金沙江缝合带弯岛湖蛇绿混杂岩带的岩石地球化学特征及其构造背景*

张能[1,2] 李剑波[1] 杨云松[1] 那福超[1]

ZHANG Neng[1,2], LI JianBo[1], YANG YunSong[1] and NA FuChao[1]

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083
2. 广西壮族自治区地质调查研究院, 桂林 541003
1. *School of Earth Science and Resources*, *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083, *China*
2. *Geological Survey of Guangxi Zhuang Autonomous Region*, *Guilin* 541003, *China*

2011-09-13 收稿, 2012-02-28 改回.

Zhang N, Li JB, Yang YS and Na FC. 2012. Petrogeochemical characteristics and tectonic setting of the Wandaohu ophiolite mélange, Jinshajiang suture, Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 28(4):1291 – 1304

Abstract The Wandaohu ophiolitic mélange is an essential component of the western part of Jinshajiang suture zone. The ophiolites are mixed in the Upper Triassic metaclastic rocks which interlayered by metavolcanic rocks. The main components of ophiolites are mafic-ultramafic complexes, in which metaperidotites, metacrystal-stacking gabbros and concomitant island-arc granites are included. Geochemical data indicate that most of the ophiolitic mélange are tholeiites of low-Ti (island arc-back arc) type and enriched middle-ridge type (E-MORB). The basic extrusive rocks, diabase veins accompanied with above mentioned ophiolites could be classified as interplate rift-type alkaline basalts and other transitional series. Metagabbro, dated at 232 ± 11Ma with Sm-Nd isochron, represents the formation age of the mafic-ultramafic complexes and initial metamorphic age of the subduction of oceanic crust. The radiolarites were found in the sillcalites which overlained ophiolite. The age of the radiolarites is between Late Latin stage of Middle Triassic and Early Kaning stage of Late Triassic, indicating that the Wandaohu mafic-ultramafic complexes may form in the Middle-Triassic poly-islands oceanic basin or back-arc basin tectonic setting.

Key words Ophiolitic mélange; Petrogeochemistry; Tectonic setting; Jingshajiang suture; Tibet

摘 要 弯岛湖蛇绿混杂岩带是金沙江缝合带西段的重要组成部分。蛇绿岩混杂于上三叠统变质碎屑岩夹变质火山岩中,成份主要为镁铁质-超镁铁质杂岩,岩石类型有变质橄榄岩、变质堆晶质辉长岩及其伴生的岛弧型花岗岩系。岩石化学及地球化学特征表明:蛇绿岩主要为低 Ti(岛弧-弧后)型、富集型洋中脊(E-MORB)拉斑玄武岩;与之共(伴)生的基性喷出岩、辉绿岩脉属板内洋岛型裂谷型碱性玄武岩及其过渡类型系列。在变质辉长岩获得全岩 Sm-Nd 等时线年龄值为 232 ± 11Ma,代表了镁铁质-超镁铁质杂岩的形成年龄,可能为洋壳初始俯冲变质的时间。在蛇绿岩上覆的硅质岩中发现有中三叠世拉丁晚期至晚三叠世卡宁早期的放射虫化石,表明弯岛湖镁铁质-超镁铁质杂岩可能形成于中三叠世多岛洋盆或弧后盆地构造环境。

关键词 蛇绿岩混杂带;岩石地球化学;构造环境;金沙江缝合带;西藏

中图法分类号 P588.124; P588.125; P597.3

金沙江缝合带是青藏高原北部羌塘地区一条重要的板块碰撞带(周祥,1984;西藏自治区地矿局,1993;刘增乾等,1990;潘桂棠等,2001),过去一直被当作冈瓦纳大陆与欧亚大陆的分界线(陈炳蔚等,1991;王乃文,1984;黄汲清,1984)。自李才(1987)提出龙木错-双湖缝合带以来,关于两者谁是主带,即冈瓦纳陆块与欧亚陆块的分界线,又引发出诸多争议(李才和郑安柱,1990;Li and Zheng, 1993;邓万明,1996;邓万明等,1996)。在以李才等人为代表的地质工作者

* 本文受国土资源部地质调查局华北地区基础地质及数据更新项目(1212010811001)和东北地区基础地质调查及数据更新项目(1212010881207)联合资助.

第一作者简介:张能,男,1967 年生,博士生,高级工程师,构造地质学专业,E-mail: zhangneng123418@hotmail.com

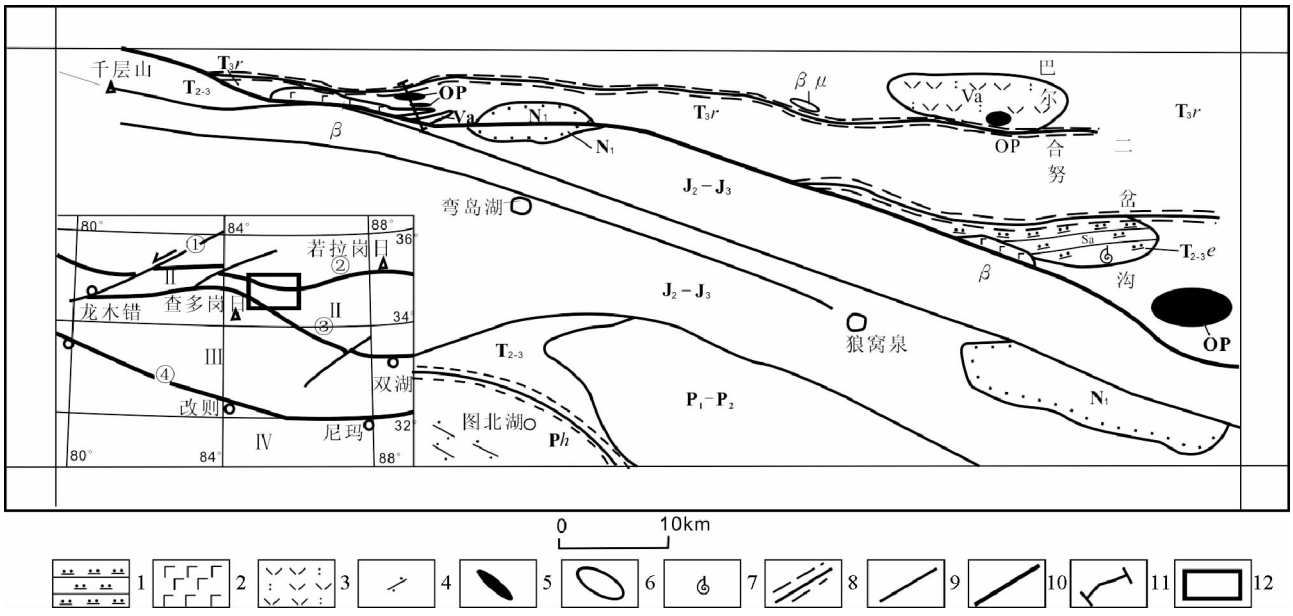


图 1 弯岛湖地区地质简图(据陆济璞等,2006 修改)

N_1-中新统;J_2-J_3-中-上侏罗统;T_{2-3}-中-上三叠统;T_{2-3}^e-中-上三叠统二岔沟组;T_3r-上三叠统若拉岗日岩组;P_1-P_2-下-中二叠统;Ph-二叠系红脊山岩组;OP-蛇绿岩;β-玄武岩岩片(块);Va-火山弧岩片;Sa-硅质岩岩片(块);βμ-辉绿岩脉;Ⅰ-巴颜喀拉陆块;Ⅱ-羌北-昌都陆块;Ⅲ-羌南-保山陆块;Ⅳ-冈底斯-腾冲陆块;①-阿尔金断裂带;②-金沙江缝合带;③-龙木错-双湖缝合带;④-班公湖-怒江缝合带;1-硅质岩;2-玄武岩;3-凝灰岩;4-硬柱石-蓝闪片岩;5-蛇绿岩;6-辉绿岩脉;7-化石产地;8-韧性变形带;9-一般断层;10-边界断裂;11-剖面位置;12-研究区

Fig. 1 Sketch geological map of the Wandaohu area

经多年的研究工作及 2002 年以来 1∶25 万青藏高原区调工作的完成,越来越多的证据(蓝片岩带、蛇绿岩等的发现)表明,龙木错-双湖缝合带是古特提斯洋的主域(尹集祥,1997;边千韬和郑祥身,1992;黄志勋等,2000;刘本培等,2002;李才等,2001,2006;邓希光等,2002;李才,2008;吴根耀,2006),金沙江缝合带仅仅是古特斯洋的一重要分支(孙晓猛等,1994;孙晓猛和简平,2004);其物质组成、结构、沉积地层、火山岩与标准洋中脊迥异(何龙清,1998),洋盆发育阶段较短暂,不具有隔离冈瓦纳及华夏两大古生物地理区系的作用(孙晓猛等,1997);但它却是在整个岩石圈内部都有表现的碰撞带(万天丰,2007)。

蛇绿岩是板块缝合带最重要的组成部分,蕴涵了大洋演化及板块运动的丰富信息(Anthony *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2008; Shi *et al.*, 2008)。在金沙江缝合带的研究中,以构造混杂岩中的蛇绿岩为重点,在构造地质学、岩石学、地球化学、同位素年代学、古生物学等方面的研究成果大多表明,蛇绿岩主要发育于金沙江缝合带东段的有限洋盆或弧后洋盆(金贵善,2006;汪啸风等,1999a,b;段其发等,2006;孙晓猛等,1995;简平等,1998;张旗等,1996)中,多数学者认为西段很少或无蛇绿岩出现的洋盆或弧后洋盆,其基性-超基性岩属板内裂谷或陆壳基底上弧后盆地扩张的产物(林传勇等,2004;穆利修等,2006;赖绍聪和刘池阳,1999)。目前该带上发现的蛇绿岩露头最西达西乌兰北岸(朱迎堂,2006)。

笔者于 2003~2004 年在羌塘地区进行 1∶25 万查多岗日、布若错幅区调工作时发现,在羌塘地区弯岛湖、二岔沟等地构造混杂岩带内发现了一套经构造强烈肢解、大致能恢复原来形成面貌的蛇绿岩。本文拟对这些蛇绿岩的地质特征、岩石化学和地球化学等进行系统研究并探讨其形成的构造背景,这对于深入研究金沙江缝合带(尤其是其西段)的形成与演化具有重要的意义。

1 地质特征

弯岛湖蛇绿混杂岩带分布于研究区北部的弯岛湖、巴尔合努、二岔沟一带(图 1),呈近东西-北西向展布,区域上属于"金沙江缝合带"的西延部分,1∶25 万查多岗日报告称为弯岛湖-大横山蛇绿混杂岩带(陆济璞等,2006①)。研究区内出露面积约 886km^2,其往北西延伸至邻区羊湖地区,往南东延伸至邻区 1∶25 万布若错幅的四熊沟、丛林坡一带。带内构造混杂岩发育,表现为不同时代、不同性质、不同来源的地层、岩块或岩片经强烈构造变形而混杂在一起,反映了古特提斯洋复杂的演化发展历史。

弯岛湖蛇绿岩由 1~2 个单元呈构造残片散布于上三叠统若拉岗日岩组(T_3r)复理石变质含砾砂岩、板岩夹变质火

① 陆济璞, 陆刚, 许华等. 2006. 1∶25 万查多岗日幅、布若错幅区域地质报告. 桂林:广西区域地质调查研究院

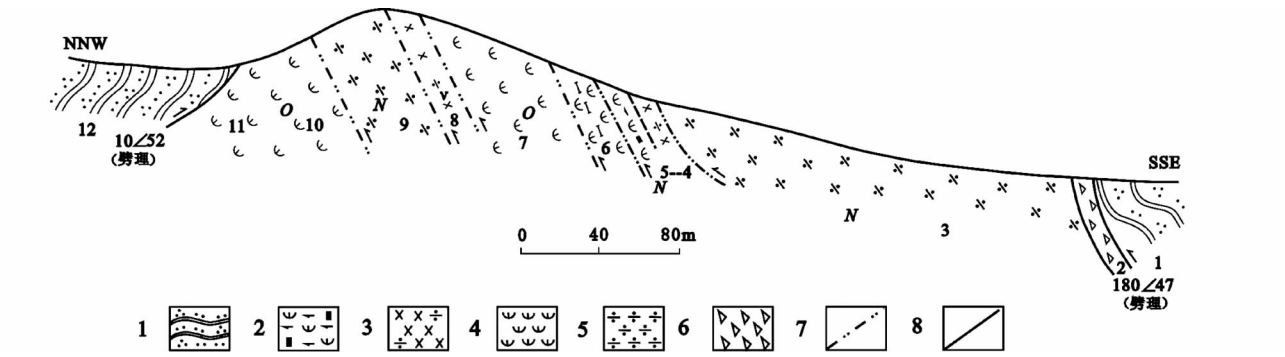


图 2 尼玛县弯岛湖构造蛇绿混杂岩剖面

1-变质变质石英砂岩;2-蛇纹石石棉石化辉石岩;3-透闪石化辉长岩;4-蛇纹岩;5-透闪岩;6-断层角砾岩;7-韧性变形带;8-断层

Fig. 2 Section profile of Wandaohu ophiolite in the Nima city

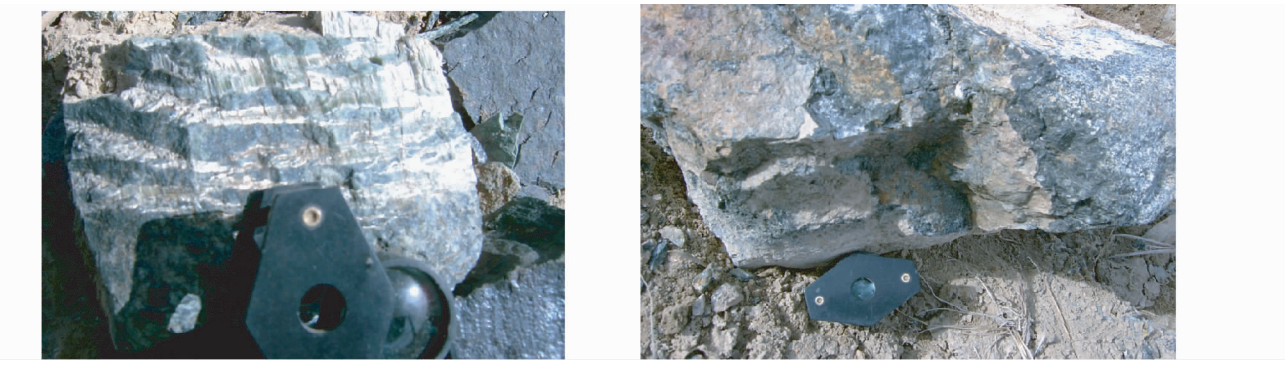


图 3 弯岛湖超基性的特征

左图为石棉石(白)、蛇纹石(绿)化橄榄岩;右图为辉石岩(黑)与辉长岩(灰白)构成的堆晶结构

Fig. 3 The character of Wandaohu ultrabasics

山岩中,与其相关的有玄武岩岩片、火山(岛)弧岩片、硅泥质岩岩片、碳酸盐岩岩片等构成外来岩块。在填图尺度上,主要划分有弯岛湖北西镁铁质-超镁铁质岩片(Σ-N)、巴尔合努变辉长岩块(υ)、二岔沟超镁铁质岩块(Σ)、弯岛湖北西及二岔沟北西玄武岩岩片(β)、弯岛湖北-巴尔合努火山(岛)弧岩片(va)、二岔沟硅泥质岩岩片(sa)以及伴生的辉绿岩脉(βμ)等,前三者属蛇绿岩单元,其它主要为与大洋演化有关的基性熔岩类及上覆含放射虫硅质岩深海沉积物。参考正常的蛇绿岩层序经构造恢复,研究区蛇绿岩主要由中下部蛇绿岩单元构成,岩石类型较单一,属镁铁质-超镁铁质岩单元及堆晶岩单元(即变质橄榄岩及变质辉长岩)。前者由蛇纹岩、蛇纹石化橄榄岩、变质辉石橄榄岩、伴生的岛弧型花岗岩系列及变质橄榄岩辉石岩组成,后者主要由变质橄榄辉长岩、变质辉长岩组成;基性熔岩主要由变质基性火山岩、变质玄武岩组成。蛇绿岩、基性熔岩单元划分及主要岩石学特征见表 1。

弯岛湖北部的蛇绿岩单元出露较好(图 2),蛇绿岩下部由变质超镁铁质岩、镁铁质岩组成的堆晶杂岩,为深灰-灰绿色蛇纹岩、蛇纹石化橄榄岩、蛇纹石透闪石化橄榄岩、石棉石蛇纹石化橄榄岩与灰绿色透闪岩、斜黝帘透辉石岩、透闪石化辉长岩呈不等厚互层,蛇纹石化、透闪石化、石棉石化(图 3 左)强烈;据残余的原岩结构特征及岩石化学特征,推断透闪岩、及斜黝帘透辉石岩原岩为辉长岩类。剖面上,堆晶杂岩中超镁铁质岩与镁铁质岩组成的“韵律层”反复出现(图 2)。上部为堆晶镁铁质杂岩,自下往上为:灰色夹深灰色堆晶辉长岩-浅灰色辉长闪长岩-灰白色石英闪长岩-英云闪长岩。堆晶辉长岩中具分异堆晶作用形成的堆晶结构造特征(图 3 右),下部为辉石岩,往上过渡为暗色辉长岩、浅色辉长岩,呈“层状”分布,辉石岩厚度小,几厘米至十几厘米不等。

弯岛湖北西及二岔沟北西玄武岩岩片(β):弯岛湖北西一带岩片呈透镜状产出,南、北两侧围岩均为劈理化变质石英砂岩(上三叠统若拉岗岩组),二者之间呈韧性剪切带接触;岩性为深灰绿、灰绿色变质玄武岩,并有辉绿岩脉侵入。二岔沟西侧玄武岩岩片与放射虫硅质岩(中-上三叠统二岔沟组)相伴出现,推测可能属于蛇绿岩残片,二者之间可能是韧性剪切带接触;岩片由变质杏仁状玄武岩夹少量杏仁状玄武岩安山岩组成。

弯岛湖北-巴尔合努火山(岛)弧岩片(va):与蛇绿岩相伴出现。主要由劈理化灰绿色变质玄武岩、斜黝帘绿泥透闪石化玄武岩、绿帘阳起片岩、变质基性凝灰岩夹少量基性角

表 1 弯岛湖蛇绿岩、伴生岩石单元划分及岩石学特征

Table 1 Unit divisions and petrologic characteristics of the Wandaohu ophiolite and its associated rocks

蛇绿岩及伴生单元		岩石名称	结构构造	主要矿物成份	蚀变特征
与蛇绿岩有关的玄武岩、火山岩、辉绿岩	辉绿岩脉	变质辉长辉绿岩、辉绿岩	变余辉长辉绿结构、柱粒状交代结构	斜长石 40% ~65%、普通辉石 28% ~35%、绿泥石 6% ~8%	透闪石化、纤闪石化、绿泥石化
	基性喷出岩	变质火山角砾岩	火山角砾结构、交代结构	玄武岩角砾 85% ~90%、基性凝灰碎屑填隙物 10% ~15%	绿泥石化、方解石化、沸石化
		变质角砾凝灰岩	角砾凝灰结构	以玄武质玻屑、岩屑为主的火山碎屑物 60% ~90%, 绿泥石、粘土等胶结物 10% ~40%	绿泥石化、方解石化、
		变质气孔-杏仁状玄武岩	含斑、玻晶交织结构, 交代结构	斑晶 8% ~35%: 斜长石假晶 5% ~25%、辉石假晶 10%, 含钛普通辉石微晶、钠长石微晶等基质 45% ~55%。气孔-杏仁体(10% ~40%)	绿泥石化纤闪石化、方解石化
		变质块状玄武岩	含斑、间隐-间粒结构、微晶结构、交代结构	斑晶 15%: 普通辉石假晶 8% ~10%、斜长石假晶 5% ~7%, 普通辉石微晶、钠长石微晶等基质 85%	绿泥石化、斜黝帘石化
弯岛湖蛇绿岩	岛弧型花岗岩系列	变质英云闪长岩	细粒花岗结构	斜长石 52%、石英 37%、黑云母 8%, 斜长石因去钙化已变成钠-奥长石	绢云母化、方解石化、绿泥石化
		变质石英闪长岩	中-细粒他形-半自形晶结构	斜长石(为 An47 中长石)65%、普通角闪石 15%、黑云母 10%、石英 8%	
		变质辉长闪长岩	中-细粒他形-半自形晶结构、碎裂结构	斜长石 60%、普通角闪石 29%、黑云母 4%、石英 5%	
		变质角闪辉长岩	他形-半自形柱粒状结构	角闪石 73%、基性斜长石(拉长石-倍长石)26%	绿泥石化、碳酸盐化
	堆晶辉长质杂岩	变质橄榄辉长岩	变余辉长结构、纤柱状交代结构、	绿帘石-斜黝帘石 33% ~45%、透闪石 45% ~50%、绿泥石 3% ~5%、石英 0 ~5%、蛇纹石 5% ~12%	碳酸盐化、绿泥石化、蛇纹石化
	变质橄榄岩	变质橄榄辉石岩	残余网状结构、鳞片状-纤柱状交代结构	透闪石 65% ~75%、蛇纹石 15% ~33%、绿泥石 3% ~10%	
		变质辉闪橄榄岩	变余包含结构、自形-半自形结构	橄榄石(部分蛇纹石)40%、普通角闪石 25%、普通辉石 10%、蛇纹石 20%、黑云母 1%, 副矿物磁铁矿 1% ~2%、白钛石 2% ~3%	
		变质(角闪)辉石橄榄岩	变余包含结构、显微鳞片状-纤柱状交代结构	蛇纹石 58% ~63%、(含钛)普通辉石 10% ~35%、角闪石 5% ~25%、黑云母(绿泥石化)1% ~4%	
		蛇纹岩化橄榄岩	显微鳞片结构	蛇纹石(96% ~99%)、磁铁矿、铬尖晶石等 <1%	

砾凝灰熔岩、灰、浅灰绿色变质薄层硅质岩、硅质泥岩、变质凝灰质粉砂岩、变质砂岩、变质钙质粉砂岩和大理岩等组成。岩片与围岩主要呈韧性剪切带接触。

二岔沟硅泥质岩岩片(sa): 呈透镜状产出, 构成研究区的中-上三叠统二岔沟组。主要为深灰色薄-中层状富含放射虫硅质岩、泥质硅质岩、硅质泥岩夹页岩、泥岩, 上部夹板岩、少许石英杂砂岩及玄武岩等组合。二岔沟组与上覆地层为上三叠统若拉岗日岩组呈断层接触。

2 岩石化学及地球化学特征

岩石化学代表性样品共有 20 个, 岩石类型包括了堆晶的橄榄岩、橄榄辉长岩、辉长岩、玄武岩和辉绿岩脉等, 以及共(伴)生的辉长闪长岩、闪长岩、花岗闪长岩等。

表 2　弯岛湖蛇绿混杂岩主量(wt%)、稀土和微量($\times10^{-6}$)元素含量

Table 2　Major (wt%) and trace ($\times10^{-6}$) elements compositions of the Wandaohu ophiolite

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
样品号	8234-2	8234-4	8234-3	8202-1	8202-2	8236-4	8202-3	8234-7	2156-1	8034-1	8033-2	8235-3	7052-1	7051-1	8155-1	8158-1	2161-1	2218-16	8200-3	8160-1
岩性	英云闪长岩	石英闪长岩	辉长闪长岩	角闪辉长岩	透闪石岩	变辉长岩	变辉长岩	蛇纹岩	变辉长岩	辉闪橄榄岩	辉长辉绿岩	辉长辉绿岩	辉绿岩	变玄武岩	变玄武岩	变玄武岩	变玄武岩	变玄武岩	角砾凝灰岩	火山角砾岩
地点	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	巴尔合努	二岔沟	二岔沟	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	巴尔合努	巴尔合努	二岔沟	二岔沟	弯岛湖	巴尔合努
SiO_2	72.9	56.79	52.43	45.78	50.57	49.64	49.35	43.74	50.95	39.66	54.57	47.88	47.6	47.46	45.41	49.95	39.67	50.84	39.87	66.84
TiO_2	0.23	0.74	0.85	1.01	0.2	0.24	0.21	0.08	1	0.89	1.68	2.34	2.52	2.81	4.48	2.56	2.2	2.81	1.13	1.06
Al_2O_3	13.66	17.16	16.7	17.02	9.71	16.51	16.01	0.98	13.9	5.53	14.16	14.48	14.71	14.71	12.76	10.96	13.16	14.97	12.11	4.85
Fe_2O_3	0.29	1.51	1.86	2.21	1.1	0.87	1.1	4.38	1.78	4.97	1.45	3.42	2.56	0.65	4.56	3.45	6.64	3.97	5.97	2.05
FeO	1.87	6.45	7.72	9.2	5.55	4.03	3.65	3.45	8.72	8.85	7.6	7.65	8.82	11.75	9.9	7.53	3.48	6.68	3.6	3.33
MnO	0.04	0.17	0.18	0.22	0.14	0.12	0.12	0.11	0.2	0.2	0.17	0.2	0.2	0.21	0.22	0.16	0.16	0.14	0.16	0.17
MgO	0.63	3.45	5.16	6.78	15.13	9.13	9.91	34.99	6.53	26.56	5.14	5.28	5.34	5.66	4.97	6.38	1.43	3.21	5.22	2.25
CaO	2.43	4.81	7.42	11.81	13.25	14.13	15.39	0.2	10.56	5.3	7.26	11.67	10.39	8.52	9.88	11.4	15.94	6.17	19.8	8.94
Na_2O	3.31	3.11	2.53	1.35	0.39	1.3	0.9	0.01	2.46	0.59	3.86	2.21	2.48	2.46	2.74	2.77	4.32	5.35	2.16	0.59
K_2O	1.71	2.41	1.26	0.89	0.04	0.66	0.13	0.04	0.18	0.44	0.35	1.05	1.22	1.25	0.89	0.61	0.97	0.71	0.2	1
P_2O_5	0.08	0.18	0.17	0.16	0.02	0.04	0.03	0.01	0.05	0.25	0.18	0.45	0.48	0.56	0.66	0.34	0.74	0.88	0.35	0.7
H_2O^+	1.45	2.8	2.91	3	2.94	2.31	2.91	11.5	3.46	6.4	3.21	2.61	3.35	3.57	3.11	2.61	1.8	2.9	2.13	2.05
CO_2	1.02	0.26	0.66	0.36	0.25	0.15	0.25	0.04	0.04	0.02	0.15	0.2	0.04	0.11	0.06	1.11	9.29	1.13	5.66	5.87
Total	99.62	99.84	99.85	99.79	99.29	99.13	99.96	99.53	99.83	99.66	99.78	99.44	99.71	99.72	99.64	99.83	99.8	99.76	98.36	99.7
σ	0.83	2.07	1.35	1.21	0.02	0.49	0.14	0	0.76	−2.63	1.4	1.74	2.3	2.33	3.48	1.38	20.69	3.96	6.65	0.1
$Mg^{\#}$	34.5	44.1	49.5	51.9	80.5	77.2	79.2	89.4	53.0	78.1	50.7	46.8	46.1	45.0	38.8	51.7	21.3	35.8	50.9	43.7
La	32.27	14.66	13.33	8.1	0.98	2.54	1.49	2.09	3.46	21.41	24.74	23.95	22.83	28.16	38.85	25.8	49.39	70.88	25.75	51.8
Ce	58.01	32.85	24.94	19.56	3.98	4.63	3.78	3.22	8.83	37.3	49.81	50.85	50.51	59.73	85.28	58.83	92.77	153.8	45.42	100.1
Pr	7.06	4.65	3.25	3.13	0.34	0.54	0.49	0.4	1.46	4.47	6.41	6.87	7.04	8.18	11.35	7.74	10.66	19.01	5.81	12.17
Nd	24.89	19.62	12.1	13.19	1.32	2.04	1.63	1.33	7.01	16.69	27.31	29.14	28.63	33.71	47.3	31.18	40.57	77.72	22.97	45.01
Sm	4.77	4.31	2.57	3.36	0.41	0.58	0.5	0.24	2.39	3.03	6.11	5.9	5.98	6.83	9.21	7.14	7.71	16.37	4.63	8.11
Eu	1.05	1.12	0.92	1.05	0.17	0.28	0.2	0.07	1	1.01	1.77	2.5	2.61	2.85	3.76	2.11	2.66	5.28	1.63	2.3
Gd	4.63	4.37	2.6	3.61	0.56	0.7	0.58	0.2	3.42	2.81	6.21	5.55	5.69	6.2	8.81	6.31	6.97	14.72	4.75	6.52
Tb	0.79	0.71	0.44	0.6	0.12	0.14	0.11	0.03	0.65	0.41	1.02	0.84	0.82	0.91	1.31	1	0.98	2.09	0.75	0.94
Dy	4.7	4.33	2.66	3.69	0.78	0.9	0.79	0.19	4.27	2.13	5.96	4.64	4.43	4.94	6.51	5.04	5.34	10.78	4.29	4.81
Ho	0.9	0.88	0.54	0.75	0.17	0.19	0.18	0.04	0.91	0.4	1.17	0.88	0.86	0.94	1.17	0.95	0.99	1.97	0.82	0.86
Er	2.25	2.4	1.47	2.03	0.49	0.56	0.49	0.11	2.71	0.98	3.13	2.35	2.08	2.35	2.86	2.33	2.5	4.85	2.11	1.97
Tm	0.34	0.39	0.26	0.34	0.08	0.1	0.08	0.02	0.47	0.14	0.49	0.33	0.29	0.35	0.39	0.33	0.37	0.71	0.33	0.28
Yb	1.95	2.5	1.6	1.97	0.53	0.59	0.53	0.12	2.98	0.82	2.91	1.88	1.81	1.96	2.21	1.86	2.23	4.04	1.95	1.54
Lu	0.27	0.37	0.25	0.29	0.08	0.09	0.08	0.02	0.43	0.12	0.43	0.27	0.27	0.29	0.31	0.26	0.35	0.57	0.28	0.21
Y	23.22	23.24	14.22	19.69	4.62	5.9	5.46	1.18	24.61	8.49	26.95	22.66	19.06	21.22	27.36	21.94	25.28	48.71	20.83	20.33
∑REE	167.1	116.4	81.15	81.36	14.63	19.78	16.39	9.26	64.6	100.2	164.4	158.6	152.9	178.6	246.7	172.8	248.8	431.5	142.3	257.0
δEu	0.67	0.78	1.08	0.92	1.08	1.34	1.13	0.95	1.07	1.04	0.87	1.32	1.35	1.32	1.26	0.94	1.09	1.02	1.05	0.94
$(La/Yb)_N$	11.16	3.95	5.62	2.77	1.25	2.9	1.9	11.74	0.78	17.6	5.73	8.59	8.5	9.69	11.85	9.35	14.93	11.83	8.9	22.68

续表 2

Continued Table 2

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
样品号	8234-2	8234-4	8234-3	8202-1	8202-2	8236-4	8202-3	8234-7	2156-1	8034-1	8033-2	8235-3	7052-1	7051-1	8155-1	8158-1	2161-1	2218-16	8200-3	8160-1
岩性	英云闪长岩	石英闪长岩	辉长闪长岩	角闪辉长岩	透闪石岩	变辉长岩	变辉长岩	蛇纹岩	变辉长岩	辉闪橄榄岩	辉长辉绿岩	辉长辉绿岩	辉绿岩	变玄武岩	变玄武岩	变玄武岩	变玄武岩	变玄武岩	角砾凝灰岩	火山角砾岩
地点	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	巴尔合努	二岔沟	二岔沟	弯岛湖	弯岛湖	弯岛湖	巴尔合努	巴尔合努	二岔沟	二岔沟	弯岛湖	巴尔合努
L/HREE	8.09	4.84	5.82	3.64	2.56	3.24	2.85	10.07	1.52	10.74	5.45	7.12	7.24	7.77	8.31	7.35	10.33	8.63	6.95	12.81
Li	21	27	25	28	3.6	6.1	2.3	2.2	4.2	8.7	14	18	20.2	11.4	14	6.7	5.5	0.11	14	25
Be	2.2	1.6	1.2	0.72	<0.2	0.16	<0.2	0.15	0.56	0.78	2	1.7	1.6	1.7	4.1	2.8	2	3.3	1.2	1.8
Nb	15	10	8	7.8	3.3	9.3	4.5	1.3	3.4	15	14	18	18.8	22.4	31	25	40	58.8	19	5.4
Sc	5.4	26	32	55	43	34	32	8.8	53.8	15	36	36	32.4	26.3	31	30	8.3	13.8	31	5.1
Ga	17	20	19	18	6	9.6	8	1.3	16.4	5.4	16	19	22.6	23.2	24	18	9.7	26.1	7	8.7
Zr	127	99	54	35	8.7	14	11	10	50	66	173	130	129	152	254	212	230	624	101	281
Th	8.7	1.5	3.7	0.7	0.04	0.32	0.53	1.7	0.59	2.6	7	2.3	2.89	3.39	4.2	3.1	5.23	8.04	3.5	6.3
Sr	227	295	257	285	44	84	89	18	113	254	177	870	523	464	725	393	516	234	470	258
Ba	407	642	196	175	16	187	69	30	66	211	133	443	609	526	416	153	204	140	57	261
V	16	155	196	301	178	139	141	62	382	113	254	299	308	355	383	246	110	242	195	67
Co	3.6	18	26	32	49	32	32	89	52.7	96	33	37	50	56	40	39	31	29.2	43	18
Cr	12	33	62	96	2111	398	786	3001	29.4	1965	133	258	195	128	57	433	8.2	41	455	30
Ni	4	8.6	19	12	380	159	187	1761	154	870	39	75	94.7	127	41	136	39.6	48	173	26
Cu	4.6	17	40	62	121	50	64	14	90.1	61	38	116	101	92.7	42	64	32.9	96.2	107	14
Pb	36	12	11	2.6	0.3	0.5	0.3	1.5	1.7	3.6	7	6.9	3	3.5	4.6	3.7	3.2	9.3	2	12
Zn	34	94	103	95	48	57	44	48	90.1	118	98	103	96.8	110	120	105	72	144	112	69
W	0.79	1	1.1	1.2	0.94	0.94	1	0.6	1.01	0.87	1.1	1.2	1.05	1.01	1.2	1.1	0.64	0.83	1.1	0.79
Mo	0.49	0.35	0.45	0.33	<0.2	<0.2	<0.2	0.35	0.26	0.74	0.61	0.57	0.7	0.63	0.8	0.23	0.22	0.44	0.53	0.27
As	0.64	3.2	1.2	21	0.44	0.43	0.4	0.59	0.37	0.73	2.9	0.7	0.75	0.56	0.4	0.53	1	0.73	1.6	0.91
Ag	0.024	0.028	0.084	0.045	0.023	0.023	0.02	0.02	0.057	0.021	0.03	0.093	0.087	0.059	0.07	0.028	0.059	0.121	0.04	0.025
Sn	2.1	1.4	1	<1	<1	<1	<1	1	0.73	<1	1.7	1.1	1.3	1.1	2.2	2.7	1	4.3	<1	1.3
Sb	0.27	0.25	0.18	0.39	0.05	0.08	0.06	0.06	0.07	0.05	0.13	0.23	0.06	0.12	0.08	0.11	0.11	0.09	0.15	0.11
F	221	443	316	340	121	123	108	165	158	235	376	480	476	521	753	596	539	763	381	550
Te	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.075	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Rb	66	97	52	30	2.3	10	2.4	4.1	5.3	15	16	28.9	27.9	25.9	21	14	18.7	42.1	6	27
Ta	1.3	0.78	0.62	0.36	0.07	0.82	0.55	<0.1	0.25	0.86	0.93	1.2	1.01	1.48	2.1	1.7	2.46	3.71	0.94	0.2
U	1	0.64	1	0.19	<0.1	<0.1	<0.1	0.18	0.15	0.6	1.1	0.49	0.7	0.69	0.77	0.69	1.05	2.41	0.7	1.8
Hf	5.3	2.9	2.2	1.8	0.6	1.1	1.4	0.4	1.6	2.5	5.2	3.8	4.3	4.4	7.3	5.7	7.6	16.2	3.4	9.4
Au	0.52	0.72	2.4	1.5	2.7	2.5	0.73	0.48	0.45	0.66	0.45	1.1	0.73	0.49	0.39	0.55	0.5	0.7	0.88	0.49
Cl	0.007	0.019	0.046	0.044	0.011	0.003	0.014	0.019	0.0395	0.018	0.011	0.007	0.0081	0.0087	0.01	0.01	0.0063	0.0072	0.008	0.013

注:武汉综合岩矿测试中心测试. 里特曼指数 $\sigma = (Na_2O + K_2O)^2/(SiO_2-43)$;玄武岩浆结晶分异指数 $Mg^{\#} = 100 * MgO/(MgO + FeO^T)$ 分子数比值;镁铁比值 $m/f = Mg^{2+}/(Fe^{2+} + Fe^{3+} + M^{2+})$ 原子数比值(未考虑 Ni);全铁 $FeO^T = FeO + 0.8998 \times Fe_2O_3$;其中 Au($\times 10^{-9}$)

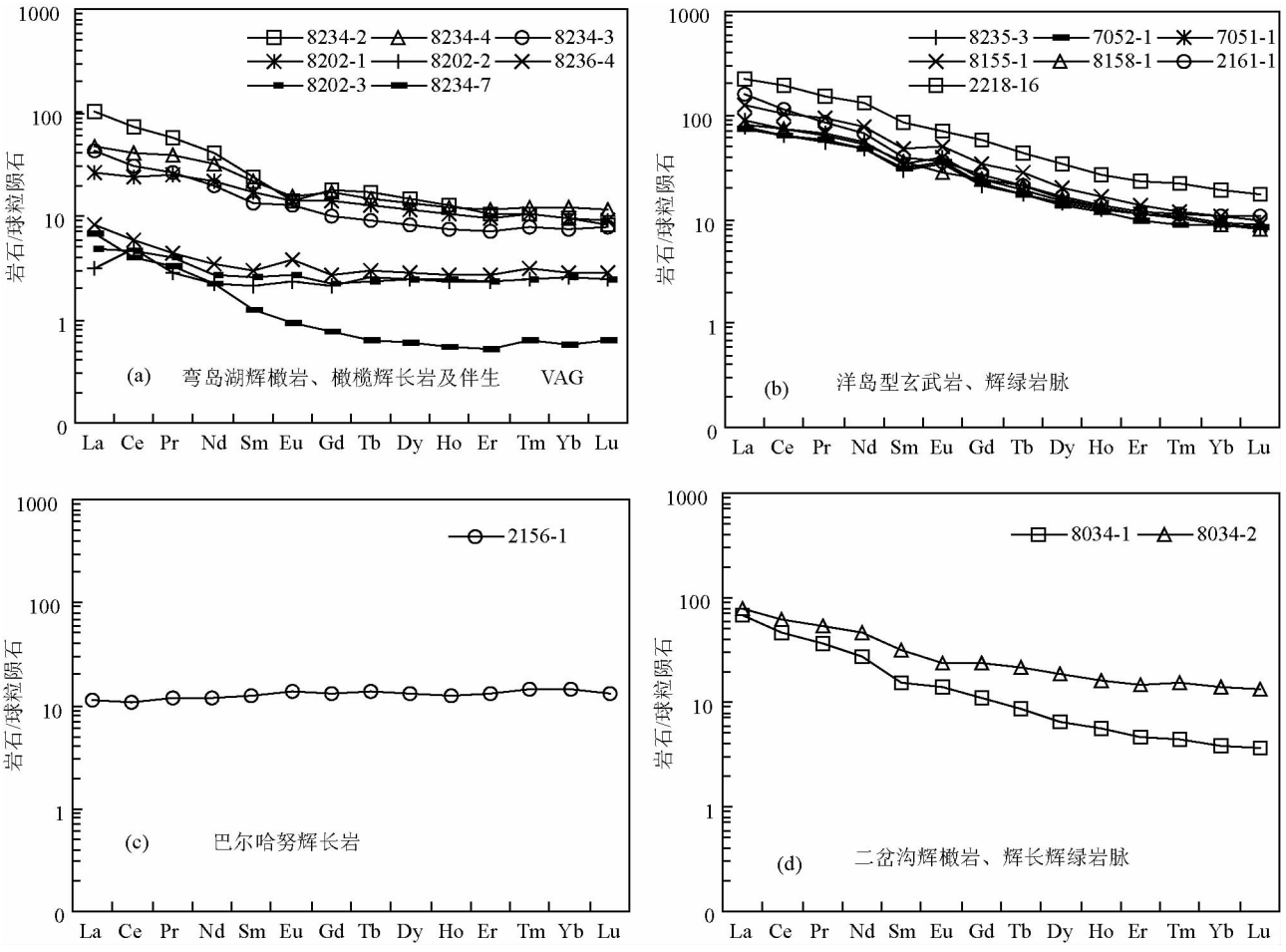


图 4 弯岛湖蛇绿混杂岩稀土配分曲线图

Fig. 4 Rare earth element distribution cure diagram of the Wandaohu ophiolite

2.1 主量元素特征

岩石氧化物百分含量及特征值如表 2。由于蚀变作用，岩石普遍碳酸岩化、硅化，岩石氧化物百分含量中，H_2O^+、CO_2 及部分 SiO_2 含量偏高。

在变质橄榄岩、变质辉长岩共选取代表性 6 个，去挥发组份 H_2O^+、CO_2 重新换算百分百后，主要氧化物含量一般为：SiO_2 42.54% ~ 52.89%，Al_2O_3 10.10% ~ 17.08%，MgO 9.44% ~ 28.49%、CaO 5.48% ~ 15.90%，FeO^T 4.90% ~ 14.24%，其它氧化物含量较低或极低。Mg#值 77.2 ~ 89.4，镁铁比值(m/f) 3.30 ~ 4.04，主要属铁质(超)基性岩，玄武岩浆分异程度较低，具高 MgO 低 TiO_2 的特点。TiO_2/Al_2O_3 比值(0.01 ~ 0.02)极低，具岛弧或弧后盆地基性岩的特点。

伴生的岛弧型钙碱性系列：角闪石辉长岩、辉长闪长岩→石英闪长岩→英云闪长岩，SiO_2 含量在 47.47% ~ 75.04%，高 Al_2O_3 14.06% ~ 17.73%，低 TiO_2 0.24% ~ 1.05%，低碱($K_2O + Na_2O$) 2.32% ~ 5.72%，相对富钠贫钾。随酸度 SiO_2 含量的增加，CaO、MgO、FeOT 含量逐渐降低，全碱($K_2O + Na_2O$)含量逐渐增高，K_2O、Na_2O 同时增加，Na_2O 增加较快，具典型的火山(岛)弧钙碱性玄武岩组合特征。

(蚀变基性熔岩)弯岛湖、巴尔合努、二岔沟等地的变质玄武岩及伴生的辉绿岩脉，去 H_2O 后 SiO_2 含量多在 47.07% ~ 53.11% 间，总体上富 TiO_2 2.42% ~ 4.64%、富 FeO^T 10.58% ~ 14.47%、富 P_2O_5 0.35% ~ 0.92%、富碱($Na_2O + K_2O$) 3.37% ~ 6.33%，Fe_2O_3/FeO 值较高，$Na_2O > K_2O$。里特曼指数(σ) 1.38 ~ 3.96，属里特曼钙碱性岩-碱性岩，具洋岛型或裂谷型拉斑玄武岩、碱性玄武岩或其过渡类型的岩石化学特征。

2.2 稀土元素特征

岩石稀土元素含量及特征值见表 2。弯岛湖变质辉橄岩稀土总量($\sum$REE) 9.26×10^{-6}，稀土元素分馏程度极低；δEu 值 0.95，无 Eu 异常。$(La/Yb)_N$ 值 11.74，$\sum$LREE/$\sum$HREE 值 10.07 ~ 10.74，轻稀土分馏程度相对较高，具轻稀土(略)富集型配分曲线型式(图 4a)。

变质橄榄辉长岩，$\sum$REE 为 14.63×10^{-6} ~ $19.78 \times$

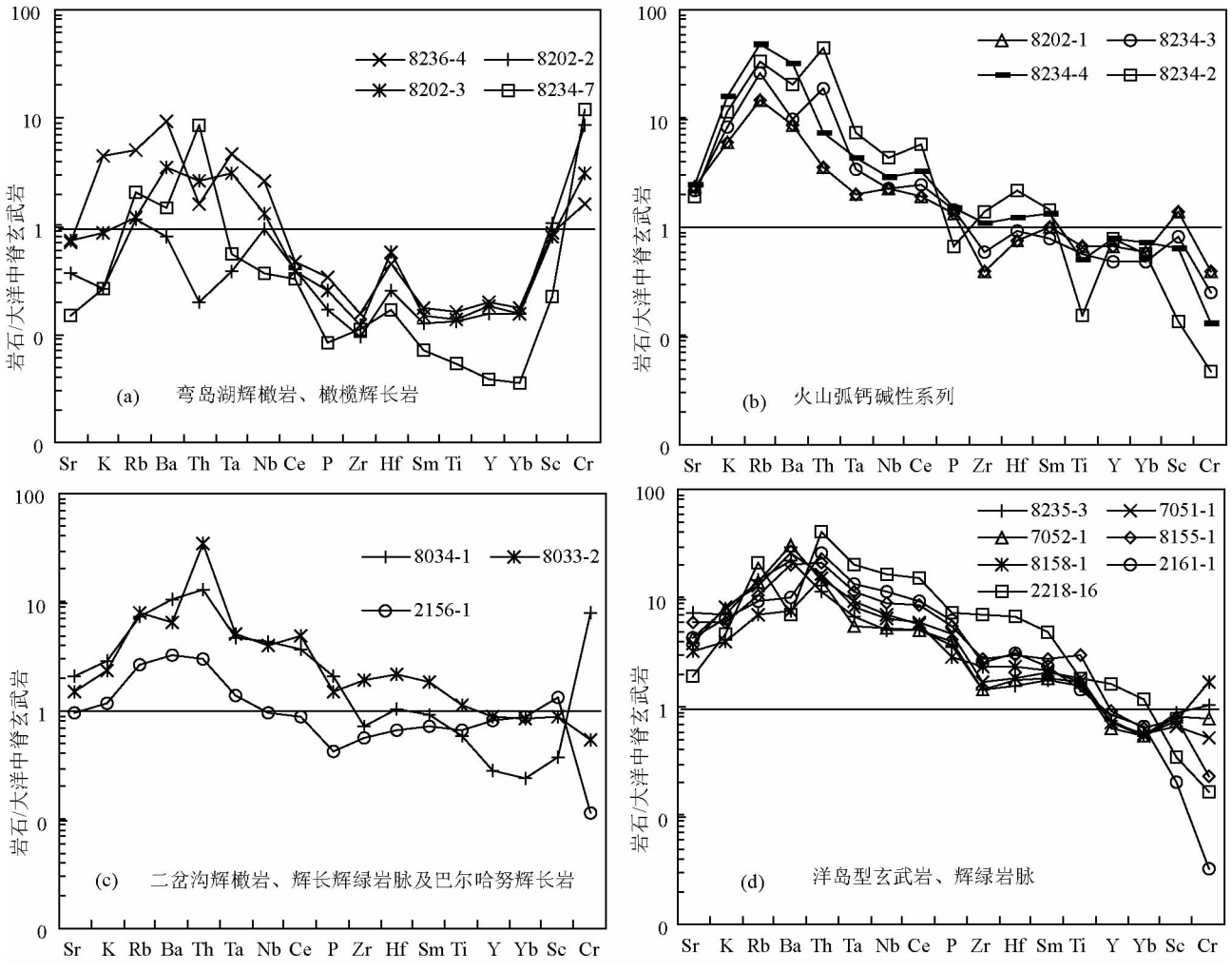


图 5 弯岛湖蛇绿混杂岩微量元素 MORB 标准化图

Fig. 5 Trace elements MORB-normalization diagram of the Wandaohu ophiolite

10^{-6},稀土元素分馏程度仍较低;δEu 值 1.08 ~ 1.34,具弱的 Eu 正异常,反映了岩浆分离结晶过程中斜长石快速聚集的特点。$(La/Yb)_N$ 值 1.2 ~ 2.90,∑LREE/∑HREE 值 2.56 ~ 3.24,轻稀土分馏程度逐渐增高,在稀土配分曲线图上(图 4a),具轻稀土弱富集的平缓型配分曲线样式特点。

伴生的岛弧型花岗岩(VAG)系列:角闪石辉长岩、辉长闪长岩→石英闪长岩→英云闪长岩,∑REE 为 81.15×10^{-6} ~ 167.1×10^{-6},δEu 值 0.67 ~ 1.08,$(La/Yb)_N$ 值 2.77 ~ 11.16,∑LREE/∑HREE 值 3.64 ~ 8.09,轻稀土分馏程度逐渐增高,为轻稀土弱富集型配分曲线(图 4a)。随着岩浆的分异演化,∑REE 增加,轻稀土愈富集,铕亏损愈明显,反映了从岛弧型拉斑玄武岩→钙碱性玄武岩系列的稀土演化特征。

巴尔合努的变质辉长岩,∑REE 为 64.60×10^{-6},稀土元素分馏程度较低,δEu 值 1.07,基本无 Eu 异常,$(La/Yb)_N$ 值 0.78,∑LREE/∑HREE 值 1.52,轻稀土相对于重稀土亏损。稀土配分曲线型式为轻稀土弱亏损型配分曲线(图 4c),具洋脊型(N-MORB,局限洋盆中脊)的稀土曲线特征。

二岔沟变辉橄岩∑REE 为 100.2×10^{-6},稀土元素分馏程度较高,δEu 值 1.04,基本无 Eu 异常。$(La/Yb)_N$ 值 17.60,∑LREE/∑HREE 值 10.74,具轻稀土富集型配分曲线特点(图 4d)。共生的辉长辉绿岩脉,∑REE 为 164.4×10^{-6},δEu 值 0.87,弱 Eu 亏损,$(La/Yb)_N$ 值 5.73,∑LREE/∑HREE 值 5.45,具轻稀土富集配分曲线特点(图 4d)。

弯岛湖、巴尔合努、二岔沟等地的变质玄武岩及共生的变质辉绿岩脉,∑REE 为 152.9×10^{-6} ~ 431.5×10^{-6} 含量变化较大,δEu 值 0.94 ~ 1.35,Eu 无异常或弱 Eu 正异常。$(La/Yb)_N$ 值 8.50 ~ 14.93,∑LREE/∑HREE 值 7.12 ~ 10.33,轻稀土强烈富集。在图 4b 上,属轻稀土富集配分曲线;从拉斑玄武岩→碱性玄武岩,∑REE 显著增高,∑LREE/∑HREE 比值增大,总体反映了洋岛型(或裂谷型)拉斑玄武岩、碱性玄武岩及其过渡型玄武岩的稀土元素特征。

2.3 微量元素特征

岩石微量元素含量如表 2。与 Vinogradov(1962)基性岩

各元素平均值相比，其中的变质辉橄岩、变质橄榄辉长岩除 Cr、Ni 含量较高外，其它元素丰度均较低。在多元素 MORB 标准化图解上（图 5a），过渡元素 Cr 含量较高，不相容元素 Rb、Ba、Th 等选择性富集隆起，特别是具明显的“Th”峰；从 Ta→Yb 所有元素强烈亏损，伴有弱的 Hf 正异常。辉橄岩→橄榄辉长岩，K、Rb、Ba、Th、Ta、Nb 等选择性富集（部分样品具 Th 亏损），从 Ce 到 Yb 所有元素亏损，但分馏程度明显增高，并伴有强烈的 Hf 正异常，反映了原始地幔岩浆的分异演化特征。

伴生的岛弧型花岗岩（VAG）系列：角闪石辉长岩、辉长闪长岩→石英闪长岩→英云闪长岩，与同类岩石相比，富集大离子亲石元素（LILE）Rb、Ba、Sr 等，而高场强元素（HFSE）Ta、Hf 含量略高，Nb、Zr 含量较低。过渡族元素 Cr、Ni 含量均较低，具岛弧钙碱性岩的特点，表明它们不是原始岩浆的直接分异产物，可能有富 LILE 组分的加入。在多元素 MORB 标准化图解上（图 5b），具有大陆性的火山（岛）弧钙碱性玄武岩的“三隆起”的地球化学型式特征，表现为不相容元素 K、Rb、Ba、Th 强烈富集，并相伴 Ce 及 Hf、Sm 等弱正异常，随着岩浆分异程度的增加，其“三隆起”的特征愈明显。

巴尔合努的变质辉长岩，与 Vinogradov（1962）基性岩各元素平均值相比，大离子亲石元素（LILE）Rb、Ba、Sr 等较高外，而高场强元素（HFSE）Ta、Nb、Zr、Hf、Th 等含量均较低。过渡族元素 V、Co 含量略高，而 Cr、Ni 含量较低。在多元素 MORB 标准化图解上（图 5c），呈“单隆起”分布型式，除 Rb、Ba、Th 明显富集外，其余不相容元素丰度接近或略低于 N-MORB，具有与 E-MORB 相似的地球化型式。

二岔沟变质辉橄岩，与弯岛湖变质辉橄岩相比，除 Cr、Ni 含量略低外，其它大离子亲石元素（LILE）、高场强元素（HFSE）均相对较高。在多元素 MORB 标准化图解（图 5c）上，表现为过渡元素 Cr 含量较高以及 K、Rb、Ba、Th、Ta、Nb、Ce、P 等元素选择性富集隆起，从 Zr 到 Sc 所有元素丰度较低或亏损，反映了原始地幔岩浆可能来自于富集型地幔。其中的辉长辉绿岩脉，与 Vinogradov（1962）基性岩各元素平均值相比，Rb、Sr、Ba、Nb 等含量较低，而 Zr、Th、Ta、Hf 等含量偏高。在多元素 MORB 标准化图式上，具板内碱性玄武岩“双隆起”的特征，表现为 Rb、Ba、Th、Ta、Nb 等选择性富集隆起及 Zr、Hf、Sm 的弱富集隆起，具明显的“Th”峰，反映了一种介于火山弧玄武岩与板内玄武岩过渡性构造环境的特点。

弯岛湖、巴尔合努、二岔沟等地的变质玄武岩及共生变质辉绿岩脉，与 Vinogradov（1962）基性岩各元素平均值相比，大离子亲石元素（LILE）Sr、Ba 以及高场强元素（HFSE）Th、Ta、Nb、Zr、Hf 等较高，在铁族元素中 V 的丰度明显较高。在多元素 MORB 标准化图解上（图 5d），呈典型的板内玄武岩的“大隆起”型式，除 Y、Yb、Sc、Cr 之外，所有元素都富集。富集程度从 Sr→Ba 逐渐加强，然后从 Ba→Ti 逐渐减弱，其中碱性玄武岩 Hf、Sm、Ti 明显富集隆起，具“双隆起”型式。从拉斑玄武岩→碱性玄武岩，Hf、Sm、Ti 富集隆起具有由弱到强的过渡演化趋势。

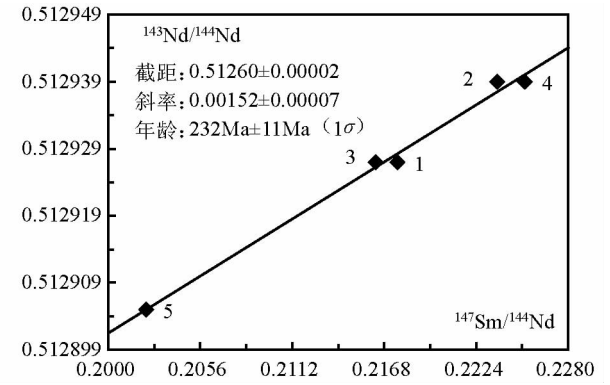


图 6 全岩 Sm-Nd 等时线图

Fig. 6 whole rock Sm-Nd isochron diagram

3 蛇绿混杂岩形成时代

3.1 蛇绿岩形成时代的测定

共选择了有代表性的 6 个样品（变辉长岩）进行了全岩 Sm-Nd 同位素分析，样品处理和分析均在国土资源部中南矿产资源监督检测中心（湖北宜昌）进行，主要测试仪器为固体质谱计。全岩 Sm-Nd 同位素测试结果见表 3。

利用加权最小二乘法进行线性回归分析，从获得的 6 组原始数据中选择了线性相关性较好的 5 组数据进行等时线拟合（图 6）。等时线拟合较好，各样品间具较好的相关性，但 Sm/Nd 比值变化不大，投点间距较窄。获得返回线性回归拟合线方程的截距（初始 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值）为 0.51260 ± 0.00002（1σ）、斜率 0.00152 ± 0.00007，取 Sm-Nd 同位素体系的衰变常数 λ 值为 $6.54\times10^{-12}a^{-1}$，计算获得等时线年龄（t）为 232 ± 11Ma（1σ），$\varepsilon(t)$ 值为 5.09。由于样品的 Sm、Nd 同位素比值展布和变化很小，样品之间的差异基本上在实验误差范围之内，根据样品间的微小差异计算的等时年龄的采信度较低。

3.2 蛇绿混杂岩形成时代讨论

前人在缝合带年代学方面取得的数据主要有：金贵善（2006）在玉树一带采获治多查涌蛇绿岩-辉长岩样品中的锆石 U-Pb 年龄为 190 ~ 230Ma，段其发等（2009）测得青海南部托河地区蛇绿岩中辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 239.8 ± 3.1Ma，李勇等（2003）获得西金乌兰-金沙江缝合带西段蛇绿岩的最小年龄值 246.21 ± 5Ma；朱迎堂等（2004b）在青海西部可可西里湖的巴颜喀拉山群中采获中-晚三叠世诺利期双壳化石、唐专红等（2007）在研究区二岔沟蛇绿岩上覆硅泥质岩片中发现中三叠统晚期限拉丁晚期至晚三叠世卡宁早期的放射虫化石。这些同位素年代、古生物年代的成果，与本次研究取得变辉长岩全岩 Sm-Nd 同位素年龄 232 ± 11Ma

表 3 变辉长岩全岩 Sm-Nd 同位素测试结果

Table 3 Whole rock Sm-Nd iostope results

样品号	Sm($\times 10^{-6}$)	Sm($\times 10^{-6}$)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd \pm 1\sigma$	参加线性处理样品编号
8202-1	0.2155	0.5993	0.2176	0.512927 ± .000018	1
8202-2	0.2043	0.5525	0.2237	0.512939 ± .000047	2
8202-3	0.2309	0.6459	0.2163	0.512927 ± .000028	3
8202-4	0.2007	0.5386	0.2254	0.512939 ± .000035	4
8202-5	0.1932	0.5606	0.2085	0.512871 ± .000031	
8202-6	0.2587	0.7734	0.2023	0.512905 ± .000018	5

注:表内原始数据及参数计算均由测试单位中南矿产资源监督检测中心(湖北宜昌)提供

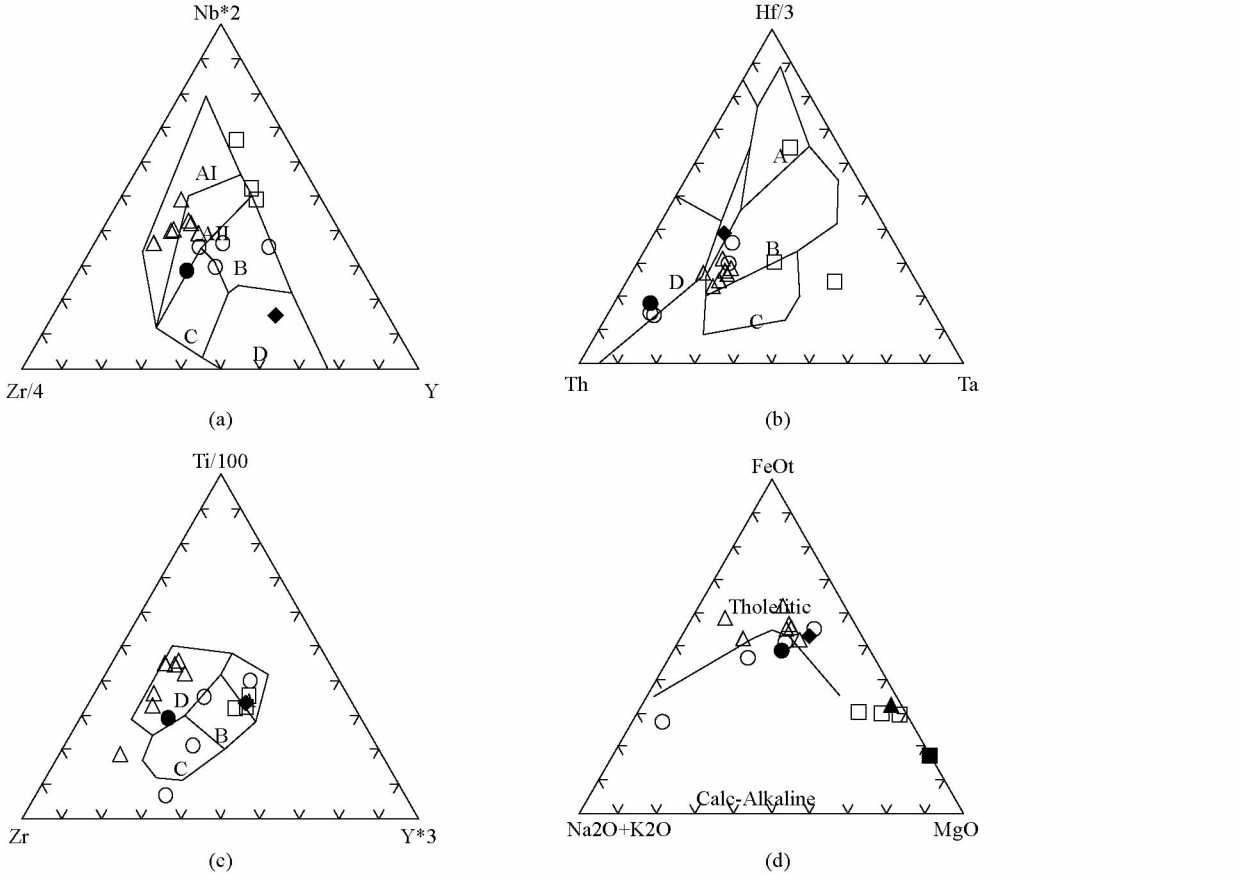


图 7 弯岛湖蛇绿岩构造环境判别图解

(a)-玄武岩的 2Nb-Zr/4-Y 图解(据 Meschede,1986), AⅠ区为 WAB;AⅡ区为 WAB + WTB;B 区为 E-MORB;C 区为 VAB + WTB;D 区为 N-MORB + VAB; (b)-玄武岩的 Hf/3-Th-Ta 图解(据 Wood,1980), A 区为 N-MORB; B 区为 E-MORB + WTB;C 区为 WAB;D 区为 VAB(包括 IAT 和 CAB); (c)-玄武岩的 Ti/100-Zr-3Y 图解(据 Meschede,1986), A 区为 IAT; B 区为 MORB + VAB;C 区为 CAB;D 区为 WPB; (d)-蛇绿岩 FAM 图解. □-弯岛湖橄榄辉长岩;○-弯岛湖岛弧系列花岗岩;△-玄武岩及辉绿岩脉;●-二岔沟辉长辉绿岩;◆-巴尔哈努辉长岩;■-弯岛湖辉橄岩;▲-二岔沟辉橄岩

Fig. 7 Tectonic setting diagram of Wandaohu ophiolite

(1σ)基本相近,表明弯岛湖地区蛇绿岩及其伴生岩石形成时代主要为中三叠世。

金贵善(2006)玉树-治多一带确定印支期花岗岩侵入时期 208.6 ± 4.4 ~ 216.4 ± 1.71Ma,吕金刚等(2006)测得可可西里卧龙岗二长花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 212.5 ± 3.6Ma,陆济璞等(2006)在研究区东部石榴湖一带取得的(枕状)变质玄武岩 K-Ar 法年龄 196Ma。这些研究成果与李荣社等(2004)认定的西金乌兰-金沙江结合带段洋陆转换时

间应早于晚三叠世大体一致。

4 蛇绿混杂岩形成的构造环境

由于本区蛇绿岩经历了多次蚀变和变质作用改造，其主量元素成分也许不能很好地反映岩石形成时的构造环境，而不活动的微量元素协变关系是构造环境判别的有效方法。

弯岛湖变质辉橄岩、变质橄榄辉长岩：在 Ti/100-Zr-3Y 图解（图 7c）上，样品投点落于 A 区（岛弧拉斑玄武岩）；在 Hf/3-Th-Ta 图解（图 7b）上，样品投点分别落于 A 区（N-MORB）和 B 区（E-MORB 或板内拉斑玄武岩）；在 AFM 图解上（图 7d），显示了其从原始地幔分离结晶熔出的玄武岩浆，从拉斑玄武岩系列向钙碱性系列演化的趋势。变质辉长岩全岩 Sm-Nd 同位素样的$^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值范围在 0.512905 ~ 0.512939，$\varepsilon(t)$值为 5.09，基本反映了与俯冲作用有关的火山岩的$^{143}Nd/^{144}Nd$ 比值范围（如 Lr Antilles），表明弯岛湖一带岩浆来源可能来自于岛弧-弧后盆地（SSE）构造环境下的地幔源（弧地幔源）。

在 2Nb-Zr/4-Y 图解（图 7a）上，巴尔合努的堆晶辉长岩块样品投点落于 D 区（N-MORB 或 VAB）；在 Hf/3-Th-Ta 图解（图 7b）上，投点落于 B 区（E-MORB 或板内拉斑玄武岩）附近；具有富集型洋中脊（E-MORB）玄武岩的性质，体现了一种局限初始小洋盆（异常弧后盆地）中脊的大地构造环境，代表了由初始裂谷向成熟洋盆转化阶段的产物。说明裂谷已扩张成洋盆，初始洋壳开始形成。

二岔沟辉橄岩样品在 2Nb-Zr/4-Y 图解（图 7a）和 Ti/100-Zr-3Y 图解（图 7c）上，投点落于板内玄武岩区；在 Hf/3-Th-Ta 图解（图 7b）上，投点落于火山弧钙碱性玄武岩（CAB）区，表明二岔沟超镁铁质岩块可能形成于较靠近陆壳的异常弧后扩张盆地（或大陆边缘海盆裂谷）的构造环境。

弯岛湖、巴尔合努、二岔沟等地的变质玄武岩及共生的辉绿岩脉，主要为典型的洋岛型玄武岩，在 2Nb-Zr/4-Y 图解（图 7a）上，样品投点落于 AⅠ区（WAB）或 AⅡ区（WAB + WTB）；在 Ti/100-Zr-3Y 图解（图 7c）上，投点落于 D 区（板内玄武岩）。其岩石地球化学特征反映了一种裂谷或局限初始洋盆构造环境。

野外地质调查表明，研究区中晚三叠世地层岩性、岩相变化大，从北至南主要出露三个沉积相区带。弯岛湖构造混杂岩带南界以北为砂泥质复理石—洋岛-岛弧型（基性）火山岩—大理岩组合的上三叠统若拉岗日岩组，代表了岛弧深海盆地相沉积；弯岛湖构造混杂岩带与红脊山构造混杂岩带（龙木错-双湖缝合带西段）之间发育深水盆地相含放射虫碎屑岩—（火山弧型-岛弧型基性-中酸性）火山岩—硅质岩系，为次深-深水盆地相沉积。这一特征表明研究区晚三叠世存在弧-盆系统，与岩石地球化学研究结果吻合。

5 结论

弯岛湖蛇绿岩主量元素、微量元素和稀土元素的分析结果表明，弯岛湖蛇绿岩包含有低 Ti（与班公湖-怒江的低 Ti 型岛弧和弧后蛇绿岩非常相似）型、富集型洋中脊（E-MORB，与金沙江、甘孜理塘带近一致（张旗和周国庆，2001））等古洋壳蛇绿岩残片，以及共（伴）生的板内洋岛型（或裂谷型）火山岩和辉绿岩、火山弧型变位花岗岩等众多岩石组合的构造岩浆岩片（块），具有多成因一体，表明了弯岛湖地区曾存在的多岛古洋盆。

从理论上讲，蛇绿岩及蛇绿混杂岩的形成时代可以出现在洋盆存在、扩张脊活动的任何时间里，并非往昔不少人认为金沙江缝合带蛇绿岩仅形成于早石炭世-早二叠世（陈炳蔚等，1991；王乃文，1984；黄汲清，1984；李才和郑安柱，1990；Li and Zheng, 1993；邓万明，1996；邓万明等，1996；尹集祥，1997），古提特斯洋盆在早二叠世末期已完全闭合（边千韬等，1997；赵仁夫等，2004），而将其定位于华力西期缝合带这一观点上（任纪舜和肖黎薇，2004）；也非穆利修等（2006）、赖绍聪和刘池阳（1999）认为“古提斯洋”扩张规模从东往西呈收敛趋势，由发育较完整的蛇绿岩组合的有限洋盆，转变为陆间裂谷至大陆边缘裂谷，蛇绿岩组合逐渐消失，火成岩渐变为裂谷型双峰式火山组合。沿金沙江带上大陆裂谷、洋盆间隔出现，很大可能是其在板块的不同构造位置及壳幔不均衡作用造成的结果。研究区弯岛湖中三叠世蛇绿岩的发现及所反映的有限洋盆的发展演化与金沙江中、东段的西金乌兰湖有限洋盆（高春文等，2006；王永文等，2004）、歇武-甘孜理塘有限洋盆有很强的可比拟性，表明金沙江缝合带所反映的古提特斯洋盆的演化时限自晚泥盆纪延至三叠纪，这与现有的诸多研究成果相吻合（孙晓猛等，1997；朱迎堂，2006；王立全等，1999；朱迎堂等，2009；李才等，2007；朱迎堂等，2004a）。从李勇等（2002）在大横山、鱼水玉龙河、石渣波、若拉岗日等路线地质调查中发现该套地层中含有泥盆—石炭纪牙形刺化石，朱迎堂等（2004b）在青海西金乌兰湖地区移山湖晚泥盆世辉绿岩群的发现，说明了古提特斯洋在晚泥盆纪已初具雏形，经石炭纪-二叠纪的发展演化后，弯岛湖、西金乌兰、歇武-甘孜理塘等地洋盆在中三叠世（232Ma）发育成熟，至晚三叠世（诺利期）前陆周缘盆地（朱迎堂，2006；李勇等，2002；李勇等，2003）的产生，最终于晚三叠世末（196Ma）古特提斯洋完全闭合。总之，弯岛湖地区经历了初始裂谷（弧后扩张）→洋盆扩张→俯冲消减、消亡等不同的演化发展阶段，最终经构造无序拼贴形成了蛇绿构造混杂带。

致谢 论文的写作过程中得到张长厚教授、周志广副教授的悉心指导，表示衷心的感谢！

References

Anthony JR, Christopher JLW and Liu S. 2005. Structural evidence for the Permo-Triassic tectonic evolution of the Yidun Arc, eastern Tibetan Plateau. Journal of Structural Geology, 27(1): 119 – 137

Bian QT and Zheng XS. 1992. Structure characteristics and tectonic evolution of Kekexili area in Qinghai. In: Xu GZ *et al.* (ed.). Continental Lithosphere Structure and Resources. Beijing: Ocean Press, 19 – 32(in Chinese)

Bian QT, Zheng XS, Li HS and Sha JG. 1997. Age and tectonic setting of ophiolite in the Hoh Xil region, Qinghai Province. Geological Review, 43(4): 348 – 355(in Chinese with English abstract)

Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang. 1993. Regional Geology of Xizang. Beijing: Geological Publishing House, 89 – 304 (in Chinese)

Chen BW, Li YS and Qu JC. 1991. The Major Tectonic Problems and the Relation to Ore-forming in Eastern Tibet. Beijing: Geological Publishing House, 6 – 29(in Chinese with English abstract)

Deng WM. 1996. The Tibetan Paleo-Tethys ophiolite belt and north side of Gondwana ancient land. In: Zhang Q *et al.* (eds.). Ophiolite and Earth Dynamics Research. Beijing: Geological Publishing House, 172 – 176(in Chinese with English abstract)

Deng WM. Yin JX and Guo ZP. 1996. Basic-ultrabasic rocks and volcanic rocks studies in Double lake area of Qiangtang. Science in China (Series D), 26(4): 296 – 301(in Chinese)

Deng XG, Ding L, Liu XH, Paul AK, Michael AM and Craig EM. 2002. Geochemical characteristics of the blueschists and its tectonic significance in the central Qiangtang area, Tibet. Acta Petrologica Sinica, 18(4): 517 – 525(in Chinese with English abstract)

Duan QF, Wang JX, He LQ, Zhao XM and Tu B. 2006. Geochemical characteristics and sedimentary environments of the Permian siliceous rocks in the Jinshajiang suture zone, southern Qinghai, China. Geology and Mineral Resources of South China, (3): 24 – 30 (in Chinese with English abstract)

Duan QF, Wang JX, Bai YS, Yao HZ, He LQ, Zhang KX, Kou XH and Li J. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating and lithogeochemistry of gabbro from the ophiolite in southern Qinghai Province. Geology in China, 36(2): 291 – 299(in Chinese with English abstract)

Gao CW, Jia QJ and Wei CG. 2006. Study on the nature of Late Triassic prototype basin of Qiangtang Basin. Geological Review, 52(2): 198 – 206(in Chinese with English abstract)

He LQ. 1998. Tectonic setting and evolutionary pattern of the Jinshajiang orogenic belt. Geoscience, 12(2): 185 – 192(in Chinese with English abstract)

Huang JQ. 1984. New Study of China Tectonic Characteristics. Beijing: Geological Publishing House, 56 – 85 (in Chinese with English abstract)

Huang ZX, Ma ZJ and Liu XZ. 2000. Recognition of the northern boundary of Gondwanaland using modern stratigraphic techniques. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 20(4): 1 – 19 (in Chinese with English abstract)

Jin GS. 2006. Geochronology and geochemistry characters on some magmatic rocks in the west of Xijinulan-Jinshajiang suture zone. Master Degree Thesis. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English summary)

Jian P, Wang XF, He LQ and Wang CS. 1998. Geochronology of ophiolitic rocks from the Ailaoshan suture, Yunnan Province, southwestern China: Implications of Palaeotethyan evolution. Geology and Mineral Resources of South China, (1): 1 – 9 (in Chinese with English abstract)

Lai SC and Liu CY. 1999. Discussion on the tectonic setting during Indo China epoch of the Lazhulong-Xijinwulan-Yushu suture zone, on north margin of Qiangtang. Journal of Northwest University, 29(1): 59 – 62(in Chinese with English abstract)

Li C. 1987. The Longmucuo-Shuanghu-Lancangjiang plate suture and the north boundary of distribution of Gondwana facies Permo-Carboniferous system in northern Xizang, China. Journal of Changchun College of Geology, 17(2): 155 – 166(in Chinese with English abstract)

Li C and Zheng AZ. 1990. The formation of division and its relationship with the structure, Tibet. Xizang Geology, (1): 1 – 8(in Chinese with English abstract)

Li C and Zheng AZ. 1993. Paleozoic stratigraphy in the Qiangtang region of Tibet: Relation of the Gongwanw and Yangtze continents and ocean closure near the end of the Carboniferous. International Geology Review, 35(9): 797 – 804

Li C, Wang TW, Yang DM and Yang RH. 2001. The lithological composition and tectonic evolution of Qiangtang central uplift region, Tibet. Journal of Changchun University of Science and Technology, 31(1): 25 – 31(in Chinese with English abstract)

Li C, Huang XP, Zhai QG, Zhu TX, Yu YS, Wang GH and Zeng QG. 2006. The Longmu Co-Shanghu-Jitang plate suture and the northern boundary of Gondwanaland in the Qinghai-Tibet plateau. Earth Science Frontiers, 13(4): 136 – 147 (in Chinese with English abstract)

Li C, Zhai QG, Dong YS, Zeng QH and Huang XP. 2007. Lungmu Co-Shanghu plate suture in the Qinghai-Tibet Plateau and records of the evolution of the Paleo-Tethys ocean in the Qiangtang area, Tibet, China. Geological Bulletin of China, 26(1): 13 – 22(in Chinese with English abstract)

Li C. 2008. A review on 20 years' study of the Longmuco-Shuanghu-Lancang river suture zone in Qinghai-Xizang Plateau. Geological Review, 54(1): 105 – 119(in Chinese with English abstract)

Li RS, Yang YC and Meng Y. 2004. Main results and progress in 1 : 250000 regional geological survey of the northern Qinghai-Tibet plateau. Regional Geology of China, 23(5 – 6): 421 – 426(in Chinese with English abstract)

Li Y, Wang CS and Yi HS. 2002. Tectonic sequence and fill models of Late Triassic northern Qiangtang foreland basin in Xizang, China. Chinese Journal of Geology, 31(1): 27 – 37 (in Chinese with English abstract)

Li Y, Wang CS and Yi HS. 2003. The Late Triassic collision and sedimentary responses at western segment of Jinshajiang suture, Tibet. Acta Sedimentaologica Sinica, 21(2): 191 – 197(in Chinese with English abstract)

Lin CY, Xu XW and Shi LB. 2004. Preliminary study on some mafic-ultramaafic rocks from Jinshajiang suture zone, northern Xizang, China. Seismology and Geology, 26(2): 221 – 235(in Chinese with English abstract)

Liu BP, Feng QL, Chonglakmani C and Helmcke D. 2002. Framework of Paleotethyan archipelago ocean of western Yunnan and its elongation towards north and south. Earth Science Frontiers, 9(3): 161 – 170 (in Chinese with English abstract)

Liu ZQ, Xu X and Pan GT. 1990. Tectonics and Evolution of the Tibetan Plateau. Beijing: Geological Publishing House, 50 – 179 (in Chinese)

Lv JG, Wang JC, Chu CH, Li LQ, Liu R and Lei HM. 2006. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Wolonggang monzogranite porphyry in the western segment of the Hoh Xil belt, Qinghai-Tibet Plateau and its geological significance. Geological Bulletin of China, 25(6): 721 – 724(in Chinese with English abstract)

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

Mu LX, Wang HY and Luo HW. 2006. The C-P1 ruolagangri rift valley in northern Tibet and it's structural significance. Xinjiang Geology, 24(3): 16 – 23(in Chinese with English abstract)

Pan GT, Wang LQ, Li XZ, Wang JM and Xu Q. 2001. The tectonic framework and spatial allocation of the archipelagic arc basin systems on the Qinghai-Xizang Plateau. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 21(3): 1 – 26(in Chinese with English abstract)

Ren JS and Xiao LW. 2004. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai-Tibet Plateau by 1 : 250000 geological mapping.

Regional Geology of China, 23(1): 1 – 11(in Chinese with English abstract)
Shi RD, Yang JS, Xu ZQ and Qi XX. 2008. The Bangong Lake ophiolite (NW Tibet) and its bearing on the tectonic evolution of the Bangong-Nujiang suture zone. Journal of Asia Earth Sciences, 32: 438 – 457
Sun XM, Nie ZT and Liang DY. 1994. On the time and tectonic significance of ophiolitic mélange in Jinshajiang river belt, northwest Yunnan. Geoscience, 8(3): 241 – 246(in Chinese with English abstract)
Sun XM, Nie ZT and Liang DY. 1995. Determination of sedimentary environments and tectonic significance of silicolites in Jinshajiang river belt, NW Yunnan. Geological Review, 41(2): 174 – 179(in Chinese with English abstract)
Sun XM, Nie ZT and Liang DY. 1997. Formation age and environment of ophiolite and ophiolitic mélange in the Jinshajiang belt, northwester Yunnan. Geological Review, 43(3): 113 – 120(in Chinese with English abstract)
Sun XM and Jian P. 2004. The Wilson cycle of the Jinshajiang Paleo-Tethtys ocean, in western Yunnan and western Sichuan provinces. Geological Review, 50(4): 343 – 350(in Chinese with English abstract)
Tang ZH, Lu JP, Li YK, Zhang N, Huang WH and Tang JH. 2007. Discovery of Middle Triassic radiolarian fossils in cherts in the vicinity of the Tubei lake, northern Nyima, Tibet, China. Geological Bulletin of China, 26(1): 73 – 76(in Chinese with English abstract)
Vinogradov. 1962. Average contents of chemical elements in the principal types of igneous rocks of the earth's crust. Geochemistry, (7): 641 – 664
Wan TF. 2007. China Tectonics Outlines. Beijing: Ocean Press, 121 – 124(in Chinese)
Wang LQ, Pan GT, Li DM, Xu Q and Lin SL. 1999. The spatio-temporal framework and geological evolution of the Jinshajiang arc-basin systems. Acta Geologica Sinica, 73(3): 206 – 218(in Chinese with English abstract)
Wang NW. 1984. The ancient land with China and India ancient land consolidation. The Himalayan Investigation Results of China and France (1980). Beijing: Geological Publishing House, 26 – 89(in Chinese with English abstract)
Wang XF, Jian P, He LQ and Wang CS. 1999a. Discovery of Proterozoic remnant basements in the Jinshajiang suture zone: Evidence from isotopic age. Geology and Mineral Resources of South China, (2): 53 – 58(in Chinese with English abstract)
Wang XF, Metcalfe L, Jian P, He LQ and Wang CS. 1999b. The division and age of the tectonic stratigraphy in Jinshajiang suture. Science in China (Series D), 29(4): 289 – 297(in Chinese)
Wang YW, Wang YD, Li SP and Zhang L. 2004. Characteristics of the Xijir Ulan tectonic mélange belt. Northwestern Geology, 37(3): 15 – 20(in Chinese with English abstract)
Wood DA. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. Earth Planetary and Science Letters, 50: 11 – 30
Wu GY. 2008. Bitu ophiolite in the Zogan area, eastern Tibet: Geological records of Paleo-Tethyan major oceanic basin. Geological Bulletin of the China, 25(6): 685 – 693(in Chinese with English abstract)
Yin JX. 1997. The Gondwana Phase Formation Geology of Tibet and Its Adjacent Area. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 21 (in Chinese)
Zhang Q, Zhou DJ, Zhao DS, Peng XJ, Luo WL and Liu XP. 1996. Wilson cycle of the Paleo-Tethyan orogenic belt in western Yunnan: Record of magmatism and discussion on mantle processes. Acta petrologica Sinica, 12(1): 17 – 18(in Chinese with English abstract)
Zhang Q and Zhou GQ. 2001. Ophiolite in China. Beijing: Science Press, 71 – 81(in Chinese)
Zhang Q, Wang CY, Lin DY, Jian P, Qian Q, Zhou GQ and Robinson PT. 2008. A brief of ophiolites in China. Journal of Asian Earth Sciences, 32: 308 – 324
Zhao RF, Zhu YT, Zhou QH, Wang MC, Li JX and Sun NY. 2004. Discovery of angular unconformity below Triassic strata in the Yushu area, Qinghai. Regional Geology of China, 23(5 – 6): 616 – 620(in Chinese with English abstract)
Zhou X. 1984. The Xizang Plate Tectonic-structure Map and Instruction. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 200(in Chinese)
Zhu YT, Guo TZ, Peng W, Yang YX, Chen HQ, Shi LC, Wang YW, Bao GP, Chen J and Han HC. 2004a. New results and major progress in regional geological survey of the Hoh Xil Lake sheet. Regional Geology of China, 23(5 – 6): 543 – 547(in Chinese with English abstract)
Zhu YT, Yi HS, Yang YX, Guo TZ, Peng W and Chen HQ. 2004b. The Late Devonian diabase dike swarms in the Yishan lake-Daoliugou zone, Xijir Ulan lake area, Qinghai: Evidences for the initial breakup of the Xijir Ulan ocean. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 24(3): 38 – 43(in Chinese with English abstract)
Zhu YT. 2006. The formation and change of Triassic sedimentary basin in Hoh Xil Bayan Har. Ph. D. Dissertation. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese with English summary)
Zhu YT, Tian JC, Bai XH, Yu CL, Zhang X, Xiao L and Cao TS. 2009. Lithofacies palaeogeography of the Carboniferous-Triassic in Qinghai Province. Journal of Palaeogeography, 11(4): 384 – 393 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

边千韬, 郑祥身. 1992. 青海可可西里地区构造特征与构造演化. 见: 徐贵志, 常承法主编. 大陆岩石圈构造与资源. 北京: 海洋出版社, 19 – 32
边千韬, 郑祥身, 李红生, 沙金庚. 1997. 青海可可西里地区蛇绿岩的时代及形成环境. 地质论评, 43(4): 348 – 355
陈炳蔚, 李永森, 曲景川. 1991. 三江地区主要大地构造问题及其与成矿的关系. 北京: 地质出版社, 6 – 29
邓万明. 1996. 青藏古特提斯蛇绿岩带与"冈瓦纳古陆北界". 见: 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 172 – 176
邓万明, 尹集祥, 闵中平. 1996. 羌塘茶布-双湖地区基性超基性岩和火山岩研究. 中国科学(D辑), 26(4): 296 – 301
邓希光, 丁林, 刘小汉, Paul AK, Michael AM, Craig EM. 2002. 青藏高原羌塘中部蓝片岩的地球化学特征及其构造意义. 岩石学报, 18(4): 517 – 525
段其发, 王建雄, 何龙清等. 2006. 青海南部金沙江缝合带二叠纪硅质岩地球化学特征及沉积环境. 华南地质与矿产, (3): 24 – 30
段其发, 王建雄, 白云山, 姚华舟, 何龙清, 张克信, 寇晓虎, 李俊. 2009. 青海南部蛇绿岩中辉长岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年和岩石地球化学特征. 中国地质, 36(2): 291 – 299
高春文, 贾庆军, 魏春光. 2006. 羌塘盆地晚三叠世原型盆地性质探讨. 地质论评, 52(2): 198 – 206
何龙清. 1998. 金沙江造山带的大地构造环境及演化模式. 现代地质, 12(2): 185 – 192
黄汲清. 1984. 中国大地构造特征的新研究. 北京: 地质出版社, 56 – 85
黄志勋, 马召军, 刘协章. 2000. 用现代地层学方法判断冈瓦纳大陆的北界. 沉积与特提斯地质, 20(4): 1 – 19
金贵善. 2006. 西金乌兰-金沙江缝合带西段部分岩浆岩地质年代学及地球化学特征. 硕士学位论文. 北京: 中国地质科学院
简平, 汪啸风, 何龙清, 王传尚. 1998. 中国西南哀牢山蛇绿岩同位素地质年代学及大地构造意义. 华南地质与矿产, (1): 1 – 9

赖绍聪,刘池阳. 1999. 羌塘地块北界拉竹龙-西金乌兰-玉树结合带印支期构造环境探讨. 西北大学学报(自然科学版), 29(1): 59-62

李才. 1987. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界. 长春地质学院学报, 17(2): 155-166

李才, 郑安柱. 1990. 西藏"羌塘"地区古生界划分及其与构造关系的讨论. 西藏地质, (1): 1-8

李才, 王天武, 杨德明, 杨日红. 2001. 西藏羌塘中央隆起区物质组成与构造演化. 长春科技大学学报, 31(1): 25-31

李才, 黄小鹏, 翟庆国, 朱同兴, 于远山, 王根厚, 曾庆高. 2006. 龙木错-吉塘板块缝合带与青藏高原冈瓦纳北界. 地学前缘, 13(4): 136-147

李才, 翟庆国, 董永胜, 曾庆高, 黄小鹏. 2007. 龙木错-双湖板块缝合带与羌塘古提特斯洋演化记录. 地质通报, 26(1): 13-22

李才. 2008. 青藏高原龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带研究二十年. 地质论评, 54(1): 105-119

李荣社, 扬永成, 孟勇. 2004. 青藏高原1∶25万区域地质调查主要成果和进展综述(北区). 地质通报, 23(5-6): 421-426

李勇, 王成善, 伊海生. 2002. 西藏晚三叠世北羌塘前陆盆地构造层序及充填样式. 地质科学, 31(1): 27-37

李勇, 王成善, 伊海生. 2003. 西藏金沙江缝合带西段晚三叠世碰撞作用与沉积响应. 沉积学报, 21(2): 191-197

林传勇, 徐锡锦, 史兰斌. 2004. 西藏金沙江缝合带一些岩石的初步研究(Ⅱ):基性、超基性岩. 地震地质, 26(2): 221-235

刘本培, 冯庆来, Chonglakmani C, Helmcke D. 2002. 滇西古特提斯多岛洋的结构及其南北延伸. 地学前缘, 9(3): 161-170

刘增乾, 徐宪, 潘桂唐. 1990. 青藏高原大地构造与形成演化. 北京: 地质出版社, 50-179

吕金刚, 王炬川, 褚春华, 李丽群, 刘荣, 雷红民. 2006. 青藏高原可可西里卧龙岗二长花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及地质意义. 地质通报, 25(6): 721-724

穆利修, 王宏远, 罗宏伟. 2006. 藏北若位岗日 C-P1 裂谷带的发现及意义. 新疆地质, 24(3): 16-23

潘桂棠, 王立全, 李兴振, 王洁民, 徐强. 2001. 青藏高原区域构造格局及其多岛弧盆系的空间配置. 沉积与特提斯地质, 21(3): 1-26

任纪舜, 肖黎薇. 2004. 1∶25万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱. 地质通报, 23(1): 1-11

孙晓猛, 聂泽同, 梁定益. 1994. 滇西北金沙江蛇绿混杂岩的形成时代及大地构造意义. 现代地质, 8(3): 241-246

孙晓猛, 聂泽同, 梁定益. 1995. 滇西北金沙江缝合带硅质岩沉积环境的确定及大地构造意义. 地质论评, 41(2): 174-179

孙晓猛, 聂泽同, 梁定益. 1997. 滇西北金沙江蛇绿岩、蛇绿混杂岩的形成环境及时代. 地质论评, 43(3): 113-120

孙晓猛, 简平. 2004. 滇川西部金沙江古特提斯洋的威尔逊旋回. 地质论评, 50(4): 343-350

唐专红, 陆济璞, 李玉昆, 张能, 黄位鸿, 唐娟红. 2007. 西藏尼玛北部图北湖一带硅质岩中发现中三叠世放射虫化石. 地质通报, 26(1): 73-76

万天丰. 2007. 中国大地构造学纲要. 北京: 地质出版社, 121-124

王乃文. 1984. 青藏印度古陆及其与华夏古陆合并. 中法喜马拉雅考察成果(1980). 北京: 地质出版社, 26-89

汪啸风, 简平, 何龙清等. 1999a. 金沙江缝合带元古宙残留基底的发现——来自同位素地质年龄的证据. 华南地质与矿产, (2): 53-58

汪啸风, Metacalfe L, 简平, 何龙清, 王传尚. 1999b. 金沙江缝合带构造地层划分及时代厘定. 中国科学(D辑), 29(4): 288-287

王永文, 王玉德, 李善平, 张林. 2004. 西金乌兰构造混杂岩特征. 西北地质, 37(3): 15-20

王立全, 潘桂棠, 李定谋, 徐强, 林仕良. 1999. 金沙江弧-盆系时空结构及地史演化. 地质学报, 73(3): 206-218

吴根耀. 2006. 藏东左贡地区碧土蛇绿岩: 古特提斯主洋盆的地质记录. 地质通报, 25(6): 685-693

西藏自治区地质矿产局. 1993. 西藏自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 89-304

尹集祥. 1997. 青藏高原及邻区冈瓦纳相地层地质学. 北京: 地质出版社, 1-21

张旗, 周德进, 赵大升, 彭兴阶, 罗万林, 刘祥品. 1996. 滇西古特提斯造山带的威尔逊旋回: 岩浆活动记录和深部过程讨论. 岩石学报, 12(1): 17-18

张旗, 周国庆. 2001. 中国蛇绿岩. 北京: 科学出版社, 71-81

赵仁夫, 朱迎堂, 周庆华, 王满仓, 李建新, 孙南一. 2004. 青海玉树地区三叠纪地层之下角度不整合面的发现及意义. 地质通报, 23(5-6): 616-620

周祥. 1984. 西藏板块构造-建造图及说明书. 北京: 地质出版社, 1-200

朱迎堂, 郭通珍, 彭伟, 杨延兴, 陈海清, 史连昌, 王永文, 保光普, 陈建, 韩海臣. 2004a. 可可西里幅地质调查新成果及主要进展, 地质通报, 23(5-6): 543-547

朱迎堂, 伊海生, 杨延兴, 郭通珍, 彭伟, 陈海清. 2004b. 青海西金乌兰湖地区移山湖晚泥盆世辉绿岩群——西金乌兰洋初始裂解的重要证据. 沉积与特提斯地质, 24(3): 38-43

朱迎堂. 2006. 可可西里-巴颜喀拉三叠纪沉积盆地的形成及演化. 博士学位论文. 成都: 成都理工大学

朱迎堂, 田景春, 白先海, 余存莲, 张翔, 肖玲, 曹桐生. 2009. 青海C-T岩相古地理. 古地理学报, 11(4): 384-393