

高等學校教學用書

# 粉末冶金學普通教程

鮑洛夫、奧爾霍夫著



機械工業出版社

424

1

5

高等學校教學用書



# 粉末冶金學普通教程

韓鳳麟譯

王基厚校

蘇聯高等教育部審定為高等技術學校教科書



機械工業出版社

1955

## 出版者的話

本書是根據蘇聯國立冶金出版社(Металлургиздат)1948年出版鮑洛克(Б. А. Борок)和奧爾霍夫(И. И. Ольхов)著的[粉末冶金學普通教程][Порошковая металлургия(общий курс)]翻譯的。原書經蘇聯高等教育部推薦為高等技術學校教材。譯本可作為我國高等技術學校教材和工程技術人員參考書。

書中闡述了粉末冶金的原理——粉末的製取、混合、篩分、壓製及燒結等工序，技術檢驗，製品的性能與應用，以及粉末冶金理論方面的主要情況。

書號 0947

---

1955年11月第一版    1955年11月第一版第一次印刷

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 字數96千字 印張3<sup>7</sup>/<sub>8</sub> 插頁3 0.001—3,000冊

機械工業出版社(北京東交民巷27號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

---

北京市書刊出版業營業許可證出字第008號    定價(8)0.77元

# 目 次

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 原序 .....                       | 5   |
| 第一章 概論 .....                   | 7   |
| 1 粉末冶金學的對象 .....               | 7   |
| 2 粉末冶金學的發展史 .....              | 8   |
| 第二章 粉狀金屬與合金的製取 .....           | 11  |
| 3 金屬粉末，及其性能與特性 .....           | 11  |
| 4 金屬粉末的生產 .....                | 25  |
| 第三章 金屬粉末在壓製和熱處理時的物理-化學過程 ..... | 42  |
| 5 金屬粉末壓製時的強化 .....             | 42  |
| 6 經壓製的金屬粉末的熱處理過程 .....         | 52  |
| 第四章 金屬粉末製的材料與製品的生產 .....       | 57  |
| 7 粉末的壓製準備 .....                | 57  |
| 8 金屬粉末的壓製 .....                | 59  |
| 9 壓製的半製品的燒結(熱處理) .....         | 69  |
| 10 熱壓製 .....                   | 78  |
| 11 燒結半製品的特殊加工 .....            | 80  |
| 12 成品的檢驗 .....                 | 83  |
| 第五章 金屬粉末製的製品與材料，及其性能與應用 .....  | 87  |
| 13 減磨材料 .....                  | 87  |
| 14 摩擦材料 .....                  | 98  |
| 15 主砲彈箍 .....                  | 100 |
| 16 過濾器 .....                   | 100 |
| 17 難熔金屬 .....                  | 102 |
| 18 硬質合金 .....                  | 103 |
| 19 重金屬 .....                   | 105 |
| 20 高度多孔質材料 .....               | 105 |
| 21 磁性材料 .....                  | 106 |
| 22 電工材料 .....                  | 107 |
| 23 機械零件 .....                  | 109 |

|    |                 |     |
|----|-----------------|-----|
| 4  |                 |     |
| 24 | 粉狀金屬的直接應用 ..... | 115 |
| 25 | 發展的前途 .....     | 118 |
|    | 參考文獻 .....      | 124 |

## 原 序

近幾十年來，粉末冶金作為製造特殊性能製品的方法來說，具有着非常重要的意義。粉末冶金能够成功地解決在普通和特種機器製造中的許多最重要的問題；在許多情況下，當生產先用鑄造，而後機械加工的方法製造成品時，若採用粉末冶金法來製造則更為經濟。

粉末冶金工藝得以迅速發展和掌握的保證條件之一，就是培養[粉末冶金的]專業的技術人員。同時，使機器製造師，設計師，機械師和其他專業人員熟悉新方法的技術與經濟的可能性和優點，也是很重要的，因為他們直接關係着運用粉末製品的成效、範圍與速度。因此，在很多高等工業學校中，增添了粉末冶金學普通教程，這樣一來，適當教材的出版就成為必要了。巴利新(М.Ю.Бальшин)的[金屬陶製學](1938年)與達仲斯(В.Д.Джонс)的[粉末冶金原理](1940年)已經不合時代的要求，而拉可夫斯基(В.С.Раковский)的[金屬陶製的硬質合金](1945年)，沙魯平(Н.М.Зарубин)與科泊契克(А.Н.Копчик)的[難熔金屬的生產](1941年)，只僅僅闡明了粉末冶金學中的某些問題。

本書可作為大學生學習粉末冶金學普通教程的課本。同時作者也力求滿足工業企業中廣大工程——技術界，對新冶金方法的興趣，因此，對金屬粉末製品的性能與特性，新方法的發展，優點和前途比工藝方面寫的較為詳細。

本教程主要取材於，作者們在1946~47與1947~48學年在莫斯科業餘機械製造學院講授的粉末冶金學教程，以及1947~48年在莫斯科與其他城市對許多企業的工程——技術人員的演講。

在壓製和燒結過程中，由於金屬粉末聚合體的塑性變形，尤其是強化，因之形成了堅固的金屬體，這種現象到現在為止還沒有適

當的解釋——全面的與有實驗根據的。如同教學實踐所指出的，對於粉末聚合體的強化現象，若沒有十分詳細與一定程度概括的解釋，學生是難於接受的，因為在一般人的想像中，認為金屬粉末製品，必然是不堅固的，脆弱的，甚至受到機械力時就要粉碎為粉末。甚至，用製品的試樣來證明，也難以打破這種觀念；因此，作者們特將這些問題分為專門的一章（第三章）。壓製與燒結時的一系列現象的解釋，及與解釋有關的專門實驗，皆為作者們在中央黑色金屬冶金科學研究院（ЦНИИЧЕРМЕТ）粉末冶金試驗室中完成的。由於本書的篇幅，與第三章附加意義的限制，使作者們不能把自己在這方面所有的工作，給以充分而詳細的敘述。

作者們對於黑色金屬與有色金屬製的製品、材料和粉末的製造工藝、性能與特性給與了充分的注意。但對稀有金屬，難熔金屬與硬質合金的工藝與性能只簡略的予以闡明，因為這些金屬的生產規模小，企業的數量有限，若對它們作詳盡的敘述，將使非粉末冶金的專業人員不感興趣。

本書利用了蘇聯與國外文獻中發表過的材料，以及作者們從事於工業及教學的經驗。圖 13, 14, 15, 18, 19 取自作者們自己的著作。所有其餘圖表皆取自其他各種文獻。

作者們對問題未能詳盡無遺的，充分的予以說明，同時，本書初版又是作為教本，書中的錯誤與缺點在所難免，如蒙指正，不勝感激。

技術科學博士，密爾遜（Г.А.Мерсон）教授在審查原稿時曾給予寶貴的指示，特此致謝。

作 者

# 第一章 概論

## 1 粉末冶金學的對象

不用熔煉和鑄造，而用金屬粉末製造零件的方法，叫做粉末冶金<sup>●</sup>。這個方法主要的特點在於用壓製金屬粉末和熱處理的方法，來獲得材料和零件，熱處理的溫度較所用金屬的熔點為低，當用多種粉末的混合物時，則所用的溫度較其中最難熔成分的熔點為低。

最近幾十年來，粉末冶金已脫離了實驗階段。在 20 世紀初，粉末冶金法已被採用作為生產難熔金屬的唯一方法，粉末冶金顯著地擴大了現代技術的能力，並於生產規模內掌握了各種類型零件的製造，這些零件因為具有一些特殊性能而不能用其他已知的方法來製取。粉末冶金作為一種方法，其價值決定於一系列的特性和優點。茲表明其主要者。

當以燒結代替熔化時，除了降低金屬和合金熱處理的溫度之外，粉末冶金法可以製得：

1) 所謂假合金，這些假合金是由彼此不相熔合，並於許多情況下，比重和熔點有着很大差別的金屬所組成；

2) 含有均勻分佈的非金屬成分（如石墨，二氧化矽等）的金屬與合金；

3) 孔隙度和孔隙的大小可準確控制的多孔質物質，這些孔隙必要時，可充填以油或其他填料；

4) 各種具有高級化學純度和任何指定成分特別精確的金屬與合金，可不受熔化和鑄造條件的限制；

● 在文獻中遇到的名詞「人造的金屬體」和「金屬陶製術」意義表示的不完全，因為第一個僅說到，金屬體是人造的（但沒有說明過程的本質），而第二個僅僅說明其方法與製陶方法相似。

- 5)含有均勻的微粒結構的金屬和合金;
- 6)不用機械加工或稍加精修即可的形狀複雜和尺寸精確的製品。

同時,粉末冶金的方法也受到許多限制,如同:

1)原始粉末的成本高,因之就必須將產品的加工費用竭力地縮減。

2)在壓製時,所需的單位壓力很高,這樣就使得製品的尺寸受到限制。

3)粉末的流動性低,使得難以壓製複雜形狀的製品。

4)壓模<sup>●</sup>的成本高,故此法只有在大量生產的條件下才有利。

5)在熱處理操作時,要應用能控制的具有保護性的還原氣氛。

在判定粉末冶金的方法對於某種產品或材料的生產是否適合時,在每一個個別情況下解決問題時,都應當考慮到上面所指出的優點與限制。

## 2 粉末冶金學的發展史

粉末冶金學是最早的冶金方法之一;這些作業,如同粉末的壓製和燒結,還原礦石製取海綿鐵,粉末混合物的混合和隨後的加工,在很久以前就被採用了。

粉末冶金學的原始資料指出,粉末冶金學與古代社會的技術是有些關係的,特別是埃及,距今3000年以前,即已使用與粉末冶金有關的方法,製造鐵的器械。地中海區域的國家,距今1200年以前,已使用鐵和鋼的製品;稍遲,雖然在相當晚的年代中,才發現產生足夠用來煉鐵的高溫度的方法,但在300年以前,在印度(德里)便已製成了重6.5噸的大鐵柱。古代鐵製品的製造程序如下:用木炭還原鐵礦製取鐵粉或易碎的海綿鐵,然後,將鐵粉或海綿鐵在還原氣氛下進行熱鍛,使分散的顆粒聯結起來;再繼續鍛造即可得到

● 術語「壓模」應理解為組成壓製粉末的工具的所有零件的總稱。作者認為術語「壓製工具」更為恰當,但是,術語「壓模」這個名詞在粉末冶金及與它有關的技術範圍內,已成為既具有歷史性也是廣泛流行的術語了。

所需尺寸的製品。研究的結果證明，德里的鐵柱就是用這種方法製成的。

如金、銀、銅、青銅和鉛等金屬，在古代廣泛的用於製造裝飾品，貴重物品，以及陶器和油畫的顏料。金粉的精製法，在遠古時的埃及就已經知道了（約距現在 3400~3000 年）；在一本手稿（距今 300 年）中，就曾敘述了金屬粉末的製造方法。

金屬粉末在中世紀就已相當熟悉了，並且在各方面加以應用，連醫學方面也曾用到了它們。在第十世紀愛拉克利烏史（Эраклиус）敘述了金粉的製取方法，而契涅費利烏史（Теофилиус）詳盡的記述了關於製取金、銀、銅、黃銅和錫粉的磨坊，以及產品加工的操作程序。嗣後（1580 年）愛爾蓋爾（Эркер）則又記述了用金屬液傾入水流中的方法來獲得粒狀金屬的過程。

十八世紀和十九世紀初葉，在粉末冶金學上完成了一系列具有非常意義的工作。1724 年發表了，關於確定兩塊經過壓製的鉛，它們的潔淨表面之間黏着強度的論文；1739 年記述了在固態線與液態線之間的臨界溫度下，用機械方法製取金屬粉末的方法。

1826 年，俄國聖-彼得堡貨幣製造工場，利用了薩波列夫斯基（П.Г.Соболевский）[1, 2, 3]所創議的方法，用鉛製作物品（貨幣，獎章等），這個方法完全基於粉末冶金學的原理：就是經過冷壓的鉛粉，燒結後再進行熱鍛。

1840 年，俾施麥（Бессемер）[4]創造了鱗狀金屬粉末的製造法，把纖薄的金屬刨片用軋輥壓成粉末，然後，於粉末中加以少量潤滑劑（橄欖油）進行研磨。俾施麥用這種方法製造了各種金屬與合金（銅、黃銅等）的粉末。

在 1750 至 1850 年間，即可製造二十種以上不同金屬的粉末。

1870 年有人用熱壓錫屑與石油焦的混合物，製作自動潤滑軸承的方法，得到了專利權；嗣後，又有人用鉛、錫與汞的混合物，和含有鉛及其他塑性金屬的石棉的混合物冷壓製作減磨合金的方法也得到了專利權。

19世紀末，發表了一系列在理論上及實用上有特殊意義的文獻。很多研究者研究了壓製壓力的影響，及在低於熔點的溫度下，由粉末混合物製得了合金。由碳化化合物製得的金屬，給予粉末冶金以高度純潔性和特殊性能的材料。最後，關於研究碳化鎢的著作，是在硬質合金粉末冶金發展上的第一個階段，它的特殊意義是衆所週知的〔5〕。

20世紀粉末冶金發展的特點是研究工作的深入，粉末冶金學的方法迅速地滲透到工業的各個部門中去，以及一系列新的生產的發展。許多研究者的一系列理論工作〔6, 7, 8〕幫助了正確的理解工作過程，並具有着特殊的價值。

電燈燈絲的製造工作，推動了粉末冶金工業的發展。由鎢粉先經過壓製成型後，再經熱處理，以及最後施以機械加工（鍛、拉絲）這些步驟所組成的一套工作方法，在1909年首先提出了申請書。用這種方法製得的鎢絲，在20世紀初葉就已得到了廣泛地應用。

在20年代中，在工業上開始生產製造具有很高工業價值的硬質合金，以及其發展，引起了人們對粉末冶金更加重視，同時使研究工作得以廣泛開展。

用粉末冶金方法，製取多孔質自動潤滑軸承是粉末冶金第二個重要的發展階段；這種軸承在汽車，航空等工業上很快地獲得了應用。

在所引述的情況中，粉末冶金的方法已使用來獲致特殊性能的材料。

掌握如同磁石，電接點等類零件，以及各種細小的機器零件（齒輪、填料盒、導板等）的生產，是粉末冶金今後的發展階段，這些小零件，雖可用普通的冶金方法製取，但用粉末冶金法製造它們可更經濟些。

粉末冶金製品的種類，在逐年的擴大着。到目前為止，理論和實驗工作的規模，已經使得粉末冶金學，在一系列新的，有前途的冶金方法中鞏固了它的顯著地位。

## 第二章 粉狀金屬與合金的製取

### 3 金屬粉末及其性能與特性

爲了獲得成品，對各種粉狀的金屬與合金，使用了機械加工的和熱處理的種種方法。

金屬粉末加工時的物理-化學現象，較之加工塊狀金屬時複雜的多。密緻的金屬，是許多彼此相鄰的晶體密切堆積而成的，這些晶體僅僅在某種程度上被晶界面所隔離；加工時在金屬中發生的現象，可歸結爲各別晶體內進行的過程，及晶體間彼此的相互作用。

由普通具有複雜的多晶結構的完全單獨的顆粒所組成的金屬粉末，加工時，除與上述的塊狀金屬有類似的過程之外，還有個別粉末顆粒（晶體的堆積物）間相互作用的粗相過程發生。在金屬內部，同時發生着彼此促進的粗相過程和微相過程，因而形成了一個全面的，極其複雜的組合。自然，粉末顆粒的本質與性能，對於整個的加工過程，與成品的性能有着顯著的影響。顆粒的粒度，形狀，表面狀態及其他的物理性質，對於加工時金屬粉末的性能來說，和化學組成是同樣的重要。使用各種不同的製造方法，可以由同一金屬製得各種性質截然不同的粉末，而這些粉末的用途應該按照它們本身的性質來決定。例如，由捶打法〔圖 1（見第 125 頁）〕製取的銅粉，具有花瓣狀的顆粒，厚  $0.5 \sim 1.0 \mu$ ，最大直徑  $50 \mu$ ，且鬆裝比重<sup>①</sup>約爲  $1.5 \text{ 克/公分}^3$ 。這種粉末不能用於壓製，因爲壓製的成品有着強烈的方向性，但却可作爲染色的顏料。用熔銅霧化法製得的直徑  $100 \sim 700 \mu$ ，鬆裝比重爲  $5.5 \pm 0.5 \text{ 克/公分}^3$  的規則的球形〔圖 2

① Насыпный вес: 直譯爲〔乾燥時單位容積的重量〕，今譯作〔鬆裝比重〕。

(見第 125 頁)] 顆粒的銅粉, 適用於製造多孔質的過濾器。此種粉末祇能於大的壓力下壓製, 且在壓製前即具有燒結能力。電解銅的粉末為不規則的樹枝狀顆粒, 大小為  $40 \sim 75 \mu$  [圖 3 (見第 126 頁)], 鬆裝比重為  $1.45 \pm 0.1$  克/公分<sup>3</sup>, 它們甚至在不大的壓力下, 也具有優良的壓製性。

由以上的例子可看出, 化學成分相同, 但物理特性不同的粉末, 其工藝性能有着顯著的差異, 因此應按照所用粉末的特性確定其製造方法及應用的範圍。

在每個各別情況下, 選擇適當的原始粉末或其製造方法時, 必須時時考慮到粉末的複雜特性: 包括化學組成, 物理性質和工藝性能。

金屬粉末的特性:

1. 化學組成:

a) 主要金屬(或合金的主要金屬)的含量;

б) 雜質的含量;

в) 化合的(例如, 成氧化物的形式), 附着的或溶解狀態的氣體的含量。

2. 物理性質:

a) 顆粒的主要形狀;

б) 粒度組成(顆粒的平均大小, 粒度不同的顆粒的比例);

в) 預先加工後的顆粒狀態(例如, 退火後的粉末, 加工硬化後的粉末等);

г) 粉末顆粒表面的面積和狀態。

3. 工藝性能:

a) 粉末疏鬆填裝時單位容積重量(即所謂假比重或鬆裝比重)(克/公分<sup>3</sup>);

б) 粉末的流動性(克/秒);

в) 粉末的壓製性, 其測定方法以後將會講到。

除去這些一般性質之外, 在許多情況下, 粉末的特殊性質(例如,

表1 鐵粉的化學組成

| 粉末的製造方法    | 化 學 組 成   %                    |                              |      |      |      |      |     |      |      |      |            |                     |                         |
|------------|--------------------------------|------------------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------------|---------------------|-------------------------|
|            | 直接由分析測定                        |                              |      |      |      |      |     |      |      |      | 按分析數據的計算   |                     |                         |
|            | 鐵的總<br>含量<br>Fe <sub>tot</sub> | 金屬<br>鐵<br>Fe <sub>met</sub> | 碳    | 矽    | 硫    | 磷    | 錳   | 銅    | 鉻    | 鎳    | 氧化鐵中<br>的氧 | 由分析測<br>定的總和<br>+ 氧 | 差數(100<br>—13行中<br>的總和) |
|            | 2                              | 3                            | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9    | 10   | 11   | 12         | 13                  | 14                      |
| 電解法<br>還原法 | 99.2                           | 98.4                         | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 無    | 微量  | 0.02 | 0.03 | 無    | 0.24       | 99.59               | 0.41                    |
|            | 97.8                           | 96.0                         | 0.25 | 0.33 | 0.08 | 0.05 | 0.4 | 0.1  | 0.05 | 0.06 | 0.84       | 99.66               | 0.34                    |

註：1. 2行的 $Fe_{tot}$ 也表示在氧化狀態下，金屬鐵的含量總和。

2. 計算12行中氧的含量時係假定：氧化鐵成 $Fe_2O_3$ 狀態。

抗蝕性，化學活動性，吸着能力，顏色，光澤等等)，也是很重要的。

粉末的工藝性能和特殊性質，是其所有化學性質和物理性質的複合函數。化學組成和物理性質不同的組合，確定了金屬粉末，尤其是像被稱為「西赫脫」(Шихт)的粉末混合物的品種的多樣性。

### 1 粉末的化學組成

現在粉狀金屬材料的品種，就其組成來說是非常多的。我們說，今天工業上需要着幾乎所有的金屬和大多數合金的粉末，這樣說，並不誇大。在粉末冶金中常常使用着一些純金屬，而在普通冶金中由於受到許多條件的限制，却只能以合金的形式來使用它們，例如，鎢、鉬、鈦、鋁等。照例，金屬和合金的粉末含有和塊狀金屬同樣種類的雜質，然而

各種雜質在這兩者中的含量是各不相同的。粉末的大的有效表面使其對周圍氣體介質的反應特別靈敏，這就一方面確定了有效地除去雜質（如碳、硫、磷等）的可能性；而另一方面，却由於氣體數量的增加而增多了雜質。因為這個緣故，在金屬粉末中，通常必須規定出其主要金屬成分的最低含量。甚至在這樣的情況下，當各種氣體，其中包括化合狀態存在的氣體，可以在隨後的加工中除去時，被降低了的金屬含量也是一個不良的因素。

氣體含量的直接測定，使得由差數確定主要金屬含量成為可能，但氣體含量的直接測定，比主要金屬的測定困難且準確性較小。

表 1 中援引的鐵粉的分析，給予了關於粉狀金屬中氣體含量的概念。氣體的組成是非常不同的；例如，依照作者的數據，一公斤電解的鐵粉中含有 8 公升以上的氣體，這種氣體的平均組成是：

$O_2$ —0.24%， $CO$ —1.17%， $CO_2$ —4.2%， $H_2$ —93.6%， $N_2$ —0.8%。

最後，應考慮到粉末中金屬含量的不穩定性。所有的粉末都有腐蝕的傾向，所以，鑑定該批粉末的化學分析，僅僅在有限的時間內有效。

## 2 物理性質

金屬粉末在加工時所具有的性質和製成後成品的性能，同樣的，都是由該種粉末本身原有的物理性質和化學性質的綜合性質來確定的。但是，也存在着某些一般的規律，這些規律可以用來決定單獨選取的特性對粉末加工方法的關係和製成品的性能的關係。

### a) 粉末顆粒的形狀

粉末以顆粒的形狀來分有：球形的（球狀的），鱗片狀的（花瓣形的），樹枝形的，點滴狀的，纖維形的，以及不規則多面體的顆粒。

顆粒的形狀對於粉末的鬆裝比重和壓製性（壓製的密度，強度和均勻性）都是有影響的。

樹枝形的顆粒有着最大的壓製強度，在這種情況下，壓製時粉

末的強固化,不僅僅是由於分子凝聚力的作用,而且也是由於像顆粒間的嵌合,突出部分與枝節的交織等單純的機械作用所導致;樹枝形的顆粒,鬆裝比重最小,並且,壓製時需要相當的壓力,才能製得足夠密度的壓件。疏鬆填裝的球形顆粒,鬆裝比重最大,就是充填的密度最大。鱗狀顆粒不適於壓製,因其有着層化的趨向,和排列在垂直於壓製方向上的傾向。

在粉末的技術條件中,通常要指出需要的顆粒形狀。顆粒的形狀最好使用 100~150 倍的雙目放大鏡來測定。

### 6) 粒度組成

粉末顆粒的大小是一個重要的特性,在技術條件中必須予以說明。粉末的粒度與其他特性相配合決定着:壓製時的單位壓力,燒結時的收縮量,鬆裝比重,壓模的結構,以及燒結的成品的機械性能。粉末愈小,壓製時需要的壓力愈大(對於達到給定的密度來說),但是另一方面,壓件的強度愈大,則所需的燒結溫度愈低,成品(燒結的)愈堅固。在黑色金屬和有色金屬粉末的研究中,最有興趣的是,燒結時收縮量與粉末粒度的關係:細小的粉末燒結時收縮(尺寸減小,體積的收縮),粗大的粉末則表現出增大(尺寸增大,體積的膨脹)。

各級粒度的粉末,按一定比例配合時,可得到收縮量相當小的混合物。

實際上,永遠也不會遇到粒度相同的金屬粉末。粉末的粒度組成是非常不同的,普通以篩分析表示(表 2)。在某些情況下,篩分析的數據可用粒度曲線表示。

粉末的粒度組成,可用不同的方法測定。篩分析最簡單和應用最廣,並且在於,秤量的粉末試樣可通述全套篩子而分開,就整套篩子來說,任一個較低層的篩子必較其上層篩子的篩孔要小。現在應用最廣由一套標準篩合成的儀器如圖 4 所示,標準篩的組合如表 3 所示。當將粉末篩分以後,需要秤量留存在每個篩上的各級粉末。殘留在 100 號篩上的粉末(稱為: -65 + 100 目的粉末),這些粉

表2 金屬粉末的篩分析

| 序號<br>№ | 粉末的名稱和牌號       | 篩 分 析 %    |               |               |               |           |
|---------|----------------|------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
|         |                | +100<br>目  | -100+150<br>目 | -150+200<br>目 | -200+325<br>目 | -325<br>目 |
| 1       | 還原鐵            | 0.05       | 9.57          | 19.78         | 31.93         | 38.87     |
| 2       | 電解鐵            | 1.18       | 11.09         | 24.36         | 22.25         | 41.12     |
| 3       | 標準電解銅          | 無          | 5.0           | 18.0          | 27.0          | 50.0      |
| 4       | 粉化鋅            | 無          | 無             | 10.0          | 30.0          | 60.0      |
| 5       | 以 $\mu$ (忽公)表之 | 自0.5<br>到1 | 自1到2          | 自2到3          | 自3到4          | 自4到7      |
|         | 百分含量           | 23.0       | 30.0          | 25.0          | 14.5          | 7.5       |

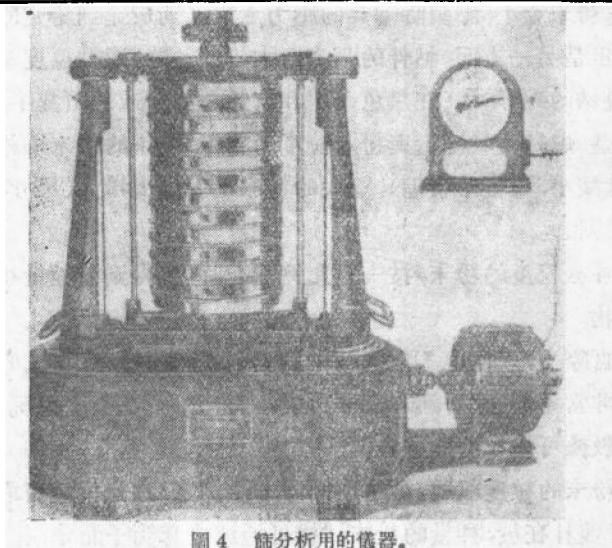


圖4 篩分析用的儀器。

未能穿過 65 目篩孔，但不能通過 100 目篩孔(顆粒的大小，自 147 至 208 $\mu$ )。下一級是 -100 + 140 目的粉末(自 104 至 147 $\mu$ )像這樣排下去直到最末一級就是 -325 目的細粉(小於 44 $\mu$ )。已知一級粉末的重量，與試樣總重量之比乘以 100，就是試樣中該級粉末的百分