

金属矿石形成特点、组合类型及其与选矿的关系讲座

第七讲：多金属矿石

卧石

多金属矿石是有色金属矿石中重要而复杂的矿石类型之一。矿石中除铅、锌外，还常含有铜、黄铁矿以及其他有工业价值的伴生元素，如金、银、镉、铟等；有时亦有铋、砷、锡、镓、锗、硒、碲等。此外，还有一定量可利用的非金属矿物，如萤石、重晶石等。这类矿石形成的地质条件，从接触交代、气化高温热液、中低温热液、火山气液，直到沉积变质，热液改造各种成矿作用均可。因此，往往形成组分复杂，结构构造多变，伴生元素繁简不一的矿石。

根据矿石组分、结构构造，伴生元素特点拟制合适的选矿流程，提高精矿质量，降低有用组分的损失，是多金属矿石原料研究中的一个重要课题。

我国多金属矿石储量丰富，对这种矿石的利用有悠久历史。如个旧、会泽、水口山、黄沙坪、德兴等地，早在公元700年至1200年即已有大规模炼银，迄今留下了很多开采老窿，堆积如山的废石和炉渣。由于那时生产水平低下，选冶技术很差，有些古炼渣和废石堆含铅、锌可达1~4%；而从现代工业技术条件来看，它们仍是可利用的矿石，至于其中所含分散元素的综合利用，则更不待言。

加强对多金属矿石工艺性质的查定与研究，不仅有助于合理选冶流程的制定，提高主金属的回收率，而且对伴生组分的综合利

用也极有价值，可使伴生组分变害为利，变废为害，一矿变多矿。下面主要介绍三个问题。

一 多金属矿石工艺性质研究的主要问题

多金属矿石可选性的好坏，回收率的高低以及综合利用的程度，概括起来与以下方面的因素有关。

1. 矿物组分 多金属矿石中主要为铅锌硫化物，如方铅矿、闪锌矿，同时伴有相当量的铁、铜硫化物，如黄铁矿、黄铜矿，还常见少量硫盐矿物，如脆硫锑铅矿、硫砷铜矿等。多金属矿石氧化后，特别是矿床上部的氧化带中可形成氧化铅锌矿石，主要成分为白铅矿、铅矾、钒氯铅矿、磷氯铅矿、菱锌矿、异极矿等。相当多的多金属矿石中含有辉银矿、自然银等银矿物。我国铅锌矿床中所发现的主要铅、锌、银矿物及其性质列如表1。

表1所列矿物并非在同一矿石中同时出现，随成矿条件之不同，其组成矿物种类，含量也有变化。我国的一些主要多金属矿床中，单纯的铅矿石或锌矿石极为少见。迄今为止，仅在个别地区发现较纯的矿床，前者如山东白石岭铅矿，含铅2.77%，锌0.25%，

表 1

矿 物	化 学 成 分	主金属含量, %	比 重	硬 度
铅 矿 物				
方 铅 矿	PbS	86.6	7.4~7.6	2~8
脆硫锑铅矿	5PbS ₃ ·Sb ₂ S ₃	50.8	5.5~6	2~3
白 铅 矿	PbCO ₃	83.5	6.4~6.6	3~3.5
铅 矾	PbSO ₄	73.6	6.1~6.4	2.5~3
钒 钼 铅 矿	3V ₂ O ₅ Pb ₃ PbCl ₂	70.94	7.0	3
磷 钼 铅 矿	3F ₂ O ₅ Pb ₃ PbCl ₂	74.3	6.7~7.1	3.5~4
铅 铁 矾	PbFe ₅ (OH) ₁₂ (SO ₄) ₄	18.3	3.65	3.5~4
铬 酸 铅 矿	PbCrO ₄	64.0	5.9~6.1	2.5~3
砷 酸 铅 矿	3As ₂ O ₅ Pb ₃ PbCl ₂	67.4	7.0~7.2	3.5
彩 钼 铅 矿	PbMoO ₄	60.7	6.3~6.0	3
正方氯铅矿	PbCl ₂ ·PbO	82.6	7.21	2.5~3
砷 酸 铅 矿	(PbCl)Pb ₄ (AsO ₄) ₃	69.66	7.0~7.3	3.5
锌 矿 物				
闪 锌 矿	ZnS	67.06	3.5~4.2	3~4
纤 锌 矿	ZnS	67.06	3.9~4	3.5~4
菱 锌 矿	ZnCO ₃	64.8	4.1~4.5	5
水 锌 矿	2ZnCO ₃ ·3Zn(OH) ₂	75.24	3.6~3.8	2~2.5
异 极 矿	(ZnOH) ₂ SiO ₃	67.5	3.4~3.5	4.5~5
硅 锌 矿	ZnSiO ₄	59.5	3.9~4.3	5~6
红 锌 矿	ZnO	80.3	5.4~5.7	4~4.5
银 矿 物				
辉 银 矿	Ag ₂ S	87.1	7.2~7.4	2~3
自 然 银	Ag	100	10~11	2~3
硫 锑 银 矿	3Ag ₂ S·Sb ₂ S ₃	59.9	5.8	2~3
硫 砷 银 矿	3Ag ₂ S·As ₂ S ₃	65.4	5.6	2~3

后者如河北大湾锌矿,含锌12.82%,铅1.4%,但储量规模均不大。绝大多数多金属矿床矿石成分复杂,不能用单一方法选矿。一般对硫化矿石常先用混合选矿法选出铜铅锌混合精矿,然后再将其分离。这样,矿石中矿物组分越多,流程也越复杂,矿物间的相互影响也越大。岩矿石中含铜较多,而又不将铜矿物单独选出,势必影响铅锌精矿质量。东北W矿区含铜与不含铜矿石的选矿效果见表2。

由表2可见,尽管含铜多金属矿石中铅锌品位比不含铜者高,但选矿后铅精矿、锌精矿品位及回收率都不如不含铜者。原因是铜矿物在选矿中形成许多可溶性含铜盐类(如硫酸铜),而影响铅、锌矿物的浮选性;

在含黄铁矿较多的多金属矿石中,铜矿物常沿黄铁矿颗粒表面氧化,交代黄铁矿,形成次生辉铜矿薄膜,使混合精矿中黄铁矿大量掺入而得不到抑制,同样影响选矿效果。

表 2

矿石类型	产品 名称	品 位, %		回 收 率, %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
含铜多金属 矿 石	铅精矿	63.47	8.82	88.13	4.45
	锌精矿	1.20	53.45	5.38	87.08
	原 矿	1.33	3.66	100	100
不含铜多金 属 矿 石	铅精矿	71.53	6.4	94.28	—
	锌精矿	0.94	53.97	—	33.54
	原 矿	1.05	2.54	100	100

2. 矿石结构、粒度及其分布情况 矿石的结构复杂,特别是各种硫化物嵌布紧密,颗粒很细,也是降低选矿效果的一个主要原因。在多金属矿石中,常见闪锌矿颗粒中有黄铜矿呈乳浊状结构、溶蚀交代结构、残余结构、骸晶结构,铅锌硫化物与黄铁矿之间也有各种复杂交代结构及脉状穿插切割构造。如广东F矿区铅锌矿石中,方铅矿、闪锌矿、黄铁矿之间紧密共生,呈极细颗粒(0.03~0.16毫米,平均0.75毫米)不均匀嵌布,造成破碎、分离上的困难,使铅损失于锌精矿、黄铁矿精矿或尾矿中。由于方铅矿解理发育,脆性较强,对细粒未解离的方铅矿、闪锌矿连生体或方铅矿、黄铁矿连生体,采取中矿再磨后,部分方铅矿单体遭到过磨,产生泥化,因而损失于尾矿中。所以磨矿程度和选矿流程的选择、确定,必须最大限度地适应矿石结构、粒度与分布的特点。

3. 脉石矿物中片状矿物的掺入 这一点在“铜矿石”一讲中已经谈过,在多金属矿石中同样是影响选矿回收率和精矿质量的原因之一。常见的片状矿物如绿泥石、绢云母、滑石以及石膏、炭质页岩、褐铁矿等杂质,对浮选剂及抑制剂都有明显的不利影响。如西南H矿区,矿石破碎剧烈,地下水渗入,褐铁矿发育,泥质等杂质较多,青海某矿区矿石中含大量可溶性石膏,使浮选作业控制困难,浮选药剂用量过多,选别质量不高,很不经济。

4. 氧化程度 我国西北、西南和南部的许多多金属矿区氧化带都很发育。多金属矿石的氧化率有的高达95%。许多矿区的铅锌氧化矿物都与氧化铁矿物(针铁矿、水针铁矿、黄钾铁矾等)密切共生,这就严重影响了氧化铅锌矿的选别效果。即使磨矿很细也难以除掉氢氧化铁的影响,有的氢氧化铁渗入到氧化铅锌矿物晶格之内,使矿物晶体遭到破坏,造成其浮选性能减弱,而损失于尾矿中。由于这些原因,多金属氧化矿石一般均为难选矿石。但是,矿物成分不同,选矿效果也不尽相同;如铅的氧化物主要为白铅矿、铅矾,锌的氧化物以菱锌矿、异极矿为主时,选矿效果较好;反之,如为铅铁矾、氯铅矿时,则选矿效果极差,成为难选矿石。

5. 伴生有用组分和稀有分散元素 多金属矿石中的伴生有用组分,特别是稀有分散元素,常以两种方式产出:①呈单矿物或固体包果物。如黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、硫镉矿等常与主要矿石矿物方铅矿、闪锌矿共生,并具独立的物理性质。这些矿物往往可以单独选出精矿。②呈类质同象混入物产于主矿物中,如铟、锗、镓、镉、硒、碲等。铟离子(In^{3+})与锌离子(Zn^{2+})半径近似,常可互相置换呈类质同象产于闪锌矿中。这些分散元素主要通过冶炼过程在残渣或烟尘中回收。例如,铟和锗主要富集于锌精矿中,可从锌精矿电解后的残渣或炼锌以后的废料中回收。镉也有类似的情况,如青海小铁山、水口山的锌精矿中含镉均在0.2%以上,亦可在电解后的铜镉渣中回收。至于锡、银、铋、锑主要以微粒固态包果物出现。如锡以锡石单矿物出现时,可通过重选回收。银常被选入铅精矿中,也在冶炼中回收,铋常与银共生,一起进入铅精矿,一般从冶炼烟尘中回收,锑在多金属矿石中较少见,大厂、德兴的铅精矿中有锑混入,可在铅精矿冶炼时回收。

在进行多金属矿石质量评价时,对上述伴生组分不仅要查明其赋存状态、与主矿物的关系、含量,而且要查明在选矿中进入精矿的情况,藉以达到有效地回收和综合利用。

二 多金属矿石工艺特征及其与选矿的关系举例

为了说明多金属矿石工艺特征与选矿之间的密切联系,现举我国几个矿区实例加以说明。

1. 东北W多金属矿区 该区以铜铅锌矿石为主,产于闪长岩与碳酸盐类岩石接触带上。矿石中主要金属矿物为闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、磁黄铁矿等,脉石矿物主要为石榴石、透辉石、绿帘石、阳起石、石英、方解石等。闪锌矿与方铅矿紧密共生,方铅矿多被闪锌矿包果,有的沿闪锌矿边缘或孔隙交代。黄铜矿嵌布情况较复杂,除呈乳浊状均匀分布于闪锌矿中者外,尚可见交代方

铅矿者。黄铜矿与磁黄铁矿、磁铁矿关系也很密切,并被这两种矿物包裹。矿物粒度很不均一,0.03~2毫米都有,以0.07毫米者为主。按-0.074毫米磨矿后,根据矿石以硫化物为主这一特点,先用全浮选,得铜铅锌混合精矿,再行分离。对铅锌分离主要用氰化钾和硫酸锌抑制铅,对铜铅分离用重铬酸钾抑制铅,其选别结果见表3。

表 3

产 品	品位, %			回收率, %		
	Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
铜 精 矿	30.51	1.27	3.59	53.01	0.43	0.44
铅 精 矿	1.53	63.47	8.82	11.01	88.13	4.45
锌 精 矿	0.859	1.20	53.45	19.92	5.38	87.08
尾 矿	0.044	0.066	0.32	16.06	6.06	8.03
原 矿	0.257	1.33	3.66	100.0	100.0	100.0

由表3可见,铅锌精矿品位很高,但回收率不太高,特别是铜回收率很低。经检查,主要原因与磨矿细度有关。尽管原矿粒度大部分在0.07毫米,但嵌镶连生情况复杂,磨矿至-0.074毫米占40%以后,单体解离率仅有48%,仍嫌过粗,致使相当多的铜连生体进入尾矿而损失。同时,铅锌分离时,一部分铅锌连生体由于硫酸铜的活化,必须使用氧化物抑制,同样也抑制黄铜矿。为了照顾铜不被抑制,不得不减少氰化物用量,又造成大量闪锌矿进入铅精矿中。在铅锌矿连生体较多的情况下,部分闪锌矿因与

方铅矿连生保护,使锌不被抑制而浮选到铅精矿中去。同样,由于闪锌矿的连生保护,使用硫酸铜活化闪锌矿时,铅又被浮出,进入锌精矿中。因此,增强磨矿细度,提高硫化矿物的单体解离率,乃是提高精矿质量和回收率的一个关键。

2. 西北某多金属矿区 该区主要为块状及浸染状黄铁矿、铅锌矿多金属矿石。矿体呈层状、似层状产于中粒变质流纹—英安质凝灰岩中,规模巨大。矿石中有用组分除铅锌外,尚含铜、硫化铁,并伴有金、银、硒、碲等。块状矿石主要金属矿物为黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、黝铜矿、铜兰、毒砂、磁铁矿和褐铁矿。脉石矿物主要为石英、绢云母、绿泥石。其中以石英为主者,常呈粒状与金属矿物连生。黄铁矿呈自形、半自形粒状集合体,常与石英、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿连生;一般粒度为3~0.015毫米,大部分为0.16毫米。黄铜矿呈不规则粒状集合体,主要与黄铁矿、闪锌矿、方铅矿共生;一般粒度为1~0.001毫米,大部分为0.09毫米。黄铜矿常沿颗粒接触线交代黄铁矿,使后者呈残余结构;有时亦沿黄铁矿核心交代,形成骸晶结构。闪锌矿呈他形粒状集合体,常与方铅矿、黄铜矿共生;最大粒径>2毫米,绝大部分为0.9~0.07毫米。它主要交代黄铁矿呈边缘溶蚀交代结构。在闪锌矿中也常见乳浊状黄铜矿。方铅矿常沿黄铁矿边缘交代黄铁矿,并与方铅矿形成共生边界或交代结构。有时在方铅矿中可见黄铜矿及闪锌矿包裹体。方铅矿粒度多在0.13~0.08毫米,其中黄铜矿包裹体粒经为0.05

表 4

产 品	产 率 (%)	品 位, %				回 收 率, %			
		Cu	Pb	Zn	S	Cu	Pb	Zn	S
铜精矿	6.33	19.67	15.47	2.36	31.42	59.94	13.25	1.19	6.30
铅精矿	12.30	1.93	37.19	7.36	28.28	11.43	61.91	7.24	11.02
锌精矿	20.90	0.66	2.92	46.07	31.42	6.64	8.26	76.99	20.81
硫精矿	43.74	0.96	2.58	3.72	42.77	20.22	15.27	13.01	19.28
尾 矿	16.73	0.22	0.55	1.17	4.89	1.77	1.31	1.57	2.59
原 矿	100.00	2.08	7.39	12.51	31.56	100.0	100.0	100.0	100.0

我国多金属矿石主要类型及选矿工艺特点

表5

矿石类型	主要矿物组分、围岩	结构构造特征	品位及伴生组分	选矿方法、效果及实例
碳酸盐类岩层中浸染状铅锌矿石	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、(白铁矿)、白云石、方解石、石英,偶见重晶石、绿泥石等,氧化带不发育	细粒浸染状或细脉状,铅、锌矿物呈自形、半自形,有时呈稀疏浸染状,属易选—中等矿石	以Pb、Zn为主,伴生组分少,一般为贫矿,品位 $<1\%$	浮选。如湘西、黔东以及河北高板河、云南富乐厂等
碳酸盐类岩层中块状铅锌矿石	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿,少量黝铜矿、辉银矿、白云石、方解石、绿泥石,有时有重晶石、萤石	粗至细粒、自形—半自形结构,大部分呈块状构造,属易选矿石	原矿Pb $>50\%$, Zn $>40\%$,一般为富矿。尚有黄铁矿,伴生Au、Ag、Cu、Cd。按组分再分为铜铅锌矿石、黄铁矿矿石等	常用优先浮选,铅精矿品位可达65%,回收率94%;锌精矿品位50%,回收率91%;黄铁矿精矿品位(S)45%,回收率80%。如凡口、水口山、团宝山、会泽等
夕卡岩中块状铜铅锌矿石	矿物成分复杂,主要有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿,次有磁铁矿、辉钼矿、锡石等;脉石矿物有石榴石、透辉石、符山石、绿帘石、石英、方解石等	黄铜矿、方铅矿、闪锌矿多呈不规则粒状、浸染状至块状,粒度大小不一。黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿常密切共生。为易选—难选矿石	原矿Pb $1\sim 2.5\%$, Zn $2\sim 3\%$,一般为中矿,尚有S、Cd、Cu、Ag。可再分为铜锌矿石、铅锌矿石,按氧化程度分为硫化矿石、混合矿石、氧化矿石	常用混合浮选,铅精矿品位可达44%,回收率85% $\pm$;锌精矿品位43%,回收率80%;铜精矿品位18%,回收率60%。如连南、桓仁、天宝山、东坡等
变质火山岩中黄铁铅锌矿石	大量黄铁矿,次为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿,再次有磁黄铁矿、斑铜矿、黝铜矿等;脉石矿物有石英、方解石、白云母、绿泥石、绢云母、重晶石等	以致密块状为主,次为条带状、浸染状。黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿常呈细粒状紧密共生。属难选矿石	原矿中Pb $1\% \pm$, Zn $1\% \pm$, Cu 0.3% ,一般为贫矿。按组分可再分为铜锌矿石、铜黄铁矿矿石、铅锌矿石,按结构可再分为块状矿石、浸染状矿石	常用分段磨矿,部分混合浮选。铜精矿品位可达19%,回收率64%;铅精矿品位54%,回收率67%;锌精矿品位40%,回收率68%;黄铁矿精矿品位(S)40%,回收率62%。如锡铁山、小铁山、石膏峪等
砂页岩及变质岩中铅锌矿石	组分简单,主要为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、(黄铜矿);脉石主要为石英,有时有萤石、重晶石、方解石、白云石,次有绿泥石、绢云母、高岭石等	粗粒至细粒,块状、浸染状、脉状至角砾状。属易选矿石	原矿中Pb $1\sim 2\%$, Zn $2\sim 3\%$,尚有Ag、萤石、Ba等。按组分再分为铅锌矿石、铜矿石、铜锌矿石等	用重介质—跳汰—浮选或优先浮选。铅精矿品位可达62%,回收率88%;锌精矿品位53%,回收率91%。如桃林、岫岩、德兴、姚安等
碳酸盐类岩层中含锡多金属矿石	组分复杂,主要有锡石、方铅矿、闪锌矿、含银矿物,脉石有电气石、石英、云母、绿泥石、方解石等,有时见含铅铋硫酸盐矿物	锡石细小,方铅矿、闪锌矿常呈细粒紧密嵌生。原生矿石易选,氧化矿石难选	原矿主要有Pb、Zn、Sn,伴生Ag、Sb、In、Cd、Ge等,按组分可再分为铜锌矿石、锡铅锌矿石	用重介质—跳汰—浮选。锡精矿品位可达50%,回收率74%;铅精矿品位28%,回收率78%;锌精矿品位53%,回收率84%,如个旧、大厂
残坡积层中氧化铅(锌)矿石	主要有白铅矿、铅矾、异极矿、水锌矿、菱锌矿、硅锌矿、褐铁矿、白云石、方解石、石英及泥质矿物,氧化率 $>90\%$	矿石呈疏松土状。铅锌氧化物常与氢氧化铁及氢氧化锰密切共生。属难选矿石	氧化矿中主要为Pb、Zn,伴生Sn、Mn	用硫化焙烧—浮选或粗粒浮选—脱泥—火冶。锌精矿品位可达40%,回收率80%;铅精矿品位50%,回收率74%。如会泽、个旧

毫米左右, 闪锌矿包裹体粒经为 0.035~0.015 毫米。

根据矿石组分及粒度特点, 采用铜铅部分混合浮选, 两段磨矿流程。第一段磨至 -0.074 毫米占 70% 时, 可使单体解离率达 76%, 把铅铜集合体分出。第二段再磨至 -0.074 毫米占 90%, 解离率可达 95%, 使铜铅分离, 锌黄铁矿分离, 选别结果如表 4。

由表 4 可见, 精矿品位并不算高, 回收率也不算先进, 经对原矿与各级产品的检查, 造成的原因主要有三: ① 矿石结构复杂, 单体解离不充分。② 原矿含黄铁矿过高, 在选矿过程中未使黄铁矿完全抑制。若使黄铁矿完全抑制, 则铜铅回收率将大大减低, 反之, 若保证铜铅回收率增高, 则黄铁矿即大量浮起, 严重影响精矿品位。③ 黄铁矿易于氧化, 使矿浆 pH 值降低, 因此须补加石灰, 以保持一定的 pH 值, 这样造成了操作上的困难, 同样不易得到较高的回收率指标。

以上所举均为原生硫化物矿石的工艺性与选矿之间的关系, 至于氧化矿石则更为复杂。因为除了大量主金属氧化矿物外, 还有相当数量的残留原生矿物, 而且粒度细小, 各种氧化物的浮选性、硫化性也不一样。所有这些都为调节矿浆 pH 值、浮选条件增加了困难。另外, 大量氢氧化铁的掺入, 也使氧化物浮选性减低, 矿泥量增加。有关这方面的工作, 国内外都在进一步研究。目前, 用不同方式, 如重-浮选、重选-水冶、浮选-火冶、硫化焙烧浮选等方法已使氧化矿石

的利用有所进展, 然而回收率尚无大幅度提高。

三 多金属矿石工业类型的划分及主要类型特点

多金属矿石的金属与脉石矿物的组成、含量、结构构造及形成条件直接影响着选矿方法的选择、工艺流程的制定, 因而也是划分矿石类型首先要考虑的因素。绝大部分多金属矿床都遭受了不同程度的氧化作用, 氧化程度也是划分依据之一。

根据选矿的难易及氧化物含量, 通常分为氧化矿石(氧化物含量 > 30%)、混合矿石(氧化物含量 10~30%) 和硫化矿石(氧化物含量 < 10%)。

我们认为, 从我国多金属矿石选矿实践出发, 划分矿石类型的主要目的, 是为了针对矿石特点有效地加以利用, 因此要避免只从概念出发, 而不考虑是否具有一定工业储量, 能否单独进行开采等因素。把一个矿区过分繁琐地划分为许多支离破碎的矿石块段是不必要的; 同样, 若在一个大矿区的不同地段, 确实存在不同矿物共生组合, 粒度分布与氧化程度也确有明显差别, 若笼统混为一谈, 不加区别也是不正确的。

现将我国主要多金属矿石类型(主要按矿石组分划分)及组成、结构构造、主要选矿方法的特征列如表 5。

法国在研究和开发海洋矿床方面的活动

1974 年法国建立了锰结核勘探与研究协会。核协会每年从总拨款 2350 万美元中, 抽出 1320 万美元用于勘探工作。

从 1970 年开始, 法国学者加强了快速、廉价从事勘探工作的研究。这项工作的初期, 主要是在大面积内对底沉积物按点取样, 以获得结核分布密度、堆积规模和有用组分含量等准确数据。

法国在太平洋开展了结核海底堆积的研究工作。在 30 个月内, 在 4750 个点上采了样, 面积达 250 万平方公里,

划分出了若干远景带。工作结果查明: 锰结核平均含锰 29%, 镍 1.4%, 铜 1.2, 钴 0.25%, 铁 6%。海底结核的平均富集程度为 7.5 (湿重) 或 5 (干重) 公斤/米²。

根据所得结果, 估计海洋矿床的世界储量为 10~30 亿吨矿石, 其中镍 1500~5000 万吨, 铜 1200~3600 万吨, 钴 250~750 万吨。这些数字表明, 海洋矿床是一个潜在的原料来源。工业上正式开采这种矿床恐怕要到 21 世纪的后半期。

(据《Экономика мин. сыр. и геолог. разведочн. работ》, 1978, № 6)