

中等专业学校教学用书

輕金属冶炼

第三册 鎂冶炼

A.И. 苏士可夫 И.А. 特罗依茨基
M.A. 埃捷壮著

沈阳鋁鎂設計研究院专家工作科譯



中国工业出版社

中等专业学校教学用书



輕 金 属 冶 炼

第三册 鎂冶炼

苏士可夫、~~И.А. Ковалев~~、~~И.А. Ковалев~~、埃捷壮 著
沈阳铝镁设计研究院专家工作组 译

中国工业出版社

А. И. Сущев, И. А. Троицкий, М. А. Эйден оп

МЕТАЛЛУРГИЯ

ЛЕГКИХ МЕТАЛЛОВ

Металлургиядэт (Свердловск 1957)

* * *

輕金屬冶煉

第三册 鎂冶煉

沈阳站炭設計研究院專家工作科譯

(根據冶金工業出版社編譯)

冶金工業部圖書編輯室編輯 (北京潘市大街73號)

中國工業出版社出版 (北京德勝門外大街10號)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第110號)

中國工業出版社第三印刷廠印刷

新華書店北京發行所發行·各地新華書店經售

*

開本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印張6·字數150,000

1960年7月北京第一版

1962年1月北京新一版·1962年1月北京第一次印刷

印數0001—0,580·定價0.70元

*

統一書號: K15165·1426 (冶金—240)

統一書號：

15165·1426(冶金240)

定 价： 0.70 元

“輕金屬冶煉”為中等專業學校輕金屬冶煉專業用教材。全書分四冊出版：第一冊為氧化鋁，第二冊為鋁冶煉，第三冊為鎂冶煉，第四冊為鋁鎂冶煉。

本書為第三冊（鎂冶煉部分），譯自蘇聯A.И.蘇士可夫等著“*Металлургия легких металлов*”（1957），曾於1960年7月由前冶金工業出版社作為“輕金屬冶金學（下冊）”出版。今春經冶金工業部教材領導小組選定借作中等專業學校教材“輕金屬冶煉”的組成部分。這次重印中保留原來的內容、章節和頁碼安排，未作任何變動。

本書系統論述了鎂的性質與用途、煉鎂原料、鎂冶煉原理和生產工藝、鎂電解槽的計算等。

本書除供中等專業學校輕金屬冶煉專業學生使用外，對有關工程技術人員也有裨益。

本書由沈陽鋁鎂設計研究院專家工作科霍光庶和饒渡崎翻譯，沈家祥校對。

目 录

第二篇 镁冶金学

第十七章 镁的一般概念	356
1. 镁的物理化学性质	356
2. 镁的应用	357
3. 苏联镁冶炼工业的发展概况	359
4. 镁生产的工艺流程	360
第十八章 镁矿	366
1. 镁在自然界中的分布	366
2. 镁矿的性质, 苏联主要的镁矿矿床	366
3. 镁矿的处理和富集	370
第十九章 镁生产的原料制备	380
1. 氯化镁脱水	380
2. 光卤石脱水	384
3. 氧化镁氯化制取无水氯化镁	393
4. 生产无水氯化镁的物料计算范例	412
第二十章 电解熔融氯化镁的理论基础	423
1. 关于电解质分子状态的一般概念, 氯化镁的分解 电压	423
2. 电流效率和电能效率	426
3. 镁电解槽电解质的物理化学性质	429
4. 电流效率与各种因素的关系	438
5. 各种因素对电能单位耗量的影响	451
6. 电解槽容量	454
第二十一章 镁电解槽	457
1. 镁电解槽的一般性能和工作原理	457
2. 电解槽构造	460
3. 电解槽安装	467
第二十二章 电解工艺	470

1. 电解槽的烘干, 加热和启动	470
2. 加料和排除廢电解質	472
3. 电解槽出鎂	474
4. 捞槽渣	475
5. 电解質溫度的調整	476
6. 电解槽接点的維護	478
7. 电解槽的排气	478
8. 破坏电解槽正常生产的典型例子及其消除方法	483
9. 鎂生产中的工業衛生和安全技術的基本要求	486
第二十三章 鎂的精煉	489
1. 粗鎂中的雜質	489
2. 加熔剂的再熔煉法精煉	490
3. 昇華法精煉	494
4. 鍍保护层	495
第二十四章 鎂电解槽的計算基础	497
1. 結構的選擇、原始数据	497
2. 电解槽的物料計算	498
3. 电解槽主要尺寸的确定	503
4. 电气計算的原則	504
5. 能量計算	505
第二十五章 鎂生产的技术經濟数据	511
1. 鎂成本的構成	511
2. 鎂成本的分析及其降低的途徑	511
第二十六章 热法煉鎂	515
1. 概述	515
2. 热法煉鎂的理論基础	515
3. 硅热法煉鎂的工艺	522
4. 碳热法煉鎂的工艺	532
5. 碳化物热法煉鎂的工艺	540
参考文献	541

第二篇 鎂冶金学

第十七章 鎂的一般概念

1. 鎂的物理化学性質

鎂是Д. И. 門捷列耶夫元素周期表中第二族輕金屬化学元素。原子序数——12，原子量——24.32。純鎂呈銀白色。在溫度20°C时的比重——1.738。熔点——651°C。沸点——1107°C。对鎂沒有可以用来进行工艺檢查或分析的那种寿命長的放射性同位素。

鎂在空气中氧化，因此表面上包复有一層氧化薄膜。粉狀和薄帶狀的鎂易于燃燒，燃燒时發出耀眼的火焰。鎂与氮一起加热，可反应生成氮化物。在氯气和溴气中，以及在硫和碘的蒸汽中加热鎂时，鎂与这些元素激烈反应而燃燒。熔融的鎂，如果不与空气隔离，也易于燃燒。鎂錠或鎂制件沒有可燃性。

鎂与氟化物及氟氫酸不發生反应，在鹽类（氟化鹽除外）水溶液中溶解。濃硫酸，以及濃硫酸与發烟硝酸的混合物，在低溫条件下不与鎂發生反应。苛性碱溶液只有加入鉍鹽时，才

与镁反应。镁在汽油、煤油和矿物油中化学性质稳定。镁与沸水反应析出氢，生成氢氧化镁胶状沉淀。镁在稀薄的矿物酸内极易溶解。

2. 镁的应用

在现代技术当中，镁的主要用途是生产镁合金和合金的各种制品。

镁与其他金属（铝、锌、锰等）的合金与纯镁的不同点是：机械强度大，化学稳定性高。表 20 中所列系几种镁合金的化学成分。

镁合金易于用砂型和铁模铸造，因此我们可以利用这种合金制造出复杂的铸件。镁合金也易于进行机械加工，气焊和电弧焊。

镁合金的最主要特点是，在相对机械强度很高的条件下，比重不大（1.7~1.83克/立方厘米）。镁合金能承受很大的冲

几种镁合金的化学成分

表 20

合金牌号	化 学 成 分, %								
	主 要 成 分				杂 质 不 多 于				
	Al	Zn	Mn	Mg	Si	Cu	Fe	Ni	杂质总量
Mn4 ГОСТ 2856-45	5~7	2~3	0.15~ 0.5	余 量	0.25	0.15	0.15	—	0.60
Mn5 ГОСТ 2856-45	7.5~ 9.3	0.2~ 0.8	0.15~ 0.5		0.25	0.15	0.15	—	0.60
Mn6 ГОСТ 2856-45	9.0~ 11.0	2.0 以下	0.10~ 0.5		0.25	0.15	0.15	—	0.60
MГC1 ГОСТ 2581-55	—	—	1.8~ 2.5		0.07	0.04	0.03	0.005	0.20
MГC2 ГОСТ 2581-55	3.0~ 4.0	0.3~ 0.7	0.20~ 0.50		0.10	0.04	0.04	0.005	0.19
MГC5 ГОСТ 2581-55	7.5~ 8.7	0.3~ 0.7	0.20~ 0.50		0.10	0.05	0.04	0.005	0.20

击負荷，由于它具有这些性質，所以在飞机制造业中得到了極广泛的应用。

往往用鎂合金制造复杂的、負荷大的發动机零件。

現代飞机上有数达四百种的零件，是由鎂合金制成的。用这种合金鑄成的零件有毛重达 200 公斤以上的。

鎂合金沒有磁性，故冲击和摩擦时不产生火花。这些性質加上比重小、机械强度高，就給鎂合金的应用打开了寬广的道路和前景；如鎂合金可以应用于精密机械制造，其中包括仪表制造以及光学工业，还可以应用于紡織、印刷和其它机械、自动机械的制造，以及制造各种各样的日用品。

鎂可做为生产超强度鑄鉄用的变性剂。

由于鎂对于氧的化学活性很大，所以在鋼的生产、有色金属鑄造，以及从氧化物中制取难还原的金属（鈦、鉻、鋇）等时，也都用鎂做脫氧剂和淨化剂。

在鈦的鎂热法生产当中，用鎂做鈦的还原剂，从四氯化鈦中还原鈦。由于鈦生产的不断发展，鎂的需用量也大大上昇。

在化学工业中，用鎂进行有机化合物的脫水和制取鎂的有机化合物，这种化合物在有机合成中的作用很大。

鎂及其合金在燃燒时，能發出耀眼的光亮和产生很高的溫度。这种特点在軍事工业上得到了应用，即用以制造照明彈和信号彈，曳光枪彈和曳光炸彈，以及燃燒彈和空投炸彈。鎂在照像术上的应用也是基于这种性質（“鎂光”）。

近 15~20 年来，鎂的生产有了很大的發展。現將 1938 年和从 1943 年到 1956 年期间，世界鎂产量（苏联除外）数据列記如下：

1938 年.....	22100 吨	1948 年.....	12100 吨
1943 年.....	231900 吨	1949 年.....	16100 吨
1944 年.....	202400 吨	1950 年.....	21500 吨
1946 年.....	8600 吨	1951 年.....	50500 吨

1952 年……	110000吨	1955 年……	76600吨
1953 年……	106200吨	1956 年……	78000吨
1954 年……	72200吨		

苏联共产党第二十次代表大会通过的1956~1960年發展苏联国民經济的第六个五年計划的決議中規定，1960年商品鎂的产量將比1955年增長1.1倍，并且要大力扩大鈦的生产。

3. 苏联鎂冶煉工業的發展概况

在革命前的俄国从来沒有鎂工業生产。当时这种金屬的需用量較小，依靠外国进口就足够了。

在前一世紀的末叶，外国已經有了一些鎂生产方法的專題論著。在文献中关于鎂工業生产的記載都是一般性的，而且有着許多矛盾。

苏联的鎂工業不是依靠外国的帮助，而是在本国工人和科学技术人員創造性劳动的基础上兴建起来的。

1914~1915年期间，在旧俄国时期，П. П. 費道齐耶夫和Н. Н. 瓦洛宁初次有系統地研究了用光鹵石制鎂的方法。

1916~1917年間，П. П. 費道齐耶夫在軍事化学委员会附設的工厂中，組織了規模相当大的鎂生产。1915年Н. А. 普申和П. Ф. 安吉平在彼得格勒电工研究院的實驗室中首次用薩特金菱鎂矿生产的氯化鎂制得了鎂。

П. П. 費道齐耶夫最先在俄国的技术文献中奠定了电解氯化鎂的理論基础，并指出了进一步改善电解过程的途徑。

1929~1936年間，在苏联国立应用化学研究院(ГИПХ)，全苏鋁鎂研究院(НИИСалюминий, ВАМИ)列宁格勒綜合研究院和烏拉尔化学科学研究院(УНИХИМ)，以及在鎂試驗厂，研究工作們对鎂生产的全部过程做了無數次的試驗，并对电解槽电解質成分中各种熔鹽的物理化学性質进行了研究。

試驗研究工作是在下面几位有名的冶金科学家和电化科学家的领导下进行的，其中有：П. П. 費道齐耶夫，A. H. 庫茲涅佐夫，П. Ф. 安吉平，Ю. В. 巴依瑪科夫，B. M. 古希科夫。

在很短的時間內就研究和試驗成功了独特的設備結構和生产工艺流程；培养了許多工程技術人員和工人干部。在三十年代里，就有兩個蘇聯鎂廠首批啓動。

在1940~1955年期間，在X. C. 斯特雷列茨和A. И. 別略耶夫（莫斯科有色金屬黃金學院）領導下所進行的科學研究工作，對鎂生產的進一步發展有着重大的意義。

4. 鎂生產的工藝流程

鎂工業生產的現代方法，主要分為兩種：1) 電解法；2) 熱法（硅熱法，碳熱法）。

電解制鎂法又分為：1) 電解熔融氯化鎂；2) 電解溶於熔鹽中的氧化鎂。

第二種方法由於有些缺點：電解溫度較高，電解單位消耗量大，工藝指標低等，因而沒能得到推廣，並且也不能與已經被掌握了，研究成功的電解氯化鎂法和熱法相比擬。

氯化鎂電解法及氧化鎂熱法還原工藝過程，將在本書的以後各章詳細敘述。

鎂在電壓序列上是一種負電性較大的金屬。因此電解鎂的鹽類水溶液，如電解氯化鎂水溶液時，不可能析出鎂。因為在這種情況下，陰極上析出氫，生成氫氧化鎂，並且只有採用超聲波作用才能消除這種現象。在工業規模的條件下，只有電解不含有游離氫離子的電解質時才能析出單體的鎂。通常都是採用電解熔融氯化鎂的方法制取鎂。

由於原料不同和設備結構不一，所以現行的電解氯化鎂制鎂的工藝流程，在原料製備方法上也有所不同，在氫氣利用方

法上亦有所差異；此外还因其它的一些特点，使这些流程彼此間有差別。对大多数工艺流程來說，总的一点是，电解用原料必須徹底脫水；因为在原料中就是有極少量的水分也会对电解过程有極坏的影响。与鎂等价析出的氯气不能放入大气中，一定要設法收集起来，因为氯气是很貴重的产品。

下面將分別敘述在苏联和其它国家的鎂工業中所采用的几种較典型的电解氯化鎂制鎂的工艺流程。

光鹵石流程 光鹵石是六个水的氯化鎂和氯化鉀的复鹽，含有氯化鈉雜質，所以首先應該脫水。脫水后的熔融光鹵石即可加入电解槽中，在电解槽中氯化鎂分解成鎂和氯气。电解是連續进行的。从电解槽中取出的鎂就是生产上的主要产品，而氯气可做为生产氯酸鉀、次氯酸鹽、氯的有机衍生物和其他产品的原料。随着氯化鎂的分解，电解質中的氯化鉀增多。

氯化鉀含量达77%的廢电解質要經常地从电解槽中取出。这种廢电解質可做为鉀肥使用或者用去制备熔煉輕金屬用的熔剂。电解槽中排出一部分廢电解質后，应再添加無水光鹵石。

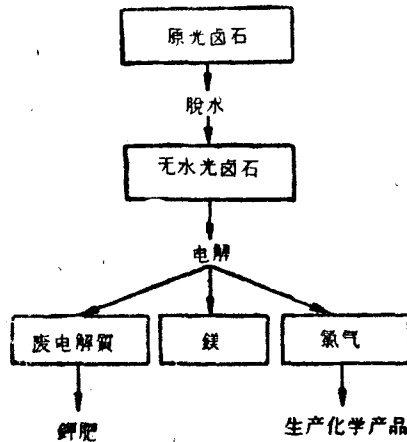


圖 114 制鎂的光鹵石流程

苏联有一个鎂厂采用光鹵石流程生产(圖 114)，1928年以前，在德国阿根、彼切尔費得兩地的 И. Г. 法尔別尼杜斯里工厂也采用这种流程，还有溫切爾斯卡里股份公司的鎂厂近年来也采用这种流程进行生产。

光鹵石流程生产鎂的特点是：

1. 鎂生产中采用的工業光鹵石原料，通常是用富集光鹵石矿的办法制取的；光鹵石矿中含有大量食鹽和其他雜質。

由于富集生产費用很高，热能和电能消耗量很大，所以富集后的光鹵石就成了相当貴重的原料。因此是否能采用光鹵石做为鎂生产的主要原料，以及光鹵石流程生产鎂的發展前景如何，在很大程度上要取决于：光鹵石矿富集技术水平的提高，富集工艺的进一步改进和富集光鹵石成本的降低。

2. 工艺过程各段工序中，原料，半成品和生产廢料的貨流很大；例如用光鹵石流程生产一頓鎂时，平均需用20吨含32% $MgCl_2$ 的富集光鹵石。

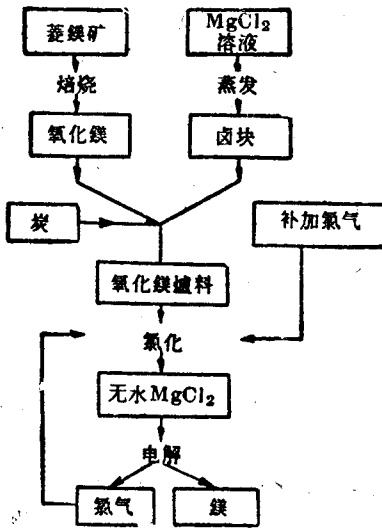


圖 115 鎂生产的氯化鎂流程

無水光鹵石中含有45%以下的氯化鎂。因此就必須頻繁地往电解槽中加入大量原料，相应地就須經常地从电解槽中排出已經聚集的廢鹽——廢电解質。这样所需劳动量是相当大的，借助直流电能所产生的热量耗量也是相当大的。

3. 为了利用氯气，必須建立联合車間或者联合工厂。

氯化鎂流程 在这种流程中，电解的主要原料是無水氯化鎂。依据氯化鎂的制取方法，可以采取不同的氯化鎂流程。例如，氯化鎂是以氯化氧化鎂的方法制取的，則应按圖 115 示出的流程組織生产。

由氧化鎂或菱鎂礦加炭素還原劑組成的爐料，要在豎式電爐中以高溫氯化。把氧化鎂經氯化制得的無水氯化鎂加入電解槽，氯化鎂便在電解槽中連續分解成鎂和氯氣。

如果能把電解氯化鎂得出的氯氣全部都用到氯化鎂生產上去，則上述流程就成了閉路循環流程，氯氣在這個循環流程中就起着從豎式爐將鎂送向電解槽的載體作用。

實際上，在氯化 and 電解時還發生其它一系列的副反應過程，同時引起一部分氯氣的直接損失。所以在這種情況下，整個工藝流程中的氯氣總利用率不超過60~70%。這就需要往豎式電爐中添加相應數量的氯氣，來補償氯氣的損失，這種氯氣是用槽車或氯氣瓶運到鎂廠來的。

德國的阿根，斯特拉夫捷、彼切爾費得三個地方的鎂廠，從1928年起就開始採用氯化鎂流程進行生產。

為了補償氯氣的損失，可以直接在鎂廠，或者在聯合工廠，以電解食鹽水溶液的方法生產氯氣。在這種情況下，還可以得到另一種貴重產品——苛性鈉。

別吉克鎂企業公司（美國內華達洲）的鎂廠就是採用類似這種氯化鎂流程方案進行生產。

美國絕大多數鎂電解廠都採用道烏(Dooy)流程進行生產。這是氯化鎂流程的一種特殊方案。將海水精液或者白云石加工處理制得六水氯化鎂，然後進行不完全脫水，即脫水程度大約到 $MgCl_2 \cdot 1.5H_2O$ 為止。然後將這種產品連續加入一種特殊結構的電解槽內。在電解槽內氯化鎂的最終脫水與電解同時進行。鎂是定期的從電解槽中取出。陽極氣體成分中包括氯氣，氯化氫和一氧化碳；這種氣體被空氣稀釋得濃度非常低以後，用以制取鹽酸。

鎂生產的氯化鎂流程，包括氧化鎂的氯化方案，都具有以下的特點：

1) 鎂廠可以直接建立在礦物原料分佈極廣的菱鎂礦和白

云石矿床基地上；

2) 生产一吨镁的原料，半制品和生产废料的货流量比较小；

3) 可以制得含 $MgCl_2$ 92% 以上的和有害杂质含量最少的工业用无水氯化镁。采用这种原料进行电解时，电解槽中的其它氯化物的聚集要比采用无水光卤石生产时慢得多。这样就可以保持我们所规定的、合理的电解质成分不变，因而能达到很高的、又是很稳定的电解工艺指标。

混合流程 如果在镁厂附近有生产光卤石的企業，則用往电解槽中添加无水光卤石的方法来补偿氯气损失是合理的。这种流程叫做混合流程，或者叫做光卤石——氯化镁流程（圖 116）。

采用这种流程生产时，电解用的原料有两种：无水氯化镁和无水光卤石。两种原料可以混合加入，也可以分别加入电解槽。

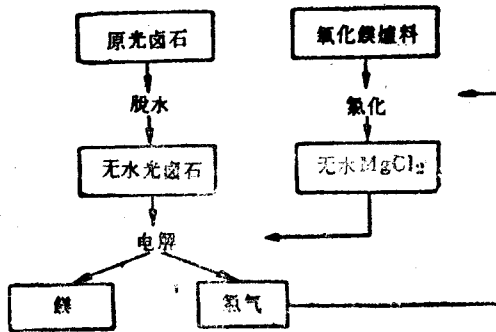


圖 116 镁生产的混合流程

电解第一种原料制得的镁量(m_1)与整个生产循环中制得的镁量(m)的比值，代表生产氯化镁时的氯气利用率及氯气的机械损失量。

$$\alpha = \frac{m_1}{m} \times 100\%$$

在采用混合流程的生产中，这个比值叫做“氯化镁流程分量值”。在生产组织得合理的情况下，这个数值能达到70%。氯化镁流程与光卤石流程还可以有其它联合方式，例如，利用氯气生产无水氯化镁的同时，还可以生产其它氯化物产品。

对上述流程还不能做出究竟哪种流程比较好的一般结论。因为生产流程的选择取决于具体条件，即：工厂的地理位置、原料性质、成本、资源情况和电能成本，以及主要设备结构等的情况；并且还取决于是否能合理利用生产废料及副产品（氯化物产品）的条件。

在各种条件都一样的情况下，采用哪种工艺流程最合理，归根结底要由技术经济比较结果来确定。

