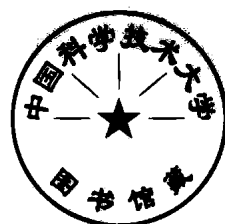


鋁电解工人教材

国营鋁厂 編



目 录

第一章 鋁的性質及其用途	1
第二章 物理化学的基本知識	5
1. 物理現象和化学現象	5
2. 物質的三种状态	5
3. 重量和比重	6
4. 热現象	7
5. 化学反应、燃燒	9
6. 物質不灭定律	10
7. 原子和分子	10
8. 化合与分解反应、簡單和复杂物質、化学元素	11
9. 元素符号, 分子式	13
10. 原子量、分子量及其在化学計算上的应用	15
11. 原子价	16
12. 化学能	17
13. 溶解度, 溶液	18
第三章 电学的基本知識	20
1. 电气現象的概念	20
2. 电流	21
3. 电流的測量单位	22
4. 电流定律—欧姆定律	25
5. 电路的联結方法	27
6. 电流的热效应	29
第四章 电化学的基本知識	31
1. 第一类导体和第二类导体	31
2. 电解	32
3. 电流經過电解質的传导机构	33
4. 法拉第定律	34
5. 分解电压	36
6. 电位順序	38
第五章 鋁电解生产所用的原材料及其要求	40
1. 氧化鋁	40

2. 冰晶石	41
3. 氟化物	43
5. 阳极糊	44
第六章 鋁電解槽結構與安裝	45
1. 鋁電解槽結構	45
2. 槽壳與金屬結構	46
3. 電解槽內衬及陰極裝置	47
4. 陽極裝置	49
5. 母綫裝置	52
6. 電解槽各部電氣絕緣	56
7. 電解槽安裝所使用的材料	57
8. 炭塊組製造	59
9. 電解槽安裝	61
10. 電解槽拆卸	66
第七章 電解車間的概況	69
1. 車間概況	69
2. 電解槽的排列	70
3. 通風與排氣	70
4. 車間內部運輸	71
5. 真空與壓縮空氣管路系統	72
第八章 鋁電解生產的一般理論知識	73
1. 冰晶石—氧化鋁熔鹽的性質	73
2. 電解質的性質	74
3. 冰晶石—氧化鋁熔鹽的電解機構	83
4. 在電極上發生的其他過程	85
第九章 電解槽的焙燒與開動	91
一 新系列電解槽的焙燒與開動	91
1. 電解槽的焙燒	91
2. 清爐	101
3. 裝料	103
4. 電解槽的開動	104
5. 開動后期的工作	107
6. 炭粉焙燒	112

二 大修后的电解槽焙烧与开动	113
第十章 电解槽正常生产时期	115
一 电解槽的正常生产	115
1. 电解槽正常生产的特征	115
2. 电解槽的正常操作	131
1) 电解槽加工——添加氧化铝	131
2) 出铝工作	146
3) 阳极工作	151
4) 电解质成分的调整	160
二 病槽及其处理方法	169
1. 冷槽及其处理方法	170
2. 热槽及其处理方法	173
3. 压槽及其处理方法	181
4. 电解质含炭及其处理方法	182
5. 炭化铝的生成及其处理方法	183
6. 不灭效应及其处理方法	184
7. 阳极断层及其处理方法	187
第十一章 电解槽破损与维护	190
1. 电解槽破损的原因	190
2. 破损电解槽的检查、填补和维护	193
3. 漏槽事故的处理	195
4. 停槽	197
第十二章 铝电解生产的经济技术指标	198
1. 电流效率	193
2. 电能效率	202
3. 铝的质量	207
4. 铝的成本及原材料的消耗	210
第十三章 电解车间的安全技术	216
1. 电解车间安全技术特点	216
2. 电解厂房一般安全技术规程	217
3. 电解工安全技术规程	219
4. 阳极工安全技术规程	221
5. 出铝工安全技术规程	225

第一章 鋁的性質及其用途

鋁是地壳中主要元素之一，仅次于氧和硅而居于第三位，其含量約为7.45%，由于鋁具有高度的化学活泼性，因而自然界中没有单体的金屬鋁存在，只是以各种化合物状态存在。

含鋁的矿石有二百五十种之多。但在目前能用于提炼金屬鋁的原料只有几种，如：霞石，蓝晶石，明矾石，鋁土矿等。在我国主要是采用鋁土矿作为制取氧化鋁的原料。在鋁土矿中除了氧化鋁以外，还有很多氧化鉄，氧化硅，水份以及少量的其他物质。鋁土矿中氧化鋁含量根据不同产地而有所不同，波动在28—30%到60—70%之間。

虽然在地壳中含有大量的鋁，但是第一次在實驗室中制取出純金屬鋁还只是在一百多年以前，而在工业上的生产是在六十多年以前的事情。在1889年世界上鋁的产量只有九十二吨，因而当时它比銀子还貴，在地壳中虽然鉄和銅 (4.5%Fe, 0.01%Cu) 含量比鋁均少，但是鉄和銅的生产早就为人們所掌握，其原因就是鋁和氧的亲合力很强，要想使它們分开是相当困难的，而銅和鉄則比較容易。

鋁是銀白色的金屬。根据它的特性很容易与其他金屬区分开来，它的特点是比重小，导电率和机械强度高，热传导性和抗銹能力良好。由于这些特性使得金屬鋁及其合金广泛地被应用在现代科学技术的各个部門中。鋁的主要性質如下所列。

名 称	数 量
原子序数	13
原子价	3
原子量	26.97
比重 (99.97%A1) 当20°C时, 克/公分 ³	2.6996

比重 (96.97%Al) 当1000°C克/公分 ³	2.289
熔点 (99.6%Al), °C	658.7
熔点 (99.996%Al), °C	660.24
沸点, °C	~2500
电化当量	0.3354
当由液体变为固体时体积收缩率(99.75%Al), %	6.6
比电阻(99.5%Al)20°C时, 公分欧姆/公尺 ²	0.029

铝的比重在熔点时为2.55, 当熔融时比重为2.382。

铝在工业上最大的优点是它具有良好的导电性, 仅次于金、银、铜、水银等金属。

铝的导电性随其纯度而有所不同, 为铜的导电率的62~65%。但由于铝比铜轻3.3倍, 所以制取同样导电率的电线或母线所使用的铝的重量要比铜少一倍。

由于铝和氧气有很大的亲和力, 因而铝在空气中氧化而失去光泽, 在表面披上一层薄而坚固的氧化铝薄膜, 厚度约为0.0002公厘。这一层薄膜是绵续而无孔隙的, 保护了铝不致遭到进一步氧化, 因而使铝具有很大的耐腐蚀的性能。铁锈却与此相反, 在铁的表面上生成的氧化铁晶粒之间有很大空隙, 这就是使铁容易腐蚀的原因。

铝粉在空气中加热能够燃烧同时发出大量的热。铝能溶于苛性硷、盐酸与硫酸中, 水、浓硝酸和有机酸对铝没有作用。

铝同氧具有很大的亲和力, 因而能将其许多金属氧化物(锰、铬、铁等)中的氧夺过来, 将其还原成单体金属。

氢, 氮, 一氧化碳等气体能溶解于铝液中, 其中部份气体与铝形成化合物。气体在铝液中的溶解度随温度升高而增加。

铝由于具有以上所说的优点: 质轻, 机械强度高, 良好的导电性导热性和抗氧化性(抗蚀性)以及它能和很多金属形成合金的性能, 因而广泛地应用在工程上和日常生活当中。以铝为基础的铝合金较之纯铝还有更重大的用处。除了铝不溶于铝中以外, 几乎其他所有金属均能溶解其中做成合金。

鋁富有延展性和韌性，很容易進行機械加工、軋制、切削、拉絲、鍛造等、因此鋁可以展成厚度為 0.00008 公厘的鋁板和一米長重為 0.027 克的電綫。

鋁及其合金廣泛地應用在機械製造業。

用鋁合金或工業純鋁來製造快速轉動零件（車輪、滑車、通風機、泵等）可以減輕其重量，因而也就降低了機器和機械裝置的重量，這一點對運輸機械製造有更大的價值。如果用鋁合金製造火車車廂時可以減輕重量 50%。鋁合金大量用於汽車製造和造船方面。

鋁及其合金更重要的應用是在航空工業方面，它不僅用於製造發動機而且也用於製造飛機的外殼。當然國防工業的其他部門也缺少不了金屬鋁，如製造坦克和軍艦等。

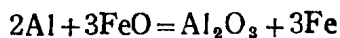
鋁廣泛地使用在電氣工程 and 無線電工程上。用它來製造母綫、電綫、電纜、電樞、電容器、電話和無線電裝置等。

由於鋁及其合金具有很強的抗蝕性、導熱性和易於加工，因此被應用在化學機械製造上。

鋁在食品工業和日常生活上也有很多用途，用鋁來製造各種不同的生活用品。

如：食器、樂器的部件、照像機、家具等。

鋁由於它能奪取其他金屬中的氧而被用為鋼的脫氧劑以及用於制取鉻、錳等金屬。



生成的氧化鋁以渣滓狀態浮在鋼水上面。

由於鋁和氧化合後生成大量的熱量，溫度可達到 3000°C、這一特性被廣泛地應用在焊接工程上。

鋁合金目前也被應用到房屋建築上，美觀而又耐用。

鋁的防蝕性能同樣應用於為了保護其他金屬表面不受大氣的侵蝕和其他化學物質的作用等方面。用最純的鋁鍍在、包在或塗在金屬的表面，即可防止其氧化。

根據上面的敘述我們可以得出一個結論：在今天不管是在工

业上也好，还是在生活中也好，如果没有铝是不堪设想的。随着科学技术的不断发展，对铝的要求也日益显得特别迫切，在征服宇宙空间的伟大事业中铝也起了头等的重要作用。

第二章 物理化学的基本知識

1. 物理现象和化学现象

我們周圍的世界是物質的，無論在什麼時候什麼地方都是在永恒地運動着。動植物在生長，水在流動，空氣在不斷的運動，機器在磨損，煤在爐中的燃燒，就是處在靜止狀態的鐵塊也是在不斷地生鏽而被破壞，石頭在陽光、水、風的作用下也在磨損和風化着。

在日常生活當中，我們周圍的一切東西都叫做物體，例如：筆記本、椅子、鉛筆、斧子、機器等。

物體是由物質所組成的，什麼是物質呢？就象木头、鐵、紙、橡皮、玻璃等就是物質。

我們周圍的世界發生的所有變化都叫做現象，其中有些是物理現象有些是化學現象。所謂物理現象就是說物質分子的組成在發生物理現象時不起變化，儘管物體的狀態有了很大的變化，可是原來組成物體的物質並沒有發生變化，這就叫做物理現象，例如：

機器轉動，固體溶解，水結成冰等。

化學現象就不同了，當發生化學現象時物質的分子組成就發生了變化，原來的物質變成了具有新性質的物質，例如在高爐中由礦石煉出生鐵，煤的燃燒，氧化鋁變成金屬鋁等。物質本質發生變化的過程叫做化學現象，也叫化學反應。

2. 物質的三種狀態

物質具有三種狀態：固態、液態、氣態^①。能保持一定形狀和體積的物體如木头、玻璃、鋼、鋁錠叫做固體，為了破壞固體，

① 最近蘇聯雜誌上已經提出了物質的第四種和第五種狀態。

改变其形状必須加給它一定的力量。

具有一定体积但不能保持一定形状的物体叫做液体。例如：水、油、酒精、机器油等。液体形状随其容器而定，容器改变液体形状也随之改变。

既无一定形状又无一定体积的物体叫做气体。例如：空气、氧气、一氧化碳、二氧化碳等。在外力作用下气体很容易压缩，假如气体没有外力作用时，它就尽量扩大其体积。

有很多物质，既能存在于固体和液体又能存在于气体状态，例如液体的水当加热时变成蒸气，冷却变成固体的冰，同样，铝和铁加热到一定温度时也能变成液体，当进一步提高温度时则变成蒸气状态。

有许多物质例如木头、纸，当猛烈加热时就会燃烧，不能变成气体和液体。

同样有些物质加热就不经过液体而直接变成气体，如氟化铝、水银等。

3. 重量和比重

不管物体是处在什么状态，固体、液体或者气体都受到地球引力的作用。把物体引向地球的力量叫做该物体的重量，没有重量的物体在自然界中是不存在的。

在大多数的国家里都采取在 4°C 时1公升纯水的重量作为重量的单位，为1公斤。

4°C 时1立方公分水的重量等于一克而一立方公尺则为吨。

不难证实1立方公分的不同物质具有不同重量，1立方公分的铁重7.8克，铝重2.7克，这是因为各种物质具有不同的密度的原因。

用克来表示一立方公分物质的重量叫作该物质的比重，因而铁的比重为7.8，铝的比重为2.7，水为1，空气为0.00129。

为了确定某一物体的比重必須称量它的重量与测量其体积，

然后用体积除物质的重量即得出该物质的比重。

$$\frac{\text{物质的重量(克)}}{\text{体积(公分}^3\text{)}} = \text{物体比重}$$

当我们已知两个因素时即可利用这一公式，求出第三者。

我们都很熟悉，有很多固体物质如石头、铁块、铝块等能沉到水里去，而另一些物质如木头、软木等却能浮在水的表面，这是因为石头、铁、铝等的比重大于水的比重，因而沉到水底；而后者比重比水小，因而浮在水的上面。

同样，在一个容器内放有两个比重不同和互不溶解的液体，则比重大者沉在容器底部，而比重小者浮在上面。这种现象被我们应用到铝电解生产上。由于液体铝比重大于液体电解质，因而铝沉到槽底，这样就给生产和设计造成有利条件。

4. 热 现 象

热量在生活上和工程上均有很大价值。

普通我们用冷、热、暖来说明物体受热程度。物体受热程度叫温度。

当增高温度时大多数物质发生膨胀现象，即增大其体积。当降低温度时体积就缩小，即减少其体积。只有很少几种物质如水、铸铁等与此相反。当温度改变时，固体、液体、气体受热时膨胀，冷却时收缩，两者程度是相等的。体积变化最大的是气体，液体较差，变化最小的是固体。

利用物体随温度高低而改变其体积的性质制做测量温度的仪器——温度计。例如用水银体温计测量人体的温度时，就是看玻璃管中水银因受热而膨胀的情况来确定的。体温愈高，则水银膨胀的愈大，在玻璃管中水银柱升的也愈高。

用温度计测量温度是很必要的，因为我们不能用感觉的办法来判断一个物体的冷热程度，那样会发生很大的错误。例如在冬天用手摸门和门上金属手把，我们会说手把比门较冷，但事实上这两者温度是一样的。

一般的温度计（水银、酒精）只是用于测量较低的温度，为

了測量高溫在工程上使用另一種儀器，即熱電偶和光學高溫計。

不同的固體和液體物質，加熱時膨脹的程度和冷卻時收縮的程度是不相同的，例如，當增高同樣溫度時鋁的膨脹就比鐵大，而鐵又大於玻璃。

改變溫度時，物體不僅限於發生其體積的膨脹或收縮的變化，當溫度更大的改變時，則發生物理狀態的變化。如我們已經知道，當顯著的升高溫度時絕大多數物質就熔化成液體。當對晶體物質加熱時，在物質還沒有溶化期間它的溫度逐漸上升。但是物質從開始溶化到溶化完了這段時間內，也就是在液態和固態同時存在的這段時間內，雖然外界繼續加熱物質的溫度卻保持不變，一直到所有的固體變成液體為止，這只有晶體物質才有這種現象，而非晶體如玻璃、瀝青等物質就不同了，它們受熱後逐漸變軟，在溶化過程中溫度不斷提高。固體開始溶化的溫度叫做溶化溫度或熔點。幾種不同物質的熔點列於下表：

表 1

物質的溶點

物 質	溶 點 °C	物 質	溶 點 °C
錫	3370	鐵	650
鉛	1767	銻	420
純 鐵	1525	鉛	327
鋼	1500	鋅	271
白 鑄 鐵	1200	錫	232
銅	1083	冰	0
金	1064	水 銀	-39
銀	961	酒 精	114
鋁	658	氣	-259

當繼續加熱由固體溶化成的液體時，溫度重新開始上升，一直到開始沸騰為止。

液體開始沸騰時的溫度叫作沸騰溫度或沸點。每一物質均有它自己的溶點和沸點。當整個液體形成汽泡時被認為是開始沸騰。蒸發是在液體表面上經常地進行，而且溫度愈高蒸發的愈利

害。

因为随着温度的变化物质的体积发生变化，而其重量却仍然保持一定，结果改变了物体的重量和体积的比例关系，也就是比重发生了变化。物体的比重随温度的升高而减小，随温度的降低而增加。

为了利用热量就必须确定测量热量大小的单位。使一克水升高温度 1°C 所需要的热量定为热量单位，叫作一小卡或简称为卡。

在工程上一般都采用大卡，即1/小卡的1000倍

$$1 \text{ 大卡} = 1000 \text{ 小卡}$$

1 大卡也就是使 1 公斤的水升高 1°C 所需的热量。

使一克物质升高 1°C 所需的热量称之为该物质的比热，不同的物质具有不同的比热值（见表 2）。

表 2

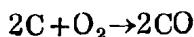
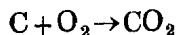
物 质 比 热 值

物 质	比 热	物 质	比 热
铝	0.21	酒 精	0.58
铁, 生铁, 钢	0.11	煤 油	0.51
玻 璃	0.15	水	0.1

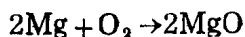
从上表可以看出液体的比热大于金属。

5. 化学反应、燃烧

引起物质的化学成份改变的变化叫作化学反应。其中在自然界中最常见的化学反应是燃烧现象。所谓燃烧就是，可燃物质与氧化合的现象。煤就是可燃物质之一，煤在炉中燃烧，也就是煤与氧化合后生成无色的二氧化碳和一氧化碳气体，从烟囱跑掉，在炉中则残存一些煤灰。反应式如下：



然而不是所有燃烧产物都是气体和无色的，假若我們在空气中燃烧金屬鎂的小块，則产生很浓的白烟，这个白烟就是細小的白色固体粉末



假若燃烧細小的鉄屑，則在它的表面披上一层鉄渣——这就是鉄的燃烧产物。因此，可以說某些物質即使他不能燃烧，但也有燃烧的产物生成。

当我们研究这一問題时发现，可燃物質在空气中进行燃烧时，燃烧产物經常重于原可燃物質，这是因为可燃物質和氧气起了化合作用的結果，也就是发生了化学反应。燃烧产物的重量等于可燃物質和参加反应的氧气的总重。

燃烧产物我們叫它为氧化物。

6. 物質不灭定律

苏联伟大的科学家——罗蒙諾索夫，他由无数次的实验結果証实了“参加化学反应的物質总重量必等于反应后生成新物質的总重量”，这就叫作物質不灭定律。这个定律可以应用到一切化学反应上去。这个定律我們可以用一个简单的实验就可以証明它的正确性。

用两个玻璃杯；各盛不同的溶液放在天平上，用法碼平衡，然后将两溶液混合后再去称量，虽然生成新的物質——沉淀，但其重量仍然不变。如果两种物質混合后生成气体則可以在密閉的仪器中进行实验，也可以得到相同的結果。

7. 原子和分子

我們用原子——分子論来解释物質的构造，这个理論要点如下：

① 一切物質均由不同的細小的不管用多么大的显微镜，用肉眼也都看不见的微粒——分子所組成。

② 分子是物質的最小微粒，它保持原物質的組成和一切化学性質。

③ 分子处于不断运动状态。根据分子运动的情况，物质可以分为固体、液体和气体三种状态。如果分子是进行振动经常回到原位置，这就是固体。假若分子进行没有秩序的运动，不断的互相碰撞并改变其方向，这就是气体。当分子进行既有秩序也没有秩序的运动时，这样分子组成的物体就是液体。

物体的温度决定于分子运动的速度，分子运动的愈快，温度就愈高。

④ 同一物质的所有分子完全一样，但不同于其它物质的分子。

⑤ 当物体发生物理变化时，分子不发生变化，但是当发生化学变化时则分子组成就改变了，这就是说分子不是最简单的，而是由某种更简单的微粒组成的复杂微粒。

组成分子的更小微粒叫作原子。原子不仅在发生物理变化时不发生变化，就是在一般的化学变化中也不发生变化。研究指出，原子是由带阳电荷的核心与围绕核心运转的电子所组成的。性质不同的原子上的电子，他们具有相同的特性，即每一电子有相同质量和电荷。

电子的质量非常小。原子重量集中到原子核上。在自然界中有各种不同的原子，它们用核的质量和核的电荷多少互相区别着。任何一种原子在电气上都是中性。

简单的物质由相同的原子所组成，例如氧，氢由两个原子，磷由 4 个原子所组成。复杂的物质是由不同的原子所组成，如氧化铝是由两个铝原子和三个氧原子所组成。

8. 化合与分解反应、简单和复杂物质、化学元素

在上面已经谈到过的燃烧或氧化现象就是两个物质（可燃物与氧气）经过化学反应后生成一个新的物质（氧化物），这个新的物质就不是简单的而是复杂的物质了。

由两个或两个以上的不太复杂的物质形成一个比较复杂的物质的反应叫作化合反应。这种反应我们经常可以遇到，燃烧只是其中一个典型的例子而已。

可不可以使一个复杂的物质分解成組成該物質的简单物质呢？是可以的，而且有时是非常简单的。

我們拿来一点橘黄色的氧化汞粉末，把它放在难溶的玻璃試管中加热，氧气就分解出来，而在試管壁上則出现了光辉的水銀珠。

用电流同样能使复杂的物质分解成简单的物质，如水經過电解后分解成氧化和氢气。

由一个复杂物质得到两个或两个以上的比較简单的物质的化学反应叫作分解反应。

假若我們打算把分解氧化汞得到的氧气和汞再叫它分解成更简单的物质，那是不会成功的。利用化学上一般所用的方法即不能使汞也不能使氧气分解成更简单的物质，因为水銀和氧气已經是简单而不是复杂的物质了，已經不是分解分子而是分解原子了，这当然不能用一般的方法就把它分开的。

简单的物质叫作化学元素。

目前已經发现了一百多种元素，其中在自然界成游离状态存在的約有20种，其它均成化合物状态存在。就是这些元素組成了地壳上的一切复杂物质和整个宇宙：太阳行星、星。关于这个问题我們可以从天空掉下来的隕石的分析以及对太阳、月亮、星的光綫分析即可得到証明。

在自然界中元素的分布情况如图1所示：

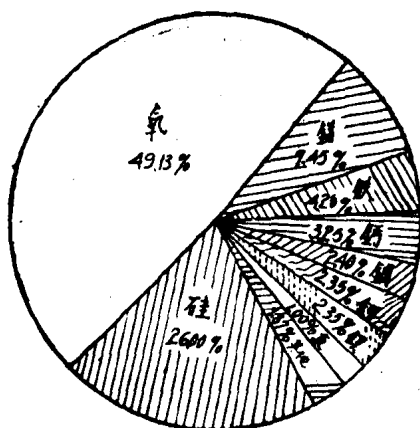


图1 自然界中元素的分布情况