

TG2-74C1

61980

球狀石墨鑄鐵

周維德編譯

上海
學書報出版社

1953

球 狀 石 墨 鑄 鐵

全 一 冊

(0—2000冊)

版權所有



不准翻印

一 九 五 三 年 二 月 初 版

◀定價人民幣四仟元▶

編 譯 者

周 維 德

出 版 者

科 學 書 報 社

上海(9)鳳陽路607弄60號

電 話 六 二 四 八 三

印 刷 者

中國科學圖書儀器公司

上海延安中路537號

電 話 六 四 五 四 五

0001—2000冊

762/30

科學書報社出版書

無線電學

		人民幣
(1)	基本圖解無線電學(1953)	范鳳源著 20000
(2)	無線電大辭典(1952)	范鳳源著 36000
(3)	交直流電難題詳解(1951)	范鳳源著 6000
(4)	無線電碼手冊(1952)	范鳳源譯 5000
(5)	報務員須知(1951)	范鳳源編 24000
(6)	實驗無線電收音機修理法(1953)重寫新版	范鳳源著 24000
(7)	無線電真空管詳解(1952)	8000
(8)	乾電製造(1951)	范鳳源著 9000
(9)	乾電講座(1952)	范鳳源著 9000
(10)	蓄電池製造法及充電法(1951)邱越凡、賴其都、范鳳源著	9000
(11)	電的本質	范鳳源著 印刷中
(12)	應用無線電精華(1952)	范鳳源編輯 10000
(13)	實用擴音機製作法(1951)	戴立著 3500
(14)	優越收音機製作法(1952)	戴立著 4000
(15)	電阻設計(1951)	范鳳源著 3500
(16)	線圈設計(1951)	范鳳源著 3500
(17)	音頻變壓器設計(1951)	戴立著 5000
(18)	雷達辭典(1951)	范鳳源譯 6500
(19)	交流收音機概要(1951)	范鳳源著 15000
(20)	擴音機音調改進技術(1951)	戴立著 3500

日用科學叢書

(1)	實用圖解汽車機械學及修理法(1952)	范鳳源譯 24000
(2)	五金工具用法(1951)	范鳳源譯 12000
(3)	家庭醫典(1951)	吳鐵梅校、范鳳源著 12000
(4)	中醫藥物化學及其生理作用(1952)	范鳳源著 22000
(5)	連續式肥皂製造法(1952)	范鳳源編 9000
(6)	實驗玻璃製造法(1948)	范鳳源譯 22000
(7)	家常食品製造法(1952)	范鳳源著 9000
(8)	家常日用品製造法(1951)	韓寶慶、范鳳源著 6000
(9)	文教日用品製造法(1951)	周振鈞、范鳳源著 3000
(10)	化粧衛生日用品製造法(1951)	范鳳源著 6000
(11)	圖解機械動作辭典(1952)	沈長朔、王有槐、孫鴻範 王信謙、范鳳源譯 15000
(12)	合金成分表(1951)	范鳳源編 15000
(13)	有機藥品製造精粹(日文影印本)	日本藥學研精會編 20000
(14)	有機合成化學(日文影印本)	樺太中央試驗所 山田桂輔編著 55000
(15)	金相學辭典(英文影印本)	(英國R.T.Rolfe著) 23000
(16)	化學冶金要覽(日文影印本)	向山幹夫、竹内肥富美著 50000
(17)	稀有金屬之化學(日文影印本)	今泉善夫著 22000
(18)	高壓化學技術(日文影印本)	橫山武一著 22000
(19)	球狀石墨鑄鐵(1953新版)	周維德著 4000

科學書報社 上海(9)鳳陽路607弄60號(白克路大通路口)

電話 六 二 四 八 三

編 譯 者 序

鑄鐵是近代很重要的工程材料之一。它不僅製造容易，成本低廉而且有很好的加工性，耐震性及自然潤滑性等。但是普通灰鑄鐵和一般加製鑄鐵 (Processed iron) 由於其石墨呈片狀結晶，所以大大的影響了它的機械性質，限制了它的工程用途。

球狀石墨鑄鐵並不這樣，因為它的石墨呈球狀組織，所以能夠儘量的發揮它的基體特性，使抗拉強度較相同化學成分的片墨鑄鐵要高 4~5 倍；它的韌性又可與展性鑄鐵 (Malleable iron) 及某些碳素鋼相頡頏。也正因為它具有如此優越的性質，所以自 1948 年以來，製造技術的進展是非常的迅速。球狀石墨鑄鐵到現在為止，最成功的有加鉀製造和加鎂製造二種方法。又因為加鎂製造較加鉀製造原鐵液的條件來得遷就，而製得的機械性能反而稍高，所以各國冶鑄工作者都不遺餘力的從事試製和研究，使加鎂製造球狀石墨鑄鐵某些操作上的困難問題日漸的得到滿意的解決。

在我國，球狀石墨鑄鐵可以說完全是用鎂來製造的。雖然，從實驗室試製到工廠大量生產還不過年餘的事，但由於國內冶鑄工作者自身不斷的努力及吸取蘇聯先進的工作經驗，為加鎂製造球狀石墨鑄鐵打下了良好的基礎，並使球狀石墨鑄鐵很好的為祖國工業化建設而服務。

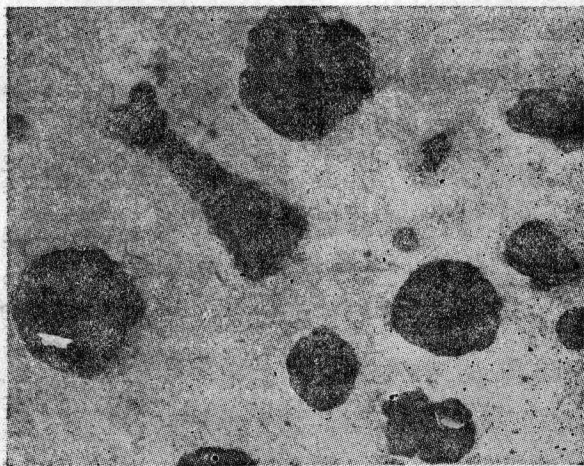
本人見及球狀石墨鑄鐵對工業上的重要性，又鑒於國內尚未有球狀石墨鑄鐵的專書出版，所以特根據 The Foundry, Iron Age, Metal Progress 等雜誌及國內一些文獻資料並結合本人在工廠研究及製造的經驗，編譯而成本書，以供國內製造工作者的參攷。

因為球狀石墨鑄鐵還是新型的工程材料，所以日後要研究的還很多，本書所述當然還未能盡善盡美，而且本人才薄學淺，又抽工作之餘暇編譯而成，其中錯漏之處在所難免，誠懇希望國內學者先進給予指出，使本書再版增訂時得以改正。

周維德 於一九五三年元旦



鑄成狀態下球狀石墨鑄鐵顯微照相,放大 300 倍



退火後球狀石墨鑄鐵顯微照相,放大 300 倍

球 狀 石 墨 鑄 鐵

目 錄

第一章 概論	1
第一節 普通片狀石墨灰鑄鐵的弱點	1
第二節 球狀石墨鑄鐵的進展及其用作工程材料的優越性	2
第二章 球狀石墨鑄鐵的製造	7
第一節 化學成分及各種元素的影響	9
第二節 球化劑合金的製造與使用	14
第三節 墨化處理的重要性及墨化劑的選擇與使用	25
第四節 砂型的製造與澆鑄	27
第三章 球狀石墨鑄鐵的熱處理	31
第一節 去除內脅應力熱處理	32
第二節 鐵素體化熱處理	33
第三節 針狀體化熱處理	36
第四章 球狀石墨鑄鐵的性質	39
第五章 球狀石墨鑄鐵的用途	47
附 錄 中英譯名對照表	53

球 狀 石 墨 鑄 鐵

第一章 概 論

第一節 普通片狀石墨灰鑄鐵的弱點

鑄鐵 (Cast iron), 簡單地說, 就是各種不同的基體鋼加上各種形式和分佈的石墨。鑄鐵的機械性質也完全依靠着它們來決定。在普通灰鑄鐵中, 石墨 (Graphite) 呈六角形的片狀結晶 (圖 1), 石墨比重很小 (約 2.52), 除了自然潤滑性之外, 無一般機械性質。這種片狀石墨在灰鑄鐵中, 有着極顯著的作用:

1. 割斷了鑄鐵基體組織的連續性: 石墨是片狀的結晶, 它的置身於鑄鐵中完全割裂間斷了基體的完整性或連續性。又因為它本身沒有抗拉強度, 所以等於減少了金屬抗拉強度的有效斷面。在普通灰鑄鐵中, 這種受石墨影響而減少的有效斷面達 9~10%。

2. 發生缺口作用 (Notch effect): 鑄鐵中的片狀石墨對金屬基體 (Metallic matrix) 來說, 好像是許多的缺口, 因此造成了應力集中 (Stress concentration) 的現象, 提高了金屬各該處的單位應力。灰鑄鐵中, 凡是石墨碳片愈長, 二端愈尖銳的, 應力集中的現象也就愈來得嚴重。

3. 使金屬斷面發生收縮：由於片狀石墨的存在，當鑄鐵受拉時，應力必須繞過石墨碳片的阻礙，再從金屬基體的一面傳送到石墨碳片的另一面去，這樣很明顯的等於增加了每一點的平均拉力。這個作用還主要的隨着石墨碳片的大小，和分佈情況來決定。灰鑄鐵中，凡是石墨碳片愈大，分佈極不均勻而又彼此相互連串起來的，那末，這個作用也就愈來得顯明。

普通灰鑄鐵因為有了極粗大而又彼此相連的石墨碳片，這就是它的致命傷。使得基體不能很好的發揮它的特性，也使得灰鑄鐵只有很低的抗拉強度而幾乎沒有韌性。讓我們來看：基體為 100%（體積計，以下相同）珠光體的碳素鋼（含碳 0.85%），它的抗拉強度有 115,000~125,000 磅/平方吋，延伸率有 10~15%；珠光體 92.0% 磷化物 1.0% 石墨碳 7%（石墨碳片大部為 ASTM 標準 A 型，大小為 6~7 號）的高級鑄鐵，它的抗拉強度有 55,000~60,000 磅/平方吋，延伸率 < 3.0%；但珠光體 50% 鐵素體 30% 磷化物 10% 石墨碳 10%（石墨碳片為 A 型大小 1~3 號）的普通灰鑄鐵，它的抗拉強度只有 15,000~25,000 磅/平方吋，而延伸率 < 1.0%。這些現實的例子充分說明普通灰鑄鐵的弱點主要是與它粗大而又連接起來的石墨碳片分不開的。

第二節 球狀石墨鑄鐵的進展及其用作工程材料的優越性

因為普通灰鑄鐵的機械性質很低，它就不能滿足設計者的要求，即使勉強能夠擔當這種任務，也須在鑄件加厚的情況下才有可

能。這樣就使鑄件笨重，很不輕巧，所以日趨被棄而由性能較高的展性鑄鐵(Malleable iron)及鑄鋼(Cast steel)代替。

幾十年來，各國冶鑄工作者準對着普通灰鑄鐵的這種低強度，無韌性的缺點，竭力的在這方面進行研究，以期能挽回鑄鐵被棄的悲慘命運，而使它能成為適用而又很普遍的工程材料。自孕育劑(Inoculants)試用成功以後，高級鑄鐵的製造日見發展，使鑄鐵從每平方吋 25,000 磅以下的抗拉強度提高到每平方吋 60,000 磅左右。接着合金鑄鐵(Alloy cast iron)的應用對鑄鐵技術上又一次的改進，不但強度夠高，而且又可滿足工程上的各種要求如耐熱，耐酸，耐鹼等等，這樣使鑄鐵的應用又日見廣泛。但是這種高級鑄鐵，它們的石墨仍呈片狀，(僅不過結晶細小些)，沒有很好的延伸率(Elongation)，在某些用途上也就受到了限制。

近幾年來，各國冶鑄工作者都在設法製得鑄成狀態下的球狀石墨鑄鐵(Nodular cast iron)，這樣可使鑄鐵的機械性質大為提高，更廣泛的被應用到工業上去。正如前述，片狀石墨對鑄鐵的為害性極大，但球狀石墨並不這樣，由於鑄鐵中石墨的球狀化，它所佔居基體(Matrix)的體積比片狀石墨要小得多，加以球狀石墨沒有尖端應力集中的現象，也並不割斷基體組織的連續性，因此可使鑄鐵的基體特性發揮到 90% 以上。這種鑄成狀態下的球狀石墨結構(圖 2)是所有冶鑄工作者始終在爭取的理想。

1948 年加鈾(Cerium)製造球狀石墨鑄鐵試製成功的論文在英國發表之後，各國的冶鑄工作者都為之而震驚，起而紛紛試製和

研究。接着加鎂(Magnesium)製造球狀石墨鑄鐵的試製在美國又告成功。這真是鑄鐵冶金上重大的革新。球狀石墨鑄鐵不僅具有普通鑄鐵的某些特性(如較好的耐震性,較好的自然潤滑性等)而且兼具有鋼與展性鑄鐵的某些特點(如較高的強度,較好的韌性等),從而也日有奪取鑄鋼與展性鑄鐵的地位。

球狀石墨鑄鐵可以製造切面厚薄,形狀大小的各式鑄件而並不喪失良好的機械性質,但展性鑄鐵一般限於較小的薄肉鑄件如管子配件及電器另件等。再有熔鑄球狀石墨鑄鐵的熔爐並不像展性鑄鐵的來得嚴格。標準鐵素體展性鑄鐵必須在反射爐(Air furnace)或電爐裏熔化,才能於退火後得到很高的機械性質。冲天爐(Cupola)熔鑄的展性鑄鐵,它的強度和韌性都大大的低減,所以很厭不夠要求了。球狀石墨鑄鐵不僅在反射爐和電爐裏都可以熔化,而且冲天爐也極滿意,如果溫度夠高的話($1400\sim 1450^{\circ}\text{C}$),國內的三節熔鐵爐亦屬可能,當然在冲天爐或三節爐內熔化,成本就大大的減低了。最後,因為球狀石墨鑄鐵是在鑄成狀態下製造出來的,所以不必要像展性鑄鐵的高昂退火費用。以珠光體球狀石墨鑄鐵和珠光體展性鑄鐵相較,則在相同的韌性之下,球狀石墨鑄鐵有較高的強度;在相同的強度情況之下,球狀石墨鑄鐵有較好的韌性。以經短期退火後的鐵素體球狀石墨鑄鐵與標準鐵素體展性鑄鐵相較,則球狀石墨鑄鐵的強度較高,而韌性相近,或有時甚至超過,但球狀石墨鑄鐵與展性鑄鐵的退火時間相比,那是差的很遠了。

鑄鋼果然有很高的機械性質，但是極不易鑄造精緻細巧的鑄件，加以表面非常粗糙，也很難得到完全無罅點的鑄件，而且鑄鋼必須在成本很高的電爐，平爐或採用雙煉法(Duplexing process)熔鑄。相反的，球狀石墨鑄鐵的可鑄性(Castability)很好，所以鑄鋼所感到的這點困難，在球狀石墨鑄鐵是完全不存在的。經驗告訴



圖1：片狀石墨灰鑄鐵磨光未浸蝕放大 100 倍

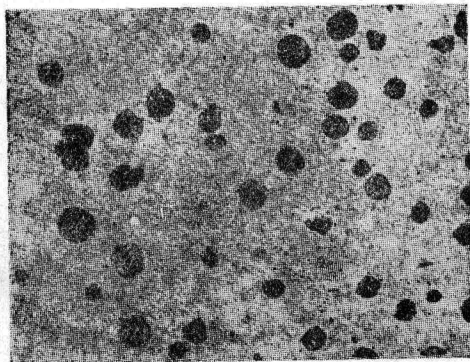


圖2：球狀石墨鑄鐵磨光浸蝕放大 100 倍

我們：用球狀石墨鑄鐵製造的柴油引擎鑄件，情況極為滿意，球狀石墨鑄鐵又有較鑄鋼好的耐震性(Damping capacity)，使它能很成功的製造經常受震動的機件。再有經短期退火後的球狀石墨鑄鐵有着某些中碳鋼相似的性質，因此部分中碳鋼鑄件可直接由球狀石墨鑄鐵來代替。但從它們製造技術方面來看，鑄鋼要麻煩和困難得多了；在成本方面，鑄鋼也要高得多了。

正因為球狀石墨鑄鐵作為工程材料有如此的優越性，所以雖然它還很年輕，但已普遍的受到了工程界人士的重視，因而它的進展極為迅速。從球狀石墨鑄鐵的這許多優點我們可以斷定它的前途是無限樂觀的。

第二章 球狀石墨鑄鐵的製造

使鑄鐵中石墨球化的元素很多，像鎂(Mg)，鈾(Ce)，鈣(Ca)，鋇(Ba)，銦(Sr)，鈦(Ti)，碲(Te)及鋰(Li)等都是。這些元素中以鎂及鈾被用作球化劑製造球狀石墨鑄鐵的最為普遍。銦，鈦，碲，鋇，鈣，鋰中，有的因來源過於罕少，有的却因製造困難，也有的因效用低微，所以不適用於球狀石墨鑄鐵的製造。在鎂與鈾中，鎂尤較鈾為合用，因鈾是比較稀罕的金屬，價格要比鎂貴上好幾倍。含鈾的磷鈾礦(Monasite)和鈾石(Cerite)的資源極不豐富，假如被普遍採用，鈾的供應很成問題。而且加鈾製造球狀石墨鑄鐵的原鐵液化學成分較加鎂製造的來得嚴格，就是原鐵液的含碳量必須是過共析的(Hypereutectic)。換句話說，其含碳量必須超過 $4.3 - \frac{1}{2}(\text{矽}\% + \text{磷}\%)$ ，如果低於這個數字，那末它的含鎳量應該在 10% 以上。此外含硫量應盡可能的低，因為鈾加入後，先和原鐵液中的硫化合而成渣子(Slag)，待硫量減低至 0.015% 以下，鈾才進入鐵中，直到含鈾量在 0.02% 以上，才發生碳化鐵的穩定作用(Carbidestabilizing effect)，並使石墨球狀化。所以原鐵含硫必須低於 0.02~0.03%。不然，鈾的消耗太大了。含磷量亦受限制，愈低愈好，因為磷會減低鈾在鐵裏的可溶性，阻止鈾進入鐵裏以發生石墨球化作用。加鈾作球化劑製造的球狀石墨鑄件，它的肉厚程度對石墨

球狀化的影響很大，以直徑 4" 的試棒來看，表皮部分為球狀石墨，而中心部分為片狀石墨，只不過結晶較細而已；表皮部分是珠光體基體 (Pearlitic matrix)，到中心逐漸化成鐵素體基體 (Ferritic matrix)，強度要比表皮部分來得低 30~40% (鑄鐵中含鉍 0.02~0.05%)。因此加鉍製造球狀石墨鑄鐵是以小件較大件來得滿意。加鎂作球化劑製造的球狀石墨鑄鐵對肉厚的敏感性很低，同樣以 4" 直徑試棒來看，表皮部分與中心部分的強度相差僅 8~12%，因此製造大小鑄件都能有很好的結果。另一方面，加鎂製造球狀石墨鑄鐵的原鐵液果然也希望是過共析含碳量，但如低於 $4.3 - \frac{1}{3}$ (矽% + 磷%) 這個數字，那末亦屬可能。含碳 2.8% 而含矽 1.6% 的低共析鑄鐵 (Hypo-eutectic Cast iron) 並未證明不可以加鎂來製造球狀石墨鑄鐵，相反的，也能得到夠滿意的球狀石墨結構，也能得到夠滿意的機械性質。加鎂製造球狀石墨鑄鐵的含硫量也不像加鉍的來得嚴格，含硫量當然也希望愈低愈好 (因硫與鎂化合而消耗鎂量)，但經驗告訴我們，含硫量高達 0.12% 的鑄鐵也可供加鎂製造球狀石墨鑄鐵之用，更不像鉍在處理時必須等含硫量低於 0.015% 後，才進入鐵中，發生穩定和球化作用。從加鎂製造的球狀石墨鑄鐵 1" 基爾試棒 (Keel block) 上，經多次分析結果，它的含硫量可允許高達 0.03~0.04%。再有含磷量也不像加鉍製造的原鐵液來得受限制，因為磷不會減低鎂在鐵裏的可溶性。而且加鎂製造的球狀石墨鑄鐵的機械性質又一般較加鉍製造的來得高，這一些都是加鎂製造的優點。雖然，鎂的熔點 (650°C) 及沸點 (1110°C)

都低，比重又輕(1.74)，所以加入鐵水中(1400~1500°C)，立刻燃燒飛濺，發生激烈的爆炸，但這些困難問題已由於適當的使用運送劑(Carrier)如與銅、鎳、矽等成合金及改進操作方法如使用鐘罩等得到了解決，並使鎂的回收率不斷的提高起來。所以鎂作球化劑製造球狀石墨鑄鐵已顯得很成功和夠滿意的了。

本書以下所述的球狀石墨鑄鐵亦以加鎂製造為限。

球狀石墨鑄鐵的製造一般分為下面幾個步驟：

1. 適當配好爐料，使熔化後的原鐵液化學成分能夠滿足供處理的要求。

2. 加入適量球化劑(或稱穩定劑)使碳化鐵穩定下來，以防片狀石墨的析出，同時產生一種球狀石墨的核心，使石墨能依此核心而生長。

3. 加入適量墨化劑(或稱孕育劑)，增加石墨核心數，並促使石墨析出而結成球狀，以便得到最完全的球狀石墨結構。(如球化劑中含有墨化元素如矽等，那末爐外處理手續可簡化為一次)

4. 砂型的製備並爭取在適當時間內進行澆鑄(Pouring)。

第一節 化學成分及各種元素的影響

適合製造球狀石墨鑄鐵的原鐵液化學成分有着很大的範圍。各種元素的最適宜的含量是要按照所須的機械性質和鑄件的實際情況加以決定。

1. 碳——含碳的範圍很廣，理論上自 1.7~5.0% 總碳量(Total

carbon) 的原鐵(Base iron)都能夠製造球狀石墨鑄鐵,而且含碳量的高低決不像片狀石墨的高級鑄鐵會顯著影響它的機械性質。不過球狀石墨鑄鐵原鐵液的含碳量如能在 2.5~4.0% 則較好,又如能在 3.0~3.8% 則最好,因為含碳量過少在薄鑄件可能有激冷變白的現象;而含碳量太多,則在厚肉鑄件會有石墨上浮的可能。珠光體球狀石墨鑄鐵的含碳量可在 2.8~3.5% 之間;鐵素體球狀石墨鑄鐵的含碳量可在 3.5~4.0% 之間。並且要使總碳量中的化合碳不超過 1.2%,應在 0.3~1.2% 之間。而它的石墨碳又至少在 1.3~1.5%,慣常的是超過 2.0%。

2. 矽——含矽量可自 1.3~5.0% 或甚至 6.0%,但以 1.5~4.5% 較好,能若低於 3.0% 而在 2.0~2.5% 則最好。因為含矽過多(>3.0%),除石墨化作用外,矽還部分的溶解於鐵素體內,使硬度等增加而韌性低落;而且這種由於含矽太高而低減的韌性不能用退火方法來恢復或補救,所以一般不希望含矽量在 3.0% 以上。

切面厚薄在 $\frac{3}{8}$ " 左右的鑄成狀態下(as cast)球狀石墨鑄件往往很易發生大量游離碳化鐵(Free cementite)或激冷變白的現象,所以這種鑄件的化學成分就受到了一些限制。碳限制在 2.5~4.5%,矽限制在 1.5~4.0% 而且 $\frac{\% \text{矽}}{3.1} + \frac{\% \text{碳}}{4.5}$ 的值要大於 1.0%,這樣可保證有充分的石墨化能力(Graphitizing power),使能得到滿意的結果。

3. 錳——錳是碳化鐵的穩定劑(Stabilizer),而在球狀石墨鑄