

反射炉熔炼

反 射 爐

(理論与实践)

增訂及修正第三版

B.H. 斯米尔諾夫 著

迟 新 等 譯

陈 季 云 等 校

冶 金 工 業 出 版 社

本書系根据苏联国立黑色及有色冶金科技書籍出版
出版的 В. И. 斯米尔諾夫教授所著《反射爐熔煉》
1 年版 原書評閱人為 Н. А. 薩漢斯基工程師。
本書是 及精礦在反射爐中熔煉的理論與實踐方
面的專論，共分九章。書中論述了熔煉過程的物理化學
原理，詳細敘述了反射爐和輔助設備的構造以及熔煉的
實踐，並列有爐料計算的方法和例題。

本書的對象是工程技術人員及科學工作者。

擔任本書翻譯工作的為沈陽有色冶金設計院遲新，
冶金工業部鄒培浩，北京有色冶金設計院冶煉處張國
康、王鍾慈、陳啓慧、劉玉德、楊天縱、梁易健等同
志；擔任校訂工作的為東北工學院有色重金屬冶煉教研
組：陳季云、楊洪有、王彭年、姜瀾、劉德育等同志，並
由王彭年（序言、第一、二、三、四章）與劉德育（第
五、六、七、八、九章）同志負責總校。

在本書校訂的過程中承蘇聯專家 И. Ф. 胡加科夫
（Худяков）副教授給予幫助和指導，特致謝忱。

В. И. Смирнов

ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ ПЛАВКА (ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА)

Металлургиздат (Свердловск—1952—Москва)

反射爐熔煉

遲 新 等譯
陳 季 云 等校

編輯：李建国 設計：趙香岑、魯芝芳 責任校對：楊維琴

1958 年 6 月第一版 1958 年 6 月北京第一次印刷 1,200 冊

850×1168·1/32·193,600 字·印張 10·定價 (10) 1.90 元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號 0802

冶金工業出版社出版（地址：北京市燈市口甲 45 號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 號

目 录

序言.....	6
第一章 緒論	8
反射爐熔煉的一般特点	8
反射爐熔煉的各种形式	11
反射爐熔煉的优缺点	14
第二章 反射爐的爐料及其在熔煉过程中的物理-化学变化	17
爐料的化学成分及物相成分	17
爐料組分在高温下的独自行为	24
铁的化合物	24
銅的化合物	31
鋅的化合物	39
鉛的化合物	43
鎳的化合物	43
碲与鎳的化合物	45
熔剂与造岩矿物	46
反射爐熔煉反应过程中的化学相互作用	47
1. $\text{CuO} (\text{Cu}_2\text{O}) - \text{Cu}_2\text{S}$ 体系	48
2. $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Fe}_3\text{O}_4) - \text{FeS}$ 体系	51
3. $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Fe}_3\text{O}_4) - \text{Cu}_2\text{S}$ 体系	59
4. $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Fe}_3\text{O}_4) - \text{ZnS}$ 体系	62
5. 鉄酸鹽—硫化物体系	67
6. $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Fe}_3\text{O}_4) - \text{SiO}_2$ 体系	73
7. $\text{CuO} (\text{Cu}_2\text{O}) - \text{FeS}$ 体系	75
8. $\text{Cu} - \text{FeS}$ 体系	76
9. $\text{Fe} - \text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Fe}_3\text{O}_4)$ 体系	79
10. 反射爐熔煉反应的总的研討	79
第三章 液体轉爐渣及其在反射爐中脫銅的条件。熔煉时的脫硫率	85
轉爐渣的成分与組織	85
轉爐渣在反射爐中的变化及其脫銅条件	92
反射爐熔煉的脫硫率	96
第四章 反射爐熔煉的产物	103
冰銅	103
爐渣	117

爐中冰銅與爐渣的形成過程。爐子的輪廓	133
反射爐熔煉的渣含銅	138
第五章 反射爐的構造	155
反射爐發展概述	155
現代反射爐的類型及主要尺寸	158
現代反射爐的構造	164
基礎與爐底	164
爐牆	168
爐頂	173
冰銅放出口，出渣口及轉爐渣的注入口	179
裝料設備	181
爐子的支架	184
利用廢氣熱的鍋爐	186
第六章 反射爐的供熱	189
熔煉時的供熱方法和燃料消耗	189
反射爐中的傳熱	192
對煤的要求及粉煤的製備	211
反射爐液體燃料的供應	215
燃燒器、噴燒器、及其類型與配置	215
二次空氣的預熱	219
反射爐採用天然煤氣供熱	221
第七章 反射爐熔煉的實踐	224
熔煉前爐料的製備及其儲存	224
熔煉前物料製備方法的選擇。生料、干料及焙燒爐料的熔煉	230
裝料方法	233
爐料及熔煉液體產物的化學成分	235
反射爐爐氣成分	237
抽力及燃燒器的工作制度	239
熔煉產物的放出及放出口的照管	243
裝料時爐料的飛揚及爐頂的工作期限	244
爐頂的照管及修理	254
爐子的工作期限	261
鍋爐的照管及其工作期限	261
反射爐的生產率	262
熔煉過程中的故障	265
熔煉的技術檢查	271

反 射 爐 煉 鋼

(理論与实践)

增訂及修正第三版

B. H. 斯米尔諾夫 著

迟 新 等 譯

陈 季 云 等 校

冶 金 工 業 出 版 社

本書系根据苏联国立黑色及有色冶金科技書籍出版
出版的 В. И. 斯米尔諾夫教授所著《反射爐熔煉》
1 年版。原書評閱人爲 Н. А. 薩漢斯基工程師。
本書是及精礦在反射爐中熔煉的理論與實踐方
面的專論，共分九章。書中論述了熔煉過程的物理化學
原理，詳細敘述了反射爐和輔助設備的構造以及熔煉的
實踐，並列有爐料計算的方法和例題。

本書的對象是工程技術人員及科學工作者。

擔任本書翻譯工作的爲沈陽有色冶金設計院遲新，
冶金工業部鄒培浩，北京有色冶金設計院冶煉處張國
康、王鍾慈、陳啓慧、劉玉德、楊天縱、梁易健等同
志；擔任校訂工作的爲東北工學院有色重金屬冶煉教研
組：陳季雲、楊洪有、王彭年、姜瀾、劉德育等同志，並
由王彭年（序言、第一、二、三、四章）與劉德育（第
五、六、七、八、九章）同志負責總校。

在本書校訂的過程中承蘇聯專家 И. Ф. 胡加科夫
（Худяков）副教授給予幫助和指導，特致謝忱。

В. И. Смирнов

ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ ПЛАВКА (ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА)

Металлургиздат (Свердловск—1952—Москва)

反射爐熔煉

遲 新 等譯
陳 季 雲 等校

編輯：李建國 設計：趙香岑、魯芝芳 責任校對：楊維琴

1958 年 6 月第一版 1958 年 6 月北京第一次印刷 1,200 冊

850×1168·1/32·193,600 字·印張 10·定價 (10) 1.90 元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號 0802

冶金工業出版社出版（地址：北京市燈市口甲 45 號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 號

目 录

序言.....	6
第一章 緒論	8
反射爐熔煉的一般特点	8
反射爐熔煉的各种形式	11
反射爐熔煉的优缺点	14
第二章 反射爐的爐料及其在熔煉过程中的物理-化学变化	17
爐料的化学成分及物相成分	17
爐料組分在高温下的独自行为	24
铁的化合物	24
銅的化合物	31
鋅的化合物	39
鉛的化合物	43
鎳的化合物	43
碲与鎳的化合物	45
熔剂与造岩矿物	46
反射爐熔煉反应过程中的化学相互作用	47
1. $\text{CuO} (\text{Cu}_2\text{O}) - \text{Cu}_2\text{S}$ 体系	48
2. $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Fe}_3\text{O}_4) - \text{FeS}$ 体系	51
3. $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Fe}_3\text{O}_4) - \text{Cu}_2\text{S}$ 体系	59
4. $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Fe}_3\text{O}_4) - \text{ZnS}$ 体系	62
5. 鉄酸鹽—硫化物体系	67
6. $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Fe}_3\text{O}_4) - \text{SiO}_2$ 体系	73
7. $\text{CuO} (\text{Cu}_2\text{O}) - \text{FeS}$ 体系	75
8. $\text{Cu} - \text{FeS}$ 体系	76
9. $\text{Fe} - \text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{Fe}_3\text{O}_4)$ 体系	79
10. 反射爐熔煉反应的总的研討	79
第三章 液体轉爐渣及其在反射爐中脫銅的条件。熔煉时的脫硫率	85
轉爐渣的成分与組織	85
轉爐渣在反射爐中的变化及其脫銅条件	92
反射爐熔煉的脫硫率	96
第四章 反射爐熔煉的产物	103
冰銅	103
爐渣	117

爐中冰銅與爐渣的形成過程。爐子的輪廓	133
反射爐熔煉的渣含銅	138
第五章 反射爐的構造	155
反射爐發展概述	155
現代反射爐的類型及主要尺寸	158
現代反射爐的構造	164
基礎與爐底	164
爐牆	168
爐頂	173
冰銅放出口，出渣口及轉爐渣的注入口	179
裝料設備	181
爐子的支架	184
利用廢氣熱的鍋爐	186
第六章 反射爐的供熱	189
熔煉時的供熱方法和燃料消耗	189
反射爐中的傳熱	192
對煤的要求及粉煤的製備	211
反射爐液體燃料的供應	215
燃燒器、噴燒器、及其類型與配置	215
二次空氣的預熱	219
反射爐採用天然煤氣供熱	221
第七章 反射爐熔煉的實踐	224
熔煉前爐料的製備及其儲存	224
熔煉前物料製備方法的選擇。生料、干料及焙燒爐料的熔煉	230
裝料方法	233
爐料及熔煉液體產物的化學成分	235
反射爐爐氣成分	237
抽力及燃燒器的工作制度	239
熔煉產物的放出及放出口的照管	243
裝料時爐料的飛揚及爐頂的工作期限	244
爐頂的照管及修理	254
爐子的工作期限	261
鍋爐的照管及其工作期限	261
反射爐的生產率	262
熔煉過程中的故障	265
熔煉的技術檢查	271

反射爐熱制度的自動調節	275
反射爐熔煉的安全技術	276
熔煉的技術經濟指標	280
第八章 蘇聯工廠反射爐熔煉實例	284
第九章 爐料計算及反射爐尺寸的決定	295
爐料的計算方法	295
例題1. 生精礦熔煉的計算	296
例題2. 焙燒及熔煉的爐料計算	298
計算熔煉時的燃料消耗。熔煉的熱平衡	306
反射爐尺寸的決定	311
反射爐熔煉方面的進步與新觀念	315
參考文獻	317

序 言

苏联人民在苏联共产党和苏联政府的领导下，正在胜利地建設着世界上第一个共产主义社会。列宁說：共产主义就是苏維埃政权加上全国电气化。

在伏尔加河、德涅泊河、頓河和阿姆河上的巨大水电站的建設，显示出苏維埃国家是怎样大規模地来解决共产主义动力基地的建設問題。这个問題的解决与国民經济各个部門的發展有关，其中也与增加銅的生产有关。

在斯大林五年計劃的年代里，苏联建成了巨大的銅工業，並且随着国家对銅日益增長的需要，今后还会获得更大和更快的發展。

應該指出，苏联銅冶金工業的發展不仅本着增長銅产量的方針，而且也在深刻改变生产工艺的情况下前进着。在革命前的俄国，銅矿石主要是采用鼓風爐直接熔煉法处理，因此矿石中一些有价值的成分永远損失掉了。現在苏联銅矿石主要是采用浮选法先处理，浮选法除了能提取銅以外，还能提取矿石中的其他有价值的成分。因此，浮选法乃是綜合利用国家矿物資源的一种方法。

由于采用了浮选法，因而現在进入我国各煉銅厂的矿石主要是細精矿，而不是塊矿，因而完全改变了熔煉的性質和生产中所采用的冶金爐的型式。除个别情况外，現在苏联各厂都采用反射爐来熔煉含銅物料，且反射爐熔煉的規模也在逐年增長。

关于銅矿石和銅精矿的反射爐熔煉問題，在俄文文献中、1930年出版的“熔煉銅矿石和精矿的現代反射爐”一書，第一次作了詳細的闡明。在以后的年代中作者也有許多其他著作来談这个問題。在这些著作中，叙述了爐子的構造，並且对熔煉过程的理論与实践也作了闡明。

考虑到評論者的意見及对反射爐熔煉問題的文獻日益增長的需要，作者于1941年在早先發表过的所有著作的基础上，並加

以必要的补充和修改，出版了大型的專論《反射爐熔煉》一書。該書談到了熔煉的理論與實踐以及爐子構造等問題。在這本專論里，根據《有色金屬》雜誌上發表的資料反映了我國各廠的工作經驗，並總結了很多研究工作的結果，這些研究工作都是戰前在蘇聯的學校和研究機關完成的。

自從該書問世以來已十年有餘，並且久已脫銷。但不論工廠的工程技術人員、或是高等工業學校的學生和科學工作者，對反射爐熔煉問題的專門文獻都有一定的需要，因此決定將本書再版。

本版與1941年初出版的第二版有很大的不同。除了在編排上的改變和必要的修正之外，在書中又根據反射爐熔煉的最新實踐和蘇聯科學的最新成就作了很多補充。在個別章節中刪去了一些目前已經失去實際意義的過時的資料和關於陳旧的構造的描述。同時書中也改換了許多新的插圖。

本版中補充最多的是新加的敘述反射爐熔煉的熱工特點一節。熔煉前爐料的製備一節完全改寫，並大大加以擴充。同時，熔煉的技術檢查一節也有所擴大，補充了一些檢查系統圖。

B. II. 斯米爾諾夫

1951年於斯維爾德洛夫斯克

第一章

緒論

反射爐熔煉的一般特点

《反射爐熔煉》這一術語，被用作銅礦石和銅精礦在火焰爐（反射爐）中熔煉過程的簡稱，而與另一術語《鼓風爐熔煉》是相對的。

反射爐熔煉的實質可概括如下：反射爐熔煉室內部長為30—36米，寬7—8米，由爐底到爐頂的高為2.5—3米，爐子由高級硅磚砌成，並用粉煤、重油或天然氣加熱。

細碎的爐料經過爐頂兩側裝料口裝入爐子熔煉室內（圖1），並靠近爐牆形成料堆，或稱做料坡，它可防止爐牆的砌磚受到爐氣的高溫作用，以及熔渣的化學作用。

由於迅速加熱的結果，爐料熔化，而熔煉的液體產物則不斷地流入熔池，在這裡按照比重的不同分為爐渣和銅兩層。

反射爐熔煉的機構和鼓風爐熔煉的機構是迥然不同的。

在鼓風爐中，爐料不斷地為上昇爐氣的气流穿過，爐料沿爐的高度下降、溫度逐漸增高，爐氣對爐料發生化學作用。這些溫度的範圍決定於爐子的焦點溫度（1400—1450°）和在爐頂裝料口處離開爐料表面的爐氣溫度，按熔煉性質及其他條件的不同，裝料口處爐氣溫度為200—600°。

在鼓風爐中，由於爐料和爐氣有長時間且完全的接觸，所以燃料燃燒的热量獲得相當充分的利用，其利用率在65%以上。

在反射爐中，燃料的燃燒是與爐料分開的；燃料燃燒的產物——爐氣，在熔煉室中於爐頂、側牆（通常為爐料堆積物所蓋復）和熔煉所得的液體產物的熔池表面之間自由流過。裝入爐內的

爐料立即进入 1300—1500° 的高温区域。实际上当料坡接近熔化状态时、爐料沿着爐高下降不多、便在側面料坡上的堆积地点熔化。

除了在装料的时候以外，反射爐的爐气不穿过爐料，而仅从其表面掠过，因而只有相当少的一部分爐料能与爐气經常直接接触。所以在反射爐中，爐气对爐料的傳热条件比起鼓風爐要差得多。

在反射爐中，爐气热傳导的不良条件，在某种程度上可为白热爐頂及爐牆的輻射热所补偿。因此利用所謂《反射热》，就成了《反射爐》和《反射爐熔煉》这些名称的淵源。

按照热傳导的条件，要求爐中爐气的溫度大大超过爐料的熔点。爐气溫度与爐料熔点之間的差別愈大，則熔煉过程进行愈快，同时爐子的生产率也愈高。

在一般的反射爐熔煉中，燃料燃燒是在比理論空气量略有过剩的情况下實現的。所以爐气中氧的含量不

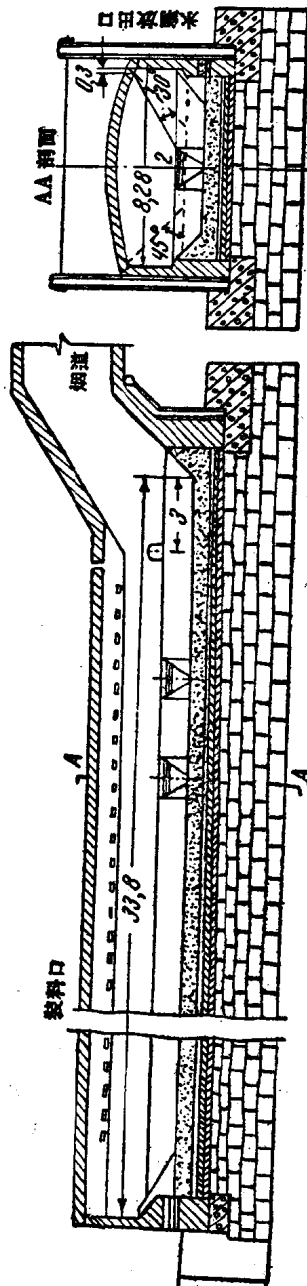


圖 1 反射爐的縱断面与横断面

多，特別是在相互接觸有限的條件下，對爐料也就無顯著的化學作用。在這裡化學反應過程的實質基本上是固體及液體物質之間的化學相互作用，以及在爐內熔煉室的高溫作用下爐料成分的化學變化。

反射爐的硅磚爐牆，即使採用兩側裝料時，也能很快地被鹼性物料所渣化。為了使側牆磚的渣化作用減到最小限度，增加爐料中的酸性熔劑，並使熔煉一般獲得比鼓風爐自熱熔煉或半自熱熔煉較酸性的爐渣。

爐子的熔煉室呈中性或弱氧化性氣氛是反射爐熔煉的特徵。這是由於人工鼓入爐內的或由於自然通風從外面吸入的過剩空氣很少的結果。建立此種氣氛是為了在爐內獲得燃料燃燒的最高溫度，而加速爐料的熔煉。

從經濟上看來，爐料最大可能的熔化速度是反射爐工作的主要職能，其他的熔煉條件在頗大的程度上也與熔煉速度有關。

一般說來，在反射爐中是可能造成強烈的氧化氣氛的，例如增大抽力而使吸入空氣量隨之而增加，但是這會招致爐內溫度的降低與熔煉量顯著的縮減。誠然，要加強熔煉過程中的脫硫作用，在許多場合下，氧化氣氛是需要的，但是爐子生產率的縮減與獲得少量稍高品位水銅的利益相比較，卻給生產上造成非常大的損失。

反射爐與處理塊礦或製成塊的物料（燒結塊、團礦等）的鼓風爐不同，它要求細碎的爐料。

反射爐熔煉在最近十年間的發展，可以用銅礦石廣泛應用選礦法處理來說明，選礦結果獲得極細碎的產品——精礦它不適於鼓風爐熔煉。

由於爐料在反射爐中實際上是停留不動的，所以只有在其各個組分有良好接觸的情況下，它才可能迅速地进行反應與熔化；只有極細的而且混合良好的爐料才能很好地滿足這一條件。在反射爐內熔化塊狀爐料在經濟上是不適合的。

一般裝入反射爐的爐料是焙燒或干燥過的浮選精礦，經過很

好粉碎而粒度不大于5—6毫米的熔剂与返料的混合物。爐料各个組分必要的混合在焙燒爐或者干燥爐內进行，若不进行焙燒或干燥时，則在各种結構的，專門的混合器內进行。

当反射爐裝料时，不可避免地要發生一些微細爐料的飞揚，並伴生下列不良后果：

- 1) 廢气帶走的烟塵量增加，並減少熔煉时銅的实收率；
- 2) 部分飞揚的硷性爐料沉积在爐頂上，而与爐頂磚中的二氧化矽發生造渣作用，从而縮減它的使用期限；
- 3) 另一部分飞揚的爐料沉积在爐子末端的液池表面上，而增加銅在渣中的損失。

因此，在熔煉實踐中采用一系列的特殊办法，使得爐料更平靜地裝入爐內，盡量減少爐料的飞揚。

反射爐熔煉的各种形式

由于熔煉物料的化学成分和矿物成分的不同，反射爐中的熔煉过程具有各种不同的特点。

下列的熔煉形式是人所共知的：

- 1) 焙燒反应过程（《焙燒熔煉》），
- 2) 反应熔煉，
- 3) 还原与还原硫化熔煉，
- 4) 脉石造渣並熔煉出銅或硫化物。

《焙燒熔煉》——是一种最老的熔煉形式。这个过程是將銅矿石制成冰銅，再將冰銅煉成粗銅。裝入爐內的物料，在强烈的氧化气氛和較低的溫度下，进行緩慢的熔化（此为过程的第一阶段——焙燒），然后增高爐中溫度，以完成固体物質及液体物質之間的反应（过程的第二阶段——反应阶段）。

熔煉过程是間歇进行的；每次熔煉后的熔煉产物全部由爐中排出，並重新裝入矿石或冰銅重复循环处理。因此，反射爐的生产率很小，並需要大量的燃料消耗。

在十九世紀中叶，这个方法已不再采用，而在不同的爐中單

独进行焙燒与熔煉的操作。在反射爐中处理焙燒物料具有反应熔煉的特性。

《反应熔煉》这个名称是由銅的硫化物与其氧化物之間的相互反应而产生的，这些硫化物和氧化物在熔煉焙燒矿和含銅高的物料时决定熔煉过程的化学反应。

现在这个名称經常应用在一般的硫化物与氧化物相互反应的熔煉形式上。近代反应熔煉突出的特点是在料中同时存在鉄和銅的硫化物及氧化物。

进入熔煉的是焙燒的硫化矿石及精矿，有时則是湿硫化矿及氧化矿的混合物或者干燥的硫化精矿及务必液态的轉爐渣。轉爐渣經常含有大量的四氧化三鉄。

当此种爐料在中性或弱氧化气氛的爐中熔煉时，氧化及脫硫过程基本上依靠所謂活性《固体》氧来进行，也就是以高級氧化鉄及氧化銅的状态以及以各种硫酸鹽的形式存在于爐料中的氧。

近代熔煉的另外一个特点是爐子的生产率高及燃料的單位消耗低。这个特点是在向爐內鼓入少量过剩空气以保証燃料燃燒的最高溫度的情况下，对准备好的爐料进行連續熔煉的結果。

伴有脉石造渣的熔煉，例如，自然銅的矿石及精矿的熔煉，可以列入熔析熔煉的形式之中，按其本身的化学反应來說就是熔煉过程最簡單的一个形式。它的實質基本上是添加相应的熔剂使矿石或精矿之中的造岩矿物进行造渣以熔出其中的金屬銅。

爐料中一般也加入銅的精煉渣及少量的碳質还原剂（例如木炭），用以还原渣中銅的氧化物，因此熔煉便有某些还原过程的特性。熔煉过程是間歇进行的，因而爐子生产率小和燃料消耗大。熔煉出来的粗銅在專門的爐子里进行火法精煉，或者就在熔煉自然銅精矿的同一爐子里实行火法精煉。

还原及硫化熔煉是在反射爐內处理氧化矿石和精矿时用的。

还原熔煉应分为兩種形式：即氧化矿直接煉成粗銅的真正还原熔煉和氧化矿中添加硫化物質（石膏、黄鉄矿或硫化矿石）以煉成冰銅的还原熔煉。在最后一場合下，熔煉过程有时称为还原硫