

# 对我国西北干旱地区硫化物矿床铜矿氧化带的初步认识

新疆冶金地质勘探公司七〇五队 杨炳滨

铜的地表氧化带是深部不同矿物成分、不同组构的铜矿经历不同时间、不同地质营力作用在地表的直观反映。因此,利用对这种氧化带规律的认识去进行找矿,是直观找矿方法的重要组成部分。

解放后,在我国西北地区进行了大量的地质工作,找到了不少铜矿床,积累了宝贵的地质资料,总结出许多有益的经验 and 教

训。本文以上述资料为基础,着重讨论硫化物铜矿床(点)地表氧化带中常见的铁、铜表生矿物对矿床深部评价的指示作用。

## 一 西北干旱地区硫化物铜矿床(点)的主要金属矿物组合

### 1. 铜矿床主要金属矿物组合(表1)

表 1

矿床名称	矿床类型	主要原生金属矿物	铁铜的主要表生矿物
白银厂铜矿	黄铁矿型黄铜矿	黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等	褐铁矿(针铁矿)、赤铁矿、黄钾铁矾、水氯矾、孔雀石、兰铜矿、氯铜矿、胆矾等
白山堂铜矿	次火山热液矿床	黄铜矿、黄铁矿为主,伴生有磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等	赤铁矿、褐铁矿、自然铜、兰铜矿、孔雀石、胆矾等
红沟铜矿	黄铁矿型黄铜矿	黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿等,另含少量毒砂、方铅矿、闪锌矿	孔雀石、兰铜矿、褐铁矿,还含少量铜兰、辉铜矿、自然铜等
铜沟铜矿		黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿,还有方铅矿、闪锌矿等	硅孔雀石、孔雀石、兰铜矿、赤铜矿、黑铜矿、褐铁矿、黄钾铁矾、胆矾等
公婆泉铜矿	斑岩型铜矿	辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿为主,含有少量黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿,黄铁矿很不发育	铜兰、孔雀石,褐铁矿很不发育,只在岩石裂隙中才能见到
滴水铜矿	砂页岩型铜矿	以辉铜矿为主,含少量黄铁矿,但很不发育,含微量黄铜矿	以孔雀石、氯铜矿、兰铜矿、赤铜矿为主,偶见微量褐铁矿、赤铁矿

3. 在地形、地貌上,第四纪、第三纪的火山机构一般均保留着较好的火山地形,中生代火山在地形、地貌上有时也有一定的表征,如环状、半环状、马鞍状地形及放射状水系等。

4. 火山机构及其各个组成部分往往受火山基底构造的控制,常出现于断裂构造的交

汇处、断裂构造的转折处或生于断裂与羽状断裂的连接处。

5. 火山口、火山颈有时也可借助物探异常提供判断的线索。一般说来,基性岩组成的火山颈为正磁异常,酸性岩组成的火山颈为负磁异常。根据磁、重异常的分析还可以推断火山颈深部的情况。

2. 铜矿化点的主要金属矿物组合及找矿中的一般情况(表2)

表2

铜矿点或铁帽	主要原生金属矿物	铁、铜的主要表生矿物及找矿情况
库车洼地铜矿点(包括乔光玛克、苏康、红门坎等地的铜矿点)	偶见或完全缺乏铁、铜的原生硫化物	孔雀石、兰铜矿、自然铜、氯铜矿等。没有铁帽或褐铁矿等铁帽物质,地表铜矿化普遍,经钻探未见原生矿体,矿点为无根的点状异常。
岷山铜矿点		在石英岩中有较多孔雀石,没有铁帽,开始误认为一大铜矿基地,后经工程揭露,深部没有原生铜矿体,矿点为无根的点状异常。
铁列库坦铜矿点	黄铁矿,微量黄铜矿	黄钾铁矾、褐铁矿。在花岗岩长岩中找矿,黄铁矿氧化不彻底,但有铁帽,地表未见铜矿化,经钻探证明,深部只有铜矿化。
公婆泉一矿区三矿段南铁帽	黄铁矿	褐铁矿、黄钾铁矾等。在没有铜矿化的石英粗面岩中找矿。铁帽发育,但未见铜矿化。经钻探证明,深部没有铜矿体。
白银厂铜矿外围铁帽	黄铁矿	褐铁矿、黄钾铁矾、赤铁矿等。在铁帽发育,但地表没有铜矿化的地区找矿,经大量钻孔证明,单一的铁矾或褐铁矿、赤铁矿铁帽而地表没有铜矿化时,只预示深部有黄铁矿,而没有铜矿体的存在。

以上事实说明,西北干旱地区铜矿床(点)有以下特点:

1. 主要铜矿床的原生矿石都是由黄铜矿和黄铁矿组成,它们是在高硫、富铁环境下形成的。

2. 以辉铜矿为主的铜矿床只有公婆泉和滴水铜矿。这些矿床一般规模不大,是在低硫、缺铁和还原的环境下形成。黄铜矿数量不多,黄铁矿数量更有限。

3. 西北地区重要工业铜矿床的地表氧化带既出现褐铁矿、赤铁矿和黄钾铁矾,又有自然铜、孔雀石、兰铜矿、氯铜矿与之伴生。

4. 单纯由自然铜、赤铜矿、孔雀石、兰铜矿、氯铜矿组成的地表氧化带,而不出现或极少出现褐铁矿、赤铁矿和黄钾铁矾时,有如下二种情况:

一是公婆泉铜矿和滴水铜矿,深部主要由辉铜矿组成,黄铜矿数量不多,黄铁矿极不发育。由于原生矿物缺铁,因而地表氧化带主要由孔雀石、兰铜矿、氯铜矿和自然铜组成。没有或极少出现褐铁矿、赤铁矿及黄钾铁矾。

二是库车洼地多数矿化点,岷山石英岩中的孔雀石和西北其它地区,一些单纯由孔雀石、自然铜、赤铜矿组成的铜矿露头,经山地工程及钻探工作证明,它们是无根的点状异常。

5. 地表氧化带单纯由褐铁矿、赤铁矿及

黄钾铁矾组成而又不出现铜矿化时,经大量钻探证明,这种露头的深部均未发现铜矿体。

## 二 西北干旱地区铜矿氧化带的某些特征

### 1. 铁、铜表生矿物的形成条件

根据涂光炽、李锡林的研究,西北干旱地区硫化物矿床(点)的地表氧化带形成于第三纪末、第四纪初,与本区干旱气候的形成时间相一致,而且这种氧化带今天仍在形成之中。

区域性因素——气候和铜矿的原生硫化物成分是决定本区铁、铜表生矿物组合的重要因素。本区铜矿最主要的原生铁、铜硫化物是黄铜矿和黄铁矿。本区降雨量小于400毫米(很多地区小于100毫米),而蒸发量常在1500~2000毫米以上。由于极度干旱,渗入地下的雨水很少。在铜的硫化矿床氧化的初期和中期阶段,由于黄铜矿和黄铁矿氧化而产生大量硫酸、硫酸亚铁和硫酸铜溶液,因为地下水缺乏而不容易被流失,这样,铜矿氧化带的初期阶段地表露头一般呈酸性反应。这种条件有利于铁、铜矾类的形成,而各种铁的矾类在酸性条件下又不容易被水解,因而西北干旱地区硫化物矿床氧化带的地表露头铁、铜矾类广泛发育。

白银铜矿的折腰山、火焰山矿床由深部向地表铁的表生矿物垂直分带情况是:由于

深部缺氧、距原生带较近，介质酸度较大，首先出现低铁矾类矿物（针铁矾、铁明矾、水绿矾等）。往上，酸度减弱，游离氧逐渐增加，因而出现高铁矾类矿物（赤铁矾、纤铁矾、针铁矾、黄铁矾）。再往上，由于距原生矿体更远，介质酸度更弱，游离氧充分，因此在高铁矾之上出现黄钾铁矾。最后，在地表出现褐铁矿—赤铁矿铁帽。

铜在氧化初期的酸性介质中，首先形成各种矾类；在白银铜矿折腰山、火焰山矿床次生硫化物富集带的上部，胆矾和各种低铁硫酸盐形成网脉穿插富含辉铜矿的矿石。赤铜矿、黑铜矿、自然铜只能在硫酸含量极低的溶液中形成，而含水碳酸盐只能形成于氧化晚期阶段的中性—弱碱性环境。在上述矿床中，铜的含水碳酸盐一般离块状含铜黄铁矿组成的矿体有一定距离，而在由浸染状矿石组成的矿体中，它们出现较多。

黄钾铁矾是一种酸性环境下形成的铁矾，它形成于硫化物铜矿氧化带发育的初期阶段，它在pH为1~3、含游离硫酸、并有一定数量的高铁和钾的条件下形成，地层和围岩为火山岩并含大量钾时，易于形成大量的黄钾铁矾。随着铜矿的不断氧化，到了晚期阶段，矿体地表氧化带开始变为弱酸性，进而变为弱碱性环境，这时黄钾铁矾变为不稳定，分解出 $Fe(OH)_3$ 。后者是一种难溶的胶体化合物，脱水后变为褐铁矿（针铁矿），进一步失水变为赤铁矿。

若围岩和脉石为磷酸盐或富含碳酸盐而硫化物含量又不高时，硫化物氧化初期或中期，溶液就被碳酸钙所中和，当游离氧充足时，硫酸亚铁很快氧化为硫酸铁。硫酸铁和碳酸钙互相作用产生 $Fe(OH)_3$ 和硫酸钙， $Fe(OH)_3$ 最后脱水变为褐铁矿和赤铁矿，因而当围岩为碳酸钙时，铁的矾类往往不发育。

上述观察到的事实与Posnjak等的 $Cu-SO_3-H_2O$ 三元素及Merwin等的 $Fe_2O_3-SO_3-H_2O$ 系统的相平衡研究结果相符合。

西北地区气候极其干旱，地表水一般呈弱碱性（铜矿氧化带的晚期阶段，矿体地表水的性质和地表水大致相同）。由于水的蒸发量很大，毛细现象十分发育，引起水中的

大量盐类和硫酸铜堆积于地表。在弱碱性条件下，硫酸铜被铜的碳酸盐、氯化物和氧化物等矿物所代替，并在地表富集，尤其是富钙的地层中的钙容易被铜质交代形成各种表生铜矿物。如库车洼地的砂岩铜矿，砂岩胶结物多为碳酸钙，它被铜质交代形成各种铜的表生矿物。这就说明了干旱地区地表铜的表生矿化比潮湿地区要广泛得多的原因。在西北较潮湿的中高山地区，地表水一般呈中性，铜矿地表氧化带特征和干旱条件下的形成物相似，因而把这些地区的矿床放在一起研究。

铜的硫化物矿床氧化带的晚期阶段，矿体地表露头介质呈弱碱性，此时铜和铁的表生矿物全部流失的可能性都是不大的。

西北地区既干旱而又常出现风暴，因而当铜矿地表氧化矿物不多而又呈粉末状时，有被吹掉的可能性（或只有一种成粉末状而被吹跑的可能性），然而完全被吹掉也是罕见的，只要细心寻找，在岩石裂隙或孔洞中，总会残存少量铜或（和）铁的表生矿物。

## 2. 铜矿硫化矿床（点）氧化带的发育阶段和垂直分带

（1）初期阶段：这时铜的硫化物刚刚氧化，铜矿体地表氧化带中介质呈酸性，铁的矾类较发育，铁帽主要由黄钾铁矾组成，可能出现少量铁氧化物和氢氧化物，铜的矾类可出现，铜的碳酸盐一般不出现或极少见。天然露头中原生硫化物多于表生矿物。

（2）中期阶段：大部分硫化物被氧化，铜矿地表氧化带中介质呈弱酸性—中性。地表天然露头氧化带中表生矿物多于原生硫化物。硫化物多呈残留体存在于矿石中。硫酸盐较多，但氧化物、氢氧化物、碳酸盐亦颇发育。矿体露头的铁帽多由褐铁矿、赤铁矿和黄钾铁矾组成，可出现赤铜矿、硅孔雀石和胆矾等，也可出现一定数量铜的碳酸盐矿物。

（3）晚期阶段：所有硫化物几乎全被氧化，铜矿体的地表氧化带中介质呈中性—弱碱性。黄钾铁矾分解为褐铁矿，地表氧化带（铁帽）主要由褐铁矿、赤铁矿组成，黄钾铁矾缺乏或居次要地位。可见到铜的氧化物、碳酸盐及自然铜等。地表氧化带几乎见

不到原生硫化物。

C.C. 斯米尔诺夫认为氧化带发育的最后阶段, 重金属元素仍不断被带走, 最后, 氧化带完全没有重金属元素, 只是由各种形状的二氧化硅、铁和锰的氧化物及氢氧化物、铝硅化物组成。

这只是指一种趋势而言, 假设氧化带一直处于潮湿的气候带, 或者氧化带形成于干旱气候带, 后又经历潮湿的气候条件, 在漫长的地质年代中, 在氧化带发育的最后阶段, 重金属元素可以完全被流失, 这是毫无疑问的。假设氧化带形成年代较新, 而且一直处于干旱气候条件下, 雨水很少, 渗入地下的水量也不多, 在这样的条件下, 重金属元素很不容易被流失。相反, 由于毛细作用, 重金属元素和其它盐类一起不断向地表运移, 在地表弱碱性环境中, 重金属元素则以碳酸盐、硅酸盐、卤化物等形式保存于氧化带的近地表或地表露头中。可见, 今天西北地区铜矿地表氧化带中, 铜的各种次生矿物在干旱条件下形成, 不可能在同样干旱的环境中完全被流失。

根据涂光炽、李锡林的研究, 西北干旱地区硫化矿床氧化带自上而下可分为:

1. 褐铁矿—赤铁矿亚带,
2. 黄钾铁矾亚带,

以上二带可以单独组成铁帽或联合组成铁帽。

3. 石膏—自然硫亚带,
4. 疏松硫化物亚带,
5. 铜矿的次生富集带(不常见),
6. 原生矿石带。

### 三 对西北干旱地区铜矿露头的分析

1. 西北干旱地区的主要铜矿床, 其地表氧化带既有铁帽(或含褐铁矿等铁帽物质)产出, 又有铜的氧化物、碳酸盐、自然铜等铜矿物与之伴生。

西北地区主要铜矿床的原生矿石主要由黄铁矿和黄铜矿组成, 在氧化初期产生硫酸、硫酸亚铁和硫酸铜, 致使铜矿地表氧化带呈酸性反应。在这样的环境中, 地表露头发育铁和铜的矾类, 但它们都是不稳定的, 随着黄铁矿和黄铜矿的大量氧化, 地表氧化

带进入晚期阶段, 铜矿地表露头由酸性变为弱碱性环境, 黄钾铁矾进行分解, 产生 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , 后者最终脱水变为褐铁矿和赤铁矿, 并组成铁帽。在氧化带的晚期阶段, 铜矾也是不稳定的, 被赤铜矿、孔雀石、硅孔雀石、自然铜和氯铜矿所代替。所以, 铜矿氧化带的晚期阶段铁帽(或铁帽物质)和赤铜矿、孔雀石、兰铜矿、氯铜矿等矿物相伴生。在干旱气候条件下, 在弱碱性环境中, 这些铁和铜的表生矿物都是比较稳定的。因而, 当地表氧化带同时出现铁帽(或铁帽物质)和赤铜矿、孔雀石、兰铜矿、硅孔雀石、赤铜矿等铜矿物时, 一般认为这种铜矿露头的深部是有根的。

2. 单一的铁帽(或铁帽物质)而没有铜的氧化物、氯化物和碳酸盐等铜矿物时, 一般认为深部没有铜矿床存在, 例如公婆泉一矿区三矿段南的石英粗面岩中褐铁矿铁帽发育, 但未见铜矿化, 经钻探证明深部没有铜矿体。白银矿区利用铁帽找矿的经验也证明: 单一的铁矾或褐铁矿、赤铁矿铁帽, 只预示深部有黄铁矿。总之, 在西北干旱地区没有由单一的铁帽找到工业铜矿的先例。

假设地表氧化带出现的是褐铁矿—赤铁矿铁帽, 说明氧化带已进入晚期阶段, 这时氧化带地表水呈弱碱性, 如果没有铜的氧化物、碳酸盐、氯化物等铜的表生矿物出现时, 一般认为深部不存在铜的原生矿体。

假设地表出现的是黄钾铁矾, 证明氧化带发育在早期阶段。若深部有铜矿体存在, 地表应有铜的矾类出现, 或离矿体较远处应有少量孔雀石、赤铜矿等铜矿物出现。如果是单一的铁矾而没有铜矿化, 一般预示深部没有铜矿体存在或只有铜矿化。

对这类露头工作时必须持慎重态度, 必须对铁帽的成因, 褐铁矿的结构、构造、微量元素和其它因素进行深入细致的分析研究之后, 才能确定深部是否应该进一步工作。

3. 单一由铜的碳酸盐、氧化物、自然铜、氯化物等组成的地表氧化带, 而没有铁帽或只含极微量褐铁矿、赤铁矿时, 有二种情况:

一是公婆泉铜矿、滴水铜矿, 深部主要的铜矿物是辉铜矿、黄铜矿。黄铁矿很不

发育。由于原生矿物缺铁，在矿体氧化带中只出现铜的碳酸盐、氧化物、自然铜和氯铜矿，而不出现或缺乏赤铁矿、褐铁矿和铁的矾类。这二个矿例各有不同的特点：公婆泉铜矿为斑岩铜矿、斑岩体有石英—钾长石化、绢云母化等。而滴水铜矿为砂页岩型铜矿，其矿源层为灰（绿）色砂质泥灰岩，属河漫湖相沉积。储矿层主要是与它相邻的、并经退色作用的河湖交替相沉积的砂泥灰岩—砂岩。

二是库车洼地的多数砂岩中的铜矿化点、岷县石英岩中孔雀石矿化点以及西北其它一些地区，单纯由铜的表生矿物所组成的矿化点，没有或几乎没有见到褐铁矿、赤铁矿、铁矾等由原地硫化物氧化后产生的铁的表生矿物出现时，绝大多数矿点为无根的点状异常。铜的表生矿物多充填于岩石裂隙中或交代砂岩的胶结物——碳酸钙。

西北干旱地区的部分地区铜的克拉克值偏高，因而地下水含有较多的硫酸铜溶液，

这些溶液被地下水转移，由于极度干旱，蒸发量大，毛细作用发育，硫酸铜便和盐碱一起被带到地表或近地表，硫酸铜在弱碱性环境中被孔雀石、兰铜矿、赤铜矿、氯铜矿所代替，形成铜矿化。由于长期的毛细作用，铜质经长期积累，可以形成大面积的矿化，或成为小型的、鸡窝状小矿体。这种露头不是原地原生硫化物铜矿床的氧化带，而是一种无根的矿化点或小型的淋积矿体。

由于西北地区这类露头多是无根的点状异常，因而对这类铜矿点进行工作时，必须十分慎重。在进行深部评价之前，必须深入研究地表露头的整个地质特征。若为内生铜矿床，应伴有高岭土化、绢云母化、钾化、钠化等围岩蚀变。若为砂页岩铜矿床，应注意寻找和详细研究那些灰（绿）色、暗灰色的河漫湖相泥灰岩—灰岩、砂泥灰岩，以及注意研究河湖交替相地层的退色地段作为储矿层的可能性，以便利用地表铜矿化和地层特征来指导找矿。

## 伊朗中央铁矿区

### ——下寒武纪火山成因磁铁矿矿床的一个实例

当结晶基底沿南南东—北北西走向断层断裂形成扁长地槽和地槽（通常所说的阿森特隆起）时，伊朗中央铁矿带的地质发育于晚前寒武纪开始了。下寒武纪大陆沉积物（红色粉砂岩）、泻湖（石膏）和浅海（硅质白云岩）沉积物不整合地覆盖在前寒武纪岩石之上。与这些沉积物伴生的是大部分为流纹岩株的火山岩（火成碎屑物、熔岩、熔岩）和块状磁铁矿。流纹岩—磁铁矿—白云岩名为埃斯福代（Esfordi）建造。与流纹岩有成因联系的富碱性地下火山岩侵入了前寒武纪和下寒武纪岩石。地台状态一直延续到晚三叠纪。埃斯福代建造在晚三叠纪发生了褶皱。铁矿带的南部（内扎法巴德矿床）和中部（乔加特矿山，XI矿床）没有受到任何区域变质作用的影响。在该带（查多尔马鲁矿床，XX号异常）的北端有晚三叠纪的低级变质作用（钠长石—绿泥石—绿帘石）发生。

产有磁铁矿的流纹岩和凝灰岩多半富含 $K_2O$ （8%），但也有富钠长石。磁铁矿往往平行于凝灰岩和白云岩/流纹岩交界面的层理。块状磁铁矿形成巨大的矿体（呈扁豆状或板状每个矿体有1~2.5亿吨）。硅酸盐类和磷灰石的

“异离体”指出矿石内的走向和倾向。近来在乔加特矿山，在磷灰石基质内看到磁铁矿堆积相。在主要矿体之间对埃斯福代建造详细填图结果证明：矿石内有白云岩和流纹岩条带，薄磁铁矿和流纹岩的互层，含磁铁矿和/或钠长石晶体的流纹凝灰岩，具有呈火山灰、火山砾或火山弹磁铁矿的流纹凝灰岩，磁铁矿粉砂岩和碧玉铁质岩层。白云岩内的某些燧石层结果变成钠长石+石英。对磁铁矿（Ti、V）和常见的磷灰石（Ba、Sr、Y、R、E、Zr、Zb、Cl、F、 $SO_4$ 、 $CO_3$ ）进行地球化学研究的结果，明确指出它们来源于熔岩。从金刚石钻孔岩心的非假象赤铁矿磁铁矿的磨光片可看出有钛铁矿和赤铁矿—金红石共生组合的矿物高析物。

古地磁研究的结果表明，下寒武纪流纹岩、安山岩、地下火山岩和白云岩，以及证明与火山岩和沉积岩和夹层铁矿同期磁化的铁矿石的磁场向量是几乎相同的。

在文献上，巴夫库磁铁矿被描述为更古老的灰岩—白云岩的交代产物，铁矿是从侵入的花岗岩气化产出。开发巴夫库矿区的苏联专家也把磁铁矿看作接触气化形成的（磁山型），而与此相反的另一观点却认为磁铁矿是含磁铁矿熔岩（基岩钠类型）的侵入磷灰石。所推荐的另一模式就是，下寒武纪区域变质作用可导致围岩的钠交代和前寒武纪铁矿的变质活动，导致沿断层呈气相迁移，并最终形成交代沉积。本文的作者还将讨论可应用于基岩钠矿床的火山成因磁铁矿熔岩模式。

译自：《25th International Geological Congress》，Vol.1, Abstracts, P.155~156

作者：哈森、博勒曼迪、汉斯乔克、福斯特