交替。我们已经指出А.А.Пронина和其他现代作者都证实了Г.Штилле,С.Бубнова和其他著名的大地构造学者关于地壳变动幕（旋回）的同时性，并用以划分相对的构造静止期,Д.П.Найдина特别是А.Б.Ронова和В.Е.Хаина等研究指出,是显生代对所有的行星体都存在造陆的和造海的阶段。海洋面积无论在地台或是在地槽区，同时发生周期性变化。正如А.Б.Ронов和他的伙伴们所指出的那样〈这种全球韵律的存在与个别大的岩石圈块段表现相反……，说明全球趋势大于区域趋势〉.显生代前寒武纪构造历史最本质的区别在于，显生代构造变动事件的频率明显增加。

通常还存在这样一些问题：为什么不同分类的前寒武系具有全球性绝无仅有的特点，而同时代沉积的划分又如此相似。而显生代沉积则恰巧不具备这些特性：有几方面的原因，首先应该考虑演化发育阶段的时间，在此时前寒武纪表壳岩形成显然比显生代时间要长得多。包括有一级地壳变动旋回之间主要的前寒武纪地层的时间分类，或前寒武另一个组沉积比显生界规模大得多。甚至组成前寒武系的岩石地层组合是在一百万年期间形成的（除了简单的冰碛岩组合），因此他们形成的长期性是很长的，比显生代，甚至比中生代或新生代还要长。自然，前寒武纪与显生代的划分就更无法相比。

其次，前寒武纪缺乏气候分带性，构造岩相带与显生代相比表现也很微弱，构造运动幅度相当地小，因而大地构造和地形侵蚀形态对照性相当小，在前寒武纪行星表面的物理条件则是另一个样子。最后，特别重要的是大气圈和水圈的地球化学演化反映在地球建造历史中许多特殊的，不可逆的形成物中（特别是各种氧静止的建造）基本发生在前寒武纪，特别是新原生代开始期。

前寒武纪已知的和很多其他特点都证明，现实主义的原则（不是方法）对较早地质历史时期的事件和作用的解释意义是有限的。

译自 Л.И.Салоп 〈Геологическое развитие Земли в докембрии〉 第八章

高坪仙译　　田书文校

科马提岩的历史回顾

R.P.Viljoen　　M.J.Viljoen

引　　言

巴伯顿山区位于非洲绿岩带发育良好区的最南部。在六十年代后期，土地慢计划组对这些出露于绿岩带南部科马提河谷的独特岩石进行了测量，后来的调查表明，这些岩层具有岩石化学上的独特性，即一套迄今在文献中尚未描述过的包括超镁铁质岩在内的火山岩层,并有根据为其采用了一个新的名称,将这套正被讨论的岩石命名为科马提岩。本历史回顾追溯到巴伯顿区这一思想的发展过程。由此说明，经过半个世纪以上地质人员的努力，逐渐形成的许多概念对最后公认科马提岩是何等重要。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

巴伯顿山区的早期地质调查史

巴伯顿区早期地质调查史是颇零碎的，最早论及该区地质情况的是由W.H.Penning编写1883年出版的《南非采金地指南》，1898年Molengraaff提出“太古宙板岩建造”或“巴伯顿建造”。本区第一张区域图是“巴伯顿的开普采金区地质略图”，由Theo Kässner在1899年发表的。

Hall（1906）对此区部分进行过系统测量，并将绿岩系划归“木戴斯斯威士兰统”（“Moodies Swaziland Series”），同年，Kynaston注意到片岩和蛇纹岩的产状，这一报道与Hall的关于沿绿岩带北翼新发现的菱镁矿床位置和成因的报道一起是首次

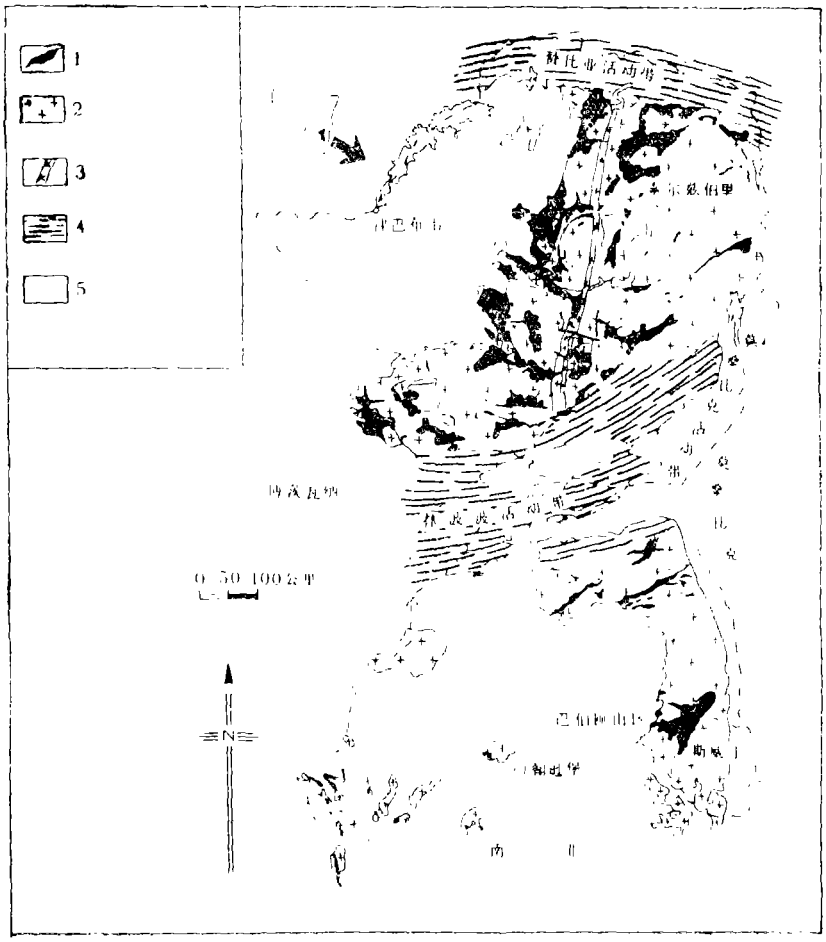


图1　巴伯顿山区的位置与罗德西亚和开普瓦尔克拉通出露的太古宙花岗岩—绿岩地体的关系

图例：1.绿岩带，2.太古宙花岗岩、片麻岩、混合岩，3.大岩墙，4.变质活动带，5.年轻盖层岩石

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

涉及蛇绿岩和片岩的岩类的文章，它成为以后75年来争论的中心议题，并且实际上一直延续到现在。

巴伯顿山区的西南翼座落在科马提河流域，过去很少知道这一地区绿岩带的地质情况，因为区内的采金场如著名的Steynsdorp矿在那时未能证明像开普区和巴伯顿城镇附近向北部的其它矿田那样位于有利地区。然而，在1913年David Draper博士调查了科马提河流域部分地区，并且记录了火山岩的存在。

在1913—1916年，Hall测量此区时，建立了绿岩带地层的三分方案：

(a)翁弗尔瓦赫特统：限于科马提河流域的一套喷出岩及有关岩层；

(b)本戴斯统：一套由泥质和沙质岩类组成的沉积岩；

(c)詹姆斯敦统；一套独特的基性和超基性岩。

在翁韦瓦克特统内，Hall描述了一个石英一斑岩组和一套杏仁状基性岩层，他也描述了蛇纹岩和含有瘤状构造的独特绿岩。Hall提到过许多不寻常瘤状构造，也注意到一些截然过渡到纤维状变种的块状岩石，而没有瘤状构造。眼斑状构造或球颗状瘤状构造和纤维结构（辉石鬣刺）是此区科马提玄武岩独特的特征。

詹姆斯敦统曾考虑为代表富镁侵入岩的一套岩石，后来又改变为蛇纹岩或片岩，这些在科马提河流域翁韦瓦克特典型剖面中与块状的非剪切的绿岩呈互层的蛇纹岩和片岩被看做是侵入岩，构成詹姆斯敦统的一部分。

在1938年开始进行巴伯顿山区系统的重新地质测量后，又过了二十年，由南非地质调查所完成了一份全面地质考察报告。

这次考查对科马提河流域发育完好的下伏酸性和基性熔岩保留了翁韦瓦克特统的名称。认为火山岩分布在地层堆积物的底部，也是山区周围其它地区的代表。

对于不可思议的詹姆斯敦统的性质和成分的不明显的陈述那时即将出现（过去曾作为后一本戴斯"詹姆斯敦侵入杂岩"对待）。所描述的主要岩石类型是蛇纹岩、闪岩及基性片岩。有些层状分异岩体的蛇纹岩部分可辨别出，但对不同的产物未详细描述，或分异的先后顺序也未详细描述。在科马提河流域翁韦瓦克特典型地区中发现许多兰色蛇纹岩条带与镁铁质熔岩互层，但后来Hall又认为是詹姆斯敦杂岩的超镁质岩侵入到火山岩中所致。这些分布普遍的片岩被认为是由詹姆斯敦杂岩的基性侵入受动力变质作用而来。

开普河谷花岗岩中的角闪花岗闪长岩体代表了詹姆斯敦侵入杂岩的镁铁质到超镁铁质的同源岩浆长英岩相，巴伯顿山的主要地质组分确定于1956年。

斯威士兰地质调查所的调查工作主要在六十年代初期，工作统一了对巴伯顿山区地质特征的认识，确定了该区所谓的马格尼锡安统(Magnesian Series)，并且认为它相当于詹姆斯敦侵入杂岩，关于表壳岩的层序已主要由Urie（1965）和Urie和Jones（1965）进行了工作。

首先暗示詹姆斯敦侵入杂岩在性质上有些不同，根据地质调查所Viljoen（1963）在联合金矿附近、Anhaeusser（1963）在莉莉（Lily）金矿近郊的详细地质填图及Anhaeusser和Viljoen（1965）的报告都有相异之处，其主要的理由是怀疑詹姆斯敦侵入杂岩概念的合理性，即沿岩带北部的镁铁质及超镁铁质岩层中出现了保存很好的前-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

无花果树统（Pre-Fig Tree Series）地层层序的组成部分。这些“侵入岩”在地质时代上过去把它划归后-绿岩带。

巴伯顿山区的上地幔计划

巴伯顿带表壳岩层序的时代（那时确定为34亿年）、镁铁质和超镁铁质岩相对未变质的性质及特殊的保存情况（特别在科马提河谷）、岩层出露好、再加以往工作基础好，这些条件都明显使之成为国际上地幔计划在六十年代中期，选择南非部分地区进行最早调查工作的基地。

在1965年八月作者们开始调查了巴伯顿山区，最初集中在关于建立翁韦瓦克特统和詹姆斯敦侵入杂岩之间的接触关系上，这次工作再次解释了居于翁韦瓦克特统的相对块状未变形的熔岩和较受剪切的熔岩之间的接触关系。进一步的工作确定了较早期的建议，认为大部分詹姆斯敦侵入杂岩的镁铁质及超镁铁质岩层代表了翁韦瓦克特的一部分，它可能追踪到围绕全部岩带的周边地带，这一地层解释可以与以前由地质调查所解释的情况相比较。

在后来野外工作期间，又发现翁韦瓦克特统可进一步划分为二个地层单位，被独特的持续的燧石—碳酸盐沉积物（即中间标志层）所分开。

镁铁质和长英质层（格卢克亚群）覆在中间标志层上，包括有更多的块状和足够的岩石类型，呈枕状和块状的熔岩，伴生有少量酸性熔岩、燧石和火山碎屑状岩沉积物。格卢克亚群可分为三个组，最初的化学分析说明镁铁质岩层的绝大部分成分上属拉斑玄武岩，与高镁质拉斑玄武岩和偶见的蛇纹岩带产在一起。

与之相反，在中间标志层下面的超镁铁质下岩层（詹卡斯塔德亚群）含有各种各样的蛇纹岩，并与镁铁质熔岩渐变为镁铁质片岩伴生，这种镁铁质和超镁铁质岩常常很少出露，在一段时间曾认为其化学分析有问题，因为害怕其结果有误。然而，当作者们在研究詹姆斯敦杂岩（现在认为主要是翁韦瓦克特统）主要成分时，如果对韦瓦克特统了解更多，实际上也就把詹姆斯敦杂岩研究得更清楚了。这样，在发育保存最好地区和最少受剪切区进行详测和采样，在这些地区发现的詹卡斯塔德亚群的镁铁质熔岩的野外特性不同于镁铁质到长英质岩层（格卢克亚群）的拉斑熔岩的野外特征，前者颜色较暗，枕状岩带不太规则，有比较大的枕状系列，并在枕状物中含少量杏仁石，大部分岩带见有似网球大小的瘤状构造，还有纤维状闪岩带，近似的特征已由 Hall（1918）注意到了。然而，更重要的是这些特征显示了不常见的细粒均匀的兰—黑色橄榄岩或蛇纹岩的共生关系。

在巴伯顿山区其它地方的工作也断续表明有层状超镁质岩体的存在。这些岩体内分异的产物有所不同，从纯橄榄岩和方辉橄榄岩到正辉岩、二辉岩、辉长岩、斜长辉长岩、斜长岩和（在有些地方）晚期的伟晶岩，在许多实例中，发现它们在超镁铁质岩下岩层中，与狭窄的燧石沉积物是整合的，由此推断它们为准同时代的岩床侵位于正在发育中的火山堆积物中，在那里又经受了分馏作用。化学分析及大量的成分资料说明，除了它们代

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

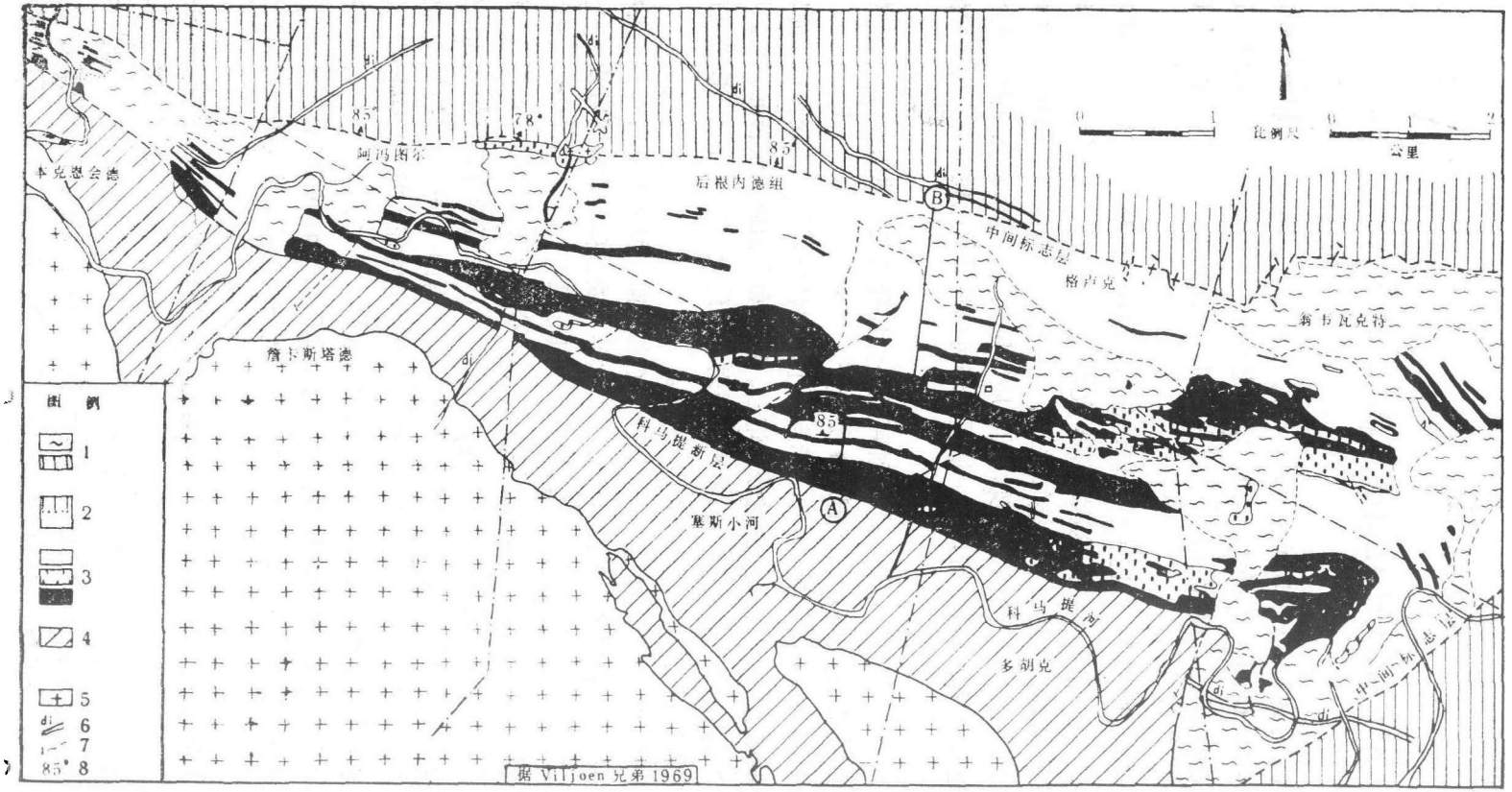


图2 科马提火山岩科马提建造综合分布的地质图（据Viljoen兄弟资料，1969）

图例：1.冲积层
2.石灰岩与页岩、燧石
3.科马提玄武岩和辉石岩
钠质斑岩
橄榄岩质科马提岩
4.

后根内德组}格卢克亚群
中间标志层
科马提建造}詹卡斯塔德亚群
塞斯小河
桑小河组

侵入岩
5.黑云母、白榴英云闪长岩
6.年轻的辉绿岩脉
7.断层
8.层理和叶理的走向和倾向

B
A 科马提建造典型剖面

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表"被截断头部的"层序之外，这些岩体的原始岩浆是超镁铁质的，MgO含量大于30%。

有了橄榄岩岩浆可能存在于翁韦瓦克特时期的证据，再进一步着手研究科马提河谷的超镁铁质岩与镁铁质火山岩的伴生工作。测量结果说明超镁铁质下岩层顶端科马提岩组内的超镁铁质岩与镁铁质熔岩一起变薄（图2），在这些岩层内没有明显的岩浆分凝的标志，从而得出了它们可能代表了超基性熔岩开始出现的想法。虽然超基性熔岩的存在与实验研究结果相反，而这些实验研究直止那时也在着手进行，即许多人提出在绿岩带有超镁铁质岩流存在的时候。例如，Keep（1929)就报道过，津巴布韦的沙巴尼亚区有超基性枕状熔岩，他把 Macgregor(1928)所描述的隆尼里（lonely）矿山附近的一个地区含MgO达18%的类似枕状熔岩与上述岩石作过对比。到1957年Wiles报道了在津巴布韦的哈特利绿岩带一个具有枕状构造的超基性熔岩的产状，但是他没有详细描述。Bruce（1926）是加拿大第一个填图时提出在超镁铁质火山岩层中有独特的"小鸡足迹"或"小鸟足迹"构造（鬣刺结构）的人。

人们注意到，巴伯顿超镁铁质熔岩具有诸如一度呈玻璃质的冷凝岩流顶部、玻璃碎屑角砾和杏仁石的特征。填图时也发现了几个带，以周围有透闪石、绿泥石和磁铁矿的片状橄榄石壳为特征，发展成特殊的片状或纤维状岩石，而不同于一些镁铁质火山岩共生的纤维状物质。虽然在个别岩流中这种岩石类型的位置不能确立，因为缺失关键的接触界限，这种特征现象叫做"结晶淬火构造"，这是证明超镁铁质熔岩流的一部分中有一超镁铁质岩浆，经过快速冷却并在地表结晶而成。人们也注意到，这些特点曾被解释为可能属枕状构造的特征，也用来作为水下超镁铁质岩流存在的证据。其后由 Pyke 等人（1973）所作的工作说明，似枕状构造确实代表了靠近岩流顶部的多面节理带，是科马提岩层序中最普遍的现象。

在1968年，来自翁韦瓦克特统超镁铁质下岩层中的大部分化学资料变为有效的了，出人意外的是这些分析资料的研究说明，最少蚀变的岩石种类，其化学性质明显稳定，并有清楚的化学组合。这些镁铁质和超镁铁质岩石的化学成分可以与世界各地已完善确定的橄榄岩、苦橄岩、玄武岩和同源的岩石相比较。这次研究提出了有关巴伯顿岩石许多共同的特征，即它们由三种镁铁质熔岩和两种橄榄质熔岩组成，它们不同于任何一般已描述过的岩石类型，鉴于此，源于翁韦瓦克特群的科马提组和科马提河的科马提岩的名称就被提出来了。原先采用的橄榄岩一名用以区别其伴生的和通常与玄武岩类成因有关的超镁铁质岩，于是对它们采用了玄武质科马提岩一名。

大量的变化图解用以说明橄榄岩及玄武质科马提岩的地球化学特性，其中最重要的是除了MgO的含量之外，铝的含量低，使这些岩石有明显的钙/铝高比值。另外，这两种类型的碱含量低于已知的玄武岩、苦橄岩及橄榄岩类型的含量。

对于迄今没有描述过的侵入岩的分类，引用一个新的术语的概念已酝酿了许多年，最后决定考虑多数地学科学家的意见，因为它们在上地幔调查过程中曾考察或讨论过巴伯顿山区的地质特征。

1965年，加利福尼亚大学教授 A.E.Engel，La Jolla，考察了巴伯顿区，提出寻找比海相拉斑玄武岩更"原始的"火山岩发育好的地方，可能在太古宙绿岩带火山堆积内。那时，Engel及其合作者认为洋中脊的低钾拉斑玄武岩是最原始的幔源产物。这一

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

提法动摇了我们的思路，还有埃迪布尔加大学 M.J.O'Hara 教授的提法，认为橄榄石鬣刺岩石样品可以代表一些“淬火”现象的类型。

普职斯顿大学的 Harry Hess 教授是个超镁铁质岩石方面的权威，1969年7月，他参加了“南非上地幔座谈会”，会议介绍了巴伯顿调查的成果，会后参观了巴伯顿山区，在参观巴伯顿区前，他从未见过，也未考虑过什么是真正的超镁铁质熔岩，在证据介绍给他后又考查了标准露头，他热情的注意到：橄榄岩质科马提岩不同于他所知道的任何其它的超镁铁质岩，也不同于阿尔卑斯山型或蛇绿岩型橄榄岩，无疑地代表了一种重要的与玄武岩伴生的喷出橄榄岩的新分类。

其它太古宙科马提岩

在六十年代后期，在镍矿迅速增加的激励下，关于在太古宙存在超镁铁质液体的想法开始发展起来了，大量描述科马提岩的文章从其它太古宙地区开始出现。在澳大利亚，McCall 和 Leishman (1971) 认为伊尔岗地块的超镁铁岩在许多方面近似于南非的科马提岩。同年，Nesbitt (1971) 首次综合描述了鬣刺构造。后来在1972和1974年间发表了大量文章，稳固地确定了西澳大利亚东部采金场的许多地区有科马提岩存在，这些文章有 Williams (1972) 在蒙格尔山及 Hallberg 和 Williams (1972) 在同一地区的文章，而 Lewis 和 Williams (1973) 的文章是描述穆尔披 (Murphy) 井泉附近的超镁铁质熔岩流，McCall (1973) 提供了伊尔岗构造省总体上科马提岩及有关岩石的地球化学的特征。Barnes 等人 (1973) 描述了克里菲尔德 (clifford) 山的太古宙超镁铁质熔岩，Naldrett 和 Turner (1977) 提出了在亚卡宾迪 (yakabindie) 绿岩带中科马提岩浆作用和镍矿化之间的关系。

加拿大的早期工作者，如著名的 Berry (1940) 注意到超镁铁质岩中有关羽毛状或似蕨类植物图样，其它的人像 Bruce (1926)，Prest (1950) 和 Abraham (1953) 提到过有关鬣刺构造，像“小鸡足迹”或“小鸟足迹”岩石，他们测图时对这些构造的岩石均作为火山岩处理。

Naldrett (1964) 提到加拿大邓多纳勒德和克莱尔盖汤什普地区的超镁铁岩部分中的骨架结构。并且争论关于超镁铁质成分中的液体能否存在于太古宙时期。后来，Naldrett 和 Mason (1968) 提出在安大略东北的某超镁铁岩中形成表面岩床或可能的熔岩流，Pyke (1970) 提出安大略的朗梅尔和黑树干汤什普存在超镁铁质熔岩的可能性。Brooks 和 Hort (1972) 的著作中进一步证实有科马提岩存在，他们描述了安大略密执皮科特绿岩带中的喷出玄武质科马提岩。Eekstrand (1973) 描述了阿比提比带的鬣刺结构超镁铁质岩流和与其伴生的镍矿床。Pyke 等人 (1973) 发表了安大略穆罗汤什普当前典型的太古宙超镁铁质岩流。

在1973年，Viswanathan 和 Sankaran (1973) 报道了在印度的前寒武系中发现了科马提岩。后来由 Viswanathan 发表文章，详细研究印度科拉尔系采金地和印度紫苏花岗岩地体中科马提岩的情况。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

Bickle 等人（1975）和 Nisbet 等人（1977）的工作确定了津巴布韦贝林圭绿岩带中科马提岩的存在。在苏兰和苏联也证实了有科马提岩存在。后来有大量的出版物发表，其中由 Arndt 等人（1977）较详细研究了穆罗汤仕普岩层，同年，Green和Schulz（1977）第一次描述了美国的科马提岩。

Minnitt（1975），Viljoen 等人（1978）和 Pearton（1979）确定在南非穆芝松（Murchison）绿岩带有科马提岩存在。而 Anhaeusser（1976）又描述了约翰斯内堡花岗绿岩穹窿中的岩石与科马提岩有亲缘关系。

大量重要矿床分类与科马提岩的伴生关系也由几个作者做过描述，特别有趣的是西澳大利亚、津巴布韦和加拿大的太古宙镍矿与科马提岩伴生，加拿大、南非、澳大利亚和印度的金和锑矿也与科马提岩伴生。

科马提岩研究的现代发展

目前将科马提岩作为超基性液体存在的证据解释，虽然还存在着一些争论，但已普遍接受了这一概念。特别重要的是科马提岩的化学定义，还有作为玄武质的和橄榄质的分类定名的依据。现在认为最初的化学定义（Viljoen和 Viljoen 1969)是太局限了，作为修改定义的依据很多，本书搜集了自1969年以来补充的大量资料。此外还有广泛争论的关于科马提岩的时代和构造位置的资料。

有关科马提岩的文献目前很多，上述简短讨论并不是集中论述详尽的地质事件，而仅仅阐明到七十年代中期以来大量研究成果导致科马提岩在世界范围内的公认，本书描述了1968年在南非巴伯顿山区科马提河谷科马提岩的最初认识，定义和命名等的历史回顾。

译自 《Komatiites》 p.5-17，1982
田书文 译 本刊编辑部校

什么是科马提岩？

N.T.Arndt E.G.Nisbet

最早的用法

科马提岩一名是由Viljoen 兄弟（1969）提出的，当时他们宣布在南非巴伯顿山区发现了超镁铁质熔岩，作为以前未知火山岩类型存在的证据，他们描述了野外的观察结果，如冷凝流顶，似枕状构造，鬣刺结构及超镁铁质岩层与伴生的镁铁质熔岩对比时的系统地层情况。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n