

# 金属矿石形成特点、组合类型及其与选矿的关系讲座

## 第三讲 贵金属矿石

卧 石

在探讨了金属矿石的矿物组合、粒度、嵌布、嵌镶特点及其与选矿关系之后，我们现在进一步结合各类金属矿石的特殊性，讨论一下它们的形成特点、组合类型及其与选矿的关系。这一讲主要谈的是有关贵金属矿石的问题。

### 一 贵金属矿石资源的现状和综合利用趋向

贵金属主要是指金、银和铂族元素。它们在地壳中含量较低，如：金在地壳中的含量为十亿分之五，即0.005克/吨；银为千万分之一，即0.1克/吨；铂和钯分别为0.005和0.01克/吨；而铑、铱、钌、锇更低。但稳定性大。它们，特别是铂族元素，是国防和化工方面不可缺少的重要资源，也是科学技术现代化所必需的重要材料。

贵金属矿石中，就贵金属元素的赋存状态来说，主要有以下六种形式，即：①自然元素及金属互化物，②与硒碲砷化合成为硒化物、碲化物、砷化物，③呈固熔体，微粒机械混入物，或微细脉状被硫化物所包果，④呈显微粒状被粘土矿物所吸附，⑤被氢氧

化铁被膜或网脉所包果，⑥被其它矿物如石英、碳酸盐类或钨酸盐类矿物所包果。但其中以前三种形式最多。

近年来，除了注意单独的贵金属矿床的勘探开采外，日益注意从铜及多金属矿等矿石中回收伴生的贵金属。据冯子道\*的资料，作为其它类型矿床中的伴生组分，从付产品中回收的金，约占目前国外金总产量的5~10%，而且从发展趋势来看，还将不断增长。例如美国，七十年代以来，从铜和多金属矿石中回收的伴生金，约占其金总产量的40%。而从铜矿石中回收的金又占伴生金总量的80%，其中特别是细脉浸染铜矿。日本的金产量有30%来自其它矿石中的伴生金，其中特别是黑矿型含铜黄铁矿矿石。加拿大约有20.8%的金产量是来自其它矿石中的伴生金，其中特别是岩浆型铜镍硫化物矿石。近年来，还在前寒武纪含铁石英岩中发现有金-磁黄铁矿-毒砂-石英组合，特别是在该组合的碳酸盐和硫化物相中，金的含量显著增多。这一新类型的发现，大大增加了金的工业储量。据报道，这种类型的金矿床，在

\* 冯子道：“黄金成矿特征和矿床类型”，成都地质学院，《国外地质》，1976年第1期

美国、巴西、坦桑尼亚、澳大利亚等国都有发现。有的规模相当大,单就金储量来说,可达一千吨以上。目前美国金的生产,约有30%系来自这一类型。我国前寒武纪地层分布广泛,著名的鞍山式铁矿,即产于这一组合建造之中,因此,我们应当在普查勘探这种类型铁矿的同时,注意对铁层中富含碳酸盐及硫化物的地段加强金的查定评价。至于铂族元素矿床,目前除两种主要矿石组合类型(即:一,与超基性、基性岩有关的铜镍硫化物矿床;二,与基性岩有关的含铂铬铁矿床)外,也注意到在其他矿石中对铂族元素的综合利用。其中主要如细脉浸染型铜钼矿石,黄铁矿型铜矿石,锡石硫化物矿石,含金铜硫化物矿石以及含铜页岩型矿石等。据报道,美国克莱麦克斯细脉浸染型铜钼矿石中,铜精矿内含铂0.008~0.02克/吨,含钯0.009~0.16克/吨(9个分析样品),钼精矿内含铂0.012~0.39克/吨,含钯0.005~0.22克/吨(6个分析样品)。在钼精矿内,铂高于钯, Pt: Pd = 1:0.5,而在铜精矿内,钯高于铂, Pd: Pt = 5~20:1,铂与钯有明显的相关关系。此外在辉钼矿内,还含有铑与铱。苏联乌拉尔含铜黄铁矿矿石中,在黄铜矿和斑铜矿内,亦含有铂族金属元素,如黄铜矿内,含铂0.073克/吨,含钯0.027克/吨,含铑0.031~0.003克/吨(5个样品)。斑铜矿内,含铂0.021克/吨,含钯0.033克/吨,含铑0.03克/吨。该含铜黄铁矿矿石中,含铂最高可达1.5克/吨。德国曼斯菲尔德含铜页岩矿石中,含铂达0.02~4.5克/吨,并含有Pd、Au、Ni、Co、U、Mo、V、Y、Sc、Pb、Be、Cr、W、Sr、Ti、Ba等,我国斑岩型铜矿石,含铜黄铁矿矿石,以及含Cu、Ni、V、Mo、U的页岩型矿石分布极广,随着四个现代化对贵金属矿石资沉需求的不断增长,除了注意对单独贵金属矿床进行研究查定之外,还必须对伴生贵金属的研究查定予以重视。

## 二 对贵金属矿石工艺性质的研究

无论是对贵金属的单独矿床,还是对其它矿床中贵金属伴生组分的查定,除了注意品位分布和含量变化之外,还必须注意以下四个方面的研究:贵金属元素的存在状态;粒度与含量变化;分布与连生特点;矿物共生组合。

### (一)对贵金属元素存在状态的查定

查定贵金属元素存在状态,是进行有效利用和回收的基础。由于贵金属自然元素或金属互化物的比重都较大(自然金为19.26,自然银为10.49,自然铂为21.45,铑、钯、钼均在12以上,铱和锇均在22以上),可以通过人工重砂在双筒显微镜下查定,或磨制光片,通过系统测定光学性质查定。但在粒度很细或以细粒固熔体机械混入物被其它矿物包果时,可采取少量含金载体矿物进行电子探针分析,在蚀变围岩或风化带,可磨制专门薄片进行电子显微镜鉴定。

根据我国一些金矿床和含金矿石的查定,主要有以下六种形式存在:

- 1.以自然金或银金矿充填于其它矿物的裂隙或空隙中,如图1—⑤⑥,自然金在黄铁矿、白钨矿中呈细脉充填;图1—⑦为自然金或银金矿在石英中呈间隙充填;图1—①为自然金在玉髓状石英中呈海绵状充填;图1—③为自然金充填胶结压碎的黄铁矿等。

- 2.以交代方式或固熔体被其它矿物所包果。如图2—①自然金以固熔体方式被毒砂包果,自然金呈细粒状被包在黄铜矿及方解石中。

- 3.显微分散球粒包果。如图1—⑧,自然金呈小元球状及链状显微包果体散布于辉锑矿中。

- 4.呈微粒状边缘吸附。如图1—⑨在伊

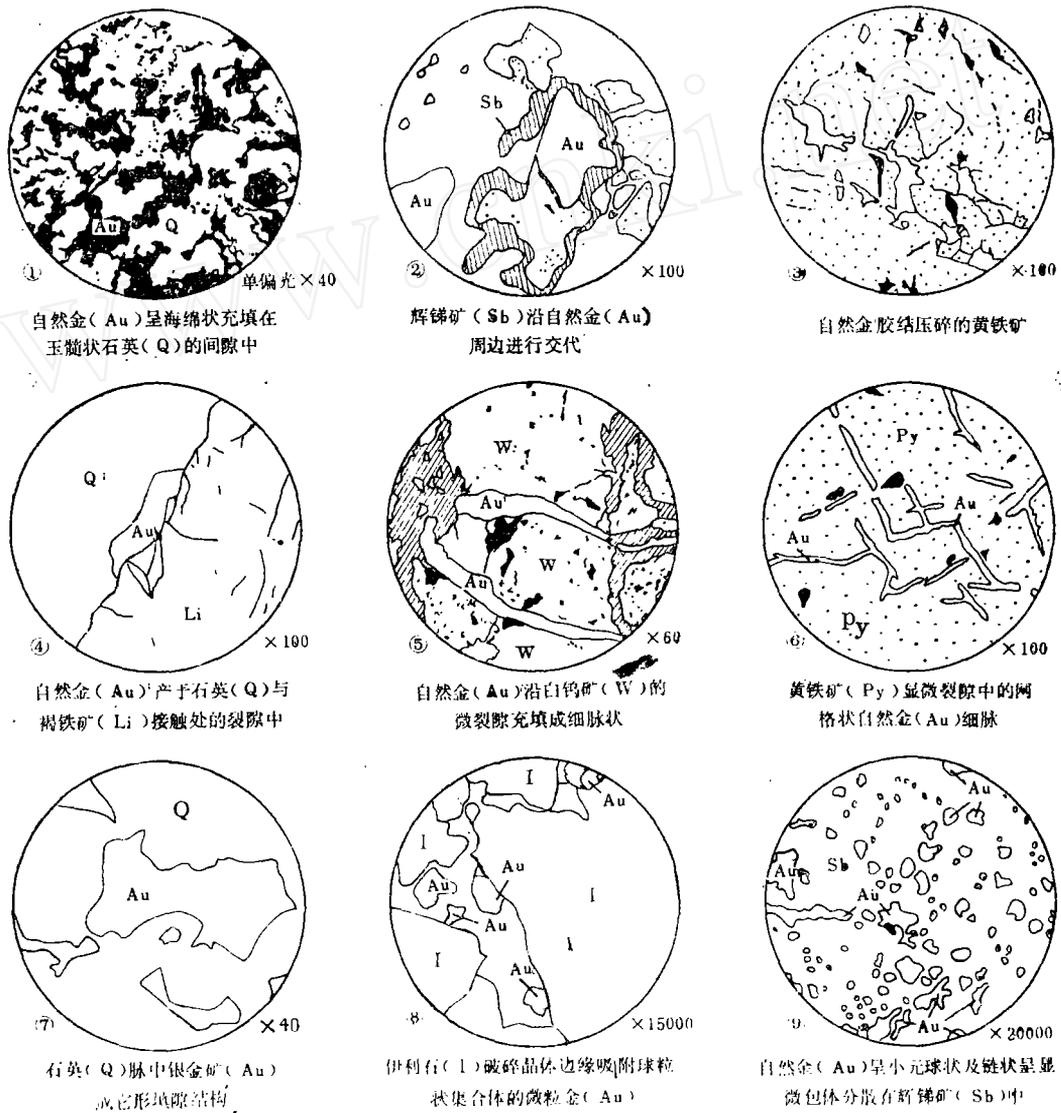


图 1

利石破碎晶体边缘吸附有微粒状金粒。

5.呈环带状。石英脉中自然金、绢云母、褐铁矿呈环带状分布。

6.呈网格状。含金硫化物氧化后被褐铁矿所包果,呈网格状分布。

以上几种形式中,特别是呈次显微粒状

(颗粒直径 $<0.5\mu$ 的不可见金),需经电子探针或电子显微镜才能查定。

### (二) 粒度与含量变化

自然金或金属互化物在矿石中的粒度大小,据B.M.克列特尔的意见,可以分为两类:一类是可见金,其中又分肉眼可见的

(颗粒直径 > 2 毫米) 和显微镜下可见的 (颗粒直径  $\geq 0.5\mu$ ), 一类是不可见金 (颗粒直径  $< 0.5\mu$ )。据此可以通过磨制光片和反光显微镜测定其粒度。据张振儒\* 对湖南某钨锡金矿石的实测统计资料, 在石英中的自然金粒度较粗, 一般直径为 0.5~0.1 毫米, 如图 3—①。在黄铁矿中的自然金粒度较细, 一般直径为 0.01~0.05 毫米, 如图 3—②。在辉钨矿中的自然金颗粒直径为 0.05~0.1 毫米, 如图 3—③。在白钨矿中的自然金颗粒直径, 一般也是 0.05~0.1 毫米, 如图 3—④。在闪锌矿中的自然金颗粒直径, 一般为 0.01~0.05 毫米, 如图 3—⑤。

据上述资料, 可知该金矿中, 可见金在载体矿物中, 粒度有明显差别, 以在闪锌矿中的粒度最小, 其余按黄铁矿、石英、白钨矿顺序依次增大, 而在辉钨矿中的粒度最大。

### (三) 分布与连生特点

贵金属元素矿物的分布(嵌布)与连生(嵌镶)特点, 对选矿破碎程度和回收率高低, 具有极大关系, 如上述某钨锡金矿石中, 1961~1963年重选溜槽的回收率为 53.72%, 其余 46.28% 主要呈次显微粒状, 只能部分通过冶炼回收, 而且, 以吸附形式

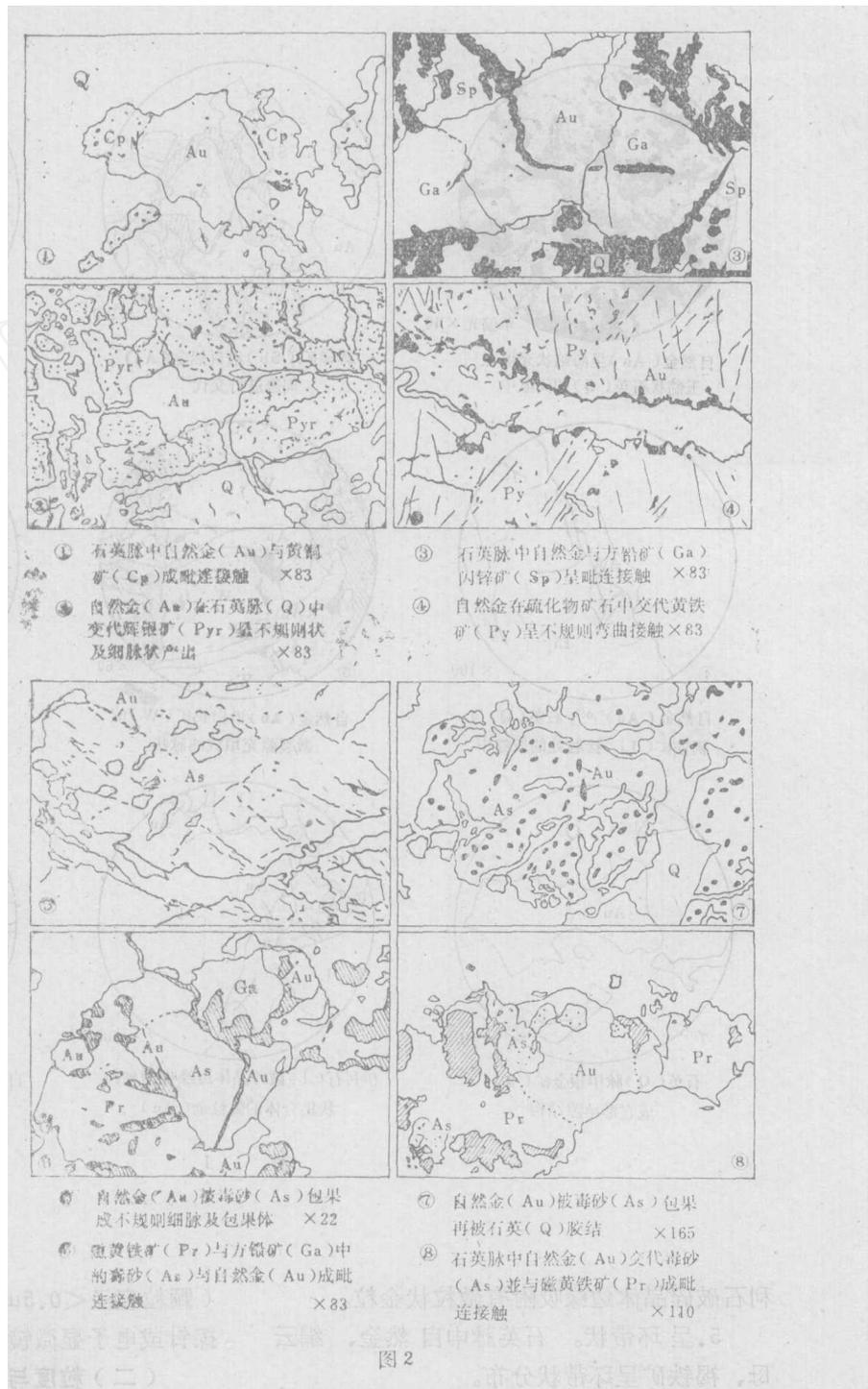


图 2

被伊利石所吸附的次显微金粒, 几乎完全不

\* 张振儒:“湖南某矿床金的赋存状态”, 1977年, 未刊稿

能回收。在连生形式方面，平直毗连型（脉状充填，或自形、半自形晶粒状）与参差毗连型（交代包果、环带包果）两者在单体解离率方面也有显著差别，如某含铂纯橄岩中，矿石矿物组分，除少量呈自然铂外，绝大部分为砷铂矿，并以中细粒、它形、半自形结构为主，与脉石矿物橄辉石、顽火辉石、透辉石以及黄铁矿、磁黄铁矿等呈参差状嵌镶连生，因此用重选不能解决回收问题。经反复试验，采用分段磨矿，重、磁、浮选联合流程，显著提高了回收效果。

#### （四）矿物共生组合

贵金属矿石中，由于共生组合的差异，对矿石的综合利用评价和选矿工艺流程的确定，具有重大影响。以金矿为例，除自然金、金的硒碲化合物外，绝大部分的显微金粒和次显微金粒均与硫化物有关。据115个矿区的资料，可能含金的矿物依次为黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、含铋矿物（自然铋、辉铋矿、辉铅铋矿、辉碲铋矿）、磁黄铁矿、黝铜矿、砷黝铜矿。而含金的主要脉石矿物，则有石英、碳酸盐类矿物、绿泥石、伊利石、石墨以及电气石等。因此，根据矿石中主要金属硫化物的种类和含量，可以预测是否可能有伴生金的存在。掌握住这一点，对于评价矿石的综合利用可能性，非常重要。另一方面，和金共生的矿物种类和含量，对金矿石选矿工艺流程的确定则具有重大影响。一般对可见金来说，绝大部分经过磨碎，通过重选，再经混汞法或氰化法即可回收。但矿石中如果某些硫化物过多，或易于氧化，则可能产生：①消耗过多的氰化物，②形成汞盐，使混汞作用失效。例如易于氧化的矿物有磁黄铁矿、白铁矿、黄铁矿等。消耗氰化物的矿物有辉铋矿、辉铜矿及砷、铋、铜的氧化物等。要解决这个问题，就要先将铋铜等的硫化物浮选掉。又如影响混汞作用的矿物有辉铋矿、斜方砷铜矿、黝铜矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿

等，由于它们和汞剂接触后，在矿物外表可以形成一层汞盐，从而阻碍金与汞溶成汞齐。其次，一些脉石矿物，如石墨、滑石、伊利石等亦可附着于汞剂上，形成强韧表皮，妨碍混汞作用。因此使用混汞法提取自然金时，要避免有石墨、粘土之类矿物存在。目前对含硫过高的金矿石，即含硫超过25~30%时，采用先脱硫（制酸）后，从渣中回收的方法。

综上所述，贵金属矿石的选矿方法，与贵金属矿物的存在状态，粒度含量，分布与连生特点以及矿石的矿物共生组合（特别是有害元素矿物与含量）等密切相关，而这些都应在勘探评价过程中，通过人工重砂，切制光片，进行反光显微镜鉴定，测定粒度，含量；查

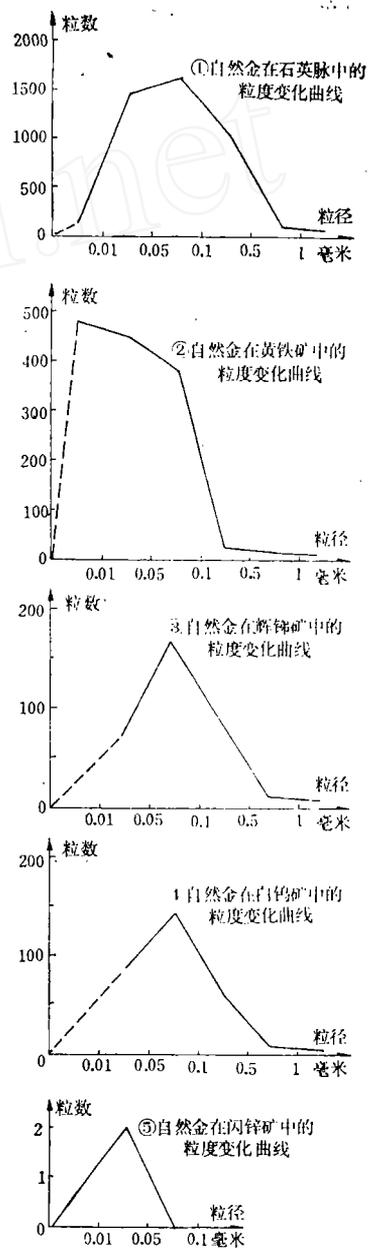


图3

我国主要原生金矿石组合类型特征与可选性关系一览表

矿类	矿石组合	特征			选矿方法与流程			指标			代表矿区	
		矿物组合	金的存在状态	粒度	分布特点	主要方法	流程	原矿品位(克/吨)	精矿品位(克/吨)	尾矿品位(克/吨)		回收率(%)
含金石英脉型	单一金矿石	主要为石英, 含量>80%, 金属硫化物很少, 一般只占总量的2.5~5%。主要硫化物为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿及磁黄铁矿等	自然金及银金矿, 自然金呈片状、不规则粒状、海绵状。绝大部分产于石英和黄铁矿裂隙中	0.0~0.1毫米, 而以0.03~0.05毫米的较多	不均匀, 常见少量平直毗连, 大多数为参差状交错连生	溜汞 加浮 选加 精矿 氧化	溜汞 加浮 选加 精矿 氧化	7~13		0.3~0.5	90~96	WD 矿区
	黄铁矿金矿石	石英含量>60%, 黄铁矿>25~30%。硫化物主要有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿。此外还有少量闪锌矿、方铅矿、磁铁矿	大部分金呈微粒包裹状在黄铁矿内, 占金总含量的40~70%	0.01~0.03毫米	均匀分布, 呈平直状及无粒状包裹体与主矿物毗连	浮选 加精 矿氧 化	浮选 加精 矿氧 化	16.3	31.67		93~96	HZ 矿区
含金多金属矿石	硫化物金矿石	石英含量>60%, 与黄铁矿金矿石不同之处在于, 除黄铁矿外, 其它硫化物增多, 如黄铜矿、闪锌矿、砷黧铜矿、斑铜矿、方铅矿等	自然金呈微粒粒状包裹在硫化物中。一部分在石英与硫化物裂隙间	0.01~0.1毫米, 以0.02~0.05毫米的较多	均匀分布, 呈无粒状及不规则状包裹体与主矿物毗连	溜汞 加浮 选	溜汞 加浮 选	5~10			72~75	G 矿区
	含金多金属矿石	硫化物含量>50%, 石英等脉石含量减少。主要矿物有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、铜兰、辉铜矿、褐铁矿	大部分在黄铁矿和黄铜矿中, 少部分在黧铜矿、砷砂、褐铁矿中	粗细不一, 绝大多数为绝对多数为细粒	不均匀次显微粒状包裹	联合 多次 浮选	联合 多次 浮选	5~10				
含金方解石矿石	含金方解石矿石	主要矿物为方解石, 含量>90%。其次有黄铁矿, 伴生有铜云母、粘土等	绝大部分自然金呈薄片状、结核状	较粗, 0.1~2毫米; 个别至5毫米	不均匀			5~8		0.5	95	T 矿区
	含金方解石矿石	主要矿物有石英、白钨矿、辉钨矿、黄铁矿、闪锌矿、伊利石、白云母等	主要为可见金, 占53.72%, 不可见金占46.28%	粗细不等, 0.01~0.5毫米	不均匀, 在硫化物中以机械混入物或微包体存在	溜汞 加浮 选	溜汞 加浮 选	5	83	1	81	X 矿区

明有用矿物的分布和连生特征,并系统测定不同破碎粒级的单体解离率。而对可疑的含贵金属元素的矿物,还要配合X射线粉晶分析,微化分析,电子探针分析,电子显微镜鉴定,以及矿物相分析等综合手段,才能加以确定。

### 三 贵金属矿石工艺类型的划分准则和主要类型特点

对贵金属矿石工艺性质的综合研究,最终要落在矿石工艺类型划分上。以金矿石为例,主要可分为两大类。即主要金矿石和伴生金矿石。据吉林冶金研究所\*近十年来对原生(脉金)金矿石所作可选性试验的结果,综合我国34个矿区的资料,根据:①矿物

共生组合特点(包括金属矿物、非金属矿物、硫化物、氧化物与含泥量),②金的存在状态,③粒度,④分布与连生特点,我们认为,分四类比较合适。为了节约篇幅,仅列表说明。

从表中可以看出,无论是矿石的矿物组合,还是有用元素的存在状态、粒度、分布连生特点等方面,都直接或间接与制定矿石的选别方法与工艺流程密切相关,而且在很大程度上影响到在精矿与尾矿中的分布,特别对回收率具有决定性影响。而这些工艺性质又是同矿石的形成特点和组合类型密不可分的。因此,对贵金属矿石,必须要注意全面综合研究。

\* 吉林省冶金研究所,《国内含金矿石可选性汇报》,1975年

## 在干燥地区利用深根植物进行地球化学找矿



美国科罗拉多州地质调查所M.A.查菲提出,在干燥地区的地球化学找矿工作中,特别是寻找浅覆盖层下的金属矿床时,深根植物可成为区域普查采样工作的有效手段。

查菲在著名的亚利桑那铜矿附近采集了岩石、土壤和植物样品,进行地球化学研究。在基岩露头中仅有次生铜矿物是具有潜在经济意义的矿物。

采集的基岩和残余土壤样品的测距为500英尺,将两种粒级的土壤分离开以为分析之用:1~2毫米粗粒级和小于0.063毫米的细粒级。在矿区河道内生长的植物上也分别采集了四种不同的深根植物(牧豆树 *mesquite*、猫爪相思树 *catclaw acacia*、兰花假紫荆 *blue paloverde*、美洲铁木 *ironwood*)的茎和叶标本。

对岩石和土壤样品共分析了39种元素。还测定了土壤样品的pH值。查菲的报告研究了在地球化学意义上与铜有关的七种元素—氟、钴、金、铅、钼、银、锌。

查菲对四种植物的叶与茎的灰进行38种元素的分析。大多数分析结果未提供足够的资料。他仅报告了铜、锌和钼的分析结果。地球化学资料的研究结果表明,植物灰中的这三种元素的富集浓度随植物的种类和所采集的部位而变化。

在所研究的植物灰的三种元素中,铜能够为确定已知矿床的位置清楚地提供出最一致和最有意义的资料。钼不象铜那样有用。岩石和土壤样品的钼异常与所研究的任何种类植物灰的锌异常间没有空间关系。

应用牧豆树 *mesquite* (美国西南部和墨西哥生长的一种豆科植物)样品的分析结果能最准确地确定铜矿床的位置。兰花假紫荆 *blue paloverde* 和猫爪相思树 *catclaw acacia* 几乎也是同样有效。总之,在茎和叶两部分内(而不是仅一部分)均含有异常金属浓度的植物,很可能就代表着最有意义的异常。

(据美《工程与采矿杂志》1977年178卷3期)