

云南某矿区一个铜矿床的次生富集规律

姚文勋

一、前言

本区在大地构造单元上位于康滇地轴的东部边缘、为沉积—变质的似层状铜矿床；其含矿地层为元古界昆阳群中的浅变质岩系。

本矿段是矿区内勘探时间最早、勘探网度最密、勘探程度最深的地段。矿段之南毗邻一火成岩体，矿段之北以—地表河流为界，全长1200米。最高露头750米以下已勘探清楚。本矿段地层自下而上为紫色层—过渡层—白云岩等一套海进序列的岩石组合，矿体即赋存在过渡层的灰色、黄灰色薄至中厚层含泥粉砂质白云岩中。该矿段由于氧化作用剧烈，次生富集作用显著，形成了比较明显的次生富集带。因此，与同一矿田的其他矿段相比，无论在矿体形态和品位变化方面均较大，其中以6号矿体最突出。本文以该矿体为例，讨论矿段内铜矿的次生富集作用和次生富集带的地质特征及形成条件。

二、矿体简述

6号矿体是该段的主要矿体，位于F₁—F₂两断层之间，矿体赋存于过渡层的灰色带—黄色带的界线上，跨越该界线之两侧。矿体走向长95~473米，厚度1.69~27米，品位较富。矿物种类：硫化物以斑铜矿、黄铜矿、辉铜矿为主，铜蓝次之；氧化物以孔雀石为主，黑铜矿、硅孔雀石、赤铜矿次之。矿石构造：原生矿石以浸染状、细脉状、断线状、散点状为主，网脉状、结核状、烟灰状次之。孔雀石多成被膜状或凝胶状，黑铜矿成土状和块状。矿石结构：斑铜

矿多为细粒及砖状，黄铜矿多为粗粒镶嵌，粒中具粗大复片双晶，辉铜矿原生者为粗粒砖状，表生者为细粒——看不见颗粒，不见解理。同时，斑铜矿与黄铜矿常显共生及格状、乳浊状、雨滴状结构；辉铜矿、铜蓝多表现为斑铜矿和黄铜矿的氧化次生边缘。铜矿物的氧化演变过程为：黄铜矿—斑铜矿—辉铜矿—铜蓝—孔雀石—黑铜矿—褐铁矿。铜矿物与石英、白云石、方解石、黄铁矿等脉石矿物的关系密切。

由于氧化作用的结果，矿物具有表生分带现象，从上至下可划分为氧化带、次生富集带、原生带。各带特征如下：

（一）氧化带（相当于淋滤亚带） 铜矿物主要是孔雀石及氧化残余的少量黄铜矿、斑铜矿等硫化矿物。褐铁矿作为硫化矿床氧化带的特征矿物极为普遍。它是交替各种硫化物的最终产物，多产于硫化物之边缘，偶见成蜂窝状者；表明是由黄铜矿分解而成。其次，氧化淋滤现象也很显著，老硐和坑道壁上都常见到溶液向下作垂直渗透淋滤所残留的大量痕迹。褐铁矿、碳酸钙等也往往呈钟乳状、葡萄状等胶状构造出现。整个氧化带由于比较剧烈的淋滤作用，使铜矿相对贫化，但并未完全失去铜。根据孔雀石和褐铁矿大量存在的事实，推测应属氧化带发育的初期或中期阶段。

（二）次生富集带 是由富含硫酸铜的冷水溶液往下渗透与原生硫化物或围岩的交替作用而形成的。氧化次生交替现象明显。铜矿物以辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿为主，其中次生的辉铜矿、斑铜矿、铜蓝等占很大比例，是

6号矿体最有价值的部份。

(三) 原生带 铜矿物以斑铜矿、黄铜矿为主, 氧化铜仅占5.23%, 说明氧化作用除因偶然因素(如沿裂隙)而有所表现外, 一般都很微弱。

综上所述: 上部氧化带部份因氧化淋滤

作用使铜矿贫化, 中部次生富集带内因次生硫化物的迭加而显得富厚, 原生带内矿化虽然仍属稳定连续, 但比较贫薄。因此, 矿体在空间上呈中部富厚、上下贫薄的透镜体状, 符合于次生富集作用的一般规律(图1、图2及表1)。

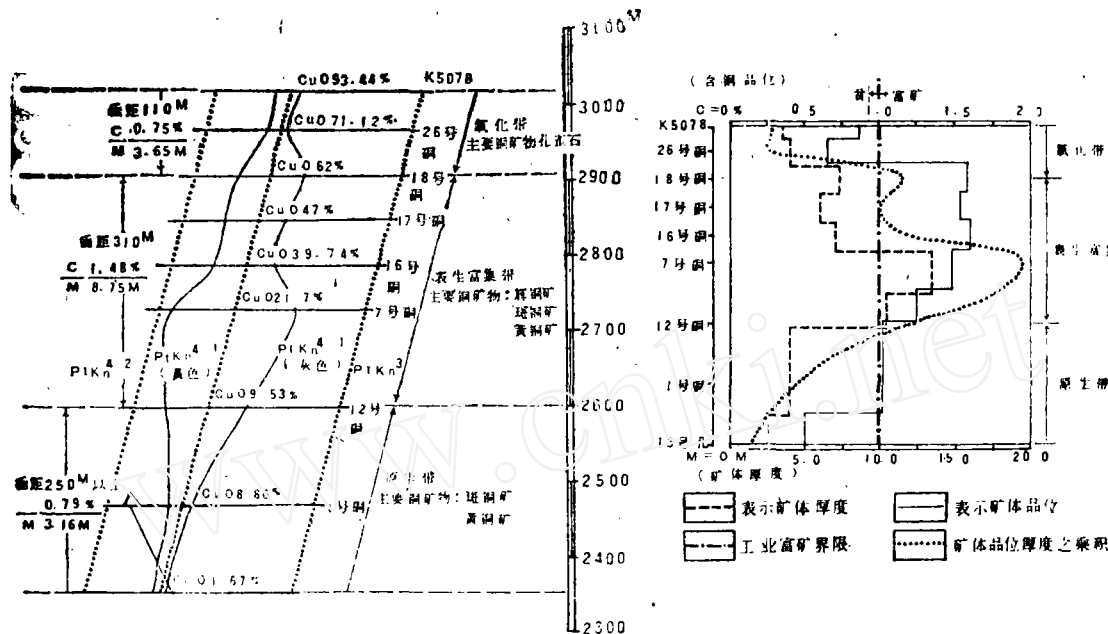


图1 6号矿体表生分带综合剖面图

PtK_n⁴⁻²—薄—中厚层紫色砂质白云岩夹板岩; PtK_n⁴⁻¹—厚层白云岩; PtK_n⁴⁻¹—薄—中厚层黄色、灰色含泥粉砂质白云岩; [Cu 0.1-6.7%]—氧化铜百分比

图2 6号矿体各带品位、厚度变化曲线图

6号矿体各工程揭露情况综合统计表

表1

矿体中段标高 (米)	距地表深度 (米)	走向长度 (米)	平均厚度 (米)	平均品位 (%)	厚度×品位 (M.C)
地表	—	103	3.23	0.85	2.75
2972	50	96	4.07	0.66	2.69
2912	110	307	7.23	1.58	11.42
2852	170	346	5.97	1.53	9.13
2792	230	473	6.83	1.59	10.86
2732	290	266.5	13.50	1.47	19.85
2602	420	260	10.26	1.25	12.83
2472	550	120	3.82	1.09	4.16
2352	670		2.50	0.5	1.25

注: 平均品位系按样品个数采用算术平均法求得, 不剔出大试料。

从上述图表中可以得出下列结论:

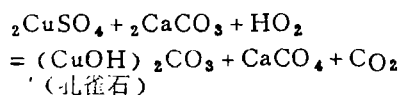
1. 次生富集带矿体的厚度大于氧化带和原生带矿体厚度近两倍;

2. 次生富集带矿体的品位高于氧化带和原生带矿体品位近一倍。

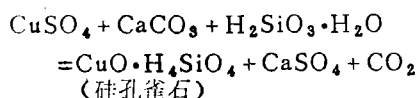
充分说明了铜的次生富集作用可以构成品位高、厚度大、储量可观的铜矿体。就本矿段全长1200米范围而言, 6号矿体仅占300米的长度, 但所占储量却为该矿段的65%左右, 而6号矿体次生富集带中的储量又占该矿体的96%, 可见价值之大。也是今后在本矿区寻找富矿时应予注意的问题之一。

三、铜矿次生富集带的化学作用

众所周知, 硫化矿床暴露地表, 在富含氧和二氧化碳的地下水强烈作用下, 原生硫化矿物被氧化和分解。一部份在氧化带中形成不溶或难溶矿物。残留原地并富集成铁帽。另一部份则形成可溶的盐类被地下水带出氧化带, 渗流到围岩或深部, 并在另一种条件下与深部原生硫化物或围岩进行交代而形成次生硫化矿物堆积。这就是次生硫化富集带的由来。各种铜的硫化物(黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿等), 在氧化时都要经过硫酸盐阶段。硫酸盐遇到碳酸盐类矿物如方解石, 就形成孔雀石。因此孔雀石是氧化带最典型最广泛的矿物。其反应式如下:

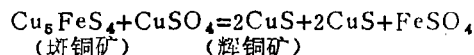
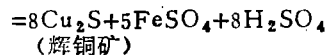
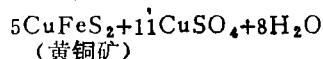


CuSO_4 如与碱质水中的 SiO_2 相遇, 则生成硅孔雀石, 其反应为:



硫酸铜溶液下降至潜水面以下, 进入还原性环境, 在原生硫化物的地方以交替的方式进行得很彻底, 亦即所有的黄铜矿颗粒都可以成为被交替了的斑铜矿。如果进入硫酸铜溶液, 那么斑铜矿又能为辉铜矿所交替, 正

如黄铜矿为斑铜矿所交替一样。次生富集带中次生的斑铜矿、辉铜矿正是在这样的条件下形成的, 其化学反应式如下:



辉铜矿的普遍出现, 是因为在硫酸铜作用下, 黄铜矿、斑铜矿最后都变成辉铜矿。辉铜矿是次生硫化物富集带最稳定的矿物(同斑铜矿比较)。而斑铜矿则是上列化学反应中的中间产物, 它是最早的次生矿物。与铜的其他次生硫化物相比, 斑铜矿为较不稳定的矿物, 常为含铜较多的辉铜矿所替换。简言之, 这些次生富集带中铜的次生硫化物, 是由富含硫酸盐的冷水溶液, 从上往下渗透, 与原生硫化物的交替作用而形成的。

四、构成铜矿次生富集带的地质依据

(一) 矿物比重

次生富集带中三种主要铜矿物的比重分别为: 黄铜矿29%, 斑铜矿40%, 辉铜矿31%。其中黄铜矿是原生的; 斑铜矿有原生和次生两种, 而以原生者占的比例为大; 辉铜矿绝大部分是次生的, 偶尔也有原生的, 至于铜蓝, 则全为次生。其次生硫化铜矿物在富集带中的累计含量约为45%左右。可以设想, 这部份次生硫化物迭加在原生硫化物之中, 组成原生和次生硫化矿物的共生组合体, 从而构成了具有可观价值的次生富集带。这与A. Γ. 别杰赫琴所提出的“次生富集带的铜矿石是各种不同的原生和次生矿石的共生组合体”的概念是一致的。

(二) 矿物的氧化次生结构

1. 次生边缘结构 这是区内大量出现的一种氧化次生结构, 通常表现为:

(1) 次生辉铜矿交代黄铜矿或次生斑铜矿交代黄铜矿; (2) 次生辉铜矿交代斑铜

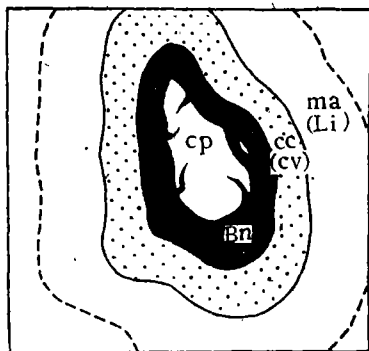


图 3

Cp—黄铜矿; Bn—斑铜矿; CC—辉铜矿;
Cv—铜蓝; ma—孔雀石; Li—褐铁矿

矿;(3)铜蓝交代黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿;(4)孔雀石交代黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿和铜蓝。其中以(1)、(2)两种最为常见,多沿边缘及隙理交代,形成次生边缘结构。有时也常组成黄铜矿—斑铜矿—辉铜矿、铜蓝—孔雀石、褐铁矿等完整的环带状,如图3。这种矿物共生序列,表明是在供氧不充分,氧化电位偏低条件下形成的,而地下水的渗透带下部和流动带内正是属于这样的环境。

2. 次生交替残余结构 (1) 次生斑铜矿交替黄铜矿,形成黄铜矿之残余结构(图4); (2) 次生辉铜矿交替黄铜矿或斑铜矿,形成斑铜矿或黄铜矿之残余体; (3) 孔雀石、褐铁矿交替黄铜矿、斑铜矿,形成黄铜矿、斑铜矿之残余。

3. 烟灰状的辉铜矿次生交代黄铜矿、斑铜矿 在原生黄铜矿与原生斑铜矿的共生关系中,常见有下列几种情况:①黄铜矿与斑铜矿颗粒共生;②黄铜矿与斑铜矿共生,黄铜矿成小叶片状分布于斑铜矿中形成格状,斑铜矿又被辉铜矿、铜蓝次生交代而残留黄铜矿之格架;③黄铜矿与斑铜矿共生成格状,黄铜矿呈乳浊状分布于斑铜矿中;④黄铜矿与斑铜矿共生及格状共生,黄铜矿成雨滴小点分布于斑铜矿中;⑤黄铜矿与斑铜矿共生或成斑铜矿的分泌微粒被斑铜矿包裹。

上述五种情况中,原生的斑铜矿多被辉

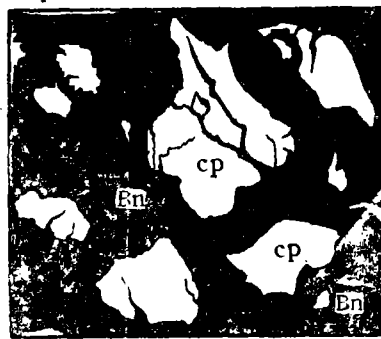


图 4

Cp—黄铜矿; Bn—斑铜矿

铜矿、铜蓝次生交代,形成氧化次生边缘结构或残余结构。

所有这些氧化次生结构,以边缘结构和残余结构为主,几乎所有的辉铜矿、铜蓝都以这两种结构形式出现。确定其原生和次生辉铜矿的主要标志,除辉铜矿的内部结构外,在很大程度上取决于有无氧化次生边缘或氧化交代残余体存在。这种氧化次生边缘结构,通常有一过渡带,成锯齿状边界,不是截然分开,而与黄铜矿、斑铜矿的共生结构有别。

(三) 矿物的排列图案和矿体的空间形态

前已述及,矿物具有表生作用特有的垂直分带现象。地表到2912米标高为氧化带(相当于淋滤亚带);2912~2602米标高为次生富集带(如果详细划分时还应在2912~2792米之间划分出一个氧化富集带);2602米标高以下为原生带。氧化带内铜矿物以孔雀石为主;次生富集带铜矿物以辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿为主;原生带铜矿物以斑铜矿、黄铜矿为主。矿物在空间上作如此的带状排列图案不是偶然的,它标志着该区经历过氧化和次生硫化富集阶段。显然,这种分带是按客观地质条件划分的,不完全同于按工业技术指标所圈定的硫化、混合、氧化三带矿石界线。同时,由于地形、断裂及围岩孔隙度等因素的差异,各带的关系在宏观上虽有一定界线,但在微观上并无截然的境界

面,而是多成逐渐过渡的参差起伏状。另一方面,作为沉积铜矿床,一般矿源层中铜的品位贫而分散,成层性强。且厚度比较稳定。而目前中部富厚、上下两端贫薄的矿体形态,无疑是在同生沉积的基础上经表生作用改造的结果。以致显现矿体厚度膨胀显著和品位贫富悬殊的现象(图5)。

因此,无论从次生硫化物的矿物比量,矿物的氧化次生结构,矿物的排列图案以及矿体的空间形态来看,则该段铜矿“次生富集”的结论似乎是可成立的。

五、次生富集带形成条件的分析

(一) 古气候和地形构造因素

“在白垩纪结束期和早期第三纪,燕山褶皱山脉因受到激烈的割切和侵蚀变得低下平缓。山间盆地即开始在中国各个地区发育,特别是在中国南部”^{*}。在云南高原上也广泛发育着这样的山间盆地,并在炎热干燥的气候条件下,在盆地中沉积了老第三纪的红色砂岩地层,这些地层由于强烈的渐新—中新世运动的影响,普遍受到了断裂和挠

曲。之后,高原气候由炎热干燥转为炎热潮湿,使这些盆地又在新的气候条件下充填了新第三纪(可能为上新世)的褐煤沉积。而褐煤层又大多有折断和缓和的挠曲现象,说明在褐煤沉积之后的更新世时期还有一次表现不是十分强烈的构造运动(相当于喜马拉雅运动第二幕)。

史奈德洪认为:“最适宜生成极明显的次生富集带的气候条件应是有周期性和均衡性降雨季节的热—温带的正常干燥区”。而地形构造因素则是在侵蚀速度慢于氧化速度的情况下才有利。因为这时矿床被侵蚀而逐渐切割下来的物质才能在富集带中逐渐集中起来。古地文资料分析表明:在新生代的第三纪时期,康滇地轴及邻近的昆明

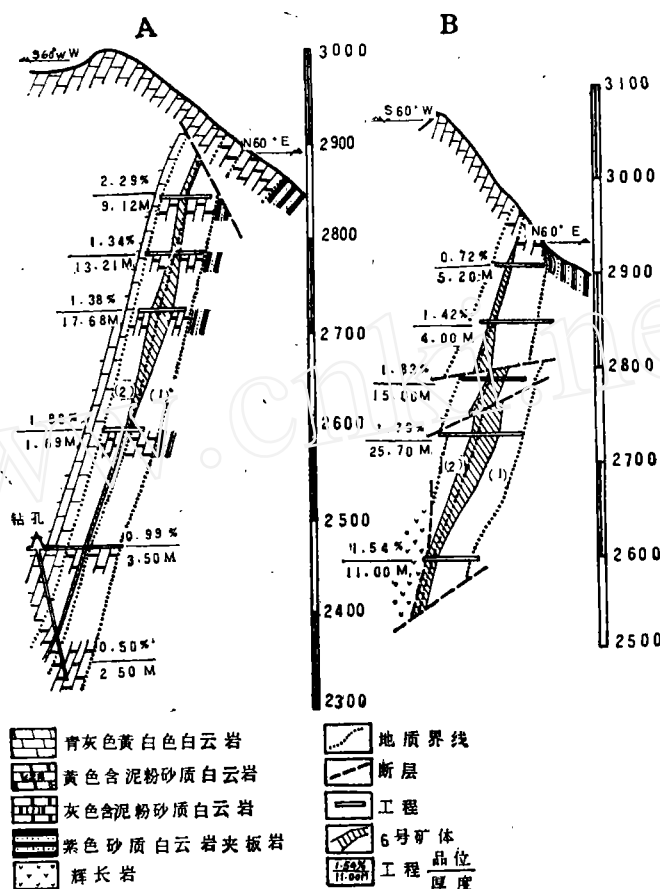


图5 6号矿体横剖面图

凹陷地区内,根据红层及褐煤沉积证明,曾有两期(炎热干燥—炎热潮湿)适于生成硫化矿床次生富集带的气候。本矿区地处康滇地轴的东部边缘,它必然在这样的气候条件下停留过一个相当稳定的阶段,以致使次生富集带的形成有了可能。此后,侵蚀很盛,矿体露头长期遭到剥蚀。由于侵蚀基准面的不断下降,潜水面也较快地相应下降,原已形成的富集带逐渐进入氧化圈,使硫化富

* 黄汲清,《中国主要地质构造单位》,地质出版社,1955

集带上部又受到氧化作用,形成含铜更高的氧化富集带(如2792~2912米中段标高)。但这个带发育不好,本文不赘述。

(二) 原生矿石的矿物组份

矿段中原生矿石为大量的黄铜矿、斑铜矿及少量的黄铁矿。黄铁矿含量虽少,但它在氧化条件下能产生硫酸,使硫化物的溶解度增大,促进其他矿物的氧化,加速富集进程。黄铜矿在水和空气的氧化条件下,可同样形成具有氧化能力的硫酸铜溶液,从而很快地溶于渗透水中被带到潜水面以下。至于斑铜矿,它本身没有足够数量的硫使铜在水和空气的条件下全部转入溶液,但当其与黄铜矿共生的情况下,则造成硫和铜两者比例均大的有利因素,为产生大量硫酸铜溶液提供了充分的物质来源。因此,黄铜矿与斑铜矿共生组合的原生矿石加上黄铁矿的伴生,有利于次生富集带的形成。

(三) 含矿围岩的裂隙

一般地讲,围岩性质活泼的碳酸盐类岩石,不易形成次生富集带,因为硫酸铜甚易溶解,并随天水向下渗透,遇碳酸钙则生成孔雀石。但本矿段的含矿围岩为泥砂质白云岩,同纯净的白云岩有着一定的差异,不致使硫酸铜溶液在氧化带内就被全部夺取,其剩余部份尚继续向深处运动。所以,围岩性质的活泼与否,虽然在一定程度上影响着次生富集带发育的程度,例如一部份黄铜矿和斑铜矿尚未被表生的辉铜矿全部取代,就是不彻底的一种表现。但它不是绝对的因素。

(四) 矿体和围岩的透水程度

由于矿体和上下盘围岩为泥砂质白云岩和含藻白云岩、板岩等,本身孔隙度有限,其渗透系数值仅为0.03~0.23米/昼夜,故地下水主要沿着裂隙渗透循环。各岩层的裂隙率在不同中段的测定结果见表2。

由此可见,含矿围岩的裂隙率远比上下盘围岩的裂隙率为大,而且上部中段较下部中段发育,裂隙率有随着深度增加而减少的趋势,同风化裂隙的一般规律相符合。由于含矿围岩具有上述特点,有利于地下水流通,同时也利于铜的氧化溶解、转移和沉淀,并在当时的潜水面附近形成次生富矿。

(五) 矿体产状

矿体产状比较陡直,倾角在70°以上。硫酸铜溶液能沿着深部原生硫化矿石的方向自由转移,使其向周围的耗损减至最小限度。

(六) 地下水的侧循环作用

考虑到形成次生富集带时期,潜水面与最近流出点间(即排水方向)的比差较现在为小,水在流动带内的侧循环作用微弱,否则溶液在尚未与硫化物完全起反应以前,大部份便可能向四周分散,从而把一些铜金属带出矿床范围以外。

六、对几个有问题的解释

(一) 对斑铜矿大量存在于次生富集带中的解释

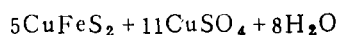
按照一般的概念,大都认为次生富集带中应以辉铜矿为主,因为黄铜矿和斑铜矿与

表2

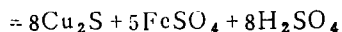
中段标高 (米)	上盘围岩 (厚层含藻白云岩)	含矿围岩 (薄—中厚层含泥粉砂质白云岩)	下盘围岩 (薄—中厚层粉砂质白云岩夹板岩)
	裂隙率(%)	裂隙率(%)	裂隙率(%)
2852	—	3.34	—
2792	2.375	5.60	2.05
2732	2.21	6.57	1.23
2602	—	3.16	—
2472	2.13	2.69	2.27

硫酸铜作用的结果,最后都生成辉铜矿,辉铜矿是这些矿物中最稳定的矿物,从矿物比量上统计,应该辉铜矿多于斑铜矿。而本矿段则恰恰相反。不少的著作中都持上述观点,但也有的矿床学和矿物学教程则认为应该有大量的斑铜矿出现,而且强调指出:

“几乎所有的硫化铜矿床中的次生富集带都有大量的斑铜矿产出”。其实这两种观点并不矛盾,因为硫酸铜溶液与黄铜矿作用生成斑铜矿,斑铜矿再与硫酸铜作用生成辉铜矿,它的氧化过程:黄铜矿—斑铜矿—辉铜矿,反应如下式。



(黄铜矿)



(辉铜矿)

斑铜矿即是在此种化学反应之中间生成物的代表矿物。事实上不少的斑铜矿外围再没有被辉铜矿交代的现象。这是由于泥砂质白云岩在性质上仍具有一定的活泼性,尚在氧化带时就已有部份硫酸铜溶液不可避免地被其夺取;而使其下部的斑铜矿再没有足够数量的硫酸铜溶液作用生成辉铜矿,所以辉铜矿的比量低于斑铜矿似乎是很必然的现象。

(二) 关于潜水面的问题

本区古潜水面推测应在2732米标高以上,但由于矿床在长期风化过程中侵蚀面的逐渐下降,潜水面也相应下降。尤其是次生富集带形成后,侵蚀作用加剧,出现下切很深的沟谷(如矿段之北的大水沟),造成潜水面与最近流出点间很大的比差,致使古潜水面急剧下降,原已形成的次生富集带也就随之暴露于目前的潜水面之上。而现在的潜水面位置,随着地形由南向北的起伏关系,南段在2602米标高,北段在2472米标高。因此不能认为潜水面是固定不变的。

(三) 沉积铜矿床硫化物分带与表生分带的关系

本区铜矿床从紫色层—过渡层—白云岩是一套海进序列的岩石组合,矿物具有沉积分带的分带特点。就本矿段而言,虽然硫化物沉积分带的证据多被表生作用所模糊,但沉积分带的事实不可否认,特别在垂直方向上自底部至顶部普遍具有辉铜矿、斑铜矿—斑铜矿、黄铜矿的分带趋势。在水平方向上,虽然分带不够明显,但越往深部(钻孔)黄铁矿逐渐增加,说明离岸较远的深水地段,由于硫化氢的增加而形成了富含硫铁的矿物。很明显,铜矿物的表生分带是在同生沉积分带的基础上经后期氧化作用形成的。因此,表生分带并不排斥沉积分带观点。

七、结 语

本矿区自新生代以来,经历了各种气候的演变,硫化矿床的本来面貌,在表生作用下不断地发生变化,在矿区内的铜矿床中,不仅氧化作用盛行,而且表生富集作用也很普遍。诚然,由于每个分区或矿段的具体情况各不相同,以致有的发育完好,有的并未得到深透的发育。虽然如此,但都说明了表生作用在一定程度上对硫化矿床起着颇大的改造作用。所以,注意这方面的研究,对今后寻找盲富矿体也许有所裨益。

