

苏联中等专业学校教学用书

轻金属冶金学

上册

А.И. 苏士可夫 И.А. 特罗依茨基

М.А. 埃捷壮 著

冶金工业出版社

蘇聯中等專業學校教學用書

輕金屬冶金學

上 冊

A. И. 苏士可夫、И. А. 特罗依茨基

M. A. 埃捷壯 著

沈阳鋁鎂設計院專家工作科 譯

冶金工業出版社

35-18/11

А. И. Сушков, И. А. Троицкий, М. А. Эйденов
МЕТАЛЛУРГИЯ
ЛЕГКИХ МЕТАЛЛОВ

輕金屬冶金學 上冊
沈陽鋁鎂設計院專家工作科 譯

—— * ——
冶金工业出版社出版 (北京市燈市口甲45号)
北京市书刊出版业营业许可証出字第093号
冶金工业出版社印刷厂印 新华書店发行

—— * ——
1959年10月 第一版
1959年10月北京第一次印刷
印 数3,012册
開本850×1168· $\frac{1}{32}$ ·280,000字·印張 $\frac{10}{32}$

—— * ——
統一書号15062·1808 定价1.30元

本書系根据蘇聯國立冶金出版社 (Металлургиздат) 1957年出版的 А. И. 蘇士可夫、И. А. 特羅依茨基和 М. А. 捷捷壯著的“輕金屬冶金學” (Металлургия легких металлов) 譯出的。原書經蘇聯高等教育部中等專業學校管理局審定作為有色冶金技術學校教科書。

書中敘述了重要輕金屬——鋁和鎂冶煉的理論基礎和實際問題。探討了鋁鎂生產中所採用的原料的性質和制取方法。同時也敘述了這兩種金屬的性質、用途及其精煉方法。

本書除可作為有色冶金技術學校的教科書外，對有關工程技術生產人員也有裨益。

本書由沈陽鋁鎂設計院專家工作科饒渡琦同志（第一章、第五章、第十六章、第二十二章—第二十六章）和霍光庶同志（第六章—第十五章、第十七章—第二十一章）翻譯，全書由該院沈家祥同志校對。本書譯本分上、下兩冊出版，上冊為鋁冶金學（第一章—第十六章），下冊為鎂冶金學（第十七章—第二十六章）。

目 錄

序言	1
----	---

第一篇 鋁 冶 金 学

第一章 鋁的概論	3
----------	---

- | | |
|---------------|---|
| 1. 鋁的性質及其使用範圍 | 3 |
| 2. 鋁工業發展史 | 6 |

第二章 鋁礦石	13
---------	----

- | | |
|--------------|----|
| 1. 鋁在自然界中的分布 | 13 |
| 2. 鋁礦的性質和礦床 | 14 |

第三章 氧化鋁生產	20
-----------	----

- | | |
|------------------------|----|
| 1. 氧化鋁的物理化學性質及其制取方法的分類 | 20 |
| 2. 拜耳法生產氧化鋁 | 23 |
| 3. 燒結法制取氧化鋁 | 52 |
| 4. 拜耳—燒結聯合法 | 63 |
| 5. 用霞石制取氧化鋁 | 66 |
| 6. 用明礬石生產氧化鋁 | 68 |
| 7. 用其他原料制取氧化鋁 | 71 |

第四章 冰晶石和其他氟化鹽類的生產	74
-------------------	----

- | | |
|-------------------------|----|
| 1. 冰晶石和其他氟化鹽類的性質及對它們的要求 | 74 |
| 2. 人造冰晶石的生產工藝流程 | 77 |
| 3. 螢石及其開採和富集 | 79 |
| 4. 氫氟酸的制取 | 85 |
| 5. 冰晶石的制取 | 88 |
| 6. 氟化鋁和氟化鈉的制取 | 91 |
| 7. 鹼法生產冰晶石 | 92 |

第五章 電極生產	96
----------	----

- | | |
|-----------------------|-----|
| 1. 炭素電極的用途及其在鋁鎂工業中的應用 | 96 |
| 2. 生產炭素電極和石墨化電極用的原料 | 100 |
| 3. 電極生產的工藝流程 | 103 |

4. 固体炭素材料和粘結剂的制备	105
5. 生料的配制和混捏	110
6. 电极的压型和焙燒	113
7. 电极的石墨化	120
8. 炭素电极和石墨化电极的机械加工	122
第六章 冰晶石-氧化铝熔体电解过程的理論	124
1. 铝电解槽电解質的組成和熔度	124
2. 氧化铝在冰晶石中的溶解度	128
3. 冰晶石-氧化铝熔体的密度、电导性及其他性質	131
4. 冰晶石-氧化铝的分解电压、結構和熔体中离子的轉移	138
5. 两极上的反应过程	144
6. 电解时杂質的行为	153
7. 电流效率和电能效率	156
第七章 电解槽的构造、安装和拆卸	161
1. 铝电解槽的一般性質	161
2. 电解槽槽壳及其在槽基上的安装和內衬的砌筑	163
3. 电解槽阳极装置和母綫装置	169
4. 电解槽的氧化铝加料装置	182
5. 电解槽排气装置	184
6. 电解槽的电气絕緣	185
7. 铝电解槽的安装	186
8. 铝电解槽的拆卸	196
第八章 电解車間	200
1. 系列的直流供电及系列內电解槽配置	200
2. 通风和排风	204
3. 内部运输, 压缩空气管网和真空管路	206
第九章 铝电解槽的起动	208
1. 新系列电解槽的起动	208
2. 大修理后电解槽的起动	218
3. 电解槽起动后的工作	222
第十章 铝电解槽的正常工作	225

1. 鋁電解槽正常工作的特點·····	225
2. 電解槽加氧化鋁和撈炭渣·····	229
3. 保持電解質水平和調整電解質組成·····	233
4. 電解槽出鋁·····	235
5. 陽極操作·····	239
6. 電解車間工業衛生和安全技術的基本要求·····	247
第十一章 電解槽生產上的故障及其消除辦法 ·····	251
1. 電解槽的冷行程·····	251
2. 電解槽中氧化鋁的中毒現象·····	253
3. 持久的《不滅》陽極效應·····	254
4. 電解槽的熱行程·····	255
5. 電解質的含炭和炭化·····	258
6. 陽極正常工作的破壞·····	260
7. 電解槽生產中事故性質的故障·····	263
第十二章 電解生產鋁的輔助過程 ·····	268
1. 從炭渣和電解槽內襯中回收氟化鹽·····	268
2. 電解槽廢氣、掃集料、熔渣、澆渣和其它廢物的利用·····	271
第十三章 鋁的精煉 ·····	275
1. 原鋁中的雜質·····	275
2. 鋁的氯化精煉，電爐熔煉和鑄錠·····	277
3. 鋁的電解精煉·····	288
4. 鋁合金的制取·····	292
第十四章 鋁生產的技術經濟數據 ·····	295
1. 鋁的成本核算·····	295
2. 降低鋁成本的途徑·····	296
第十五章 鋁合金和硅的電熱法生產 ·····	299
1. 硅的生產·····	299
2. 硅鋁合金的生產·····	312
3. 電熱硅鋁明合金的生產·····	318
第十六章 鋁電解槽的計算基礎 ·····	322
鋁電解槽的計算范例·····	333

序 言

我国輕金屬的生产，尤其是其中两种最重要的輕金屬——鋁和鎂的生产，正在一年比一年地增长着。

苏共第十九次代表大会提出了一項任务——在第六个五年計劃中鋁和鎂的生产将增加 1.1 倍。要完成这一任务，除了設計許多新的工厂以外，並且还要扩大和改进現有工厂的生产。

第六个五年計劃所規定的发展鋁鎂工业的任务，要求大量地增加輕金屬生产方面的专家人数。在培养具有中等技术水平的干部方面，技术学校起着重要的作用。現在，我国許多技术学校正在培养鋁鎂工业的冶金技术人員；夜校教育网也在不断的扩大，在那里，冶金生产者可以不脫产受到中等专业教育。

本書是根据有色冶金技术学校輕金屬专业的“輕金屬冶金学”課程教学大綱編写成的。

在“輕金屬冶炼”专业的有色冶金技术学校里，正在培养鋁厂电解車間和鎂厂主要車間的冶金技术人員。因此本書叙述了电解法制鋁和制鎂的理論及实际經驗。除了电解法外本書中还探討了热法制鋁，制鎂及其合金，並叙述了用于电解的原材料：氧化鋁，无水氟化盐，氟化盐和炭素材料的生产方法。

本書第一篇中除了Ⅱ、Ⅲ和Ⅵ章以外，均由 A. И. 苏士可夫所写成，第二篇——M. A. 埃捷壯，第一篇的Ⅱ、Ⅲ和Ⅵ章——И. A. 特罗依茨基写成的。

作者对技术科学博士 Г. B. 霍尔士暖和荣膺列宁勳章的烏拉尔鋁厂工作人員 B. C. 捷英旦諾夫，B. Я. 盖拉西莫夫，B. Г. 偉夫琴柯，П. B. 依苏波夫在本書編写过程中所給予的

宝貴指示致以謝意。

作者热忱欢迎对本書提出批評意見。

作 者

第一篇 鋁 冶 金 學

第一章 鋁 的 概 論

1. 鋁的性質及其使用範圍

鋁是銀白色金屬，就其性質而言，易于和其他許多金屬區別開來。其特點是：比重小，導電率和機械强度高，熱傳導率高，對許多化學物質具有很大的抗腐蝕能力。鋁及其合金的這些性質，使其成為很有價值的金屬並能夠在現代工業的各個部門中被廣泛採用。

鋁的主要性質見表 1。

鋁易受機械加工：軋制，切削，拉伸，鍛造等等。

工業鑄鋁的抗拉強度極限為 9—12 公斤/平方公厘，軋制鋁——18—28 公斤/平方公厘（軟鋼為 38—44 公斤/平方公厘，鋼為 24 公斤/平方公厘）。鑄鋁的布氏硬度為 24—32，軋制鋁——45—60（鋼為 150—500，銅為 90）。

溫度增高時，鋁的機械強度顯著下降。

在 A. И. 門捷列耶夫元素周期表中鋁屬第三類。就其化學性質而言，鋁為兩性的金屬。在大氣條件下，常溫狀態下的

表 1

鋁 的 主 要 性 質

名 称	数 值
Ⅱ. Ⅲ. 門捷列耶夫元素周期表中的序数.....	13
原子价.....	3
原子量.....	26.97
溫度为20°C时的比重(固态99.97%Al), 克/立方公分.....	2.6996
溫度1000°C时的比重(液态99.97%Al), 克/立方公分.....	2.239
熔点(99.6%Al), °C.....	658.7
熔点(99.996%Al), °C.....	660.24
沸点, °C.....	~2500
熔化潜热, 卡/克.....	92.7
蒸发潜热, 卡/克.....	2300
燃烧热, 卡/克分子.....	3990.10
溫度0~100°C时的导热系数(99.70%Al), 卡/公分·秒, °C.....	0.52
溫度0°C时的热容量, 卡/克, °C.....	0.209
溫度膨胀系数.....	$23.8 \cdot 10^{-5}$
溫度20°时的比电阻(99.5%Al), 欧姆·平方公厘/公尺.....	0.029
彈性模数(99.3%Al), 公斤/平方公厘.....	7000
由液态变为固态时的收缩率, %.....	6.6
电极(正常的)电位, 伏特.....	-1.3
电化当量, 克/安培·小时.....	0.3354

鋁, 其化学稳定性很高, 超过鉄的稳定性。在空气中放置时, 鋁的表面会生成一层浅灰色密緻的氧化鋁薄膜(厚度約 0.0002 公厘), 由于有这一层薄膜, 就可防止鋁进一步受氧化, 並使鋁具有良好的抵抗腐蝕的能力。即使在熔融的状态下, 鋁的表面因为这层薄膜, 也可以更好的防止进一步氧化。

經過細磨的鋁在加热时能在空气中燃燒, 並放出大量的热。

水(甚至在加热时)对鋁沒有影响。鋁非常易受苛性碱, 盐酸和硫酸的破坏(溶解)。濃硝酸和有机酸对鋁沒有影响。

由于鋁对氧有很大的化学亲和力, 所以它能与氧化合, 将

許多氧化物中的其他元素（錳，鉻，鐵等）置換出來，使這些元素還原。

氮、氮、一氧化碳等氣體在熔融鋁中非常容易溶解。因此，這些氣體的一部即與鋁化合生成化合物。氣體在鋁中的溶解度隨着溫度的升高而增加，並隨着鋁的硬化溫度而顯著下降。

鋁合金 鋁具有與其他金屬化合而生成合金的能力，此合金的機械性能比純鋁要高。除了鉛以外，鋁均能與工業上一般所採用的金屬化合生成合金。

工業上所使用的合金可分為兩類：鑄造合金和變形合金，前者用於異形鑄件，後者用於制軋材、壓制另件等。

杜拉鋁是易受機械加工，軋制，拉伸，模壓的最重要合金之一。其組成為：銅3.4—4%；錳0.4—0.8%；鎂0.4—0.8%；鐵不多於0.8%；硅不多於0.8%；其餘為鋁。杜拉鋁的比重小（2.85克/立方公分），其機械性能接近於某些種類的軟鋼。合金的機械性能經過熱加工和冷態變形以後會顯著增加。退火杜拉鋁的抗拉強度為18—24公斤/平方公厘，延伸率為18—24%，布氏硬度為50—60公斤/平方公厘。杜拉鋁在溫度495—505°C下經過淬火以後的強度極限為38—42公斤/平方公厘，延伸率為15—20%（軟鋼強度極限為38—44公斤/平方公厘，延伸率為22%）。杜拉鋁的熔點約為650°C。

鑄造合金中使用最廣的是硅鋁合金——硅鋁明合金，其比重比鋁小（2.6），硬化時的收縮率亦不大。目前鋁合金的制取技術的發展已達到了很高程度。

鋁及其合金在工業上的應用 鋁及其合金因為比重小，硬度大，易於製造和加工，導熱率高，耐腐蝕能力強和外表美觀，因而在航空結構上，汽車工業和拖拉機製造業等方面得到廣泛採用。在機械製造方面若採用鋁及其合金，則可增加機床及機組的運轉速度，並能降低電能消耗量。

在电气工业和无綫电工业上也广泛采用鋁来制造電纜、母綫、电容器、变流器、各种护板等。

近年来在架設高压綫路方面，用鋁来制造帶有鋼心的多股導綫尤为广泛。

鋁具有很大的抵抗海水作用的能力，因而在造船工业方面被广泛采用：用鋁及其合金制甲板复盖层，构架，窗戶，煙筒，雷达架等。又因为鋁具有很大的抗腐蝕能力，所以在化学机械制造方面也广泛用鋁来做原材料。

鋁对氧有很大的亲和力，这一性質被用来以氧化物（氧化鋁，氧化錳、氧化錫等）制取难于还原和难熔化的金屬，而近年来則被用来制取碱土金屬（鈣，鋇）和碱金屬（鋰）。鋁热还原过程在目前构成了冶金方面的一个特殊部門。在鋼鉄另件的焊接方面，也利用鋁热还原反应。

在黑色冶金中利用鋁来使鋼脫氧也有着重要意义。

鋁还可制成鋁箔做包装材料，在这方面鋁的应用也很广泛。鋁箔不透空气、水份和油类，而且輕便价廉，因此是一种貴重的包装材料。

鋁及其合金在生活中（制家具、器皿等）和制造各种裝飾品方面也应用很广泛。

由于鋁輕便，抗腐蝕能力和机械强度都很高，所以在許多国家中都广泛使用鋁及其合金制做工业建筑和民用建筑的結構构件，即用来制造房盖，房間隔板，窗框和門框。鋁及其合金还可用作制造支撑柱子和承重桁架的主要材料。

鋁在工业和生活上居于重要地位，要是沒有鋁，現代的生活是很难想象的，正象沒有黑色金屬会感到寸步难行一样。

2. 鋁工业发展史

鋁被当作是一种工业金屬是較晚的。金屬鋁是于1825年由

丹麦物理学家 Г. 耳士建 (Эрстед) 首次制得, 而把鋁运用到工业上来使用的首次嘗試还是十九世紀的下半叶才开始的。

在鋁的生产史中, 存在着三种制鋁方法: 1) 化学法——用更活潑的金属从鋁化合物中还原鋁; 2) 电热法——用炭还原鋁矿; 3) 电化法——电解法制鋁、即电解溶于熔融冰晶石中的氧化鋁。

化学法制鋁是用金属鈉, 鉀或鎂还原氯化鋁或氟化鋁。

俄国卓越的物理化学家 И. И. 別克特对化学法制鋁的发展曾給予了很大供獻。远在1854年他就提出了以金属鎂代替鈉来置换氟化物中的鋁。И. И. 別克特所提出的方法成了当时工业上最合适的方法, 因而很快就被西欧各国所采用。自从产生化学法以来, 有25%以上的鋁是按 И. И. 別克特的方法制得的。1865年 И. И. 別克特以《一些元素被另一些元素置换現象的研究》为题发表了博士学位論文, 后来这篇論文成了新的冶金部門——金属热还原法的最早的理論基础。

化学法在很長的时间內 (从1854到1890年) 都一直是唯一的制鋁工业方法。但因为碱金属和碱土金属成本高, 所以这种方法, 不能保証大規模生产鋁。

当1886—1888年間法国的波里·耳魯和美国的查里斯·霍尔研究出了更完善的电解法以后, 化学法就被代替了, 以后在工业上再也沒有使用化学法的了。

从十九世紀50年代开始, 曾不止一次地企图用电热法——以炭还原氧化鋁来制取純鋁。这一方法沒有获得良好的結果。失败的原因是因为用炭从氧化鋁中还原鋁时所需要的溫度很高 (2000°C 以上)。在此种溫度下, 炭使氧与鋁分离后, 而炭又与氧化合成氧化炭, 这时所制得的鋁呈汽态, 並急激与炭或一氧化碳反应生成碳化鋁, 或者重新轉变为氧化鋁。

如果在生产过程中使用足量的任一种沸点比鋁高的金属,

例如鉄、硅、銅，那末这些缺点是可以消除的。在此种条件下，鋁在还原的时候即溶于鉄或硅中，而与鉄或硅生成合金。

在上世紀的工业生产中就开始用电热法生产这些合金，但后来就失去了其实用意义。結果这种电热法被新的电解法所代替，新电解法可以制得純鋁，並且一开始就在工业上佔着主导地位。

但这以后許多年来，以炭热法还原氧化鋁或以硅鋁酸盐的方法来制鋁的尝试就一直擱置起来了。

鋁是一种阴电性大的金屬，目前尚不能用水溶液的电解法来制得，因为采用此种方法时在阴极上会分离出更阳电性的氫，並生成氫氧化鋁。所以現在都采用不含有氫离子的熔融冰晶石的氧化鋁电解法来制取鋁。这种方法在目前实际上还是生产鋁的唯一工业方法。

現代电解法制鋁可分为四个主要阶段：1) 生产氧化鋁；2) 生产冰晶石和其他氟化盐；3) 生产电极产品（炭块，阳极糊，底炭糊）；4) 生产鋁。

由于电解法的产生，鋁工业在很短的时间內就成了一个强大的現代冶金工业部門。如果說 1886 年全世界鋁的产量总共为 20 吨，則在 1927 年世界鋁的产量已接近 30 万吨，而到 1943 年鋁的世界年产量則达二百万吨左右。至此，鋁便由《稀有》，《貴重》的金屬而变成了一种現代工业的重要材料之一。

在建立鋁电解生产的科学理論基础及推动鋁电解生产的发展方面，俄国和苏联学者的著作起了重要的作用。1889—1892 年間，俄国的 K. И. 拜耳发明了一个生产氧化鋁的简单而又廉价的方法，就是在压煮器中用碱溶液处理鋁矾土。現在这一方法成了世界鋁工业中使用最广的一种方法。

1895 年俄国工程师 A. A. 別尼亚柯夫研究出了将鋁矾土加硫酸鈉及炭来燒結，从鋁矾土中制取氧化鋁的方法。但是

A. A. 別尼亞柯夫的發明沒有被俄國沙皇政府所重視。結果這一方法首先在比利時，後來又在德國被採用來組織工業生產。

1915年俄國學者 A. H. 庫茲涅佐夫和 B. H. 朱可夫斯基研究成功了從低品位鋁礦中制取氧化鋁的方法，這種方法就是在高溫電爐內將此種鋁礦與鹼土金屬碳酸鹽一起熔化，以制取含有鋁和硅鐵合金的溶渣。

從1910年開始，在現代鋁生產理論基礎的研究中，俄國學者 H. H. 費多齊耶夫起了卓越的作用。他和他的學派都對此進行了深入的科學研究工作，這些研究工作在本書中將不止一次地可以看到。這些科學研究工作現已聞名於世界，並且獲得了一致的公認。

1916年在齊哈溫區，地方誌學家工程師 H. H. 居莫菲微發現了蘇聯第一個鋁礦——鋁矾土工業礦床。

但是，儘管有原料和俄國學者所寫的關於鋁冶煉方面的大量優秀科學著作，然而沙皇俄國却始終未能建立起自己的制鋁工業，這是因為沙皇政府對此問題沒有給予應有的重視和國家技術落后所造成的。當時沙皇俄國從國外按高價輸入鋁，而且輸入數量也很少。

只是在十月社會主義革命以後，在我們才具備了建立制鋁工業的必要條件。

根據 B. H. 列寧1920年的指示所制定的國家電氣化計劃對建立制鋁工業有着特殊的意義，因為生產鋁需要大量廉價的電能。為了實現這個計劃，沃爾霍夫河的大型水電站於1926年投入了生產，而在1932年，德聶伯流域的查坡羅什市的大型水電站也投入了生產。

在蘇維埃政權的最初年代里，對俄羅斯第一個有名的齊赫女鋁矾土礦床進行了詳細的地質勘探，地質勘探結果表明，鋁矾土中含有大量的氧化硅。于是在我們的學者面前就提出了一

項任务——寻找由低品位的齐赫文鋁矾土中制取氧化鋁的廉价方法。

这一問題于1925年由两个学者小組开始研究：A. A. 雅可夫金和И. С. 里列耶夫教授的小組及A. A. 庫茲涅佐夫和E. И. 朱可夫斯基教授的小組。

第一小組于1925—1932年間在国立应用化学研究院（ГИИХ, 列宁格勒）制定出了苏打-石灰燒結法。第二种方法——电热法是于1915年由A. A. 庫茲涅佐夫和E. И. 朱可夫斯基在列宁格勒矿山研究院电冶炼試驗室中制定出来的，並且于1927年在莫斯科市郊的察里津試驗站进行过半工厂規模的試驗。

与此同时，应用矿物学研究院（現在的全苏矿物原料科学研究所）的工作人員在Д. В. 布里茨克领导下也制定出了用螢石生产冰晶石的酸法。这一方法后来成了（从1929年起）波列夫斯基工厂（烏拉尔）氟化盐生产的基础。

1927年И. И. 費多齐耶夫在列宁格勒工学院的試驗室中用电解法从本国原料中制出了第一批苏联鋁錠。

無論在过去和現在，在苏联对于鋁冶金研究工作的发展都給予了很大的重視。鋁冶金的研究工作現在仍然在順利地繼續进行，参加这一研究工作的有Ю. В. 巴依瑪柯夫，A. И. 別略耶夫，B. М. 古希可夫，B. И. 馬紹維資，B. A. 馬泽里，E. И. 朱可夫斯基和И. С. 里列耶夫等人。

共产党和苏联政府对苏联輕金屬生产的发展給予了极其特別的注意。

1927年12月党的第十五次代表大会作出了关于在我国建立鋁工业的決定。

1930年5月列宁格勒的鋁試驗厂投入了生产，这个試驗厂在制定冰晶石-氧化鋁熔融体电解工艺过程的方法方面和給苏联第一批鋁厂培养熟練的工程技术干部及工人方面都起到了重