

286392



高等学校教学用书

专业轻金属冶金学

第一册 (氧化铝)

东北工学院轻金属冶炼教研室 合編
中南矿冶学院轻金属冶炼教研组



中国工业出版社

221
7
302

高等学校教学用书



专业轻金属冶金学

第一册 (氧化铝)

东北工学院轻金属冶炼教研室
中南矿冶学院轻金属冶炼教研组 合編

中国工业出版社

全書分三冊出版：第一冊為氧化鋁，第二冊為電冶鋁，第三冊為鑛冶金及鋁鎂冶金。

本書為氧化鋁部分。這一部分是在東北工學院編“專業輕金屬冶金學（氧化鋁部分）”和中南冶學院編“輕金屬冶金學（上冊）”的基礎上修訂而成。全書包括總論、拜耳法、鹼石灰燒結法、聯合法、高硅鋁土礦的處理及氧化鋁廠設計基礎等六篇。

本書經冶金工業部教育司推薦作為高等學校輕金屬冶煉專業教學用書，在輕金屬部門工作的工程技術人員也可用來參考。

專業輕金屬冶金學

第一冊（氧化鋁）

東北工學院輕金屬冶煉教研室
中南冶學院輕金屬冶煉教研室 合編

中國工業出版社出版（北京佟廟閣路西10號）

（北京市書刊出版專業許可證出字第110號）

北京市印刷一廠印刷

新華書店科技發行所發行·各地新華書店經售

開本 787×1092 1/16·印張 17 3/4·字數 406,000

1961年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印數 00601—733·定價(10—6) 2.10元

統一書號：15165·208(冶金—80)

序

党的教育方针明确指出教育为无产阶级的政治服务，教育与生产劳动相结合。全国各高等院校在这一方针指导下，多年来不断地进行教学改革，为提高教学质量，培养又红又专的人材而努力。

在轻金属冶炼专业教学方面，过去几年来曾采用苏联教材。1959年中南矿冶学院和东北工学院分别编写和出版了“轻金属冶金学”和“专业轻金属冶金学”等书。

当前，为进一步提高教学质量，更好地满足教学需要，在1959年编写的轻冶专业教学用书的基础上作了若干补充、修改，编成此书。

全书计划分三册出版：第一册为氧化铝生产，第二册为电冶铝，第三册为镁冶金及铍锂冶金。本册为氧化铝生产部分。这一部分是根据东北工院所编“专业轻金属冶金学”氧化铝生产部分（未出版）和中南矿冶学院所编轻金属冶金学上册的某些章节修订而成。全部编写与修订工作是在东北工学院党组织的直接领导下进行的。参加编写与修订工作的有东北工学院游联泉、冯冀燕、刘慎中、张文声、王延明和中南矿冶学院杨重愚等同志。

编者受政治与业务水平所限，在本书中一定还有不少缺点与错误，敬请读者批评指正。

东北工学院有色金属系轻金属冶炼教研室
中南矿冶学院冶金系轻金属冶炼教研室

1961年4月

目 录

序	3
緒論	7
第一篇 总論	10
第一章 铝和铝的化合物	10
§ 1. 铝的性质与用途	10
§ 2. 氧化铝及其水化物	18
§ 3. 铝的其他化合物	27
第二章 煉铝原料	35
§ 4. 铝的地球化学及重要含铝矿物	35
§ 5. 铝土矿	36
§ 6. 其他铝矿及煉铝原料	40
§ 7. 铝矿床的技术經濟评价	44
第三章 鋁酸鈉溶液的性質	45
§ 8. $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系及鋁酸鈉溶液的稳定性	45
§ 9. 鋁酸鈉溶液的物理化学性質	53
§ 10. 关于鋁酸鹽溶液結構的若干观点	57
§ 11. 鋁酸鈉溶液离子結構	60
§ 12. 鋁酸鈉溶液生成和分解機構	69
第二篇 拜耳法生产氧化铝	73
第一章 概述	73
§ 13. 拜耳法簡史	73
§ 14. 拜耳法生产氧化铝的工艺流程	73
第二章 铝土矿的溶出	75
§ 15. 铝土矿中各种成分在溶出过程中的行为	75
§ 16. 溶出的理論計算公式	83
§ 17. 铝土矿溶出过程及影响溶出过程的因素	88
§ 18. 铝土矿溶出設備	95
§ 19. 溶出过程的赤泥数量及氧化铝提取率的确定	99
第三章 赤泥的分离与洗滌	100
§ 20. 溶出料漿的稀釋	100
§ 21. 溶出料漿稀釋及分离过程的温度制度	101
§ 22. 赤泥的沉降与洗滌	108
§ 23. 沉降洗滌設備計算	108
第四章 鋁酸鈉溶液的種子攪拌分解	109
§ 24. 攪拌分解过程中鋁酸鈉溶液的理論分解率及氧化铝的理論产出率	110
§ 25. 影响种子攪拌分解过程的主要因素	111

§ 26. 鋁酸鈉溶液的自發分解	116
§ 27. 種子攪拌分解鋁酸鈉溶液時氫氧化鋁晶體長大的機構	119
§ 28. 拜耳法生產過程中氫氧化鋁產品的周期性變細	120
§ 29. 種子攪拌分解設備系統	123
§ 30. 用活性種子強化鋁酸鈉溶液的分解過程	125
第五章 氫氧化鋁的煅燒	127
§ 31. 氫氧化鋁在煅燒時的物理化學變化	127
§ 32. 氫氧化鋁煅燒設備系統	130
第六章 分解母液的蒸發及苛性鹼回收	133
§ 33. 分解母液的蒸發	133
§ 34. 苛性鹼的回收	137
第七章 拜耳法的改進途徑	141
§ 35. 鹼——石灰溶出法	144
§ 36. 以 Na_2S 及 $\text{Na}_2\text{S}-\text{NaOH}$ 溶液處理鋁土礦	143
§ 37. 用超濃度鋁酸鈉溶液改進拜耳法生產	144
第三篇 碱石灰燒結法生產氧化鋁	146
第一章 概述	146
§ 38. 碱石灰燒結法的發展簡史	146
§ 39. 碱石灰燒結法的一般工藝流程	147
第二章 碱石灰燒結過程的原理	148
§ 40. 固態反應及其影響因素	149
§ 41. 生料各成份在燒結過程中的物理化學變化	151
§ 42. 生料成份的飽和配料和非飽和配料	164
第三章 燒結過程的工藝實踐	167
§ 43. 燒塊質量及其影響因素	167
§ 44. 燒結前生料的製備	169
§ 45. 燒結迴轉窯及其照管 and 事故處理	171
§ 46. 提高燒結迴轉窯熱效率和生產率的途徑	177
第四章 燒塊的溶出	180
§ 47. 燒塊各成份在溶出時的行為	181
§ 48. 燒塊的溶出方法及設備	187
§ 49. 赤泥的膨脹及粘結	192
第五章 鋁酸鈉溶液的脫硅	193
§ 50. 脫硅過程的實質和方法	194
§ 51. 鋁酸鈉溶液與硅酸鈉溶液之間的反應	194
§ 52. 影響脫硅過程的主要因素	197
§ 53. 脫硅過程的設備系統	200
第六章 鋁酸鈉溶液的碳酸化分解	202
§ 54. 碳酸化分解過程的意義及實質	202
§ 55. 影響碳酸化分解過程及氧化鋁質量的因素	203
§ 56. 碳酸化分解的各種方法	206
§ 57. 碳酸化分解過程的設備系統	207

第七章 硫酸鹽配料燒結法生产氧化鋁	210
§ 58. 硫酸鈉燒結法的意义和实質	210
§ 59. 硫酸鹽配料燒結过程的物理化学反应	211
第四篇 拜尔法和燒結法的联合及鋁土矿的综合利用	216
第一章 碱性联合法生产氧化鋁	216
§ 60. 并联联合法	216
§ 61. 串联联合法	218
第二章 鋁土矿的综合利用	220
§ 62. 原料综合利用的意义	220
§ 63. 自鋁土矿中回收鐵	221
§ 64. 自鋁土矿中回收鈣和鎂	226
§ 65. 赤泥的利用	229
第五篇 明矾石及其他高硅鋁矿的处理方法	233
第一章 自明矾石生产氧化鋁	233
§ 66. 卡福茨基碱法	233
§ 67. 明矾石的热分解	235
§ 68. 氨碱法	236
§ 69. 还原焙燒法	239
§ 70. 硫化鈉溶出法	240
第二章 自霞石生产氧化鋁	242
§ 71. 燒結法处理霞石	242
§ 72. 高压水化学法处理霞石	245
§ 73. 联合处理霞石和高硅鋁土矿	249
第三章 高硅鋁矿的預脫硅处理	249
§ 74. 預脫硅的基本原理	250
§ 75. 預脫硅后精矿的处理	251
第四章 高硅鋁矿的石灰燒結法	252
§ 76. 高硅鋁矿的石灰燒結法的意义	252
§ 77. 石灰燒結法的原理	252
第五章 高硅鋁矿的酸法处理	256
§ 78. 概述	256
§ 79. 各种酸法的处理过程	257
第六篇 氧化鋁厂的设计基础	262
§ 80. 氧化鋁厂设计的内容和程序	262
§ 81. 氧化鋁厂厂址选择	263
§ 82. 氧化鋁厂生产能力的选择	265
§ 83. 氧化鋁厂生产方法的选择	266
§ 84. 氧化鋁生产中物料平衡的计算	268
§ 85. 氧化鋁厂生产设备的选择和配置	270
§ 86. 氧化鋁厂的安全技术	272
§ 87. 氧化鋁生产的技术控制	274
§ 88. 氧化鋁生产的成本分析	276
§ 89. 氧化鋁厂总平面布置	281

緒 論

輕金屬包括鋁、鎂、鈹、碱金屬（鋰、鈉、鉀、銣、鉍）和碱土金屬（鈣、鋇、鎂）等十一种元素。由于鋁的性質優良，在發展國民經濟的各個部門中得到廣泛的應用。

近 30 年來，世界鋁工業以大約每 10 年增長一倍的速度飛躍地發展着。1958 年全世界原鋁產量已達 350 余萬噸，而 1960 年接近 500 萬噸。社會主義國家鋁工業的發展尤為迅速。

現代鋁工業生產以電解法為主，每生產 1 噸金屬鋁消耗近 2 噸氧化鋁，而氧化鋁的質量直接影響所得金屬鋁的純度和電解過程的技術經濟指標，所以氧化鋁生產在鋁工業中佔有十分重要的地位。

電解過程要求氧化鋁應有高的純度和一定的粒度，並在長期貯存時不吸收水份。電解用氧化鋁其所以必須有較高的純度，是因為其中所含比鋁更正電性元素的氧化物雜質（ Fe_2O_3 、 SiO_2 、 TiO_2 等）在電解時將最先分解，並在陰極析出，使所得的鋁不純，而 SiO_2 和比鋁更負電性的金屬氧化物雜質（ Na_2O 、 CaO 等）則與電解質（ AlF_3 、 Na_3AlF_6 ）作用，改變了電解質的成份，破壞電解過程的正常進行。

氧化鋁必須具有一定的粒度是由于結晶的粗細程度影響氧化鋁在電解質中的溶解及其在運輸和加入電解槽時的飛散損失。

氧化鋁必須是不具吸水性的，以便防止電解質因水的作用而分解及引起爆炸。

各國生產的氧化鋁都有一定的技術標準，我國規定的技術標準如下：

我國氧化鋁的技術標準

雜 質	氧 化 鋁 規 格					
	特 級	零 級	一 級	二 級	三 級	四 級
	雜 質 含 量 不 大 于 %					
SiO_2	0.06	0.08	0.15	0.25	0.4	2.0
Fe_2O_3	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	1.0
Na_2O	0.5	0.8	0.6	0.6	0.7	0.8
均 碱	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0

電解煉鋁過程一般應用零級和一級的氧化鋁，在制取純度較高的鋁時則使用特級氧化鋁。低牌號的氧化鋁主要用于研磨材料工業和耐火材料工業等部門。

鋁是地殼中含量最為豐富的金屬元素。生產氧化鋁的最主要原料是鋁土礦，在我國有着極為巨大的蘊藏。我國還有巨大的優質明礬石礦床。其他含鋁礦物資源在我國也十分豐富。這些足以保證我國鋁工業的巨大發展。

根據自然界存在的各種鋁礦的不同類型，已經提出的由鋁礦生產氧化鋁的方法不下數十種，但其中僅有少數在工業上得到實際應用。

由于氧化铝水化物具有两性的化学性质，所以既可以用酸也可以用碱来分解矿石以提取其中的氧化铝，但目前有实际意义的主要是碱法。

碱法的基本原理是使铝矿中的氧化铝与碱作用生成可溶性的铝酸钠转入溶液，而与其他杂质（氧化铁、氧化钛及硅酸盐和铝硅酸盐等）分离，以后再以不同的方法使铝酸钠溶液分解析出氢氧化铝，再进一步煅烧而得氧化铝。生产过程中的碱则循环使用。目前工业上采用的碱法有拜耳法（湿式碱法），碱石灰烧结法和由两者组成的联合法。

拜耳法是直接以苛性碱溶液处理铝土矿来制取铝酸钠溶液。生产较为简便，得出的氧化铝具有较高的质量。它是现代氧化铝生产中占优势的方法，应用最为普遍。但是矿石中的氧化硅在用碱溶液处理的过程中变成不溶性的铝硅酸钠水合物（ $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.7\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）造成碱和氧化铝损失。所以拜耳法用在处理含氧化硅较高的矿石时是不经济的。

碱石灰烧结法可以避免这种缺点，它是将矿石与纯碱石灰一起烧结，使矿石中氧化铝与碱作用生成可溶于水的铝酸钠，而氧化硅与石灰作用生成不溶于水的正硅酸钙（ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ），用碱溶液便可溶出铝酸钠，使之与正硅酸钙及其他杂质分离。但是烧结法的缺点是流程较为复杂，设备投资和加工费用较为昂贵，产品成本较高。

将拜耳法和碱石灰烧结法以各种方式联合起来组成联合法，在某些特定的条件下，有着显著的优越性。这种方法在氧化铝生产中也占有重要的地位。

酸法的基本原理是用硫酸、盐酸、硝酸等无机酸处理铝矿石，使其中氧化铝转变为相应的铝盐进入溶液而与杂质分离，再中和溶液析出氢氧化铝，或结晶析出铝盐水化物，煅烧而得氧化铝。由于氧化硅不与各种无机酸发生作用，所以用酸法处理含硅量很高的矿石在原则上是合理而又简便的方法。但是酸法本身存在着严重缺点，即：（1）不能象碱法那样采用钢制设备，而必需用昂贵的耐酸材料制成的设备；（2）在生产中使用的酸经过复杂的过程，并且损失很多后才能回收，而在碱法中，碱可以很方便地循环利用；（3）从铝盐溶液中清除铁、钛等杂质十分困难；（4）不易制得粒度符合要求的氧化铝。因之实际上未被采用。

除碱法和酸法外，还可以用电热法生产氧化铝，这一方法是在电炉中用碳还原矿石中的氧化铁、氧化硅和氧化钛等杂质成为铁合金而与熔融的氧化铝分离。它可以用来处理高硅高铁的铝矿。但是这一方法消耗大量的电能，所得氧化铝质量不高，要求再予精制，所以也没有得到实际应用。

随着铝工业的飞速发展，愈来愈迫切地要求从各种高硅高铁的铝矿中提取氧化铝以扩大原料来源，并且要求强化和简化现有的生产方法以提高氧化铝生产的技术经济指标。许多国家进行了大量的研究，提出了很多新的方法、流程和设备。处理霞石和高硅高铁铝土矿的高压水化学法及加还原剂的碱石灰烧结法，综合利用明矾石的还原焙烧法等等都是近年来提出的。

在改进现有生产方法的研究中，主要是以制取低苛性比的铝酸钠溶液减少生产过程中的物料流量和以较廉的纯碱和硫酸钠来代替生产过程中大量消耗的苛性钠为方向。此外是加强对原料的综合利用和减少过程中的物料（主要是碱）消耗。在许多氧化铝工厂中已经实现了从拜耳法或碱石灰烧结法流程中提取稀有元素钪和钇的作业。在综合利用霞石以生产氧化铝、碳酸钾、碳酸钠和水泥、综合利用明矾石以生产氧化铝、钾肥和

硫酸的方面也取得了显著的成就。

在改进某些过程的作业条件，实现生产过程的连续化、机械化和自动化方面也取得很大的成果。和十年前相比较，目前氧化铝生产的技术经济指标已经是显著地提高了。

尽管氧化铝生产已经有了70多年的历史，但是对于这方面的一些基本理论问题，如铝酸钠溶液的性质和结构，碱石灰铝土矿烧结过程的机构等的研究，都还没有得到一致的结论。

1914年我国在山东淄博第一次发现一水硬铝石——高岭石型铝土矿以后，陆续地发现了很多资源，并且由从前的黄海化学工业研究社等单位曾零星作过一些研究。但在国民党反动统治下，这些研究工作不可能是完整的系统的，更不能指望出现中国自己的铝工业。

日本帝国主义在侵占我国台湾和东北地区以后，曾先后在台湾、东北、山东等地建立铝厂，对我国资源加剧进行掠夺。这些工厂的规模都比较小，而且有的直到抗日战争胜利，仍未投入生产。

我国的铝工业只是在1949年中华人民共和国成立之后才迅速建立和发展起来。在伟大的中国共产党的英明领导下，我国氧化铝工业无论是在生产技术上，或是在科学研究上都取得了显著的成就。

在党的社会主义建设总路线，大跃进，人民公社三面红旗的光辉照耀下，我国氧化铝工业的建设和生产正以更大的规模和更高的速度向前发展，各方面大搞技术革新和技术革命的群众运动，新的发明创造不断涌现，氧化铝工业的面貌正日新月异地在改变。

第一篇 总 論

第一章 鋁和鋁的化合物

§ 1 鋁的性質和用途

鋁是周期系第三族元素。原子序数13，原子半徑1.43Å，离子半徑0.86Å，原子量26.98，原子最外層电子的排列是 $3S^2.3P^1$ ，鋁原子的依次电离势●(千卡/克原子)为：

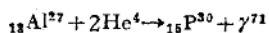
$$3P^1 \quad 138.2,$$

$$3S^2 \quad 655.9, 444,$$

$$2P^6 \quad \dots\dots\dots 3558.2, 2572.6,$$

已經証实，除 Al^{3+} 外，还存在 Al^{+} 的形态，并且力求扩大 Al^{+} 在工業上的应用。 Al^{2+} 的化合物近来也被发现。

1934年約里奧-居里夫妇用 α 粒子轟击鋁片，人类第一次用人工的方法制成了放射性同位素—— $_{15}P^{30}$ ●(放射性磷)。

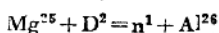


并繼續衰变为：

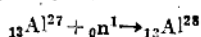


現在，已經确知，鋁有六个人工放射性同位素，它們的質量数分別是：24，25，26，27，28，29。●

用氦核轟击鎂，或用中子轟击硅可以制备 Al^{26} 和 Al^{29} ：



直接用中子轟击 Al^{27} 可以得到 Al^{28} ：



鋁的穩定同位素是 $_{13}Al^{27}$ 。常用的鋁的放射性同位素是 $_{13}Al^{29}$ ，它的半衰期为6.56分鐘。

鋁的單位晶格是面心立方体。晶格內最近的两个离子距离为2.86Å，电子密度的計算表明，在純鋁中鋁原子是以荷两个正电荷的离子状态存在的。因而認為鋁原子的电离不完全(若原子全部离子化，則应荷3个电荷)。

鋁液冷凝时析出不規則的多面体結晶——晶粒。

由于純度的区别，鋁的單位立方晶格之边長及其晶体組織以及鋁的各种物理，化学性質有所不同。杂質的存在(鉄，鈦，鎂及鋁的氧化物或其金屬)直接影响到鋁的这些屬性的变化。

① Курс физической химии В. А. Киреев, 張志炳等譯，上卷一分冊。

② 中国科学院原子能研究所編，放射性同位素应用知識，科学出版社，1959。

③ А. И. 布洛斯基，同位素化学，科学出版社，1956。

鋁具有漂亮的銀白色，其主要特点是質輕，有良好的延展性，导电性，导热性以及抗蝕性。那些以鋁為基的合金，除具有上述純鋁的特点外，还具有較高的机械强度。因而，鋁及其合金在現代工業中，已獲得極為廣泛的應用。

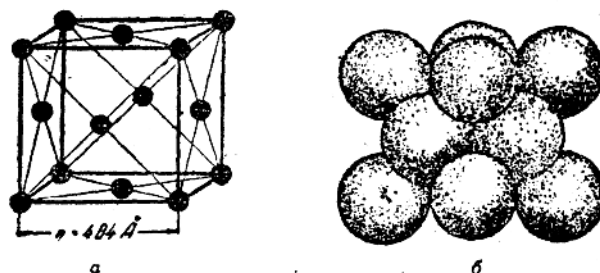


圖 I-1 鋁的單位晶格結構

a—鋁的單位格子的結構；b—鋁的單位格子中離子的配置。

在工業上，依照鋁的不同化學成份而將鋁劃分為純鋁（一般指工業生產的含99.7% Al的原鋁），高純鋁（99.85%以上的精煉金屬鋁），超純鋁（99.999%以上的再精煉金屬鋁）。

我國所採用的原鋁的技術標準如下：

原鋁的技術標準

表 I-1

鋁 品 号	代 号	鋁 不 少 于	化 学 成 分 (%)					用 途
			杂 质 不 大 于					
			铁	硅	铁+硅	铜	杂质总和	
			精 鋁					
四号精鋁	Al-00001	99.996	0.0015	0.0015		0.001	0.004	制造特殊化学器具, 电容器, 用于研究工作及其他特殊用途。
三号精鋁	Al-0001	99.99	0.0030	0.0025		0.005	0.010	
二号精鋁	Al-001	99.97	0.015	0.015		0.005	0.03	
一号精鋁	Al-01	99.93	0.04	0.04		0.01	0.07	
普 通 鋁								
一号普通鋁	Al-1	99.7	0.16	0.16	0.26	0.01	0.30	制造鋁箔, 电纜及导电体, 特殊用途的及化学工业用的鋁合金, 顏料用鋁粉及鋁制器具。鋁合金配料。中間合金, 鋁热法用鋁等。
二号普通鋁	Al-2	99.6	0.25	0.20	0.36	0.01	0.40	
三号普通鋁	Al-3	99.5	0.30	0.30	0.45	0.015	0.50	
四号普通鋁	Al-4	99	0.50	0.50	0.90	0.02	1.00	
五号普通鋁	Al-5	98	1.10	1.00	1.80	0.05	2.00	

比重：如下表所示，鋁的比重隨其純度及溫度增高而降低。

比重與溫度，純度的關係

表 I-2

純 度， %	比 重 克/厘米 ³	
	20°的退火固體鋁	1000°的熔融鋁
99.250	2.7276	2.3410
99.400	2.7060	2.2910
99.750	2.7030	2.2890
99.971	2.6990	—
99.996	2.6989	—

工業鋁電解槽中的熔融鋁(99.75%Al)在電解溫度下($930^{\circ}\sim 950^{\circ}$)的比重為2.303, 這可通過下列方程式求得:

$$D_t = 2.382 - 0.000273(t - 659)$$

熔點 鋁的熔點隨其純度的增高而上升。99.2%Al的熔點為 657° , 99.5%Al的熔點為 658° , 99.6%Al為 658.7° , 99.97%Al為 659.8° , 而99.996%Al則為 660.24° 。

當鋁熔化時其體積增加, 99.65%Al的鋁體積增加率為6.26%, 99.75%Al則為6.60%。

凝固時, 鋁的純度愈高, 其結晶體愈大, 從而所呈現出的結晶組織愈粗糙。含99.99%Al的高純鋁的晶粒長度可達10毫米, 約為99.8%的純鋁的5~10倍。這顯示了雜質對鋁的性質的重大影響。其原因在於凝固時雜質成為結晶核心所致。下圖表示出不同純度鋁的結晶構造。

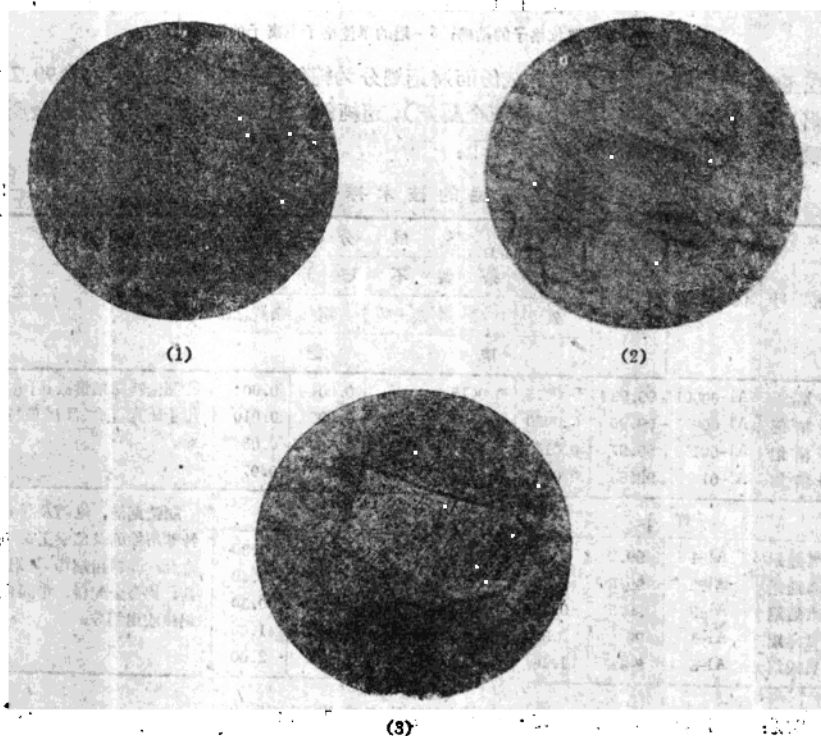


圖 I-2 不同純度鋁的显微切片($\times 50$)

(1)—99.5%Al, (2)—99.94%Al, (3)—99.9975%Al

大多數的測定表明, 鋁的熔融比熱近於93千卡/克, 原子熱容近於2520卡/克原子, 由於鋁的原子量比其它金屬為小, 故其熔融比熱很大。

沸點 近年來對鋁的沸點的測定有所分歧, 但可認為在大大氣壓力下, 鋁的沸點近於 2500°C , 是較為確切的, 但在真空中(剩餘壓力1毫米水銀柱)即降低為 1607°C , 熔融鋁的蒸氣壓與溫度的關係如下表:

熔融铝的蒸气压与温度的关系

表 I-3

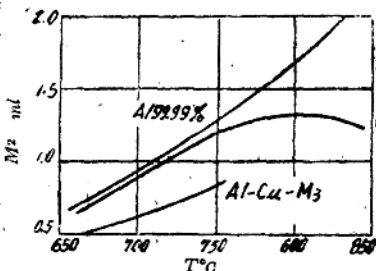
温度 (°K)	1400	1480	1534	1823	2002	2382	2760	2830	3000
压力(毫米水银柱)	0.0025	0.010	0.100	1.00	10.0	100	760	1000	2086

由此可见,在工业电解的温度下,熔融铝的蒸气压是很小的。铝的克原子蒸发热为 56800~62140 仟卡/克原子。

氢的溶解度 氢在铝中有很大的溶解度, 800° 时, 100 克纯铝中可溶解 2 毫升氢气, 降低温度则其溶解度降低。

氢的存在严重的影响到铸件的质量。最近, 光谱分析证明, 有 AlH 化合物的存在。

热容量与熵 由于所用铝试样的纯度不一, 因 图 I-3 温度对于氢在铝中溶解的影响而不同研究者测得的有关热容的资料是有分歧的, 表 I-4 是铝的平均热容量和真热容量与温度的关系:



0°—1000° 温度区间内铝的平均热容量, 真热容量

表 I-4

温度 °C	由 0° 到该温度的平均比热	真热容量	
		比热	原子热容量
0	—	0.2220	5.99
100	0.2259	0.2297	6.20
200	0.2297	0.2374	6.40
300	0.2386	0.2451	6.61
400	0.3274	0.2529	6.82
500	0.2413	0.2606	7.04
600	0.2452	0.2683	7.25
657 固	0.2473	0.2727	7.36
657 液	0.3904	0.2502	6.75
700	0.3818	0.2523	6.81
800	0.3659	0.2571	6.93
900	0.3541	0.2619	7.07
1000	0.3451	0.2667	7.19

当铝预先热处理以及机械加工时, 由于晶格能的变化而对其热容量有所影响。

像其它金属一样熔融时铝的真热容量降低, 液态铝的真原子热容在 931.7~1273°K 范围内可以看作常数, 其值等于 700 卡/克原子。

铝的标准熵 $S_{298.2} = 6.71 \pm 0.1$ 仟卡/克分子·度

热膨胀 铝的直线热膨胀随其纯度的增高而略有上升。

99.952% 的高纯度铝的直线热膨胀在温度 200°~600° 范围内可以下式表示之:

$$l_t = l_0 [1 + (22.58t + 0.00989t^2) \cdot 10^{-6}]$$

而 99.996% 的高纯度的铝直线热膨胀在 20~500°C 的范围内可以下式表示:

$$l_t = l_0 [1 + (23.22t + 0.0046t^2 + 0.000078t^3) \cdot 10^{-6}]$$

L_0 ——最初的长度；

L_t —— $t^{\circ}\text{C}$ 时的长度。

导电性 如前所述，金属铝的晶格内离子质点是以电子联系起来的，这些电子具有很大的流动性，因此，金属铝能良好的导热和导电。

铝的导电性随其纯度的增加而上升，各种纯度铝的比电阻如表 I-5 所示：

铝的比电阻值

表 I-5

Al %	温度 $^{\circ}\text{C}$	比电阻(欧姆-毫米 ² /米)	与铜的导电率相比%
99.500	0	25.3×10^{-8}	62.5
99.950	0	24.5×10^{-8}	64.5
99.971	20	26.69×10^{-8}	64.9
99.996	20	26.548×10^{-8}	65.49

变形程度，热加工制度亦影响铝的导电性能。

铝中的杂质可在不同程度上影响铝的导电性能，由图 I-4 可以看出：钛、钒、锰和铬最为有害，即使其含量在 0.1% 以内，而导电率却可由 38 迅速的降低到 35 米/欧姆-毫米²。

铜、银与镁都可在较大程度上降低铝的导电率，而铁、硅的影响则小得多。

对我们说来，液态铝的比电阻

阻具有很大的实用意义。熔点 657° 的工业铝，当熔化时，其比电阻约增加 1.6 倍，相应为：

$\rho_{\text{固}} = 12.5 \times 10^{-8}$ $\rho_{\text{液}} = 20.13 \times 10^{-8}$ (另一材料约为 16.5×10^{-8} 和 27.1×10^{-8})

熔点为 658.5° 的纯铝其比电阻与温度的关系为：

温度 $^{\circ}\text{C}$ 658.5 686 715 745 774 816 925

$\rho \cdot 10^{-8}$ 25.5 26.0 26.4 26.8 26.8 27.6 29.2

由此可见，在电解铝的温度条件下，铝液的比电阻约为 30×10^{-8} 欧姆-毫米²/米。

导热性 铝有良好的导热性，其导热率随其纯度的增高而增加，99.489% 及 99.70% 的纯铝在 200° 的温度下其导热系数分别为 0.5 及 0.531 卡/秒(在一平方厘米的截面及厚 1 厘米时)，而 99.9% 的高纯铝，在 190° 时则已增到 0.82 卡/秒。

粘度与表面张力 在电解温度下，铝处于过热的液体与流动状态，因此，给铝液的扩散与混合创造了有利的条件。

温度升高和含有较多量的杂质，都会使熔融铝的粘度减小，这正如图 I-5 所示。

B.Г.И 伊涅夫的测量表明， 1000°C 时金属铝同氢气界面上的表面张力为 454 达因/厘米

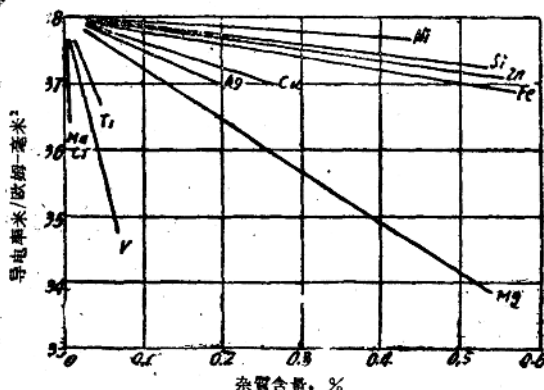


图 I-4 铝的导电率与杂质含量的关系

而同一溫度下熔融冰晶石則為145.4達因/厘米。

A.M.別略耶夫等人在真空中測量了熔鋁與炭素表面的濕潤邊角，測量表明，純鋁具有最大的濕潤邊角（即最差的濕潤能力），金屬雜質的存在，除鈣之外，都使濕潤邊角減小，而5%Si的影響($\theta=128^\circ$)強于5%Fe($\theta=137^\circ$)的影響。少量鈉的存在可以大大減小熔鋁對炭素表面的濕潤邊角（由 163° 降至 105° ）。

當炭素表面被炭化鋁復蓋時，則大大加強鋁液的濕潤能力（由 163° 降至 104° ）。

機械性能 鋁的機械性質與其熱處理及壓力加工程度有很大的關係，工業用鑄鋁的抗張強度為9~12公斤/厘米²，延伸率18~25%，布氏硬度24~32，但經過壓延的鋁，則抗張強度提高為18~28公斤/厘米²，延伸率降低為3~5%，布氏硬度提高為40~60。

應該指出，鋁的這些機械性能與其純度有很大的關係，高純鋁比一般工業用鋁軟得多，機械強度也低，但可塑性良好，因之，隨鋁的純度的增加其彈性模數、硬度、斷裂強度下降，但其延伸率却得到提高。

比如，純度99.25%Al的工業用鋁，其彈性模數為7100公斤/毫米²，而99.98%Al的精煉鋁則為6700；鍛後并回火的99.2%的鋁其布氏硬度近于24，而99.9%的鋁則為15；99.996%的冷軋鋁（壓縮75%以後）為27，而回火的鋁則為17。

高純度鋁(>99.9%Al)在拉斷時的斷面縮減率最大，而且只有當此時，在變形達到95%時，斷面才固定不變。

鋁的機械強度亦隨溫度的升高而減低。

為了改善純鋁的某些性質，而採用了以鋁為母體的許多合金，合金其他成分的加入可以顯著的提高純鋁的強度和硬度。

鋁的合金有：鋁銅、鋁鋅、鋁硅、鋁鎂、鋁鎳等多種。

許多鋁的合金可通過調質處理來進一步的提高其質量，這樣便有了更大的硬度和很高的變形抵抗能力。

化學性質 鋁是以極大的化學活性而著稱的，其氧化物、鹵化物、硫化物以及碳化物的生成能都非常大，表I-6列出其一些化合物的生成熱[●]。

鋁在電化次序表中屬於最負電性元素之一，其標準電位約為-1.3伏。

鋁與空氣中的氧反應，並很快的生成一層灰藍色的氧化鋁薄膜，其厚度約為0.2μ（微米），電子顯微鏡的觀察表明，此層薄膜是連續無孔的，它阻止鋁進一步被氧化，鋁愈純，這一層薄膜愈牢固，因而賦予鋁以很大的抗腐性能。但當鋁受熱至熔點時，這一層薄膜便遭到破壞，失去對鋁的保護作用。

鋁對鹼、氨溶液以及石灰乳是非常不安定的，因為它們很容易破壞氧化鋁保護薄膜，工業鋁在鹽酸、氫氟酸中容易溶解，硫酸對鋁的作用很慢，濃硝酸不能溶解鋁（因為生

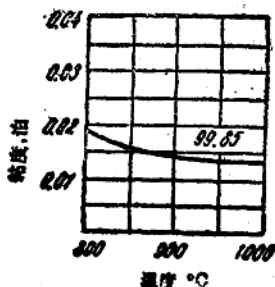


圖 I-5 熔融鋁的粘度

● O. Kubaschewski, Metallurgical thermochemistry(1951)俄文譯本。

化 合 物	生成热 ($-\Delta H_{298}$ 千卡/克分子)	生成温度 ($^{\circ}\text{C}$)
Al_2O_3	400.00 ± 2.0	常 温
Al F_3	330.00 ± 3.0	—
Al Cl_3	166.4 ± 1.0	> 100
Al Br_3	120.5 ± 5.0	—
Al I_3	71.4 ± 4.0	—
Al_2S_3	121.4 ± 2.0	> 1000
Al_2Cl_6	305.0 ± 3.0	—
AlN	60.0 ± 1.0	800
Al_4C_3	44.0 ± 6.0	2000

成难溶的 $\text{Al}_2(\text{NO}_3)_3$ 薄膜)。当加热时氧化铝薄膜出现个别裂纹，因而，不能防止铝再遭到溶解，在稀释的硝酸溶液中铝能良好的溶解，铝对有机酸是稳定的。

氧化铝薄膜不但坚强而且富于挠性，甚至在铝件被拉长，压挤或弯曲时也不脱落。在有杂质（尤其是痕量汞）存在的地方此层氧化铝薄膜同铝的联结力则大为降低，该处就成为抵抗腐蚀的弱点。

铝的氧化作用的强烈程度与温度，粉碎程度及存在杂质有关，温度高于熔点，粉碎得很细，以及 $\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{Si}, \text{Cu}$ 等杂质的存在都使氧化作用加强。

细的铝粉在加热时燃烧，发出明亮的闪光，并放出大量的热能。

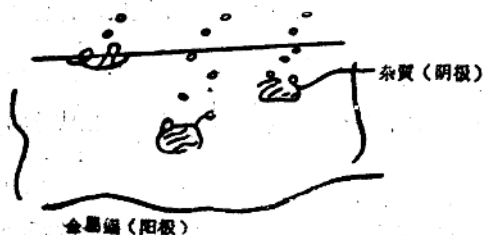
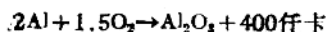


图 I-6 金属铝的腐蚀情况

电化学腐蚀作用发生在含有杂质的铝中，由于构成了微电池而使得作为阳极的金属铝遭到腐蚀。采用纯铝、双金属片以及阳极氧化处理可以消除铝合金的这种缺陷。

微电池的构造如图 I-6 所示。

在氢气或真空中铝粉与碳粒在 $1000 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 时便发生反应。冰晶石

的存在，可以促进 Al_4C_3 生成，生成 Al_4C_3 时体积增大 20%，存在于电解槽中的碳化铝呈薄片状及针状。 Al_4C_3 与水作用则生成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 CH_4 ，当其受到氧化时则生成 Al_2O_3 和 C 。

铝在国民经济中取得了极为广泛的应用，这不仅是由于它的资源非常丰富，更重要的是它还具有一系列独特的优点：巨大的熔融潜热，很大的可塑性能，独特的保护薄膜，能与许多金属形成合金的特性，良好的导热，导电性能，一定的机械强度，易于切削加工，以及比重很小等等。

铝以纯金属铝或其合金的板、棒、线、锭、管、箔、锻件、铸型、粒、粉等形式应用于军事、建筑、运输、电气、消费品、包装等工业和生活部门。

其中 60% 是以铝合金，12% 以铝箔及管材的形式应用的。

虽然，铝的导电率只及铜的 62~65%，但铝还是广泛的应用于电气工业，在某些方