comparison of the Late Neoproterozoic-Early Ordovician Ages in “Qi-Chai-Kun” Island Ocean South Boundary Constraints. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 37(Suppl.I): 288—294 (in Chinese).
- Li, Z.C., Pei, X.Z., Liu, Z.Q., et al., 2013. Geochronology and Geochemistry of the Gerizhuotuo Diorites from the Buqingshan Tectonic Mélange Belt in the Southern Margin of East Kunlun and Their Geologic Implications. *Acta Geologica Sinica*, 87(8): 1089—1103 (in Chinese with English abstract).
- Lin, Q.X., Deng, Z.L., Wang, G.C., 2003. Study on Early-Middle Permian Reef and Its Sequence Stratigraphy in Maerzheng Area, Eastern Kunlun. *Earth Science*, 28(6): 601—605 (in Chinese with English abstract).
- Lin, Q.X., Wang, Y.B., Xu, G.R., et al., 2001. Depositional Palaeogeography in East Kunlun and Animaqing during Early Permian. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(3): 340—344 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2001.03.004>
- Liu, C.D., 2008. Granite Magma Mixing in the Eastern Part of the Eastern Kunlun Orogenic Belt. Geological Publishing House, Beijing, 1—142 (in Chinese).
- Liu, C.D., Mo, X.X., Luo, Z.H., et al., 2004. Crust-Mantle Magma Mixing in East Kunlun: Evidence from Zircon SHRIMP Chronology. *Chinese Science Bulletin*, 49(6):

- 596–602 (in Chinese).
- Liu, J.L., Sun, F.Y., Li, L., et al., 2015. Geochronology, Geochemistry and Hf Isotopes of Gerizhuotuo Complex Intrusion in West of Anyemaqen Suture Zone. *Earth Science*, 40(6): 965–981 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2015.081>
- Liu, Z.Q., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2011a. Early Paleozoic Intermediate-Acid Magmatic Activity in Bairiqi Area along the Buqingshan Tectonic Melange Belt on the Southern Margin of East Kunlun: Constraints from Zircon U-Pb Dating and Geochemistry. *Geology in China*, 38(5): 1150–1167 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z.Q., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2011b. Geological Characteristics of the Buqingshan Tectonic Melange Belt in the Southern Margin of East Kunlun and Its Tectonic Implications. *Geological Bulletin of China*, 30(8): 1182–1195 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z.Q., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2011c. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Geochronology of the Two Suites of Ophiolites at the Buqingshan Area of the A'nyemaqen Orogenic Belt in the Southern Margin of East Kunlun and Its Tectonic Implication. *Acta Geologica Sinica*, 85(2): 185–194 (in Chinese with English abstract).
- Lu, L., Wu, Z.H., Hu, D.G., et al., 2010. Zircon U-Pb Age for Rhyolite of the Maoniushan Formation and Its Tectonic Significance in the East Kunlun Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 1150–1158 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S.N., Yu, H.F., Zhao, F.Q., et al., 2002. A Preliminary Study of Precambrian Geology in the Northern Part of the Qinghai-Tibet Plateau. Geological Publishing House, Beijing, 1–125 (in Chinese).
- Luo, Z.H., Ke, S., Cao, Y.Q., et al., 2002. Late Indosian Mantle-Derived Magmatism in the East Kunlun. *Geological Bulletin of China*, 21(6): 292–297 (in Chinese with English abstract).
- Ma, C.Q., Xiong, F.H., Yin, S., et al., 2015. Intensity and Cyclicity of Orogenic Magmatism: An Example from a Paleo-Tethyan Granitoid Batholith, Eastern Kunlun, Northern Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Petrologica Sinica*, 31(12): 3555–3568 (in Chinese with English abstract).
- Meng, F.C., Jia, L.H., Ren, Y.F., et al., 2017. Magmatic and Metamorphic Events Recorded in the Gneisses of the Wenquan Region, East Kunlun Mountains, Northwest China: Evidence from the Zircon U-Pb Geochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 33(12): 3691–3709 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X.X., Luo, Z.H., Deng, J.F., et al., 2007. Granitoids and Crustal Growth in the East-Kunlun Orogenic Belt. *Geological Journal of China Universities*, 13(3): 403–414 (in Chinese with English abstract).
- Molnar, P., Burchfiel, B.C., Zhao, Z.Y., et al., 1987. Geologic Evolution of Northern Tibet: Results of an Expedition to Ulugh Muztagh. *Science*, 235: 299–305. <https://doi.org/10.1126/science.235.4786.299>
- Pei, X.Z., 2001. Geological Evolution and Dynamics of the Miaulue-A'nyemaqen Tectonic Zone, Central China (Dissertation). Northwest University, Xi'an (in Chinese with English abstract).
- Pei, X.Z., Hu, N., Liu, C.J., et al., 2015. Detrital Composition, Geochemical Characteristics and Provenance Analysis for the Maerzheng Formation Sandstone in Gerizhuotuo Area, Southern Margin of East Kunlun Region. *Geological Review*, 61(2): 307–323 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.16509/j.georeview.2015.02.006>
- Shao, D., Ji, W.H., Li, R.S., et al., 2017. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Granodiorite from Delisitan of the Buqingshan Area, Southern Margin of East Kunlun Mountains, and Its Geological Implications. *Geological Bulletin of China*, 36(9): 1562–1568 (in Chinese with English abstract).
- Shi, B., Zhu, Y.H., Zhong, Z.Q., et al., 2016. Petrological, Geochemical Characteristics and Geological Significance of the Caledonian Peraluminous Granites in Hehai Region, Eastern Kunlun. *Earth Science*, 41(1): 35–54 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.003>
- Shi, L.C., Chang, G.H., Qi, S.S., et al., 2016. The Discovery of Dazaoihuogou-Wanbaogou Late Permian Epicontinental Arc Volcanic Rocks in Eastern Kunlun Mountains and Its Significance. *Geological Bulletin of China*, 35(7): 1115–1122 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42: 313–345.
- Sun, Y., Pei, X.Z., Ding, S.P., et al., 2009. Halagatu Magma Mixing Granite in the East Kunlun Mountains—Evidence from Zircon U-Pb Dating. *Acta Geologica Sinica*, 83(7): 1000–1010 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G.C., Zhang, K.X., Liang, B., et al., 1997. Texture and Tectonic Slices of the Eastern Kunlun Orogenic Belt. *Earth Science*, 22(4): 352–356 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G.C., Zhang, T.P., Liang, B., et al., 1999. Composite Ophiolitic Melange Zone in Central Part of Eastern Section of Eastern Kunlun Orogenic Zone and Geological Significance of “Fault Belt in Central Part of Eastern Section of Eastern

- Kunlun Orogenic Zone". *Earth Science*, 24(2): 129—138 (in Chinese with English abstract).
- Wang, M., Liu, A. M., Dai, C. G., et al., 2009. Late Paleozoic Strata and Tectonic Facies in the Northern Margin of the Eastern Kunlun Orogen and Their Tectonic Implications. *Acta Geologica Sinica*, 83(11): 1601—1611 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y.B., 2005. The Structure and Evolution of the Middle Permian Paleo Seamounts in Bayankala and Its Adjacent Areas. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 35(12): 1140—1149 (in Chinese).
- Wang, Y. B., Yang, H., 2003. The Paleogeography of Early Permian in the East Kunlun-Animaqing-Bayan Harness Area. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 33(8): 775—780 (in Chinese).
- Xiong, F. H., Ma, C. Q., Wu, L., et al., 2015. Geochemistry, Zircon U-Pb Ages and Sr-Nd-Hf Isotopes of an Ordovician Appinitic Pluton in the East Kunlun Orogen: New Evidence for Proto-Tethyan Subduction. *Journal of Asian Earth Sciences*, 111: 681—697. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2015.05.025>
- Xiong, F.H., Ma, C.Q., Zhang, J.Y., et al., 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating, Elements and Sr-Nd-Hf Isotope Geochemistry of the Early Mesozoic Mafic Dyke Swarms in East Kunlun Orogenic Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 27(11): 3350—3364 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z.Q., Li, H.B., Yang, J.S., 2006a. An Orogenic Plateau—The Orogenic Collage and Orogenic Types of the Qinghai-Tibet Plateau. *Earth Science Frontiers*, 13(4): 1—17 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z.Q., Yang, J.S., Li, H.B., et al., 2006b. The Qinghai-Tibet Plateau and Continental Dynamics: A Review on Terrain Tectonics, Collisional Orogenesis, and Processes and Mechanisms for the Rise of the Plateau. *Geology in China*, 33(2): 221—238 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z.Q., Yang, J.S., Li, H.B., et al., 2006c. The Early Palaeozoic Terrene Framework and the Formation of the High-Pressure (HP) and Ultra-High Pressure (UHP) Metamorphic Belts at the Central Orogenic Belt (COB). *Acta Geologica Sinica*, 80(12): 1793—1806 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. Q., Li, H. B., Yang, J. S., et al., 2001. A Large Transpression Zone at the South Margin of the East Kunlun Mountains and Oblique Subduction. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 156—164 (in Chinese with English abstract).
- Yan, Z., Bian, Q.T., Korchagin, O.A., et al., 2008. Provenance of Early Triassic Hongshuichuan Formation in the Southern Margin of the East Kunlun Mountains: Constraints from Detrital Framework, Heavy Mineral Analysis and Geochemistry. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5): 1068—1078 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2014. Geochemical Characteristics and Geological Implications of Haergoule Basalt in Buqingshan Area on the Southern Margin of East Kunlun Mountains. *Geology in China*, 41(2): 335—350 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J.S., Robinson, P. T., Jiang, C. F., et al., 1996. Ophiolites of the Kunlun Mountains, China and Their Tectonic Implications. *Tectonophysics*, 258: 299—305. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00199-9](https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00199-9)
- Yang, J.S., Wang, X.B., Shi, R.D., et al., 2004. The Dur'ngoi Ophiolite in East Kunlun, Northern Qinghai-Tibet Plateau: A Fragment of Paleo-Tethyan Oceanic Crust. *Geology in China*, 31(3): 225—239 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J.S., Xu Z.Q., Li H.B., et al., 2005. The Paleo-Tethyan Volcanism and Plate Tectonic Regime in the A'nyemenaqen Region of East Kunlun, Northern Tibet Plateau. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24 (5): 369—380 (in Chinese with English abstract).
- Yang, S., Pei, X.Z., Li, R.B., et al., 2016. Provenance Analysis and Structural Implications of Gequ Formation at the Buqingshan Area in the Eastern Segment of the East Kunlun Region. *Geological Bulletin of China*, 35(5): 674—686 (in Chinese with English abstract).
- Yin, H.F., Zhang, K. X., 2003. Regional Geological Report of the Peoples Republic of China: Donggi Conag Hu Map, Scale 1 : 250 000. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1—457 (in Chinese).
- Zhang, G. W., Guo, A. L., Yao, A. P., 2004. Western Qinling-Songpan Continental Tectonic Node in China's Continental Tectonics. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 23—32 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, H., Wang, Z. Q., Ma, C. Q., et al., 2018. Proto-Tethys Record in Paleo-Tethys Belt of East Kunlun: Evidence from Kuhai Mafic Blocks. *Earth Science*, 43(4): 1164—1188 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J.X., Meng, F.C., Wan, Y.S., et al., 2003. Early Paleozoic Tectono-Thermal Event of the Jinshui Group on the Southern Margin of Qaidam: Zircon U-Pb SHRIMP Age Evidence. *Geological Bulletin of China*, 22(6): 397—404 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K.X., Huang, J.C., Luo, M.S., et al., 1999a. Sedimentary Geochemical Features of Animaqing Melange Zone in Eastern Kunlun Mountains. *Earth Science*, 24 (2):

- 111–115 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K.X., Huang, J.C., Yin, H.F., et al., 1999b. Application of East Kunlun A'nyemaqen etc. Radiolarian Fossils in Non-Smith Strata in the Study of Melange as an Example. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 29(6):542–550 (in Chinese).
- Zhang, K. X., Yin, H. F., Zhu, Y. H., et al., 2001. Geological Mapping Theory, Method and Practice in the Orogenic Belt Melange Area—An Example of the East Kunlun Orogenic Belt. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1–165 (in Chinese).
- Zhang, M.D., Ma, C.Q., Wang, L.X., et al., 2018. Subduction-Type Magmatic Rocks in Post-Collision Stage: Evidence from Late Triassic Diorite-Porphyrite of Naomuhungou Area, East Kunlun Orogen. *Earth Science*, 43 (4): 1183–1206 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X.T., Yang, S.D., Yang, Z.J., et al., 2007a. Qinghai Province Introduction to Regional Geology—1 : 1 Million Geological Map of Qinghai Province. Geological Publishing House, Beijing, 1–178 (in Chinese).
- Zhang, X.T., Yang, S.D., Yang, Z.J., et al., 2007b. Qinghai Province Plate Tectonics Research—1 : 1 Million Qinghai Province Tectonic Map Instructions. Geological Publishing House, Beijing, 1–221 (in Chinese).
- Zhang, Y.L., Hu, D.G., Shi, Y.R., et al., 2010. SHRIMP Zircon U-Pb Ages and Tectonic Significance of Maoniushan Formation Volcanic Rocks in East Kunlun Orogenic Belt, China. *Geological Bulletin of China*, 29 (11):1614–1618 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, F.F., Sun, F.Y., Liu, J.L., 2017. Zircon U-Pb Geochronology and Geochemistry of the Gneissic Granodiorite in Manite Area from East Kunlun, with Implications for Geodynamic Setting. *Earth Science*, 42 (6): 927–940, 1044 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.073>
- Zhu, Y.H., Zhang, K.X., Pan, Y.M., et al., 1999. Determination of Different Ophiolitic Belts in Eastern Kunlun Orogenic Zone and Their Tectonic Significance. *Earth Science*, 24 (2): 134–138 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Y.H., Zhang, K.X., Wang, G.C., et al., 2002. Ophiolite, Magmatic Rocks and Tectono-Magmatic Evolution of East Kunlun Orogenic Belt. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1–115 (in Chinese).
- 边千韬,尹磊明,孙淑芬,等,2001b.东昆仑布青山蛇绿混杂岩中发现奥陶纪疑源类.科学通报,46(2): 167–171.
- 边千韬,Pospelov, I.I.,李惠民,等,2007.青海省布青山早古生代末期埃达克岩的发现及其构造意义.岩石学报,23 (5): 925–934.
- 陈国超,裴先治,李瑞保,等,2013a.东昆仑造山带东段南缘和勒冈希里克特花岗岩体时代、成因及其构造意义.地质学报,87(10): 1525–1541.
- 陈国超,裴先治,李瑞保,等,2013b.东昆仑洪水川地区科科鄂阿龙岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义.地质学报,87(2): 178–196.
- 陈亮,孙勇,柳小明,等,2000.青海省德尔尼蛇绿岩的地球化学特征 及其大地构造意义. 岩石学报, 16 (1): 106–110.
- 陈亮,孙勇,裴先治,等,2001.德尔尼蛇绿岩 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄: 青藏最北端古特提斯洋盆存在和延展的证据.科学通报,46(5): 424–426.
- 陈能松,何蕾,孙敏,等,2002.东昆仑造山带早古生代变质峰期和逆冲构造变形年代的精确限定.科学通报,47(8): 628–631.
- 陈能松,孙敏,王勤燕,等,2007.东昆仑造山带昆中带的独居石电子探针化学年龄: 多期构造变质事件记录.科学通报,52(11): 1297–1306.
- 陈能松,孙敏,王勤燕,等,2008.东昆仑造山带中带的锆石 U-Pb 定年与构造演化启示.中国科学(D 辑: 地球科学),38(6): 657–666.
- 陈守建,李荣社,计文化,等,2010.昆仑造山带二叠纪岩相古地理特征及盆山转换探讨.中国地质, 37 (2): 374–393.
- 丁炼,黄慧,牛耀龄,等,2011.东昆仑高 Nb-Ta 流纹岩的年代学、地球化学及成因.岩石学报,27(12): 3603–3614.
- 冯建赟,裴先治,于书伦,等,2010.东昆仑都兰可可沙地区镁铁—超镁铁质杂岩的发现及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄.中国地质,37(1): 28–38.
- 郭安林,张国伟,孙延贵,等,2006.阿尼玛卿蛇绿岩带 OIB 和 MORB 的地球化学及空间分布特征: 玛积雪山古洋脊热点构造证据.中国科学(D 辑: 地球科学),36 (7): 618–629.
- 郭安林,张国伟,孙延贵,等,2007a.共和盆地周缘晚古生代镁铁质火山岩地球化学及空间分布——玛积雪山三联点以及东古特提斯多岛洋启示.中国科学(D 辑: 地球科学),37(S1): 249–261.
- 郭安林,张国伟,孙延贵,等,2007b.青海省共和盆地周缘晚古生代镁铁质火山岩 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学及其地质意义.岩石学报,23(4): 747–754.
- 胡楠,裴先治,李瑞保,等,2013.东昆仑南缘布青山得力斯坦地区马尔争组物源分析及其构造背景研究.地质学报,87(11): 1731–1747.

附中文参考文献

- 边千韬,罗小全,李涤徽,等,2001a.青海省阿尼玛卿带布青山蛇绿混杂岩的地球化学性质及形成环境.地质学报,75(1): 45–55.

- 冀六祥,1991.对青海布青山群地层时代的新认识.中国区域地质,10(1): 28—29, 9.
- 冀六祥,欧阳舒,1996.青海中东部布青山群孢粉组合及其时代.古生物学报,35(1): 1—25.
- 姜春发,王宗起,李锦铁,2000.中央造山带开合构造.北京:地质出版社,1—154.
- 姜春发,杨经绥,冯秉贵,等,1992.昆仑开合构造.北京:地质出版社,1—171.
- 赖绍聪,秦江峰,2010.南秦岭勉略缝合带蛇绿岩与火山岩.北京:科学出版社,1—257.
- 李怀坤,陆松年,相振群,等,2006.东昆仑中部缝合带清水泉麻粒岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究.地学前缘,13(6): 311—321.
- 李瑞保,2012.东昆仑造山带(东段)晚古生代—早中生代造山作用研究(博士学位论文).西安:长安大学.
- 李瑞保,裴先治,李佐臣,等,2014.东昆仑南缘布青山构造混杂带哥日卓托洋岛玄武岩地球化学特征及构造意义.地学前缘,21(1): 183—195.
- 李荣社,计文化,杨永成,等,2008.昆仑山及邻区地质.北京:地质出版社.
- 李荣社,计文化,赵振明,等,2007.昆仑早古生代造山带研究进展.地质通报,26(4): 373—382.
- 李王晔,2008.西秦岭—东昆仑造山带蛇绿岩及岛弧型岩浆岩的年代学和地球化学研究——对特提斯洋演化的制约(博士学位论文).合肥:中国科学技术大学,1—124.
- 李王晔,李曙光,郭安林,等,2007.青海东昆仑构造带苦海辉长岩和德尔尼闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及痕量元素地球化学——对“祁—柴—昆”晚新元古代—早奥陶世多岛洋南界的制约.中国科学(D辑:地球科学),37(增刊 I): 288—294.
- 李佐臣,裴先治,刘战庆,等,2013.东昆仑南缘布青山构造混杂岩带哥日卓托闪长岩体年代学、地球化学特征及其地质意义.地质学报,87(8): 1089—1103.
- 林启祥,邓中林,王国灿,2003.东昆仑马尔争早中二叠世生物礁及其层序地层研究.地球科学,28(6): 601—605.
- 林启祥,王永标,徐桂荣,等,2001.东昆仑—阿尼玛卿地区早二叠世的沉积古地理.沉积学报,19(3): 340—344.
- 刘成东,2008.东昆仑造山带东段花岗岩岩浆混合作用.北京:地质出版社,1—142.
- 刘成东,莫宣学,罗照华,等,2004.东昆仑壳—幔岩浆混合作用:来自锆石 SHRIMP 年代学的证据.科学通报,49(6): 596—602.
- 刘金龙,孙丰月,李良,等,2015.青海阿尼玛卿蛇绿混杂岩带西段哥日卓托杂岩体年代学、地球化学及 Hf 同位素.地球科学,40(6): 965—981.
- 刘战庆,裴先治,李瑞保,等,2011a.东昆仑南缘布青山构造混杂岩带早古生代白日切特中酸性岩浆活动:来自锆石 U-Pb 测年及岩石地球化学证据.中国地质,38(5): 1150—1167.
- 刘战庆,裴先治,李瑞保,等,2011b.东昆仑南缘布青山构造混杂岩带的地质特征及大地构造意义.地质通报,30(8): 1182—1195.
- 刘战庆,裴先治,李瑞保,等,2011c.东昆仑南缘阿尼玛卿构造带布青山地区两期蛇绿岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义.地质学报,85(2): 185—194.
- 陆露,吴珍汉,胡道功,等,2010.东昆仑牦牛山组流纹岩锆石 U-Pb 年龄及构造意义.岩石学报,26(4): 1150—1158.
- 陆松年,于海峰,赵凤清,等,2002.青藏高原北部前寒武纪地质初探.北京:地质出版社,1—125.
- 罗照华,柯珊,曹永清,等,2002.东昆仑印支晚期幔源岩浆活动.地质通报,21(6): 292—297.
- 马昌前,熊富浩,尹炼,等,2015.造山带岩浆作用的强度和旋回性:以东昆仑古特提斯花岗岩类岩基为例.岩石学报,31(12): 3555—3568.
- 孟繁聪,贾丽辉,任玉峰,等,2017.东昆仑东段温泉地区片麻岩记录的岩浆和变质事件:锆石 U-Pb 年代学证据.岩石学报,33(12): 3691—3709.
- 莫宣学,罗照华,邓晋福,等,2007.东昆仑造山带花岗岩及地壳生长.高校地质学报,13(3): 403—414.
- 裴先治,2001.勉略—阿尼玛卿构造带的形成演化与动力学特征(博士学位论文).西安:西北大学.
- 裴先治,胡楠,刘成军,等,2015.东昆仑南缘哥日卓托地区马尔争组砂岩碎屑组成、地球化学特征与物源构造环境分析.地质论评,61(2): 307—323.
- 邵东,计文化,李荣社,等,2017.东昆仑南缘布青山地区得力斯坦花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其他地质意义.地质通报,36(9): 1562—1568.
- 施彬,朱云海,钟增球,等,2016.东昆仑黑海地区加里东期过铝质花岗岩岩石学、地球化学特征及地质意义.地球科学,41(1): 35—54.
- 史连昌,常革红,祁生胜,等,2016.东昆仑大灶火沟—万宝沟晚二叠世陆缘弧火山岩的发现及意义.地质通报,35(7): 1115—1122.
- 孙雨,裴先治,丁仁平,等,2009.东昆仑哈拉尕吐岩浆混合花岗岩:来自锆石 U-Pb 年代学的证据.地质学报,83(7): 1000—1010.
- 王国灿,张克信,梁斌,等,1997.东昆仑造山带结构及构造岩片组合.地球科学,22(4): 352—356.
- 王国灿,张天平,梁斌,等,1999.东昆仑造山带东段昆中复合蛇绿混杂岩带及“东昆中断裂带”地质涵义.地球科学,24(2): 129—138.
- 王敏,刘爱民,戴传固,等,2009.东昆仑南缘晚古生代地层组合、大地构造相及大地构造意义.地质学报,83(11): 1601—1611.
- 王永标,2005.巴颜喀拉及邻区中二叠世古海山的结构与演化.中国科学(D辑:地球科学),35(12): 1140—1149.

- 王永标,杨浩,2003.东昆仑—阿尼玛卿—巴颜喀拉地区早二叠世的生物古地理特征.中国科学(D辑:地球科学),33(8): 775—780.
- 熊富浩,马昌前,张金阳,等,2011.东昆仑造山带早中生代镁铁质岩墙群 LA-ICP-MS 钨石 U-Pb 定年、元素和 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学.岩石学报,27(11): 3350—3364.
- 许志琴,李海兵,杨经绥,2006a.造山的高原——青藏高原巨型造山拼贴体和造山类型.地学前缘,13(4): 1—17.
- 许志琴,杨经绥,李海兵,等,2006b.青藏高原与大陆动力学——地体拼合、碰撞造山及高原隆升的深部驱动力.中国地质,33(2): 221—238.
- 许志琴,杨经绥,李海兵,等,2006c.中央造山带早古生代地体构架与高压/超高压变质带的形成.地质学报,80(12): 1793—1806.
- 许志琴,李海兵,杨经绥,等,2001.东昆仑山南缘大型转换挤压构造带和斜向俯冲作用.地质学报,75(2): 156—164.
- 同臻,边千韬,Korchagin, O.A.,等,2008.东昆仑南缘早三叠世洪水川组的源区特征:来自碎屑组成、重矿物和岩石地球化学的证据.岩石学报,24(5): 1068—1078.
- 杨杰,裴先治,李瑞保,等,2014.东昆仑南缘布青山地区哈尔郭勒玄武岩地球化学特征及其地质意义.中国地质,41(2): 335—350.
- 杨经绥,王希斌,史仁灯,等,2004.青藏高原北部东昆仑南缘德尼蛇绿岩:一个被肢解了的吉特提斯洋壳.中国地质,31(3): 225—239.
- 杨经绥,许志琴,李海兵,等,2005.东昆仑阿尼玛卿地区古特提斯火山作用和板块构造体系.岩石矿物学杂志,24(5): 369—380.
- 杨森,裴先治,李瑞保,等,2016.东昆仑东段布青山地区上二叠统格曲组物源分析及其构造意义.地质通报,35(5): 674—686.
- 殷鸿福,张克信,2003.中华人民共和国区域地质调查报告:冬给措纳湖幅(I47C001002)比例尺 1:25 万.武汉:中国地质大学出版社,1—457.
- 张国伟,郭安林,姚安平,2004.中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结.地学前缘,11(3): 23—32.
- 张航,王宗起,马昌前,等,2018.东昆仑古特提斯构造带中的原特提斯记录:来自苦海镁铁质岩块的证据.地球科学,43(4): 1164—1188.
- 张建新,孟繁聪,万渝生,等,2003.柴达木盆地南缘金水口群的早古生代构造热事件:钨石 U-Pb SHRIMP 年龄证据.地质通报,22(6): 397—404.
- 张克信,黄继春,骆满生,等,1999a.东昆仑阿尼玛卿混杂岩带沉积地球化学特征.地球科学,24(2): 111—115.
- 张克信,黄继春,殷鸿福,等,1999b.放射虫等生物群在非史密斯地层研究中的应用——以东昆仑阿尼玛卿混杂岩带为例.中国科学(D辑:地球科学),29(6): 542—550.
- 张克信,殷鸿福,朱云海,等,2001.造山带混杂岩区地质填图理论、方法与实践——以东昆仑造山带为例.武汉:中国地质大学出版社,1—165.
- 张明东,马昌前,王连训,等,2018.后碰撞阶段的“俯冲型”岩浆岩:来自东昆仑瑙木浑沟晚三叠世闪长玢岩的证据.地球科学,43(4): 1183—1206.
- 张雪亭,杨生德,杨站君,等,2007a.青海省区域地质概论——1:100 万青海省地质图说明书.北京:地质出版社,1—178.
- 张雪亭,杨生德,杨站君,等,2007b.青海省板块构造研究——1:100 万青海省大地构造图说明书.北京:地质出版社,1—221.
- 张耀玲,胡道功,石玉若,等,2010.东昆仑造山带牦牛山组火山岩 SHRIMP 钨石 U-Pb 年龄及其构造意义.地质通报,29(11): 1614—1618.
- 赵菲菲,孙丰月,刘金龙,2017.东昆仑马尼特地区片麻状花岗闪长岩钨石 U-Pb 年代学、地球化学及其构造背景.地球科学,42(6): 927—940, 1044.
- 朱云海,张克信,Pan, Y. M.,等,1999.东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义.地球科学,24(2): 134—138.
- 朱云海,张克信,王国灿,等,2002.东昆仑复合造山带蛇绿岩、岩浆岩及构造岩浆演化.武汉:中国地质大学出版社,1—115.