

電機製造

簡 柏 敦 編



龍門聯合書局出版

電 機 製 造

簡 柏 敦 編

★ 版權所有 ★

龍 門 聯 合 書 局 出 版

上海南京東路61號101室

中國圖書發行公司總經售

啓 智 印 刷 廠 印 刷

1953年7月初版

印數0001-2500册

新定價 ㄖ 10,000

上海市書刊出版業營業許可證出 029 號

序 言

在我十幾年的斷續的教學經驗中，經常發覺到學者在研習電機原理和電機設計的過程中，不能把理論聯繫到實際。學者對計算公式的意義非常模糊，不能靈活運用它們，那些計算公式因而變成了死的東西。許多電機中現象的分析也就變為純數學的演算，電機設計裏各種公式、數據和通則，也就失去了它們在實踐中的意義；整個的電機工程變成了呆板的教條學說。這種現象的產生的重要原因之一，是由於學者對實際的隔閡，在他還沒有了解一部電機是怎樣造成的時候，他對於這電機所產生的各種現象，以及設計的方法，當然是不易了解的。但是要解除這樣的隔閡，在目前電機製造工業還沒有發達到能使每個有志研習電工的學者都有很好的機會到製造廠裏作有系統的實習，是比較難於做到的。爲了補救這種困難並適應目前的需要，所以我寫了這本“電機製造”。

這本書的主要對象，是研習電工的學者，所以它的內容將不包括電工基本知識和一切理論部分，因爲這些敘述，一般電工教本上都是會有的，並且相當詳盡，就是對這些知識不很熟習的讀者，也不難參閱。因此爲了精簡篇幅，本書的重點將是材料、性能和製造手續的敘述，使讀者能知道電機是用那些材料，怎樣製成。在他了解了他所用的材料的性能和製造方法以後，才會體驗到電機設計的程序，才會知道應該怎樣避免製造上的困難，怎樣去解決問題，電機中的各種現象是怎樣產生的。但這裏所述的製造手續，都是原則性的描寫，並不代表任何廠家

所採用的製造程序。這本書的目的已如上述,但內容還不夠充實,能否擔當它的使命,還有賴電工界的指正和批評。

最後,這本書承各先進提供寶貴意見及上海電機製造廠丁舜年先生在百忙中予以審閱,又承廈門大學楊福生、闕端麟兩位先生的幫助,這是編者非常感激的,特地在這裏表示謝意。

編者謹識

目 錄

序言

第一章 導體、半導體及磁性金屬 1

銅——銅鎳合金——銅銀合金——德國銀及磷銅——鉛——炭刷——半導體之種類——半導體之電性能及用途——影響磁性之因素——退磁法——永久磁鐵——非永久磁鐵——粉狀鐵

第二章 絕緣材料 15

絕緣材料之電性能——機械性能——熱性能——化學性能——絕緣材料之分類——棉紗絕緣物——絲類絕緣物——紙類絕緣物——雲母絕緣物——石棉絕緣物——橡膠絕緣物——纖維玻璃絕緣物——液態及易熔絕緣材料——新人造膠——模製絕緣物——有機矽絕緣物——絕緣角架及U形架之製法——絕緣套管之製法

第三章 浸漬油漆及浸漬方法 36

絕緣油漆——充填物——真空浸漬之一般方法——蘸漬——感應電壓調整器之浸漬——電流互感器之防潮濕法——變壓器線圈之蘸漬——表計線圈之浸漬——表計磁鐵之蘸漬

第四章 鐵心及鐵心裝置 42

變壓器之鐵心——衝孔手續——直流電機電樞鐵心——直流電機之磁極——交流電機之機座及轉子轆——交流電機之鐵心裝置

第五章 導體接焊法 49

概述——螺栓接連法——夾板接連法——錫焊接頭——錫焊焊劑及焊料——銅焊種類——銅焊焊劑——接頭種類——銅焊方法——點焊

第六章 電機繞組 58

直流電機之磁極繞組——直流電機之電樞繞組——大型感應電動機靜子繞組——

大型感應電動機轉子繞組——小型感應電動機靜子繞組——小型感應電動機轉子繞組——低速交流發電機之繞組——線圈之新絕緣法

第七章 汽輪發電機及高壓發電機繞組.....69

汽輪發電機之構造——汽輪發電機靜子繞組——汽輪發電機轉子繞組——高壓汽輪發電機靜子繞組

第八章 分數馬力單相電動機及控制設備.....79

繞組種類——靜子構造——線圈繞法——修理繞組應注意事項——繞組之改變——掩蔽極電動機之繞組——反向掩蔽極電動機之繞組——風扇電動機之繞組——電容起動電動機——電容器之構造與試驗——鼠籠轉子繞組——通用電動機之繞組——控制設備

第九章 變壓器之繞組.....95

繞組之種類——盤旋線圈——交錯線圈——盤式線圈——端頭接法——繞組之裝置——分接頭之換接法——變壓器線圈之絕緣——變壓器繞組之屏蔽——浸漬材料

第十章 換向器及滑環..... 107

換向器之構造——絕緣截片之製法——F形絕緣環之製造——換向器之裝置——面製法——抽槽法——滑環

第十一章 電機之裝配..... 112

磁極裝配——轉子裝配——軸承裝配——電刷裝置——風扇裝置——動力平衡——轉子平衡法——彈能裝置

第十二章 鑄造、煅煉及有關冷作之手續..... 122

鑄造種類——砂模鑄造——永久模鑄與半永久模鑄——壓力模鑄——離心鑄造——軸承澆鑄——煅煉方法——火焰截割——電焊——電焊程序——風焊——金屬之焊接性——投射電焊——氬焊

中英名詞對照表..... 137

第一章 導體、半導體及磁性金屬

電用導體包括銅、鋁及其合金，用於電機製造者，以銅及其合金最爲重要。鋁通常僅供匯電排及導線之用，此外石墨及炭精應用亦廣。半導體對於電機製造之應用較少。磁性金屬之種類甚多，包括鐵之各種合金，通常分爲永久磁鐵及電磁鐵兩大類。本章所述者，僅限於有關電機製造所用之磁性金屬。

A. 導 體

1-1 銅 純銅之電導係數僅次於銀。用作電機之繞組者，其純度甚高，約在 99.9% 左右，所含雜質多爲銅之氧化物及磷矽鐵等。氧化銅之含量如在 0.025% 至 0.08% 以內時，於電導係數並無影響，其他雜質則爲害甚大，必須力謀減少。韌銅之標準電阻在 20°C 時每毫克爲 0.15328 歐，或長一米截面一平方毫米時爲 $1/68$ 歐。

銅線、銅條或銅皮皆須經冷製製成，韌銅經冷製後，硬度及抗牽力增高，但延性及電導係數則減低，如韌銅在抗牽力每平方厘米 2320 公斤時之電導係數爲 100，則硬抽銅在抗牽力每平方厘米 4650 公斤時之電導係數將減少 2%。實際上，銅因冷製所致之電導係數的減低，比之其所含之雜質之影響爲小，故電用銅皆經冷製手續。

冷製銅加熱至華氏四五百度時，將又還原成韌銅。爲避免在高溫下失去其硬度及抗牽力計，韌化溫度（再結晶溫度）宜予提高，其法乃加少量純銀於其中。每一千公斤中如加銀數十克，韌化溫度可增高華氏

200 度。如此，在焊接時可不致韌化。

1-2 銅鎢合金 銅鎢合金與硬抽銅相似，僅電導係數略低，機械強度與磨損抗力則皆遠過之。鎢之含量通常為 0.5% 至 1%，而以 0.8% 最為普通。鎢之存在並不增加其脆性，銅鎢合金之抗牽力約為每平方厘米 7000 公斤。其電導係數在含鎢 1% 時不低於純銅電導係數之 94%。銅鎢合金對於電弧之產生及維持有甚高阻力，故用作換向器之截片及滑環頗為適宜。此外可用作電車之電線滾盤、司路器之觸點、電話聽筒之接線等。

1-3 銅鎳合金 銅與鎳之合金可具不同成分。其特性為不易腐蝕。含鎳 20% 至 30% 者，可用於極富腐蝕性之空氣中。電阻係數則因鎳之存在而增加，當含鎳量小於 30% 時，電阻係數等速增加、其增加率為鎳之增加率之八倍，當鎳含量大於 60% 時，電阻係數等速下降、如圖 1-1；含鎳量 45% 者，通稱康銅，其電阻溫度係數為零，多用作電阻絲及熱絲。康銅與其他金屬接觸時，能生較大之接觸電動勢，故亦可用作熱偶材料。

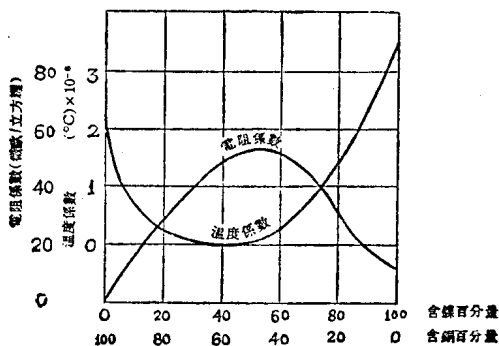


圖 1-1

銅鎳合金極富延性及韌性，並可冷製，冷製對電阻係數無顯著影

響。其最大之應用為電機之滑環。滑環多為鑄造；故此合金之成分必須均勻。用作滑環之合金，含鎳量較低，約在 5% 左右，以免電阻係數過高。

1-4 德國銀及磷銅 德國銀為銅、鎳、鋅之合金，成分可以不同，其電阻係數較銅鎳合金為高，見圖 1-2。德國銀富有抗蝕性，亦可冷製，但冷製將使其硬度增加。主要用途為作電阻線及繼電器觸點之用。

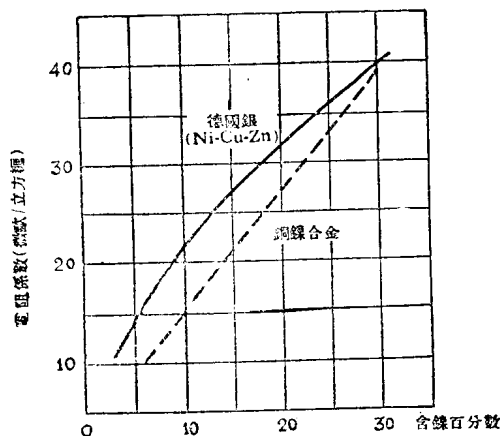


圖 1-2

磷銅之特性為富有彈性及抗牽力，多用作彈簧及司路器之接觸片，磷銅為銅、錫、磷之合金，磷為去氧劑。錫之含量為 1% 至 11%，磷之含量為 0.11% 至 0.5%，其電導係數較低，但可用熱處理改進之，若將磷銅熱至韌化溫度以上，經過較長時間，可使其電導係數增加 50%。

1-5 鋁 鋁在電業上的應用係基於其下列之特性：

- (1) 與同長、同電阻之其他金屬相比，鋁之重量最輕；
- (2) 富有抗蝕性及抗牽力；
- (3) 易於冷作；
- (4) 我國東北、台灣等地產量甚多，價格低廉。

茲將其主要性能列表於下：

熔點(於純度 99.97%時) 659.8°C

比重 2.71

抗牽力：

 韌鋁 800—1000 公斤/平方厘米

 硬鋁 1400 公斤/平方厘米(最低值)

 半硬鋁 1300 公斤/平方厘米

電阻係數：

 硬抽鋁(20°C) 2.845 微歐/立方厘米

電阻溫度係數：

 硬抽鋁(60°F) 0.00222/°F 或 0.00400/°C

在電機製造中鋁之最大用途為鑄造鼠籠感應電動機之轉子。用於鑄造之鋁，多為鋁與矽之合金。矽之含量約在 5% 至 12% 之間，其電阻係數平均約為 5 微歐/立方厘米。若用純鋁鑄造，則須採取離心鑄造或壓力鑄造法，若用普通重力鑄造法(即將熔鋁澆入轉子線槽內)，則純鋁頗不相宜，因其收縮量太大。此外鋁亦可用為匯流排，電線，司路機件等。用作司路機件之鋁，係含銅 4%、鎂 0.5% 及錳 0.5% 之合金，其抗牽力甚高，通常稱為強鋁或都拉鋁。用鋁之司路器，其惰性效應較低。

1-6 炭刷 炭精之製法係將粉狀焦炭與硬性煤焦混合，置於密閉金屬器內加熱，直至煤焦碳化而凝聚成塊。用作電刷之炭精常用石墨以減少其摩擦係數。

炭精電刷之種類甚多，用途亦各不同，茲將其重要者分述於下：

(1) 用於換向器者——直流電機，汽輪發電機之勵磁器及旋轉換流器，通常皆用天然石墨製成，電刷本身電阻甚小，約 0.0023 至 0.00165

歐厘米。其摩擦係數為 0.12 左右，電流密度為每平方厘米 9 安培，在正常電流密度下，其接觸壓降為 0.9 至 1 伏，最高速度為每分鐘 3000 公尺。

用於交流換向器電動機之電刷與上述者略有不同，因交流換向電動機之換向狀態較直流電機者為惡劣，故電刷需有較高之電阻及接觸壓降。此類電刷以焦炭及石墨混合製成，其電阻為 0.0127 歐厘米，摩擦係數約為 0.15，電流密度為每平方厘米 6.5 安培，接觸電壓為 1.6 伏，最高速度為每分鐘 1800 公尺。

用於非抽槽式換向器之電刷應具有磨損性，使雲母片不致突出，此種電刷較硬，電阻亦高，約 0.007 歐厘米，摩擦係數為 0.22，電流密度為每平方厘米 6 至 8 安培，接觸壓降約一伏，最高速度為每分鐘 900 至 1100 公尺。

(2) 用於滑環者——汽輪發電機之滑環電刷通常多用石墨製成。感應電動機之電刷，常含有少量銅，用來減少電刷損失，使電刷溫度不致過高。此類電刷之電阻甚低，約為 0.0017 歐厘米，摩擦係數為 0.18，電流密度每平方厘米 15 安培，接觸壓降 2.5 伏，可用最高速度為每分鐘 1200 公尺。

電刷之磨損性與電刷本身之硬度關係較小，大部係取決於彈簧壓力，故彈簧壓力不可過高或過低，否則易因接觸不良而引起電弧或火花。通常加於石墨電刷之壓力為每平方厘米 0.14 公斤，石墨與銅混製之電刷為 0.175 公斤，炭與石墨混製之電刷為 0.21 公斤。

B. 半 導 體

1-7 半導體之種類 半導體包括一類物質，此等物質在絕對零度時為絕緣物，在平常溫度下則為導體，如氧化鐵、氧化銅等，一般日常

所見之不良導體，並不屬於此類。

硫化物與氧化物之半導體可分為 n 型與 p 型。 n 型半導體又稱還原半導體， p 型又稱氧化半導體。當一氧化物或硫化物初並無半導體性能而要在空氣或氧氣中加熱後方呈現半導體性能時，則稱為 p 型半導體；如在氫氣或其他還原氣體中加熱後方呈現半導體性能者，則稱為 n 型半導體。此種氧化或還原作用甚屬輕微，對於化學成分之影響幾不能檢驗，故半導體之氧化物或硫化物由於其四周大氣之性質不同，其電導係數可產生極大之變動。

p 型半導體包括 CoO , Cu_2O , FeO , NiO , UO_2 , PbS , CuS_2

n 型半導體包括 Al_2O_3 , Bi_2O_3 , CdO , Ce_2O_3 , CuO , TiO_2 , ZnO ,
 U_2O_3 , Ag_2S , PbS , CdS , ZnS , SnS , PbSe ,
 PbTe

半導體元素 Si , Ge , Se , Te

其他 CuI , SiC

1-8 半導體之電性能及其用途

(1) 電導係數與溫度之關係 半導體之溫度電導係數與導體的不同：其值甚大，且恆為正數，精密溫度計即利用此種性能造成，所用之半導體常為氧化鈾，其溫度限程為 100 至 400°C 。

(2) 熱電效應 兩種不同之半導體如兩端相連而兩端之溫度不同時，則半導體內將產生一電勢，大小視兩端溫度之差、平均溫度及半導體之性能而變，但較導體之熱電效應強大數百倍，通常每度溫差可產生 300 — 1000 微伏之電勢，電勢之方向視型類而定。此種性能之主要用途為製造熱偶，因導熱係數太高，故尚不能作發電之用。

(3) 整流作用 當一半導體與導體接觸時，此接觸點與一般電阻不同，將不服從歐姆定律。其外加電勢與電流之關係，如圖 1-3 所示；

如外加交變電勢小於 V 時，則電流僅能向一個方向流動。電流方向視半導體之型類而異，如係 p 型，電流將由半導體流向導體，亦即半導體為負極而導體為正極；如係 n 型導體，其電極將與 p 型所產生者相反，此種性能，可應用於製造金屬整流器。普通金屬整流器所用之半導體，大半有下列兩種：一為氧化次銅

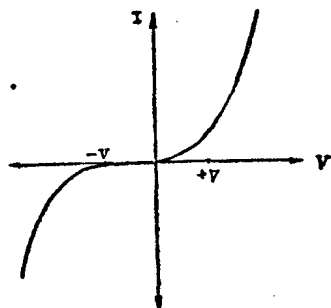


圖 1-3

Cu_2O 、一為硒，前者係將銅片一面在空氣中燒熱，使氧化成氧化次銅，再用另一金屬片（如鉛）緊壓於氧化次銅面上；後者係將鐵片一面塗上硒，再用另一片金屬緊壓於塗硒之面上，鐵為負極；見圖 1-4。

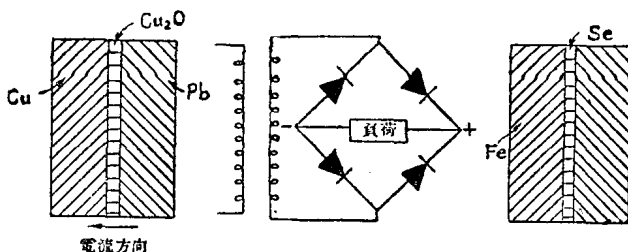


圖 1-4

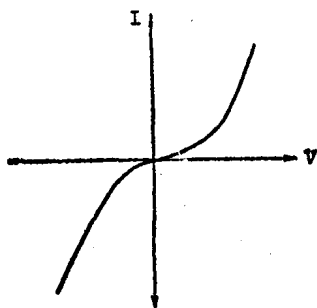


圖 1-5

(4) 粉狀半導體之電導係數 當半導體為粉狀時，其整流作用將完全消失，但其電導係數並非為常數，其電勢/電流特性如圖 1-5 所示。此種粉狀半導體，常用作突波分路器，其製法係將粉狀半導體（如碳化矽）和以黏土緊壓而成。通過其中的電流，將與電勢的五方成比例，若與弧隙串聯接

於輸電線上，在突波時可為良好之保護器。

(5) 光效應 少數之半導體在一定波長之光子激勵下，可變為完全導體，如硫化鋅、硒化鋅等。

C. 磁 性 金 屬

1-9 影響磁性之因素 磁性金屬之電磁性，在不同環境及狀態下有不同之變化，茲擇其較重要者述之如下：

(1) 晶粒之方向 鐵晶粒之磁性隨方向而變，圖(1-6)為鐵之晶體，其形狀為正方體，由9個原子組成，一在正方體之中心，其餘8個分佈於正方體之各角；如100表示與正方體一邊平行之方向，110為與正方體對角線平行方向，111為與正方體對角線平行方向，則此晶體最易磁化方向為軸100，軸110次

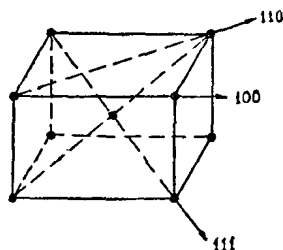


圖 1-6

之，軸111為最次。普通磁鐵製造時，軋製依垂直方向互換進行，放晶粒之排列，無一定規則，磁性與方向之關係，不甚明顯；用於儀用互感器及螺旋鐵心變壓器之疊片係作條狀，用冷軋方法製成，使晶體作有規則之排列。通常軸100之方向，與冷軋方向不超過 20° 之差異，故沿軋製方向之磁性最為優良，此種性質，稱為選向性。

(2) 內應變 內應變之存在，對於磁性有不良之影響。故疊片在衝孔剪裁後，磁性較差。減少內應變之法，通常多用熱處理，故熱處理之方法與手續，與磁性有甚大之關係。同一材料因熱處理之不同，磁性各異。鞅化可消去彈性應變，其他應變如由雜質及磁伸縮所產生者，熱處理不能消除之。

(3) 溫度 狹小範圍內的溫度變化，對於磁性無顯著影響，通常導

磁係數隨溫度增加，但在高磁密時導磁係數將下降，在居里點導磁係數趨近於 1。鐵損失隨溫度增高而減小。

(4) 雜質及合金 磁鐵最普通之雜質為炭、錳、硫及磷。就一般情況而言，雜質之存在將使導磁係數降低，加大磁滯損失。極少量之炭可使導磁係數及飽和點降低甚多，亦加大滯磁迴線之面積。硫之惡劣影響，僅次於炭。磷與氧再次之。少量之錳，對磁性影響甚微，0.5% 之錳所增加之滯磁損失，僅與 0.03% 之硫之影響相等。

常用作合金之材料有銅與矽。少量之銅 (0.5% 以下) 對於鐵之磁性無甚影響，其作用為增強其抗腐性。矽為合金中最重要者，矽之作用可使鐵之電阻係數增加。1% 之矽可增加電阻係數一倍，故矽之存在可減少渦流損失，對導磁係數在低磁密時有所裨益；其他作用為減低飽和點及陳老作用。飽和點之降低，可減少滯磁損耗。

1-10 退磁法 退磁法之成效，與磁場強度及磁場強度遞減速率之選擇有密切關係。退磁磁場強度，在半週內應大於所需退磁之物體之矯頑力，而略小於前週之最大磁化強度，否則磁性不能全退，見圖 1-7。

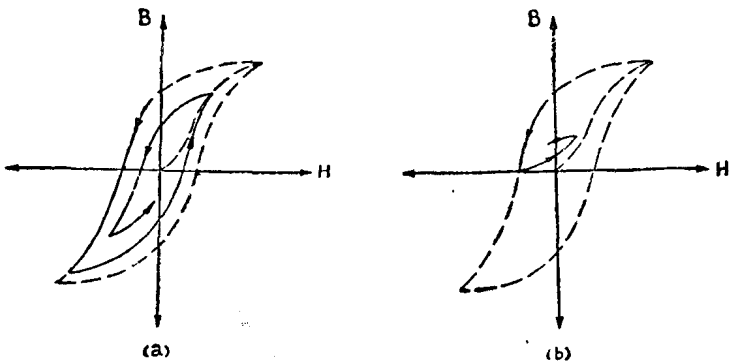


圖 1-7

每半週之最大退磁磁場強度逐漸減小，減小速率愈慢，則退磁成效愈高。需退磁物體如果不是疊片狀，退磁電流之頻率就不能太高，故50 頻率以上之交流電不宜應用，否則因渦流磁場而生屏蔽作用，將使磁性不能完全退除。

1-11 永久磁鐵

(1) 鎢鋼及鉻鋼：鎢鋼除含鎢 5—6% 外，並含碳 0.6—0.8%、錳 0.5%；鉻鋼之成分，除含鉻 $2\frac{1}{2}$ —6% 外，其餘與鎢鋼相同。

鎢鋼與鉻鋼之性質為易於機製且保磁力強。

(2) 鈷鋼：鈷鋼之成分變化甚大，鈷之含量，自 3%—35%，其矯頑力隨含鈷量而增加，可超過鎢鋼與鉻鋼，下表所列為各種鈷鋼之磁性。

含 鈷 量	矯 頑 力 奧	剩 餘 磁 密 高	飽 和 磁 密 高	每 厘 米 磁 化 安 匝 安匝/厘米
3%	130/115	7000/7500	360,000	1200
6%	150/135	7200/7800	450,000	1200
9%	170/150	7500/8200	520,000	1200
15%	200/170	7800/8500	620,000	1200
35%	270/230	8500/9500	950,000	1200

鈷鋼易於機製，其主要用途為製造精細磁鐵，如電表之磁極、小型同步電動機之磁極、電話聽筒之磁鐵等。

(3) 鐵鎳鈷之合金：鐵鎳鈷之合金，種類甚多，其矯頑力為各種永久磁鐵之冠，但不易機製，僅能製成小塊，再磨成所需形狀，其磁性頗為穩定，不受溫度及振動之影響。

1-12 非永久磁鐵

(1) 矽鋼：矽鋼在電機製造中，應用最廣，各種電機及變壓器之鐵心，皆以矽鋼疊片製成。矽鋼之種類甚多，因矽含量而異，其含量範圍為 0.2% 至 5%。矽鋼之磁性，亦因矽含量不同而有變化，鐵損耗及

最高磁通密度，均隨矽之增加而減少，含矽量超出 3% 時，脆性之增加較為顯著，下表為各種矽鋼之平均性質：

含矽量	0.2	0.75	1.5	2.5	3	3.5	4	4.3
比重	7.82	7.8	7.75	7.67	7.6	7.55	7.55	7.5
電阻係數(微歐厘米)	14	20	30	40	45	50	55	58
委點(公斤/平方厘米)	1550	2000	3010	3420	3900	4000	4650	5280
2 毫米半徑之 90° 彎折次數(厚度 0.354 毫米)	10+	10+	10+	10	10	4	3	—
飽和磁通密度(高)	21,500	21,200	20,400	—	—	—	19,500	19,500
每公斤鐵損失(厚度 0.36 毫米、週率 50、磁通密度 20,000)	4.8	4.0	3.67	3.3	2.8	2.57	2.36	1.82

內應力對矽鋼之磁性有相當不利的影響，衝片邊緣上之磁性皆較正常為差，此種內應力之存在可用軋化手續減除之。

矽鋼就其用途可分為下列等級：

(a) 變壓器級——矽之含量最高為 4.3—5%，鋼片厚度為 0.36 毫米，性質甚脆。

(b) 電機級——矽之含量約為 3—4%，鋼片之厚度為 0.456 至 0.506 毫米，多用於高效率之電機；用於高頻率之電機時，鋼片之厚度可降至 0.01 毫米。

(c) 電動機級——矽之含量為 2.5%，多用於感應電動機及控制器械。

(d) 電用級——矽之含量約為 1—0.5%，多用於直流電機。

(e) 電樞級——矽之含量約為 0.5%，性軟易於衝製，多用作小型電機之電樞。

矽鋼亦有冷軋製成者，此時順軋向之磁性特強，螺旋式之變壓器