

西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论

朱弟成^{1,2}, 潘桂棠¹, 王立全¹, 莫宣学², 赵志丹²,
周长勇¹, 廖忠礼¹, 董国臣², 袁四化¹

ZHU Di-cheng^{1,2}, PAN Gui-tang¹, WANG Li-quan¹, MO Xuan-xue², ZHAO Zhi-dan²,
ZHOU Chang-yong¹, LIAO Zhong-li¹, DONG Guo-chen², YUAN Si-hua¹

1. 中国地质调查局成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082;

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

1. *Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China;*

2. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*

摘要:利用新近完成的1:25万区域地质调查资料和其他相关的研究成果,编制了第一张冈底斯带中生代岩浆岩分布图,初步厘定了中生代岩浆作用的分布特点和时空框架,并利用已有的地球化学数据重点分析了早白垩世花岗岩类的岩浆作用性质。将冈底斯带中生代岩浆活动置于时空框架内分析发现,南冈底斯和北冈底斯在侏罗纪和白垩纪时主要受俯冲作用的影响,而冈底斯弧背断隆带和中冈底斯自早侏罗世以来除了受到俯冲作用的影响外,还受到了自东向西逐步扩展的碰撞作用的影响,结合构造和地层研究的新资料,提出冈底斯带中生代岩浆活动可用班公湖-怒江洋壳向南、新特提斯洋壳向北的双向剪刀式(剪刀口向西张开)俯冲模式来解释。建议将传统的“拉萨地块”解体为以古—中元古代地壳物质组成为特色的真正意义上的“拉萨地块”(可能包括冈底斯弧背断隆带和中冈底斯)及其南北两侧通过岛弧增生拼贴形成的以新元古代地壳物质为特色的南冈底斯岛弧带和北冈底斯岛弧带。提出二叠纪时期冈底斯带可能为一个在古特提斯洋盆中呈条块状“漂浮”的冈瓦纳碎片。新发现和厘定的由狮泉河-拉果错-永珠-纳木错-嘉黎混杂岩带所代表的弧后洋盆的消减和闭合可能在中冈底斯和北冈底斯岩浆成因中并未起到主导作用。

关键词:双向剪刀式俯冲模式;向西扩展的碰撞作用;岛弧型岩浆作用;中生代岩浆岩;西藏冈底斯带

中图分类号:P534.5:P588.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2008)09-1535-16

Zhu D C, Pan G T, Wang L Q, Mo X X, Zhao Z D, Zhou C Y, Liao Z L, Dong G C, Yuan S H. Tempo-spatial variations of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdise belt, Tibet, China, with a discussion of geodynamic setting-related issues. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(9):1535-1550

Abstract: The authors used the latest 1:250000 regional geological survey data and other relevant research results to compile the first map of distribution of Mesozoic magmatic rocks of the Gangdise belt, Tibet, and preliminarily define the distribution characteristics and tempo-spatial framework of Mesozoic magmatism and discuss the nature of magmatism of Early Cretaceous granitoids. When an analysis is performed by placing the Mesozoic magmatism of the Gangdise belt in a tempo-spatial framework, we may find that the Southern Gangdise and Northern Gangdise were mainly affected by subduction during the Jurassic and Cretaceous, while since the Early Jurassic the Gangdise back-arc fault uplift and Central Gangdise also underwent the effects of collision that extended from east to

收稿日期:2007-09-30;修订日期:2008-01-02

基金项目:国土资源部百名优秀青年科技人才计划项目《西藏南西部二叠纪玄武岩的区域对比及意义》、国家自然科学基金项目(编号:40503005、40572051、40473020)和中国地质调查局青藏高原基础地质综合研究项目(编号:1212010610101)资助。

作者简介:朱弟成(1972-),男,博士,副研究员,从事岩浆作用、地球动力学和特提斯地质研究。E-mail: dchengzhu@163.com

west in addition to the effects of subduction. Based on the aforesaid study, combined with new data of structural and stratigraphic studies, the authors suggest that Mesozoic magmatism in the Gangdise belt may be explained by the model of bidirectional scissors-style subduction (the scissors open toward the west), with the Bangong Co-Nujiang oceanic crust subducted southward and the Neo-Tethys oceanic crust northward. The authors suggest that the conventional "Lhasa block" should be disassembled into the real "Lhasa block" characterized by Paleo- and Mesoproterozoic crustal materials (possibly including the Gangdise back-arc fault uplift and Central Gangdise) and the Southern Gangdise island-arc belt and Northern Gangdise island-arc belt consisting mostly of Neoproterozoic crustal materials that accreted to the south and north sides of the real "Lhasa block" by island-arc accretion during Mesozoic time, respectively. They propose that during the Permian the Gangdise belt might be a fragment of Gondwana that floated in the Paleo-Tethyan Ocean. The subduction and closure of the back-arc oceanic basin represented by the Shiquan River-Lagkor Co-Yunzhug-Nam Co-Lhari ophiolitic mélange zone may not have played a dominant role in the generation of Mesozoic magmas in the Central Gangdise and Northern Gangdise.

Key words: bidirectional scissors-style subduction model; westward propagating collision; island-arc magmatism; Mesozoic magmatic rocks; Gangdise belt, Tibet

关于西藏冈底斯带的细结构划分和演化历史研究最近2年来取得了重要进展^{[1-5](1)}。但对广泛出露于冈底斯带的中生代岩浆岩(图1)的分布特点和性质,总体认知程度仍然较低,对其地球动力学背景也存在不同认识^[6-17]。造成这些不同认识的原因在很大程度上与不同时期的资料积累程度有关。2006年底,在西藏冈底斯带全面完成了新的1:25万区域地质调查,获得了大量与中生代岩浆作用有关的各种资料;与此同时,国内外许多学者也对冈底斯带的中生代岩浆作用记录产生了浓厚的兴趣,先后展开了部分研究工作,获得了一批高质量的年代学和地球化学数据。所有这些工作,为从宏观角度思考冈底斯带中生代的地球动力学背景提供了大量的基础资料。在这种背景下,笔者全面阅读了冈底斯带新近完成的1:25万区域地质调查资料和国内外相关的研究成果,以1:25万的精度编制了第一张冈底斯带中生代岩浆岩时空分布图,并初步分析了已有地球化学数据揭示的中生代岩浆岩的性质。本文的主要目的是,展示新编制完成的冈底斯带中生代岩浆岩时空分布图,并在已有工作的基础上初步讨论冈底斯带中生代时期的地球动力学背景及其他相关的问题,以求抛砖引玉,深化地学界对西藏冈底斯带中生代地质演化历史的认识。

1 地质背景

青藏高原中南部有2条规模宏大的近东西向展布的蛇绿混杂岩带,即著名的印度河-雅鲁藏布缝合带(IYZSZ)和班公湖-怒江缝合带(BNSZ)(图1)。印度河-雅鲁藏布缝合带的形成时代至少可以追索

至晚三叠世,记录了新特提斯洋壳向北俯冲到冈底斯带之下后的地表位置^{[1,4-5,8,18-25](1)}。班公湖-怒江缝合带可能是向北俯冲到羌塘地块之下^[9,11-15]或向南俯冲到冈底斯之下^[1,4,6-8,10,16-17]的中生代特提斯洋的演化记录^[26]。除此之外,近年通过区域地质调查和相关研究工作,在冈底斯北部地区还发现和厘定出一条延伸约2000 km的北西-南东向展布的狮泉河-拉果错-永珠-纳木错-嘉黎蛇绿混杂岩带(SLYNJOMZ,图1)^[1,5],该带混杂岩的发育时代可能从晚三叠世到早白垩世^[27-31],很可能形成于弧后盆地^[1,5,27-28,32-33],但对该混杂岩带所代表的弧后洋盆的规模及其在西藏南部中生代构造演化历史中的作用,目前很不清楚。

本文在冈底斯带已有的细结构划分^[1,4-5]的基础上,为适应岩浆岩研究工作的实际需要,以沙莫勒-麦拉-洛巴堆-米拉山断裂(SMLMF)、噶尔-隆格尔-扎日南木错-措麦断裂带(GLZCF)和狮泉河-拉果错-永珠-纳木错-嘉黎蛇绿混杂岩带(SLYNJOMZ)为界,由南向北将冈底斯带划分为南冈底斯(即传统的冈底斯)、冈底斯弧背断隆带(即隆格尔-念青唐古拉复合古岛弧带^[1])、中冈底斯和北冈底斯(图1)。这些不同的构造带的基本组成和特征,请参阅相关文献^{[1,4-5](1)},本文不再重复。

2 中生代岩浆岩的分布和时代

以冈底斯带1:25万区域地质调查和相关研究工作圈定的中生代岩浆岩的分布范围为基础,利用Illustrator 10.0软件将岩浆岩转移到冈底斯构造单元划分图^[1,4]上,将收集到的晚三叠世-晚侏罗世岩浆岩的同位素年龄数据和方法(表1)标绘在图中对

应的位置上,对早白垩世岩浆岩,因积累的同位素年龄数据相对较多(表 1),则严格按照获得相关年龄样品的空间位置,将不同构造带火山岩和花岗岩类的年龄和方法分别标绘在分布图的上方和下方(图 1)。综合编图结果表明,冈底斯带不同部位均出露有中生代岩浆岩,具体如下。

冈底斯带目前尚未发现早、中三叠世岩浆岩,晚三叠世岩浆岩主要分布在冈底斯弧背断隆带的南木林罗扎地区(217 Ma^[41], 205 Ma^[46])和门巴地区(215~207 Ma)^[43]。

笔者最近已对冈底斯带侏罗纪岩浆岩进行了系统厘定和综合归纳^①,现仅摘其重点给予列述。冈底斯带早侏罗世岩浆岩主要分布于南冈底斯拉萨东部达孜—工布江达(174 Ma^[35], 174~190 Ma^[5])、尼玛大桥北侧(178 Ma)^[37]、乌郁盆地(188.1 Ma)^[36],冈底斯弧背断隆带布久(187 Ma)^[10]、金达(198 Ma)^[10]、宁中(193 Ma)^[42]和北冈底斯聂荣(171~188 Ma^[22], 171~183 Ma^[45])等地(图 1)。冈底斯带中侏罗世岩浆岩包括零星分布于中冈底斯和北冈底斯的接奴群、拉贡塘组火山岩^[11,18,23]和以冈底斯弧背断隆带科波熊岩体(161.2 Ma)^[10]、中冈底斯松木果岩体^[47]、江巴岩体(170 Ma, 赵志丹等,未刊资料)为代表的花岗岩类岩浆活动(图 1)。冈底斯带晚侏罗世岩浆岩主要包括以冈底斯弧背断隆带许如错岩体(154.2 Ma)^[48]、夏定勒岩体(153.1 Ma)^[9]和中冈底斯央雄勒岩体^[47]、文部岩体(154.5 Ma)^[12]、雄巴岩体(149 Ma, 赵志丹等,未刊资料)为代表的花岗岩类岩浆活动(图 1)。

冈底斯带早白垩世岩浆岩主要包括南冈底斯断续分布的桑日群火山岩(泽当东部马门安山岩锆石 SHRIMP U—Pb 年龄为 136.5 Ma^[2])和相关的花岗岩类,冈底斯弧背断隆带近东西向带状分布的花岗岩类,中冈底斯大面积带状分布的则弄群火山岩和相关的花岗岩类,以及北冈底斯从东到西带状分布的火山岩(多尼组、去申拉组)、断续分布的花岗岩类等(图 1)。冈底斯带晚白垩世岩浆岩主要包括南冈底斯大面积带状分布的花岗岩类、北冈底斯东部地区的部分火山岩(宗给组)和北冈底斯断续分布的花岗岩类(图 1)。

总结起来,冈底斯带中生代岩浆作用的分布特点有:①目前在冈底斯弧背断隆带未发现中生代火山岩;②冈底斯带未发现早、中三叠世岩浆岩,而晚三叠世岩浆岩主要分布在冈底斯弧背断隆带;③在

冈底斯带东部地区,早侏罗世岩浆活动几乎同时发生于南冈底斯(叶巴组火山岩和乌郁、尼玛花岗岩类)、冈底斯弧背断隆带(宁中、金达、布久花岗岩类)和北冈底斯(聂荣花岗岩类)(图 2);④中晚侏罗世接奴群和拉贡塘组火山岩断续分布于中冈底斯和北冈底斯,晚侏罗世岩浆活动零星分布于沙莫勒—麦拉—洛巴堆—米拉山断裂(SMLMF)以北;⑤早白垩世岩浆岩规模宏大,在南冈底斯(100~136.5 Ma)、冈底斯弧背断隆带(105~135 Ma)、中冈底斯(95~145 Ma)和北冈底斯(110~133 Ma)几乎同时发生,冈底斯带在 110~120 Ma 左右发生了岩浆大爆发(图 2);⑥目前的年龄数据似乎显示南冈底斯缺乏 170~140 Ma 之间的岩浆活动;⑦晚白垩世岩浆作用主要呈大面积带状分布于南冈底斯(图 2)。

3 中生代岩浆岩的性质

通过 1:25 万区域地质调查和相关的研究工作,目前已经积累了一定数量的冈底斯中生代岩浆岩的地球化学数据。为了分析和总结这些中生代岩浆岩的性质,对数据进行了筛选,即对火山岩主要选取区域地质调查报告中的熔岩类数据,不涉及火山角砾岩、含角砾火山岩、凝灰岩、凝灰质熔岩等火山碎屑岩和杏仁状火山岩;对花岗岩类重点利用主量元素的数据和个别微量元素的数据进行讨论。

一般地说,利用火山岩,尤其是中基性火山岩,能够较为有效地识别其产出的构造环境,但对花岗岩类进行类似工作时需要谨慎,因为其地球化学特征主要反映岩浆源区的性质和岩浆作用的过程^[49]。已有的研究成果表明,采用比较谨慎的方法,还是可以从花岗岩类的岩石类型和地球化学特征中获得一些构造环境方面的重要信息^[50-53],如:岛弧岩浆组合中英云闪长岩和花岗闪长岩占优势(也包括部分花岗岩或辉长岩),后期形成钾玄岩系列岩石,地球化学性质主要属钙碱性偏铝质到弱过铝质的 I 型花岗岩(也包括部分 S 型花岗岩),相关的火山作用为规模巨大的安山质和英安质岩浆作用;而碰撞带花岗岩类则以混合岩和淡色花岗岩为特色,地球化学性质属钙碱性系列至高钾钙碱性系列的强过铝质 S 型花岗岩,通常缺乏相关的火山作用^[51,53]。基于这些认识,利用已有的 1:25 万区域地质调查资料和相关的研究成果,采用:①兼顾花岗岩类全岩岩石化学成分的数据和岩石类型分类图解^[54]和岩石系列划分方案(K₂O—

表1 西藏冈底斯带中生代岩浆岩代表性岩体的同位素年龄
 Table 1 Isotopic ages of representative intrusions
 of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdise belt, Tibet

地名或岩体	定年的岩石名称	定年矿物/方法	年龄/Ma	参考文献
南冈底斯 (SG):				
比马组	安山岩	全岩 Rb-Sr 等时线	125.23±21.5	[34]
麻木下组	安山岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	136.5±1.7	(2)
康青日岩体	黑云母二长花岗岩	黑云母 K-Ar 法	107.4	(3)
央嘎岩体	石英二长闪长岩	黑云母 K-Ar 法	100.6±0.7	(4)
拔路岩体	中粒角闪石闪长岩	黑云母 K-Ar 法	108.3±6.5	(5)
达孜甲马沟	叶巴组流纹岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	174.4±1.7	[35]
达孜大桥南	叶巴组英安岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	174.2±3.6	[5]
乌郁岩体	花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	188.1±1.4	[36]
尼木大桥岩体	变形花岗岩	锆石激光剥蚀 U-Pb 法	178±1.0	[37]
冈底斯弧背断隆带 (GBAFUB):				
洛穷拉岩体	斑状黑云二长花岗岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	113±11	(6)
巴嘎岩体	二云母花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	139.3±8.3	[38]
江达岩体	花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	141.3	[36]
罗扎岩体	二云母花岗岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	133.9±0.9	[39]
罗扎岩体	二云母花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	120	[36]
公穷松多岩体	黑云母二长花岗岩	黑云母 K-Ar 法	135±4	[40]
鸭绒岩体	闪长岩	角闪石 K-Ar 法	110±6	[40]
麦弄岩体	中粒二云石英二长岩	白云母 K-Ar 法	122.82±1.85	[40]
各门斤岩体	黑云母正长花岗岩	黑云母 K-Ar 法	107.04±1.62	[40]
尼雄砸勒岩体	中细粒黑云花岗岩闪长岩	全岩 K-Ar 法	114	(7)
尼雄伸青岩体	细粒钾长花岗岩	全岩 K-Ar 法	106	(7)
江让岩体	黑云花岗岩闪长岩	全岩 K-Ar 法	112	(8)
麦嘎岩体	黑云花岗岩闪长岩	全岩 K-Ar 法	98.16	(8)
他纳岩体	石英闪长岩	全岩 Rb-Sr 等时线	129.6±7.8	(9)
他纳岩体	石英闪长岩	黑云母 K-Ar 法	123.76±1.79	(9)
他纳岩体	石英闪长岩	角闪石 K-Ar 法	124.81±2.61	(9)
麻拉岩体	细粒黑云二长花岗岩	黑云母 K-Ar 法	114, 107.2±1.0	(6)
手拉岩体	细粒石英二长闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	121±9	(6)
罗扎岩体	巨斑状花岗闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	217.1±3.4	[41]
宁中岩体	白云母二长花岗岩	白云母 K-Ar 法	188.7±2.7, 196.2±2.8	(9)
宁中岩体	白云母二长花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	193±7	[42]
夏定勒岩体	中粒黑云二长花岗岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	153.1±0.6	(3)
许如错岩体	黑云母二长花岗岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	154.2 ± 3.8	(7)
科波熊岩体	黑云母花岗岩	黑云母 K-Ar 法	161.16	(10)
仲达岩体	角闪石花岗闪长岩	角闪石 Ar-Ar 法	215.2±1.1	[43]
门巴岩体	黑云母二长花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	207.5±5.4	[43]
门巴金达岩体	角闪石花岗闪长岩	角闪石 Ar-Ar 法	198±0.3	(10)
嘉黎布久岩体	细粒黑云二长花岗岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	187±10	(6)
中冈底斯 (MG):				
措勤夏东	英安岩	全岩 Rb-Sr 等时线	111~114	(11)
措勤夏东	英安岩	全岩 K-Ar 法	95.7, 103	(11)
措勤夹举	辉石安山岩	角闪石 Ar-Ar 法	128.64	(11)
措勤达瓦错西	则弄群底部英安岩	锆石激光剥蚀 U-Pb 法	129.9±0.6	笔者未刊数据
措勤西 3 km	则弄群顶部英安岩	锆石激光剥蚀 U-Pb 法	111.6±1.4	笔者未刊数据
当惹雍错郎穷	角闪安山岩	角闪石 Ar-Ar 法	124.47	(12)
卡不勒东	流纹岩	全岩 K-Ar 法	89.4	(13)
丁仁嘎布	流纹岩	全岩 K-Ar 法	83.35	(13)
申扎扎贡	安山岩	角闪石 Ar-Ar 法	128.54	(14)
申扎你阿章	英安岩	全岩 K-Ar 法	81.51	(14)

续表 1

地名或岩体	定年的岩石名称	定年矿物/方法	年龄/Ma	参考文献
中冈底斯 (MG):				
当雄德庆	流纹质晶屑熔岩	全岩 K-Ar 法	93.63±1.53	(9)
纳果岩体	黑云母花岗岩	黑云母 K-Ar 法	96.2	(14)
甲岗山岩体	花岗闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	116	(14)
龙布拉岩体	中细粒花岗闪长岩	全岩 K-Ar 法	108±1.89	(12)
可来青岩体	粗粒黑云母花岗岩	全岩 K-Ar 法	93.5±1.81	(12)
蔡几错岩体	黑云角闪英云闪长岩	黑云母 Ar-Ar 法	106.84±0.75	(11)
蔡几错岩体	黑云角闪英云闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	103.0±0.4	(11)
蔡几错岩体	黑云角闪英云闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	104±0.8	(11)
蔡几错岩体	英云闪长岩	全岩 Rb-Sr 等时线	105±1	(11)
格嘎岩体	角闪花岗岩闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	130.2±1.0	(11)
弄巴康日岩体	角闪花岗岩闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	134.5±2.9	(11)
布扎岩体	黑云角闪花岗岩闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	145.6±2.2	(3)
隆格尔岩体	中粒石英闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	115.5±1.6	(3)
冈布鲁岩体	中粒黑云二长花岗岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	132.1±1.1	(3)
邦巴岩体	花岗闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	144 ± 3	赵志丹等未刊数据
帕阿岩体	花岗闪长岩	全岩 K-Ar 法	113	(15)
江巴岩体	花岗闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	115.5 ± 0.4	(16)
江巴岩体	英云闪长岩	全岩 Sm-Nd 等时线	104	(16)
江巴岩体	花岗闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	170 ± 3	赵志丹等未刊数据
雄巴岩体	花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	149 ± 3	赵志丹等未刊数据
文部岩体	黑云母二长花岗岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	154.5 ± 8.4	(12)
松木果岩体	黑云母二长花岗岩	黑云母 K-Ar 法	163	(17)
北冈底斯 (NG):				
当雄且果	流纹质晶屑熔岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	114.2±1.1	(9)
当雄且果	流纹质晶屑熔岩	全岩 K-Ar 法	112.43±1.63	(9)
宋我日	安山岩	全岩 Rb-Sr 等时线	111	[22]
班戈出西弄巴	安山岩	全岩 Rb-Sr 等时线	126±2	(18)
向阳日岩体	中细粒英云闪长岩	全岩 K-Ar 法	107.2	(19)
查嘴岩体	中粒黑云二长花岗岩	全岩 K-Ar 法	127.7	(19)
擦秋拉岩体	中细粒黑云花岗岩闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	133±7	(6)
会也拉岩体	中粗粒二长花岗岩	全岩 K-Ar 法	112±2.3	(6)
舍格拉岩体	斑状花岗闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	117.2	[44]
谷露岩体	黑云母花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	121.2±1.7	[44]
托青岩体	花岗闪长岩	角闪石 K-Ar 法	121.75±3.8	(9)
托青岩体	黑云母二长花岗岩	黑云母 K-Ar 法	114.25±1.65	(9)
班戈岩体	黑云英云闪长岩	单颗锆石 U-Pb 同位素稀释法	113	(18)
班戈岩体	角闪黑云花岗岩闪长岩	黑云母 K-Ar 法	118	(18)
班戈岩体	黑云角闪石英闪长岩	黑云母 K-Ar 法	124	(18)
安多康巴岩体	黑云母花岗岩闪长岩	全岩 K-Ar 法	130	(20)
果芒错岩体	黑云母花岗岩闪长岩	全岩 K-Ar 法	105	(20)
旦俄日岩体	闪长岩	全岩 K-Ar 法	112±2.2	(21)
阿翁错岩体	细粒花岗闪长岩	全岩 K-Ar 法	106	(15)
聂荣岩体	斑状花岗闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	185±4.1, 177.7±3.3	(22)
聂荣岩体	斑状花岗闪长岩	黑云母 Ar-Ar 法	171.29±0.84	(22)
聂荣岩体	二长花岗岩	黑云母 Ar-Ar 法	187.9±0.96	(22)
聂荣岩体	斑状石英正长岩	锆石激光剥蚀 U-Pb 法	177.8±4.5, 170.7±3.2	[45]
聂荣岩体	黑云角闪花岗岩闪长岩	锆石激光剥蚀 U-Pb 法	177.7±2.5, 182.9±2.6	[45]

SiO₂ 图解,图 3)^[55],②铝饱和指数(A/CNK)、CIPW 标准矿物中的刚玉分子数以及 Eu 异常程度,S 型花岗岩通常显示过铝质(A/CNK>1.1)、富含刚玉分子(>1.0%)和明显的负 Eu 异常(小于 0.6)^[56](图 4),③微量元素判别图解,如 Rb-Y+ Nb 图解^[50](图 4)等方法,在冈底斯带至少可以识别出俯冲型(I 型)和碰撞型(S 型)2 种类型的中生代花岗岩类。利用这些方法,笔者已经对冈底斯带的侏罗纪岩浆岩的性质进行了初步分析和总结^[1],本文不再重复。下面主要展示早白垩世岩浆岩的分析结果。

(1)南冈底斯桑日群麻木下组安山岩显示埃达克岩的地球化学特征,被认为与新特提斯洋壳的高角度俯冲有关^[2];中冈底斯早白垩世火山岩以高钾钙碱性系列为主,富集大离子亲石元素(Rb、Ba、Th、U、K 等)和轻稀土元素,亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素,地球化学特征与弧火山岩相似,主要发生于以滨浅海、浅海、陆相、河流三角洲等海陆交互沉积环境为特点的火山岛弧带,很可能形成于厚地壳背景下与板片俯冲有关的岛弧环境^[4];北冈底斯晚侏罗世—早白垩世火山岩主要属中钾钙碱性系列,以明显富集大离子亲石元素(Rb、Ba、Th、U、K 等)、轻稀土元素和亏损高场强元素(Nb、P、Ti 等)等特征而类似于岛弧火山岩,它们具有与上部地壳相似的微量元素蛛网图,明显不同于中冈底斯基本同期的中钾钙碱性岩石,形成于岛弧环境^[4]。

(2)南冈底斯早白垩世花岗岩类主要由花岗闪长岩和英云闪长岩组成,也出露有闪长岩、辉长岩等,属中钾—高钾钙碱性系列(少量低钾拉斑系列)的偏铝质岩石,形成于俯冲环境(图 4-a),是新特提斯洋北向俯冲的产物;冈底斯弧背断隆带西部措勤江让、尼雄等地早白垩世花岗岩类主要为花岗闪长岩,属高钾钙碱性系列的偏铝质 I 型花岗岩,形成于俯冲背景,部分晚期样品显示 S 型花岗岩的地球化学特征,该带向东显示 S 型花岗岩类地球化学特征的样品增多,到巴嘎地区甚至转变为高钾钙碱性系列的过铝质花岗岩(图 4-b),表现出地壳重熔型花岗岩的特征,形成于地壳厚度较大的陆内汇聚碰撞背景(如巴嘎岩体^[38]);中冈底斯中西部地区的早白垩世花岗岩类主要包括英云闪长岩和花岗闪长岩,属中钾—高钾钙碱性系列,以占优势的偏铝质 I 型花岗岩为特征,很可能与俯冲背景有关,中东部地区(如可来青、纳果等地)的部分样品显示 S 型花岗岩类的

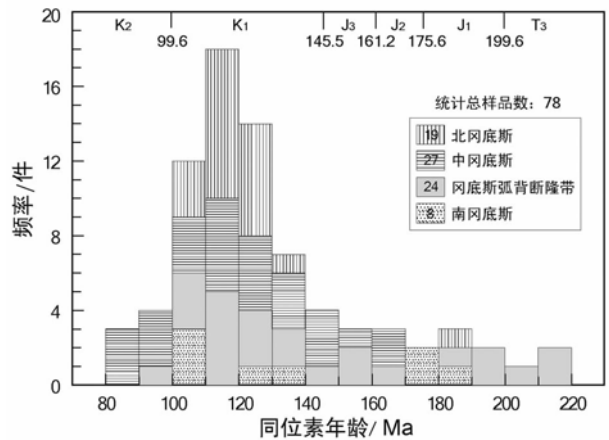


图 2 冈底斯中生代岩浆岩年龄频率分布

Fig. 2 Histogram of frequency distribution of isotopic ages of Mesozoic magmatic rocks in the Gangdise belt
K₂—晚白垩世;K₁—早白垩世;J₃—晚侏罗世;J₂—中侏罗世;J₁—早侏罗世;T₃—晚三叠世。为避免采样密度引起的人为统计偏差,同一岩体或同一研究对象(如叶巴组)的多件测年数据只统计 1 件。图例中的数字代表收集的测年样品数。数据和资料来源见表 1

地球化学特征,可能与碰撞背景有关(图 4-c);北冈底斯西部地区主要由花岗闪长岩、英云闪长岩和部分闪长岩、辉长岩组成,以中钾—高钾钙碱性系列为主,属于 I 型花岗岩(图 4-d),可能形成于俯冲背景,而东部桑巴地区主要为高钾—钾玄质系列的二长花岗岩类,属于 S 型花岗岩,与碰撞背景有关^[44]。

4 讨论

4.1 中生代岩浆活动的地球动力学背景

4.1.1 早期观点回顾

早期研究对冈底斯带地区白垩纪岩浆作用的地球动力学背景有下述 4 种不同的认识。

(1)冈底斯带白垩纪的岩浆作用由新特提斯洋壳向北以类似于现今安第斯地区^[57]的低角度或平板俯冲产生^[9, 11-14, 58-60]。低角度或平板俯冲要么在俯冲板片的前缘形成埃达克岩,要么形成隔热层而不能产生岛弧岩浆(因不存在交代的软流圈地幔楔)^[61]。与此明显不一致的是,冈底斯带不但存在规模宏大的早白垩世岩浆活动(图 1),而且至少在南冈底斯和北冈底斯还存在岛弧岩浆活动,表明那时在冈底斯带下部应该存在被俯冲板片流体交代的软流圈地幔,因此利用平板俯冲模式来解释冈底斯带白垩纪岩浆作

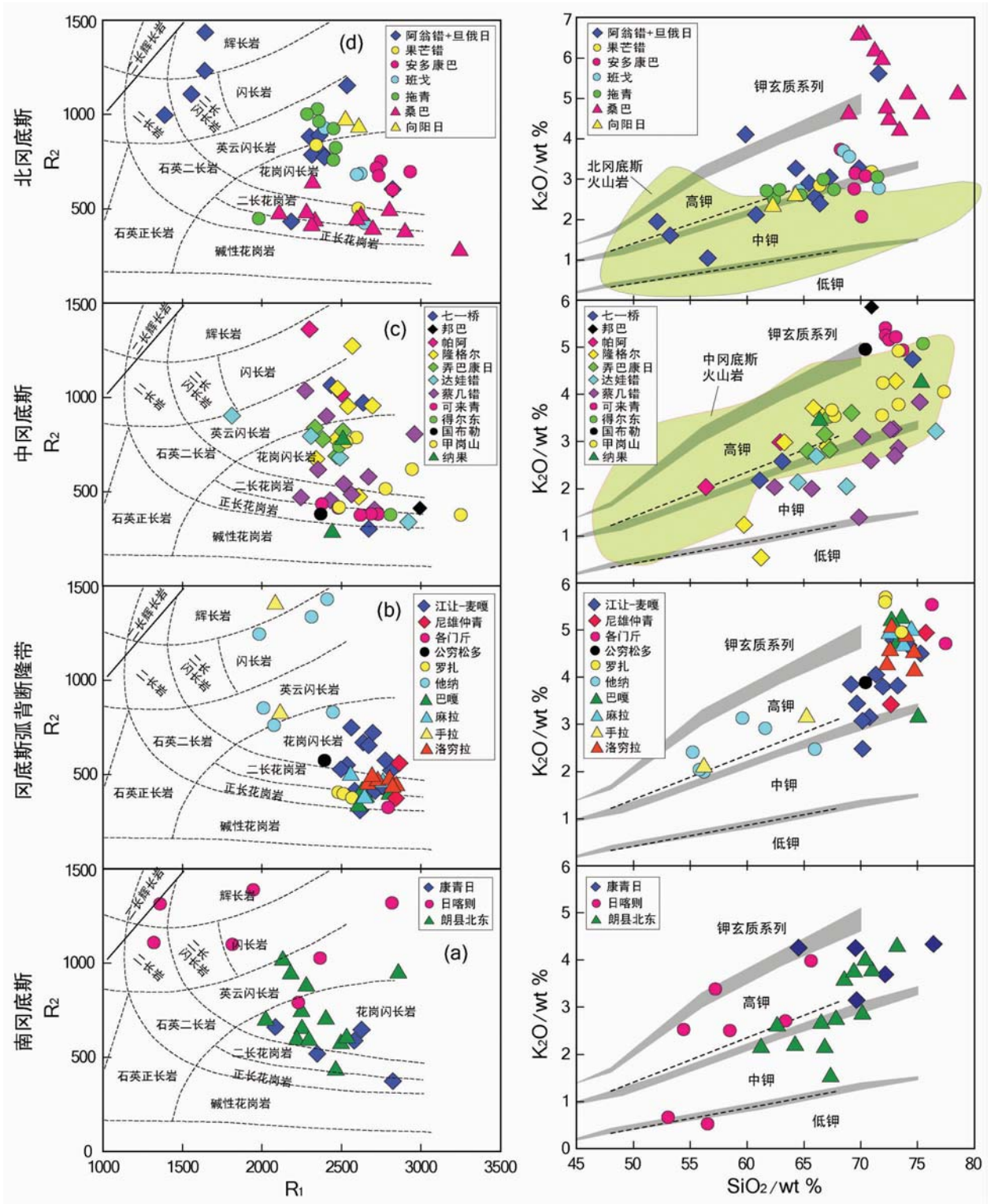


图 3 冈底斯带早白垩世花岗岩类的岩石类型和岩石系列

Fig. 3 Rock types and rock series of Early Cretaceous granitoids in the Gangdise belt
岩石类型 R_2 - R_1 划分图解据参考文献[54]; 岩石系列 K_2O - SiO_2 划分图解据参考文献[55]; 图中地名见图 1

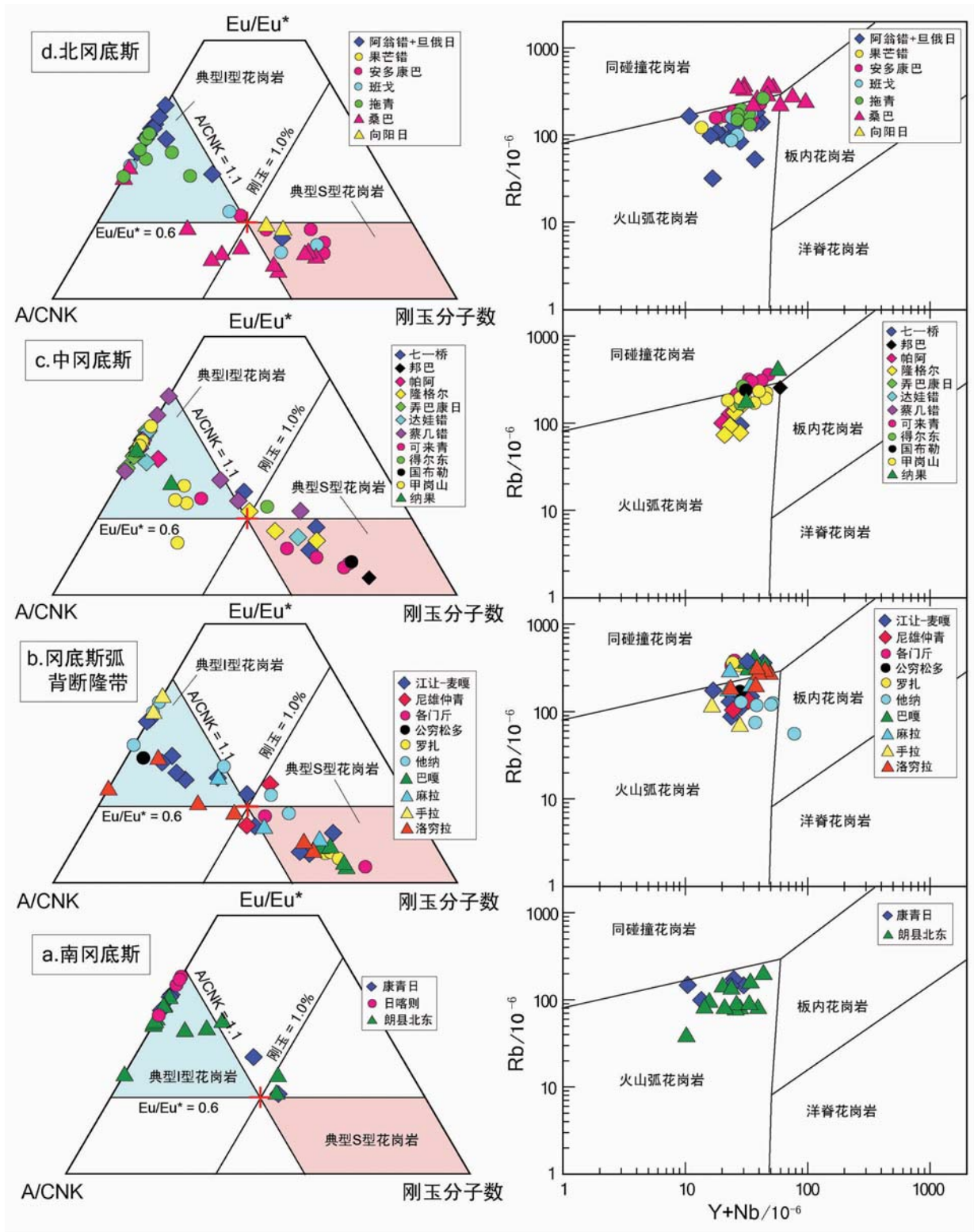


图4 冈底斯带早白垩世花岗岩类的成因类型和构造环境判别图解

Fig. 4 Discrimination diagrams of genetic types and tectonic settings of Early Cretaceous granitoids in the Gangdise belt
 构建的成因类型识别图解的参考文献见正文; Rb-Y+Nd 构造环境判别图解据参考文献[50]; 图中地名见图 1

用的成因是有困难的。

(2) 冈底斯带中北部地区的白垩纪岩浆作用来源于冈底斯和羌塘地块碰撞过程中增厚下地壳的重熔^[62-63]。班公湖-怒江缝合带内早白垩世塔仁本洋岛玄武岩(约 110 Ma)^[64]和觉翁地区 128 Ma 的蛇绿岩^[65]很可能指示早白垩世时它们所代表的洋壳尚未完全消亡,即羌塘与冈底斯之间那时可能尚未发生可以引起地壳增厚的碰撞作用,因而利用这种重熔模式来解释冈底斯中北部地区白垩纪岩浆活动的成因似乎也是有问题的。

(3) 冈底斯中北部地区的白垩纪岩浆作用由冈底斯和羌塘地块碰撞后软流圈上涌引起的地壳熔融产生^[66]。这种模式除了不相容于北部洋壳消亡的时间和北部地区的俯冲型岩浆活动外,还无法解释北冈底斯地区出现的辉长岩和闪长岩系列岩石(图 3),因为地壳熔融作用只能产生更酸性的岩浆。

(4) 冈底斯带中北部地区的岩浆活动与班公湖-怒江洋壳向南的俯冲有关^[1, 4, 16-17]。这种模式不但能够解释早白垩世岩浆岩的岩石类型和岩石系列的极性变化特点^[4],而且还能够解释早侏罗世南冈底斯和北冈底斯同时存在的岛弧型岩浆活动^[4]。但这种模式可能还需要进一步修正,因为它似乎不能解释在冈底斯带东部地区观察到的碰撞型岩浆作用。

4.1.2 新的观察事实

将冈底斯带侏罗纪的岩浆活动置于时空框架内分析发现^[4],冈底斯弧背断隆带东段早侏罗世布久、宁中岩体为过铝质 S 型花岗岩,形成于碰撞环境,而同一地区基本同期的金达岩体却显示了与俯冲背景有关的 I 型花岗岩的特征。在冈底斯弧背断隆带的南部,基本同期的早侏罗世叶巴组火山岩和乌郁盆地、尼木大桥花岗岩显示岛弧型的地球化学特征,形成于俯冲背景^[5, 35-37];在冈底斯弧背断隆带的北部,基本同期的聂荣岩体也以形成于俯冲环境的 I 型偏铝质花岗岩类为特征^{[45](22)}。中侏罗世时,冈底斯弧背断隆带东段的科波熊过铝质 S 型花岗岩体很可能形成于碰撞构造环境,向西到中冈底斯,松木果强过铝质 S 型花岗岩体同样形成于碰撞环境,基本同期的北冈底斯那时发生了以接奴群、拉贡塘组火山岩为代表的岛弧型岩浆作用^[11, 14, 18, 23]。晚侏罗世时,中冈底斯央雄勒强过铝质 S 型花岗岩体很可能形成于碰撞环境,向西到许如错-文部地区,早期主要以偏铝质 I 型花岗岩类岩浆活动为特征,形成于俯冲环境,晚期

出现了强过铝质 S 型花岗岩,表明已经受到了碰撞作用的影响,但继续向西到夏定勒地区,晚侏罗世早期的岩浆活动仍然发生于俯冲背景。将本文获得的早白垩世岩浆岩研究成果也置于时空框架内分析,可以发现:早白垩世早期,南冈底斯和北冈底斯基本同时分别发生了以桑日群、多尼组火山岩和相关的花岗岩类为代表的岛弧型岩浆作用,冈底斯弧背断隆带和中冈底斯措勤尼雄—江让—麦嘎及其以西地区主要以俯冲作用为主,而早白垩世晚期的岩浆活动主要显示碰撞型的地球化学特征;到晚白垩世时,仅仅在更西部日土及其以西地区观察到俯冲型岩浆作用的记录^[24]。

由此可见,南冈底斯和北冈底斯在侏罗纪和白垩纪时可能主要受俯冲作用的影响,而冈底斯弧背断隆带和中冈底斯自早侏罗世以来除了受到俯冲作用的影响外,可能还受到了自东向西逐步扩展的碰撞作用的影响。这种东强西弱的碰撞作用还可以得到相关构造和沉积学观察结果的支持。冈底斯带东部地区不但缺失下、中三叠统^[24],而且还可见中侏罗统杂色碎屑岩或含砾砂岩角度不整合于上三叠统或二叠系之上^[67],但在冈底斯弧背断隆带和中冈底斯的西部措勤地区,却存在早三叠世印度期—晚三叠世诺利期的海相碳酸盐岩地层^[68-69]。这些事实很可能表明冈底斯东部地区在早三叠世—中侏罗世曾发生过强烈挤压的构造变形,而西部地区却未遭受到如此强烈的构造挤压作用。另外,冈底斯弧背断隆带缺乏中生代火山岩的事实也可能表明该带在中生代时期主要处于一种碰撞构造背景,因为碰撞带通常缺乏火山作用^[53]。

4.1.3 倾向性的工作模型

如果本文上述关于冈底斯带中生代岩浆作用的特点和性质的讨论是可靠的,那么任何有关冈底斯带中生代岩浆作用的地球动力学模型都必须对其作出合理的解释。笔者曾对冈底斯带中北部地区的晚侏罗世—早白垩世火山岩进行了综合分析和归纳,认为火山岩在岩石类型、岩石系列、地壳厚度等方面由北向南表现出的极性分布特征,可用班公湖-怒江洋壳向南俯冲的动力学过程来解释^[4]。实际上,本文对全面更新了的冈底斯中北部地区的岩浆岩数据分析后发现,早白垩世岩浆岩同样存在上述的极性分布特征,这似乎支持冈底斯中北部地区早白垩世的岩浆作用与班公湖-怒江洋壳南向俯冲有关

的认识^[1-4]。在此基础上,笔者进一步重建了冈底斯早白垩世时的地球动力学背景(图5)。结合早侏罗世俯冲型岩浆作用的分布特点和古地磁构造重建图,推测冈底斯班公湖-怒江洋壳向南、新特提斯洋壳向北双向俯冲的地球动力学背景,似乎至少可以追索到早侏罗世^[1]。鉴于冈底斯弧背断隆带和中冈底斯从早侏罗世到晚白垩世可能发生了向西逐步扩展的碰撞型岩浆作用,笔者对这种南北两侧板片相向俯冲的地球动力学体系进行了修正,认为冈底斯带中生代岩浆作用似乎可用南北两侧板片自东向西的双向剪刀式(剪刀口向西张开)俯冲模型(图6)来解释,该工作模型的含义是:至少在早侏罗世时,冈底斯带受到班公湖-怒江洋壳向南、新特提斯洋壳向北的双向俯冲的影响,中东部地区因南北两侧俯冲板片距离较近,很可能引起冈底斯内部陆块(如缺乏火山作用的冈底斯弧背断隆带)和岛弧(如以规模巨大的安山质和英安质岩浆作用为特色的中冈底斯)发生陆-弧碰撞,形成宁中-布久早侏罗世碰撞型花岗岩浆活动,同时也有俯冲型的岩浆作用(如金达岩体)产生。随后,很可能因冈底斯东部地区受到自东向西的双向剪刀式俯冲作用的影响,碰撞作用在东部继续发生(如科波熊)的同时向西扩展到松木果一带,中北部地区受到碰撞作用的影响较小,发育了狮泉河-拉果错-永珠-纳木错-嘉黎弧后盆地,但由于正在进行的碰撞作用的影响,该弧后盆地的发育时限较短,盆地规模有限。随着双向剪刀式俯冲作用的持续进行,碰撞作用向西逐步扩展,到晚白垩世竟柱山组磨拉石沉积时,冈底斯带中北部地区的俯冲活动已基本停止,冈底斯带此时仅受到雅鲁藏布洋壳向北单向俯冲的影响,这种单向的新特提斯洋壳俯冲作用一直持续到晚白垩世最晚期。

4.2 “拉萨地块”的解体

早期的研究工作一直将班公湖-怒江蛇绿混杂岩带与雅鲁藏布蛇绿混杂岩带之间的东西向巨型带状区域称为“拉萨地块”。随着近期冈底斯弧背断隆带松多中二叠世榴辉岩的发现和确认^[2-3],一些研究者已经逐渐意识到需要将传统的“拉萨地块”进行解体。潘桂棠等^[1]对“拉萨地块”构造单元进行了细分,并论述了不同构造单元的基本特征及其增生拼贴的过程。在此基础上,笔者结合岩浆岩研究的实际情况,将“拉萨地块”划分为4个构造单元^[4-5]。杨经绥等^[3]则以松多榴辉岩带为界将“拉萨地块”解体为南

拉萨地块和北拉萨地块。已有的中酸性岩浆岩的Nd和Hf同位素研究成果^[5,36-37]表明,南冈底斯中生代岩浆岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 、 $\epsilon_{Hf}(t)$ 均为正值,其Nd-Hf同位素二阶段模式年龄小于1.0 Ga;冈底斯弧背断隆带中生代岩浆岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 、 $\epsilon_{Hf}(t)$ 均为负值,其Nd-Hf同位素二阶段模式年龄大于1.3 Ga^[5,36,42,46];在中冈底斯西部措勤地区和东部申扎地区获得的中生代岩浆岩的数据也具有大于1.0 Ga的Nd-Hf同位素二阶段模式年龄(赵志丹等未刊数据,2005;笔者未刊数据,2007);北冈底斯目前尚未报道过Nd同位素数据,但据班戈复式岩体中的早白垩世偏铝质花岗闪长岩的Sr同位素组成(0.7065~0.7079)^[70]推测,其Nd同位素二阶段模式年龄也应该较小。莫宣学等^[7]注意到冈底斯带南带、中带和北带花岗岩类的Sr-Nd同位素组成也表现出与上述类似的特征。这些信息表明,冈底斯弧背断隆带和中冈底斯可能存在古-中元古代的地壳物质,而南冈底斯和北冈底斯则主要以新元古代以来的新生地壳为特征。因此本文建议将传统的“拉萨地块”改称为冈底斯带,因为后者具有一种造山带的内涵,这与其本身可能经历了多期造山事件的最新研究成果^[1,36,41,46]是一致的,真正的“拉萨地块”很可能是存在的,但其范围可能应该被限定在以冈底斯弧背断隆带和中冈底斯为代表的冈底斯带中部地区,南冈底斯和北冈底斯则可能是中生代时通过岛弧增生分别拼贴到拉萨地块南北两侧的火山岛弧带。

4.3 晚古生代冈底斯带的构造重建

松多榴辉岩的发现在地学界引起了极大的关注,由此引发了人们对重建晚古生代时期冈底斯构造位置的思考和讨论,因为该榴辉岩带的存在表明当时冈底斯南缘存在一条板块缝合带^[3]。最近10多年来,一些工作先后报道了西藏南部的二叠纪火山岩^{[1,22,71-74](8-9,25)}。笔者最近几年在国土资源部百人计划项目《西藏南西部二叠纪玄武岩的区域对比及意义》的资助下,也对相关的6个二叠纪火山岩露头进行了野外调研和室内分析,确认冈底斯弧背断隆带的二叠纪火山岩(包括措勤尼雄则打拉早二叠世拉嘎组玄武岩、林周勒青拉中二叠世洛巴堆组火山岩和措勤尼雄村北晚二叠世敌布错组火山岩)(图1)形成于岛弧背景,而特提斯喜马拉雅带色龙二叠纪火山岩(包括早二叠世基龙组火山岩和中晚二叠世色龙群火山岩)形成于伸展背景^[26],也就是说,二叠纪时冈底斯带和特提斯喜马拉雅带很可能受控于不同的

IYZSZ	冈底斯带早白垩世岩浆作用的基本特征和性质总结				BNSZ
	构造带	南冈底斯	中冈底斯	北冈底斯	
重要指标					
岩浆岩分布	从东到西零星分布	缺少火山作用, 花岗岩类呈东西向带状分布	火山岩和花岗岩类呈东西向大面积带状分布	火山岩从西到东带状分布, 花岗岩类断续分布	已有的重要认识: (1) 大约110 Ma的塔仁本洋岛玄武岩 ⁽⁶⁾
占优势的岩石类型	玄武质安山岩、安山岩、花岗岩、正长岩、英云闪长岩	二长花岗岩、正长花岗岩、花岗岩	西部: 玄武岩、安山岩、安山岩、英安岩、流纹岩、二长(正长)花岗岩、花岗岩、花岗岩 东部: 高钾钙碱系列花岗岩类; 中钾-高钾钙碱系列花岗岩类	安山岩、花岗岩、正长花岗岩	(2) 羌塘地区保存较好的大约128 Ma的蛇绿岩 ⁽⁶⁾
占优势的岩石系列	火山岩: 低钾-中钾钙碱系列 花岗岩类: 中钾-高钾钙碱系列	高钾钙碱系列	火山岩: 高钾钙碱系列 花岗岩类: 中钾-高钾钙碱系列	火山岩: 低钾-中钾钙碱系列; 花岗岩类: 高钾钙碱系列	最后关闭: 遍布全区的晚白垩世岩浆柱山组磨拉石角度不整合于下伏地层之上, 指示班公湖-怒江洋很可能在早白垩世末期才最后关闭 ⁽⁷⁾
花岗岩类饱和指数(A/CNK)	多数 < 1.1, 偏铝质	多数 < 1.1, 偏铝质 中部: 多数 > 1.1, 过铝质 东部: 多数 > 1.1, 过铝质	西部: 多数 < 1.1, 偏铝质 中部: 多数 > 1.1, 过铝质 东部: 多数 > 1.1, 过铝质	西部: 多数 < 1.1, 偏铝质 东部: 多数 > 1.1, 过铝质	
花岗岩类标准矿物中的刚玉分子数	多数 < 1.0%	西部: 多数 < 1%, 多数 > 1%, 多数 > 1% 中部: 多数 < 1%, 多数 > 1%, 多数 > 1% 东部: 多数 > 1%	西部: 多数 < 1%, 多数 > 1%, 多数 > 1% 中部: 多数 < 1%, 多数 > 1%, 多数 > 1% 东部: 多数 > 1%	西部: < 1%; 中部: < 1%和> 1%; 中东部: 多数 > 1%	
构造背景	I型花岗岩类, 传统岛弧	可能是岛弧背景 中部: 岛弧向碰撞过渡背景 东部: 很可能是碰撞背景	火山岩: 很可能是岛弧背景 花岗岩类: 很可能是碰撞背景 向中东部过渡为碰撞背景	西部: 很可能是岛弧背景 中东部: 很可能是碰撞背景	

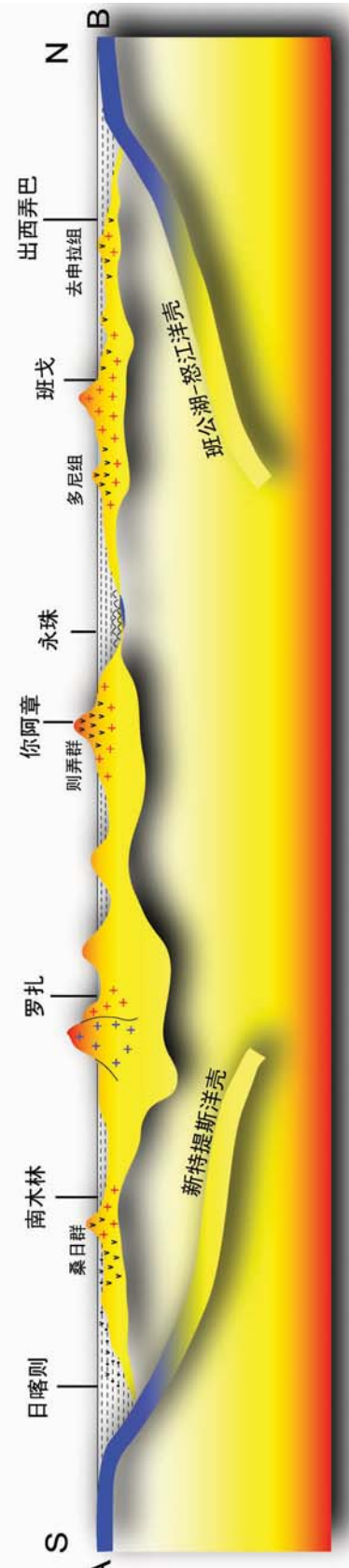


图 5 冈底斯带早白垩世岩浆作用的基本特征、性质及推论的双向俯冲成因模式
 Fig. 5 General features and nature of Early Cretaceous magmatism in the Gangdise belt and the inferred genetic model of bidirectional subduction for its generation
 该俯冲模式由图 1 中示意的 A-B 剖面所切穿的岩浆岩的性质推论

地球动力学体系。这种体系无法用冈底斯带直到早侏罗世才从印度板块北缘裂离出来形成新特提斯^[75]或冈底斯带在中晚二叠世从印度板块北缘裂离出来形成新特提斯^[76]等重建模型来解释。综合考虑特提斯喜马拉雅和冈底斯带二叠纪时期所处的不同动力学背景、色龙二叠纪玄武岩与印度西北部 Zanskar 地区的 Panjal 暗色岩^[77]在地球化学特征上的相似性⁽²⁶⁾以及松多榴辉岩指示中二叠世以前拉萨地块南部可能存在古特提斯洋盆^[9]等新的事实,笔者认为二叠纪时期的冈底斯带可能为一个在古特提斯洋盆中呈条块状“漂浮”的冈瓦纳碎片。

4.4 狮泉河-拉果错-永珠-纳木错-嘉黎弧后洋盆的规模和作用

关于新厘定出来的狮泉河-拉果错-永珠-纳木错-嘉黎弧后盆地,笔者认为即使目前已经发现了一些露头较好的蛇绿混杂岩剖面或露头,冈底斯带中北部地区中生代的岩浆活动也不可能由其代表的洋壳俯冲产生,因为正常的岛弧岩浆产生于洋壳俯冲到 120~150 km 的深度^[78],由此恢复出来的该洋盆的宽度至少应该大于 250~300 km,这在中生代总体以挤压背景为特征的冈底斯带中北部地区是很难想象的。另外,现今的班公湖-怒江蛇绿混杂岩带与雅鲁藏布蛇绿混杂岩带的空间距离在仲巴-萨嘎-桑桑-日喀则段大约有 250~300 km,即使考虑到现今的冈底斯带由于相关碰撞造山事件缩短了大约 180 km^[79]或 200 km^[80],在早白垩世时它们之间的距离也就只有数百千米,在这种情况下冈底斯带内部似乎不太可能存在于一个规模大于 250 km 的弧后洋盆。因此,在很大程度上,冈底斯带中生代岩浆作用应该还是与班公湖-怒江蛇绿混杂岩带和雅鲁藏布蛇绿混

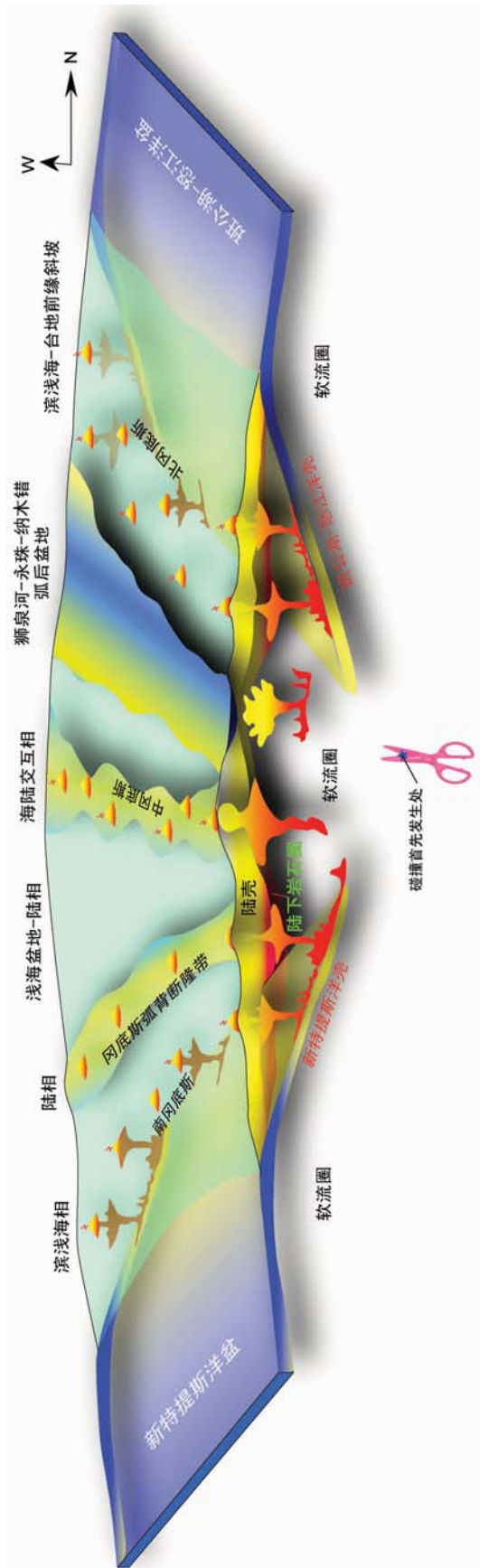


图 6 冈底斯带中生代岩浆作用形成的双向剪刀式俯冲模式

Fig. 6 A proposed model of bidirectional scissors-style subduction for the generation of Mesozoic magmatism in the Gangdise belt 提出的班公湖-怒江洋壳向北自东向西的双向剪刀式俯冲模式,图中的沉积相根据相关的 1:25 万区域地质调查资料编绘。南北两侧板片发生双向剪刀式俯冲(剪刀口向西张开):一方面在南冈底斯带和北冈底斯带发生基本同期的岛弧型岩浆作用;另一方面在冈底斯带东部因俯冲板片距离较近很可能首先引起冈底斯带内部陆块(如冈底斯带背断隆带)和岛弧(如中冈底斯带)发生弧-陆碰撞,发生宁中-布久早侏罗世碰撞型花岗岩浆活动,同时也可能产生俯冲型岩浆作用(如金达岩体)。随着南北两侧板片的持续俯冲,冈底斯带背断隆带和中冈底斯带碰撞作用逐步向西扩展。到晚白垩世竟柱山组磨拉石沉积时,冈底斯带中北部地区的俯冲活动已基本停止,冈底斯带此时仅受到雅鲁藏布洋壳向北单向俯冲的影响,这种单向的新特提斯洋壳俯冲作用一直持续到晚白垩世最晚期

杂岩带所代表的洋盆演化有关。

5 初步认识

对冈底斯带所有的 1:25 万区域地质调查资料和相关的研究成果进行了综合分析和归纳,编制了第一张具有 1:25 万精度的冈底斯带中生代岩浆岩时空分布图,取得了如下初步认识。

(1)初步查明了冈底斯带中生代岩浆作用的时空特点和分布规律:①目前在冈底斯弧背断隆带尚未发现中生代火山岩;②冈底斯带未发现早、中三叠世岩浆岩,而晚三叠世岩浆岩主要分布在冈底斯弧背断隆带;③在冈底斯带东部地区,早侏罗世岩浆活动几乎同时发生于南冈底斯(叶巴组火山岩和乌郁、尼玛花岗岩类)、冈底斯弧背断隆带(宁中、金达、布久花岗岩类)和北冈底斯(聂荣花岗岩类);④中、晚侏罗世接奴群和拉贡塘组火山岩断续分布于中冈底斯和北冈底斯,晚侏罗世岩浆活动零星分布于沙莫勒-麦拉-洛巴堆-米拉山断裂(SMLMF)以北;⑤早白垩世岩浆活动规模宏大,在南冈底斯(100~136.5 Ma)、冈底斯弧背断隆带(105~135 Ma)、中冈底斯(95~145 Ma)和北冈底斯(110~133 Ma)几乎同时发生,冈底斯带在 110~120 Ma 左右发生了岩浆大爆发;⑥目前的年龄数据似乎显示南冈底斯缺乏 170~140 Ma 之间的岩浆活动;⑦晚白垩世岩浆作用主要呈大面积带状分布于南冈底斯。

(2)南冈底斯和北冈底斯在早侏罗世—早白垩世主要受俯冲作用的影响,而冈底斯弧背断隆带和中冈底斯自早侏罗世以来除了受到俯冲作用的影响外,还受到了自东向西逐步扩展的碰撞作用的影响。结合在冈底斯带东部地区观察到的中侏罗统角度不整合于下伏地层之上和在冈底斯西部地区新确认的三叠纪海相地层,认为冈底斯带中生代的岩浆活动可用班公湖-怒江洋壳向南、新特提斯洋壳向北的双向剪刀式(剪刀口向西张开)俯冲模型来解释。需要强调的是,虽然该模型可以较好地解释目前在冈底斯带观察到的中生代岩浆作用的特点和性质,但因不同地区资料积累程度的差异,还需要做许多非常细致的工作来证实或否定。

(3)建议将传统的“拉萨地块”解体为具有古—中元古代地壳物质组成的真正意义上的“拉萨地块”(包括冈底斯弧背断隆带和中冈底斯)及其南北两侧通过岛弧增生拼贴形成的以新元古代地壳物质为特

色的南冈底斯岛弧带、北冈底斯岛弧带等构造单元。

(4)二叠纪时期冈底斯带可能为一个在古特提斯洋盆中呈条块状“漂浮”的冈瓦纳碎片。

(5)新厘定和发现的由狮泉河-拉果错-永珠-纳木错-嘉黎混杂岩带所代表的弧后洋盆的消减和闭合可能对冈底斯带中北部地区岩浆的成因并未起到主导作用。

6 下一步的工作

随着大量新的地质事实的发现和越来越多高质量数据的积累,目前已经意识到冈底斯带的物质组成及其所经历的构造演化历史要比以前预期的复杂得多,很多现象已经无法用早期的观点来解释。在这种情况下,需要重新构建相适于冈底斯带的基于各种新观察的地质演化模型,本文的工作仅仅是基于目前的资料对冈底斯带中生代的地球动力学背景和相关问题的探讨和思考。虽然在一定程度上,笔者提出的班公湖-怒江洋壳向南、新特提斯洋壳向北的双向俯冲地球动力学背景似乎可以较好地解释目前在冈底斯带观察到的中生代岩浆作用的特点和性质,但需强调,本文关于冈底斯带中生代岩浆作用的论述主要基于新近完成的 1:25 万区域地质调查资料和部分相关的研究成果。早期对冈底斯带中生代岩浆作用的研究程度极低,目前积累的微量元素,尤其是同位素地球化学数据还非常有限,对火成岩构造环境的限定还需要做许多非常细致的工作,如代表性火成岩的年代学和地球化学数据,北冈底斯和中冈底斯中侏罗统接奴群、拉贡塘组火山岩的年代学和地球化学数据等。总之,本文新的综合研究成果似乎给传统模式带来了新的挑战,这正激励着我们在冈底斯带正在或将要开展的下一步工作。

致谢:感谢成都地质矿产研究所赵霞、吴剑等同志在资料收集的过程中提供的帮助。对在编制冈底斯带中生代岩浆岩分布图中使用到的但未被列入正文中的 1:25 万区域地质调查资料⁽²⁷⁻³⁹⁾和其他可能的参考文献的作者表示歉意!

参考文献:

- [1]潘桂棠,莫宣学,侯增谦,等.冈底斯造山带的时空结构及演化[J].岩石学报,2006,22(3):521-533.
- [2]杨经绥,许志琴,耿全如,等.中国境内可能存在一条新的高压/超高压(?)变质带——青藏高原拉萨地体中发现榴辉岩带[J].地质学报,2006,80(12):3-12.

- [3] 杨经绥, 许志琴, 李天福, 等. 青藏高原拉萨地块中的大洋俯冲型榴辉岩: 古特提斯洋盆的残留? [J]. 地质通报, 2007, 26(10): 1277-1287.
- [4] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 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 [J]. 岩石学报, 2006a, 22(3): 534-546.
- [5] Zhu D C, Pan G T, Chung S L, et al. SHRIMP zircon age and geochemical constraints on the origin of Early Jurassic volcanic rocks from the Yeba Formation, southern Gangdese in south Tibet [J]. International Geology Review, 2008, 50: 442-471.
- [6] 潘桂棠, 郑海洋, 徐耀荣. 初论班公湖—怒江结合带 [C] // 青藏高原地质文集 (12). 北京: 地质出版社, 1983: 229-242.
- [7] 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1997: 1-218.
- [8] 潘桂棠, 王立全, 朱弟成. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考 [J]. 地质通报, 2004, 23(1): 12-19.
- [9] Coulon C, Maluski H, Bollinger C, et al. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet: $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ dating, petrological characteristics and geodynamical significance [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1986, 79: 281-302.
- [10] Hsü K J, Pan G T, Sengör A M C. Tectonic evolution of the Tibetan Plateau: A working hypothesis based on the archipelago model of orogenesis [J]. International Geology Review, 1995, 37: 473-508.
- [11] Kapp P, Murphy M A, Yin A, et al. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet [J]. Tectonics, 2003, 22(4): 1029. doi: 10.1029/2001TC001332.
- [12] Kapp P, Yin A, Harrison T M, et al. Cretaceous-Tertiary shortening, basin development, and volcanism in central Tibet [J]. Geological Society of America Bulletin, 2005, 117: 865-878. doi: 10.1130/B25595.1.
- [13] Kapp P, DeCelles P G, Gehrels G E, et al. Geological records of the Lhasa-Qiangtang and Indo-Asian collisions in the Nima area of central Tibet [J]. Geological Society of America Bulletin, 2007, 119: 917-932. doi: 10.1130/B26033.1.
- [14] Ding L, Kapp P, Yin A, et al. Early Tertiary volcanism in the Qiangtang terrane of central Tibet: evidence for a transition from oceanic to continental subduction [J]. Journal of Petrology, 2003, 44: 1833-1865.
- [15] Ding L, Lai Q Z. New geological evidence of crustal thickening in the Gangdese block prior to the Indo-Asian collision [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(15): 1604-1610.
- [16] 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福. 青藏高原中新代火成岩的深部探针意义: 若干新成果与新认识 [C] // 陈运泰, 滕吉文, 阚荣举, 等. 中国大陆地震学与地球内部物理学研究进展. 北京: 地震出版社, 2004: 449-461.
- [17] 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息 [J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 281-290.
- [18] Marcoux J, De Wever P, Nicolas A, et al. Preliminary report on depositional sediments on top of the volcanic member: the Xigaze ophiolite (Yarlung-Zangbo suture zone) [J]. Ofioliti, 1982, 7(2): 395-396.
- [19] Göpel C, Allègre C J, Xu R H. Lead isotope study of the Xigaze ophiolites (Tibet): the problem of the relationship between magmatism (gabbros, dolerites, lavas) and tectonites (harzburgites) [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1984, 69: 301-310.
- [20] 肖序常, 李廷栋, 李光岑, 等. 喜马拉雅岩石圈构造演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1988: 201-210.
- [21] Girardeau J, Mercier J C C. Petrology and texture of the ultramafic rocks of the Xigaze ophiolite (Tibet): Constraints for mantle structure beneath slow-spreading ridges [J]. Tectonophysics, 1988: 147: 33-58.
- [22] 西藏自治区地矿局. 西藏自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-450.
- [23] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩 [M]. 北京: 地质出版社, 2001: 109-110.
- [24] 王立全, 朱弟成, 潘桂棠. 青藏高原 1:25 万区域地质调查主要成果和进展综述 (南区) [J]. 地质通报, 2004, 23(5/6): 413-420.
- [25] 朱杰, 杜远生, 刘早学, 等. 西藏雅鲁藏布江缝合带中段中生代放射虫硅质岩成因及其大地构造意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 2005, 35(12): 1131-1139.
- [26] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, 28: 211-280.
- [27] 叶培盛, 吴珍汉, 胡道功, 等. 西藏纳木错西岸蛇绿岩的地球化学特征及其形成环境 [J]. 现代地质, 2004, 18(2): 237-243.
- [28] 叶培盛, 吴珍汉, 胡道功, 等. 西藏永珠—果芒错蛇绿岩的地球化学特征及其构造意义 [J]. 现代地质, 2005, 19(4): 508-514.
- [29] 和钟铎, 杨德明, 王天武. 西藏嘉黎断裂带凯蒙蛇绿岩的年代学、地球化学特征及大地构造意义 [J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 653-660.
- [30] 郑有业, 许荣科, 马国桃, 等. 锆石 SHRIMP 测年对狮泉河蛇绿岩形成和俯冲的时间约束 [J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 895-904.
- [31] 张玉修, 张开均, 黎兵, 等. 西藏改则南拉果错蛇绿岩中斜长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其成因研究 [J]. 科学通报, 2007, 52(1): 100-106.
- [32] 杨日红, 李才, 迟效国, 等. 西藏永珠—纳木湖蛇绿岩地球化学特征及其构造环境初探 [J]. 现代地质, 2003, 17(1): 14-19.
- [33] 王保弟, 许继峰, 曾庆高, 等. 西藏改则地区拉果错蛇绿岩地球化学特征及成因 [J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1521-1530.
- [34] 李海平, 张满社. 西藏桑日地区桑日群火山岩地球化学特征 [J]. 西藏地质, 1995, (1): 84-92.
- [35] 董彦辉, 许继峰, 曾庆高, 等. 存在比桑日群火山岩更早的新特提斯洋俯冲记录么? [J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 661-668.
- [36] Chu M F, Chung S L, Song B, et al. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints on the Mesozoic tectonics and crustal evolution of southern Tibet [J]. Geology, 2006, 34(9): 745-748.
- [37] 张宏飞, 徐旺春, 郭建秋, 等. 冈底斯南缘变形花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成: 新特提斯洋早侏罗世俯冲作用的证据 [J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1347-1353.
- [38] 和钟铎, 杨德明, 王天武, 等. 冈底斯带巴嘎地区二云母花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2005, 35(3): 302-307.
- [39] 翟庆国, 李才, 李惠民, 等. 西藏冈底斯中部淡色花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 地质通报, 2005, 24: 349-353.
- [40] 卢书炜, 张良, 任建德, 等. 青藏高原冈底斯岩浆弧的分带性及其地质意义 [J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 1023-1032.
- [41] 李才, 王天武, 李惠民, 等. 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 [J]. 地质通报, 2003, 22(5): 364-366.
- [42] 刘琦胜, 江万, 简平, 等. 宁中白云母二长花岗岩 SHRIMP 锆石 U-

- Pb 年龄及岩石地球化学特征[J]. 岩石学报, 2006, 22(3): 643–652.
- [43] 和钟铎, 杨德明, 郑常青, 等. 冈底斯带门巴花岗岩同位素测年及其对新特提斯洋俯冲时代的约束[J]. 地质论评, 2006, 52(1): 100–106.
- [44] 和钟铎, 杨德明, 王天武. 冈底斯带桑巴区早白垩世后碰撞花岗岩类的确定及构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(3): 185–193.
- [45] Guynn J H, Kapp P, Pullen A, et al. Tibetan basement rocks near Amdo reveal "missing" Mesozoic tectonism along the Bangong suture, central Tibet[J]. *Geology*, 2006, 34(6): 505–508.
- [46] 张宏飞, 徐旺春, 郭建秋, 等. 冈底斯印支期造山事件: 花岗岩类锆石 U–Pb 年代学和岩石成因证据[J]. 地球科学, 2007, 32(2): 155–166.
- [47] 卢书炜, 任建德, 白国典, 等. 西藏尼玛县南部中晚侏罗世松木果强过铝花岗岩带的发现及其意义[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 332–339.
- [48] 黄俊平, 曹圣华, 陈振华, 等. 西藏冈底斯中段晚侏罗—早白垩世花岗岩特征[J]. 资源调查与环境, 2006, 27(4): 277–285.
- [49] 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1217–1238.
- [50] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25: 956–983.
- [51] Pitcher W S. *The Nature and Origin of Granite Rocks*[M]. Chapman and Hall, Glasgow, 1993: 1–321.
- [52] Förster H J, Tischendorf G, Trumbull R B. An evaluation of the Rb vs. (Y + Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks[J]. *Lithos*, 1997, 40(2/4): 261–293.
- [53] Winter J D. *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*[M]. Prentice Hall, 2001: 1–210.
- [54] De La Roche H, Leterrier J, Grandclaude P, et al. A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1 – R_2 diagrams and major element analysis—its relationships and current nomenclature[J]. *Chemical Geology*, 1980, 29: 183–210.
- [55] Rollinson H R. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*[M]. Longman Group UK Ltd., New York, 1993: 352.
- [56] Chappell B W. Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites[J]. *Lithos*, 1999, 46: 535–551.
- [57] Allmendinger R W, Jordan T E, Kay S M, et al. The evolution of the Altiplano – Puna plateau of the central Andes[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1997, 25: 139–174.
- [58] Copeland P, Harrison T M, Pan Y, et al. Thermal evolution of the Gangdese batholith, southern Tibet: a history of episodic unroofing[J]. *Tectonics*, 1995, 14, 223–236.
- [59] Zhang K J, Xia B D, Wang G M, et al. Early Cretaceous stratigraphy, depositional environments, sandstone provenance, and tectonic setting of central Tibet[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2004, 116: 1202–1222. doi: 10.1130/B25388.1.
- [60] Leier A L, Kapp P, DeCelles P G, et al. Lower Cretaceous strata in the Lhasa terrane, Tibet, with implications for understanding the early tectonic history of the Tibetan plateau[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2007, 77: 809–825.
- [61] Gutscher M A, Maury R, Eissen J P. Can slab melting be caused by flat subduction? [J]. *Geology*, 2006, 28(6): 535–538.
- [62] Xu R H, Schärer U, Allègre C J. Magmatism and metamorphism in the Lhasa block (Tibet): a geochronological study[J]. *Journal of Geology*, 1985, 93: 41–57.
- [63] Pearce J A, Mei H. Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse Lhasa to Golmud[C]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 1988, 327(1594): 169–201.
- [64] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 青藏高原中部中生代 OIB 型玄武岩的识别: 年代学、地球化学及其构造环境[J]. 地质学报, 2006, 80(9): 1312–1328.
- [65] 陈玉禄, 张宽忠, 杨志民, 等. 青藏高原班公湖—怒江结合带中段那曲县觉翁地区发现完整的蛇绿岩剖面[J]. 地质通报, 2006, 25(6): 694–699.
- [66] Harris N B W, Inger S, Xu R. Cretaceous plutonism in central Tibet: an example of post-collision magmatism[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1990, 44: 21–32.
- [67] 郑来林, 廖光宇, 耿全如, 等. 墨脱县幅地质调查新成果及主要进展[J]. 地质通报, 2004, 23(5/6): 458–462.
- [68] 纪占胜, 姚建新, 武桂春. 西藏冈底斯西段措勤地区海相三叠系的划分[J]. 地质通报, 2007, 26(8): 947–952.
- [69] 武桂春, 姚建新, 纪占胜. 西藏冈底斯西段措勤地区三叠纪牙形石生物地层特征[J]. 地质通报, 2007, 26(8): 938–946.
- [70] 王洁民, 雍永源, 李永灿. 西藏班戈花岗岩成因和构造环境及其含锡性[J]. 地质论评, 1994, 40(2): 173–182.
- [71] Garzanti E, Le Fort P, Sciunnach D. First report of Lower Permian basalts in South Tibet: tholeiitic magmatism during break-up and incipient opening of Neo-Tethys[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 1999, 17: 533–546.
- [72] 朱同兴, 潘桂棠, 冯心涛, 等. 藏南喜马拉雅北坡色龙地区二叠系基性火山岩的发现及其构造意义[J]. 地质通报, 2002, 22(11): 717–722.
- [73] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 特提斯喜马拉雅二叠纪玄武质岩石研究新进展[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 40.
- [74] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 藏南特提斯喜马拉雅带中段二叠纪—白垩纪的火山活动(I): 分布特点及其意义[J]. 地质通报, 2004, 23(7): 645–654.
- [75] Golonka J. Late Triassic and Early Jurassic palaeogeography of the world [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, 244: 297–307.
- [76] Stampfli G M, Borel G D. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 196: 17–33.
- [77] Vannay J C, Spring L. Geochemistry of the continental basalts within the Tethyan Himalaya of Lahul–Spiti and SE Zaskar (NW India)[C]//Treloar P J, Searle M P. *Himalayan tectonics*. Geological Society Special Publication (London), 1993, 74: 237–249.
- [78] Crosson R S, Owens T J. Slab geometry of the Cascadia subduction zone beneath Washington from earthquake hypocenters and teleseismic converted waves[J]. *Geophysical Research Letters*, 1987, 14: 824–827.
- [79] Murphy M A, Harrison T M, Durr S B, et al. Significant crustal shortening in south-central Tibet prior to the Indo-Asian collision [J]. *Geology*, 1997, 25: 719–722.
- [80] Pan G T, Ding J, Yao D S, et al. Geological map of Qinghai –

- Xizang (Tibetan) Plateau and adjacent areas (1:1500000) [M]. Chengdu: Chengdu Cartographic Publishing House, 2004.
- (1)朱弟成,潘桂棠,王立全,等.西藏冈底斯带侏罗纪岩浆作用的时空分布及构造环境[J].地质通报,2008,27(?):待出版.
- (2)Di-Cheng Zhu, Zhi-Dan Zhao, Gui-Tang Pan, et al. Early Cretaceous subduction-related adakite-like rocks in the Gangdese belt, southern Tibet: products of slab melting and subsequent melt-peridotite interaction? [J]. J. Asian Earth Sciences, doi:10.1016/j.jseas.2008.05.003.
- (3)刘登忠,陶晓风,马润则,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(赛利普幅)[R].2005,未出版.
- (4)张振利,张计东,魏文通,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(霍尔巴幅-巴巴扎东幅)[R].2005,未出版.
- (5)朱杰,刘早学,张汉金,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(拉孜县幅)[R].2003,未出版.
- (6)向树元,泽仁扎西,田立富,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(嘉黎县幅)[R].2005,未出版.
- (7)谢国刚,邹爱建,袁建芽,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(措麦区幅)[R].2003,未出版.
- (8)江元生,周幼云,李建兵,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(措勤区幅)[R].2003,未出版.
- (9)吴珍汉,孟宪刚,胡道功,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(当雄县幅)[R].2003,未出版.
- (10)杨德明,和钟铎,王天武,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(门巴区幅)[R].2005,未出版.
- (11)刘登忠,陶晓风,马润则,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(措勤县幅)[R].2003,未出版.
- (12)谢国刚,邹爱建,袁建芽,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(邦多区幅)[R].2003,未出版.
- (13)卢书炜,杜凤军,任建德,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(尼玛区幅)[R].2003,未出版.
- (14)王天武,程立人,李才,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(申扎县幅)[R].2003,未出版.
- (15)汪友明,尹显科,徐韬,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(革吉县幅)[R].2003,未出版.
- (16)许荣科,茨邛,庞振甲,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(斯诺乌山-狮泉河幅)[R].2004,未出版.
- (17)卢书炜,杜凤军,任建德,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(热布喀幅)[R].2003,未出版.
- (18)陈国荣,陈玉禄,张宽忠,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(班戈县幅)[R].2003,未出版.
- (19)向树元,泽仁扎西,田立富,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(边坝县幅)[R].2005,未出版.
- (20)曲永贵,王永胜,段建祥,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(多巴区幅)[R].2003,未出版.
- (21)陈玉禄,张宽忠,勾永东,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(物玛区幅)[R].2006,未出版.
- (22)白志达,徐德斌,张绪教,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(安多县幅)[R].2005,未出版.
- (23)尼玛次仁,谢尧武,沙昭礼,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(那曲县幅)[R].2004,未出版.
- (24)朱弟成,耿全如,周长勇,等.喜马拉雅-冈底斯造山带岩浆岩地质[R].成都地质矿产研究所内部综合研究报告.2006.
- (25)袁建芽,吴旭铃,胡为正,等.西藏措勤尼雄地区1:5万地质调查报告[R].2005,未出版.
- (26)Di-Cheng Zhu, Xuan-Xue Mo, Zhi-Dan Zhao, et al. Coexisting Permian extension- and arc-type magmatism in southern Tibet and paleogeographic implications[J]. in revision.
- (27)胡敬仁,陈国结,范跃春,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(日喀则市幅)[R].2002,未出版.
- (28)胡敬仁,胡福根,孙洪波,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(比如县幅)[R].2004,未出版.
- (29)胡敬仁,胡福根,孙洪波,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(丁青幅)[R].2005,未出版.
- (30)李德威,张雄华,廖群安,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(定结县幅)[R].2003,未出版.
- (31)欧阳克贵,曹圣华,肖业斌,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(日土县幅)[R].2004,未出版.
- (32)肖业斌,廖六根,曹圣华,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(喀纳幅)[R].2004,未出版.
- (33)尹光侯,陈应明,包俊跃,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(林芝县幅)[R].2003,未出版.
- (34)曾庆高,毛国政,王保弟,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(改则县幅)[R].2002,未出版.
- (35)张双增,李金和,李广栋,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(日新-札达县-姜叶马幅)[R].2004,未出版.
- (36)张振利,田立富,范永贵,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(桑桑区幅-萨嘎县幅-吉隆县幅)(国内部分)[R].2003,未出版.
- (37)张振利,张计东,魏文通,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(亚热幅-普兰县幅)[R].2005,未出版.
- (38)郑来林,董瀚,耿全如,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(墨脱县幅)[R].2003,未出版.
- (39)钟华明,夏军,童劲松,等.中华人民共和国1:25万区域地质调查报告(洛扎县幅)[R].2003,未出版.