西藏罗布莎蛇绿岩中辉长辉绿岩 Sm-Nd 定年及 Pb, Nd 同位素特征

周 肃^① 莫宣学^{①*} J. J. Mahoney^② 张双全^② 郭铁鹰^① 赵志丹^①

(^①中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; ^②School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii, Honolulu, HI96822, USA. * 联系人, E-mail: mxx@cugb.edu.cn)

摘要 用 Sm-Nd 法测定了西藏罗布莎超基性岩体中辉长辉绿岩脉的年龄, 斜长石、辉石及两个全岩的内部等时线年龄值为 (177 ± 31) Ma, 初始 $\epsilon_{Nd}(t) = +8$, 显示该岩墙形成于中侏罗世; Nd, Pb 同位素特征表明该岩脉源于印度洋型地幔域. 推测中侏罗世该区蛇绿岩形成于大洋环境.

关键词 罗布莎超基性岩体 Sm-Nd 定年 Nd, Pb 同位素

雅鲁藏布江蛇绿岩带绵延 1400 余公里, 展布于喜马拉雅和冈底斯-念青唐古拉山之间, 是横亘亚洲大陆南部的洲际性蛇绿岩带的重要组成部分. 罗布莎蛇绿岩出露于其东段, 桑日县城之东, 大致沿雅鲁藏布河谷展布, 东西延伸约 90 余公里, 最宽处在 3.7 km 左右. 罗布莎岩体主要由南部的斜辉橄榄岩、橄榄岩及侵入其中的辉长岩和北部的纯橄岩及其南北两侧的辉长岩-辉石岩-异剥橄榄岩脉群所组成. 岩体北界与渐新-中新统罗布莎群磨拉石层或白垩世夹有放射虫硅质岩、玄武岩、安山岩、灰岩的变质砂、板岩或花岗岩体呈断层接触, 其南部与上三叠统夹有细碧岩、放射虫硅质岩的复理石建造亦呈断层接触关系, 均系向南倾斜的逆冲断层.

罗布莎蛇绿岩体虽然已有 40 多年的研究历史, 然而其形成时代至今尚未得到圆满解决. 过去主要是根据与雅鲁藏布江中段的日喀则一带蛇绿岩时代对比来确定罗布莎蛇绿岩的形成时代的. 日喀则一带所发现的较为完整的洋壳蛇绿岩剖面中, 存在着早白垩世(变质地幔橄岩之北侧)和晚侏罗-早白垩世两个时代的壳层. 与蛇绿岩共生的硅质岩中的放射虫时代定为早白垩世(110 ~ 100 Ma), 蛇绿岩的岩浆岩单元(辉长岩、粒玄岩、熔岩)的 U-Pb 年龄为 (120 ± 10) Ma^[1]. 日喀则东大竹卡段的大洋型钠长石花岗岩中锆石的 U-Pb 年龄值为 139 Ma^[2], 故认为该蛇绿岩的形成时代为晚侏罗至早白垩世^[3].

1995 年的 1:20 万加查幅区域地质调查报告指出¹⁾, 罗布莎蛇绿岩岩群上部的枕状玄武岩 Rb-Sr 年龄为 (173.27 ± 10.9) Ma. 该报告认为, 出露于罗布莎蛇

绿岩南北两侧(主要在南侧)混杂体内的变基性火山岩和硅质岩块, 可与其西部的泽当蛇绿岩群南侧混杂体内的变基性熔岩(Rb-Sr 年龄为 (215.57 ± 20.68) Ma, 含放射虫(T_{2-3}))硅质岩块相对比, 推测罗布莎蛇绿岩可能存在时代是中晚三叠世的较老洋壳. 罗布莎蛇绿岩也可能是由两个不同时代和构造类型的蛇绿岩块组成的复合岩带.

目前本区未见斜长花岗岩, 因此不能采用锆石 U-Pb 方法进行定年. 蛇绿岩同位素地质研究表明, 确定洋壳残片年龄, 辉长岩和辉绿岩墙通常是首选对象^[4]. 因此, 本文选用了侵入于罗布莎蛇绿岩体中的辉长辉绿岩作为研究对象, 采用适合于基性岩定年的 Sm-Nd 矿物内部等时线方法进行定年, 并根据岩体的 Nd, Pb 同位素特征对其形成时的构造环境进行了初步探讨.

1 样品采集及分析方法

样品采自罗布莎蛇绿岩中的辉长辉绿岩岩墙. 该岩墙侵入于罗布莎铬铁矿床 II 矿群的方辉橄榄岩及铬铁矿矿体中. 岩石新鲜, 主要样品(LB-3)采样位置见图 1.

样品破碎后, 用重选、磁选和手选挑出 LB98-3 的辉石(Py)、斜长石(Pl)单矿物. 在双目显微镜下检查单矿物纯度达 100%. 严格剔除蚀变、增生、连晶、带有微裂隙或包裹体的颗粒. 辉石新鲜, 但斜长石有弱蚀变作用. 全岩样品用超纯水和盐酸超声波振荡淋洗, 以去除蚀变物质.

全部测定在美国夏威夷大学海洋与地球科学与技术学院同位素实验室完成. 样品准确称重后, 放入

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2001-46-16-1387>

1) 中华人民共和国区域地质调查报告, 加查幅(1:20 万). 1995

图1 LB98-3 取样位置剖面图

罗布莎岩体 II 号矿群中辉长岩穿插方辉橄榄岩 (Φ₂¹) 及铬铁矿矿体, ★ 采样地点

加盖的聚四氟乙烯溶样罐, 加入 HF-HNO₃, 盖紧, 在通入超净化空气的加热罐中用红外灯加热溶样, 待确认样品已完全溶解后, 样品分为两份, 单矿物的同位素比值用不加稀释剂的样品分离后测定, 浓度用同位素稀释法测定. 全岩样品的 Nd, Sm, Pb 均在同一份溶液中测定. 所有同位素值均在 VG Sector 和 VG Sector54 多接收质谱仪上测定, 分析流程依据该实验室常规方法, 详见文献[5,6]. 全流程空白 Nd<15 pg, Pb <34 pg.

Pb, Nd 同位素比值分析误差由数据最后位表示 (2σ). ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 的外部误差: ± 0.000011, ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb: ± 0.011, ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb: ± 0.010, ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb: ± 0.03. 对 Nd 的同位素分馏效应校正为 ¹⁴⁸NdO/¹⁴⁴NdO = 0.242436 (¹⁴⁸Nd/¹⁴⁴Nd = 0.241572), Pb 同位素比值用 Todt 等人^[7]的 NBS981 标准值进行分馏效应校正. Nd 标准(La Jolla Nd): ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.511850. 估计同位素稀释法误差 Nd 和 Sm<0.2%, Pb <0.5% .

等时线年龄采用伯克利年代学中心 K. Ludwig 博士提供的 ISOPLOT 程序(2.31 版)计算, 输入参数为: ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 误差为 0.2%, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 误差为 0.002%. ¹⁴⁷Sm 衰变常数为 6.54 × 10⁻¹² a⁻¹, 平均球粒陨石 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.512638, ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd = 0.1967 (Jacobson 和 Wasserburg, 1980).

表2 罗布莎蛇绿岩中辉长辉绿岩 Pb 同位素测定结果及年龄校正后数据 ^{a)}							
样品	Pb/μg · g ⁻¹	²³⁸ U/ ²⁰⁴ Pb	²³⁵ U/ ²⁰⁴ Pb	²³² Th/ ²⁰⁴ Pb	(²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb) ₀	(²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb) ₀	(²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb) ₀
LB98-3 斜长石(细)	0.594				17.770 ± 11	15.498 ± 10	37.721 ± 30
LB98-3 斜长石(粗)	1.90				17.818 ± 5	15.579 ± 4	37.947 ± 10
LB98-3 辉石	0.087				17.761 ± 8	15.451 ± 9	37.602 ± 23
LB98-1 全岩	0.6137	5.17	0.04	8.81	17.904 ± 11	15.442 ± 10	37.598 ± 20
LB98-3 全岩	0.3781	2.14	0.02	6.71	17.724 ± 11	15.440 ± 10	37.538 ± 30
年龄校正后					(²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _t	(²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _t	(²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb) _t
LB98-1 全岩					17.746	15.434	37.513
LB98-3 全岩					17.659	15.437	37.473

a) 下标 0 代表现在所测值, t 代表 177 Ma 年龄校正值. 单矿物同位素比值未作年龄校正

2 结果与讨论

(i) 全部数据列于表 1 和 2, Sm-Nd 内部等时线及数据见图 2. 罗布莎蛇绿岩年龄为(177 ± 31) Ma, 初始钕同位素比值 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.512818 ± 47 (ε_{Nd}(t) = 8), MSWD = 0.86, 说明斜长石、辉石和全岩样品所给出的等时线是可信的, 该结果表明 Sm-Nd 体系自形成时起一直保持了封闭. 辉长辉绿岩样品给出的内部等时线年龄显示该岩墙于中侏罗世((177 ± 23) Ma) 侵位, 代表了现在保存在罗布莎蛇绿岩中的洋壳形成期的岩浆活动的时限.

表1 罗布莎蛇绿岩中辉长辉绿岩 Sm-Nd 同位素测定结果

样品	Nd /μg · g ⁻¹	Sm /μg · g ⁻¹	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	(¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd) ₀	ε _{Nd} (t)
LB98-1 全岩 (淋滤)	13.46	4.707	0.2114	0.513069 ± 11	+8.1
LB98-3 全岩 (淋滤)	5.732	2.047	0.2159	0.513076 ± 10	+8.1
LB98-3(斜长石细粒)	0.5294	0.1436	0.1640	0.513000 ± 11	+7.8
LB98-3(斜长石粗粒)	0.5422	0.1324	0.1476	未测出	
LB98-3(辉石)	2.223	1.106	0.3008	0.513162 ± 8	+7.9

图2 罗布莎蛇绿岩中辉长辉绿岩 Sm-Nd 等时线图

(ii) 初始 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +8$ 为典型的大洋中脊玄武岩 (MORB). 罗布莎辉长辉绿岩墙 Nd, Pb 同位素特征与已发表的北大西洋-太平洋 MORB 的数据(见文献[6])及其所列的参考文献和印度洋 MORB^[8]比较(图 3), 其形成环境属于印度洋型地幔域, 即在给定 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}_i$ 比值下, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 明显低于太平洋 MORB 地幔继承了东特提斯洋地幔的同位素特征^[6], 洋及北大西洋 MORB 区域值; 换言之, 印度洋罗布莎

图 3 年龄校正后(150 Ma)的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ (a), $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ (b)和 $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ (c)对 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_i$ 图
太平洋与北大西洋及印度洋 MORB 据文献[6,7]以及这两篇文章所列的参考文献. 图中单矿物数据点仅用于第 2 节中(iii)

辉长辉绿岩是中侏罗世在这样的环境下形成的.

(iii) 从获得的同位素数据来看, 其同位素特征显著并且非常一致. 然而, 斜长石(粗粒)样品放射成因 Pb(特别是 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)明显高于辉石、细粒斜长石和全岩样品. 根据岩石薄片显微镜下检查, 斜长石样品有弱蚀变. 因此认为放射成因 Pb 增高是由于样品中混有少量增生或蚀变矿物所致. 这一结论与斜长石粗粒样品的 Pb 含量大大高于细粒斜长石、辉石和全岩样品的结果是一致的. 虽然作者在溶样前已反复对单矿物进行了挑选并在双目显微镜下确认其纯度达到 100%, 但从测试结果来看仍含有少量在显微镜下也难以发现的杂质, 其对 Pb 同位素测定结果的影响是相当大的. 这再次说明了同位素分析中样品的前期制备工作的重要性, 同时也说明测试数据相互验证的必要性. 本次斜长石(粗粒)样品的 Pb 同位素已不能代表该样品的真实的 Pb 同位素比值, 然而测定结果显示, 蚀变对样品的 Sm-Nd 同位素体系没有影响.

致谢 K. Spencer 博士完成了本研究大部分单矿物样品的质谱分析工作, Denys Vonder Haar 博士对第 1 作者在美国期间工作给予了极大的支持和帮助, 在此一并致谢. 本工作受国家自然科学基金(批准号: 49772107, 49802005)、国家重点基础研究发展规划项目(G1998040800)、国土资源部青藏高原专项计划及美国 NSF(EAR-9805318)资助.

参 考 文 献

- 1 Göpel C, Allégre C J, Xu Ronghua. Lead isotope study of the Xigaze ophiolite (Tibet): The problem of the relationship between magmatites (gabbros, dolerites, lavas) and tectonites (harzburgites). *Earth Planetary Science Letters*, 1984, 69: 301~310
- 2 王希斌, 鲍佩声, 邓万明, 等. 西藏蛇绿岩. 北京: 地质出版社, 1987. 6
- 3 张浩勇, 巴登珠, 郭铁鹰, 等. 罗布莎铬铁矿床研究. 拉萨: 西藏人民出版社, 1996. 16
- 4 黄莹, 孙宝山, 潘均, 等. 蛇绿岩的同位素地质研究问题. 见: 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 1996. 84 ~ 88
- 5 Mahoney J J, Natland J H, White W M, et al. Isotopic and geochemical provinces of the western Indian Ocean spreading centers. *Journal of Geophysical Research*, 1989, 94: 4033 ~ 4053
- 6 Mahoney J J, Frei R, Tejada M L G, et al. Tracing the Indian Ocean mantle domain through time: Isotopic results from old West Indian, East Tethyan, and South Pacific seafloor. *Journal of Petrology*, 1998, 39(7): 1285~1306
- 7 Todt W, Cliff R A, Hanser A, et al. Evaluation of a ^{202}Pb - ^{205}Pb double spike for high-precision lead isotopic analyses. In: Basu A, Hart S, eds. *Am Geophys Union Monogr*, 1996, 95: 429 ~ 437
- 8 Pyle D G, Christie D M, Mahoney J J, et al. Geochemistry and geochronology of ancient southeast Indian and southwest Pacific seafloor. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100(B11): 22261 ~ 22282