

中等專業學校教學用書

有色重金屬冶金學

第一卷 第一分冊

A. A. 柴德勒教授 著

重工業部專家工作辦公室 譯

重工業出版社

中等專業學校教學用書

有色重金屬冶金學

(第一卷第一分冊)

博士 A. A. 柴德勒教授著
重工業部專家工作辦公室譯

重工業出版社

本書係根據蘇聯國立黑色與有色冶金科技書籍出版社 (Металлургиядат) 出版的, 博士柴德勒 (А. А. Цейдлер) 教授著有色重金屬冶金學 (Металлургия тяжелых цветных металлов) 第一卷1951年版譯出。原書經蘇聯有色冶金部教育司審定為中等專業學校教學參考書。

書中敘述銅與鎳的礦石和精礦的特點, 銅鎳生產的技術操作方法, 並闡明銅、鎳的性質及其精煉方法。

本分冊為第一卷的第一篇銅冶金部分, 由重工業部專家工作辦公室劉文啓、黎青如翻譯, 由中南礦冶學院有色金屬冶煉教研組傅崇說校對。第一卷的第二篇為鎳冶金、第三篇為集匯, 擬作為第一卷第二分冊出版。

Проф. докт. А. А. Цейдлер: *Металлургия Тяжелых Цветных
Металлов, Часть I*, *Металлургиядат* (Москва 1951)
有色重金屬冶金學 (第一卷第一分冊) 重工業部專家工作辦公室 譯

1953年3月第1版 1956年7月第2次印刷 1,013冊 (累計2,554冊)

787×1092 $\frac{1}{25}$ • 165,000字 • 印張 $7\frac{15}{25}$ • 定價 (10) 1.00元

重工業出版社印刷廠印 新華書店發行 書號 0398

重工業出版社出版 (地址: 北京市灯市口甲45號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇一五號

目 錄

(第一卷第一分冊)

原 序	(5)
緒 論	(6)
第一篇 銅冶金	(8)
第一章 概論、礦石和精礦	(8)
銅的性質及其用途	(8)
煉銅統計及煉銅中心	(11)
歷史簡述	(11)
銅礦石和銅精礦	(14)
銅礦的礦床	(16)
第二章 鼓風熔煉	(18)
自熱熔煉作業的流程	(18)
水 銅	(19)
煉銅爐渣	(22)
自熱熔煉	(25)
半自熱熔煉	(31)
銅硫熔煉	(34)
鼓風熔煉所用的設備	(39)
技術操作指標和工作組織	(44)
第三章 礦石和精礦的焙燒	(47)
反射熔煉作業的流程	(47)
焙燒過程的反應	(53)
爐料焙燒過程所用的設備	(55)
技術操作指標和工作組織	(59)
第四章 反射熔煉	(61)
熔煉過程的反應	(61)

反射熔煉的設備·····	(72)
熔煉的技術操作指標·····	(78)
反射爐生產的檢查·····	(80)
反射熔煉的工作組織·····	(84)
有關反射熔煉的新建議·····	(89)
第五章 永銅吹煉成粗銅 ·····	(91)
吹煉過程的反應·····	(91)
永銅吹煉過程的設備·····	(100)
吹爐工作的技術操作指標·····	(104)
吹爐生產的檢查·····	(106)
吹煉的工作組織·····	(108)
第六章 銅的火法精煉 ·····	(111)
火法精煉過程的反應·····	(111)
火法精煉過程的設備·····	(116)
技術操作指標·····	(121)
精煉爐生產的檢查·····	(123)
精煉的工作組織·····	(124)
第七章 銅的電解精煉 ·····	(127)
電解過程的反應·····	(128)
電解車間的設備·····	(152)
電解槽生產的檢查·····	(163)
電解車間的工作組織·····	(167)
第八章 濕法冶銅 ·····	(172)
過程的反應·····	(172)
濕法冶銅所用的設備·····	(180)
技術操作指標·····	(187)

原 序

在蘇聯，各種有色金屬的需用量在逐年增加着。爲了滿足這一需要，已經建立了許多新型工廠，改建了現有的企業，並逐步改善了生產設備、生產過程等等。爲了完成此項工作，極爲重要的是在各項企業中須有受過良好訓練的中等技術人員——技術員、工長、值班主任等等。

本書乃是「有色重金屬冶金學」課程的教學參考書的第一卷。其中包括了銅冶金和鎳冶金，並在集塵方面作了簡略的敘述。

在編寫本書時，著者遵循了有色冶金部教育司所審定的新的教學大綱。書中反映了銅鎳冶金方面新的成就，指出了蘇維埃學者、工程師和技術員們所起的作用，也表明了俄羅斯工程師們在某些冶煉方法的發展中所居的優先地位。

有些章節如關於爐渣的論述、溶液的理論、狀態圖，以及某些其他材料，書中只做了簡略的敘述，因爲這些材料學生們已在「冶金學物理化學原理」課程中學習過了。

凡是在有益於更好地培養未來技術人員的地方，著者都已詳細地敘述了生產過程的理論基礎。除了某些應補充的計算問題以外（主要是在銅的電解精煉一章中），書中沒有編入冶金計算和計算的實例。據著者看進行冶金計算時應參閱羅斯庫托夫和柴德勒合著的「有色重金屬冶金計算」一書。

著者請求各中等專業學校講授有色重金屬冶金學課程的教師們，情自己對本書內容的批評和意見寄給本人。著者也將懷着感激的心情來接受一切有色冶金專家們的意見。所有信件均請寄至冶金出版社交著者收（Москва 34, 2-й Обыденский пер.д. 14）。

緒 論

歷史簡述

遠在史前時代，人類就知道有銅。在很長一個時期內，人們曾用手工業方法每次提煉出少量的銅。

俄羅斯也是在遠古時代就已取得了銅，但也是用手工業方法小規模的生產。十八世紀初葉，由於我們祖國的經濟普遍高漲，煉銅工業得到了迅速的發展。當時在烏拉爾開始建立了許多工廠（其中有些工廠幾乎存在到現在）。

到十八世紀中葉，俄羅斯煉出的銅曾佔世界第一位，每年都有大量的銅向國外輸出。

俄羅斯最初的一些煉銅廠是俄羅斯人自己建立起來的，並無外國人的幫助。

第一本關於銅冶金的教科書，是俄羅斯天才科學家米哈依爾、瓦西里也維奇、羅蒙諾索夫編寫的，他曾發表過「冶金和礦業的初步原理」的著作。在此書中，羅蒙諾索夫敘述了當時外國科學家們所不知道的一些生產過程，並對這些過程作了創造性的理論分析。

許多新的生產過程和設備結構都是最先在俄羅斯工廠中研究出來，首先加以運用，然後外國人才模仿採用的。只要提及幾位俄羅斯傑出的工程師如阿烏愛爾巴赫（見蘇維埃大百科全書第2版第3卷488頁）、謝苗尼科夫（冰銅吹煉過程的創始人）、依奧薩（阿爾泰冶金工業的組織者）等就足以表現出俄羅斯工程師——技術革新者們的傑出作用。在冶煉過程的理論研究方面，俄羅斯的科學家和工程師們所起的作用特別巨大。繼羅蒙諾索夫之後，門捷列夫又完成了「化學元素週期律」——近代化學的基礎的巨大工作。有色金屬冶金，特別是銅冶金，常被稱爲是「高溫化學」，因爲各種化學反應是一切冶煉過程的基礎。

巴依科夫院士的著作是舉世聞名的，他創立了自熱熔煉和半自熱熔煉的理論，他最先研究了冰銅的性質，以及在銅冶金中起着重大作

用的許許多多的反應。

庫爾納科夫院士所創立的新的物理化學分析方法使得他和他的學生能作出許多二元和三元相圖（成分-性質圖），這些相圖可以解釋很多造渣及造冰銅的過程。

莫斯托維奇教授曾長期、而且很有成效地從事於銅冶金的理論研究，他最先指出了高價鐵氧化物所起的作用。

關於銅化合物及其伴生礦物的熱力學（各種硫化物及氧化物的離解壓力等等）已進行過許多研究工作。從事這方面研究工作的有教授克列斯托夫尼科夫、格拉西莫夫、布里茨克、沃爾斯基、阿維齊祥等。

斯米爾諾夫教授在他的著作「反射熔煉」一書中對反射熔煉反應的研究作出了極其重大的貢獻。

第一篇 銅冶金

第一章

概論、礦石和精礦

銅的性質及其用途

銅是一種紅色、柔軟、有展性的金屬，具有高度的導電性和導熱性。

銅的性質

原子量.....	63.57
20° 時的比重.....	8.89
1083° 時液體銅的比重.....	8.22
1100° 時液體銅的比重.....	7.96
1200° 時液體銅的比重.....	7.81
熔點°C.....	1083
沸點°C.....	2310
17° 時的比熱容, 卡/克	0.0911
熔化潛熱, 卡/克	43.3
斷面積 1 平方毫米, 長 1 米的	
銅絲 20° 時的電阻, 歐姆.....	0.017241

導電性和導熱性是銅在各主要工業部門被應用的決定性條件。此

外，銅能抵抗大氣和某些化學藥劑的影響。銅在空氣中會被一層鹼性鹽類的薄膜蓋覆着，這種薄膜能保護銅不再發生腐蝕。此類鹼性鹽有毒，因此使用銅製器皿必須鍍錫，即在器皿裡面鍍一薄層的錫、錫和銅生成合金，因而此純錫薄膜能很好地保持在銅的表面上。純銅因對大氣和海水的影響具有穩定性，故可用來蓋房頂（特別是大型的和多層的房屋），做海船船身的外殼，製造建築物、儀器以及輪船上用的許多種零件（門把手、指南針等等）。

銅能與許多金屬組成性能很可貴的各种合金。

最著名的合金有黃銅（銅鋅合金）、青銅（銅錫合金），白銅和孟奈合金（銅鎳合金）。

表 1 所列為銅應用範圍的說明（根據美國 1936 年的統計）。

表 1

銅的應用範圍（據美國 1936 年的統計）

消 費 者	佔總數的 %
電氣工業.....	22
電話及電報.....	6
製造電纜及電線.....	9
合金、製造小件物品.....	31
建築工程.....	10
汽車工業.....	9
製網用銅絲及其他非電工上的需要.....	8
製造輸出品.....	5
總 計.....	100

從統計表可以看出，有37%的銅用在電器工業上（製造電動機、發電機、電綫、電話、無線電等），31%左右用於製造合金，10%用於建築工程等。因為銅在軍事需要上使用很廣（製造彈帶等），故有關銅在各工業部門分配情況的最近統計資料不是與事實不符，便是只有一些極不完整的報道。

各資本主義國家的銅產量, (千噸)

國 家	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948
歐 洲											
大不列顛.....	4.0	4.1	4.5	—	4.5	7.2	7.2	—	—	—	—
德 國.....	68.2	66.5	50.1	45.7	40.0	37.0	45.0	—	33.7	18.4	39.6
西班牙.....	9.1	7.2	6.0	5.9	8.2	9.5	9.3	5.4	9.0	8.1	13.2
意大利.....	3.0	2.5	2.4	2.8	3.2	1.5	—	—	—	—	—
挪威.....	10.4	10.4	6.7	4.9	4.6	2.0	0.9	1.7	7.5	7.8	8.5
芬 蘭.....	11.7	13.1	10.8	8.7	13.1	15.1	7.7	11.7	18.8	20.0	19.0
瑞典.....	10.6	11.0	12.3	11.8	15.0	15.8	16.1	18.8	14.0	13.7	—
南斯拉夫.....	41.7	41.3	42.6	—	31.5	27.0	22.5	—	—	—	—
北 美 洲											
美 國.....	538.3	730.4	1009.7	1020.1	1107.2	1113.1	1018.8	792.5	591.4	863.6	847.0
加拿大.....	214.3	237.3	254.3	252.5	242.1	230.9	222.7	198.5	150.3	183.2	195.1
中 美 洲 和 南 美 洲											
墨西哥.....	36.8	43.9	34.1	43.7	46.1	40.0	35.4	53.8	50.8	55.4	52.2
智利.....	334.8	333.8	344.8	452.3	473.0	484.7	486.0	458.5	355.8	405.2	423.0
秘 魯.....	35.3	33.7	33.4	28.1	29.3	28.1	26.1	25.0	19.4	17.6	12.7
亞 洲											
印 度.....	5.4	6.6	6.7	6.0	5.9	6.1	5.8	6.0	6.4	6.0	—
土 耳 其.....	2.3	6.7	8.7	10.4	8.2	9.6	10.9	9.7	9.9	10.0	12.0
日 本.....	100.2	92.1	101.6	100.9	100.9	114.5	105.8	45.4	23.0	35.5	54.3
非 洲											
比屬剛果.....	122.9	121.7	147.7	160.9	164.6	155.6	164.2	158.9	142.6	149.7	155.0
羅德西亞.....	213.7	213.6	262.4	232.6	251.9	249.3	221.9	194.0	184.4	196.4	213.6
南非聯邦.....	13.5	10.3	—	—	—	23.0	—	—	—	28.7	30.0
總 計.....	1758.7	1985.2	2344.0	2392.1	2550.8	2595.6	2417.0	1988.5	1636.0	2014.0	2065.7

煉銅統計及煉銅中心

表 2 所示為各資本主義國家在 1938—1948 年間的產銅量。

有一個很長的時期，美國曾在銅的年產量方面佔據世界第一位。在從 1910 年到 1938 年這一時期內，非洲中部（北羅德西亞——英國殖民地及比屬剛果）、南美洲（智利和秘魯）以及加拿大等地的銅產量曾有顯著增加。在德國、南斯拉夫、西班牙、挪威、瑞典和芬蘭等國家也有相當大量的銅煉出來。

帝俄時代（十八世紀）的煉銅業曾達到過很高的水平，並且烏拉爾各工廠煉出的銅也會向國外輸出。但是由於沙皇統治者們所實行的掠奪性的經濟政策，由於不懂技術而對工廠管理不加注意，以及由於當時的技術水平不高，致使祖國的煉銅工業陷於衰落。1913 年銅的產量僅為 33700 噸，於是銅的輸入代替了銅的輸出。在外國武裝干涉的年代裡（1919—1922），煉銅業幾乎完全停頓。最後，只有在蘇維埃政權下，才組織起礦床的合理經營，蘇聯地質學家在新地區所發現的新礦床已被開拓，許多以近代技術裝備起來的新型工廠，已被建立起來，同時銅的年產量已大大地增加。

歷史簡述

遠在史前時代（青銅時代）人們就從人工挑選出來的富氧化銅礦石中提煉銅。最初煉銅是在火堆上進行，將氧化銅礦塊放在熾熱的木炭上。後來，便將木柴和礦石依次一層層地堆起來進行熔煉。過一個時期後，人們發現將這些堆放在坑內進行熔煉更為有利及容易，而後由埋在坑邊的木管向坑內送風（見圖 1）。熔煉作業結束之後，便將銅從坑底取出，然後進行鍛造。

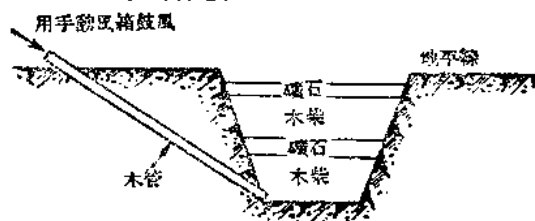
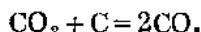
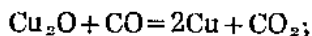


圖 1 坑法煉銅簡圖（垂直斷面）

這種用於煉銅和煉鐵的煉坑，二十世紀初期還存在於某些地區（西伯利亞、高加索，非洲）。

隨着銅消費量的增加，就有必要提高這種煉坑的生產率。這個目的很容易達到，只要一面使煉坑的容積增大，一面沿煉坑各邊用圓石砌起牆壁來。漸漸地，這些牆壁便越砌越高，圓石也被耐火石（滑石）後來又被耐火磚所替代了。這樣，就出現了第一批用木炭進行氧化銅礦還原熔煉的冶金鼓風爐（土法熔礦爐）。此種熔煉過程的主要反應為：



土法熔礦爐的最大缺點就是砌爐壁的材料會很快地溶解於所生成的熔渣中，因此需要經常修補；停爐次數很多，所以爐子的生產率低。為了消除這些缺點，曾在爐壁裝置水管，沿着水管有水循環流動以冷卻爐壁。這種在爐壁磚砌體中設有冷卻管的鼓風爐直到現在仍然保留在黑色冶金中——這就是高爐。在有色冶金中，爐壁用磚砌築的鼓風爐已成為歷史上罕有的東西了（挪威愛維耶工廠還有這種鼓風爐）。

為了增大爐壁的穩定性，開始用鐵製水箱（水套）做爐壁，通過水套有水不斷地循環着。水冷的水套壁上蓋覆着一層已凝固的爐渣及已燒結的爐料（“壁結”）它可防止鐵與熔煉產物相接觸。這種具有水套爐壁及直立工作空間的爐子就叫做鼓風爐。在有色冶金中，鼓風爐迄今仍是一種普遍使用的爐子，它不僅供煉銅用，也還用於煉鉛、煉鋅、煉錫等（見圖 2）。

隨着露出地面上的呈美麗綠石狀的富銅礦（孔雀石）逐漸被採盡，乃不得不加深礦井。

在從深井採取礦石的情況下，礦石的性質已起變化。含銅的氧化礦物（其中銅係與氧結合着）已見不到，代之而出現的為硫化礦物，銅在其中係與硫結合着。

因為銅的硫化物在土法熔礦爐的還原氣氛中熔煉時，不會與由木炭燃燒所生成的一氧化碳起作用，所以要從此種硫化礦石中煉出銅來會成為不可能的事情。然而，冶金家們發現硫化礦石在還原熔煉之前須經人工氧化，亦即須焙燒至硫完全除去（在工廠裡一般叫做「死

燒¹)。此種先將礦石堆燒而後再還原熔煉的處理流程，在銅冶金中一直保持到二十世紀初期，但在現時，由於經濟上的原因，這種方法很少使用(非洲喀坦加的工廠除外)，因此在本書中也不再加以研究。

冶金學家們注意到各種硫化物與空氣中的氧所發生的氧化作用乃是放熱反應，並且放出的熱能使焙燒礦堆內部的溫度提高至很高的程度，以致一面礦石熔化，一面有硫化物的合金生成。於是產生了一種想法，就是利用硫化礦氧化時放出的熱，直接在鼓風爐內使爐料熔化。1895 年，曾研究出一種煉銅方法：主要是利用硫化亞鐵（在礦石中以黃鐵礦礦物 FeS_2 形態大量存在，佔礦石重量的 75% 以上）的氧化放熱反應進行礦石的熔煉。這種熔煉礦石的方法叫做**自熱熔煉**。

對含黃鐵礦不足的礦石，熔煉時所缺乏的熱量係靠增大焦炭消耗量來補充。這種靠焦炭和礦石中黃鐵礦的燃燒而進行的熔煉，叫做**半自熱熔煉**，此法不僅在銅冶金，而且也在鎳冶金中相當廣泛地應用着。在現時，半自熱熔煉比純自熱熔煉更常應用。

雖然礦石中含硫量比含銅量約多到二十倍，但在自熱熔煉時礦石中的全部硫都要失掉。此點很引起冶金學家的注意，因此 1931 年研究出了改良自熱熔煉，即所謂**銅硫熔煉法**，用於處理黃鐵礦，可獲得商品硫磺（塊狀或粒狀元素硫）。此法已在蘇聯應用。

十九世紀末期和二十世紀工業的飛躍發展，提出了對銅的產量迅速提高的要求。這點也已實現，因為由於選礦的成功已能處理含銅很少的所謂**浸染礦石**。由選礦廠送去進行冶煉處理的原料便轉變為精礦，這是一種細小而潮濕的粉砂，不宜直接在鼓風爐中熔煉。此種精礦是用反射爐處理。這種**反射熔煉法**已在全世界獲得最普遍的應用。現在大部分的銅都是按照反射熔煉流程從銅礦石中提煉出來的。

上述四種處理銅礦的主要流程（自熱熔煉、半自熱熔煉、銅硫熔煉和反射熔煉）產出的都不是成品銅，而是半成品**粗銅**，是為許多煉銅廠的最後產品。這種粗銅並不交付使用部門，而須送到銅精煉廠去，在此進行火法精煉及電解精煉，並產出成品銅。

一部分礦石是按照所謂濕法煉銅的流程加以處理。

濕法治煉廠往往是設立出產氧化銅礦的地區的附近。此外，在

礦山上也時常有提取銅的設備。

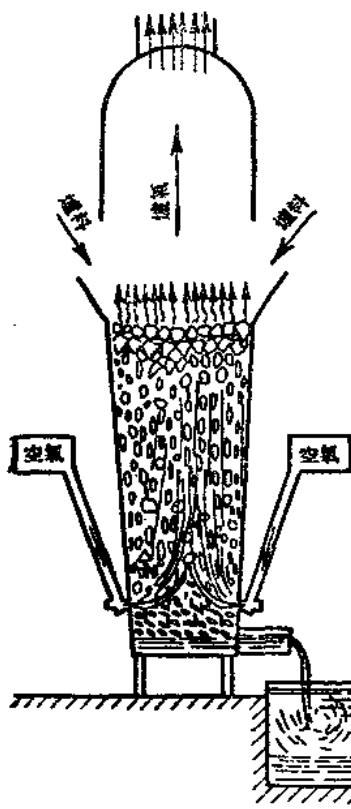


圖 2 鼓風爐斷面簡圖

銅礦石和銅精礦

銅礦石是一種岩石，其中除有其他礦物外，還含有含銅的礦物。

如果岩石內沒有含銅的礦物或有含銅礦物但為量不適於利用時，則此種岩石便叫做脈石。

下面所列是包括在銅礦石普通礫岩礦物中的主要含銅礦物：

黃銅礦		CuFeS_2
輝銅礦		Cu_2S
銅 藍		CuS
孔雀石		$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
矽孔雀石		$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

除了這些含銅礦物以外，還有許多種很少發現的其他礦物，所以

這裡不再列舉。

銅礦石內除銅外，還常含有其他有價值的組元。這些混合礦石叫做銅鋅礦、

銅鎳礦等等。此類礦石內最常見的有價值礦物有下列數種：

閃鋅礦		ZnS
鎳黃鐵礦		$(\text{Ni}, \text{Fe}) \text{S}$
黃鐵礦		FeS_2

閃鋅礦和黃鐵礦常用選礦方法、主要是用優先浮選法從上述礦石中分離出來。

黃鐵礦精礦係送至化學工業部門用以製造硫酸。

由優先浮選法選出的鋅精礦的處理方法在“鉛鋅冶金學”一書中

加以研究，而銅鎳礦石的處理方法則在本書「鎳冶金」一篇內詳加敘述。

屬於不含銅且無相當價值的所謂脈石礦物，乃是由許多種氧化物在極不相同的形式下組合起來的所有礦物。我們不準備研究所有這些脈石礦物，但由於它們對造渣過程具有重大的意義，所以把這些礦物中的幾種主要組元列舉在下面：

二氧化矽·····	SiO_2
石 灰·····	CaO
氧化鎂·····	MgO
氧化鋁·····	Al_2O_3

根據脈石各種元素含量的不同，銅礦石可分為：幾乎全由硫化物組成的**自熱熔煉礦**（含黃鐵礦約為礦石重量的75%）和**半自熱熔煉礦**（含黃鐵礦較少）以及含硫化物極少，且硫化物係呈微小顆粒嵌佈於脈石主體中的**浸染銅礦**。

雖然浸染礦石照例含銅最少（僅 1--2 %），但由於選礦後可得到良好的效果，故此種礦石也是煉銅的主要原料。

除上述以較多數量存在於銅礦石中的各種礦物以外，還有一些礦物，它們含在礦石的數量照例不多，所以這些礦物中所含的組元應看作是雜質。

在銅礦石中常發現有：金、銀、砷、銻、鉍、鎢、鉬、鉛、鋅、錳等金屬。

總結起來，我們可得到幾種按照不同特徵進行銅礦石分類的系統：

1. 按照礦石中各種礦物的性質分為：
 - 1) 硫化礦；
 - 2) 氧化礦。
2. 按照礦石中各種硫化物，特別是黃鐵礦的含量分為：
 - 1) 自熱熔煉礦；
 - 2) 半自熱熔煉礦；
 - 3) 浸染銅礦。

3. 按照有價值的組元數量分爲：

- 1) 處理目的只在於提取銅的單純銅礦；
- 2) 提銅之外還同時提取其他有價值組元的混合銅礦。

銅礦的礦床

由於礦石的種類不同，礦床也就不同，也就是有自熱熔煉礦礦床、半自熱熔煉礦礦床和浸染礦礦床，以及硫化礦礦床、氧化礦礦床和混合礦礦床等等。但應注意到各種礦床通常都是按其中佔優勢的礦石而命名的，常常除了自熱熔煉礦石以外，礦床中同時還有浸染礦石等等。各種礦石在礦床中的一般位置可見圖 3 所示。

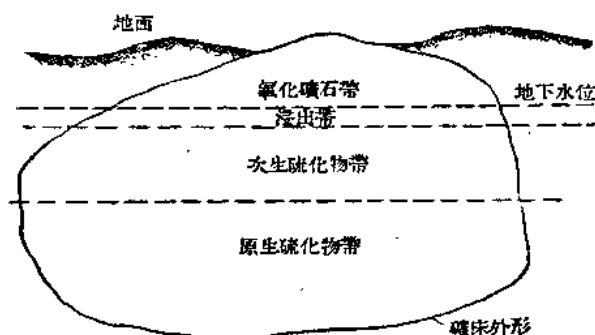


圖 3 銅礦床中各種礦石帶的分佈情況（垂直斷面簡圖）

地下水位以上的上層部分通常爲氧化礦石帶，也就是在此帶中，原生的硫化礦物已完全或幾乎完全氧化，變成氧化礦物（孔雀石，矽孔雀石，褐鐵礦）。在自熱熔煉礦的礦床中由於含有大量鐵的氧化物，所以這一部分通常稱爲「鐵帽」。從烏拉爾礦區「鐵帽」中採出的某些礦石曾用來提煉生鐵，也有某些礦石由於其中含金很多，故曾作爲金礦開採。在某些浸染礦石的礦床中，此氧化礦石帶曾被開採作爲濕法冶銅廠的原料。

在地下水激烈運動的水平上有一層不太厚的浸出帶，其中的銅有大部分被流動的地下水沖掉。此浸出帶中的岩石有時含銅過少，而被