

矿 产 专 辑

(三)

太古代绿岩带及其矿产

地 质 出 版 社

矿 产 专 辑

(三)

太古代绿岩带及其矿产

地 质 出 版 社

内 容 简 介

太古代绿岩带是指分布在太古代地块范围内的火山—沉积盆地群，在岩性、结构、变质程度等方面有许多特点，并含有金、银、铁、铬、镍、铜、铅、锌等重要矿产。太古代绿岩带在全世界和中国都有广泛分布，研究太古代绿岩带，在理论（地球演化、生命起源等）和实践（找矿探矿）方面都有很大意义。

本书选译国外有关太古代绿岩带及其有关矿产的论文18篇，主要包括加拿大、南部非洲和西澳大利亚的绿岩带。对我国广大地质人员研究前寒武纪地层矿产有很大参考价值。

矿 产 专 辑

(三)

太古代绿岩带及其矿产

郭永志 李上森 译

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: 787×1092¹/₁₆·印张: 22·插页: 2·字数: 519,000

1980年12月北京第一版·1980年12月北京第一次印刷

印数1—1,895册·定价4.40元

统一书号: 15038·新562

译 者 的 话

太古代绿岩带,据当前多数人的认识,是指分布在太古代地块范围内被花岗岩类或花岗片麻岩包围的保存较好的火山—沉积盆地群。发育完整的绿岩带地层均由早期的火山岩和晚期的以浊流沉积为主的碎屑沉积岩或火山碎屑沉积岩构成。早期的火山岩按原岩的性质又可分为以基性岩为主的下部超基性—基性岩和上部钙碱性火山岩。其中在超基性—基性岩中分布着一种特殊的岩石类型——科马提岩(komatiite),是以镁含量高和具有速冷的鬃刺结构为特征。根据化学成分,又可细分为橄榄质和玄武质的科马提岩。这套太古代的火山岩现已变质到绿纤石—葡萄石相、绿片岩相和角闪岩相等绿色岩层,故在1965年北大西洋国家的地质会议上把这套岩石称为太古代绿岩带。但是有些绿岩带的变质程度较深,可达到麻粒岩相。

根据陨石和月岩的同位素测定,地球已有45亿年的历史,现在地球上已知最老的地层约为38亿年,在38亿年以后的太古代绿岩带中有许多保存很好的火山岩,因此对绿岩带的研究,将提供38亿年后有关地幔的许多重要情况。在南部非洲太古代绿岩带中发现了早期陆生生命的证据,发现的有机物证明,有生命的物质至少在30—32亿年前就已存在。已知最老的明显的纹层状叠层石,就产在津巴布韦布拉瓦约群灰岩(>29亿年)中。所以,太古代绿岩带的研究,对地球演化、生命起源等重大问题的研究具有重大意义。

A. Y. 格利克森根据太古代绿岩带的时代、与周围花岗岩的先后关系及绿岩带内火山岩的特点等,把南半球的绿岩带划分为第一次绿岩和第二次绿岩。第一次绿岩系指太古代地块中较古老的绿岩,产出于地层剖面的最底部,并普遍地作为捕虏体存在于早期的侵入花岗岩中。它大部分是由分异较差的基性和超基性火山岩构成,很少含有基性—长英质和中性火山岩、化学沉积岩和火山碎屑岩。第二次绿岩是指覆盖在早期花岗岩和原生绿岩之上的较年轻的(27—25亿年)绿岩。这期绿岩多呈线状展布,且由分异较好的基性—中酸性或碱性火山岩构成。

太古代绿岩带的年龄变化较大,较老的有南非的巴伯顿(Rb-Sr法年龄为34—31亿年)、加拿大地盾的绿岩带和西澳大利亚伊尔岗地块维卢纳—诺斯曼绿岩带一般为28—26亿年。最年轻的绿岩带为24亿年。

太古代绿岩带的规模大小也不一样,大者断续延伸长达800余公里,宽为240公里(如加拿大的阿比提比和西澳大利亚的维卢纳—诺斯曼绿岩带),较小的绿岩带一般延伸一至二百公里,宽为十几至几公里,有的甚至只有几百米至几十米,散布在花岗片麻岩内。

据目前统计,在太古代的地块和地盾中,绿岩带的总面积大大小于花岗岩类,一般占其总面积的2—17%。加拿大绿岩带的面积较大,共占地盾总面积的30%左右。西澳大利亚伊尔岗地块的总面积为58.1万平方公里,而绿岩带的面积只有11.6万平方公里,占总面积的13%。津巴布韦太古代地盾的总面积为199,562平方公里,绿岩带的面积为33,735平方公里,占总面积的16.9%。在太古代的地块内,绿岩带的分布是极不均匀的,有些地区特别发育,彼此相连,而成大型的绿岩带,有些地区则零散分布。例如西澳大利亚的伊尔

岗地块，东部绿岩带发育的地区，绿岩带占全区总面积的29%，而西南地区只有零星分布，绿岩带面积占该区的4%。

据目前了解，太古代绿岩带的主要分布区有南非的巴伯顿、津巴布韦的塞巴奎、西澳大利亚的伊尔岗地块和皮尔巴拉地块、加拿大的阿比提比和斯雷夫造山带和印度的达瓦尔等。

太古代绿岩带是地壳最古老的岩石之一。研究太古代绿岩带对于探讨地球早期的演化历史，地壳、地幔的发展过程和洋壳、陆壳的演变方式均具有重大的理论意义。同时，在太古代绿岩带中赋存着丰富的矿产资源，太古代的矿产多数或大多数集中在太古代的绿岩带中，它是世界上金、银、铁、铬、镍、铜和锌等矿产的主要产地。例如澳大利亚的伊尔岗地块、加拿大的苏必利尔区、津巴布韦的布拉瓦约和塞巴奎区都有几十甚至上百个金矿产地，有的规模很大，所以有人把太古代绿岩带称为金矿带。因而研究太古代的绿岩带具有重要的经济意义。

太古代绿岩带中的矿床类型与构成绿岩-花岗岩区的主要岩石组合有关。其主要岩石组合和矿床类型如下：

1. 超基性火山岩流和侵入岩：含有铬铁矿、镍矿、温石棉、菱镁矿和滑石；
2. 基性-中酸性火山岩：含有金、银、铜和锌矿；
3. 沉积岩：含有铁矿、锰矿和重晶石；
4. 花岗岩和伟晶岩：含有锂、钽、铍、锡、钼和铋矿。

太古代绿岩带的发育是全球性的。我国太古代地层的分布十分辽阔，在东北、华北、中南、华东等省均有产出。近年来，通过对一些地区的深入研究，发现有的太古代变质岩系的岩石组合与绿岩带十分相似，有的赋存着与绿岩带相类似的矿床。以华北地区而言，从内蒙古的大青山，经山西的阳高、北京密云、河北迁西、迁安、平泉，一直延伸到辽宁的凌源、抚顺和新金，全长约一千余公里，分布着太古代的变质岩系。这是一套经受深变质作用的，由超基性岩、基性岩、中性到酸性火山岩组成的岩石系列，可能是太古代的绿岩带。因而对我国广泛分布的太古代地区应进行深入的探索和研究。

最近我们较系统地搜集了近年来有关加拿大地盾、南部非洲和西澳大利亚地盾太古代绿岩带的区域地质、岩石和矿产方面的资料，供有关人员参考。在此基础上翻译成本书。我们想通过这些资料的介绍，本着洋为中用的精神，对我国的太古代绿岩带及其矿产的地质调查研究工作，必将起一定的促进作用。

在翻译过程中得到岩矿室沈保丰同志、地层构造室胡维兴和孙大宗同志、地科院情报所肖庆辉同志的大力帮助和指导，尤其是我所王曰伦所长在百忙中抽出时间帮助审阅稿件，在此一并致谢。

由于我们的政治思想水平和业务能力不高，翻译中错误之处在所难免，希望广大读者予以指正。

天津地质矿产研究所郭永志 李上森

1979年10月

目 录

译者的话

太古代绿岩带..... B. F. 文德利 (1)

太古代省区的矿化作用..... J. 沃特森 (20)

太古代绿岩和沉积岩带的矿化作用..... R. W. 博伊尔 (28)

第一次绿岩和第二次绿岩的地层和演化 (南半球地盾资料的意义)

..... A. Y. 格利克森 (67)

阿比提比造山带..... A. M. 古德温 R. H. 赖德勒 (80)

弗雷夫构造省的太古代火山作用和沉积作用..... J. C. 麦格林 J. B. 亨德逊 (103)

安大略东北部蒙罗镇科马提岩和富铁拉斑玄武岩

..... N. T. 阿恩特 A. J. 纳耳德雷特 D. R. 派克 (114)

魁北克马塔加米湖矿区的蚀变和成矿作用..... R. G. 罗伯茨 E. J. 李尔顿 (152)

萨斯喀彻温和马尼托巴省弗林弗隆层控硫化铜锌矿床的成因和变质作用

..... J. 库 D. J. 莫斯曼 (173)

南部非洲一些太古代火山岩的成因..... C. J. 霍克斯沃思 R. K. 奥尼恩斯 (189)

津巴布韦贝林圭绿岩带的镁铁质和超镁铁质熔岩

..... E. G. 尼斯贝特 M. J. 比克勒 A. 马丁 (210)

南部非洲太古代的成矿作用..... C. R. 安霍依塞 (243)

津巴布韦太古代条带状含铁建造中的层控金矿床..... R. E. P. 弗里普 (270)

西澳大利亚地盾太古代地核的区域地质简况..... R. D. 吉 (287)

西澳大利亚伊尔岗地块东部绿岩带的变质类型和演化情况

..... R. A. 宾斯 R. J. 贡索尔普 D. I. 格罗夫斯 (299)

西澳大利亚库尔加迪和诺斯曼间太古界地层和矿化作用..... I. 盖穆茨 A. 西伦 (308)

卡姆巴尔达硫化镍矿床..... J. R. 罗斯 G. M. F. 霍普金斯 (317)

西澳大利亚前寒武纪地盾的金矿床..... R. 伍德 (340)

太古代绿岩带

B. F. 文德利

太古代绿岩带主要是最老的保存很好的火山—沉积盆地群，绿岩带给我们提供了早期地壳环境的许多直接证据。太古代绿岩带出现在许多地盾区内，时代从34亿年到23亿年，其直径大小可达250公里。太古代绿岩带的地层、总的构造特征、火山岩的地球化学特征、沉积岩类型和矿床都是相似的，由于这种一致性就允许我们把绿岩带看作是一个统一的完整的火山—沉积盆地群。

绿岩带的主要分布区有：

1. 南非阿扎尼亚巴伯顿山地的斯威士兰系。
2. 津巴布韦（罗得西亚）的塞巴奎—布拉瓦约—沙姆瓦系。
3. 西澳大利亚的皮尔巴拉和伊尔岗地块。
4. 加拿大苏必利尔和斯雷夫省的阿比提比、耶洛奈夫和其他许多绿岩带。
5. 印度的达瓦尔系。

绿岩带是以花岗岩深成侵入体为界的，并被花岗岩深成侵入体所侵入。但是这些绿岩带与邻近的高级变质的石英长石片麻岩的关系还属于争论的问题。

绿岩带的一般形态和分布

绿岩带的形态，用图解法比叙述更易说明。绿岩带的最简单形态，在平面上是线状，横切面为盆地状。绿岩带的最复杂形态，是一个尖顶状三角形。有一种倾向是把巴伯顿绿岩带当作所有绿岩带的模式，但从以下评述中可以认为这是难以成立的。

根据巴伯顿的资料，典型绿岩带构造的传统概念，是在庞大的花岗岩地区见到一种盆地状折叠（inifold）或向斜褶皱（downfold）（据安霍依塞等）。但斯托、科沃德、林特恩和赖特等人证明，津巴布韦有些绿岩带经历了推复和逆掩作用，使一些向斜状绿岩带实际具有层面朝下的沉积构造：这种构造是早期推复体因倒转翼的重新褶皱而造成具颠倒顺序的晚期向斜状褶皱（图1）。维尔乔恩把巴伯顿绿岩带的地层与津巴布韦绿岩带进行直接对比。伯克、杜威和基德（1976）等也提出，许多绿岩带经历了比简单的向斜状褶皱更为复杂的构造演化。当然，这两种类型的构造并不互相排斥。

绿岩带在大小上有很大差别，巴伯顿绿岩带横切面仅40公里宽，长120公里，而阿比提比绿岩带宽250公里，长800公里，而伊尔岗地区有些绿岩带长达1000公里。已有资料表明，有些老的绿岩带（南部非洲大于30亿年的绿岩带）比加拿大、印度和澳大利亚较年轻的绿岩带（小于30亿年）要小。

恩格尔和凯尔姆（1972）指出，就全球的绿岩带来看，各绿岩带大致呈线状平行排列，

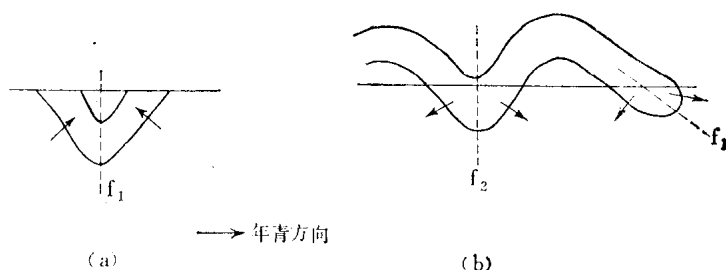


图 1 绿岩带原始构造的对比

(a)是根据安霍依塞等(1969)的资料;(b)斯托(1974)和科沃德(1976)有关津巴布韦绿岩带的次生的推复后构造(postnappe structure)

但是这种提法也是有问题的。

地质年代学

最近的放射性资料似乎指出绿岩带的形成至少有两个大的年龄区间。

巴伯顿绿岩带昂韦瓦克特群的等时线法年龄值从 35 ± 2 亿年到 33.6 ± 1 亿年。虽然维尔乔恩认为塞巴奎岩系在地层上是与昂韦瓦克特群相当的地层,但现在还不知道津巴布韦塞巴奎岩石是否具有相似的年龄值。巴伯顿绿岩带上部沉积物的Rb/Sr法年龄值为 29.8 ± 0.2 亿年的事实表明,从整体来讲,该绿岩带演化时间,至少有5亿年。津巴布韦的维多利亚堡绿岩带比 35.2 ± 1.3 亿年更老。较年轻的火山沉积盆地群包括主要的津巴布韦绿岩带、加拿大、澳大利亚和印度绿岩带,是在29亿年后形成的。大多数绿岩带是在27—26亿年期间形成的(例如津巴布韦的布拉瓦约、加拿大的耶洛奈夫和苏必利尔省、西澳大利亚伊尔岗),但达尔瓦系岩石是较为年青的(23.45 ± 0.6 亿年)。根据伯克、杜威和基德(1976)资料,西非的比里米绿岩带是21—18亿年的。

许多绿岩带岩石的锆同位素起始比值约是0.701的事实表明,这些岩石是直接来源于地幔,而不是古老片麻岩的再熔融,或是地幔与古老片麻岩混熔而成的。但重要的是,布拉瓦约群是在大约 27 ± 0.7 亿年前的津巴布韦绿岩带中形成的,而就在北边不远处,大部分是碎屑岩并夹有火山岩的平缓状的克拉通岩系,就产于早元古代多米尼昂岩礁-维特瓦特斯兰德系之中。这就证明,太古代绿岩带建造与在早元古代比较稳定的地台型条件下的克拉通盖层岩系之间是超覆关系。

根据锆石的年龄测定,克罗和戴维斯(1972)证明了古德温的预测,即苏必利尔省北部的绿岩带的形成要比南部的绿岩带早2亿年。但目前尚未肯定,这究竟是反映出越向南地层越年轻,还是具有两个或更多的不同年龄的绿岩带建造。

地 层

一般特征

对于大多数绿岩带地层来说,主要分为上、下两部分,下部以火山岩为主,上部以沉积岩为主。大多数绿岩带的下部群,可进一步划分为主要是超基性岩的下部岩群,以及主

要是钙-碱性、镁铁-长英质岩的上部火山岩群。在图2中示出了三分地层内的各典型亚组。安霍依塞等(1969, 1971)和格利克森(1976)都研究过绿岩带的地层。

超基性岩群主要是由超基性和基性火山岩组成, 并以出现化学成分特殊的科马提岩为特征, 这些科马提岩的主要判断性特征是, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值 >1 , MgO 大于9%, 以及钾的

含量非常低, 即小于0.9%。这是一些橄榄科马提岩和玄武科马提岩, 其中有些科马提岩是具有枕状构造的熔岩。这个超基性岩群, 可能还含有层状超基性杂岩和少量变质沉积岩(铝质石英-绢云母片岩、石英质燧石、泥质岩), 其中含有很少由硅铝层派生的碎屑物。

钙-碱性火山岩群主要是低钾玄武岩-安山岩-英安岩-流纹岩旋回和(或)双系列的基性-长英质岩石组合组成。沉积物大部分是化学沉积燧石、碧玉岩和条带状含铁建造。

沉积岩, 主要是碎屑岩群, 是由下部深水泥质岩组, 特别是页岩、泥质砂岩和硬砂岩, 以及上部浅水砂质岩组, 含砾岩、石英岩、化学沉积灰岩和常常出现在旋回上部的条带状含铁建造组成。

尽管全世界绿岩带之间都具有同样的特征, 但许多绿岩带也有它们自己的明显特征。因此, 我们现在就可以认识构成不同大陆上主要绿岩带的地层。

南非巴伯顿威士兰系

安霍依塞(1971)等人对巴伯顿绿岩带作了很好的描述, 并在图3上总结了绿岩带的主要特征。下部火山岩系(昂韦瓦克特群)被无花果树群和木迪斯群沉积岩覆盖。

昂韦瓦克特群的下部大部是由超基性和基性岩流及侵入杂岩组成, 并可划分为三个组(由下往上): 桑兹普鲁依特组、提斯普鲁依特组和科马提组。桑兹普鲁依特组是蛇纹岩化岩石残余包体, 分布在边缘侵入的英云闪长片麻岩中。主要由变质超基性岩和基性熔岩流组成的提斯普鲁依特组, 是以炭质燧石中含有原始微有机物化石而著名(见本文最后一节)。科马提组含有具有枕状构造和冷却结构的橄榄科马提岩, 这表明, 这个超基性岩岩浆是水下喷出的。这个组和下伏两个组中具有枕状构造的玄武科马提岩, 已再结晶成角闪岩, 根据它们的 MgO 含量, 角闪岩可分为三种化学成分特征不同的岩石类型: 巴伯顿型(MgO 含量为 $\pm 10\%$)、巴德普拉斯型(MgO 为 $\pm 15\%$)和古卢克型($\pm 20\%$)。

与上述喷出岩伴生的岩石还有三种类型的层状侵入超基性杂岩, 即卡普缪登、诺德卡普和斯托耳兹堡型, 其中有些是科马提岩的亲缘岩石。根据维尔乔恩等人的资料, 它们是

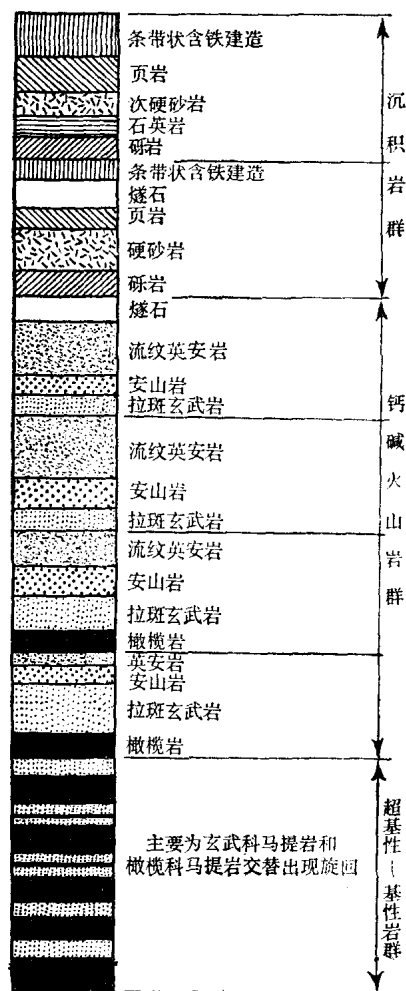


图2 根据巴伯顿绿岩带标准地层编制的太古代绿岩带地层层序(据安霍依塞, 1971, 等人资料并作了修改)。图中最下部的超基性-基性岩群, 主要是玄武科马提岩和橄榄科马提岩的交替旋回

一个完整的岩浆分异系列，即从橄榄科马提岩（这可能是母岩浆的）到巴德普拉斯玄武科马提岩、古卢克科马提岩，最后为巴伯顿型岩石。

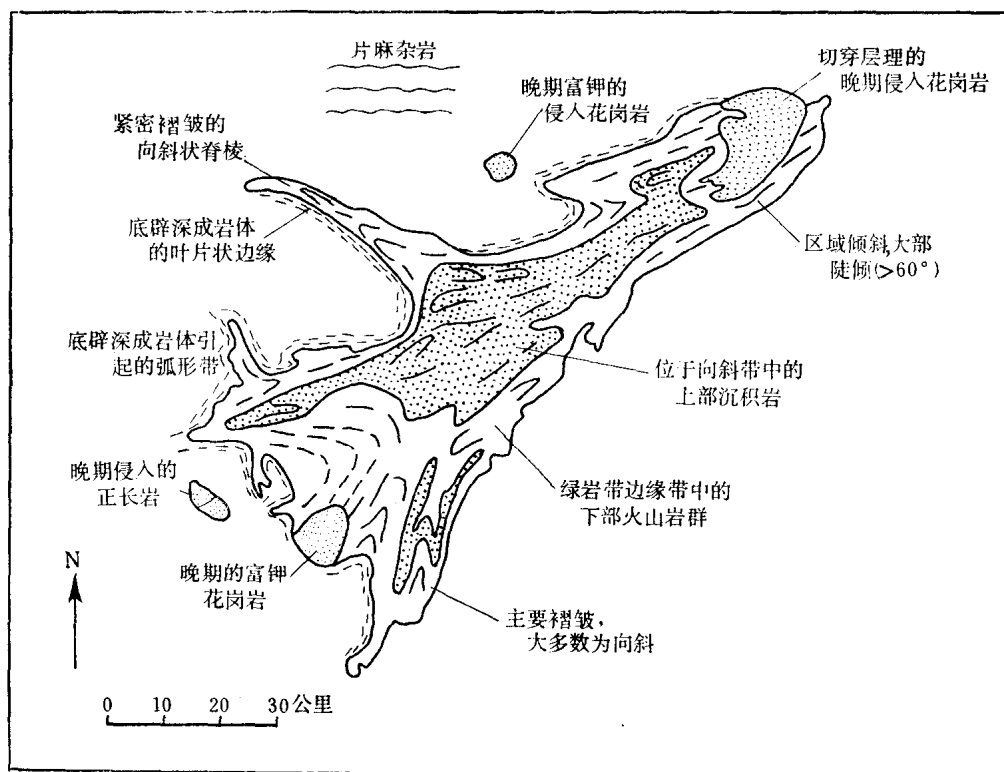


图 3 南非巴伯顿绿岩带的典型特征

昂韦瓦克特群的下超基性-基性岩部分，是以 6 米厚的稳定的燧石-碳酸盐为中间标志层，与上部钙-碱火山岩分开。中间标志层的 Rb-Sr 年龄为 33.5 ± 0.7 — 33.75 ± 0.7 亿年。

昂韦瓦克特群的上部主要是由钙-钙碱性火山岩的旋回性镁铁-长英质岩石组成，典型的岩石包括流纹岩、流纹-英安岩、英安岩、少量安山岩、枕状拉斑玄武岩以及镁铁-长英质火山碎屑岩。旋回性岩组的顶部为燧石和钙质及铁质页岩。昂韦瓦克特群中，从下往上， K_2O 增加，火山岩的钙-碱性成分特征，从整体看可反映出硅铝壳递进增厚的演化状况，或是一种发展中的火山弧。

昂韦瓦克特群被泥质的无花果树群不整合覆盖，往上过渡为砂质的木迪斯群。无花果树群包括有韵律而交替出现的页岩-硬砂岩岩层，以及一些燧石和条带状铁质岩与粗面凝灰岩。

木迪斯群含有复矿砾岩、石英岩和长石质砂岩——（磨拉石型）的岩层。这些岩层中有交错层理、波痕和泥裂，表明是浅水沉积物。

巴伯顿绿岩带的斯威士兰系已褶皱成向斜状（synform），其最老部分的地层已由于花岗岩侵入而倾斜（图3）。在英云闪长岩穹丘附近，变形作用常常是最强烈的。根据维尔乔恩等人（1969）的意见，在主要区域构造发育的侧压力很小，但他们似乎忽视拉姆齐（1963）的分析，他得出结论是，所有变形作用都包含有水平缩短作用，这是它们主要应变

部分。

巴伯顿的斯威士兰系和最老花岗岩/片麻岩的时代关系是有争论的。斯威士兰地区的古老片麻岩不与巴伯顿绿岩接触，但亨特（1974）坚持认为，片麻岩是绿岩带发育以前形成的。在片麻岩中有不协调褶皱的角闪岩墙。安霍依塞等在过去文献中得出这样的结论：

“从混合片麻岩的再生作用包容着早期岩墙的证据，可以导出该地区代表着古老的前斯威士兰系基底的证据”。在他们承认早期基底的概念之后，我们再没有听到过有关角闪岩墙的消息。这种角闪岩墙是争论的关键证据。相反，维尔乔恩（1969）等人认为巴伯顿英云闪长片麻岩是侵入斯威士兰系的底辟岩石。

津巴布韦绿岩带

在津巴布韦太古代克拉通，自 A.M. 麦克格雷戈（1951）的经典著作发表以来，发现了许多著名的绿岩带或片岩带（图4）。麦克格雷戈强调具有弧形、三角形和向斜状的绿岩带和包围它们的“穹丘状岩基群”，他确认并划分出三个主要地层单位，至今还在使用，即：塞巴奎群，布拉瓦约群和沙姆瓦群。

首先，我们将要研究这三个群的岩石，然后考虑津巴布韦的一些主要地质问题，例如绿岩带和深变质片麻岩间的时代关系问题。以及绿岩带的构造演化问题。

塞巴奎群包括蛇纹岩化超基性岩和重结晶的基性岩，例如透闪石-绿泥石片岩、滑石片岩、阳起石、绿泥石片岩，以及角闪石和绿泥石片岩。还有砂质沉积岩和条带状含铁建造。这些岩石的大多数呈包体存在于侵入的花岗岩体中，例如罗得斯达耳岩基中。维尔乔恩等人（1969）强调了塞巴奎群和巴伯顿绿岩带的下昂韦瓦克特群间的岩相地层关系，在对比中曾提出，应将布拉瓦约群中许多可能是玄武科马提岩成分的玄武岩归并到塞巴奎群中，从而修正了塞巴奎群的定义。根据这种和其他的修正意见，他们就有可能认识到在昂韦瓦克特群中出现同样重要的地层间断（即中间标志层），从而把下部原生超基性岩与上覆的钙-碱性火山岩分开。

布拉瓦约群局部不整合在塞巴奎群的底砾岩之上，含有变质的枕状玄武岩流（有些是低钾拉斑玄武岩）、安山岩、英安岩和钙-碱性拉斑玄武岩。长英质火山岩的比重，往上进一步增大，有明显的基性-长英质火山岩旋回及凝灰岩和集块岩。已知最老的叠层石出现在布拉瓦约群灰岩中。

沙姆瓦群大部分是由未分选的碎屑状变质沉积岩，例如复矿砾岩（含有片麻岩和花岗岩的卵石）、硬砂岩、石英云母片岩、千枚岩以及灰岩和条带状含铁建造组成。

麦克格雷戈（1951）指出，所有花岗岩-片麻岩“岩基”都比绿岩带年青。但最近的工作表明，它们是非均质的，早期片麻岩区明显不同于花岗岩深成岩体，并以各种根据而认为片麻岩构成了绿岩带的古老基底。但维尔乔恩（1976）等人认为，所有花岗岩和片麻

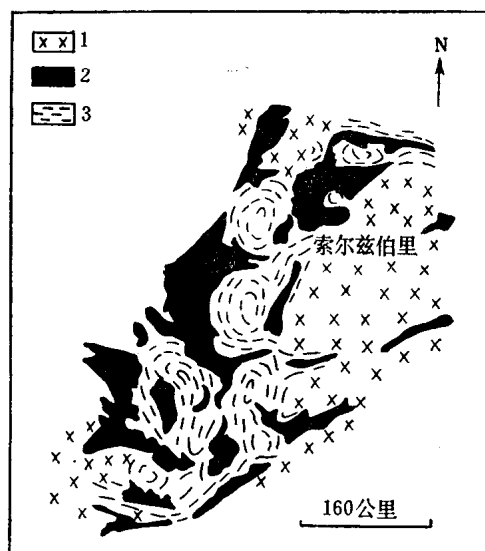


图4 津巴布韦绿岩带和片麻岩及花岗岩的分布图

1—花岗闪长岩和石英二长岩；2—绿岩带；
3—英云闪长岩和花岗闪长岩带

岩都比绿岩带早期部分要年轻。

在两个地区研究了时代问题。

1. 在塞卢奎地区, 布利斯和斯蒂多耳夫 (1969) 及斯托 (1974) 认为, 产在塞卢奎片岩(绿岩带)下的英云闪长片麻岩, 在时代上是前塞巴奎群的, 其伴生的花岗岩和伟晶岩比33亿年要老。片麻岩中含有片麻岩、角闪岩、超基性岩、镁质片岩和条带状含铁建造的包体, 并与古老的巴伯顿和斯威士兰英云闪长片麻岩相似。应该说明, 格利克森 (1976) 不同意这些岩石是前塞巴奎群时代的, 并认为这些包体仅可能或主要是以较深的变质程度而区别于塞巴奎群岩石。出露很好的圭诺拉·达姆混合岩属于英云闪长片麻岩, 其 Rb/Sr 等时年龄为 27.8 ± 0.3 亿年, 但在局部地方存在轻微不整合岩墙, 证明是经过长期演化的。

2. 在沙巴尼附近, 布拉瓦约群和英云闪长片麻岩基底之间存在一个不整合, 但没有取得满意的等时年龄值, 安霍依塞 (1973) 不承认这个不整合能证明主要绿岩带比片麻岩基底要年轻。

在塞巴奎河地区, 布拉瓦约群底部的砾岩不整合堆积在塞巴奎群滑石片岩之上。格利克森 (1976) 根据砾岩中含有类似于33亿年的罗德斯达耳深成岩的片麻岩砾石的事实, 而认为其在岩石学上可与巴伯顿山地古老英云闪长岩类比。格利克森在这个建议中清楚地表明, 所有英云闪长岩, 无论片麻岩或花岗岩, 都是在其上部和布拉瓦约群沉积之前, 侵入到昂韦瓦克特群的下部和塞巴奎群的。

津巴布韦绿岩带的情况比较复杂, 可能有几个时代的绿岩带。霍克斯沃思等人 (1975) 确定, 布拉瓦约群火山岩大约是在26—27亿年前喷发的。而希克曼 (1974) 认为木珊迪卡花岗岩是 35.2 ± 0.13 亿年的, 这种花岗岩比维多利亚堡绿岩带部分要年轻。

津巴布韦片麻岩-花岗岩在同位素年龄方面也有较大的变化。马沙巴片麻岩的同位素年龄为 35.8 ± 0.2 亿年, 而塞松比英云闪长岩和圭诺拉混合岩分别是在 26.9 ± 0.7 亿年和 27.8 ± 0.3 亿年形成的。

西澳大利亚卡尔古利系

伊尔岗地块是由包围南北走向绿岩带的花岗岩和片麻岩组成。绿岩带地层的关键地区是在中卡尔古利-诺斯曼地区。有三个火山-沉积岩系, 各个岩系都以不整合分隔, 岩系是由超基性-基性熔岩旋回组成, 并被中酸性火山岩和碎屑沉积物所覆盖。格利克森 (1970、1971) 确定了下面三分岩序, 地层顺序由下往上为: 枕状及块状超基性岩和玄武岩; 玄武岩、安山岩、硬砂岩、板岩、泥质岩和千枚岩; 砾岩和硬砂岩。维尔乔恩和安霍依塞 (1971) 等人认为, 该岩序可与巴伯顿地区标准地层对比。一些最下部超基性喷出岩流具有鬃刺冷却结构, 具有科马提岩化学特征, 还有一些分异的层状超基性-基性侵入岩。

卡尔古利地区花岗岩的时代表明, 绿岩带是在很短的时间间隔内形成的。与早期火山旋回伴生的花岗闪长岩的年龄大约是27亿年, 而切割年青地层旋回的花岗岩的测定年龄是26亿年, 区域变质年龄为26.7亿年。

印度南部的达瓦尔系

印度南部达瓦尔绿岩带呈一个界线明显的南北走向条带分布, 长450公里, 宽250公里, 并被片麻岩和花岗岩分隔。为了了解绿岩带的地质变化, 就必需解释它们的大构造, 以及绿岩带与广布的片麻岩时代关系, 片麻岩中含有相当大的古老火山-沉积岩套的残余物, 它们本身都可称为绿岩带。

拉达克里什纳(1974)在他的最近评论中说,“印度研究前寒武纪地层的大多数工作者,现在都同意紫苏花岗岩-榴英硅线变岩(Khondalite)是最古老的可鉴定的原始地壳一部分”。紫苏花岗岩的年龄值是31亿年。角闪岩相片麻岩是紫苏花岗岩中一种较高层位的同等级物,而片麻岩中的角闪岩捕虏体具有相近的年龄值。

虽然皮哈穆图(1974)认为所有“片岩带”(印度的术语)是在统一的沉积盆地中形成的,但现在流行的意见是,在印度南部。绿岩带有两个形成的年代。大多数大的保存好的达瓦尔绿岩带,主要是在27—23亿年前形成的,而有少数比较老而小的绿岩带,这里称之为前达瓦尔系,呈残余物出现在片麻岩中,并被片麻岩侵入,其年龄要比30亿年老。沙克勒顿(1976)说,在迈索尔,达瓦尔系明显地不整合在古老的酸性片麻岩之上,而在深变质的片麻岩、麻粒岩地区的上部地壳岩石,在时间上是前达瓦尔系的。

有三个前达瓦尔片岩带,即科拉尔、巴巴布登和努吉哈利,大部分是由超基性和基性岩,例如橄榄岩、科马提岩、高镁和低钾拉斑玄武岩组成。

维斯瓦那坦(1974)报告过科拉尔绿岩带的玄武科马提岩。斯里尼瓦斯等(1974)不同意这种岩石是科马提岩系列的岩石,并提出这些岩石正是高镁的变玄武岩(现在的角闪岩)。橄榄质和玄武质科马提岩出现在努吉哈利绿岩带中。

前达瓦尔绿岩带中沉积岩是特别有意义的。巴巴布登是最老的绿岩带,它含有陆相砾岩、正石英岩和页岩。有些砾岩的基质是由碎屑状黄铁矿和金、铀矿物组成,使得这些岩石可与休伦、维特瓦特兰德和雅科比纳系的早元古界砾岩作对比。其主要特点是,由于存在易于氧化和风化的碎屑状黄铁矿,表明大气圈在这些太古代沉积物沉积时氧气是不足的。换言之,这些沉积物由于氧化作用不足而缺乏风化。这是任何大陆上都有分布的最早的砾岩类型。

主要的达瓦尔绿岩带包括契塔耳德鲁格和希莫加绿岩带。变质火山岩包括低钾拉斑玄武岩和橄榄石/石英拉斑玄武岩、安山岩,这些岩石含有高含量的Fe、Mg、Co、Ni、Cr和Mn。变质沉积物富含Mg、Ca、Fe、Ti、Cr、Co、Ni和V。这表明基性成分岩石在岩浆源区都是主要的,可能是前达瓦尔绿岩带的。主要沉积物是含有低 K_2O/Na_2O 比值的变质硬砂岩,含花岗岩、片麻岩、含铁石英岩、石英岩和燧石、条带状含铁建造、条带状黄铁矿燧石等卵石的复矿砾岩。契塔耳德鲁格绿岩带的多德古尼组含有丰富的含石墨灰岩,这种灰岩的存在可能是作为氧大气圈这时已经开始发展的标志,这个意见已被伴生燧石中存在兰绿藻丝状体所证实。这就证明存在一定程度的原始光合作用。

最年青的达瓦尔沉积物是半泥质的红层,其氧化亚铁/氧化铁的比值为3—10,这表明在它们沉积过程中已有了相当程度的氧化条件。在前达瓦尔系和达瓦尔绿岩带演化过程中,大气圈经过从非氧化态到氧化态的重要变化。

在达瓦尔绿岩带形成之后便有花岗岩深成岩体侵入,并以著名的克洛兹佩特花岗岩(23.8—20亿年)侵入而告终。

加拿大苏必利尔和斯雷夫省

在加拿大地盾,绿岩带构成太古代苏必利尔和斯雷夫省的大部分(图5),但绿岩带还存在于丘吉尔省,而且受元古代(哈得孙)深成岩活动的影响。

根据古德温(1968)资料,产在绿岩带中的典型火山岩-沉积岩,发育于三个主要时期:

1. 是拉斑玄武岩广泛喷发而堆积的一个厚而宽广的基性岩台地的形成。
2. 长英质火山碎屑喷发导致了基性岩石地上又堆积了新的火山堆积。
3. 火山堆积物的局部剥蚀作用和火山碎屑层的堆积作用。

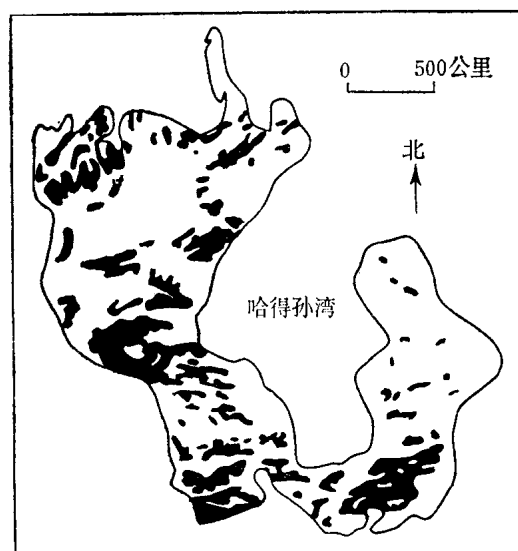


图 5 加拿大地盾太古代绿岩带上部地壳岩石

在苏必利尔省，玄武岩占全部火山岩的 50—60%，‘安山岩’大约是 20—30%，长英质岩石大约是 10—15%，还有少量碱性橄榄安粗岩。

在加拿大的许多绿岩带中，这里将讨论两个众所周知的绿岩带（阿比提比和耶洛奈夫绿岩带）。

古德温等（1970）评述的阿比提比绿岩带，长 800 公里，宽 200 公里，可与较小的巴伯顿绿岩带形成明显的对照。绿岩带的东面和西边，被年轻的格伦维尔和卡珀斯卡星深变质带所切割，所以其原始长度甚至要更大些。这是世界上最大的连续的太古代绿岩带。

火山岩的分布是以十一个椭圆形火山杂岩体为主的（图 6），每个杂岩体都含有基性-长英质喷出岩、同时代的侵入岩和沉积岩。这些杂岩产在紧靠绿岩带的北边和南部边缘地区，而其中部是由拉斑玄武岩、细粒碎屑岩和大花岗岩基所占据。这种岩石分布型式可能反映出一系列层状火山岩的原始线状分布。

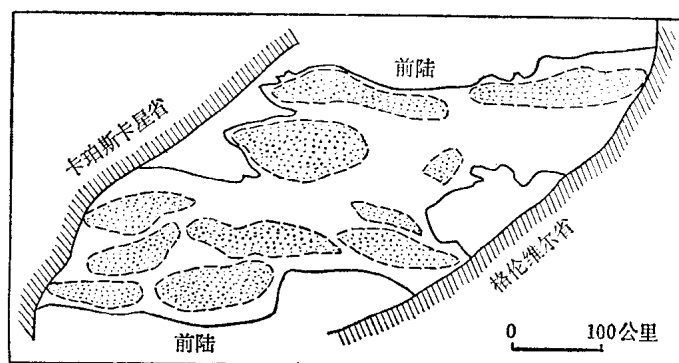


图 6 加拿大阿比提比绿岩带中11个椭圆形火山杂体

在下部火山堆积物中主要是玄武岩流和辉长岩侵入体，安山岩流和火山碎屑岩与玄武岩的互层往上增多。在上部主要是长英质流纹岩-安山岩。基性熔岩常具有枕状体、橙玄玻璃、球粒玄武岩、杏仁体和玻璃质碎屑，因此显示出是水下堆积的。原生火成结构保存得非常好。在上覆地层中长英质火山碎屑岩是非常普遍存在的。

科马提岩出现在阿比提比绿岩带的鲁因-诺兰达地区，并作为具有鬃刺结构的超基性岩流存在于安火略蒙罗镇和当多纳德镇，以及安大略的瓦纳附近。

阿比提比绿岩带沉积物是“灌入状”（poured-in）浊流岩类型，表明是在构造不稳定

的环境中快速堆积成的，一般存在两个主要岩相：

1. 火山成因岩相，由硬砂岩、页岩、石屑状砂岩、砾岩和角砾岩组成，组成的碎屑来自火山岩。这种岩相伴生有软沉积物，具变形构造、无序结构、未分选的复矿物质、粒级层和突然相变。

2. 复理相 (flyschoid)，由韵律层状硬砂岩-泥质岩系组成，在横向上无岩相变化，成分稳定，构造一致。

加拿大火山沉积岩组，含浅水到深水的过渡层，这种过渡层代表原始盆地和海槽的残余物。典型过渡层具有下列标志：

1. 随着远离滨岸，全部岩石组合的厚度增大（就是所有地层单位在绿岩带轴部附近是加厚的）。这种事实证明了沉积作用保持与滨岸陆地递进扩张的速度相一致的概念。

2. 在深水方向上具有相应的由厚到薄和由粗到细的碎屑过渡层。

3. 在条带状含铁建造中向盆地的方向从主要为燧石-氧化相过渡到硫化物相（图 11）。

许多基性杂岩侵入到上地壳岩石中，经常呈分异岩席、岩床出现，在底部为橄榄岩和辉石岩，向上过渡为基性辉长岩或苏长岩-辉长岩、石英辉长岩，局部地方为花岗岩。多尔湖杂岩大部分是由交替出现的斜长岩、辉石岩和辉长岩组成。贝耳河杂岩是韵律的条带状苏长岩、斜长岩和辉石岩组成，这两种杂岩都富含钛磁铁矿和钛铁矿。

在斯雷夫构造省，耶洛奈夫超群中有许多不连续的绿岩带。其典型的地层可划分为：(a) 下部火山岩岩系，为块状和枕状变质玄武岩、变质安山岩流、中性-酸性熔岩流和凝灰质岩石、包括英安岩、二安岩和石英二安岩以及出现在火山堆积上部的酸性岩；(b) 上部主要为沉积岩系，有未分选的硬砂岩、页岩和泥质岩。

火山岩的地球化学特征

晚显生代主要火山岩类型的化学成分是与大地构造环境，例如海洋、岛弧和大陆壳有关的。有关绿岩带的构造环境与可能的太古代板块构造关系的讨论，意见还不一致，但火山岩的化学特征给我们提供了它们对太古代岩浆成因模式影响的有用的资料。

在前述的剖面中，已趋明显的是，在不同大陆上绿岩带岩序是相互类似的，但在绿岩带岩序中有明显的垂直变化。特别是，应注意主要火山岩剖面，下部常是由超基性和基性岩组成，如下昂韦瓦克特群和卡尔古利系，塞巴奎和努吉哈利、巴巴布登和科拉尔绿岩带，而上部是以钙-碱岩石组合为主，包括基性-长英质岩组和玄武岩-安山岩-流纹岩旋回，即上昂来瓦克特群和卡尔古利系、布拉瓦约群、主要达瓦尔绿岩带（就是契塔耳德鲁格）、苏必利尔和斯雷夫省绿岩带（就是阿比提比和耶洛奈夫绿岩带）。格利克森也提出了这种两分的地层。

绿岩带的火山岩群可与晚期的一些火山岩对比，而且相似。

1. 在南非、津巴布韦、澳大利亚、印度和加拿大的科马提喷出岩和侵入岩出现在绿岩带的下部。橄榄科马提岩需要有非常高程度的熔融（60—80%）地幔，而玄武科马提岩也要有广泛熔融（40—60%）地幔才能形成。这事实可以浅部熔融来解释，这与太古代的高速度热流和高地热梯度是一致的。

2. 绿岩带的下超基性-基性岩部分的变玄武岩，含有K、Na/K、Sr、Zr和 Fe^{3+}/Fe^{2+} ，

与现在海洋拉斑玄武岩相似, Al 和Ti 比现在海洋拉斑玄武岩低, 而Mn、Ni、Cr、Co、Rb 和Fe/Fe+Mg (总铁) 比较高。图 7 示出, 变玄武岩的MgO-Ni 比值与现代海洋山脊玄武岩相似, 这表明它们与原始地幔物质中的橄榄石成分和Mg-Ni 比值是相似的。球粒陨石标准化稀土元素 (REE) 型式显示近扁平曲线, La和Ca没有耗尽。这种型式与 A. J. R. 怀特等人研究的现代岛弧可以对比, 最近又与海洋拉斑玄武岩作了比较。Zr-Y-Ti 比值完全落

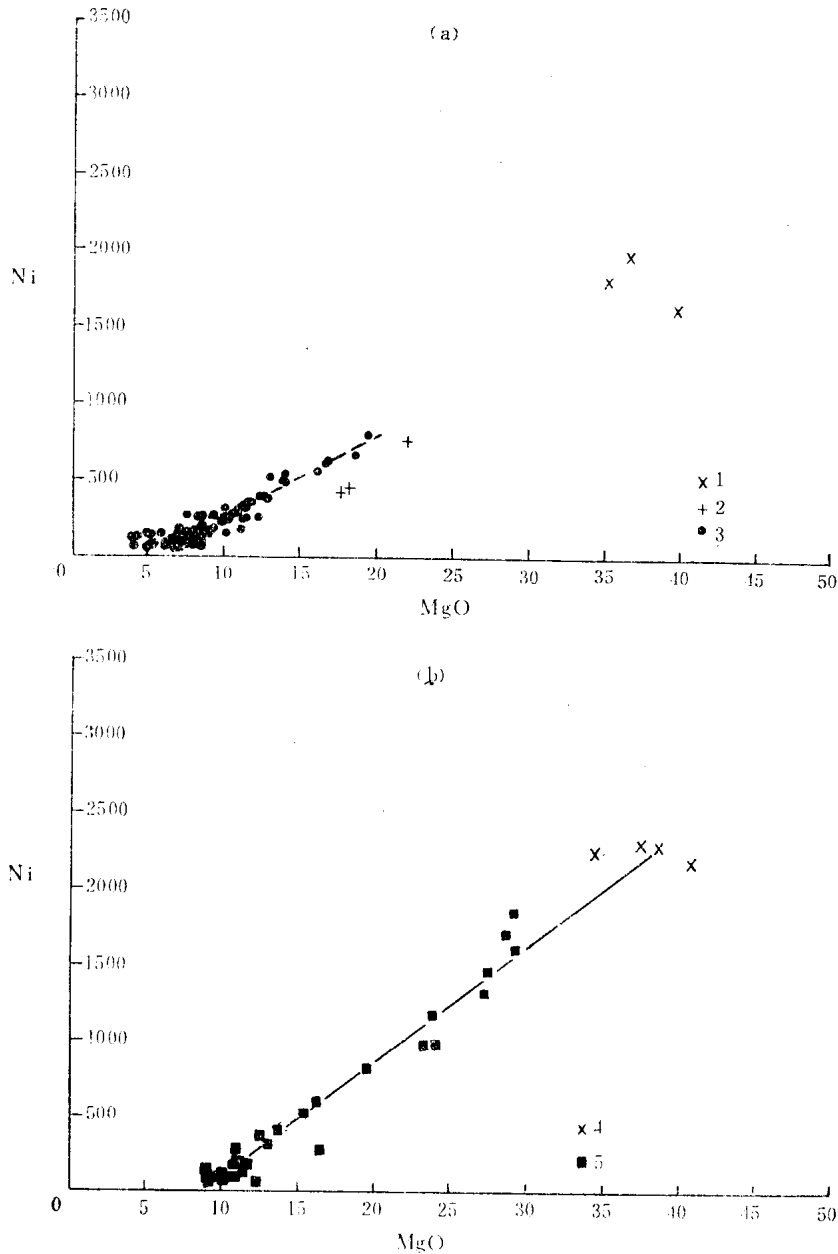


图 7 MgO-Ni 比值间的比较

(a) 从 Leg 37 钻孔岩芯取的 300 个现代海洋山脊玄武岩和苦橄岩, 以及伴生的橄榄岩和钙长辉长岩 (1. 橄榄岩, 3 个样品; 2. 辉长岩, 5 个样品; 3. 玄武岩, 275 个样品); (b) 太古代变玄武岩、变苦橄岩、橄榄岩和变辉长岩 (4. 变橄榄岩, 5. 变苦橄岩和变苦橄玄武岩)

在皮尔斯等人确定的拉斑玄武岩的范围内。太古代岩石中 K_2O 含量一般为 0.14—0.26%，可与海洋拉斑玄武岩的 K_2O 含量（为 0.16—0.22%）对比。但是含 K 如此低的拉斑玄武岩在许多现代构造环境中也有发现，例如在岛弧、大陆断裂带和脊弧边缘盆地都有发现。这是现代评论中重要一点，结论是，绿岩带的低钾变质玄武岩，甚至在深变质的太古代地区低钾变质火山角闪岩，也是来自太古代海洋壳。实际上，有理由相信，这与各种太古代构造环境的低钾拉斑玄武岩只有很少或没有化学特征上的差异。太古代整个地幔浅部熔融体是岩浆生成过程中的重要因素。

3. 属于钙-碱系列的较高层位的变质玄武岩，是强烈分异的玄武岩，并在含 k、Rb、Sr、Ba 和稀土元素（富含较轻稀土元素）方面与岛弧拉斑玄武岩有明显相似之处。同样，火山碎屑岩和流纹岩的丰富程度与岛弧环境可以对比。虽然格利克森的结论认为，钙-碱岩系分布在部分克拉通化地区的线形凹地中，但许多作者相信，这些钙碱岩系是在原始岛弧系列中形成的。根据冈恩（1976）的分析资料，大多数太古代安山岩的平均值是低钾、低 Sr 的，是明显的岛弧型安山岩。在加拿大绿岩带中，Al、K、Sr 和 Ba 含量沿地层往上不断增加，并显示更强的钙-碱性特征，按时间趋向，与现代许多岛弧岩石相似。覆盖在中部省绿岩带基性岩组之上的马利亚米组，是由钙-碱性拉斑玄武岩、安山岩和英安岩组成，代表了岛弧体系演化的更进一步的阶段。

但是，太古代钙-碱岩系也具有一些不同于岛弧火山岩的特征。

(a) 它们含有岛弧未有的一些超基性喷出岩。

(b) 在卡尔古利系、上昂韦瓦克特群和达瓦尔系中，安山岩是不常见的，所有这些岩系都具有明显的基性-长英质极化现象。威尔逊等（1965）、还有巴拉戛和古德温（1969）报导过加拿大的安山岩，冈恩（1976）指出这是鉴定的错误，它们应当是一种高钠（细碧岩化）变玄武岩。

(c) 大部太古代拉斑玄武岩都具有低至中等含量的 Al_2O_3 ，为 14—15%，而大部分岛弧基性火山岩是钙-碱性和高 Al 的玄武岩。

(d) 太古代玄武岩中 Ni、Cr 和 Co 的丰度比岛弧玄武岩高 2—3 倍，但它们与现代边缘盆地的相似。

4. 碱性至正边粗玄（shoshonitic）火山岩在绿岩带中是很稀少的，仅知道这种岩石分布于加拿大阿比提比绿岩带。印度有些变玄武岩有异常高的 P_2O_5 含量（碱性）。这些碱性岩石的存在与岛弧拉斑玄武岩构造环境是一致的，但是，这种岩石的经常缺失是太古代时期岩石圈板块较薄的表现。

从上述讨论可见，绿岩带下部和上部火山岩系分别与现代海洋和岛弧岩石十分相似，但它们之间都有重要差异。然而，经过极为细致的岩石化学变化 and 对比标志的研究，冈恩得出结论是，现代海洋壳和下太古代火山岩系是足够相似的，从而说明，30 亿年前的上地幔与今天上地幔具有基本上相同的成分，而且目前在海洋中脊形成岩浆的构造作用，可能在太古代时期也曾同样起过作用。

构 造

在这一节里，我们将研究构成绿岩带的构造。