

冶金原理

徐祖耀編著

龍門聯合書局印行

冶 金 原 理

徐 祖 耀 編 著

龍門聯合書局印行

冶 金 原 理

版權所有



不准翻印

一九五一年十月初版

一九五二年一月再版

定價 32,000 元

編 著 者

耀

出 版 者

龍 門 聯 合 書 局

上海南京東路六一號一〇一室

電 話 一 八 八 一 九

總發行所

中國科技圖書聯合發行所

上海中央路二四號三〇四室

電 話 一 九 五 六 六

電報掛號 二 一 九 六 八

分 銷 處

龍門聯合書局及各地分局

上海總店 河南中路210號

上海支店 南京東路157號

北京分局 東安門大街82號

北京西城支店 西單福壽商場6號

重慶分局 中山一路368號

漢口分局 江漢一路3號

瀋陽分局 中山路40號

天津分局 錦州道308號

17號

序

這本書是根據作者在唐院冶金系開授“冶金原理”一科的講義，經過增刪修改而成，內容着重介紹冶金學的初步基本原理，並大致參照教育部對冶金概論一科的教材規定，使適合成為大學冶金系共同必修科“冶金概論”或“冶金原理”的教材。但有些章目，如合金的構造，有色金屬合金，鋼鐵合金及熱處理等不屬於規定的範圍之內，自可酌予取捨。其中第一章至第十二章並可供其他系科冶金學或冶金概論等科的教材，第十三章至第十八章可作金相學等科的參攷教材，所以一併列入，使全面的融合冶金學初步原理於一爐，定其名為冶金原理。

這書的初稿，承周志宏先生和張文奇先生加以審閱，其中燃料及燃燒一章內的有些圖表，蒙蔣導江先生惠允自“普通冶金學”書中札錄，耐火材料及煉爐一章內的大部資料，承殷之文兄供給，作者在編著過程中曾承受各方面的鼓勵，並受到系內同志們和同學們的匡助良多，特一併致以衷心的感謝。

由於作者學簡識淺，編著時間又復匆促，致使書中內容不夠充實，安排或有不當，引錄難免錯誤，文字未臻流暢，譯名尤欠斟酌，至望從事冶金教育和工業的同志們，本熱愛科學和關懷教育的精神，隨時多提意見，使能及時改正錯誤，不勝企盼。

徐祖燿 一九五一年五月一日，河北唐山
北方交通大學唐山工學院冶金系。

目 次

第一章	冶金學的定義和範圍	1
第二章	冶煉應用的原料	4
第三章	燃料和燃燒	14
第四章	耐火材料和煉爐	37
第五章	選礦	81
第六章	火法冶金	115
第七章	水法冶金	145
第八章	電冶金	152
第九章	原子和金屬的構造	171
第十章	金屬的變形	191
第十一章	金屬的物理性質	202
第十二章	金屬的機械性能	213
第十三章	合金組成圖	230
第十四章	合金的性質	277
第十五章	合金的構造	282
第十六章	有色金屬合金	299
第十七章	鋼鐵合金	319
第十八章	熱處理	333
附 錄	金屬的各種性質表	355
參攷資料		359
索 引		361

第一章 冶金學的定義和範圍

I-1. 冶金學的定義

冶金學(metallurgy)並不僅是一般人所指的“金屬冶煉”的學問，它應該是研究金屬和合金的一個學科。冶金可以說是將礦砂(ore)和其他的混和金屬產品提煉出金屬來，並將這些金屬加以處理和研究，作為人類有用的材料的一種技術和科學。在目前，我們已應用了五千種以上不同的金屬和合金，而新的合金正不斷在發展中。冶金學已成為龐大而複雜的一項學問。

假若人類沒有金屬來施用，那麼人類就沒有文明，我們日常所接觸的都與金屬有關。基於金屬有它的特殊性能——金屬的延性、展性和它的特殊強度和硬度、它的傳電、導熱和磁性，因此被人類廣大的應用着。

在以前，金屬工業頗為簡單，各種金屬的煉製方法也相差無幾；到後來，才知道各種金屬有各種不同的性質，必須了解這些，才能掌握製造的技術，煉製方法就有了進步，並從不同金屬的互相配合，成為合金(alloy)。合金的性質和金屬不盡相同，發展了合金的性質，使金屬工業更提高了一步。在人們沒有研究化學以前，冶金僅是沒有科學根據的一種手藝，直到研究了金屬、合金以及礦砂等的化學成分後，冶金始有了科學的基礎。以後更有物理學的輔助，便能控制製造的過程，和解釋各種金屬的性能。但到目前為止，冶金上還有若干現象沒有得到科學上的解釋，一部份的煉製方法還沿用舊的技術。所以冶金是一種技藝和科學。

I-2. 冶金學的範圍

冶金學既是研究金屬(和合金)的一項學科,它和其他各種學科都有極密切的關係,因此冶金學是一個廣泛、複雜、和細緻的學科。它的範圍,大致可以分爲下列數項:

1. 提煉冶金(extractive metallurgy)——是研究礦砂或半成品中提煉金屬的學科。它與化學工程有密切的關係,其中又分爲(1)選礦(mineral dressing)——是研究從貧礦砂選成富礦砂的學問;和(2)冶煉(process metallurgy)——是研究金屬的冶煉原理和方法的學科。

2. 實用冶金(adaptive metallurgy)——和機械工程的關係很大,又可分爲(1)金屬製造(metal processing)——研究金屬的鑄造、鍛接、熱處理等;和(2)應用冶金(application metallurgy)——研究金屬的品質控制和材料規格等。

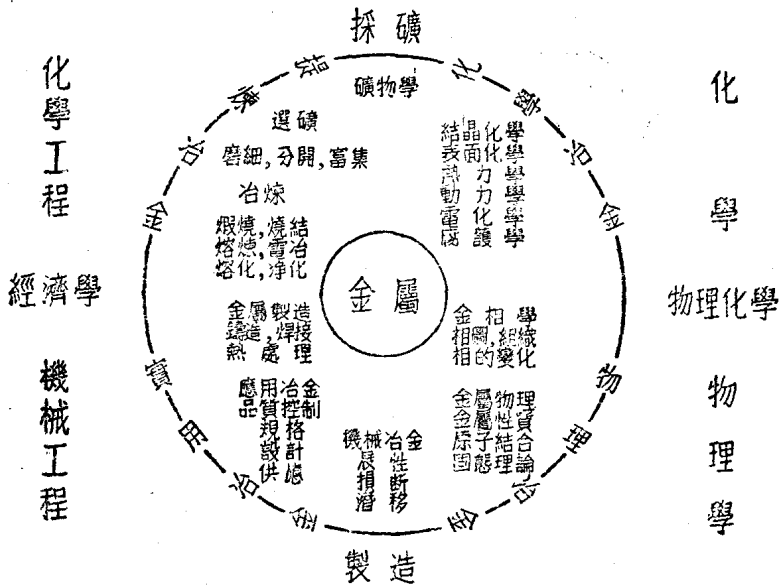
3. 化學冶金(chemical metallurgy)——它與化學有極大的關係。研究結晶化學、表面化學、熱力學、腐蝕學等的學科。

4. 物理冶金(physical metallurgy)——和物理學有很大關係,又可分爲(1)金相學(metallography)——研究合金的組成、組織和相的變化等;和(2)金屬物理學(physics of metals)——研究金屬的導電性、傳熱性、磁性、原子的結合、和固體狀態的理論。

5. 機械冶金(mechanical metallurgy)——研究金屬的展性、壓延和潛移(creep)等。是介於物理冶金和實用冶金之間,又與製造工業相近。

它們之間,和與其他學科之間的關係,可用圖表示之如後。

由於金屬的應用日趨廣泛,研究金屬學科的分類也愈加細緻和繁複。從下面的圖表,可以大概了解冶金的範圍,其中,提煉冶金和實用冶金偏於工程,化學冶金和物理冶金偏於純科學,而機械冶金介於其中。冶金學範圍既如此之廣,學者不得不專事一門以爲所長,但學某一門冶金也常需其他各門的知識,所以冶金學者必須對各項學科都有個概括的和全面的了解。



I-3. 冶金學發展的新趨向

知道了冶金學的範圍，我們可以看出它的新發展的趨向。以前冶金的範圍祇有提煉冶金一項，以後逐漸涉及實用冶金。但是金屬的研究發展無窮，必須牽涉到純粹科學，所以目前很多的物理學者，都在研究金屬的物理學，如以量子論來解釋金屬的各項性質；化學學者也注意以化學的理論來研究金屬。如表面化學或熱力學都對冶金學起了很大的作用。由於他們不斷的努力，冶金學上很多問題得以解決，很多問題得以改進。因此研究金屬的冶金學者，看出了他們的新趨向，注意了很多純粹科學的理論，將來對這方面的發展將是無盡不窮的。

所以在目前，我們一方面以實用冶金為發展基礎，而另一方面也須鞏固純粹科學的基礎，以便在研究金屬上收事半功倍之效。

第二章 冶煉應用的原料

II-1. 概說

在說明冶煉法之前，對於冶煉所用的原料當先作介紹，因為應用於冶煉的原料對於冶煉有直接的關係。應用於冶煉的原料極多，也因冶煉方法——火法、水法、和電冶而不同，冶煉應用的基本原料為礦砂(ore)、富砂(concentrate)、廢料(scrap)、熔劑(flux)或溶劑(solvent)、和其他藥劑(reagents)、燃料(fuel)、耐火材料(refractories)、空氣、水和動力。

冶煉所用的原料中，尤其是燃料和水源對於冶煉廠址的選擇有莫大的關係，如煉鐵廠，即使遠離礦廠，也必須擇近於焦炭的來源地為廠址。因為焦炭如多經運輸，碎裂較多，而細焦不適宜於煉鐵爐。水源對冶煉廠和選礦廠也極重要，故選擇廠址時也應該有詳細的考慮。

冶煉原料對於冶煉方法的選擇也起有決定性的作用，不同性質或大小的礦砂或富集所應用的冶煉法也有不同。所應用的燃料和耐火材料當然也各不相同，如鼓風爐用焦炭作燃料，反射爐用長焰燃料，吹爐不用燃料等。酸性煉鋼爐應用酸性的耐火材料，碱性的煉鋼爐應用碱性的耐火材料等等。

考慮冶煉的原料對於治廠機件和治爐的設計至為重要。各種水源應用各種輸水機件和處理水的機械，各種輸送和壓縮空氣的機件、各種的爐座、動力廠、煉焦廠和選礦廠等的機件都和原料有關。所以原料是治廠設計中的主要對象之一。

現將各項應用於冶煉的原料，簡介於下列各節：

II-2. 礦砂

1. 礦砂的定義和分類

天然存在的礦物混合體能從而提煉金屬以獲利的稱為礦砂(ore)。所謂礦物是天然存在的有一定化學成分和物理性質的均勻無機物。礦砂因含主要金屬的不同,可分為金礦、鉛礦、鋅礦、鉛鋅礦等,或含有幾種主要複雜礦石;又可以因存在化學狀態的不同分為硫化礦石,氧化礦石或天然金屬(如天然金,天然銅等)等。礦石又可以分為易煉礦石(free milling ores),此種多為單純容易冶煉的礦石;和難煉礦石(refractory or rebellions ores),多為複雜礦石,冶煉方法複雜而較繁。

礦砂中含有價值金屬的礦物稱為礦石(ore minerals),沒有價值的礦物稱為廢石(gangue minerals)。兩者之間的區分由“利潤”來決定之。在工業發達國家中,1%以下的銅礦也可以利用,但在我國,因為選礦技術尚待改進,10%以下的銅礦就當作廢石。

現將不同的礦石,擇其主要的分列如下:

(1) 鐵礦石

赤鐵礦	hematite	Fe_2O_3
磁鐵礦	magnetite	Fe_3O_4
褐鐵礦	limonite	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
菱鐵礦	siderite	FeCO_3
黃鐵礦	pyrite	FeS_2

(2) 銅礦石

黃銅礦	chalcopyrite	CuFeS_2
輝銅礦	chalcocite	Cu_2S
銅藍	covellite	CuS
斑銅礦	bornite	Cu_5FeS_4
斜方硫砷銅礦	enargite	Cu_3AsS_4

脆硫錒銅礦	famatinite	Cu_3SbS_4
黝銅礦	tetrahedrite	Cu_3SbS_3
砷黝銅礦	tennantite	Cu_3AsS_3
孔雀石	malachite	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
石青	azurite	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
矽孔雀石	chrysocolla	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
赤銅礦	cuprite	Cu_2O
黑銅礦	tenorite	CuO
胆礬	chalcantite	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
水胆礬	brochantite	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$
氯銅礦	atacamite	$\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$
柱晶鈉銅礬	krohnkite	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$
天然銅	native copper	Cu

(3) 鉛礦石

方鉛礦	galena	PbS
鉛礬	anglesite	PbSO_4
白鉛礦	cerussite	PbCO_3

(4) 鋅礦石

閃鋅礦	sphalerite	ZnS
紅鋅礦	zincite	ZnO
鋅鐵尖晶石	franklinite	$\text{ZnO} \cdot (\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{O}_3$
矽鋅礦	willemite	Zn_2SiO_4
菱鋅礦	smithsonite	ZnCO_3
異極礦	calamine	$\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{SiO}_3$

(5) 鋁礦石

鋁土	bauxite	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
明礬石	alunite	$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$

(6) 鎂礦石

菱鎂礦	magnesite	$MgCO_3$
光鹵石	carallite	$MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$
氫氧鎂石	brucite	$Mg(OH)_2$
橄欖石	olivine	$(Mg, Fe)_2SiO_2$

(7) 鎳礦石

針硫鎳礦	millerite	NiS
鎳黃鐵礦	pentlandite	$(Ni, Fe)_{11}S_{10}$
暗鎳蛇紋石	garnierite	$H_2(Mg, Ni)SiO_4$

(8) 金礦石

天然金	native gold	Au
碲金礦	calaverite	$AuTe_2$

(9) 銀礦石

天然銀	native silver	Ag
輝銀礦	argentite	Ag_2S
角銀礦	cerargyrite	$AgCl$
硫銻銀礦	pyrargyrite	Ag_3SbS_3
硫砷銀礦	proustite	Ag_3AsS_3

(10) 錫礦石

錫石	cassiterite	SnO_2
----	-------------	---------

(11) 銻礦石

輝銻礦	stibnite	Sb_2S_3
-----	----------	-----------

(12) 砷礦石

砷常為提煉鉛和銅礦的副產品。主要的礦物為

斜方硫砷銅礦	enargite	Cu_3AsS_4
--------	----------	-------------

(13) 錳礦石

軟錳礦	pyrolusite	MnO_2
硬錳礦	psilomelane	$4MnO_2 \cdot (Ba, K_2)O \cdot (H_2O)_x$
菱錳礦	rhodochrosite	$MnCO_3$

(14) 鉻礦石

鉻鐵礦	chromite	FeCr_2O_4
-----	----------	---------------------------

(15) 汞礦石

辰砂	cinabar	HgS
----	---------	--------------

(16) 鎢礦石

鎢錳鐵礦	wolframite	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$
------	------------	-------------------------------------

鎢酸鈣礦	scheelite	CaWO_4
------	-----------	-----------------

鎢鐵礦	ferberite	FeWO_4
-----	-----------	-----------------

鎢酸錳鐵礦	hubernite	MnWO_4
-------	-----------	-----------------

(17) 鉬礦石

輝鉬礦	molybdenite	MoS_2
-----	-------------	----------------

(18) 鉑礦石

天然鉑	native platinum	Pt
-----	-----------------	----

	cuperite	PtS
--	----------	--------------

	bragite	$(\text{Pd}, \text{Pt}, \text{Ni})\text{S}$
--	---------	---

(19) 其他

鉬酸鉀鈷礦	carnotite	$\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{U}_2\text{O}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
-------	-----------	---

硫碲礦	greenockite	CdS
-----	-------------	--------------

輝鉍礦	bismuthinite	Bi_2S_3
-----	--------------	-------------------------

輝砷鉍礦	cobalite	CoAsS
------	----------	----------------

2. 礦砂品質的決定和取樣

礦砂的品質是以礦內所含主要金屬的百分數而定，貴金屬以每噸所含的克數而定。決定礦砂的品質和成分，須以化學分析或火法試金來決定它的含量。我們既不能將全部礦砂都經過分析，必須取一部份樣品來進行試驗，這種工作稱為取樣(sampling)。

所取的礦砂樣品必須能代表全部礦砂的平均成分，所以取樣的技術，對於礦砂的估價和冶煉方法的選擇，至關重要。

礦樣的選擇須根據礦砂所存在的狀態、含水份量的多寡、含貴金屬

量的多寡和其他條件決定之。礦砂的取樣，可以依據下列三原則：

- (1) 所取的量宜少，所取的次數宜多。如取十個半公斤的樣，較五個一公斤的樣為好。
- (2) 礦砂在取樣前應該作充分的混和。
- (3) 礦砂宜細磨。

II-3. 富砂

太貧的礦砂經過選洗後所得的成品，稱為富砂。用於冶煉的富砂的成分，必須高達一定的程度，它的粗細對於冶煉上也很關重要。

II-4. 金屬廢料

在鑄造或機製時有剩餘的金屬，或金屬件中有疵弊而不合格的金屬，或已經用舊了的金屬，都稱為廢料。金屬廢料也是冶煉的原料。如吹爐(Bessemer)煉鋼，平爐(open hearth)煉鋼，都用廢鐵或廢鋼。

廢料的成分對冶煉有很大的關係，酸性平爐祇能用低硫，低磷的廢鋼，曾經塗鋅或塗錫或鉛的廢鋼也不適用於平爐煉鋼，所以檢定廢料的物理狀態和化學成分是必須的。將不同化學成分的廢料加以分類，依其成分或直接加入爐中，或須經過氧化的處理，去除雜質後，方可應用。

含有合金元素的廢料常加利用，製造有色金屬合金或煉製合金鋼。

II-5. 熔劑

冶煉是將礦石中的廢石(gangue)和非金屬去除而提出純金屬。在高溫時能和廢石及非金屬結合成為比重小，熔點低的爐渣(slag)，以使和金屬分開的物質稱為熔劑(flux)。所以熔劑應用於火法的冶金。

爐渣的條件有四：(1)需有低的熔點(或造渣溫度)；(2)較稀而容易流動的；(3)比重小；(4)價格廉，以免損失。假若爐渣的熔點過高，必須在高溫度時始能造渣，這樣燃料消耗很多；同時如煉低熔點的金屬，如鉛，銻或錫，在過高溫度時容易揮發，以致損失，使冶煉的價格增加。

假若爐渣的黏性(viscosity)太高,流出爐外較慢,雖然可以用大的出渣口,但很容易使黏稠的渣將金屬帶出爐外。冶煉時,我們希望爐渣的比重很小,浮在金屬面上,這樣容易將渣和金屬分開,通常希望它們間的比重至少須相差1。

由於地殼成分中,以矽酸為主,所以普通廢石的成份多為矽酸。在冶金工業中常用的熔劑為鐵或石灰石,以使生成 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (石灰石 CaCO_3 中之 CO_2 逸去後,即成為 CaO), 或 $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ 各種鐵的化合物,進入爐渣成為氧化鐵)。

各種的熔劑如下表所列:

熔 劑 名 稱	用 途
1. 矽砂, 石英, 矽酸礦石	銅渣的熔煉, 冰渣的吹煉, 含鐵鉛礦的熔煉。 銅, 鉛, 鐵的熔煉, 銀的提煉(用赤鐵礦和燒過的黃鐵礦或廢鐵)。 鐵, 鉛, 銅的熔煉。 多用於鐵的熔煉。
2. 氧化鐵, 氧化錳	
3. 石灰石	
4. 白雲石或菱苦土	
5. 其他:	
螢石	在 1375°C 時溶化, 可以作流動爐渣之用, 能增加金屬氧化物的溶解度。
石膏	
金屬硫化物	
密陀僧	
碳酸鈉, 硝酸鈉	

II-6. 溶劑和其他藥劑

用水法提取金屬,常須將礦砂或富砂內的主要金屬溶解成為水溶液,而不使廢石溶解,這樣的藥劑稱為溶劑。不同的礦砂須用不同的溶劑。

用於冶煉的藥劑,尚有還原劑,氧化劑,和僅用於水法冶金的沉澱劑,用於電解的電解體(electrolyte)等等,也是冶煉不可少的原料。

II-7. 燃料

凡在空氣中燃燒而能發生熱量，以供工業上所使用的物質，稱為燃料(fuel)。所以燃料是供給工業的原動力。冶金工業上有時並藉燃料作為還原劑，以完成冶金的還原作用。冶煉工程常為化合和分解的化學作用。這種化學作用為一定量和定性的變化，也就是能量的變化。冶煉所用的礦砂常為化合物，這化合物穩定度的大小，是據化合物內金屬和非金屬的親愛力大小決定之。由元素變成化合物時，放出分子化合熱 (heat of formation)，內能因此減低。所以分子化合熱大的，化合物間的親愛力大；如分子化合熱小，化合物就不穩定。如現在想從化合物中提出金屬元素，最低限度，須由外界加入等於化合物組成時所發出之化合熱量方才可能。因為化合物的內能較單獨元素低，所以將化合物分解為單體的金屬時，必須供給能力以償還它們在化合時的損失。所以火法冶金 (pyro-metallurgy) 需要熱量而必須在高溫度時進行，並須應用燃料以供給熱能。因此，燃料為火法冶金中不可或缺的原料。

II-8. 耐火材料

因為火法冶金作用在高溫度進行，所以冶金爐座或坩堝等必須用能耐高溫，和抵抗由高溫所引起的化學和物理的反應的材料，這種材料稱為耐火材料。耐火材料對於冶煉的影響極大，當於第四章內詳述之。

II-9. 空氣和水

空氣和水也是冶煉的必具的原料。燃料的燃燒，和礦砂的氧化作用都需要空氣。爐座的冷卻設備全靠冷水的循環，礦砂的洗選，水法冶金的溶解和洗淨等，電冶金的電解體，都需要多量的水。所以冶金工程師作原料上的考慮時，對水和空氣也須予以十分的注意。在水源少的地方，建立工廠更應作週密的水源設計。茲分述如下：

1. 空氣的供給

雖然空氣的來源無缺，但是空氣的輸送必須預先設計。空氣的輸送常應用下列各方式：

(1) 自然通風——煙囪的高度和大小，應適合良好的自然通風。

(2) 壓力通風——用低壓力鼓風時可由風扇(fan)任之，常用的風扇有推進式和離心式兩種，推進式的是將空氣向平行於轉軸推動。離心式的是，空氣由中心吸入，向圓周推出，這種風扇的應用較廣，所用的壓力約為 16 呎(oz)或 27 吋水柱，如供給低壓反射爐和化鐵爐的通風。

(3) 鼓風——在壓力高，風量大時，須用鼓風機。風力達十磅的可用旋轉鼓風機 (rotary blower)，達二十磅的，可用單級離心壓氣機 (single stage centrifugal compressor or turbo compressor)；若壓力達 125 磅時，可用複級壓氣機；更大的風壓可用活塞壓氣機 (piston compressor)。

2. 空氣的處理

(1) 去水——空氣中含過量的水份對冶煉說是不利的，因為這樣將影響燃料的消耗和工作的進行。但是去水的處理是一種不經濟的手續。所以除非水份過多，否則工廠很少作這種處理。空氣去水的方法，有：(a) 吸着(adsorption)——將潮濕的空氣通過乾燥的矽膠(silica-gel)，由於它的多孔，能將水份吸着在孔隙裏，去除空氣中一部份的水份。吸了水的矽膠可以在烘乾後再為應用。(b) 化學的吸收——將濕空氣通過化學乾燥劑，如 H_2SO_4 ， MgCl_2 或 CaCl_2 ，大部份所含的水份可以去除。(c) 冷卻(refrigeration)——普通空氣裏的水氣，都不是飽和狀態的，假使將空氣冷到露點(dew point)時，即到達飽和狀態，若繼續冷卻，一部份水就凝結成為液體。通常將空氣通過冷鹽水以冷卻之。將一立方呎的水飽和空氣從 70°F 冷至 34°F 時，可以去除 75% 的水份。如再冷卻到 $18\frac{1}{2}^\circ\text{F}$ 時，剩下水的一半可以去除。假如需要完全乾燥的空氣，可將濕空氣通過冷鹽水後，再通過化學乾燥劑。但普通鼓風爐所用的空氣，不需要完全乾燥，若去除 75% 的水份，燃料的經濟已大致