

# 绿岩套和蛇绿岩套的区分标志

郑新华 白文吉

(中国地质科学院地质研究所)

**主题词:** 绿岩; 蛇绿岩; 标志

**提 要:** 综合绿岩、蛇绿岩的有关概念、地质环境、岩石学、地球化学特征, 论述蛇绿岩和绿岩之间的异同。

目前由于太古宙和显生宙地质构造研究的进展, 使人们对绿岩套和蛇绿岩套的特征及其相互之间的异同性、联系性和形成环境越来越感兴趣。同时, 在不同地区的地质构造研究中, 对上述两种岩套在概念上和成因上存在混淆。本文将讨论这一问题。

## 一、两个概念

太古宙绿岩这一名称是在1956年北大西洋国家地质会议上提出的<sup>[1]</sup>, 1982年11月国际地科联前寒武纪地层分会第6次会议决定, 太古代称太古宙, 时间界限为25亿年<sup>[2]</sup>。太古宙绿岩系指近于平行分布在太古宙克拉通内、被古老花岗岩或花岗片麻岩类包围的古老(3.4~2.5Ga)火山—沉积盆地建造, 其基性火山岩已变质成绿纤岩—葡萄石相、绿片岩相和角闪岩相等绿色片岩系。

蛇绿岩这一名词1905年 Steinmann 首次用于阿尔卑斯造山带。1972年美国地质学会召开的 Penrose 会议, 对蛇绿岩套的层序作了统一。岩套上部为基性火山岩, 向下过渡为基性席状岩墙杂岩, 再向下为辉长岩, 更下部为层状堆积岩, 最下部层位为橄榄岩类。目前一致认为蛇绿岩套代表古大洋壳, 蛇绿岩块为异地构造搬运来的古洋壳的碎块, 其成因与板块构造作用有关。

## 二、两种层序

世界太古宙绿岩带, 无例外均分布在稳定地盾区, 如南非巴伯顿 (Barberton)、津巴布韦、西澳大利亚的伊尔岗 (Yilgarn) 及皮尔巴拉 (Pilbara)、加拿大的苏比利尔 (Superior)、印度的达瓦尔 (Dharwar) 和苏联科拉 (Kola) 等地。绿岩形成时代从大约 3.5Ga (巴伯顿) ~2.7Ga (卡尔古利) (Kalgoorlie), 2.3~2.6Ga (达瓦尔)。大多数绿岩套形成于 2.6~2.7Ga。已知最老的格陵兰伊苏阿 (Isua) 绿岩带中的条带含铁建造时代为  $3.76 \pm 0.07\text{Ga}$ <sup>[5]</sup>, 而较年轻 (约1.8Ga) 的绿岩带见于北美和其它地区<sup>[7]</sup>。最长的绿岩带可达675km (伊尔岗), 最短的只数十公里 (南非)。绿岩带在一个地区或克拉通内有数条到30条之多, 面积10余万到260万平方公里。花岗岩和绿岩的比例从2:1—8:1不等。岩序厚度从8km到20km, 绿岩岩序的旋迴多达3个以上。

蛇绿岩套呈带状沿年轻的褶皱带分布<sup>[4]</sup>。蛇绿岩带长度从几百公里到数千公里, 多沿年

轻山脉分布。在一个褶皱带内可出现数条蛇绿岩带。蛇绿岩套不与大面积的花岗岩和花岗片麻岩伴生。在岩序上只存在一个旋迴，蛇绿岩套火成岩部分厚度较薄，最厚可达10余公里。

绿岩套的旋迴表现在火山岩—沉积岩旋迴（组合）上，火山岩—沉积岩旋迴可以反复出现，或者火山岩、沉积岩单独呈旋迴出现。火山岩旋迴从超镁铁—镁铁质熔岩开始，向上渐变成镁铁质熔岩，再向上以长英质火山岩的出现而结束一个旋迴。在沉积旋迴中，从下部杂砂岩（有时为砾岩）向上部粒度变小，到上部页岩和燧石比例增加。火山—沉积旋迴表现为两者反复出现。

蛇绿岩套中层序的旋迴性只表现在堆积杂岩岩性的变化上，通常每个旋迴以橄榄石堆积开始向上为单斜辉石—斜长石—橄榄石堆积，以单斜辉石—斜长石堆积结束。

绿岩套上部的沉积岩层（通常占15—30%）中灰岩很少见，而以杂砂岩—泥质岩组合和含铁石英岩建造占优势，层内交错层理、波痕和泥裂（如巴伯顿木迪斯群）发育。绿岩套的沉积物有火山和复理石两种主要相。

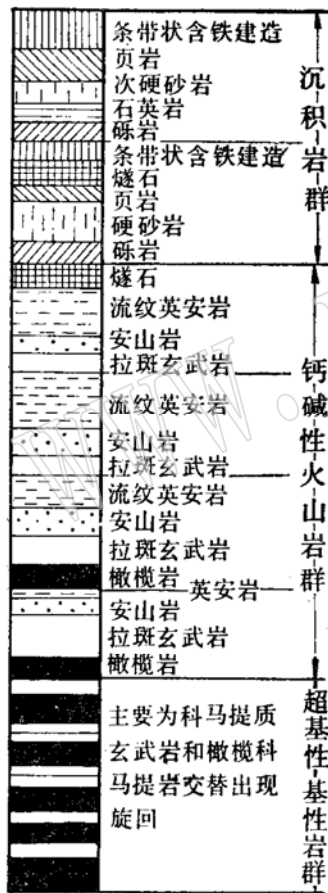


图 1 根据巴伯顿绿岩带标准编制的太古宙绿岩套层序图 (据B.F.Windley, 1977)

Fig 1 Hypothetical stratigraphic succession for an Archean greenstone suite based on the Barberton model

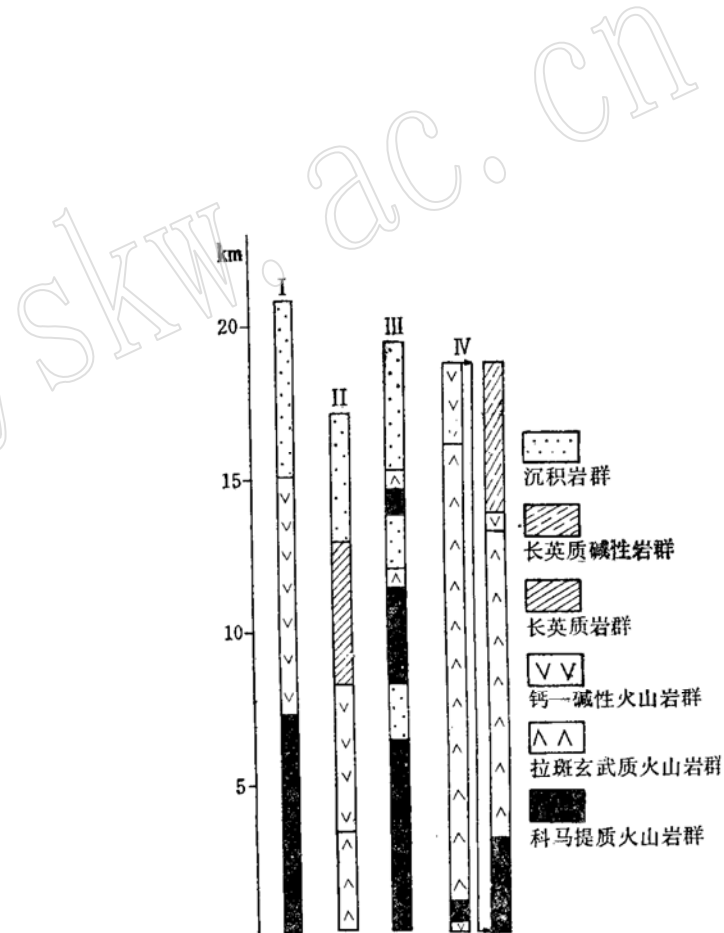


图 2 太古宙绿岩套剖面层序对比图 (据A.Y.Glikson, 1972及L.S.Jensen, 1982 资料编制)

Fig 2 Generalized stratigraphic sections of Archean greenstone suite  
I—南非巴伯顿；II—津巴布韦布拉瓦约—沙姆瓦群；III—西澳大利亚库尔加迪—库拉旺；IV—加拿大阿比提比

蛇绿岩套中的沉积物位于枕状熔岩之上或与枕状熔岩形成互层,其中最常见的是燧石和泥页岩,再向上为复理石建造。

绿岩套中没有席状岩墙杂岩,而蛇绿岩套中往往见到。绿岩套的下部火山岩中有时见到层状镁铁岩—超镁铁岩杂岩体,而蛇绿岩火山岩下部为辉长岩。

### 三、两种岩系

绿岩套底部常见科马提岩,如南非、津巴布韦、西澳大利亚、加拿大、印度、芬兰和苏联等地。具鬣刺结构的超镁铁质岩石科马提岩只出现在绿岩套内。但是也有少量关于在显生宙蛇绿岩套内有科马提岩类似物的报导<sup>[5]</sup>。

蛇绿岩套底部的超镁铁岩为变形橄榄岩相,主要由斜辉辉橄岩组成,其次为二辉橄橄岩。

绿岩套的科马提岩之上为拉斑玄武岩或钙碱性火山岩。而蛇绿岩的变形橄榄岩相之上为包括纯橄岩、斜长石纯橄岩、异剥橄橄岩和辉石岩等在內的堆积杂岩相。

绿岩套內的火山岩可划分出高镁系列(科马提岩系列)、拉斑玄武岩系列和钙碱性岩系列。又可分出二个类型,其一为双模式型,主要由镁铁—超镁铁质和长英质二个端元岩石组成,另一种主要由钙碱性岩石组成<sup>[8]</sup>。绿岩套剖面下部可由上述两种类型中的任何一种岩石组成,但是上部层位一般为钙碱性火山岩(图1、2)。但是缺乏碱性火山岩(除阿比提比绿岩套外)。蛇绿岩套內的火山岩主要为拉斑玄武岩。

与绿岩套相伴随的花岗岩所占比例较大,故有时采用花岗岩—绿岩地体(块)这一名称。花岗岩是以英云闪长岩—奥长花岗岩(钠质花岗岩)为主,经变形后形成叶理化花岗闪长片麻岩。氧和锶同位素比值证明其为正片麻岩<sup>[8]</sup>(当然不排除少部分为副片麻岩的可能性)。这种花岗岩类与镁铁岩—超镁铁岩的同位素年龄相近,但是在两者关系上没有统一的认识。大部分研究人员认为绿岩套相对年轻。根据绿岩套底部常见有含钠质片麻岩的砾石层或绿岩套不整合盖在古老片麻岩之上,如达瓦尔系、津巴布韦布拉瓦约群(Bulawayo Groups),认为这种片麻岩为绿岩的最可能的基底<sup>[12]</sup>。也有人认为绿岩较老,因为片麻岩中有绿岩的包体。总之,由于地质年代久远和多次构造变形,使花岗岩与绿岩的界线复杂化了。由于多数绿岩带构成向斜构造,看上去似乎花岗岩呈底辟侵入<sup>[8]</sup>。蛇绿岩带附近的高温带的花岗岩比蛇绿岩年轻,但远离蛇绿岩套分布,即两者关系不象花岗岩—绿岩地体那样密切。上述二种花岗岩无论在形成时间、结构构造和化学成分方面都不一致。与蛇绿岩伴生的大洋斜长花岗岩<sup>[4]</sup>,呈不规则的、不连续的小型岩带,分布在蛇绿岩套的上部层位,多为英云闪长岩和钠长花岗岩,是蛇绿岩层序分异的最终产物。

### 四、两种岩系的岩石化学特征

以巴伯顿及加拿大为代表的绿岩套同以塞浦路斯特罗多斯(Troodos)为代表的蛇绿岩套的岩石化学进行对比。巴伯顿绿岩套为“老”绿岩套( $\geq 3.5\text{Ga}$ ),加拿大的绿岩套为“年轻”的绿岩套(2.5~2.7Ga)。

在 $\text{MgO} - \Sigma\text{FeO} - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 和 $\text{MgO} - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ 三组分图解(图3-4)上,可见绿岩套火山岩组合与蛇绿岩火山岩组合有相似的演化趋势,即随MgO减少, $\Sigma\text{FeO}$ 增加,

MgO和 $\Sigma\text{FeO}$ 同时减少则 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 增高。蛇绿岩套的MgO含量较高,即更接近于MgO端元(图4)。绿岩套火山岩比蛇绿岩火山岩更富含 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。在绿岩套中间,“年轻”的比“老”的更富含 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和具较低的 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值。

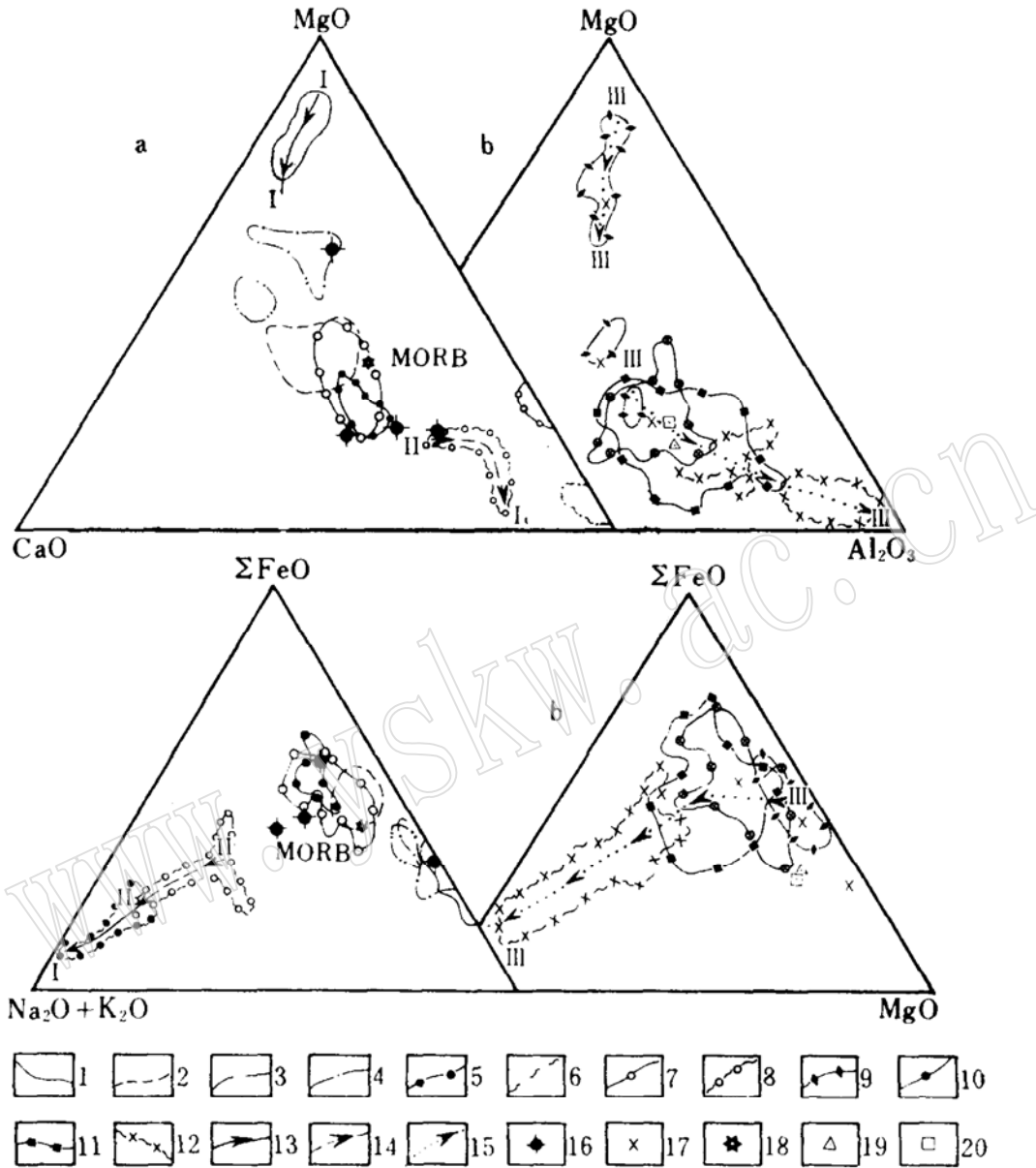


图3 太古宙绿岩套火山岩的 $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$  (上半部) 和  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \Sigma\text{FeO} - \text{MgO}$  (下半部) 图解。

Fig 3  $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \Sigma\text{FeO} - \text{MgO}$  diagrams for the volcanic rocks in Archean greenstone suite

a—“老”绿岩套; b—“年轻”绿岩套; 1—8—南非巴伯顿昂韦瓦克特群(1—6下群、7—8上群),其中: 1—橄榄质科马提岩; 2—4科马提质玄武岩(2—巴伯顿型; 3—Badplaas型; 4—Geluk型); 5—拉斑玄武岩; 6—8酸性火山岩; 7—玄武岩; 9—12加拿大绿岩带; 其中: 9—超镁铁岩; 10—玄武岩; 11—安山玄武岩; 12—酸性火山岩; 13—15成分演化方向, 其中: 13及14相应为昂韦瓦克特下群及上群; 15—加拿大; 16—津巴布韦; 17—阿比提比(1~17根据313个分析, В.А. Рудник и др.1984); 18—20玄武岩平均成分(根据K.C. Condie, 1981), 其中: 18—大洋中脊; 19—岛弧; 20—大陆裂谷

绿岩套火山岩化学成分演化趋势可分为三条趋势线<sup>(9)</sup>, 昂韦瓦克特下群为I-I线, 昂韦瓦克特(Onverwacht)上群为II-II线, “年轻”绿岩套为III-III线(图3)。由于“老”绿

岩套内含大量超镁铁质火山岩，而含少量中性火山岩，所以趋势线是间断的，而“年轻”绿

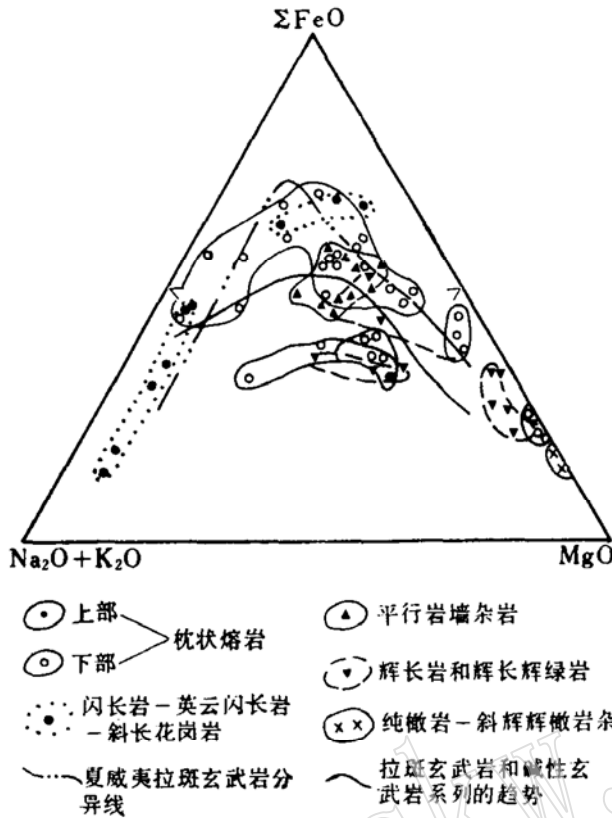


图 4 特罗多斯蛇绿岩的  $Na_2O + K_2O - \Sigma FeO - MgO$  图解 (据 M.S. Markov, 1977)

Fig. 4  $Na_2O + K_2O - \Sigma FeO - MgO$  diagram for the Troodos ophiolite

岩套的趋势线则是连续的 (图3)。这可能同岩浆源演化程度有关，而“年轻”者比“老”者火山岩分异性较好。

已知特罗多斯蛇绿岩套中火山岩和其它层序的岩石在空间上伴生，但是在成分上是彼此孤立的。一般说较老的绿岩套内拉斑玄武岩与洋中脊拉斑玄武岩相似，而“年轻”绿岩套中的玄武岩与岛弧或钙碱性玄武岩相似。

个别绿岩带 (如阿比提比) 有碱性火山岩，但占火山岩的少部分 (约 13%)<sup>[8]</sup>，主要是粗面安山岩和粗面岩，故有人认为太古宙绿岩代表早期裂谷作用的遗迹。

### 五、两种岩系中火山岩的微量元素特征

一般说 Ti、Cr、Zr 和 Y 等元素在变质作用中是较稳定的，它们的含量和比值具有原始特点<sup>[13]</sup>。统计表明，橄榄质科马提岩比蛇绿岩型橄榄岩富含  $TiO_2$ 、CaO、MnO、Zr、Cr 和 Y，Ti/Zr 比值较高，而 MgO 和 Zr/Y 较低，与大洋中脊超镁铁岩相比，太古宙科马提岩富 Zr 和贫 Ni (图 5)。

某些微量元素比值的不同，反映出太古宙拉斑玄武岩与大洋中脊拉斑玄武岩的区别 (下表)。表中元素比值对部分熔融很不灵敏，故该表显示出太古宙地幔中大离子亲石元素的亏损比现代地幔要少<sup>[8]</sup>。

太古宙安山岩与现代岛弧安山岩相比，前者  $Al_2O_3$  较低，FeO、MgO 及 FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ni/Co 值较高，富含 Ni、Cr、Co 等过渡元素而与后者相互区别<sup>[8]</sup>。

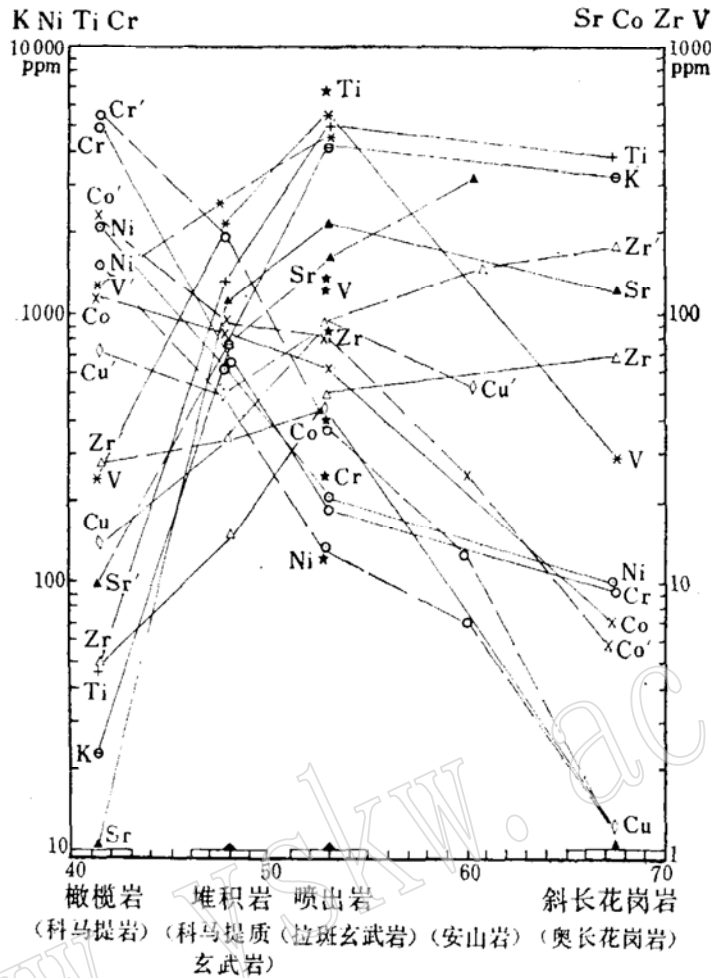


图5 蛇绿岩套内(无括弧的、实线)(据R.G. Coleman 1977)和绿岩套内(括弧内,虚线)(据K.C. Condie, 1981)的火成岩及大洋中脊玄武岩(星号表示)(据J.A. Pearce, 1981)的SiO<sub>2</sub>-微量元素图解

Fig.5 SiO<sub>2</sub>-trace elements diagram for the average igneous rocks of different types in ophiolite suite (no round brackets, Solid lines), in greenstone suite (in round brackets, dashed lines) and mid-ocean ridge basalt (stars)

	Sr/Ba	Rb/Sr	K/Rb	K/Sr	K/Ba
太古宙拉斑玄武岩	0.3	0.035	470	2660	16
大洋中脊玄武岩	10	0.008	1050	81000	110

(据K.C. Condie, 1981)

## 六、稀土元素

绿岩套中的科马提岩和蛇绿岩套上部辉长岩的REE 模式相似, REE 丰度低、LREE 略

亏损或只有轻微的Eu正异常，模式中 REE 丰度近似于球粒陨石模式。绿岩套中科马提质玄武岩及拉斑玄武岩与蛇绿岩的枕状基性熔岩的REE模式相似，无Eu异常，高于球粒陨石丰度的10倍，与现代大洋中脊和不成熟岛弧拉斑玄武岩的模式相似。

太古宙绿岩套中的其他岩石，如TH<sub>2</sub>型拉斑玄武岩 (K. C. Condie, 1981)、安山岩、英云闪长岩—奥长花岗岩、花岗闪长岩、长英质火山岩等，同太古宙以后的相应种类的岩石，在REE模式上没有明显的差别。

但是在 (La/Sm)<sub>N</sub> — (Sm)<sub>N</sub> 图解上，(图6) 太古宙橄榄质科马提岩、玄武质科马提岩和拉斑玄武岩与现代大洋中脊玄武岩有明显的差别。现代大洋中脊玄武岩 (La/Sm)<sub>N</sub> 0.7~0.4, (Sm)<sub>N</sub> 7~28, 而太古宙科马提岩和拉斑玄武岩大部分 (La/Sm)<sub>N</sub> 0.6~1.6, (Sm)<sub>N</sub> 2~18 (图6)。

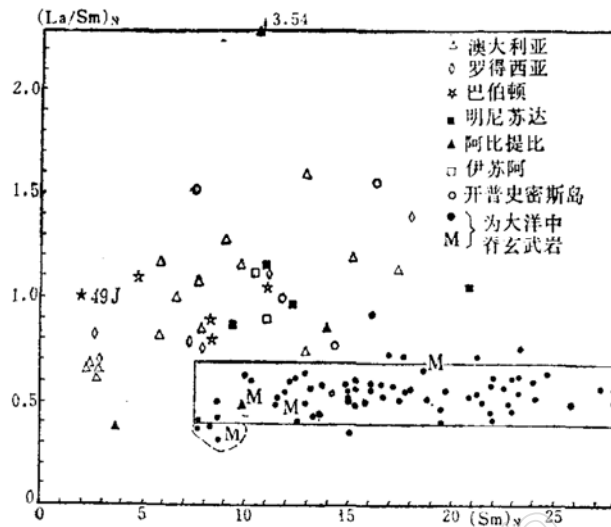


图6 太古宙科马提岩、科马提质玄武岩及拉斑玄武岩的 (La/Sm)<sub>N</sub> — (Sm)<sub>N</sub> 图解

Fig.6 (La/Sm)<sub>N</sub> Versus (Sm)<sub>N</sub> for Archean peridotitic komatiites, basaltic komatiites and tholeiitic lavas MORB data are outlined in the rectangle

N表示球粒陨石标准化，现代大洋中脊玄武岩投点限于矩形范围内 (据Sun and Nesbitt, 1977; M点据K.C. Condie, 1981)

### 七、同位素

绿岩套的火山岩锶同位素初始比 (I = 0.7001~0.7034) 近似于全球比值 0.69877<sup>[18]</sup>，因而绿岩套火山岩应起源于较原始的地幔。

蛇绿岩套各单元岩石的锶同位素比值表明，它们具多成因性质，岩浆来源是不同的<sup>[4]</sup>，如下部变质橄榄岩锶同位素比值 (I = 0.7066—0.7156) 明显区别于堆积岩和喷出岩 (I = 0.7040—0.7065)，故把变质橄榄岩和堆积岩、喷出岩作为不同成因产物。

### 八、变质作用

大多数绿岩套的变质程度为绿片岩相，在变质岩石中通常可辨认出原始岩石的结构、构造，如鬃刺结构、枕状构造、杏仁构造、辉绿结构等等。在绿岩套分布区，可以分出区域变质、接触变质及退化变质等种类，一般认为变质程度与层位没有依附关系<sup>[6, 15]</sup>。从许多绿岩带的中部到边部变质程度增高，可达到角闪岩相。绿岩带内区域变质程度与构造之间存在一定关系，如伊尔岗东部金矿区内，区域变质相的分布平行于区域构造方向。但在2.6—2.7Ga间，花岗岩岩浆大量活动使绿岩带遭受一定程度的区域变形和变质作用<sup>[6]</sup>。

蛇绿岩套上部相当于沸石相变质程度，变质作用受循环海水和热梯度的控制<sup>[4]</sup>，为低级变质作用，静压1—3×10<sup>8</sup>Pa，温度300—500℃<sup>[9]</sup>，或更低。一般说，高级变质岩，如高级角闪岩和麻粒岩相，分布在克拉通之间的活动带内。活动带是长期连续的构造作用和热事件

的发生地带。据放射性年龄研究, 罗得西亚和卡普瓦尔 (Kaapvaal) 两个克拉通之间的林波波 (Limpopo) 活动带内, 可分出3.8、3.6、3.2、2.9~2.7以及2.5Ga的热事件, 同低级花岗岩—绿岩地体的年龄相联系。这种活动带被认为是前寒武纪花岗岩化和强烈变质作用的线型带<sup>[17]</sup>。高级变质活动带和低级变质裂谷带几乎是同时形成的, 类似于现代转换带和大洋中脊带的情况。

太古宙地体中不发育蓝片岩相, 缺乏岛弧地区的双变质带, 故现代板块运动模式还不能应用于前寒武纪<sup>[3]</sup>。J. Tarney(1984)认为太古宙高级地体是俯冲带挤压的地方, 但不一定有板块构造<sup>[19]</sup>。

蛇绿岩的高级变质为高级角闪岩相的晕圈以及高压蓝片岩组合。较薄的(10—20m)的角闪岩晕均分布在变形橄榄岩相底部, 据推测是洋壳和地幔碎块仰冲到大陆边缘和岛弧中热作用的结果<sup>[4]</sup>, 它的缺失, 说明海洋冷板块侵位造成的。蓝片岩的存在, 有人认为主要与碱性岩石的存在有关, 而不是其他物理条件<sup>[10]</sup>。温压实验表明蓝片岩无疑是高压应力作用产物, 从地质构造环境看, 与板块俯冲作用有关。

此外太古宙绿岩被认为是原地的, 火山岩与沉积岩呈整合接触关系, 而蛇绿岩套是异地的古洋壳碎块。

总之, 绿岩和蛇绿岩之间存在一定相似性和差异性, 这也反映了地壳演化的不可逆性。绿岩和蛇绿岩是地球二个不同阶段地壳演化的产物, 二者不是同一地体, 但具某些相似性。

绿岩带与蛇绿岩带具有相当重要的矿产, 如金矿、铬铁矿等, 而绿岩带在金矿、镍矿等方面尤其重要。二个岩套的上述矿产在成因类型上也是不同的。

### 参 考 文 献

- [1] Windley, B. F., 1977, *The Evolving Continents*, pp23~24.
- [2] 孙大中, 陈松年, 1983.1, 国外前寒武纪地质。
- [3] Kroner, A., 1982.4, 前寒武纪的板块构造, 国外前寒武纪地质。
- [4] Coleman, R. G., 1982, 蛇绿岩。
- [5] McCall, G. J. H., 1982.4, 地球早期历史研究的进展, 国外前寒武纪地质。
- [6] Windley, B. F., 1975, *The Early History of the Earth*.
- [7] Goodwin, A. M., 1982.3, 太古代板块和绿岩带, 国外前寒武纪地质。
- [8] Condie, K. C., 1981, *Archean greenstone belts*.
- [9] Рудник В. А., Саботович, Э. В., 1984, Ранняя история Земли, М. "Недра".
- [10] Маракушев А. А., 1982, Гепетические типы зеленокаменных поясов. В кн.: Зеленокаменные пояса древних щитов, С. 27—47.
- [11] Наливкина Э. Б., 1982, Два типа зеленокаменных поясов докембрия. В кн.: Зеленокаменные пояса древних щитов, С. 47—51.
- [12] Сивичин А. В., 1979, 6, Проблема происхождения докембрийских Зеленокаменных поясов. Геотектоника АН СССР.
- [13] Arndt, N. T., Nisbet, E. G., 1986, 科马提岩。
- [14] Кратц К. О., Лобач-Жученко, С. Б., 1981, Что такое серые гнейсы? В кн. Древнейшие гранитоиды СССР, Л. "Наука", С. 5—10.
- [15] R. D. Gec, 1980, 西澳大利亚地盾太古代地核的区域地质简况, 太古代绿岩带及其矿产, 矿产专辑(三)。
- [16] D. R. Hunter, 1982.3, 南部非洲的构造格局, 国外前寒武纪地质。



- [17] СИНЦЫН А.В., Кушев В.Г., Ермолаева Л.А., 1983.4, 早前寒武纪主要地质特征及绿岩拗陷和活  
动带的关系, 国外前寒武纪地质。
- [18] Zindler A., 1985, 科马提岩与其伴生岩石中Nd和Sr的同位素研究, 科马提岩。
- [19] 李春昱等, 1982, 板块构造。
- [20] Tarney J., 1984, 2, 太古宙地球化学和现代地壳成因, 国外基础地质。
- [21] Nisbet E.G.等, 1980, 津巴布韦贝林圭绿岩带的镁铁质和超镁铁质熔岩, 太古代绿岩带及其矿产, 矿  
产专辑(三)。

## A Comparison Between Greenstone Suite and Ophiolite Suite

Zheng Xinhua      Bai Wenji

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences)

**Key words: greenstone; ophiolite**

### Abstract

The importance of the greenstone formations preservative in the cratons and the ophiolite complexes present in the geosynclines of China has become increasingly recognized during the last few years.

The purpose of this paper is to make a comparison between greenstone suite and ophiolite suite and to show their differences.

It is well known that the greenstone and the ophiolite are actually different both in their concepts and characters. The authors have made in this paper the comparison between them using the data from the world.

It is believed that greenstone belts were derived from Archean basin with sialic basement and ophiolites were formed in the oceanic basin with simatic basement. Greenstone belt is as an autochthonous volcanic-sediment located within the cratons, while ophiolite is regarded as an allocthon emplaced into the geosyncline. In general, the age of greenstone is confined to Archean and ophiolite belongs to phanerozoic age. Greenstone sequence can be divided into three divisions (or subsequences), from the lower to the upper horizon, they are ultramafic layer (including komatiites), mafic volcanic layer, sialic volcanic and sedimentary layer. In the ophiolite sequence peridotite tectonite occurs as a basement in the lower part, and in the middle of section there occur the cumulative rocks which on the top are overlain by the mafic lava. Unlike the ophiolite sequence, the greenstone sequences have lack of sheeted dyke complex. The volcanic rocks of greenstone in petrochemistry exhibit generally a bimodal suite which is absented for volcanic of ophiolites. The greenstone sequence

shows generally 1-3 or more cycles of development, and ophiolite suite has only one sequence.

In addition, greenstone suite differs from ophiolite suite either in geochemistry and REE, or in metamorphism, tectonics, and mineralizations.

[www.yskw.ac.cn](http://www.yskw.ac.cn)