

国外钼选矿厂技术档案目录

第一章 国外钼工业概况.....	(1)
第一节 钼的性质和用途.....	(1)
第二节 钼矿物和钼矿床.....	(5)
第三节 世界钼资源储量、产量和消费量.....	(7)
第四节 国外钼选矿概况.....	(11)
第五节 国内钼选矿厂特点.....	(15)
第二章 钼选矿厂.....	(19)
第一节 美国克莱麦克斯钼选矿厂.....	(19)
第二节 美国亨德森钼选矿厂.....	(26)
第三节 美国奎斯塔钼选矿厂.....	(29)
第四节 加拿大恩达科钼选矿厂.....	(38)
第五节 加拿大博斯山钼选矿厂.....	(42)
第三章 铜钼选矿厂.....	(44)
第一节 美国肯尼柯特铜公司尤他分公司马格那和阿塞尔铜钼选矿厂.....	(44)
第二节 美国巴格达德铜钼选矿厂.....	(48)
第三节 美国塞浦路斯皮马铜钼选矿厂.....	(53)
第四节 美国平托瓦利铜钼选矿厂.....	(62)
第五节 美国双峰铜钼选矿厂.....	(70)
第六节 美国奇诺铜钼选矿厂.....	(77)
第七节 美国米申铜钼选矿厂.....	(82)
第八节 美国银铃铜钼选矿厂.....	(92)
第九节 美国西亚丽塔铜钼选矿厂.....	(96)
第十节 美国圣玛纽尔铜钼选矿厂.....	(107)
第十一节 美国矿物园钼铜选矿厂.....	(110)
第十二节 美国麦克吉尔铜钼选矿厂.....	(112)
第十三节 加拿大洛奈克斯选矿厂.....	(113)
第十四节 加拿大布伦达铜钼选矿厂.....	(117)
第十五节 加拿大伯利恒铜矿公司高原谷铜钼选矿厂.....	(124)
第十六节 加拿大直布罗陀铜钼选矿厂.....	(128)
第十七节 加拿大加斯佩铜钼选矿厂.....	(135)

第十八节	加拿大海芒特铜钼选矿厂.....	(141)
第十九节	智利丘基卡马他铜钼选矿厂.....	(148)
第二十节	智利安迪纳铜钼选矿厂.....	(155)
第二十一节	智利埃尔萨瓦多铜钼选矿厂.....	(156)
第二十二节	智利埃尔特尼恩铜钼选矿厂.....	(159)
第二十三节	秘鲁夸霍内铜钼选矿厂.....	(162)
第二十四节	秘鲁托克帕拉铜钼选矿厂.....	(169)
第二十五节	苏联巴尔喀什矿冶联合企业铜钼选矿厂.....	(174)
第二十六节	蒙古埃尔登尼特铜钼选矿厂.....	(181)
第二十七节	伊朗萨尔切什迈铜钼选矿厂.....	(182)
第二十八节	墨西哥拉卡列达德铜钼选矿厂.....	(190)

编 者 话

本档案系根据冶金部有色金属选矿情报网1981年会议决定编写。资料主要从七十年代以来的中外文期刊中收集，也有相当一部分来自英文新书和出国考察报告，而后进行翻译编写。

本档案资料力求详细，使读者对世界主要产钼国家：美国、加拿大、智利、秘鲁、墨西哥、苏联、土耳其、蒙古等国的选钼厂的历史、技术水平有较全面的了解，因此，列举了各国选钼厂的历史、规模、工艺流程和设备、选钼指标、药剂制度、自动化、综合利用等方面的特点。虽然资料有新、有旧、有详细、有简单，但在许多方面都各有特点，对我国主产钼选钼厂和副产钼选钼厂的技术、工艺改进和从事钼选矿的生产、设计、科研、教学工作的同志有一定的参考价值。

本档案由北京有色冶金设计研究总院周以瑛、李怀先、金炳海、张远荫、徐赞生同志编写。由高级工程师张远荫、高级工程师徐赞生审阅。

由于编者掌握的资料纵向横向都有限，国内外介绍钼及铜钼选钼厂的资料缺乏完整性和系统性，因此，编者在叙述时未能保持统一的内容。另外由于编者水平所限，错误和缺点在所难免，请参阅者给予批评和指正为盼。

1985年1月

第一章 国外钼工业概况

第一节 钼的性质和用途〔1〕〔2〕〔3〕〔4〕

一、性质

1778年,瑞典化学家卡尔·希尔 (Kart scheele) 证实主要钼矿物辉钼矿是一种独立的硫化矿物。四年后,瑞典的P·J吉尔姆 (HJelm) 用活性炭加热使酸性氧化物还原,生产出一种纯金属粉末,他命名为钼。十九世纪测定了这种元素的各种性能及其化合物。1893年德国化学家还原钼酸钙生产了纯度为96%的金属。据说这种不纯金属的试验是用在工具钢中代替钨。钼的原子量为95.95,密度为10.2克/厘米³,钼位于门捷列夫周期表第六组42号,表1即原子序数为42,在自然界中的钼有7个稳定的具有下列特征的同位素。

表1 钼原子中的电子排列

电子总数	电子层									
	K	L		M			N			
	1S	2s	2P	3S	3p	3d	4S	4P	4D	4F
42	2	2	6	2	6	10	2	6	5	—
同位素的质量数		92	95	95	96	97	98	100		
含量%		15.86	9.2	15.7	16.5	9.45	23.75	9.62		

除了天然同位素外,还得到人造同位素。钼原子半径为1.40Å。它与钨原子的半径(1.41Å)相近。四价和六价的钼与钨的离子半径相近,分别为0.68Å和0.5Å。这预先决定了两种金属性质相近。钼的中性原子有5个按下列形式排列的原子层:2、8、18、13、1。说明了钼的可变和它的四价与六价化合物的最大稳定性。

纯金属状态的钼是银白色的,像铂金属。钼的熔点为2610℃,沸点为5500℃。在这个意义上钼是第六个最难熔的金属,按次序较高熔点的金属为碳、铌、钽、钨和钼。

钼金属的重要物理性能是热传导性能良好,约为铜的一半(0.346卡/秒厘米/℃),纯金属的热膨胀系数最低,在25℃和100℃之间仅为 4.9×10^{-6} 卡。钼的熔解热为0.74卡/克分

子，蒸发热为117.4千卡/克分子。

钼的电阻在0℃时为5.2欧姆厘米 $\times 10^{-6}$ ，电阻随温度的增高而增加，在800℃时达24.6欧姆厘米 $\times 10^{-6}$ ，在2400℃时为72欧姆厘米 $\times 10^{-6}$ 。

钼在空气中是稳定的。在中等温度的空气和水中不容易氧化，在400℃~500℃时开始明显的氧化。在高温下产生快速氧化而形成高价氧化物 MoO_3 。在600~700℃，钼很快地为水蒸汽所氧化。除主要的氧化物 MoO_3 和 MoO_2 外，还存在着一系列过渡组成的氧化物，其中最稳定的氧化物是 Mo_4O_{11} ，最高氧化物为生产金属用的原始氧化物。

钼生成千种氧化物—— MoO ， Mo_2O_3 ， MoO_2 和 MoO_3 ，前三种是碱酐，后一种是酸酐。这些氧化物和有机羧基及碳基团容易反应。

一般，钼化合物不均均地分解为高价和低价的化合物。因此仅只含有一种化合物的产品是很少的，并且鉴定钼的化合物是困难的，钼化合物对湿度是敏感的且易于水解生成羧基化合物。

钼到熔解温度以前（ $2625 \pm 50^\circ\text{C}$ ），都不与氢起作用。因此，可在氢气中进行金属的热处理。在温度高于1500℃时，钼与氮起反应。在室温下，氮与钼相互作用，而氮则在700~800℃时与之相互作用形时五氯化物（ MoCl_5 ），在有水份时形成氯氢化物。在1100~1200℃时，固体碳和碳氢化合物形成碳化钼（ Mo_2C ）。

钼在稀硫酸和氟氢酸以及冷的碱性液中是稳定的。在浓硝酸中溶解缓慢，而在弱硝酸中溶解很快。在热的盐酸、王水和稀的硝酸和硫酸的混合溶液中容易溶解。

钼酸 $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 能够化合各种数量的 MoO_3 分子，形成 $\text{XH}_{20} \cdot \text{MOO}_3$ 结构的异极酸，其中 $Y > X$ 。钼酸的盐类，系由一系列钼酸盐组成。其中自然界遇到的有钼酸钙—钼钨钙矿和若干钼酸铁—钼华。泡酸形成的特点是含有硅酸、硫酸、砷酸及某些其他钼如 $\text{H}[\text{P}(\text{Mo}_2\text{O}_7)_6]$ 等。

钼的硫化物 MoS_2 、 MoS_3 的溶解度小。钼的二硫化物是在自然界中最普通的钼矿物——辉钼矿。

二、钼的用途

钼的应用是作为合金添加剂或是化工产品，有时亦以纯金属或天然的二硫化钼来使用。根据美国有关部门统计，全世界主要国家和地区钼消耗如下表2。

表2 世界各主要国家和地区钼消耗量

	美国和加拿大	西欧	东欧	日本	世界总计(公吨)
总耗量 1978年 (公吨)	28000	32000	18000	10000	100000
合金钢	14280	13680	12600	5400	50000
不锈钢和耐热钢	4200	9920	2160	2500	20000
化工和其他用途	9520	8400	3240	2100	30000

根据供用范围，全世界的专门用途统计如下表3

表3

钼的专门用途统计

钢	82000公吨	工具钢	8000公吨
碳 钢	3000公吨	铸 铁	5000公吨
合金钢	79000公吨	超级合金	4000公吨
结构钢	47000公吨	钼金属	5000公吨
不锈钢和耐热钢	20000公吨	化工	8000公吨

1978年美国消耗钼26000吨，大概分配如下表4。

表4

美国消耗量

机械	34%	化工	12%
运输	21%	电	8%
石油和天然气	15%	其他	10%

美国使用钼的化工产品统计如表5。

现将钼在各种钢中的大致含量和主要用途分述如下

1. 钢中的钼

钼可以加入碳钢和合金钢中，由于碳钢是由性能来分类而不是由成分来分类，所以在技术规格中没有钼的含量。而合金钢由性能和使用来分类但规定了钼的含量。如果这种钢含钼少于0.5%就叫为低合金钢，含钼超过0.5%就叫高级合金钢。根据其用途合金钢可以有某些专门名称例如不锈钢、耐热钢、工具钢等。所有其他的钢叫做通用合金钢或全合金钢简称为合金钢。

2. 碳钢

碳钢产量多用途广，大概占粗钢产量的90%。这种钢含有不定量的合金元素例如 铬、钼、钒、钨和其他元素。据估计只有6%的碳钢加入钼以改善其结构特性、硬度和强度。添加钼量少大概不超过1磅/吨，但和普通碳钢相比较其适用性更好些。近年来这类合金钢生产量已经减少，被高强度低合金钢所代替。目前碳钢消耗大约3000吨/年钼。

3. 合金钢

添加钼、铬、钴、钼、镍、钛、钨、钒、锆和其他元素包括稀土元素以改善钢的质量。等量的各种合金元素一齐添加能改良钢的抗腐蚀、抗热、磁、和电等性能，提高硬度等。这种钢约占粗钢产量的10%。

结构钢或通用钢：这类合金钢所消耗的钼差不多等于世界钼消耗量的一半，在建筑、造

表5 美国化工产品统计

三氧化钼	69%
钼铁	16%
钼酸铵和钼酸钠	2%
金属和其他形态	13%

船、机器制造、运输等工业中大量采用。这种钢通常含钼 0.1~0.2%，硬度、韧性和强度都有提高，并广泛地应用于摩天大楼、桥梁和大型结构中。只含 0.3% 钼的钢还广泛地用于运输和汽车制造工业中主要用作承重部件，传动装置部件，齿轮、轴和其他重型部件中。这种钢通常还含有镍和铬叫做全合金 (Eull alloy) 钢除了含有 6% 锰以外，还含有 0.3% 以上的钼。这种钢主要用来制造汽车的连杆、摇臂、曲轴和其他重要部件。含钼 0.5% 的特殊钢还用来制造模锻各式各样的铬—钼和铬—钼—钒钢用于石油精炼和水电和热电站中。虽然这种钢钼含量可从 0.1~1.0%，但总平均约为 0.2%，即每短吨钢约 4 磅钼。

高强度低合金钢是另外一种迅速发展起来的合金钢。随着北极地区气管和油管建设的需要，这种钢已经普及了。据发现在这种钢中添加钼能提高钢的强度和韧性良好的可焊性以及抗腐蚀性，还可以使管子的管壁更薄一些，降低材料消耗。高强度低合金钢含钼 0.3% 以下并有 0.5~3.5% 镍及 0.5~1.0% 的铬，还有钒及铌等共同组成。

铬—钼钢由于价格便宜和用途广早就得到了推广，这种钢容易进行加工，例如机加工，焊接和锻造并且比碳钢优越特别适应于高温应力、磨损和疲劳碰击等操作特性。在大多数情况下这种钢不需要进行热处理。

镍—钼钢主要用于要求表面硬度硬的渗碳钢中。低镍—钼钢 (4600 系列) 广泛用于齿轮、活塞销和类似的部件。镍—铬—钼钢应用于重型或在特别恶劣条件下运转的部件。它们具有良好的延展性和抗张强度高。在恶劣条件下能抗软化从而特别适用于热加工压模、牵引齿轮、传动轴、热剪切叶片等。

4. 不锈钢：这种钢是第二位使用钼最多的领域。估计每年要用钼 20000 吨，约占钼工业中钼消耗量的 25%，占总钼消耗量的 20%。这种钢在化工和食品加工工业中应用。例如海水淡化、石油精炼、医药和各种民用产品以及工业上需要防化学侵蚀和腐蚀的地方。

这种钢主要有三种：1. 奥氏体，2. 马氏体，3. 铁素体。第一种是重要的占不锈钢总产量的 2/3，估计目前产量大约 7000000 吨/年。

奥氏体钢标准含 17~18% 铬，8~10% 镍和 2~4% 钼。有抗醋酸、硫酸和盐酸作用以及硫酸盐、磷酸盐、硝酸盐浓溶液和其他许多用于化学工业上的材料例如纸浆、石油、糖、医药和化学剂等。含钼 6% 的奥氏体钢是为重工业高温高压而研制的。马氏体不锈钢含钼不到 1%，含铬 4~6% 用于石油精炼和飞机发动机制造，还用于管道阀门和其他化学工业中。

铁素体钢用于汽车发动机排气系统和涂料，而奥氏体、铁素体不锈钢用于天然汽和油井中腐蚀情况严重的地方。海洋设备和热高换热器和锅炉中、纸浆工业中、塑料产品和腐蚀介质。据美国钢铁工业统计这三种不锈钢中奥氏体钢约 300 种马氏体钢 400 种和铁素体钢 500 种。其中特别是含钼 2%~3% 的 316 型钢约 300 种是最常用。据估计大约 1/4 不锈钢含钼。钼在不锈钢中的消耗估计到 1985 年可能超过 27000 公吨。

5. 高速和工具钢：钼是一种强碳化物形成元素是高速钢中形成面心立方双碳化物 ($\text{Fe} \cdot \text{Mo}$)₂C 的重要成份大约 90%。高速钢含有钼。其含量由 3.75%~9.5%，总平均大约为 4.8% 钼。这种 M₂ 系列钢除了钼以外还含有钨、钒、铬有时还含有钴。工具钢中钼的含量从 0.6~2.95%。目前全世界高速钢的产量大约 150000 吨，每年消耗钼大约为 6000 吨。工具钢比高速钢多些，但是钼的消耗相当少，大概每年不超过 2000~2500 吨钼。

6. 铸铁：1920 年代末期在铸铁添加钼以制造轧钢机轧辊。汽车和飞机制造厂在某些铸件中使用钼。初期的铸件含钼 0.3%~1%，从而改善了铸件的加工性能而没有改变正常熔炼

操作。在灰口铸铁中添加钼提高了抗张强度和抗弯强度，铸件的挠度，还提高了铸件的硬度和抗疲劳度。添加钼于铸件中有助于结构具有较大的均匀性，特别对大型铸件就更为重要。增加铸件在高温下的强度和韧性，帮助抗蠕变并防止尖刃劈碎。

在铸件中一般钼与其他合金元素共同使用例如铬、镍、钒和铜等。这些铸件广泛用于汽车、压力管道、铸模、配件以及各种各样的构件和家用器具中。据估计目前这种铸件大约每年生产5万吨，消耗钼大约5千吨。

7. 超级合金：超级合金现在常常选用，它虽然产量相当少每年只有4000吨，耗钼占总消耗量的4%，但在技术发展上占有很重要地位。用铬、钴、镍和其他有色金属与大量钼制成的尼蒙克镍铬钛合金具有抗腐蚀和耐高温的性能这种合金广泛地应用于航空（喷气发动机）火箭及航天工业中。预测将来主要用于航天和飞机的研制。这些合金的钼含量从3%~20%。这种合金不但抗腐蚀性能高和抗高温，而且还具有良好的抗磨损和磨蚀性能。在这种最有名的合金中是含钼3.1%的因康镍合金，和含钼6.5%~28%的哈司特镍合金。

8. 钼金属每年大约使用钼5000~6000吨，因为钼的热膨胀系数低，熔点高以及热强度高，钼金属应用于灯丝支撑和白炽灯的挂钩，电炉和化工中的热元件，冶金炉子和玻璃熔化炉子。在电灯中使用钼金属大约40%，另外40%钼金属应用于电子元件和其他方面。目前用于空间开发和导弹技术以及半导体产品正在增长并且有光明的发展前景。

9. 化学剂估计每年大约消耗钼8000吨包括各式各样的用途，如药剂、催化剂、润滑剂、颜料以及其他小批量的使用例如消烟剂和阻燃剂、植物生长的最佳微量营养元素等。催化剂每年消耗钼大约3500吨，并且正在迅速增长，可以预期在今后十年内要翻一番。

钼另外一个少量但又非常重要的使用领域是颜料，目前每年大约消耗2500吨，到1990年预期可增加到大约5000吨。

由于高纯二硫化钼具有抗热性，结构特殊，化学稳定性良好，所以它是一种优良的润滑剂。通常和润滑油一齐添加。每年大约消耗2000吨，预计还会以更高速度增长。

据报导钼的用途大致分配如下，28%用于石油和天然气，27%用于运输，22%用于机械，1%用于化工，9%用于电，4%用于其他方面。电和天然气、运输和电占总用量的63%，这是称为“能源金属”的一个原因。

第二节 钼矿物和钼矿床[1][3]

一、钼矿物

钼平均地壳含量为百万分之一、二。火成岩中含钼量随含硅量增加而增加。事实上钼不呈自然或游离状态产出，但是发现钼和其他化学元素形成化合物。含钼矿物少的矿床遍及全世界，但工业上重要的钼矿物是辉钼矿。钼钙矿，钼铅矿和铁钼华是普遍的，但产钼量很少。

辉钼矿是最普遍和工业上最重要的钼矿物。国外钼的开采量的98%是在辉钼矿中进行的。在苏联除辉钼矿外，也回收一些氧化钼矿物。辉钼矿是一种铅灰色金属矿物，呈薄片状，往往呈六方晶片呈点状浸染。薄片底部裂纹并易成粉末，虽然没有可塑性但易弯曲。比重4.6~4.7，硬度1~1.5，有油腻感觉，手指易被其弄脏，外表类似石墨、常常误认为是石墨。

在辉钼矿中存在大量混入物，特别是铋，而碲很少。这些元素的含量在10~20克/吨之间，偶尔达200克/吨，在某些矿床的辉钼矿中含铋高达0.1%。

每个钼离子周围六个硫离子排到不在八面体的顶点，而在三角棱晶顶点上，这是空晶结构的特点。钼的离子层处于相互平行的二个硫离子层之间，层上的离子紧密联系，但层间的粘着力差，因而具有晶体的完全解理和矿物的鳞片状结构。

钼铅矿 (PbMoO_4) 一种铅的钼酸盐，为红色、橙色、黄、灰、白色金属矿物。矿辉钼物含有树脂并坚硬发光，硬度2.75~3.0，比重6.5~7.0，并有白色条痕。一般形状结呈种好，主要是方形和薄片状。沿边缘的粒度范围从极细到大于二英寸，发现矿脉几乎良细。这状，绝大多数在铅矿床的氧化带中。钼铅矿储藏量大，但没有一个矿床有重要的经济价值。

钼钨钙矿 [$\text{Cu}(\text{Mo} \cdot \text{W})\text{O}_4$] 一种钼酸钙，往往由辉钼矿蚀变而成。常常是不纯的，钨代替钼的百分比高达10%。这种矿物硬度3.5，比重4.3，颜色有灰、黄、绿黄、灰绿、兰和棕各种。钼钨钙矿与白钨矿共生，这种共生有助于鉴定这种矿物，因为它能发出金黄色萤光。

钼钨钙矿是含钼达16%的白钨矿和钼钙矿的变种。钼钨钙矿常有辉钼矿小鳞片状的微粒所浸染。

铁钼华 ($\text{Fe} \cdot \text{Mo}_3\text{O}_{12} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) 是一种很软，黄色含水矿物，很细，类似针状结晶、硬度1.5，比重2.99~4.5。

铁钼华同样是一种含铁富的矿物——黄铁矿、磁黄铁矿及其氧化产物的矿床氧化带中辉钼矿变化的产物。与钼钨矿不同，钼华没有类似辉钼矿的假晶，而是沉积于浸析的裂隙和脉洞处。在大量富集的地方（克莱麦克斯、索尔斯基和其他矿床的上层地带），铁钼华有工业价值。铁钼华的化学成分即使在同一矿床也不固定。如在索尔斯基矿床中 $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{MoO}_3$ 的比例从1:3~1:4.6。铁的氧化物和氢氧化物可含有不同量的钼——最少为0.07%或超过0.07%。索尔斯基矿床的氧化铁中钼的平均含量为0.39%~2.69%之间。

在含有硫和碳酸盐的脉状辉钼矿床中，辉钼矿全部或部分地氧化变为钼华是可能的。在含有黄铁矿和铜斑岩中可看到钼华转化为褐铁矿的部份变化。

近年来发现了某些钼铀矿物：钼铀矿、菱铁铀矿、黑钼铀矿、钼钨铅矿、兰钼矿、钼铋矿。

二、钼矿床

原生钼矿床有五种类型：

1. 斑岩或浸染矿床，包括网脉状和角砾岩筒状矿床，在这种矿床中金属硫化矿物整个分散在大量蚀变的和破碎的岩体中。

2. 接触变质带中的钼矿床即花岗岩类岩石和石灰岩的接触带

3. 石英细脉型

4. 伟晶岩和细晶岩脉型

5. 沉积岩中的层状钼矿床

前三种原生矿床是热液成因矿床，几乎代表了目前世界上所有开采的钼资源，其他类型所占的量不大，只有当钼与其他矿物共生时，才在经济上具有重要价值。

在热液矿床中，由于温度、压力的变化或含矿液体蒸发使金属矿物从高温热液中沉淀下来。矿物沉淀在空穴和裂隙中或母岩体的空隙中。与钼矿物有关的围岩一般属于从中性到酸性的侵入体，包括闪长岩、石英二长岩、花岗岩及相应的斑岩。通常钼矿物的矿化作用发生

在母岩侵入体内和周围或覆盖的围岩中。

下面是目前开采的热液矿床的特例：

科罗拉多州克莱麦克斯大部份重要网脉钼矿床由于石英二长岩岩浆浸入花岗岩、片岩和斑岩而成。成矿溶液渗入微小的裂隙中，沉积的石英岩辉钼矿成小的细脉，使围岩像角砾岩一样。

在新墨西哥州奎斯塔矿床中辉钼矿以细脉状形成于脉中。充填矿脉由石英、辉钼矿及少量黄铁矿、黄铜矿、绿泥石组成。矿脉宽度为一英寸到几英尺。矿物含量变化很大，大部分辉钼矿颗粒很细，并沿脉壁富集在节理和层面中。

美国西部大部分斑岩铜矿含有少量辉钼矿与铜矿物浸染于大的花岗岩体。主要矿物为黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿和少量其他包括辉钼矿在内的硫化矿物。此外，有少量碱金属矿物，镜铁矿、赤铁矿、氟化物和次生硅酸盐。辉铜矿交代黄铁矿和次生富集带的黄铜矿。铜钼比的范围为10:1~150:1。

少量辉钼矿广泛分布在沿花岗侵入岩和石灰富集沉积岩之间接触带的石灰-硅酸盐矿床中。辉钼矿往往与白钨矿、辉铋矿或铜硫化物在花岗岩侵入岩附近的硅酸盐石灰岩带共生。美国加利福尼亚Pine Creek钼矿床是美国内唯一从这种类型矿床中副产钼的矿山。矿物是交代作用形成的。从侵入岩浆中输送的物料与接触带岩石发生交代作用而形成原生矿。

在伟晶岩和细晶岩矿床中，主要地质作用是火成岩侵入和岩浆接着固化及其矿物成分的结晶。伟晶岩是粗粒结晶，几乎全部由石英和长石组成。辉钼矿是一种次要矿物，单独的结晶一般晶粒大而且往往是自形晶。许多伟晶岩含有磁铁矿、钛铁矿、锡石、黑钨矿、铌铁矿、锆英石、磷灰石、金红石、绿柱石。这种类型矿床平均品位低，所以不是重要的钼生产资源。加拿大魁北克Vald'or and preissac最近开采与铋共生的浸染含钼伟晶岩矿床。

第三节 世界钼资源储量、产量和消费量^{[1][5][6][7][8]}

一、资源储量

现有国外钼资源和储量资料的准确性差别很大，一些国家如美国、加拿大和智利，从公司报告和其他出版刊物可以得到可采矿石资源的准确储量。其他部分国家，钼储量是从不完全的和初步的预计矿石埋藏量和品位来估计的。尤其是在表6所列数字中苏联和中国的数字不那么准确。

应当注意表6中的钼储量指的是矿石中钼含量。选矿后以钼为主的矿石，钼回收率为钼矿的80~90%，副产钼的回收率各个矿山不同，但估计平均为原矿的55%左右。总之，世界钼总储量的65%是可以回收的。

世界上绝大部分钼储藏在北美和南美的西部山区，从阿拉斯加和哥伦比亚经美国、中美洲到智利的安第斯山脉。这些地区与太平洋盆地西部边界交界，同样认为将发现和增加储量最有前途的地区。

美国钼储量约占世界的43~45%，约有17300万磅。约有70%的美国钼储量主要赋存在已开采和准备开采的大型斑岩或浸染矿床中。这些矿床位于阿拉斯加、科罗拉多和新墨西哥。其余储量几乎都在亚利桑那、内华达、新墨西哥和犹他州的斑岩铜矿中。其他钼储量很少。主要钼矿山有克莱麦克斯、亨德森、奎斯塔和芒特伊蒙斯。

表6

已探明的世界钼储量 (百万磅)

国家名称	储量	其他	总计
北美: 美国	7500	8100	15600
加拿大	1300	2100	3400
墨西哥	300	800	1100
其他	—	1300	1300
共计	9100	12300	21600
南美: 智利	5400	6600	12000
秘鲁	500	1000	1500
其他	—	600	600
共计	5900	8200	14100
欧州: 保加利亚	10	20	30
苏联	1500	1500	3000
其他	—	1400	1400
共计	1510	2920	4430
洲亚: 中国	500	500	1000
伊朗	300	300	600
其他	10	390	400
共计	810	1190	2000
大洋洲:			
澳大利亚		50	50
其他		400	400
共计		450	450
非洲:		100	100
世界总计	17300	25200	42500

加拿大钼资源占世界可采钼资源的15.7%，矿床位于不列颠哥伦比亚省，恩达科钼矿床储量约占总量的30%，其他储量除魁北克有一个很小的资源外，都是在哥伦比亚的钼或铜钼共生的斑岩矿床中。加拿大实际储量约200万吨比智利储量260万吨少，因为有许多钼矿床回收率高（一般为90%），智利斑岩铜矿多，回收率低（一般为50~60%）。根据现有选矿方法，加拿大回收的钼比智利的多，加拿大可回收150万吨，智利为139万吨。

中美和南美的钼储量是在大型斑岩铜矿床中。有几个在智利，丘基卡马他和埃尔，特尼恩特是世界上最大的斑岩铜矿床之一，其储量占智利钼总储量的85%。虽然墨西哥和秘鲁有很大的储量，托奎帕拉秘鲁唯一大型钼矿山。中美和南美洲已经探明了许多其他含可回收钼的斑岩铜矿床，许多矿床正在积极进行勘探和评价，不久就可以计入实际储量中。

苏联的钼储量估计是很大的，但是关于目前和将来开采的资源缺乏可靠的资料。大量钼资源集中在南部的亚美尼亚和中亚细亚斑岩铜矿床和钼钨复杂矿床中。

在东半球，除苏联外，重要钼资源有南斯拉夫、格陵兰、伊朗。南斯拉夫的麦卡的很有

希望,可能是东半球最大的斑岩铜矿床,但品位低。格陵兰有一个探明的斑岩钼矿床品位很高。伊朗早已在萨契什道开始回收钼副产品。据报导,澳大利亚、日本、菲律宾和朝鲜人民民主共和国,近来生产一些钼,但这些国家储量较少。对新几内亚岛和西南太平洋的布干维尔正在进行投资,尽管对含经济回收的钼还要有待作进一步的评价。

日本和其他远东国家,包括苏联西伯利亚,接触伟晶岩矿床多,这些矿床中常与钨、铋共生,高加索和加拿大有类似的矿床。

二、钼产量

钼是由主产矿山和副产矿山生产的,1980年以来二者的产量几乎相等。有些矿山几乎把全部精矿焙烧成三氧化钼(MoO_3)。主要的钼选矿厂通常都拥有自己的焙烧厂。较小的选厂通常把精矿出售给商人,由他们来安排焙烧。根据最终用途的要求,三氧化钼可能要进一步加工,压制成块状氧化钼,钼铁以及钼的化工产品。

主产钼的矿山一般都可以生产出有害元素含量低的精矿(铜和铅分别低于0.1%和0.05%)。

副产钼是产自“斑岩”铜矿山,其中钼常常占所回收矿物重量的5%以下。有些矿床钼铜比较高(例如杜瓦尔矿为10%,芒特托尔曼矿为60%)。多数副产钼的生产厂按铜的等值来考虑可回收的钼(即可回收的含钼量乘以钼的价格,再除以铜的价格)。按现行的铜的价格水平,对许多厂来说,钼这个有益组分提供了相当比例的销售收益。

许多副产厂所生产的钼精矿质量经常是不高的,其含铜量常常波动于1~3%之间。可采用对二硫化钼精矿进行三氯化铁浸出的方法来降低铜含量。然而,大多数副产厂认为,其产量不大,不足以建设酸浸设施。因而,不符合质量标准的产品常常是减价卖给商人。他们可以酸浸或同其他高质量精矿掺和的办法来提高质量。

钼的产量如表7所示。从1975年到1982年的资料的实际生产记录。在这些年中钼的生产能够满足消费需要而还有节余。

表7 钼的生产量 (百万磅钼)

国家名称	1977年	1978年	1979年	1980年	1981年	1982年	1983年
美国	123	132	143	151	141	85	36
加拿大	33	31	22	33	34	31	20
智利	24	29	30	30	34	44	28
其他	3	2	3	8	8	17	15
共计	183	194	198	222	217	177	99

1982年,钼的产量下降,主要原因是由于世界经济衰退,铜产量大幅度减产而造成的。美国钼产量1982年与1981年相比下降了41%。加拿大下降了26%。而智利的钼产量却增加了21%。1983年钼的产量更进一步下降,比1982年下降比例更大。智利的钼产量亦不例外下降了36%,主要原因是由于丘基卡马塔矿石品位降低。美国1983年的钼产量仅有3600万磅,比1982年大幅度减产60%以上。加拿大1983年钼产量下降35%,只生产2000万磅。

三、钼的消费量和价格⁽⁵⁾⁽⁷⁾

1. 消费量

钼的消费量从1963~1978年，已由4.0万吨增加到10万吨，增加2.5倍。最大的消费量是用在合金钢，其中低合金钢占钼总耗量的50%，不锈钢占20%，工具钢占10%，铸铁7%，其余10~13%，（用于高级合金3%，化学品和润滑剂2%）

许多技术上的突破，使钼在工业上成功的使用，扩大了钼的市场。1946~1955年需要量为20万吨，1956~1965年增加到36.6万吨，1966年~1975年需要量增加到756万吨。二次世界大战以来，1946年需要量10600吨，1978年需要量增加到9.84万吨，增加10倍，平均每年增加7%。

钼的消费量每十年增加一倍。在工业发达国家和不发达国家差别是很大的。

从国外钼的消费来看，西欧五个工业发达国家：西德、意大利、法国、英国和瑞典钼消费占总消费量的32%，其中西德是西欧最大的消费国，每年需钼0.8~1.0万吨。

美洲地区消费钼3.0~3.1万吨，美国是世界上最大的钼生产国，也是钼最大的消费国，每年消费约2.6万吨，占该地区消费量的85%。加拿大和巴西各消费1500吨/年。

东欧也是一个重要的耗钼地区，年耗钼1.8万吨，其中苏联消耗量最大。

日本是亚洲最大的钼消费国，年耗钼量0.95~1.0万吨，为亚洲消耗量的80%。

世界钼耗量如下表8所示

表8 世界钼耗量（百万磅钼）

国别	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
美国	55	57	60	69	71	60	58	34	30
西欧	66	70	70	72	75	65	57	55	53
东方国家	15	15	17	22	22	18	18	15	18
日本	21	25	24	25	25	28	26	26	24
其他	11	10	11	12	12	11	11	9	8
合计	168	177	182	200	205	182	170	139	133

注：1983年系初步估计数字

西方国家主要工业用途上钼耗量比例如下表所示：

表9 西方国家钼耗量比例

名称	1981年	1982年	1983年
合金钢	45%	44%	44%
不锈钢	21%	23%	22%
工具钢	9%	9%	8%
铸铁和轧辊	6%	7%	6%
高温合金和特殊合金	4%	2%	3%
钼金属	5%	5%	6%
化学制品	9%	9%	10%
其他	1%	1%	1%
共计	100%	100%	100%

1982年的数字表明, 钼消耗量大约比1981年降低21%, 比1979年降低35%。1983年比1982年降低4%, 比1981年降低22%, 比1979年降低35%。1982年美国降低最大, 从1981年的5800万磅下降到1982年的3600万磅。1983年又下降到300万磅。在日本钼消耗量1983年降低到2400万磅、降低幅度不大。在资本主义国家, 钼的分类消耗量由工业项目表明合金钢和不锈钢、工具钢的消耗比全部钼的75%还要稍微多一些。

2. 钼的价格

钼产品是据其含钼量来标价的, 国际市场上有三种主要产品: (1) 钼精矿; (2) 工业氧化钼; (3) 钼铁。钼金属和钼化合物亦有相当的贸易, 但量很少。这三种主要产品和克萊麦克斯辉钼矿价格有互相关系。生产厂和商人的价格影响到贸易的钼产品标价。

1973年以来, 由于世界钼消费量增加, 使钼供应紧张, 1972年世界钼消费量为69850吨, 1973年猛增至93000吨, 1978年为102000吨, 而同一时期钼产量增加较慢, 使钼价格上涨, 1969年到1973年5月克萊麦克斯钼公司精矿(每磅含钼)价格为1.72美元, 1974年涨至2.43美元, 1975年涨至2.62美元, 1976年为3.45美元, 1977年为4.01美元, 1978年5.86美元。1979年, 1980年钼产量达到103396吨, 而消耗量有所下降, 因而市场上出现了八年来第一次供过于求, 近一年来钼价有所下降, 1980年上半年每磅钼为10.3美元, 1980年10月下降到9.2美元, 1981年7月为8.75美元, 目前还有下降的趋势。1981年9月下降到7.91美元。

1980年上半年钼价格达到了最高点, 1981年开始下降, 到1982年12月达到最低点。1982年初钼价格波动很大, Lodelco罐装氧化物的价格为5.52美元/磅, 桶装氧化物为5.45美元/磅, 钼铁为6.57美元/磅, 团矿块为5.61美元/磅。Duval和Noranda罐装氧化物的出口价格为7.0美元/磅, 桶装氧化物为6.9美元/磅, 钼铁为8.1美元/磅, 团矿块为7.11美元/磅。Climax保持其出口价格, 罐装氧化物为8.75美元/磅, 钼铁9.9美元/磅, 团矿块8.88美元/磅。同时, 氧化物商人价格从4.8美元/磅到5.15美元/磅, 钼铁5.5美元/磅。

1983年钼氧化物商人价格从3.5美元/磅~4.5美元/磅。

第四节 国外钼选矿概况[5][3][10][11]

由于钼矿石含钼品位低, 所有含钼矿石都需要经过选矿。将矿石破碎和磨矿到合适粒度以后, 用浮选法选出辉钼矿精矿。钼的主要来源有一是以钼为主的原生钼矿石, 二是含钼的硫化铜矿石。原生辉钼矿石, 经过几段磨矿和几次再浮选获得含二硫化钼90~94%的最终钼精矿。铜、铁和铅矿物一般是有害杂质, 在最终钼精矿中必须将杂质减少到最低限度。原生辉钼矿选矿厂的钼总回收率为75~90%。

在含钼铜矿石中, 由于辉钼矿含量小于0.1%, 回收辉钼矿就更难。作为铜的副产品回收, 一般比铜的产值要低。在某种情况下, 只有降低铜精矿中铜的实收率, 产出铜品位较低的铜精矿才能提高钼的回收率。

从铜矿石中回收钼, 先用混合浮选使铜矿物和辉钼矿首先与脉石分离。然后将混合浮选的精矿用优先浮选使辉钼矿和铜矿物分离。分离浮选往往是抑制铜矿物, 浮选辉钼矿。分离浮选需要严格控制pH值, 药剂制度和浮选阶段。根据矿石中杂质, 品位不同, 在各个选矿厂铜钼矿石的浮选方法是不一样的。副产钼精矿的辉钼矿含量为70~90%, 绝大多数都能达到较高的品位。从铜矿石中选出辉钼矿的回收率为20~80%, 美国的选厂副产钼的平均回收

率约为55%。

一、辉钼矿选矿

国外以辉钼矿为主的选矿厂较少，主要有美国的克莱麦克斯、奎斯塔、亨德森；加拿大的恩达科和博斯山等选厂。

美国克莱麦克斯是世界上选矿历史最长，规模最大的一个钼选厂。该厂对辉钼矿选矿，为提高钼回收率和精矿品位以及除杂都做了长期的研究工作。认为原矿磨到28目（粗磨）时，虽然还有细粒浸染的中矿，还是可以从原矿中回收>90%的辉钼矿低品位粗精矿。将这种粗粒的粗精矿经三段再磨磨到80%小于20微米，选出含二硫化钼大于90%的精矿。在粗磨时要求有大量低品位的石英-辉钼矿中矿能浮出来回收率才高。原先用碳氢化合物捕收剂虽然可以增加辉钼矿的可浮性，但浮选操作困难。后来用Syntex药剂，粗选操作困难得到解决，根据较长时间选厂生产实践证明，采用Syntex的回收率比用松油-碳氢化合物的回收率要高得多。Syntex是该厂1942年用于粗选的一种表面活性剂。目前使用的这种药剂和那时相同，是椰子油的硫化甘油脂，对辉钼矿的回收是有效的药剂。当添加碳氢化合物1.0磅/吨，松油0.03磅/吨，Syntex0.5磅/吨混合使用时，回收率提高2%。但必须保持松油和Syntex之间的微妙平衡，如Syntex全部代替松油，粗粒中矿得到很好浮选，而细粒辉钼矿损失太多。如松油太多，细粒得到充分回收，但粗粒中矿又减少。当二种药剂用量都过大时，泡沫中会出现大量矿泥，大大降低了粗粒中矿的浮选。Syntex另一个优点是减少精矿中的含铜量，使精矿质量容易符合要求。

这种流程和药剂混合使用，可以大大提高磨矿效率。但要增加再磨和精选设备来处理低品位的粗精矿。还要在再磨前用浓缩机脱药。

二、铜钼矿石的选矿

从铜钼矿石中回收钼是钼的重要来源，近几年来，从铜钼矿石中回收的钼几乎占50%，从斑岩铜矿中回收钼，每日处理100多万吨矿石，每年大约处理3~3.5亿吨矿石。

铜钼矿石选矿几乎大都采用混合浮选，而后将铜钼混合精矿进行铜钼分离，分别得出合格的铜精矿和钼精矿。

在进行铜钼矿石混合浮选时，应在尽可能粗磨条件下选出混合精矿，丢掉大部分尾矿。要使铜和钼的回收率提高，要防止过磨，以减少辉钼矿的损失，因为粉末辉钼矿是很难浮选的。

铜矿石用一般的浮选药剂即可浮出，松油，道弗洛250，MIBC作起泡剂，黄药、二硫磷酸盐作主要捕收剂，矿浆pH值在8.0~9.0就能很好地回收钼。大多数选矿厂的实践证明在磨矿回路中加入少量煤油或其他碳氢化合物就能提高钼的回收率。例如智利安迪那选矿厂就是这样，钼回收率从30%提高到60%。

三、铜钼分离

为了充分利用矿物资源，降低生产成本，防止环境污染，近年来国外十分重视铜钼分离工艺的改进，就铜钼矿石说来，其分离困难往往与矿物组成特点有关。

(1) 有些矿石必须磨得很细，才能使硫化矿物同脉石分离。但要防止过粉碎，降低钼的回收率。同时脉石会产生浮游活性，影响精矿质量。

(2) 矿石中，具有浮游活性的绢云母氯化物和滑石化页岩型硅酸铝和辉钼矿分离效果差，给钼和其他矿物回收造成困难。

(3) 由于铜矿石中含钼品位很低, 铜矿物结构繁多, 而钼精矿品位要求45%钼以上, 所以要采用复杂的工艺流程。

(4) 为了提高矿石的综合利用率, 主要硫化矿物采用各种浮选药剂进行优先浮选, 然后回收氧化铜矿物和贵金属矿物, 以及非硫化矿物(石英、长石类等)时, 必须解决循环水的使用问题。

1. 再磨矿

如前所述铜钼矿石大都在混合浮选阶段粗磨, 选出铜钼混合精矿, 丢掉大量尾矿后, 为了将铜钼混合精矿进行铜钼分离, 并得到高质量钼精矿, 在分离前或钼精选前都要将粗精矿或精矿进行再磨。再磨机有些厂采用小型球磨机, 使用钢球不一定会产生大量的铁离子而污染矿浆, 但必须使用橡胶内衬。另外有人认为再磨机应使用砾磨, 因为砾磨可使矿物解离更加完全, 砾石进行很细的磨矿不会影响钼的浮游活性, 而且还能改善浮选过程的选择性, 产出高质量的精矿。

2. 铜钼混合精矿分离

国外大多数铜钼选矿厂处理的主要矿物为黄铜矿和辉钼矿, 原矿品位从0.2到1.5%铜, 0.01到0.06%钼。有些厂的矿石中含有大量滑石、绢云母、氧化铝胶, 这些脉石易和辉钼矿一齐浮出, 使钼精矿质量下降。由于原矿中铜、钼和铁的含量变化很大, 脉石矿物又易上浮, 致使分离工艺复杂。商品钼精矿中对含铜量有所限制, 也引起了一些困难。

混合精矿分离不外乎两种方法, 一是抑铜浮钼二是抑钼浮铜。国外大多数铜钼选矿厂都采用第一种方法, 只有少数厂采用第二种方法, 即用糊精抑制辉钼矿, 铜浮选尾矿即为钼精矿。抑铜浮钼是铜钼分离的主要工艺, 其流程包括以下几方面:

(1) 浓缩

混合精矿浓缩是铜钼分离作业前必不可少的工序。主要是使浮选能在最佳条件下进行, 使粗选设备规格缩小节省投资, 除去混合浮选回路中过剩的药剂, 有时为了破坏掉残余药剂, 还要进行蒸吹。

(2) 铜矿物的抑制。

抑制铜矿物是铜钼分离的关键。采用的药剂有氰化物, Nokes药剂($P_4S_5 + NaOH$)和硫氢化钠。有些厂将氰化物和硫氢化钠合并使用, 前者加入精选, 后者加入粗选。另外还有一种和Nokes%剂类似的Anamol D药剂, 这种药剂要用 $As_2O_3 + Na_2S$ 来制备, 耗量为12.3公斤/吨混合精矿。Nokes药剂效期短要分段添加, 耗量约为5.5~10公斤/吨混合精矿。除Nokes药剂外, 还采用硫化胺和氰化钠抑制铜, 硫化胺既抑铜又溶解单体硫。有些厂采用85%硫氢化钠和15%硫化铵混合剂添加入粗选抑铜, 再用氰化钠加入精选抑铜。

(3) 铜钼分离粗选

添加硫化钠或氰化钠进行铜钼分离是目前的趋向, 再加上蒸吹, 认为是分离的最佳方案。其效果取决于矿浆中硫化物浓度在多大程度上接近最佳值, 浓度过高会损害辉钼矿的浮游活性, 不足又不能保证对铜和铁硫化物的充分抑制。

混合精矿中含有铜的氧化化合物, 则先用石灰蒸吹, 破坏掉大部捕收剂, 从而降低硫离子的需要量, 然后添加硫酸钠, 进行粗选作业, 可能较为经济。建议蒸吹条件是: 温度85~90℃, 时间2小时, 石灰用量0.8~1.2公斤/吨精矿。还要拨入氧或空气。

大多数用硫化钠和硫氢化钠进铜钼分离的选厂, 采用燃油作捕收剂, 起泡剂用

MIBC, 有的用松油。有的厂用煤油作捕收剂, 用水玻璃抑制脉石, 用石灰抑制黄铁矿。

主要铜矿物为斑铜矿时, 一般将Anamol-D药剂和氰化钠混合使用。有的厂用氰化钠来强化硫化物和Nokes药剂来抑制活性铜铁硫化矿物。

主要铜矿物为辉铜矿时, 国外认为用铁氰化物和亚铁氰化物抑制铜硫化物比较有效。其条件是铜矿物已充分氧化, pH值不超过7.6~7.8。

主要铜矿物为黄铜矿时, 除采用铁氰化物和亚铁氰化物外, 还要添加氧化剂次氯酸盐, 过氧化氢等。使铜和铁硫化物达到所需氧化程度, 以保证铁氰化物的抑制作用。

3. 精选

几乎近年来建设的铜钼选厂都将钼粗选精矿进行多次精选, 一般为7次~12次, 以除去不应有的杂质以提高钼精矿品位。在精选过程中, 还要经一段或二段再磨。再磨有的是开路, 有的同旋流器构成闭路。精选一般为闭路, 尾矿返回前一段的给矿箱。

皮马选厂将3~7次精尾合并, 送去分级和再磨。铜钼混合精矿27%铜, 0.5%钼, 还有大量滑石, 其浮游活性与辉钼矿相近, 很难除掉, 致使辉钼矿品位不到40%, 有时低到10~15%。为了提高钼精矿质量, 试用过各种方法。最初将不合格精矿放入七层焙烧炉内焙烧, 破坏掉捕收剂和辉钼矿表面氧化膜, 然后反浮选, 浮出滑石。这种方法的缺点是难于保持必要的焙烧温度(260℃), 滑石波动变化较大, 入炉物料量不易控制。以后取消了焙烧作业, 采用新的方法是给矿先用弱碱强酸盐(硫酸铵)溶液处理, 后用强碱弱酸(硅酸钠)盐溶液处理将含滑石的精矿精选后直接入浮选机进行钼-滑石分离。精选出的钼精矿送去脱水, 滑石尾矿去钼粗选给矿箱。新工艺将钼回收率从40%提高到43%。(原矿0.47%铜, 0.015%钼)

双峰选厂原矿除含有碳酸盐外, 还含有滑石类层状硅酸盐与氧化铝粘土。这些东西浮选入钼粗精矿, 使精矿品位下降, 有时下降15%。该厂为解决此问题, 采用磺化木素(造纸工业副产品)抑钼, 得到含脉石的泡沫产品, 浮选尾矿为辉钼精矿。反浮选在pH=11.9时进行。还要再精选。精选时间一次15分, 二次10分。钼精矿含铜高时还要添加黄药200克/吨。钼精矿品位45.8~51.8%时, 总回收率达91.1~92.7%。精选约提高回收率10~13%。磺化木素用量随钼给矿品位而定, 品位低, 用量少, 最佳量为8~12公斤/吨。用量过小过大均不好控制。pH=11.9时为最佳, 这时回收率较高, 使用磺化木素时, 可加黄药浮铜, 减少最终钼精矿的含铜量。

4. 钼精矿的浸出

钼的有用矿物只是单一的辉钼矿(MoS_2)嵌布粒度较细, 最终磨矿细度要达到-43微米占80%, 甚至-20微米占80%, 才能使辉钼矿充分单体分离, 选出品位高达54%的优质钼精矿。但由于矿石性质不同, 有些矿石用浮选方法即使钼精矿品位达到了54%左右, 仍然有一种或几种杂质达不到要求。通常是铜、铅和氧化钙等杂质含量过高。为此, 就需要采用浸出的方法来降低这些杂质的含量。

美国、加拿大等国的钼选厂, 粗精矿要经过2~3段再磨。最后一段磨矿细度, 克莱麦克斯为-20微米占80%, 恩达科-9微米占50~70%。再磨后还要经过4~5次精选, 才能使钼精矿品位达到54%。精矿品位提高后, 各项杂质符合国际销售标准, 就可直接出售。但有些厂浮选精矿仍有部分杂质过高, 且不能用机械选矿方法分离, 于是就用浸出方法去除掉这些杂质。例如钼精矿中常含有铜, 有时甚至高达1~3%铜。如果用浮选法除铜, 不仅成本很高,

而且要影响铅的回收率，显然是不合适的，但用湿法浸出则比较合理。

浸出除铜的方法与铜矿物的成份有关。若是辉铜矿、铜兰等次生铜矿物，可采用氰化钠溶液浸出，若是黄铜矿，则采用三氯化铁溶液浸出。

智利的埃尔、萨尔瓦多，埃尔特尼恩特等几个铜铅选厂均采用氰化法浸出铅精矿中的铜。美国也有几家铜铅选厂也采用这种方法。丘基卡马塔选厂的浮选铅精矿品位为52.5%铅和1.5%铜，在含20%氰化钠溶液中浸出，最终产品达到54%铅（90%二硫化铅），0.1%铜，0.023%砷、0.124%氧化钠，0.065%氧化钾，0.027%磷和8.47%不溶物。

布伦达选厂铅精矿品位55.3%，但铅、铜的含量较高。为此采用了诺兰达公司研究出的浸出工艺来降低杂质。其方法是：用氯化铜、氯化铁和氯化钙溶液浸出铅精矿中的铜、铅、钙。二价氯化铜和氯化铁（用量分别为103和41克/吨精矿），在含有20~30%的氯化钙或氯化钠溶液中是黄铜矿和方铅矿的有效氧化剂，氯化钙或氯化钠用来降低pH值和提高沸点，缩短浸出时间。布伦达的铅精矿最有效的浸出液是含1%二价氯化铜，10%氯化铁和30%氯化钙。在100℃条件下浸出2小时，可使铜、铅的浸出率达到48%，钙的浸出率达79%。而铅溶解不到0.5%。用过的浸出液通入氯气可以迅速再生。每批浸完后，放出30%浸出液中的铅、铜有害元素。浸出后的铅精矿铜含量从0.337%降低0.068%，铅含量降到0.05%，铅品位从55.3%提高到56.6%。经冷却两次洗涤后进行脱水。

浸出成本每磅铅4~5美分，而售价可提高43美分。由于浸出除去杂质而增加的年利润约300万美元。

近年来一些选矿厂逐渐开始使用这种方法来提高铅精矿质量。智利的安迪那铜铅选厂浮选铅精矿原含铜1.2%，采用三氯化铁加温浸出后，含铜降到0.1%。加拿大海芒特铜铅选厂采用市伦达浸出法，浸出后的铅精矿品位达55%铅，含铜0.1%。美国西亚丽塔选厂的浮选铅精矿品位47~50%，含铜3%，采用三氯化铁浸出后，精矿含铅提高到53~54%。

铅精矿中含铅和氧化钙多时，可用盐酸溶液浸出除杂。美国亨德森选厂铅精矿含铅和氧化钙超标，影响销路。将浮选铅精矿在5%盐酸溶液中加温到80℃浸出28小时，而后洗涤过滤，含铅从0.2%降到0.03%，钙含量则更少。加拿大恩达科选厂的铅精矿残存有方解石，使钙含量达0.4%，在常温下用盐酸浸出，钙降到0.03%。

第五节 国外铅选矿厂特点

从本资料所例出的铅选矿厂和铜铅选矿厂来看，国外铅选矿有以下一些特点：

1. 原矿品位日益降低，选矿厂规模逐渐扩大

本世纪初期大多数铅选矿厂规模较小，只处理品位较高的单一铅矿石。原矿品位含 MoS_2 1%左右。但随着资源日益贫化和铅用途的不断扩大，选矿厂的规模也随着日益扩大。美国的十几个铅和铜铅选矿厂规模也在不断扩大，如克莱麦克斯选厂，从250吨/日开始，1932年扩大到1200吨/日，1943年就扩大到2万吨/日，1956年扩大到3.5万吨/日，1973年扩大到4.8万吨/日。奎斯塔选矿厂从50吨/日开始，1963年建成100吨/日试验厂，1966年11000吨/日选矿厂建成投产，1969年扩大到16500吨/日，后又增加到18000吨/日。原矿品位1930~1950年开采富矿， MoS_2 平均品位达4%，1965年 MoS_2 品位为0.2%。加拿大的加斯佩铜铅选矿厂原矿品位0.6%铜，0.015%铅，选矿厂规模从11000吨/日扩大到30000吨/日。又如美国