

科學圖書大庫

金屬腐蝕及其控制

譯者 鮮祺振

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

金屬腐蝕及其控制

譯者 鮮 祺 振

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧銓 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十六年二月二十二日初版

金屬腐蝕及其控制

基本定價 3.60

譯者 鮮祺振 中山科學研究院助理研究員

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號

發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啟發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啟導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧鏗氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

序

台灣位處亞熱帶，氣候潮濕，腐蝕是最常見的損害因素，尤其處理性質較活潑的化學品時，問題更嚴重。

本書作者根據電化學理論，深入探討腐蝕反應機構及控制方法，並藉實例研討定律之真義，為一不可多得之專書。

鮮祺振先生三年前自美研究腐蝕理論返國後即從事本門研究工作，並利用公餘編譯本書，提供科技界同仁參考，其志可嘉，樂為之序。

吳 謀 泰

65年8月4日

桃園龍潭

第二版序

自從本書第一版發行後，由於腐蝕科學和工程之快速進步，爲了迎合最新發展，因此本書需要增編幾章。最近對於臨界孔蝕電位有了明確的概念，並且已在詳盡地研究其實際應用，所以藉適當的章節使讀者瞭解一些重要概念，例如當低於臨界電位時，應力腐蝕破裂不會發生，和更詳盡地說明最近所提出有關腐蝕破裂之適當機轉。疲勞腐蝕一節重新編寫，以便符合新數據和它們相當的解釋。鈍態(Passivity)一章，裨益於數個實驗室所進行新而驚異之實驗，故亦重編。非敏感性不銹鋼和相關合金之晶粒間隙腐蝕，是核能工業近來特別研究之新問題。本書有關Pourbaix圖形之基本敘述是1966年Pourbaix教授所著“Atlas of Electrochemical equilibria in aqueous Solutions”一書爲依據。

過去十年之事件明顯指出：所有材料科學家和工程師，在他們專業活動範圍，必須了解環境對物質性質之影響，包括金屬和合金之腐蝕行爲。當工作之安全和經濟，是最主要考慮事項時，使用近代材料，設計精密建造物和其附件時，除了依傳統應注意機械性質外，尚須考慮許多其他問題。

我很高興這本書在大學中已被廣泛選用，作爲腐蝕教科書，和作爲具有經驗的材料科學家和工程師之簡明參考書——他們原先或因未獲得研究腐蝕問題之機會，或因他們希望迎上最新之發展。爲了幫助讀者對基本理論之深入了解，本書最後附加了一些習題，應許多讀者之要求，大都數問題均附有解答。

我感謝數位曾幫助我澄清第一版內的一些討論，特別是我以前的學生Iwao Matsushima，他和Seigo Matsuda，以前都是腐蝕實驗室的學生，兩人準備將本書翻譯成日文。我也感謝服務於國家標準局之Walter Hamer，提供參考電極電位最新數值，服務於Dow Chemical Company之J. Robinson提供有關鎂，鋁生產之統計數據；服務於國家鋼鐵公司之M. Vuchich提供鍍鉻鋼容器之生產數字，和H. Spähn, G. Cheever, L. Brockway供給許多圖片。

Herbert H. Uhlig

劍橋，麻薩諸塞州 6月，1971年

第一版序

腐蝕研究和講授，在美國麻省理工學院，為時已久。W.R. Whitney 教授，（他是奇異公司（The General Electric Company）研究部之第一負責人）曾於1903年在 Journal of the American Chemical Society 上發表了一篇著名的論文“鐵之腐蝕”（“The corrosion of Iron”）。由這篇論文的鼓勵，W.H. Walker 教授和 Walker Whitman 教授以及他的助手在 Walker 創設應用化學實驗室，對腐蝕做了很重要的研究。在1903年 Walker 教授給學生所開之“Chemical Resistance of Materials”是正式有關腐蝕之講授。1912年課程名稱改為“建造用材料”（Materials of Construction）由 Walker 和 W.K. Lewis 教授合開，後來又由 Lewis 教授獨自講授，麻省理工學院首次以腐蝕（Corrosion）為課程名稱，是在1922年，由 Whitman 教授講授，隨後化工系數位同事包括 Lewis，也開這門課程。1931年，冶金系 R.S. Williams 教授首次開一新課“耐熱合金”（Corrosion and Heat Resisting Alloys）他一直教到1942年，自1938年開始我繼續講授 Whitman 先前所開之腐蝕課程，在第二次世界大戰後，這些課程在冶金系重新恢復並持續到目前。

這本書是以我在麻省理工學院為四年級和研究生所開“腐蝕”一學期講授講義為主。編本書之目的，是要向學生介紹腐蝕科學之領域，和做為一個腐蝕工程師所需要之基本原理。簡言之，這課程是在研習金屬為什麼會腐蝕和對於腐蝕我們能做些什麼？以目前智識，已允許定量地處理這個題目，並且沿循這路徑，指定一些可說明基本原理之習題和再運用這些原理到實際情形，其中一些習題集中在本書之最後部份。大都數題目均附有答案，是要幫助專業工程師或科學家，使他們利用這本書獲取腐蝕知識，並且透過對書中許多習題的解答獲得更深入之瞭解—在任何課程中能解答習題就可證明對這課程有較多的瞭解，腐蝕亦不例外。讀者必須熟悉基礎物理化學；這課程是選修麻省理工學院腐蝕課程必需之條件。其次若具物理冶金之知識，對於研究腐蝕課程是有裨益的，但不是必需的。

徐氏基金會

科學圖書大庫

引介世界科技新知
協助國家科學發展

發行編號 1092

目 錄

序	第十三章 金屬塗層	201
第一版序	第十四章 無機塗層	211
第二版序	第十五章 有機塗層	215
第一章 定義與重要性	第十六章 抑制劑和鈍態劑	226
第二章 電化學機構	第十七章 水和蒸汽之處理	240
第三章 腐蝕趨勢和電極電位	第十八章 抗腐蝕性合金·不銹鋼	257
第四章 極化和腐蝕速率	第十九章 銅和銅合金	284
第五章 鈍 態	第廿章 鋁和鎂	295
第六章 鐵和鋼	第廿一章 鉛	310
第七章 應力腐蝕	第廿二章 鋁和鋁合金	312
第八章 鐵和其他金屬之大氣腐蝕	第廿三章 鈦·鋳·鉍	321
第九章 土壤腐蝕	第廿四章 鈾-鐵和鈾-鋁 合金	332
第十章 氧化和變色	第廿五章 習 題	335
第十一章 散亂電流腐蝕	第廿六章 附 錄	345
第十二章 陰極防蝕法	索 引	370

第一章 定義與重要性

定義

腐蝕 (corrosion) 是金屬與周圍環境 (environment) 起化學性 (chemical) 或電化學性反應 (electrochemical reaction) 而被破壞性的侵蝕。由於物理原因所造成之損壞，不稱為腐蝕。而被敘述為沖蝕 (erosion)，擦傷 (galling) 或磨耗 (wear)。有些實例中，化學性侵蝕伴隨了物理性損壞，例如腐蝕-沖蝕 (corrosion - erosion)，腐蝕-磨耗 (corrosion - wear)，或磨蝕 (fretting - corrosion) 或稱為移擦腐蝕) 等名詞所描敘之現象。非金屬物質不包括在上述定義中。塑膠可能會膨脹 (swelling) 或碎裂 (crack)，木材可能會裂開或腐爛，花崗石可能會被沖蝕以及波特蘭水泥 (Portland cement) 可能被沖蝕掉，但目前腐蝕這名詞僅限用於化學的侵蝕金屬。

生銹 (rusting) 僅用來敘述鐵或鐵合金之腐蝕，並且其腐蝕生成物大部份是由水化氧化鐵 (hydrous ferric oxides) 所組成。因此，非鐵金屬雖會腐蝕，但不稱為生銹。

腐蝕科學

因為腐蝕反應包含化學變化，學生欲瞭解腐蝕反應，必須先熟悉化學原理。因為腐蝕步驟大半是電化學反應，故瞭解電化學原理也是非常重要的。再者，因為金屬之成分和結構，時常決定腐蝕之行爲，學生亦須熟悉物理冶金學之基本概念。因此，化學和冶金學是研究腐蝕之基本學科，就如同生物學和化學是研習醫學之基本學科。

腐蝕科學家 (Corrosion scientist) 是藉腐蝕機構 (Corrosion mechanisms) 之研究以徹底瞭解造成腐蝕之原因和獲得有效防止或減少損害之方法，腐蝕工程師 (Corrosion engineer) 是運用累積之科學知識，藉實用和經濟方法以減少腐蝕之損害。例如腐蝕工程師大規模運用陰極防

2 金屬腐蝕及其控制

蝕法 (cathodic protection) 以阻止埋設管路 (buried pipeline) 之腐蝕，或者他們實驗和發展一種新而較佳之油漆，或使用適當腐蝕抑制劑 (corrosion inhibitor)，或推薦正確的金屬塗層。腐蝕科學家，發展較好的陰極防蝕規範，指出何種化學性化合物之分子結構，其作為抑制劑最理想，合成耐蝕合金，推薦合金之熱處理方式以及成分應如何組合以改進其耐蝕性。科學家和工程師在診斷腐蝕損害和進行適當補救方法等觀點上，兩者足相輔相成的。

腐蝕研究之重要性

腐蝕研究之重要性可從三方面來說，第一方面是經濟 (economic)，包括減少管路、水槽、機器、船、橋樑、海洋建造物等，金屬部份，由於腐蝕所造成之物質損耗。第二方面是增進機器運轉時之安全，因為由於腐蝕可能會導致悲慘之失敗。例如壓力容器、鍋爐、盛放放射性物質之容器、渦輪葉片和轉軸、橋樑纜索、飛機組件、汽車操縱機械。第三方面是保藏 (conservation)，主要地運用於金屬資源—世界上這些資源是有限的，它們之消耗應包含金屬生產和製造成金屬構造物時所伴隨之能量和水源消耗，不僅在伴隨保存人類在設計和再重建被腐蝕之金屬裝備所做之努力是重要的，另一方面在社會益處目的上亦是有用的。

通常腐蝕研究之原始動機是由於經濟因素。工業上、軍事上、市政上每年由於腐蝕所造成之損失約為數十億美元。

經濟損失可區分成(a)直接損失，(b)間接損失，直接損失意指修換腐蝕建造物和機器或它們組件所需費用，諸如冷凝管、排氣管、管路和金屬屋頂，應包含所需之工資。其他例子如以防銹為主要目的時重新油漆建造物所需費用，以及陰極保護管路所需之資金和保費費用均包含在直接損失內。最大之直接損失，可用每年由於腐蝕所造成數百萬家庭用熱水爐之損壞，及每年換修數百萬已腐蝕之汽車排氣管來說明。直接損失亦應包含使用耐蝕金屬和合金而不用碳鋼所需之額外費用。碳鋼雖具有適當之機械性質，但腐蝕抗性不夠，也應包含鋼上鍍鋅或鍍鎳，水中添加腐蝕抑制劑或金屬儀器貯存室去除濕氣所需之費用。這一類全部之損失，單據美國每年據保守估計約為五十五億美元。

間接損失則更難估計，但簡單地縱覽這類典型損失，約可添增數十億美元於上述之直接損失。間接損失之例子如下：

1. 停工 (shut down) 換修原油精煉廠之腐蝕管路，約化費數百美元

，但這單位由於換修管路而停工，使產品減產每小時損失約一萬元；一大發電廠換修被腐蝕之鍋爐或冷凝管，在停工期間可能每天需化費二萬九千元自其他發電廠購得電源以供給用戶，美國發電設備每年這類之損失約為千萬美元¹。

2. 產品損失 (loss of products) 油、煤氣或水會自腐蝕之管路系統漏失直到修補完成，抗凍劑會自腐蝕之汽車冷卻器漏失，或煤氣自腐蝕管路漏入建築物地下室而引起爆炸。

3. 效率之損失 (loss of efficiency) 這現象之發生，是因為腐蝕生成物之積聚減低了熱交換，或是因為生銹阻塞了管路，須增加唧筒能力。在美國由於銹阻塞總水管，需增加唧筒能力，在這方面據估計每年約化費四千萬元²。

更進一步的例子，為汽車內燃機活塞環與汽缸壁，被燃燒氣體和冷凝物連續地腐蝕，由於腐蝕造成失去臨界空間 (critical dimension) 所引起之額外汽油和機油消耗量通常等於或大於磨耗所造成之額外消耗量。

4. 產品之污染 (contamination of products) 由於銅管或黃銅裝置之輕微腐蝕所溶入少量銅，會損害整批之肥皂，銅鹽加速肥皂之敗壞和縮短使用前之貯藏時間，若無腐蝕則可使用銅裝置，微量之金屬可能改變染料之顏色。

鉛製設備之耐久性甚高，但不能用於食物和飲料工業方面，因為極微量之鉛鹽亦具毒性³，同理飲用之軟水亦不得以鉛管輸送。（知道少量鉛具毒性效應，為時已久，Benzamm Franklin⁴在1786年7月31日給Benzamin Vaughn信中，曾警告飲用由鉛製屋頂所積聚之雨水，或暴露於鉛質容器之酒精飲料，可能會引起疾病，在他那時期這病微稱為乾腹病 (dry bellyache)，會造成四肢麻痺，這疾病之來源是因為新英格蘭甜酒蒸餾器使用鉛製冷凝管，認識這原因後，麻薩諸塞州議會通過一議案，在這些用途上不准使用鉛）。

由於金屬容器腐蝕所造成食物之損害，這問題亦應包括在污染目錄內，一水果和蔬菜罐頭工廠，在造成局部腐蝕之冶金因素未被分析和補救以前，每年損失超過一百萬元。另一公司在食品果醬玻璃容器上使用金屬蓋，由於金屬蓋很快地以孔蝕形式被腐蝕貫穿而任由細菌污染產品，每年損失約為五十萬元。

5. 過度設計 (overdesign) 這因素常見於反應容器，鍋爐、冷凝管、油井吸吮桿、埋設管路、水槽和海洋中構造物等之設計，因為不能確知腐蝕

4 金屬腐蝕及其控制

速率或腐蝕控制方法，裝置設計時通常採用之厚度數倍於正常操作壓力或外加應力所需之厚度，以保證合理之壽命。若通曉腐蝕知識，則裝置壽命之估計會更加可靠，並且設計可簡化到僅需考慮物質和勞工兩項。

舉一典型過度設計之例子，沒有前面例子那麼通俗，是埋設於地下之油管，一8吋直徑管路長225哩，選定之管壁厚度為0.322吋，以容許土壤腐蝕管路，若施加適當之腐蝕保護，則可使用管厚為0.250吋之管路，如此可節省3700噸鋼，也增加內部容量5%。油井吸吮桿因腐蝕疲勞會造成最後失敗，一般均過度設計，以增加使用壽命，當腐蝕因素被去除時，損失至少可減半。更進一步之節省是操作重量較輕之桿需要較少之能量，以及在破碎後修護重量較輕桿之費用亦較低。

明顯地，間接損失是腐蝕所課經濟稅之主要部分，欲合理地估計這方面之全部損失，即使是在一種工業，亦是很難達到的。由於爆炸，化工設備未預期之損害或飛機之破毀。火車、汽車主要零件腐蝕所造成之突然損害，在這些事件中所帶來之健康或生命損害，及其間接造成之損失更難估計並且也不能用金錢來解釋。

參考文獻

1. H. Klein and J. Rice, Trans. Amer. Soc. Mech. Eng. Ser. A. 88, 232 (1966)。
2. Private Communication, H. Jordan, Amer. Water Works Assoc.
3. Bureau of Foods and Drugs 規定食物中含鉛不得超過 1 ppm。
4. Benjamin Franklin's Autobiographical Writings, edited by Carl Van Doren, p671, Viking Press, 1945。
5. J. Stirling, Corrosion 1, 17 (1945)

一般參考書籍

H. H. Uhlig "The Cost of Corrosion to the United States" Chem. Eng. News, 27, 2764 (1949); or Corrosion, 6, 29 (1950)。
W. Vernon, "Metallic Corrosion and Conservation" excerpt from The Conservation of Natural Resources, Institute of Civil Engineers (London) 1957。

第二章 電化學機構

相似於乾電池，法拉第定律

如第一章所述，通常腐蝕大半是電化學性的，在水溶液媒質中作用與手電筒所用電池內之反應相似，乾電池是由石墨電極插在鋅容器電極中間並填充 NH_4Cl 及二氧化錳所組成。（圖1）碳粒之功用是爲了導電而二氧化錳做爲去極劑（depolarizer），兩者環着碳棒，兩電極間連接一白熱燈泡會持續地發光，電能是藉兩電極上所發生之化學反應來供給，在碳電極（正極）上發生還原反應，在鋅電極（負極）上發生氧化反應，金屬鋅轉變爲水化鋅離子 $\text{Zn}^{++} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ （水溶液中離子均連有水分子，但它們所連水分子數目未完全確定，它們以這方式與氣態離子區分，因其不水化，通常實用上均忽略不提附加之水分子，例如將水化鋅離子書寫爲 Zn^{++} ）電池之電流流動量愈大，鋅腐蝕之量愈多，其定量關係可用法拉第（Michael Faraday）在十九世紀初葉提出之法拉第定律來表示：

$$\text{金屬作用之重量} = kIt \quad (1)$$

此處 I 爲電流（安培）， t 爲時間（秒）， k 爲常數稱爲電化學當量（electro chemical equivalent），就鋅之情形而論， k 值爲 3.39×10^{-4} 克／庫侖，庫侖之定義是代表 1 安培電流在 1 秒鐘內所流過之電量（其他金屬之電化學當量亦可獲得，參看腐蝕手冊 1133 頁），以低電阻金屬導線將電池連成捷徑電路時（short circuit），鋅容器會在數小時內由於腐蝕而被穿孔；但當電池未連成通路（open circuit）時，鋅可能保持數年不發生腐蝕，在開電路情形中鋅之緩慢消耗，大半是由於鋅表面存有少許不純物之活度所造成，例如鐵；這些不純物可假想它所扮之角色與碳棒相同，容許電流流動伴隨着鋅之腐蝕，這類電流稱爲局部作用電流（local-action current），相當之電池稱爲局部作用電池（local-action cell），當然，局部作用電流，不會生成有用之能量，其作用僅在加熱周圍之環境。

任何金屬表面與鋅之情形相似，均是電極之混合體，並且藉金屬本身成

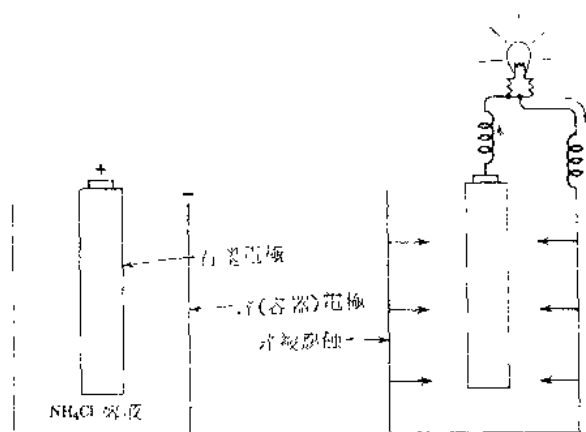


圖1 乾電池

為捷徑電路，（圖2），祇要金屬保持乾燥，便不會發現局部作用電流和腐蝕。但金屬若暴露於水或水溶液中，便會產生局部作用電池，並藉化學反應將金屬轉變為腐蝕生成物。換句話說，局部作用電流可用來說明金屬暴露於水，鹽溶液，酸或鹼中之腐蝕。

每當金屬含有不純物時，均會組成做為局部作用電池之電極，將不純物除去，正如所期，會顯著地增進耐蝕性，純鋁或鎂在海水或酸中之耐蝕性，要比工業等級之鋁或鎂好得多。然而，在電化學理論最早提出時，認為純金屬不會腐蝕，這假定並不正確，往後我們會瞭解，當環境和溫度有差異時，亦會建立局部作用電池，例如鐵或鋼在通空氣水中，通常負極是鐵表面本身被多孔銹（氧化鐵）所覆蓋之部份，而正極是暴露於氧氣充分之面積，正極和負極位置在腐蝕進行之過程中會相互交換，並且自一處移到另一處。於是，高純度鐵在飽和空氣水中，幾乎與不純鐵或工業等級鐵之腐蝕速率相同。然而，在酸中發現它們之速率不同，是因為在這情形中不純物主要是做為局部作用電池之電極，這情形以後會再討論。

陽極和陰極之定義

相連之導電體（電極）浸入一電解液中，組成了電池（galvanic cell），為了紀念意大利物理學家伽凡尼（Luigi Galvani），故亦稱為伽凡尼電池。他在 1791 年發表有關電化學作用之研究，伽凡尼電池將化學能轉換為電能

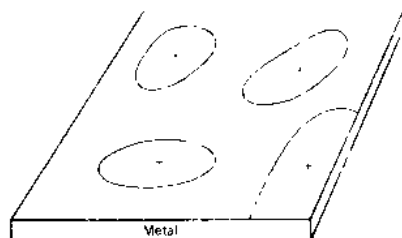
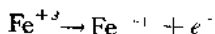
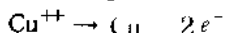
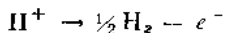


圖2 金屬表面放大，以圓形表示局部作用電池之安排方式

，這種電池在捷徑電路時，（兩電極以低電阻導線相連）正電流藉金屬導線自正極流到負極，電流流動方向是爲了方便隨意假定的，這觀念是在電之性質未被瞭解以前建立的。雖然在同一時期便知道僅負性帶電體或電子才能在金屬內移動，但這觀念一直沿用到今天。當然，電子是自負極到正極，流動方向與正電流相反，每當敘說電流流動時，若未指出帶電體之符號，永遠均指正電流而言。

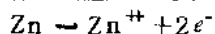
在電解液內，電流是由帶正電荷和帶負電荷之離子（帶電荷之原子或原子團）來移轉，每一離子其移轉電流之量，是與其遷移率（mobility）和所帶電荷數有關，一電池電解液中之全部正和負電流應永遠等於金屬導體中電子本身所帶之全部電流。歐姆定律 $I = E/R$ ，此處 I 爲電流（安培）， E 是電位差（伏特）， R 是電阻（歐姆），這定律可精確地運用到我們現在所考慮之情況，電流在電解液和金屬內流動。

在其上發生化學性還原反應之電極（或正電流自電解液流入之電極）稱爲陰極（cathode），陰極反應之例子如下：



所有這些反應，在化學意義上均爲還原。

在其上發生化學性氧化反應之電極（或正電流自此電極流入電解液）稱之爲陽極（anode），陽極反應之例子如：



所有這些反應在化學意義上均爲氧化，金屬之腐蝕通常發生在陽極，但