# 西准噶尔洪古勒楞蛇绿岩中玄武岩的中子活化分析研究

贾秀琴 董金泉 韩 松
（中国科学院高能物理研究所核分析技术重点实验室 北京 100049）

**摘要** 选用仪器中子活化法测定了新疆西准噶尔洪古勒楞蛇绿岩中玄武岩的稀土元素（REE）、过渡金属微量元素和不相容微量元素。地球化学研究认为，洪古勒楞玄武岩有两组：第一组与洪古勒楞蛇绿岩体有成因关系，包括部分辉绿岩和粗玄岩；第二组为与洪古勒楞蛇绿岩体无成因关系的洪古勒楞围岩玄武岩。探讨这两类玄武岩的成因联系，对与蛇绿岩有关各种岩石的成因类型、源区特征、相互联系、演化过程和含矿规律等的深入研究具有重要意义。

**关键词** 中子活化分析，玄武岩，稀土元素，微量元素
**中图分类号** O657.4

西准噶尔蛇绿岩是经过多次构造运动而被支解的大型复合蛇绿混杂岩带。它在地质学、地层学、岩石学和区域构造研究的基础上，按照不同的形成时代和分析规律，据断裂分割及自身发展特点，划分出6个地体。其中洪古勒楞蛇绿岩带第一组玄武岩为超镁铁岩体。在岩体东西部有块状堆晶岩层，可看到较多的辉绿岩脉。穿过辉长岩层，能见到强烈形变的玄武岩块，由于晚期构造的破坏，保留甚少。在前人的研究中，尚无明确提出过有玄武岩的存在。第二组玄武岩（包括辉绿岩），样品号HM22、HM24为围岩卡拉岗组，采自洪古勒楞以西的围岩哈归图斯组。样品号HC35、HC33、X-48采自南部。两组玄武岩在地球化学研究上可以分为大洋中脊玄武岩和岛弧玄武岩两大类。但这两类玄武岩并不都是和变质橄榄岩及堆晶岩等蛇绿岩类岩石有成因联系的。出露于堆晶岩顶部的块状辉长岩之上的玄武岩是大洋玄武岩，与蛇绿岩有成因联系。出露于围岩之中的岛弧玄武岩，与蛇绿岩断层接触，二者没有成因联系。这就使得该带的研究比原有的研究更深入了一步，更显得重要。本文采用中子活化（INAA）分析方法，测定这两组玄武岩中稀土元素（REE）和微量元素的成份和含量，探讨其与洪古勒楞蛇绿岩的成因联系，为洪古勒楞蛇绿岩的形成因素、成因类别、源区特征、演化过程、含矿规律等的深入研究提供新的科学依据，使研究结果更加准确可靠[1-5]。

## 1 实验样品与方法

### 1.1 实验样品

本工作取新疆西准噶尔洪古勒楞蛇绿岩中玄武岩样品9个，其中第一组洪古勒楞玄武岩4个，样品号为HM23、H5.8、H5.5、H5.1；第二组洪古勒楞围岩玄武岩5个，样品号为HM22、HM24、HC35、HC33、X-48，将样品制成200目，以备称量。

### 1.2 实验方法

将制成200目无污染的样品，用十万分之一天平准确称取一定量，另取地矿部研制的标准参考物3个（GSR1、GSR2、GSR3），与样品同时称量后用高纯铝箔包好，以备照射；再取混合标准一套（高能物理所自制）和样品组装一起，放入原子能研究院的重水反应堆照射8 h，中子注量率为（3—7）×$10^{13}$ $cm^{-2}\cdot s^{-1}$。经过辐照的样品冷却7—8d后进行第一次γ射线强度测量，冷却15—20d后进行第二次γ射线强度测量。所用仪器为美国ORTEC公司生产的Ge（Li）探测器和（PHGE）高纯锗探测器，以及4096道脉冲高度分析器与微机组成的谱仪系统。

INAA法具有灵敏度高、精确度好、用样量少、不需熔样、无试剂污染、一次测定多元素并且基体效应小等优点。采用该法分析蛇绿岩中玄武岩的稀土微量元素，不失为是一种有效的手段。作者 54

基金项目：国家重点攻关项目（新疆305项目）
第一作者：贾秀琴，女，1953年出生，高级实验师，核分析专业
收稿日期：2005-07-18，修回日期：2005-11-09

万方数据

次以地矿部研制的有证标准物质安山岩（GSR2）作为标样，用以验证该方法的分析结果，并对结果进行了统计，其中稀土元素标准误差对下列元素为：La=21.98±0.2176；Ce=39.82±0.1656；Nd=19.09±0.0324；Sm=3.378±0.0027；Eu=1.06±0.0003；Tb=0.41±0.0003；Yb=0.86±0.0008；Lu=0.12±0.0000；Sc=9.43±0.0012；Th=2.63±0.0013(μg/g)。数据结果证明用 INAA 分析地质岩石样品，是非常有效的方法之一[3-5]。

## 2　结果分析

### 2.1　稀土元素分析

稀土族元素具有极其相似的化学性质及相对稳定的地球化学特征，它们的丰度、配分模式、Eu 的正、负异常，均可成为岩石源区特征、熔融状况，岩浆演化及成岩后变迁的象征，是岩石成因及演化的重要指示剂，也是玄武岩成因类别的重要标志之一。表 1 列出洪古勒楞玄武岩类 REE 和微量元素的丰度含量，其 REE 标准化配分模式示于图 1。

从图 1 可以看出，第一组玄武岩样品，稀土元素总丰度值在 21.72—52.55μg/g 之间，平均 33.31μg/g。它们的配分模式由轻稀土（LREE）轻微亏损经平坦到重稀土（HREE）轻微富集型。全线斜率$(La/Yb)_{CN}$值在 0.83—2.1 之间，平均 1.34，轻稀土斜率 $(La/Sm)_{CN}$ 值在 0.91—1.45 之间，HREE 基本平行，重稀土斜率$(Tb/Yb)_{CN}$值在 1.05—1.16 之间。斜率特征$(Eu/Eu^*)_{CN}$值在 0.86—1.13，平均 0.99，基本无 Eu 异常。$(Yb)_{CN}$ 值在 10—15 之间。它们的 REE 配分模式接近 N-MORB 类型。

**表 1　洪古勒楞玄武岩类稀土和微量元素含量**

**Table 1　Analysis results of trace elements and REE of minerals in the Hongguleleng basalts**　　(μg/g)

| 元素 Element | 第一组 Group one | | | | 第二组 Group two | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | HM23 | H5.8 | H5.5 | HM5.1 | HM22 | HM24 | HC33 | HC35 | X-48 |
| | 辉绿岩 Diabase | 玄武岩 Basalt | 玄武岩 Basalt | 玄武岩 Basalt | 辉绿岩 Diabase | 辉绿岩 Diabase | 辉绿岩 Diabase | 玄武岩 Basalt | 玄武岩 Basalt |
| La | 3.50 | 2.71 | 5.95 | 8.80 | 12.7 | 19.4 | 7.03 | 6.43 | 8.90 |
| Ce | 7.92 | 7.16 | 13.1 | 21.1 | 29.4 | 39.3 | 15.3 | 15.0 | 17.5 |
| Nd | 5.48 | 5.98 | 9.13 | 13.6 | 16.8 | 21.8 | 10.6 | 9.27 | 11.0 |
| Sm | 1.78 | 1.88 | 2.91 | 3.82 | 4.27 | 5.58 | 3.02 | 2.73 | 3.09 |
| Eu | 0.79 | 0.85 | 1.15 | 1.15 | 1.43 | 1.80 | 0.98 | 0.90 | 1.01 |
| Tb | 0.49 | 0.59 | 0.80 | 0.76 | 0.80 | 0.99 | 0.63 | 0.59 | 0.54 |
| Yb | 2.07 | 2.21 | 3.08 | 2.90 | 2.26 | 2.38 | 1.82 | 2.01 | 1.36 |
| Lu | 0.32 | 0.34 | 0.49 | 0.42 | 0.31 | 0.33 | 0.26 | 0.29 | 0.22 |
| $(Eu/Eu^*)_{CN}$ | 1.13 | 0.97 | 0.99 | 0.86 | 0.98 | 0.95 | 0.92 | 0.91 | 0.97 |
| $(La/Yb)_{CN}$ | 1.14 | 0.83 | 1.30 | 2.10 | 3.79 | 5.47 | 2.60 | 2.20 | 4.41 |
| $(La/Sm)_{CN}$ | 1.24 | 0.91 | 1.20 | 1.45 | 1.87 | 2.18 | 1.46 | 1.48 | 1.81 |
| $(Tb/Yb)_{CN}$ | 1.05 | 1.17 | 1.15 | 1.16 | 1.56 | 1.84 | 1.51 | 1.35 | 1.77 |
| ΣREE | 22.35 | 21.72 | 36.61 | 52.55 | 67.97 | 91.58 | 39.64 | 37.22 | 43.62 |
| Sc | 35.9 | 34.7 | 30.6 | 33.8 | 23.8 | 20.5 | 27.4 | 29.7 | 43.1 |
| Ti | 10620 | 7420 | 7860 | 9780 | 12000 | 11220 | 5700 | 4320 | 4260 |
| Cr | 221 | 133.3 | 234 | 285.7 | 118 | 699 | 18.4 | 134 | 289 |
| Mn | 1030 | 1246 | 1394 | 1317 | 1471 | 1471 | 1471 | 1030 | 1627 |
| Fe | 86500 | 62800 | 70310 | 73781 | 73200 | 68600 | 70700 | 72100 | 81500 |
| Co | 40 | 31 | 30.4 | 31.8 | 35.8 | 48.4 | 26.3 | 29.6 | 39.4 |
| Ni | 27.7 | 19.1 | 93.4 | 143.4 | 38.6 | 137 | 31.0 | 27.5 | 97.4 |
| Zn | 122 | 37.5 | 60.1 | 79 | 213 | 105 | 115 | 105.1 | 95 |
| Sr | 283 | 162 | 272 | 163 | 268 | 181 | 318 | 471 | 347 |
| K | 4732 | 1699 | 2656 | 1743 | 15774 | 16851 | 2822 | 17938 | 1411 |
| Rb | 5.5 | 8.6 | 8.8 | 4.3 | 23.8 | 15.4 | 37.5 | 26.9 | 7.17 |
| Ba | 76.0 | 58.9 | 40.4 | 64.1 | 203.5 | 197.0 | 121.0 | 131 | 67.3 |
| Th | 0.328 | 0.31 | 0.52 | 0.64 | 2.64 | 0.8 | 1.23 | 1.69 | 1.40 |
| Ta | 0.136 | 0.283 | 0.258 | 0.287 | 0.383 | 0.627 | 0.223 | 0.104 | 0.287 |
| P | 672.4 | 891.0 | 655.0 | 1091.5 | 2707.0 | 3787.2 | 917.0 | 1135.2 | 786.0 |
| Zr | 131.4 | 184.1 | 85.1 | 93.1 | 213 | 163 | 104 | 128 | 108.3 |
| Hf | 1.60 | 2.24 | 2.03 | 3.16 | 2.57 | 4.11 | 2.06 | 1.78 | 1.52 |

万方数据

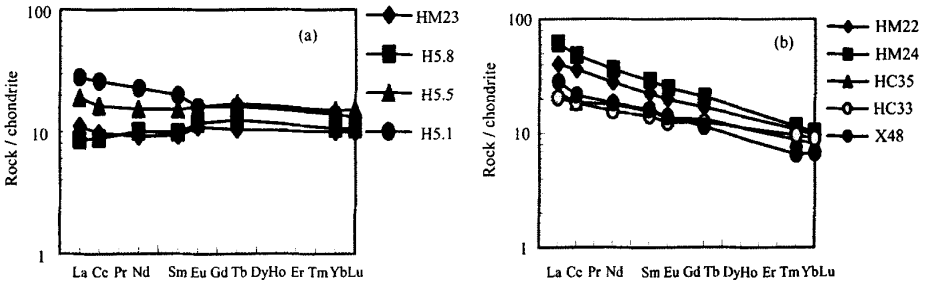



**图1** 洪古勒楞玄武岩类 REE 球粒陨石标准化模式: (a)第一组; (b)第二组

**Fig. 1** REE patterns of the Hongguleleng basalts. (a)group one; (b)group two

第二组玄武岩的稀土元素总丰度在 37.22—91.58 μg/g 之间，平均值为 56.01μg/g。配分曲线斜率$(La/Yb)_{CN}$值在 2.2—5.47。$(La/Sm)_{CN}$值在 1.46—2.15，$(Tb/Yb)_{CN}$值在 1.35—1.84。均为 LREE 轻度富集型。它们的稀土元素总含量及 LREE/HREE 的比值都明显高于第一组玄武岩。$(Eu/Eu^*)_{CN}$ 值在 0.91—0.97 之间，平均 0.95 为 Eu 轻微负异常。$(Yb)_{CN}$值在 6—11。它们的 REE 配分模式类似于岛弧玄武岩的 REE 配分模式。

## 2.2 微量元素分析

**2.2.1** 过渡金属元素 在岩浆生成和演化过程中，Cr、Co、Ni 的分配系数 $D>1$，属相容元素。其中 Co 和 Ni 的主要寄存矿物为橄榄石。Cr 则赋存在尖晶石、石榴石和单斜辉石里。当上述矿物作为残留相保存在地幔岩中，或作为分离相脱离熔浆时，这些元素在液相中会大量亏损。Sr、Ti、V 总分配系数 $D>0.2$，为适当不相容元素在岩浆中轻度富集。它们的差异会在一定程度上反映出原始岩浆的性质或演化的不同经历[6-8]。

洪古勒楞玄武岩类过渡金属元素见表 1，它们的球粒陨石标准化模式见图 2。图 2 显示出两组玄武岩的配分模式是一致的，表现出强烈的分异特征：Sc、Ti、V 的正异常和 Cr 的负异常， Mn、Zn 大致保持在原始地幔值上下。这些元素的分异程度和均质辉长岩( HM12)近似，与变质橄榄岩的过渡金属元素配分模式成互补形态。第一组玄武岩的标准化曲线，彼此相当收敛。第二组玄武岩的同组之间与第一组玄武岩之间比较，Sc、Ti、 Cr、Mn 丰度均有某些分散。

**2.2.2** 不相容元素 不相容元素在熔融或分离结晶过程中，优先富集于熔体中。它们的丰度不但在一定程度上反映出熔融的状况，而且可反映出源区的特征。洪古勒楞玄武岩类不相容元素列于表 1，该数据以 N-MORB 相应的丰度值标准化后作图示于图 3[6-8]。

从图 3 中可以看出，两组玄武岩不相容元素 N-MORB 标准化曲线图明显不同，第一组玄武岩的配分模式为一圆滑的负斜率曲线，与 N-MORB 平均值相比，Sr 到 La 微富集，Ce 到 Zr 轻微富集。Hf 之后则略亏损。Ta 相对于 La 和 Ce 无亏损，属大洋型玄武岩。第二组玄武岩的配分曲线，呈现 K、Rb、

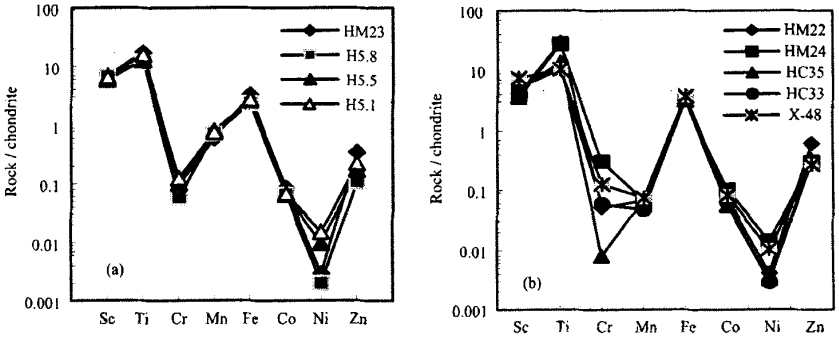



**图2** 玄武岩过渡金属元素球粒陨石标准化模式: (a) 第一组; (b) 第二组

**Fig. 2** Chondrite-normalized transition metal element patterns of the Hongguleleng basalts. (a) group one; (b)group two

万方数据

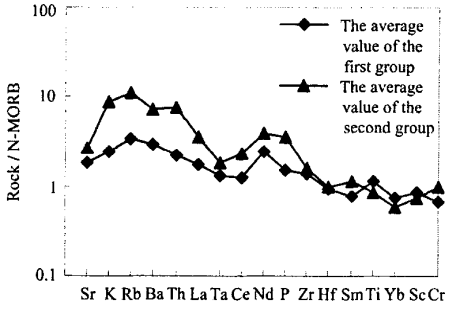



**图 3** 玄武岩不相容元素的 N-MORB 标准化图解

**Fig. 3** N-MORB normalized incompatible element patterns of basalts

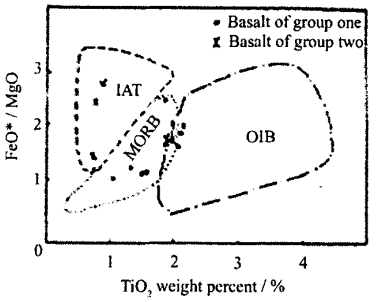



**图 4** FeO*/MgO-$TiO_2$ 图解[7,8]

**Fig. 4** FeO*/MgO-$TiO_2$ diagram

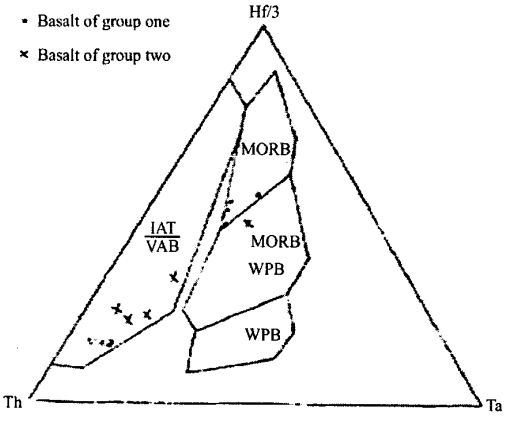



**图 5** Hf/3-Th-Ta 图解[7,8]

**Fig. 5** Hf/3-Th-Ta diagram

Ba、Th 的强烈富集，其余大部分元素均比第一组玄武岩富集，曲线振荡幅度大于第一组曲线。Ta 相对于 La 和 Ce 有亏损，大粒半径亲石元素（LILE）值离散，表现了岛弧火山岩的特性，与 Pearce 玄武岩类型判断图相比，第一组玄武岩近似于大西洋中脊玄武岩类，第二类玄武岩近似于新赫布里底火山弧玄武岩。

## 3 讨论

洪古勒楞第一组玄武岩有与 MORB 相似的 REE 和不相容元素特征。第二组玄武岩则显示出产生在火山弧环境中的玄武岩特点。

为进一步说明洪古勒楞玄武岩类的产出环境，把两组样品的有关数据，投影在 FeO*/MgO-$TiO_2$ 图（见图 4）和 Hf/3-Th-Ta 图（见图 5）进行玄武岩生成环境判别。在 FeO*/MgO-$TiO_2$ 图解上，绝大部分第一组玄武岩落入 MORB 范围。第二组玄武岩则大部分落在 IAT 区域。在 Hf/3-Th-Ta 图解上，第一组玄武岩全部投进 MORB 区域，第二组玄武岩却大部分投在 VAB 范围。

依据上述四方面地球化学证据，可以认为，洪古勒楞第一组玄武岩为 MORB 环境的产物，它们与变质橄榄岩、堆晶岩及块状辉长岩有成因联系。变质橄榄岩是部分熔融后残留的地幔岩，堆晶岩和第一组玄武岩是同源岩浆分离结晶程度不同的产物。由此推测，该蛇绿岩组合是一块古大洋壳残片。第二组玄武岩属岛弧火山岩类[7,8]，可能是更晚期的侵入体，与洪古勒楞蛇绿岩体的各类岩石在成因上可能并无关联，它们彼此间的成因联系，因证据不足尚不清楚。它们的 REE 标准化配分模式（图 1）也显示出其规律性变化。

## 参考文献

1 贾秀琴，董金泉，韩松. 核技术，2005，**28**(3)：200—204
JIA Xuqin, DONG Jinquan, HAN Song. Nucl Tech, 2005, **28**(3): 200—204

2 贾秀琴，董金泉，韩松. 同位素，2004，**17**(3)：129—134
JIA Xuqin, DONG Jinquan, HAN Song. J Isot, 2004, **17**(3): 129—134

3 贾秀琴，韩松，高正耀. 核技术，2002，**25**(2)：137—143
JIA Xuqin, HAN Song, GAO Zhengyao. Nucl Tech, 2002, **25**(2): 137—143

4 贾秀琴，韩松，王昌燧. 核技术，2002，**25**(3)：201—205
JIA Xiuqin, HAN Song, WANG Changsui. Nucl Tech, 2002, **25**(3): 201—205

5 王希斌，鲍佩声，邓万明，等. 西藏蛇绿岩. 地质出版社，1987
WANG Xibin, BAO Peisheng, DENG Wanming, *et al.* Xizang (Tibet) Ophiolite. Geol Publ House, 1987

6 王仁民，贺高品，陈珍珍，等. 变质岩原岩图解判别法. 地质出版社，1987

万方数据

WANG Renmin, HE Gaopin, CHEN Zhenzhen, *et al.* Discrimination methods of Diagram for Metamorphic Rocks. Geol Publ House, 1987

7 金成伟, 杨瑞瑛, 黄忠祥. 科学通报, 1984, (6): 365—367
JIN Chengwei, YANG Ruiying, HUANG Zhongxiang. Chinese Sci Bull, 1984, (6): 365—367

8 张旗, 杨瑞瑛. 科学通报, 1985, (16): 1243—1245
ZHANG Qi, YANG Ruiying. Chinese Sci Bull, 1985, (16): 1234—1245

## NAA study of basalt of the west Zhunger Hongguleleng ophiolite

JIA Xiuqin DONG Jinquan HAN Song

*(Key Laboratory of Nuclear Analysis Techniques, Institute of High Energy Physics, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

**Abstract** The REE and trace elements contents in the basalt of the west Zhunger Hongguleleng ophiolite have been measured with INAA method. The geochemical characteristics have been analyzed according to the amounts of its rare earth elements, transition metal trace elements and incompatible elements. The Hongguleleng basalt could be divided into two groups: one mainly consists of the basalt which is correlative with the formation of the Hongguleleng ophiolite, including some diabase and trachybasalt, while the other mainly consists of the wall rock basalt which is not correlative with the formation of the Hongguleleng ophiolite. It is significant to research this two types of basalt for studying their formation class, origin characteristics, relative dependence, evolvement procedure and the rule of coming into mine.

**Keywords** NAA, Basalt, REE, Trace element

**CLC** O657.4

万方数据

# 西准噶尔洪古勒楞蛇绿岩中玄武岩的中子活化分析研究

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 贾秀琴， 董金泉， 韩松， JIA Xiuqin， DONG Jinquan， HAN Song
作者单位： 中国科学院高能物理研究所核分析技术重点实验室,北京,100049
刊名： 核技术 ISTIC PKU
英文刊名： NUCLEAR TECHNIQUES
年，卷(期)： 2006,29(6)

## 参考文献(8条)

1. 贾秀琴;董金泉;韩松 中子活化分析法对洪古勒楞蛇绿岩中变质橄榄岩的地球化学研究[期刊论文]-核技术 2005(03)

2. 贾秀琴;董金泉;韩松 古钧瓷与现代钧瓷的中子活化分析[期刊论文]-同位素 2004(03)

3. 贾秀琴;韩松;高正耀 用中子活化分析法鉴别古陶瓷的种类[期刊论文]-核技术 2002(02)

4. 贾秀琴;韩松;王昌燧 中子活化分析对河南南阳独山玉的研究[期刊论文]-核技术 2002(03)

5. 王希斌;鲍佩声;邓万明 西藏蛇绿岩 1987

6. 王仁民;贺高品;陈珍珍 变质岩原岩图解判别法 1987

7. 金成伟;杨瑞瑛;黄忠祥 查看详情 1984(06)

8. 张旗;杨瑞瑛 查看详情 1985(16)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hjs200606004.aspx