

# 大型金矿带的构造位置和岩浆作用的特点

М.А. Фаворская, Н.В. Виноградов

金矿化的构造位置及其伴随的岩浆组合的特点,曾多次引起研究者的注意。但在多数情况下,并不认为这些问题是与矿化的规模有关。只在最近才产生了这样的概念:大型矿床和小型矿化的形成条件与来源可能是不同的。曾经指出,对任何种类的最大型矿床的分布,起主要作用的是断层型深断裂体系。此断裂体系切穿地壳构造并在地表以隐蔽的形式出现。这类构造称为“聚矿”构造。

本文以非洲、北美洲以及澳大利亚和印度的矿床为例,对构造控制和岩浆状态的特点,与其伴生的

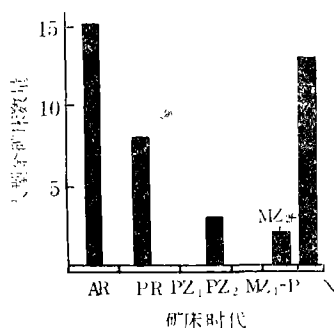


图1 国外大型金矿床的分布时代

大型和超大型金矿化的聚集以及矿化的可能来源进行了研究。其中每个矿床到目前的总产量都已超过100吨。图1表示它们的分布时代,主要分为先寒武(23个矿床)和中、新生代(15个矿床)两组。只有1个大型金矿床是古生代的,最大的峰值落在太古代和晚第三纪。

## 太古代和元古代的大型金矿带

太古代大型矿床产于古老的绿岩带范围内,这些带有:加拿大阿比提比和伊洛瓦奈弗带、中津巴布韦带、印度达尔瓦尔带、西澳大利亚地块伊尔加尔恩带、南非巴伯顿带。Е.В.Павловский等指出,各带的基础是本星球发展的成月阶段所建立的初始壳。它们的“花岗-片麻岩岩框”是一种较年轻的形成物。必须指出,原始构造带的正交性就是本星球古老骨架的一种反映。在加拿大、澳大利亚、印度,各带主要是正交的;在巴伯顿,古老的花岗片麻岩岩体接触带

床是一个重要的条件。

2. 生物礁:生物礁容易形成半隔绝或半封闭条件,使一些金属容易聚集在里面而不致于分散。有时,生物本身也是富集金属的一个因素。因此,生物礁对某些有色金属的聚集也是有利的。例如,在大厂地区存在一个大的生物礁,并且找到了矿。生物礁是一个块状的地质体,层理不发育,有大量的生物化石,它的形态非常复杂,有尖灭、分枝等礁的相变,它与不同的地层相接触。这些都是生物礁的特征。从目前的资料看,华南有好几个有色金属矿是与生物礁有联系的,但还必需做更多的研究才能弄清相互之间的联系。

3. 不整合:这是一种很重要的沉积现象,并与许多有色金属矿产有关。在许多碳酸盐地层的不整合面上,容易发育古卡斯特溶洞,在这些溶洞里可以堆积某些金属,形成层控矿床。例如,上述的关门山铅锌矿,长春地院的一些同志认为是古溶洞里形成的。南方的一些矿床,也有的形成于不整合附近的有利部位。盆地边缘和海底较大的隆起地带,其情况也是这样,容易使某些金属堆积,因而形成层控矿床。

**第三个问题** 成矿物质的来源,这个问题既很

重要又很困难,至今还没有一种好方法能解决这个问题。当然,硫同位素测定是一个很重要的方法,但它只能用来解释硫的来源,硫同位素分馏理论也还不很成熟。至于其他金属的来源问题,则只能推论,所以有局限性。因此,解决成矿物质的来源问题,主要还是靠野外观察,结合室内各种研究结果,进行综合整理思考,才能得出比较合理的推论。例如,大厂锡石多金属矿田有许多种矿产,假若认为所有的金属都是与花岗岩有关,那么,该区存在有大量的铋、汞就不好解释,因为铋、汞矿床与花岗岩浆活动有关的说法是难以成立的。如果说,铋、汞是来源于陆源,也比较困难,因为这些元素在地壳里的本底值太低,要使它们富集确实困难,即使富集了也会有许多别的东西掺合在一起,但在该区又未见到这种掺合的迹象。是否来源于火山呢?但至今在泥盆纪地层里尚未发现火山物质。因此,我们只能推测,一部分的铋和汞来源可能较深,并与深断裂有关。看来,大厂有些金属的物质来源是比较清楚的,如锡、钨和部分铅锌与岩浆活动有关。另一部分金属则是沉积的,但沉积物的来源尚有待进一步研究解决。关于层控矿床一些问题的讨论,这次就讲这些。

章振根整理

经向的；在津巴布韦克维-克维等地，下太古代(谢巴克维)火山带的残留体也是经向的，这些都证实了这种构造。

各带的岩浆作用全部具有某些共同的特点，总的来说，是显示出相同的生成次序。各带发展的开始阶段，以堆积厚的、成分主要是基性的熔岩层为特征。在该层下部，见有超基性和基性的科马提岩夹层。目前，“科马提岩”一词，是用来表示  $\text{CaO}:\text{Al}_2\text{O}_3$  比值高的(通常 $>1$ )、高镁( $\text{MgO}>9\%$ )低钛(一般 $\text{TiO}_2<0.5\%$ )、碱不饱和(特别是钾不饱和， $\text{K}_2\text{O}<0.9\%$ )的熔岩性质的基性和超基性火山岩。

在巴伯顿带中，科马提岩火山作用最发育。这里，在岩层堆积的早期，主要有超基性科马提岩；随后，基性(玄武岩的)科马提岩的作用增强，出现了高镁拉斑玄武岩，部分覆盖有凝灰岩，并常被薄层硅质片岩所超覆。在岩层上部，见有与科马提岩同时代的石英-长石斑岩的小侵入体。在其他的带中也发现有类似的剖面，但超基性科马提岩的数量较少。

随着第一相(科马提岩的溢出)以后，是厚层状拉斑玄武岩层的堆积，伴随有按成分对比的从安山岩到流纹岩的钙碱性系列，它们的相对数量朝剖面的上部递增。必需指出，在岩层中有独立的科马提岩岩流的存在。在岩层堆积的末期，出现有火成碎屑岩-凝灰岩、凝灰角砾岩；沉积岩(主要是硅质页岩)的数量增多。与火山活动的同时，有喷出系列的似侵入体的侵入(岩墙、不规则状的岩体)。在加拿大、南非、澳大利亚的各带中，有特殊的侵入岩组合——分层的岩床，它是由从基底中的纯橄榄岩到最厚岩体中的斜长岩和花斑状辉长岩分异形成的。

在这个带发展的第二阶段，是硬砂岩、泥页岩、少量角砾岩和其他岩石的沉积层的堆积。但火山活动并未停息，沉积物堆积被熔岩及其碎屑物的喷发所破坏；在加拿大、津巴布韦和澳大利亚的带中被安山岩、英安岩、流纹岩喷发所破坏；在巴伯顿被粗面安山岩所破坏，同时有喷出系列的似侵入体侵入。加拿大克拉克连德-莱克矿床区的火山作用占有特殊的地位，在这里，从开始阶段就稳定地出现有富钾的碱性岩浆作用：从启洼丁玄武岩中的独立碧玄岩流到替代它们的粗面岩及各种各样的白榴质的喷出岩。

太古代火山带沉积地层堆积的最终阶段，是以发生新的喷发内生活活动为表征，同时有褶皱形成。此时，“岩框”的岩石已花岗岩化，而绿岩带本身也被酸性侵入体所冲破。许多研究者把金矿化与这一阶段的花岗岩形成联系起来，矿化出现在花岗岩形成以后。但在大多数被研究的矿床中，花岗岩类的岩基，花岗岩-片麻岩的岩钟是远离矿化带的，并且在绿岩带以外的任

何地方都没有大型金属矿床。

Goodwin(1970)把超大型的阿比提比矿(加拿大)与岩浆熔体最远的分异地段联系在一起。在其他一些地区(津巴布韦、澳大利亚等)，同样，矿化在时间上空间上紧密地与霏细岩、石英-长石斑岩相联系，如此等等。但必须指出，到处都有许多基性岩变种(辉绿岩、少量的辉长岩、橄榄岩、辉石岩)的参与，这些岩石有时产生在矿化之前，而通常是产生在矿化之后。时代相近的岩浆，成分相似的对比性是聚矿构造的特征。

岩浆作用和矿化之间的联系，即使它们在空间上是紧密共生的情况下，也是间接的。例如，在加拿大的波尔丘潘矿床中，金-石英-硫化物矿石是和石英-长石斑岩共生的，而Hogg(1950)指出，斑岩是被成矿前的钠长岩小岩墙所穿切。矿化作用和岩浆作用的联系，显然在很大程度上是由这两种作用的同一种构造所控制。

已有的资料以及我们对上述构造控制和大型金矿化岩浆作用的分析表明，北美大陆的大型金矿带主要是纬向的，而南半球和印度半岛金矿带是受经向控制的。除这两种主要方向外，也出现有与其垂直的次要方向。斜线方向的构造只对控制矿田本身的局部矿层有意义。

构造异常(在该地区中与主要构造平面有某些偏离的地段)是金属矿带的一种特征。例如，在印度的科拉尔矿田，在主要为经向的褶皱区内，发现有较晚期的北北西方向的叠加褶皱。这种异常，显然是由于在金属矿带中，不同方向的区域构造线的交错而形成的构造方向干扰的结果。

正如所指出的那样，在大型矿床中，金矿化是紧接着火山活动最终阶段而形成的。但是各带的发展史并未就此结束。事实上，在所有的矿床中，都有关于年轻的、成矿后的辉绿岩(粗玄岩)岩墙组合体的记载。其中的一些，如加拿大的诺兰德，已确定是属晚元古代的；而在南非的巴伯顿，它们是属中生代的。在澳大利亚和津巴布韦，于早元古代有特大侵入体的侵入：在津巴布韦称为“大岩墙”；在澳大利亚，与其类似的岩墙则叫吉姆别尔兰岩墙。这些侵入体具复杂的结构：超基性的变种岩石形成韵律性的互层，这种互层在这两种情况下被看成是岩浆源脉动侵入的结果。在吉姆别尔兰岩墙的一个地段中见有许多酸性岩的小岩墙——原始玄武熔岩的分异物。

关于太古代矿床的某些共同的特点以及与矿化来源的关系简述如下：

1. 最大型的太古代金矿带产于纬向或经向火山带中，这些火山带是在本星球发展的成月阶段的初始壳

中形成的。

2.就整个带而言(以及就内生活活动增强的个别带而言),其特征是岩浆作用发育的长期性,从超基性、基性到酸性岩的分异,以及个别地区钾碱性稳定增高,例如,克尔克连德-莱克是地球上著名的最古老的碱性岩浆作用出现的一个地区;还具有超基性熔体多次(其间隔可达几亿年)侵入的特征,该熔体来源于深部地幔(科马提岩,“大岩墙”)并有酸性分异物与其共生。

3.金矿化是形成于火山作用带发展的完成阶段之后,但是,该地区在构造上和岩浆上的活动一直持续到晚元古代,而某些地区(巴伯顿)甚至到中生代仍在活动。

4.产于对比火山作用带中的矿床,在时间和空间上与科马提岩、拉斑玄武岩和钙碱性岩系是紧密地互相交错的。

与太古代绿岩带不同的是,元古代的矿床形成于完全确定的硅铝层基底上,加纳的亚山蒂、扎伊尔的基洛、南非的皮尔格里姆兹-列斯特和维特瓦特斯兰德群均属此类。

金的开采量约占资本主义国家60%的维特瓦特斯兰德矿床群,由于具有巨大的实际意义,所以是研究得最好的矿床。限于篇幅,不可能阐明关于这些矿床来源的争论——认为沉积时同生富集金和主张迭加的热液矿化作用假说。本文作者支持后者的观点,并根据有关岩浆作用和构造的文献资料来说明矿化可能是来源于地幔的一些见解。

注意一下维特瓦特斯兰德岩浆作用发展的长期性。在太古代的基底上(原始的体系)沉积了维特瓦特斯兰德三合一的沉积层(28—23亿年)。三合一的沉积地层曾多次被厚层状的玄武岩、安山岩和少量的流纹岩等火山岩所冲破(在三合一中,火山岩与沉积岩的体积比约为0.8:1)。伴随有粗玄岩和闪长岩的岩墙和层状侵入体的侵入。维特瓦特斯兰德三合一被德兰士瓦的沉积系列(大于19.5亿年)所覆盖。

В.А.Баскина分析了维特瓦特斯兰德火山岩分布情况后指出,矿床产于长期活动的内生同心构造(半径170公里)的边缘带中。构造的中心分布有弗列杰弗尔特岩钟(半径60公里),此处多次发生侵入岩浆作用:在岩钟边缘布什维利德大岩体侵入期(19.5亿年前)形成了分异的苏长岩和变闪长岩岩床,此后(12.5亿年),沿环形和放射形裂隙生成闪长岩、流纹正长斑岩及粗玄岩的岩株和岩墙。

在晚德兰士瓦时代,维特瓦特斯兰德地区出现了纬向的、有时为经向的断裂,沿着这些断裂有基性岩墙的侵入(布什维利德期)。区域内以卡鲁粗玄岩的

侵入(1.6—2亿年)而结束内生活活动相。

矿化涉及到三合一的所有三个系和德兰士瓦系,在超覆它们的瓦捷尔别尔格系中没有出现。矿化大部分是在沉积岩中,主要是在维特瓦特斯兰德系的砾岩中呈细分散的自然金出现。从埃蒙斯起,金的内生成因说的支持者认为,矿化的时代是布什维利德期(确切的是晚德兰士瓦期,早瓦捷尔别尔格期)。

关于其他元古代矿床的报道很少,根据我们所得的资料,应注意下述事实。加纳的亚山蒂和扎伊尔的基洛矿床产于填满受变质的火山沉积物的坳陷之中。坳陷的方向或者是经向的(亚山蒂)或者是纬向的(基洛)。皮尔格里姆兹-列斯特矿床产于巨大的椭圆漏斗状构造的边缘,其中充填有德兰士瓦系的沉积物,其中心部位分布有多相的布什维利德侵入杂岩体。杂岩体的主要岩相是超基性岩、基性岩和较晚期的花岗岩。矿床本身(皮尔格里姆兹-列斯特,亚山蒂)的特点,是具有辉绿岩和粗玄岩岩墙,最晚期的基性岩浆侵入的岩浆作用,看来是发生在中生代(皮尔格里姆兹-列斯特内的卡鲁粗玄岩)。

最后关于元古代金矿带的主要特点归纳如下:

1.矿床是受太古代延续下来的纬向和经向断裂体系,以及它们交错处的环状构造所控制。无论是断裂体系,还是环状构造均发生在花岗岩片麻岩的基底之上。

2.具有以早元古代到中生代长期发展的岩浆作用。

3.岩浆岩的类型是各种各样的:从玄武岩到粗玄岩,从超基性岩到花岗岩。

4.在所推测的金矿化时期内,岩浆作用最强烈和最明显,正交的断裂体系显然是在这一时期复活的。

## 古生代的金矿带

国外古生代大型金矿床最多的是澳大利亚:巴拉拉特、宾吉戈和芒特-摩根。这三个矿床都位于澳大利亚东部延伸的经向构造范围内的塔斯曼褶皱区,此褶皱区是在先寒武褶皱基底上于海西造山作用期形成的。

与塔斯曼褶皱区有关的经向金矿带,长约四千公里。构造单元的经向标志,除了区域性的之外,还有某些局部性的:花岗岩类岩体和含金地区(宾吉戈矿床)的长轴位置;单个褶皱的走向(巴拉拉特矿田);在同一矿床中酸性成分经向岩墙群的存在。此外,在局部地区,还发现有纬向的和斜交的构造单元。例如,在上述的巴拉拉特矿床中,基性成分岩墙的特征是纬向,而在芒特-摩根矿田中,岩墙的特征是北西和北东向。

对位于区域南部并产于早奥陶世地层的宾吉戈和巴拉拉特矿床来说,与矿化时代相近的岩浆作用表现得很弱。在宾吉戈矿床中,古生代的岩浆岩是方沸碱煌岩岩墙和泥盆纪花岗岩岩体。后者与含金石英脉的关系不清楚,而矿化时代大体上认为是泥盆纪。巴拉拉特的矿化时代也是如此,这里泥盆纪花岗岩的露头离矿田约有3公里,而在矿田范围内只发现有基性和酸性成分的岩墙群。在这两个矿田的范围内,岩浆活动在第三纪时复活,并形成了厚的玄武岩覆盖层。

在芒特-摩根矿田范围内,古生代的岩浆作用是多种多样的。这里发现有复杂的晚泥盆纪侵入杂岩,侵入岩相的成分变化是从辉长岩-苏长岩到白岗岩。矿化受较晚期爆破岩筒的控制,其时代为早二迭世。成矿后的岩墙组包括基性、中性和亚碱性的变种,用放射性方法对其中的一个岩墙测得的时代是晚二迭世。因此,早二迭世的矿化时代并未得到确切的证明,这就不排除矿床是在晚泥盆世形成的,而且它的时代与宾吉戈和巴拉拉特矿床的时代相近。

综上所述,我们提出下列论点:1)东澳大利亚古生代金矿带的构造单元方向是与先寒武经向构造平行的,并且看来,具有继承性的特点;2)矿带南部在新生代受到了活化;3)所研究的金矿带的岩浆作用是以花岗岩的作用较强而区别于先寒武的岩浆作用。

### 中、新生代的金矿带

中、新生代的大型金矿床与先寒武及古生代的一样,是受纬向和经向的断裂系统控制的。因此必须注意,主要在印度洋大陆边缘的经向深部构造单元在其所属水域的底部起着主要的作用,决定着像豪拉基和塔乌阿那样的大型岛屿矿床的位置。与此不同的是,北美大陆的大型金矿是受纬向聚矿构造控制的。但在上述两种情况下,次要的正交方向也起着显著的作用。在这里,首先研究在空间上与火山岛岩区及火山机构共生的、并属浅部金建造的岛群矿床。

新西兰岛北部的豪拉基矿床通过顺科尔维尔山脊西段的经向水下小山脉与塔乌阿矿床(斐济岛)相连。这条山脉包括在复杂的全球经向构造之内,向北穿过整个太平洋直到堪察加奥留托尔斯克海角。在豪拉基矿床本身内经向构造占优势。这里的喷出活动看来早在侏罗纪之前就存在,因为在侏罗纪沉积岩中有杂砂岩的参与。褶皱挠曲的中生代基岩被英闪岩的侵入体和斑岩岩墙穿切。强烈的火山活动始于中新世的安山岩喷出,并断续地延续了三个阶段,最后一阶段伴随有各种相的流纹岩类形成。在上新世,矿田中有玄武岩墙侵入,而在豪拉基湾西岸则有碱性橄榄玄武岩的喷出,其中确定有超基性成分的团块。值得注意的是

成矿过程的不连续性。其表现为,成矿射气是与第一和第三阶段的火山活动相伴随,而熔融体分异出现最少的第二阶段则是无矿的。豪拉基矿带的矿化时代为晚中新世到早上新世,在其成矿过程中有钾的带入,并在围岩及部分矿脉中形成冰长石。

关于洋底纬向与经向构造交叉处的塔乌阿金矿区的情况,С. Д. Шер (1972) 早已描述。要注意的一点是,这个带产于所谓“阿里卡角”的同一纬度地带,“阿里卡角”与南美大陆的纬向聚矿构造密切相关。

产于第三纪火山中的矿床是晚上新世的。与豪拉基不同的是,这里的成矿过程是发生在岩浆活动结束后,该岩浆活动始于晚中新世,表现为橄榄玄武岩及粗面安山岩的溢出和侵入,然后依次变为辉石安山岩、黑云母安山岩、粗面安山岩以及碱性辉长玄武岩和二长岩的侵入。这里在晚第三纪火山作用以前,形成了约为中生代的、并被辉长岩和花岗岩所穿破的沉积火山岩层。

因此,在岛群金矿带中,在晚中生代和第三纪之间的岩浆活动具有不连续的特征,一般趋势是在每一独立阶段内发生分异作用。

在北美的中、新生代大型矿床中主要是晚第三纪的。特殊的是霍姆斯塔克矿床,在这里出现了两次矿化——先寒武和第三纪。成矿的特征(其中包括北美地区出现的金矿化)很早就使某些研究者认为,起主要作用的是横交主褶皱的构造。在С. Д. Шер (1972) 的著作中,对这类概念已进行了概述,他强调指出了金矿床的带状分布。И. Н. Томсон曾较详细地研究过美国纬向断裂体系的深部超大陆的区域成矿意义,认为这是属于聚矿系统。И. К. Волчанская继而利用宇宙照片确定,除了Ф. Б. Кинг (1967) 所圈定的主要断裂外,还有许多潜伏的纬向构造,其厚度较小,长度较大,然而最主要的是广阔的复杂构造带,例如,“捷哈斯克地壳区域构造线”应看作是限于32°和34°纬线内的断裂系统。

考虑到上述情况,可以说,在И. Н. Томсон所研究的广阔构造中,大型金矿床是趋向于:1)42—44°纬线的地壳区域构造线内(霍姆斯塔克);2)38°纬线的地壳区域构造线内(戈尔德非利德,特鲁里德-西利维尔顿)。在И. К. Волчанская绘制的精确示意图上,Томсон所划分的“40°地壳区域构造线”是位于40°30'和41°的纬度之间,其中有卡尔林矿床产出。克里普尔克里克、格拉斯维利-涅瓦达西蒂、马泽尔洛伍德、科姆斯托克等矿床产于39°—39°30'的地壳区域构造线内。离这个带不远的北部有艾达霍斯普林格矿床。控制帕拉利矿床群的墨西哥纬向带,是在27°和25°纬线之间。这个带向太平洋底的延续是莫洛凯斯

裂。同样, 埃利奥罗、帕丘卡和瓜华托等矿床位于北纬19°和21°之间的纬度带范围内。C. Д. Шер(1972)在论述加利福尼亚-科罗拉多断裂的科尔季利耶尔金矿化分布规律时指出, 矿床的时代自西向东逐渐变年轻。但是, 从北向南的时代变化是大型金矿床最一般的规律。在纬度42°—44°的地壳区域构造线内, 从加拿大的先寒武矿床向美国的中、新生代矿床过渡。如上所述, 在这一地壳区域构造线内, 产出有特大型的霍姆斯塔克矿床。在该矿床中, 并存着先寒武和晚第三纪的矿化。在以下的三个带中(从41°到38°), 明显地具有大型的第三纪(直到中新世中期)金矿床, 但是也有晚白垩世的、受39°—39°30'地壳区域构造线控制的矿床群——格拉斯维利-涅瓦达西蒂、马泽尔洛乌德, 以及产于同一地壳区域构造线中的早上新世的科姆斯托克矿床。再往南, 过渡到墨西哥大型金-银矿床, 是更年轻的矿化带, 测定的年代为上新世和上新世晚期(帕拉利、埃利奥罗、瓜华托、帕丘卡)。尽管有一些例外(我们考虑, 这些例外最早是与经向隐蔽断裂系统的存在有关), 但所指出的趋向是相当清楚的。

因此, 在这里(正如上述的澳大利亚及其邻近岛屿那样), 我们在中生界至新生界, 特别是在上第三系中, 见到平行于先寒武聚矿构造的地壳区域构造线的复活。有的地方, 先寒武与中、新生代的内生活动在同一个构造单元内并存。C. Д. Шер指出, 在北美和西欧不存在古生代的大型金矿, 这是比较普遍的规律。因此, 这里所描述的在陆壳形成初期具有的聚矿构造重复发生活化(主要在中生代末和新生代)。需要注意的是, 除了区域性的纬向位移外, 在大型金矿带中还局部地出现了次要的经向错动。例如, 在马泽尔洛乌德金矿带最富的地段——阿马多尔, 偏北西走向(对整个矿带而言)的矿脉改变为南北向。在局部地方, 偶而为东西向(例如, 格拉斯维利-涅瓦达西蒂矿床群中纬向岩墙和断裂)。在控制中、新生代大型金矿床分布的局部构造中, 除纬向和经向断裂的交错带外, 环形构造起着重要的作用。穹状隆起属于这类构造, 并常被年轻火山的破火山口搞得复杂化。后者决定着像克里普尔克里克、捷卢里德-西尔维尔顿等这样一些矿带的位置。最大的穹隆和破火山口, 按直径可与它们所在的纬向聚矿构造相比较; 而按发生的时间, 它们和最接近成矿时的岩浆作用过程相吻合。

关于北美中、新生代金矿床已有大量的文献报道, 这里只简要地谈一下大型矿床的某些重要的标志。

在最大的霍姆斯塔克矿床中, 两个最重要的金成矿期(先寒武和中、新生代)是并存的。在成矿带范围内, 先寒武岩层, 除变质沉积岩外, 为最早期的火

成岩(辉长岩-角闪岩)岩床。先寒武基底的主要构造面是经向的, 但也发现有透加的交错褶皱。第三纪侵入岩是二长岩和响岩成分的似斑状岩株和流纹岩的晚期岩墙, 直到第四纪黑曜岩。某些个别的矿点呈纬向链状分布。除已知的先寒武之外, 金见于穿切第三纪流纹岩的裂隙中。

在北美中、新生代富金矿化的某些带中, 岩浆作用发育的最重要的特征是持续性。除霍姆斯塔克外, 在克里普尔克里克矿床的矿田中见有先寒武的基性喷发岩(橄辉玄武岩)。对大多数所研究的大型金矿床来说, 其特征是从上部中生代(侏罗纪, 更多的是晚白垩世)开始出现岩浆活动。此时, 像格拉斯维利-涅瓦达西蒂和马泽尔洛乌德等这样一些矿床, 早期的岩浆作用是超基性岩。但是, 最强的岩浆作用往往只发育在晚第三纪(科姆斯托克、戈尔德菲利德矿床)。在个别情况下, 在长时间中断以后又重新复活。在所研究的地区中、新生代金矿带岩浆作用演化中, 安山流纹岩系列占主要地位。同源的继承性, 很大程度上是在侵入岩中表现出来(马泽尔洛乌德、卡尔林矿床)。在有些矿床中(克里普尔克里克、瓜华托), 早期的流纹岩火山作用被响岩和粗面岩的溢出所取代, 有的地方接着又重新出现酸性转生岩。

据上所述, 可得出如下的主要结论:

1. 中、新生代的大型金矿床产于纬向和经向断裂褶皱体系的交错带及其复杂的环状构造中。
2. 超基性和基性富镁岩石在岩浆作用发育早期起主要作用, 而基性及较少的超基性熔体是在结束阶段出现的。在熔体演化过程中, 常常观察到钾碱性逐渐增高(与先寒武系列相比)。
3. 在个别情况下, 基性和酸性熔体在时间上发生交替。

### 金矿床地区火山岩成分的对比

根据文献资料, 对大型金矿床地区的火山岩进行了比较。太古代科马提岩及与其共生的拉斑玄武岩的化学变化在所有的地区内是一样的——贫钾、钛。在铁含量与氧化铝的关系图中(图2)示出的科马提岩成分形成了一个斜向延伸区, 而拉斑玄武岩的含铁量较高。太古代火山带的酸性分异物几乎到处都反映出明显的富钠特征(图3)。只有克尔克连德-莱克矿床是例外。

中、新生代矿床的基性火山岩, 其Mg和Fe之比接近于玄武质科马提岩(图2), 但以碱性高而区别于玄武质科马提岩。在铁和氧化铝的关系图中, 表示斐济和新西兰矿床的基性火山岩成分的点直接落在玄武质科马提岩区内, 大陆矿床(格拉斯维利、戈尔

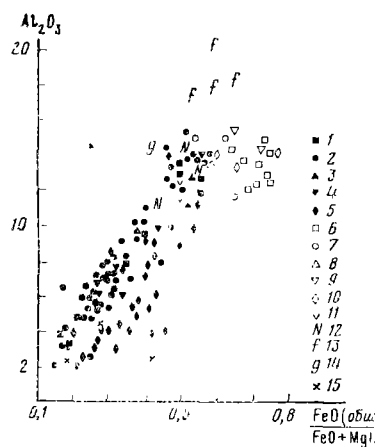


图2 金矿床区的基性、超基性火山岩的氧化铝和铁含量之比

太古代 科马提岩: 1. 加拿大, 2. 澳大利亚, 3. 印度, 4. 津巴布韦, 5. 南非;  
拉斑玄武岩: 6. 加拿大, 7. 澳大利亚, 8. 印度, 9. 津巴布韦, 10. 南非;  
中、新生代基性火山岩: 11. 斐济, 12. 新西兰, 13. 14. 戈尔德菲利德和格拉斯维利(美国), 15. 新西兰玄武岩中的超基性团块。

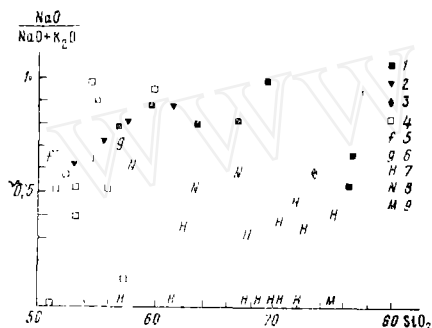


图3 矿床区酸性火山岩的Na<sub>2</sub>O在总碱度中的比例与氧化硅的相关关系

太古代: 1. 加拿大, 2. 津巴布韦, 3. 南非, 4. 克尔克连德-莱克;  
中、新生代: 5—7. 戈尔德菲利德, 格拉斯维利和霍姆斯塔克(美国), 8. 新西兰, 9. 墨西哥。

德菲利德)的熔岩成分位于氧化铝含量较高的范围之内。中、新生代的酸性火山岩在相应的图中,落在比太古代低的钠含量区域内,明显地划分出超钾质的变种——隐蔽断裂系统的重要标志。

## 结 论

上述资料的分析,证明了早先确定的大型矿床分布的一般规律:聚矿构造的正交性及在同一构造范围内不同时代矿床的共存(图4)都证明了同一构造是长期活动的。从上述资料中可以得出结论:在某些情况

下,彼此平行的构造相继地受到伴随有巨型金矿化的构造-岩浆活化作用。明显的例子是在澳大利亚和大洋洲的经向断裂构造中,从先寒武到晚第三纪,聚矿作用是从西向东移动。对北美纬向断裂构造来说,自北向南也见到类似的成矿活动的变位(图4)。

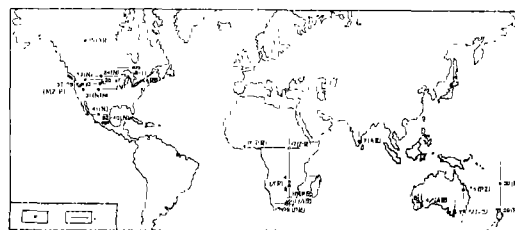


图4 国外大型金矿床的分布

### 1——矿带

太古代: 1. 巴伯顿(南非), 2. 克维克维, 3. 哈尔特列伊(津巴布韦), 4. 卡尔古利, 5. 伊尔加尔恩, 6. 诺斯曼(澳大利亚), 7. 科拉尔(印度), 8. 波尔丘潘, 9. 诺兰达, 10. 克尔克连德-莱克, 11. 凯埃吉松, 12. 马拉尔蒂克, 13. 卡吉拉克, 14. 拉马克, 15. 伊洛乌奈弗(加拿大);

元古代: 16. 亚山蒂(加纳), 17. 基洛(扎伊尔), 18. 皮尔格里姆兹-列斯特, 19—23. 维特瓦特兰德群——中、西和东兰德, 维尔科姆和克勒斯多普(南非);

晚古生代: 24. 巴拉特, 25. 宾吉戈, 26. 芒特-摩根(澳大利亚);

晚中生代: 27. 马泽尔洛乌德, 28. 格拉斯维利(美国)

晚第三纪: 29. 豪拉基(新西兰), 30. 塔乌阿(斐济) 31. 戈尔德菲利德, 32. 卡尔林, 33. 科姆斯托克, 34. 霍姆斯塔克, 35. 艾达霍斯普林格斯, 36. 捷卢里德-西尔维尔顿, 37. 克里普尔克里克, 38. 瓜华托, 39. 帕丘卡, 40. 埃利奥罗, 41. 帕拉利(墨西哥)

### 2——断裂聚矿构造。

在中、新生代大型矿床的矿田中,矿化现象接近于科马提岩的火山岩和超基性侵入岩,因而可以认为,这里的熔融体来源和先寒武的火山带一样,是深源的。同时,在绝大多数所研究的对象中,岩浆作用的发育是长期的(直到几亿年)、断续的。对于成分不同的岩石,所观察到的复杂关系,只能推测是由于深部岩浆源与长期活化的中间源的结合,并在深部多次出现而造成的。此时,深部的喷气源和时间上与其相近的岩浆熔融体的来源并不是经常一致的。例如,主要为钠质岩浆岩体的剖面,有的地方伴随有强烈的钾交代作用。

纬向和经向断裂体系交错带对熔融体和喷气来说,是渗透性增高的地段,而中间源的产生,则伴随有穹状隆起和破火山口的形成。

(下接第44页)

## 二、裂变径迹玻璃的用途

根据我们实际应用的经验以及国外的报导,可把裂变径迹玻璃的用途归纳为如下几方面:

**1. 测定地质年代的必要手段** 用裂变径迹测定地质年代的方法目前已被广泛应用。在计算裂变径迹年龄的公式中,

$$T = -\frac{1}{\lambda D} \ln \left( 1 + \frac{\lambda D n \hat{\rho}_s}{\lambda_f \rho_i} \right) \quad (2)$$

辐照中子通量  $n$  是一个主要待测变量,过去多用活化金属箔测量,其测量过程既费时间又很复杂。然而,利用裂变径迹玻璃进行测定就较为方便,只需要将裂变径迹玻璃片与样品一同进行辐照,然后就可以由径迹玻璃的蚀刻径迹密度计算出中子积分通量  $n$ :

$$n = \frac{A \rho_s}{G I N_0 D C_s K a g} \quad (3)$$

式中,除  $\rho_s$ ——裂变径迹玻璃诱发径迹密度,随中子通量的大小而变化需要测量外,其他都是给定的已知数,因此只要统计出  $\rho_s$  就可求出中子通量。从而进一步计算出样品的地质年代。

**2. 超微量铀、钍的测定** 将待测样品进行加工制作后,选取两片裂变径迹玻璃,一片盖在待测样品上用纯铝箔包好,而另一片也单独包好一并送入反应堆内用热中子辐照一定的时间。辐照后的径迹玻璃通过化学蚀刻便可分别统计出诱发径迹密度,由此就能计算待测样品的铀含量  $W_{ux}$ :

$$W_{ux} = K W_{us} \frac{\rho_x}{\rho_s} \quad (4)$$

式中,  $W_{us}$ : 裂变径迹玻璃的铀含量;  $\rho_x$ : 盖在样品上径迹玻璃的径迹密度;  $\rho_s$ : 径迹玻璃自身的诱发径迹密度;  $K$ : 修正常数。

钍的测定应首先按上法测出待测样品的  $\rho_x$  与  $\rho_s$  值并计算出铀含量。然后再选取一片径迹玻璃与一片加工好的样品,表面分别盖上云母片并用铝箔包好,在回旋加速器里用 30MeV 的  $\alpha$  粒子流辐照。云母片经化学蚀刻后便可统计出径迹密度。由两次测定结果则可计算钍的含量:

$$\frac{(C_{rh})_x}{(C_u)_x} = \frac{\rho_x(f)}{\rho_s(f)} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_x} - 1 \quad (5)$$

式中,  $(C_{rh})_x$  与  $(C_u)_x$  分别为待测样品的钍、

(上接第9页)

根据在所叙述的复杂的内生过程中成矿作用的情况(不连续性,在空间上和时间上相对最明显的分异系列的关系以及产于渗透性高的带中),可以得出结论:大型金矿床是在长期发育的内生过程中成群地形成的,而内生作用产生的基础是,地幔源多次略微开放以及熔融体随后发生的演化。然而,这首先又可得出

铀含量;覆盖样品与复盖径迹玻璃之云母的径迹密度分别为  $\rho_x(f)$  和  $\rho_s(f)$ 。

此法灵敏度高,可达  $10^{-14}$  克/克,不但能测定元素的含量,而且同时还能得到元素微观分布的空间图象,其空间分辨率一般为 10 微米。除了能测铀、钍含量外,还能测钚、硼、铋、氮和氧等元素。

**3. 观测反应堆内中子的分布情况** 在反应堆内需要观测的部位都放上两片径迹玻璃,辐照同样的时间以后取出,进行化学蚀刻,由玻璃的诱发径迹密度便可计算出反应堆各部位的中子通量。

**4. 离子与反应碎片的探测** 具有不同能量的离子打在专制的径迹玻璃上都会产生径迹,并且这种径迹都能用化学蚀刻的办法显示出来。这种径迹的直径或者面积是与离子的能量成正比的。根据这个道理,我们就可以通过测量径迹的直径或者面积来计算离子的能量。对于某种能量的离子选择合适类型的径迹玻璃,其能量分辨率可达 2 MeV,对于高能离子测定的上限可达 800 MeV。

不同组成的径迹玻璃探测径迹的入射角可以小于 10 度。正因如此,径迹玻璃就可以用来记录多叉裂变现象。例如 ZnP 玻璃表面涂上  $UF_4$  ( $\sim 900 \mu g/cm^2$ ),在重离子加速器里用 7.5 MeV/amu  $^{238}U$  原子辐照,辐照以后,用硝酸将玻璃上的铀膜溶解,再对玻璃进行短时间的化学蚀刻。那么,我们就可以在偏磷酸玻璃上看到铀离子与铀原子碰撞所产生的四叉裂变事件。还可以将组成不同的径迹玻璃放在探空气球,各种宇宙飞行器以及月球上,用以探测宇宙空间的新粒子。

径迹玻璃的应用还刚开始,有待我们继续深入研究。

### 主要参考文献

1. Fleischer, R. L., et al.: 1965, Nuclear Science and Engineering, Vol. 22, pp.153—156.
2. Schrurs, J. W. H., et al.: 1971, Radiation Effects, Vol. 7, pp.231—233.
3. Carpenter, B. S., et al.: 1974, NBS Special Publication 260—49.
4. Fiedler, G., et al.: 1977, Nucl. Instr. and Meth., Vol. 147, №1, pp. 35—39.
5. Schakarvarti, S. K.: 1979, Nucl. Tracks, Vol. 3, №1/2, pp. 85—88.

结论:成矿物质的原始来源和超基性熔融体一样,是自来深部,而内生过程的进一步演化,又导致了金矿化的迭加和富集。

译自《Изв. АН СССР, Сер. Геол.》, 1980, №6.

章振根译 陈平校