

大 專 用 書

鑄 造 學

張晉昌 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行

大 專 用 書

鑄 造 學

張晉昌 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

鑄造學

張晉昌 編著

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址／台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話／5071300（總機）

郵政帳號／0100836－1號

發行人 陳 本 源

印刷者 宏懋打字印刷股份有限公司

電話／5084250・5084307

門市部 全友書局（黎明文化大樓七樓）

地址／台北市重慶南路一段49號7樓

電話／3612532・3612534

定 價 新臺幣 285 元

四版／78年1月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 0141261

序 言

編寫一本適合國人使用的鑄造專業書籍，是筆者多年來的心願。雖然鑄造技術已有數千年的歷史，但是近幾十年來，尤其自從二次世界大戰以來，由於科技的進步，加上高品質鑄件的需求，新的鑄造方法如雨後春筍般地被研究開發出來，其中包括各種新鑄造材料的問世，電腦及氣油壓等自動控制的應用於鑄造設備及品管儀器等，使得鑄造工作效率大為提昇，工作環境大大地改善，鑄件更為精密，品質更為優良。因此，為了共同提昇我國鑄造工業的水準，乃於工作之餘，奮力自勉，編纂本書，期能為我鑄造界略盡棉薄之力。

大家都知道，鑄造工業是機械工業之母，係整體工業的基礎，舉凡民生工業用品（如瓦斯爐火嘴、手工具、汽機車零件等），工具機之機械本體及零件，電機、電子及核能等零件，甚至航空、太空、武器等高級精密零件，都得採用鑄造方法來生產，故而歐、美、日等工業化國家，除了積極發展其尖端科技工業外，對於鑄造基礎工業的研究發展亦不遺餘力。因此，我國在倡導工業升級的步調中，加速提昇鑄造工業的水準，實是刻不容緩的工作，這項艱巨的任務，當然得由鑄造生產工作者、行政主管、教育、訓練機構及有志人士等協同達成，希望本書的出版能有所助益。

本書全一冊，共分十章，內容除涵蓋普通砂模鑄造的全部流程外，尚包括各種特殊砂模製造法、各種特殊鑄造法、各種金屬熔化法及各種鑄件檢驗方法等。為配合教學需要，章節編排以教育部公布的「鑄造學」課程標準為經，而以生產流程為緯，主要內容有：鑄造與工業、鑄造用模型、流路系統、鑄造材料、砂模製造、砂心製造、金屬熔化、特殊鑄造法、鑄件清理與檢驗、鑄造工廠安全管理等。

除了上述內容外，本書著重於新材料、新技術及品管方法之介紹，其中包括下列多項重點：鑄件設計、模砂試驗、機械造模原理；各種新的鑄造方法，

如：真空造模法、無箱造模法、真空殼模法、磁性鑄模法、冷匣法、熱匣法、全模法、真空鑄造法及精密鑄造法等；另外著重於各種材料之成分與配料之計算、爐前控制與試驗，如：各種測溫方法與原理、冷激試驗、碳當量測定、光譜成份分析等；還有鑄件非破壞性檢驗，如：超音波、X射線、磁粉、染色探傷等；以及鑄疵成因與預防方法、各種鑄件的修補方法等。

本書適於作為大專院校機械、冶金、材料科系，高工機械群鑄造科，及職訓中心鑄造組之「鑄造學」課程的專業教材；且可供鑄造工廠現場作業人員參考使用；另外，凡對鑄造有興趣之人士，亦可參考選用。

本書所用之專業名詞，主要採用教育部於民國七十年十二月公布之鑄造學名詞；單位使用則以公制為主，英制為輔，以保持原資料的完整性。

為便於各界人士參考使用，本書內容盡量避免繁雜的理論推演，而以簡明扼要的原理及實務為主。教學使用本書時，可依課程時數之多寡，斟酌選用鑄造流程之要點，及常用的特殊鑄造法加以介紹，其餘作為補充教材，供作學生的參考資料。造模及熔化所需之各種材料，統一於第二章「主要鑄造材料」中介紹，必要時，可同時配合使用。

由於國人接受教育訓練過程中，少有機會接觸實際的生產工作；且鑄造業種類很多，不同類型鑄造廠生產方法及性質迥異。因此，本書除包羅各種鑄造方法外，共附有七百餘幅現場作業之圖表資料，以彌補上述缺憾，並讓大家能有更深一層的鑄造概念。

筆者自從高工接受機械鑄造專業教育以來，直到目前擔任鑄造教學工作，與鑄造行業結緣已有二十個寒暑，其間除了在國內接受大學教育，並參與鑄造廠生產實習外；曾獲西德政府獎學金，前往該國從事鑄造專題進修研究一年，實際參與十餘家各類型鑄造廠的生產研究工作，獲益良多。因此，本書謹根據個人多年來實際從事鑄造教學之經驗與心得，並參考西德、美、日等工業先進國家的鑄造新知，及鑄造學會的資料編寫而成，前後費時大約有三年；而於付梓前夕，於75年暑假，有幸獲選參與我國中山科學院航發中心的「超合金精密鑄造」之研究工作，期間共兩個月，這使個人對於我國的航空、武器零件之精密鑄造生產工作有了更進一層的認識，也對我國的鑄造工業發展前途更具信心。

然限於編者的學識，本書內容難免有欠妥之處，祈盼讀者及鑄造界先進們不吝賜教。

張晉昌 謹識

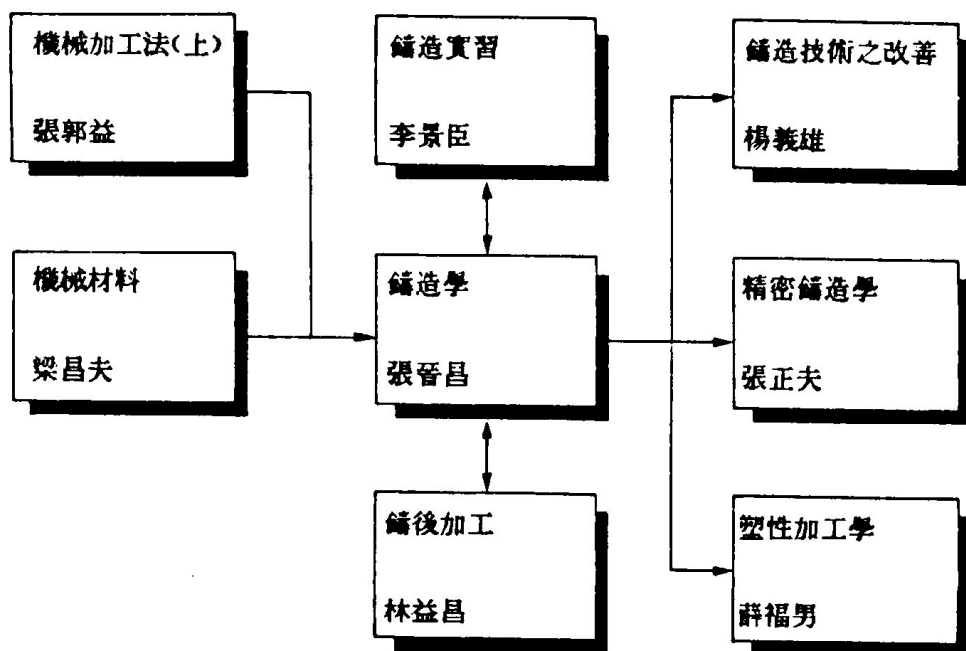
於國立台灣師範大學工業教育學系鑄造工場

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書係根據作者多年來實際從事鑄造教學之經驗與心得，並參考歐、美、日等先進工業國家的鑄造新知，及鑄造學會的資料編寫而成，內容除涵蓋普通砂模鑄造的全部流程外，還包括各種特殊砂模製造法。各種特殊鑄造法、各種金屬熔化法及各種鑄件檢驗方法等，而且沒有繁雜的理論推演，是大專機械、冶金、材料科系鑄造學的最佳教科書。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習鑄造方面叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。



全華機械相關圖書

- 1120 塑性加工學
薛福男編著
20K/320頁/210元
- 0954 鑄造學
江文鉅編著
20K/304頁/180元
- 1110 鑄後加工
林益昌編著
20K/318頁/180元
- T024 精密鑄造學
張正夫
16K/203頁/400元
- M015 鑄造技術之改善
楊義雄編譯
20K/200頁/220元
- 0664 鑄造實習
李景臣編著
20K/128頁/120元
- 1525 金屬塑性加工理論
林守儀編譯
20K/164頁/150元

●上列書價若有變動
請以最新目錄為準

目 錄



鑄造概論

1-1 鑄造與工業	1
1-1.1 鑄造的發展史	1
1-1.2 鑄造的定義	5
1-1.3 鑄造的優缺點	8
1-1.4 鑄造在工業上的地位	10
1-2 鑄造廠的工作內容	14
1-2.1 鑄造工作程序	14
1-2.2 鑄造廠的工作內容	14
1-3 鑄造廠的主要設備	16
討論題	22



主要鑄造材料

2-1 模 砂	23
2-1.1 模砂的種類	23
2-1.2 模砂的特性	24
2-1.3 模砂的成分	26
2-1.4 模砂試驗	33
2-1.5 模砂控制原則	48
2-2 金 屬	49

2-2.1 鐵金屬材料	50
2-2.2 非鐵金屬材料	57
2-3 燃 料	61
2-3.1 焦 炭	62
2-3.2 燃料油及瓦斯	65
2-3.3 其他燃料	67
2-4 耐火材料	67
2-4.1 耐火磚	68
2-4.2 耐火泥	74
2-4.3 石墨坩堝	75
2-4.4 耐火材料高溫特性	77
討論題	80



鑄造用模型

3-1 模型的種類	83
3-1.1 模型的基本型態	83
3-1.2 模型的種類	86
3-2 模型用材料	92
3-2.1 木 材	92
3-2.2 金 屬	93
3-2.3 合成樹脂	94
3-2.4 其他模型材料	95

3-3 模型製作原則	95
3-3.1 模型裕度	95
3-3.2 模型製作的基本程序	100
3-3.3 模型的功能	101
3-3.4 木模塗色	103
3-4 鑄件設計	104
3-4.1 金屬凝固的特性	104
3-4.2 鑄件設計原則	107
3-4.3 鑄件設計的黃金定律	110

討論題	112
------------	------------

流路系統 **115**

4-1 流路系統各部名稱及功用	115
4-2 流路系統的設計原則	118
4-3 澆口系統的類型與設計	119
4-3.1 澆口系統的種類	119
4-3.2 澆口系統的設計～澆口比	122
4-3.3 澆鑄速度與流路系統之關係	124
4-4 冒口的功用、種類與設計	126
4-4.1 冒口的功用	126
4-4.2 冒口的種類	127
4-4.3 冒口的設計原則	129
4-5 冷激鐵 (chills) 的功用及安置	131
4-5.1 外冷鐵	132
4-5.2 內冷鐵	134
4-6 流路系統除渣設計	134

討論題	137
------------	------------

砂模製造 **139**

5-1 砂模種類	139
5-1.1 以砂模材料分類	139
5-1.2 以造模方法分類	143
5-1.3 鑄造廠所採用的砂模種類	145
5-2 製造砂模用具及設備	146
5-2.1 造模用手工具	147
5-2.2 修模用手工具	152
5-2.3 造模用設備	153
5-3 砂模製造法(一)～手工造模法	157
5-3.1 平頂模型的基本造模程序	157
5-3.2 曲面整體模型的造模法～分模面的應用	161
5-3.3 分型模型的砂模製造	163
5-3.4 托翻法製造砂模	165
5-3.5 鬆件模型的砂模製造	168
5-3.6 刮板模型製造砂模	169
5-3.7 拆砂造模法	171
5-4 砂模製造法(二)～機械造模法	172
5-4.1 造模機械種類	173
5-4.2 機械造模方法與原理	174
5-4.3 機械造模程序～無箱造模法	178

5-5 砂模製造法(三)~真空造模法(V-Process)	183
5-5.1 真空造模的程序	183
5-5.2 真空造模法的優點	185
5-6 模砂處理及混練設備	185
5-6.1 模砂處理	185
5-6.2 模砂混練設備	186
5-7 特殊砂模製造法	192
5-7.1 二氧化碳砂模造模法	192
5-7.2 殼模法	201
5-7.3 自硬性砂模造模法(含水泥模)	206
5-7.4 真空殼模造模法	216
5-7.5 疊模法	221
5-8 鑄模塗料	223
5-8.1 塗料的意義及功用	223
5-8.2 塗料的種類	224
5-8.3 塗料應具備的條件	225
5-8.4 塗料的組成原料	226
5-8.5 塗料使用法	227
討論題	227

砂心製造 229

6-1 砂心的定義與功用	229
6-1.1 砂心的定義	229
6-1.2 砂心的類型	231
6-1.3 砂心的功用	232
6-2 砂心材料~砂心砂	232
6-2.1 砂心砂的性質	233

6-2.2 砂心砂的組成	233
6-2.3 砂心砂的混練	236
6-3 砂心製造方法及設備	237
6-3.1 製造砂心應注意事項	238
6-3.2 手工法製造砂心	241
6-3.3 熱匣法製造砂心	244
6-3.4 冷匣法製造砂心	245
6-4 砂心的烘乾與安置	248
6-4.1 砂心烘乾	248
6-4.2 砂心安置~砂心撐	250
討論題	254

鑄件金屬的熔化及性質 257

7-1 金屬的熔化與澆鑄作業	257
7-1.1 純金屬的物理性質	257
7-1.2 金屬的熔化溫度與澆鑄溫度	258
7-1.3 金屬熔化設備的種類	259
7-1.4 熔化溫度的測量方法(一)~浸入式熱電偶高溫計	261
7-1.5 熔化溫度的測量方法(二)~光學高溫計	263
7-1.6 熔化溫度的測量方法(三)~紅外線測溫計	265
7-1.7 澆鑄作業~澆鑄方法與澆鑄速度	267
7-2 鑄鐵的熔化及性質	273
7-2.1 熔鐵爐的構造與種類	273

7-2.2	熔鐵爐的熔鐵原理～ 燃燒原理	282
7-2.3	熔鐵爐的操作	284
7-2.4	熔鐵爐配料及計算	287
7-2.5	爐前控制與試驗(一)～ 碳當量(CE)測定	295
7-2.6	爐前控制與試驗(二)～ 矽含量測定	299
7-2.7	爐前控制與試驗(三)～ 碳硫成分分析	300
7-2.8	爐前控制與試驗(四)～ 光譜分析	304
7-2.9	爐前控制與試驗(五)～ 冷硬試驗	306
7-2.10	爐前控制與試驗(六)～ 流動性試驗	307
7-2.11	爐前控制與試驗(七)～ 熔渣與鐵水紋判別	308
7-2.12	鑄鐵的成分及其影響	308
7-2.13	鑄鐵的種類及性質	311
7-3	鑄鋼的熔化及性質	317
7-3.1	煉鋼法的原理	317
7-3.2	電弧爐煉鋼法	319
7-3.3	感應電爐煉鋼法	323
7-3.4	轉爐煉鋼法	327
7-3.5	平爐煉鋼法	330
7-3.6	鑄鋼的種類及性質	332
7-4	鑄鋁的熔化及性質	334
7-4.1	鑄鋁的熔化法	334
7-4.2	坩堝爐的規格與種類	335

7-4.3	坩堝爐的構造與操作	340
7-4.4	鑄鋁的除氣、除渣及 細化	342
7-4.5	鑄鋁的種類及性質	345
7-5	鑄銅的熔化及性質	346
7-5.1	鑄銅的熔化概論	346
7-5.2	銅合金的熔化方法	346
7-5.3	熔銅爐內氣氛的影響 及熔劑的使用	348
7-5.4	鑄銅的種類及性質	350
7-6	鑄鎂的熔化及性質	351
7-6.1	鎂合金的熔化與鑄造	352
7-6.2	鑄鎂的種類及性質	353
7-7	低熔點合金的熔化及性質	353
7-7.1	鋅基合金的熔化及性 質	354
7-7.2	錫基合金的熔化及性 質	355
7-7.3	鉛基合金的熔化及性 質	356
討論題		357



特殊鑄造法 359

8-1	精密鑄造法	360
8-1.1	包模～脫蠟鑄造法	361
8-1.2	陶模～蕭氏鑄造法	377
8-1.3	石膏模鑄造法	380
8-2	離心鑄造法	384
8-2.1	離心鑄造的原理	384

8-2.2	離心鑄造法的種類	384
8-2.3	離心機轉速的計算法	389
8-3	壓鑄法	394
8-3.1	壓鑄法的定義及特色	394
8-3.2	壓鑄法的種類	395
8-3.3	壓鑄法的優缺點	398
8-4	Acurad 壓鑄法	399
8-4.1	Acurad 壓鑄法的原理及特色	399
8-4.2	Acurad 壓鑄法的優點	400
8-5	低壓鑄造法	401
8-5.1	低壓及真空上吸鑄造法原理	402
8-5.2	低壓鑄造法的優點	403
8-6	永久模重力鑄造法	403
8-6.1	永久模重力鑄造法的定義及特色	403
8-6.2	永久模的材料及壽命	404
8-7	連續鑄造法	406
8-7.1	連續鑄造法的定義及特色	406
8-7.2	連續鑄造法的型式及生產流程	406
8-7.3	連續鑄造法與傳統軋軋法的比較	408
8-8	全模法～消失模鑄造法	409
8-8.1	全模法的定義及特色	409
8-8.2	消失模型的材料及製作	409

8-8.3	全模法的種類～認識 磁性鑄模法	411
8-8.4	全模法的優缺點	413
8-9	真空鑄造法	413
8-10	矽膠模鑄造法	414
8-11	瀝鑄法	415
8-12	各種鑄造方法的特色比較	416
	討論題	418



鑄件的清理 與檢驗

421

9-1	鑄件清理	421
9-1.1	開箱清砂作業	422
9-1.2	澆冒口的去除	423
9-1.3	噴光處理	424
9-1.4	打鑿修磨處理	427
9-2	鑄件熱處理	427
9-2.1	鑄鐵的熱處理	428
9-2.2	鑄鋼的熱處理	429
9-3	鑄件檢驗	430
9-3.1	鑄件檢驗的種類	430
9-3.2	超音波檢驗法	431
9-3.3	液體滲透檢驗法	432
9-3.4	輻射線照相檢驗法	433
9-3.5	磁粉檢驗法	434
9-3.6	渦電流檢驗法	435
9-3.7	金相組織檢驗法	435
9-3.8	成分分析	437
9-4	鑄件的瑕疵及預防方法	437
9-4.1	造成鑄疵的主要因素	437

9-4.2	氣 孔	438	9-5.6	塑鋼填補法	446
9-4.3	縮孔及縮凹	439	討論題		447
9-4.4	落 砂	440	 鑄造工廠的 安全管理		449
9-4.5	滯流與流界	441	10-1	工廠安全的重要性	449
9-4.6	夾 渣	441	10-2	一般安全守則	450
9-5	鑄件的修補	442	10-3	造模時之安全規則	451
9-5.1	鐸補法	443	10-4	熔化澆鑄時之安全守則	452
9-5.2	封閉處理～含浸處理	444	10-5	清理鑄件時之安全規則	453
9-5.3	金屬熔射法與電漿噴 塗法	444	討論題		454
9-5.4	埋栓法與熔填法	445	參考資料		455
9-5.5	鑄補法	445			

1

鑄造概論

1-1 鑄造與工業

1-1.1 鑄造的發展史

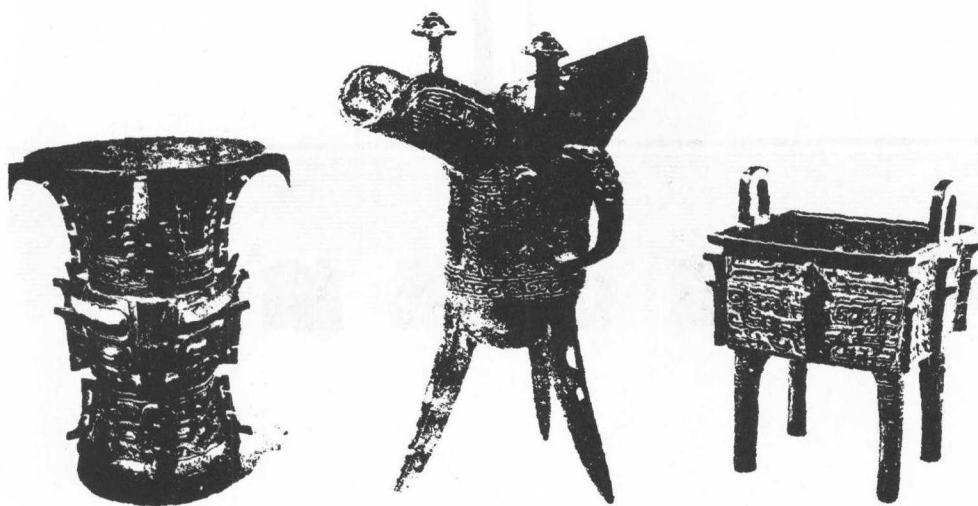
1. 我國的鑄造史

我國具有五千年的歷史文化，自新石器時代的晚期，就已進入銅、石並用時代，根據考古學家的發掘，在河北唐山等地出土的早期銅器，有鍛打成形的、也有熔鑄成形的，這說明了鑄造技術在我國的歷史淵源流長。在古代文獻中，有不少關於昆吾（夏的一族，居住於今河南濮陽境北）製陶、鑄銅的記載，以及夏禹鑄九鼎的傳說，故一般認為我國在夏代以前（西元前 2183 年以前），確實已能鑄造銅器了。

商代在盤庚遷殷（西元前 1384 年）以後，以安陽小屯殷墟為標誌，青銅冶鑄技術達到了鼎盛時期，這時期所遺留下來精美絕倫的青銅器，如展示在台北外雙溪故宮博物院的鐘、鼎、尊、爵之類，既是重要的歷史文物，亦是冶鑄智慧和技能的結晶，它們的學術、藝術價值和技術水準是舉世公認的。如圖 1-1 (a)所示。

我國鐵器時代約在周代（西元前 1122 年以後）才開始。到了戰國時代有自趙遷蜀的卓氏等，以鑄鐵致富；而在河北滄州出土的五代鑄鐵大獅（高六米、長五米半），約在西元一千年以前（宋真宗以前）鑄成；當陽的北宋鐵塔等，都時世界聞名的巨大鑄鐵件，據考證也都有一千年以上的歷史。

2 鑄造學



(1) 祖乙尊

(2) 子父辛爵

(3) 紋方鼎

圖 1-1 (a) 我國商周時代的青銅器鑄件



圖 1-1 (b) 天工開物一書中所描繪的我國古代鑄造大型器物（鑄千斤鐘與仙佛像）構想圖

晉曹毗所撰咏冶賦一書中的著名詩句“冶石爲器，千爐齊設”，真實地描繪了我國古代冶鑄生產的情景。另據明末宋應星氏所著天工開物一書，記述了兩種澆鑄大鑄件的方法，其一是用多個行爐相繼傾注；另一是用多個熔爐槽注，如圖1-1(b)所示。文中並述及疊模法（slacked mold）、熔模鑄造即所謂的脫蠟鑄造（lost-wax casting）及用筋骨加強鑄模等應用措施，這在古代手工業生產的技術條件下，可說是一種巧妙且需熟練技術及良好組織的偉大成就。

2. 外國的鑄造簡史

同爲人類文化發祥地之一的埃及，在赫希屯（Hethitern）出土約爲西元前3000年時期的銅製武器及家用器具等，據考證，當時古埃及人確已能用脫蠟鑄造法來製作他們所需的日用品或藝術品了；而在同一地區亦發現約西元500年左右的鐵製武器。古埃及的鑄造活動情形如圖1-2(a)所示，而圖1-2(b)係爲在巴比倫出土的早期青銅器鑄件，距今約有四千年的歷史，且甚爲精密。

歐洲鑄造技術的發展，較早期的代表係在德國魯爾（Lure）地區發現的西元前1000年左右的銅器製品；而在西元元年，在義大利的羅馬已製成非常精美的青銅器；直到西元1200年左右才有鑄鐵件在中歐出現。美國的鑄造工業



(a) 西元前2350年，古埃及的黃金熔化作業構想圖（資料來源：西德 慕尼黑 德意志博物館文獻）。



(b) 在巴比倫（Babylon）Lchtar寺廟區出土的人頭青銅器精密鑄件，大小爲 $36 \times 20 \times 30$ cm，距今約四千年歷史（西元前2000年以前）。

圖 1-2

，發軔於1642年新英格蘭州的 Saugus 鐵工廠，當時鑄成生鐵炊鍋，自此以後，美國從事金屬鑄件用具的工業逐漸發達，而今鑄件產量高居世界第一位。

3. 近代鑄造史的演進

近年來，鑄造技術的發展更是突飛猛進，除了各種特殊鑄造方法的發明並應用於實際生產外，各種新型鑄造材料的改良，使得鑄件更臻於完美。其中如果以鑄件材質來分析的話，近代鑄造史的演進如下：

西元1700年起，開始生產可鍛鑄鐵（malleable iron）。

西元1850年起，鑄鋼件（steel castings）問世。

西元1900年起，鋁合金鑄件（aluminum alloy castings）開發成功。

西元1948年起，球狀石墨鑄鐵（ductile cast iron）研究成功。

從以上的史實中，可知我國在鑄造技術方面曾有過輝煌的成就，目前所謂的鑄模（mould 或 mold）在古代即稱為範（音範），“模範”、“陶冶”等就是沿用了鑄造業的用語，古代所用的鑄模如圖1-2(c)及(d)所示。而今日鑄造工

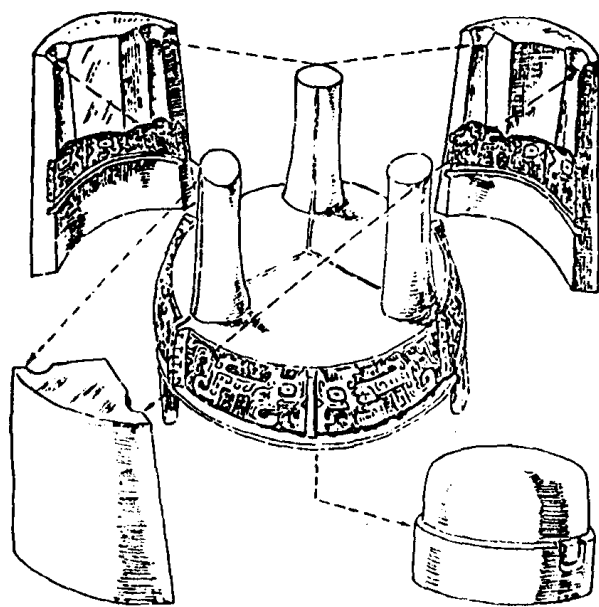


圖1-2(c) 我國古代鑄鼎用之塊范（即鑄模）分離組合構想圖
（資料來源：中央研究院，古器物研究專刊）