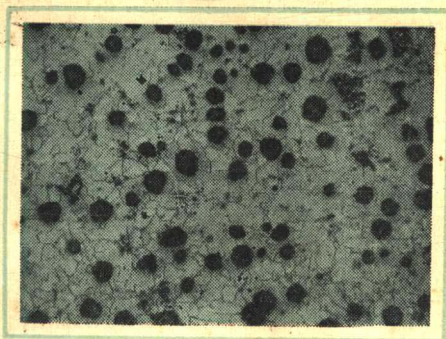


# 鐵鑄墨球

鄧良澄、王信之、陳恩相合著



機械工業出版社

# 球 墨 鑄 鐵

鄧夏澄、王信之、陳恩相合著

## 出版者的話

本書作者有系統地討論了有關球墨鑄鐵的各項主要理論，全面地總結了作者從1951年起到目前為止，在製造和研究球墨鑄鐵的實際經驗。主要內容包括球墨鑄鐵的歷史、製造方法、球化理論、孕育理論、鑄態性能、熱處理方法以及特殊性能和應用範圍。本書的特點是：理論結合實際，用試驗的結果來說明理論並提供了不少新的數據。

本書可供從事鑄造球墨鑄鐵工作同志研究和參考。

№. 0579

---

1955年5月第一版    1956年4月第一版第一次印刷

787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 字數95千字 印張3<sup>7</sup>/<sub>8</sub> 插頁5 8,001—4,000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) 0.68元

# 目 次

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 五.....                                                                                                                                                                                | 5  |
| 論.....                                                                                                                                                                                | 7  |
| 1 球墨鑄鐵的歷史(9)——2 各種鑄鐵機械性能的比較(10)                                                                                                                                                       |    |
| · 球化劑的性質和熔製的方法.....                                                                                                                                                                   | 15 |
| 1 球化劑的性質(15)——2 球化劑的熔製(16)                                                                                                                                                            |    |
| 二 球墨鑄鐵的熔化、處理和澆鑄.....                                                                                                                                                                  | 22 |
| 1 球墨鑄鐵的配料(22)——2 鐵水的處理(27)——3 處理鐵水時各種鐵合金的爆炸性(33)——4 球墨鑄鐵的澆鑄(35)                                                                                                                       |    |
| 5 球墨鑄鐵的檢驗(38)——6 對球墨鑄鐵鑄態性能的估計(39)——7 球墨鑄鐵的鑄造缺陷及其防止方法(39)                                                                                                                              |    |
| 三 孕育理論.....                                                                                                                                                                           | 41 |
| 1 孕育現象和過熱現象(41)——2 對孕育作用的解釋(44)——3 過冷作用(45)——4 孕育作用的有效時間(46)——5 孕育作用時間的曲線(49)——6 對孕育作用的假說(50)——7 對球墨鑄鐵孕育作用的解釋(50)——8 孕育劑的種類和它的作用(52)——9 孕育劑的數量(53)——10 對區域構造的估計(54)——11 球墨鑄鐵的液體孕育(55) |    |
| 四 石墨化理論.....                                                                                                                                                                          | 56 |
| 1 石墨結晶核心的形成(56)——2 冷卻速度對鑄鐵的影響(56)——3 石墨化成長的過程和條件(57)                                                                                                                                  |    |
| 五 球化理論.....                                                                                                                                                                           | 61 |
| 六 球墨鑄鐵的鑄態性能.....                                                                                                                                                                      | 71 |
| 1 一次處理同二次處理性能的比較(71)2 銅和鎳對球墨鑄鐵性能的比較(73)——3 鎂量和矽量對球墨鑄鐵機械性能的影響(75)——4 鎂量一定時矽量對球墨鑄鐵機械性能的影響(76)                                                                                           |    |
| 七 球墨鑄鐵的熱處理.....                                                                                                                                                                       | 78 |
| 1 退火處理(78)——2 正火處理(87)——3 淬火和回火處                                                                                                                                                      |    |

理(93)——4 高週波感應電熱淬火(98)

## 八 球墨鑄鐵的特殊性能和應用範圍.....100

1 球墨鑄鐵的特殊性能(100)——2 球墨鑄鐵的應用範圍(106)

## 附表.....108

- 1 用幾種鎂合金球化劑處理後的球墨鑄鐵的鑄出狀態機械性能及化學成分.....1
- 2 純鎂處理後的球墨鑄鐵的鑄出狀態機械性能及化學成分.....11
- 3 銅對球墨鑄鐵機械性能的影響.....121
- 4 鎂量對球墨鑄鐵機械性能的影響.....121
- 5 矽量對球墨鑄鐵機械性能的影響.....122
- 6 孕育作用對球墨鑄鐵機械性能的影響(一).....122
- 7 孕育作用對球墨鑄鐵機械性能的影響(二).....123
- 8 孕育作用對球墨鑄鐵機械性能的影響(三).....123

## 主要參考文獻.....124

## 序

新中國在共產黨的領導下，已經給科學技術的創造發明，開闢從所未有的廣闊的途徑。幾年來，在蘇聯先進經驗的啓示和傳授下，在科學技術方面曾有不少的成就。球墨鑄鐵理論的研究、製造和實際應用，就是這些成就之一。現在我國正在進行偉大的社會主義建設，這給科學技術工作者帶來了更加重大的責任，和更加艱難的任務；我們更必須進一步學習蘇聯，密切聯系生產實踐，進行艱苦的工作，創造更多的成就，來滿足國家的需要。

從 1951 年試製球墨鑄鐵成功以後，我們跟工人同志的實際經驗的密切結合下，以及蘇聯先進科學的指導下，經過了長期不斷的試驗、應用、研究和改進，取得了一些成績。在 1953 年 6 月我們研究了用純鎂安全的大量或小量處理鐵水成功，並有可能將鐵水的處理逐步改進為機械操作；作出的球墨鑄鐵的鑄態性能：抗拉強度可達 70 公斤/公厘<sup>2</sup>以上，延伸率平均能達 15%，超過了任何資本主義國家作出的球墨鑄鐵的性能。

這本書的主要內容包括有：球墨鑄鐵的歷史、製造方法、性能控制、純鎂處理、孕育理論、球化理論、熱處理以及球墨鑄鐵的用途等。在實際操作方面我們寫得力求詳盡、淺顯，以便工人同志們在實際工作中參考。在技術理論方面，我們也力求用理論結合實際，用試驗說明理論，以供從事鑄造的技術工作者研究和參考。

這本書的主要資料和經驗，是我們從 1951 年在撫順重型機器廠和瀋陽重型機器廠工作起一直到現在的製造和研究的結果。

本書提出的孕育理論和球化理論，主要是國內外科學工作者

的研究成果的綜合，作者自己也提出了一些不同的看法。書中有些理論是根據實踐推斷的；由於作者的理論水平有限，以及工廠的試驗設備不夠完善，這些理論可能不夠正確。因此，深望從事球墨鑄鐵研究工作的同志提出寶貴的意見，以推進球墨鑄鐵的理論工作使球墨鑄鐵的鑄造工作能得到更進一步的提高和發展。

本書承清華大學教授冶金博士王遵明先生在病中給予仔細閱，並提出了許多新的理論和意見，使書中的內容更加充實和正確。同時本書的寫出曾獲得廠長王恩惠、杜靜波、金作江、江維華、鄭披星、鍛冶科科長韓玉斌等同志的鼓勵，另外在實驗工作中曾獲得物理實驗室全體同志的熱忱協助，特此致以衷心的感謝。

作者 1954 年 7 月

## 緒 論

鑄鐵是機器製造工業中用得最廣泛的一種材料，它具有成本低廉、流動性良好、容易鑄成形狀複雜的鑄件、滯震性和耐磨性良好等優點。但是它的抗拉強度低，脆性大，沒有延伸性並缺乏韌性，因此在機械工業迅速發展的過程中，它的使用受到了一定的限制。

鑄鐵是一種鐵碳合金，一般含碳在2.5~3.5%的範圍內。它除了含碳以外，經常還含有0.5~3.5%的矽，0.5~1.5% 錳，1%以下的磷和0.15% 以下的硫。它的機械性能受到這些元素含量多少的影響，而主要是決定於碳在它中間存在的形狀、多少和分佈的情況。

碳在鑄鐵中存在的形式有三種：1)游離狀態，像片狀石墨、球狀石墨和退火石墨等；2)跟鐵化合成碳化物，像滲碳體（游離碳化鐵）和萊氏體、珠光體；3)溶在鐵中成為固溶體，像純鐵體和合金鑄鐵中的奧氏體，未完全分解的固溶體——馬丁體。

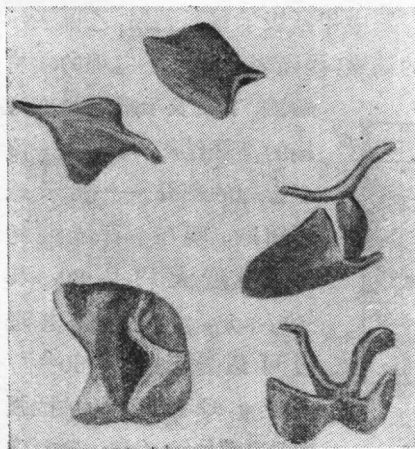


圖1 灰口鑄鐵中片狀石墨的形狀。

石墨在鑄鐵中通常成片狀（黑色），它割斷了金屬基體的連續性，降低了鑄鐵的抗拉強度。這種石墨最大的有1公厘，最小的只0.001

公厘；它的形狀有絲狀的，有彎曲的，有點狀的。圖 1 表示的是鑄鐵中片狀石墨的形狀。

鑄鐵的抗拉強度不高既然是由於片狀石墨割斷了基體的緣故，那末我們如果能夠用一種球化劑使片狀石墨變成球狀的，鑄鐵的抗拉強度自然會提高。使鑄鐵中的石墨變成球狀，是冶金工作者幾十年來對改進鑄鐵機械性能的理想。圖 2 表示球狀石墨和片狀石墨對鑄鐵抗拉強度的影響。

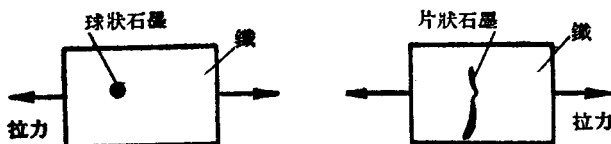


圖 2 球狀石墨和片狀石墨對鑄鐵抗拉強度的影響。

從一八六零年起，到一九五零年止，九十年中，鑄鐵的抗拉強度從 8 公斤/平方公厘提高到 70 公斤/平方公厘，大約提高了八倍。圖 3 表示鑄鐵機械性能發展的過程。圖中甲區表示普通鑄鐵；乙區表示高級鑄鐵，就是基體是珠光體的鑄鐵；丙區表示經過熱處理的孕育鑄鐵；丁區表示經過熱處理後的高級鑄鐵；戊區——沒有影線的部分——表示球墨鑄鐵。現在孕育鑄鐵的抗拉強度大約是 30~40 公斤/平方公厘，經過熱處理後可以達到 55~60 公斤/平方公厘；球墨鑄鐵的抗拉強度是 70 公斤/平方公厘，熱處理

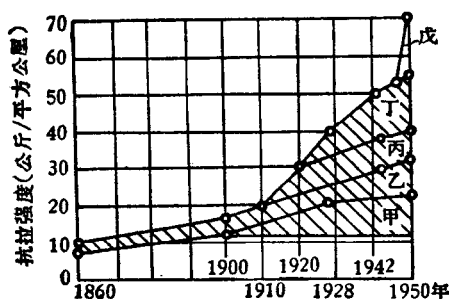


圖 3 鑄鐵機械性能的發展過程。

後可以達到 100 公斤/平方公厘以上。

## 1 球墨鑄鐵的歷史

下面簡單地介紹一下球墨鑄鐵的歷史：

一九二零年，蘭茨公司(Lanz Co.)製出了基體是珠光體的鑄鐵，提高了鑄鐵的機械性能。

一九二三年，羅斯·密罕(Ross Meehan)用矽化鈣做孕育劑，把它加到過熱的鐵水中去，使鑄鐵的石墨變細，使它的基體變成珠光體；這樣，鑄鐵的機械性能又大大地提高了一步。這種鑄鐵叫做孕育鑄鐵。

一九四零年，蘇聯開始了加鎂到鐵水中以提高鑄鐵機械性能的試驗<sup>①</sup>。

一九四七年，英國鑄鐵研究協會孟羅(H. Morrogh)、威廉斯(W. I. Williams)把鉀加到鐵水中去，得到了球墨鑄鐵，提高了鑄鐵的機械性能，引起了冶金技術界的注意。

一九四八年到一九四九年，蘇聯科學院用鎂合金製出了球墨鑄鐵<sup>②</sup>。

一九五一年，中國科學院工學實驗館、東北科學研究所、撫順重型機器廠、瀋陽重型機器廠、瀋陽水泵廠、上海礦山機器廠等，都先後用鎂合金製出了球墨鑄鐵。

一九五一年到一九五二年，冶金博士、清華大學教授王遵明在撫順重型機器廠指導着中國的球墨鑄鐵的研究工作。在黨和政府的領導和支持下，工人同志都發揮了高度的創造性和積極性。由於理論和實際密切結合的結果，他們獲得了卓越的成績——製出的球墨鑄鐵，它的機械性能遠遠超過資本主義國家所製出的。

① 蘇聯「鑄工」雜誌(Литейное дело)1941年第6期。

② 蘇聯「機械製造通報」雜誌(Вестник машиностроения)1949年第12期。

一九五二年，東北工業部在撫順舉辦了一次球墨鑄鐵研究班，由王遵明教授主講，參加的有來自三十個廠礦的技術人員和工人五十人左右，他們在當時都是對製造球墨鑄鐵比較有經驗的。從這以後，東北各工廠對球墨鑄鐵的理論知識和實際操作都獲得了發展。

## 2 各種鑄鐵機械性能的比較

根據碳在鑄鐵中存在的形式和鑄鐵的金相組織，鑄鐵可以分成灰口鑄鐵、可鍛鑄鐵和球墨鑄鐵：

一、灰口鑄鐵——碳在這種鑄鐵中以片狀石墨的形式存在着；鑄件的斷面呈灰色。這種鑄鐵又可以分成兩種：1)普通灰口鑄鐵，就是從沖天爐中熔煉出來的，沒有經過任何特殊處理的鑄鐵（圖4）；2)孕育鑄鐵，就是從沖天爐中熔煉出來後經過孕育處理（用矽鐵或矽化鈣）的鑄鐵（圖5）。

二、可鍛鑄鐵——在鑄出狀態下，碳是以化合碳的形式存在着的（就是白口鐵），但經過熱處理後，鐵中的碳析出成緊密的糝狀石墨（圖6）。

三、球墨鑄鐵——鐵水出爐後加入一種球化劑（常用的是鎂），使鐵中析出的石墨成球狀，所以這種鑄鐵中的碳在鑄出狀態下就以球狀石墨的形式存在着（圖7）。球墨鑄鐵是本書所要討論和研究的。

蘇聯按照抗拉強度和抗彎強度訂出鑄鐵的標準。蘇聯的鑄鐵標準列在表1～3中。

根據實際的經驗，我們也擬出了球墨鑄鐵的鑄態性能標準（如表4）。

幾十年前，人們給鑄鐵下了這樣一個定義：「在鑄態下沒有延

表1 灰口鑄鐵標準

| 鑄鐵牌號    | 抗拉強度<br>(公斤/公厘 <sup>2</sup> )<br>(不小於) | 抗彎強度<br>(公斤/公厘 <sup>2</sup> )<br>(不小於) | 彎 下 度<br>(不小於) |            | 抗壓強度<br>(公斤/公厘 <sup>2</sup> )<br>(不小於) | 布氏硬度    |
|---------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------|------------|----------------------------------------|---------|
|         |                                        |                                        | 支 點 距 離        |            |                                        |         |
|         |                                        |                                        | 600<br>公 厘     | 300<br>公 厘 |                                        |         |
| C412-28 | 12                                     | 28                                     | 6              | 2          | 50                                     | 143~229 |
| C415-32 | 15                                     | 32                                     | 7              | 2          | 60                                     | 163~229 |
| C418-36 | 18                                     | 36                                     | 8              | 2          | 67                                     | 170~229 |
| C421-40 | 21                                     | 40                                     | 8              | 3          | 75                                     | 170~241 |
| C424-44 | 24                                     | 44                                     | 9              | 3          | 83                                     | 170~241 |
| C428-48 | 28                                     | 48                                     | 9              | 3          | 90                                     | 170~241 |
| C432-52 | 32                                     | 52                                     | 9              | 3          | 100                                    | 170~241 |

表2 孕育鑄鐵標準

| 鑄鐵牌號     | 抗拉強度<br>(公斤/公厘 <sup>2</sup> )<br>(不小於) | 抗彎強度<br>(公斤/公厘 <sup>2</sup> )<br>(不小於) | 彎 下 度<br>(不小於) |            | 抗壓強度<br>(公斤/公厘 <sup>2</sup> )<br>(不小於) | 布氏硬度<br>(不小於) |
|----------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------|------------|----------------------------------------|---------------|
|          |                                        |                                        | 支 點 距 離        |            |                                        |               |
|          |                                        |                                        | 600<br>公 厘     | 300<br>公 厘 |                                        |               |
| MC428-48 | 28                                     | 48                                     | 9              | 3          | 90                                     | 170~241       |
| MC432-52 | 32                                     | 52                                     | 9              | 3          | 100                                    | 170~241       |
| MC435-56 | 35                                     | 56                                     | 9              | 3          | 110                                    | 197~248       |
| MC438-60 | 38                                     | 60                                     | 9              | 3          | 120                                    | 197~262       |

表3 可鍛鑄鐵標準

| 鑄鐵牌號    | 鑄 鐵 類 別        | 抗 拉 強 度<br>(公斤/公厘 <sup>2</sup> )<br>(不小於) | 延伸率(%)<br>(不小於) |      | 布氏<br>硬 度 |
|---------|----------------|-------------------------------------------|-----------------|------|-----------|
|         |                |                                           | 試 樣 直 徑         |      |           |
|         |                |                                           | 6 厘公            | 12公厘 |           |
| KU32-12 | 黑心可鍛鑄鐵(基體是純鐵體) | 37                                        | 12              | —    | 149       |
| KU35-10 |                | 35                                        | 10              | —    | 149       |
| KU33-8  |                | 33                                        | 8               | —    | 149       |
| KU30-6  |                | 30                                        | 6               | —    | 163       |
| KU40-3  | 白心可鍛鑄鐵(基體是珠光體) | 40                                        | 3               | 4    | 201       |
| KU35-4  |                | 35                                        | 4               | 5    | 201       |
| KU30-3  |                | 30                                        | 3               | 4    | 201       |

伸性的鐵碳合金叫做鑄鐵。這是因為當時鋼在鑄態下有延伸性而鑄鐵沒有，可鍛鑄鐵的延伸性只是在適當地熱處理後才得到的。由於球墨鑄鐵的出現，這個定義就不可能存在了，因為球墨鑄鐵在鑄態下一般具有延伸性。

表5表示球墨鑄鐵跟鑄鋼和各種鑄鐵的機械性能的比較。

從表5中可以看出，球墨鑄鐵的機械性能超過普通鑄鐵很多。球墨鑄鐵的抗拉強度可以達到70公斤/平方公厘，延伸率可以達到20%，而灰口鑄鐵的抗拉強度只有30公斤/平方公厘，延伸率實際上等於零。

如果我們再把球墨鑄鐵跟鑄鋼和其他的鑄鐵在化學成分、生產方式、鑄造性能和成本上比較一下，我們就更可以看出球墨鑄鐵的許多優點。它的機械性能要比普通鑄鐵高得多，但在化學成分、生產方式等等方面，它却跟普通鑄鐵差不多。跟可鍛鑄鐵比起來，它可以不受鑄件厚度和成分的限制，而且生產過程短，成本

表4 球墨鑄鐵鑄態性能標準

| 鑄鐵牌號     | 處理前的化學成分(%) |         |         |           | 處理後的化學成分(%) |         |            | 抗拉強度<br>(公斤/公厘 <sup>2</sup> ) | 延伸率<br>(%) | 布氏硬度    |
|----------|-------------|---------|---------|-----------|-------------|---------|------------|-------------------------------|------------|---------|
|          | 碳           | 矽       | 錳       | 磷         | 硫           | 矽       | 硫          |                               |            |         |
| СПЧ45-50 | 3.4~3.6     | 1.8~2.0 | 0.5~0.8 | 0.05~0.10 | <0.14       | 2.4~2.7 | 0.002~0.03 | 45~50                         | 10~20      | 140~170 |
| СПЧ55-60 | 3.2~3.4     | 1.5~1.7 | 0.5~0.8 | 0.05~0.10 | <0.14       | 2.2~2.5 | 0.002~0.03 | 55~60                         | 7~15       | 170~229 |
| СПЧ65-70 | 2.8~3.2     | 1.2~1.5 | 0.5~0.8 | 0.05~0.10 | <0.14       | 1.8~2.3 | 0.002~0.03 | 65~70                         | 0~7        | 230~285 |

表5 球墨鑄鐵跟鑄鋼和各鑄鐵在機械性能方面的比較

| 材 料                         | 灰口鑄鐵    | 孕育鑄鐵    | 基體是球<br>光體的<br>鑄鐵 | 基體是純<br>鐵體的<br>可<br>鑄鐵 | 基體是球<br>光體的<br>鑄鐵<br>(求廠得<br>到的) | 基體是球<br>光體的<br>鑄鐵<br>(實驗得<br>到的) | 基體是純<br>鐵體的<br>球<br>墨鑄鐵 | 退 火 後<br>的 鑄 鋼 |
|-----------------------------|---------|---------|-------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------|
|                             |         |         |                   |                        |                                  |                                  |                         |                |
| 抗拉強度(公斤/公厘 <sup>2</sup> )   | 30以下    | 40以下    | 50以下              | 40以下                   | 45~70                            | 90以下                             | 45~55                   | 45~60          |
| 降伏點(公斤/公厘 <sup>2</sup> )    | —       | —       | 21~30             | 18~28                  | 20~25                            | 55以下                             | 40~50                   | 21~30          |
| 延伸率(%)                      | 實際上沒有   | 實際上沒有   | 4                 | 15以下                   | 6以下                              | 6以下                              | 7~20                    | 20~30          |
| 抗彎強度(公斤/公厘 <sup>2</sup> )   | 50以下    | 50~65   | —                 | —                      | 70~120                           | 150以下                            | 120以下                   | —              |
| 彎下度(公厘, $l=300$ )           | 4.5以下   | 4.5以下   | —                 | —                      | 4~6                              | 8以下                              | 8~12                    | —              |
| 抗壓強度(公斤/公厘 <sup>2</sup> )   | 110     | 140     | 140               | 130                    | 170~220                          | 170~220                          | 180~210                 | —              |
| 抗壓強度(公斤/公厘 <sup>2</sup> )   | 35以下    | 46以下    | 130以下             | 40以下                   | 50~60                            | 50~60                            | —                       | 42~44          |
| 抗扭強度(公斤/公厘 <sup>2</sup> )   | 13000   | 16000   | 16000~17000       | 15000~17000            | 13000~16000                      | 13000~16000                      | 14000~16000             | 20000~21000    |
| 抗拉彈性係數(公斤/公厘 <sup>2</sup> ) | 以下      | 以下      | 17000             | 17000                  | 16000                            | 16000                            | 16000                   | 15以下           |
| 衝擊值(公斤-公尺/公分 <sup>2</sup> ) | 1.0以下   | 1.1以下   | 3.0以下             | 3.0以下                  | 3.5以下                            | 4.5以下                            | 4~10                    | —              |
| 疲勞強度                        | 14以下    | 15以下    | 20以下              | 14以下                   | 15~25                            | 32以下                             | 24~26                   | 23             |
| 光滑的試棒                       |         |         |                   |                        |                                  |                                  |                         |                |
| 帶缺口的試棒                      | 12以下    | 14以下    | —                 | —                      | 10~20                            | 26以下                             | —                       | 16             |
| (公斤/公厘 <sup>2</sup> )       | 30以下    | 25以下    | —                 | —                      | 4~5                              | 4~5                              | 4~5                     | 2              |
| 減震率(%)                      | 145~225 | 145~225 | 201               | 149~163                | 217~285                          | 217~285                          | 180~229                 | 112~170        |
| 布氏硬度                        |         |         |                   |                        |                                  |                                  |                         |                |

低。跟鑄鋼比起來，它的鑄造性能好，能够鑄出形狀複雜和具有高强度的鑄件，而且生產過程短，設備簡單，成本低廉。

這種新型的鑄鐵具有這麼多的優點，我們應當研究它，大力推廣它，使它更能够在祖國的經濟建設事業上發揮它的更大的作用。

## 一 球化劑的性質和熔製的方法

### 1 球化劑的性質

科學界還沒有給球化劑下一個適當的定義，現在我們只能暫時這樣來解釋它：凡加到鐵水中能阻礙石墨生成片狀而幫助它生成球狀的叫做球化劑。

工業上常用的球化劑有鎂、鉍、鈣三種，表6上列出的是這三種元素的性質。

表6 鎂、鉍和鈣的性質

| 元素名稱 | 原子量   | 熔點(°C) | 沸點(°C) | 結晶格子   |
|------|-------|--------|--------|--------|
| 鎂    | 24.32 | 650    | 1110   | 密六方形格子 |
| 鉍    | 40.13 | 600    |        | 面心立方格子 |
| 鈣    | 40.08 | 850    | 1440   | 面心立方格子 |

1 鉍 鉍是一種稀有金屬，價錢很貴。我國西藏有鉍礦。

用鉍做球化劑的時候，鐵水必須受到嚴格的控制。它對鐵水成分的要求是這樣的：

1. 含碳量高，含碳量的計算公式是：

$$C\% \geq 4.3 - \frac{1}{3}(Si\% + P\%);$$

2. 含矽量高，以含矽 2.3~2.7% 比較適宜；

3. 含硫量低，最好不高於 0.04%；

4. 含磷量不高於 0.6%，最好能低於 0.1%；

5. 對銅、錳、鎳等的含量沒有什麼限制。

用鉍做球化劑還有一個更主要的缺點，就是鉍的球化作用差，

厚度稍微大些的鑄件，處理後外層雖然是球狀的石墨，但內層多數不能獲得完全球狀的石墨，而石墨大都成了縮短了的片狀。所以現在很少用鉀來做球化劑了。

**2 鈣** 根據蘇聯的資料，鈣使石墨球化的效能比鎂差，同時用它處理鐵水的時候要用還原氣體保護，因為它很容易氧化。這樣，要使石墨球化就需要在鐵水中加入數量較多的鈣，所以鈣也不是今天常用的球化劑。

**3 鎂** 今天最常用的球化劑是鎂，它可以起充分的球化作用，並且價錢便宜，產量高。

但是，鎂的熔點低（ $650^{\circ}\text{C}$ ），沸點也低  $1110^{\circ}\text{C}$ ，所以多數用少量的鎂跟其他金屬製成合金做球化劑，以減少爆炸的危險，使操作安全。不過，現在我們學習了蘇聯的先進經驗，可以有把握安全地用純鎂處理鐵水，而且能得出機械性能很好的鑄件；製出的鑄件的鑄態抗拉強度達到 $50\sim 70$ 公斤/平方公厘，延伸率達到 $12\sim 18\%$ ，——這已經遠遠超過了許多資本主義國家所製造的球墨鑄鐵的性能。

## 2 球化劑的熔製

下面介紹一下鎂合金球化劑的熔製方法。鎂合金球化劑的種類很多，但可以總分成三大類——銅鎂合金、鎳鎂合金和矽鐵鎂合金；它們的平衡圖表示在圖 8~10 上。

**1 銅鎂合金** 常用的銅鎂合金是八二的和七三的，因為這兩種合金加到鐵水中去的時候比較安全些。但也有採用其他比例像五五、六四等銅鎂合金做球化劑的。

銅鎂合金的熔製方法比較簡單：在坩堝裏先放入鎂，再放入銅，再放入熔劑——合金重量的  $50\sim 60\%$  的食鹽；然後開始加熱熔化。圖 11 表示銅、鎂、食鹽在坩堝中的情形。