

有色冶金 鼓风炉熔炼

В.И. 斯米尔諾夫 著

陈 维 东 等 译

冶金工业出版社

有色冶金
鼓風爐熔煉

В.И. 斯米尔諾夫 著
陈 維 东 等 譯

冶金工業出版社

本書詳細地敘述了有色冶金中所广泛采用的各种类型鼓風爐熔煉的理論和实践。書中闡明了鼓風爐还原熔煉和氧化熔煉的理論基础，詳細地說明了各种熔煉过程的实践，並且對於鼓風爐的構造、熔煉产物及爐子工作中的維護等都作了敘述。書中列举了鼓風爐設計时的配料計算和确定爐子尺寸的例子，對於进一步改善有色冶金中鼓風爐熔煉过程的途徑也作了簡要的說明。

本書供生产工程师和科学工作者使用，也可供高等学校学生参考。

本書由陈維东（序言、第一、二、三、四、九、十章）張国康（第三、五章）董庆和（第六、七、八、章）黃祥贊（第三章）四人翻譯，並由張国康校对。

統一書號：15062·741

定 价：精裝 3.40 元
平裝 3.00 元

目 录

中文版序言	6
序言	7
第一章 鼓風爐熔煉概論	10
鼓風爐熔煉的一般特性	10
鼓風爐熔煉法的各种形式	19
鼓風爐熔煉的优缺点	22
第二章 鼓風爐熔煉前的物料制备	25
对鼓風爐熔煉物料質量的基本要求	25
物料的破碎和篩分	27
細碎物料的制团	30
細碎物料的燒結	35
第三章 鼓風爐还原熔煉法	48
鼓風爐还原熔煉氧化物料和焙燒硫化物料的一般理論基础	48
鉛燒結塊熔煉成鉛的鼓風爐熔煉	60
氧化錳矿的鼓風爐熔煉	79
氧化鈷矿和轉爐渣的鼓風爐熔煉	105
氧化銅矿的鼓風爐熔煉	111
錫精矿和含錫爐渣的鼓風爐熔煉	119
从含鋅爐渣中蒸餾鋅的鼓風爐熔煉	124
氧化銻矿的鼓風爐熔煉	133
第四章 硫化矿的鼓風爐氧化熔煉法	136
各种形式鼓風爐的硫化矿氧化熔煉概論	136
鼓風爐氧化熔煉硫化矿的一般理論基础	137
純自热熔煉法	149
改良自热熔煉法	168
半自热熔煉法	188
銅鎳硫化矿的半自热熔煉法	214
鼓風爐氧化熔煉的其他形式	220
第五章 現代鼓風爐的構造	225
鼓風爐的發展簡史	225
水冷爐壁鼓風爐的优点	226

熔煉銅和鎳的硫化矿石的鼓風爐構造	237
熔煉氧化鎳矿石的鼓風爐構造	257
改良自熱熔煉的鼓風爐構造	265
熔煉鉛燒結塊的鼓風爐構造	270
第六章 鼓風爐熔煉產物	285
鼓風爐熔煉產物概述	285
爐渣	286
冰銅	311
砷冰銅	326
粗金屬	331
爐氣	333
煙塵	337
第七章 鼓風爐熔煉的燃料和空氣、鼓風爐的熱工	242
燃料	242
鼓風爐的空氣制度	350
鼓風爐的熱工	359
鼓風爐焦點的理論溫度	373
鼓風爐內爐氣的運動和溫度的分佈	382
第八章 鼓風爐的維護	287
鼓風爐的開爐	387
運料和裝料	397
爐子的作業	404
鼓風爐的暫時停爐	410
鼓風爐爐期的持續時間	412
停爐	412
鼓風爐作業中的故障及其防止方法	414
鼓風爐熔煉的安全技術	422
第九章 鼓風爐熔煉的技術經濟指標	428
鼓風爐熔煉技術經濟指標的一般特征	428
鼓風爐熔煉過程的技術控制	432
提高鼓風爐生產率的途徑	439
減少鼓風爐熔煉燃料消耗的方法	447
鼓風爐熔煉的新觀念	451

第十章 冶金計算	464
1. 鼓風爐熔煉鉛燒結塊成粗鉛的配料計算	464
2. 氧化鎳物料还原硫化熔煉的配料計算	475
3. 自熱熔煉的配料計算	486
4. 半自熱熔煉的配料計算	492
5. 改良自熱熔煉的配料計算	493
6. 鼓風爐尺寸的計算	501
參考文獻	504
對於 В. И. 斯米爾諾夫所著“有色冶金鼓風爐熔煉”一書的評論 ..	507
關於 В. И. 斯米爾諾夫教授所著“有色冶金鼓風爐熔煉” 一書的討論	510

中文版序言

鼓風爐熔煉是最有效的古老的火法冶煉方法之一，这种方法直到今天仍然在有色冶金工業中有着很大的意义。

在中华人民共和国，这种方法是用在銅、鉛冶煉厂及再生有色金屬冶煉厂中。例如，鼓風爐熔煉在沈陽冶煉厂用来熔煉銅和鉛的燒結塊，在銅官山冶煉厂用来熔煉銅燒結塊，而在上海冶煉厂和昆明冶煉厂則用来熔煉再生有色金屬。

在有色冶金的进一步發展中，中华人民共和国將采用一些新的熔煉方法——电爐熔煉，散狀精矿的焙燒熔煉，等等。但是，除了这些新的熔煉方法外，在中国的一些工厂中無疑地还会保留着鼓風爐熔煉法。

本書作者希望他的著作對於改进中国工厂的鼓風爐熔煉过程有所裨益。

教授 B. H. 斯米尔諾夫

1957年5月4日于斯維尔德洛夫斯克

序 言

苏联的国民經济是按照社会主义基本經济規律發展的。这个規律使得苏联的生产在高度技术的基础上不断地增長。与国民經济其他部門一样，苏联有色金屬的生产也在不断地發展和壯大。

具有历史意义的苏联共产党第十九次代表大会在關於1951—1955年苏联發展第五个五年計劃的決議中，規定在五年內有色金屬的增長如下：精制銅增加90%；鉛增加1.7倍；鋁至少增加1.6倍；鋅增加1.5倍；鎳增加53%；錫增加80%。随着有色金屬生产的增長，將进一步改善和采用新的工艺过程，以保証增加高品級金屬的产量。根据有色金屬的生产任务来看，在采矿和繁重工作全面机械化的条件下，应極力發展有色冶金为原料基地，並大大地改善冶金企業在利用原矿方面的工作。

由於苏联拥有丰富的矿产資源、高度發展的机器制造业和动力基地以及技术熟練的工人和專家干部，因而苏联就具备了按拟定的計劃發展有色金屬工業所必不可少的一切先决条件。

浮游选矿方法的广泛应用，必須認為是现代有色金屬冶金的特点，因为浮选能保証从貧矿石中提取各种金屬和扩大冶金工厂的原料基地。由於采用了浮游选矿，在大多数情况下，冶炼厂現在所得的原料已不是矿石，而是含有很多金屬和水份的粉狀精矿。

送往冶炼厂的原料性質之改变，对冶炼处理的工艺过程有了重大的影响，而且在許多情况下，要求改变或运用新的冶金工具。例如煉銅厂以前是用鼓風爐熔煉塊矿，但由於获得了大量的精矿，其物理性質不适合於鼓風爐熔煉，因此就必须建造大型的反射爐，而减少甚至完全停止鼓風爐熔煉。在另一些工厂中（煉銅、煉鎳和煉鉛等厂）过渡到处理精矿时，曾要求新建或扩建原有的燒結工厂。

虽然由於广泛地实行浮选和处理精矿，已在冶炼厂中引起很多变化，但是直到現在鼓風爐熔煉法在有色冶金中还有很大的意

一 〇 一

义。按实质来说，它仍是火法冶金基本方法之一，用在铅、锡、铜、锡和其他一些有色金属的生产中。

鼓风炉熔炼作为一个冶金过程而言，在铅冶金中有着特别重要的意义，在鼓风炉中熔炼铅精矿（预先经过烧结焙烧）成粗铅和炉渣是处理铅精矿的一种标准方法。

如果有含铅量不低于70—72%的富而纯的铅精矿，而且二氧化硅的含量不超过1.5%（铜、砷、锑等的总含量不超过4—5%，而每一种杂质又不超过1.5—2%）则可以采用最有效的膛式熔炼法，但是这种富而纯的精矿很难得到，因此目前用膛式熔炼法炼出的铅不超过全世界铅产量的10%。

鼓风炉熔炼在镍冶金中具有很大的工业上的意义。例如，苏联在氧化镍矿的冶炼中，鼓风炉熔炼暂时还是处理矿石唯一的工业方法。在处理硫化铜镍矿石及其精矿时，也广泛采用鼓风炉熔炼。直到现在，富的硫化矿石往往是用鼓风炉直接熔炼成铜镍永铜和炉渣；镍精矿和铜镍精矿有时经过烧结，再以烧结块的形式在鼓风炉中熔炼。而这种熔炼通常以过程加速和炉子生产率大为其特点。

由于铜矿石用浮选法经过富集，因此在炼铜厂中，广泛地采用反射炉熔炼法来处理经过焙烧或干燥的精矿。但是，在铜冶金中除了反射炉以外，直到今天往往仍采用鼓风炉。例如，在某些炼铜厂中，含铜黄铁矿系按改良自热法在鼓风炉中进行熔炼。

在某些炼铜厂中，用半自热熔炼法在鼓风炉中熔炼铜精矿或铜镍精矿烧结的烧结矿，也都很成功。但毕竟还有一些工厂直到今天仍然用鼓风炉熔炼未经浮选的高品位的块矿，因为这种矿石的浮选从经济观点上来看是不必要的，或者是金属的回收率也不高（例如：混合矿或高品位的氧化矿）。

鼓风炉熔炼在有色金属冶金的其他许多部门中应用得也很广泛。在锡冶金中，鼓风炉有时用来熔炼精矿，并广泛地用来处理富锡渣成为金属和废渣。

在钴冶金中，用鼓风炉熔炼法处理多成份的砷矿和生产中的

爐渣。並且常用鼓風爐熔煉法來處理高品位的含金礦石，以及砷礦石和銻礦石。近三十多年來，探討了在鼓風爐中處理鋅生產的各種廢料——鋅渣，焙燒鋅精礦的浸出渣等——的方法，而且也在工業上得到了廣泛的應用。這里包括在所謂發生爐中進行的熔煉方法，在鼓風爐中通過液體爐渣吹入粉煤的鋅蒸餾法，等等。

由於鼓風爐熔煉在有色金屬冶金中有很大的意義，而且今後還要繼續使用，當然，進一步研究這一方法，以便做出新的改進並提高原料處理效率是完全必要的。蘇聯冶金界對鼓風爐熔煉問題感到很大的興趣，主要是表現在近十五年來對這一問題所召開的專門會議，以及由定期刊物所組織起來的專門討論上。

雖然鼓風爐熔煉過程在有色金屬冶金的不同領域中各有其獨特的特點，但是鼓風爐具有共同的工作原理。而這一原理決定了有同樣的配料方法，過程的控制和操縱，以及爐子構造上顯著的共同性。所有這些情況，就是必須出版這本講述有色金屬冶金中鼓風熔煉過程的理論和實際問題的書籍的充分理由。

在編著本書時，作者曾參照了本人在1939年出版的“銅礦和銻礦鼓風爐熔煉”一書中的資料，以及1939—1948年發表於蘇聯雜誌上的一些論文。作者在編著本書時，對於作者所能掌握的有關鼓風爐工作的一些資料的綜合，以及能代表各種不同類型的鼓風爐熔煉過程的原理的闡明，都給予很大的注意。本書可供工程技術人員、科學工作者以及高等工業學校與中等專業技術學校學生之用。

教授 B. B. 斯米爾諾夫

第一章

鼓風爐熔煉概論

鼓風爐熔煉的一般特性

鼓風爐是一種最老式的冶金設備，這種形式的爐子早在紀元前幾百年就已經採用了。

在長期使用過程中，特別是在近百年中，鼓風爐的尺寸、形狀和構造都經過了很大的改變。由於這些改變的結果，雖然爐子的基本工作原理仍如以前一樣，但近代鼓風爐的形式已經完全不同於一、二百年前所應用的爐子。

鼓風爐的尺寸和構造上的演進，是由於工作規模和設備照管方法改變的結果。與鼓風爐的發展的同時，在照管爐子的繁重操作的機械化方面，也有很大的進步。供給熔煉物料和運送爐內熔煉產物的運輸工具已逐漸出現和日臻完善，出現了加料設備，同時在鼓風設備方面也有了很大的變化。這一門技術經歷了一條漫長的道路——從使用簡陋的手風箱鼓風到使用複雜的現代鼓風機。

顧名思義，鼓風爐^①乃是一種具有垂直作業空間並與圓形或矩形豎井相似的設備，爐料（即礦石和熔劑的混合物）和燃料從爐子上部加入，而空氣則經過爐壁下部的風口鼓入。

由於燃料燃燒時所生成的熱，或硫化物氧化時的放出的反應熱，或是兩者同時發生的熱，使爐料熔化，並形成液體熔煉產物。

熔煉過程至少生成兩種不相混合的熔煉產物，其中一種濃集了所要提取的金屬；礦石和熔劑中的脈石及礦石中大部分的鐵都進入到另一種產物中。

① 原文為Шлапная печь亦可譯為直井爐，因此從字面可以想像爐子與井相似——譯註。

随熔煉物料成分的不同，濃集了所要提取的金屬的液体产物具有各种不同的性質：当熔煉硫化物料时，一般的产物就是冰銅，即所要提取的金屬硫化物与硫化鉄的合金；如果爐料是金屬氧化物，而只含有少量的硫，則熔煉成粗金屬。

当熔煉含砷的或含銻的矿石或中間产物时，某些有色金屬：如鈷、鎳、部分的銅生成砷冰銅，即金屬的砷化物或銻化物的合金，其中也濃集了大部分貴金屬和鉑族金屬。

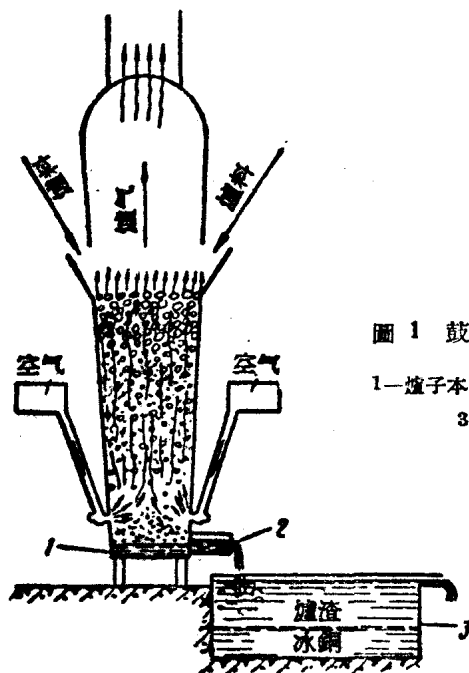


圖 1 鼓風爐工作示意圖

1—爐子本床； 2—放出窗槽；
3—外部前床

另一种产物是造岩矿物的氧化物和氧化亞鉄的合金，即所謂爐渣。在大多数情况下，它是一种廢物，而送往廢渣場去。但是，如果其中含有很多金屬，而且回收这些金屬在經濟上是合理的，則爐渣須經過專門处理，或者以所謂返回料形式再重新熔煉。

液体熔煉产物連續地流到爐子下部——本床区，並且由此处連續地或間斷地放到爐外的前床或包子中（圖1）。

各种熔炼产物间断地从爐内直接放出时，水銅和爐渣，或粗金屬和爐渣的分离是在爐内本床区进行的。当熔融产物一起連續地从爐内放出时，熔炼产物在外部前床中进行分离。液体熔炼产物的分离是由于它們在液体状态时的互相溶解極其有限。由於熔炼产物不互相溶解和不互相混合，而按比重自行分离，因而保証有可能將爐渣和另一种产物（其中濃集了所要提取的金屬）分別从本床或前床中放出。

經过爐子下部風口送入爐內的空气是氧气的来源，它参与熔炼过程中最重要的反应。依靠鼓風中的氧使燃料或硫化物进行燃燒，造成爐内必要的温度和产生过程所需的热量，同时也产生必需的造渣成分——氧化亞鉄。

在还原熔炼时，氧与碳化合成一氧化碳，是金屬氧化物的有效还原剂。在鼓風爐还原气氛中，銅、鉛、鋅和鈷的氧化物还原成金屬状态，而高价氧化鉄——氧化鉄和磁性氧化鉄則还原成易於造渣的氧化亞鉄。

由於空气的作用，在爐内生成气体，其中全部或大部分的氧成化合状态而存在：1) 与碳化合成二氧化碳和一氧化碳；2) 与硫化合成二氧化硫；3) 与其他非金屬以及某些金屬化合成揮發性的氧化物。

爐气对爐料是作逆向的对流运动，並且直接透过爐料層。爐气在爐子上部加料的地方，即爐頂水平面或稍低於这一水平面的地方排去。

与有色金屬物料的其他熔炼法相比較，鼓風爐熔炼具有下列一些特点：

1. 鼓風爐只能处理塊狀或团結成塊狀的物料——矿石、燒結塊、熔剂和返回半产物。就其工作原理而言，鼓風爐完全不適於熔炼細碎物料（即指物料个别粒度或顆粒小於10—15毫米）。由於爐料中存在着大量的細料，致使加入爐內的物料透气性很坏，不可避免地会引起空气和爐气在爐内分佈不均匀，爐气或空气經过爐料中个别風洞或通道而通过。这样一来，鼓風中的氧或

爐氣中的一氧化碳的利用率降低，同時顯著地增大了由爐內帶走的細料的損失。因而使熔煉過程被破壞，爐子內部形成爐瘤，而導致過早的停爐。

沒有經過專門製備的物料，例如僅僅由一種精礦或煙塵所組成的物料，也即是說物料的粒度為2—3毫米或更小，完全不可能在鼓風爐中處理，而必須在反射爐中熔煉。如果要在鼓風爐中熔煉這些物料，必須預先用燒結或制團的方法將其團制。

2. 鼓風爐熔煉時，採用焦炭作為燃料；而在自熱熔煉時，則用爐料中的硫化鐵作為燃料；如在半自熱熔煉時，則硫化鐵只作為一部分燃料。鼓風爐中焦炭和爐料中硫化物的燃燒是在爐料內部進行的。由於透過爐料的爐氣與熔煉物料直接接觸，特別是由於爐料與爐氣的逆流運動，造成了良好的熱交換條件，因而保證了爐內有高的熱利用效率。

3. 鼓風爐中的最高溫度是在碳質燃料或硫化物強烈燃燒的區域——即所謂爐子焦點。此焦點通常在風口上面一些形成，並且隨熔煉性質和所熔煉物料的物理性質的不同，而沿爐子高度上下移動。

鼓風爐中最低溫度是在鼓風爐上部——加料面，廢氣即由此排出爐外。這樣，進入爐內的爐料下降時，要通過溫度範圍很寬——從200—600°C（加料面）到1300—1500°C（爐子焦點）的作業空間區域。

在爐子下部——本床區域，由於這裡沒有放熱反應，以及爐壁的冷卻作用，因而溫度稍有下降。

從本床內放出的液體熔煉產物通常加熱到1200~1300°C，即過熱到其熔點以上150~200°C。爐渣和冰銅或金屬這樣的過熱，對於液體產物的澄清和其按比重良好地分層有着重要的意義。

必須指出，爐內氣體溫度與爐料溫度之間有一些差別；爐內風口區上方的氣體溫度高於爐料溫度，因為對塊狀爐料的加熱，須有一定的時間，而氣體在爐內停留的時間還不到一秒鐘。

4. 鼓風爐內的最高溫度，是由爐渣熔點溫度及其必需的過

熱溫度、和爐子焦點的熱收入與熱支出之比來決定的。當爐渣成分及爐渣量一定時，增大熔煉過程中的焦炭消耗，同時相應地增大空氣消耗，並不能顯著地提高焦點的溫度，但能夠增加爐子的生產率。

5. 鼓風爐熔煉的反應，通常按其進行地區分佈如下：吸熱反應，如分解反應、主要是在爐子上部進行；放熱反應——燃燒反應，造渣反應等，主要是在爐子下部進行。

反應按照爐子的高度這樣來分佈，應認為是一種良好的現象，因為它促使爐子焦點集中，並且防止了高溫帶拉長。如高溫帶向上下拉長，則不可避免地會導致正常熔煉過程的破壞。

鼓風爐熔煉過程的溫度，一般是指風口區或風口區上面一點的氣體溫度，即爐子焦點溫度。在正常情況下，這一溫度高於在過程中所獲得的爐渣熔化溫度 $200-250^{\circ}\text{C}$ 以上，而且主要是取決於爐子焦點熱收入與支出之間的比值。

鼓風爐與反射爐不同：反射爐中燃燒產物的最高溫度，主要是取決於燃料燃燒的條件和燃料的質量，而在較小的程度上取決於熔煉物料的性質；但在鼓風爐熔煉時，爐內溫度除了取決於燃料燃燒的條件及其質量外，還取決於熔煉物料的成分，或者還要取決於所獲得的爐渣成分。鼓風爐的溫度大致可以由熔煉總的熱平衡來計算，該項熱平衡包括燃料燃燒過程和全部的熔煉化學過程。這一溫度可以由爐子焦點全部熱收入的總和與各種熔煉產物量乘其熱容量的乘積之和的關係而計算出來。爐子焦點的氣體溫度一般可按下列式計算：

$$t = \frac{Q - q_{\text{損失}} - q_{\text{需要}}}{\sum mc}$$

式中 Q —— 燃料燃燒的熱量；

$q_{\text{損失}}$ —— 燃料燃燒過程中損失的熱量，主要是經過爐壁的損失；

$q_{\text{需要}}$ —— 爐料需要的熱量，即將爐料加熱到焦點溫度所消耗的热量及熔煉過程中必要的化學相互作用和化

学变化所消耗的热量；

Σmc ——燃料燃烧产物和熔炼产物乘其相当的热容量之积的总和。

从上式中可以看出，鼓风炉内的温度与许多因素有关，即是：1) 燃料的质量和其燃烧强度，而此燃烧强度首先是取决于单位时间内鼓入的空气量；2) 炉料的成分、熔炼产物的成分和数量；3) 空气的预热及其含氧量；4) 影响热损失的炉子大小和构造；5) 炉料沿炉截面分佈的均匀性，它影响到空气的分佈和燃料燃烧焦点的集中程度。

当炉料的性质、炉子的大小和燃料成分一定时，炉子焦点温度由下列两个主要的条件来决定：燃料燃烧强度，即单位时间内鼓入炉内的空气量，和单位时间内通过焦点的炉渣成分和数量。

炉子焦点温度随燃料的燃烧强度而变动，甚至在炉料和炉渣的成分相同时，也有100—150°C的变动，而在个别情况下变动还更大。所有这些都与液体熔炼产物的过热程度有关，而主要是与炉渣的过热程度有关。

鼓风炉可以在不同的炉渣过热程度下进行工作，因此可以区分为“冷的”和“热的”熔炼进程。在第一种情况下，炉渣在炉子焦点过热到它的熔点以上数十度；在第二种情况下，炉渣在炉子焦点过热到它的熔点以上150—250°C。

在鼓风炉熔炼时，炉渣的过热只能达到一定极限，此极限由炉渣的流动性或移动性而决定。当炉料和炉渣的成分一定时，由于燃料强烈燃烧的结果，焦点温度可以达到一定的最大值，从而使得炉渣具有良好的流动性或移动性。如进一步强化燃料的燃烧，只能增加熔化速度和单位时间内经过炉子焦点的炉渣量，但不能显著地提高焦点温度。就这方面而言，就必须了解到鼓风炉的温度与产出的炉渣成份的关系。

如果在单位时间内，进入炉内使燃料强化燃烧的空气量不足（有时在工厂实践中会发生），那么即使炉渣的成份相同，焦点的温度也将比燃料采用强化燃烧时的情况要低很多。因此，炉渣