

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1971-1972

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
1971-1972

煉 鎂 學

(下 冊)

X.A. 斯特雷列茲 A. IO. 泰茨 B.C. 古略尼茨基 合著

重工業部有色金屬工業管理局編譯科譯

本書係根據蘇聯國立黑色及有色冶金科技書籍出版社出版的 X. Л. 斯特雷列茲, А. Ю. 泰茨和 В. С. 古略尼茨基著 [煉鎂學] 1950年版譯出。該書的審閱者為技術科學碩士 Е. П. 帕達爾卡, 責任編輯為博士 А. П. 別略耶夫教授。

本書敘述煉鎂原料的特性、煉鎂的理論基礎、工業煉鎂法——電解法和熱法（矽熱法、碳熱法、碳化物熱法）——的技術操作，並敘述鎂的性質、鎂的精煉法和鎂合金的簡介。

本書供工程技術人員和科學工作者使用，也可供高等工業學校煉鎂專業學生參考。

本書中譯本分上下兩冊出版，上册為一至二篇，下冊為三至五篇。

參加本書翻譯工作的為重工業部有色金屬工業管理局編譯科陳恆慶（序言、引言及1~4章，19~27章）與沈曙東（5~18章及28~36章），校者為沈立中。

Х Л СТРЕЛЕЦ, А Ю ТАЙЦ, В.С. ГУЛЯНИЦКИЙ

МЕТАЛЛУРГИЯ МАГНИЯ

Металлургиядаг (Москва 1950)

* * *

煉 鎂 學 (下冊)

重工業部有色金屬工業管理局編譯科 譯

重工業出版社 (北京市燈市口甲45號) 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇一五號

* * *

重工業出版社印刷廠印

一九五六年七月第一版

一九五六年七月北京第一次印刷 (1—2,040)

$850 \times 1168 \cdot \frac{1}{32} \cdot 156,000$ 字 · 印 張 $5 \frac{20}{32}$ · 定價 (10) 1.10 元

書 號 0444

* * *

發 行 者 新 華 書 店

目 錄 (下冊):

第 三 篇 非碳質還原劑的熱法煉鎂

第二十三章 概 論	(7)
1. 引 言	(7)
2. 技術操作過程的原理	(8)
3. 對原料和還原劑的基本要求	(9)
第二十四章 爐料成分與壓塊的性質	(11)
1. 氧化鎂的還原性	(11)
2. 還原劑的反應能力	(13)
3. 爐料與壓塊的水化性	(15)
4. 爐料的壓塊性 壓塊的物理機械性質	(16)
5. 熔融性	(20)
6. 導熱率	(23)
7. 導電率	(24)
第二十五章 還原過程的理論基礎與反應速度	(24)
1. 氧化鎂以矽、鋁及碳化鈣還原的反應的熱力學原理	(24)
2. 能量消耗	(36)
3. 還原過程的化學反應歷程和機理	(38)
4. 反應速度	(42)
5. 剩餘壓力和氣流對過程速度的影響	(43)
6. 溫度對過程速度的影響	(46)
7. 爐料的物理狀態對過程速度的影響	(47)
8. 爐料的化學組成 附加物與雜質	(49)
9. 鎂的蒸汽壓 冷凝條件	(55)
10 其它鎂化合物的還原	(56)
第二十六章 爐料製備與壓製的技術操作	(59)
1. 爐料計算	(59)
2. 白雲石的焙燒與爐料的製備	(62)
3. 乾爐料的壓塊	(63)
4. 壓塊的淬火	(64)

- 5. 濕法壓製····· (66)
- 6. 乾濕壓塊法的比較····· (67)
- 7. 碳化物熱法所用爐料的製備與壓塊····· (68)

第二十七章 氧化鎂還原的技術操作 ····· (68)

- 1. 爐子的類型····· (68)
- 2. 臥式蒸餾爐····· (69)
- 3. 豎式蒸餾爐····· (74)
- 4. 帶有金屬加熱器的豎式電阻爐····· (76)
- 5. 臥式迴轉電阻爐····· (77)
- 6. 用於易熔爐料的帶有炭質加熱器的豎式電阻爐····· (78)
- 7. 鎂的冷凝····· (79)
- 8. 真空泵····· (81)

第 四 篇 碳熱法煉鎂

第二十八章 概 論····· (82)

第二十九章 對原材料的要求 還原過程爐料的準備 ····· (84)

- 1. 氧化鎂····· (84)
- 2. 碳質還原劑····· (85)
- 3. 還原過程爐料的準備····· (88)
- 4. 還原過程的爐料計算····· (89)

第三十章 用碳還原氧化鎂過程的物理化學原理 ····· (91)

- 1. 用碳還原氧化鎂時反應平衡常數的計算數據與實驗數據·· (91)
- 2. 壓力對還原反應平衡的影響····· (94)
- 3. 還原反應的速度及機理····· (96)
- 4. 鎂與一氧化碳之間的逆反應····· (102)
- 5. 還原過程中的副反應····· (106)
- 6. 還原反應的物料計算與熱量計算····· (107)

第三十一章 氧化鎂電弧爐還原過程的技術操作 ····· (115)

- 1. 還原電弧爐的構造敘述····· (115)
- 2. 電弧爐的開動····· (123)
- 3. 氧化鎂還原的技術操作過程····· (124)
- 4. 停爐修理····· (126)
- 5. 還原反應產物的淬火····· (127)

第三十二章 鎂粉處理成極密金屬	(130)
1. 鎂粉的捕集與運輸.....	(130)
2. 鎂粉的壓製.....	(132)
3. 從鎂粉中昇華鎂的特點.....	(135)
4. 從鎂粉昇華鎂過程中能量消耗的計算.....	(137)
5. 從鎂粉中昇華鎂的技術操作.....	(138)
第三十三章 氧化鎂還原反應產物用液體反應劑的淬火	(142)
1. 用液體氫的淬火.....	(142)
2. 用熔融金屬的淬火.....	(145)
第三十四章 磁熱法煉鎂的安全措施	(146)

第 五 篇 鎂的性質、熔煉與精煉

第三十五章 鎂的性質與鎂合金概述	(148)
1. 鎂的主要性質.....	(148)
2. 原鎂中的雜質 雜質的來源.....	(151)
3. 雜質對鎂性質的影響.....	(152)
4. 鎂合金.....	(155)
第三十六章 鎂的熔煉與精煉	(159)
1. 精煉的任務與方法.....	(159)
2. 熔煉方法 熔劑.....	(160)
3. 熔劑熔煉與精煉的技術操作.....	(163)
4. 昇華精煉.....	(167)
5. 保護層.....	(171)
參考文獻	(172)
人名對照表	(174)
地名對照表	(176)

煉 鎂 學

(下 冊)

X.A. 斯特雷列茲 A. IO. 泰茨 B.C. 古略尼茨基 合著

重工業部有色金屬工業管理局編譯科譯

本書係根據蘇聯國立黑色及有色冶金科技書籍出版社出版的 X. Л. 斯特雷列茲, А. Ю. 泰茨和 В. С. 古略尼茨基著 [煉鎂學] 1950年版譯出。該書的審閱者為技術科學碩士 Е. П. 帕達爾卡, 責任編輯為博士 А. П. 別略耶夫教授。

本書敘述煉鎂原料的特性、煉鎂的理論基礎、工業煉鎂法——電解法和熱法（矽熱法、碳熱法、碳化物熱法）——的技術操作，並敘述鎂的性質、鎂的精煉法和鎂合金的簡介。

本書供工程技術人員和科學工作者使用，也可供高等工業學校煉鎂專業學生參考。

本書中譯本分上下兩冊出版，上册為一至二篇，下冊為三至五篇。

參加本書翻譯工作的為重工業部有色金屬工業管理局編譯科陳恆慶（序言、引言及 1~4 章，19~27 章）與沈曙東（5~18 章及 28~36 章），校者為沈立中。

Х Л СТРЕЛЕЦ, А Ю ТАЙЦ, В.С. ГУЛЯНИЦКИЙ

МЕТАЛЛУРГИЯ МАГНИЯ

Металлургиядаг (Москва 1950)

* * *

煉 鎂 學 (下冊)

重工業部有色金屬工業管理局編譯科 譯

重工業出版社 (北京市燈市口甲45號) 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇一五號

* * *

重工業出版社印刷廠印

一九五六年七月第一版

一九五六年七月北京第一次印刷 (1—2,040)

$850 \times 1168 \cdot \frac{1}{32} \cdot 156,000$ 字 · 印 張 $5 \frac{20}{32}$ · 定價 (10) 1.10 元

書 號 0444

* * *

發 行 者 新 華 書 店

目 錄 (下冊):

第 三 篇 非碳質還原劑的熱法煉鎂

第二十三章 概 論	(7)
1. 引 言	(7)
2. 技術操作過程的原理	(8)
3. 對原料和還原劑的基本要求	(9)
第二十四章 爐料成分與壓塊的性質	(11)
1. 氧化鎂的還原性	(11)
2. 還原劑的反應能力	(13)
3. 爐料與壓塊的水化性	(15)
4. 爐料的壓塊性 壓塊的物理機械性質	(16)
5. 熔融性	(20)
6. 導熱率	(23)
7. 導電率	(24)
第二十五章 還原過程的理論基礎與反應速度	(24)
1. 氧化鎂以矽、鋁及碳化鈣還原的反應的熱力學原理	(24)
2. 能量消耗	(36)
3. 還原過程的化學反應歷程和機理	(38)
4. 反應速度	(42)
5. 剩餘壓力和氣流對過程速度的影響	(43)
6. 溫度對過程速度的影響	(46)
7. 爐料的物理狀態對過程速度的影響	(47)
8. 爐料的化學組成 附加物與雜質	(49)
9. 鎂的蒸汽壓 冷凝條件	(55)
10 其它鎂化合物的還原	(56)
第二十六章 爐料製備與壓製的技術操作	(59)
1. 爐料計算	(59)
2. 白雲石的焙燒與爐料的製備	(62)
3. 乾爐料的壓塊	(63)
4. 壓塊的淬火	(64)

- 5. 濕法壓製····· (66)
- 6. 乾濕壓塊法的比較····· (67)
- 7. 碳化物熱法所用爐料的製備與壓塊····· (68)

第二十七章 氧化鎂還原的技術操作····· (68)

- 1. 爐子的類型····· (68)
- 2. 臥式蒸餾爐····· (69)
- 3. 豎式蒸餾爐····· (74)
- 4. 帶有金屬加熱器的豎式電阻爐····· (76)
- 5. 臥式迴轉電阻爐····· (77)
- 6. 用於易熔爐料的帶有炭質加熱器的豎式電阻爐····· (78)
- 7. 鎂的冷凝····· (79)
- 8. 真空泵····· (81)

第四篇 碳熱法煉鎂

第二十八章 概 論····· (82)

第二十九章 對原材料的要求 還原過程爐料的準備····· (84)

- 1. 氧化鎂····· (84)
- 2. 碳質還原劑····· (85)
- 3. 還原過程爐料的準備····· (88)
- 4. 還原過程的爐料計算····· (89)

第三十章 用碳還原氧化鎂過程的物理化學原理····· (91)

- 1. 用碳還原氧化鎂時反應平衡常數的計算數據與實驗數據····· (91)
- 2. 壓力對還原反應平衡的影響····· (94)
- 3. 還原反應的速度及機理····· (96)
- 4. 鎂與一氧化碳之間的逆反應····· (102)
- 5. 還原過程中的副反應····· (106)
- 6. 還原反應的物料計算與熱量計算····· (107)

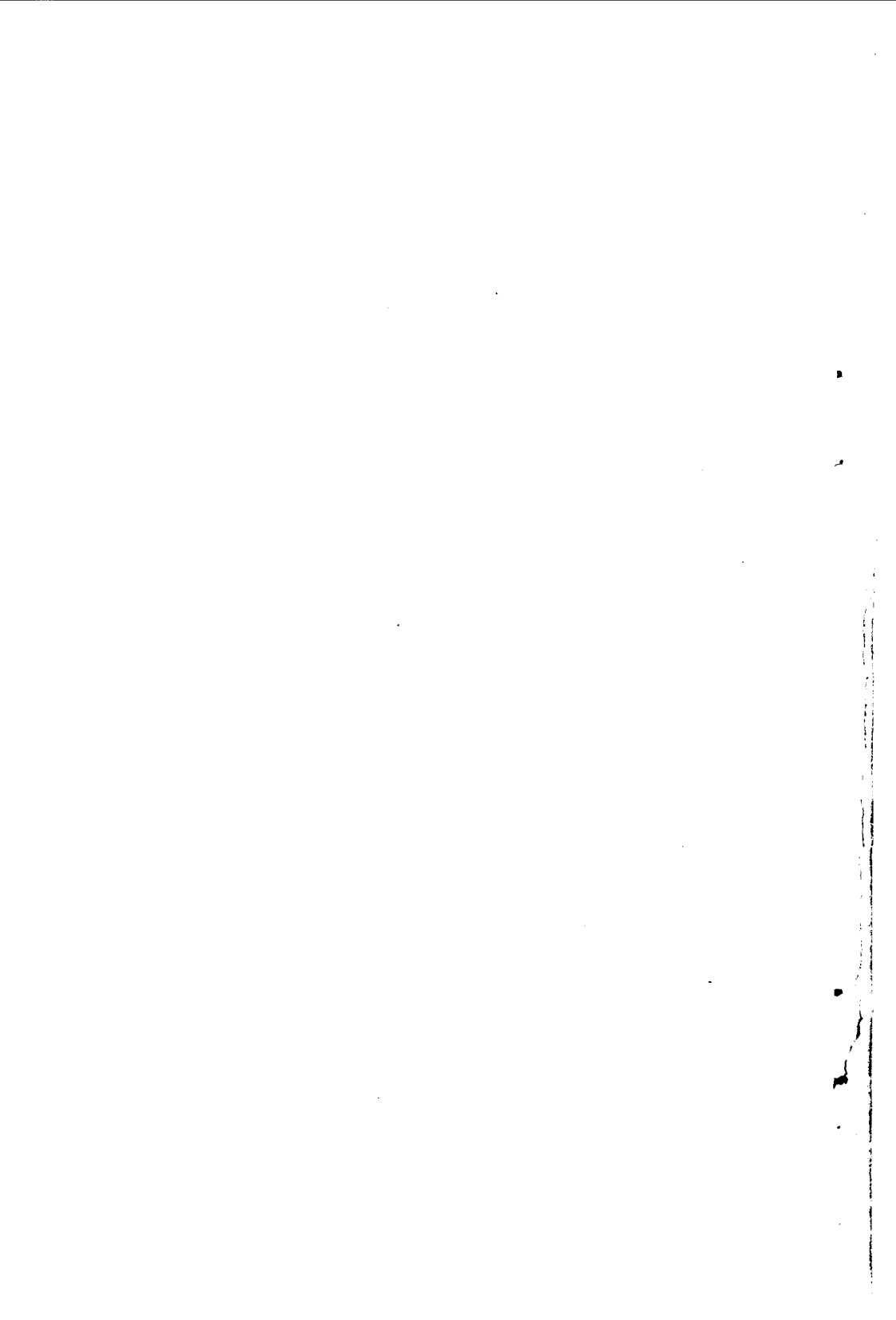
第三十一章 氧化鎂電弧爐還原過程的技術操作····· (115)

- 1. 還原電弧爐的構造敘述····· (115)
- 2. 電弧爐的開動····· (123)
- 3. 氧化鎂還原的技術操作過程····· (124)
- 4. 停爐修理····· (126)
- 5. 還原反應產物的淬火····· (127)

第三十二章 鎂粉處理成極密金屬	(130)
1. 鎂粉的捕集與運輸.....	(130)
2. 鎂粉的壓製.....	(132)
3. 從鎂粉中昇華鎂的特點.....	(135)
4. 從鎂粉昇華鎂過程中能量消耗的計算.....	(137)
5. 從鎂粉中昇華鎂的技術操作.....	(138)
第三十三章 氧化鎂還原反應產物用液體反應劑的淬火	(142)
1. 用液體壓的淬火.....	(142)
2. 用熔融金屬的淬火.....	(145)
第三十四章 磁熱法煉鎂的安全措施	(146)

第 五 篇 鎂的性質、熔煉與精煉

第三十五章 鎂的性質與鎂合金概述	(148)
1. 鎂的主要性質.....	(148)
2. 原鎂中的雜質 雜質的來源.....	(151)
3. 雜質對鎂性質的影響.....	(152)
4. 鎂合金.....	(155)
第三十六章 鎂的熔煉與精煉	(159)
1. 精煉的任務與方法.....	(159)
2. 熔煉方法 熔劑.....	(160)
3. 熔劑熔煉與精煉的技術操作.....	(163)
4. 昇華精煉.....	(167)
5. 保護層.....	(171)
參考文獻	(172)
人名對照表	(174)
地名對照表	(176)



第 三 篇

非碳質還原劑的熱法煉鎂

第二十三章 概 論

1. 引 言

本篇將研討使用非碳質（主要是金屬）還原劑的熱法煉鎂。以碳還原 MgO 的方法與金屬熱法有本質上的不同，並且在煉鎂學中是一個獨立的分科。該法將在下一篇中敘述。

雖然電解法煉鎂正在順利地發展，但使用非碳質還原劑加熱還原氧化鎂的方法，從下列各點來看，證明是有效的：可以直接採用白雲石作為原料、可以消除應用直流電的必要性、或用燃料代替電力、技術操作流程及設備佈置的簡化，以及過程的無害性。

在工業上廣泛應用熱法煉鎂是在第二次世界大戰時期開始的，因為當時必須使一些新的工廠迅即投入生產。

戰爭期間非碳質還原劑熱法煉鎂廠的總年產量約達 8 萬噸。

熱法煉鎂中以矽熱法佔主要地位。矽熱法在各個國家是同時而各自發展的，因此就出現了好幾種技術操作流程及設備佈置。對於採用較少的碳化物熱法煉鎂來說情況亦同。

兩種工業上的熱法煉鎂，都是基於在真空中用其它金屬將鎂自氧化鎂中置換出來的反應。

著名的俄國化學家 H. H. 別凱托夫，曾對用另一些金屬從某些金屬的氧化物中置換出某些金屬的現象進行了研究，並在 1865 年發表的學位論文中報導了他從鋁和鉀的氧化物中用鋁置換出金屬鋁和鉀的情況。自氧化鎂置換鎂的反應（例如利用鉀蒸汽的作用）也在上一世紀即已為人所知。但在工業上應用非碳質還原劑熱法還原氧化鎂的操

作。却是在本世紀 20—30 年代才開始的。

在蘇聯，用鋁、矽及其合金還原焙燒菱鎂礦的首批研究工作是在 И. Ф. 安吉平的領導下進行的。

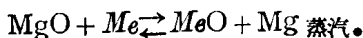
И. А. 查列郭洛澈夫和 А. И. 伏依尼茨基、B. Г. 實伏夫、A. C. 米庫林斯基等在熱法煉鎂方面做了進一步的研究，並製定這種煉鎂法。這些研究者的工作數據和結果在本篇中列有很多。

2. 技術操作過程的原理

非碳質還原劑熱法煉鎂的技術操作過程，主要是將含氧化鎂的自然礦焙燒到碳酸鹽完全分解或脫水為止。將焙燒產物磨細，並與粉末狀還原劑混合。業已混合的爐料壓製成塊，然後以壓塊的形式裝入特種爐內，在此爐內進行還原反應。此時析出的鎂蒸汽在爐的冷卻區內冷凝。由於呈蒸汽狀態而且分散的鎂非常容易與氧和氮化合，因此還原過程應在真空中，或者在惰性氣體的介質中進行。真空對還原過程還有另外一種同樣也很重要的意義，將在下面加以敘述。

根據所用還原劑的性質，還原過程可分為兩類：金屬加熱過程和碳化物加熱過程。

金屬加熱過程採用金屬或其合金作為還原劑。利用金屬的還原反應一般可以下式表示：



矽熱過程和鋁熱過程均屬於金屬加熱過程之類。矽是矽熱過程中的還原劑。在實踐中（主要從經濟觀點看）採用矽鐵。在鋁熱過程中鋁是還原劑。但是由於其價格較高，即使利用鋁廢件或廢料做還原劑也是不合算的，所以實際上鋁熱法的應用極為有限。用鋁矽合金還原氧化鎂在經濟上較為合算。在這種情況下，無論鋁或矽均可作為還原劑。

關於利用其它金屬或合金（矽鈣、錳鐵等）作為還原劑的問題尚處在申請專利或實驗室試驗的階段。

碳化物加熱過程可以採用鈣、鋁及其它金屬的碳化物作為還原劑。

利用碳化物的還原反應一般可以下式表示：



碳化鈣在工業上取得了應用。

鎂呈蒸汽狀態析出，而其它的反應產物仍處於冷凝狀態，這是上述金屬加熱和碳化物加熱反應的特點。這就能通過從反應區排出鎂蒸汽並在爐子冷卻區內使鎂蒸汽冷凝的方法，很容易地使反應產物進行分離。

視爐料組成的不同，在還原反應進行時可以生成固態或熔融的爐料殘渣。

矽熱過程通常可以生成固體殘渣，這是由於矽熱過程採用了白雲石。在矽熱過程中，提高爐料組成中 MgO 和 CaO 的比值以及附加螢石，可以保證爐料殘渣完全或部分熔化。下面證明，按生成固體殘渣計算而配成的爐料（白雲石爐料），具有較好的技術操作性能。

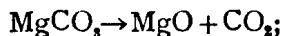
碳化物熱法還原氧化鎂的過程中，只能生成固體殘渣。要使固體殘渣熔合，就必須加入大量特種附加物。但這並沒有得到實際的應用。

除了上述各種過程以外，熱法煉鎂還可用碳化鈣還原氯化鎂或氟化鎂的方法進行。

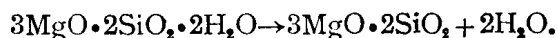
3. 對原料和還原劑的基本要求

1. 原料 各種含氧化鎂的礦石均可作為金屬熱法和碳化物熱法煉鎂的原料。但每種作為熱法還原煉鎂用的礦石，都應進行適當的準備。預先排除加熱時析出的揮發性化合物 (CO_2 , H_2O , SO_2)，為礦石準備的基本和必要的條件，它一方面是為了防止其對鎂或還原劑的化學作用，另一方面是防止當過程在真空中進行時反應區剩餘壓力的增高。

鎂的碳酸鹽，不論是菱鎂礦或者是白雲石，均應分解到二氧化碳完全放出為止：



如果沒有更適用的原料，則自然界中常見的鎂的矽酸鹽——蛇紋石也可用於使鎂還原。為此鎂的矽酸鹽應預先焙燒，以便脫水：



利用硫酸鎂，例如硫酸鎂石，作為原料時，則必須如上所述將其預先還原成氧化鎂：



白雲石和菱鎂礦優先地被用作熱法煉鎂的原料。

2. 還原劑 還原劑為熱法煉鎂時所用爐料中最貴的成分。因此，在具備應有的技術特性時，對還原劑的基本要求是它在經濟上是否合算。上述還原劑是用電爐熔煉法製得的。在生產上述還原劑時需要消耗大量的電力，這對還原劑的成本有着很大的影響。因此，還原劑的適用與否在一定程度上決定於生產時所需的電力消耗。表 137 根據這一點將數種還原劑作了比較。

表 137

生產還原劑時的電力消耗

還 原 劑 名 稱	製取 1 噸還原劑 時的單位電力消 耗 (千瓦小時)	製取 1 噸鎂時還 原劑的理論消耗 (噸)	每製取 1 噸鎂用 於生產還原劑的 電力(千瓦小時)
75%的矽鐵·····	9092	0.77	7000
85%的碳化鈣·····	2900	3.09	8380
99%的鋁·····	18000	0.75	13500
組成如下的矽鋁： 45~50% Al; 3~2.5% Fe; 餘 數 SiO ₂	10000	0.67	6700

● 這裡採用試驗工廠在從高嶺土熔煉合金時所得的數據。

表中所列的數據絲毫沒有反映出還原劑對煉取每單位重量鎂所需電力總消耗的影響，這是因為隨着還原劑性質的不同，反應速度、爐料的單位消耗以及爐料的熱容量都有變化。但是表 137 最後一欄中所載數值還是足可以說明一般情況的。例如，這些數值指出，用鋁作為

還原劑是不合理的。

從以上的種種理由可見，反應中還原劑最高度利用的問題對上述過程有着重大的意義。

必須指出，對金屬熱法煉鎂而言，熱法生產鋁合金時所得的矽殘物（過濾器殘渣）的利用在將來是很有希望的。根據試驗數據和計算數據，這種殘物大約應含有：70—80%Si，15%Al，餘數為鐵及其它金屬雜質。

第二十四章 爐料成分與壓塊的性質

1. 氧化鎂的還原性

矽熱法煉鎂時採用白雲石，它較之其它原料的優點在第二十五章已經說明。如同上述，純白雲石礦物與 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ 式相符，理論上含有 CaCO_3 54.3% 和 MgCO_3 45.7%，或 CaO 30.4%； MgO 21.8% 和 CO_2 47.8%。 CaO 與 MgO 的重量比為1.39。在自然白雲石中發現有其它物質的雜質；其 CaO 與 MgO 的重量比為1.4—1.7。

視白雲石的組成及操作條件的不同，可在爐料中加入菱鎂礦或石灰。也可採用菱鎂礦與石灰的混合物來代替白雲石。

碳化物熱法採用菱鎂礦。

前幾章敘述了煉取氧化鎂的方法，其中說明了菱鎂礦的焙燒溫度對氧化鎂化學活性的影響。這個因素對用非碳質還原劑還原氧化鎂來說，具有極為重要的意義。

按焙燒菱鎂礦水化速度而確定的焙燒菱鎂礦對水的化學活性，在某種程度上可以說明 MgO 的還原性。例如，對水是惰性的磨細冶金粉末（死燒菱鎂礦）比苛性菱鎂礦少還原10%。

類似的情況也可以說明白雲石的氧化鎂還原性^①。

И. И. 布德尼科夫和 Л. Г. 古利諾娃確定了尼基托夫卡白雲石的焙燒溫度與焙燒產物和水起相互作用時所析出的熱量二者之間的關

① 以後為簡便起見，採用「白雲石還原性」字樣。