

矿产专辑

(九)

国外金矿地质

地质出版社

矿 产 专 辑

(九)

国 外 金 矿 地 质

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本专辑选自美国《经济地质》杂志82卷第8期(1987年12月),文中涉及了金矿地质及成因等若干问题。如“前寒武纪金矿的区域矿床成因学”一文,对前寒武纪金矿主要类型提出了总的认识;印度Hutti矿区金矿化一文,着重分析了矿化的地层构造控制问题;阿拉伯等上元古界蛇绿岩的地幔橄榄岩中的金一文,对不同时期形成的金矿进行了对比;“波希米亚地块前寒武纪和显生宙时期的金矿化作用”讨论了变质再造对于形成海西金矿床的作用。其他各篇文章则不同程度地反映了金矿地质研究的最新成果。

本书读者对象为矿床地质专业的院校师生及矿床地质勘查人员。

矿 产 专 辑

(九)

国外金矿地质

责任编辑:沈文彬

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 11.75 字数: 279000

1990年11月北京第一版·1990年11月北京第一次印刷

印数: 1—725册 国内定价: 7.65元

ISBN 7-116-00447-5/P·373

译 者 的 话

这本金矿专辑是美国《经济地质》杂志82卷（1987年）第8期的选译本。《经济地质》每年都要出版一、二期有关某一矿种，或某一地区矿床地质的论文专辑，刊载一批比较有水平的研究成果或者反映新的地质矿产信息的论文。地质出版社根据我国当前对金矿勘查的需要，选译这本专辑出版供我国地质工作者参考，是很有意义的。

正如原作者之一 R. W. Hutchinson 在前言中所述，本专辑的文章主要是报导和讨论世界前寒武纪地盾区金矿地质的问题。在我国，前寒武纪岩石出露广泛，同时也是金矿产出的主要地区。对比国际的地质情况来研究我国前寒武纪区的金矿地质是十分有意义的。尽管在我国对于是否有典型的绿岩型金矿和典型的古砂金矿床问题还有不同的看法，但在时间跨度长达几十亿年，空间分布极为广阔，地质事件极为多样化的前寒武纪分布区进行找矿，尤其是找金矿，是一件很有远景的工作，而且有可能发现除绿岩型金和古砂金矿之外其他更具有特色，具有前景的金矿。如果这本专辑所选载的文章能对开阔我国地质工作者的找矿思路有所裨益的话，译者也就感到很大的欣慰了。

目 录

译者的话

前寒武纪地质区的金矿R. W. Hutchinson 和 F. M. Vokes (1)

前寒武纪金矿的区域矿床成因学——成矿时间和空间的关系

..... R. W. Hutchinson (3)

印度卡纳塔克邦Hutti矿区的金矿化.....C. Naganna (17)

津巴布韦关达绿岩带中以带状铁建造为主岩的金矿化地球化学及矿物学

.....R. Saager, T. Oberthür 和 Hans-Peter Tomschi (28)

西非布基纳法索Birrimian绿岩带中的金矿

..... Dantel Huot, Vladimar Sattran和Paul Zida (45)

变质模式在预测克拉通绿岩型金矿床分布中的应用

.....D. I. Groves, N. Phillips, S. E. Ho, S. M. Houstoun 和 C. A. Standing (59)

挪威北部芬马克郡Bidjovagge铜金矿床

.....Arne Bjørlykke, Ragnar Hagen 和Kristen Soderholm (73)

Montauban北金矿带的地质特征和变质作用: 魁北克Grenvill地区的一个变

质多金属喷气矿床.....Louis Bernier, Gaston Pouliou 和W. H. Maclean (91)

阿拉伯、马里及摩洛哥上元古界蛇绿岩的地幔橄榄岩中的金

..... G. Buisson和M. Leblanc (108)

波希米亚地块体前寒武纪和显生宙时期的金矿化作用...P. Morávek和Z. Pouba (115)

蒙特罗萨脉金矿床(意大利西阿尔卑斯)成因的铅和氧同位素证据: 与太古

代脉状矿床的比较..... Enzo Curti (132)

科罗拉多州田纳西 Pass 以碳酸盐岩为主岩的层控金矿的成因和意义

.....D. W. Beaty, C. W. Naeser, W. C. Lynch(161)

前寒武纪地盾区的金矿

前 言

R.W.Hutchinson 和 F.M.Vokes

本专辑中的论文和其他几篇论文是在四年一度的国际矿床成因学会 (IAGOD) 第七届会中, 由经济地质学会 (SEG) 主持的前寒武纪地盾区金矿分会上发表的文章。IAGOD会议是1986年8月在瑞典 Lulea举行的。与会的有全世界大部分国家的400多位代表, 在12个分会中共宣读论文170余篇, 其中 SEG 主持的分会占22篇。参加分会发表论文的国家, 除北欧诸国如芬兰、挪威和瑞典外, 还包括沙特阿拉伯、澳大利亚、布基纳法索、卡麦隆、加拿大、捷克斯洛伐克、印度、马里、摩洛哥、苏丹、美国、委内瑞拉和津巴布韦。论文的摘要已发表于Terra Cognita刊物第六卷第三期 (533—541页)。

金矿分会的目的是回顾金矿床描述地质、成因和区域成矿学的当代认识, 是以地质年代顺序, 从最古老的太古代到最年轻的阿尔卑斯期为顺序来进行讨论的。因此, 尽管讨论会的题目是前寒武纪地盾区金矿, 实际讨论内容已延伸到显生宙时期。

本刊所选的论文, 有的已涉及金矿床 (Boyle, 1979) 地质和成因问题中许多重要、复杂、多变而且有时是相互对立的方面。第一篇文章对几类金矿主要类型从时间上就其区域成矿的演化作了全面的回顾。文章试图有顺序地把这些类型相互联系起来, 并且从广阔的区域成矿考虑就其成因提出不同的总的认识, 而与对单个矿床更经常性的专门研究所得出的更详尽的认识有区别。Saager 等人和 Groves 等人的文章对形成太古代以绿岩为主岩的金矿的成因过程的相互对立的解释是本刊中最精采的部分。Groves 等人的文章还对过去有关太古代绿岩带之间不同的构造-地层形式的有意义的观点进行了评论 (Groves 和 Batt, 1984)。这些论点都可能反映太古代时期上壳层环境的演化性变化。Naganna 和 Sattran 等人的论文提供了印度和西非有关太古代金矿的近期资料, 在此之前这些地区的资料是很稀少的而且在一定程度上已经过时。

有两篇论文描述了两个元古代的金矿, 一篇是 Bjorlykke 等人论挪威北部中元古代岩石的文章, 另一篇是 Bernier 和 MacLean 论魁北克南部晚元古代岩石的文章。很有意义的是, 这两个矿床中的金都显示出与一些贱金属硫化矿床在空间上, 或许还有成因上的密切关系, 而这些硫化矿床在重新评价它们的金以前是开采铜的 (在挪威) 和铅锌的 (加拿大魁北克)。贱金属矿化很弱的“纯金”型绿岩金矿与金矿化很弱的块状贱金属硫化矿床 (Kerrick 和 Hodder, 1982) 之间的空间的、成因的和时间的关系是不清楚的, 但是这与对两者的产生的透彻了解分不开。这两种类型的许多产在太古代岩石中的重要矿床一般都分布在同一区域内, 尽管它们在其火山-沉积层序主岩中具有显著的不同层位 (Hutchinson, 1984, 本书)。不过, 在类似的元古代地层层序中只有很重要的块状贱金属矿, 而金属则很少而且很小。

太古代到第三纪和大洋扩张裂谷和火山岛弧环境的许多块状贱金属硫化矿床中金常是一种少量的但是有时却是重要的金属 (Hutchinson, 1980)。在现代海底以及 与那些已知可以形成块状矿床相对比的热液排放系统中也查明了金 (Hannington 等人, 1986)。最近的研究证明, 金是从现代海底的、正在海底下不深于1km处发生绿片岩相变质作用的玄武岩中淋滤出来的 (Nesbitt 等人, 1987)。所有这些都是与优地槽金矿床的成因问题有联系, 正如在论太古代矿床的各种相互对立的文章中和在最初评述的文章中所讨论的一样。

本刊中Buisson-Leblanc和Curti的文章分别提供了最晚的前寒武纪和阿尔卑斯期内生金矿之间的颇有意义的对比, 前者产于超镁铁质蛇绿岩大洋壳岩石中, 而后者产于大陆壳花岗岩岩石中。尽管这两类矿床的容岩环境迥异, 但其所解释的、形成矿床的热液系统却具有许多相似之处。Moravek 和 Pouba 在其文章中称之为金属的继承性 (metal inheritance) (Hutchinson, 付印稿; Routhier, 1969) 解释了变质再造作用形成的海西期金矿床, 并解释由此使较老的元古代含金源岩中的金重新分布, 而在海西造山运动中形成较新的矿脉。这种原理在区域成矿演化过程中可能是很重要的, 并且可适用于许多其他类型的金属矿。

可惜的是文章中没有讨论重要类型金矿床的完整地质情况。明显地缺少讨论相当重要的, 在世界范围都有分布的中前寒武纪古砂矿床、晚前寒武纪至早显生宙浊积岩中的矿床、重要的古生代沉积岩中和第三纪低温浅成热液矿床以及第三纪—第四纪砂矿的文章。这类论文未能提交的首要原因是由于与会议的主题不符。因此对此有兴趣的读者可以参阅Keppie等人 (1986), Tooker (1985) 和 Berger 和 Bethke (1985) 等最近发表的有关这些重要类型的出版物。在瑞典Lulea召开的IAGOD会议之前仅六个星期, 在南非的约翰内斯堡举行了1986年地质大会 (Geocongress '86), 纪念Witwatersrand 金矿发现100周年, 该会发表了许多讨论南非古砂矿的论文, 否则这些文章就会在瑞典的会上宣读了。有关这些矿床的最新资料, 读者可参阅约翰内斯堡会议的长篇论文摘要。在瑞典会上, 发表过一篇论芬兰Lapland 早元古砂金矿的论文, 但是后来未能提供出版; 不过读者可以参考有关这些产地的早一些的论文 (Harkonen, 1984)。但在本书这篇前言之后有一篇初步地、全面地讨论除了新的砂矿之外的其他各类型砂矿的文章。

在本书中还讨论了由于过去十几年对这类矿床的周密研究取得的进展, 以及它们之间的相互关系。作者希望本书的各篇文章会增加读者这方面的知识并对前几次金矿会议 (如1982年在哈拉雷的会议, 1986年在约翰内斯堡的会议, 1986年在多伦多的会议) 以及1988年即将在墨尔本举行的会议有所补充。

前寒武纪金矿的区域矿床成因学—— 成矿时间和空间的关系

R.W.Hutchinson

摘 要

研究前寒武纪金矿床的区域成因关系能对其成因问题提供某些新的广泛的认识。重要的(前寒武纪)金矿有三个类型:绿岩中的矿床,古砂矿和杂砂岩或浊积岩中的矿床。前寒武纪出现过低温浅成矿床但是为量很少,没有重要意义。

重要的金矿床产在所有太古代克拉通的绿岩带内,并且是太古代区域矿床成因学中的世界性要素。不过,它们在时间上的分布呈现出某些使人费解的不规则性。很明显,在晚太古代的这类矿床比在早太古代地带的更为重要,而在其他类似的早元古代绿岩带中的这类金矿床就更不重要了。早元古代的大气圈-水圈的供氧情况可以解释这种现象。在中元古代的岩石中,金矿床很缺乏,或者说很稀少,但是在晚元古代和显生宙的造山带中,这类矿床又偶尔重新出现。它们的成因仍然是有争论的,但是从广阔的区域成矿学来考虑,矿床成因倾向于原来是海底热液-喷气沉积,然后是广泛的变质成因再分布,而不认为是一种单一阶段的内生作用。

在大部分前寒武纪克拉通上古砂矿也产于不整合地覆于更古老的、变形的,并且部分被剥蚀的、含有绿岩金矿的太古代岩石上的元古代地层的底部。不过,与太古代绿岩金矿不一样,这类古砂矿只是在南非的大Witwatersrand地区才具有重要意义。如果在内陆地区的太古代金矿受风化而为Witwatersrand矿床提供了金,那么这类古砂矿在空间分布上很局限就是独一无二的了。而且,只有在Witwatersrand区的古砂矿的绝对年龄为280—260Ma,并且与巨厚的拉斑玄武岩伴生,这种玄武岩与其他地盾区的太古代金矿类似。这些区域成矿关系表明,在很明显不同的古砂矿和绿岩金矿之间有着时间上的联系,或许也还有成因上的联系。

杂砂岩中和浊积岩中的金矿产在晚元古代和古生代层序中,这些层序是以沉积岩为主,并且缺少绿岩型金矿那种厚层的火山组分。而且这些矿床与绿岩型矿床在地质上、矿物上和地球化学特征上相似,这可能是代表一种晚期演化的变种。不过这类矿床也表现出许多与沉积岩为主岩的,或者叫卡林型金矿床有地质上相似之处,这表明它们属于后一组,而不属于与它们在同一地区产出因而一般被划分为低温浅成矿床一组。

低温浅成矿床尽管在前寒武纪地体中很稀少,是以Cobalt地区或加拿大其他类似地区的高品位、富银脉状矿床为代表。它们在前寒武纪岩石中很少出现,部分地是由于浅埋的矿床被侵蚀掉了,但是部分地也是由于它们在稳定的大陆克拉通中后期演化发育的结果。在这些克拉通中更古老类型的富金地层可能曾是低温浅成矿床主要金属的来源,而低温浅成矿床是由与广泛分布的第三纪大陆地表火山活动(次火山或喷出)有关的热液系统形成的。

引 言

研究前寒武纪金矿的区域成矿性需要考虑三个重要类型:太古代绿岩中的矿床,下元

古代的古砂金矿和上元古代到显生宙的杂砂岩中和浊积岩中的矿床。在前寒武纪岩石中缺少低温浅成矿脉和温泉矿床是一个值得注意的区域成矿因素，尽管是一种否定的因素。虽然在本文中并没有考虑块状贱金属硫化矿床，但它们中的许多与前寒武纪金的区域成矿有关联，因为从这些矿床中曾生产出来相当大量的副产品金，其中最著名的实例是加拿大魁北克Noranda的Horne矿床。它们金的含量很高，而且在许多加拿大采矿区中与绿岩型金矿有同区域产出的特点(Hutchinson和Burlington 1984) 还没有得到解释，可是这些都是一些更广阔的、经验性的区域成矿关系，与二者的成因有关。这类矿床的实例在本书其他论文中有过讨论。

三类前寒武纪金矿在时间和空间上的分布表明了某些饶有兴趣的、令人费解的和尚未得到解释的特点。而且这三类矿床表现出彼此之间可能存在区域成矿上的联系或关系，并且与两种更年轻的显生宙金矿，即沉积岩为主岩的金矿（或卡林型金矿）和低温浅成矿床也有联系。后两种矿床在美国西部数量很多而且很重要。对这些区域成矿关系的研究比之于对矿床本身进行更详细的描述性研究能提供更广泛地了解这些矿床的基础。因此，区域成矿性的探讨可以加强对成矿地质环境的认识，加强对它们相互之间演化关系的知识以及它们成因过程的认识。

本文对这些矿床的一般区域成矿特点进行了总结，并且着重讨论了它们在空间和时间上的分布；所使用的方法是提出问题，并确定那些值得进一步研究的问题，而不是提供答案。

以绿岩为主岩的矿床

世界上最古老的金矿是许多赋存在太古代火山-沉积层序或绿岩带内的矿床。总的来看，这些矿床的金产量居第二位（不论在当前或在历史上），南非的Witwatersrand古砂矿为第一位。绿岩型金矿分布很广泛，产出于世界上许多国家和所有太古代克拉通内（图1）。它们已经在各种情况下被详细描述过（Kitson, 1930; Emmons, 1937; Narayanaswami 等人, 1960; Boyle, 1961; Harris, 1961; Gair, 1962; Dorr 和 Barbosa, 1963; Ferguson, 1968; Slaushter, 1968; Ridley, 1970; Woodall, 1975; Anhausser, 1976; Ntiamoah-Agyakwa, 1979; Pye 和 Roberts, 1981）。彻底评述这类矿床的地质特点或者评述其可能形成这类矿床的成因过程都不是本文的目的和范畴，这些问题目前尚有争议。不过概括言之，这类矿床属于一个单一的大类，具有许多共同性的地质特征。它们都产于优地槽火山-沉积层序中。这套层序以成分多样化的镁铁质到长英质火山岩占优势，但是从区域上看它们中夹有大量沉积地层，特别是多源碎屑砾岩，浊积杂砂岩和含铁建造。虽然在这些地层中矿石的分布变化很大，但其重复的岩性组合都包括枕状玄武岩、球粒玄武岩和拉斑玄武岩；在火山地层和沉积地层之间的叠加接触带或相过渡接触带附近；长英质碎屑地层很薄；有石英和（或）长石斑状岩株和含铁质的化学沉积地层。这些矿还呈现出类似的矿石和脉石矿物，以及共同的痕迹元素和少量元素的组合。它们的主要地质和地球化学特征概括于图2内。

不过，这些矿床很主要的，也是重要的区别在于它们的形态极为多样化（Hutchinson 和 Burlington, 1984）。其中一些是层状整合矿体，没有或只有很少量的矿脉，实例有加拿

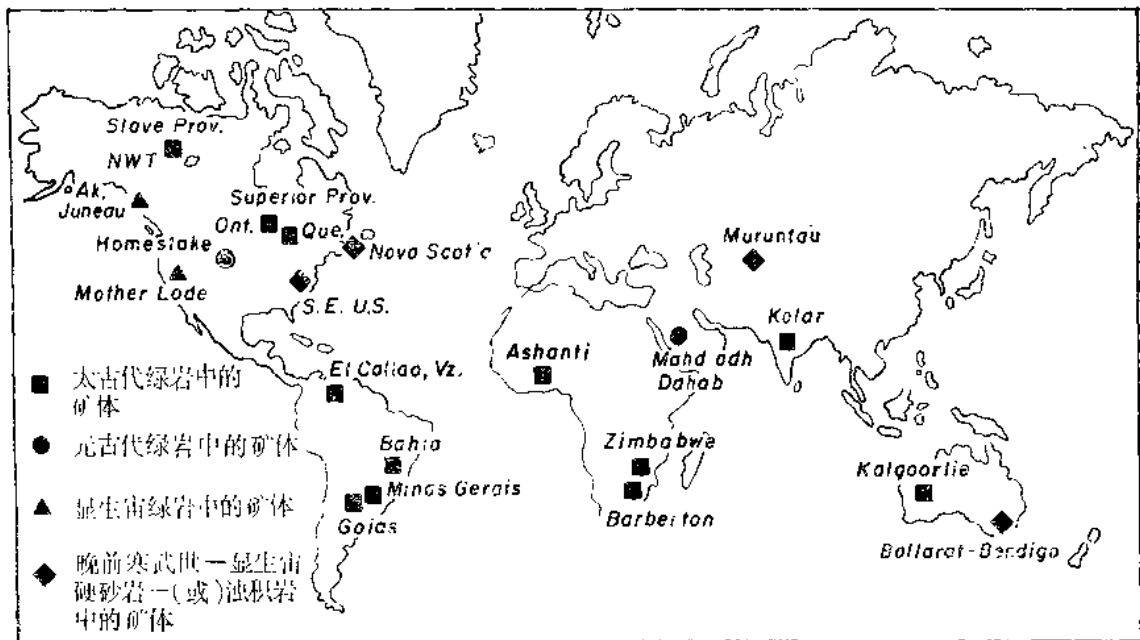


图 1 重要优地槽金矿，包括绿岩-杂砂岩为主岩的金矿变种的分布情况

大安大略省 Kirkland 湖的 Kerr-Addison 矿山的“流矿体”(flow ore body)(Bar-er 等人, 1957; Kishida, 1984), 巴西米纳斯-吉拉斯州的 Passagem de Mariana 矿(Fleischer 和 Routhier, 1973), 以及新近发现的安大略 Hemlo 地区(Muir, 1985; Valliant 和 Bradbrook, 1986)。在其他地区, 层状矿床中有整合的块状黄铁层, 如在魁北克省 Cadillac 的 Thompson-Bousquet 矿山(Valliant 等人, 1982); 某些矿床是块状含金黄铁矿体, 如魁北克 Jantel 的 Agnico Eagle 矿山(Barnett 等人, 1982), 和魁北克 Cadillac 附近的 Dumagami 矿山(Valliant 和 Hutchinson, 1982)。

其他的绿岩型矿床包括一大套矿脉。其中一些在明显层间流沉积地层中呈整合产出, 如安大略省 South Porcupine 的 Dome 矿山的铁白云石脉(Hutchinson, 1976; Fryer 等人, 1979)。不过, 这些矿床很清楚地被一套不整合石英梯状脉所切过, 而这些石英脉横切过包围它们的铁白云石而不穿过两边的凝灰质地层。后来简单的矿脉又切穿过二者。在其他地方, 有不整合的后生矿脉网络, 如安大略 Timmins 附近的 Aunor 矿山和细网脉, 如 Kerr-Addison 矿山的“绿碳酸盐矿体”(Baker 等人, 1957)。这类不整合矿脉与层状灰色铁白云石流矿体有明显的区别, 后者在矿山坑道中可以平行地向下延伸近 3500ft。

还有另外一些矿床是富金的硫化物、硅酸盐或氧化物相的含铁建造, 如津巴布韦的 Vubachikwe 矿和其他矿床(Fripp, 1976; Fitcher 和 Hodgson, 1986)。

尽管对绿岩型金矿(包括整合层状矿和不整合脉状矿)已经发展了许多成因上的理论(Emmons, 1937; Boyle, 1961; Ridler, 1970; Rye 和 Rye, 1974; Kerr 和 Fyfe, 1981; Groves 等人, 1984), 但目前鼓吹的是两种相反的论点。简言之, 第一种论点包括一种复杂的、多阶段的和多作用的解释, 也即最初的海底热液活动形成了层状含金喷射岩, 然后是几类晚期变质成因的再活化作用, 包括剪切作用, 在这些地层中形成不整合的后生矿脉、矿脉系和网脉(Boyle, 1976; Hutchinson, 1976; Foster 和 Wilson, 1984; Hutchinson

I. 时代关系

1. 太古代 最重要、量多和最大的主要矿区和矿床(Porcupine, Kalligorie, Kolar等)。
2. 下元古代 稀少的小矿床(Nor Darn, 曼尼托巴省; Gunnison, 科罗拉多州; Homestake?)
3. 中元古代 缺失或很稀少(无实例)
4. 晚元古至早古生代 重复出现, 某些矿区和矿床(Mahd adh Dahab)
5. 中生代 重复出现, 某些重要矿区和矿床(Mother Lode, 阿拉斯加Juneau)

II. 岩性组合

a. 火成岩

6. 玄武岩: 无所不在; 含铁拉斑质, 一般呈枕状和球状-球粒状; 也有含镁和科马提岩质
7. 薄层长英质碎屑-火山碎屑岩
8. 石英和(或)长石斑状岩株; 可能是上述第7条的次火山母岩

b. 沉积岩

9. 复矿碎屑砾岩(参见上述第7条的集块岩)
10. 浊积硬砂岩
11. 含铁建造或喷射岩(任何相均可)
12. 碳质-石墨质-(黄铁矿质)沉积岩

III. 地层关系

13. 最重要的矿区和矿床在区域地层层序中位置“低下”, 即在镁铁质底部中
14. 在整个层序中的某些地区和某些矿床, 从镁铁质基底到长英质顶部以及在岩株内(参加第8条)。
15. 矿床一般在薄层长英质碎屑-火山碎屑单元的地层位置上或其附近(参见上述第7条)。
16. 矿床一般在火山岩-沉积岩界面上或其附近, 在垂直超覆处, 侧相过渡带, 或二者兼有。
17. 上述第16条的沉积岩一般具明显的片理化, 组成一种区域性剪切带、线型构造或“间断”。
18. 一般与块状贱金属硫化物矿区同区域, 这种情况特别是在加拿大如此。

IV. 矿床和地球化学关系

19. 在区域上和矿床中矿体具很多样化的形态: 如整合的层状、片理状和脉状; 不整合的矿脉、矿脉系和网脉; 块状硫化物透镜体; 矿脉系有时系层控的; 所有形态均重要。
20. 含铁白云石很丰富, 但形态也变化不定: 如层状(碳酸盐喷射物——见上述第11条)和铁白云石化岩石
21. 钾化蚀变, 一般呈粉色钾长石; 有时不对称地在地层下盘的岩石中(如Hemlo)。
22. 主要矿石矿物银金矿: Au/Ag 约为9/1; 一般含Hg; 在硫化物中主要呈显微粒, 尤其是在黄铁矿、磁黄铁矿中; 在粗石英中可见粗粒金; 很突出但不主要。
23. 共生的矿物、元素呈多样的组合
 - 黄铁矿和(或)磁黄铁矿无所不在, 少数的达90%。
 - 毒砂含量变化, 若有可能很富也可能不含毒砂
 - 砷化物存在, 少量到稀少
 - 黄铜矿、闪锌矿、方铅矿一般有出现但量少
 - 电气石(黑电气石, 镁电气石), 白钨矿和突出的绿色Cr-Va-Ba白云母(钨云母-铌钨云母)一般为副矿物
 - Sb、Bi、Mo、Hg不常见但在某些情况下重要

图2 优地槽金矿的地质和地球化学特征。矿床见图1

和Burlington, 1984)。第二种论点鼓吹的是一种单一阶段的流体后生交代作用, 流体产自己构造剪切作用和角砾化的岩石的变质脱水反应, 交代作用形成了整合的层状矿和不整合的脉状矿(Colvine等人, 1984; Fyfe和Kerrick, 1984)。

这类矿床的一个很重要的区域成矿特征是它们有极为广泛的地理或空间分布(图1)。

在印度、西非和津巴布韦,至少一千多年来这类矿床一直是重要的黄金来源,在巴西至少有三百多年如此。而在加拿大、美国、西澳和南非的许多地区,对这类矿床的商业开采也从上个世纪就开始了。这类矿床产在所有太古代克拉通内,包括加拿大地盾的 Superior 和 Slave 构造省,西澳的 Yigarn 和 Pilbara 地块,南非的 Kapvaal 和 Zimbabwe 克拉通,西非和东非地盾,南非 Guiana 和 Sao Francisco 克拉通,以及印度中部的太古代地区 (Hutchinson, 1976)。

这类矿床在整个地质时代的时间分布也是非常广阔的,虽然比之其空间分布来说或许要有限一些,但是它呈现某些不规则性。这类矿床在太古代绿岩带中最大,也最多、最重要,上文所谈到的那些国家的世界上最大的含矿区的绝大部分都包括在内。尽管记录不完整,这些矿床在太古代岩石区内时间上的分布可能部分是有一定范围的。较老的津巴布韦 Sebakwe 带看来比较年轻的 Bulawayo 绿岩带中的矿床要少一些,重要性也差一些 (Wilson, 1981; Foster 和 Wilson, 1984)。人们还认为 (Groves 和 Batt, 1984; Groves 等, 1986), 西澳某些更老的绿岩带以及南非的绿岩带具地台性质,比那些被认为是优地槽性质的更年轻的绿岩带内的矿床要少一些。在加拿大东北部的 Superior 构造省的 Abitibi 带内,这类矿床很多、很大、很重要,或许也发育最好。在这些地区的证据表明绝大部分矿床非常局限于晚太古代时期 (Nunes 和 Pyke, 1980; Ayres 和 Thurston, 1985)。

这类矿床也产于西非早元古代的 Birrimian 绿岩带内 (230Ma—200Ma) (Kitson, 1930; Nitamoah-Agyakwa, 1979; Black, 1980; Huot 等人, 1986), 以及南美 Guiana 地盾的类似的早元古代绿岩带内 (Emmons, 1937; 292—295 页; Gibbs 和 Barron, 1983)。但是这些地区的绿岩带分别早于主要的 Eburnean 和 Trans-Amazonas 造山带,这样就在大约 200Ma—190Ma 时影响了这些地盾的克拉通化。在其他地区,特别是在北美,晚元古的绿岩带晚于比较主要的 (Kenoran) 造山期 (时间为 2.5b. y.) 而早于时间大约为 175Ma 的晚 (Hudson) 造山期。这些不同的主要构造旋回和事件的区域成矿重要意义,特别是在绿岩型金矿的空间和时间分布方面的意义是不清楚的,但很明显是真实的。在其他北美下元古绿岩带中,这类矿床很稀少、很小并且相对不太重要,与太古代岩带中的重要性相对突出的是不同的。其实例有曼尼托巴北部的 Nor Acme 矿山和科罗拉多州的 Gunnison 金矿带的矿床 (Hogg, 1957; Horlacher, 1986)。美国南达科他州 Lead 地区的大 Homestake 矿床 (Slaught, 1968; Rye 和 Rye, 1974) 可能是本文总结中的一个例外。对 Homestake 矿石和岩石的放射性年龄测定的结果为 210Ma 或下元古 (DeWitt 等人, 1986), 到 250Ma 或太古代最晚期 (Rye 等人, 1974)。但是该矿位于非常靠近怀俄明线型构造的地方 (Condie, 1982), 这是一条主要的太古代-元古代地体的边界线,而年龄较年轻可能是由于晚期区域变质的结果,它使较老年龄的岩石和矿物重新位于靠近边界之处。而且,这个矿床虽然要大得多,却非常近似蒙大那州的 Jardine 的情况,后者位于线型构造之北而且肯定的太古代时期的 (Hallagar, 1984)。这一对比使 Homestake 的年龄较年轻的正确性进一步使人怀疑了。

除此,这些早元古的绿岩地层中含有成为重要的火山成因块状贱金属硫化矿床主岩的岩石和地层层序,所有这些硫化矿床类似于其太古代的对应该矿床 (Gilmour 和 Still, 1968; Sangster, 1980; Franklin 和 Thorpe, 1982)。这些硫化矿床的一部分富含金,这表明产生它们的海底热液系统能够使金和其他贱金属运移、搬运和沉淀。可是,丰富的类似的太

古代岩带的绿岩金矿是不重要的而且在早元古代带内相对不重要。

这些区域成矿关系一直未能被解释清楚，但是不管怎样，它们对于那些有志于勘查这类矿床的人从经验上说是具有重大意义的。可能的解释需要更多的资料，并且其研究可能涉及到太古代和下元古代岩石和海水之间成分上的差异。元古代的玄武岩与太古代层序中的玄武岩相比呈现出很轻微的成分上的差别 (Franklin和Thorpe, 1982; Hutchinson, 1982)。如果玄武岩是这两个时代的金的源岩的话，由于海底下的对流循环或更深的变质脱水作用所造成的热液淋滤，那么成分上的差异可能曾影响了金从这些岩石中流动和运移出来。最明显和直接的原因，即元古代玄武岩中金的含量较低，不是重要的，而且在任何情况下也不可能成为最重要的原因。更重要的原因可能是它们的低价铁的含量，在水-岩还原-氧化反应过程中可能是一种缓冲剂。玄武岩源岩里的 Fe^{+2} 很高会在发生反应的流体中产生一种低Eh，它会促进金作为过硫化物，或者作为其他强烈还原络合物活动和运移 (Hutchinson等人, 1980; Hutchinson和Burlington, 1984)。

地球大气圈-水圈的充氧作用看来发生在大约230—210 Ma前(Cloud, 1972, 1973, Roscoe, 1973)。这种转变紧随太古代和早元古绿岩层序之间已确立的时间划分之后发生。更为充氧的早元古海水由于上述的水-岩反应可能比更为还原性的太古代海水经不住还原作用。因而元古代的海水更不太可能使金从当时的玄武岩中经过海底下的对流热液环流而运移出来，而太古代海水则要容易些。不过元古代海水的氯的络合作用搬运贱金属和银的能力由于大气中氧的聚积会基本保持不变。另一方面，如果金被变质成因流体从脱水玄武岩中运移出来，那么地表水的充氧作用应该对这些矿体的时间分布起不了多大影响。在整个地质记录中这些矿体呈不对称的分布是很显著的，但是有关联的区域成矿证据，这种证据支持大洋-大气充氧作用作为成矿营力的重要意义，因此有利于证明矿床原来是由海底下对流热液作用形成的而不是变质脱水作用形成的。

绿岩相变质作用最近的记录，加上从海底下仅约1km处的拉斑玄武岩中淋滤出来的金的移走(Nesbitt等人, 1987)进一步证实前一种假说而不是后者。

在更年轻的岩石中绿岩型金矿越来越少。重要的是，绿岩型金矿，像火山岩型块状贱金属硫化矿床一样，很明显在年龄约为170 Ma—100 Ma的中元古代地层中是缺失的 (Hutchinson, 1980; 1981)。在晚前寒武纪地层中，绿岩型金矿虽然稀少但又重新出现，如沙特阿拉伯的Mahdadh Dhabad (Huckery等人, 1983; Hakim和El-Mahdy, 1986)和埃及的相邻地区 (El Shazly, 1957)。绿岩型金矿在显生宙地层中产出稀少，如在北美科迪勒拉区中生代岩石中的加利福尼亚 Mother Lode 矿带和阿拉斯加东南的 Juneau 矿带 (Knopf, 1929; Wernecke, 1932; Clark, 1970)。

尽管绿岩型矿床的成因尚有争议，但它们的空间分布和一般地质特征表明，这些矿床是太古代地体中的基本区域成矿要素。某些广泛分布和一再出现的地质作用在整个太古代地球上和持续的一再出现的地质环境中形成这些金矿富集体。这样的地质环境和作用在后来的地质时代中周期性地重现过，但是在空间和时间规模上明显地减少了。决定绿岩型金矿的空间和时间分布的特定构造情况和构造旋回是不清楚的，但是不管怎样必定反映了地球的演化构造情况。

古 砂 矿 床

古砂矿床，特别是那些产于Witwatersrand盆地中独一无二的矿床，提供了与更古老的太古代矿床最有意义的区域成矿比较和对照。总的说来，这类矿床当前在生产上超过全部后一类矿床至少在4倍以上。它们还曾被非常全面地被描述过。概括言之，它们产在厚层的、成熟的、粗粒碎屑沉积岩中，地层特征性地位于元古代地层的底部，并且不整合地覆于被剥蚀过的变形太古代结晶基底上。矿石为碎屑砂矿，包括水道充填砾岩，这种砾岩是沉积在河流-三角洲环境中的下伏地层上冲刷出的水道中的卵石。一般情况下，砾岩是粗粒、单岩碎屑、石英卵石砾岩，基质是明显富含黄铁矿或者少量富含氧化铁矿的。金无例外地产在黄铁矿基质中，主要是在黄铁矿碎屑中呈细小的包体，但也是极小的颗粒。其他矿石类型有也是富含金的黄铁矿质薄碳质层，其中有些成非常细微的结晶形态，看起来想藻类细丝。

早期对Witwatersrand矿床的成因曾有过热液型(Graton, 1930)和砂矿型(Reinecke, 1930)之争，现在已经大部分人倾向于接受一种经过修正的砂矿成因概念(Pretorius, 1975; Boyle, 1979)。这一概念乞灵于金是从抬升的、经风化的内陆的较古老绿岩型矿床受侵蚀后衍生出来的，后经河流作用搬运到Witwatersrand盆地之中。沉积作用沿退化型、断层围限的盆地边缘在河流-三角洲环境中形成，后来发生成岩变质和沉积后变质，由于金的重结晶和局部再分布而使原始的砂矿富集体受到改造。现在对此重新解释赞成沉积环境是一种克拉通前陆盆地，而不是一种地裂构造沉积环境(Winter, 1987)。

古砂矿的产地也具有极为广泛的地理分布。它们绝大部分产在前寒武纪地盾内，包括印度半岛、南非、西非、巴西东部、加拿大的Superior和Churchill区、美国的怀俄明州、西澳和芬兰斯坎地纳维亚(图3)。不过古砂矿型矿床与太古代绿岩型矿床显著不同之处在于在上述这些许多地区中只有南非的Witwatersrand是唯一重要的产金矿区。所有其他地



图 3 金-钽古砂矿产地的分布情况

区, 尽管在某些情况下有少量的金矿但与Witwatersrand相比就黯然失色了。

如果受风化和侵蚀的太古代金矿床被晚太古代的造山运动所变质并被抬升, 是巨大的Witwatersrand金矿富集体的来源的话, 那么为什么产生这样富集作用的地质作用只出现在唯一的一个地区? 特别是, 正如上文所讨论的那样, 这些地质作用是在许多太古代克拉通上晚期太古代造山运动之后发生的, 而所有太古代克拉通内都有重要的物源矿床和绿岩型矿床分布区, 这又是为什么? 这些问题代表了另外一个区域成矿学之谜。

而且, 这些问题的答案并不能轻易到来。可是考虑这些古砂矿第四维, 即时间的分布或许能对取得答案提供某些理解。在所有古砂矿产地中, 只有产于Witwatersrand地层层序中的矿床具有大约同一年龄, 即290—260Ma (Pretorius, 1981), 正如具有世界上最重要的绿岩型金矿的晚太古代绿岩带一样 (图4; Hutchinson和Viljoen, 1986)。所有其他古砂矿的地层, 要吗太老, 如印度的Bababudan (Ojakangas, 1985) 和纳他尔的Pangola (Button, 1981), 要吗太年轻, 如加拿大的Elliot湖区 (Roscoe, 1969; Robertson, 1974), 魁北克北部 (Robertson, 1974) 和西北地区 (Robertson, 1974)、澳大利亚西部的Nullagine (Hallberg和Glickson, 1981), 芬兰-斯坎底亚 (Harkonen, 1984), 西非的Tarkwaian (Junner 等人, 1942; Boyle, 1979), 和巴西的米纳斯吉拉斯州和巴伊亚州的Moeda和Cerro do Corrego组地层 (Cox, 1967; Boyle, 1979; Suszczynski, 1981; Villaca和Moura, 1981)。只有怀俄明州的晚太古代地层中产出的古砂矿床具有与Witwatersrand相同的年龄, 即270Ma, 但是在该区其他早元古代的古砂矿 (年龄约240—220 Ma) 也为人们所了解 (Houston和Karlstrom, 1981)。

古砂矿的地层具有很不同的年代, 这是由于在世界上由构造明显不稳定的、快速沉降的、由绿岩充填的槽地 (是太古代特征性构造-地层环境) 过渡到构造上更稳定的克拉通化大陆边缘时具穿时性的原故。大陆边缘是下元古代时期古砂矿沉积的特征性环境; 它们

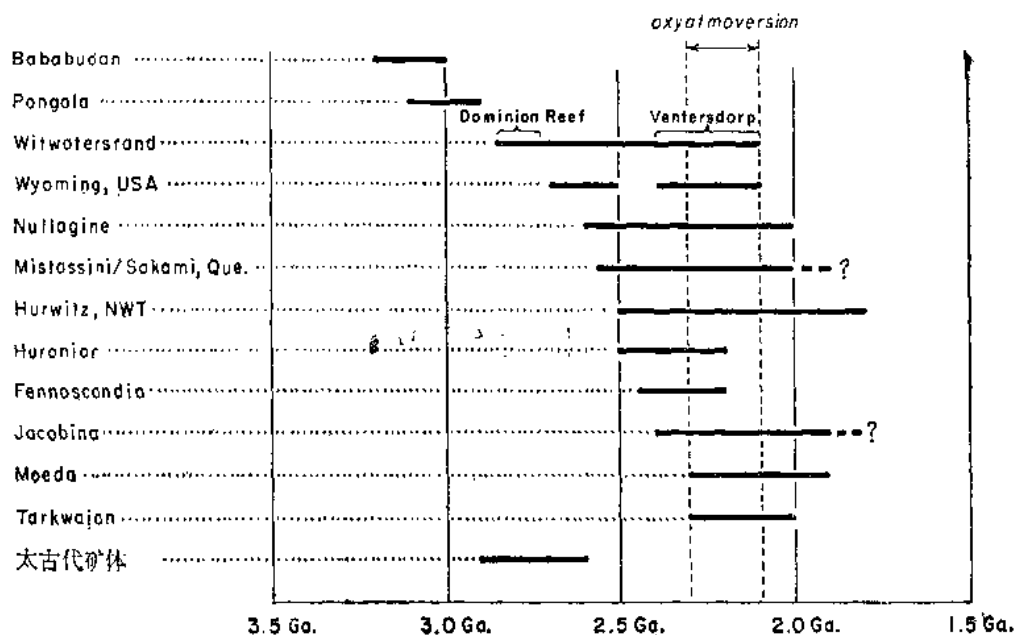


图4 金-铀古砂金矿产地的时代跨度

紧接在太古代花岗岩-绿岩克拉通地区稳定化之后。它们的年代相似,表明在相当不同的太古代矿体和独一无二的Witwatersrand古砂矿之间有很有意义的时间上的联系。而且,这种过渡的穿时性跨逾了大约在220Ma时大气圈的充氧作用(图4),这可能能解释较老金矿产地的砾岩主岩中富黄铁矿基质转变为较年轻金矿的富氧化物基质(最著名的是Tarkwaian)的现象。

研究某些岩性组合能对区域成矿问题提供另外一些深入的了解。只有Witwatersrand的古砂矿地层层序中有厚层的拉班玄武岩,其岩石化学情况类似与太古代金矿共生的那些岩石(Hutchinson和Viljoen, 1986)。在Witwatersrand三元组的底部, Dominion群8000ft^①的厚度中一大部分为拉班玄武岩所组成。在整个Witwatersrand超群中都产出有类似的杏仁状玄武岩,并且这些杏仁状玄武岩构成上覆的10000ft厚的Ventersdorp超群中唯一重要的岩石。这种关系表明在太古代金矿体和Witwatersrand古砂矿之间可能存在岩性上的联系。

这些区域成矿因素表明, 280—250Ma的绝对年龄是决定太古代绿岩型金矿和Witwatersrand古砂金矿形成的一个重要要素。而且, 这些区域成矿因素还表明, 这一特定年龄的拉班玄武岩在这两种类型金矿的成因中曾起过某些关键性的作用。如果按当前流行的这类矿石的两种成因假说中的任何一种所说, 玄武岩被热液淋滤为绿岩型金矿提供了金的话, 那么Dominion含矿系统中的玄武岩或许同样是受从盆地边缘断层上移的水热流体所淋滤。这些流体排放进Witwatersrand盆地, 可能曾在盆地边缘附近形成过硅质的和含金的黄铁矿喷射物。这些石英(重结晶的燧石)、燧石、黄铁矿和金的内生近源后来曾被沿盆地边缘连续发生的断层作用和退缩作用所侵蚀和再造, 同时伴以富含黄铁矿的砾岩含矿层的再沉积(Hutchinson和Viljoen, 1986)。因此, Witwatersrand在时间上突出地与(1)海相玄武质火山活动的吻合, (2)与有关的热液淋滤作用和喷射活动的吻合, 以及(3)与含金黄铁矿喷射物生成, 再加上(4)在浅的克拉通盆地内沉积再造作用的吻合, 结果使得Witwatersrand成为独一无二的了。上述前三个特点同样可应用于太古代绿岩型金矿。但是在这些矿床中, 热液喷射流体被排放进入不稳定的、正沉陷中的深海槽中, 并且为变质作用所再造。上述第四个特点是构造-地层的, 也是下元古代典型的体制。上述四个特点全部独特地在时间上一起出现在Witwatersrand地层中, 而不出现在其他更古老的或更年轻的古砂矿地区内。

可能, 抬升的太古代内陆地区受风化和夷平作用会供给少量碎屑金及其他一些在矿石中已知的重矿物进入Witwatersrand沉积区内, 这也可能就是在巴西、加纳和其他一些地区曾从其他古砂矿床取得少量金的原因。但是, 这些作用都不能很恰当地解释像Witwatersrand这样巨量金聚积的来源问题, 该处所产出的金比加拿大整个Abitibi矿带产金差不多还多10倍, 而后者是世界上最大的, 也是最富的产金绿岩带(Hutchinson和Viljoen, 1986)。

硬砂岩型或浊积岩型金矿

前寒武纪金矿床的三种类型中时代最年轻, 也最不重要的一类是硬砂岩型或浊积岩型

① ft为英尺长度单位, 1ft=0.3048m

金矿 (Keppie等人, 1986; Haynes, 1986)。或许因为这类矿床缺乏重要性, 因而它们也是研究最差和了解最不深入的矿床。首先它们出现在晚前寒武纪的岩石中, 但它们最好的实例是属于早古生代而不是前寒武纪的。

古生代的实例 (图1) 包括许多产在加拿大诺瓦斯科夏的下古生代 Meguma群岩石中小型矿床 (Keppie, 1976; Graves和Zentilli, 1982) 和产在卡罗林纳板岩带同样年代的岩石中的矿床 (Worthington和Kiff, 1970), 上述两个地带都位于北美东部的阿帕拉契亚造山带中。较为重要下古生代矿有澳大利亚维多利亚州的Ballarat-Bendigo矿床 (Bowen和Whiting, 1975)。很重要但鲜为人知的苏联乌兹别克穆龙套矿床 (Muruntau) 很明显也属于这一类型, 并且是属于下古生代时期的 (Boyle, 1979)。

这类矿床与太古代矿床的区别主要在于其主岩的岩性方面。它们产于很明显属于深水优地槽沉积作用的细碎屑沉积岩的巨厚层序中, 主要包括浊积硬砂岩, 黑页岩, 泥岩或板岩 (Harrington, 1974; Keppie等人, 1986)。这种岩石层序缺少厚层拉斑玄武岩和其他更为长英质的火山岩的发育, 而这些在绿岩型矿床中是如此具特征性的, 尽管火山岩中夹有少量赋存金矿的硬砂岩 (Woodall, 1976)。其他方面, 硬砂岩型矿床与较老的绿岩型矿床具有许多共同的地质特征。它们都产于厚层的, 尽管有某些差别的优地层海相地层中, 二者都有类似的矿石和脉石矿物, 以及具有可靠对比的少量和微量元素组合 (Boyle, 1979)。这两类矿床都有受地层控制, 以及不整合的脉型矿化 (Woodall, 1976; Keppie等人, 1986)。因此, 可能硬砂岩型矿床代表一种较古老的绿岩型的年青的、区域成矿演化的变种, 而不是一种全新而且不同的金矿类型。

或许, 构造演化造成了晚元古代和早古生代深海优地槽层序中人们所观察到的那些岩性上的差异。不过, 成矿的热液作用, 不论是否属于在这些地层中成矿的海底对流脱水类型还是变质脱水类型, 很明显基本上保持着在那些较老的绿岩为主地层中成矿的热液作用同样的情况。这种演化性的变化可解反映了晚元古到早古生代时期板块构造作用和海底扩张作用的开始和日益增长的重要性, 同时在沿耗损的板块边缘火山弧的四周分布的前岛弧槽或后岛弧盆地中堆积起具特征性的深海碎屑地层 (Hutchinson, 1981)。

这些矿床另外一个有意义的方面是它们与重要的沉积岩为主岩的“卡林型”金矿的可能的区域成矿关系 (Roberts等人, 1971; Radtke和Dickson, 1976; Boyle, 1979)。卡林型矿床还产于比较早到晚古生代的岩石中, 主岩主要是较深海相冒地槽斜坡相的细碎屑和钙质浊积沉积岩 (Roberts等人, 1958)。这些地层在构造上说下伏于 (但原来是沉积在其上的) 两翼是海相斜坡的优地槽燧石-泥岩-页岩地层之下, 后者中有少量玄武质火山岩夹层。某些矿床呈板状, 紧接于一些特定层或一系列特定地层之后 (Boyle, 1979), 并且缺少矿脉。在各方面, 卡林型矿床更近似于硬砂岩型矿床而不是低温浅成热液矿脉和硅质泉华, 温泉沉积物, 它们都产于第三纪地表浅层火山岩中。在美国西部各州的整个大盆地地区 (Great Basin) 内, 卡林型矿床是与这些岩石同区域产出的 (图5和图6)。不过, 卡林型和低温浅成热液矿床都有这种包括Hg、Bi、Sb、As、Te等少量元素的独特组合, 这种情况在较老的硬砂岩型和绿岩型矿床中虽然绝不是不知道, 却是少见得多 (Boyle, 1979)。

从这种区域成矿对比来看 (图5), 人们会奇怪, 卡林型矿床是否确实属于人们所通常认为的低温浅成热液型。或许这种划分主要是根据卡林型矿床与低温浅成热液型矿床具有明显的同区域性。这种区域成矿学的考虑表明有另一种选择的可能性。或许卡林型矿床属