

斑岩铜矿次生富集带的特征、形成条件以及在我国产出的可能性

Characteristics, Occurring Conditions of Supergene Processes on Porphyry Copper Deposits and Its Significance

秦克章

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

Qin Kezhang

(Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100029, China)

1 斑岩铜矿勘查与研究进展

斑岩型铜矿是当前重要的找铜矿类型之一。斑岩型铜矿是当前最重要的铜矿类型, 具有规模大, 采选条件好, 生产成本低 3 个特点。20 世纪 70 年代掀起了全国“斑岩铜矿”的找矿热潮, 从而发现了西藏玉龙、马拉松多、多霞松多, 内蒙乌努克吐山等一批大型-特大型斑岩铜矿床, 江西德兴铜厂、富家坞、朱砂红, 黑龙江多宝山进一步研究和重新勘探, 大幅度地增加了铜矿储量, 扩大了矿床远景。我国的斑岩型铜矿找矿虽有所进展, 如长江中下游某些夕卡岩铜矿床中伴有斑岩型铜矿化, 构成多位一体矿床, 或成矿系列。但总的说来, 规模大、条件好的可供建设的斑岩铜矿床不多。就是原已勘查的一些大型斑岩型铜矿也尚未计划上马, 究其根本的原因是我国的斑岩铜矿品位低。例如江西德兴铜厂铜平均品位 0.454%, 富家坞含铜平均品位 0.501%; 朱砂红铜平均品位 0.423%; 黑龙江多宝山铜矿铜平均品位为 0.47%; 内蒙乌奴克吐山铜矿铜平均品位 0.46%, 唯有西藏玉龙铜矿铜品位 (w_{Cu} 0.98%) 较高。此外, 不少的斑岩型铜矿床由于气候、地形等条件差, 尚难利用。

80 年代, 我国斑岩型铜矿找矿进展不大, 因为我国斑岩型铜矿品位较贫, 制约着找矿研究和开发。斑岩型富铜矿的找矿, 主要应研究斑岩型铜矿与其它类型铜矿床构成成矿系统的主导因素、区域成矿物质来源、多期岩浆成矿作用、多种富集成矿作用以及影响斑岩型铜矿氧化带次生富集带发育的因素等。

90 年代斑岩铜矿找矿勘查工作与 60 年代和 70 年代相比有增无减, 只不过主要是以北美以外地区, 特别是南美、东南亚、中亚和中国。从根本上说, 矿床发现问题与 90 年前没有多大区别。不过找矿方法更有效, 这既是由于我们的知识水平提高了, 也是因为我们可以应用更先进的方法手段。近十多年来, 环太平洋(中)新生代成矿域, 尤其是东南亚和安第斯山斑岩铜矿和陆相浅成低温热液金矿的勘查取得重大突破, 新发现了一批世界级矿床。如智利埃斯康迪达 (Escondida)、印度马兰杰坎德 (Malanjkhand)、菲律宾勒班陀 (Lepanto) “远东南” (FSE) 特大型-大型斑岩铜矿床和富金铜矿床。回顾 20 世纪斑岩铜矿研究进展, 勘查人员在了解区域地质构造的重要性、地壳环境和作用过程等方面较之先辈们取得了许多成绩。然而, 研究区域地质、构造格局与分区、硫化物系统风化产物与铁帽形成和蚀变矿物组合, 对勘查而言一如既往, 仍具有重要意义。

我国东部已知斑岩铜矿床由于不具备上述完整的内部和外部特定条件,故未形成厚大次生富集带。例如福建紫金山角砾岩筒型斑岩铜金矿,现地表高差达 900 m,潜水面由于氧化淋滤作用形成了厚几百米的富金氧化铁矿体,然而下部为原生铜矿体带,缺乏中间的次生硫化物富集带。我国西南藏东玉龙铜矿床有比较好的表生氧化淋滤和次生富集,次生富集带厚达 82 m。

应大力加强我国西部和西南部斑岩型铜矿形成后次生氧化带特征及次生富集带发育主要因素研究。

2 典型斑岩铜矿次生富集带的特点

2.1 智利北部丘基卡马塔斑岩铜矿床

系世界最大的铜矿床,位于智利北部的艾塔卡马沙漠中,海拔高度约 2 800 m。。从早期侵入体(约 36~33 Ma)到矿化(最后的主热液事件为 31 Ma)到成矿后的角砾岩化和水平断错,它都受西部断层系统的控制。丘基卡马塔和南矿 1997 年铜的总产量是 644 000 t。丘基卡马塔是世界最大的铜产地。

这是产有世界上最大的表生富集矿体,显然,要产生铜就必须在预采面上方有很厚的铁帽。正像人们根据富集辉铜矿的黄铁矿脉带的氧化作用所预料的一样,而且也与和水位变化有关的氧化作用和硫化物富集作用两个阶段的解释相吻合,这里的褐铁矿是赤铁矿质的。绝大部分的铜从铁帽、也可能从辉铜矿层中淋滤出来,发生侧向移动。了解得还不是很清楚的晚期阶段,在变成了表生辉铜矿富集层之下的地方,形成了深入到绢云母带,向上、向外呈喇叭状的蓝辉铜矿和相对粗粒的铜蓝带。局部保存下来的铁帽和氧化铜矿石(交代上部辉铜矿层)盖在高品位表生辉铜矿体之上;该表生辉铜矿体在断层角砾岩化和主阶段的弥漫型绢云母蚀变带中延深达 800 m 之深。一些淋滤铜侧向运移,在附近的砾石层中形成异地氧化铜和硅酸铜。

丘基卡马塔的独特性是由于它与区域活动断层作用的密切而复杂的关系和至少两期截然不同的矿化叠加作用造成的。大部分铜都产在充填断层和与断层有关的破碎带的脉和细脉中。实际上,主矿体中的所有裂隙都打开和矿化了多次,矿物组合的切割和叠加使构造和矿化演化顺序的建立严重复杂化。

2.2 智利埃斯康迪达斑岩铜矿床

位于智利北部的埃斯康迪达斑岩铜矿床是当今世界上最大的两个铜产地之一,年产纯铜 800 000 t 以上。于 1981 年发现,1989 年开始生产。1999 年,其矿石储量和资源量为 2600 万 t,平均含铜 w_{Cu} 1.15%。

在埃斯康迪达矿床中识别出了 3 次岩浆侵入事件。热液系统发育在 (33.7 ± 1.4) Ma 和 (31.0 ± 1.1) Ma 之间。用表生明矾石的 K-Ar 分析测定的表生矿层的形成年龄为 18~14.6 Ma,还估算了形成表生富集期间的侵蚀速度为 42 m/Ma,比较起来,从 14 Ma(富集结束)到现在的剥蚀速度只有 42 m/Ma。

埃斯康迪达斑岩系统的岩浆热液动力学演化表现在矿床的蚀变-矿化型式上,以细脉和弥漫型事件的叠加为特征。埃斯康迪达矿床中的金属矿物分为 3 个主要的矿石类型。这 3 个类型都包含内生硫化物、表生硫化物和铜的氧化物。埃斯康迪达的内生矿化占目前已经计算和发现的铜资源总量的 30%,主要存在于矿床的深部或其边缘;也有一些作为残余体产出在表生矿层中。

富集层中的表生矿石占埃斯康迪达现有铜总储量的 65%。这一层矿的厚度变化大,从几米到 400 m 不等。铜的品位(w_{Cu})一般为 0.3 到 2% 以上,但可以超过 3.5%。铜的最高品位出现在表生富集矿层厚度最大的地方,而表生富集矿层厚度最大的地方本身又与内生网状脉最发育的地方有关。因此,在强烈的石英-绢云母蚀变和前进粘土化蚀变叠加在早期钾蚀变的地方,最高的表生铜品位与最高的内生铜品位是重叠在一起的。

淋滤铁帽带的上部界线是现代地面,而其下部界线从地表以下几米氧化铜带的上方到地表以下 200 多米,富集矿层的上方。“氧化铜”这种矿化类型占埃斯康迪达铜矿总资源量的 5%(体积百分数)。厚度从几米到 200 m 不等。

2.3 蒙古额尔登特图音鄂博(Erdenetuin-Obo,超大型)斑岩铜矿床

位于北蒙古火山带的色楞格火山岩带内, 其中晚二叠世-早三叠世的侵入体与铜-(钼)矿化有关。Cu-Mo 矿化以连续而不均匀的网脉状矿化为特征。网脉状矿化体的位置处在主断裂带与中部断裂带的交汇处。整个网脉状矿化体呈北西向延伸, 长 4.5 km, 宽 0.5~1.5 km, 产在热液蚀变的花岗闪长斑岩及其周围的花岗闪长岩中。该矿床分为成矿前阶段和 5 个成矿阶段(相应地有 5 个世代的斑岩), 每个成矿阶段都有少量岩浆侵入, 接着便发生流体-热液成矿作用。从早到晚, 岩浆活动的规模和成矿作用的强度与数量都不断地降低, 其重要性逐渐降低。

Yasushi W 和 Hilly J (2000) 测得其辉钼矿的 Re-Os 年龄为 (240.6 ± 0.6) Ma, 比绢云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 $(207.4 \pm 5.0 \text{ Ma})$ 大得多。斑岩铜矿床是在晚二叠世时期形成的, 这个年龄正好是在蒙古-华北陆块与西伯利亚陆块之间在晚二叠世碰撞之前。

次生矿化具有明显的垂直分带特征, 从上到下为淋滤带和氧化带、次生硫化物富集带和原生矿石带。淋滤带和氧化带厚 10~90 m。其氧化铜矿石的 w_{Cu} 为 0.01%~0.4%, w_{Mo} 为 0.001%~0.68%。次生硫化物富集带厚 60~90 m, 中部最厚达 300m。次生硫化物富集带矿石的 w_{Cu} 为 0.3%~7.6%, 其 Cu 储量占总储量的 86%。伴生元素有 Au、Ag、Re、Se、Te、Zn、Pb、As、Bi 和 P。原生矿石的 w_{Cu} 为 0.3%~0.7%, w_{Mo} 为 0.008%~0.026%, 伴生组分有 Au、Ag, 原生矿化随深度的加大而逐渐减弱, 在 1200 m 和 1100 m 深度上的 w_{Cu} 不超过 0.2%~0.25%。

2.4 哈萨克斯坦科翁腊德斑岩铜矿床

科翁腊德斑岩铜矿位于哈萨克斯坦的巴尔喀什市以北 15 km 处。发现于 1928 年, 是前苏联境内发现的第一个大型斑岩铜矿。铜金属储量超过 790 万 t, 平均铜品位 0.9%。

矿床具有明显的次生垂直分带: 淋滤带、氧化带、混合矿石带、次生硫化物富集带及原生矿石带。淋滤带实际上是不含矿的, 其中铜的含量很少达到 0.2%~0.25%, 厚度变化 0~80 m, 岩石为浅灰色, 几乎为白色, 偶尔为淡褐色或淡绿灰色。氧化带厚度变化 0.5~60 m, 铜含量变化无常, 有时有个别透镜体和矿巢含很富的 ($w_{\text{Cu}}=1.5\% \sim 2.0\%$) 氧化矿石。氧化带的金属矿物有: 赤铁矿、褐铁矿、黄钾铁矾、孔雀石、蓝铜矿、水胆矾、黄铜矿、氯铜矿、硅孔雀石等。混合矿石带属于上、下两个带之间的过渡带, 厚度变化 0~50 m。

次生硫化物富集带中蕴藏着铜储量的一大部分, 厚度 15~270 m, 平均 130~140 m 左右。该带主要矿石矿物有辉铜矿, 此外还有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、铜蓝、闪锌矿、硫砷铜矿、毒砂、黝铜矿和辉钼矿等。科翁腊德矿床的次生硫化物富集作用之所以非常发育, 起决定性作用的是矿田的水文地质特点, 矿田中潜水面等高线、岩体地形等高线和次生富集带的辉铜矿矿石带界线是一致的; 辉铜矿矿石厚度较大的地段明显地产在潜水面凹下去的地方; 潜水面, 象辉铜矿矿带的顶板一样, 也是普遍向东南倾斜。原生矿石带和次生硫化物之间是逐渐过渡的。原生矿石带从离地表 150~300 m 的深度开始, 已追索到 600~650 m 的深度, 下界不明。主要的金属矿物是黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、硫砷铜矿和黝铜矿, 次要的是闪锌矿、方铅矿、斑铜矿和磁铁矿、极少见的是毒砂、白铁矿、磁黄铁矿、铁铜蓝、自然金和自然银。

科翁腊德矿床的形成过程可分为两期: 原生期和表生期。近地表发育氧化矿石带、淋滤带和次生富集带(厚 54~206 m), 再往下是原生矿石带。测温研究表明。成矿作用是在温度为 460~100℃ 这个范围内进行的, 细脉中和浸染体中矿物的形成温度彼此相近, 说明矿床中原生硫化物的形成作用只有一次。

2.5 伊朗萨尔切什梅铜矿

萨尔切什梅(Sar Cheshmeh)超大型斑岩铜矿床位于伊朗东南部第三纪卢特火山岩带, 矿床产在 EW 向与 NS 向构造复合带上。当地有些泉水为渗流水, 外观并非褐色, 但因含 Cu 而毒性很大, 因而周围无动植物存在。当地为沙漠气候, 地形复杂, 风化作用强烈, 由于雨水渗滤与地形坡度有关, 故山顶无氧化带, 山谷、河谷地区氧化淋滤就非常强烈。萨矿上部风化带是些铁氧化物, 呈红褐色, 完全没有孔雀石、铜蓝等绿色或蓝色的含铜矿物, 但仍留下一条线索, 就是网脉状的石英被保存, 成为凸起。勘探人员推测这一条条凸起很可能就是矿体的上部, 进行钻探于发现该矿。上部为淋滤带, 厚约 15 m, 有赤铁矿、褐铁矿、黄钾铁矾。中部为厚 100~200 m 的次生富集带, 有辉铜矿、铜蓝, 形成了 9000 万 t 平均含

Cu 2%的氧化矿石。其下为原生矿。矿体产于斑岩体的内外接触带中,呈长约 3 km 的椭圆形。次生富集矿石的品位受原生矿石品位、黄铜矿/黄铁矿比值和渗透性控制。渗透性的大小受裂隙型式、断裂带以及角砾岩化地段影响。次生富集矿石的品位大约是原生矿石品位的两倍。主要的次生铜矿物是浸染状的辉铜矿,还发现有蓝辉铜矿,铜蓝产在次生带底界附近。

3 斑岩铜矿次生表成作用的形成条件

由于次生富集作用,使斑岩铜矿石的经济价值大大提高。矿石氧化作用可能是在热水体系浅部当深成活动作用减弱时开始的。其内部条件:原生体系发展为酸性的能力和便于溶液向下或侧向流动的内渗透性。在典型的破裂裂隙密集区,富含黄铁矿的石英-绢云母化蚀变带中的岩石,则提供上述条件。其外部条件演化顺序:地壳上隆,造成潜水面下降:由上向下的氧化淋滤至潜水面附近的次生富集,氧化带和次生富集带形成一保护层的保护—地壳再次上隆,剥蚀暴露。缺一不可。次生富集辉铜矿层一旦形成,还必须有保护层,如美国西部的苏必利尔-格洛-迈阿密-雷地区就有上千米厚的中新世英安岩流覆盖,中新世后,地壳再次上隆,使次生富集层甚至原生矿暴露出来。

由前述国外某些斑岩型铜矿氧化带次生富集带发育的主要因素有气候条件:南美洲智利北部和南部年降雨量都在 250 mm 以下,气候干燥,有的甚至为沙漠—半沙漠性气候,因为降雨量少,不易造成铜在地表大量流失。适度的新构造运动—抬升,如秘鲁,智利等斑岩铜矿区,自晚第三纪至第四纪,区内经历了断块运动,形成了地垒式山脉及地堑式盆地,位于上升断块中的铜矿床即受剥蚀、氧化、淋滤及富集作用。如果氧化速度与上升剥蚀速度大体保持平衡时,潜水面不断下降,形成厚大的次生富集带。次生富集作用即能得到反复进行,哈萨克斯坦科翁腊德铜矿田潜水面等高线、岩体地形等高线和次生富集带的辉铜矿界线一致,辉铜矿矿石厚度较大的地段明显为潜水面凹下去的地方,潜水面像辉铜矿矿带顶板一样,也是普遍向东南倾斜。很有意义的是,智利、秘鲁的一些次生富集带发育的斑岩铜矿区海拔标高大约皆在 2500~3500 m 之间的高山地区。智利丘基卡马塔矿区标高 2830 m;特尼恩特矿区标高 2600~3000 m;萨尔瓦多矿区标高 2900 m;秘鲁塞罗维德矿区标高 2600~2800 m;托克帕拉矿区标高 3100~3600 m。此外某些局部的因素,如硫化矿石的矿物组合;矿体产状;矿区断裂裂隙发育程度,围岩性质等因素,都可引起氧化带发育程度。

4 我国西南、西北地区寻找斑岩铜矿次生富集带的可能性

我国西北地区氧化淋滤带很发育,受新构造运动影响强烈,在西天山已发现次生富集铜带,值得引起高度注意。我国西藏冈底斯和藏东-青海南部玉树—扎多—乌丽一带是寻找斑岩铜矿富矿最有利的地区。冈底斯—念青唐古拉造山带为燕山期-喜马拉雅期增生造山带。本区西部土耳其的托罗斯山已发现大型斑岩铜矿,伊朗的扎格罗斯山已发现萨尔切什梅超大型斑岩铜矿(铜 940 万吨),巴基斯坦发现了赛恩达克特大型斑岩铜金矿(铜金属 400 万 t,金 160 t)。雅鲁藏布江缝合线以北地区为待揭开的超大型铜矿潜在远景区。

玉龙斑岩铜矿研究资料表明:矿床是由喷流沉积铜矿化或夕卡岩铜矿化(层状富铜矿)及斑岩型铜矿(低品位铜矿化)组成成矿系列,其上部并发育氧化的次生富集带(中—高品位铜矿)。由于玉龙斑岩铜矿有相当规模的富铜矿石,因此,国家已开始筹建矿山,准备开采。该区位于喜马拉雅期构造运动影响强烈地区,山脉不断上升,海拔地形标高 4000~5000 m,气候干燥,有利于形成厚大的铜矿次生富集带。因此,从现有的地质环境、地质条件分析,该区无论二位、三位一体的成矿系统,从而构成原生的中富铜矿,或次生富集带形成富铜矿,都有前景。

文中引用参考了戴自希、张立生等同志编写的资料和外国专家来华讲学材料,谨此致谢。