

譯 序

遠在人類知道利用材料的時候，必已遭遇到腐蝕的問題，而自工業革命以來，科技日益發展，機器設備大量使用，腐蝕問題也更形嚴重，它不但造成金錢上的損失，還會構成生命上的威脅。據專家的統計，因腐蝕而損失的金錢，佔每年總生產額的百分之二強，它也佔全年維護費用的三分之一。美國在1970年的腐蝕損失即達150億美元，數字確實驚人。另一方面，自能源危機發生後，有遠見的人士更擔心地球上的有限資源終將有用盡之日，是則腐蝕防制不僅有經濟上的意義，還有資源保存的作用。

目前世界上的主要工業國家，均有防蝕組織的建立，以推行防蝕工作，而作為工業領導國家的美國，對這方面尤加注意，美國防蝕工程師協會（National Association of Corrosion Engineers）就是一個全國性的防蝕組織，經常從事於防蝕原理、技術、試驗等研究和教育活動，他們的貢獻不僅限於美國國內，更有志於全球防蝕工作的推動，本書的編訂即為他們全球性防蝕教育的工作之一。此書取材廣泛內容豐富，出版以後自必使整個防蝕事業向前邁進了一大步。

防蝕工作也已在我國積極展開，蜚聲國際的張洪志博士曾於前年回國主持了防蝕研究會，介紹防蝕新知，當時即曾推介本書。張強博士在成功大學工程材料研究所教授防蝕課程，並與工業技術研究院合作進行防蝕研究。此外還有更多的先進們分別在國防、工業，和交通等單位的防蝕工作上盡其心力，並且已有專業性防蝕公司出現。

譯者等均實際從事防蝕工作有年，閱讀本書受益甚多，為使更多的有關人員能從本書獲益，乃決定利用公餘將其譯為中文，由左君譯前四章及第9、11、14章，許君譯5、8、15、16、17章，藍君譯6、7、10、12、13章，由於才疏學淺，又倉促從事，謬誤難免，尚祈先進不吝指正。

在此十大建設次第完成之際，謹願本書之翻譯能對我國之防蝕事業稍盡棉薄。

譯者 左 克 東
許 世 希
藍 亨 吉

六十六年一月二十三日

腐蝕防制學 目 錄

原 序
譯 序

第一章 緒 言	1
§ 1-1 腐蝕的範圍	5
§ 1-2 金屬的種類	8
§ 1-3 自然腐蝕過程	8
§ 1-4 材料選擇	9
§ 1-5 腐蝕的測量	10
1-5-1 重量變化	10
1-5-2 厚度變化	10
§ 1-6 防蝕簡史	11
§ 1-7 腐蝕的成因	13
§ 1-8 工業界的防蝕工作	15
§ 1-9 本書內容簡介	15
§ 1-10 結 論	17
參考書目	17
附錄A 各合金之組成	18
附錄B 腐蝕有關詞彙	26
附錄C 腐蝕專門詞彙	36
有關腐蝕的名詞	43
第二章 腐蝕導論	45
§ 2-1 金屬腐蝕順乎自然	45
§ 2-2 腐蝕的形式	46
§ 2-3 腐蝕的電化學性質	46

2 目 錄

§ 2-4	陽極反應	48
§ 2-5	陰極反應	49
§ 2-6	陰陽兩極的聯合作用	50
§ 2-7	陰極反應的速率	51
§ 2-8	腐蝕生成物的形成	51
§ 2-9	氧的重要性	52
§ 2-10	流電作用	53
§ 2-11	流電效應的腐蝕電位和方向	53
§ 2-12	流電序列	53
§ 2-13	標準電位	54
§ 2-14	參考電極 (半電池)	56
§ 2-15	膠結 (Cementation)	57
§ 2-16	流電效應的大小	58
§ 2-17	極化作用	59
§ 2-18	面積影響	60
§ 2-19	金屬離子濃淡電池	60
§ 2-20	氧濃淡電池	61
§ 2-21	陰極防蝕	64
§ 2-22	鈍性與保護膜	64
§ 2-23	陽極防蝕	67
§ 2-24	保護膜	67
§ 2-25	溫度對腐蝕的影響	68
	附錄 腐蝕的形態	69
第三章 腐蝕的化學和電化學原理		76
§ 3-1	腐蝕的化學原理	76
3-1-1	腐蝕的化學反應	76
3-1-2	腐蝕生成物	77
§ 3-2	腐蝕的電化學原理	78
3-2-1	電化學反應	78

3-2-2 氧化——還原電位	85
3-2-3 鈍 態	87
§ 3-3 流電序列	91
3-3-1 定義與測定	91
3-3-2 流電腐蝕	91
3-3-3 氧化還原電位與流電序列的關係	96
§ 3-4 防止腐蝕的電化學方法	97
3-4-1 陰極防蝕	97
3-4-2 陽極防蝕	97
§ 3-5 測量腐蝕率的電化學技術	98
3-5-1 使用儀器	98
3-5-2 腐蝕率之計算	99
3-5-3 應 用	99
§ 3-6 結 語	100
參考書目	101
第四章 大氣腐蝕	102
§ 4-1 概 說	102
§ 4-2 大氣腐蝕的種類	102
4-2-1 一般(或均勻)腐蝕	102
4-2-2 點 蝕	103
4-2-3 不同金屬之流電腐蝕	103
4-2-4 晶粒界腐蝕	103
4-2-5 應力腐蝕龜裂	103
4-2-6 疲勞腐蝕	103
4-2-7 磨擦腐蝕(Fretting Corrosion)	103
4-2-8 縫隙腐蝕	104
§ 4-3 腐蝕性大氣的種類	104
4-3-1 工業環境	104
4-3-2 海洋性環境	104

4 目 錄

4-3-3 鄉野地區	104
4-3-4 室 內	105
§ 4-4 影響大氣腐蝕的因素	105
4-4-1 腐蝕因素的測定	105
4-4-2 污染以外的腐蝕因素	106
§ 4-5 大氣腐蝕的研究	107
§ 4-6 大氣腐蝕的試驗	109
4-6-1 大氣腐蝕曝露狀況之影響	109
4-6-2 腐蝕的測定	112
§ 4-7 金屬之腐蝕及抗蝕性	113
4-7-1 鐵與鋼	113
4-7-2 銅與銅合金	117
4-7-3 鎳和鎳合金	122
4-7-4 鋁及鋁合金	123
4-7-5 鋅，鋅合金及鍍鋅	125
4-7-6 其他合金	128
4-7-7 金屬覆層(Metallic Coatings)	128
§ 4-8 應力腐蝕及疲勞腐蝕	129
4-8-1 應力腐蝕	129
4-8-2 疲勞腐蝕	130
4-8-3 摩擦腐蝕	130
§ 4-9 不同金屬造成的流電腐蝕	130
4-10 金屬晦暗(Tarnish)	131
4-11 高溫腐蝕	131
4-12 防止大氣腐蝕的方法	131
參考書目	132

第五章 陰極防蝕原理 133

§ 5-1 定 義	133
§ 5-2 陰極防蝕工作如何做	133

§ 5-3	陰極防蝕電流來源	135
5-3-1	流電陽極	136
5-3-2	外加電源系統	137
5-3-3	其餘的能源	138
§ 5-4	陰極保護的標準	139
5-4-1	環境電位	139
§ 5-5	測量構造物到環境的電位	142
5-5-1	參考電極	142
5-5-2	試驗用試片	143
5-5-3	電位改變	143
§ 5-6	陰極防蝕的調查	144
5-6-1	所需電流測試	144
5-6-2	被覆管線的試驗	144
5-6-3	裸露構造物的試驗	146
5-6-4	極化曲線的特性	147
§ 5-7	被覆電阻試驗	149
§ 5-8	環境的電阻係數	150
5-8-1	當地條件對設計的影響	154
§ 5-9	所需的儀器	154
5-9-1	影響陰防設計的因素	157
5-9-2	所需總共電流	158
5-9-3	環境的變數	158
5-9-4	防蝕被覆	159
5-9-5	電子隱蔽	159
5-9-6	經濟上的考慮	159
5-9-7	被保護的金屬	159
5-9-8	所需設備的壽命	160
5-9-9	檢修能力	160
5-9-10	迷失電流的影響 (Stray Current Effects)	160
5-9-11	溫 度	162

6 目 錄

5-9-12	流電陽極材料	162
5-9-13	外加電流陽極	163
5-9-14	整流器電源	164
5-9-15	其他電源	165
5-9-16	電線和電纜	166
5-9-17	陽極填充物	166
5-9-18	其 他	167
§ 5-10	地床設計	167
5-10-1	陽極設計曲線的發展	170
5-10-2	決定所需電阻	171
§ 5-11	特殊應用上的特殊要求	172
5-11-1	管線應用	172
5-11-2	鋼管內部	173
5-11-3	在海水中的固定設備	173
5-11-4	船 舶	174
5-11-5	槽	174
5-11-6	工廠地下網路	175
5-11-7	鋼樁和井管	175
§ 5-12	陰防的其他用途	176
5-12-1	限制孔蝕的發生	176
5-12-2	減少縫隙腐蝕的損害	176
5-12-3	錫罐的陰防	177
5-12-4	家庭用熱水器的防蝕	177
5-12-5	其他應用	177
§ 5-13	陽極保護法	177
§ 5-14	參考資料	179
第六章	土壤的腐蝕	180
§ 6-1	前 言	180
§ 6-2	電解質、離子及解離現象	180

6-2-1 電解質	180
6-2-2 離子化	181
§ 6-3 為什麼金屬會腐蝕	182
6-3-1 賈法尼電池	183
6-3-2 外加電流電池	190
6-3-3 應力電池	191
6-3-4 表面護膜電池	192
6-3-5 其他不同的電池	193
§ 6-4 管線腐蝕	194
6-4-1 電池作用的附帶效應	194
6-4-2 電解質電阻	199
6-4-3 電阻係數的測定	202
6-4-4 現場電阻係數之測定	204
6-4-5 比電阻測定的使用	206
§ 6-5 被覆對於腐蝕及陰極防蝕之效應	206
6-5-1 未使用陰極防蝕	207
6-5-2 有陰極防蝕	208
§ 6-6 腐蝕及陰極防蝕對於包覆的影響	208
§ 6-7 腐蝕測定	209
6-7-1 電阻係數	209
6-7-2 電位測定	210
6-7-3 管線電流測量	210
6-7-4 管線段落之校正	212
6-7-5 管內記錄器	213
§ 6-8 管線以外之結構	213
6-8-1 分配系統	213
6-8-2 採集系統	213
6-8-3 工場管線	214
6-8-4 井 管	214
6-8-5 地下儲槽	214

6-8-6 鋼 樁	215
6-8-7 輸電塔架及電線桿支腳，張索及接地	215
§ 6-9 水的特性問題	215
6-9-1 流 速	215
6-9-2 海生物	215
6-9-3 比電阻之改變	215
6-9-4 飲用水	216
§ 6-10 結 論	216
自我核對之問題	217
解 答	218

第七章 水與蒸汽之腐蝕 219

§ 7-1 前 言	219
§ 7-2 腐蝕反應	220
7-2-1 鐵屬合金	220
7-2-2 銅合金	221
7-2-3 鋁合金	221
7-2-4 鎳合金	221
7-2-5 其他合金	222
§ 7-3 局部腐蝕	222
7-3-1 點 蝕	223
7-3-2 沖擊侵蝕	224
7-3-3 縫隙腐蝕	225
7-3-4 金屬離子濃差電池	225
7-3-5 晶粒界腐蝕	226
7-3-6 應力腐蝕龜裂	226
§ 7-4 低溫水中的腐蝕	226
§ 7-5 貫流系統 (Once-through Systems)	227
7-5-1 金屬在未處理水中之反應	227
7-5-2 鋁合金	227

7-5-3 銅合金	227
7-5-4 鐵合金	228
7-5-5 鋁合金	228
§ 7-6 金屬在已處理的水中之反應	229
§ 7-7 再循環系統	233
7-7-1 開放式再循環系統	233
7-7-2 封閉式再循環系統	238
§ 7-8 高溫水及蒸汽中的腐蝕	239
7-8-1 化石燃料電廠	241
7-8-2 核能電廠	250
7-8-3 沸水式反應器	256
7-8-4 過熱反應器	256
7-8-5 超臨界反應器	256
7-8-6 腐蝕試驗	257
參考書目	257
第八章 局部腐蝕	258
§ 8-1 概 論	258
§ 8-2 局部電池	259
§ 8-3 點 蝕	260
§ 8-4 罅隙腐蝕	263
§ 8-5 濕物粘附腐蝕	264
§ 8-6 沉積物的腐蝕	265
§ 8-7 孔蝕和衝擊	265
§ 8-8 沖擊侵蝕	266
§ 8-9 摩擦腐蝕 (Fretting Corrosion)	267
§ 8-10 粒界腐蝕	267
§ 8-11 貫晶腐蝕	271
§ 8-12 氫脆化	271
§ 8-13 鹼性脆化	272

§ 8-14 腐蝕疲勞	273
§ 8-15 選擇溶解	275
8-15-1 前 言	275
8-15-2 去鋅作用	276
8-15-3 石墨腐蝕	276
§ 8-16 參考資料	277

第九章 抑制劑的基本原理 278

§ 9-1 緒 論	278
9-1-1 腐蝕抑制劑的定義	278
9-1-2 內 容	278
§ 9-2 腐蝕抑制劑及電化學的極化作用	279
9-2-1 極化圖	279
9-2-2 陽極控制	280
9-2-3 陰極控制	282
9-2-4 電阻控制	284
§ 9-3 抑制作用與環境之關係	284
9-3-1 水溶液系統	284
9-3-2 中低鹽含量之水溶液	286
9-3-3 高鹽含量的水溶液	287
9-3-4 PH的作用	287
9-3-5 強酸溶液	288
§ 9-4 非水溶液系統	289
§ 9-5 氣態環境	290
9-5-1 概 說	290
9-5-2 自由流通的大氣	290
9-5-3 封閉的氣態空間	291
9-5-4 溫度的影響	292
§ 9-6 抑制劑的種類	293
9-6-1 鈍化抑制劑	293

9-6-2 陰極抑制劑.....	295
9-6-3 有機抑制劑.....	298
9-6-4 沉澱抑制劑.....	302
9-6-5 氣相抑制劑.....	304
9-6-6 氣相抑制劑的使用濃度和術語.....	305
9-6-7 施加技術.....	307
9-6-8 施加抑制劑應注意的問題.....	308
§ 9-7 摘 要.....	310
參考書目.....	312
第十章 應力腐蝕	313
§ 10-1 前 言.....	313
§ 10-2 應力來源及大小.....	313
§ 10-3 腐蝕損壞.....	316
§ 10-4 晶界及貫晶損壞.....	316
§ 10-5 鋁合金.....	318
10-5-1 環 境.....	318
10-5-2 方 向.....	319
§ 10-6 銅基合金.....	320
§ 10-7 鋼.....	322
10-7-1 低碳鋼.....	322
10-7-2 應力腐蝕之解決.....	323
10-7-3 農業用氮系統的鋼材.....	323
§ 10-8 油田用之鋼.....	324
10-8-1 氫脆化之解決.....	324
§ 10-9 航空應用之高强度鋼.....	324
10-9-1 解決方法之提出.....	325
§ 10-10 不銹鋼.....	325
10-10-1 破裂的防止.....	327
10-10-2 在其他媒質中之破裂.....	327
§ 10-11 肥粒(Ferritic)及麻田散(Martensitic)系不銹鋼.....	328

10-11-1	析出硬化鋼	328
§ 10-12	鋁合金	329
10-12-1	蒸汽之侵蝕	330
10-12-2	熱苛性碱損壞	330
10-12-3	汞及其鹽類	330
§ 10-13	鈦合金	330
§ 10-14	鎂合金	331
10-14-1	應力腐蝕破裂之機構	332
10-14-2	電化學之觀點	332
10-14-3	機械之觀點	334
10-14-4	其他之研究	335
§ 10-15	防止應力腐蝕之辦法	335
§ 10-16	試驗目的	338
第十一章	影響腐蝕的冶金因素	340
§ 11-1	金屬的一般性質	340
§ 11-2	結晶的缺陷	344
§ 11-3	合金的功能	346
§ 11-4	相 圖	348
§ 11-5	鑄 造	351
§ 11-6	金屬和合金的機械性質	352
§ 11-7	金屬的熱處理	353
11-7-1	退火 (Annealing)	353
§ 11-8	硬化熱處理 (Hardening Heat Treatments)	357
§ 11-9	麻田散鐵轉變 (The Martensite Transformation)	358
§ 11-10	沃斯田鐵不銹鋼熱處理和焊接上的問題	359
11-11	應用冶金原理來防蝕	361
11-12	控制腐蝕的表面塗覆	363

§ 11-13	冶鍊過程與腐蝕之關係	364
	參考書目	365
	附錄—冶金和機械性質方面名詞的定義	365

第十二章 高溫腐蝕 368

§ 12-1	前 言	368
§ 12-2	一般氧化作用	369
12-2-1	線性行為	369
12-2-2	拋物線性性質	370
12-2-3	純金屬之腐蝕	372
12-2-4	合金加入對於銹蝕阻力之影響	374
§ 12-3	內部的氧化	376
12-3-1	銹皮的特性	377
12-3-2	其他氣態的媒質	379
12-3-3	硫化作用	380
12-3-4	氮 化	383
12-3-5	鹵化物之侵蝕	386
12-3-6	滲 碳	387
12-3-7	氫侵蝕	389
12-3-8	熔融相之高溫腐蝕	390
12-3-9	液體金屬之腐蝕	392
§ 12-4	結 論	394
	附 註	394
	書 籍	394

第十三章 合金在高溫下之作用 395

§ 13-1	腐蝕作用	395
§ 13-2	腐蝕阻力的基礎	396
13-2-1	熱力學	396
13-2-2	動力學	398

§ 13-3	腐蝕生成物	399
13-3-1	腐蝕如何進行	402
13-3-2	剝離特性	403
§ 13-4	「情性」的影響	405
§ 13-5	氧化物的安定性	406
§ 13-6	環境的特性	411
§ 13-7	在高溫下之合金	412
13-7-1	鐵基(二價鐵)合金	412
13-7-2	耐熱金屬	412
13-7-3	非金屬合金	413
§ 13-8	耐熱護膜的優點	415
§ 13-9	在真空中之腐蝕	416
13-9-1	揮發	417
§ 13-10	在空氣中之腐蝕	419
§ 13-11	合金加入的影響	419
13-11-1	鉻的效應	420
13-11-2	鎳的效應	421
13-11-3	鋁的效應	422
13-11-4	矽的影響	423
13-11-5	其他元素的影響	425
§ 13-12	結 論	430
§ 13-13	烟道氣之腐蝕	432
13-13-1	硫含量	432
13-13-2	金屬侵蝕	433
§ 13-14	災害性之腐蝕	436
§ 13-15	在液態金屬中之腐蝕	438
§ 13-16	熔融鹽內之腐蝕	442
13-16-1	氯化物	442
13-16-2	氫氧化物	442
13-16-3	氟化物	443

§ 13-17	金屬之塵染 (Metal Dusting)	444
§ 13-18	機械作用	447
§ 13-19	在高溫下之機械性試驗	447
§ 13-20	組成變化對強度的影響	450
§ 13-21	微觀組織及組成對於機械性質的影響	450
13-21-1	鎢的效應	451
13-21-2	銦 (Zr) , 鈦 (Ti) , 鈳 (Cb) 及釩 (V) 的效應	451
13-21-3	矽的效應	451
§ 13-22	腐蝕對於機械性的效應	451
	參考書	452
第十四章 防蝕被覆		454
§ 14-1	導 言	454
§ 14-2	轉換型被覆	455
14-2-1	陽極處理	455
14-2-2	磷酸鹽處理	455
14-2-3	鋁處理	456
14-2-4	滲鋁法 (Calorizing)	457
14-2-5	氧化物被覆	457
14-2-6	鉻酸鹽被覆	458
14-2-7	無機 (非金屬) 被覆	458
§ 14-3	表面處理	463
14-3-1	化學方法	463
14-3-2	手工工具處理	464
14-3-3	動力工具處理	464
14-3-4	噴砂處理	465
14-3-5	噴水處理	467
14-3-6	火焰處理	467
14-3-7	陰極處理	468