

# 柴达木盆地北缘新元古代蛇绿岩的厘定

## ——罗迪尼亚大陆裂解的证据？

杨经绥，史仁灯，吴才来，陈松永

(中国地质科学院地质研究所大陆动力学实验室,北京 100037)

**摘要** 柴达木盆地北缘鱼卡河及绿梁山一带“奥陶纪”滩涧山群中分出一套“新元古代”的蛇绿岩组合,主要由玄武质(枕状)熔岩、岩墙群、辉长岩等古洋壳岩石组成,其中以MORB和岛弧玄武岩为主,岩石变质程度达角闪岩相。蛇绿岩洋壳的Rb-Sr同位素等时线年龄值为 $768 \text{ Ma} \pm 39 \text{ Ma}$ , Sm-Nd同位素等时线年龄值 $780 \text{ Ma} \pm 22 \text{ Ma}$ 。这套古洋壳岩石与典型的奥陶纪(约500 Ma)火山岩不同,后者主要为中基性岛弧火山岩,岩石仅发生轻微绿片岩相变质;而前者与榴辉岩的成分可以对比,并且与榴辉岩原岩的时代(750~800 Ma)相同。推断绿梁山的海底玄武质岩类可能就是榴辉岩的原岩,祁连地区新元古代蛇绿岩洋盆是在罗迪尼亚大陆大约800~750Ma发生裂解的基础上形成的。

**关键词** 蛇绿岩,新元古代,绿梁山,祁连山,柴达木盆地北缘,青藏高原

中图分类号:P534.3;P542\*.4

文献标识码:A

文章编号:1671-255X(2004)09-10-0892-07

祁连山位于青藏高原东北缘,以发育完好的北祁连早古生代蛇绿岩及与其相伴的蓝片岩带而著名<sup>[1-4]</sup>。近些年,在南祁连的柴达木盆地北缘一带发现了一条长近350 km的榴辉岩超高压变质带<sup>[5-8]</sup>,再次引起了人们对祁连山和柴北缘地质背景和大地构造意义的关注。

前人认为柴北缘存在一条早古生代蛇绿岩<sup>[9,10]</sup>,但对蛇绿岩的认识差距很大。张之孟等<sup>[9]</sup>在其概括中国板块构造的一篇文章中较早地提到柴北缘有条蛇绿岩带,时代为早古生代,上部被泥盆纪磨拉石不整合。但该文没有提供具体研究资料和蛇绿岩的证据。赖绍聪等<sup>[10]</sup>在其有关柴北缘蛇绿岩的文章中,笼统地将地幔橄辉岩、石榴子石橄辉岩、辉长岩和熔岩归为蛇绿岩的组合,但没有蛇绿岩组合中通常存在的枕状熔岩及岩墙群等,尤其缺少同位素年代学资料。人们通常认为石榴子石橄辉岩是典型的超高压变质岩石类型,并不属蛇绿岩组合<sup>[11,12]</sup>。最近,韩英善等<sup>[13]</sup>认为沙柳河东边存在托莫日特蛇绿岩杂岩带,但孙延贵等<sup>[14]</sup>认为该蛇绿岩不存在,它应属没有洋壳出现的陆缘裂谷环境下的一种似蛇绿岩组合。对柴北缘一带出露的大量基性超镁铁岩和火山岩,持陆缘裂谷或陆内裂陷槽成因观点的还有许多人,如郭介人等<sup>[15]</sup>、熊兴武等<sup>[16]</sup>。由此看来,柴北缘这套镁铁超镁铁岩岩石类型较为复杂,可能存在不止一套岩石组合和多种成因,但以往的研究较为薄

弱,尤其是柴北缘究竟是否存在蛇绿岩及其形成时代是一个尚未解决的问题,本文拟在这方面进行一些初步探讨。

### 1 柴北缘绿梁山蛇绿岩的识别

柴北缘西起赛什腾山的吉绿素,向东经绿梁山至锡铁山,断续分布一条NW—SE走向的火山岩系,长逾100 km,宽近20 km(图1),前人将其归属为滩涧山群<sup>[17]</sup>,与下伏达肯大坂群元古宙变质基底为断层或不整合接触,与上覆上泥盆统、下石炭统、侏罗系、白垩系及第三纪沉积呈断层或高角度不整合接触。

前人将滩涧山群的时代定为晚奥陶世—志留纪,除火山岩系外,还包括一套碎屑岩夹生物碎屑灰岩地层<sup>[17]</sup>。滩涧山群这套火山岩系岩石类型复杂,主要为一套镁铁—超镁铁岩,其中包括橄辉岩、辉石岩、辉长岩及不同类型的火山岩和一些中酸性侵入岩体。如前所述,前人对其成因看法存在较大分歧,有蛇绿岩、陆缘裂谷或陆内裂陷槽等不同观点。

王惠初等<sup>[18]</sup>最近的研究表明,滩涧山群的火山岩主要为一套岛弧火山岩。TIMS U-Pb定年获得侵入于滩涧山群和超基性岩中的辉长岩体中锆石结晶年龄为 $496 \text{ Ma} \pm 6 \text{ Ma}$ ,认为代表岛弧岩浆活动的时代<sup>[19]</sup>。笔者通过对吉绿素及锡铁山一带出露的这套岛弧型火山岩的研究<sup>[20]</sup>,发现其主要特征是

收稿日期:2004-05-25;修订日期:2004-07-23

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(200313000058)和国家自然科学基金重大国际合作项目(49732070)资助。

作者简介:杨经绥(1950—),男,博士,研究员,博士生导师,中国地质学会岩石专业委员会主任,从事青藏高原和造山带的蛇绿岩、火山岩和高压超高压变质岩研究。E-mail: yangjsui@ccsd.org.cn

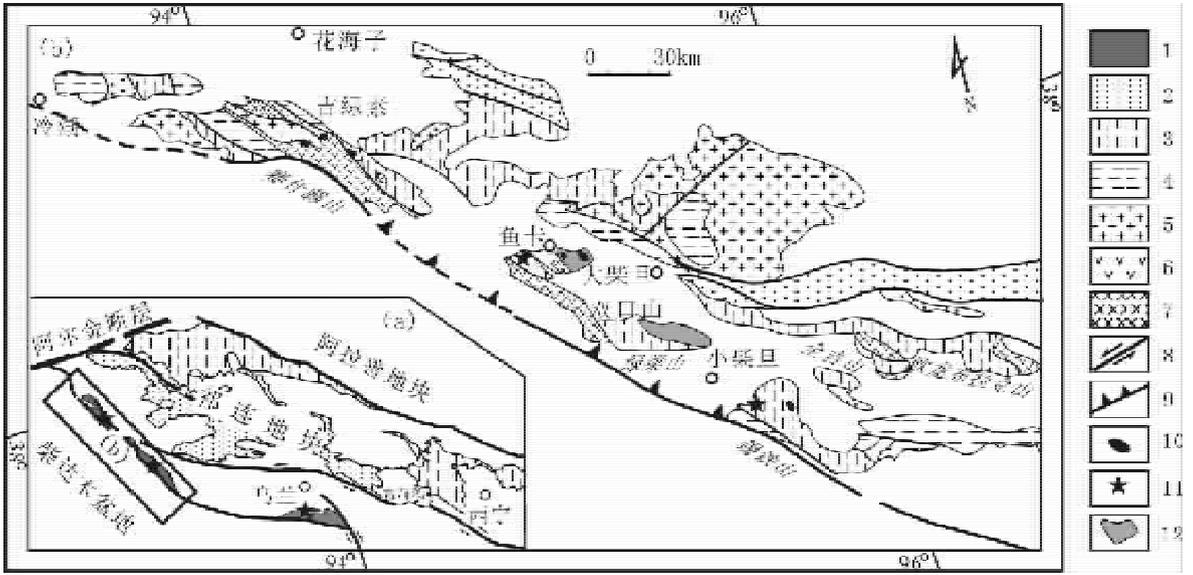


图1 柴北缘绿梁山新元古代蛇绿岩分布图

Fig.1 Distribution of the Neoproterozoic Lüliang Mountain ophiolite on the northern margin of the Qaidam basin

- 1—超高压变质带 2—前寒武系 3—新元古代达肯大坂群 4—上古生界 5—花岗岩 6—火山岩；
- 7—辉长岩 8—走滑断层 9—逆冲断层 10—超基性岩 11—榴辉岩 12—新元古代蛇绿岩

变质程度低，具绿片岩相海底热液蚀变特征，岩石类型有拉斑玄武岩和钙碱性中酸性岩石多种类型，其中夹有较多的火山碎屑岩，以及一些辉长岩或辉绿岩侵入体；岩石中产有海底热液矿床，如吉绿素火山岩中的金矿和锡铁山的热液蚀变型铅锌矿；从滩洞山群的岛弧火山岩研究中进一步识别出3组地球化学特征不同的火山岩类型，即岛弧拉斑玄武岩、高Al次钙-碱性过渡型玄武岩和较N-MORB更亏损的拉斑玄武岩，它们分别形成于岛弧发育的不同阶段。岛弧拉斑玄武岩中锆石的LA-ICP-MS U-Pb定年结果为 $515 \text{ Ma} \pm 10 \text{ Ma}$ ，认为代表岩石形成年龄<sup>[20]</sup>。岛弧火山岩的存在，说明曾存在洋壳的俯冲作用。

然而，在野外地质调查和室内研究中，笔者发现柴北缘镁铁-超镁铁岩有不止一套岩石类型，除上述的岛弧型火山岩外，还有一套MORB型洋壳。这套火山岩系主要产在鱼卡河东岸，以及大柴旦镇南面的绿梁山一带。火山岩呈断续带状分布，宽数百米，与周围的达肯大坂群片麻岩为断层接触。火山岩类主要由一套暗绿色基性岩组成，其特点是岩石均已经历过高角闪岩相变质，其中以火山岩为主，从中发现了枕状熔岩和岩墙群（图2）。

在柴北缘发现枕状熔岩系首次报道。岩枕在鱼卡和绿梁山两地均有发现，其分布属零星出露，不连续。绿梁山的岩枕相对保留较多，层厚可达100 m左右，其中有些辉绿岩岩墙穿入。单个岩枕直径可达1 m以上，通常0.6~0.8 m，产出不规则，无法用于判断地层产状（图2-d）。岩墙也以岩块出现，鱼卡地区的岩块相对较小，岩墙为多条平行排布，产状近直立，厚10

余米，单条岩墙厚0.2~0.4 m，应属席状岩墙群类<sup>[6]</sup>；绿梁山出露的岩墙略有规模，厚度约20~30 m，为构造岩片，由密集岩墙组成，单个岩墙厚度0.2~0.3 m，也属小规模席状岩墙群（图2-b）。辉长岩经风化后呈较浅颜色，但块状结构明显，粒度较粗，野外十分容易将其与岩墙及火山岩相区别。绿梁山一带也产有少量超镁铁岩，呈侵入体和构造岩块产出，但其主要产在达肯大坂群的片麻岩中。岩石类型包括橄辉岩和辉石岩等，不同于含石榴子石橄辉岩，岩石未经历超高压变质作用，但也不属蛇绿岩地幔橄辉岩类。笔者新完成的落风坡橄辉岩侵入体的Sm-Nd和Rb-Sr同位素等时线年龄分别为 $521 \text{ Ma} \pm 14 \text{ Ma}$ 和 $518 \text{ Ma} \pm 11 \text{ Ma}$ ，说明它们形成于早古生代洋盆形成和关闭阶段，不属于本文讨论的新元古代蛇绿岩的范畴，不予展开讨论。

## 2 绿梁山蛇绿岩洋壳的岩石特征

绿梁山蛇绿岩洋壳岩石类型，包括基性熔岩、岩墙群和辉长岩。本研究完成的13个样品分析中有熔岩8个、辉绿岩墙4个、辉长岩1个（表1）。

成分研究表明，这套岩石基本属于一套低K低P的洋底玄武岩系列，熔岩和辉绿岩成分比较一致，其特征是 $\text{SiO}_2$ 含量49%~51%， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 11%~13%， $\text{MgO}$ 5%~8%， $\text{TiO}_2$ 0.6%~1.2%，平均0.94%， $\text{K}_2\text{O}$ 0.1%~0.6%， $\text{P}_2\text{O}_5$ 0.1%~0.2%。与吉绿素岛弧火山岩相比，后者存在较多中酸性岩石类型， $\text{SiO}_2$ 及 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 有一较大变化区间（图3），在AFM图解中，岩石均显示拉斑玄武岩的特点。绿梁山样品的 $\Sigma\text{REE}$ 平均为球粒陨石的10倍左右，



图2 绿梁山火山岩野外特征

Fig.2 Field features of the Lüliang Mountain basaltic rocks

(a) 绿梁山基性火山岩, 绿梁山 (b) 辉绿岩墙群, 绿梁山 (c) 辉长岩, 绿梁山;

(d) 枕状熔岩, 绿梁山 ;Gns—片麻岩 ;Bas—基性火山岩 ;Dk—岩墙群 ;Gab—辉长岩 ;PL—枕状熔岩

多数为LREE近平坦,或轻微亏损, $(La/Yb)_n$ 为0.5~1.6,与典型海底拉斑玄武岩可对比。MORB标准化微量元素蛛网图模型主要为平坦型,显示Rb、Ba、Th、Ta、Nb轻微富集及Zr、Hf、Cr轻微亏损特征,在Ti/100-V变异图上落在洋脊玄武岩和岛弧拉斑玄武岩2个区间,反映绿梁山玄武岩类主要为洋脊型,部分为岛弧型(图4)。另有一熔岩样品以高 $K_2O$ (4.3%)和 $P_2O_5$ (1.37%)为特征,LREE强富集型,认为属碱性洋岛玄武岩类。

研究还表明,绿梁山基性岩类与该地区榴辉岩的主要岩石类型可以对比,除了具相似的稀土元素模型和微量元素模型外,主元素及一些微量元素变异图也反映它们有相同的变异区间,尤其是绿梁山的火山岩与大柴旦、锡铁山的榴辉岩不仅成分区间重叠,并且它们同产在绿梁山,空间分布也在一起,但未见榴辉岩中高Ti类型和苦橄岩类型<sup>[21]</sup>,表明榴辉岩的岩石类型要较绿梁山火山岩类更加多样复杂。

### 3 绿梁山玄武质岩石的Sm-Nd和Rb-Sr同位素定年

笔者最近在南京大学现代分析测试中心质谱室完成了

绿梁山洋壳岩石的Sm-Nd和Rb-Sr同位素定年(表2)。分析选了6件样品,包括2个拉斑玄武岩、2个辉绿岩墙、1个辉长岩和1个辉石岩样品,取自于同一露头,野外观察和室内成分研究表明它们属同一套岩浆系列。Sm-Nd和Rb-Sr同位素测试在南京大学现代分析中心同位素质谱室完成。检测设备采用英国VG354同位素质谱仪,Sm、Nd、Rb和Sr用岩石原粉末样品,用混合酸溶解取清液上阳离子交换柱分离;Sr同位素质谱标样是美国的NBS987SrCO<sub>3</sub>,给定的<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr的标准值为0.710340±0.000026(NBS),本质谱仪本次测定值为0.710339±0.000008;Nd同位素质谱标样是美国的La Jolla,给定的<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd的标准值为0.511860±10,本质谱仪本次测定值为0.511864±06。说明本次测试分析的数据可信。

绿梁山火山岩的6个样品的Nd同位素显示与榴辉岩十分相似的特征,其中4个样品 $\epsilon_{Nd}(0)$ 均为正值,变化于3.02~8.54之间,其余2个样品为轻微负值,-1.25~-2.38,说明角闪岩相的变质作用对其产生一定影响。6个样品的Rb-Sr同位素等时线年龄值为768 Ma±39 Ma(MSWD=0.018),Sm-Nd同位素等时线年龄值为780 Ma±22 Ma(MSWD=0.60)(图5)。

表 1 绿梁山玄武质岩石的地球化学分析结果

Table 1 Chemical compositions of the Liliang Mountain basaltic rocks

编号 岩石	30-12. 熔岩	30-13. 熔岩	30-14. 熔岩	30-20 熔岩	30-23 熔岩	99Y-418 熔岩	99Y-423 熔岩	99Y-424 熔岩	99Y-414 辉绿岩	99Y-415 辉绿岩	30-15. 辉绿岩	30-16. 辉绿岩	99Y-426 辉长岩
SiO <sub>2</sub>	50.04	49.45	50.3	51.05	51.18	49.80	51.06	50.51	50.73	50.82	49.22	51.02	48.04
TiO <sub>2</sub>	0.79	1.03	0.98	0.96	1.2	0.98	0.80	0.91	0.64	0.73	1.09	1.18	0.90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.23	11.36	12.83	13.21	13.19	13.58	13.47	13.77	13.61	13.00	15.11	13.03	19.41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.82	3.03	4.4	3.15	3.4	4.07	3.49	3.66	3.48	3.74	5.21	3.52	3.87
FeO	8.32	2.64	10.18	7.89	8.95	10.20	9.25	8.96	8.33	8.81	10.23	9.32	6.00
MnO	0.2	0.1	0.21	0.17	0.24	0.21	0.18	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.20
MgO	6.98	7.4	6.21	7.94	6.46	6.67	7.22	7.69	7.92	7.50	5.55	6.43	5.13
CaO	10.6	8.8	9.99	8.32	9.1	8.04	9.32	8.56	10.57	10.01	9.76	9.72	8.93
Na <sub>2</sub> O	1.36	3.21	1.23	3.53	2.72	3.12	2.14	2.61	2.39	2.58	1.54	1.87	4.15
K <sub>2</sub> O	0.14	4.32	0.2	0.05	0.1	0.12	0.18	0.53	0.19	0.22	0.09	0.03	1.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	1.37	0.11	0.1	0.14	0.07	0.06	<0.05	<0.05	0.05	0.11	0.11	0.07
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2.89	6.73	3.1	3	3.79						2.68	3.13	
LOI	2.14	1.44	2.3	2.66	2.62	1.59	1.57	1.48	1.39	1.53	1.16	2.48	1.23
Total	99.45	99.44	99.74	99.37	100.47	98.45	98.74	98.85	99.44	99.19	100.8	99.58	98.99
[Mg]	0.45	0.73	0.37	0.50	0.41	0.39	0.43	0.46	0.48	0.45	0.35	0.40	0.45
La	2.99	335.8	3.98	3.74	4.78	4.12	3.23	2.31	2.49	3.18	4.09	4.26	18.21
Ce	6.3	560.4	8.6	8.78	10.44	9.94	7.66	6.60	6.07	7.30	8.62	9.66	40.48
Pr	0.94	62.78	1.23	1.4	1.59	1.31	1.00	1.00	0.78	0.94	1.31	1.52	4.85
Nd	4.41	217.6	5.61	6.78	7.28	6.21	4.70	5.13	3.71	4.82	6.2	7.37	20.06
Sm	1.56	36.31	1.92	2.41	2.38	2.23	1.67	2.10	1.25	1.50	2.2	2.61	4.37
Eu	0.61	6.66	0.73	0.74	0.88	0.78	0.57	0.76	0.52	0.61	0.77	0.9	1.31
Gd	1.95	15.98	2.32	2.74	2.75	2.90	2.16	2.75	1.66	2.19	2.7	3.04	4.06
Tb	0.44	1.93	0.5	0.62	0.56	0.57	0.43	0.55	0.38	0.46	0.6	0.66	0.64
Dy	2.65	9.69	2.98	3.8	3.19	4.01	3.12	4.17	2.62	3.02	3.63	4.02	3.70
Ho	0.56	1.85	0.63	0.72	0.65	0.89	0.71	0.92	0.59	0.66	0.75	0.78	0.79
Er	1.63	4.92	1.78	2.16	1.82	2.53	2.00	2.65	1.64	1.80	2.23	2.25	1.94
Tm	0.28	0.32	0.32	0.36	0.31	0.39	0.32	0.41	0.26	0.30	0.38	0.37	0.28
Yb	1.84	1.88	1.95	2.47	1.9	2.71	2.28	2.90	1.86	2.07	2.61	2.38	1.84
Lu	0.29	0.28	0.32	0.37	0.29	0.47	0.40	0.53	0.31	0.36	0.4	0.37	0.31
[La/Ce] <sub>N</sub>	1.23	1.56	1.20	1.11	1.19	1.08	1.10	0.91	1.07	1.13	1.23	1.15	1.17
[La/Sm] <sub>N</sub>	1.18	5.70	1.28	0.96	1.24	1.14	1.19	0.68	1.23	1.31	1.15	1.01	2.57
[Sm/Yb] <sub>N</sub>	1.07	118.13	1.35	1.00	1.66	1.01	0.94	0.53	0.89	1.02	1.04	1.18	6.55
Y	19.96	33.27	25.09	25.36	28.23	28.28	23.34	30.02	19.38	21.77	28.18	27.75	22.63
Sc	34.7	10.78	40.69	31.86	36.08						37.62	32.4	
Rb	8	194	7	3	4	4.1	6.9	16	7.3	5.5	6	2	19
Sr	105	1005	93	98	117	83	172	252	109	136	81	80	1404
Ba	77	1297	54	36	38	55	75	272	62	68	45	23.4	440
Zr	4	283	19	47	46	45	37	44	31	37	21	43	48
Nb	4	23	3	5	5	5.8	3.2	1.6	5.7	3.9	5	5	10
Ta	0.95	0.92	0.35	0.37	0.29	0.5	0.2	0.1	1.0	0.4	0.3	0.33	0.6
U	0.19	12.8	0.27	0.13	0.08	0.4	0.1	0.1	0.3	0.2	0.39	0.21	0.3
Th	0.33	62	0.48	0.34	0.43	0.6	0.3	0.2	1.1	0.4	0.5	0.46	2.8
Hf	2.2	5.6	0.7	0.7	0.79	2.4	1.9	2.2	1.5	1.8	0.54	0.85	2.8
V	224	96	247	192	208	399	364	330	324	332	275	205	237
Cr	75	451	81	63	21	68	92	59	149	73	6	66	15
Ni	83	80	61	68	42	56	62	60	66	62	53	58	12
Co	45	17	46	42	43	43	40	42	37	38	49	46	22

注 :分析由国家地质测试中心完成 ;主元素和 La、Ce、Nd、Rb、Ba、Sr、Ni、Zr 采用 ICP-AES 方法 ;FeO 采用容量滴定法 ;K<sub>2</sub>O 采用原子吸收法 ;其他元素采用 ICP-MS 方法 ;氧化物 % 稀土和微量元素 :10<sup>-6</sup>

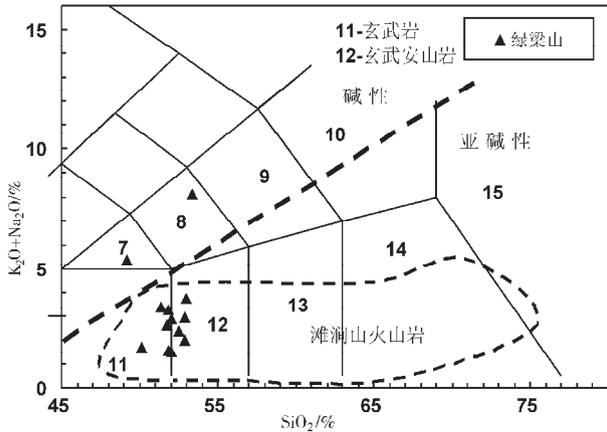


图3 (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)-SiO<sub>2</sub>岩石分类图解<sup>[20]</sup>

Fig.3 (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) vs. SiO<sub>2</sub> diagram

绿梁山的玄武质岩石均落在玄武岩区间,其中滩湖山岛弧火山岩区间据参考文献[20]

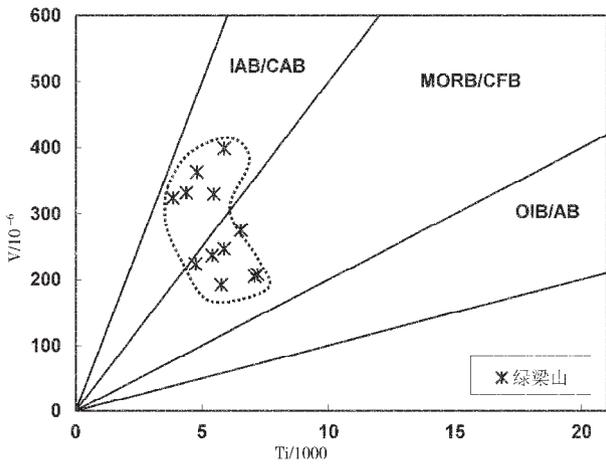


图4 Ti/1000-V(10<sup>-6</sup>)环境判别图<sup>[20]</sup>

Fig.4 Ti/1000 vs. V (10<sup>-6</sup>) environmental discrimination diagram

反映绿梁山玄武质岩石产出在岛弧和海底扩张脊环境,并且成分也相对变化小,详细讨论见正文

### 4 地质和构造意义

本研究表明,柴北缘绿梁山的一套角闪岩相变质玄武质岩石,包括枕状熔岩、岩墙群等是一套蛇绿岩组合,其Rb-Sr同位素等时线年龄值为768 Ma±39 Ma, Sm-Nd同位素等时线年龄值780 Ma±22 Ma,为形成于新元古代的洋壳。其成分和时代与柴北缘的榴辉岩可以对比,认为绿梁山的海底玄武质岩类可能就是榴辉岩的原岩,尽管形成榴辉岩的超高压变质作用发生在500 Ma左右<sup>[22]</sup>。

20世纪90年代以来,国际上提出前寒武纪地球演变史中曾有一个罗迪尼亚超大陆(Rodinian Supercontinent)存在,该

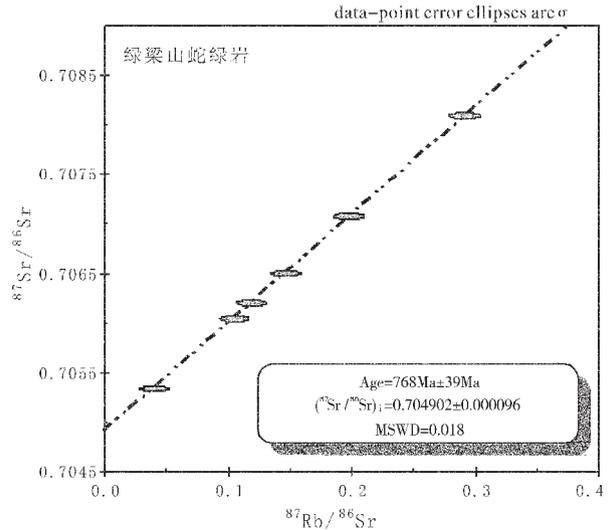
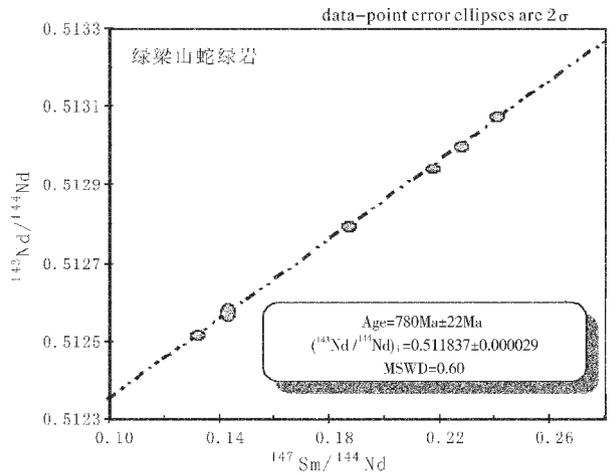


图5 Sm-Nd和Rb-Sr同位素等时线年龄

Fig.5 Sm-Nd and Rb-Sr isochrones of the Liliang Mountain basaltic rocks

大陆约在1000 Ma时期由格林威尔(Grenville)造山作用形成。该认识似乎已渐被国内外前寒武纪研究学者所接受,并有人认为在新元古代初中国大陆的微陆块也依次拼贴成罗迪尼亚大陆的一部分,包括华北地块、扬子地块、塔里木地块,形成一个统一的地块<sup>[23]</sup>。

本研究表明,在罗迪尼亚大陆形成之后,祁连地区存在一期新元古代(大约800~750 Ma)洋盆的裂解和闭合。除了以上的证据之外,笔者最近在柴北缘加里东期的大柴旦花岗岩体中发现了新元古代锆石的残核(729 Ma)<sup>[24]</sup>,测得化隆南钾长花岗岩的U-Pb年龄为750 Ma;与笔者合作的台湾成功大学的学者在南祁连东段加里东期雷公山花岗岩中发现760 Ma的锆石残核,新测得的化隆地区花岗质片麻岩的锆石年龄为780 Ma,并测得北祁连牛心山花岗岩的基底围岩年龄770 Ma(曾建元,个人通讯)。同样,笔者注意到祁连地区前人已陆续报道有新元古代花岗岩和火山岩存在,其中花岗岩普

表2 柴北缘超基性岩及基性火山岩的Sr、Nd同位素组成  
Table 2 Sr and Nd isotopic compositions of ultrabasic rocks and basic volcanic rocks from the North Qaidam Mountains

样品号	岩石	位置	Rb (10 <sup>-6</sup> )	Sr (10 <sup>-6</sup> )	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	± 2 σ	Sm (10 <sup>-6</sup> )	Nd (10 <sup>-6</sup> )	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	± 2 σ	ε <sub>Nd</sub> (t)
99Y414	辉绿岩	绿梁山	7.408	110.90	0.1978	0.707083	25	1.284	3.405	0.2281	0.512999	10	4.0
99Y415	辉绿岩	绿梁山	6.095	141.70	0.2913	0.708092	23	1.472	4.696	0.1872	0.512793	11	4.0
99Y418A	熔岩	绿梁山	3.997	81.85	0.1462	0.706498	21	2.3 72	5.864	0.2409	0.513076	9	4.2
99Y423	熔岩	绿梁山	6.735	169.30	0.1187	0.706204	24	1.598	4.613	0.2177	0.512944	9	3.9
99Y426	熔岩	绿梁山	20.13	1397.00	0.0398	0.70534	19	4.291	18.09	0.1435	0.512574	19	4.0
99Y427	辉石岩	绿梁山	53.26	1451.00	0.1046	0.706045	27	5.792	25.86	0.1327	0.512516	9	3.9

注：南京大学现代分析中心同位素室测定 ε<sub>Nd</sub>(t)中的 t=0.5 Ga

遍显示了同碰撞造山带花岗岩的特点<sup>[25-26]</sup>。因此,笔者认为祁连地区普遍存在新元古代的岩浆活动和构造热事件,在该时期可能存在一期洋壳的裂解和闭合事件。但由于该地区强烈的加里东期构造作用的叠加,新元古代形成的岩石被再循环,经过改造变得面目全非。

由此看来,祁连地区在加里东期洋盆形成之前,首先经历了格林威尔造山运动,在10亿年左右拼合成罗迪尼亚大陆的一部分<sup>[23]</sup>,10亿年左右榴辉岩原岩和该地区大量10亿年花岗岩的存在即为佐证<sup>[22-25]</sup>。在罗迪尼亚大陆之上又发生了新元古代(800~750 Ma)的裂解和洋盆的形成,其后才是加里东期(早古生代)洋盆的形成、陆陆俯冲碰撞和超高压榴辉岩的形成、折返,并认为早古生代洋盆有可能是在新元古代洋盆闭合之后发生和发展的。

目前一个较能接受的观点是罗迪尼亚大陆开始的裂解起因于地幔柱(Mantle Plume)的作用。Li等<sup>[27]</sup>认为华南的一些基性—超基性岩墙的成因与地幔柱有关,根据岩墙的时代认为华南的裂解始于828 Ma±7 Ma,与澳大利亚的Gairdner岩墙群(827 Ma±6 Ma)时代一致。值得注意的是,祁连地区新识别出的新元古代洋盆形成于800~750Ma期间,要较通常认为的罗迪尼亚大陆开始裂解的时间略晚,能否可以认为是罗迪尼亚大陆裂解作用发生的不同阶段,即祁连洋盆的形成成为前一阶段裂解作用的持续?笔者暂且提出这一推论或设想,相信随着研究的深入,对中国大陆上发生的罗迪尼亚大陆的形成和裂解事件将会出现更多细化的研究成果。

致谢:岩石地球化学分析在国家地质测试中心完成,Sm-Nd同位素测试分别在南京大学现代分析中心有关实验室完成,在此表示诚挚的感谢。

参考文献:

[1]肖序常,陈国铭,朱志直.祁连山古蛇绿岩带的地质意义[J].地质学报,1978,52:281~295.  
 [2]许志琴,徐惠芬,张建新,等.北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学[J].地质学报,1994,68(1):1~15.  
 [3]张建新,许志琴,等.北祁连中段加里东俯冲—增生杂岩/火山弧带及其变形特征[J].地质学报,1995,69(2):153~163.  
 [4]Wu H Q, Feng Y M, Song S G. Metamorphism and deforma-

tion of blueschist belts and their tectonic implications, North Qilian Mountains, China [J]. Journal of Metamorphic Geology, 1993, 11: 523~536.

[5]杨经绥,许志琴,李海兵,等.我国西部柴北缘地区发现榴辉岩[J].科学通报,1998,43:1544~1548.  
 [6]杨经绥,许志琴,宋述光,等.青海都兰榴辉岩的发现:试论我国中央造山带中的高压—超高压变质带的分布及构造意义[J].地质学报,2000,74(2):156~168.  
 [7]张建新,杨经绥,许志琴,等.柴北缘榴辉岩的峰期和退变质年龄:来自U—Pb及Ar—Ar同位素测定的证据[J].地球化学,2000,29(3):217~222.  
 [8]张雪亭,吕惠庆,陈正兴,等.柴北缘造山带沙柳河地区榴辉岩相超高压变质岩石的发现及初步研究[J].青海地质,1999(2):1~13.  
 [9]Zhang Zh M, Liou J G, Coleman R G. An outline of the plate tectonics of China [J]. Geological Society of America Bulletin, 1984, 95: 295~312.  
 [10]赖绍聪,邓晋福,赵海玲.柴达木北缘古生代蛇绿岩及其构造意义[J].现代地质,1996,10(1):18~28.  
 [11]Coleman R G. Ophiolites, Ancient Oceanic Lithosphere? [M]. Springer-Verlag, Berlin, 1997.  
 [12]Yang J S, Xu Z Q, Li H B, et al. A convergent border at the southern margin of the Qilian terrain, NW China: Evidence from eclogite, garnet-peridotite, ophiolite and S-type granite[J]. Journal of the Geological Society of China (Taiwan), 2000, 43(1):142~160.  
 [13]韩英善,彭琛.托尔日特蛇绿混杂岩带地质特征及其构造意义[J].青海地质,2000(1):18~24.  
 [14]孙延贵,郝维杰,韩英善,等.柴达木盆地北缘东段托尔日特似蛇绿岩岩石组合特征[J].中国区域地质,2000,19(3):258~264.  
 [15]郭介人,任秉琛,张莓,等.青海锡铁山块状硫化物矿床的类型及地质特征[J].中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,1987,20:1~30.  
 [16]熊兴武,陈亿元.柴达木地块北缘早古生代裂陷槽[A].见:王鸿祯等编.中国古大陆边缘中、新元古代及古生代构造演化[C].北京:地质出版社1994.114~131.  
 [17]青海省地质矿产局.青海省区域地质志[M].北京:地质出版社,1991.  
 [18]王惠初,陆松年,袁桂邦,等.柴达木盆地北缘滩间山群的构造属

- 性及形成时代[J].地质通报, 2003, 22(7):487~493.
- [19]袁桂邦,王惠初,李惠民,等.柴北缘绿梁山地区辉长岩的锆石 U—Pb年龄及意义[J].前寒武纪研究进展, 2002, 25(1):36~39.
- [20]史仁灯,杨经绥,吴才来,等.青藏高原北部柴北缘超高压变质带中的岛弧火山岩:洋—陆俯冲伴随陆—陆俯冲的证据[J].地质学报, 2004, 78:52~64.
- [21]杨经绥,张建新,孟繁聪,等.中国西部柴北缘—阿尔金的超高压变质榴辉岩及其原岩性质探讨[J].地学前缘, 2003, 10(3):291~314.
- [22]张建新,杨经绥,许志琴,等.柴北缘榴辉岩的峰期和退变质年龄:来自U—Pb及Ar—Ar同位素测定的证据[J].地球化学, 2000, 29(3):217~222.
- [23]郭近京,张国伟,陆松年,等.中国新元古代大陆拼合与Rodinia超大陆[J].高校地质学报, 1999, 5(2):148~156.
- [24]Wu C L, Yang J S, Wooden J, et al. Zircon SHRIMP Dating of granite from Qaidamshan, NW China[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(5):418~422.
- [25]陆松年.青藏高原北部前寒武纪地质初探[M].北京:地质出版社, 2003.125.
- [26]Wan Y S, Xu Z Q, Yang J S. Ages and compositions of the Precambrian highgrade basement of the Qilian terrane and its adjacent areas[J]. Acta Geological Sinica, 2001, 75(4):375~384.
- [27]Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia: did it start with a mantle plume beneath South China? [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1999, 173:171~181.
- [28]Le Bas, M J, Le Maitre R W, et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali—silica diagram [J]. Journal of Petrology, 1996, 27:745~750.
- [29]Shervais J W. Ti—V plots and the petrogenesis of morden and ophiolitic lavas [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1982, 59:101~118.

## Recognition of Neoproterozoic ophiolite on the northern margin of the Qaidam basin: evidence of the breakup of Rodinia?

YANG Jingsui, SHI Rendeng, WU Cailai, CHEN Songyong

(Key Laboratory for Continental Dynamics of MLR, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** A Neoproterozoic ophiolite was recognized in the Tanjianshan Group in the vicinity of the Iqa River and Lüliang Mountain on the northern margin of the Qaidam basin. The ophiolite consists of ancient oceanic crustal rocks such as basaltic (pillow) lavas, a sheeted dike swarm and gabbros, with MORB and island—arc basalt predominating. The metamorphism is generally of amphibolite facies. It has a Rb—Sr isochron age of  $768 \pm 39$  Ma and a Sm—Nd isochron age of  $780 \pm 22$  Ma. The rocks are different from typical island arc volcanic rocks of the Ordovician Tanjianshan Group (~500 Ma BP). The latter mainly contains intermediate—basic lavas and tuffs and only underwent weak greenschist facies metamorphism, while the former is comparable in composition to the North Qaidam eclogite and has the same age (750—800 Ma) as the protolith of eclogite. Therefore the Lüliang Mountain submarine basaltic rock is probably the protolith of eclogite. The Neoproterozoic ophiolite oceanic basin in the Qilian area formed on the basis of a breakup of Rodinia at ~800—750 Ma BP.

**Key words:** ophiolite; Neoproterozoic; Lüliang Mountain; Qilian Mountain; northern margin of the Qaidam basin; Qinghai—Tibet Plateau