

冈底斯造山带的时空结构及演化*

潘桂棠¹ 莫宣学² 侯增谦³ 朱弟成¹ 王立全¹ 李光明¹ 赵志丹² 耿全如¹ 廖忠礼¹
PAN GuiTang¹, MO XuanXue², HOU ZengQian³, ZHU DiCheng¹, WANG LiQuan¹, LI GuangMing¹, ZHAO ZhiDan², GENG QuanRu¹ and LIAO ZhongLi¹

1. 国土资源部成都地质矿产研究所, 成都 610082

2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083

3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu 610082, China

2. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

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

2005-12-01 收稿, 2006-02-24 改回.

Pan GT, Mo XX, Hou ZQ, Zhu DC, Wang LQ, Li GM, Zhao ZD, Geng QR and Liao ZL. 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 521–533

Abstract The tectonic nature and subdivision of Gangdese Orogenic Belt is always one of the hottest scientific problems related to fundamental geology of Qinghai-Tibetan Plateau. The tectonic framework, subdivision and the Late Paleozoic-Mesozoic evolutionary history of Gangdese Orogenic Belt have been studied based on regional geological survey (1:250000) and our data. Our study shows that the geological context of Gangdese can be well revealed by six major tectonic units and eighteen secondary units. Based on the analysis for spatial-temporal framework of different tectonic units and related magmatic records, we suggest that the Gangdese Orogenic Belt is not a simply block or continental segment, or terrane, but likely a complex orogenic belt experienced six arc-forming accretionary to a principal axis named Long'ge'er-Nyainqentanglha at Carboniferous-Permian, Early-Middle Triassic, Late Triassic, Early-Middle Jurassic, Late Jurassic-Early Cretaceous and Late Cretaceous-Eocene, as well as related arc-continent, continent-continent collision, and ultimately finalized its profile at the late Cenozoic. It is therefore evident that the evolutionary history of Gangdese Orogenic Belt may have influenced from both the southward subduction of Bangong Co-Nujiang Tethyan Ocean crust and northward subduction of Yarlung Zangbo neo-Tethyan Ocean crust. It is emphasized that volcanic-magmatic arc formed at accretionary arc has the best potential for porphyry copper deposit in Gangdese, as revealed by Anglenggangri volcanic-magmatic arc, Dongqia Co accretionary arc and Sangri volcanic-magmatic arc, etc.

Key words Evolutional history, Tectonic unit, Bi-directional subduction, Arc-forming, Gangdese Orogenic Belt

摘要 冈底斯带的构造属性及其构造单元划分一直是青藏高原基础地质研究中最热门的科学问题之一。根据新的地质调查资料、研究成果并结合我们的分析数据,对冈底斯带的地质构造格局进行了厘定和划分,讨论了冈底斯带晚古生代-中生代的构造演化历史。冈底斯带可划分为6类不同的构造单元和18个次级单元,这些不同级别的构造划分较为全面准确地概括了冈底斯带的地质面貌。通过对不同构造单元时空结构的剖析和对相关火山岩浆作用记录的分析,认为冈底斯带不是简单的地块、陆块或地体,而很可能是以隆格尔-念青唐古拉为主轴,经历石炭-二叠纪、早中三叠世、晚三叠世、早中侏罗世、晚侏罗世-早白垩世、晚白垩世-始新世六次造弧增生作用和相关的弧-陆、陆-陆碰撞作用并最终定型于新生代晚期的复合造山带,并在此基础上,提出冈底斯带的构造演化很可能受班公湖-怒江特提斯洋向南、雅鲁藏布洋向北的双向俯冲的制约。强调以增生弧为背景的火山岩浆弧(如昂龙岗日火山岩浆弧、东恰错弧、桑日火山弧)可能是冈底斯地区寻找斑岩铜矿的最佳有利场所。

* 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412609)、国家自然科学基金(40503005, 40572051, 40473020)和中国地质调查局“青藏高原南部空白区基础地质综合研究”项目(200313000025)联合资助。

第一作者简介: 潘桂棠, 1941年生,男,研究员,博士生导师,长期从事大地构造和区域地质研究, E-mail: cdpguitang@cgs.gov.cn

关键词 演化历史; 构造单元; 双向俯冲; 造弧作用; 冈底斯造山带
中图分类号 P542.2

冈底斯造山带的地理概念指西藏中部西自狮泉河、冈仁波齐,向东经念青唐古拉山,与伯舒拉岭相连的自然地理单元。在地质上,冈底斯带一般指南侧的印度河-雅鲁藏布缝合带与北部的班公湖-怒江缝合带之间的近东西向的狭长地域,长约2500km,南北宽150~300km,面积达45万km²的巨型构造-岩浆带(图1),属于土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块(李春昱,1982)的东部。南西侧被喀喇昆仑走滑断裂截切,接巴基斯坦科希斯坦-拉达克洋内弧,东南绕过雅鲁藏布大拐弯,沿近南北向接高黎贡山陆缘弧(图1)。

冈底斯带的构造属性及其构造单元划分一直是青藏高原形成演化研究中最热门的重大基础地质问题。长期以来,冈底斯带被赋予了拉萨地体(Dewey *et al.*, 1988; Yin and Harrison, 2000)、冈底斯-念青唐古拉板片(周详和曹佑功,1984; 刘增乾等,1990)、拉萨陆块(肖序常等,1988)和冈底斯多岛弧盆系造山带(Hsü *et al.*, 1995)等不同属性,相应地,不同学者也对冈底斯带进行了次级构造单元划分。所有冈底斯带构造属性和构造单元划分研究中,存在两个分歧焦点:一是该带仅仅受控于以雅鲁藏布缝合带为代表的特提斯洋向北俯冲还是受到了北部以班公湖-怒江缝合带为代表的特提斯洋向南俯冲的制约?二是该带仅仅经历了晚白垩世-古近纪岛弧造山作用还是经历多期多岛弧造山作用?

1999年以来,青藏高原空白区1:25万区域地质调查、矿产资源评价及一系列专项研究在冈底斯带的变质基底、古生代盖层、中生代火山岩浆序列及构造环境等方面获得了大量新资料,取得了一系列新认识。本文在新的1:25万区域地质调查资料和相关科学研究基础上,结合我们的分析数据,对冈底斯带的地质构造单元进行厘定和划分,并分析和讨论其晚古生代-中生代构造演化历史。

1 冈底斯带的构造单元

以构造域内弧-弧和弧-弧碰撞结合带和夹持于其间的陆块或不同性质的火山岩浆弧及各类盆地作为次级构造单元,兼顾构造带内区域地质发展过程的总体特征,我们将冈底斯带及邻接区划分为6类不同的构造单元和18个次级单元(图1):

(1)班公湖-怒江缝合带:包括日土-改则-木嘎岗日-安多-索县-丁青-碧土消减杂岩带、聂荣残余前缘弧、东巧-依拉山弧-弧碰撞带、嘉玉桥残余弧、洛隆-八宿弧-弧碰撞带、东恰错增生弧、桂牙-觉翁弧-弧碰撞带。

(2)昂龙岗日-班戈-伯舒拉岭岩浆弧:包括昂龙岗日岩浆弧、波仓藏布-色林错弧前陆棚带、班戈-崩错火山岩岩浆弧、那曲残余弧后盆地和伯舒拉岭岩浆弧。

(3)狮泉河-拉果错-阿索-永珠-纳木错-嘉黎-波密弧-弧碰撞带。

(4)冈底斯-念青唐古拉复合火山岩浆弧:由北向南包括形成于不同时代的则弄火山岩浆弧、措勒-多瓦后陆拗陷带、隆格尔-念青唐古拉古岛弧带(即前人常称的弧背断隆带)、叶巴火山弧、桑日火山弧及南冈底斯火山岩浆弧。

(5)日喀则弧前盆地。

(6)雅鲁藏布缝合带。

2 冈底斯带不同构造单元的基本特征

限于篇幅,这里主要介绍不同构造单元的总结特征和相互关系,重点展示新资料揭示的构造环境信息。

2.1 班公湖-怒江缝合带

班公湖-怒江缝合带横亘于青藏高原中南部,西起班公湖,向东经改则、尼玛、东巧、安多、索县、丁青、嘉玉桥折向南至八宿上林卡,向南沿怒江进入滇西,在西藏境内长达2800km,宽20~120km。该带向西被喀喇昆仑右旋走滑断裂截切,在中南亚与什约克缝合带相当。

多数学者根据该蛇绿混杂岩带及部分具有SSZ型蛇绿岩特征的岩石、构造和年代学研究结果,认为班公湖-怒江缝合带是中生代特提斯洋的开合记录,即认为该扩张洋壳形成于晚三叠世-早侏罗世,中侏罗世洋壳俯冲,晚侏罗世-早白垩世闭合(常承法等,1973;李春昱,1982;潘桂棠等,1983,1997,2004;肖序常等,1988;肖序常和李廷栋,2000;Yin and Harrison, 2000;刘志宏等,2004;邱瑞照等,2004)。然而,近几年区域调查中如下几项重大发现,表明班公湖-怒江缝合带内存在古特提斯洋壳的残余。

(1)在班公湖-怒江缝合带中段的班戈县白拉乡拉纳沟一带,首次发现上三叠统确哈拉群(T₃Q)角度不整合于一套为蛇绿岩组分的玄武岩之上(陈玉禄等,2005),剖面上确哈拉群底部见200多米的底砾岩,砾石成分主要为玄武岩,次为硅质岩、灰岩、砂岩。确哈拉群在区域上基本上沿班公湖-怒江缝合带南侧断续带状展布,主要为一套中等变形的复理石砂板岩,夹有陆坡水道复成分砂砾岩及中基性火山岩。考虑到其南侧冈底斯中部的三叠纪岩浆弧(李才等,2003)及拉萨地区查曲浦组弧火山岩的发育、伯舒拉岭满总-古拉一带与弧有关的三叠纪火山岩的存在,以及雅鲁藏布洋盆的初始扩张(潘桂棠等,2004),确哈拉群主体应是特提斯洋向南俯冲过程的冈-念岛弧弧前盆地的沉积记录,随后表现为增生楔的构造组构,这一现象与伊朗-巴基斯坦邻接阿拉伯海的莫克兰弧前增生楔类似(Sengör *et al.*, 1988)。

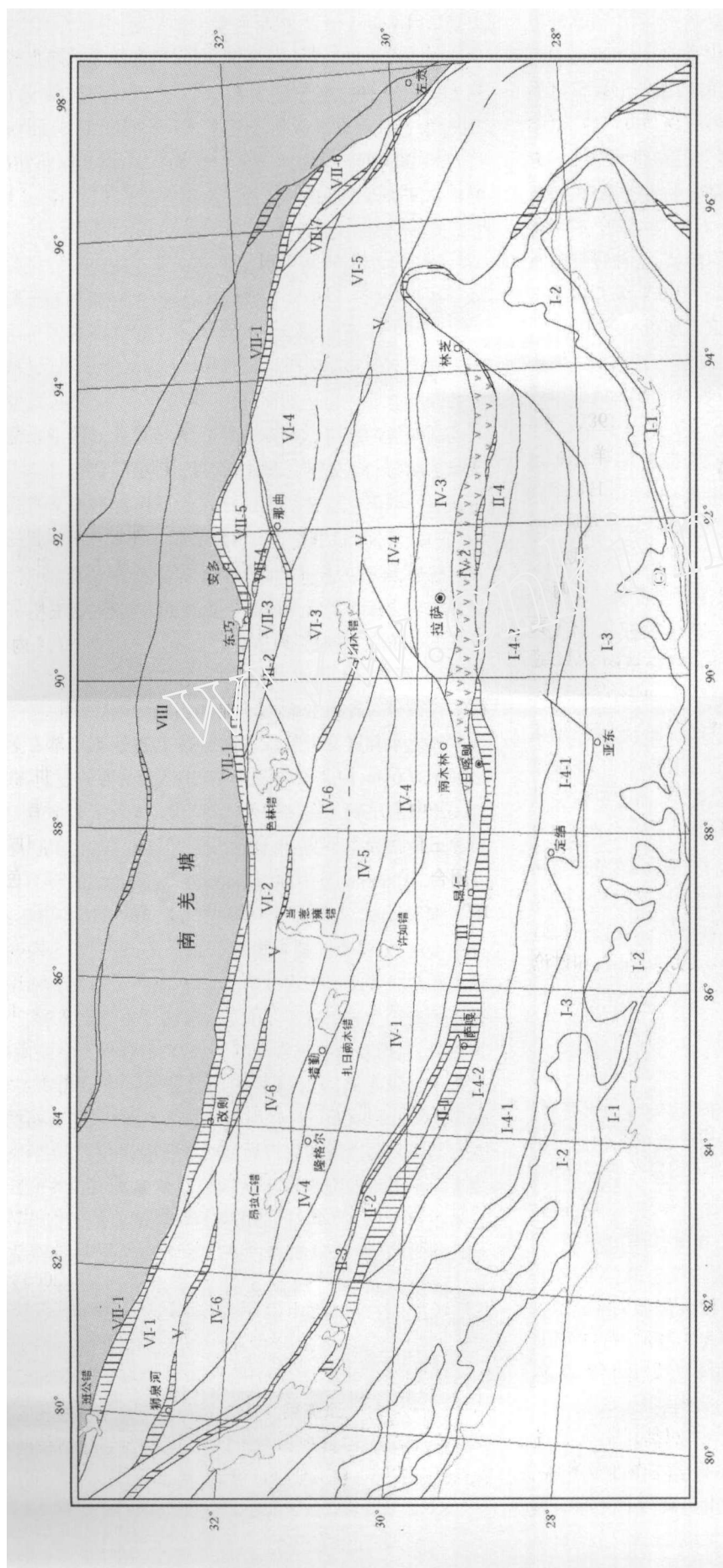


图1 冈底斯带构造单元细结构

I-喜马拉雅带; II-雅鲁藏布(公珠错-昂仁-米林)主缝合带; III-朗杰学增生楔逆推带; IV-冈底斯-念青唐古拉复合岩带; V-南冈底斯岩带; VI-1. 拉昂错-牛库蛇绿混杂带, II-2. 仲巴陆块, II-3. 雅鲁藏布(公珠错-昂仁-米林)主缝合带, II-4. 朗杰学增生楔逆推带; III-日喀则弧前盆地; IV-冈底斯-念青唐古拉复合岩带; IV-1. 南冈底斯岩带; IV-2. 桑日火山弧(J_3-K_1), IV-3. 叶巴火山弧(J_1-J_2), IV-4. 隆格-念青唐古拉复合火山岩带($P-T_3$), IV-5. 措勤-多瓦复合弧后前陆盆地, IV-6. 则弄火山岩带(J_3-K_1); V-狮泉河-拉果错-阿索-永珠-纳木错-嘉黎-波密-密地-班戈-班公湖-怒江缝合带; VI-1. 昂龙岗日岩带, VI-2. 波藏布-色林错前(?)陆棚带(K_1), VI-3. 班戈-崩错火山岩带(K_1-K_2), VI-4. 那曲弧前盆地(?)带, VI-5. 伯舒拉岭岩带($T_3, J-K$); VII-班公湖-怒江缝合带; VII-1. 日土-改则带→木嘎岗日带→安多-索县带→丁青-碧土带, VII-2. 桂牙-觉翁土带, VII-3. 东恰错增生弧(K_2), VII-4. 东巧-依拉山弧-弧碰撞带, VII-5. 聂荣残余弧, VII-6. 嘉玉桥残余弧, VII-7. 洛隆-八宿弧-弧碰撞带; VIII-南羌塘和左贡前陆盆地

Fig. 1 Tectonic subdivisions for the Gangdese Orogenic Belt

(2)在嘉玉桥残余弧内部确定了石炭-二叠纪苏如卡-同卡蛇绿混杂带(王建平等,2003),在绿片岩中发现有黑硬绿泥石、多硅白云母、硬玉等中高压变质矿物,它们应该是特提斯洋俯冲的产物,西南侧念青唐古拉的二叠纪洛巴堆弧火山岩、伯舒拉岭然乌地区的石炭-二叠纪来姑弧火山岩很可能受控于这一俯冲作用。

(3)在丁青蛇绿混杂岩带中区分出晚三叠世和早侏罗世蛇绿岩(王建平等,2003),三叠纪蛇绿岩中的镁铁、超镁铁杂岩和辉绿岩岩墙、斜长花岗岩等的岩石学、矿物学、矿物化学、地球化学等特征表明为洋内弧弧前环境,这种特征与东南亚小笠原群岛、马里亚纳洋内前缘弧和巴布亚新几内亚岛链相似。早侏罗世蛇绿岩组合中的玄武岩属弧后扩张环境,辉绿岩墙则为富钛贫硅的镁铁质岩石,辉长岩和深水浊积岩、硅质岩夹层中的块状玄武岩及部分枕状玄武岩属海山或洋岛环境。

(4)在那曲地区东巧-依拉山蛇绿混杂带之南,在增生楔之上的硅质岩中发现了中三叠世放射虫(1:25万那曲县幅^①);在八宿-扎玉怒江带东卡堆,发现夹于深海复理石中的早-中三叠世放射虫硅质岩。

上述新的地质记录表明班公湖-怒江缝合带所代表的特提斯洋在晚古生代-中生代很可能是连续存在的,似乎无需假设石炭-二叠纪大洋盆关闭再重新打开三叠纪洋盆,三叠纪洋盆关闭再打开侏罗纪弧后洋盆等。

另外,班公湖-怒江缝合带内单独划分出的东恰错增生弧,其北侧为东巧-依拉山蛇绿混杂岩带,南侧为桂牙-觉翁索蛇绿混杂带,南北两带在其东西两端交汇,平面上呈透镜状展布。最近在该增生弧上的确哈拉增生杂岩(T_3)、木嘎岗日(J_2)增生杂岩中,识别出志留纪、泥盆纪、石炭-二叠纪等不同时代的构造岩块和蛇绿岩残片,其构造属性与形成于中生代增生杂岩之上的印度尼西亚前缘弧的中爪哇和东爪哇火山弧类似。如果这种类比是可行的,那么东恰错增生弧对寻找斑岩铜矿将会有重要意义。

2.2 昂龙岗日-班戈-伯舒拉岭岩浆弧

从东到西,该岩浆弧大体可分为伯舒拉岭火山岩岩浆弧、班戈火山岩岩浆弧和昂龙岗日岩浆弧三个次级单元和北部的波仓藏布-色林错陆棚灰岩弧前带。

2.2.1 伯舒拉岭火山岩岩浆弧

该岩浆弧以波密花岗岩带为代表,在勇打石、卡达桥,岩体广泛侵位于中元古-新元古界念青唐古拉岩群、泥盆系松宗组和石炭系诺措组、来姑组地层中,侵入接触关系及热变质明显。花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄为 227 ~ 210 Ma,为具岛弧特征的 I 型花岗岩(1:25 万墨脱幅^②),很可能是班公湖-怒江特提斯洋三叠纪时向“南西”俯冲的产物。

2.2.2 班戈火山岩岩浆弧

该弧主要由石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩组成,主要为钙碱性系列岩石,其上被竟柱山组磨拉石不整合覆

盖,侵位时代为早白垩世(124 ~ 118Ma),岩石地球化学和同位素组成显示 I 型侵入岩特征。除侵入岩外,该带还出露有大量早白垩世火山岩,以早白垩世多尼组火山岩为代表。多尼组火山岩主要为钙碱性系列,已有数据显示其距离俯冲带约 130 ~ 150km,地壳厚度在 25 ~ 30km 左右(朱弟成等,2006)。该火山岩岩浆弧上还发生了早白垩世晚期-晚白垩世(77.8 ~ 90Ma)同碰撞期云母二长花岗岩、黑云正长花岗岩、碱长花岗岩以及后碰撞期的花岗斑岩等的侵位。

2.2.3 昂龙岗日岩岩浆弧

该弧主要表现为早白垩世俯冲期花岗闪长岩侵位于由砂质板岩复理石层夹灰岩透镜体、放射虫硅质岩和基性火山岩组成的中侏罗世增生杂岩之中。这套复理石岩系在构造上表现为南缓北陡的同斜倒转或斜歪复式褶皱,以区域透入性的顺层流劈理为运动面,经再度叠加变形形成,且发育一系列南倾逆冲断层。南界的狮泉河-拉果错蛇绿混杂带在岩浆弧东端与北侧的班公湖蛇绿混杂带相汇,周围基本上被增生杂岩所围限。若将增生弧定义为以俯冲消减杂岩为基底的火山岩岩浆弧(如东爪哇火山岩岩浆弧),那么就可以将昂龙岗日岩浆弧理解为以中侏罗世增生杂岩为基底的增生弧。这样的增生弧对斑岩型成矿系统有较大的找矿前景,如目前发现的嘎尔穷、窝肉等铜金矿。

2.2.4 波仓藏布-色林错陆棚灰岩弧前带

该带分布在班公湖-怒江蛇绿混杂带南侧,昂龙岗日岩浆弧之东和班戈岩浆弧之北西,沉积盆地现今残存展布东西长达 500km,南北宽约 20 ~ 80km,主体为早白垩世多尼组-郎山组浅海沉积。在该带色林错西侧,多尼组碎屑岩整合下伏于郎山灰岩之下,该组岩性和岩相变化较大,沉积厚度向东变厚达 2800m,其下部为具复理石沉积特征的灰黑色粉砂岩与泥岩互层,夹硅质岩、玄武岩、玄武质火山碎屑岩,向上迅速变浅,以浅海陆棚相岩屑砂岩为主,最上部出现河口三角洲相沙岩或港湾砾岩以及河流砾岩,并发育陆相火山喷发特征的安山质火山岩。郎山灰岩以园笠虫泥晶灰岩、生物碎屑滩灰岩、固着蛤礁灰岩为主,夹钙质粉砂岩和凝灰质砂岩。在岷千日以西,与夹中基性火山岩的捷嘎组呈相变关系,一般厚达 600 ~ 800m。在改则南的拉果错北山,东西向的郎山灰岩与两侧的消减杂岩带均呈断层接触,并叠置在消减杂岩之上。多尼组的沉积特征显示出与岛弧造山相关的弧前区域抬升沉积充填特征,郎山灰岩可能是在这一构造背景下的浅滩堆积,这与伊朗和巴基斯坦的莫克兰俯冲杂岩系中 Bajgan-dur-Kar 弧前陆棚灰岩带表现出的构造特征相似(Sengör et al., 1988)。

① 尼玛次仁,谢尧武,沙昭礼,西洛朗杰,强巴扎西,彭道平,格桑索朗,洛松占堆. 2004. 中华人民共和国 1:25 万区域地质调查报告那曲县幅

② 郑来林,耿全如,孙志明,董翰,欧春生,王小伟. 2003. 中华人民共和国 1:25 万区域地质调查报告墨脱幅

2.3 狮泉河-拉果错-阿索-永珠-纳木错-嘉黎-波密弧-弧碰撞带(简称 Slainajap 带)

Slainajap 带是一个蛇绿岩、构造杂岩块和深海复理石组成的蛇绿混杂岩带,延伸上千公里,宽 3~35km,受大型走滑断裂和逆冲构造的影响,蛇绿混杂岩断续出露,由西向东包括以下几个部分。

2.3.1 狮泉河蛇绿混杂带

Slainajap 带西段狮泉河蛇绿混杂带内部结构复杂,可划分出 4 条蛇绿混杂亚带和 3 个火山岛链。各亚带蛇绿岩所代表的洋盆均为弧后洋盆,放射虫硅质岩时代为早白垩世早期。带内韧性变形、褶皱、构造置换现象极为发育。火山岛链区域的火山-沉积地层整体有序(郑有业等,2004)。

2.3.2 拉果错蛇绿混杂带

主要由变质橄榄岩、辉长岩、枕状玄武岩、斜长花岗岩、晚侏罗世-早白垩世放射虫硅质岩和浊积岩(拉果乡西)组成,野外未见到真正的混杂岩基质,块体边界被剪切,在强烈剪切的基性火山岩和蛇纹岩中见大小不等的早白垩世郎山灰岩岩块。拉果错蛇绿混杂岩露头宽仅几公里,向东被眠千日-中仓右旋走滑断层截切,在阿索可见其相应露头。

2.3.3 永珠-纳木错蛇绿混杂带

蛇绿岩组合齐全,包括变质微橄榄岩、准晶岩、辉长岩、席状岩墙群、枕状玄武岩。硅质岩中产中侏罗世-早白垩世放射虫 *Acaeniotyle* sp., *Parvicirgula* sp. 等。这些被肢解的蛇绿岩残块与放射虫硅质岩、前奥陶纪变质板岩和二叠纪灰岩、侏罗-白垩纪灰岩岩块一起,被包裹在强烈剪切破碎的蛇纹岩或砂泥质基质中。该带席状岩墙群出露十分壮观,岩墙群中辉长岩岩墙的锆石 U-Pb 年龄为 $178 \pm 10\text{Ma}$ (1:25 万多巴幅①),Rb-Sr 等时线测年为 $173 \pm 10\text{Ma}$ (1:25 万当雄幅②),辉绿岩的单颗粒锆石表面年龄为 133~114Ma,表明蛇绿岩至少形成于中晚侏罗世并持续到早白垩世。蛇绿混杂岩带两侧残存的古生代碳酸盐台地层序基本一致,均缺失中-下三叠统,晚三叠世时存在不同的沉积相型,并发现晚侏罗世蛇绿质砾岩夹灰岩不整合于蛇绿岩残块之上(曲永贵等,2003),推测永珠-纳木错带代表的弧间裂谷发育成扩张盆地的时代在晚三叠世之后,早白垩世之前。

2.3.4 嘉黎-波密蛇绿混杂带

由于受后期宽约 5~10km 的大型走滑-逆冲断裂带的影响,仅在个别地段出露蛇绿岩残块。在迫龙藏布南山的侏罗纪花岗岩中,见大小不等的呈捕虏体产出的蛇绿岩残块和硅质岩,岩石地球化学特征显示了岛弧和弧后扩张环境,扩张洋盆形成于三叠纪(耿全如等,2004)。

由上可见,从嘉黎-波密蛇绿混杂带→永珠-纳木错蛇绿混杂带→拉果错蛇绿混杂带→狮泉河蛇绿混杂带,洋盆发育时间分别为三叠纪、晚三叠世-早白垩世、晚侏罗世-早白垩世和早白垩世早期,具有逐步年轻的趋势。进一步综合研究表明,Slainajap 带是在弧间裂谷基础上发展起来的一系列藕断

丝连的小洋盆,弧-弧碰撞的时序也是东早西晚,显示斜向闭合的特点。

2.4 冈底斯-念青唐古拉复合岩岩浆弧

北以狮泉河-阿索-永珠-纳木错-嘉黎-波密弧-弧碰撞带为界,南邻雅鲁藏布洋盆消减带(图 1)。复合岩岩浆弧由“基底”和弧体构成,基底指岛弧火山-沉积岩系之下的构造-地层单元,弧体本身经历了复杂演化过程,伴随着从陆缘弧到岛弧的演化,出现了各具特色的火山-侵入杂岩组合和复杂的岛链火山沉积体系。复合岛弧由老到新包括隆格尔-念青唐古拉残余古岛弧($P-T_3$)、叶巴张性火山弧(J_1-J_2)、桑日火山岩岩浆弧(J_3-K_1)、则弄火山岩岩浆弧(J_3-K_1)、南冈底斯火山岩岩浆弧(K_2-E_2)及措勤-多瓦陆内拗陷带(K_2-E)等。

2.4.1 隆格尔-念青唐古拉复合古岛弧带

该复合古岛弧带展布于冈底斯-念青唐古拉山主脊,早期称之为冈底斯弧背断隆带(周祥和曹佑功,1984;刘增乾等,1990)。岛弧的基底岩系主要为念青唐古拉群(AnO 或 Pt_2-Pt_3)以及石炭-二叠纪浅海陆棚沉积。东段石炭纪诺错组、夹姑组含有大量中基性、中酸性弧火山岩,中段林周二叠纪洛巴堆组(P_2)有大规模玄武安山岩喷溢。

林周盆地北侧中二叠世洛巴堆组火山岩的 SiO_2 含量变化于 47.32%~60.56%,显著 Nb、Ta、Ti 负异常(图 2a),属中基性岛弧火山岩,明显不同于基本同期的喜马拉雅板内拉斑玄武岩(图 2b)。另外,该带西段以扎日南木错-措麦断裂为界,拉嘎组(C_1-P_1)、昂杰组(P_1)及下拉组(P_2)南、北部在岩性、岩相及地层厚度方面差别很大,在昂杰组(P_1)的粗碎屑-含砾细碎屑地层中,含大量火山碎屑岩,有的部位见形成于伸展裂陷盆地背景的由绿泥石化玄武岩和紫红色流纹质熔结凝灰岩构成的双峰式岩石组合(袁健芽等,2003)。这些信息表明,此时期冈底斯带与喜马拉雅带开始发生分化瓦解,总体呈现出“北台南盆,东拗西隆”的构造古地理格局,中东部已转化为活动大陆边缘。冈底斯带中东部晚古生代岛弧岩浆事件标志着冈底斯带发生了首次造弧作用。

早-中三叠世本带隆升剥蚀,在拉萨却桑寺的查曲浦组(T_1-T_2),由早期的局限海盆地相砂岩、砂屑灰岩、灰岩、硅质岩,向上过渡为海陆交互相,并有强烈的火山活动,英安岩、安山岩夹灰岩、安山质角砾熔岩及凝灰岩,厚度达 >1000m。2 件查曲浦组火山岩样品的 SiO_2 含量变化于 44.46%~47.92%,显著 Nb、Ta、Ti 负异常(图 2a),显示岛弧火山岩的基本特征和构造环境(图 2a, b),代表了冈底斯带发生的

① 曲永贵,王永胜,段建祥,张树岐,王忠恒,吕鹏,刘贵忠,李学彬,冯德臣,谢元和,于喜文,姜雪飞,孙中纲,李庆武,梁世福,王洪双,郭双山. 2003. 中华人民共和国 1:25 万区域地质调查报告多巴幅

② 吴珍汉,孟宪刚,胡道功,江万,叶培盛,朱大岗,刘琦胜,杨欣德,邵兆刚,吴中海,赵希涛,王建平,冯向阳,纪占胜. 2003. 中华人民共和国 1:25 万区域地质调查报告当雄幅

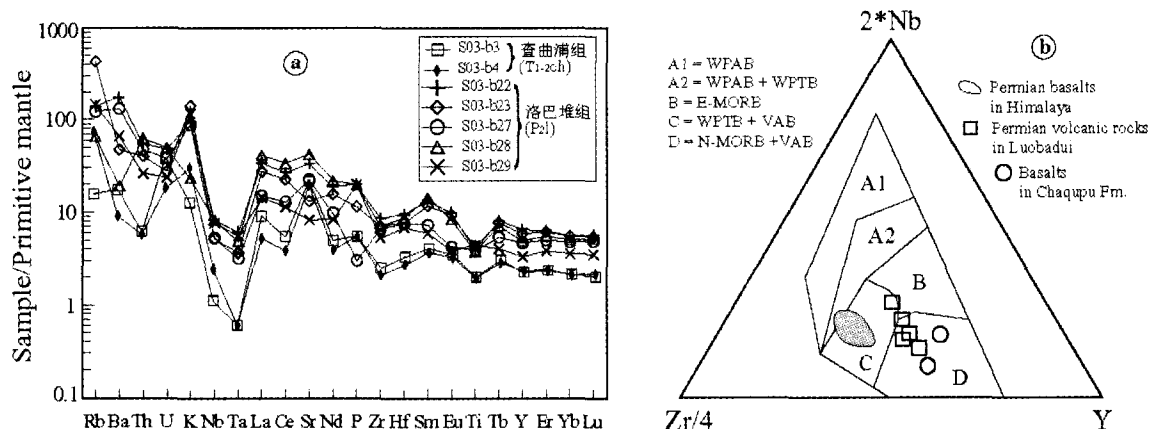


图2 冈底斯洛巴堆组、查曲浦组火山岩微量元素蛛网图(a)及其构造环境判别图(b)

图a中原始地幔标准化值和元素顺序据 Sun and McDonough (1989); 图b 据 Meschede (1986), 数据来源: 笔者未刊数据

Fig. 2 Primitive mantle-normalized incompatible trace-element spidergrams (a) and tectonic discrimination (b) diagrams for Luobadui Formation, Chaqupu Formation volcanic rocks on Gangdese.

第二次造弧作用。

沿该复合古岛弧带,除了上世纪80年代在工布江达发现的晚三叠世岩浆侵入事件外,近年在中段南木林江波乌日和下波一带(李才等,2003)、当雄东门巴地区(杨德明等,2005)还发现了晚三叠世侵入岩。这些晚三叠世岩体成带东西向展布已超过500km,侵入的围岩为石炭-二叠纪砂板岩及低绿片岩。其强烈富集大离子亲石元素(Rb、Th),相对亏损高场强元素(Nb、Ta、Zr、Sm、Y、Yb等)等地球化学特征显示了岛弧或陆缘弧岩的亲缘性(和钟铨等,2005)。这些晚三叠世岛弧岩浆事件及晚三叠世诺利期沉积地层与下伏二叠系的不整合接触关系,均是冈底斯第三次造弧作用的构造岩浆响应。

古岛弧造山事件除了在冈底斯带有所表现外,在整个特提斯构造域也广泛存在。在西南亚,从土耳其到伊朗也存在一个由萨卡里亚陆块、东罗多彼/蓬蒂碎块、比利特斯地块、Dzirula 地块、阿尔特温-Karabagh 带、萨南达季-锡尔詹带、伊朗莫克兰 Bajgan-杜尔-甘镇带和卢特地块基底内代赫萨勒姆东侧的变质地体等组成的三叠纪古岛弧带,这一被简称为 Podataksasi 岩浆弧在古生代晚期,已经成为冈瓦纳大陆北部的陆缘弧,到二叠纪末,该岩浆弧开始从冈瓦纳大陆裂离出来,位于这一岛弧南面的是大量类似于今天日本海的弧后盆地,这种盆地的进一步发育形成了扎格罗斯新特提斯(Sengör, 1979; Sengör and Okurogullari, 1991)。

特别需要指出的是,近年来在该复合古岛弧带东段还发现了一系列早白垩世(133.9~123.4Ma)浅色(白云母、二云母)花岗岩(Ding and Lai, 2003; 翟庆国等, 2004, 2005; 杨德明等, 2005),其地球化学特征可与喜马拉雅中新世浅色花岗岩(邓晋福等,1994)对比,是壳内沉积变质岩部分熔融的产物,与后碰撞阶段地壳缩短增厚有关(Ding and Lai, 2003)。但与此形成鲜明对比的是,同处该带西段的措勤县尼雄、沙松日阿一带的早白垩世(106~114Ma)侵入岩,地球

化学特征显示为俯冲构造环境的科迪勒拉I型花岗岩(吴旭铃和陈振华,2005)。这些信息表明,冈底斯带不同部位的岩浆活动性质存在重要差异,这种差异性可能正是该带西段成为富铌、银、铅、锌多金属成矿远景区的内在原因。

2.4.2 叶巴张性火山弧

叶巴火山弧的名称源自对墨竹工卡南的甲马夕卡岩型铜多金属矿床研究(彭勇民等,2001)。随后的大比例填图及综合研究厘定了岛弧中的叶巴火山岩为弧火山岩,所以我们称之为叶巴火山弧。该火山弧北以米拉山逆冲带为界,南以奴玛-沃卡脆韧性剪切带限(蒋光武等,2002),南北宽约20~50km,西到拉萨,东到工布工达南,东西展布220km(图1)。在该火山弧上,早期工作中发现的主要是长英质火山岩,近年来已在达孜县城附近发现了大规模的玄武质熔岩。

我们对拉萨东部达孜县城附近叶巴组英安岩(SiO_2 64.72%)的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 181.7 ± 5.2 Ma,表明叶巴组火山岩浆活动的时代至少发生在早中侏罗世。叶巴组主要岩石组合为基性火山岩+长英质火山岩,中性端员分布极少。7件基性火山岩样品的 SiO_2 含量变化于40.90%~50.36%, Nb/Nb^* 为0.24~0.61,在微量元素原始地幔标准化蛛网图上具有明显的负 Nb、Ta 异常和负 Ti 异常,富集 LILE、Th 和 LREE,显示岛弧火山岩特征。6件长英质火山岩样品的 SiO_2 含量变化于64.14%~68.92%, Nb/Nb^* 为0.24~0.42,在微量元素原始地幔标准化蛛网图上曲线型式与基性火山岩非常相似①。从二者具有相似的微量元素地球化学组成、相似的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和初始 Sr 同位素比值看,长英质火山岩要么由同源基性火山岩经分离结晶作用形成,要么由不成熟陆壳重熔产生。我们倾向性地认为叶巴组火山岩可能

① Zhu DC, Pan GT, Wang LQ, Li GM, Liao ZL. An Early Jurassic subduction of Neo-Tethys: evidences from the Yeba volcanic rocks in Lhasa area, south Tibet

为成熟岛弧/活动大陆边缘的双峰式火山岩,是冈底斯带第四次造弧事件的标志。

2.4.3 桑日火山弧

桑日火山弧位于雅鲁藏布蛇绿混杂带中东段北侧,冈底斯火山岩岩浆弧中东段南缘,北以谢通门-奴玛-沃卡脆韧性剪切带为界,东西延展400多公里(图1)。该弧上晚侏罗世-早白垩世桑日群以大量岛弧型钙碱性火山岩和弧缘碎屑岩、碳酸盐重力流沉积为特征,碎屑岩中夹大量安山岩、安山质角砾熔岩和安山质凝灰岩。薄层生物碎屑灰岩、砂屑泥晶灰岩、角砾状灰岩可能为弧前斜坡碎屑流的碳酸盐浊积岩。岛弧的基底有可能是早-中侏罗世雅鲁藏布洋盆俯冲消减的增生楔,其主要证据来自桑日群火山岩的研究^①。麻木下组安山岩具有高Sr、Sr/Y、高(La/Yb)_N值以及低Y、Yb和HREE含量的特点,与埃达克岩成分特征相似,其成因与受到上覆地幔楔交代的板片熔体的部分熔融有关,雅鲁藏布洋壳板片是其主要熔融源区。桑日群上部比马组火山岩的Nb、Ta以及Zr、Hf、Sm、Ti等高场强元素相对于大离子亲石元素(如Rb、Ba和Sr)明显亏损,显示正常岛弧火山岩地球化学特点,可能与来自板片的含水流体引起上覆地幔楔发生不同程度的部分熔融有关^①。考虑到具有埃达克岩特征的麻木下组火山岩主要分布于比马组正常岛弧火山岩南部,因而可以确认桑日群火山岩是雅鲁藏布洋壳向北俯冲的岩石学记录。在性质上,桑日火山弧可能属于与雅鲁藏布新特提斯洋壳俯冲有关的冈底斯-念青唐古拉古岛弧南侧的增生弧,该增生弧的形成代表了冈瓦纳大陆北缘冈底斯带的第五次造弧事件。

2.4.4 则弄火山岩岩浆

北邻狮泉河-拉果措-阿索-永珠-纳木错混杂岩带,南以左左-达瓦错-巴尔下-德庆断裂为界。火山弧的陆壳基底为晚古生代正常陆棚沉积环境,缺失三叠纪和早侏罗世沉积,弧体主要为接奴群(J₂-J₃)、则弄群(J₃-K₁)和捷嘎组(K₁),由安山玄武岩、安山岩与流纹岩及中酸性的凝灰岩、火山角砾岩和角砾熔岩组成一套完整的多火山沉积旋回组合。该岩岩浆弧上晚侏罗世-早白垩世火山活动十分强烈,形成的火山-沉积岩系累积厚度可能超过10000m。

火山岩在成分上包括玄武岩、玄武质安山岩、安山岩、英安岩、流纹岩及粗面玄武岩、玄武质粗面安山岩、粗面安山岩和粗面岩,主体为钾玄质和高钾钙碱性系列火山岩,在噶尔多爱沟则弄群上部出现了超钾质火山岩。该带酸性火山岩明显富集Th和LREE,普遍亏损Ba,并且还具有与上部陆壳非常相似的蛛网图曲线(图3),暗示这些酸性火山岩很可能与上部陆壳物质的重熔有关。结合微量元素估算的地壳厚度(多数大于25km)和到俯冲带的距离(多数大于140km,朱弟成等,2006),可以认定这些火山活动发生于成熟陆壳。除此之外,该岩岩浆弧古近纪火山活动微弱,新近纪火山活动较为强烈,尤其以冈底斯西段为最,以鱼鳞山组和布嘎寺组为代表(石和等,2005)。这里的新近纪火山岩主要包括碱玄岩、辉石安山岩、辉石粗面岩、安粗岩、白榴石碱玄岩等,以超

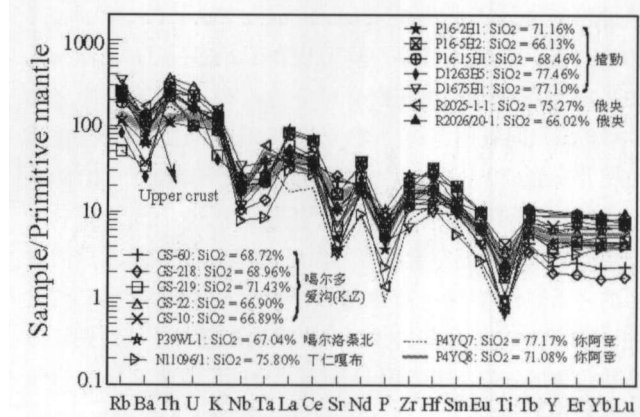


图3 则弄火山岩岩浆弧酸性火山岩微量元素蛛网图

原始地幔标准化值和元素顺序据 Sun and McDonough (1989); 上部地壳数值据 Rudnick and Gao (2003); 酸性火山岩数据来源于冈底斯相关的1:25万区域地质调查报告

Fig. 3 Primitive mantle-normalized incompatible trace-element spidergrams for acid volcanic rocks on Zenong volcanic-magmatic arc

The normalizing values and element order (Sun and McDonough, 1989); Upper crust values (Rudnick and Gao, 2003). Data are from regional geological survey reports (1:250,000) on Gangdese

钾质火山岩为主,同位素年龄23~12Ma,被认为与古老的交代岩石圈地幔的部分熔融有关(Turner *et al.*, 1996; Miller *et al.*, 1999; Williams *et al.*, 2001; Nomade *et al.*, 2004)。在性质上,该火山岩岩浆弧可能只是晚侏罗-早白垩世在隆格尔-念青唐古拉复合古岛弧带北侧的增生边缘弧。

2.4.5 南冈底斯火山岩岩浆

该弧体北界为隆格尔-念青唐古拉复合古岛弧带南缘的左左-措勤县沙莫勒→措拉北侧斜冲逆推带,东段叠置于叶巴火山弧与桑日火山弧之上,通常被认为是与雅鲁藏布新特提斯洋壳向北俯冲碰撞有关的安第斯型陆缘火山岩岩浆弧。在该岩岩浆弧上,广泛分布有白垩纪-古近纪中酸性侵入岩,占整个冈底斯-念青唐古拉带65%以上的面积,呈岩基或大型复合岩体产出,侵入岩基北带紧邻雅鲁藏布缝合带北侧,侵入围岩为侏罗-白垩系。岩石组合以花岗闪长岩和石英二长岩为主,南部偏中基性,北部偏酸性。

已有侵入岩和火山岩的放射性同位素年龄显示该弧岩浆作用开始于早白垩世并持续到始新世晚期(≥130Ma~40Ma,周云生等,1981; Maluski *et al.*, 1982; Xu *et al.*, 1985; Coulon *et al.*, 1986; Debon *et al.*, 1986; Harris *et al.*, 1988; Copeland *et al.*, 1995; Murphy *et al.*, 1997; Miller *et al.*, 1999; Harrison *et al.*, 2000; Chung *et al.*, 2005)。岩浆作用在40~25Ma期间停息下来,在25~10Ma又重新开始了

① Zhu DC, Pan GT, Wang LQ, Li GM, Liao ZL and Geng QR. Slab melting and melt-mantle interaction for the generation of the Sangri Group volcanic rocks in southern Tibet

活动 (Zhao *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2004; Chung *et al.*, 2003; Hou *et al.*, 2004; 侯增谦等, 2005; Chung *et al.*, 2005)。该岩浆弧上的花岗岩可分为三类: 俯冲型花岗岩类 ($\geq 70\text{Ma}$)、同碰撞花岗岩类 (65 ~ 45Ma)、同碰撞-后碰撞强过铝花岗岩 (50 ~ 8Ma)。值得指出的是, 在谢通门-南木林-尼木-曲水一带南缘的花岗闪长岩岩基中, 含有大量暗色镁铁质微块包体及其它岩浆混合作用的标志, 呈现出东西向展布的一条辉长岩-辉石岩-辉绿岩小岩体带, 并西延到昂仁之北, 是研究岩浆底侵与岩浆混合作用的理想对象。对铁镁质微块包体的锆石 SHRIMP U-Pb 研究显示, 岩浆底侵与岩浆混合作用基本同步进行, 均发生在 47 ~ 52.5Ma (Mo *et al.*, 2005; Dong *et al.*, in press)。

该带除了局部地区有浅变质强变形的石炭-二叠系出露之外, 古新世-始新世陆相林子宗火山岩几乎覆盖全区, 它们角度不整合于晚白垩世设兴组或更老地质体之上。林子宗火山岩早期主要由安山岩、玄武岩、角砾熔岩和碎屑凝灰岩组成, 中期为英安质熔岩、流纹岩、流纹质凝灰岩及湖相砂屑类岩、生物碎屑类岩夹层, 晚期为粗安岩、流纹质熔结凝灰岩, 柱状节理发育。火山岩系及其夹层厚度一般在 2000 ~ 4000m, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄介于 64 ~ 43Ma, 为同碰撞阶段的构造岩浆作用产物 (莫宣学等, 2003; Zhou *et al.*, 2004; 董国臣等, 2005), 是冈底斯带第六次造弧增生事件的标志。

40 ~ 25Ma 期间可能是由挤压体制向壳内伸展体制的构造调整期, 仅在局部山间盆地发生了日贡拉红层沉积。在 25 ~ 10Ma, 发生了源自岩石圈地幔 (SCLM) 的钾质-超钾质火山活动, 18 ~ 12Ma 发生了源于加厚下地壳或早先的俯冲洋壳的埃达克质含矿斑岩侵位事件 (侯增谦等, 2003; 芮宗瑶等, 2003; Chung *et al.*, 2003; Hou *et al.*, 2004)。在构造上, 这些岩浆活动受南北向堑-垒构造与东西向右旋韧性剪切带引张部位的制约。

2.4.6 措勤-多瓦后陆拗陷带

除上述火山岩浆弧外, 在则弄火山岩浆弧与隆格尔-念青唐古拉复合古岛弧带之间, 还存在一东西长达 500km, 宽 10 ~ 50km 的措勤-多瓦后陆拗陷带, 主要为晚白垩世竟柱山组磨拉石沉积, 古近纪含铜砂岩层夹火山岩及新近纪红色砂泥岩, 其形成多与后期构造活动有关。

2.5 日喀则弧前盆地

盆地北界被一北倾的冈底斯南缘逆冲断层系所改造, 南界为雅鲁藏布缝合带, 局部地段可见中、晚白垩世日喀则弧前盆地沉积物不整合覆盖于南冈底斯岩基上。盆地东延至大竹卡西部, 西段消失于罗波峰西坡。虽然日喀则弧前盆地常被南倾的古近纪反向逆冲断裂系所破坏, 但在吉定剖面仍可观察到日喀则复理石与早白垩纪晚期 (阿尔布期) 的红色放射虫硅质岩、硅质页岩, 直接覆盖在属于雅鲁藏布缝合带蛇绿岩端员的枕状熔岩之上, 所以部分蛇绿混杂岩构成了日喀则弧前盆地的基底。总体上, 在雅鲁藏布新特提斯洋俯

冲消亡和后继的板块碰撞过程中, 盆地沉积物没有卷入消减混杂, 虽然构造上地层直立以致倒转, 但在沉积上是连续的, 保留了完整的出露较好的弧前沉积序列。这与阿尔卑斯碰撞造山带表现出一个大陆块显著地叠覆到另一个大陆之上的构造样式有巨大差别。

2.6 雅鲁藏布缝合带

北界为达吉岭-昂仁-仁布-墨脱断裂, 总体为一北倾逆冲断裂系, 南界为仲巴-拉孜-耶多江断裂带, 该带在萨嘎以西分为两支, 南支为拉昂错-牛库蛇绿混杂岩带, 与北支的雅鲁藏布主缝合带之间夹持了仲巴晚古生代台地。雅鲁藏布缝合带作为青藏高原南部的一条重要蛇绿混杂岩带, 长期以来一直是国内外地质学家追溯研究的重点, 认为蛇绿岩形成时代为侏罗纪-白垩纪, 主体时代为晚侏罗世-早白垩世 (Marcoux *et al.*, 1982; Gopel *et al.*, 1984; 吴浩若, 1984; 肖序常等, 1988; 西藏自治区地矿局, 1993; 张旗和周国庆, 2001)。

最近区域地质调查研究除了在雅鲁藏布江缝合带萨嘎-桑桑段的硅质岩中获得大量晚侏罗世-早白垩世晚期放射虫化石外, 在拉孜汤嘎混杂岩和破姆弄混杂岩的硅泥质岩中还首次获得了中、晚三叠世 *Archaeocenosphaera* sp., *Oertlispongus inaequispinosus* 放射虫组合和晚三叠世至早侏罗世 *Muelleritortis* sp., *Pseudostysphaera* sp. 放射虫组合, 在中东段泽当复理石硅质岩中获得晚三叠世放射虫 *Copnuoschoaera* sp., *Beiacium* sp., *Pseudostylosphaera* sp.。另外, 在萨嘎-桑桑段发现与蛇绿岩伴生的年龄为 $157.96 \pm 32.03\text{Ma}$ (K-Ar 法) 的岛弧型玄武岩、 $168.49 \pm 17.41\text{Ma}$ (K-Ar 法) 的洋岛玄武岩、 $190.02 \pm 19.12\text{Ma}$ (K-Ar 法) 的洋岛型辉长岩; 在中东段泽当蛇绿混杂岩玄武岩的下部和上部层位分别获得 $215.57 \pm 19.12\text{Ma}$, $168.24 \pm 11.03\text{Ma}$ 的 Rb-Sr 等时线年龄 (高洪学等, 1995), 在罗布莎蛇绿岩上部枕状玄武岩中获得 $173.27 \pm 10.90\text{Ma}$ 的 Rb-Sr 等时线年龄 (李海平等, 1996), 在东段墨脱雅鲁藏布超镁铁质岩中获得 $200 \pm 4\text{Ma}$ ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) 的辉石冷却年龄。这些新的年龄信息表明雅鲁藏布蛇绿岩的形成时代至少可以向前追索至晚三叠世, 暗示该洋盆在中晚三叠世就开始了其扩张历史。

3 冈底斯带晚古生代-中生代构造演化

班公湖-怒江缝合带内古特提斯洋壳残余的发现表明班公湖-怒江缝合带所代表的特提斯洋在晚古生代至中生代可能是一个连续演化发展的大洋。古生代晚期到三叠纪冈底斯古岛弧不可能与雅鲁藏布新特提斯洋向北的俯冲有关, 因为那时还没有出现雅鲁藏布新特提斯洋。至于班公湖-怒江特提斯洋最终的关闭时间, 目前看来不能以局部观察点如东巧晚侏罗-早白垩莎木罗组与蛇绿岩的不整合、丁青中侏罗统与蛇绿岩的不整合、觉翁晚三叠世确哈拉组与蛇绿岩的不整合等来推论, 而应以洋陆转换过程中大区域弧盆系演化、

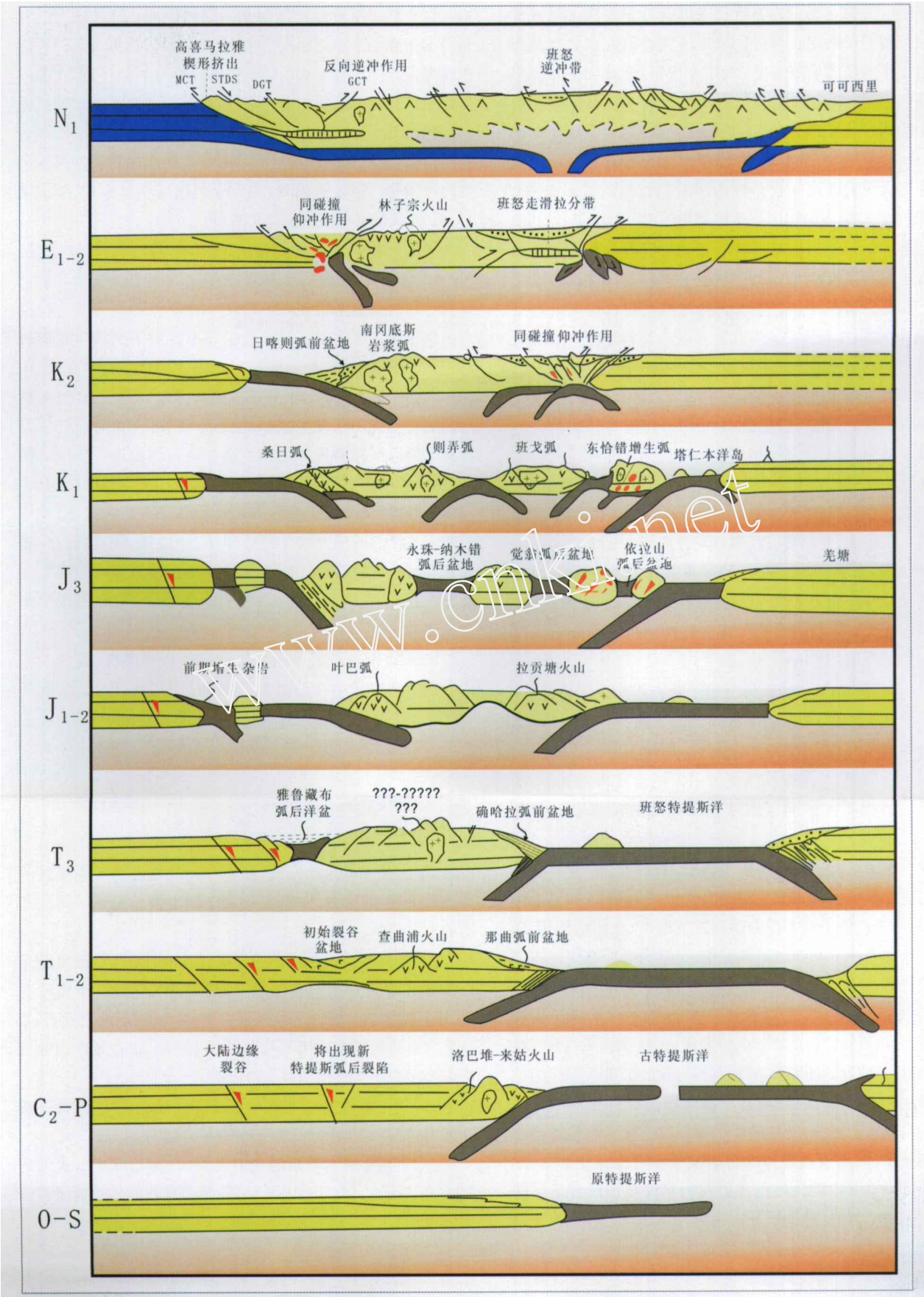


图4 冈底斯带晚古生代-中生代的构造演化模式图
Fig.4 Tectonic evolution model for Gangdese from the Late Paleozoic to Mesozoic time.

弧-弧碰撞、弧-陆碰撞的岩石学记录以及是否发育大区域的前陆磨拉石盖层确定。最近区域地质调查研究在扎加藏布下游塔仁本发现的早白垩世(大约 110Ma)近百平方公里的洋岛(王忠恒等, 2005), 表明班公湖-怒江特提斯洋在早白垩世中晚期并没有如早期认为的已经消亡, 那时肯定还存在洋壳。我们认为, 班公湖-怒江特提斯洋的彻底关闭很可能是以遍布全区的晚白垩世克柱山组磨拉石和冈底斯弧-弧、弧-陆碰撞的岛弧造山作用最终定型为标志。

地学界的广泛共识是冈底斯带的陆壳基底和古生代盖层具有与喜马拉雅相似的结构特征, 它们都是冈瓦纳大陆北缘的一部分。结合班公湖-怒江缝合带内古特提斯洋壳残余的发现、冈底斯古岛弧的发育和雅鲁藏布新特提斯开启的时代以及相关的多岛弧盆系的形成, 我们提出下述模式来解释冈底斯带晚古生代-中生代的构造演化历史(图 4):

晚石炭世-二叠纪, 以班公湖-怒江缝合带为代表的特提斯大洋向南俯冲, 使隶属于冈瓦纳大陆群的印度陆块北缘的构造体制发生从被动大陆边缘到活动大陆边缘的重大转换。冈底斯大致在甲岗-雷拉普冈日一线以东发生来姑-洛巴堆陆缘岛弧火山作用, 在该线以西则以发育双峰式火山岩为特征的隆-凹相间的伸展裂陷盆地, 同时在喜马拉雅色龙以西出现二叠纪裂谷型拉斑玄武岩, 印度陆块北缘不同构造部位表现出的不同构造环境有可能受控于特提斯大洋岩石圈向南的斜向俯冲作用(图 4b)。

早-中三叠世时, 冈底斯带继承了晚古代构造演化趋势, 但大部分区域隆升, 表现为陆缘弧上的查曲浦弧火山活动, 以及雅鲁藏布初始裂陷盆地的形成。那曲北西一带中三叠世放射虫硅质岩、玄武岩及海底滑塌碳酸盐重力流沉积, 可能代表与特提斯大洋向南俯冲系统相关的弧前岩石组合(图 4c)。

晚三叠世时, 羌塘-三江多岛弧造山带增生到扬子大陆边缘构成亚洲大陆板块的一部分, 与印度板块发生相互作用, 同时由于受特提斯大洋向南俯冲的制约, 在冈底斯带-喜马拉雅带发生了一系列地质事件群, 包括冈底斯陆块与印度陆块的分离、亚洲大陆板块(含羌塘-三江)与冈底斯东段嘉玉桥弧-陆碰撞、左贡等前陆盆地的形成、隆格尔-工布江达岩浆弧的成型、伯舒拉岭火山岩浆弧的发育、嘉黎-波密弧间裂谷盆地、确哈拉弧前盆地的发育、雅鲁藏布洋盆的扩张等(图 4d)。

早-中侏罗世时, 冈底斯带东段南侧发育具有双峰式火山活动特征的叶巴火山弧, 暗示雅鲁藏布洋盆东段初始向北的低角度俯冲, 而拉贡塘弧火山岩浆活动可能是受班公湖-怒江特提斯洋向南低角度俯冲制约的张性弧构造背景下的产物。另外, 可能受特提斯洋向南俯冲的影响, 嘉黎-波密弧间裂谷盆地扩张成洋, 伯舒拉岭岛弧成型(图 4e)。

晚侏罗世时, 冈底斯地区呈现出复杂的多岛弧盆系格局。冈底斯南缘桑日增生弧与冈底斯北部同时代的则弄火山岩浆弧、班戈火山岩浆弧及其间的 Slainajap 弧间裂谷盆地进一步扩张成有限小洋盆, 揭示了班公湖-怒江特提斯洋向

南与雅鲁藏布新特提斯洋向北的双向俯冲。这种动力学背景与东南亚马来西亚半岛-沙捞越-加里曼丹西部及苏门答腊中北部发育的二叠纪火山岩浆弧系统具有相似性: 如在苏门答腊地区与朝向亚洲的俯冲系统有关, 而在加里曼丹地区则与朝向印度洋的俯冲系统有关(Simandjuntak and Barber, 1996)。这种双向俯冲的地球动力学系统在多岛弧盆系构造区内可能是一种普遍现象, 并延续到弧后洋盆俯冲、萎缩消亡、弧-弧或弧-陆碰撞全过程(图 4f)。

早白垩世时, 冈底斯带存在同样的双向俯冲系统, Slainajap 弧间洋盆双向俯冲消亡, 班公湖-怒江特提斯洋后退式俯冲导致东恰错增生弧的形成。沿隆格尔-念青唐古拉复合古岛弧带东部出现了与地壳增厚事件有关的淡色花岗岩的侵位(图 4g)。

晚白垩世时, 班公湖-怒江特提斯洋最终消亡, 亚洲大陆与冈底斯复合岛弧发生强烈的弧-陆碰撞, 在弧后前陆区发育狭窄但巨厚的磨拉石沉积。雅鲁藏布洋盆进一步向北俯冲, 南冈底斯火山岩浆弧增生在隆格尔-念青唐古拉复合古岛弧带南侧, 并叠置于叶巴火山弧和桑日火山弧之上, 地壳开始发生强烈的横向增生造弧作用, 相应地, 在其弧后位置则发育没组海陆交互沉积, 在其弧前位置发育日喀则深海沉积岩、海底扇沉积及与浊积岩建隆过程有关的弧前陆棚碳酸盐沉积(图 4h)。

白垩纪末-始新世时期发生的大陆碰撞事件, 表现为南冈底斯大陆边缘俯冲造弧的科迪勒拉型造山作用, 后陆褶皱-逆冲带、班公湖-怒江走滑拉分带的形成、特提斯残余海的彻底消亡以及横断山走滑转换造山带的再生(图 4i-j)。

4 结论

(1) 根据新的地质资料, 将冈底斯带划分为 6 类不同的构造单元和 18 个次级单元, 较为全面准确地概括了冈底斯带的地质面貌。

(2) 冈底斯带不是简单的地块、陆块或地体, 而很可能是以隆格尔-念青唐古拉为主轴, 经历石炭-二叠纪、早中三叠世、晚三叠世、早中侏罗世、晚侏罗世-早白垩世、晚白垩世-始新世六次造弧增生作用和相关的弧-陆、陆-陆碰撞作用并最终定型于新生代晚期的复合造山带。

(3) 冈底斯带的构造演化很可能受班公湖-怒江特提斯洋向南、雅鲁藏布洋向北的双向俯冲的制约。

(4) 以增生弧为背景的火山岩浆弧(如昂龙岗日火山岩浆弧、东恰错弧、桑日火山弧)可能是冈底斯地区寻找斑岩铜矿的最佳有利场所。

致谢 本项研究得到国家 973 项目(2002CB412609)、国家自然科学基金(40503005, 40473020)和中国地质调查局“青藏高原南部空白区基础地质综合研究”项目(200313000025)联合资助。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang Autonomous Region. 1993. Regional geology of Xizang (Tibet) Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 450 (in Chinese with English abstract)
- Chang CF and Zhen XL. 1973. Geological structure of Qomolangma region in southern Tibet and discussions on the origin of EW-trending Mountains in Tibetan Plateau. Science in China (Series D), 2: 190 - 210 (in Chinese)
- Chen YL, Zhang KZ, Li GQ, Nimaciren, Zhao SR and Chen GR. 2005. Discovery of an uniformity between the Upper Triassic Quehala Group and its underlying rock series in the central segment of the Bangong Co-Nujiang junction zone, Tibet, China. Geological Bulletin of China, 24(7): 621 - 624 (in Chinese with English abstract)
- Chung SL, Chu MF, Zhang YQ, Xie YW, Lo CH, Lee TY, Lan CY, Li XH, Zhang Q and Wang YZ. 2005. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism. Earth-Science Reviews, 68: 173 - 196
- Chung SL, Liu D, Ji J, Chu MF, Lee HY, Wen DJ, Lo CH, Lee TY, Qian Q and Zhang Q. 2003. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet. Geology, 31: 1021 - 1024
- Copeland P, Harrison TM, Pan Y, Kidd WSF, Roden M and Zhang YQ. 1995. Thermal evolution of the Gangdese batholith, southern Tibet: a history of episodic unroofing. Tectonics, 14: 223 - 236
- Coulon C, Maluski H, Bollinger C and Wang S. 1986. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, petrological characteristics and geodynamical significance. Earth and Planetary Science Letters, 79: 281 - 302
- Debon F, Le Fort P, Sheppard SMF and Sonet J. 1986. The four plutonic belts of the trans-Himalaya-Himalaya: A chemical, mineralogical, isotopic and chronological synthesis along a Tibet-Nepal section. Journal of Petrology, 27: 219 - 250
- Deng JF, Zhao HL and Lai SC. 1994. Generation of muscovite/two-mica granite and intracontinental subduction. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 19(2): 139 - 147 (in Chinese with English abstract)
- Dewey JF. 1988. Extensional collapse of orogens. Tectonics, 7(6): 1123 - 1139
- Ding L and Lai QZ. 2003. New geological evidence of crustal thickening in the Gangdese block prior to the Indo-Asian collision, Chinese Science Bulletin, 48(15): 1604 - 1610
- Dong GC, Mo XX, Zhao ZD, Guo TY, Wang LL and Chen T. in press. Geochronologic Constraints by SHRIMP II Zircon U-Pb Dating on Magma Underplating in the Gangdise Belt Following India-Eurasia Collision. Acta Geologica Sinica (English edition)
- Dong GC, Mo XX, Zhao ZD, Wang L and Zhou S. 2005. A new understanding of the stratigraphic successions of the Linzong volcanic rocks in the Lhazhub basin, northern Lhasa, Tibet, China. Geological Bulletin of China, 24: 549 - 557 (in Chinese with English abstract)
- Gao HX and Song ZJ. 1995. New progress in the study of the Zetang ophiolitic m range in Tibet. Regional Geology of China, 4: 316 - 322 (in Chinese with English abstract)
- Geng QR, Pan GT, Zheng LL, Sun ZM, Ou CS and Dong H. 2004. Petrological characteristics and original settings of the Yarlung Tsangpo ophiolitic M range in Namche Barwa, SE Tibet. Chinese Journal of Geology, 39(3): 388 - 406 (in Chinese with English abstract)
- Gopel C, Allegre CJ and Xu RH. 1984. Lead isotope study of the Xigaze ophiolites (Tibet): The problem of the relationship between magmatism (gabbros, dolerites, lavas) and tectonites (harzburgites). Earth and Planetary Science Letters, 69: 301 - 310
- Harris NBW, Xu RH, Lewis CL and Jin CW. 1988. Plutonic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse: Lhasa to Golmud. Philos. Trans. R. Soc. Lond., A327: 145 - 168
- Harrison TM, Yin A, Grove M and Lovera O M. 2000. The Zedong window: A record of superposed Tertiary convergence in southeastern Tibet. J. Geophys. Res., 105: 19211 - 19230
- He ZH, Yang DM, Zheng CQ and Huang YC. 2005. Geochemistry of the Indosinian granitoids in the Mamba area, Gangdise belt, Tibet and its tectonic significance. Geological Bulletin of China, 24: 354 - 359 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Gao YF, Qu XM, et al. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in south Tibet. Earth and Planetary Science Letters, 220: 139 - 155
- Hou ZQ, Meng XJ, Qu XM and Gao YF. 2005. Copper ore potential of adakitic intrusives in Gangdese porphyry copper belt: Constrains from rock phase and deep melting process. Mineral Deposits, 24: 108 - 121 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Mo XX, Gao YF, Qu XM and Meng XJ. 2003. Adakite: a possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan Plateau and in Northern Chile. Mineral Deposits, 22(1): 1 - 12 (in Chinese with English abstract)
- Hsü KJ, Pan GT and Sengör AMC. 1995. Tectonic evolution of the Tibetan Plateau: A working hypothesis based on the archipelago model of orogenesis. International Geology Review, 37: 473 - 508
- Jiang GW and Guo JC. 2002. Characteristics and their geological significance of the Xaitongmoin-Lhasa-Oiga ductile brittle shear zone in Tibet. Tibet Geology, 2: 64 - 70 (in Chinese with English abstract)
- Li CY. 1982. Explanation to Tectonic Map of Asia (at 1: 8000000 scale). Beijing: Geological Publishing House, 13 - 28 (in Chinese)
- Li C, Wang TW, Li HM and Zeng QG. 2003. Discovery of Indosinian megaporphyritic granodiorite in the Gangdise area: Evidence for the existence of Paleo-Gangdise. Geological Bulletin of China, 22: 364-366 (in Chinese with English abstract)
- Li HP and Zhang MS. 1995. Lithogeochemical features of Sangri Group volcanic rocks in Sangri area, Tibet. Geology of Tibet, 1: 84 - 92 (in Chinese with English abstract)
- Liu ZQ, Xu X, Pan GT, Li TZ, Yu GM and Yu XJ. 1990. Qinghai-Xizang Plateau tectonics and its evolution. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 174 (in Chinese)
- Maluski H, Proust F and Xiao XC. 1982. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the trans-Himalayan calc-alkaline magmatism of southern Tibet. Nature, 298: 152 - 154
- Marcoux J, De Wever P, Nicolas A, Girardeau J, Fa CC, Yougong C, Naiwen W, Bassoulet JP, Colchen M and Mascle G. 1982. Preliminary report on depositional sediments on top of the volcanic member: the Xigaze ophiolite (Yarlung-Zangbo suture zone). Ophiolite, (2/3): 395 - 396
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. Chemical Geology, 56: 207 - 218
- Miller C, Schuster R, Klötzli US, Frank W and Purtscheller F. 1999. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constrains for mantle source characteristics and petrogenesis. Journal of Petrology, 40: 1399 - 1424
- Mo XX, Dong GC, Zhao ZD, Guo TY, Wang LL and Chen T. 2005. Timing of magma mixing in the Gangdise magmatic belt during the India-Asia collision: Zircon SHRIMP U-Pb dating. Acta Geologica Sinica(English Edition), 79(1): 66-76
- Mo XX, Zhao ZD, Deng JF, Dong GC, Zhou S, Guo TY, Zhang SQ and Wang LL. 2003. Response of volcanism to the India-Asia collision. Earth Science Frontiers, 10: 135 - 148 (in Chinese with English abstract)
- Murphy MA, Harrison TM, Durr SB, Chen Z, Ryerson FJ, Kidd WSF, Wang X and Zhou X. 1997. Significant crustal shortening in south-central Tibet prior to the Indo-Asian collision. Geology, 25: 719 -

- 722
- Nomade S, Renne PR, Mo XX, Zhao ZD and Zhou S. 2004. Miocene volcanism in the Lhasa block, Tibet: spatial trends and geodynamic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 221: 227–243
- Pan GT, Chen ZL, Li XZ, Yang YJ, Xu XS, Xu Q, Jiang XS, Wu YL, Luo JN, Zhu TX and Peng YM. 1997. Geological-tectonic evolution in the eastern Tethys. Beijing: Geological Publishing House, 1–218 (in Chinese with English abstract)
- Pan GT, Wang LQ and Zhu DC. 2004. Thoughts on some important scientific problems in regional geological survey of the Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Bulletin of China*, 23: 12–19 (in Chinese with English abstract)
- Pan GT, Zheng HX and Xu YY. 1983. A preliminary study on Bangong Co-Nujiang Suture. In: *Geological memoirs of Qinghai-Xizang Plateau (12)-Geological Tectonics of "Sanjiang"*. Beijing: Geological Publishing House, 229–242 (in Chinese with English abstract)
- Peng YM, Yao P and Li JG. 2001. The formation and evolution of the Jiamia intra-arc basin in Xizang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 21(2): 101–107 (in Chinese with English abstract)
- Qiu RZ, Zhou S, Deng JF, Li JF, Xiao QH and Cai ZY. 2004. Dating of gabbro in the Shemalagou ophiolite in the western segment of the Bangong Co-Nujiang ophiolite belt, Tibet-with a discussion of the age of the Bangong Co-Nujiang ophiolite belt. *Geology in China*, 31(3): 262–268 (in Chinese with English abstract)
- Qu YG, Wang YS, Zhang SQ, Lu P and Jiang XF. 2003. An inspiration from the section of the Late Triassic Duoburi Formation in the Xainza area-Stratigraphic constraints on the Indosinian movement in Gangdise. *Geological Bulletin of China*, 22(7): 470–473 (in Chinese with English abstract)
- Rudnick RL and Gao S. 2003. The Composition of the Continental Crust. In: Holland HD and Turekian KA (eds). *The Crust* Rudnick, RL The Crust Vol. 3, *Treatise on Geochemistry*. Elsevier, Oxford, 1–64
- Rui ZY, Hou ZQ, Qu XM, Zhang LS, Wang LS and Liu YL. 2003. Metallogenetic Epoch of Gangdise Porphyry Copper Belt and Uplift of Qinghai-Tibet Plateau. *Mineral Deposits*, 22(3): 217–225 (in Chinese with English abstract)
- Sengör AMC, Demir Altmer, Altan Cin, Timur Ustaomer and Hsü KJ. 1988. Origin and assembly of the Tethyside collage at the expanse of Gondwanaland. In: Audley-Charles MG and Hallam A (eds). *Gondwana and Tethys*. Geological Society Special Publication, 37: 119–181
- Sengör AMC and Okurogullari AH. 1991. The role of accretionary wedge in the growth of continents: Asiatic examples from Argand to plate tectonics. *Eclogae Geol. Helv.*, 84: 535–597
- Sengör AMC. 1979. The North Anatolian transform fault: Its age and tectonic significance. *Journal of Geological Society (London)*, 136: 269–282
- Shi H, Ma RZ, Liu DZ, Tao XF and Hu XW. 2005. Miocene Bugasi Formation: A new lithostratigraphic unit in Coqen area, Tibet, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science and Technology Edition)*, 32(2): 173–176 (in Chinese with English abstract)
- Simandjuntak TO and Barber AJ. 1996. Contrasting tectonic Styles in the Neogene orogenic belts of Indonesia. In: Halland R and Blundell VJ (eds). *Tectonic Evolution Southeast Asia*. Geological Society Special Publication, 106: 185–201
- Sun SS and McDougall WF. 1989. Chemical and isotope systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD (eds). *Magma-tism in ocean Basins*. Geological Society Publication, 42: 313–345
- Turner S, Arnaud N, Liu J, Rogers N, Hawkesworth C, Harris N, Kelley S, van Calsteren P and Deng WM. 1996. Postcollisional, shoshonitic volcanism on the Tibetan plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. *Journal of Petrology*, 37: 45–71
- Wang JP, Li QS, Liu YM and Pei F. 2003. Tethyan geology of eastern Tibet (Xizang). Beijing: Science Press, 1–330 (in Chinese with English abstract)
- Wang ZH, Wang YS, Xie YH, Sun ZG, Lu ZL, Qu YG, Li CZ and Jiang XF. 2005. The Tarenben oceanic-island basalts in the middle part of the Bangong-Nujiang suture zone, Xizang and their geological implications. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 25(1–2): 153–162 (in Chinese with English abstract)
- Williams H, Turner S, Kelley S and Harris N. 2001. Age of composition of dikes in southern Tibet: New constraints on the timing of east-west extension and its relationship to postcollisional magmatism. *Geology*, 29: 339–342
- Wu HR. 1984. Cretaceous abyssal sediment in south Tibet: Chongdui Formation and its geological significance. *Chinese Journal of Geology*, 1: 26–33 (in Chinese with English abstract)
- Wu XL and Chen ZH. 2005. Geochemistry and genesis of the Nyixung rock body in northern Tibet. *Geology in China*, 32(1): 122–127 (in Chinese with English abstract)
- Xiao XC and Li TD, Li GC. 1988. Tectonic evolution of the lithosphere of the Himalayas. Beijing: Geological Publishing House, 201–210 (in Chinese)
- Xiao XC and Li TD. 2000. The tectonic evolution and uplift mechanism of the Qinghai-Tibet Plateau. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 239–268 (in Chinese with English abstract)
- Xu RH, Scharer U and Allegre CJ. 1985. Magmatism and metamorphism in the Lhasa block (Tibet): A geochronological study. *Journal of Geology*, 93: 41–57
- Yang DM, Huang YC, Dai LN and Zhao L. 2005. SHRIMP zircon U-Pb age of garnet-bearing two-mica granite at Comai Township, Lhari County, Tibet, and its significance. *Geological Bulletin of China*, 24(3): 235–238 (in Chinese with English abstract)
- Yin A and Harrison TM. 2000. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28: 211–280.
- Yuan JY, Li XY, Xu YB, Zou AJ, OuYang KG and Xiao YB. 2003. Early and Middle Permian strata in the area south of Xungma-Comai in south-central Tibet and their significance. *Geological Bulletin of China*, 22(6): 412–418 (in Chinese with English abstract)
- Zhai QG, Li C, Li HM and Wang TW. 2005. U-Pb zircon age of leucogranite in the central Gangdise, Tibet, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 24: 349–353 (in Chinese with English abstract)
- Zhai QG, Li C, Wang TW and Zhu ZY. 2004. The geochemistry and tectonic settings of two-mica granite in Zhenwu area, Tibet. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(1): 27–31 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q and Zhou GQ. 2001. Ophiolites of China. Beijing: Science Press, 1–110 (in Chinese with English abstract)
- Zhao ZD, Mo XX, Zhang SQ, Guo TY, Zhou S, Dong GC and Wang Y. 2001. Post-collisional magmatism in the Wuyu basin, southern Tibet. *Science in China, Series D: Earth Science*, 31: 20–26
- Zheng YY, Xu RK, He LX, Gong QS and Ci Q. 2004. The Shiquan River ophiolitic mélange zone in Xizang: The delineation and significance of a new archipelagic arc-basin system. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 24(1): 13–20 (in Chinese with English abstract)
- Zhou S, Mo XX, Dong GC, Zhao ZD, Qiu RZ, Guo TY and Wang LL. 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Cenozoic Linzong volcanic rocks from Linzhou Basin, Tibet, China, and their geological implications. *Chinese Science Bulletin*, 49(18): 1970–1979
- Zhou X and Cao YG. 1984. Plate Tectonics of Tibet. Beijing: Geological Publishing House, 1–20 (in Chinese with English abstract)
- Zhou YS, Zhang Q and Mei HJ. 1981. Magmatic activity and metamorphism in Tibet. Beijing: Science Press, 1–146 (in Chinese)
- Zhu DC, Pan GT, Mo XX, Wang LQ, Liao ZL, Zhao ZD, Dong GC and Zhou CY. 2006. Late Jurassic-Early Cretaceous geodynamic setting in middle-northern Gangdise: New insights from volcanic rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 534–546 (in Chinese with English abstract)

abstract)

附中文参考文献

- 常承法, 郑锡澜. 1973. 中国西藏南部珠穆朗玛地区地质构造特征及其青藏高原东西向诸山系形成的探讨. 中国科学 (D 辑), 2: 190-201
- 陈玉禄, 张宽忠, 李关清, 尼玛次仁, 赵守仁, 陈国荣. 2005. 班公湖-怒江结合带中段上三叠统确哈拉群与下伏岩系角度不整合关系的发现及意义. 地质通报, 24(7): 621-624
- 邓晋福, 赵海玲, 赖绍聪. 1994. 白云母/二云母花岗岩形成与陆内俯冲作用. 地球科学——中国地质大学学报, 19(2): 139-147
- 董国臣, 莫宜学, 赵志丹, 王亮, 周肃. 2005. 拉萨北部林周盆地林子宗火山岩层序新议. 地质通报, 24: 549-557
- 高洪学, 宋子季. 1995. 西藏泽当蛇绿混杂岩研究新进展. 中国区域地质, 4: 316-322
- 耿全如, 潘桂棠, 郑来林, 孙志明, 欧春生, 董翰. 2004. 藏东南雅鲁藏布蛇绿混杂岩带的物质组成及形成环境. 地质科学, 39(3): 388-406
- 和钟铎, 杨德明, 郑常青, 黄映聪. 2005. 西藏冈底斯带门巴地区印支期花岗岩地球化学特征及其构造意义. 地质通报, 24: 354-359
- 侯增谦, 孟祥金, 曲晓明, 高永丰. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿性: 源岩相变及深部过程约束. 矿床地质, 24: 108-121
- 侯增谦, 莫宜学, 高永丰, 曲晓明, 孟祥金. 2003. 埃达克岩——斑岩铜矿的一种可能的重要母岩: 以西藏和智利斑岩铜矿为例. 矿床地质, 22(1): 1-12
- 蒋光武, 郭建慈. 2002. 西藏谢通门-拉萨-沃卡韧性剪切带特征及其地质意义. 西藏地质, 2: 64-70
- 李才, 王天武, 李惠民, 曾庆高. 2003. 冈底斯地区发现印支期巨斑花岗岩闪长岩: 古冈底斯造山的存在证据. 地质通报, 22: 364-366
- 李春昱. 1982. 亚洲大地构造图及说明书. 北京: 地图出版社, 13-28
- 李海平, 张满社. 1995. 西藏桑日地区桑日群火山岩岩石地球化学特征. 西藏地质, 1: 84-92
- 刘增乾, 徐宪, 潘桂棠, 李泰钊, 余光明, 余希静. 1990. 青藏高原大地构造与形成演化. 北京: 地质出版社, 1-174
- 莫宜学, 赵志丹, 邓晋福, 董国臣, 周肃, 郭铁鹰, 张双全, 王亮亮. 2003. 印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应. 地学前缘, 10: 135-148
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 颜仰基, 许效松, 徐强, 江新胜, 吴应林, 罗建宁, 朱同兴, 彭勇民. 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 1-218
- 潘桂棠, 王立全, 朱弟成. 2004. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考. 地质通报, 23: 12-19
- 潘桂棠, 郑海祥, 徐耀荣. 1983. 初论班公湖-怒江结合带. 见: 青藏高原地质文集(12). 北京: 地质出版社, 229-242
- 彭勇民, 姚鹏, 李金高. 2001. 西藏甲马弧内盆地的形成演化. 沉积与特提斯地质, 21(2): 101-107
- 邱瑞照, 周肃, 邓晋福, 李金发, 肖庆辉, 蔡志勇. 2004. 西藏班公湖-怒江带西段舍马拉沟蛇绿岩中辉长岩年龄测定: 兼论班公湖-怒江蛇绿岩带形成时代. 中国地质, 31(3): 262-268
- 曲永贵, 王永胜, 张树岐, 吕鹏, 姜雪飞. 2003. 西藏申扎地区晚三叠世多布日组地层剖面的启示: 对冈底斯印支运动的地层学制约. 地质通报, 22(7): 470-473
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 张立生, 王龙生, 刘玉琳. 2003. 冈底斯斑岩矿床的成矿时代及青藏高原隆升. 矿床地质, 22(3): 217-225
- 石和, 马润则, 刘登忠, 陶晓风, 胡新伟. 2005. 西藏措勤地区的中新世布嘎寺组. 成都理工大学学报: 自然科学版, 32(2): 173-176
- 王建平, 李秋生, 刘彦明, 裴放. 2003. 西藏东部特提斯地质. 北京: 科学出版社, 1-330
- 王忠恒, 王永胜, 谢元和, 孙忠纲, 鲁宗林, 曲永贵, 李存直, 姜雪飞. 2005. 西藏班公湖-怒江缝合带中段塔仁本洋岛型玄武岩的发现及地质意义. 25(1-2): 133-162
- 吴浩若. 1934. 西藏南部白垩纪深潜沉积层: 冲堆组及其地质意义. 地质科学, 1: 25-33
- 吴旭铃, 陈振华. 2005. 西藏尼雄岩体岩石地球化学特征及其成因探讨. 中国地质, 32(1): 122-127
- 西藏自治区地矿局. 1993. 西藏自治区地质志. 北京: 地质出版社, 1-450
- 肖序常, 李廷栋, 李光岑. 1988. 喜马拉雅岩石圈构造演化. 北京: 地质出版社, 201-210
- 肖序常, 李廷栋. 青藏高原的构造演化与隆升机制. 广州: 广东科技出版社, 2000, 239-268
- 杨德明, 黄映聪, 戴琳娜, 赵亮. 2005. 西藏嘉黎县措麦地区含石榴子石二云母花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义. 地质通报, 24(3): 235-238
- 袁健芽, 李晓勇, 徐银保, 邹爱建, 欧阳克贵, 肖业斌. 2003. 西藏中南部雄马-措麦以南地区早、中二叠世地层及其意义. 地质通报, 22(6): 412-418
- 翟庆国, 李才, 李惠民, 王天武. 2005. 西藏冈底斯中部淡色花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地质通报, 24: 349-353
- 翟庆国, 李才, 王天武, 朱志勇. 2004. 西藏折无地区晚白垩世二云母花岗岩地球化学及构造环境. 吉林大学学报: 地球科学版, 34(1): 27-31
- 张旗, 周国庆. 2001. 中国蛇绿岩. 北京: 科学出版社, 1-110
- 郑有业, 许荣科, 何来信, 龚全胜, 茨邛. 2004. 西藏狮泉河蛇绿混杂带: 一个新的多岛弧盆系统的厘定及意义. 沉积与特提斯地质, 24(1): 13-20
- 周详, 曹佑功. 1984. 西藏板块构造-建造图及说明书. 北京: 地质出版社, 1-20
- 周云生, 张旗, 梅厚均. 1981. 西藏岩浆活动和变质作用. 北京: 科学出版社, 1-146
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宜学, 王立全, 廖忠礼, 赵志丹, 董国臣, 周长勇. 2006. 冈底斯中北部晚侏罗世—早白垩世地球动力学环境: 火山岩约束. 岩石学报, 22(3): 534-546