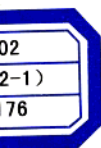


西南太平洋地区
斑岩铜矿床译文集
(上册)



地质部宜昌地质矿产研究所

一九八〇年八月

西南太平洋地区斑岩铜矿床译文集

(上册)

地质部宜昌地质矿产研究所

一九八〇年八月

目 录

前 言	(1)
斑岩铜矿成因的某些主要因素	(3)
菲律宾吕宋岛南部太桑斑岩铜矿床	(10)
马来西亚沙巴马姆特斑岩铜矿床的一些地质特征	(21)
印度尼西亚北苏拉威西斑岩铜矿床的地质与勘探	(32)
所罗门群岛瓜达尔卡纳尔岛科洛拉火成杂岩的斑岩铜矿化	(48)
巴布亚新几内亚布干维尔的潘古纳斑岩铜矿床的地质和品位分布	(83)
巴布亚新几内亚东新不列颠伊瑟斯斑岩铜矿床	(93)
巴布亚新几内亚新不列颠朴里修米铜矿勘探区的地质历史、深成特征 和次生硫化富集作用	(101)
巴布亚新几内亚星山侵入体和斑岩铜矿远景区	(118)
巴布亚新几内亚杨德腊斑岩铜矿勘探区中央部分的地质和 蚀变—矿化分带	(130)
澳大利亚昆士兰东部斑岩型铜—钼矿化带	(155)
澳大利亚昆士兰蒙梅拉斑岩矿床地质学	(172)
澳大利亚昆士兰东南部科尔斯屯斑岩铜矿勘探区地质	(195)

前 言

《经济地质》1978年第37卷第五期系统地介绍了太平洋西南岛屿和澳大利亚的斑岩铜矿床（下称西南太平洋斑岩铜矿床）。这些矿床大多数产于岛弧背景上，也有少量产于陆缘背景及大陆背景上。从矿床形成的时代上看，最年轻的矿床约只有0.5m.y，最老的矿床却与世界上最老的同类型矿床不相上下。在矿床成因上，与当今的板块构造理论也有有机地联系了起来。该区矿床与西半球大陆的斑岩铜矿床相比，亦有着明显的不同特征，从而补充、丰富了斑岩铜矿的资料。

虽然，在斑岩铜矿床方面，以往已引进了大量的资料，然而将该区资料译出供从事地质工作，特别是从事斑岩铜矿工作的同志们参考，仍然是一件有意义的工作。

本专辑将该期刊载的12个矿床（图1）和有关岩石学、地球化学、包裹体研究及大地构造等方面的23篇文章全部译出，分为上、下两册出版。编入上册的均为矿床实例，有关其他专题均列入下册。由于我们的水平所限，错误之处，敬希读者指正。

编 译 者

1980年8月

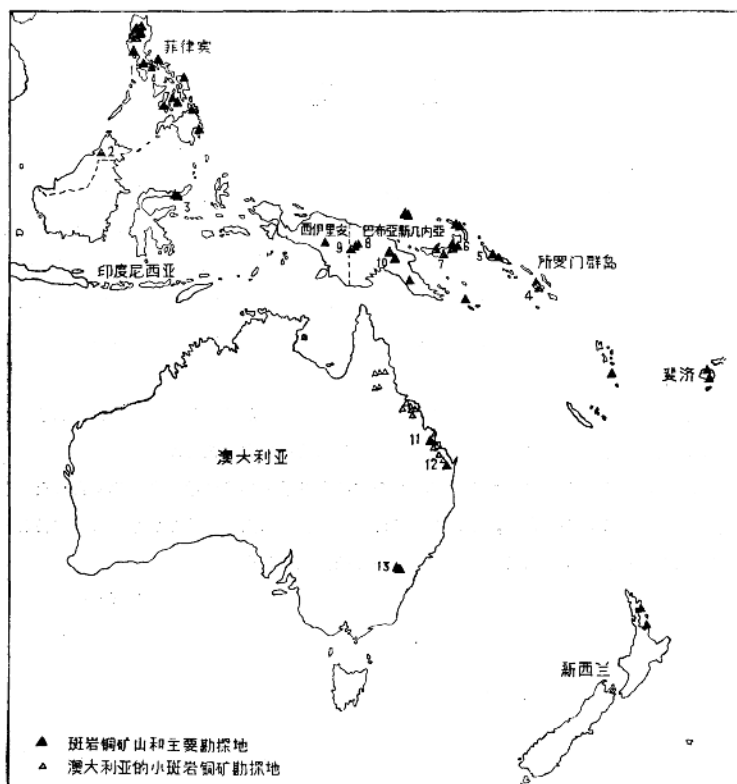


图1 西南太平洋和澳大利亚主要斑岩铜矿的产地

1. 吕宋岛的太桑 2. 沙巴的马姆特 3. 苏拉威西的托姆布利拉托 4. 瓜达尔卡纳尔岛的科洛拉
5. 布干维尔岛的潘古纳 6. 新不列颠的伊瑟斯 7. 新不列颠的朴里修来 8. 巴布亚新几内亚的星山地区
9. 巴布亚新几内亚的奥克特迪 10. 巴布亚新几内亚的杨德腊 11. 昆士兰的蒙梅拉 12. 昆士兰的科尔斯屯
13. 新南威尔士的铜山

斑岩铜矿成因的某些主要因素

L. B. Gustafson

引言

由于斑岩铜矿床在全世界的广泛分布和重要的经济意义,因此它们已经成为广泛深入研究的课题。《经济地质》1978年第5期中论述了西南太平洋斑岩,增加了这类矿床已有的明显的复杂性。因为有关斑岩铜矿的论文越来越多样化,因此我们有了进行比较的机会,可以指出哪些特征具有普遍意义以及描述的特征与成因因素有什么样的关系。

经常被引证的 Lowell 和 Guilbert 对斑岩铜矿床典型特征的描述已为 De Geoffroy 和 Wignall (1972) 用于统计的极值。Guilbert 和 Lowell (1974) 后来对该模式作了进一步补充,包括由各种地质因素引起的变化。虽然后者是一种较其它模式更普遍、灵活的模式系统,但是却没有一个能适当地处理时间变量,因此实际上是一个静态模式。因为在一些重要方面与统计平均值不同,故不能准确地描述任何一个实际矿床,也不能把复杂的描述型式作为多次叠加事件的综合影响来考虑。Sutherland-Brown 对加拿大科迪勒拉山的火山的、半深成的和深成的矿床类型的形态分类,以及与侵位深度有关的蚀变——矿化类型的主要趋向的讨论,对整个斑岩铜矿床提供了广阔的前景。但是在讨论单个矿床的演化模式时仍然没有考虑时间因素。

根据智利埃尔萨尔瓦多矿山时——空关系的详细研究, Gustafson 和 Hunt 描述了该矿床复杂的和基本的成矿演化特征。他们提出一般斑岩铜矿床演化模式的轮廓,简要描绘了与其它矿床的相似处,但是没有详细地研究这个模式。本文试图指出,在埃尔萨尔瓦多描述的侵入——矿化——蚀变事件的演化形式有普遍的正确性。这对在西南太平洋、澳大利亚和其它地区寻找不同类型的斑岩矿床提供了一种有用的方法。

斑岩铜矿床研究数目的增加说明了与构造和侵入事件有联系的矿化——蚀变作用随时间而变化(例如科洛拉、潘古纳、扬德腊和蒙梅拉)。然而,在这些复杂的矿床中找出时——空关系的野外证据是一项很艰巨的任务。以潘古纳为例,虽然经过了若干工作年的详细探坑填图,但是与连续的侵入幕相伴出现的蚀变——矿化的实际顺序和变化模式,仍在探索之中。精确细致的定量研究获得的结论,例如 Eastoe (1978) 对该矿床的气液包裹体的研究,必须建立在所取样品的时间关系的推论成立的基础上。

对了解斑岩铜矿床的最重大的新贡献是 Cathles (1977) 和 Denis Norton (1978) 及其助手们所作的与冷凝固成岩有关的热液系统中热量和质量传递过程的精确计算机模拟。虽然定量地描述了时间变量,可是直到现在仅模拟了基本上是静水条件下的晚期热液活动。这种现象,对解释斑岩铜矿化的许多方面提供了很大的希望,特别是适合于在较低的温度和压

方下、在同生岩浆侵入体以外矿化——蚀变作用进行得比较充分之处的那些矿床。但是，在以岩浆压力（ $\geq$ 静岩压）和温度占优势的动力系统中，有关极不一致的渗透性和压力分布尚没有多少推论，这种现象至今还不能模拟侵入活动早期阶段大量铜明显侵位时的决定性事件（如在埃尔斯尔瓦多）。

斑岩铜矿床的一般特征

对斑岩铜矿床富有经验的勘探地质学家们，在这些相似的矿床当中能识别许多定性的描述要素，即使每个人为了叙述和评价这些矿床采用了不同的参照系统。这些不同的要素以这样多的不同的组合放在一起，使统计分析只能产生一幅模糊的图案。统计分析可能是如此地不能令人满意。但依我看来，我们现在能做的最好是给与这些矿床共有的基本要素和控制这些要素变化的因素作定性地和部分直观地解说。这些共同要素包括斑状岩石特征、构造类型、矿物组合的分带和顺序。

斑状岩石特征

斑状侵入岩和浸染状铜矿化之间的必然成因联系很久之前就认识到了，并且通过对一些个别矿床的详细研究揭示出来。虽然企图对含矿斑岩的结构特征分类并不很成功，不过勘探学家们对世界上斑岩铜矿床的惯用结构是熟悉的。这些结构是从粗的不等粒（次斑状结构）到明显的斑状结构（普遍具有细等粒相）。多次的侵入事件和侵入体内结构的变化为这些岩石的特征。尽管这些岩石组份范围是从闪长岩到石英二长岩，但是，矿床所显示的相似结构表明，结晶作用有相似的物理环境。虽然许多无矿侵入杂岩有相似的结构，但在矿化区内斑岩相的丰度和分布变化极大，认识火成结构的正常序列已经证明对指导勘探很有用。

构造类型

在所有矿床中斑岩铜矿化总是呈明显浸染状大量地产在岩石中，这样便适于提出斑岩矿床大规模开采方法的工程设计。沿着连续的内眼能识别的裂隙的硫化物比例从一个矿床到另一个矿床有很大的变化，通常在一给定的矿床内随时间和地点也有很大的变化。在显微镜下通常能看到的那些内眼能识别的浸染状矿化，实际上大部分是受裂隙控制的。从一个矿床到另一个矿床，通常在单个矿床演化期间一般随着时间的变化可以见到无规律的、集中侵入的和区域定向裂隙之间的大幅度变化。角砾岩是特征的，一般侵入于主岩中，或者具有碎屑的、火成的填质或具有矿化填质，它们通常与铜矿化密切共生或者是后期形成的。

矿化——蚀变组合

矿化主岩不同程度地蚀变产生各种矿物组合，这些矿物组合，虽然有相反的，但却普遍存在，足以进行分类。在不同的矿床中各组（矿物）组合之间的主要差别本来是围岩组份

方面的主要差异有关，如碳酸盐岩夕卡岩对硅质火成岩，沉积岩对镁铁质火成岩和沉积岩。原岩转变为蚀变组合的程度从局部和部分选择交代矿物到所有的原始矿物完全转变。

斑岩铜矿分带的静态模式说明蚀变——矿化组合带状排列的主要趋向。但是，当一些个别的矿床型式与“典型的”矿床相比，硫化物和硅酸盐组合彼此之间的相对位置以及它们与侵入要素和构造要素的相对位置常常有变化。这种型式各个部分的相对大小和发育程度变化很大。组合的重迭和交代是常见的。虽然有许多变化，但是有一种到处可见的顺序，即具黑云母——碱性长石组合的交代，高的 Cu/Fe 比值的硫化物被晚期 Cu/Fe 比值较低的黄铁矿组合交代，在晚期黄铁矿组合中黑云母和碱性长石已被破坏。

西南太平洋斑岩铜矿床的特征

岛弧背景中的斑岩铜矿床与西半球大陆背景中的斑岩铜矿床比较，西南太平洋的矿床对斑岩矿床补充了一些与两者绝然不同的概念。与矿化作用有关的侵入火山杂岩中以石英闪长岩占优势，在太平洋岛弧的这种火山杂岩比大陆背景中相当的岩石更偏基性。然而，有一个大的重迭区，包括巴布亚新几内亚在内，富于两种地质背景的花岗闪长质母岩，Mason 和 McDonald (1978) 发现一侵入岩成份从岛弧经过陆缘到大陆环境的宽广的重迭区。人们在新不列颠和瓜达尔卡纳尔岛已经注意到从辉长岩到石英闪长岩或更长英质类型的钙——碱性深成活动的演化。与不列颠哥伦比亚某些火山斑岩铜矿床共生的正长岩相似于矿化碱性侵入体，在太平洋的这一侧尚未见到。

虽然黑云母受绿泥石和（或）绢云母的迭加趋于消失，但黑云母作为一种早期蚀变产物仍普遍存在。但是钾长石在许多围岩为石英闪长岩的矿床中比更长英质的围岩中和大多数科迪勒拉矿床中的丰度小得多。在早期黑云母蚀变中，钠长石局部代替了钾长石。在太平洋的矿床中的硬石膏丰度与科迪勒拉矿床中的丰度一样。在塔帕达、潘古纳和扬德腊以及澳大利亚的蒙梅拉和科尔斯屯较老的矿床中，硫酸盐带已受到渗透。

在西南太平洋矿床中伴生的次要金属，已由 Titley (1978) 作了归纳，仍然适合于岛弧矿床，有较高的金和较低的钼的趋势。但是，也有明显的例外。侵入到新几内亚高地的大陆背景的奥克特迪有特别高的金和特别低的钼的现象，而位于菲律宾的内格罗斯岛弧环境的锡帕雷矿则是钼特别高，而金特别低。这些例外应该在这些矿床的成因理论中得到调整。

在西南太平洋和科迪勒拉矿床之间有如此重要的系统差异是在于它们的单个矿床特征有相似的差异。Titley (1975) 已经指出侵入历史的普遍复杂性以及蚀变类型和形式有相似的变化范围。虽然西南太平洋有几个矿床与典型的斑岩铜矿床非常相似，其它矿床则显示出不同的而又重要的变化。

较典型的矿床包括潘古纳、科尔斯屯、太桑和奥克特迪。潘古纳是目前开采的最大的岛弧型矿床实例，至于侵入事件和伴生的矿化——蚀变随时间演化，潘古纳有希望不断提供启发性的资料。各个时代和类型的矿化角砾岩对潘古纳的开采工作有很重要的经济意义，并且对西南太平洋的许多矿床来说是特征的。太桑矿的最不寻常的特征似乎是主要矿带有较高的 Zn 含量。奥克特迪的无矿块状石英核是一种不寻常的尚未弄清楚的复杂特征，但是在其它矿床中则是相当常见的。在西南太平洋为罕见的而在别处的斑岩铜矿中则是常见的特征，即在奥

克特迪的石灰岩围岩中的夕卡岩矿化和重要的表生富集。今天这个矿床的最重要的方面不是在于成因关系，而是与工程的大小、投产的金融工作以及决定投资成败的政治经济因素等方面有关。

在马姆特、北苏拉威西、科洛拉和扬德腊已经见到与典型斑岩铜矿不同的主要变化。要了解这些变化的意义需要做大量的工作。

马姆特矿显然是很特殊的，斑岩大量地侵入位于蛇纹岩围岩中，磁黄铁矿为主要的矿石组分。还有一个很不常见的特征是石英二长斑岩中有强烈的矿化，石英二长斑岩中的角闪石斑晶已经蚀变为透闪石——绿钠闪石——阳起石——绿泥石。黑云母主要产在接触带和周围的沉积物中，大大地超出了矿石的界线。较新鲜的岩浆成因的角闪石产于矿化很不好的侵入体的中心。

北苏拉威西的塔帕达地区的矿床在许多方面很像是西南太平洋闪长质岩石中通常变化的那些矿床，在闪长岩中钠长石交代了早期黑云母—碱性长石组合中的钾长石。在托姆贝里拉多地区值得注意的是明显的垂直分带和普遍的前进泥岩化蚀变。而在埃尔萨尔瓦多和其它斑岩铜矿区，有大量的明矾石、叶腊石和硬水铝石的组合出现，只有无矿的黄铁矿作为共生矿化，在托姆贝里拉多叶腊石——硬水铝石——黄铁矿——斑铜矿是重要的高品位组合。

在科洛拉的复杂侵入层序中已形成两个明显的矿化——蚀变系列。虽然品位极低，但在矿化蚀变中心，较早的脉带系包含着显然很独特的含辉石组合。侵入和矿化的时间演化情况已详细作了介绍。

几年来扬德腊一直是勘探的难题。在一条大黑云母化的铜值异常带中，大致在一条斑铜矿化带和较高品位的聚集区的中心是一明显的（有大量石英细脉和磁铁矿的）无矿核心带。晚期热液作用以与主要的绢云母和钠长石在一起的碳酸盐、沸石和局部的赤铁矿的存在为特征，这种热液作用在构造带中产生一些品位最佳的矿石。在共生的黄铜矿——斑铜矿中没有黄铁矿，这与别处最晚期矿脉中以黄铁矿占优势形成了鲜明的对照，这充分地反映了在一不正常的低硫和低铁含量的系统中酸度低，硫的活性小的溶液的演化。附近强烈的黄铁矿构造带的时间关系不详。

斑岩铜矿成因理论

在大多数矿床中有关时—空关系的记载一直很少，同时对于涉及到用综合的方法能概括成因因素的具体的机理的意见又极不一致。然而，有些想法被证明是有理由的，因为在斑岩铜矿床的研究者中对这些矿床形成的时间因素的重要性以及我们在岩石中看到的多次事件的综合影响或多或少地重现出现的事实显然一直缺乏概括的评价。

在这些矿床中，造成各种不同型式的地质因素至少部分是独立在起作用，且在矿床的形成中每一个因素随时间而变化。这些因素包括：构造、深度、侵入体的大小和侵入时代；地下水的侵袭、岩浆库挥发物的演化以及围岩的组份。在任何给定的情况下，没有比直观地鉴定更好的方法了，但是需要仔细观察和填图以及运用我们掌握的所有定量工具。

构造

由于开放系统中岩浆和热液溶液沿岩石中的构造破裂大量带入，导致斑岩铜矿的形成（这并不意味着在早期矿化阶段矿化侵入体通到地表）。这些破裂带是由于区域的力和局部的岩浆力两种应力作用的结果。区域作用力在控制火成侵入体的位置和形状是重要的，正交脉和断层系统就是证明。由杂乱的裂隙、角砾岩和放射状——同心状脉群证明了岩浆力的存在。在一个矿床中这些力之间的平衡在不同的地方和不同的时间是变化的，特别是在侵入体连续侵入时更是如此。在热液活动演化期间主要的裂隙渗透带和侵入中心的位移是控制矿化蚀变带是否成环状（如圣曼纽——卡拉马祖）或不对称状（如潘古纳、贾邦基里（北苏拉威西）和科洛拉）的主要因素。

侵入体的深度、规模和时间

侵入体的深度、规模和时间主要控制了矿化的型式及在矿化位置温度和压力条件的变化。这种作用部分依赖于构造因素，并且主要是通过地下水侵入发生影响。极端的情况是规模大而时间间隔密的侵入体（如在埃尔萨尔瓦多）相对规模小时间间隔宽的侵入体（可能在朴里修米）。大而深且相隔近的侵入体比小而浅且时间间隔长的侵入体冷却得慢。在前一种情况，矿化的热中心趋于保持到岩浆的侵入作用停止，保持到来自岩浆库的热液喷气停止或同地下水混合，向内或向下进入正在冷却的侵入体中心。由伴随着侵入体的岩浆温度和静岩压到晚期热液脉的低温和低静液压，有一个正常的演化过程。在埃尔萨尔瓦多矿化——蚀变特征少有的明显的单向变化，是在主要侵入序列结束时从岩浆热液条件到雨水条件的突然转变的结果。然而，在其它许多矿床中，分带的型式和矿化——蚀变顺序不是那样明显地被确定和协调一致。表明由于晚期斑岩的侵入增加了岩浆条件，接着地下水对较早的矿化侵入体侵袭，使演化趋于倒转。较小范围的流体压力和温度的较大变化是这些动力系统的特征。潘古纳，由野外关系和气液包裹体中的温度——盐度关系所表明的连续矿化相是这样一种情况的例子。在科洛拉和蒙梅拉的序列型式可能记载了相似的结果。

地下水的侵袭

围绕侵入体中心的地下水对流系统的侵袭是决定冷却速度和热梯度的主要因素。侵入体侵位的深度和围岩的构造渗透性影响对流的地下水的流量，地下水只能在一个侵入体已经冷凝到足以使静液压在张开的脆裂隙中占优势之后才侵入的。关于在矿化流体运移中雨水的重要性的争议较多，争论正是围绕着这种侵袭在何时发生这一问题。很难说在大多数矿床中侵入事件之间的时间究竟有多长。在许多矿床中，甚至最早的矿脉显然是在脆性断裂之后，而与早期的钾——硅酸盐有关的矿化显然是在低温低压下远在侵入体界面之外形成的。这里，在矿化早期的岩浆以雨水占优势的争议主要依靠同位素证据。可以想像雨水和岩浆水不同程度的混合，但是在低纬度地区，雨水和岩浆水的同位素成份不足以辨别少量的雨水。

岩浆库的挥发份演化

Gustafson 等人针对埃尔萨尔瓦多的情况得出同时代的斑岩侵入体的岩浆源是大量矿液的直接来源的证据。这里要重复一下，许多人把围绕侵入岩株对流的地下水循环的争议加以引伸，排除了在斑岩铜矿床中硫和金属的岩浆来源。岩浆水的主要来源，究竟是岩浆源的还是在侵位前由扩散到未饱和岩浆中获得的，还不知道而且不属于争论的范畴。

1. 在早期矿化期间占优势的近岩浆温度和静岩压力由裂隙型式（最早的脉是不连续的且没有平行脉壁和对称脉）、靠近多次侵入体接触带、矿物组合和液体包裹体为证据。

2. 由静水压力差驱动的对流地下水，在这里不是最重要的早期矿化阶段的主要成份，因为在晚期矿化之前，它根本未进入矿体的高压中心。然而，对流的地下水在早期热液系统的边缘起很好的作用，并且是过渡期和晚期热液的主要组份。

3. 同位素证据支持早期热液的岩浆来源，它们所含的硫与其它矿床测定的一致。

4. 在与斑岩层序密切有关的某些部分及其附近，缺失有意义的钾—硅酸盐蚀变和铜矿化反驳了侵入作用作为一个矿化的地下水对流系统的简单的热动能的论点。同样，在晚期造山带的钙—碱性侵入体中也是斑岩铜矿化占优势。

Baldwin 等提出的证据有力地说明在潘古纳大部分矿化为岩浆—热液来源。在不同地区侵入体和早期矿化在时间和空间上的广泛变化表明是不同时间来自下伏岩浆库的液体和斑状熔体。

与雨水注入有关的岩浆流体的时间和途径的变化导致了作为时、空函数的两种流体的分离或混合。虽然对在同位素方面已改变了的地下水的同位素组份缺乏了解，并且较少的岩浆流体一般不能定量地评价实际矿床。地下水系统的化学作用主要受与岩浆喷气的混合程度和与矿化岩石的反应程度的影响。正如 Meyer 等人在 1967 年所指出的，硫的丰度、温度和硫、氧和氢离子的活度之间自始至终的平衡，可能是主要控制以硫的活度高和氢离子交代作用为特征的晚期黄铁矿组合的正常演化。虽然很难明确测定晚期热液中硫的来源，但可能大部分硫像早期矿化中的残余硫一样根本上来自同一岩浆源。在整个矿化期矿床的特征强烈地受到岩浆流体组份的影响，特别是硫、金属、碱和卤素的含量、氧逸度（ f_{O_2} ）和 pH 值方面的影响。例如扬德腊晚期矿化的低的酸度和低硫活度通常反映了矿液的低硫和低 H^+ 离子量。并且 Gustafson 已经指出 Cu、Mo 和 Au 的共生原来是受熔融体的 S、Cl、F 和 Na 的影响，这种熔体又受熔体侵位之前挥发份演化历史的影响。Mason 已注意到在几个开采的斑岩中铁镁质斑晶向它们的边缘有镁富集的趋势，这种现象被解释为在结晶熔体中氧逸度增大的表示。这可以对熔体—挥发演化的性质以及对大部分有远景的、而部分被覆盖的斑岩中心的可能标志提供有用的看法。

围岩的组份

矿液和围岩之间的化学反应是对所生成的矿物组合以及矿液经过岩石运移使其化学性质变化的主要控制因素。马姆特的特殊矿物组合可能反映了特殊的蛇纹岩围岩。奥克特迪和别处的夕卡岩组合反映了碳酸盐围岩的作用。在岛弧矿床较为偏基性的斑岩蚀变组合中钾—长

石少、钠长石多明显地反映围岩的 K/Na 比值较低。在这些岩石中缺钾可能是供给了广泛的
前进泥岩化蚀变了，与马努斯岛和北苏拉威西的绢云母情况相反。

构造背景

在太平洋岛屿中虽然许多年轻的矿床比其它地区的矿床更有可能正确提出斑岩铜矿的构造背景，但是我们距离实现这种可能还有一段相当的距离。由于该区的复杂性和资料的缺乏，我们不得不放下像现在毕鸟夫带的确定和板块运动的方向和速率这样一些基本问题的分歧来进行工作。即使现在的情况是清楚的，但是如果把这些特点向后推一、二百万年，到已知的最年轻的矿床的形成时间也不是很可靠的，这可能是由于消亡带的迅速漂移。根据 Barazagni 等人在中——南安第斯山的工作，这种可能性已得到特别好的说明。

近几年来，许多工作者研究了用火山岩的岩石类型来确定老消亡带（例如钾横穿岛弧富集），但是对老岩石中这种资料的应用还遗留下许多不一致的地方。在新几内亚地区，这种火山岩的岩石类型是不发育的，至少一些现在的火山作用与活动的消亡带无关。Mason 等 1978 年研究了巴布亚新几内亚——所罗门群岛地区许多第三纪——第四纪侵入杂岩的主要和次要元素含量。他们研究了岛弧、陆缘和大陆环境的无矿侵入体和含矿侵入体。虽然从横过构造带的次要元素可看出一些系统分布的趋势。但在每一个构造省内可以见到自钾低到正常到钾高的火成岩套的变化（除了大陆环境中没有低钾的以外）。斑岩铜矿化是与所有三种地质背景和所有的岩套相伴生。作者认为有意义的发现是，在一个斑岩铜矿区存在着不同的岩套，矿化是与低钾的岩套共生，矿化总体上是与侵入岩的岩浆演化有关。

Gustafson 也比较过不同构造背景中的矿床有关的侵入体的成分并得出稍不同的结论。根据成分很不相同的侵入熔融体的证据和根据可能的源区及造山环境的范围都基本上形成相似的矿床，他得出在斑岩铜矿形成中多数岩浆成因因素不可能是决定性的结论。他指出来自同一源区和由不同机理产生的广泛的造山钙—碱性岩浆是能够形成斑岩铜矿床的。他提出当岩浆上升经过地壳时挥发份演化的历史是决定性的因素，只有主要富 CO_2 液相未分离的熔融体可以到达地壳浅部，其中所含的足够的硫和伴生金属最终在岩钟地区产生有意义的富集。Titley（在私人通讯中）曾指出构造作用与由岩浆上升穿过地壳的速度、并因此保留挥发份的程度所决定的挥发份演化有关。

Titley 等（1978）研究了由侵入岩墙和岩脉所保存的断裂型式是矿床形成时构造作用唯一的直接记录。在一致和系统的断裂型式已详细揭露和查明的一些矿床中，区域应力就可以确定。另一方面，假定由于侵入中心或区域应力的变化所引起的复杂的型式可能是难以解释的。最困难的问题是确定断裂型式之间的时间关系。

陶婉琴 译 李锡金 饶家光 校

菲律宾吕宋岛南部太桑斑岩铜矿床

J. A. Wolfe, M. S. Manuzon 和 A. F. Divis

引言

作为斑岩铜矿床产出的地质背景——岛弧的重要性，在六十年代末期已被人们所认识。1972 年便开始出现了有关这个主题的论文。离开东南亚海岸以外的菲律宾群岛，蕴藏有大量的这种类型的矿床。

巴坦加斯省的南部，即太桑 (Taysan) 斑岩铜矿床产出的位置，早就知道是一个有矿化的地方。早在十九世纪初期，就已有人在巴洛 (Banoy) 山的西边淘金了，在二次世界大战期间对巴洛山两侧的脉型及黑矿型 (Kuroko type) 两类铜矿床进行了开采。罗伯 (Lobo) 矿山就在罗伯山的西边，从更新世的一个脉状矿床中的重晶石脉石里开采硫磺铜矿及伴生的银。含银方铅矿产自迈尼特和巴坦加斯省西部洛克 (Looc) 的角砾岩管中开采的。金是从太桑浸染状铜矿化露头以西 1.5 公里的安第坡勒 (Antipolo) 矿山中生产的。1968 年在太桑山的中央山脊上进行井探时，人们首次认为这些矿化是斑岩铜矿。靠近岩基西南部的埃耳帕索 (El paso) (图 2) 浸染状矿床的储量已发展到二百万吨，但有关该区的地质论文尚未发表，可供利用的图件仅有一份 1 : 1,000,000 的地质图 (菲律宾矿业局, 1963)。

区域地质

菲律宾群岛由西南部的稳定带和其他地区的活动带组成 (图 1)。所谓的稳定带，是指从婆罗州伸出去的呈北东向的一个半岛，实际上是一个现代的克拉通区。活动带，则是较晚时期发展起来的地区，其中包括了这个国家已发现的所有斑岩铜矿床。太桑斑岩铜矿床，就产在吕宋岛南部托洛斯 (Tolos) 复合岩基的西北边缘上 (图 2)。

托洛斯岩基出露长 20 公里，宽 11—12 公里，呈近乎北西向延伸。岩体的东北部分是侵入在变沉积岩中，而以西和以南则侵入于变火山岩中。成矿后的长石质玄武土和灰岩沉积在岩基以南及以西，并可能覆盖在岩基之上。

覆盖在较老岩石上的，至少有 200 米厚的更新世——全新世的火山灰和火成碎屑物平覆层。95% 以上的矿化带和整个托洛斯岩基的三分之二被塔奥 (Taal) 凝灰岩所覆盖。托洛斯岩基和它的围岩在更新世以前被一条浅的海水通道与吕宋岛分开 (Gervasio, 1968)。

地 层

变质基底杂岩

该区最古老的岩石，是在岩基东侧（图2东边）的纳森山脊（Nasi Ridge）上见到的变质岩系，有陡倾斜的长石质片麻岩、绢云母片岩和大理岩。出露宽2公里，长15公里。但类似的岩石在50公里内没有发现。这些岩石的时代，在菲律宾的国家地质图上是划为前侏罗纪。

变火山岩（KPv）

基性变火山岩只在太桑的几个地点出露。有两种岩性，一种是橄榄玄武岩，其中部分为集块状和枕状；一种是微晶辉长岩。Gervasio (1966) 认为，许多菲律宾的海相玄武岩时代属白垩纪，太桑的变火山岩也如此。而枕状玄武岩是直接出露在岩基以西1.5公里的安第坡勒金矿山的南面（图2）。微晶辉长岩则直接毗邻托洛斯基基，局部地方受岩基强烈蚀变。微晶辉长岩似乎在橄榄玄武岩之内或以下。

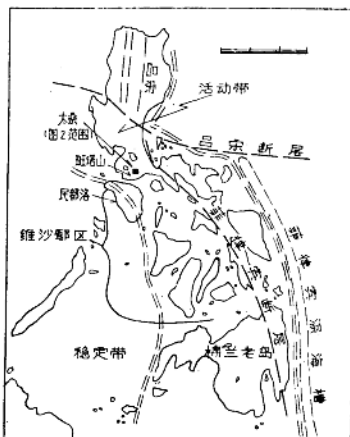


图1 太桑侵染状铜矿床位置及区域构造关系图

是根据 Gervasio (1966) 修改的。

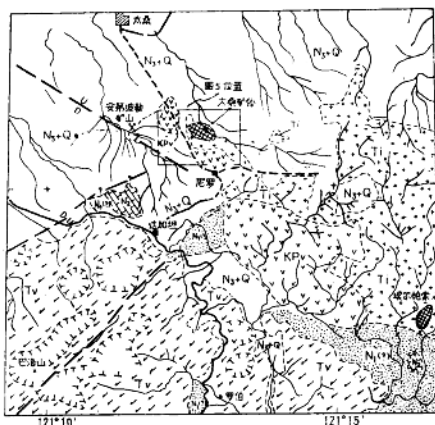


图2 菲律宾吕宋岛南部巴坦加斯省太桑侵染状铜矿床区域地质图

图 例

柱状图



0-200 米	橄榄玄武岩	白垩纪
200-1000 米	巨港火山岩	上中新世
1000-2000 米	流纹岩类	中中新世
2000-3000 米	正长岩类	中中新世
3000-4000 米	托洛斯基基	下中新世
4000-5000 米	变火山岩	白垩纪-古新世



火山中心



矿床



断层



矿山

0 1 2 3 4 公里

达加坦玄武土 ($N_1(?)$)

托洛斯基的南部和西部有达加坦 (Dagatan) 玄武土的零星露头, 属长石质火山玄武土组成的砂砾岩建造。呈白色—淡黄色到黑褐色和灰色, 粒度大小从细砂到砾石不等。在路经尼罗 (Sto. Nino) 的地方和从达加坦到洛伯的沿途都有出露。具磁性, 并含有植物和腹足类化石, 说明它们是属浅海或近滨海成因的。此外, 在达加坦的采石场, 巴洛火山岩的泥流中尚见有岩基、变火山岩和安山质、英安质火山岩的碎块。

达加坦玄武土的底部不整合地复于变火山岩之上, 其底部的时代属中——上中新世, 顶部明显地由上中新世的底格里 (Dingle) 灰岩所覆盖。洛伯附近类似的堆积物是时代更新的更新世到现代未固结的砂。在铜矿化附近, 据一些钻孔资料可知, 有 0—20 米厚的达加坦玄武土堆积。

巴洛火山岩 (T_v)

巴洛山是位于太桑西南受到中等剥蚀的很突出的中新世层火山。它的活动, 是以中新世的安山质火山开始, 在晚期阶段, 一系列安山集块岩沿着北边喷发, 可能蔓延到变火山岩和达加坦玄武土之上。这一现象对研究火成碎屑物质是很有用的。

底格里灰岩 (N_2)

位于岩基西南 2—3 公里的地方, 出露有上中新世底格里 (Dingle) 灰岩, 不整合复于硬砂岩之上, 厚约 100 米。这些灰岩是镶于巴洛岛南部边缘的珊瑚礁的一部分, 然后从吕宋分开。在达加坦, 现在已抬升到 285 米, 而巴洛山的东南边则已抬升到 500 米。

这个组广泛地出露在 Fortune 水泥厂以西, 并向西缓倾斜。

塔奥凝灰岩

掩盖吕宋南部的大部分是一些厚达 1 公里的火成碎屑物。虽然它来源于 200 多个火山口, 而人们却以这个地区主要的活火山——塔奥来称呼它。这个火山大部分是在水下, 也有一部分露出水面的英安质——玄武质凝灰岩。据信, 形成凝灰岩的这些火山作用发生在更新世时期。

矿带顶部的火成碎屑物质为 0—55 米厚。安第坡勒矿脉的南端与向下延伸达 200 米以上的火成碎屑岩直接接触。这个陡倾斜的接触认为是一条断层。在该处, 可见到凝灰岩内和凝灰岩的基底附近是一些多孔状的玄武岩碎屑和大量的直径为 1 厘米的火山砾。这就表明, 火成碎屑物质有一个比塔奥火山近得多的源区。因为这些火山碎屑不可能是由河水搬运来的, 而是在火山灰源区 (口) 2—4 公里范围内形成的。

在矿体南 2 公里出露有一些玄武质浮岩, 它包含有火山渣状、可能是熔结凝灰岩的碎块, 亦指明了它离火山源区 (口) 是比较近的。

侵入岩

托洛斯岩基 (Ti)

该侵入岩与其北部 350 公里的碧瑶地区和向东南 50 公里的马临杜克岛上的斑岩铜矿床共生的侵入岩是类似的。组成这个岩基的中心相是奥长花岗岩,而位于其东边的则为黑云母石英闪长岩。在岩体的西部和西南部并逐渐相变为角闪石英闪长岩和角闪闪长岩。像三组分图解(图 3 A、B)所表示的那样,这些岩石的分异程度是很差的。在图上可以见到,所有的侵入岩都落在钙—碱系列分异趋势弱的一端,而原始的一端则未见有落点。

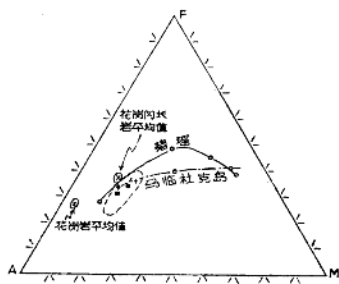


图3A AFM 图解 (碱, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = \text{A}$, 铁, $\text{FeO} = \text{F}$, 镁, $\text{MgO} = \text{M}$, 相加为 100%)

图中虚线是菲律宾与斑岩铜矿床有直接关系的侵入岩的范围,由小圆圈连成的线是碧瑶地区 Agno 侵入岩的分异情况,由小菱形连成的线是马临杜克岛上东南 50 公里侵入岩的分异情况。太桑的岩石表明没有分异趋势,所有的侵入岩对找寻斑岩铜矿床是有利的。

1. 角闪英安斑岩岩墙 2. 石英英安斑岩岩墙 3. 角闪闪长岩 4. 奥长花岗岩 5. 角闪石英闪长岩

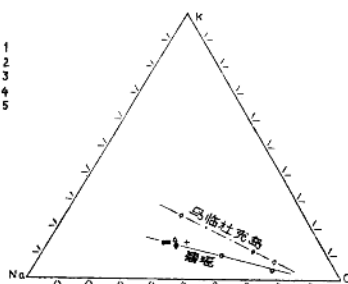


图3B 碱质图解 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} = 100\%$)

在太桑,所有的侵入岩都落在碧瑶碱质分异趋势的一端,这就再次表明,在岩基内,侵入岩是非常类似的,并且分异极差。

1. 角闪英安斑岩岩墙 2. 石英英安斑岩岩墙 3. 角闪闪长岩 4. 奥长花岗岩 5. 角闪石英闪长岩

斑状岩石

较晚期的多期侵入的浅成岩不整合地侵入在岩基的西部和西北边缘。从钻探岩心可以明显地看出有五种岩石类型。这些岩石包括有角闪英安斑岩、英安斑岩和石英英安斑岩。

石英英安斑岩是最晚的一期岩脉。用 K—Ar 法测得其全岩样的年龄是 $14.8 \pm 0.9 \text{ m.y.}$ 。这类岩石通常仅有轻微的蚀变。其时代比矿化作用稍晚,岩石呈细粒斑状结构,基质是灰色的隐晶质,斑晶为 1—2 mm 棱角状的石英粒。

蚀 变

在凝灰岩大面积覆盖的情况下，地表地质对研究蚀变很少有帮助。这就需要把钻孔资料和激发极化测量作为主要的资料来源。已识别出两个明显的热液蚀变中心使情况复杂化，据激发极化异常的判释，可能有两个其他的富黄铁矿产在 1.5×2.5 平方公里的带内。根据带状蚀变类型的标志，属原生分带是可以看得出来的。

青盘岩化带

从矿带南部绕 150° 到矿带的西北部，在此范围内能见到青盘岩化带蚀变的零星露头，在相同方向的钻孔岩心中也能见到青盘岩化。这个带的矿物在很大程度上是取决于围岩。在安第坡勒金矿山的南面出露的橄榄玄武岩中，钙的百分含量高的原因，是强烈发育的绿帘石含有许多方解石脉之故。在矿带南部的围岩——微晶辉长岩，绿帘石化是很发育的，而呈黄铁矿假象的褐铁矿则是很少的。

这两个蚀变中心是在相距大约 1 公里的近东——西向的一条线上，二者之间由岩基连接，在连接处发育有具后期绿帘石化的混杂岩。绿帘石也发育在一些晚阶段的岩墙中。它们有可能是热系统崩解所引起，也可能是自变质所致。

侵入岩的蚀变，表现在其内的角闪石和黑云母通常被绿泥石沿解理面（黑云母的解理面）所交代。形成了一些磁铁矿和方解石，较基性的斜长石蚀变为绿帘石。

似千枚岩化带

西部蚀变中心完全发育在暗色微晶辉长岩内，似千枚岩蚀变的特点，是角砾岩管及其附近均有强烈发育的黄铁矿。仅在 100 米长的钻孔中，黄铁矿的平均含量就有 15%，其中有 3 米长含黄铁矿达 25%。在钻孔中有强烈的绢云母化，但没有硅化。并见到了方铅矿、闪锌矿的细脉和 0.1—0.25% 的黄铜矿。在这些钻孔中见到四个细长“指状”的侵入角砾岩，由大量的次棱角状到磨圆的闪长岩碎块组成，这些碎块已硅化和黄铁矿化。

似千枚岩化中心的崩塌角砾岩管的小露头，似乎已强烈黄铁矿化和少许的硅化。凝灰岩沉积以前发生的风化作用又使该角砾岩遭受充分的氧化和淋滤。

可能由于存在两个相对的形如哑铃的似千枚岩化中心，致使似千枚岩化带得以充分发育。角砾岩管东部，激发极化异常减低表明，黄铁矿的含量显著地降低，而在矿带西部的钻孔中，又再次出现青盘岩化矿物。向东，磁铁矿含量增高到 8%，约相当黄铁矿含量的两倍。在这些地点的角闪石斑晶里具有强烈的绢云母化和发育较好的绿帘石化。随着磁铁矿异常较突然地下落（解释为一条断层向东上升）磁铁矿含量下降到 2—3%，大约等于黄铁矿的含量，而且硅化变得更加强烈，黄铜矿随之增加到 1% 或更高。

在布干维尔岛上的潘古纳，关于似千枚岩化蚀变的矿物向矿带方向的一个相似的变化，亦有报道（Fountain, 1972）。