

前言

斑岩铜矿床在全球有很广泛的分布,而且还有很大的经济价值,因此成为一个广泛深入研究的课题。《经济地质(Economic Geology)》1973年第5期对西南太平洋和澳大利亚的一些斑岩矿床作了专门讨论。我们在这里只是对它的某些特征作一比较,以便指出哪些特征有普遍的意义,它们与成因有些什么关系。

洛厄尔和吉伯特对斑岩铜矿典型特征所作的描述,经常被引用。而且杰弗洛埃和威格纳尔还把它用作评价斑岩矿床进行统计分析的依据。吉伯特和洛厄尔后来对该模型又进一步作了补充,使它包含各种地质因素引起的变异。虽然比其它模型能更普遍地适合多种情况,但未能合适地处理时间变化因素,所以实质上是一种静态模型,在许多重要方面它们与统计的平均情况有些差别,不能准确地描述任何一个实际矿床,也未能把复杂的模式归于多次地质事件叠加的总和和这样的事实考虑进去。萨瑟南—布朗(1976)对于加拿大科迪勒拉火山的、半深成的和深成的矿床所进行的形态学分类,以及他们对与侵位深度有关的蚀变—矿化模式的主要趋向所作的讨论,对斑岩铜矿床总的提供了一个完整的轮廓。但是在研究个别矿床的模式时,仍没有把时间因素考虑进去。

根据详细研究智利埃尔萨瓦多斑岩铜矿的空间—时间关系结果,古斯塔夫森和亨特(1975)对该矿床复杂的成矿演化特征作了描述,并给出斑岩铜矿演化模型的大致轮廓,还与其它矿床进行了简单的类比,但没有对模型作更详细的研究。本文试图指出,像埃尔萨瓦多那种侵入—矿化事件—蚀变的演化,颇具有普遍的代表性,这对于研究

西南太平洋、澳大利亚及其它地区的各种斑岩矿床,提供了一种有用的方法。

研究斑岩铜矿床,结合构造和侵入事件,描述矿化—蚀变作用随时间变化的文章逐渐增多。在科鲁拉、潘古纳、扬迪拉和蒙默拉这样一些复杂的矿床中,寻找空间—时间关系的野外证据是一项艰巨的任务。例如,在潘古拉,接连多次侵入时期实际伴生的蚀变—矿化顺序和变化模式,几年来虽是经过许多人在矿坑内详细填图,但仍未完成这种任务。在该矿床上即使作了精细的定量研究(例如,液包裹体研究)以后,所得结论必须以所采样品的时间关系得到的假设为依据。

为了了解斑岩铜矿床,最有意义的新贡献是卡思莱斯以及丹尼斯诺顿和他的助手们所作的精确的计算机模拟。他们模拟了热量和质量在与冷却深成岩有关的热液系统中的传递过程。定量地描述了时间变化因素,但是直到现在,还只是模拟了主要是在液体静压条件下晚期的热液活动。这种方法大有希望解释斑岩铜矿演化的很多方面,对于说明那些矿化—蚀变作用大部分远在同期岩浆侵入以后在温度和压力较低时完成的那些矿床,特别合适。不过,在岩浆压强($\geq$ 静岩压)和温度占优势的动态系统中,关于剧烈变化的渗透性和压强分布,没有作出多的假定,这种方法现在还不能模拟侵入活动早期铜大部分已沉淀时的那些有决定意义的事件(例如,在埃尔萨瓦多)。

斑岩铜矿床的一般特征

在斑岩铜矿方面,有经验的地质勘探人员,为说明和评价这类矿床即使各人所用的参考依据不同,但对矿床之间相似性定性描述的一些要素还是能够识别的。按许许多多

的各种不同组合,把这些要素合在一起,利用统计分析只能得出一个模糊的概念。目前我们最多只能对这些矿床共有的要素和控制其变化的一些因素给出一个定性的、部分为直观的定义。这些共同要素包括斑状岩石的特征、构造类型以及矿物组合的分带和顺序。

斑状岩石特征

斑状侵入岩石和浸染铜矿化之间确实的成因关系是早就知道了的。并且根据对个别一些矿床的严细研究,这种关系得到更详细的阐明。虽然想把含矿斑岩的结构特征加以分类,但并没有获得很大的成功,不过勘探人员对世界上斑岩铜矿区的一般结构是熟悉的。其结构由不等粒结构(次斑状结构)到明显的斑状结构(一般为细粒的等粒度相)。这些岩石的特征是侵入次数多,侵入体内结构变化大。尽管矿床的岩体由闪长岩到石英二长岩,成分范围很宽,但具有一套相似的结构,这说明结晶的物理环境相似。虽然许多不含矿的侵入杂岩具有相似的结构,而且矿化区内斑岩相的发育程度和分布变化极大,已证明正确识别出这套火成结构,对指导找矿非常有用。

构造类型

所有矿床的斑岩铜矿化都呈浸染状,大规模地在岩石中产出,适于大规模大量开采方法。在连续的眼肉可见的裂隙中所集聚的硫化物,其比例在各个矿床之间相差很大,而且通常在一个矿床内不同地点不同阶段所含硫化矿的比例也不同。在镜下通常可看到的浸染矿化实际上大都受裂隙控制。在各个矿床之间可以看出,无规律的矿化、侵入作用集聚的矿化和区域断裂控制的矿化的变化是很大的,而且在矿床演化过程的各个时期也不相同。角砾是典型特征,通常侵入到母岩,具有碎屑、火成岩的基质,或者矿化的基质,它们有和铜矿化密切伴生的,也有后来生成的。

矿化—蚀变组合

从母岩到矿化一定在不同程度上蚀变成各种矿物组合,这些组合虽然多种多样,但处处存在,足以进行分类。不同矿床中各种矿物组合的主要差别主要与母岩成分(例如

碳酸盐夕卡岩与富含石英的火成岩、沉积岩与铁镁质火成岩和沉积岩)的主要差别有关。原来岩石变成蚀变组合物,其蚀变程度从选择矿物局部和部分的交代到所有原来矿物完全蚀变都有。

斑岩铜矿分带的静态模型说明蚀变—矿化组合分带的主要趋势。然而当个别矿床模式与“典型”矿床相比较时,硫化物和硅酸盐组合体彼此的相对位置以及它们相对侵入体和构造要素的位置一定有变化。模式各部分的相对规模和发育程度(强度)变化很大,经常出现蚀变—矿化组合的重叠和交代。虽然有这样许多变化,但是有一种处处存在的顺序,这就是黑云母—碱性长石和高Cu/Fe比值硫化物所组成的组合,被没有黑云母和碱性长石的、低Cu/Fe比值的晚期黄铁矿组合所交代。

西南太平洋斑岩铜矿床的特征

岛弧的斑岩铜矿床和西半球大陆的斑岩铜矿床具有明显不同的特征。西南太平洋的矿床对此一般的概括作了新的补充。在与矿化有关的侵入火山杂岩中,石英闪长岩占优势,在太平洋岛弧的这种火山杂岩比西半球大陆的类型更偏基性。不过在这两种地质环境中以及在巴布亚新几内亚本区内,花岗闪长岩很多,而且有面积交叠。梅森和麦克唐纳发现由岛弧经过大陆边缘到大陆上,侵入成分有一宽的范围。在新不列颠和瓜达卡纳尔岛都见到钙碱性的深成岩活动。由辉长岩到石英闪长岩或更酸性岩石的演化。同不列颠哥伦比亚与某些火山岩斑岩铜矿床伴生的正长岩相似的矿化碱性侵入岩,在太平洋的这一侧还未见到。

虽然黑云母有一种倾向,会被叠加的绿泥石和(或)绢云母所交代。但黑云母作为一种早期蚀变产物仍普遍存在。可是在许多母岩为石英闪长岩的矿床中所含的钾长石,比在母岩为酸性的矿床中,比大多数科迪勒拉带的矿床中所含的要少。在早期的黑云母蚀变中,钠长石局部地替代了钾长石。太平洋的斑岩铜矿床含硬石膏很多,和科迪勒拉带的矿床相似。在塔帕达、潘古纳和阳德拉以及澳大利亚的蒙默拉和科尔斯通较老的

矿床,其硫酸盐带都受到了剥蚀。

西南太平洋矿床中所伴生的次要金属经过归纳也与普遍规律符合,即岛弧矿床有(相对地讲)含金高、含钼低的倾向。但也有例外,例如,赋存在新几内亚高地大陆上的奥克特迭,金的含量特高,钼含量则较低;而菲律宾群岛的内格罗斯,赋存在岛弧的锡帕雷矿,钼含量特高,但金含量较低。在这类矿床的成因理论中应把这种例外情况包括进去。

在西南太平洋与科迪勒拉带,单个矿床的特点有相似差异与二者之间有系统的差异,同样明显。蒂特雷指出,侵入历史的复杂性相同,蚀变类型和性质的变化范围相似。虽然有几个西南太平洋的矿床与典型的斑岩铜矿床的模式很相似,但其它的一些矿床却有很大差别。

比较典型的矿床有潘古纳、科尔斯通、太桑和奥克特迭。潘古纳是目前正在开拓最大的岛弧型矿床。关于侵入事件在时间上的演化和伴生的矿化—蚀变,它可能会不断地提供有启发性的资料。各个年代的和各种类型的矿化角砾对潘古纳采矿作业的经济方面有很大意义,这是许多西南太平洋矿床的特征。太桑矿最不寻常的一个特征是主矿带的Zn含量相当高。奥克特迭矿山不含矿的块状石英核是这种复杂而常见的矿床中一种特别的但还不清楚的特征。在此地区的斑岩铜矿中很特别的特征,在世界其它地区则是比较常见的特征,那就是在奥克特迭的灰岩中有显著的表生富集和围岩石灰岩层中的夕卡岩矿化。今天这个矿床最有意义的一些特点与成因没有联系,但涉及到工程规模大小,投产的资金供应以及投资成效所要取決的政治经济因素。

在马穆特、北苏拉威西、科卢拉和阳德拉见到与典型不同的变化。要理解这些变化的意义还需要做许多工作。

马穆特矿显得特别,斑岩主要侵位在蛇纹岩(围岩)里面,磁黄铁矿为主要的矿物组分。另一很不寻常的特征是在石英—二长斑岩有强烈的矿化,其中角闪石斑晶已蚀变成透闪石—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岩里面,

大大超出矿石的范围。较新鲜的岩浆成因的角闪石产在矿化不好的侵入体中心。

北苏拉威西的塔帕达地区的矿床,在许多方面很像西南太平洋产在闪长岩中常见的那种矿床,在闪长岩中钠长石交代了早期黑云母—碱长石组合中的钾长石。在托姆贝里拉多地区值得注意的是,有明显的垂向分带和普遍的深度泥质蚀变。在托姆贝里拉多叶腊石—水铝石—黄铁矿—斑铜矿是重要的高品位矿物共生体,而在埃尔萨尔瓦多和其它斑岩铜矿区,有含明矾石、叶腊石和水铝石丰富的矿物共生体出露,伴生矿物只有黄铁矿。

在科卢拉的复杂侵入岩系中有两种不同的矿化—蚀变系统。虽然品位极低,但在早期成带的脉系中心有一种很独特的含辉石的矿物共生组合。侵入和矿化的时间演化特点,在已发表的材料中有很好的介绍。

阳德拉矿几年来一直是勘探工作的难题。在黑云母化含铜高的带内,大致在斑铜矿矿化带和高品位矿聚集的一些地区的中心,有一明显不含矿而含石英细脉和磁铁矿多的核心。晚期热液作用在构造带内生成某些高品位的矿石,其特征是,与绢云母和钠长石产在一起的还有碳酸盐、沸石,局部还有赤铁矿。在伴生的黄铜矿—斑铜矿中没有黄铁矿,这与其它地区许多晚期细脉中黄铁矿占优势的情况,形成了鲜明的对比。明显地反映出在硫和铁含量很低的系统中演化为酸度低、硫活度小的溶液。附近强烈黄铁矿化构造带的时间关系不清楚。

斑岩铜矿成因的理论

有关记载矿床时间—空间关系的材料太少,而且所涉及具体机理的意见又不大一致,以致不能以综合的方式把成因关系给以归纳。然而有些想法还是正确的。这在于研究斑岩铜矿的人员显然对形成这类矿床的时间因素的重要性,以及我们在岩石中所见事实是多次事件重叠综合结果,还缺少概括性的认识。

在这些矿床中造成各种不同成因模式的地质因素,至少部分是独立发生作用的,而且在矿床形成过程中,每个因素均随时间演化。

这些因素包括：构造、深度、侵入的规模和时代；地下水作用；岩浆源挥发物的演变以及围岩成分。但在任何给定情况下，判别这些因素更好的直观方法都需要仔细观察和填图，还需要运用所掌握的各种定量手段。

构造

斑岩铜矿床呈开放系统形成。在这种系统中，沿岩石构造断裂带引进大量岩浆和热液（这并不意味着在早期矿化阶段矿化侵入体露出地表）。这样的断裂是受区域力和局部的岩浆力所造成的应力形成的。区域力能对控制火成侵入体的位置和形态有重要作用，交叉脉和交叉断层组就是证明。由零乱裂隙、角砾和放射一同心状脉可证明岩浆力的存在。在矿床内力之间的平衡随时间和位置的变化而改变。特别是在接连发生多次侵入时更是如此。在热液活动演化过程中侵入体中心和主要破裂渗水带的位移是控制所生成的矿化蚀变带呈环状（例如圣曼纽—卡拉马祖）还是呈不对称状（例如潘古纳、贾邦基里（北苏拉威西）和科卢拉）的主要因素。

侵入的深度、规模和时间

侵入的深度、规模和时间是在矿化所在位置控制模式和温度与压力改变的因素。此作用部分取决于构造因素，而主要是通过它对地下水作用发生影响。极端情况是规模大、时间间隔密的侵入（例如在埃尔萨尔瓦多）和规模小、时间间隔宽的侵入（有可能和普列斯尤米相似）。大而深的、时间间隔密的侵入比小而浅的、时间间隔宽的侵入，冷却的要慢。在前一种情况里，温度高的矿化中心一直保持到岩浆侵入停止，岩浆房出来的热液喷气停止，或是与向内向下渗透到冷却侵入体中心的地下水混合。由伴随侵入的岩浆温度和静岩压到后期热液矿脉阶段低的温度和低的静液压，有一个正常演化过程。埃尔萨尔瓦多的矿化—蚀变特征呈特别明显的单方向演化，是在主要侵入序列结束时由岩浆热液环境到雨水热液环境的突然转变结果，但在其它一些矿床中，分带模式和矿化蚀变顺序并不十分清楚也不稳定，说明由于后来斑岩的侵入，在地下水对早期矿化作用之后又重新产生岩浆条件，使演化趋势倒转。大的流体压力波动和不大的温度波动

一定是这类动态系统的特征。潘古纳是这种情况的一个例子，由野外所见到的证据以及液包裹体中温度与盐度的关系，表明它经过多次矿化。科卢拉和蒙梅拉的层序模式可能说明它们有类似的结果。

地下水侵袭

决定冷却速度和热梯度的主要因素是环绕侵入体中心对流的地下水的渗透。侵入体侵位深度和母岩的构造渗透性影响对流地下水的丰富程度，地下水只能在冷却到足以形成张开的脆性断裂，其中静液压占优势以后才可以渗透侵入体。有关雨水在矿液中重要性的许多争议恰好就在发生渗透的时间上。很难讲在大多数矿床中侵入事件的时间间隔有多长。在许多矿床中，甚至最早的矿脉也是在脆性断裂之后出现的，早期的与钾—硅酸盐有关的矿化显然离侵入体接触面很远，是在温度和压力较低条件下形成的。关于矿化初期岩浆超过雨水占优势的争论，主要依靠来自同位素的证据。可以想像雨水和岩浆水可以有各种不同程度的混合，但在低的地方，雨水和岩浆水的同位素成分有差别，还不足以鉴别雨水量少。

岩浆源的挥发演化

古斯塔夫森和亨特认为在埃尔萨尔瓦多是同一时期的斑岩侵入体岩浆直接导生大量矿液。这里要重复地讲一下，因为许多人把围绕侵入岩株对流的地下水循环的争论加以引伸，排除斑岩铜矿床中需要有硫和金属的岩浆源的看法。岩浆水到底是原生的还是在侵位前由扩散到未饱和岩浆中获得的，还不知道而且这不属于争论的范畴。

1. 早期矿化时的近岩浆温度和静岩压，从断裂样式（最早的脉是不连续的，缺少平行的脉壁，而且不对称），位于多次侵入接触带附近，矿物组合和液包裹体等现象可以看出。

2. 受静水压差推动的循环地下水，在这里不是最重要的早期矿化阶段的主要组分，因为除非在后期，不然它不可能进入矿体的高压中心。但对流的地下水在早期可以在系统边缘很好地发生作用，是过渡时期和晚期热液中的一种主要组分。

3. 有同位素证据可以证明早期热液来源

于岩浆,所含的硫与在其它矿床所发现的一致。

4.在与斑岩层序密切有关的某些地质体内及其附近,没有显著的钾-硅酸盐蚀变,也没有铜矿化,这就对侵入体有如热机对矿化对流地下水系统发生作用的说法给予了反驳。这对晚期造山带钙碱性侵入体中的斑岩铜矿的占优势也同样适用。

鲍德温、伊斯托伊,还有福特和格林都提出证据,有力地证明潘古纳大部分矿化均来源于岩浆热液。在不同地区,侵入和早期矿化在时间和分布方向变化很大,这意味着从下伏岩浆房来的圈闭液体和斑岩熔体在时间上有很大的差别。

和雨水汇入成比例的岩浆水,如通道与活动时间有变化,可以因时间和空间的改变导致这两种水分离或者混合。但是同位素成分已经改变了地下水,和同位素成分改变不多的岩浆液体,它们的同位素成分都不知道,这就妨碍对具体矿床作出定量评价。地下水系的化学作用,主要受与岩浆射气混合程度以及与矿化岩石反应的影响。正如迈耶和赫姆利所指出的,由于温度与硫、氧和氢离子的活度的平衡,硫的浓度或许是控制通常演化成硫活度高、氢离子有交代作用的晚期黄铁矿共生体的主要因素。虽然很难明确地确定晚期热液中硫的来源,大部分的硫或许根本就是从同一岩浆源导生的,和早期矿化中其余的硫一样。在所有各个矿化阶段,矿床特征受岩浆组分的影响很大,特别是在硫、金属、碱、卤素含量,氧逸度 f_{O_2} 和pH值方面。例如,阳德拉晚期矿化的酸度很低,硫活度也低,或许反映了矿化液的S和 H^+ 含量低。本文作者还提出,Cu、Mo和Au伴生,主要是受熔体的S、Cl、F和Na含量的影响,本身又受熔体侵位前挥发演化的影响。梅森注意到正在开采的几个斑岩铜矿中的铁镁矿物斑晶,其中Mg有向边缘富集的趋势。这种趋势可以解释为结晶熔体中氧逸度增大的表示。这可能对熔体一蒸发演化性质以及对最有远景但部分被覆盖的斑岩中心的标志(fingerprint)提供了有用的看法。

围岩组分

对于所生成的矿物组合以及对于矿液在

流经岩石所发生的化学变化,其主要控制因素是矿液与围岩之间的化学反应。在马蒙特,矿物共生组合很特别,可能是蛇纹岩母岩的反映。奥克特迭及其它地方的夕卡岩矿物共生体反映了碳酸盐围岩的反应。岛弧矿床在相对讲为铁镁质斑岩中的蚀变共生组合含钾长石少、钠长石多,明显地反应出围岩的K/Na比值比较小。这些岩石含钾少,可能进一步广泛影响泥质蚀变作用,这与北苏拉威西和马努斯岛的绢云母情况相反。

构造环境

太平洋岛屿许多时代很年青的矿床虽然有可能比其它成矿省能够更严密地解释斑岩铜矿的构造环境,但距离实现这种可能性还很远。区域的复杂性,有用资料缺乏,对某些基本问题,例如现在的贝尼奥夫带的划定,以及板块运动的方向和速度,都留下很不一致的看法。即使弄清楚了现在的构造位置,如果把这些特点向后推一二百万年,回到已知最年青的那些矿床生成的年代,也不一定可靠,由于消减带位置可能有大而迅速的移动。这种可能性,根据巴拉查格尼和艾萨克斯在中南安第斯山脉的研究结果,已得到很好的说明。

近几年来许多工作者曾经研究,利用火山岩的岩性变化来圈定老的消减带(例如,横切岛弧钾的富集)。把这种资料应用到老岩石,仍有不符合之处。在新几内亚这类岩性变化不明显,而且至少某些现代火山作用看来并不一定与活动的消减带有关。梅森和麦克唐纳研究了巴布亚新几内亚一所罗门群岛地区第三纪和第四纪的一些侵入杂岩中的主要和次要元素的含量。他们研究了位于岛弧、大陆边缘和大陆位置的含矿和不含矿的侵入体。虽然看出次要元素横切构造带有系统分布的趋势,但是在每个构造区内,见有各种不同的火成岩,含钾低的、含钾正常的,直到含钾高的都有(只有在大陆上没有含钾低的火成岩)。在这三种构造环境里都有斑岩铜矿与这几种火成岩伴生。对此作者认为有意义的是:在斑岩铜矿区如果有不同的岩套存在,矿是与晚期低钾的岩套伴生,并由此得出结论,总的讲,矿与侵入岩的岩

