



# 輕飄飄的鋁 難分難解的鋁



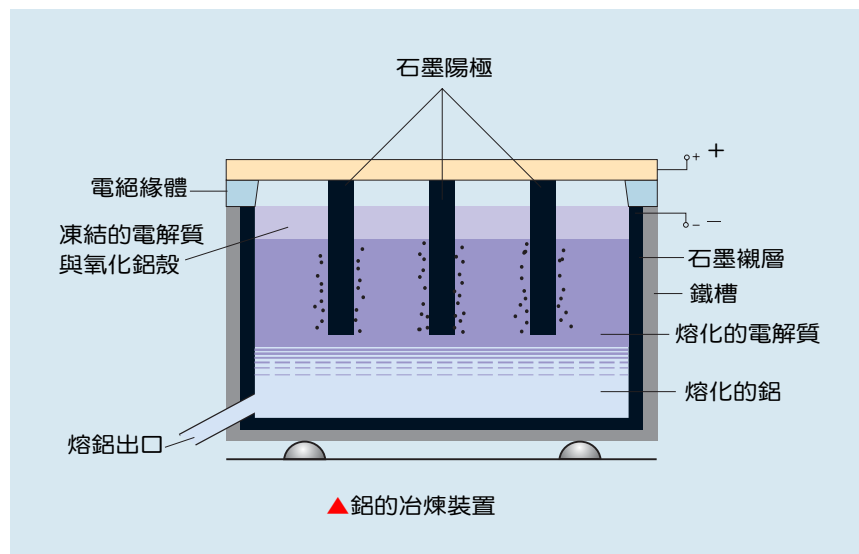
王瓊蘭／新店高中

飄逸脫俗的女孩常給人捉摸不定的感覺，就像金屬鋁般，為泥土裡的「輕銀」，為天空中「帶翼的天使」。

鋁是地殼中含量最多的金屬元素，可應用在我們日常生活中的許多物品上。無論是純鋁或鋁合金製品，如鋁箔紙、鋁罐、鋁門窗、鋅鋁合金（製作拖車和飛機的材料）、鋁鎂合金（製作烹飪器皿和交通號誌的材料）...等；或是含有鋁的化合物，如淨水劑（明礬： $KAl(SO_4) \cdot 12H_2O$ ）、胃乳劑（胃藥： $Al(OH)_3$ ）……等；幾乎可說俯拾皆是、無所不包。然而，製鋁工業至今仍舊是一種耗費電能（是煉鋼工業所需能量的 15 倍）、嚴重污染環境的製程，以至於各地的環保人士，總是不約而同地不斷的呼籲著：「地球上的子民們啊，請你們順手回收鋁製品，以減少耗電及環境污染。」

事實上，以金屬化性的觀點而言，鋁是兩性元素，可與強酸和強鹼作用。在自然界中，純鋁製品若曝露於空氣中，接受風吹雨打，或埋藏於土壤中，經地熱與地壓的分解作用，很快的就會「塵歸塵、土歸土」，又成為地殼的一部分。似乎是取之不盡，其含量能覆蓋地球表面 80 公尺厚，但是其中卻只有 0.008 % 的有限礦床是蘊藏在具有經濟價值、可供開採出鋁金屬的鋁礬土礦中，而 1/3 以上的儲存量則是集中在澳大利亞。以美國為例，約有 90 % 的鋁原料是進口的。

若是以單純的電解觀點來看，電解氧化鋁，陽極產生氧氣，陰極產生鋁金屬，不但不會污染空氣，還能將純氧收集起來，作為他用。然而，化學的奧秘絕非只在簡單的紙上作業，就可畢竟全功，而讓人稱心如意的。我們不妨就鋁的發現與製作過程，來一窺實驗的重要性，並分析探究

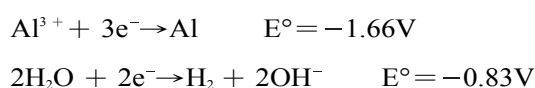




## 生活中的科學

理論和現實之間的差距。

在 1854 年時，鋁還是一種奇特的金屬，既昂貴又稀有，需要使用鈉金屬才能把它從化合物中還原出來。即使在拿破崙三世時，在宮廷裡的宴會上只有少數最尊貴的賓客才有資格使用到鋁製的湯匙和叉子，其他的貴族們只能使用金或銀製的餐具而已，由此可見當時鋁是多麼的貴重。科學家曾嘗試著用電解水溶液中鋁鹽的方法來製造鋁，不幸都失敗了，原因是水比鋁離子更容易被還原，在陰極產生的是氫氣，而非鋁金屬，由以下的還原電位即可察知：



電解熔融的氯化鋁，不成功的原因有二：一是液態的氯化鋁為分子化合物，不容易離子化；二是分子化合物的沸點低，高溫容易蒸發。如果電解氧化鋁，因其為離子化合物，熔點很高（2050°C），不僅耗費燃料，甚至連電極棒都會被融化掉，很顯然也是不切實際的。

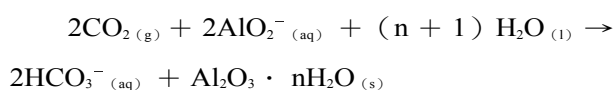
直到 1884 年時，在美國歐柏林學院的課堂上，有一次有教授隨口提出，假如有人能輕易的製造出鋁金屬的話，一定能夠賺大錢。沒想到這樣一句話，卻大大的觸動了學生郝耳（Charles M. Hall, 1863~1914）的心弦；才 21 歲的他，利用住家附近小木屋的實驗室，在一個鐵製的容器內襯墊石墨，然後將鋁礬土（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）和冰晶石（ $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ）混合，倒入其中，再使用鐵匠用的熔鐵爐加熱鍋內的混合物（熔點 1000°C），待其熔化後，再用粗製的伏打電池將溶液電解。果真讓他得到了鋁，從此揚名立萬，富甲一方。很巧的是，在此同時，大西洋彼端的法國也有一名（與其同年出生，並於同年死亡）23 歲的青年厄魯爾（Paul Heroult, 1863~1914，為勒沙特列的學

生），同時發明了同樣的製鋁方法，在化學史上，傳為奇談佳話。

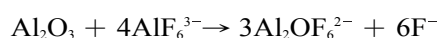
鋁質輕，卻很難電解處理，鋁礦不是純的三氧化二鋁，其中還包含了鐵、矽、鈦等氧化物和不同的矽酸鹽等物質。粗鋁的純化，是利用它的兩性特質，先將鋁礦溶解於鹼性溶液中，與其他不溶解的金屬氧化物固體沉澱分離：



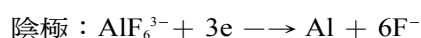
然後將濾液通入二氧化碳予以酸化，使純的含結晶水之三氧化二鋁再沉澱出來：



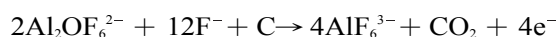
純的含結晶水三氧化二鋁混合著冰晶石熔化後電解，其化學反應機構尚未完全被了解，可能的情形是：



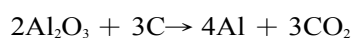
電解反應可推論得



陽極：



綜合上述，全反應可寫成



如此所得的鋁純度高達 99.5%，但耗電量卻佔全美用電量的 4.5%，在製程中產生了大量的二氧化碳，以及電解過程中釋出的氟離子會依附在碳棒上，反應形成全氟化碳（perfluorocarbons），這是一種超級溫室氣體，每個分子吸熱量比二氧化碳高達一千倍，對於全球氣候「溫室化」造成的高溫現象，是難以補救的重大破壞。



當我們隨手丟棄一個鋁罐，所消耗的能源，相當於盛裝四分之一罐容量的汽油；回收一個鋁罐重新提煉，所省下的電力足可供應一台電腦使用三小時之久。

自從蘇聯解體後，俄羅斯急需大量出口鋁材求現，使得全球煉鋁工業面臨供過於求的情況，因而同時壓低各國進口鋁材的價格，減低了市場收購鋁罐的意願。又如巴西的製鋁工業為了保持利潤，以免在現實利益的折衝下，被其他國家所淘汰，於是放棄了原定的擴大循環回收計劃，改由跨國煉鋁公司在境內的亞馬遜河流域興建大壩，取得優惠低廉的電力，以獲取最大的利潤。如此反而造成全球最大熱帶雨林生態的破壞，當地原住民也被迫遷徙。目前，有識之士除了憂心忡忡的大聲疾呼回收鋁罐之外，也只有眼睜睜的

看著生態的浩劫而莫可奈何。

郝耳－厄魯爾的製鋁法至今已沿用了一百餘年，除了改用氟化鈉（NaF）、氟化鈣（CaF<sub>2</sub>）和氟化鋁（AlF<sub>3</sub>）來代替冰晶石，降低電解混合液的熔點及密度，使得融鋁更容易被分離之外，對於電極棒的改良，仍舊停留在實驗室的專利權中，未能普及於工業生產上，而大眾對於鋁的依賴卻是有增無減。

因此，真正落實舉手回收鋁罐、節約能源，才能確保地球的純淨。然而，這也只是「治標」的方法而已。惟有再降低電解混合液的熔點，並研製出耐高溫的惰性電極棒等，才是真正「治本」的不二法門。我想，這該是當代化學家責無旁貸、必須深思的課題吧！

鋁合金的性質與用途

名稱	鋁以外的成分	性質	用途
鑄製合金 ( casting alloy )	Cu 8 %	鑄造性	家庭用具
堅鋁 ( dural )	Cu 3.5~4.5 % Mg 0.3~1 % Mn 0.4~1 % Si 0.3~1 %	耐熱、 輕但堅硬	飛機零件
鎂鋁 ( magnalium )	Mg 5~30 %	質 輕	家庭用品

參考資料

1. James E.Brady : General Chemistry Principles and Structure, Fifth Edition 1990.
2. Bernice G.Segal : Chemistry Experiment and Theory, Second Edition 1989.
3. Steven S.Zumdahl : Chemical Principles, Fifth Edition 2002.
4. 李育成：支持鋁回收業可以保護河流生態，《世界河流評論》，2001年10月，第16期第5號。