中国科学 D 辑: 地球科学
2007 年 第 37 卷 第 7 期: 866~872
http://www.scichina.com

《中国科学》杂志社
SCIENCE IN CHINA PRESS

西藏羌塘中部古特提斯洋残片?

——来自果干加年山变质基性岩地球化学证据

翟庆国[①②] 李 才[②*] 黄小鹏[②]

(① 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; ② 吉林大学地球科学学院, 长春 130061)

摘要 羌塘中部果干加年山发现一套 N-MORB 型变质基性岩, 岩石主要为具有残余堆晶结构的辉长岩和玄武岩. 岩石呈近东西向分布, 以角度不整合产在上三叠统望湖岭组之下. 地球化学分析表明, SiO_2 含量在 45.18%~53.42%之间, TiO_2 含量在 1%~2.67%之间, Al_2O_3 含量在 16.75%~21.52%之间, CaO 含量在 7.03%~11.13%之间, K_2O 含量在 0.05%~0.38%; 稀土元素配分曲线呈弱亏损型至平坦型, 微量元素比值蛛网图与洋中脊玄武岩的类似, 结合其地球化学特征认为, 变质基性岩原岩可能形成于大洋中脊或成熟的弧后盆地环境, 推测其为古特提斯洋的残片.

关键词 羌塘 变质基性岩 古特提斯 蛇绿岩 地球化学

羌塘中部地区是否存在蛇绿岩已争论了近 20 年 [1~4], 争论的焦点主要集中在该地区是否存在典型洋中脊特征的岩石. 近年来的地质调查和研究工作表明, 羌塘南、北沉积建造和古生物组合差别很大, 前二叠系羌南地区主要为亲冈瓦纳相沉积建造, 古生物组合以冷水型为主, 到二叠纪中期向冷暖混合型过渡; 羌北地区主要为亲劳亚大陆相沉积建造, 古生物组合以暖水型为主, 晚二叠世产大羽羊齿植物化石 [1,3,5~7]. 羌塘中部沿冈玛错-绒玛-双湖-线出露有蓝片岩, 以及最近报道的低温型榴辉岩 [1,3,8~10], 表明羌塘中部地区可能存在古俯冲带.

羌塘中部地区存在古板块缝合带, 那么作为缝合带的重要标志的蛇绿岩在哪里? 过去所报道的"蛇绿岩", 岩石组合不全, 并且地球化学上多具有富集的特点, 对于它是否为真正意义上的蛇绿岩争论很大 [1~4]. 本文报道我们最近在果干加年山(日)发现的一套具有大洋中脊玄武岩特征的变质基性岩, 并探讨其大地构造意义.

1 地质概况

果干加年山位于羌塘的中心部位, 在大地构造上位于冈瓦纳大陆与劳亚大陆的交汇部位, 处在龙木错－双湖板块缝合带的南侧 [3], 是研究大陆碰撞、增生以及特提斯洋演化的重要窗口, 也是西藏地区开展地质研究工作最早的地区之一 [11], 同时由于特殊的地理位置, 该地区研究程度很低, 对于果干加年山的物质组成及其构造属性仍未搞清楚, 争论很大. 20 世纪 80 年代的 1∶100 万区域地质调查, 将出露于该地区的不含化石的浅变质岩系统称为戈木日群, 时代为前泥盆纪, 并可能为前寒武纪 [12], 据此很多人称之为羌塘的结晶基底或褶皱基底 [6,13~21]. 王国芝等 [22]根据同位素年龄对羌塘基底进行了解体和厘定, 认为果干加年山存在元古宙的变质基底, 然而却受到了质疑, 认为羌塘中部的浅变质岩系主体时代为晚石炭世 [23].

2004 年, 我们对果干加年山进行了详细的地质调查, 编制了地质图(图 1). 果干加年山山体主要由

收稿日期: 2006-05-22; 接受日期: 2006-09-11
国家自然科学基金(批准号: 40672147)、中国地质调查局项目(批准号: 200313000054, 200313000015, 1212010561605)资助
* 联系人, E-mail: Licai010@126.com

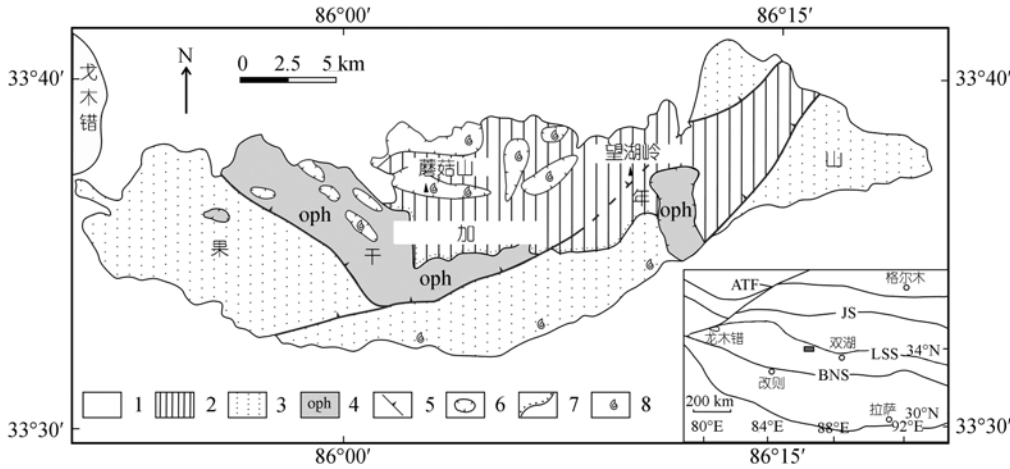

图 1　西藏羌塘中部果干加年山地质图

1. 新生界; 2. 上三叠统; 3. 上石炭统; 4. 蛇绿混杂岩; 5. 断层; 6. 外来岩块; 7. 角度不整合; 8. 化石点; BNS 示班公湖-怒江缝合带; LSS 示龙木错-双湖缝合带; JS 示金沙江缝合带; ATF 示阿尔金断裂

上石炭统、上三叠统、变质基性岩和大量的外来岩块组成, 四周被新生代沉积物覆盖. 上石炭统展金组主要以板岩、片岩和石英岩为主, 岩石中见有同变形变质的玄武岩夹层和辉绿岩岩脉, 并有较多的小型石英脉; 另外在中部地区还出露有较多的灰黑色或浅紫红色灰岩, 岩石中含有大量的珊瑚类化石, 初步鉴定时代为晚石炭世. 上三叠统望湖岭组以角度不整合在上石炭统和变质基性岩之上, 主要由砾岩、灰黑色灰岩、角砾状灰岩, 中酸性火山岩、火山碎屑岩、砂岩和硅质粉砂岩组成, 底部砾岩中含有大量下伏灰岩、变质基性岩和石英岩砾石. 在上三叠统和变质基性岩的分布区域内, 见有大量大小不等的紫灰色、灰黑色结晶灰岩、角砾状灰岩、层孔虫礁灰岩块体, 含有大量腹足和珊瑚类生物化石, 呈外来岩块状产出.

变质基性岩主要出露于果干加年山中西部, 呈北西-南东向长条状分布, 宽约 4 km, 长约 20 km, 角度不整合在上三叠统望湖岭组之下, 与上石炭统片岩、石英岩以断层接触, 少量呈“飞来峰”产在东部及望湖岭南侧的晚石炭世和晚三叠世地层中(图 1). 另外, 在岩体的分布区域也出露有大小不等的灰岩外来岩块, 这表明基性岩形成后, 该地区至少经历了一次较强的构造事件. 上三叠统望湖岭组以角度不整合在变质基性岩之上, 表明基性岩形成的时代应该早于晚三叠世. 变质基性岩呈块状或片状产出, 主要岩石类型有变质堆晶岩和变质玄武岩, 并有少量蛇纹岩, 可见变质残余的堆晶结构(蛇纹岩与变质辉长岩互层产出). 变质基性岩主要经历了绿片岩相变质作用, 局部达高绿片岩相、低角闪岩相, 变形变质程度不均一, 变形较强的地区岩石片理发育, 可见定向排列的针柱状矿物(阳起石). 变质基性岩主体变质作用程度不高, 局部地方依然保留有原岩的堆晶结构, 暗色和浅色条带明显. 岩石主要由阳起石构成(含量>90%), 并有少量绿帘石、钠长石和绿泥石, 局部地方见有变质残余的辉石和少量石榴石、白云母.

2　变质基性岩地球化学特征

果干加年山变质基性岩的化学成分分析结果见表 1. 变质基性岩SiO_2含量在 45.18%~53.42%之间, 平均为 47.49%, TiO_2含量在 1.43%~2.67%之间, 平均为 2.00%, Al_2O_3含量在 16.75%~19.97%之间, 平均为 18.20%, CaO 含量在 7.03%~11.02%之间, 平均为 9.63%. $Mg^{\#}$在 0.30~0.47 之间, CaO/Al_2O_3比值在 0.38~0.62 之间, 表明变质基性岩经历过较高程度的分离结晶作用. 在对岩石进行分类和构造环境讨论时, 考虑到岩石发生了一定程度的变质作用, K, Na和低场强元素(LFSE)Cs, Rb, Sr, Ba等, 在变质作用过程中为活泼性元素, 有可能发生迁移, 因此, 我们主要采用不活泼的高场强元素(HFSE)Ti, Zr, Y, Nb, Ta, Hf和Th与稀土元素对变质基性岩进行讨论 [24]. 在变质基性岩SiO_2-Zr/TiO_2(图 2)[25]和Zr/TiO_2-Nb/Y图解上(图 3)[25], 样品点多数落在拉斑玄武岩的范围内.

变质基性岩稀土元素总量不高(ΣREE 平均为 52.46×10^{-6}), 稀土元素球粒陨石标准化曲线为略亏

表 1 羌塘中部果干加年山变质基性岩主量、微量和稀土元素分析结果 a)

样品号	1627b2	GL01	GL02	GL03	GL04	GL05	GL06	GL07	平均
SiO_2	46.46	47.02	45.18	46.62	45.65	47.62	53.42	47.95	47.49
TiO_2	2.67	1.73	1.9	1.43	1.93	2.16	2.17	1.97	2.00
Al_2O_3	17.08	17.58	19.5	19.97	19.6	18.05	17.05	16.75	18.20
Fe_2O_3	3	3.1	3.26	3.49	2.9	3.8	3.6	4	3.39
FeO	7.74	7.14	7.2	7.1	6.7	4	7.03	7.19	6.76
MnO	0.17	0.24	0.18	0.3	0.24	0.25	0.29	0.35	0.25
MgO	7.05	7.12	6.5	7.78	7.56	7.8	5.08	7.28	7.02
CaO	10.26	10.7	11.02	7.5	9.71	10.34	7.03	10.44	9.63
Na_2O	2.83	2.37	2.5	3.33	2.82	3.22	2.77	2.26	2.76
K_2O	0.12	0.38	0.25	0.05	0.19	0.06	0.14	0.09	0.16
P_2O_5	0.71	0.41	0.33	0.43	0.3	0.4	0.44	0.37	0.42
CO_2	0.65	0.8	0.7	0.5	0.8	0.7	0	0.2	0.54
LOI	1.05	1.1	1.3	1.1	1.13	1.23	0.69	0.66	1.03
总计	99.79	99.69	99.82	99.6	99.53	99.63	99.71	99.51	99.66
K	996	3154	2075	415	1577	498	1162	747	1328
Ba	36.2	35.42	49.89	19.1	23.3	21.5	32.1	27.8	30.66
Rb	2.6	10.3	11.2	3.4	6	4.4	5.6	3.5	5.88
Sr	171	136	129	153	113	107	94.9	65.9	121.23
Ta	0.48	0.55	0.37	0.35	0.24	0.14	0.24	0.42	0.35
Nb	7.08	5.36	3.1	3.29	2.34	1.73	2.63	4.95	3.81
Hf	2.9	2	1.9	3.1	1.8	2.7	4.3	2.6	2.66
Zr	115	51.8	56.2	120	55.2	69.8	165	60	86.63
Ti	16007	10371	11391	8573	11570	12949	13009	11810	11960
Y	33.33	21.54	21.59	41.54	28.12	24.18	43.95	25.85	30.01
Th	0.23	0.3	0.16	0.28	0.07	0.11	1.52	0.4	0.38
U	0.1	0.31	0.12	0.13	0.2	<0.1	0.41	0.17	0.21
La	6.38	2.37	2.19	5.09	2.36	2.7	6.66	3.25	3.88
Ce	17.79	6.42	6.07	15.11	6.37	7.97	18.16	8.17	10.76
Pr	2.99	1.08	1.09	2.6	1.17	1.39	3.04	1.34	1.84
Nd	14.8	5.85	5.97	14.04	6.83	7.69	15.78	6.97	9.74
Sm	4.56	2.18	2.27	4.9	2.43	2.69	5.69	2.63	3.42
Eu	1.65	0.87	0.92	1.81	1	1.09	1.74	1.09	1.27
Gd	5.91	3.26	3.41	6.71	3.77	3.81	7.58	3.9	4.79
Tb	1.09	0.62	0.68	1.24	0.77	0.65	1.31	0.71	0.88
Dy	6.9	4.41	4.56	8.25	5.27	4.63	8.99	4.98	6.00
Ho	1.42	0.92	1.02	1.71	1.18	0.96	1.94	1.08	1.28
Er	4.15	2.75	2.83	5.02	3.38	2.98	5.82	3.38	3.79
Tm	0.66	0.44	0.48	0.81	0.54	0.45	0.82	0.51	0.59
Yb	3.93	2.65	2.86	4.99	3.5	2.86	5.14	3.2	3.64
Lu	0.61	0.45	0.49	0.77	0.54	0.41	0.86	0.53	0.58
REE	72.84	34.27	34.84	73.05	39.11	40.28	83.53	41.74	52.46
LREE	48.17	18.77	18.51	43.55	20.16	23.53	51.07	23.45	30.90
HREE	24.67	15.50	16.33	29.50	18.95	16.75	32.46	18.29	21.56
L/H	1.95	1.21	1.13	1.48	1.06	1.40	1.57	1.28	1.39
$(La/Yb)_N$	1.10	0.60	0.52	0.69	0.46	0.64	0.88	0.69	0.70
$(La/Sm)_N$	0.88	0.68	0.61	0.65	0.61	0.63	0.74	0.78	0.70
δEu	0.97	1.00	1.01	0.96	1.01	1.04	0.81	1.04	0.98

a) 主量元素由中国科学院地球化学研究所测试，微量和稀土元素由湖北地质实验室研究所武汉综合岩矿测试中心测试；主量元素含量 $\times 10^{-2}$，微量和稀土元素 $\times 10^{-6}$

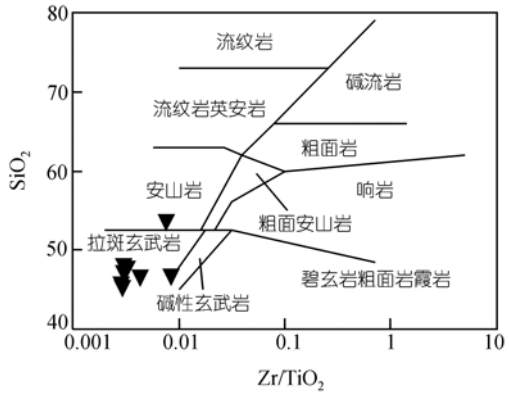

图 2　SiO_2-Zr/TiO_2 岩石分类图解 [25]

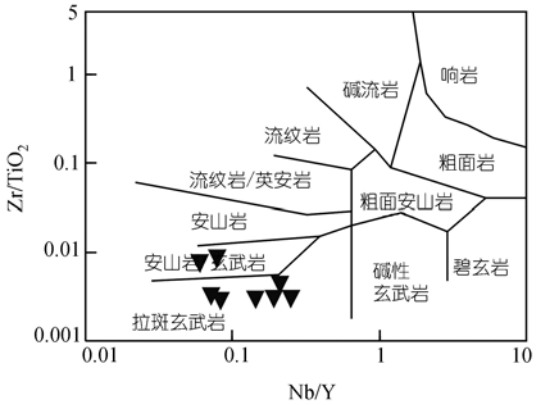

图 3　Zr/TiO_2-Nb/Y岩石分类图解 [25]

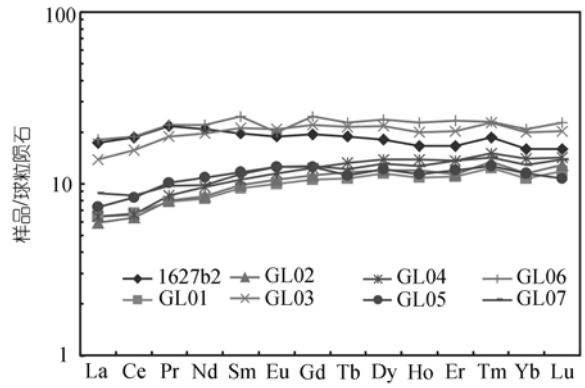

图 4　变质基性岩稀土配分曲线

球粒陨石REE值据文献 [26]

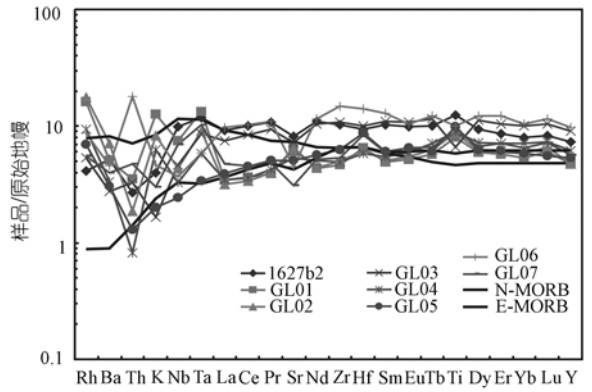

图 5　变质基性岩微量元素蛛网图

原始地幔、N-MORB和E-MORB值据文献 [27]

损型至平坦型(图 4)[26], 多数样品无Eu异常(δEu平均为 0.98), 仅样品GL06 有较明显的负Eu异常, 表明有斜长石分离结晶. 变质基性岩中 5 个样品(GL01, GL02, GL04, GL05 和GL07)LREE含量低并略亏损, $(La)_N$在 5.97~8.86 之间, $(La/Yb)_N$在 0.46~0.70 之间, $(La/Sm)_N$在 0.61~0.78 之间, 这些特征与N-MORB[27]、三江地区的八布蛇绿岩 [28]、双沟蛇绿岩 [29]和铜厂街蛇绿岩 [30]类似. 另外 3 个样品(1627b2, GL03 和GL06) LREE含量略高, $(La)_N$在 13.87~18.15 之间, $(La/Yb)_N$在 0.69~1.10 之间, $(La/Sm)_N$在 0.65~0.88 之间. 微量元素中Rb, Ba和Ta含量相对较富集, Hf和Ti轻微富集, Th, K和Sr亏损, Nb和Zr亏损不明显, 其中Rb和Ba在变质作用过程中为活泼元素, 它们的富集可能是基性岩发生变质作用所致, 而Ta富集可能是分析误差所致(Ta=Nb/17). 在变质基性岩微量元素比值蛛网图(以原始地幔为标准)(图 5)[27]上, 除 3 个样品(1627b2, GL03 和GL06)的微量元素丰度略高于N-MORB外, 变质基性岩微量元素分布曲线与典型N-MORB 类似.

3　变质基性岩形成的构造环境探讨

为了避免变质作用对岩石的影响, 在对其形成的构造环境讨论时, 主要采用不活动的高场强元素和稀土元素 [24]. 以上分析表明变质基性岩具有与N-MORB类似的微量和稀土元素特征. 在对岩石微量和稀土元素比值计算后发现(表 2), 变质基性岩具有较低的Ce/Zr (平均为 0.12), Th/Yb(平均为 0.10), Th/La(平均为 0.09), Zr/Y(平均为 2.78), $(La/Yb)_N$(平均为 0.70)和$(La/Sm)_N$(平均为 0.70)值, 较高的La/Nb(平均为 1.17), Zr/Nb(平均为 27.41)和Y/Nb(平均为 9.53)值, 这些特征与N-MORB相似, 而与WPB和OIB差别很大 [27]. 在玄武岩构造环境判别图解上(图 6~9)[31~34], 变质基性岩的点多数位于N型大洋中脊玄武岩的区域内, 这与岩石微量元素和稀土元素特征相一致.

表 2 羌塘中部变质基性岩的不相容元素比值 a)

样品号	La/Nb	Ce/Zr	Zr/Nb	Y/Nb	Th/Yb	Th/La	Zr/Y	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$
1627b2	0.90	0.15	16.24	4.71	0.06	0.04	3.45	1.10	0.88
GL01	0.44	0.12	9.66	4.02	0.11	0.13	2.40	0.60	0.68
GL02	0.71	0.11	18.13	6.96	0.06	0.07	2.60	0.52	0.61
GL03	1.55	0.13	36.47	12.63	0.06	0.06	2.89	0.69	0.65
GL04	1.01	0.12	23.59	12.02	0.02	0.03	1.96	0.46	0.61
GL05	1.56	0.11	40.35	13.98	0.04	0.04	2.89	0.64	0.63
GL06	2.53	0.11	62.74	16.71	0.30	0.23	3.75	0.88	0.74
GL07	0.66	0.14	12.12	5.22	0.13	0.12	2.32	0.69	0.78
平 均	1.17	0.12	27.41	9.53	0.10	0.09	2.78	0.70	0.70
OIB	0.77	0.29	5.80	0.80	1.85	1.32	9.66	12.29	2.39
E-MORB	0.76	0.21	8.80	3.50	0.25	1.30	3.32	1.91	1.56
N-MORB	1.07	0.10	31.80	11.20	0.04	0.93	2.64	0.59	0.61

a) N-MORB, E-MORB和OIB的数据根据文献 [27], La_N, Yb_N和 Sm_N是原始地幔标准化值，原始地幔数据根据文献 [27]

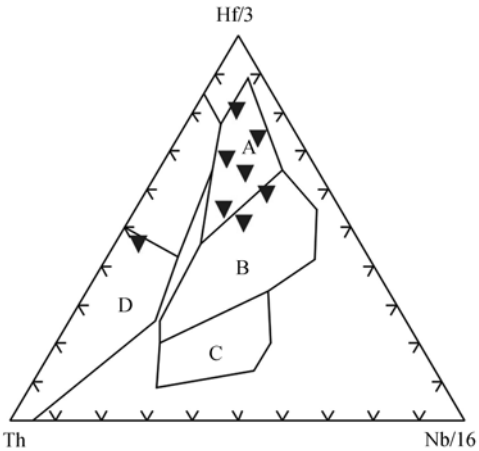

图 6 变质基性岩Th-Hf-Ta图解 [31]

A 为 N 型大洋中脊玄武岩; B 为 E 型大洋中脊玄武岩和板内拉斑玄武岩; C 为碱性板内玄武岩; D 为火山弧玄武岩

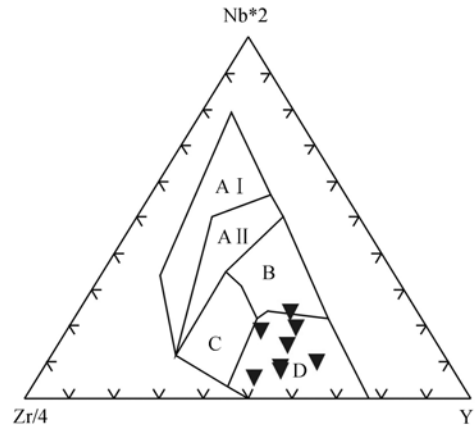

图 7 变质基性岩Zr-Nb-Y图解 [32]

A Ⅰ为板内碱性玄武岩; A Ⅱ为板内碱性玄武岩和碱性拉斑玄武岩; B 为 E 型洋中脊玄武岩; C 为板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩; D 为 N 型洋中脊玄武岩和火山弧玄武岩

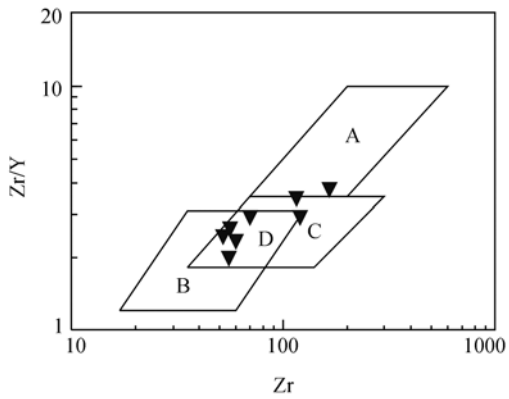

图 8 玄武岩Zr/Y-Zr图解 [33]

A 为板内玄武岩; B 为岛弧玄武岩; C 为洋中脊玄武岩; D 为洋中脊玄武岩和岛弧玄武岩

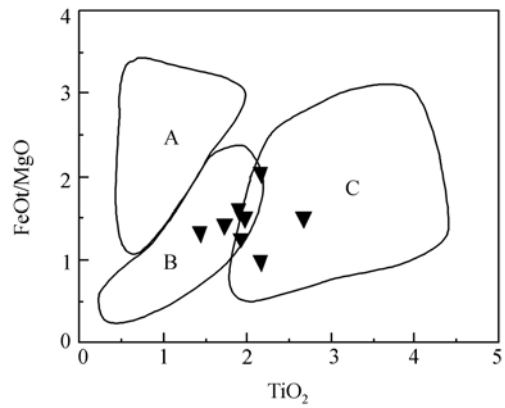

图 9 玄武岩FeOt/MgO-TiO_2 图解 [34]

A 为岛弧玄武岩; B 为大洋中脊玄武岩; C 为洋岛玄武岩

综上所述, 果干加年山变质基性岩的微量元素和稀土元素特征表明, 它与N-MORB具有明显的相似性, 而与WPB和OIB的差别比较明显, 岩浆起源于亏损地幔. 具有这种特征的岩石很可能形成于大洋环境, 如大洋中脊或成熟的弧后盆地, 而与大陆及岛弧环境无关[35], 这也和岩石Nb, Zr和Ti无负异常或负异常不明显相一致. 现有资料尚不能鉴别出果干加年山变质基性岩形成于大洋中脊, 还是弧后盆地, 但不管它源于哪种环境, 都指示了该地区曾经存在一定规模的古洋盆. 因此, 在羌塘中部地区曾经存在有一定规模的古洋盆, 而果干加年山N-MORB型变质基性岩是该古洋盆的直接证据.

尽管目前还不知道变质基性岩的准确年龄, 但根据其上覆上三叠统望湖岭组底部砾岩中含有大量变质基性岩砾石, 推测蛇绿岩的侵位时代或该处洋盆的闭合时代在晚三叠世之前. 根据近年来的研究资料[3,6,9,36~40]及野外地质调查表明, 羌塘中部戈木日、玛依岗日、雪水河和角木日等地区, 零星出露有大小不等的超基性岩岩体, 并伴生有大量基性岩侵入岩、玄武岩类和硅质岩, 以角木日地区最为典型, 时代为二叠纪[40]. 对于这些岩石是形成于大陆板内环境的岩石, 还是蛇绿岩争论很大[1~4]. 新近的区域地质调查表明, 该地区二叠纪既存在大陆板内的玄武岩, 又有类似于洋岛型的玄武岩[1]. 而角木日地区的二叠纪玄武岩具有洋岛和大洋中脊共有的特征, 可能形成于大洋中脊且距离洋岛不远的区域, 与三江地区准洋脊型玄武岩类似[41], 相邻地区的才玛尔错等地区也报道有二叠纪洋岛型岩石组合[4,17], 支持此时羌塘中部地区洋盆的存在. 此外, 冈玛错蓝片岩的研究表明蓝片岩原岩为洋岛型碱性玄武岩[42], 高压变质作用发生在早二叠世早期[43], 蓝片岩原岩应形成于高压变质作用之前, 也就是说, 羌塘中部地区在早二叠世之前就可能存在洋岛型玄武岩, 即存在一定规模的洋盆. 因此, 自二叠纪早期开始至晚三叠世羌塘中部地区存在或大或小的洋盆, 把羌塘分为羌南和羌北两个地块, 果干加年山N-MORB型变质基性岩便形成于此洋盆, 这和石炭纪—二叠纪羌塘南北两侧古生物组合和沉积建造差别很大相一致[1,6~7]. 果干加年山N-MORB特征的变质基性岩很有可能是被肢解的古特提斯洋洋壳残片.

三江地区古特提斯洋西延问题至今为止仍没有解决, 前人根据地层、古生物及低温高压变质带的研究, 推测昌宁-孟连带应该延伸到羌塘中部地区, 与龙木错-双湖缝合带相连[1,9,43,44], 然而羌塘地区尚缺少与之相对应的蛇绿岩. 近年来羌塘地区地质研究工作取得了很大进展, 尤其是蓝片岩和典型低温型榴辉岩的发现[8~10], 进一步支持羌塘中部存在板块缝合带. 然而作为板块缝合带重要标志之一的蛇绿岩的研究工作进展不大, 过去所报道的"蛇绿岩"[3]多不具备完整的蛇绿岩组合, 并且地球化学上多显示出某种富集的特征, 对于它是否为真正意义上的蛇绿岩争论很大[4,35]. 果干加年山N-MORB型变质基性岩是羌塘中部地区首次报道的具有明显蛇绿岩特征的基性岩, 它的发现不仅对认识羌塘地区的构造演化具有重要的意义, 同时对这些变质基性岩开展进一步野外地质调查、同位素年代学和地球化学研究, 探讨它与三江地区蛇绿岩的关系, 对进一步认识古特提斯洋盆的分布、演化以及羌塘地区古板块构造格局的恢复均具有十分重要的意义.

致谢　成文过程中得到了肖序常院士的指导, 两位审稿专家对本文的修改建议提高了论文质量, 参加野外工作的还有程立人、张以春、陈寿明等, 在此一并致以衷心的感谢.

参　考　文　献

1　李才. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界. 长春地质学院学报, 1987, 17(2): 155—166
2　王成善, 胡承祖, 吴瑞忠, 等. 西藏北部查桑-茶布裂谷的发现及其地质意义. 成都地质学院学报, 1987, 14(2): 33—46
3　李才, 程立人, 胡克, 等. 西藏龙木错-双湖古特提斯缝合带研究. 北京: 地质出版社, 1995. 1—45
4　邓万明, 尹集祥, 闵中平. 羌塘茶布-双湖地区基性超基性岩、火山岩研究. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1996, 26(4): 296—301
5　李星学, 姚兆奇, 朱家楠, 等. 西藏北部双湖地区晚二叠世植物群. 西藏古生物, 第五分册. 北京: 科学出版社, 1982. 1—16
6　西藏地质矿产局. 西藏自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993
7　尹集祥. 青藏高原及邻区冈瓦纳相地层地质学. 北京: 地质出版社, 1997. 1—121
8　鲍佩声, 肖序常, 王军, 等. 西藏中北部双湖地区蓝片岩带及其构造涵义. 地质学报, 1999, 73(4): 302—314
9　邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 藏北羌塘中部冈玛日-桃形错蓝片岩的发现. 地质科学, 2000, 35(2): 227—232

1) 吉林大学地质调查研究院. 1∶25 万玛依岗日幅区域地质调查报告. 2006

10 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 青藏高原羌塘中部榴辉岩的发现及其意义. 科学通报, 2006, 51(1): 70—74

11 Hennig A. Zur petrographie und geologie von sudwest Tibet. In Southern Tibet, edited by Hedin S. Lithogr Inst Swed Army, Norstedt, Stockholm, 1915, 5: 220

12 西藏区域地质调查大队. 1∶100 万改则幅地质调查报告. 1986

13 胡承祖, 吴瑞忠, 张懋功, 等. 藏北双湖地区地质构造特征. 青藏高原地质文集(9). 北京: 地质出版社, 1986. 41—56

14 黄继钧. 羌塘盆地基底构造特征. 地质学报, 2001, 75(3): 333—337

15 黄继钧. 藏北羌塘盆地构造特征及演化. 中国区域地质, 2001, 20(2): 178—186

16 Li C, Zheng A Z. Paleozoic stratigraphy in the Qiangtang region of Tibet: relations of the Gondwana and Yangtze continents and ocean closure near the end of the Carboniferous. Int Geol Rev, 1993, 35(9): 797—804

17 李曰俊, 吴浩若, 李红生, 等. 藏北阿木岗群, 查桑群和鲁谷组放射虫的发现及有关问题讨论. 地质论评, 1997, 43(3): 250—256

18 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 1997. 121—128

19 吴瑞忠, 胡承祖, 王成善,等. 藏北羌塘地区地层系统. 青藏高原地质文集(9). 北京: 地质出版社, 1986. 1—32

20 吴瑞忠. 藏北双湖查桑地区中泥盆统的发现及其地质意义. 青藏高原地质文集(9). 北京: 地质出版社, 1986. 33—40

21 肖序常, 李廷栋, 李光岑, 等. 喜马拉雅岩石圈演化总论. 中华人民共和国地质矿产部, 地质专报, 五, 构造地质, 地质力学, 第 7 号. 北京: 地质出版社, 1988. 31—48

22 王国芝, 王成善. 西藏羌塘基底变质岩系的解体和时代厘定. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2001, 31(增刊): 77—82

23 李才. 羌塘基底质疑. 地质论评, 2003, 49(1): 5—9

24 Mullen E D. $MnO/TiO_2/P_2O_5$: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. Earth Planet Sci Lett, 1983, 62: 53—62[DOI]

25 Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chem Geol, 1977, 20: 325—343

26 Tayloy S R, Mclennan S M. The continental crust: its composition and evolution. Oxford: Blackwell, 1985

27 Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basins. London: Geol Soc Spec Pub, 1989, 42: 528—548

28 钟大赉, 吴根耀, 季建清, 等. 滇东南发现蛇绿岩. 科学通报, 1998, 43(13): 1365—1370

29 张旗, 周德进, 李秀云, 等. 云南双沟蛇绿岩的特征和成因. 岩石学报, 1995, 11(增刊): 190—202

30 张旗, 李达周, 张魁武. 云南省云县铜厂街蛇绿混杂岩的初步研究. 岩石学报, 1985, 1(3): 1—14

31 Wood D A. 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 Planet Sci Lett, 1980, 50: 11—30[DOI]

32 Meschede M. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. Chem Geol, 1986, 56: 207—218[DOI]

33 Pearce J A, Norry M J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. Contrib Mineral Petrol, 1979, 69: 33—47

34 Glassily W. Geochemistry and tectonics of the Grescent volcanic rocks, Olympic Peninsula, Washington. Geol Soc Am Bull, 1974, 85: 785—794

35 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩. 北京: 科学出版社, 2001. 1—92

36 李才, 翟庆国, 程立人, 等. 青藏高原羌塘地区几个关键地质问题的思考. 地质通报, 2005, 24(4): 295—301

37 Kapp P, Yin An, Craig E M, et al. Taylor, Tectonic evolution of the early Mesozoic blueschist-bearing Qiangtang metamorphic belt, central Tibet. Tectonics, 2003, 22, No. 4, 1043, doi: 1029/2002TC001386[DOI]

38 Yin An, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalaya- Tibetan orogen. Annu Rev Earth Planet Sci, 2000, 28: 211—280[DOI]

39 潘桂棠, 丁俊. 青藏高原及邻区地质图(1∶1500000). 成都: 成都地图出版社, 2004

40 翟庆国, 李才, 程立人, 等. 西藏羌塘角木日地区二叠纪蛇绿岩地质特征及构造意义. 地质通报, 2004, 23(12): 1228—1230

41 翟庆国, 李才, 黄小鹏. 西藏羌塘角木日地区二叠纪玄武岩地球化学特征及构造意义. 地质通报, 2006, 25(12): 1419—1427

42 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 青藏高原羌塘中部蓝片岩的地球化学特征及其构造意义. 岩石学报, 2002, 18(4): 517—525

43 邓希光, 丁林, 刘小汉, 等. 青藏高原羌塘中部冈玛日地区蓝闪石片岩及其 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年代学. 科学通报, 2000, 45(21): 2322—2326

44 刘本培, 冯庆来, Chonglakmani C, 等. 滇西古特提斯多岛洋的结构及其南北延伸. 地学前缘, 2002, 9(3): 67—77