

有色金属矿床的形成通常要经历漫长而复杂的过程，因而在同一个矿区内往往有几种矿床共存，在一个矿床内则有多种组分共生，这就大大地提高了矿区或矿床的经济价值。如某矿区，只开采一种矿产在经济上是不合算的，但在同一开拓系统内同时开采两种或更多的矿产则可能有利可图。同样，在一个矿床内，如按主要组分计算储量，由于含量不高而只能作为表外矿，但如果矿石中含有可供综合利用的伴生组分，特别是稀贵金属，就能提高其工业价值，变“表外”矿为表内矿。随着采、选、冶技术的进步，共生矿产和伴生组分的利用无疑会越来越充分，经济效果也会越来越显著。

有色金属矿产中的伴生组分(矿物和元素)，有的既是有利的又是有害的，如钨矿中的磷、硫、锡、砷、钼、铋、铜、

铅、锌、铋和铅锌矿中的铁、砷、铋、钴、钨、铜等，当它们进入相应的精矿中时，对冶炼工艺或金属制品的质量有一定影响，而进入尾矿或随废石流失又将污染环境，但如果通过选矿、冶炼过程将其分离、富集、回收，则可能成为有用之物。

近年来，对有色金属矿产资源的综合利用和环境保护进行了大量的研究工作，取得了显著的成效。如黑钨矿的选矿过去采用单一的重选，只能得到单一的钨精矿，其他伴生有用组分均未回收。现在采用以重选为主的多种工艺联合选矿流程，除钨外还能回收铜、钼、铋、锡、铅、锌、铋、硫、铍、锂、稀土等十多种组分。在有色冶炼方面，可以从电解精炼阳极泥中回收金、银、钴、硒、碲和铂族金属；从冶炼渣中回收铜、银、镓、铟等；从冶炼烟尘中回收铜、钨、铋、铅、锌、锑、铈、汞、砷等；从冶炼废水中回收铅、锌、铜等。

为了给矿产资源的综合利用打下良好的基础，最大限度地为国家创造更多的财富，避免有害组分对环境的污染，在地质勘探阶段便应十分重视对矿产资源的

的综合勘探和综合评价。

一、综合勘探

综合勘探是指对矿床中共生的所有主要矿产和矿区内及其附近除主要矿产外的其他矿产所进行的地质勘探或工业评价工作。其勘探程度视距主要矿产地的远近和工业利用价值的大小，以及伴生组分的复杂程度而应有所区别。

(一)对矿床中共生的主要矿产进行勘探：有色金属矿床中的主要有用组分往往不止一种，如铅锌矿、钨锡矿、钨铋金矿等。这些矿床中的共生有用组分含量都比较高，分布较均匀，能圈定出完整的矿体，形成一定规模的生产系统，因而都是主要有用组分。对这些主要有用组分都应同时进行勘探，为以后的矿山设计、建设，确定开拓方案、生产规模、矿石加工工艺流程和产品、产量方案等提供可靠的依据。

(二)对主矿产矿体上下盘围岩中的共生矿产进行勘探：有些有色金属矿床，矿体的上下盘围岩赋存有具有工业价值的其他矿产，它们可以和主矿产同时开采—综合开采，但由于矿种不同，必须分采、分选，在矿山设计过程中同样需要确定生产规模、矿石加工工艺流程和产品、产量方案等，因此也必须进行勘探。

勘探工程的布置应遵循一孔多用的原则，在综合研究矿床成矿地质条件的基础上，要使每个工程都穿透整个含矿带(层)，并及时取样化验。当用勘探主矿产的工程密度无法控制其形态、产状、规模和品位等的变化情况时，应加密工程，其勘探程度原则上应达到该矿种勘探规范的要求。否则会得出错误的结论，漏掉矿体，造成再次补充勘探或浪费矿产资源的不良后果。如甘肃有个铜矿，在地质勘探阶段发现铜矿体下盘共生有铅锌矿，通过用主矿产铜的C级网度 100×50 米的勘探工程控制，认为只是零星出现，没有进行细致的综合研究工作，便作出了“无工业价值”的结论。在矿山生产阶段，经生产勘探加密工程控制后，圈出了很多走向长度和倾斜延伸虽然较小，但厚度很大的铅锌矿体，其规模达中型。江西的一个铜矿，矿体赋存在铁矿体的下盘，1958~1960年在勘探铁矿的过程中虽然有的钻孔已经打到了铜矿体，但没有引起重视，未进行勘探，最后只提交了铁矿储量报告，矿山也只按铁矿进行了建设。在生产过程中揭露出铁矿体下盘的铜矿体厚度达10余米，品位约2‰。

工业价值较大,于是地质部门又于1963年底重新勘探,证实为一中型铜矿床。这不但推迟了铜矿的设计、建设时间,也浪费了大量的勘探工程。山西某铜矿,在1955~1957年的勘探过程中,对铜矿体内的伴生组分钴虽作了一些评价工作,但漏掉了铜矿体上下盘品位达0.041%的钴矿体。由于按单一铜矿建立的生产系统已难以改造,致使钴矿资源至今尚未得到利用。

(三)对矿区内距离主矿床较近的其他矿床进行勘探:在一个矿区内有时有几个矿种的矿床或相同矿种不同成因类型的矿床存在,而且相距较近,有的甚至与主矿床相互穿插,同处于一个开拓系统之内,可以同时开采。因此,在勘探主矿床的同时必须对这种矿床进行勘探,以便在矿山设计、建设时一并考虑。如江西某钨矿,在中组矿脉西部隐伏的细粒白云母花岗岩岩体中赋存有钨钼铍钨矿床。在1953~1956年和1961~1966年的两期地质勘探中虽然发现了该岩体,但由于研究程度不够而被漏掉。以后在开采钨矿的过程中发现该矿床矿体在467米中段以下被中组钨矿脉穿插,并具有工业价值,地质部门不得不于1969~1975年进行第三期勘探。但是已经造成了矿山开拓工程布置的不合理,三号竖井压矿,给生产带来了后患。

(四)对矿区内及其附近距离主矿床较远的其他矿床(点)进行工业评价:处于矿区周围及矿区外围附近的矿床(点),当距离主矿床较远,不能利用主矿床的开拓系统进行开采时,一般不要求进行详细勘探。但在主矿床的开采设计、建设中,它们往往会影响到总平面的具体布置,因为矿山企业的工业场地、厂房和民用建筑物等既不能布置在主矿床矿体之上,也不能布置在具有工业价值的其他矿体之上,否则其下部的矿体今后就无法开采,或是造成资金的浪费。为此,在勘探主矿床的同时,必须对矿区周围及矿区外围附近的矿床(点)作出工业评价,对其中具有工业价值的矿床,必须根据具体情况布置一定的勘探工作,提交储量报告。

(五)对冶炼厂所需辅助原料应注意在矿区附近进行找矿和勘探:在大型有色金属矿山附近往往需要建设冶炼厂。因此,勘探大型有色金属矿床时,应注意在矿区附近寻找冶炼所需的石灰石、硅石等辅助原料,并根据需要量选择其中较好的进行勘探。

二、综合评价

综合评价是确定矿床中除主要有用组分外的伴生组分(包括矿物和元素)是否具有工业利用价值而进行的各种研究工作。有色金属矿床中除主要有用组分外,一般都伴生有多种有用组分,如钨矿床中的锡、钼、铋、铜、铅、锌、铋、钴、金、银、铍、铌、钽、铀、镭、土、磷、硫和分散元素等,这些组分一般含量较低,分布不均匀,用单独的工业指标无法圈定出完整的矿体。在生产过程中伴生组分只能与主要有用组分混采、混选,因此无需专门动用勘探工程,只需根据当前的选、冶技术经济情况对其作出综合评价。

(一)查明伴生组分的种类和含量:为了全面了解矿床(石)中伴生组分的种类和大致含量,首先必须分矿体、矿石类型进行一定数量的光谱分析和化学全分析,然后对其中含量较高的进一步系统地作组合分析,以确定每个矿体、每种矿石类型中伴生组分的种类及含量。

(二)查明伴生组分的赋存状态:矿石中的伴生组分有的以单矿物形式存在,有的则呈分散状态赋存于其他矿物中。目前用选矿方法一般只能回收矿石中呈单矿物存在的组分,呈分散状态的组分只有当其在精矿产品中得到富集时才能在冶炼过程中回收。因此,在地质勘探阶段必须通过岩矿鉴定来查明伴生组分的赋存状态。以单矿物形式存在的,要查明是何种矿物、颗粒大小及嵌布特征等;呈分散状态出现的,要查明赋存于哪些矿物中,是以类质同象状态存在,还是以其他杂质形式如包裹体、胶体等存在。

(三)查明伴生组分的分布情况:在一个矿床的不同地段、不同矿石类型和不同矿物中伴生组分的含量往往差别很大,分布不均匀,需要通过各种分析和综合研究来摸清其分布情况,总结出分布规律。

1.空间上的分布情况:矿床(石)中伴生组分的含量有的与主要有用组分的含量成正比,有的成反比关系,也有的关系不明显,但往往有它自己的分布特点,沿矿体走向或倾向具有一定的分布规律。如浙江某铅锌矿床银的含量随主矿体倾向具有明显的上高下低特点:400米标高以上其含量大于10克/吨,400~200米标高为5~40克/吨,200米标高以下小于5克/吨。

2.在不同矿石类型中的分布情况:不同矿石类型

中伴生组分的种类和含量也存在着明显的差异。如江苏某铅锌矿床主要伴生有用组分为银、金和铜，三者 在铅锌硫矿石和硫矿石中的平均含量明显不同。在铅 锌硫矿石中平均含银86克/吨，平均含金0.77克/吨， 平均含铜0.09‰；在硫矿石中平均含银63克/吨，平 均含金0.53克/吨，平均含铜0.12‰。

3. 在不同矿物中的分布情况：呈分散状态赋存在 各种矿物中的伴生组分，必须通过单矿物分析了解其 种类和含量，确定主要载体矿物和分配率。如江苏某 铅锌矿床中银的主要载体矿物为方铅矿、闪锌矿和黄 铁矿，其含量分别为839、103和68克/吨，分配率分 别为40、19和17%。

有的伴生组分，由于与某种矿物的结晶构造相 似，容易发生相互替换的现象，其含量往往有一定的 规律。如浙江某铅锌矿床中的镉呈类质同象状态赋存 于闪锌矿中，与锌的含量明显地呈正相关，镉的含量 等于0.0065乘以锌的含量。

4. 在选矿精矿和尾矿中的分布情况：呈分散状态 存在的贵金属和分散元素，在选矿过程中有的随主金 属矿物进入精矿产品中，有的随废石进入尾矿，应通 过各种分析（化学分析、试金分析等）查明在精矿和 尾矿中的含量、比例。

（四）研究伴生组分综合回收利用的可能性：矿 床（石）中的伴生组分是否具有工业价值，固然要看 其含量的高低，但更重要的是在选、冶过程中能否顺 便回收，经济上是否合算。因此，以单矿物形式存在 的伴生组分，应通过选矿试验研究其综合回收利用的 可能性，了解用何种选矿方法能够使之分离、富集， 得到合格产品，其回收率如何？对呈分散状态存在 的伴生组分，应了解在选矿产物中能否得到一定 程度的富集，在精矿和尾矿中的含量如何？当矿床 （石）中呈分散状态存在的伴生组分含量高，储量 大时，还应进行冶炼试验，以了解它们回收利用的可 能性。

三、综合工业指标及其应用

对有几种主要有用组分共生的有色金属矿床，目 前在圈定矿体，计算储量时一般都采用各自的单独工 业指标。铅锌矿床中的铅和锌虽然密切共生，但局部 总会出现铅的品位达到工业要求，而锌的品位达不到 工业要求或相反，这就造成了地质部门在使用工业指

标时比较混乱。有的将铅和锌的指标单独使用，圈出 独立的铅矿体和锌矿体，两种矿体有时重叠，有时分 开，范围大小有时一致，有时不一致；有的将铅和锌 的指标结合起来使用，即单个样品中只要其中一个组 分（铅或锌）达到了边界品位要求时就可圈入矿体， 单项工程中平均品位只要一个组分（铅或锌）达到了 最低工业品位要求时就圈为表内矿，或者铅和锌两者 都达到了最低工业品位要求时才能圈为表内矿等。这 种采用铅和锌单独指标的方法，对于铅和锌品位均比 较低，单项工程平均品位均低于最低工业品位要求， 但高于边界品位，矿石通过选矿试验证明又可以得到 合格精矿产品的那些矿体，也列为表外矿，这就没有 达到综合评价的目的。

正确地评价铅锌矿床的工业价值，在制定工业指 标时需要有二套指标，即铅、锌同时存在时铅和锌各 自的边界品位及最低工业品位；只有铅存在，而锌不 存在或者品位很低时单铅的边界品位和最低工业品 位；只有锌存在，铅不存在或者品位很低时单锌的边 界品位和最低工业品位。这三套指标的开采厚度和夹 石剔除厚度相同。这样，圈定出来的矿体便有 三 种——铅锌矿体、铅矿体和锌矿体。如果主要有用组 分更多，整个矿床中的矿体就更多，更乱，结构非常 复杂，储量计算繁琐，而一般又不能分采分选，并无 实用价值。

为了解决上述工业指标中存在的缺陷，目前许多 人都主张采用综合工业指标。这种指标最适宜于有 多种组分密切共生、不能分采分选的有色金属矿床中 使用，它是根据矿床中所有主要有用组分（也可能包 括个别的伴生有用组分）地质品位的含量来制定的， 作为评价矿床工业价值，圈定综合矿体和计算储量的 标准。由于不同组分的经济价值不同，故“品位含 量”不能用所有主要有用组分的地质品位直接相加求 得，用什么方法求得“品位含量”比较合适，目前很 多人都在探讨。笔者认为，对矿山企业来说，应能体 现采选一吨矿石，用“品位含量”计算的总产值，与 用各组分分别计算的产值之和相等或相近为原则，即 按照等值的原则将所有主要有用组分的地质品位折算 成一种主要有用组分的地质品位，然后相加求得。这 就叫做等值法。首先必须在所有主要有用组分中选 择其中一种为基准组分，其余则为折算组分，其

公式为:

$$\alpha_{\text{折}} = \alpha_{\text{基}} + \sum K \cdot \alpha_{\text{折}}$$

$$K = \frac{\frac{\epsilon_{\text{折}} \cdot u_{\text{折}}}{\beta_{\text{折}}} + \frac{\epsilon_{\text{基}} \cdot u_{\text{基}}}{\beta_{\text{基}}}}{\frac{\epsilon_{\text{折}} \cdot u_{\text{折}} \cdot \beta_{\text{基}}}{\epsilon_{\text{基}} \cdot u_{\text{基}} \cdot \beta_{\text{折}}}}$$

式中: $\alpha_{\text{基}}$ —以基准组分表示的所有主要有用组分地质品位的含量(‰);

$\alpha_{\text{折}}$ —折算组分地质品位(‰);

$\alpha_{\text{折}}$ —折算组分地质品位(‰);

K —地质品位折算系数(折算组分对基准组分的经济价值比);

$\epsilon_{\text{基}}$ 、 $\epsilon_{\text{折}}$ —基准组分、折算组分选矿回收率(‰);

$u_{\text{基}}$ 、 $u_{\text{折}}$ —基准组分、折算组分精矿价格(元/吨);

$\beta_{\text{基}}$ 、 $\beta_{\text{折}}$ —基准组分、折算组分精矿品位(‰);

利用上述公式求得以基准组分表示的地质品位含量后,便可将有多种主要有用组分共生的矿床视为单一组分的矿床,然后采用通常的方法确定其边界品位、最低工业品位、最低可采厚度和夹石剔除厚度等。如江西某钨锡矿床,WO₃的平均品位为0.171‰,Sn为0.121‰。七十年代初期通过技术经济比较,WO₃的不赔不赚品位为0.21‰,Sn为0.4‰。因此单用钨矿或单用锡矿来衡量,其矿床均无工业价值。但用两者的“品位含量”来衡量情况就不一样了。该钨锡矿的技术经济指标见下表:

有用组分	地质品位(‰)	采矿贫化率(‰)	选矿回收率(‰)	精矿品位(‰)	精矿价格(元/吨)	备注
WO ₃	0.171	5	75	65	7000	精矿价格为1970年不变价格
Sn	0.121	5	63	50	3350	

以WO₃为基准组分,Sn为折算组分,则

$$K = \frac{63‰ \times 3350 \times 65‰}{75‰ \times 7000 \times 50‰} = 0.52$$

$$\alpha_{\text{折}} = 0.171‰ + 0.52 \times 0.121‰ = 0.234‰$$

采选一吨矿石的总产值,用WO₃和Sn分别计算时为:

$$WO_3 = 0.171‰ \times (1 - 5‰) \times 75‰ \times 7000 +$$

$$65‰ = 13.12 \text{ 元/吨}$$

$$Sn = 0.121‰ \times (1 - 5‰) \times 63‰ \times 3350$$

$$+ 50‰ = 4.85 \text{ 元/吨}$$

$$WO_3 + Sn = 13.12 + 4.85 = 17.97 \text{ 元/吨}$$

用“品位含量”WO₃ = 0.234‰,计算时为:

$$0.234‰ \times (1 - 5‰) \times 75‰ \times 7000 + 65‰ \times 7000 = 17.96 \text{ 元/吨}$$

可见两者的总产值基本相等,说明用上述方法求得的“品位含量”能正确地、全面地评价矿床的工业价值。由于0.234‰大于0.21‰(WO₃的不赔不赚品位),故该矿床具有工业价值。最后通过“价格法”将该矿床的工业指标定为:边界品位(WO₃ + 0.52Sn)0.13‰,最低工业品位(WO₃ + 0.52Sn)0.17‰,可采厚度2米,夹石剔除厚度3米。用同样方法确定综合工业指标的还有:福建某钨钼矿床,边界品位(WO₃ + 0.56Mo)0.10‰,最低工业品位(WO₃ + 0.56Mo)0.15‰;广西某钨锡矿床,边界品位(WO₃ + 0.69Sn)0.08‰,最低工业品位(WO₃ + 0.69Sn)0.12‰;江西某铜硫矿床,边界品位(Cu + 0.016S)0.3‰,最低工业品位(Cu + 0.016S)0.5‰等等。以上矿床有的正在开采,有的正在建设中。

采用综合工业指标圈定的矿体,为包含了多种有用组分的综合矿体,符合地质规律,达到了综合评价的目的;矿体完整,结构简单,储量计算方便;有利于开采,有利于矿产资源的综合利用。但综合工业指标并不是矿床中所有的有用组分都能使用的,一般来说只对密切共生、不能分采分选的主要有用组分适用,而伴生有用组分必须具备一定的条件才能使用。具体地说,不论是主要有用组分,还是伴生有用组分,在使用综合工业指标时都必须具备如下条件:

(一) 基准组分必须是品位最高、储量最大、分布比其他有用组分更普遍、更均匀的主要有用组分;

(二) 参加折算的各种有用组分必须与基准组分密切共生,适宜于混采、混选;

(三) 参加折算的各种有用组分必须普遍存在,分布比较均匀,具有一定的储量,并有完整的基本分析资料;

(四) 参加折算的各种有用组分必须经过有代表性的选矿试验,用混采、混选的方式能从矿石中得到

各自单独的合格精矿产品。

四、伴生有用组分的经济评价及品位要求

矿床(石)中的伴生有用组分,由于受到条件的限制,一般不宜使用综合工业指标进行直接的经济评价,而只能采用间接的方法。如有些呈单矿物存在的伴生有用组分,在主要有用组分的选矿过程中分散到尾矿或细泥中,需用专门的选矿方法进行再选回收,但回收这类组分不需要经过采矿和选矿的破碎过程,因而可以用分摊这部分成本的办法来降低主要有用组分的生产成本。呈分散状态存在的伴生有用组分,在选矿过程中如果在主要有用组分的精矿产品中得到富集,在冶炼过程中又能顺便单独提炼出来,则可以根据国家的规定来提高主要有用组分精矿产品的价格,也可以用分摊冶炼加工费用的办法,来降低主要有用组分的生产成本。总之,所谓间接经济评价,就是根据伴生有用组分的回收情况,所获得的经济效益,来提高矿床的工业价值,降低主要有用组分的工业要求。当然,如果某种伴生有用组分具备使用综合工业指标的各项条件,也可以将其折算成主要有用组分,使用综合工业指标进行评价。

目前我国从有色金属矿床中综合回收的伴生有用组分,大部分是在精矿产品和冶炼产物中提取的,特别是金、银和稀有,分散元素更是如此。只有那些呈单矿物存在,在矿石中的品位又比较高时,才能在选矿过程中回收,得到合格的精矿产品。因此,对伴生有用组分的品位要求,应主要考虑在主要有用组分的精矿产品中的品位要求。如金和银在铜精矿、铅精矿中的品位不小于1克/吨和20克/吨时便可在冶炼的电解阳极泥中回收,并从该品位开始计价(冶金工业部1980年规定),以提高其精矿产品的价值;镉在锌精矿中的品位不小于0.2%时便可在冶炼的烟尘中回收;铟在铅精矿、锌精矿中的品位不小于0.01%时便可在冶炼渣中回收等等。但是,由于同一种伴生有用

组分在矿种相同的各个矿床中的赋存情况不一样,造成在主要有用组分的精矿产品中的富集程度极不相同,波动范围很大。因此反过来对其在矿石中的品位(原矿品位)应达到多高才能回收利用,便很难提出一个统一的要求。这就是说,有的矿床虽然伴生组分的品位比较高,但在选矿产物中得不到富集,致使在选矿和冶炼过程中均无法回收;而有的矿床伴生组分的品位比较低,却在选矿产物中能够富集,在选矿或者冶炼过程中可以顺便回收。因此对矿床中伴生有用组分的品位要求一般不应作严格的规定,只要通过试验确能顺便回收,在经济上又合算时,便可按实有品位计算储量。

五、储量计算方法

使用综合工业指标圈定矿体的矿床,由于基准组分和折算组分均有系统的基本分析资料,储量计算时可以采用综合矿体的矿石量乘以各自的实际平均地质品位求得各自的金属量。

伴生有用组分的储量计算方法主要有两种:第一种是以主要有用组分的矿石量乘以伴生有用组分的平均品位求得,其平均品位一般是通过组合分析方法确定。第二种是以有用组分的精矿量,乘以伴生有用组分在精矿中的平均品位求得,其精矿量由矿石量折算而成。前者主要用于呈单矿物存在,在选矿过程中能获得合格精矿产品的伴生有用组分。后者用于呈分散状态存在,在选矿过程中无法分离,但能在其他有用组分的精矿产品中富集的伴生有用组分。笔者认为,无论是呈单矿物存在的伴生有用组分,还是呈分散状态存在的伴生有用组分,均采用第一种方法比较合适,有利于促使选矿工艺流程的改进,提高伴生有用组分的回收率或在有用组分精矿中的富集程度。但应根据伴生有用组分的分布情况分矿段(地段)、分矿体、分矿石类型等计算储量。

资源评价·找矿勘探

(上接第20页)

以及“动态品位指标”等问题。七十年代以后,又对矿产资源分析、矿山建设可行性研究、经济责任制、提高地质勘探工作经济效益的途径等问题开展了研究。尽管我们力量薄弱,水平较低,但

只要能够从实际出发,突出重点,作好规划,组织广大冶金地质、矿山、研究设计院所、大专院校的地质工作者和经济管理工作,团结协作,共同奋斗,大力开展地质经济研究,并将研究成果应

用到找矿勘探工作中去,必将为提高冶金地质工作的经济效益,开创冶金地质工作的新局面,作出应有的贡献。