

同位素的示踪意义 ——以罗布莎蛇绿岩同位素为例

王喜臣¹⁾, 刘扬²⁾, 王俊¹⁾, 王卓¹⁾, 王琳³⁾, 吴运军¹⁾, 赵晔¹⁾,
蒲燕萍¹⁾, 闵杨子¹⁾, 崔祖霞¹⁾, 蒋曼¹⁾

1) 国土资源部中央地质勘查基金管理中心, 北京, 100045;

2) 中铁资源地质勘查有限公司, 北京, 100039;

3) 中国地质大学, 北京, 100083

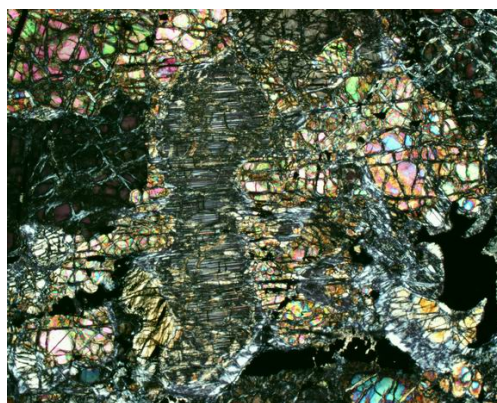
1972 年美国地质学会 Penrose 会议(Miyashiro, 1975) 正式将蛇绿岩与板块构造联系起来, 认为蛇绿岩是一种可与洋壳对比的独特的镁铁质—超镁铁质岩石组合, 它们产于洋中脊扩张构造环境, 后来由于板块的俯冲与碰撞作用, 大洋地幔岩高度熔融再造进入大陆地壳, 形成构造变形强烈、岩石组合复杂的蛇绿岩带, 出露于板块会聚带。在我国雅鲁藏布江三千余里长谷地断续分布超基性岩体, 构成了我国规模最大的蛇绿岩带。在罗布莎蛇绿岩调查发现(1: 20 万区域地质调查, 中国地质调查局) 部分橄榄岩具有古洋壳残片的特征, 在蛇绿岩橄榄岩中发育豆荚状铬铁矿。对罗布莎蛇绿岩的研究到目前为止大部分集中在其豆荚状铬铁矿及其中的各种特殊矿物上, 而对该蛇绿岩各岩石单元的岩石学、矿物学和地球化学特征研究得较少, 更是缺乏精确的同位素年代学数据, 进而导致对该蛇绿岩的来源及岩浆演化特征、铬铁矿成因等研究的不够深入。

1 罗布莎蛇绿岩

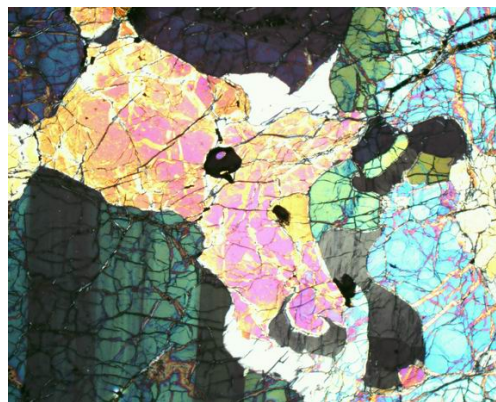
1.1 蛇绿岩特征

罗布莎蛇绿岩由橄榄岩、基性超基性堆积杂岩、基性熔岩、硅质岩、辉绿岩脉及壳层熔岩(橄榄玄武岩、斜长玄武玢岩、晶屑玻基熔岩)等组成。橄榄岩是构成罗布莎蛇绿岩的主体, 位于蛇绿岩的底部, 岩体沿构造侵位, 构造变形强烈, 原位特征

被破坏, 岩石组合复杂。在橄榄岩(方辉橄榄岩)中有辉绿岩脉产出, 在堆积杂岩中上部产出有仰冲型斜长花岗岩。



A



B

图 1 罗布莎蛇绿岩橄榄岩

罗布莎地幔橄榄岩: A 橄榄石“肯克带发育、应力造成晶格错位而具扭折(夏斌等, 1998)”, 橄榄石包含有自形铬尖晶石; B 网环状蛇纹石化显示出岩石的碎裂; 斜方辉石具出溶条纹

注: 本文为中央地质勘查基金资助的成果。

收稿日期: 2015-08-28; 改回日期: 2015-09-28; 责任编辑: 周健。

作者简介: 王喜臣, 男, 1960 年生。博士, 教授级高级工程师, 矿产地质与勘探专业。Email: bjwangxch@126.com。

罗布莎蛇绿岩具它形变晶及残碎斑状结构, 粒径 0.05~6mm 不等, 最大者达 10mm, 变化悬殊。橄榄石、斜方辉石常呈残斑状, 橄榄石定向拉长、扭折带状, 常出现波状消光, 重结晶产生颗粒增生等现象, 具有上地幔亚固相变形痕迹。

1.2 罗布莎铬铁矿

罗布莎铬铁矿产于蛇绿岩的橄榄岩中, 以豆荚状产出。矿体的规模大小并不与纯橄岩的规模大小成正比, 矿体产出部位也不与纯橄岩相对应, 显示铬铁矿可能不直接来源于纯橄岩(王希斌等, 1987)。

2 罗布莎蛇绿岩同位素特征

从罗布莎蛇绿岩不同岩石类型的 Rb、Sr、Sm、Nd、Pb 等同位素组成来探讨其来源及岩浆演化过程。

2.1 Rb-Sr 同位素地球化学特征

罗布莎蛇绿岩的 Sr 含量为 0.324~8.911 $\mu\text{g/g}$, 平均为 2.546 $\mu\text{g/g}$; 纯橄岩的 Sr 含量为 0.48~8.911 $\mu\text{g/g}$, 平均为 3.315 $\mu\text{g/g}$; Rb/Sr 比值为 0.032~0.780, 平均为 0.354, 可见罗布莎蛇绿岩的纯橄岩 Sr 含量和 Rb/Sr 比值均与世界上典型蛇绿岩的地幔橄榄岩值相当 (Coleman, 1977)。

罗布莎蛇绿岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 变化于 0.708194~0.715401 之间, 平均为 0.712029, 初始锶同位素组成 $I_{\text{Sr}}=0.705489\sim0.714625$ ($\varepsilon_{\text{Sr}}(t)=16.76\sim146.47$), I_{Sr} 值与世界典型蛇绿岩地幔橄榄岩相比偏高 (钟立峰等, 2006) (见表 1)。

2.2 Nd 同位素地球化学特征

罗布莎橄榄岩的 Sm-Nd 同位素分析数据 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值为 0.511931~0.513607, 平均为 0.512587 (见表 2)。罗布莎橄榄岩中的纯橄岩和方辉橄榄岩样品 I_{Nd} 、 I_{Sr} 值大多数与 EMI 地幔端员相近, 并与壳层熔岩和辉绿岩沿着地幔系列分布构成逐步亏损的趋势。二辉橄榄岩、纯橄岩及铬铁矿样品具有更高的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值, 铬铁矿具有高的初始 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值 (0.513479, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)=20.05$)。分析认为罗布莎橄榄岩具有富集的地幔源区, 同时形成铬铁矿的岩浆与该地幔橄榄岩并非同源。

2.3 Pb 同位素地球化学特征

罗布莎蛇绿岩地幔橄榄岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 17.763~18.618 之间, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 15.410~15.646 之间, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在 37.589~38.731 之间, Pb 同位素的 μ 值介于 9.20~9.61 之间, 平均为 9.43, 橄榄

岩的 Pb 同位素略高 (表 3)。N-MORB 岩石一般具有低的 U (Th) 但相对较高的 Pb 元素丰度, 导致 U/Pb 比值 ($\text{U}/\text{Pb}=0.157$) 较低。

数据分析表明, 罗布莎蛇绿岩橄榄岩 Pb 同位素组成类似于印度洋同位素组成, 认为本区存在早期富集地幔, 后期经历过逐渐亏损过程。罗布莎橄榄岩形成过程中受到少量壳源物质的混染 (Briqueu et al., 1979)。

3 罗布莎蛇绿岩 Dupal 异常特征

罗布莎蛇绿岩的 ΔSr 为 81.54~154.01, 平均为 119.626, 橄榄岩的 $\Delta 7/4\text{Pb}$ 为 -1.98~20.47, 平均为 10.31, $\Delta 8/4\text{Pb}$ 为 4.49~84.54, 平均为 54.37。按照判定 Dupal 异常存在的边界条件 (Dupre et al., 1983), 罗布莎蛇绿岩橄榄岩的 Pb 同位素异常值绝大多数位于 Hart (魏启荣等, 2003) 所确定的南半球广义 Dupal 异常范围内。说明罗布莎特提斯洋时期 (J_2) 存在与现今印度洋相一致的 Dupal 异常地幔域 (Hart, 1984), 暗示罗布莎地区在中侏罗世时期位于类似现今印度洋、南大西洋及南太平洋的南半球位置, 这与新特提斯洋是赤道洋的概念一致, 而印度洋地幔域本身就继承了特提斯洋地幔域的特征。据古地磁资料 (Metcalf, 1996), 罗布莎在侏罗纪时的位置处在现代南半球 Dupal 异常域范围的赤道附近。

4 结论

根据对罗布莎橄榄岩样品的同位素地球化学特征的研究, 整个特提斯带蛇绿岩都具有印度洋型的 Sr、Nd、Pb 同位素组成特征, 认为罗布莎蛇绿岩橄榄岩 Pb 同位素组成显示出富集放射性成因铅 (异常铅) 的特征, 结合 Sr 同位素地球化学特征, 表明其地幔源区具有明显的 Dupal 同位素异常。

蛇绿岩作为大洋岩石圈的碎片, 在其形成过程中遭受地幔流体的交代和海水蚀变是普遍存在的, Sr 是相对活动的元素, 易受各种作用的影响。罗布莎橄榄岩 Sr 值偏高, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值高于上覆其他岩石组合的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值。暗示蛇绿岩以莫霍面为界可能存在两种截然不同的成因, 本区存在富集型地幔源区, 形成铬铁矿的岩浆与该地幔橄榄岩并非同源, 同时也受地壳物质混染和经受了地幔流体交代和后期海水蚀变的影响。

矿物学研究表明, 罗布莎橄榄岩的矿物组合应

当为橄榄石+含铝辉石+少量尖晶石组合。岩石为尖晶石二辉橄榄岩，其形成的环境应当是 20~30kb 左右的 60~90km 的上地幔。

表 1 罗布莎蛇绿岩橄榄岩 Rb-Sr 同位素组成

岩性	样品	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	I_{Sr}	$\varepsilon_{\text{Sr}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Sr}}(t)$	$t_{\text{Rb/Sr}}$	ΔSr
方辉橄榄岩	LB108	0.593	0.711235	0.709861	95.6	78.8	6.17	112.35
	LB109	1.595	0.714995	0.711299	149.0	99.2	18.29	149.95
	LB115	1.999	0.714874	0.710242	147.3	84.3	23.17	148.74
	LB122	1.698	0.712313	0.708379	110.9	57.8	19.53	123.13
单辉橄榄岩	LB74	2.260	0.714191	0.708955	137.6	66.0	26.32	141.91
二辉橄榄岩	LB101	0.342	0.711829	0.711038	104.0	95.5	3.13	118.29
	LB102	0.335	0.715401	0.714625	154.7	146.5	3.05	154.01
纯橄岩	LB81	1.150	0.712467	0.709801	113.1	78.0	12.91	124.67
	LB82	1.318	0.708544	0.705489	57.4	16.8	14.94	85.44
	LB86	1.232	0.711211	0.70836	95.3	57.5	13.90	112.11
	LB88	0.537	0.709783	0.708538	75.0	60.1	5.49	97.83
	LB89	1.119	0.708194	0.70560	52.4	18.4	12.53	81.94
	LB92	0.094	0.710105	0.709887	79.6	79.2	0.14	101.05
	LB96	0.170	0.713365	0.712970	125.8	123.0	1.06	133.65
	LB99	0.583	0.711932	0.710581	105.5	89.1	6.05	119.32
铬铁矿	LB171	1.389	0.710962	0.707743	91.7	48.8	15.80	109.62

表 2 罗布莎蛇绿岩 Sm-Nd 同位素组成

岩性	样号	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(\pm 2\sigma)$	I_{Nd}	$\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$	$f_{\text{Sm/Nd}}$
方辉橄榄岩	LB108	0.4022	0.512306±68	0.511877	-10.8	1.04
	LB109	0.1970	0.512213±70	0.512003	-8.3	0.00
	LB115	0.1650	0.512064±78	0.511888	-10.5	-0.16
	LB122	0.2955	0.512281±49	0.511966	-9.0	0.50
单辉橄榄岩	LB74	0.1151	0.512702±180	0.512579	2.9	-0.41
二辉橄榄岩	LB101	0.1104	0.512245±14	0.512127	-5.9	-0.44
	LB102	0.3946	0.513324±209	0.512903	9.3	1.01
纯橄岩	LB81	0.2724	0.512526±40	0.512235	-3.8	0.38
	LB82	0.1268	0.511931±44	0.511796	-12.3	-0.36
	LB86	0.1403	0.512213±51	0.512063	-7.1	-0.29
	LB88	0.1491	0.51235±12	0.512191	-4.6	-0.24
	LB89	0.1358	0.51275±59	0.512605	3.5	-0.31
	LB92	0.2017	0.512614±65	0.512399	-0.6	0.03
	LB96	0.1766	0.513379±47	0.513191	14.9	-0.10
	LB99	0.1160	0.512516±199	0.512392	-0.7	-0.41
铬铁矿岩	LB171	0.1204	0.513607±160	0.513479	20.5	-0.39

表 3 罗布莎蛇绿岩 Pb 同位素组成

岩性	Samples	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\Delta 7/4\text{Pb}$	$\Delta 8/4\text{Pb}$	μ
方辉橄榄岩	LB108	18.219	15.606	38.325	14.025	67.110	9.50
	LB109	17.988	15.646	38.220	20.468	84.540	9.61
	LB115	17.713	15.504	37.434	9.254	39.256	9.36
	LB122	17.991	15.556	38.075	11.459	69.748	9.43
单辉橄榄岩	LB74	18.116	15.534	38.003	7.880	47.391	9.37
二辉橄榄岩	LB101	17.896	15.535	37.828	10.395	56.464	9.40
	LB102	18.155	15.616	38.076	15.688	49.980	9.52
纯橄岩	LB81	17.995	15.574	38.058	13.227	67.460	9.46
	LB82	17.763	15.475	37.589	5.861	48.658	9.29
	LB86	18.268	15.601	38.259	12.954	54.607	9.48
	LB88	18.056	15.542	37.975	9.405	51.778	9.39
	LB89	18.618	15.627	38.731	11.797	59.545	9.50
	LB92	18.090	15.576	38.126	12.445	62.757	9.45
	LB96	18.577	15.612	38.624	10.740	53.741	9.47
	LB99	18.235	15.582	38.225	11.462	55.214	9.45
铬铁矿岩	LB171	18.159	15.451	37.627	-0.852	4.490	9.20

参 考 文 献 / References

- 王希斌, 鲍佩声, 肖序常. 1987. 雅鲁藏布江蛇绿岩. 北京: 测绘出版社.
- 魏启荣, 沈上越, 莫宣学, 路凤香. 2003. 三江中段 Dupai 同位素异常的识别及其意义. 地质地球化学, 31(1): 36~41.
- 夏斌, 郭令智, 施央申. 1998. 西藏西南部蛇绿岩及其地体构造. 广州: 中山大学出版社.
- 钟立峰, 夏斌, 崔学军, 等. 2006. 藏南罗布莎蛇绿岩壳层熔岩地球化学特征及成因. 大地构造与成矿学, 30(2): 231~240.
- Briqueu L, Lancelor J R. 1979. Rb-Sr systematics and crustal contamination models for calc-alkaline igneous rocks. Earth Planet. Sci. Lett., 43: 381~396.
- Coleman R G. 1977. Ophiolite-ancient Oceanic Lithosphere? Berlin Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Dupre B, Allegre C J. 1983. Pb-Sr isotope variation in Indian Ocean basalts and mixing phenomena. Nature, 303: 142~146.
- Hart S R. 1984. A large-scale isotope anomaly in the Southern Hemisphere mantle. Nature, 309: 753~757.
- Metcalfe I. 1996. Pre-Cretaceous evolution of SE Asian terranes. In: Hall R, Blundell D, eds. Tectonic Evolution of Southeast Asia. 97~122.
- Miyashiro A. 1975. Classification, characteristics and origin of ophiolites. J. Geol., 83: 249~281.