

地下建築之腐蝕及其原因

康寶煌

一、腐蝕工程學之重要

最近十餘年，科學界成就甚多，原子能及電子學之昌明，爲人所熟知，腐蝕工程學之發展，則僅關係於一部份工業人士，與一般人民之日常生活，不發生直接影響，遂不爲人所重視。

據美國腐蝕工程師會 (National Association of Corrosion Engineers) 統計，美國每年各種金屬建築所遭受腐蝕之損失，約值美金六十億元，其中六分之一約十億美元，係因與土壤及水接觸而腐蝕之損失，如能加以防範，則百分之九十以上可以避免，預防之方法，分爲二種，第一爲自然洩流法，第二爲強制洩流法，統稱爲陰極防腐法 (Cathodic Protection)。

一九五一年三月，美國腐蝕工程師會確定陰極防腐法爲美國地下建築防腐工程之基本方法，根據近二十年之調查及研究，製成四個報告，公佈於世，此四報告，遂成爲今日世界上防止地下建築腐蝕理論重心。

美國電話局內，防腐工程屬於廠外工程 (Outside Plant) 傳送部 (Transmission Dept) 所管，電氣化學工程師 (Electro-Chemical Engineer) 及腐蝕工程師 (Corrosion Engineer)

nering)，爲比較新穎而專門之學問。

美國腐蝕工程師會成立於一九四二年，但美國倍爾電話系統 (Bell Telephone System) 第一號地下建築防腐通告，於一九二六年發出，防腐工程在美國實已有二十餘年之歷史，惟油管、煤氣、自來水、鐵道、碼頭、橋樑、船舶、電力、電話等公司，各有防腐方法，不相合作，或且認作秘密不肯告人。但各個分開，則知識有限，化學工程師僅着眼於化學方法，改變土壤，發明油漆，冶金工程師發明不銹鋼及各種合金，土木工程師設法使地下管道不漏水，電氣工程師設法使電纜與大地絕緣，總不能尋得一省錢省事，可以共同使用，保證停止腐蝕之方法。直至第二次世界大戰爆發以後，地下建築物愈多，損害愈重，乃成立全國性之腐蝕工程師會，共同研究對策，決定採用陰極防腐法，爲地下建築防腐之基本方法。

作者於民國四十年七月至四十一年九月之間，承乏臺北市內電話北區分局建設工程主任，該工程包括地下管道建築，線路建築，中央局機械增設，及北分局全部機械裝置四個工程，其中地下電纜在南京西路圓環附近一段，遭遇鹼性地下水浸蝕，電纜拉入管道未及一年，即有一部份被蝕穿，經徵詢各方專家意見，商討補救辦法，歷時年餘，未得善策，而電纜腐蝕

如故，作者於四十二年四月六日，在華美協會演講，謂美進修，以此爲急待解決問題之一，歷依利拿、印地安那、暹羅、及紐約四州，在紐約市，克利夫蘭、可倫布等十四個電話局考察，注意於地下建築物防腐之理論與方法，最後將所搜集資料，請益於倍爾試驗所 (Bell Telephone Laboratory) V. B. Pike 及 L. S. Inskip 二防腐專家。今年三月，旅居芝加哥青年會，整理記錄，並參證各家著述，以獻於國人。

二、地下金屬建築之腐蝕損害

金屬地下建築，無論其爲鋼、鐵、銅、鋁、鋅或鎂，如聽其與土壤或水接觸，即起腐蝕。

美國地下建築佔比例最大者爲油管，最長者達一千七百餘哩，爲直徑三十吋之鑄鋼管，用以輸送原油自油井以達煉油廠，在城市中則輕油管遍佈各街道，自儲油站以達於各加油站，如油管起腐蝕，則油量滲漏，損失甚重。據報告厚八分之三吋之鋼製油管，有在七個月之內蝕穿者。

其次爲煤氣管，各城市均有煤氣公司，無論爲取暖、煮飯、燒水、使用煤氣甚多，如因管壁蝕穿而漏溢，則不僅爲煤氣公司之損失，用戶亦不便，且可以窒死八，引起火災，爲害甚烈。

防止自來水管腐蝕，較之油管煤氣管爲難，因水爲良導體，不能將水管絕緣，以加防腐電壓於局部，如加電壓於全部，則耗電太多，甚不經濟，故自來水

公司通常使用較高之水壓力，使管內之水溢出管外，不使管外污水滲入管內，漏溢太多，則抽換水管。

美國工業發達，不能一刻無電，高至百數十層之大樓電梯，不能一刻停止，地下鐵道，及水底隧道，藉電力以抽水通風及照明，如電纜腐蝕，供電一停，全城可以陷入混亂。

鐵道、橋樑、碼頭、屋基等建築，或埋入土壤中，或與河水海水接觸，船殼鍋爐等，或在海水中航行，或有沸水通過。如不設法防止腐蝕。則將減短壽命，而發生危險。

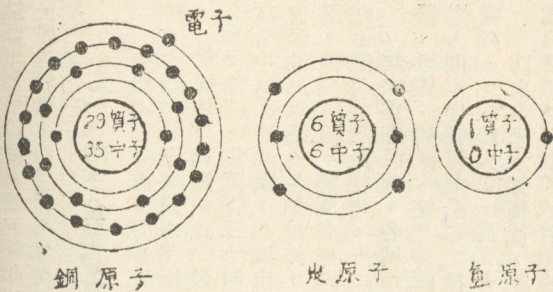
電話電纜起腐蝕，其影響之所及，如與其他各項比較，其重要性尙在其次。近十數年來防腐理論及方法之進步，實有賴於前列幾種工業之努力，蓋油礦煤氣等公司，資本雄厚，不惜投巨資於研究。

三、地下金屬建築之腐蝕原因

任何金屬如聽其自然，則其趨勢必爲恢復其在化學上最安定之狀態。例如鋼鐵由氧化鐵礦提煉而得，其自然狀態爲養化鐵，如聽其自然，則純潔之鋼鐵氧化而成氧化鐵。此使金屬恢復其原始狀態之化學作用，一般稱爲腐蝕。

任何物質當分割至不可再分時，此時之微粒，稱爲分子，分子由原子構成，例如水之分子，爲二個氧原子及一個氧原子構成 (H_2O)。氧氣分子，爲二個氧原子構成 (O_2)，金屬分子，則大半爲一個原子構成

，例如鐵 (Fe)。



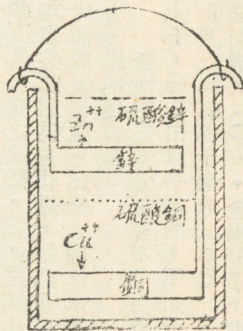
圖一

原子由電子 (Electron) 質子 (Proton) 及中子 (Neutron) 構成，例如銅原子之核心，有質子二十九個，中子三十五個，其外有電子二十九個，分四層繞核心而轉。炭原子之核心，有質子六個，中子亦六個，其外有電子六個，分二層繞核心而轉。氫原子之構造最簡單，核心有質子一個，無中子，其外有電子一個繞核心而轉。圖一表示銅、

炭、氫，三種原子之構成。

置金屬於電液中 (可以傳電之溶液)，金屬表面

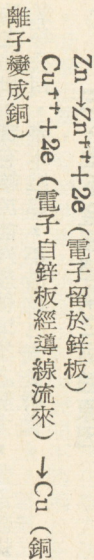
之分子，失去若干電子而游離入於溶液，帶有正電稱為離子 (Ion)。在比重電池中 (Gravity cell)，銅板及硫酸銅溶液如下，或酸液及銅板如下，以導線



圖二

連結二極，電子自鋅板流出經導線而至於銅板，鋅溶解成鋅離子。電液中之銅離子，則自銅板上獲得電子 (自鋅板經導線流來) 而成為分子，附

着於銅板之上，可以下列方程式表示之：

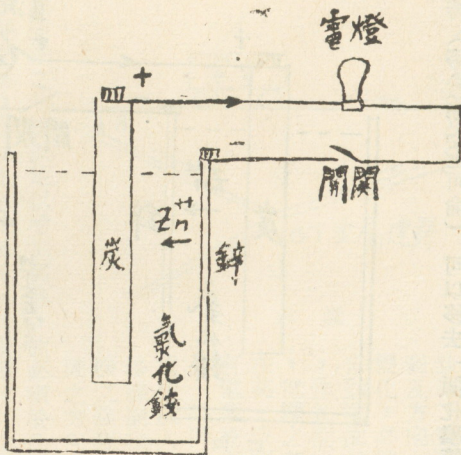


圖二為比重電池之構成。

電池之組成，可分為四部份，即陽極、陰極、電液及外路，在乾電池中 (見圖三) 鋅板為陽極，炭棒為陰極，氯化銻為電液，外路則包括電燈及開關在內。此處陽極陰極之認識，與一般不同，蓋以電流自金屬表面流入電液之一極為陽極，電流自鋅板流入電液 (與電子流動之方向相反)，亦即鋅原子脫離鋅板而游離於電液之中，帶有正電。

電池經過長久使用之後，鋅原子脫離鋅板過多，鋅板蝕穿。鋅原子何故脫離鋅板，肩負正電而入電液，則因鋅板附近之電液中，有帶有負電之氯離子存在，受異性之相吸。此即化電作用 (Electro-chemical)

如何可以停止此電池之作用，使鋅板不至溶蝕，其法之一為在外路中接一相反之電壓（見圖四），使正電自炭棒流入電液中，將帶有正電之鋅原子驅回鋅板。此方法即稱為陰極防腐法，蓋電流自電液流入鋅板，鋅板已成陰極。



三 圖

金屬在土壤中腐蝕，其電池之組成有三種，不同之金屬，不同性質之溶液，或不同濃度之溶液（見第五節），均可造成局部電池，其外路為金屬之本身（見

一之稀硫酸，但濃度不同，在A點較濃，B點較稀，則在A之附近鉛之離子較多，在B處較少，A處成為陽極，B處成為陰極，電流自A處經電液C而至陰極B，此局部電池之電動力，即發生於A處附近鉛皮與土壤之間，如以電壓表測量土壤與鉛皮間之電位差，則土壤為正，而鉛皮為負，在鉛皮上二點間測量，則接近B處為正，接近A處為負。習慣上指ACB電路為電池之內部電路，經過土壤，阻力較高，指BDA電路為電池之外部電路，為電纜之本身，阻力甚低，如金屬表面塗有油漆或絕緣被覆，則可認作電池之內部阻力甚高，增加絕緣物之阻力，可以減少電流，亦即減少腐蝕損害。

因腐蝕而被移去之金屬與電流之關係，則在一八三四年法拉特氏 (Faraday) 已有說明，稱為法拉特定律，腐蝕之速度與電流成正比，如下式所示：

$$\frac{W}{T} = ZI$$

W 為腐蝕所移去之金屬重量克數 (Grams)

T 為時間單位為秒 (seconds)

I 為電流單位為安 (ampere)

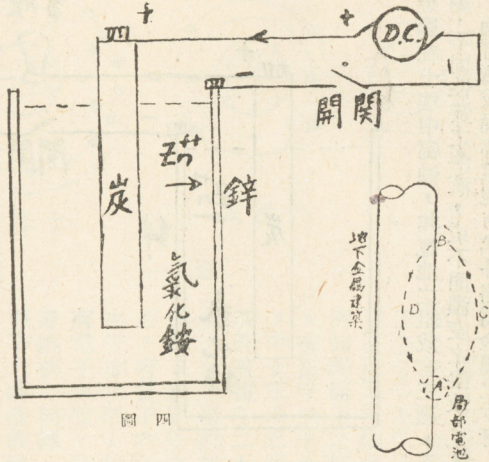
Z 為一常數稱為電化等值 (Electro-chemical

Equivalent)，因金屬之種類而異，為一定之電流

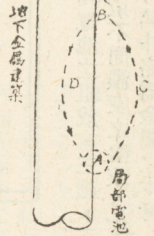
，流經一秒所移去之金屬，亦即一個可命 (Coulomb

) 所移去之金屬，重量克數，在化學中我人知一個法

直流發電機



圖四



五圖

鉛之比重為 11.34，如電流為十個千分安，流經一年，在一方吋之面積內，可溶去一吋點八厚之鉛，自下算得之：

$$1.074 \times 10^{-5} \times \frac{10}{1000} \frac{365 \times 24 \times 3600}{11.34 \times (2.54)^2} = 18.4 \text{吋}$$

以上說明腐蝕之基本原因，茲再將實際上所遭遇之腐蝕，分類加以說明如後。

四、外來電流腐蝕

此指自外來之電流，流入金屬地下建築，電流自發電機之正極送出，沿架空電線而至電車，再自鐵軌流回發電機，此為正常之道路，但如鐵軌接續不良，而電纜或其他地下金屬建築與鐵軌相距甚近，土壤潮濕，則將有一部份電流，流經電纜而返回廠內，在電流離開電纜之一點B上，即起腐蝕。

在電流流入鉛皮之一點A之附近土壤，如為酸性，則氫離子集於鉛皮表面，放去正電，而成氫氣，如為鹼類或鹽類，則金屬離子集於鉛皮之表面，放去正電而附着於鉛皮之上，故無論土壤為酸為鹼為鹽性，均不致引起腐蝕，如為濃酸濃鹼，則另作解釋。

在電流流出鉛皮之一點B之附近土壤，無論為酸性為鹼性，抑為鹽性均有腐蝕電纜之可能，蓋鉛之原子受外加電壓之驅使，游離而入電液（土壤中），與酸鹼或鹽之負性離子合，可連續不斷，則鉛皮逐漸

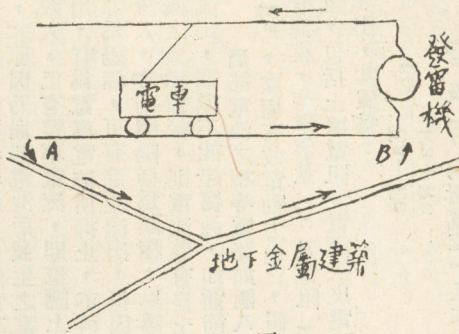
拉特（等於96,500可侖）可以移去一個化學等值（Chemical equivalent），故

金屬原子重量克數 (Atomic Weight grams) Z = 原子價之變值 (Valence Change) $\times 96,500$

鉛經化合而成二價原素，鉛之原重量為 206.2 克，故每可侖移去之金屬為：

$$Z = \frac{2 \times 96,500}{1.074 \times 10^{-5} \text{克}}$$

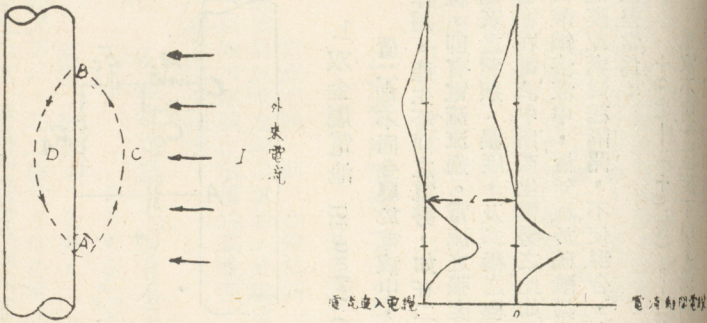
消蝕，防止之法，可將電纜之鉛皮在B點處用導線與發電機之陰極相連，則電流可以不經土壤，逕沿導線返回電源。



六圖

，此固接之導線反足以增加腐蝕，故必須於此處裝一自動開閉器，以防止電流倒流。外來電流非僅限於電車電流，如自來水管或油管等，經過酸性或性土壤，發生腐蝕帶有電流，與電纜接觸，則經電纜而入土壤，電纜亦起腐蝕。

大城市中發電站常有多所，電車往來移動，致地下電流之強弱及方向，常在變化，必須使用自動電位記錄表，作長期之測量。電纜之某一點在某一時間，可有電流流出，在另一時間，可有電流流入，如以導線固接於發電機之陰極，當電流之方向顛倒時



七圖

不能起腐蝕，但如土壤有整流作用，則亦可導致腐蝕。再如其他地下建築，已經採用陰極防腐法，使用整流器，電流在土壤中流過，亦可經由電纜而起腐蝕，故各擁有地下建築之機關，必須合作，共同商訂防腐計劃。

外來電流流量較大，流量及方向，易於測定，其為害亦易於防止，發生於電纜表皮之局部電

池，則流量微小，難於測定，亦難於防止，據統計美國地下電纜所遭受之損害，幾全部為局部電池損害，各大城市，設有防腐工程協會常年測量，設法防止。

五、局部電池腐蝕

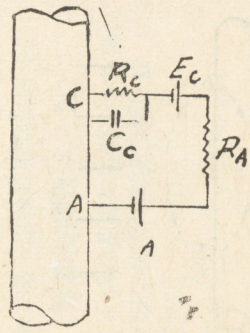
局部電池腐蝕、防範較難，據統計凡有電車行駛之城市，電纜損害較少，無電車之城市，則損害較多，其原因乃局部電池所發生之電流較小，電車之電流較大，已有電車電流，則電纜上所發生之局部電池作用，有為電車電流所抑止，不再為害。如圖七，A點原為陽極，可有電流流出，但因外來電流強大，變成流入，亦即變陽極為陰極，以導線將電纜表皮與發電機之負極相接，則電流僅有自土壤中流入電纜，而無流出，電纜不能起腐蝕，如前節所述。

局部電池之相等電路如圖八，陽極有效電動力 E_a ，陰極有效電動力 E_c ，假定陰極已經極化，結有薄膜，有電容量 C_c 及電阻 R_c ， R_a 為電路中電阻，包括土壤電阻及電纜表皮電阻在內，電流自陽極流出，其值為：

$$I = \frac{E_a - E_c}{R_a + R_c}$$

E_a 及 E_c 均隨電流 I 之大小，及極化之程度而變，如以 E_a' 及 E_c' 代表陽極及陰極之開路電動力，則

$$E_c = E_c' + f_c \frac{I}{A_c}$$



1. 雙金屬電池 Bi-metal Galvanic Cell)

f_a 及 f_c 為陰極及陽極極化含數， A_a 及 A_c 為陽極及陰極有效面積。

局部電池發生之原因有三，如以下數節所述。

置二種不同金屬於電液中，二者各與電液起化學作用，產生不同之電勢，如在二金屬之外端，聯以導線，即有電流流過。電流之強度，則視金屬之種類，電液之種類、濃度，及二極之極化作用而定。不同金屬在在電液中所產生電勢之比如表一，例如置鐵板於硫酸鐵溶液中，置鉛板於硫酸鉛溶液中，二液之間用薄膜或素燒磁隔開，不使混合，則鐵與鉛二極間之電位差當為：

$$+0.44 - (+0.12) = +0.32V$$

電液不同，溫度不同，或氣壓不同，所得之電位亦異，但大約如該表。

Lithium	Li ⁺	+2.96
Potassium	K ⁺	+2.92
Sodium	Na ⁺	+2.71
Magnesium	Mg ⁺⁺	+2.40
Aluminum	Al ⁺⁺⁺	+1.70
Manganese	Mn ⁺⁺	+1.10
Zinc	Zn ⁺⁺	+0.76
Iron (Ferrous)	Fe ⁺⁺	+0.44
Nickel	Ni ⁺⁺	+0.23
Tin	Sn ⁺⁺	+0.14
Lead	Pb ⁺⁺	+0.12
Iron (Ferric)	Fe ⁺⁺⁺	+0.04
Hydrogen	H ⁺	0.00
Antimony	Sb ⁺⁺⁺	-0.10
Bismuth	Bi ⁺⁺⁺	-0.23
Copper (Cupric)	Cu ⁺⁺	-0.34
Copper (Cuprous)	Cu ⁺	-0.47
Silver	Ag ⁺	-0.80
Platinum	Pt ⁺⁺⁺	-0.86
Gold (Auric)	Au ⁺⁺⁺	-1.36
Gold (Aurous)	Au ⁺	-1.50

上表假定電液中僅有相同金屬之離子存在。氫之電勢為零，其他金屬之相對電勢高於氫者為正，低者

將導線連接二不同金屬板，即有電流通過，在電液中係自陽極流至陰極，即自鐵板流至鉛板，故鐵板腐蝕，而鉛板受有保護，在第一表中，較高之金屬可以保護較低之金屬，二價之鐵 (Fe⁺⁺) 可以保護鉛 (Pb⁺⁺) 以保護三價之鐵 (Fe⁺⁺⁺)。電流通過含有二種離子之溶液時，則位置較低之金屬，先自溶液中析出，附着於陰極表面之上。例如有鋅及銅二種離子之溶液，電流通過時，銅先析出，但如銅之離子甚少，鋅之離子甚多，則可能鋅與銅同時析出，鍍於陰極之上。

2. 雙電液電池 (Bi-electrolytic Galvanic Cell)

電液不同，則二極雖為同一金屬，亦生電位差，成為局部電池而起腐蝕，此種情形，常發生於土壤中，以城市區域之填置地為最甚，電纜跨越河流溝渠等，極易遭受損害。

3. 濃度電池 (Concentration Galvanic Cell)

陰陽二極屬同一金屬，二極附近為同一電液，但濃度不同，則二極所溶解於電液中之份量亦不同，產生電位差，成為局部電池而起腐蝕，最淺顯之例，為鐵殼船舶或碼頭鐵柱，常浸水中，氧氣溶於水中者，淺

處較多，深處較少，濃淡不同，成爲局部電池。鉛板在不同濃度之電液中腐蝕，其電位差可高達十分之一伏。

六、細菌腐蝕

土壤中有細菌多種，但至今日爲止，美國防腐工程師會所知者僅硫根細菌 (Sulphate-reducing Bacteria) 爲有害，此種細菌，遍佈土壤中，但必須有硫酸鹽類 (Sulphates) 存在，始繁殖而產生硫化氫 (Hydrogen Sulphide)，使金屬腐蝕，其作用與局部電池相仿，亦可用陰極防腐法以防止之，惟此電流不能以電流量量得，想因每一單位之局部電池，所佔地位極小。厨廁之水多細菌，流經硫質土壤，則難免有此種腐蝕發生。

七、其他腐蝕

二種不同之金屬相接觸，受熱或潮濕，可以產生電壓而起腐蝕，新舊二金屬，表面氧化之程度不同，如相聯而埋入土壤，亦發生局部電池作用，蓋與電液接觸者，實際上爲二種不同之金屬化合物也。

金屬浸入強酸及強鹼之中，可全面腐蝕，不能以陰極防腐法制止，但在一般土壤之中，僅有弱性之酸類存在，起局部電池作用，可用陰極防腐

腐法以防止。

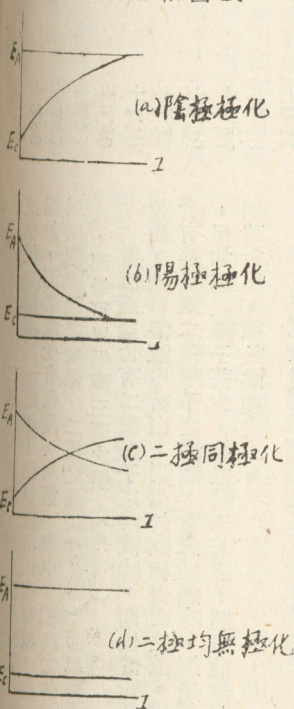
八、極化

陽極控制及陰極控制

局部電池所產生之電流，在陰陽二極間通過，因電化作用，產生新化學物，附着於陰極或陽極之表面，使電流減少，稱爲極化 (Polarization)，前第五節已經述及。

新生物學物之量，隨電流流過時間之長短而定多少，可發生於陰極，可發生於陽極，可二極同有極化，亦可二極均無極化，表示極化之方程式，已見前第五節。

陰極發生極化，則陰極之有效面積縮小，二極間電流，因此面積之縮小而減小，稱此情形爲陰極控制。



九 圖

陽極極化，則陽極之有效面積縮小，二極間電流，因而減少，稱爲陽極控制。如二極均有極化，則視二極化之程度，而定控制之誰屬。

何極爲控制極，關係於腐蝕之防止甚重要，例如一鐵殼船舶，裝有銅製螺旋槳，航行海水中，如船殼有極化，控制電流，則在船殼上加油漆，可減少電流，亦即減少腐蝕之損害，如螺旋槳有極化，控制電流，則在船殼上加油漆，不能減少電流，僅使同樣大小之電流，在較小面積內流過，船殼易被蝕穿，爲害更烈。

九、消除極化

任何溶液如有消除極化之作用，則促使腐蝕加速，例如有鐵一塊，浸於鹽類溶液中，盛溶液之器皿口徑甚小，液體與空氣接觸之面積受有限制，則鐵塊腐蝕甚爲滯緩，如將盛器之口徑加大，氧氣溶解於溶液中，份量增加，則鐵塊之腐蝕加速，腐蝕之速度，幾與氧氣溶解之份量成正比，其他物質凡溶解於土壤中，有消除極化之作用者，其影響於腐蝕，與此相同。在上例中，腐蝕之程度，爲氧氣之份量所控制，以銅板同置上述溶液中，以導線與鐵板相連接，成爲電池之二極，鐵板之腐蝕並不加速，蓋氧氣之供給有限，增加鐵塊之面積，不能增加其被消蝕之份量。

本刊資料

石門水庫簡介

編者

石門大壩雲中海

綠水常流百姓家——王善爲

全國軍民期待已久的偉大艱

鉅水利工程石門水庫，於本年七

月七日正式動工興築。此一將爲

千萬民衆帶來無盡幸福，並且爲

遠東第一高壩的大水庫工程開工

盛典，於富有歷史意義的七月七

日中華民國對日抗戰紀念日上午

九時半起，在新竹桃園二縣近百

萬軍民歡騰鼓舞之狂熱慶祝中，

分三處舉行，第一處兵工築路工

程破土典禮在炭頭舉行；第二處

爲民工築路工程破土典禮在大坪

舉行；第三處桃園大圳新進水口

引水隧道工程開工典禮在大坪廟

前舉行，由石門水庫建設籌備委

員會兼主任委員陳副總統親自蒞

臨主持，副總統保證此一水庫將

儘速照原計劃集中一切人力物力

，於五年內建築完成。這是中國

工程師親自設計施工的一件最艱

鉅的工程。據報載開工之日，桃園

，中壢，龍潭等地，市街到處爲

鞭炮聲及其烟霧所籠罩，數以萬

計之三角小旗於空中揮舞，其他

鑼鼓笙樂、龍陣獅舞，亦紛紛參