

美国的铜铅熔炼及精炼



資本主义国家冶金工業参考資料

美国的銅鉛鋅

熔煉与精煉

盧盛錕 譯

勵潤生 許衍敦 校

冶金工業出版社

這本書是設在巴黎的歐洲經濟合作組織(O. E. E. C)技術考察團訪問美國后提出的報告第 85 号的譯文。原書共分兩冊：第一冊“美國的銅熔煉及精煉”及第二冊“美國的鋅鉛熔煉及精煉”。兩書先后在1954年10月和1955年1月在巴黎出版。內容是有关美國最近銅鉛鋅冶煉方面的技術報導，代表着這個考察團成員們的見解，為了向國內讀者介紹資本主義國家有色冶金工業的現狀，將其翻譯出版，供我國銅鉛鋅冶煉生產與設計人員以批判態度參考閱讀，結合我國具體條件考慮。本書由盧盛錕譯出，銅部分由勵潤生校正；鋅鉛部分由許衍敦校正。

COPPER, ZINC and LEAD Smelting and
Refining in the U. S. A.

OEEC, 1955

美國的銅鉛鋅熔煉與精煉

盧盛錕 譯 勵潤生 許衍敦 校

編輯：王忠義 設計：趙 苓 周 廣 責任校對：任少模

1958年4月第一版 1958年4月北京第一次印刷 1,200冊

850×1168·1/32·73,400字·印張3 $\frac{28}{32}$ ·插頁8·定價(10) 0.90元

冶金工業出版社印刷廠印 新華書店發行 書號 0798

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

資本主义国家冶金工業参考資料

美国的銅鉛鋅 熔煉与精煉

盧盛錕 譯

勵潤生 許衍敦 校

冶金工業出版社

這本書是設在巴黎的歐洲經濟合作組織(O. E. E. C)技術考察團訪問美國后提出的報告第 85 號的譯文。原書共分兩冊：第一冊“美國的銅熔煉及精煉”及第二冊“美國的鋅鉛熔煉及精煉”。兩書先后在 1954 年 10 月和 1955 年 1 月在巴黎出版。內容是有关美國最近銅鉛鋅冶煉方面的技術報導，代表着這個考察團成員們的見解，為了向國內讀者介紹資本主義國家有色冶金工業的現狀，將其翻譯出版，供我國銅鉛鋅冶煉生產與設計人員以批判態度參考閱讀，結合我國具體條件考慮。本書由盧盛錕譯出，銅部分由勵潤生校正；鋅鉛部分由許衍敦校正。

COPPER, ZINC and LEAD Smelting and
Refining in the U. S. A.

OEEC, 1955

美國的銅鉛鋅熔煉與精煉

盧盛錕 譯 勵潤生 許衍敦 校

編輯：王忠義 設計：趙 苓 周 廣 責任校對：任少模

1953 年 4 月第一版 1953 年 4 月北京第一次印刷 1,200 冊

850×1168·1/32·73,400 字·印張 3 $\frac{28}{32}$ ·插頁 8·定價 (10) 0.90 元

冶金工業出版社印刷廠印 新華書店發行 書號 0793

冶金工業出版社出版 (地址：北京市市燈市口甲 45 號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 號

目 录

原序	5
第一章 銅	6
第一节 熔煉	6
1. 取样	6
2. 儲料及焙燒	6
3. 熔煉	8
4. 吹煉	10
5. 接触法硫酸厂的硫酸生产	12
第二节 精煉	14
1. 陽極澆鑄	14
2. 銅电解精煉	17
3. 陽極泥处理	18
4. 銅粉制造	23
5. 綫錠澆鑄	24
6. 陰極銅电弧爐熔化	27
7. 感应电爐	33
8. 高导电性無氧銅的澆鑄	38
第二章 鋅	42
第一节 焙燒	42
1. 床式爐	42
2. 悬浮焙燒	43
第二节 浸出与淨化	44
1. 硫化物流程	48
2. 氧化物流程	54
3. 进一步处理副产品的准备工作	55
第三节 电解	56
第四节 蒸餾鋅厂	71
第五节 熔化、浮渣处理及鋅粉生产	74
第六节 鋸	76
1. 大瀑布厂	76
2. 刻罗格厂 (电解厂)	80

3. 菲尔蒙特厂	82
第三章 鉛及联合工業	84
第一节 鉛熔煉及精煉	84
1. 矿石焙燒	84
2. 鼓風爐熔煉	86
3. 粗鉛精煉	88
4. 副产物处理	92
5. 特萊伊尔鉛精煉法	97
6. 灰塵收集	98
7. 含鎘灰塵的处理	98
第二节 渣料烟化	102
1. 东黑勒拿厂	102
2. 特萊伊尔厂 (加拿大)	104
3. 剌罗格厂	106
4. 圖埃尔厂	107
第三节 顏料	111
1. 鹼式硫酸鉛	111
2. 氧化鋅及含鉛氧化鋅	112
結論和建議	117
附录	122

原 序^①

本报告是由欧洲专家技术援助考察团提出的，这个考察团曾在美国经济合作总署(E.C.A.)及欧洲经济合作组织(O.E.E.C.)的安排下，于1951年10月14日至11月22日访问美国。

考察团的目的是参加在底特律召开的世界冶金会议并访问美国的一些有色金属冶炼厂及精炼厂。

铜冶炼在美国及欧洲是基本工业之一，使用着各种重型设备。因此，从这次访问中要得出某种共通性的结论是很困难的，所以受权草拟这个报告的团员们，决定将观察到的方法和设备予以朴素的叙述，以便读者可以从这本材料中选用任何一个适合其需要的数据。

欧洲和美国工厂之间的基本差别是很明显的，这就是后者的生产能力高，其金属提取率和副产品回收率远比较小企业在经济上可能做到的为高。这一点关系到经济和社会问题，似乎很没有必要在这里叙述，因为这是远超出考察团的工作范围了。

① 譯者註：原序是节譯的。

第一章 銅

第一节 熔 煉

1. 取 样

在美国各厂取样是很正规的。最适于取样的地方通常是当原料被送往下一个冶金工序之前的皮帶运输綫上。取样一般是这样安排的，即在所要取的一部份被撥开用于取样需要后，非必要的部份可以容易地回到同一原料的流程中，無需过多的周折。

目前在各冶炼厂应用自动取样机，特别是加飞尔的美国冶炼公司，解决取样問題是用自动取样机以最低的費用自动地采取最少数量的有代表性的試样。

上述冶炼厂，以一个帶有条形空隙的同心卷筒采取約佔进矿重量%的試样。当卷筒轉动时，通过空隙落下的精矿积集成一个工作班的試样，而大部份精矿則从卷筒表面滑到另一个运输皮帶上，从而被运到儲料部門。試样数量可以通过調节空隙孔徑及卷筒速度来改变。

2. 儲料及焙燒

特別在加飞尔的美国冶炼公司里，曾看到一些有趣的儲料及焙燒方法。

这种儲料法与垂直堆积法比較优点是：以最低費用得出組分均匀的混合料並避免粒度的偏集作用，后者会破坏料堆的物理化学均一性。

在加飞尔厂，爐料組份以自动佈料器分層水平鋪开。佈料器的裝置和皮帶运输机的刮板相似，它在儲料面的全長上前后运动。經佈料器出来的爐料借轉动的偏心圓盤均匀分配。全部操作只由一个人掌握

表 1

焙 燒 爐 數 據

公 司 名 稱	焙 燒 爐		爐 層 數	每個焙 燒爐日 處理爐 料 (噸)	所 使 用 的 燃 料		焙 燒 溫 度	焙 燒 氣 體 的 SO ₂ 含 量	爐 料 成 份
	數	尺 寸			類 型	量			
安納康達銅業公司 (在蒙大納州安納康達)	10	鐘表型 φ25'	7	190	天然氣	1000立方呎/每 噸爐料	700°F	8%	50%精礦 40%SiO ₂ 10%石灰石
美國冶煉公司 (在犹他州加菲尔)	8 0	麦克道格尔型 "	8 5	260 150	天然氣	750,000B. T. U. /每噸煉礦	1000°F	—	26.5%Cu, 14%SiO ₂ , 5%CaO, 2.5%Al ₂ O ₃
飛利浦-道奇公司 (在亞利桑那州阿賈)	—	—	—	無	—	—	—	—	—
瑪格理銅業公司 (在阿利桑那州蘇必利爾)	—	—	—	無	—	—	—	—	—
聯邦金屬煉煉公司 (在紐澤西州卡梅萊特)	—	—	—	無	—	—	—	—	—

大多数較老的冶煉厂均用多層焙燒爐；后来設計的冶煉厂沒有焙燒爐，而使用湿精矿直接熔煉。

当考察团在訪問这些工厂时所看到的多層焙燒爐是标准型式的，但新的沸騰焙燒法似有較大的可能性，虽然仍在最后实验阶段。

不过，沸騰焙燒法恐不适于从反射爐爐料中去除4—5單位的硫，因將用額外多的燃料，並且精矿中的熔剂將不够細小而足以合理的速度产生沸騰。

但在硫酸化焙燒中，沸騰焙燒法具有突出的优点。适当的調整一般地將使99—99.5%銅含量溶解于水。

3. 熔 煉

虽然熔煉爐尺寸及結構已經有各种改进，但熔煉过程仍在道常型式的反射爐中进行。

以前認為增加冶煉能力必須通过加長爐身来实现；长达155呎爐子的建筑已得到在熔煉上所希望的改进。加長熔爐的主要理由是由于不能較大地增加拱形爐頂的寬度。

現有的改进可列述如下：

(1) 新式熔爐仅約100呎長，但較大的熔煉能力是以增大熔爐的燃燒面积或熔煉面积来获得的。諾倫达^①煉厂是一个很突出的例子，那里有一个現存的爐子，加寬了五呎，結果增加200吨爐料的容量。其所以能成功是由于悬吊式爐頂不限制熔爐的寬度。

(2) 較長的爐期（超过二年）是通过使用帶筋爐頂及連續噴漿来实现的。各冶煉厂日常使用的噴漿組份如下（見第9頁表）：

(3) 裝料方法的改进亦同样获得成功。中心裝料引起大量灰塵。側面裝料已經克服了这种困难，且同时防止側牆受熔液的侵蝕作用。

① 卜格斯 W.B., 安徒生 J.N., 斯蒂文斯 M.L. 合著：“从1939到1945年的諾倫达煉厂”，加拿大矿冶学会年刊，卷XLVⅡ，1945年，402—428頁。

公 司	所 使 用 的 成 分	数 量	人 数
美国冶炼公司 (在犹他州加飞尔)	石英砂漿		
飞利浦-道奇公司 (在亚利桑那州阿賀)	磨碎的石英砂漿 96% SiO_2 , 1.15% CaO , 65% 固体, 35% 水	5吨/天	日班4人, 夜班2人
瑪格瑪矿业公司 (在亞利桑那州苏必利尔)	石英砂漿 97% SiO_2 , 3% 膨土 岩“稀薄泥漿”		2 人
国际冶炼厂 (在亞利桑那州迈阿密)	石英砂漿 78% SiO_2 , 2.1% Al_2O_3 , 3.3% Fe (接近磚 的成分)	20吨/月	2 人

用在阿賀冶炼厂的皮帶进料器,使熔爐中的燃燒帶得到較完全的利用。采用这种措施,通过皮帶进料器速度的調节,可以將湿精矿裝到爐子熔池橫切面的任何点上。

(4) 側面裝料法在熔煉能力上起了相当的作用。当焙燒矿通过管子裝入时,可以扩大熔爐熔煉面积的利用,但用湿精矿时,有效燃燒面积則限制在熔池兩側的料堆上。“魏格斯塔夫槍”(Wagstaff Gun)在这方面是个改进,但它的裝料范围仍是有限制的(如加飞尔冶炼厂)。实践証明,將其用在裝焙燒矿是滿意的,但用在裝湿精矿时就較差了。

影响反射爐熔煉能力的另一重要因素为裝料速度。裝料不应超过某一定的数量,否則爐溫下降,熔煉速度因而減低。

为了防止裝料过多,熔爐裝置有自动記錄高溫計。在国际冶炼厂里,連續裝料是用曳引鏈来完成的,这样可以多少消除人为的因素。

(5) 虽然側面裝料法解决了大部分的灰塵問題,但反射爐背后的廢热鍋爐仍然必須多少連續地进行通爐。灰塵的数量已为天然气代替粉煤所降低了。然而,在某些冶炼厂这个問題仍然是严重的,尤其在阿賀。在这个厂里,管理部門試用約30—40吋寬的“泥漿鑲板閘板”来解决这个問題,懸吊閘板橫亘爐膛的全寬,距尾牆約10呎,高出熔液面30—40吋。每塊鑲板是由U形管組成的,管徑約1½吋,例如以旧鍋爐管子埋置在耐火材料的

基体中。

各个鑲板可以被提起、放下及互换，並为石英砂漿的噴漿所保护。

这些噴有砂漿的鑲板降低了廢热鍋爐里的灰塵量，且允許在鍋爐內有較高速的气流，而使它沒有阻塞；並在熔爐內具有冷却效能，減低热的損失及延長上昇烟道面积內磚的寿命。

(6) 有人主張用一層厚至 3 吋的石棉絨來絕热全部爐頂同爐牆，就可达到燃料消耗的某些節約。这个方法仅在一个厂里看到，这就是在迈阿米的国际冶煉厂。

(7) 在反射爐內經常保持深厚的冰銅熔池，能够获得較高的熔煉速度（见表 2）。

(8) 性質类似的另一个严重問題是爐底上磁性氧化鉄的蓄积，它最后迫使爐子停工；一般說来，这个問題的解决是須使爐渣中的 SiO_2 維持在 37% 以上。

关于此点，必須注意熔池內大部份的磁性氧化鉄是来自返回的吹爐爐渣。当这种爐渣具有高的 SiO_2 含量 (30—32%) 时，它防止吹爐內磁性氧化鉄的形成，从而消除其在反射爐底上的蓄积。

4. 吹 煉

吹煉阶段的主要要求是：

(1) 尽可能減少吹風時間和操作時間的差別以取得最高的吹煉效率；

(2) 減低裝料週期；

(3) 延長吹爐磚的寿命。

(1) 吹風時間

一些美国工厂組織了这样的方法，即在尽可能短的時間內完成吹爐的撇渣及注入冰銅的操作。这个方法需要相当数量的吊車。当吹爐正在吹風时，以格尔槍 (Garr-Gun) 裝入熔剂可以減輕操作。加飞尔美国冶煉公司的吹風時間与操作時間之比為

92%。

格尔枪的使用减少了吹爐的空运转時間，且同时減輕了吊車的負担。熔剂的粒度在格尔枪的使用中似乎是决定的因素。一般地說，当使用时，如果粒度太小，微粒將圍繞吹爐口形成爐結。結果是必須經常清理爐口，以致損失有用的吹煉時間。

据說使用格尔枪每班需要額外的劳动力。这个因素，当然是仅在高工資的工厂里是重要的。

(2) 較短的裝料週期

縮短週期的措施包括防止空气損失和將額外空气吹入爐內。按照空气容量計指示的数据进行冲孔，可以减少空气的損失。当吹入吹爐的空气容积降低到約为总有效容积的 85% 时，吹爐仅須冲孔一次或二次。某些冶煉厂仍沿用吹爐的連續冲孔，以致損耗了有用的吹爐空气和損坏風口磚。間断冲孔还可以减少每个吹爐所需要的冲孔器数量。

在爐口范围以外，使用較大的風口直徑能够將更多的空气吹入吹爐內。对着爐口的風口通常觀以 1½ 吋內徑的風口磚，其余的風口觀以 2 吋內徑的磚。这样就防止吹爐內熔融爐料由爐口吹出，並可吹进更多的空气（見表 3）。在阿賀冶煉厂見有这种情况，該厂的吹爐每分鐘使用 30,000 立方呎的空气，而其他相同尺寸的吹爐每分鐘只能吹入 14,000—18,000 立方呎的空气。

(3) 磁性氧化鐵的吹煉

这种方法已增加了吹爐磚襯的寿命。在加飞尔的美国冶煉公司，在一个 13×30 呎水平式吹爐內获得一个爐襯能生产約 85,000 吨粗銅的突出数字。当然，这是例外高的，但正常的数字仍約为 30,000—50,000 吨。这个数字較其他冶煉厂所得的高很多。据說主要是由于使用磁性氧化鐵爐襯。

作为操作規程，每星期需进行二次磁性氧化鐵的吹煉，其作法如下：

將三罐冰銅注入吹爐內，不加入任何熔剂，吹煉約 90 分鐘；然后將風口綫昇高到熔液水平之上，目在那里保持一小时。隨

后，將第四罐冰銅注入已加熔剂的吹爐內並用正常的方法吹煉；随后是正常的吹爐裝料週期。据說这样操作能在鎂磚上面得到必要的、起保护作用的磁性氧化鉄爐襯。

据指出，厚至2½吋的磁性氧化鉄層是可以在風口綫的純鎂磚上形成的。一般公認在路鎂磚爐襯上不能做成同样完善的磁性氧化鉄層。

5. 接触法硫酸厂的硫酸生产

考察团訪問了三个接触厂，即安納康达銅業公司，加飞尔美国冶煉公司及迈阿米烟士披里純联合銅業公司。

孟斯坦多公司所建造的安納康达接触厂是較陈旧的建筑。該厂有双重接触室，每日生产約130—140吨 SO_3 。由五个黃鉄矿焙燒爐供給 SO_2 气体，其濃度为5—7%，每分鐘送到接触厂的气体为13,400—14,200立方呎。在鼓風机压力側所測定的該厂总气流阻力为4.3—4.8吋水銀柱。平均轉化效率是88—89%。調節酸液用的水是通过耐熱硅砂管直接加入干燥塔的。备有浸液泵的鋁鉄鍋爐作为初期酸液容器。气体然后道过塔式干燥器及吸收塔。在两个塔中的噴霧槽上裝有間隙为16吋的格子系統，作为留存酸粒之用。格子扩展在塔的全部横断面上。接触室的塔式干燥器及吸收塔是露天的。仅通風机、初期酸液容器及噴霧泵是掩盖着的。地面是沒有复防酸層的混凝土。廢气从吸收塔通过薄鋼板烟囱直接排入空气中。从廢气中可以看到該厂具有良好的吸收效率。包括气流测量的所有测量仪器設在一个房子里。該厂每班由2人操作。精矿焙燒爐的廢气及吹爐的廢气均未作处理，如此就損失了大量的硫。

加飞尔有两个接触厂，旧厂从黃鉄矿焙燒爐获得气体。新厂仅处理吹爐气体。吹爐气体先后在热式和湿式电气收塵室濾清，通过焦炭過濾器进入塔式干燥器內，然后在压力下送进接触鍋爐內。气体的容积为每分鐘40,000立方呎。为了轉化作用，这种气体通过五阶段的接触室。这些阶段充滿着接触体。

日产量总计为 250 吨硫酸，每吨硫酸需要 45 加侖的接触体。
接触体为餅形（厚及直径约为 0.2 吋）。

在不同阶段的平均引入温度为：

- 阶段 1： 785°F
- 阶段 2： 895°F
- 阶段 3： 790°F
- 阶段 4： 840°F
- 阶段 5： 800°F

吹爐气体变化很大，平均含 SO_2 3.5%。为了使加热气体和吹爐气体混合，装有一个煤气燃燒預热器。

所有測量仪表集中在一个房子里。該厂每班由 3 人操作。这个厂的总气流阻力为 60 吋水柱，是紧接鼓風机背后的压力側測定的。装有充填箱的离心泵安置在初期容器的縱向上，並高出酸液面；塔式干燥器及吸收塔內的噴霧使用离心泵，每分鐘容量为 131 立方呎。鍛鉄鍋爐用作初期容器。同安納康达厂一样，塔式干燥器及吸收塔中的噴霧槽上裝有格子系統，作为刮耙用。所生产硫酸的雜質含量为：

0.000125% Cu

0.00001% As

0.0003% Fe

在迈阿米的烟土披里純联合銅業公司的接触厂是化学建筑公司所承建的較近代建筑。其硫酸日产量为 110 吨。以熔化的元素硫在爐內燃燒，所产生的气体在接触鍋爐里处理。以加入空气的方法調节气体濃度在 7% SO_2 ，且保持不变。每吨硫酸需要 52.5 加侖接触体。

当气体容积为每分鐘 8,500 立方呎吋，鼓風机后面的阻力为 3.66 吋水銀柱。所有的噴霧泵是浸液型的。突出的特点是沒有初期容器。酸液按自然坡度由冷却器直接流到噴霧泵。同样將調节酸液的水通过耐热硅砂管加入塔式干燥器內。該厂的結構是很簡單的，而且佔地很小。

总结起来，必须这样说：美国的接触厂是简单而又很耐用的。每吨硫酸需充填 45 加侖接触体的数量是小的。接触鍋爐內的气体速度是高的，在鍋爐轉化效率方面來說，該速度具有有利的效果。將浸液泵用作噴霧泵；这些泵制造坚固且具有高的工作效率。裝有填充箱的浸液泵防止了酸液的滲漏，且有可能做到不用耐酸的地板复層，这样可节省相当的費用。

在所有接触厂里，廢气从直接裝在吸收塔上的薄鋼板烟囱逸出。因此耐酸磚砌的烟囱是没有必要的。从烟囱的廢气可以判断所有工厂中的 SO_2 吸收情况是良好的。無疑的，按裝在吸收塔的格子系統对这个結果是有部份作用的。

第二节 精 煉

1. 陽極澆鑄

美国絕大多數銅冶煉厂將粗銅澆鑄成各种尺寸的陽極板后运到屯解精煉厂。粗銅是以熔体状态送至陽極爐的。傾动式圓筒爐几乎是唯一的一种。例如，安納康达銅業公司使用兩座这种型式的陽極爐，其尺寸为 13×24 呎，容量为 225 吨，爐襯是 13 吋厚的硬燒鎂砂。加飞尔的美国冶煉公司有四座 13×25 呎同样爐襯的爐子。阿賀的飞利浦—道奇公司使用一座襯以鎂磚的 200 吨爐子。

粗銅熔体是用罐来裝的，罐的容量可以裝滿一座吹爐。吹風及还原二至三小时之后，將精銅澆注在輪盤澆鑄机的鑄模內（通常为魏尔克型 Walker type），澆鑄机有 26 个鑄模。这些鑄模用水压机鑄成。

煉爐週期約 24 小时，澆鑄速度为每小时 35—42 吨。冶煉厂的回收率平均为 98%。每个鑄模具有相当于澆鑄 250 吨銅的寿命。陽極含銅 99.3—99.73%，以及成份不一的稀有金屬。

除成型陽極銅外，銅精煉厂还接受数量不等的粗銅，將其与陽極的殘極一同放在反射爐里，並再澆鑄成陽極。

在蒙大拿州大瀑布城的安納康达銅業公司有一座 300 吨反射