

# 目 录

|                   |         |
|-------------------|---------|
| 第一章 总论            | ( 1 )   |
| 第一节 钼的性质和用途       | ( 1 )   |
| 1—1 钼的发现          | ( 1 )   |
| 1—2 钼的性质          | ( 1 )   |
| 1—3 钼的用途          | ( 4 )   |
| 第二节 钼的产、供、需       | ( 7 )   |
| 2—1 钼的储量          | ( 7 )   |
| 2—2 钼的产量          | ( 13 )  |
| 2—3 钼的消费量         | ( 18 )  |
| 2—4 钼的贸易量         | ( 23 )  |
| 2—5 钼的生产消费与贸易预测   | ( 27 )  |
| 第三节 钼矿物与钼矿床       | ( 29 )  |
| 3—1 钼矿物           | ( 29 )  |
| 3—2 钼矿床           | ( 32 )  |
| 第四节 钼选矿概述         | ( 37 )  |
| 4—1 钼矿石评价与标准      | ( 38 )  |
| 4—2 钼精矿质量标准       | ( 38 )  |
| 4—3 辉钼矿浮选特征       | ( 39 )  |
| 4—4 选钼工艺特征        | ( 40 )  |
| 4—5 钼选矿技术新进展      | ( 41 )  |
| 第二章 钼的选矿技术        | ( 44 )  |
| 第一节 钼的工艺矿物特征      | ( 44 )  |
| 1—1 钼的地球化学特性与成矿   | ( 44 )  |
| 1—2 辉钼矿结构         | ( 47 )  |
| 1—3 辉钼矿破裂面        | ( 49 )  |
| 第二节 辉钼矿的可浮性       | ( 54 )  |
| 2—1 辉钼矿的天然可浮性     | ( 54 )  |
| 2—2 辉钼矿氧化与可浮性     | ( 55 )  |
| 2—3 辉钼矿粒度与可浮性     | ( 63 )  |
| 第三节 硫化钼矿石的浮选      | ( 69 )  |
| 3—1 辉钼矿的捕收与捕收剂    | ( 69 )  |
| 3—2 辉钼矿的抑制与抑制剂    | ( 89 )  |
| 3—3 脉石矿物的抑制与抑制剂   | ( 91 )  |
| 3—4 非钼硫化矿物的抑制与抑制剂 | ( 106 ) |

|      |                      |         |
|------|----------------------|---------|
| 3—5  | 高纯钼精矿的制备             | ( 124 ) |
| 第四节  | 氧化钼矿的选别              | ( 127 ) |
| 4—1  | 钼钙矿的选别               | ( 127 ) |
| 4—2  | 铁钼华的选别               | ( 129 ) |
| 第五节  | 综合回收                 | ( 130 ) |
| 5—1  | 硫化矿石综合回收钼及其它         | ( 130 ) |
| 5—2  | 氧化矿石中综合回收钼及其它        | ( 133 ) |
| 第三章  | 钼的选矿实践               | ( 135 ) |
| 第一节  | 主产钼矿选厂               | ( 135 ) |
| 1—1  | 金堆城钼业公司              | ( 141 ) |
| 1—2  | 杨家杖子矿务局              | ( 145 ) |
| 1—3  | 洛阳栾川钼业公司与栾川地区        | ( 147 ) |
| 1—4  | 钢屯地区                 | ( 153 ) |
| 1—5  | 克莱麦克斯 (Climax)       | ( 154 ) |
| 1—6  | 亨德逊 (Henderso)       | ( 157 ) |
| 1—7  | 奎斯塔 (Questa)         | ( 158 ) |
| 1—8  | 恩达科 (Endako)         | ( 159 ) |
| 1—9  | 博士山 (Boss Mountain)  | ( 161 ) |
| 第二节  | 铜钼选矿厂                | ( 162 ) |
| 2—1  | 德兴铜业公司               | ( 171 ) |
| 2—2  | 小寺沟铜钼矿               | ( 174 ) |
| 2—3  | 宝山铜矿                 | ( 176 ) |
| 2—4  | 宾厄姆 (Bingham)        | ( 178 ) |
| 2—5  | 西雅丽塔 (Sierrita)      | ( 180 ) |
| 2—6  | 圣玛纽尔 (San Manuel)    | ( 182 ) |
| 2—7  | 皮马 (Pima)            | ( 183 ) |
| 2—8  | 巴格达德 (Bagdad)        | ( 185 ) |
| 2—9  | 布伦达 (Brenda)         | ( 187 ) |
| 2—10 | 海蒙特 (Highmont)       | ( 188 ) |
| 2—11 | 洛奈克斯 (Lornex)        | ( 190 ) |
| 2—12 | 丘基卡马塔 (Chugucamata)  | ( 191 ) |
| 2—13 | 特尼恩特 (Teninte)       | ( 194 ) |
| 2—14 | 萨尔瓦多 (Salvador)      | ( 195 ) |
| 2—15 | 托克帕拉 (Toguepala)     | ( 197 ) |
| 2—16 | 夸琼 Cuajone           | ( 198 ) |
| 2—17 | 拉卡列达德 (La Caridad)   | ( 200 ) |
| 2—18 | 萨尔切什迈 (Sar Cheihmen) | ( 202 ) |
| 2—19 | 巴尔喀什 (БалКашан)      | ( 203 ) |
| 2—20 | 卡德扎兰斯克 (Джаранск)    | ( 206 ) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 2—21 索尔斯克 (Сорск) .....      | (207) |
| 2—22 阿尔玛雷克 (Алмалык) .....   | (210) |
| 2—23 额尔德内塔 (Erdenet) .....   | (211) |
| 第三节 钨钼选矿厂 .....              | (212) |
| 3—1 韶关精选厂 .....              | (213) |
| 3—2 提尔勒阿乌兹 (Тырны ауз) ..... | (214) |
| 第四节 其它 .....                 | (216) |
| 4—1 多金属矿——柿竹园 .....          | (216) |
| 4—2 铁钼矿——闲林埠 .....           | (219) |
| 第四章 钼精矿的深度加工 .....           | (220) |
| 第一节 钼焙砂生产工艺与实践 .....         | (221) |
| 1—1 氧化焙烧机理 .....             | (221) |
| 1—2 氧化焙烧实践 .....             | (223) |
| 第二节 钼铁冶炼工艺与实践 .....          | (227) |
| 2—1 碳还原积块法生产钼铁 .....         | (228) |
| 2—2 硅铝热法生产钼铁原理 .....         | (229) |
| 2—3 硅铝热法生产钼铁实践 .....         | (230) |
| 第三节 钼酸铵生产工艺与实践 .....         | (234) |
| 3—1 钼酸铵火法生产工艺 .....          | (236) |
| 3—2 钼酸铵湿法生产工艺 .....          | (239) |
| 第四节 高纯三氧化钼生产工艺与实践 .....      | (244) |
| 4—1 钼酸铵热分解法生产三氧化钼 .....      | (244) |
| 4—2 钼焙砂热升华法生产三氧化钼 .....      | (245) |
| 第五节 二硫化钼生产工艺和实践 .....        | (247) |
| 5—1 二硫化钼润滑特性 .....           | (247) |
| 5—2 合成法生产二硫化钼 .....          | (249) |
| 5—3 天然法生产二硫化钼 .....          | (250) |
| 3—4 二硫化钼的胶体化 .....           | (253) |
| 第六节 其它 .....                 | (254) |
| 6—1 氧化钼块 .....               | (254) |
| 6—2 钼酸钙 .....                | (256) |
| 6—3 钼颜料 .....                | (257) |
| 6—4 钼催化剂 .....               | (258) |
| 6—5 钼粉生产工艺简介 .....           | (259) |
| 河南栾川县冶金化工公司发展概况 .....        | (261) |

# 第一章 总 论

## 第一节 钼的性质及用途

### 1-1 钼的发现

1778年瑞典化学家C. W. 希尔首先发现辉钼矿，用它制造出钼酸和氧化钼。1782年，另一位瑞典化学家P. J. 杰尔姆灼烧装在密闭容器中的木炭与钼酸混合物，首次获得钼金属粉末。因辉钼矿外表似铅，杰尔姆把新发现的金属命名为钼，它的古希腊文意为“铅”。直至一百多年后的1893年，M. 莫思森才在电炉里熔炼炭和三氧化钼的混合物，首次获得含Mo 192~96%的铸态金属。1894年法国首先将钼添进合金钢，以提高装甲钢板的强度。1909至1910年间，W. D. 库勒兹首先提出粉末冶金法生产钼的工艺。这个工艺直到三十多年后的1946年才被用于工业生产，成为金属钼冶炼的常规手段。第二次世界大战期间，美国克莱麦克斯钼业公司研究出真空熔炼法，生产出450到1000公斤大尺寸钼坯料。

钼的发现已有两百多年历史，但钼的开发利用还是本世纪，尤其近几十年的事。

### 1-2 钼的性质

钼位于门捷列夫周期表第五周期、第六副族，为一种过渡性元素，钼原子序数为42，原子量为95.94，原子中电子排布为： $1S^2 2S^2 2p^6 3S^2 3P^6 3d^{10} 4S^2 4P^6 4d^5 5S^1$ 。由于价电子层轨道呈半充满状态，介于亲石元素(8电子离子构型)和亲铜元素(18电子离子构型)之间，表现典型过渡状态。V. W. 戈尔德斯密特在元素的地球化学分类里将它称：亲铁元素。

自然界里，钼有七个稳定的天然同位素，它们的核子数及其在天然混合物中所占比例如表1-1。

表1-1

钼的同位素及分配

| 同位数名称 | $^{92}_{42}\text{Mo}$ | $^{94}_{42}\text{Mo}$ | $^{95}_{42}\text{Mo}$ | $^{96}_{42}\text{Mo}$ | $^{97}_{42}\text{Mo}$ | $^{98}_{42}\text{Mo}$ | $^{100}_{42}\text{Mo}$ |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 各占比例% | 15.84                 | 9.04                  | 15.72                 | 16.53                 | 9.46                  | 23.78                 | 9.63                   |

另据文献记载，已发现第八种天然同位素的存在。此外，还发现钼有十一种人造放射性同位素。

钼为银白色金属，钼原子半径为 $1.40 \text{ \AA}$  (Smithells, C. J., 1967) 原子体积为 $9.42 \text{ 厘米}^3/\text{克摩尔}$  (Mott, N. F. 1945)，配位数为8，晶体为A<sub>2</sub>型体心立方晶系，空间群为Oh<sup>9</sup> (1m3m)，至今还没发现它有异构转变。常温下钼的晶格参数在 $3.1467\text{---}3.1475 \text{ \AA}$ 之间，随杂质含量而变化。

钼熔点很高，在自然界单质中名列第六，被称作难熔金属，见下表(摘自“理化手册”60th)

钼的密度为 $10.23 \text{ 克/厘米}^3$ ，约为钨的一半(钨密度 $19.36 \text{ 克/厘米}^3$ )。钼的热膨胀系数很低， $20\text{---}100^\circ\text{C}$ 时为 $4.9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，钼的热传导率较高，为 $0.34 \text{ 长/秒} \cdot \text{厘米} \cdot \text{度}$

表1—2

难熔物及熔点沸点

| 物质   | 碳C        | 钨W      | 铼Re  | 铱Os      | 钽Ta      | 钼Mo     |
|------|-----------|---------|------|----------|----------|---------|
| 熔点°C | 3652—3697 | 3410±10 | 3180 | 3045     | 2996     | 2622±10 |
| 沸点°C | 4827      | 5660    | 5627 | 5027±100 | 5425±100 | 5560    |

钼电阻率较低, 0°C时为 $5.17 \times 10^{-6}$ 欧姆·厘米, 800°C时为 $24.6 \times 10^{-6}$ 欧姆·厘米, 2400°C时为 $72 \times 10^{-6}$ 欧姆·厘米。钼属顺磁体, 99.99%纯度的钼在25°C时比磁化系数为 $0.93 \times 10^{-6}$ 电磁单位/克。钼的比热在25°C时为0.058卡/克·度。钼的硬度较大, 摩氏硬度为5—5.5。钼在沸点的蒸发热为142千卡/摩尔; 熔化热为 $6.6 \pm 0.7$ 千卡/摩尔; 在25°C时的升华热为157.5千卡/摩尔。

钼的原子半径、离子半径与钨、铼的很接近。

|   | 原子半径<br>Å | 4 <sup>+</sup> 离子半径<br>Å | 6 <sup>+</sup> 离子半径<br>Å |
|---|-----------|--------------------------|--------------------------|
| 钼 | 1.39      | 0.68                     | 0.65                     |
| 钨 | 1.40      | 0.68                     | 0.65                     |
| 铼 | 1.38      |                          |                          |

钼原子的电子排列体现了典型过渡元素的性质: 次外层的五个4d轨道、最外层的一个5s轨道上电子均呈半充满状态。钼原子外层电子电离电位为:

| 外层电子(个)    | 1   | 2     | 3     | 4     | 5    | 6    | 7     | 8     |
|------------|-----|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| 电离电位(电子伏特) | 7.2 | 15.17 | 27.00 | 46.53 | 55.6 | 71.7 | 132.7 | 153.2 |

显然, 钼要丢掉七个或八个电子是极困难的。这决定了钼的化学性质比较稳定。

常温或在不太高的温度下, 钼在空气或水里是稳定的。钼在空气中加热, 颜色开始由白(色)转暗灰色, 温升至520°C, 钼开始被缓慢氧化, 生成黄色三氧化钼( $\text{MoO}_3$ , 温度降至常温后变为白色); 温升至600°C以上, 钼迅速被氧化成 $\text{MoO}_3$ 。钼在水蒸气中加热至700—800°C便开始生成 $\text{MoO}_2$ , 将它进一步加热, 二氧化钼被继续氧化成三氧化钼。钼在纯氧中可自燃, 生成三氧化钼。

钼的氧化物已见于报道的很多, 但不少是中间反应产物, 而不是热力学稳定相态。非常可靠的只有九种, 其结构与转化温度如表1—3。

表1—3

钼的氧化物

| 氧化物                           | 生成温度范围°C | 结晶结构 |
|-------------------------------|----------|------|
| $\text{MoO}_2$                | —        | 菱形   |
| $\text{Mo}_4\text{O}_{11}$    | <615     | 单斜系  |
| $\text{Mo}_4\text{O}_{11}$    | 615—800  | 正斜形  |
| $\text{Mo}_{17}\text{O}_{47}$ | <560     | —    |
| $\text{Mo}_5\text{O}_{14}$    | <530     | —    |
| $\text{Mo}_8\text{O}_{23}$    | 650—780  | —    |
| $\text{Mo}_{18}\text{O}_{52}$ | 600—750  | 三斜系  |
| $\text{Mo}_6\text{O}_{26}$    | 750—780  | 单斜系  |
| $\text{MoO}_3$                | —        | 菱形   |

另外,在生成 $\text{MoO}_2$ 前还有三种中间产物: $\text{Mo}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MoO}$ 和 $\text{Mo}_3\text{O}$ ,但都还未能制造出它们的纯产物。

钼的这一系列氧化物中,除最高价态的 $\text{Mo}_2\text{O}_3$ 为酸酐外,其余氧化物均为碱性氧化物。钼最重要的是氧化物 $\text{MoO}_3$ 和 $\text{MoO}_2$ 。

$\text{MoO}_2$ 分子量为127.94,含 $\text{Mo}$ 74.99%。纯 $\text{MoO}_2$ 呈暗灰色、深褐色粉末状。25°C时, $\text{MoO}_2$ 的生成热为131.7千卡/摩尔,密度为6.34—6.47克/厘米<sup>3</sup>。 $\text{MoO}_2$ 呈金红石单斜结晶构造,单位晶体(晶胞)由两个 $\text{MoO}_2$ 分子组成,晶格参数为 $a=5.608\text{ \AA}$ , $b=4.842\text{ \AA}$ , $c=5.517\text{ \AA}$ , $\alpha=119.75^\circ$ 。

$\text{MoO}_2$ 可溶于水,易溶于盐酸及硝酸中,但不溶于氨水等碱液里。在空气、水蒸气或氧气中继续加热 $\text{MoO}_2$ ,它将被进一步氧化,直至完全生成 $\text{MoO}_3$ 。在真空中加热到1520—1720°C固态 $\text{MoO}_2$ 局部升华而不分解出氧,但大部分 $\text{MoO}_2$ 分解成 $\text{MoO}_3$ 气体和固态 $\text{Mo}$ 。Jette·E·R(1935年)报道: $\text{MoO}_2$ 在 $1980\pm 50^\circ\text{C}$ 、一个大气压(惰性气体)的条件下分解成钼和氧。

$\text{MoO}_3$ 是钼氧化的最终产物。 $\text{MoO}_3$ 为淡绿或代淡青色的白色粉末。分子量为143.94,含 $\text{Mo}$ 66.65%。25°C时, $\text{MoO}_3$ 的生成热为159.7千卡/摩尔,密度为4.692克/厘米<sup>3</sup>,熔点为795°C,沸点为1155°C。在低于熔点的温度已开始升华,在520—720°C时,升华呈气体的三氧化钼为 $\text{Mo}_x\text{O}_{3x}$ 分子混合物,其中 $x=3\sim 5$ ,以 $x=3$ 为主。

$\text{MoO}_3$ 微溶于水而生成钼酸。18°C时, $\text{MoO}_3$ 溶解度为1.066%,70°C时为2.05%。溶于水的三氧化钼与水按不同比例组成一系列异极酸, $n\text{MoO}_3\cdot m\text{H}_2\text{O}$ 其中 $n\geq m$ 。这一系列异极酸中比较重要的有:钼酸 $\text{H}_2\text{MoO}_4$ ( $n=m=1$ ),仲钼酸 $\text{H}_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ( $n=7, m=3$ ),四钼钼酸 $\text{H}_2\text{Mo}_4\text{O}_{13}$ ( $n=4, m=1$ )。

$\text{MoO}_3$ 易溶于氨水、碱金属碱液中,生成与异极酸对应的盐。 $\text{MoO}_3$ 在碱性介质中往往呈 $\text{MoO}_4^{2-}$ 存在,而在酸性介质中,它往往以 $\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$ 或 $\text{Mo}_8\text{O}_{24}^{4-}$ 形式存在。作为钼的重要化工产品——工业钼酸铵,也正是这一系列异极酸的铵盐混合物。

室温下,钼能与 $\text{F}_2$ 反应,250°C钼开始与 $\text{Cl}_2$ 反应,700—800°C钼可与 $\text{Cl}_2$ 反应生成 $\text{MoCl}_2$ ,在白热温度下,钼能与 $\text{Br}_2$ 反应。

600°C以上,钼在 $\text{N}_2$ 中开始脆化。1500°C以上钼才开始与 $\text{N}_2$ 反应,2400°C以上钼与 $\text{N}_2$ 反应生成氮化物。但是,直至熔解( $2622\pm 10^\circ\text{C}$ ),钼都不能与 $\text{H}_2$ 反应。因而,工业上通常用 $\text{H}_2$ 还原 $\text{MoO}_3$ 以生产金属钼粉。反应过程可能是:450—500°C时, $\text{MoO}_3$ 经 $\text{H}_2$ 还原,经生成 $\text{Mo}_6\text{O}_{14}$ 、 $\text{Mo}_{17}\text{O}_{47}$ 、 $\text{Mo}_4\text{O}_{11}$ 等中间氧化态后生成 $\text{MoO}_2$ ;1000—1100°C时, $\text{H}_2$ 进一步将 $\text{MoO}_2$ 还原成金属钼粉。

钼在 $\text{CO}_2$ 中加热,可以被氧化为 $\text{MoO}_3$ ,而反应产物 $\text{MoO}_3$ 与 $\text{CO}$ 又可反应,再度还原成 $\text{Mo}$ , $\text{Mo}+3\text{CO}_2\rightleftharpoons\text{MoO}_3+3\text{CO}$ 。

钼粉或氧化钼在 $\text{CO}$ 或者 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2$ 混合物中共同加热可以生成碳化钼。600°C时生成物为 $\text{Mo}_2\text{C}$ ,它性脆、密度为8.9克/厘米<sup>3</sup>,熔点为2380°C;而800°C时的生成物为 $\text{MoC}$ ,它的密度为8.4克/厘米<sup>3</sup>。

钼在常温下不与 $\text{HF}$ 、 $\text{HCl}$ 、稀 $\text{HNO}_3$ 、稀 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 及碱溶液反应。钼只溶于浓 $\text{HNO}_3$ 、王水或热而浓的 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、热的 $\text{HCl}$ 中。

钼的生物属性也很重要,它不仅是植物也是动物必不可少的微量元素。

钼是植物体内固氮酶的主要成份之一，也是植物体内亚硝酸还原酶的主要成份。亚硝酸还原酶可使植物从土壤中吸收的亚硝酸盐转化为氨。已证实，一些癌症高发病区的土壤中，钼含量往往偏低，而亚硝酸类物质往往偏高。因此，对于植物除了氮、磷、钾而外，钼是七种重要微量营养元素之一。

钼还是动物体内肝、肠中黄嘌呤氧化酶、醛类氧化酶的基本成份之一，也是亚硫酸肝素氧化酶的基本成份。研究表明，钼还有明显防龋作用，钼对尿结石的形成有强烈抑制作用，人体缺钼易患肾结石。对于人类，钼是第二第三类过渡元素中已知唯一对人必不可少的元素，与同类过渡元素相比，钼的毒性极低，甚至可认为基本无毒。当然，过量的食入也会加速人体动脉壁中弹性物质——缩醛磷脂——氧化。所以，土壤含钼过高的地区，癌症发病率较低但痛风病、全身性动脉硬化的发病率较高。而食入含钼过量的饲草的动物，尤其长角动物易患胃病。

### 1—3 钼的用途

鉴于钼所具有的这些可贵特性，它在现代社会得到广泛应用。它作为钢铁合金添加剂、钼及钼基合金，化工产品等方面介绍如下：

1. 钢铁添加剂：作为钢铁的合金添加剂是钼的最重要的用途，据1986年统计，它占世界钼总消耗量的83%。而凡含有钼的钢又占了世界粗钢产量的1/10。因此，钼钢比往往作为一个国家工业发达与否的判据之一。世界钼钢比为0.011%，美国为0.014%，我国仅为0.004%还达不到世界平均值的一半。钢铁添加剂的钼往往分作以下几方面：

合金钢：它耗钼量最大，占了世界钼总耗量的44%，占钢铁添加钼量的一半以上。

其中结构钢（或称一般钼钢）含钼约0.1—0.2%被广泛用作摩天大楼、桥梁等大型钢构件，提高钢材硬度，强度和韧性，延长这些大型设施的寿命。

含钼0.3%的钼钢往往用于运输和汽车制造业中的承重部件和传动部件。高强度合金钢含钼通常在0.3%以下，同时含0.5—3.5%镍、0.5—1.0%铬，以提高钢材硬度、强度和韧性，成具良好的可焊性和抗腐蚀性能。七十年代末，苏联用于西伯利亚开发秋明油田，在高寒地区修建4300公里的天然气管道一项就耗钼1.8万吨。在修筑第二条西伯利亚铁道时耗钼量也很巨大。

不锈钢：它约占钼总耗量的22%，通常加钼量为4—5%，往往用作防侵蚀，抗腐蚀的地方。比如石油精炼、天然气井和油井中腐蚀严重的地方、飞机发动机、海洋设备、化工设备……等等。

高速钢和工具钢：它约占钼总耗量的8%。高速钢中通常含钼为3.75—9.5%，平均4.8%，其中往往还同时要添加钨、钒、铬等金属。世界现应用的高速钢中就有90%的含有钼。全世界每年用于生产高速钢的钼约有6000吨。

工具钢的含钼量通常为0.6—2.95%，全世界每年用于工具钢的钼为2000—2500吨。

铸铁和轧辊：它们约消耗占钼总耗量的6%。当铸铁添加0.3—1.0%的钼后，将会大大提高抗拉强度、抗弯强度和抗劳强度，还会提高铸件结构的均匀性，这对大型铸件尤其显得重要，这些铸件广泛应用于汽车制造、压力管道和铸模等。

2. 钼及钼基合金约占世界总耗量的6%。钼熔点、沸点高，高温强度好，抗摩耐腐蚀，热传导率大，热膨胀系数小，淬透性好等优点，使它在宇航、兵器、电子、化工等领域广泛应用。

回收卫星重返大气层时,必须克服热气流冲刷。因此要求能承受振动、冲击、真空、辐射和温度交变的环境,钼基合金常用来制作卫星回收舱稳定裙的蒙皮。TZM钼合金还用于制作宇宙火箭或航天飞机的固体燃料火箭发动机的喷管,火箭的鼻锥、飞行器的前缘、方向舵,防热屏、蜂窝结构等。

兵器工业中不仅用钼钢作坦克装甲,还利用TZM及TZC钼合金耐腐蚀特点,用作巡航导弹的整体透平叶轮,还用作高温气冷原子反应堆的氦气透平叶轮。

电子工业里常利用钼的高熔点,低膨胀系数和较低的二次电子发射率等优点,广泛用作各种电子管的栅极、屏极和高级电光源的电源引出线等。现在研究认为,向钼中添加少量硅、铝、钾可使它二次结晶温度比纯钼还高 $700^{\circ}\text{C}$ ,达到 $1800-1900^{\circ}\text{C}$ ,广泛用作发热元件、隔热屏等。

化学工业常利用钼的耐腐蚀性,熔融玻璃可腐蚀绝大多数金属,而唯独钼与铂能耐其腐蚀,铂太贵,现在往往用钼或含30%钨的钼合金,代替铂作玻璃熔炉的电极。熔炼、盛放熔融液态金属: $1059^{\circ}\text{C}$ 的铅、 $1430^{\circ}\text{C}$ 的铋、 $999^{\circ}\text{C}$ 的锂、 $599^{\circ}\text{C}$ 的汞、 $899^{\circ}\text{C}$ 的钾和钠、 $850^{\circ}\text{C}$ 的铈,此时,钼的耐腐蚀和高温强度等优点决定了它是最佳材料选择,并已得到广泛应用。在制造硫酸热交换器及阀门上,钼和钼基合金被广为应用。

加工工业里钼用得更为广泛。高温下使用的模具,受热、机械交变应力作用导致材料疲劳出现裂纹。而利用热膨胀系数小,导热强、高温强度好的钼或钼基合金,模具寿命大幅度延长。英国G. K. N公司压铸手表壳等精巧零件时,寿命可达5000次,一般为3000次。轴承生产中采用钼合金模具比原高速钢、轴承钢模具寿命提高15倍。在等温锻造难变形的高温合金时,钼合金模具可在 $1200^{\circ}\text{C}$ 下使用。由于钼基合金硬度高,抗冷热疲劳强度高,常用作无缝管穿孔机上作顶头和模具,其寿命比3Cr2W8V模具钢的寿命还高出几百倍。

国外,作汽车活塞环、汽缸体内壁等的钼年耗量已达六百多吨。钼对激光高反射率使它不易被激光损坏,美国正用它研制直径2.5米、厚度13毫米的激光反射镜。R. M. 琼斯(Jouns)认为,钼与石英极接近的导热、热膨胀性能,很适于制作巨型计算机心脏——硅芯片的封装保护套。钼还是良好喷涂材料,可大大提高被喷涂部件的耐腐蚀性、延长部件寿命。

3. 钼化工制品约占钼总耗量的10%,其中约一半是作润滑剂,其次还有催化剂、颜料、防蚀剂、试剂等。

(1) 润滑剂:高纯度二硫化钼粉以温度适应范围广,抗重荷、耐真空、防辐射……等优点被誉为固体润滑之王而广泛应用。

航空、航天领域:高空宇宙中的高真空和宇宙射线的强辐射是油脂或石墨等常规润滑材料根本无法适应的。二硫化钼在高真空、强辐射、失重高温和超低温环境下润滑效能优越,因而被广泛用在航天器上:国际通讯卫星的Ⅳ号天线,定向机构,其铝制枢轴套采用了二硫化钼擦涂膜润滑;雨云气象卫星和OAO—1规定天文观测卫星利用 $88\text{Ag}-12\text{MoS}_2$ 作电接点电刷;同步气象卫星万向接头轴承、TRIAD卫星球面轴承……都用二硫化钼作润滑剂。

核工业的高温强辐射环境中,二硫化钼是润滑材料最佳选择,国外高温原子反应堆通常都用二硫化钼来解决传动部件和摩擦付的润滑;高温液钠冷却快中子增殖反应堆的传动机构,它工作在氦气和钠蒸汽中,当它使用二硫化钼润滑后,零件表面形成抗摩的 $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ 薄膜,英国的“龙”高温气冷反应堆传动机构密闭在充满氦气的干套管中,对它轴承的滚球和

滚道面喷涂二硫化钼后，工作摩擦系数可保持在0.003，西德AVR高温球床反应堆、美国圣·符伦堡高温气冷反应堆的传动机构也都用含二硫化钼的干膜进行轴承润滑。

汽车内燃机仅能将汽油燃烧热能的25%转化为有用功，而摩擦损失10.5%。1979年日本赤冈纯报道，小轿车机油添加二硫化钼后，每升汽油行车距离平均增加7.9%，1975年雷斯顿报道，机油添加1%以上的二硫化钼，汽车油耗平均降低4—8%。

美国铁道协会(AAR)一年间使用过28种润滑剂，认为适用的5种里有3种含二硫化钼。加拿大国营铁路和加拿大太平洋铁路，多年采用含50% $MoS_2$ 、50%矿物醇的润滑膏。

将二硫化钼掺入塑料、青铜、铸铁等基材，制成自润滑齿轮、轴承和轴瓦，用于怕油污染的高温环境的纺织、印染、造纸、食品、橡胶……等领域，实现了无油或少油润滑。

将二硫化钼添加进润滑油、脂中，制备成复合润滑油、脂、膏，广泛应用于各种领域；冷轧机连轴器上应用二硫化钼钙基脂，轧钢车间天车齿轮箱里应用二硫化钼齿轮成膜膏、大型球磨机轴瓦、齿轮采用二硫化钼干膜或成膜膏来润滑。

(2) 催化剂：钼化合物是目前所知用途最广的催化剂之一。早在1910年，英国伯蒂舍(Badische)就发表了钼化合物用作氨合成工艺作催化剂的专利。至今 $nCo_2O_3 \cdot mMoO_3$ 仍广泛用于氨合成工业，用作原料气、油加氢、脱硫催化剂

氧化钼与锡、铋、铁的氧化物化合生成的钼酸盐常被用作选择氧化反应过程的催化剂，比如， $Bi_2O_2 \cdot MoO_4 (Bi_2O_3 \cdot MoO_3)$ 用作选择性氧化丙烯的催化剂： $CH_2=CH-CH_3 + O_2$

$\xrightarrow{Bi_2O_3 \cdot MoO_3} CH_2=CH-CHO + H_2O$ 用作氧氨化催化剂，从丙烯生产丙烯腈的反应： $2NH_3 +$

$2CH_2=CH-CH_3 + 3O_2 \xrightarrow{Bi_2O_3 \cdot MoO_3} 2CH_2=CH-CN + 6H_2O$ 。丙烯腈是合成聚丙烯纤维的原料，丙烯氨氧化法是当前大量生产丙烯腈的主要方法。用于这一反应的第一种工业催化剂为磷钼酸铋—二氧化硅催化剂，它几经演变，但钼都是此类催化剂的主要成分。

氧化镍—氧化钼催化剂具很高活性和选择性，在435℃下，用作丙烯氧化生产丙烯酸的催化剂。丙烯转化率为84%、丙烯酸产率为79%

现代化学工业重要原料甲醛主要是由甲醇氧化来生产，这个反应的催化剂用银或铁钼氧化物。两者对比，使用寿命银(2—6个月)不如铁钼氧化物(1—2年)；转化率银(60—73%)更不如铁钼氧化物(99%)。反应温度银(635℃)比铁钼氧化物高(<430℃)，选择性银(85—95%)不如铁钼氧化物高(91—94%)，而且，银价格远比铁钼氧化物高，为此，甲醇氧化的催化剂大都采用铁钼氧化物 $MoO_3/F_{e_2}(MoO_4)_3$ 。

二硫化钼是加氢脱硫反应催化剂的主要成份(例如硫化过的 $Co_2O_3 \cdot MoO_3/Al_2O_3$ 催化剂)。它在烯烃或苯环加氢反应中或C—S键氢解反应中都有极大的催化活性。

仲钼酸铵用三氧化二钼作载体后是煤加氢液化特别有效的催化剂。在450℃和70公斤/厘米<sup>2</sup>氢气压力下，煤液化的转化率高达95%，人造石油产出率为63%。

美国研制成功一种含钼6—20%，钾5—4%的催化剂，它不怕硫化氢的腐蚀，在用于弗托合成时作催化剂，当进气含10—25ppm $H_2S$ 时亦不受干扰，能生产出含70%碳氢化合物的液化石油气，其主要成分是乙烷和丙烷。

(3) 颜料：当今世界最常用无机黄颜料是铬黄和镉黄。铅、铬、镉都有很高毒性。在环境保护呼声中，无毒颜料的研制很重要。

北京师范大学研制出BSD—钼黄，并于1984年11月通过新产品鉴定。BSD—钼黄具有

色泽鲜艳，光、热稳定性好，它适用于制造包括普通油漆、高温油漆、建筑涂料等多种制品。也能配制民用和工程塑料制品。还能制作彩蜡制品和彩色石墨。该工艺已由北京师范大学向栾川县钼业公司转让，已经投入了生产。

钼橙的结构式大约为 $25\text{PbCrO}_4 \cdot 4\text{PbMoO}_4 \cdot \text{PbSO}_4$ 早在六十年代以后，它已成为一种广泛应用的无机颜料。钼橙具有鲜艳美丽的桔红色彩，光稳定性较强，遮盖力好，并具有一定程度的缓蚀防锈性能。因而被广泛用于交通工具、大型露天装置、农用机械以及印刷油墨、塑料等方面。例如，上海电视台天线塔架美丽的彩色正是由含钼橙涂料刷成。现在，世界上许多无机颜料制造公司都生产钼橙。并根据它含铅、铬等而在不断改进中。英国1970年生产钼橙1万多吨，1982年世界钼橙产量达3.5万吨。但作为钼资源大国的中国，仅只有小批量生产。1986年，栾川县钼业公司已在北京师范大学扶持下，开始钼橙的生产。

(4) 微量化肥：钼是植物体内固氮酶 $\text{Fe-Mo}$ 细胞的主要成份之一，也是植物亚硝酸还原转化为氨的还原酶主要成份。

植物有机体由60多种元素组成，氮、磷、钾是植物三大肥料。含量很少的元素硼、锰、锌、铜、钴、钼、碘被称作七种微量营养要素而开始受到人们注意。当前世界已有美国、苏联、日本等20多个国家使用，我国五十年代末开始应用，目前包括钼在内已有十多个微量肥料品种在生产应用中。

美国肥料监督协会建议，每平均使用一吨常用化肥，应加入0.2公斤硼、0.5公斤锌、0.5公斤锰、0.5公斤铜、1公斤铁、0.005公斤钼。

我国湖南长沙县南华乡用钼酸铵拌种，花生增产32.2%，广东德化县在早稻灌浆期喷施钼肥，早稻增产25.6%，黑龙江国营农场从1957年开始对大豆施用钼肥试验，发展到大面积飞机喷洒和拌种，结果使大豆增产10%左右。

(5) 其它：黑色钼膜作太阳能转换的暗镜。对于有效的光热太阳能转换来说，需要高的太阳能吸收率与高的红外反射率相匹配，而黑色钼膜是目前最好的材料。

有机聚合物的阻燃剂和消烟剂：英国研究表明，在卤代聚脂中加入3—4%的三氧化钼，可使临界氧指数（使有机物燃烧的最低 $\text{O/N}$ 比）提高3—4%，燃烧时碳的生成量增加4%左右，使烟雾量减少3%。

水质缓蚀剂：钼的杂多酸盐可用作水质缓蚀剂，在 $50^\circ\text{C}$ 、 $\text{pH}8.13-8.25$ 环境，碳钢片在没加钼盐前腐蚀率为1.241毫米/年，加了钼的杂多酸盐后，腐蚀率降到0.15毫米/年以下。尤以磷钼酸钠为佳，缓蚀率达95%以上，这对海水中运行的船舶尤其重要。

回收 $\text{Cs}^{137}$ 的复合离子交换材料，磷钼酸铵（AMP）离子交换材料可应用于回收 $\text{Cs}^{137}$ ，它对 $\text{Cs}^{137}$ 有高的选择性和耐蚀性，与其它离子交换材料相比，交换容量和淋洗都更优越。

钼和钼化合物其它用途还很广泛。

## 第二节 钼的储量、产量、耗量和贸易量

### 2—1 钼的储量

在自然界中钼含量很低，在地壳中平均含量为 $1.1 \times 10^{-4}\%$ ；在土壤中平均含量为 $2 \times 10^{-4}\%$ ；在海水中平均含量为 $1 \times 10^{-6}\%$ 。

自然界中，迄今尚未发现呈自然或游离态的钼产出。已确定的近三十种钼矿物中，辉

钼矿是工业上最重要的原料,占了世界钼开采总量的98%以上。另外,水钼铁矿(铁钼华  $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )、钼华( $\text{MoO}_3$ )、钼钙矿( $\text{CaMoO}_4$ )、钼钨钙矿( $\text{Ca}(\text{Mo}, \text{W})\text{O}_4$ )和彩钼铅矿( $\text{PbMoO}_4$ )虽然分布也很广泛,但含量很少,且极少构成有工业开采储量的矿山。

从世界范围看,钼资源大多集中在美洲、中国、苏联,其次还有东欧。而钼耗量很大的日本、西欧的钼储量却很少或几乎没有。非洲、大洋洲和大多数亚洲国家钼资源也很少。

对于世界现有钼资源的统计,各种资料随来源不同报导的数据出入较大。

目前,不包括我国在内,世界已探出含钼矿床约200个,其中140个勘探较充分。据统计,世界钼金属储量大约1471万吨,其中968万吨可回收。

表1—4 世界各国钼储量

| 国 家   | 矿石量 百万吨 | 平均品位 % | 钼金属量 万吨 | 其中可供回收钼金属量 万吨 |
|-------|---------|--------|---------|---------------|
| 美 国   | 11306   | 0.049  | 556     | 436           |
| 加 拿 大 | 4282    | 0.0485 | 208     | 151           |
| 智 利   | 10905   | 0.0245 | 268     | 139           |
| 秘 鲁   | 3695    | 0.0214 | 79      | 38            |
| 苏 联   | 2425    | 0.0264 | 64      | 35            |
| 墨 西 哥 | 2235    | 0.0134 | 30      | 17            |
| 合 计   | 45310   | 0.033  | 1471    | 968           |

表1—5 世界各大洲钼储量

| 洲   | 矿石量百万吨 | 平均品位%  | 钼金属量万吨 | 可回收钼金属量万吨 |
|-----|--------|--------|--------|-----------|
| 北 美 | 15588  | 0.049  | 764    | 587       |
| 拉 美 | 21140  | 0.0206 | 437    | 217       |
| 五 洲 | 2957   | 0.02   | 46     | 20        |
| 欧 洲 | 2200   | 0.06   | 140    | 95        |
| 大洋洲 | 1000   | 0.033  | 20     | 13        |
| 合 计 | 45310  | 0.033  | 1471   | 968       |

表1—6 西方国家主产钼储量与分布

| 国 家   | 矿 山 数(个) |     |    | 矿石储量 (百万吨) | 矿石品位 (%Mo) | 可回收钼金属量(万吨) |        |
|-------|----------|-----|----|------------|------------|-------------|--------|
|       | 已开采      | 未开采 | 合计 |            |            | 钼金属量        | 分配%    |
| 美 国   | 5        | 7   | 12 | 3975       | 0.109      | 365.6       | 83.62  |
| 加 拿 大 | 3        | 6   | 9  | 864        | 0.048      | 57.6        | 13.18  |
| 墨 西 哥 | 1        | 1   | 2  | 17.9       | 0.1114     | 14.0        | 3.20   |
| 合 计   | 9        | 14  | 23 | 5018       | 0.109      | 437.2       | 100.00 |

依据C. M. 帕伦西亚1985年统计的88个矿山。这88个矿山中可开采的钼金属量为744.3万吨。其中主产钼矿的钼储量占58.74%而副产钼矿的钼储量占41.26%。

表1—7

西方国家副产钼矿储量与分布

| 国 家     | 矿山数(个) |     |    | 矿石储量<br>百万吨 | 矿 石 品 位 |       | 可回收钼金属量万吨 |        |
|---------|--------|-----|----|-------------|---------|-------|-----------|--------|
|         | 已开采    | 未开采 | 合计 |             | % Cu    | % Mo  | 钼金属量      | 分配 %   |
| 智 利     | 5      | 5   | 10 | 11050       | 1.32    | 0.060 | 133.3     | 43.41  |
| 美 国     | 14     | 7   | 21 | 6290        | 0.62    | 0.019 | 52.4      | 17.06  |
| 加 拿 大   | 6      | 7   | 13 | 3250        | 0.40    | 0.033 | 39.6      | 12.89  |
| 秘 鲁     | 4      | 4   | 8  | 2841        | 0.87    | 0.021 | 32.0      | 10.42  |
| 墨 西 哥   | 2      | 0   | 2  | 1200        | 0.67    | 0.020 | 14.4      | 4.70   |
| 阿 根 廷   | 0      | 3   | 3  | 1279        | 0.73    | 0.014 | 11.1      | 3.61   |
| 巴 拿 马   | 0      | 1   | 1  | 1380        | 0.73    | 0.009 | 7.8       | 2.54   |
| 巴亚新几内亚  | 0      | 2   | 2  | 791         | 0.81    | 0.015 | 6.2       | 2.02   |
| 伊 朗     | 1      | 0   | 1  | 414         | 1.13    | 0.030 | 5.3       | 1.73   |
| 裴 济     | 0      | 1   | 1  | 813         | 0.49    | 0.014 | 3.3       | 1.07   |
| 菲 律 宾   | 2      | 0   | 2  | 879         | 0.50    | 0.002 | 1.1       | 0.36   |
| 巴 基 斯 坦 | 0      | 1   | 1  | 348         | 0.43    | 0.006 | 0.6       | 0.20   |
| 合 计     | 34     | 31  | 65 | 30535       | 0.89    | 0.034 | 307.1     | 100.00 |

表1—8

西方国家钼资源

| 矿 种  | 矿山数(个) |    |    | 矿石储量 百万吨 | 矿石品位 % |       | 可回收钼资源 |        |
|------|--------|----|----|----------|--------|-------|--------|--------|
|      | 已开     | 未开 | 合计 |          | Cu     | Mo    | 金属量 万吨 | 比例 %   |
| 主产钼矿 | 9      | 14 | 23 | 5018     |        | 0.109 | 437.2  | 58.74  |
| 副产钼矿 | 34     | 31 | 65 | 30535    | 0.89   | 0.034 | 307.1  | 41.26  |
| 合 计  | 43     | 45 | 88 | 35553    |        |       | 744.3  | 100.00 |

从统计可见,世界钼储量大约为1470万吨,其中2/3是可以回收的。据英国皇家国际事务研究所出版的矿产手册统计,按世界现有的钼储量与世界钼的年耗量对比,全世界可回收的钼储量可保证人类93年的开发需求。

尽管钼资源量不少,但分布却极不均衡,除中国外,世界上钼资源的80%以上集中在南、北美洲。集中在美国、智利、加拿大、秘鲁、墨西哥五国的可回收钼资源为708.9万吨,占市场经济国家钼储量的95%以上。

我国钼储量相当丰富,已发现的170多个含钼矿山遍布在25个省、市、自治区,钼金属量达500万吨左右,可回收的钼也达300万吨左右,成为世界上仅次于美国的第二钼资源大国。

表1—9

我国铝矿储量

| 地 区 |     | 储 量     |        | 可回收资源   |        |
|-----|-----|---------|--------|---------|--------|
| 区 域 | 省 份 | 铝金属量 万吨 | 比例 %   | 铝金属量 万吨 | 比例 %   |
| 东北  | 辽 宁 | 18.00   | 3.61   | 10.44   | 3.51   |
|     | 吉 林 | 109.83  | 22.02  | 80.36   | 27.04  |
|     | 黑龙江 | 18.03   | 3.61   | 5.97    | 2.01   |
|     | 小 计 | 145.86  | 29.24  | 96.77   | 32.56  |
| 华北  | 北 京 | 7.59    | 1.52   | 2.76    | 0.93   |
|     | 天 津 | 0.33    | 0.07   | —       | —      |
|     | 山 西 | 7.16    | 1.44   | 1.45    | 0.49   |
|     | 河 北 | 8.53    | 1.71   | 1.85    | 0.62   |
|     | 内蒙古 | 1.90    | 0.38   | 0.11    | 0.04   |
|     | 小 计 | 25.51   | 5.11   | 6.17    | 2.08   |
| 华东  | 江 苏 | 0.61    | 0.12   | 0.18    | 0.06   |
|     | 浙 江 | 2.11    | 0.42   | 0.65    | 0.22   |
|     | 安 徽 | 2.40    | 0.48   | 0.91    | 0.31   |
|     | 福 建 | 11.40   | 2.21   | 3.93    | 1.32   |
|     | 江 西 | 33.43   | 6.70   | 23.21   | 7.81   |
|     | 山 东 | 3.86    | 0.77   | 0.04    | 0.01   |
|     | 小 计 | 53.81   | 10.79  | 28.92   | 9.73   |
| 中南  | 河 南 | 99.13   | 19.87  | 71.73   | 24.13  |
|     | 湖 北 | 2.62    | 0.53   | 0.23    | 0.08   |
|     | 湖 南 | 19.48   | 3.90   | 12.01   | 4.04   |
|     | 广 东 | 13.18   | 2.64   | 3.29    | 1.11   |
|     | 广 西 | 0.44    | 0.09   | 0.14    | 0.05   |
|     | 小 计 | 134.85  | 27.03  | 87.40   | 29.41  |
| 西北  | 陕 西 | 106.30  | 21.31  | 75.06   | 25.25  |
|     | 青 海 | 0.04    | 0.01   | —       | —      |
|     | 新 疆 | 0.03    | 0.01   | —       | —      |
|     | 小 计 | 106.37  | 21.32  | 75.06   | 25.25  |
| 西南  | 四 川 | 1.75    | 0.35   | 1.19    | 0.40   |
|     | 贵 州 | 0.72    | 0.14   | 0.19    | 0.06   |
|     | 云 南 | 6.22    | 1.25   | 0.46    | 0.15   |
|     | 西 藏 | 23.78   | 4.77   | 1.06    | 0.36   |
|     | 小 计 | 32.47   | 6.51   | 2.90    | 0.97   |
| 全国  | 合 计 | 498.87  | 100.00 | 297.22  | 100.00 |

我国钼矿山分布广，但储量却比较集中。仅栾川、大黑山、金堆城和杨家杖子四个大钼矿的钼储量就占了全国钼总储量的4/5。而前3个矿与克莱麦克斯、亨德逊、石英山、麦卡并列为世界7大钼矿。

表1—10

世界七大钼矿

| 矿 山                | 国 家  | 地 区               | 储量万吨钼 | 钼品位%  |
|--------------------|------|-------------------|-------|-------|
| 克莱麦克斯<br>Climax    | 美 国  | 科罗拉多州<br>Colorado | 62.6* | 0.210 |
| 亨德逊<br>Henderson   | 美 国  | 科罗拉多州<br>Colorado | 45.4* | 0.215 |
| 石英山<br>Quartz Hill | 美 国  | 阿拉斯加州<br>Alaska   | 95.9* | 0.082 |
| 麦卡                 | 南斯拉夫 |                   | 100   |       |
| 栾川                 | 中 国  | 河 南 省             | 207   | 0.12  |
| 大黑山                | 中 国  | 吉 林 省             | 113   | 0.067 |
| 城堆金                | 中 国  | 陕 西 省             | 97    | 0.10  |

• 可回收钼储量,1985年统计

我国已知钼矿山达150余处，几乎遍布全国，累计的钼储量名列世界前列。

下面对全国42个主要钼矿床中的35个作一简单介绍。

按有价金属划分矿床类型，对某些矿山有时也会发生争议。比如同样含钼钨的夜长坪习惯划归钨钼矿，而三道崮—南泥湖就习惯划归钼矿床。肖家营子矿石中含铜0.44%，铁3.40%，与闲林埠相似。但因其钼含量高、储量大，而归纳进钼矿床，而闲林埠则被称作3铁钼矿。

这些矿山中，三道崮—南泥湖钼矿床不仅在国内最大，在世界也是最大钼矿床。名列第二的是大黑山钼矿，但其钼含量较贫，名列第三的是目前开发规模最大的金堆城钼矿。

由下表不难看出，许多矿床尽管资源丰富，但仍未得以开发利用。有的矿山，虽然开发了，但伴生金属综合回收并不理想。

为了保密起见，笔者在表中没列出矿山储量，而仅列出所含钼金属数量级。

表1—11

我国主要钼矿床简介

| 矿 山 | 位 置          | 矿床与矿石                        | 储 量 |      | 钼含量 %                 | 伴生金属                            | 开发规模<br>吨/日 |
|-----|--------------|------------------------------|-----|------|-----------------------|---------------------------------|-------------|
|     |              |                              | 等级  | 吨级   |                       |                                 |             |
| 金堆城 | 陕西华县         | 含钼石英脉、钾长石石英细脉。细碧岩矿石、花岗斑岩矿石为主 | 特大型 | 十万吨级 | 0.098                 | 0.028% Cu + 万吨级<br>2.23% S 千万吨级 | 22000       |
| 黄龙铺 | 陕西洛南         | 中、高温热液充填交代                   | 大型  | 十万吨  | 0.06—0.105<br>平均0.075 | Re 262 ppm<br>Os 0.7 ppm        | 未           |
| 南台  | 陕西商县         | 接触交代型                        | 中型  | 万吨   | 0.03—0.1<br>平均0.079   | 0.038% WO <sub>3</sub><br>万吨级   | 未           |
| 岭前  | 辽宁锦州<br>杨家杖子 | 矽卡岩型为主                       | 大型  | 十万吨  | 0.11—0.27             | Pb、Zn均达万吨级                      |             |

续上表

|             |              |                                 |    |           |                                  |                                                                                      |                                 |
|-------------|--------------|---------------------------------|----|-----------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 松 北         | 辽宁锦州<br>杨家杖子 | 花岗斑岩、矽卡岩及<br>灰岩                 | 中  | 万吨        | 0.08—0.13                        | 2.3%Pb 百吨级<br>5.6%Zn 千吨级                                                             |                                 |
| 兰家沟         | 辽宁锦州<br>钢屯   | 石英脉型、细脉型蚀<br>变破碎带型              | 大  | 十万吨       | 平均<br>0.27                       |                                                                                      | 地方<br>1000<br>杨矿<br>2200<br>近万吨 |
| 三道峡—<br>南泥湖 | 河南栾川         | 矽卡岩型(占71%)<br>角岩型、斑岩、二长花<br>岗岩型 | 特大 | 百万吨       | 平均<br>0.117                      | 0.08—0.12%<br>WO <sub>3</sub> 十万吨                                                    |                                 |
| 上房沟         | 河南栾川         | 矽卡岩型为主,斑岩<br>型                  | 特大 | 十万吨       | 平均<br>0.122                      | WO <sub>3</sub> 千吨级<br>铁 千万吨级                                                        | 未                               |
| 大黑山         | 吉林永吉         | 斜长花岗岩型、具细<br>脉浸染状构造             | 特大 | 百万吨       | 平均<br>0.066                      | 2.87%S, 0.030%<br>Cu, Re*135<br>ppm                                                  | 未                               |
| 五道沟         | 黑龙江阿<br>城    | 矽卡岩铅矿、具浸染<br>状构造                | 中  | 万 吨       | 0.03—0.35<br>平均0.167             | 0.02—0.03%Cu<br>0.02—0.05%Pb                                                         | 未                               |
| 黄家沟—<br>大庄科 | 北京—延<br>庆    | 角砾岩型铅矿床                         | 大  | 万 吨       | 平均<br>0.078                      |                                                                                      | 未                               |
| 后峪          | 山西繁峙         | 石英网状脉或粗石英<br>脉                  | 大  | 万 吨       | 0.05—0.1<br>平均0.061              | 0.02—0.05%Cu<br>平均0.037%<br>Au<6克/吨,<br>Ag<82克/吨                                     | 未                               |
| 肖家营子        | 内蒙古佐         | 细粒闪长岩型和接触<br>带型铅矿               | 大  | 十万吨       | 0.145—0.488<br>平均0.266           | 0.44%Cu万吨<br>级1.00%Zn<br>33.40%Fe(磁<br>铁矿)百万吨级<br>1—2%S, 1克/吨<br>Au, Re*<br>39—43ppm | 未                               |
| 石坪川         | 浙江青田         | 网脉状石英脉、绢云<br>母石英岩               | 中  | 万吨级       | 5*脉 0.41<br>25*脉0.168<br>1*脉0.33 | 0.042%Cu,<br>0.029%WO <sub>3</sub><br>0.042%Cu,<br>0.029%WO <sub>3</sub>             | 未                               |
| 赤路          | 福建福安         |                                 | 大  | 10万吨<br>级 | 外带0.065<br>内带0.075               |                                                                                      |                                 |
| 铜矿里         | 安徽青阳         | 矽卡岩型铅矿床                         | 小  | 千吨级       | 0.04—4.996<br>平均<br>0.124        |                                                                                      |                                 |
| 萌坑          | 安徽黄山         | 石英脉型(厚度>0.8<br>米)、花岗闪长岩型等       | 小  | 千吨级       | 0.03—0.5<br>平均<br>0.237          | 0.01—0.132%<br>Bi, Re*12ppm                                                          | 100<br>吨/日                      |

表1—12

我国主要铜—钼矿床简介

| 矿山  | 位置       | 矿床与矿石                          | 储 量 |      | 钼品位 %       | 伴生金属                                  | 开发规模<br>吨/日       |
|-----|----------|--------------------------------|-----|------|-------------|---------------------------------------|-------------------|
|     |          |                                | 型   | 级    |             |                                       |                   |
| 富家坞 | 江西<br>德兴 | 蚀变千枚岩(79%)<br>蚀变花岗闪长岩<br>(21%) | 大型  | 十万吨级 | 平均<br>0.033 | 0.501%Cu特大型<br>百万吨级; 1.76%<br>S, 百万吨级 | (德兴铜<br>基地之<br>一) |

续上表

|     |      |                     |    |     |                                  |                                                                 |      |
|-----|------|---------------------|----|-----|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------|
| 多宝山 | 黑龙江  | 浸染状、细脉浸染状           | 大型 | 万吨  | 0.045—0.055                      | 0.47%Cu、特大、百万吨                                                  | 未    |
| 玉龙  | 西藏江达 | 斑岩铜—钼矿、细脉浸染状和星点状构造  | 大型 | 十万吨 | I*脉 0.005—0.1<br>II*平均0.008      | 0.4—0.86%Cu<br>2.14%Cu特大百万吨2.51%Cu                              | 未    |
| 小寺沟 | 河北平泉 | 斑岩—砂卡岩型             | 大型 | 万吨  | 0.075—0.167铜矿床<br>0.009—0.039钼矿床 | 0.077—0.136%Cu<br>中型、十万吨<br>0.91—0.987%Cu                       | 3000 |
| 宝山  | 湖南桂阳 | 砂卡岩型铜钼矿             | 中  | 万吨  | 0.131—0.151<br>平均0.138           | 1.00—1.52%Cu万吨级<br>0.12%WO <sub>3</sub> ,<br>0.061%Bi, Re700ppm | 3000 |
| 马厂菁 | 云南大理 | 花岗斑岩型、砂卡岩化长英角岩型、网状脉 | 中  | 万吨  | 0.01—0.10<br>平均0.081             | 0.15—1.83%Cu<br>平均0.66%                                         | 未    |
| 格依蚌 | 云南广通 | 砂岩型和泥岩型             | 小  | 千吨  | 0.024—0.155                      | 0.53—1.44%Cu<br>万吨级15.4—41.4克/吨Ag                               | 未    |
| 梅岭  | 海南琼海 | 斑岩型铜—钼矿             | 小  | 千吨  | 0.046—0.158                      | 0.552%Cu千吨级                                                     | 未    |

表1—13

我国主要钨—钼矿床简介

|     |            |                               |   |      |                        |                                                         |   |
|-----|------------|-------------------------------|---|------|------------------------|---------------------------------------------------------|---|
| 夜长坪 | 河南卢氏       | 斑岩钼—钨矿                        | 大 | 10万吨 | 0.133                  | 0.102%WO <sub>3</sub>                                   | 未 |
| 行洛坑 | 福建清流       | 斑岩细脉型钨钼矿                      | 大 | 万吨   | 0.023—0.027<br>平均0.024 | 0.233%WO <sub>3</sub><br>0.014%Bi 0.022%Cu              | 未 |
| 白石嶂 | 广东五华       | 薄脉钨—钼矿<br>细脉钼—钨矿              | 中 | 万吨   | 平均<br>0.113            | 0.573%WO <sub>3</sub> 千吨级<br>0.19%Bi十吨级<br>0.139%BeO十吨级 |   |
| 大宝山 | 广东曲口       | 石英网状脉<br>砂卡岩钨钼矿<br>云英岩细脉浸染钨钼矿 | 中 | 万吨   | 0.06—0.08              |                                                         |   |
| 大龙山 | 江西大余<br>漂塘 | 似斑状细脉花岗岩<br>细粒花岗岩             | 小 | 千吨   | 平均<br>0.364            | 1.17%WO <sub>3</sub> 0.078%Sn<br>0.134%Bi0.023%BeO      |   |

## 2—2 钼的产量

自1778年瑞典化学家C. W. 希尔发现了钼,十八世纪末、十九世纪初,世界第一座钼矿山—克那本钼矿在挪威南部投入了生产。由于当时钼在工业上用途不大。直到近百年后的1880年,这个矿的产量仍不大。其后,美国和澳大利亚也开始开发辉钼矿,产量也都很小,美国还在1906年停止了生产。直到第一次世界大战中由于钼钢用作坦克等防弹装甲军工业产品,钼的产量才开始走向正规。1918年开始开采的克莱麦克斯成了钼矿大工业开发的开端。1930年世界钼产量为183吨、1939年就达到了一万五千吨,1978年世界钼产量首次突破十万吨大关,年产达10.02万吨钼。1778年到1925年间的150年,世界的总钼产量仅5500吨钼;1926年到1950年的25年里,世界钼总产量已达26.6万吨,这25年产量约相当于前150年钼产量的五十倍,1951年到1978年的28年里,世界钼总产量达到151万吨,相当前25年钼产量的五点七倍。近三十年来钼生产发展迅速,年递增速度高达7%左右,见表1—15。

表1—14

我国主要多金属钼矿床简介

|          |       |                              |       |             |                                                                                                                           |        |
|----------|-------|------------------------------|-------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 柿竹园多金属矿  | 湖南郴州  | 矽卡岩型、钼钨铋矿、云英岩—矽卡岩钼钨铋矿，大理岩锡矿石 | 大十万吨级 | 0.064       | 0.344% WO <sub>3</sub><br>0.12% Sn, 0.126% Bi,<br>17.51% CaF <sub>2</sub> 等                                               | 设计5000 |
| 大济—大庸镍钼矿 | 湖南慈利  | 沉积矿床                         | 中万吨级  | 0.346—0.595 | 0.36—0.37% Ni<br>0.437—0.603% V <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>0.019—0.084% U                                             | 未      |
| 翠宏山多金属矿  | 黑龙江逊口 | 斑岩—矽卡岩型                      | 大万吨级  | 0.079—0.115 | 0.1—0.3% WO <sub>3</sub> 万吨级<br>0.11—5% Pb 25—50% Fe<br>1—5% Zn<br>0.2—1% Sn                                              | 未      |
| 下桐岭钨铋矿   | 江西分宜  | 石英细脉和大脉组成网状脉                 | 中万吨级  | 0.056—0.102 | 0.183—0.867% WO <sub>3</sub><br>0.017—0.041% Bi<br>BeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等 | 未      |
| 闲林埠钼—铁矿  | 浙江余杭  | 矽卡岩型铁钼矿                      | 中万吨级  | 0.16        | 0.8% Cu<br>33% Fe                                                                                                         | 1000   |

表1—15

近三十年世界钼产量变化

| 起 止 年 限         | 间隔(年) | 起 止 产 量 吨    | 增长率% |
|-----------------|-------|--------------|------|
| 1950—1960(五十年代) | 10    | 14702—39743  | 10.4 |
| 1960—1970(六十年代) | 10    | 39743—82441  | 7.5  |
| 1970—1980(七十年代) | 10    | 82441—109700 | 2.9  |
| 合 计             | 30    | 14702—109700 | 6.9  |
| 1980—1984       | 4     | 109700—99500 | -2.4 |

钼的生产受到生产成本与价格间经济杠杆的制约。克莱麦克斯公司宣称它是世界上生产成本最低的厂家，其成本为2.25美元/磅钼，对西方国家可回收的437万吨主产钼矿的金属储量进行经济分析，可以发现钼生产成本低于4.00美元/磅钼的资源，仅只占总资源的四分之一。见表1—16。通过该分析，可以根据消费市场的变化、价格的波动来决定开发或减产。

表1—16

自由经济国家生产钼资源与成本

| 成本 美元/磅钼    | 生产矿山储量<br>万吨钼 | 未开发矿山储量<br>万吨钼 | 合计储量<br>万吨钼 | 分配率%  |
|-------------|---------------|----------------|-------------|-------|
| <4.00       | 112           | 0              | 112         | 25.6  |
| 4.01—6.00   | 45            | 0              | 45          | 10.3  |
| 6.01—8.00   | 29            | 28             | 57          | 13.0  |
| 8.01—10.00  | 0             | 145            | 145         | 33.2  |
| 10.01—14.00 | 0             | 46             | 46          | 10.5  |
| >14.00      | 0             | 32             | 32          | 7.4   |
| 总 计         | 186           | 251            | 437         | 100.0 |

美国矿产局1985年所作统计中，1983年自由经济国家主产钼矿的生产能力为8.1万吨