

稀有金属应用

上册

(第二版)

《稀有金属应用》编写组 编

内 容 提 要

本书主要根据国外资料编写而成。全书共二十一章，分上下册出版。本册较系统扼要地介绍了轻稀有金属——锂、铍、铷和铯，以及稀有难熔金属——钨、钼、钽、铌、钛、锆、钨、钒和铼的各种用途、产量、使用分配情况和应用发展趋势，并简单地介绍了它们的一些主要性能。本书可供领导干部及从事稀有金属使用、生产、科研及教学等部门的有关人员参考。

稀 有 金 属 应 用

上 册

(第二版)

《稀有金属应用》编写组 编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 11 7/8 字数310千字

1974年10月第一版 1984年10月第二版第二次印刷

印数10,001~13,100册

统一书号: 15062·4115 定价2.20元

再 版 前 言

稀有金属具有许多特殊的性能，在国民经济的许多部门中起着越来越重要的作用，通常可以把稀有金属在各部门的广泛应用看作是现代科学技术迅速发展的标志之一。

我国稀有金属矿产资源非常丰富。解放后，在党和政府的关怀下，我国稀有金属得到了迅速发展。

我们编写的《稀有金属应用》一书在一九七四年出版后，受到了广大读者和使用单位的欢迎，很快售罄。为适应我国稀有金属工业的发展及当前国内推广稀有金属应用的需要，我们再次出版此书。这次出版，我们修订了原书，增加了七十年代以后的新内容，力求使之能反映现代科学技术水平和今后的发展方向。

本书主要取材于国外，小部分选自国内材料，内容广泛。书中介绍了轻稀有金属、稀有难熔金属、稀贵金属、稀土金属、稀散金属和半金属的各种主要用途，它们使用分配情况及发展趋势。全书共二十一章，分上册（第一章至第十二章）和下册（第十三章至第二十一章）出版。

由于我们的业务能力有限，错误与不当之处在所难免，欢迎同志们批评指正。

全书由马长山同志组织编写，参加编写的同志有杨奇敏（第一、三章）、孟斌（第二章）、申林（第四章）、任学佑（第五章）、梁梦娥（第六章）、吴荣华（第七、十二章）、马文渊（第八、九章）、钟芙瑛（第十、十一章）、龚榆（第十三章）、刘士江（第十四章）、杨遇春（第十五、十六章）、傅积和（第十七章）、刘述才（第十八章）、李玉兰（第十九章）、郑家鹏（第二十章）、李子全（第二十一章）。全书分别经由马长山、杨遇春、申林、王中兴、孟斌审阅过。

编 者 一九八三年三月

目 录

第一章 锂 的 应 用

一、概述	1
二、锂的主要性能	5
三、锂的应用范围	7
(一) 原子能、航天和军事工业	9
(二) 冶金工业	12
(三) 玻璃陶瓷工业	16
(四) 空气调节和干燥	18
(五) 有机合成和石油化学工业	20
(六) 电气和电子、光学器件	24
(七) 医疗和制药工业	25
(八) 新能源	26
(九) 其它	29
四、锂的应用发展趋势	31
参考文献	35

第二章 铍 的 应 用

一、概述	38
二、铍的主要性能	41
三、铍的应用范围	44
(一) 航空和航天工业	45
(二) 原子能工业	57
(三) 冶金工业	58
四、铍的应用发展趋势	63
参考文献	65

第三章 铷和铯的应用

一、概述	67
二、铷和铯的主要性能	70
三、铷和铯的应用范围	72
(一) 光电和电子射线仪器	73
(二) 无线电工学和电子学	77
(三) 测量技术	78
(四) 光学和照明技术	79
(五) 等离子体技术	81
(六) 化学工业	83
(七) 玻璃陶瓷工业	84
(八) 放射性同位素	85
(九) 原子能工业	86
(十) 冶金工业	87
(十一) 动力系统的热载体和传热介质	88
(十二) 其它	88
四、铷和铯的应用发展趋势	90
参考文献	94

第四章 钛 的 应 用

一、概述	96
二、钛的主要性能	98
三、钛的应用范围	109
(一) 飞机制造工业	109
(二) 火箭、导弹和航天工业	121
(三) 化学工业	127
(四) 冶金工业	140
(五) 海洋事业	154
(六) 电力工业	161
(七) 二氧化钛	165
(八) 常规兵器	172

(九) 医学补形·····	175
(十) 其它·····	177
四、钛的应用发展趋势·····	178
参考文献·····	183

第五章 钒 的 应 用

一、概述·····	187
二、钒的主要性能·····	188
三、钒的应用范围·····	191
(一) 钢铁工业·····	191
(二) 有色及稀有金属合金·····	195
(三) 化学工业·····	197
(四) 原子能工业·····	199
(五) 电子工业·····	201
(六) 玻璃工业·····	202
(七) 农业·····	202
(八) 其它·····	203
四、钒的应用发展趋势·····	203
参考文献·····	205

第六章 锆 的 应 用

一、概述·····	207
二、锆的主要性能·····	208
三、锆的应用范围·····	214
(一) 原子能工业·····	214
(二) 化学工业·····	218
(三) 电气及电子工业·····	220
(四) 玻璃、陶瓷工业·····	225
(五) 冶金工业·····	227
(六) 其它·····	230
四、锆的应用发展趋势·····	231

参考文献	236
------------	-----

第七章 铅 的 应 用

一、概述	239
二、铅的主要性能	239
三、铅的应用范围	240
(一) 原子能和航天工业	240
(二) 冶金工业	242
(三) 电子工业	243
(四) 石油和化学工业	244
(五) 其它	244
四、铅的应用发展趋势	244
参考文献	245

第八章 铌 的 应 用

一、概述	247
二、铌的主要性能	248
三、铌的应用范围	251
(一) 铁合金	252
(二) 高温合金	255
(三) 原子能工业	256
(四) 航空和航天工业	258
(五) 宇宙能源系统	261
(六) 超导材料	262
(七) 电子工业	265
(八) 化学工业	266
(九) 医学	266
(十) 其它	266
四、铌的应用发展趋势	267
参考文献	270

第九章 钽 的 应 用

一、概述	273
二、钽的主要性能	274
三、钽的应用范围	277
(一) 电子工业	278
(二) 碳化钽	283
(三) 化学工业	284
(四) 航空和航天工业	288
(五) 原子能技术	289
(六) 医疗补形	290
(七) 高温技术	291
(八) 其它	291
四、钽的应用发展趋势	292
参考文献	294

第十章 钼 的 应 用

一、概述	297
二、钼的主要性能	301
三、钼的应用范围	306
(一) 冶金工业	306
(二) 电子材料	315
(三) 航天工业	318
(四) 化学工业	321
(五) 农业	324
(六) 其它	326
四、钼的应用发展趋势	327
参考文献	331

第十一章 钨 的 应 用

一、概述	333
------------	-----

二 钨的主要性能	337
三、钨的应用范围	340
(一) 碳化钨硬质合金	340
(二) 钢铁和合金的添加剂	342
(三) 电子和电工材料	346
(四) 航天工业	350
(五) 其它	354
四、钨的应用发展趋势	356
参考文献	359

第十二章 铼 的 应 用

一、概述	361
二、铼的主要性能	361
三、铼的应用范围	363
(一) 石油化学工业	363
(二) 电子工业	364
(三) 冶金工业	365
(四) 原子能和航天工业	365
(五) 其它	366
四、铼的应用发展趋势	366
参考文献	367

第一章 锂 的 应 用

一、概 述

锂于1817年在透锂长石矿物中发现，1818年从氧化锂中成功地分离出锂。但是直到1855年锂还只限于在实验室中使用。到1886年锂才进行工业化生产，当时德国金属公司以锂铁云母为原料，大规模生产碳酸锂。二十世纪初期，法国成为锂的最大的生产国，在化学工业中用氯化锂作催化剂。第二次世界大战前，锂的利用和资源开发是以欧洲的德、法两国为中心，而战后转移到以美国为中心〔1, 4〕。

锂在地壳中的含量约为0.006%，按元素丰度列居第27位，实际上并不稀有，它比铅、锡分布还广。锂的主要矿床是伟晶花岗岩和卤水矿床，其次是温泉、海水和沉积（粘土）矿床。此外，在动、植物中也含有微量的锂。现在已知的锂矿物有145种之多，其中含 Li_2O 大于2%的约有27种。但是目前具有开采价值的只有锂辉石、锂云母、透锂长石和磷铝石以及盐湖的卤水。主要含锂矿物的性质列于表1-1〔4, 2, 5〕。

第二次世界大战前，锂及其化合物的用量很少。大战期间，由于氢氧化锂和氧化锂用于潜艇和防毒面罩作 CO_2 的吸收剂，以氢化锂作氢源，以及军事技术部门对锂基润滑脂的需要，使锂的生产有了迅速的发展。1944年世界锂精矿的产量为战前1939年的五倍多。战后由于热核武器的研制及美国原子能委员会对热核工程的展望和估计，都强烈地刺激了锂的生产和对锂资源的勘探，使得锂的生产能力在很短时间内急剧增加，1957年锂精矿产量达到25000吨（矿石），比1939年增长80倍。在此期间美国锂的年产量最高约达2000吨。但是这一激增持续的时间很短，六十年代初就出现严重的生产能力过剩，生产能力为实际产量的5倍，

致使一些工厂倒闭或停产^[1,6]。六十年代中期, 由于开辟了锂的新应用领域, 如在炼铝业中使用锂, 锂工业才有了新的发展。近年来由于锂电池的研制以及可控热核聚变反应堆需要耗费大量的锂, 又一次推动了锂工业的发展。从1940~1977年世界锂的生产量可见, 1944年和1957年曾两次出现过高峰, 这是战时或军事部门的特殊需要而引起的。近十多年来, 由于开辟了锂的民用领域, 产量趋于稳步上升^[3, 2]。

主要含锂矿物的性质 ^[2~5, 26] 表 1-1

矿 物	锂 辉 石	锂 云 母	透锂长石	磷 铝 石
化学式	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	$\text{K}_2\text{Li}_3\text{Al}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})_2$ (OH, O, F) ₄	$\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$	$\text{LiAl}(\text{F, OH})$ (PO_4)
组成	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 4SiO_2	$2(\text{K, Li})\text{F} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 3SiO_2	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ 8SiO_2	$2\text{LiF} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ P_2O_5
含锂量 (理论 值), %	3.73		2.26	4.73
品位 (含Li 量), %	2.6~3.0	1.4~1.9	1.4~2.2	3.7~4.2
占锂矿物的利 用率 ^① , %	60	22	13	1.3

① 只包括资本主义国家的锂矿物。

在资本主义国家中, 只有美国锂公司和美国富特矿业公司两家建立了从矿石到锂产品的综合生产线。美国锂公司在北卡罗来纳州贝赛默城的锂工厂目前碳酸锂的年生产能力为12700吨, 该工厂1980年的产量为3636吨, 计划1981年生产碳酸锂4091吨。1979年美国锂公司在英国利物浦附近新建一座锂厂, 1980年底开始生产一种烷基锂合成催化剂, 该工厂的年生产能力为91吨, 但不久就会增加到此数量的三倍。美国富特矿业公司在内华达州银峰的锂厂年生产能力为7363吨碳酸锂。该公司在北卡罗来纳州王山的锂厂年生产能力为5443吨碳酸锂, 1979年的产量为6363吨。此外, 美国富特矿业公司还与智利政府合作, 在智利安托法加斯塔地区建立了一座年产5454吨碳酸锂的工厂^[21, 65]。

苏联的锂产量仅次于美国，但从未正式公布过确切的数字。估计苏联碳酸锂的年产量为3628~6800吨，年消费量为3638~5454吨^[65, 66]。苏联每年向国外出售原子能工业的副产品，即已提

世界锂的主要生产厂家^{[2, 3, 12, 16, 35]①}

表 1-2

国 家	主要产品	厂家所在地	生产能力 (按 Li_2CO_3 计)
美国			
富特矿业公司	低铁锂辉石、锂辉石、碳酸锂	王山 (北卡罗来纳州), 银峰 (内华达州)	5443吨/年 ^[21] 56400吨/年 ^[35, 16]
美国锂公司	化学锂、化学级锂辉石	贝赛默城 (北卡罗来纳州)	12700吨/年 ^[35, 12] 1985年达20400吨/年 ^[7]
克尔麦吉公司 (钾碱化学公司)	碳酸锂	先耳斯湖 (加利福尼亚州)	450吨/年
苏联	Li_2CO_3 LiOH	克拉半岛、赤塔, 伊尔库茨克州	3630~6800吨/年 ^[21]
加拿大铌矿业公司	低铁锂辉石 Li_2CO_3	伯尼克湖 (曼尼托巴省)	6800~9100吨/年 ^[35, 15]
津巴布韦比基塔矿物公司	锂云母透锂长石	比基塔	
纳米比亚西南非锂矿公司	锂云母、透锂长石和磷铝石	卡里比布	近年锂云母精矿产量达1万吨, 透锂长石2500吨, 磷铝石2500吨
西德金属公司	化学锂	下萨克森, 兰格斯哈姆	
英国制铅联合有限公司	化学锂	布特勒	
巴西伊斯达尼费拉公司	锂云母、透锂长石	米纳斯杰雷斯州	
日本			
本庄化学公司	锂化学产品	香川, 直岛, 寝屋川	
旭玻璃公司	锂化学产品	北九州, 牧山	
日本化学工业公司	锂化学产品	东京, 龟户	

① 除西德、英国、日本外, 各国都拥有自己的矿山。

取6Li同位素的锂化合物约1000吨。西欧和日本虽然也有自己的锂工业，但资源贫乏，几乎所有的锂原料，特别是直接应用的碳酸锂和精矿均从美国、苏联和非洲进口〔6，8〕。世界生产锂的主要厂家见表1-2〔2，3〕。

我国锂资源丰富，锂工业已初具规模，所生产的品种和数量能满足国内需要，1979年还向日本提供了少量碳酸锂等化学制品〔9〕。

在五十年代就有一些人对世界锂的资源 and 储量进行了估计，但估计的数字彼此出入很大。近年来由于锂可望在新能源领域得到应用，所以对锂的储量给予极大的关注，并对此重新作了较完整的估计。在1976年由富特矿业公司和美国地质勘探局人员参加的锂团体提出的报告中，估计资本主义国家锂的总资源为1000万吨锂〔3，10，11〕。世界各地锂资源分布见表1-3〔2〕。

世界主要锂资源的分布〔2〕（单位：千吨锂）表 1-3

产 地		基本储量	其 它	总 计
北 美	加拿大	181	272	454
	美国	363	363	726
	小计	544	635	1179
南 美	玻利维亚		91	91
	巴西	2.7	15	18
	智利	907	2721	3628
	小计	910	2827	3719
非 洲	津巴布韦，南非	54	54	109
	扎伊尔	181	1633	1814
	小计	236	1687	1905
欧 洲	苏联、东欧	181	181	363
	西欧	0.91	0.91	1.8
	小计	182	182	363
澳 洲	澳大利亚	23	23	46
世界总计		1902	5308	7210

二、锂的主要性能^[1, 10, 13, 14]

锂属周期表中 I A 族元素，位于碱金属之首。锂是最轻的金属，呈银白色，比铅还软，可用小刀切割，其机械性能与铅相

锂的物理性质^[1, 13]

表 1-4

原子序	3
电子结构	$1s^2 2s^1$
原子量	6.94'
焰色反应	深红色
原子体积, 厘米 ³ /克原子	13.0
原子半径, 埃	1.55
离子半径, 埃	0.78
密度 d_c , 克/厘米 ³	$d_{20} = 0.531 \pm 0.001$, $d_{20} = 0.507$ $d_{-173} = 0.553$, $d_{1000} = 0.441$
熔点, °C	180.5 ± 0.1
沸点, °C	1327 ± 10
晶体结构 a_c , 埃	体心立方晶格; $a_{20} = 3.5203$, $a_{183} = 3.4762$
饱和蒸气压, 毫米汞柱	$\lg P = 11.889 - \frac{38900}{4575} - 1.174 \lg T$
线胀系数, °C ⁻¹	$58 \times 10^{-6} (120 \sim 180^\circ\text{C})$
粘度, 毫泊	$5.918 \sim 4.548 (183.4 \sim 285.5^\circ\text{C})$
熔融时体积膨胀, %	1.5
热导率, 千卡/米·时·°C	$66.2 \sim 62 (0 \sim 101.25^\circ\text{C})$, $39.6 \sim 41.7 (200 \sim 700^\circ\text{C})$
比热, 卡/克·°C	$0.850 \sim 0.989 (300 \sim 1200^\circ\text{C})$
电导率, 欧姆 ⁻¹ ·厘米 ⁻¹	16.7×10^{-4}
电阻率, 微欧姆厘米	$8.55 \sim 9.293$
标准电极电位, 伏	$-3.02 (18^\circ\text{C})$
电子逸出功, 电子伏	2.36
固体热容量, 卡/克分子·K	5.887 (298°K)
固体熵, 卡/克分子·K	6.954 (298°K)
溶解热, 千卡/克分子	0.7171 ± 0.0037
气化热, 千卡/克分子	35.16
天然锂热中子俘获截面, 靶	71
⁶ Li (天然丰度, 7.52~7.40%)	945
⁷ Li (天然丰度, 92.48~92.60%)	0.031

近。锂的化学活性强，腐蚀活性大，它具备碱金属所特有的各种反应能力，只是反应强度稍弱一些。锂与湿空气相遇，能与其中之氧、氮迅速化合，在其表面生成氧化锂、氢氧化锂及氮化锂的覆盖层。但金属锂在干燥空气中稳定，几乎不被氧化，在高温下才反应生成 Li_2O 。锂与烷烃、乙醚、苯、汽油、石蜡及惰性气

锂的化学性质

表 1-5

作用物质	性 质
氧	$2\text{Li} + 1/2\text{O}_2 \longrightarrow \text{Li}_2\text{O} + 143 \text{ 千卡/克分子}$ 与其它碱金属不同，不能直接生成过氧化锂
氮	$3\text{Li} (\text{固}) + 1/2\text{N}_2 (\text{气}) \longrightarrow \text{Li}_3\text{N} (\text{固}) + 46.4 \text{ 千卡/克分子}$ 这种反应在常温下就能进行，在 $450 \sim 460^\circ\text{C}$ 下反应强烈并燃烧
空气	反应速度与金属的纯度及表面状态、空气的湿度和温度有关，在潮湿空气中能与其中 O_2 、 N_2 迅速作用
氢	$\text{Li} (\text{液}) + 1/2\text{H}_2 (\text{气}) \xrightarrow{400^\circ\text{C}} \text{LiH} (\text{固}) + 22.9 \text{ 千卡/克分子}$ 这种反应在 $710 \sim 720^\circ\text{C}$ 下特别强烈
水	$2\text{Li} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{LiOH} + \text{H}_2 + 48.3 \text{ 千卡/克分子}$ 此反应程度较其它碱金属弱，熔融锂和水作用会发生爆炸
硫、碳、硅	能与熔融的硫、碳、硅发生强烈反应，生成相应化合物 $2\text{Li} + \text{S} \longrightarrow \text{Li}_2\text{S} + 115.3 \text{ 千卡/克分子}$ $2\text{Li} + \text{C} \longrightarrow \text{Li}_2\text{C} + 13.9 \text{ 千卡/克分子}$ 锂和硅作用生成硅化锂，分子式为 Li_3Si 和 Li_4Si
卤素	在加热下进行，反应极为强烈，生成相应的卤化物
磷	不能直接发生反应
硫酸、硝酸 盐酸、氢氟酸	与这些稀酸强烈反应，析出氢并生成相应的盐类。这些盐类大部分溶于水。除硫酸外，在浓酸下反应都更强烈，与浓硫酸在常温下反应缓慢
醇	和醇类反应强烈，生成醇锂。高级醇类仅在加热下才与之发生反应

体不起反应，因此可在这些介质中保存。由于锂的化学性质活泼，锂中的微量杂质也会对它的物理性质产生很大影响，因此资料中所列锂的物理常数往往不大一致。现将锂的物理、化学和机械性质分别列于表1-4、表1-5和表1-6中。

锂的机械性质 表 1-6

拉伸强度，公斤/毫米 ²	11.8 (20℃)
延伸率，%	50~70
弹性模量，公斤/毫米 ²	500 (室温)
压缩系数，厘米 ² /公斤	8.8×10^{-6} (20℃)
流动压力，公斤/毫米 ²	1.7 (15~20℃)
硬度，莫氏	0.6

三、锂的应用范围

锂及其化合物在第一次世界大战以前，仅极少量应用于玻璃、颜料、珐琅和釉质生产以及医药方面。当时锂的生产工艺落后，成本很高，因而限制了它的应用，长期未得到发展。在第一次世界大战期间，锂开始受到重视，当时德国使用金属锂制造铅锂合金作为轴承材料；此外，还把锂作为铝锌合金的添加剂。从此锂的优异性能便日益被发现和利用。现在锂不仅在军事技术部门占有独特的地位，是重要的战略物资之一，而且在国民经济各部门也占有一定的地位，各工业部门都已在不同程度上使用锂产品。据报道，仅美国就有1500家公司消费各种锂产品。目前锂的应用已涉及到人们日常生活用品领域，如电视机、洗衣机、电冰箱、住宅冷暖设备及厨房用品等，它已成为与人类日常生活密切相关的重要元素之一。现在，锂最引人注目的应用领域是锂电池和可控热核聚变堆，锂可望成为给人类长期供给能源的重要燃料[1~3,5,15]。

锂的消费量受军事部门的需求和世界经济状况的影响。1966~1979年世界锂化学制品的消费量列于表1-7[1,3,9]。锂在各部门消费量的比例在不断变化，五十年代锂基润滑剂占首位，其次是

玻璃陶瓷，而现在炼铝业用锂量跃居首位。表1-8列出了美国1951~1975年各部门锂的消费比例情况^[3]。

1966~1979年世界锂制品消费量^[1,3,10,12,32,33,35]以

Li₂CO₃计, (单位: 吨)

表 1-7

年	美国	西欧	日本	苏联及 东欧	其它	南美	总计	增长率 %
1966	6570	2000	450	—	410		9430	—
1967	7380	2180	540	—	450		10560	12
1968	7480	2400	750	—	450		11090	5
1969	8260	2860	810	450	640		13020	17
1970	9070	3580	910	450	730		14740	13
1971	8850	3180	910	450	540		13930	-6
1972	11800	3180	910	450	450		16790	20
1973	13850	3180	1810	2720	910		22470	34
1974	14500	3300	1630	3630	1130		24190	7
1975	12700	2720	1360	3630	1360		21760	11
1976	13900	2940	1450	3630	1590		23500	8
1977	15000	3180	1540	3630	1680	1360	26390	12
1978	11300	4080	1860	3630	2720	1360	24950	-5
1979	11300	4990	2130	3630	2720	1720	26500	6

1951~1975年美国各部门锂的消费比例(%)^[3]

表 1-8

年 份		1951	1955	1956	1957	1960	1968	1973	1975
军 用		13	9	62.5	78	4.3	—	—	—
民 用		87	91	37.5	22	95.3	100	100	100
民用分配	润滑剂	31.03	42.86	29.33	36.36	33.4	25.1	12.4	10.99
	玻璃陶瓷	29.89	20.88	41.87	38.18	26.1	30.0	26.5	27.47
	空调	12.64	14.29	9.07	7.73	22.5	12.9	6.5	5.49
	焊接合金	10.34	14.29	12.53	8.64	11.2	17.9	15.4	15.0
	铝生产	—	—	—	—	—	9.0	36.1	38.46
	蓄电池	14.94	7.69	5.07	5.00	4.5			
	制药	1.15	—	1.87	4.32	—	4.9	3.1	2.58
人造橡胶		—	—	—	—	1.0			