密执基莱斑岩铜矿床

秘鲁北部卡哈马卡省密执基莱（Michiquillay）斑岩铜矿床（图1）恰好符合洛厄尔和吉伯特（1970）所描述的这类矿床的模式。

密执基莱斑岩形成的时代较年青，只有20.6百万年。时间上仅能容许它发生极少的剥蚀，但其蚀变和矿化的特征表明，密执基莱为一典型的斑岩铜矿床。

地 质 概 况

区域地质 密执基莱位于大陆分水岭以东白垩纪陆棚海相沉积岩区内。这种沉积岩厚度大、分布广且种类繁多。从图1所示的地质界线中可看出，在白垩纪沉积岩区西部、西北部和西南部，有中生代前的大陆壳出露。由此看来，白垩系岩层似乎是沉积在中生代前的结晶地壳上。被密执基莱岩株侵入的中生代和中生代前厚层岩石很像克拉通环境。据与秘鲁深海槽垂直的一个剖面推测，在矿化分布地区，贝尼奥夫带可能距地表150～200公里。密执基莱斑岩铜矿床的岩石特点和成矿作用与北美科迪勒拉造山带南部的许多斑岩铜矿床相似，推测其中许多斑岩铜矿具有大体相似的克拉通地壳环境。而且北美科迪勒拉造山带南部的斑岩铜矿也未被证明是在贝尼奥夫带不同距离处形成的。科迪勒拉造山带南部的许多斑岩铜矿床中，与铜-钼矿伴生的石英二长斑岩与密执基莱的岩石特点和成矿作用相似。

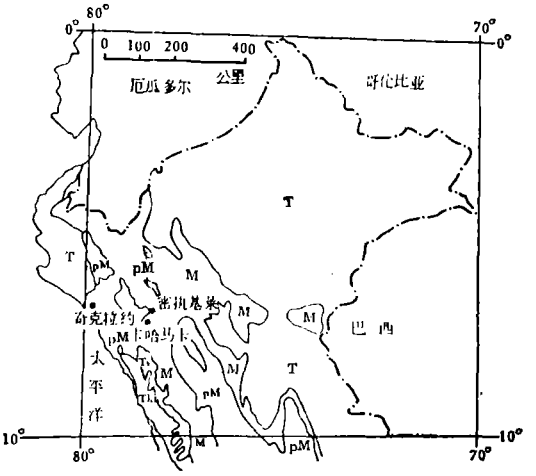

图 1

Tv—第三纪火山岩；T—第三纪（未划分）；
Tki—海岸岩基；M—中生代（未划分）；
pM—中生代前（未划分）

量扫面积，再在基岩中采取地球化学试样以便对所选小区进行研究。对这些方法的测量结果需用统计方法进行分析，找出与矿体有关的可以定量化的地球物理因素和地球化学因素。

所选出的研究小区还可再分为4平方英里的子区。在研究区的子区内以及在控制区按相等大小划分的子区内，要测量新的因素。利用测量所得结果再设计出回归模型和分类模型，以便对研究区的子区进行客观评价。选出最佳的子区进行详查，详查之后再钻探。

结 束 语

综上所述，概率评价法能够对很大面积内的全部矿产资源或某种特定矿物资源进行客观评价，可以圈出普查区和详查的靶区。

群力译自：《Economic Geology》1971,5,No.13,P.466～479

作者 J.德杰弗罗伊、T.K.威格纳尔

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由图2可见，密执基莱斑岩铜矿为一侵入白垩统（？）石英岩和中白垩统灰岩的石英二长斑岩岩株，位于瓦尔加约克断层和恩卡那塔断层的交错处附近。上述两种沉积岩内均无广泛的矽卡岩发育，尽管在某种程度上都有硫化物产出。由于未受热力变质作用，表明侵入体贯入时，相对地说温度不高，而且是“干”的。密执基莱岩株附近岩层的走向近东西，向南陡倾。该岩株的南部走向相同，但愈向南，倾斜则愈变平缓。其北东部，在被错断的一个背斜轴内，倾斜扭曲，野外观察证明，侵入体是产生隆起的因素，有如底辟褶皱（diapir）。普莱岩株位于背斜轴部，为一斑状花岗闪长岩。更新世的冰川岩屑覆盖了这两个岩株北部和东部的大部分边缘。侧碛和终碛掩盖了密执基莱岩株与普莱花岗闪长岩岩株之间的关系，据认为，前者时代要更年青些。图2是矿区附近的区域地质图。瓦尔加约克断层和恩卡那塔断层的交错处，不仅是密执基莱岩株所在地，而且也是矿床和形成核心的网状矿脉伴生的蚀变晕发育的位置。瓦尔加约克断层为一右旋横推断层，经历了一次尚未弄清但有意义的第三纪运动。瓦尔加约克断层似乎错断了瓦尔加约克与密执基莱之间的上新世（？）火山岩，沿该断层两处曾有浅成岩浆和强烈的热液活动。该断层与南美板块的前缘大致平行，其运动的方向与赫伦（1972）推想的纳斯卡（Nasca）板块向北运动的方向一致。纳斯卡板块向北移动时（20.6百万年）产生矿化。瓦尔加约克断层是纳斯卡板块和南美板块会聚处应力消除的结果所形成的一种构造。这一结论似乎是正确的。恩卡那塔断层为横推走向滑动断层，仅具局部意义。运动方向可能是左行的。该断层在密执基莱以外还未发现有意义的矿化。

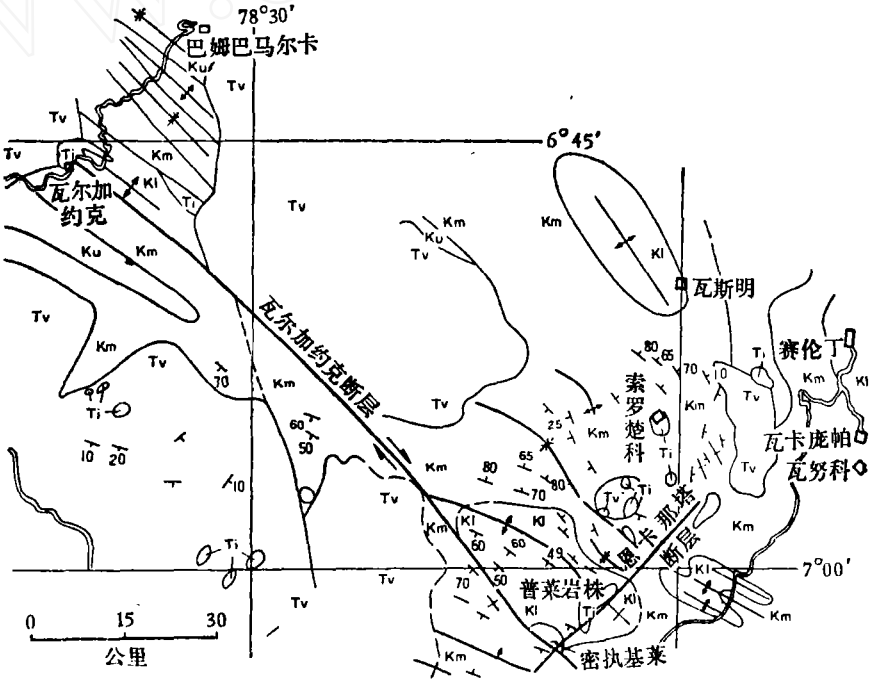

图 2

Ti—第三纪侵入体；Tv—第三纪火山岩；Ku—上白垩统；Km—中白垩统；Kl—下白垩统

矿床地质 图3表明了密执基莱斑岩详细的地表地质环境。石英二长斑岩的结构和组分似乎在南美一些有工业价值的斑岩铜矿床中是典型的，在细粒基质中有清晰的自形至半自形石英、角闪石、长石和黑云母晶体。整个侵入体内蚀变非常强烈，不同程度上破坏了原岩矿物成分；包括浅成蚀变的复合效应在内，仅残存石英斑晶，在野外填图时常作鉴定侵入岩露头的依据。

岩相 密执基莱出露的角闪黑云母石英二长斑岩经历了强烈的岩浆期后蚀变，各处

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

露头中都找不到未经蚀变的原岩标本。从岩心标本可鉴定出正长石与斜长石，两者之比约为1。

侵入体的岩石成因是一个值得注意的问题。如上所述，侵入于白垩纪沉积岩的密执基莱岩株与普莱岩株，贯入时是冷的和"干"的。未能确定与岩株同时代的喷出物的火山岩区。西北部的火山岩是时代更年青的安山岩。这些安山岩和密执基莱岩株同瓦尔加约克断层中间的一个岩浆源有关。普莱岩株和密执基莱岩株的岩石化学成分及岩相极为相似，这表明它们同具同源的钙-碱性。然而，由于这两个岩株都没有喷出岩伴生，除这两个岩株外，也没有其它侵入体以及可辨别出的最小侧向分异效应（即缺少来自分异源的热，或缺乏使被侵入的沉积岩广泛矽卡岩化的侵入岩浆所导出的液体）。至于侵入体是否由分异导生，依然存在着疑议。几乎全部铜矿化均产在切割密执基莱岩株或切割南部被岩体侵入的白垩纪沉积物的断裂带内，故该侵入体很可能是成矿前的，热液被及时地远移开理想的岩浆期后矿化作用带。岩株的侵入以及矿化和蚀变均集中于主要区域断层交错处，所有这些现象均表明它们有一共同的深层源。

蚀变 深成蚀变的分布示于图3。这些蚀变带与赫姆利和琼斯（1964）的标准斑岩蚀变图非常吻合。地表露头中缺失钾化带。从千枚岩化带、泥化带、青盘岩带的矿物组合来看是属于典型的矿化石英二长斑岩模式，故此处对矿物不做详细描述。千枚岩化带内，绢云母、石英和黄铁矿是其主要蚀变产物。肉眼观察外表像绢云母的矿物(叶蜡石等）尚未鉴定清楚，可能存在这种矿物而被绢云母所掩盖。高岭土为次要矿物。只从钻孔所打到的细脉内见有很少量的正长石和黑云母。因此，千枚岩化带内大部分围岩产生绢云母（可能包括那种似绢云母的矿物）、石英、高岭土和黄铁矿的块体，并被网状细脉切割。硅酸盐蚀变矿物按比尤特矿床的方式围绕单个的脉和细脉呈带状排列。许多细脉密集成群(各个细脉均有自己的蚀变晕)，为千枚岩化带的广泛发育提供了基础。所以，千枚岩化带内蚀变矿物的分布就被每个细脉周围的蚀变晕所控制，这里所说的千枚岩化带是指石英绢云母占优势的蚀变的总界限而言。千枚岩化带环绕着瓦尔加约克断层和恩卡那塔断层交错处的中心。倘若白垩系石英岩的岩石化学成分能生成石英-绢云母-

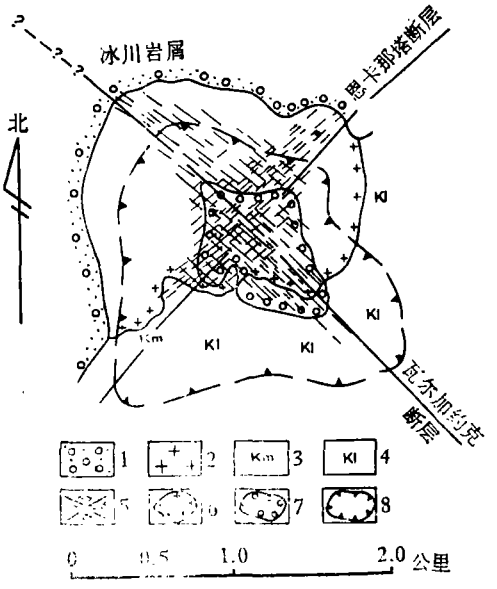

图 3

1—冰碛物；2—石英二长斑岩；
3—中白垩系；4—下白垩系；
5—网状细脉地区，线条表示细脉走向；
6—密执基莱岩株界线；
7—千枚岩化带界线；8—泥化带界线

黄铁矿层，还可向南延展。其中也会有最重要的铜钼矿。

主要由粘土矿物、绿泥石和黄铁矿组成的泥化带内含少量绢云母。其它水化硅酸盐可能也产于深成泥化带内，但被地表露头氧化黄铁矿的表生作用所掩盖。如同上述千枚岩化带一样，蚀变矿物亦有在每个细脉周围分带的趋势。细脉壁蚀变的成块作用(mass effect）产生泥化带。

在密执基莱岩株地表未见到象曾叙述过

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的其它较老的斑岩铜矿所见到的钾化带。石英-绢云母，或千枚岩化带被泥化带包围，据肉眼估计，两者平均含7％的黄铁矿。这个估计可能有出入，因为仅依据淋滤覆盖岩层和较少的几个钻孔资料，此种黄铁矿的60％为裂隙充填，40％似乎是围岩中铁镁矿物的交代产物，或是单纯由浸染作用所产生。不论千枚岩化带内硫化物的强度如何，黄铁矿带的范围大约只有4平方公里。

青盘岩带虽然存在，但地表露头太少，这里不能予以精确的描述。电气石极少，在千枚岩化带的南部以浸染状不规则发育，偶而以环状产出。据认为，为电气石所充填的裂隙极少，因此，密执基莱矿床与安第斯造山运动（即托奎帕拉、布雷登）的重要电气石角砾岩距离很远。未发现黄玉和萤石。

含硫化物的矿化火成岩和沉积岩的浅成蚀变产生广泛的表生泥化作用，此种作用掩盖了某些深成的蚀变产物。矿带中约含7％的黄铁矿在风化的过程中提供了足够的酸，破坏了易反应的硅酸盐。地表出露的覆盖岩层中已无正长石、蒙脱石、黑云母或其它易风化的硅酸盐残存。相反，由于绢云母耐风化，因而在千枚岩化带内成为肉眼可见的普遍的蚀变产物。图3表明由地表可见到的覆盖岩层推断的蚀变带。

成 矿 作 用

密执基莱地区有铜的（还有很少量钼和锌）硫化物产出，主要为发育良好的网状脉。据估计，围岩中少于10％的深成铜矿物呈浸染状。主要的硫化物铜矿物为黄铜矿，也有斑铜矿和辉铜矿。辉钼矿和闪锌矿很少。网状脉中有铜矿物发育的地方，大量细脉充填物质是石英和黄铁矿。因此在寻找金属矿时，网状细脉很重要。在网状脉矿化地区以外无矿，矿床以外的无石英-硫化物细脉的网状脉也不是矿。千枚岩化带内，网状脉几乎全部是石英-硫化物细脉。泥化带内，硫化物细脉开始出现，不伴有石英，而且在距千枚岩化带远的地方，石英硫化物细脉转变为纯硫化物细脉的现象更明显。在深成矿带内，仅含硫化物的细脉，大部分是黄铁矿，含铜不多。

有石英脉的地方，不论围绕细脉的蚀变带如何，都有绢云母伴生。钻孔内仅在千枚岩化带中的细脉才发现有正长石，而未发现黑云母或绿泥石的硫化物细脉。石英硫化物细脉主要含硫化物，未见到全部或大部为硅酸盐的细脉。

分带 密执基莱地区金属硫化物的分带发育不好。铜和钼趋向于赋存在千枚岩化带内，该带还发现一个含钼较富的地区，其特征是有大量石英伴生。但在铜带内，可能有零星的锌和钼的硫化物赋存。泥化带外，在被侵入的沉积岩中有少量无经济价值的闪锌矿富集，但就目前所知，数量不多。按典型的Pb—Zn—Cu—Mo模式，金属硫化物的横向分带与塞罗德帕斯科、摩罗科查和奎鲁维尔卡地区相比，是不明显的。因此可得到如下结论：离开矿化中心，压力-温度梯度迅速降至背景值。地表露头变质作用较弱证明了这一结论。

共生次序 肉眼所见的金属硫化物的共生次序为：辉钼矿，或与辉钼矿或与闪锌矿同时产出的铜的硫化物，闪锌矿，最后是少量方铅矿。黄铁矿似乎是早期沉淀的，在闪锌矿和方铅矿产出的地方，整个时期都有黄铁矿持续沉淀。对矿床构造的解释表明，被含辉钼矿的细脉充填的断裂再次张开，而被其它金属硫化物（在矿床其它部分，还含有闪锌矿）所充填。上述可见的共生次序将适合于矿化地区任何特定的场所。两个主要断层相同的特征和在含钼矿以及其它带内裂隙的同时张开，表明共生次序可能主要与空间压力-温度条件以及元素导入的时间次序有关。Mo—Cu—Zn的有些混乱的共生次序说

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

明矿化有某些倒转或远生现象。同时还表明，热扩散的中心距离两个大断层交错处很近。

浅成作用 密执基莱有一个淋滤盖层，覆盖了大部分矿体。在它缺失的地方，据认为是被山谷冰川作用所迁移。在千枚岩化蚀变地区，盖层下面有铜的浅成硫化物，主要是含铜蓝的辉铜矿，分布不规则。盖层含铜约0.04%，可见淋滤相当彻底。含铜0.04%的盖层下面，浅成铜矿物在大部分岩石中平均品位为0.5%。

覆盖岩层下面的浅成平伏矿层，其厚度和品位变化较大。黄铜矿似乎比黄铁矿更易被浅成含铜水溶蚀，所以，黄铜矿上被辉铜矿和铜蓝交代和包围的现象很显著。

构　造

矿化和蚀变围绕瓦尔加约克和恩卡那塔断层走向滑动的交错处成空间分布，矿化则由交错处网状脉裂隙充填物构成。细脉是构造裂隙充填而成的，而不是由于围岩的交代作用形成的。张开的条件主要被限制在细脉充填内，因为矿带内，基本上未发现角砾岩筒和岩墙。网状细脉走向绝大部分与恩卡那塔断层走向一致，其次是与瓦尔加约克断层走向一致。还有一些次要的走向，则与那两个断层共轭的裂隙的走向一致。

网状脉成因

网状脉清楚地表明，曾发生多次不大的走向滑动，沿两个大断层面，围岩反复张开。断层运动期间，产生矿化，热液循缝隙向上流动，当热液通过时，缝隙内留下了矿脉物质。细脉的平均宽度小于1厘米，几乎未发现细脉经受过两个以上矿化阶段的作用。据肉眼观察，大多数只经过一个阶段，只有一次单纯的裂隙充填。当细脉物质填塞和封闭了早期运动造成的老裂隙时，主要断层的走向滑动又产生了新的裂隙。

密执基莱附近，瓦尔加约克和恩卡那塔两个断层分裂成若干交迹（strands）。瓦尔加约克断层的一个或更多交迹上右行的横向运动错断恩卡那塔断层处，恩卡那塔断层面发生膨胀或张开，让热液进入。

同样，当恩卡那塔断层的左侧发生横向运动时，瓦尔加约克断层带被错断，瓦尔加约克断层的交迹张开，发生细脉充填。两个断层同时反复发生运动，断层带上反复形成裂隙，当发生同源运动时，在绝大部分时间内持续地发生矿化作用。

野外迹象表明，瓦尔加约克断层上的运动是在恩卡那塔断层运动之前，在其活动的过程中以及在它活动之后发生的。细脉密集带与恩卡那塔断层走向一致，说明这种解释是正确的。

图4用图解法表示了网状脉的发育。

结　论

密执基莱斑岩铜矿床非常符合围岩为石英二长斑岩的这类矿床的模式。而且，这种斑岩铜矿床产在一板块构造形成的区域断层上。

瓦尔加约克断层和恩卡那塔断层的交错处为石英二长岩岩浆从地表深处侵入或侵入到接近地表提供了通道。断层活动在侵入时期一直继续着，迅速释放出岩浆热液，这种岩浆热液在反复张开的通道内使围岩变质，留下了典型的“干”岩浆的较弱的矽卡岩化。热液紧跟着侵入活动，利用断层交错处作为核心，矿化和蚀变作用由此处向外侧迁移。石英二长岩中有痕量的铜的硫化物表明，在侵入和硫化物矿化之间存在各自的，但又可能是密切的关系，这种硫化物矿化大部分是细脉充填。蚀变在成因上似乎与细脉充填有关，逐渐变弱的蚀变矿物组从断层交

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

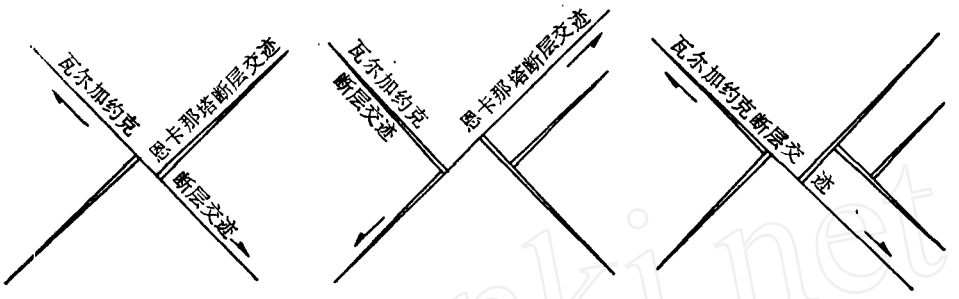

图 4

第一步：瓦尔加约克断层交迹上的运动使恩卡那塔断层上的一个交迹位移并张开。形成的裂隙被矿物充填，形成细脉。

第二步：恩卡那塔断层的一个交迹上的运动错断和张开了瓦尔加约克断层，形成的裂隙被矿物充填。

第三步：瓦尔加约克断层的一个交迹上反复的运动错断了恩卡那塔断层。形成的裂隙被矿物充填。

错处以同心圆状向外发育。矿床位于两个大走向滑动断层的交错处，恩卡那塔横断层切割瓦尔加约克横推断层，在岩体侵入和矿化及蚀变作用过程中，两个断层同时发生移动。所有这些现象均为一系列互相依赖的持续的活动中的一部分。交错处不仅是斑岩岩株的中心，而且是产生蚀变的裂隙发育地段和裂隙细脉充填所产生矿体的中心。

关于这类矿床的成因问题，矿石由冷岩浆分导衍生的观点并未从密执基莱矿床的地质背景中得到证实。矿床也不是富水岩浆角砾岩化作用的产物。另一方面，密执基莱矿床成因同对流循环假说矿床成因之间，似乎并无明显的矛盾。构造环境为构造控制岩体侵入和矿化产出提供了有力的证据。

译自：《Mineralium Deposita》1974，Vol.9，№.3，p.261～268

作者：V.F.霍利斯特等
黎 青译 贝 庚校

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net