

关于露采斑岩铜矿床的勘探

蒋志民 程志刚

在国外，铜矿资源大多是露天开采的。例如，美国露天开采的铜矿占总产量的89%。而且，斑岩铜矿几乎全是露天开采的。我国解放以来，各种类型的矿种露天开采的矿山也在不断增多。露天矿不仅矿石的采出率高，贫化率低，生产安全，采矿成本低，而且可以采用现代化设备扩大生产规模，能提供数量多、质量好的矿物原料。

露采矿山和坑采矿山的勘探和研究虽有共同的地方（例如，矿石的物质成分和可选性能方面的研究），但是，在矿床的控制程度和高级储量的分布方面，则有所不同。因此，对于露天开采的矿床如何进行勘探的问题是值得探讨的。我们根据某斑岩铜矿勘探和开采的经验教训，谈几点认识。

态比较复杂。

这个矿床是五十年代末和六十年代初勘探的。当时的勘探工作大体上是参照苏联的勘探理论和方法进行的，而苏联的勘探理论和方法是在三十和四十年代形成的。那时，苏联大部分是坑下矿。所以，他们的经验来自坑下矿，很少涉及露天矿的特殊性。正是由于未考虑矿床的开采方式，勘探工作往往事倍功半，到头来还得补充勘探。某斑岩铜矿的例子就充分说明了这点。当时，勘探部门仅根据矿体形态、规模及品位变化等地质特征，按照苏联的办法，将该矿床划为第二探勘类型。采用规则的网度，在整个矿化地段（包括中部的无矿核心）布置了钻孔（图1）。

一 某斑岩铜矿地质条件及勘探工作简介

该区广泛出露的岩层以千枚岩和凝灰质千枚岩为主，夹有厚度不大的震旦界双桥山群变质凝灰岩。这里岩浆活动频繁。与铜铅矿床有成因联系的是燕山早期花岗闪长斑岩，岩体走向为北西—南东，与围岩呈侵入接触关系。以接触带为中心，热液蚀变的内外两侧由强变弱，大致呈强、中、弱的对称分带。有工业价值的主矿体产于花岗闪长斑岩的南北两侧，称为I-1和I-2矿体。前者为主矿体，形态比较简单，厚度和品位的变化都不大。但是，由于蚀变，矿化是多期多阶段叠加的，加上同一期内蚀变和矿化的作用不均衡，致使矿体边部形

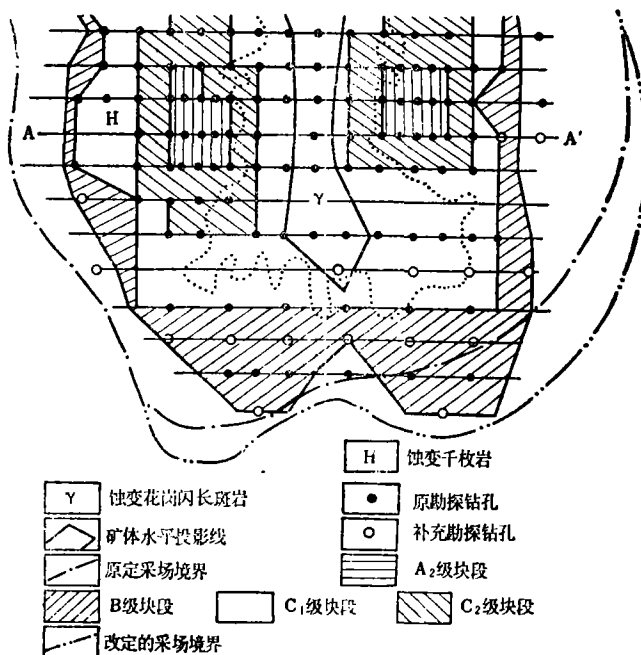


图1

求各级储量的钻孔网度是：

	沿走向(米)	垂直走向(米)
A ₂	100	50
B	100	100
C ₁	200	100
C ₂	200	200

勘探结果，获得A₂级储量约6%，B级约41%，C₁级约40%，C₂级约12%。高级储量(A₂+B)多达总储量的一半，而且都分布在矿体中部。远景储量则构成了矿体边缘的C₂级环带。

二 矿山的开采实践

该矿剥采比较小，平均约2~3，适合

露采。六十年代初，由于缺少大型露天采矿设备，暂时在I-2矿体中部125米标高以上进行坑采。开采地段有A₂、B和C₁级矿块。结果表明，这部分矿量误差很小。

70年代初，该矿开始对I-1矿体进行露采。开采结果表明，原有储量只能说基本上是可靠的。但在矿体的边缘，虽然勘探网度很密，原有储量(包括A₂级储量)与开采所得仍然相差很大(表1)。

由此可见，勘探工程的密度是控制矿体的重要因素，但不是决定性因素，因为问题还涉及矿体的复杂程度和它所处的位置：同一矿体不同部位的复杂程度是不一样的。

露天开采地段(293米台阶)地质储量与采出储量对比表

表1

位 置	级 别	矿 石 量(万吨)		金 属 量(吨)		相对误差(%)		备 注
		地质储量	采出矿量	地质储量	采出矿量	矿 石 量	金 属 量	
2 线	A ₂	26.9	34.4	1733	2115	-218	-18.0	矿 体 边 部
2~8 线	B	601.6	620.5	25253	37532	-3.0	-6.1	矿 体 中 部
8 线东	B	85.7	133.4	5117	8240	-35.7	-37.9	矿 体 边 部
2~8 线	C ₁	155.4	224.1	9234	13829	-30.6	-33.2	矿 体 边 部 (由B级外推)

三 露采矿体边界的控制程度

露天矿的一个重要问题，是确定采场的最终境界。由于这一最终境界是根据矿体的空间形态(特别是矿体边缘和底部的形态)确定的，所以查明矿体边缘和底部的形态，搞清这些部位的构造，是非常关键的。有人认为，“探边摸底”只是矿山生产勘探的事，这是不全面的。如果在坑下矿，“探边摸底”可以由矿山去完成。而在露天矿，与采场境界有关的“探边摸底”必须在勘探阶段搞清，特别在首先开采的部位更是如此。否则，就不能合理确定采场的最终境界。如果勉强确定了，有时会过多剥离废石，有时又会积压矿量或被迫二次扩帮。某斑岩铜矿(图1)第一次达到的勘探程度对坑采来说是很高的，但由于大部分钻孔集中

在矿体中部，矿体边缘的控制程度较差。在露天采场扩建之前，设计和生产部门仍然提出了对该矿边缘应进行补充勘探。补充勘探结果，使该矿北西和南东边缘的开采境界有较大变动(图1、2)，即南东边缘的山坡必须在下降五个台阶后再扩帮60~70米，使基建和生产都遇到许多困难。

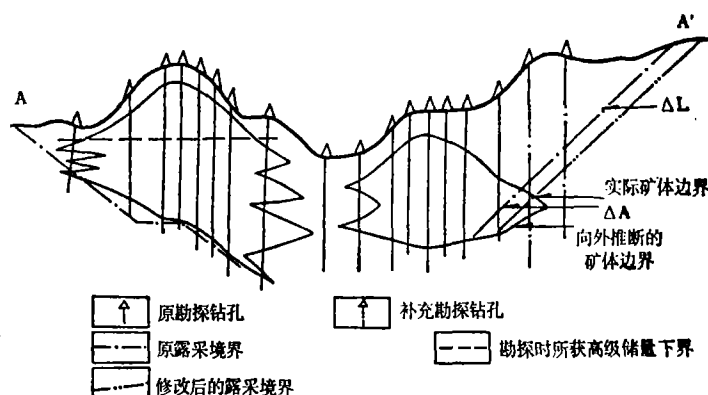


图2 AA'剖面图

我们认为，露采矿体中部的勘探程度不必过高，只要求得设计储量（C₁级）即可，应当把更多工程用来查明矿体边缘的形态。也就是说，要适当降低中部的控制程度和提高其边缘的控制程度。必须明确：无限外推

的矿体边界是不能作为设计依据的。在边坡方向上，只要围岩的厚度与矿体厚度之比（即图2中的 $\Delta L/\Delta A$ ）不大于境界剥采比 h/m ，就应继续向外布孔。境界剥采比可按下式求得：

$$h/m = \frac{[W \cdot C_n(1-\epsilon)(1-\rho) - (a+b+c+d)]}{D} \dots\dots\dots (1)$$

式中 h 是边坡方向上围岩的厚度（米）， m 是边坡方向上的矿体厚度（米）， W 是精矿中每吨金属的极限成本（元/吨）。 C_n 是各境界线上厚度为 m 的矿体平均品位（%）， ϵ 是选矿回收率（%）， ρ 是开采贫化率（%）， a 是采矿费用（元/吨，不包括剥离费用），

b 是矿石的内部运输费用（元/吨）， c 是选矿费用（元/吨）， d 是企业管理费、大修基金和设备更新等费用（元/吨）， D 是剥离费用（元/吨）。

如选厂与冶炼厂相距很远，可采用下式：

$$\frac{h}{m} = \frac{[W \cdot C_n(1-\epsilon)(1-\rho)(1-f) - (a+b+c+d+F)]}{D} \dots\dots\dots (2)$$

式中 f 是精矿在运输途中的损失率（%）， F 是每吨矿石中含精矿量的运输费用（元），其余同（1）式。

品位只要符合下式要求就可以圈为表内矿：

$$C \geq \frac{D+E-Q}{\Pi\epsilon(1-\gamma)(1-\rho)} \dots\dots\dots (3)$$

矿体的控制深度，必须与采场的深度相适应。在目前的技术条件下，只要开采深部矿体时剥采比不大于境界剥采比，而且采场平均剥采比不大于经济合理剥采比，就可以加大开采深度。美国最大的宾汉姆铜矿坑深已达805米。但是，最底部矿体的水平宽度应不小于露天采场一个全沟的宽度。

式中 C 是表外矿品位下限（%）， Π 是精矿中含每吨铜金属的核算价格（元/吨）， ϵ 是选矿回收率（%）， γ 是采矿贫化率（%）， ρ 是精矿在运输过程中的损失率（%）， D 是选矿费用（元/吨）， E 是每吨矿石所含精矿量的运费（元）， Q 是一个台阶中的表外矿若作废石处理时该台阶每吨表内矿所增加的剥离费用（元/吨，此项不适用于最底部的那个台阶）。

四 采场内的矿体圈定

由于露天矿开采手段比坑下矿大得多，所针对坑下矿规定的矿体最小可采厚度和夹石剔除厚度都不适用于露天矿。露天矿矿体的“最小可采厚度”无非是设计中的“开采台阶高度”，“夹石剔除厚度”则应根据电铲在铲装过程中的剔除能力来确定。

露天采场内的“表外矿”，大部分是可以利用的，因为这里的废石和矿石，都是矿山采剥总量的一部分，都必须采掘出来。其中选矿性能与表内矿相似的“表外矿”运往选厂后，虽然选矿费高一些，但由于不必增加勘探、剥离和采矿费用，因而可能具有经济价值。露天采场内当然不是所有的“表外矿”都能利用，所以必须找出一个合理的品位指标。我们认为，露天采场境界内的矿石

五 水文地质和工程地质工作

露采矿山采至凹陷露天时，特别是采至当地侵蚀基准面以下时，水文地质工作与坑下矿山一样，是十分重要的。此时，也要查明矿区充水因素，地下水补给来源，径流和排泄条件，矿区含水层和隔水层确定的依据，各含水层的岩性、厚度、产状、分布、埋藏条件、裂隙、岩溶发育程度、渗透系数、水头高度、水质和水温、水量动态变化，各含水层的水力联系，隔水层的岩性、厚度、产状、分布、稳定性和隔水性，矿区地表水体的分布及其与地下水的水力联系和对开采工作的影响。需要注意对矿体底板承压含水层及隔水层的研究。对断层、溶洞的

含水性、导水性也要进行评价。根据露天矿开采方案需预计采场下降到每一水平时的涌水量。开采水平在当地侵蚀基准面以上时,地表水和地下水均可用水沟排出。当采至侵蚀基准面以下时,自然降雨量将全部进入采坑。所以,除需了解当地历年降雨量和最高洪水位外,还要了解历年最大日降雨量(甚至几小时内的最大降雨量)。

矿区工程地质勘探的主要任务是研究开采技术条件,其中包括查明与边坡稳定性有关的岩石力学性质,例如,对矿山边坡可能有严重影响的断层、滑坡、岩溶塌陷。尤其需要查明与边坡倾斜方向相近、倾角等于或小于边坡的断裂构造或小断裂群。在某斑岩铜矿,走向北北东和北东、倾向北西西和北西的新华夏系和华夏系构造断裂对采场东南部边坡的破坏作用最为明显。

六 高级储量的位置

露天采矿场是由地表一层一层往深部剥采的,所以,高级储量也应在矿体上部(图2中为水平虚线以上),以满足矿山初期三、五年采剥活动的需要,为回采工作提前做好准备。为此,就要查明上覆岩层的厚度,准确预计投产时间和生产规模。所以,露天矿高级储量的百分比可小于坑下矿,但设计储量(工业储量)所占比例应比坑下矿大。一般来说,露天矿区设计储量应占总储量的90~95%。

七 如何确定开采方式

矿区勘探是直接为矿山开采服务的,因此,只有了解开采方式,才能做到“对症下药”。根据初步勘探阶段所获得的地质资料,是可以判断采用什么方式(即露天开采还是坑下开采)更合理。知道了矿区可能的开采方式,就可以在详细勘探阶段更合理地布置勘探工程并收集必要的地质资料。

如何判断一个矿区的开采方式呢?简单地说,就是用境界剥采比(4式)所圈定的开采范围的平均剥采比如不大于经济合理剥采比,用露天开采就是合理的。否则,只能用坑下开采或缩小露天范围。

关于经济合理剥采比的计算,目前有三

种方法:①矿石成本法;②最终产品成本法;③总经济效果法。由于矿石成本法没有考虑露采和坑采有不同的矿石贫化率和损失率及其对经济合理剥采比的影响,而最终产品成本法则没有考虑露天开采和坑下开采时不同的开采损失率对经济合理剥采比的影响,所以本文只介绍总经济效果法,它是以露采和坑采每吨矿量所获最终产品的盈利相等作为计算经济合理剥采比的理论基础的,其计算公式为:

$$n_j = \frac{C'(E_1 \varepsilon_1 d_1 - E_d \varepsilon_d d_d)}{BD} \dots\dots (4)$$

式中 n_j 是经济合理剥采比, C' 是露采矿体平均品位(%), B 是最终产品有用成分含量(%), D 是露天矿剥离费用(元/吨), E_1 和 E_d 分别是露采和坑采时矿石中有用成分的采矿实际回收率(%)。

$$E_1 = n_1 (1 - \rho_1)$$

$$E_d = n_d (1 - \rho_d)$$

n_1 和 n_d 分别是露采和坑采时矿石的实际回收率(%), ρ_1 和 ρ_d 分别是露采和坑采时矿石的视在贫化率(%), ε_1 和 ε_d 分别是露采和坑采时矿石中有用成分的选冶总回收率(%)。

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{1x} \varepsilon_{1y}$$

$$\varepsilon_d = \varepsilon_{dx} \varepsilon_{dy}$$

ε_{1x} 和 ε_{dx} 分别是露采和坑采时矿石的选矿回收率(%), ε_{1y} 和 ε_{dy} 分别是露天矿和坑下矿矿石有用成分的冶炼回收率(%), d_1 和 d_d 分别是露采和坑采矿石加工后得出最终产品的盈利(元/吨)。

$$d_1 = P_1 - C_1$$

$$d_d = P_d - C_d$$

P_1 和 P_d 分别是露天矿和坑下矿最终产品的调拨价格(元/吨), C_1 和 C_d 分别是由露天矿和坑下矿采出矿石所得每吨最终产品的成本(露采矿石成本中不包括剥岩费)。

最终产品取金属还是取精矿,将得出不同的经济合理剥采比。在一般情况下,以取精矿为宜。对急需矿种来说,也可以取金属。

在初勘工作的基础上,如能由地质部门和矿山设计、开采部门共同研究,就能较好地预计矿区今后的开采方式,并有助于做好地质勘探工作。