

国外铝镁钛工业

(生产概况与发展)

冶金工业部有色冶金设计总院铝镁处编

中国工业出版社出版

國外鋁鐵工業

1954年12月出版

中國鋼鐵工業出版社

（北京）

国外铝镁钛工业

(生产概况与发展)

冶金工业部有色冶金设计总院铝镁处编

中国工业出版社

国外铝镁钛工业

(生产概况与发展)

冶金工业部有色冶金设计总院铝镁处 编

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑

(北京灯市口71号)

中国工业出版社出版(北京德胜门内大街10号)

北京市书刊出版业营业登记证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $15^{1/8}$ ·插页6·字数333,000

1964年12月北京第一版·1964年12月北京第一次印刷

印数0001—2,550·定价(科六) 2.30元

*

统一书号: 15165·3127(冶金-513)

編者的話

本书共分五章：第一章概括介紹了国外鋁、鎂、鈦工业的生产規模、消費、应用和技术动态；其它各章分別敘述了鋁土矿和氧化鋁生产、电冶鋁、鎂冶炼、鈦冶炼工业的工艺技术的状况及其发展，以便讀者可以系統的了解該专业的全貌。

炭素材料的生产是电冶鋁中的重要組成部份，但鑑于建筑工程部技术情报局已有系統的文獻汇编，較全面地反映了国外炭素、石墨制品現狀与发展，本书仅就国外有关阳极糊生产情况在有关章节中作了簡略的介紹。

在編写过程中，除力图以最簡要方式反映目前世界上鋁、鎂、鈦工业基本情况外，着重敘述了工艺技术的进展。但由于本书的性质与篇幅所限，不能就某一問題作更多的論述，讀者須深入了解有关問題，可參照每章之末所列参考文献。为了使用上的便利，将第一章綜合性图表附于全书之末，并另附全书所列图表的索引。

本书是由我院鋁鎂处集体編写的。

本书于1962年9月脫稿，1964年10月付印前作了局部的修改与补充。

冶金工业部有色冶金設計总院

1964.10

目 录

編者的話

第一章 概述	1
第二章 氧化铝工业	10
第一节 各国鋁土矿的儲量和特点	10
第二节 鋁土矿的开采	17
第三节 各国氧化鋁的产量及其生产方法	21
第四节 现代氧化鋁工业的技术动向	34
第三章 电冶鋁工业	63
第一节 鋁工业的发展	63
第二节 电解制鋁的工艺成就及其改进	68
第三节 新法炼鋁的研究	194
第四节 再生鋁的生产	224
第四章 鎂冶炼工业	245
第一节 鎂工业的发展	245
第二节 电解法炼鎂的工艺及其改进	251
第三节 硅热法炼鎂	307
第五章 制鈦工业	366
第一节 資本主义国家鈦資源的分布及鈦的生产发展	366
第二节 鈦生产的改进及研究动态	372
附表	415
全书附表分类索引	472

第一章 概 述

一、铝、镁、钛工业发展特点

铝、镁、钛工业生产的历史均不长，铝只有 76 年，镁 78 年，钛 16 年。在这几十年中，尤其是近十余年来，它们的生产发展是很快的。从发展历史来看，虽然长短不一，但总的来讲，大致经过了如下发展过程：

1. 单一金属阶段——轻金属工业发展的初期。在这一阶段里，轻金属主要以单一金属制成加工品来应用，那时的用途不广，只作为珍贵的工业品、工艺品和家庭餐具等。

2. 简单合金阶段——轻金属工业的发展阶段。由于合金制造成功（如硬铝等合金），使铝、镁、钛得以克服一些在单独使用时的弱点，用途也随之扩大到航空和军用工业，但由于用途仍有一定的局限性，其发展与军工生产有关，随着军工的需要而迅速发展。

3. 广泛的合金阶段——轻金属工业的壮大阶段。由于轻金属合金的品种增多，适应性能随之增强，用途也扩展到民用工业部门，而在民用工业部门里也由电气、交通运输等发展到建筑、化学工业、机械工业等部门。用途广阔了，因而不复由于某一工业部门的影响而抑制其发展。在这个阶段里，生产工艺向扩大设备能力、简化生产过程、提高机械化和自动化水平、提高劳动生产率的技术革新方面迅速发展。

在发展过程中，由于各国的具体条件或发展方向不同，所以各国又有他本身的特点，概括地可分如下几类：

1. 第一类型：国内工业很发达，对金属的需要量大，但原料资源不多，美国是这类的代表。美国是当前世界上铝、镁、钛

产量較多的国家之一，近年来的产量約占世界产量的40%以上。美国本土的鋁、鎂、鈦資源并不丰富，而且品位也低，靠掠夺拉丁美洲、非洲等殖民地国家的資源来满足其生产需要。由于美国电价低廉，机械制造与其它加工工业发达，国内市場需要量日增，因而促使这些工业的发展比較迅速。

2. 第二类型：本国有丰富的动力資源，但没有原料，金属的加工能力也較小，生产的金属主要是供出口。加拿大、挪威是这类的代表。以挪威而言，近年来鋁、鎂出口量占其总产量的80%左右。

3. 第三类型：国内工业較发达，原料可以自給自足，国内市場消耗量也大，法国为这类的代表。法国的其他有色金属产量不多，需要以鋁作为代用品，这也促进了鋁工业的发展。

西德与日本的鋁、鎂工业在第二次大战前都是靠軍用訂貨发展起来的。战后由于美帝国主义的扶植，为了貫徹侵略政策，这两个国家的鋁、鎂工业发展很快，并将产品推銷到国际市场。

二、近代鋁、鎂、鈦工业生产水平

目前鋁、鎂、鈦工业生产的原料来源，仍不外乎鋁土矿、霞石、明矾石（作为炼鋁原料）；菱鎂矿、白云石、光卤石、海水（作为炼鎂原料）；金紅石、鈦铁矿（作为炼鈦原料）。世界各国的矿物儲量与开采情况見附表1—1至1—6。

目前，鋁的主要生产方法，在氧化铝生产方面为拜尔法、燒結法与联合法；金属鋁方面为熔盐电解法。按1964年7月的統計材料，1963年止，国外現有氧化铝厂67个、电解鋁厂115个，此外尚有氧化铝与电解鋁的联合企业8个。目前国外最大的氧化铝厂是加拿大的阿尔維达厂，年产量110万吨。苏联与美国都有产量达近百万吨的氧化铝厂；欧洲氧化铝厂的平均規模为7.7万吨，北美洲为65万吨。国外最小的氧化铝厂如印度，年产量只有5500吨。日本、波兰这种工厂的規模也不大。最大規模的电解鋁厂亦为加拿大的阿尔維达厂，年产量为34万吨。美国最大鋁

厂为查尔莫特厂，年产量 23 万吨。苏联正在西伯利亚建设的大型铝厂年产量将为 40~50 万吨。欧洲电解铝厂的平均规模为 1.7 万吨，北美洲为 9.6 万吨。日本新泻铝厂年产 2700 吨，印度阿肯萨尔铝厂年产 2800 吨，法国拉伯拉兹铝厂年产 3700 吨，都是国外规模较小的铝厂〔1〕。各国氧化铝厂、电解铝厂的年生产能力见附表 1—12、1—13。

1963 年世界产铝量为 548 万吨。各国历年产铝量见附表 1—8。

镁的生产，因原料不同，生产方法各异。从传统的生产方法看：苏联、挪威、法国都是以氯化镁电解法为主；美国以海水制镁为主，但近年来硅热法有很大发展；日本、意大利则以硅热法为主。当前国外约有 15 个镁厂在生产，其中规模最大的为美国多乌化学公司的自由港镁厂，年产量 30000 吨（年产量为 40000 吨的维拉松港现已停产）。国外镁厂一般的规模在 500~10000 吨之间，最小规模的是南斯拉夫克儿叶伏镁厂，1961 年产量为 600 吨。波兰硅热法试验厂年产量为 500 吨。值得注意的是西德、意大利、法国等国已有小规模连续硅热法制镁试验厂〔2〕。1963 年世界镁产量为 13.7 万吨。

目前世界上主要生产钛的国家为苏、美、日、英等国。主要生产方法为四氯化钛的钠或镁还原法。美、日、英三个资本主义国家共有 15 个钛厂，在生产的仅有 10 个，约有 40% 为钠还原法，60% 为镁还原法。除苏联外，世界上最大的钛厂是美国钛金属公司在内华达州的钛厂，产量为 9000 吨。最小的为日本曹达株式会社，产量仅百余吨。

世界各国历年镁、钛产量见附表 1—8、1—9。

近十年来世界铝、镁、钛产量如下表。

从下表很明显地看出，从 1955 年以来资本主义国家的镁、钛产量转为下降。铝虽有增长，但年平均增长率也只有 5%。而社会主义国家的产量则继续有增长，由 1950 年占世界总产量的 14.6% 上升到 1960 年的 20%。

单位：万吨

		1950年	1955年	1960年	自1950至1960年間年平均 增长率(%)
鋁	資本主义国家	128.8	259	323	15
	社会主义国家	21.6	53	116	44
	小 計	150	312	439	19.2
鎂	資本主义国家	2.27	7.93	6.34	17.4
	社会主义国家	2.27	4.08	4.08	8.0
	小 計	4.50	12.01	10.42	13.1
鈦	資本主义国家	0.068	0.82	0.76	101

从下表可看出，近十年来鋁、鎂、鈦工业的发展比其他重有色金属的发展要快。

	单 位	产 量		十年間每年平均 增长率%
		1950年	1960年	
鋁	万 吨	150	439	19.2
鎂	万 吨	4.5	10.42	13
鈦(資本主义国家)	万 吨	0.068	0.76	101
銅	百万吨	188.7	315	6.8
銅	万 吨	318.7	430.5	2.9
鉛	万 吨	185	240.7	4.3
鋅	万 吨	2.6	296.3	3.0

其原因可概括如下〔3〕〔4〕：

1. 資源丰富，且分布較广，加之近代工艺的发展，不仅为多种資源的綜合利用提供了条件，同时使这些金属的生产与其它金属生产比較，在技术經濟上处于較有利地位。如以鋁土矿的勘察儲量計：資本主义各国在1936~1941年間探得儲量为2.61亿吨，1951~1953年为4.47亿吨，1959年为5.9亿吨〔5，6〕，为大量生产鋁提供了基础。如生产一吨鋁仅需4吨左右的矿石，而生产一吨銅則需170吨左右的矿石，生产一吨鉛和鋅也需60~70吨矿石。

2. 用途广，合金技术的发展更加扩大了它的应用领域，使这些金属在国民经济的许多部门的近代科学技术上占有重要地位。

三、铝、镁、钛的消费与应用

如上所述，铝、镁、钛是作为战略物资而得到迅速发展的。由于它们所具有的特性和近年来生产技术与合金技术的发展，在当前各国的国民经济中很快地占有了重要地位。

就铝而言，第一次世界大战期间，仅用于军用飞机制造方面，就几乎占去生产的全部。而目前铝已广泛的应用于各个部门，按消费的分配来看：机器制造业约为10.4%，交通工具制造业20.5%，有轨车辆制造业1.3%，造船与航空业1.3%，电气制造业12.2%，精密机器与光学仪器制造业2.2%，金属制品10.4%，包装及器皿10.5%，建筑5.8%，半制品8.5%，其余用于其他用途^[7]。据不完全统计，目前铝和铝合金制品的种类有50万种以上。铝的新用途不断扩大，如美国以铝与铀作为原子反应堆的燃料片。铝所以被应用于反应堆的燃料片和包壳材料，是因为铝的价格低、容易加工和中子吸收截面小^[8]。美国每个导弹的用铝量一般在230~2270公斤，约占总重量的10~50%。由于铝基合金在低温下的机械性能良好，低温时不变脆，适用于以液态气体为动力的火箭与导弹的推进器和其他冷冻设备。美国正在研究的S-IV土星火箭第二级将使用铝材制造^[9]。铝在民用工业上的应用范围近年来扩展很快，除熟知的家庭用器皿及电气产品外，国外将铝用于建筑结构与车辆制造上近年来有了新的发展。用铝作为建筑房屋和桥梁的构件具有轻巧、耐用、便于施工安装等优点。铝在汽车制造业中的用量也日益增大，1961年美国汽车平均每辆用铝量为29公斤，因为铝、镁合金结构件可以减轻汽车重量、提高车速和节省燃料。近年来铝在铁路车辆上的应用也增多。一般说来，同等结构强度时，铝的重量只为钢的三分之一，可使货车上部结构重量减少50%，运输、加工、制造、保

护費用較节省。1960年英国已有200輛鋁制的带篷貨車，460輛地下鐵道車箱，美国南部鐵路系統有750輛无篷貨車和455輛带篷貨車是鋁合金制造的。美国陸軍最近制造一种长达174米无規列車，可以在崎嶇不平的土地上行駛，載重量150吨，用了100吨鋁^[7-9]。

鎂一般用于机械制造工业中的鑄造件与鍛造件，与鋁及其它金属制成輕合金，作为鈦、鋯、鈾、鉍等金属的还原剂，球墨鑄鐵的球化剂，以及用于化学冶金和阴极保护等方面。

近年来，鎂在汽車工业上应用量日益增多，如西德国民牌汽車，从1945年到1960年生产400余万辆，共用鎂鑄件87,785吨，1960年每輛汽車平均用鎂量上升到23.4公斤^[10]。在提炼稀有金属时用鎂量亦很大。日本70%的鎂用于制鈦^①^[11]，美国在1959年用于还原鈦、鋯、鉛、鈾、鉍的鎂量为2700吨。近十年来国外研究結果証明，加入鈦或某些稀土金属的鎂合金，在175°C时都有較高的机械强度。美国在1959年已有20多种导弹上应用了鎂合金，鷹(Falcon)GAR-1导弹上有90%为鎂合金結構。一般导弹上用鎂量在104~290公斤^[12]，而大力神(Titan)导弹則用了907公斤鎂鈦合金。在原子能工业中，高純度鎂可以用来代替鈣作为从四氟化鈾中提取鈾的还原剂，其用量仅为鈣的60%，而价格仅占鈣的 $\frac{1}{6}$ ~ $\frac{1}{4}$ ^[8-14]。英国、苏联和法国都以鎂和鉍合金作为燃料元件的包层材料^[15]。

近年来鈦在民用方面有所发展，主要是应用于石油、人造絲、塑料、食品制造等化工制造設備、医疗設備及造船工业中。由于鈦的成本較高，加工困难，故目前的主要用量仍在軍事工业与尖端技术工业部門：如超音速飞机（超过音速3倍时），就需用鈦合金，时速6440公里的X-15火箭外壳，鈦占其重量的18%，美国“水星”火箭的外壳几乎全部用鈦^[16]。每架DC-8噴气客机用鈦量达半吨。

① 1956年为83.4%，1962年已降为52%，合金与鑄件用量上升。

四、价格与投资

由于铝、镁、钛生产技术水平提高和用途日广，近年来这些金属的价格比其他有色金属有相对的稳定和降低。自1945年以来与其他金属价格对比的变化如下表所示。

价格单位：美元/吨

		1945	1950	1955	1959
镁	价 格	451	605	669.7	792
	以1945年为100%	100	134	153	175
铝	价 格	330	381	520.69	590.07
	以1945年为100%	100	118	158	180
钛	价 格	—	—	8700	3550
	以1955年为100%	—	—	100	40.7
铜	价 格	259.05	467.17	824.8	681.56
	以1945年为100%	100	180	320	263
铅	价 格	143	292.51	333.04	266.39
	以1945年为100%	100	204	235	186
锌	价 格	181.5	305.02	270.58	228.99
	以1945年为100%	100	169	150	127
生铁	价 格	25.02	47.54	57.70	66.50
	以1945年为100%	100	190	230	266

氧化铝厂的投资：下面列出用拜尔法处理苏立南或英属圭亚那的典型三水铝石和法国南部的一水铝石的单位产品投资。

工厂产能，	三水铝石，	一水铝石，
吨/年	美元/吨	美元/吨
100000	170~210	190~230
165000	140~180	160~200
330000	110~150	140~180

电解铝厂的投资：由于电解槽的大小、配置、安装等原因，其投资的波动范围相当大，例如资本主义国家的单位铝投资：

工厂产能， 吨/年	預焙阳极， 美元/吨	自焙阳极， 美元/吨
20000	1000~1300	900~1200
50000	700~1050	700~1000
100000	650~850	650~850
200000	500~700	550~750

电解鋁厂的投資說明当工厂規模在 10 万吨以上时，采用預焙阳极电解槽可使工厂的投資低于自焙阳极。因此近来瑞士、西德在新建的斯蒂格和萊茵鋁厂采用了新型的預焙阳极电解槽。

五、生产技术的发展与劳动生产率的提高

提高生产技术水平，对发展生产，降低成本有很大影响。近年来，各国都在努力研究新的生产技术。概括起来，大致可分两个方面：其一，是强化現有生产方法以提高設備利用率和劳动生产率；其二，是改进生产流程和更广泛的利用原料，寻求适于利用本国資源的生产方法。如利用鋁資源，有不少国家正致力于研究以本国生产的低品位矿石来制取氧化鋁，借此以減少对国外进口原料的依賴，如美国、西德、波兰都在研究以酸法处理低品位矿石制取氧化鋁。

近年来，有很多国家都在研究以白云石为原料的硅热法炼鎂。因为白云石分布广，差不多每个国家都有这种資源。不过热法生产目前还处在間断性生产过程中。若連續生产試驗全部成功，則其发展远景会比电解法更有前途。

在提高劳动生产率与強化設備能力方面，主要是采取連續操作、自动化操作、提高設備能力和生产水平以及改善劳动条件等等措施。以鋁电解来讲，主要产鋁国家都在采用大型电解槽（10 万安培以上）和整流效率高的半导体整流器。意大利有以甲烷气体代替通常的阳极，取消了目前一般用的阳极，电耗量也比一般的低30%以上。近来鉴于电解法耗电太多，氧化鋁生产工艺流程复杂，有向直接还原法发展的趋势。加拿大低价卤化物还原法和

法国炭化铝还原法正在进行工业性的試生产。

鋁、鎂、鈦生产的历史，虽比起一般黑色金属或重有色金属要短得多，但其生产技术发展的領域却很广濶。将在今后的年代里，还会沿着目前生产技术发展的方向，走向簡化生产程序、开辟綜合利用資源的新途径、广泛利用一切可能利用的資源、实现生产自动化、提高劳动生产率与設備利用率等方向发展。

第一章 参 考 文 献

- [1] Современный уровень техники и производства алюминия в капиталистических странах. 1960 москва.
- [2] Aluminium 1961 № 5.
- [3] United Nations Statistical Year-book 1950—1961.
- [4] Year Book of American Bureau of Metal Statistics. 1961.
- [5] «帝国主义爭夺原料产地的斗争»。
- [6] «Mineral Facts and Problems» 1960 edition.
- [7] Metal 1960. №3.
- [8] Light Metal Age 1962 №4.
- [9] 輕金属时代 (日文) 1962, 319号.
- [10] 輕金属时代 (日文) 1962, 332号.
- [11] 金属 (日文) 1961, 12 vol. 31, №23.
- [12] Eng. and Mining Jour. 1962, №2.
- [13] Metal Industry 1961, 12 vol. 99 №26.
- [14] Metal Progress 1959, 11 vol. 76 №5.
- [15] Metall. 1962, №3.
- [16] Light Metal Age 1961, 11 vol. 19 № 11—12.
- [17] 国际新技术通訊 1957 年 7 .

第二章 氧化鋁工業

氧化鋁是電解制鋁的主要原料，每生產一噸金屬鋁約需氧化鋁 2 噸。制取氧化鋁的主要原料為鋁土礦，每生產一噸氧化鋁約需礦石 2.5 噸。

1960 年世界鋁土礦產量為 2682 萬噸，較 1950 年的 835 萬噸增長 2 倍。各國所開採的鋁土礦中約有 95% 用於生產氧化鋁；各國所生產的氧化鋁中約有 90% 用於生產鋁，其餘 10% 用於生產耐火材料、磨料和絕緣材料。茲將當前國外鋁土礦和氧化鋁的生產情況分別敘述於下：

第一節 各國鋁土礦的儲量和特點

氧化鋁生產所採用的原料主要有：鋁土礦、霞石、明礬石、粘土等。目前世界上所有以工業規模生產的氧化鋁廠中，除蘇聯的伏爾霍夫鋁廠自 1952 年改用霞石生產外，其它均用鋁土礦作為原料，預計 1964 年波蘭將建成粘土生產氧化鋁的工廠。

各主要國家鋁土礦的儲量和開採量見附表 1—1，1—2。

蘇 聯

蘇聯鋁土礦中 Al_2O_3 的礦物形態種類頗多，主要為：三水鋁石、三水鋁石—一水鋁石型、一水軟鋁石—一水硬鋁石型的鋁土礦。

北烏拉爾的高品位鋁土礦，為一水軟鋁石—一水硬鋁石型，其所含鐵主要呈赤鐵礦，亦有少量呈鮞綠泥石 ($4\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 及黃鐵礦狀態存在。氧化硅主要呈石英、蛋白石及部份呈高嶺土狀態存在，其化學成份為： Al_2O_3 52%、 Fe_2O_3 25%、 SiO_2 4.0%、 TiO_2 2.2%、 H_2O 11%。

列宁格勒的齐赫文亦有大量鋁土矿，苏联以該矿区的矿石建設了第一批氧化鋁厂（伏尔霍夫鋁厂、德涅伯尔鋁厂和齐赫文氧化鋁厂）。該矿区矿石的化学成份波动頗大，有些几乎是純高岭土，有些却含 Al_2O_3 70%、 SiO_2 2~2.5%，属于三水鋁石—一水鋁石型。

1949 年开始开采哈薩克土尔盖矿区的鋁土矿。該矿区的鋁土矿为三水鋁石型，鋁硅比 3.5~4.0，儲量很大。

西西伯利亚的薩拉比勒还有含硫較高的鋁土矿，其化学成份为： Al_2O_3 55%、 SiO_2 12~13%、S 7.5%。

乌克兰南部还有維索克波尔矿区，鋁土矿为三水鋁石型，儲量很大，可用联合法生产氧化鋁。

除鋁土矿外，苏联尚有大量的霞石和明矾石。

匈 牙 利

匈牙利的鋁土矿儲量占世界第一位，产量占欧洲第二位，年产 119 万吨，1965 年可增至 160 万吨。矿区主要集中在西部。第二次世界大战前，匈牙利矿石多輸往德国。目前出口的鋁土矿占产量的 $\frac{1}{3}$ ，大部份供給捷克斯洛伐克、苏联、西德、波兰。矿石属于一水軟鋁石型，化学成份为： Al_2O_3 52~58%、 Fe_2O_3 12~20%、 SiO_2 2~7%、 TiO_2 2.5~3.5%、 H_2O 14~16%。

罗 马 尼 亚

較大的一水硬鋁石型的矿区集中在西部。鋁土矿的年产量为 8 万 7 千吨，平均化学成份为： Al_2O_3 60%、 Fe_2O_3 25%、 SiO_2 4%、 TiO_2 4%、 H_2O 11%。

美 国

高品位鋁土矿极少，本国所产鋁土矿含硅量高，主要蘊藏地区为阿肯色州。据估計，各州儲量为：阿肯色州——3,900 万吨、宾夕尔法尼亚州——500 万吨、阿拉巴馬州——70 万吨、乔