

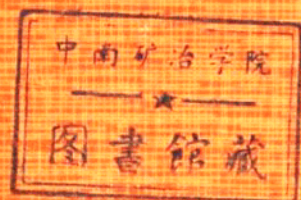
471201

技術資料 No.68

球狀石墨鑄鐵應用手冊

著者：Karsay博士

譯者：楊國和・許啓仁



中華民國鑄造學會編印

球狀石墨鑄鐵應用手冊 目錄

第一章 引 言	1
第二章 設計者的基本球墨鑄鐵冶金學	2
2.1 球墨鑄鐵是什麼？	2
2.2 鋼、球墨鑄鐵及普通鑄鐵間有何區別？	2
2.3 為何鑄鐵中需要石墨？	2
2.4 那麼球墨鑄鐵、基本上就是球狀石墨分佈於鋼中囉。此種說法對否？	3
2.5 金相組織如何影響鑄鐵的性能？	3
2.6 在球墨鑄鐵中，會碰到什麼樣的基地？這些組織會有什麼樣的影響？	3
2.7 合金如何影響金相組織及性能？	3
2.8 熱處理如何影響金相組織及性能？	4
第三章 球墨鑄鐵在工程材料中所佔的地位	5
第四章 球墨鑄鐵家族的分類	6
第五章 標準規格	8
5.1 國際。ISO R 945 (推荐)	8
5.2 國際。ISO R 1083 (推荐)	8
5.3 北美。ASTM A 536-70	8
5.4 北美。SAE J 434 b (汽車) *	8
5.5 北美。ASTM A 476-70 *	9
5.6 北美。SAE AMS 5315	9
5.7 北美。SAE AMS 53/6	9
5.8 北美。美軍。11466 A (軍需品) *	9
5.9 北美。美軍。MIL-1-24137 (船)	9
5.10 北美。美軍。MIL-1-22243	9
5.11 北美。ASME SA 3970 (同：ASTM A 395-70)	9
5.12 北美。ADI 604 (同：ASTM A 445-70)	9
5.13 北美。AGMA 244.02 (齒輪材料)	9
5.14 北美。AGMA 211.02	10
5.15 北美。ASTM A 439-70 奧斯田球墨鑄鐵 *	10
5.16 北美。ASTM 571-70 奧斯田球墨鑄鐵	10
5.17 北美。SAE AMS 5394 奧斯田球墨鑄鐵 *	10
5.18 北美。SAE AMS 5395 奧斯田球墨鑄鐵 *	10
5.19 北美。美軍 MIL-1-24137 (船) 奧斯田球墨鑄鐵 *	10
5.20 法國標準。NF A32-201	10
5.21 法國標準。AFFGS	11
5.22 德國標準。DIN 1693 正常型式	11
5.23 英國標準。B.S. 2789:1961	12

5.24 英國標準。B.S. 3468 : 1962 奧斯田球墨鑄鐵	12
5.25 意大利標準。UNI 4544	12
5.26 日本標準。JIS G 5502-1961	13
5.27 蘇俄標準。GOST 7293-70	13
第六章 球墨鑄件設計原則	14
6.1 原則一：採用鑄造法所給予的自由性	14
6.2 原則二：瞭解鑄造法的基礎	14
6.3 原則三：為最佳的總經濟性而設計	15
6.4 原則四：為鑄件完整性而設計	16
6.5 原則五：需要愈多（或愈少）尺寸的精確性	16
6.6 原則六：要小心斷面大小對性能的影響	17
6.7 原則七：以適當安全設計	17
6.8 原則八：信任鑄造廠	18
6.9 原則九：和鑄造廠溝通	18
第七章 球墨鑄鐵之機械性能	19
7.1 抗拉性能	20
7.2 抗壓性能	20
7.3 扭轉性能	20
7.4 橫向破壞應力 (Transverse Rupture Stress)	21
7.5 硬 度	21
7.6 耐衝擊值	21
7.7 耐磨性	22
7.8 耐疲勞性	22
7.9 低溫機械性能 (Matting 及 Kruger)	24
7.10 高溫性能	24
第八章 球墨鑄鐵之物理性能	27
8.1 密度及比重	27
8.2 熔 點	27
8.3 比 熱	27
8.4 熔 解 熱	27
8.5 熱膨脹性	27
8.6 熱傳導性	28
8.7 摩擦係數	28
8.8 電 阻 性	28
8.9 磁氣性能	28
第九章 球墨鑄鐵之化學性能	29
9.1 球墨鑄鐵之耐蝕性	29
9.2 球墨鑄鐵之耐氧化性	33
9.3 球墨鑄鐵之耐生長性	34

第十章 球墨鑄鐵之工藝性能	35
10.1 加工性	35
10.2 焊接及硬焊	36
10.3 制震能	36
10.4 硬化能	36
10.5 表面包覆	37
10.6 鑄造性	37
10.7 熱 作	37
10.8 冷 作	38
10.9 耐壓性	38
第十一章 奧斯田球墨鑄鐵之性能 *	39
11.1 選擇奧斯田球墨鑄鐵之通則	39
11.2 奧斯田球墨鑄鐵之機械性能	39
11.3 奧斯田球墨鑄鐵之物理性能	43
11.4 奧斯田球墨鑄鐵之化學性能	44
11.5 奧斯田球墨鑄鐵之工藝性能	47
第十二章 球墨鑄鐵的特殊產品	49
12.1 球墨鑄鐵管	49
12.2 軋軋機軋子	49
12.3 連續鑄造球墨鑄鐵	50
12.4 鋼錠模	50
12.5 脆性球墨鑄鐵	50
12.6 特殊造模技術	51
第十三章 球墨鑄鐵的應用	52

球狀石墨鑄鐵應用手冊

第一章 引言

本書的目的在於協助設計者設計球墨鑄鐵件及選擇適當型式球墨鑄鐵以適合於特殊的應用。

自從大約 20 年前，球墨鑄鐵開始其商業化應用以來，其產量已有很驚人的成長，迄今，全世界年產量（1971 年）約為四～五百萬噸。本書第十二章及後半部所列的應用實例，均已很清楚顯示此材料已十分成功地廣泛使用。同時，隨著每年 10～15 % 的成長率，每天均有新的應用出現。

在提到關於球墨鑄鐵的性能及其應用實例時，設計者一定十分希望認識許多有關球墨鑄鐵可較目前材料及製造方法更為可靠及（或）更為經濟的新應用。

由於球墨鑄鐵的製造頗為簡單，再加上鑄造冶金師均受良好訓練且經驗豐富，能充分發揮所長，所以，我們可以確信：球墨鑄鐵的產量一定可以達到供需平衡。

書中的數據均以英制及米制單位表示。標準規格及比較數據，則不予換算。

收集的資料大部份是取材於已出版的文獻，或合作生產者及使用者的經驗。個別貢獻的表彰，則列於書後的應用實例中。本書無法向其他數以百計的貢獻者一致謝。雖然如此，我們仍在此表達我們的謝意。

1971 年 4 月

第二章 設計者的基本球墨鑄鐵冶金學

本書的目的不在於說明如何生產球墨鑄鐵。惟，設計者至少仍應知道球墨鑄鐵的冶金學。此種智識可協助他從許多可使用且經濟的球墨鑄鐵等級中作明智的抉擇。例如，某一規格的極小強度可經由熱處理或添加合金而獲得，惟一般認為添加合金將較為經濟。爲了作此決定，我們即必須知道此兩種操作的效應。最後，藉由對球墨鑄鐵基本冶金學的了解，無疑地，將改善設計者與鑄造者間的連繫。

2.1 球墨鑄鐵是什麼？

球墨鑄鐵是鑄造的鐵合金。通常含超過 1.5 % 的碳，且習慣上超過 3.0 %。它也含 1.0~4.0 % 的矽及最多達 1 % 的錳。爲了要獲所須的性能，其磷及硫含量必須低。磷通常少於 0.1 %，惟最好少於 0.05 %。硫必須少於 0.02 %。另一元素，鎂，也常存於球墨鑄鐵中。其含量正常在 0.02 ~ 0.08 % 之間。

2.2 鋼、球墨鑄鐵及普通鑄鐵間有何區別？

性能之不同，在於此三種合金的不同金相組織。鋼在基本上是純鐵，由其鐵之結晶組織中，分散合金元素的強化而達不同程度。元素中最普遍的是碳。碳的效應經常爲其他不同的化學元素所加強。同時，有些鋼實際上並不含碳，其所需的性能，即由其他合金元素來獲得。

鑄鐵（無論其爲普通鑄鐵或球墨鑄鐵）和鋼不同的是，在於其常含超過固體鐵溶解度的多餘的碳。此多餘的碳在凝固時，將以純結晶石墨形式析出。通常，片狀石墨其大小在 0.001~0.04 in (0.025 ~ 1 mm) 範圍（圖 1）。經由適當的處理，石墨將以球狀形式結晶（圖 2）。石墨以球狀形式存在的鑄鐵是球墨鑄鐵。

2.3 為何鑄鐵中需要石墨？

有許多理由。基本上，熔融於鐵水中的碳和矽降低了鐵的凝固溫度。鑄鐵的凝固溫度約爲 2100°F (1150 °C)，鋼則約爲 2730°F (1500 °C)。所有鑄造特徵均由此低的凝固溫度所改善。

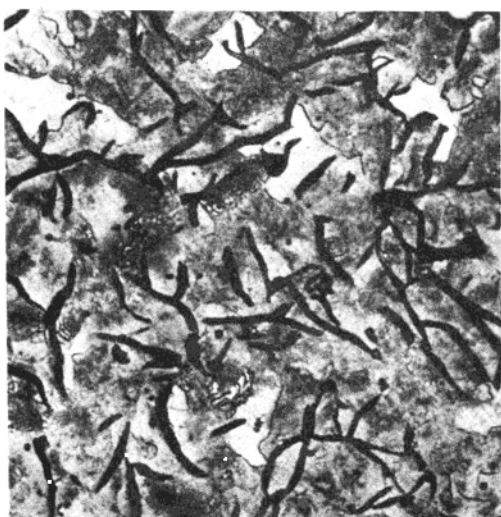


圖 1 普通鑄鐵之金相組織。
片狀石墨（黑色）嵌植
於波來鐵中。 200×

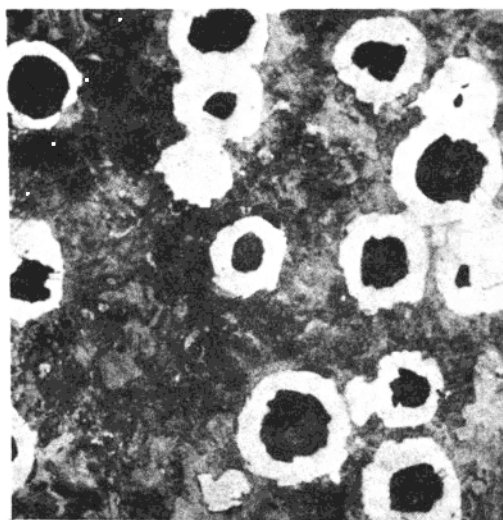


圖 2 球狀石墨鑄鐵之金相組織。
黑色：球狀石墨
白色：肥粒鐵
灰色：波來鐵 200×

同時，游離石墨的存在，對機械、物理及化學性能，均有深遠的影響。

2.4 那麼球墨鑄鐵、基本上就是球狀石墨分佈於鋼中囉。此種說法對否？

就所有實際的目的來說，是對的。石墨的量，通常在 8 ~ 12 % 間。

2.5 金相組織如何影响球墨鑄鐵的性能？

石墨——只要其以球狀形式存在——則對其性能，並無重大的影響。但在另一方面，金屬基地（鋼）——也就是球墨所栽植的地方——的量，則在廣大極限內，可改變其性能。

2.6 在球墨鑄鐵中，會碰到什麼樣的基地？ 這些組織會有什麼樣的影響？

2.6.1 肥粒鐵

基本上是純鐵。質軟。具延性。強度頗低。耐磨性差。有高衝擊能。相當好的熱傳導性。高透磁率，低磁損。在某些場合中暴露時。則具良好耐腐蝕性。良好加工性。價廉。

2.6.2 波來鐵

其組成爲肥粒鐵（見上述）及碳化鐵（ Fe_3C ）的機械混合。頗硬。適度延性。高強度。良好耐磨性。適度耐衝擊力。熱傳導性減少些。低透磁率。高磁損。良好加工性。價廉。

2.6.3 波來鐵——肥粒鐵

含有波來鐵及肥粒鐵的混合組織。此爲最普通等級的球墨鑄鐵，其性能介於上述的兩者之間。具良好加工性，是最價廉的球墨鑄鐵。

2.6.4 變韌鐵（針狀鐵）

由添加合金及（或）熱處理而產生。較波來鐵爲硬及強。低延性和適度耐衝擊力。具非常好之高溫強度及耐疲勞性（可達約 $1100^\circ\text{F} - 600^\circ\text{C}$ ）。適當的加工性。較前述之等級爲貴。

2.6.5 麻田散鐵

由添加合金及淬火而產生。此爲非常硬且脆的組織，當需要最大的耐磨性時，即需靠此種組織。大部份的情形是在暴露的表面需要耐磨時，才爲麻田散鐵組織。麻田散鐵可在一較低溫度下回火處理。依回火溫度之不同，而可有多種的強度及耐磨性的組合，且均有延性和要較未回火的麻田散鐵容易加工。頗昂貴。

2.6.6 奧斯田鐵

和肥粒鐵一樣，此基本上亦爲有不同結晶格子之純鐵。頗低的強度及高的延性。高耐衝擊力。特別是在低溫時。可以鎳含量在廣範圍內控制其熱膨脹性。要生產奧斯田鐵基地，高鎳含量（最少 18 %）是必須的。優異的耐蝕性及耐熱性。直到 1300°F （ 700°C ）時，具有很好的潛變及應力破壞（stress rupture）性能。很好的耐磨及耐磨——耐腐蝕——耐沖蝕性。非磁性。相當容易加工。昂貴。

2.6.7 碳化物

一種介乎鐵及碳的化合物（ Fe_3C ）。此組成很少爲球墨鑄鐵所需，除非需要非常高耐磨性。低延性，低強度及不好的加工性。大部份等級的奧斯田球墨鑄鐵均含有某些碳化物。

2.7 合金如何影响金相組織及性能？

(1) 矽：

促進肥粒鐵。高矽球墨鑄鐵（ $\text{Si} > 4.0\%$ ）具耐氧化性，但却因矽量之增加而增加脆性。在 1 ~ 4 % 範圍內，矽顯著地增加肥粒鐵的強度。爲此，肥粒球墨鑄鐵——退火或鑄造狀態——正常均含至 2.75 % Si。在明確顯示需要高耐衝擊力的場合下，超過 2.75 % 的極限是非所期望的。

(2) 錳：

促進波來鐵，硬化能及碳化物。由於最後一項，錳並非所期望的合金元素。

(3) 鎳：

促進波來鐵、變韌鐵、硬化能，且無錳的有害影響。含量高時（ $> 18\% \text{Ni}$ ），則促進奧斯田鐵。

(4) 鉻：

促進硬化能及碳化物。僅限於含碳化物等級（比如某些奧斯田鐵等級）使用。

(5) 銅：

促進波來鐵及硬化能。在高強度波來鐵等級中常使用，可達 2.0 %。

(6) 錫：

和銅的作用相似，惟其容許量約爲 0.1 %。在此量下，其效果約和 1.0 % 銅者相當。

(7) 鉬：

促進硬化能，變韌鐵及高溫機械性能。最大

添加量約為 1 %。

2.8 熱處理如何影响金相組織及性能？

鑄造狀態下的球墨鑄鐵為最經濟的型式及最常用者之一，在適當的選擇化學成份下，大部份等級球墨鑄鐵均可以鑄造狀態生產。

退火球墨鑄鐵為具肥粒鐵基地，且有高耐衝擊力和頗低的強度。在高溫下使用的奧斯田鐵，為防止變形，退火處理是必須的。

正常化處理促進波來鐵組織，強度及耐磨性均高，及適度延性。

變韌鐵組織，可由鑄造狀態或經由等溫熱處理（即淬火於預先定溫度的爐浴中）生產。變韌球墨鑄鐵，通常為 Ni-Mo 合金。

淬火可產生麻田散鐵，硬、脆及高耐磨組織。

回火緩和因淬火而產生的大部份脆性，且獲得具有高度強度及高耐磨性組織。

應力消除。此種低溫熱處理很少用於球墨鑄鐵，除非當原來鑄件的大部份為尺寸的精確而加工去除時，則必須實施。

第三章 球墨鑄鐵在工程材料中所佔的地位

球墨鑄鐵非為單一的合金，而是鑄鐵的一整個家族，其最近的親戚有灰口鑄鐵，鑄鋼及可鍛鑄鐵。鋼和灰口鑄鐵及球墨鑄鐵間的差異，已在前章中以冶金學名詞說明過了。就冶金學及性能來說，可鍛鑄鐵是最近球墨鑄鐵了。

球墨鑄鐵族包括抗拉強度高達 170,000 psi (120 kp/mm²) 及延性低 (1 ~ 4 %) 的高強度等級，和高延性及頗低的強度等級 (伸長率 20 %，抗拉強度 50,000 psi ~ 36 kp/mm²)，和介乎此兩者間的各不同強度—延性組合的等級。同時，也包括有從 20,000 ~ 40,000 psi (14 ~ 29 kp/mm²) 抗拉強度，伸長率在 5 ~ 25 % 範圍 (依各不同等級而異) 的奧斯田球墨鑄鐵系。

若僅考慮強度和延性，則某些等級球墨鑄鐵要較大部份鑄鋼，可鍛鑄鐵，當然也包括灰口鑄鐵為佳。

然而，僅只考慮強度和延性，就和那宣稱：任一材料一般要較其他者為佳一樣是錯誤的。事

實上，以伸長率來表示延性對設計者而言，是沒有什麼意義的。我們所設計的另件是很少讓其在使用中永久變形的——因此，伸長率僅為在未預期的緊急操作情況下安全的最佳表示而已。

在考慮使用情況下，某些可以決定選擇材料的機械性能為：彈性係數，耐磨性及耐疲勞性和高溫強度。某些情況下，耐腐蝕性，耐氧化性或耐沖蝕性，在其他，則電氣或磁氣性能，制震動能，或加工性將被認為第一優先考慮者。

簡言之，我們將不嘗試為任何所給與的應用。推荐球墨鑄鐵。此選擇將由設計者自己謹慎小心為之。要小心選擇何種材料，何種製造方法，在適當使用情況，安全及最低成本下，生產最後的產品。在某些情況下，最佳的選擇是球墨鑄鐵，在其他情況下，則某些其他材料較適合。

我們希望設計者，經由對球墨鑄鐵性能的認識，而有助於其對此材料的使用有最佳選擇。

第四章 球墨鑄鐵家族的分類

圖3 示所有強度—伸長率的配對值，這些包括 18 個國家規格及國際標準，將於第五章中列表示出，未包括在圖3中僅有的等級是奧斯田鐵級。這些等級從不僅為室溫強度或伸長率而單獨選擇。奧斯田球墨鑄鐵，事實上，和另一組奧斯田灰口鑄鐵（Ni-Resist）相類似。為此理由，在本章中將不談奧斯田球墨鑄鐵。但我們將單獨在第十一章中討論此等級球墨鑄鐵，各主要國家的標準規格，將在第五章中述及。

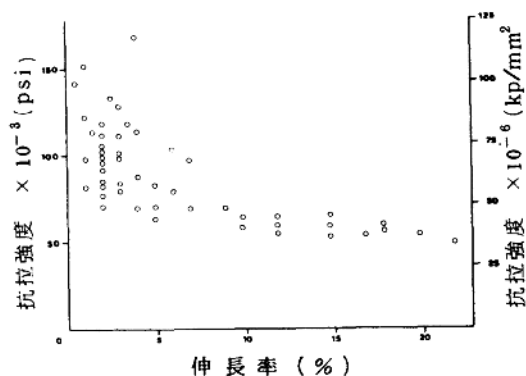


圖3 球墨鑄鐵最小強度—伸長率配對值（在第五章中將談到的 18 個國家規格及國際標準）

乍看之下，圖3所表示的似乎不僅是可由球墨鑄鐵獲得範圍廣大的強度及伸長率，而且這些值也很散亂。此散亂的部份原因為由於各標準在對最佳值或最大可能值及最低值間所公佈的差異所致。例如，GOST 7293-70 Vch 120-4 所要求的是：在極限強度（ultimate strength）最小為 120 kp/mm^2 （ $170,000 \text{ psi}$ ）時，其最小的伸長率應為 4%（！）。此要求的確是很接近球墨鑄鐵所可能達到的性能。還有一個使此值有如此明顯散亂的更重要的理由是：任何抗拉強度球墨鑄鐵，可有多種不同的伸長率值。此種多變化性，可為偶發的或在控制下而產生的，其受化學成份及金相組織所影響。因為大部份的塑性變形，

為伸長的原因，是在通過 0.2% 橫距應力（降伏強度，安全限應力）後始產生，具有相當高伸長率的鑄鐵將亦——也是必然的——具相當低的降伏強度，反之亦然。

以上這些事實的一個重要結果是：使設計者可在高降伏強度低延性和低降伏強度高延性兩者間，依所給零件對那一方面較為要求，而作選擇。大部份情況，設計是依降伏強度的幾分之幾而定的。相反地，在工程設計中，甚少考慮到延性，其簡單的理由是，因為所設計的零件並不期望其在使用中產生永久變形故也。（詳見 7.13 節說明）

同樣地，此種觀念亦可應用於解釋耐衝擊性。在現存測定耐衝擊性方法（如 Charpy 試驗）與其零件在承受衝擊負荷行為時，兩者間的與生俱來的矛盾是：前者，其試樣完全被破壞了，而其零件——一般——則甚至不產生變形。以耐衝擊試驗為基礎來比較材料，多少有點像僅是以抗拉強度為基礎來比較一樣。耐衝擊性具更多學術研究興趣的情況是在已經變形的零件中，仍可起作用（某些槓桿，球墨鑄鐵管等），或以安全觀點來看，在緊急情況下的永久變形是寧可見其被破壞的。

將前述應用於圖3，左側的球墨鑄鐵對設計者來說，通常要較高延性而低強度者為有價值。統計指出，高強度等級的比例，實際在增加。

為了方便各不同性能的代表，各等級間的嚴格分類是必要的。此分類是依降伏強度（0.2% 橫距）或降伏強度及延性為基礎。此分類並不意味取代標準，或在定可選等級規格時使用之。相對於此，所示等級的球墨鑄鐵型式，可在第五章中很容易發現。

除了奧斯田等級外，所有球墨鑄鐵均區分如下五種等級。

第一級：非常高強度球墨鑄鐵。基地組織可為變韌鐵或回火麻田鐵，以添加合金

及熱處理產生，最小降伏強度：

90,000 psi 或 64 kp/mm²。

第二級：高強度球墨鑄鐵。波來鐵基地，以添加合金或熱處理產生，最低降伏強度：
70,000 psi 或 50 kp/mm²。

第三級：普通球墨鑄鐵。含波來鐵較多之波來鐵基地。一般來說，可在鑄造狀態下使用。最低降伏強度：60,000 psi
或 42 kp/mm²。

第四級：軟球墨鑄鐵。含肥粒鐵較多之肥粒鐵——波來鐵基地。一般來說，可在鑄造狀態下使用，最低降伏強度：
45,000 psi 或 32 kp/mm²。
最小伸長率：8 %。

第五級：非常軟球墨鑄鐵。肥粒鐵基地。以退火處理產生，最低降伏強度：35,000 psi 或 25 kp/mm²。
最小伸長率：15 %。

如果必要時，其最低耐衝擊力如下表：

試 驗 溫 度	最小 Charpy V - 凹溝耐衝擊性 (kpm / cm ²)	
	三次試驗平均值	任一獨測值
室 溫	1.70	1.50
特定最小 使用溫度	1.15	1.00

在前三個等級中，並未提到延性或伸長率。和前述者一致，在此三等級中，延性是不重要的。但是，他們仍具有適度的塑性。各位將可在敘述其機械性能時見及之。在第一、二、三等級間的選擇，將大部份依生產的經濟性而定。第一級者最昂貴，成本可能要較第三級者多 50 %。第二級者，則介于兩者之間。同樣地，若考慮總生產性包括加工成本，則第四級者為最便宜的。當永久變形不影響另件的適當作用，或當安全因素要求，寧可使另件永久變形，而不要在非預期的高動力負荷下破壞時，則第五級為正確的選擇。生產第五級，通常要較第四級貴 15 ~ 25 %。

第五章 標準規格

設計者在描述所選擇材料時，常以標準規格指出。為參考目的，本章中摘錄了有關球墨鑄鐵的2種國際規格（ISO）及25種國家規格。尚有許多其他的規格，有些為全國性的，有些則僅適用於某一技術或商業組織。使用標準規格，有時是實際需要，有時則為了方便，如果所需要的性能未包含在慣例使用的標準內時，則設計者最好直接向鑄造廠表明他的要求。

下面我們將針對設計者與鑄造者間責任的區分作一註釋。設計者必須將其所須性能的規格指出——無論其為機械的，化學的，物理的或工藝的。鑄造者，則必須生產符合設計者要求的鑄件。鑄造者在執行其工作時，如果設計者（或標準規格）規定鑄件要如何製造的話，則鑄造者將遭遇極大的阻擾。比如，有許多標準規格包含有無論是化學成份或熱處理方法，或兩者皆包括在內的規定。這種規定除了奧斯田鐵級者可例外外，均不但是非必要的，而且經常導致生產成本不必要的增加。同樣地，設計者也不用規定或檢查鑄件金相組織，除非產生低於標準的性能時，為了知道其原因起見，始作金相檢查。

5.1 國際。ISO R945（推荐）

鑄鐵中有關石墨形狀，大小及分佈的規定。

5.2 國際。ISO R1083（推荐）

球狀石墨鑄鐵

5.3 北美。ASTM A536-70

等 級	抗拉強度 最小(psi)	降伏強度 (0.2%標距) 最小(psi)	伸 長 率 (2-in.g.l.)* 最小(%)
60-40-18	60,000	40,000	18
65-45-12	65,000	45,000	12
80-55-06	80,000	55,000	6
100-70-03	100,000	70,000	3
120-90-02**	120,000	90,000	2

* g.l.: gauge length, 標距。

** 規定需淬火——回火熱處理。

5.4 北美。SAE J434b（汽車）*

等 級	硬 度** (BHN)	金相組織***
D - 4018	170 最大	肥 粒 鐵
D - 4512	156-217	肥粒一波來鐵
D - 5506	187-255	肥粒一波來鐵
D - 7003	241-302	波 來 鐵
DQ & T ****	必須規定	麻 田 散 鐵

* 含供參考之機械性能

**要測試的部份，必須在圖上指出

*** 至少要有80%球狀石墨

**** 淬火及回火

型 式	抗 拉 強 度 (最 小)			降伏強度 (0.2%安全限應力) (最小)			伸長率 (%)*
	(kp/mm ²)	(lbf/in ²)	(Ton f/in ²)	(kp/mm ²)	(lbf/in ²)	(Ton f/mm ²)	
70-2	70	100,000	44	45	65,000	29	2
60-2	60	86,000	38	40	57,000	25	2
50-7	50	71,000	31	35	50,000	22	7
42-12	42	60,000	26	28	40,000	17	12
38-17**	38	55,000	24	24	35,000	15	17

* 以標距 (gauge length) 等於試片直徑5倍來測定。

** 最小室溫 Charpy V-凹溝耐衝擊值：

① 三次試驗平均值：最小 1.7 kpm/cm²

② 單獨試驗值：最小 1.5 kpm/cm²

5.5 北美。ASTM A476-70*

等 級	抗拉強度 最小 (psi)	降伏強度 (0.2%標距) 最小 (psi)	等 級	伸長率** (2-in g.l.) 最小 (%)	硬 度 最 小 (BHN)
80-60-03	80,000	60,000	80-60-03	3	201

* 含化學成份規定。

** 試樣是從 1-in 的試片中採取，如果是從 3-in 的試片中取樣，則無最小伸長之規定。

5.6 北美。SAE AMS 5315

最小抗拉強度：60,000 psi

最小降伏強度 (0.2%標距)：45,000psi

最小伸長率：15%

須退火處理，含化學成份規定。

5.7 北美。SAE AMS 53/6

最小抗拉強度：80,000 psi

最小降伏強度 (0.2%標距)：60,000psi

最小伸長率：由試片中取樣試棒，3%。

由鑄件中取樣試棒，最小2%

含化學成份規定。

5.8 北美。美軍。11466A (軍需品)*

型 式	抗拉強度 最小 (psi)	降伏強度 (0.2%標距) 最小 (psi)	伸 長 率 (2-in g.l.) 最小 (%)
D-4018	60,000	40,000	18
D-4512	65,000	45,000	12
D-5506	80,000	55,000	6
D-7003	100,000	70,000	3
DQ & T	買賣雙方協議		

* 含熱處理規定

5.9 北美。美軍。MIL-1-24137 (船)

最小抗拉強度：60,000 psi

最小降伏強度 (0.2%標距)：45,000 psi

最小伸長率 (2-in g.l.)：15%

退火處理。最大硬度：190 BHN

所有石墨必為球形。基地：最少90%肥粒鐵

每一批退火鑄件中必須取一金相試片檢驗。

含化學成份規定。

5.10 北美。美軍。MIL-1-22243

最小抗拉強度：55,000 psi

最小降伏強度 (0.2%標距)：37,000 psi

最小伸長率 (2-in g.l.)：20%

最小室溫 Charpy V-凹溝耐衝擊值：

10 ft/lbs

必須退火，含化學成份規定。

5.11 北美。ASME SA3970

(同：ASTM A395-70)

最小抗拉強度：60,000 psi

最小降伏強度 (0.2%標距)：40,000 psi

最小伸長率 (2-in g.l.)：18%

硬 度：143-187 BHN

含化學成份及試片鑄造尺寸規定。應退火。

5.12 北美。ADI 604 (同：ASTM A445-70)

最小抗拉強度：60,000 psi

最小降伏強度 (0.2%標距)：40,000 psi

最小伸長率 (2-in g.l.)：18%

含化學成份規定。應退火。

5.13 北美。AGMA 244.02 (齒輪材料)

含三種等級：

1. 退 火：

最小抗拉強度：65,000 psi

最小降伏強度 (0.2%標距)：45,000 psi

最小伸長率 (2-in g.l.)：10%

2. 正常化及回火。八種型式。下述為規格範圍：

最小抗拉強度：70,000 ~ 143,000 psi

最小降伏強度 (0.2%標距)：55,000 ~ 123,000 psi

最小伸長率 (2-in g.l.)：0.5 到 7%。

3. 淬火及回火。七種型式。下述為規格範圍：

最小抗拉強度：98,000 ~ 158,000 psi

最小降伏強度 (0.2%標距)：75,000 ~ 130,000 psi

最小伸長率 (2-in g.l.) : 1 ~ 7 %

5.14 北美。AGMA 211.02

含在齒輪設計中，容許接觸應力數目 (all-

5.15 北美。ASTM A439-70 奧斯田球墨鑄鐵*

型 式	抗 拉 強 度 最小 (psi)	降 伏 強 度 (0.2% 標距) 最小 (psi)	型 式	伸 長 率 (2-in g.l.) 最小 (%)	硬 度 (BHN)
D-2	58,000	30,000	D-2	8	139 - 202
D-2B	58,000	30,000	D-2B	7	148 - 211
D-2C	58,000	28,000	D-2C	20	121 - 171
D-3	55,000	30,000	D-3	6	139 - 202
D-3A	55,000	30,000	D-3A	10	131 - 193
D-4	60,000	—	D-4	—	202 - 273
D-5	55,000	30,000	D-5	20	131 - 185
D-5B	55,000	30,000	D-5B	6	139 - 193

* 含化學成份規定

5.16 北美。ASTM 571-70 奧斯田球墨鑄鐵*

型式名稱：D-2M

最小抗拉強度：65,000 psi

最小降伏強度 (0.2% 標距)：30,000 psi

最小伸長率 (2-in g.l.)：30 %

硬 度：121-171 BHN

在 -320°F 下，最小 Charpy V- 凹溝耐衝擊值：15 ft/lbs

含化學成份規定。退火。

5.17 北美。SAE AMS 5394 奧斯田球墨鑄鐵*

最小抗拉強度：55,000 psi

最小降伏強度 (0.2% 標距)：32,000 psi

硬 度：140 ~ 180 BHN

含化學成份規定。應做應力消除處理。

5.18 北美。SAE AMS 53950 奧斯田球墨鑄鐵*

最小抗拉強度：50,000 psi

最小降伏強度 (0.2% 標距)：25,000 psi

硬 度：125 ~ 175 BHN

試片最小伸長率：20 %

鑄件最小伸長率：15 %

含化學成份規定。

5.19 北美。美軍 MIL-1-24137 (船)

奧斯田球墨鑄鐵*

owable contact stress number) 規定。對任何等級球墨鑄鐵，此數目為有相同硬度鋼之 80 ~ 90 %。

等級	抗拉強度 最小 (psi)	降 伏 強 度 (0.2% 標距) 最小 (psi)	伸 長 率 最小 (%)	硬 度 (BHN)
B	55,000	30,000	7	190
C	50,000	25,000	20	175

* 含熱處理及化學成份規定

5.20 法國標準。NFA 32-201

型 式	最 小 抗拉強度 (daN/mm ²)	最 小 降 伏 強 度 (daN/mm ²)*	最 小 伸長率 (%) (70mm g.l.)
FGS 70-2	68.6	46.1	2
FGS 60-2	58.8	39.2	2
FGS 50-7	49.0	34.3	7
FGS 42-12	41.2	27.4	12
FGS 38-15**	37.2	23.5	15

* 1 daN/mm² = 1.02 kp/mm²

** 室溫最小 Charpy V- 凹溝衝擊值：

① 三次試驗平均值：1.7 daJ/cm²

② 任一個別值：1.5 daJ/cm²

5.21 法國標準。AFFGS

型式	硬 度 (BHN)	最 小 抗拉強度 (kp/mm ²)	最 小 降 伏 強 度 (kp/mm ²)	伸長率 最 小 (%)
A	N.S.	58	42	1
B	200-240	50	38	4
C	N.S.	42	32	10

N.S. : 無規定

5.22 德國標準。DIN 1693 正常型式

型 式		另 外 鑄 出 試 片 之 最 小 性 能		
符 號	材 料 號 碼	抗 拉 強 度 (kp/mm ²)	降 伏 強 度 (0.2% 標距) (kp/mm ²)	伸 長 率 (l = 5d) (%)
GGG- 40	0.7040	40	25	15
GGG- 50	0.7050	50	32	7
GGG- 60	0.7060	60	38	3
GGG- 70	0.7070	70	44	2
GGG- 80	0.7080	80	50	2

有耐衝擊值規定型式：

型 式		另 外 鑄 出 試 片 之 最 小 性 能						
符 號	材 料 號 碼	抗拉強度 (kp/mm ²)	降 伏 強 度 (0.2%標距) (kp/mm ²)	伸長率 (1=5d) (%)	耐衝擊值(DVM試驗)(kp/mm ²)			
					室 溫		在 規 定 低 溫 下	
					三次試驗 平 均 值	任 一 個 別 值	三次試驗 平 均 值	任 一 個 別 值
GGG- 35.3*	0.7033	35	22	22	3.0	2.5	在-40℃ 2.0	在-40℃ 1.6
GGG- 40.3	0.7043	40	25	18	2.3	2.0	在-40℃ 2.0	在-40℃ 1.6

* 必須退火

5.23 英國標準。B.S.2789:1961

型 式	抗 拉 強 度 (最 小)		降 伏 強 度 (0.5 % 標 距)		最 小 伸 長 率 (%)	最 小 衝 擊 值			
						同 一 試 樣 三 次 平 均 值		單 獨 值	
	(Ton/in ²)	(kp/mm ²)	(Ton/in ²)	(kp/mm ²)		(ft. lbs)	(kp/mm ²)	(ft. lbs)	(kp/mm ²)
SNG 24/17	24	37.8	15	23.6	17	10	1.4	9	1.26
SNG 27/12	27	42.5	18	28.3	12	*	*	*	*
SNG 32/7	32	50.4	22	34.6	7	NS	NS	NS	NS
SNG 37/2	37	58.3	25	39.4	2	NS	NS	NS	NS
SNG 42/2	42	66.1	28	44.1	2	NS	NS	NS	NS
SNG 47/2	47	74.0	30	47.2	2	NS	NS	NS	NS

* 可能規定 NS: 無規定

5.24 英國標準。B.S. 3468: 1962 * 奧斯田球墨鑄鐵

型 式	抗拉強度 (最 小)		降伏強度(0.5%標距)最小		伸 長 率 (%)	硬 度 (最 大) (BHN)
	(Tons/in ²)	(kp/mm ²)	(Tons/in ²)	(kp/mm ²)		
AUS 202 A	24	37.8	15	23.6	8	201
AUS 202 B	24	37.8	15	23.6	6	255
AUS 203**	24	37.8	15	23.6	20	170
AUS 204	24	37.8	15	23.6	10	230
AUS 205	24	37.8	15	23.6	7	201

* 含化學成份規定

①三次試驗平均值: 20ft/lbs 或 3 mkp.

** 室溫下最小 Charpy V- 凹溝衝擊值:

②任一個別值: 17 ft/lbs 或 2.5 mkp.

5.25 意大利標準。UNI 4544

型 式	抗拉強度 (最 小) (kp/mm ²)	降伏強度 (0.2%標距) (最 小) (kp/mm ²)	伸 長 率 (最 小) (1=5 d) (%)	硬度(Hb) 10/3000/30 (kp/mm ²)	耐衝擊值 (最 小) Mesnager 試驗(UNI 3212) (kpm / cm ²)		其 地 組 織
					三次試驗平均值	任一個別值	
GS 42/10	42	30	10	140-190	NS	NS	主 要 為 肥 粒 鐵 波 來 鐵 肥 粒 鐵 主 要 為 波 來 鐵
GSQ42/15	42	28	15	130-170	2	1.5	
GS 50/5	50	38	5	160-220	NS	NS	
GS 55/2*	55	40	2	190-250	NS	NS	

NS: 無規定

* 如果 GS 55/2 之抗拉強度超過 60 kp/mm² 時, 則本表所示之伸長率及硬度值僅作參考用

5.26 日本標準。JIS G5502-1961

等 級	符 號	抗拉強度最小 (kp/mm^2)	降伏強度最小 (kp/mm^2)	伸長率(最小) (%)
1	FCD 40	40	26	15
2	FCD 45	45	30	10
3	FCD 50	50	35	7
4	FCD 60	60	40	2
5	FCD 70	70	45	2

5.27 蘇俄標準。GOST 7293-70

型 式	抗拉強度 (kp/mm^2)	降伏強度 (kp/mm^2)	伸長率 (%)	耐衝擊值 (kp/mm^2)	硬 度 (BHN)
	最 小				
VCh 38-17	38	24	17	6.0	140-170
VCh 42-12	42	28	12	4.0	140-200
VCh 45-5	45	33	5	3.0	160-220
VCh 50-2	50	38	2	2.0	180-260
VCh 60-2	60	40	2	2.0	200-280
VCh 70-3	70	40	3	3.0	229-275
VCh 80-3	80	50	3	2.0	220-300
VCh 100-4	100	70	4	3.0	302-369
VCh 120-4	120	90	4	3.0	302-369