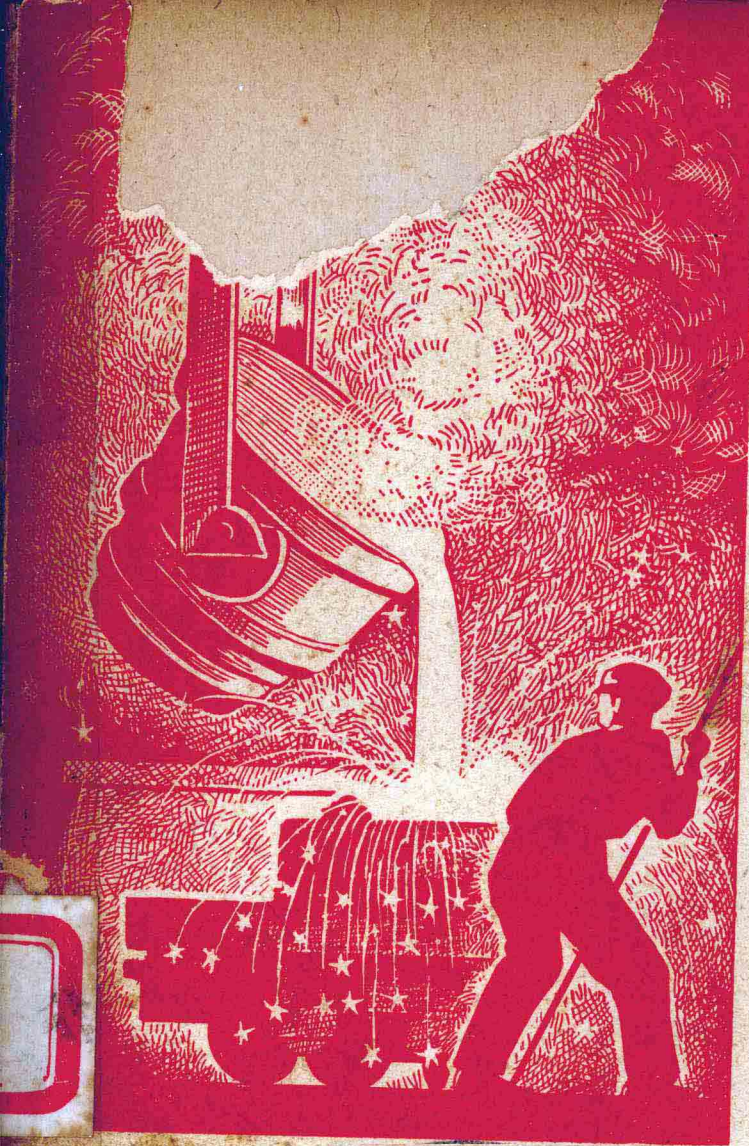


磁性材料

戴禮智著



現代工業小叢書



現代工業小叢書

磁 性 材 料

戴禮智 著

商務印書館發行

一九四八年十月初版
一九五〇年三月再版

版 權 所 有
翻 印 必 究

現代工業
小叢書
磁性材料一冊

◆(31048)

基價陸元

印刷地點外另加運費

著 者 戴 禮 智

發 行 人 陳 懋 解

上海河南中路

印 刷 所 商 務 印 刷 廠

發 行 所 商 務 印 書 館

各地

目 次

導言.....	1
第一章 耐久磁鋼.....	7
第二章 物質之磁性鐵磁性.....	19
第三章 順磁性與反磁性.....	31
第四章 純金屬與合金.....	37
第五章 熱處理.....	59
第六章 矽鐵皮之製造方法.....	71
第七章 損失值及其試驗.....	88
第八章 高週率感應電熱爐.....	95
第九章 近世鐵電學說.....	108
譯名對照表.....	111

磁 性 材 料

導 言

磁性材料爲近五十年科學與工業研究之產物。

科學的與工業的研究，爲現代國家所努力主要事業之一，所藉以維持其人口，並一般國民之生活水準。提高與保持人民之生活水準，依賴各種因素，——自然界與人類的資源；科學的發現發明；工程工業的應用；商業的組織與管理；經濟與政治的制度。科學家，創造者，工程師，商業管理人與政府在一共同目標下合作，增加人類能力並滿足其欲望。

以英國而言，須以食物供給約五千萬之人口，而此項食品多由海外輸入，又須以國內工業產品付價。原料購自國外，煤鐵取之國內，必有製造人員之技藝與知識，乃克獲有豐富之製造品。優良品質之維持，製造方法之改進，製造成本之減低，均有賴於研究。不獨英國如此，其他工業國家莫不皆然。

十九世紀末，德國設立國家研究所(Reichsanstalt)與材料試驗局，爲國家研究機構成立較早者。兩處之工作與各專科學校

所從事之研究，於德國工業影響非細。二十世紀初，英國成立國立物理實驗室，不旋踵美國亦設立標準局。科學與工業的研究遂成爲近代文明之重要基石。

巴斯德有言，「在此一世紀，科學爲國家繁榮之靈魂，而各種進步之生命源泉。令人疲倦之政治討論似爲吾人之領導，究其實不過空虛的外貌。真實領導吾人前進者，祇是一些科學的發現與其應用」。

近年各國愈明乎此，推進研究事業不遺餘力。美國政府每年用於研究事業之費用以萬萬美元計。大學以所入百分之二十五從事研究，多數廠商以盈餘百分之四從事研究。政府約以總預算百分之二用於研究。政府大部分機構設有研究部門，深能了解研究事業之重要。

美國大學及專門學校約一千四百五十所，其中百五十所年耗二萬六千五百萬美元，用於研究者五千萬元，其他一千三百所年耗一萬五千五百萬元，其中用於研究者百萬元。其能力豐富之學術機關約一百八十所，年耗亦五千萬元。設有獨立研究實驗室之工廠二千餘家，所有研究人員爲七千餘人。

電機工程學原始於達維(H. Davy)，法勒第(M. Faraday)，安培(A. Ampere)，麥斯威爾(Clerk Maxwell)，赫姆霍資(von Helmholtz)，樂琴(W. Röntgen)，赫芝(H. Hertz)等人之發

現與其他在物理科學中富創造活動人士之成就。彼等目的在尋求自然現象相同點與其關係，而其工作處所多為教育機構中之實驗室。對於其發現之應用並未予以直接注意。其後有工業頭腦之人士追蹤而出，繼續其基本的發現事業，創造應用，以之增進人類生活之舒適，便利與安全。

最初此種有工業心胸之士，多個人單獨工作，或集少數助理之人於其下。如德之西門子，意大利之馬可尼，英之霍布金生，暹爾文，美之貝爾，愛迪生，韋斯汀好司。於是電報，電話，無線電，電力，電燈，電冶金，電化學以及醫藥上所用之電器，滲入人類生活與工業之每一方面。

工業的組織因科學研究而生長，而擴大；當工業的經營繼續成長之時，研究事業又成爲其總組織中與其他部門相聯繫之一部分。此在電工業中尤爲顯著。材料之研究又爲各研究項目中之一種基本項目。

自五十餘年以前，約翰霍布金生 (John Hopkinson) 發表發電機 (dynamo) 之複雜磁路之磁化曲線以來，設計與製造者遵之作實驗上與數學上之研究努力，求減低損失值，降低製造成本，減少其體積並增加其可靠性。製造所用之材料與機器之構造及熱流，傳熱，空氣阻力，潤滑，銲接諸問題均逐漸爲人改良。已耗無數精力與金錢。今日所臻精美之境，要非一蹴而就。

現今電機製造之發展，約爲下列諸端：

- (一) 計量；
- (二) 電信；
- (三) 照明；
- (四) 發電、輸電及電力之運用；
- (五) 輸電、發電所用之絕緣電纜。

其中計量用之精細儀器爲工業之南鍼。一國能稱爲工業的國家，必能設計與製造所有工業中之精細儀器，或充工具，或爲精確管制之標準。此種成就，需工程師、冶金學者、物理學者、物理化學者等之通力合作。近年新材料不斷產生，加以善於利用舊有之材料，故進步一日千里。具有特種電性質之合金，或具極高磁導率之合金，或賦矯磁力極強之磁鋼，均一一爲研究實驗室中所發現，一一爲人所利用。電報、電話、無線電報、無線電話均爲以往工業研究之結果，現無不需用近世之磁性材料。雷達(radar)，爲近世之發展物，亦與磁鋼相組合。故現今電機製造工業中，材料之研究殆爲基本而重要之項目。

英人赫德斐爾 (Hadfield) 年十餘，繼父之翻砂業，性耽研究，雖其研究不盡合乎嚴格之科學方法〔如羅森翰 (Rosenhain) 之言〕。氏以事遊巴黎，見巴黎展覽會中陳列有錳鐵合金等，歸而致力於合金研究。氏發表關於錳鐵、鉻鐵、鋁鐵等合金之文，見

於英國鋼鐵學會會報，均甚詳盡。矽與鐵之合金亦爲氏所首研究。故赫氏對於合金鋼之貢獻極多，譽爲合金鋼之先驅。

在矽鐵皮未問世以前，製造變壓器所用之材料，其磁性因時間而改變。自矽鐵皮應用後，時間之久暫已不復影響磁性。依據記載，最初德國製成矽鐵皮材料後，所節省者每年已五千萬金馬克。

一九二〇年以後，高週率感應電爐逐漸應用，成爲研究者極佳之工具。美國愛爾門 (G. W. Elmen) 於西方電器公司以之發現鎳鐵合金，稱爲培姆合金 (permalloy)，具極低之滯迴值，引起製造者無窮之興趣。

磁性材料因其應用廣闊，故其近年發展反遠較理論的磁學爲速。雖然，物理學家仍不斷殫心竭力以作理論與實驗之研究。

通常物理學教科書論及物理學謂爲物質與能之科學。此固爲事實，然習之者認爲生澀乏味，類如希臘，拉丁之死文字，認爲其發展已至極限，永無變更。實則物理學爲一新鮮活潑之科學，變化與發展異常之速。滲入吾人每日生活之任何一面，而其研究對於工業，報酬超於其所投資。

美國麻省理工大學校長 K. T. Compton 之言，「近五十年來物理學對於世界智慧的，經濟的與社會的生活較之歷史上任何時期，任何事物，其有力與有益之影響，實遠過之。」

磁學之基本原理與材料，儀器之發展，均物理學之範圍，而其影響於工業者，至深且遠。於本書或可窺其什一。

一九三四年斯朋勒 (T. Spooner) 於美電機工程學報列舉一九三三至一九三四年各專門雜誌所發表關於磁學研究 (Magnetic research) 之文，凡一百一十四題，其逐年之發展由此可以推知。

第一章 耐久磁鋼

電機製造之材料，主要者可分三類：即導電材料(conducting material)，絕緣材料(insulating material)與磁性材料(magnetic material)是。例如銅爲主要之導電材料，雲母爲絕緣材料之一種。磁性材料屬於鋼鐵範圍，又可區爲二類：一曰耐久磁鋼或稱硬性材料，一曰高磁導率材料，或曰軟性材料。

磁性材料之製造與性質，往往牽涉三方面之問題，一爲冶金學，一爲磁學，一爲電機工程學。故研究者亦必具此三方面之知識，其理至明。

今先述耐久磁鋼之用途，發展與其製造方法。

一 耐久磁鋼之用途

耐久磁鋼(permanent magnet)之用途至廣，類別之約有四端；分述如次。

(一)電話材料 在電信事業發展過程中，金屬與合金之任務至爲重要。即取收話器而言，金屬材料之應用誠可令人驚愕。此精巧玲瓏之一件器物中，所包羅之金屬元素已十七種，或爲單

獨一種金素，或為數種金屬組成之合金。或為鉛、銅、鋅與鋁之合金，或為珍貴金屬，或為磁性金屬。所用各種材料不但日益新奇，亦且進步未已。

一八七五年貝爾 (A. Graham Bell) 發明電話，迄今已七十餘年。美國電話系統稱為貝爾系統 (Bell system)，包括管理，製造與研究三部門，職工達三十萬人，管理一七、五〇〇、〇〇〇電話機。在紐約電話實驗室 (Bell Telephone Laboratory) 工作者約四千二百人，其中有資歷之工程師與科學家約二千人。研究範圍至為廣闊，磁性材料亦為其中一項。

依據近年貝爾電話實驗室所發表之文字，每年收話器所用耐久磁鋼恆以噸計。其中含鉻 (chromium) 35% 之鉻鋼與其他廉值之材料所佔數量最多。其他材料 BH_{max} 乘積高者供收話器之用，或用於地位重量均受限制之情形。含鈷 36% 之鈷鋼往往亦應用於收話機，但最近多以鐵鈷鉍合金。名曰頑磁齊 (remalloy) 者代替鈷鋼。此種合金，以磁性優越，價值較廉，為其優點。

鐵鎳鋁 (Alni) 磁鋼亦逐漸應用於電話器材。此種合金或為三種合金組成，或加入鈷與銅。矯磁力 (coercive force) 高，能量積亦高，且質地輕巧，凡此均其誘人之處。惜不能加工車製，為其缺點。

(二) 電計材料 考磁鋼之發展與汽車工業之發達有關。汽

車上所用之各計 (meters) 需以磁鋼爲之。故十九世紀後期磁鋼之製造，係受汽車工業之激刺。以往汽車上所用之久磁電機 (magneto) 亦需巨量磁鋼材料，近則久磁電機已爲蓄電池所代替。然飛機之發動仍用久磁電機，故尤需優良材料。其他直流安培計與伏特計均含有耐久磁鋼之裝備。住宅所需之瓦特小時計俗稱火表，內亦有耐久磁鋼。故耐久磁鋼爲重要之電計材料。

(三) 無線電揚聲機與耳機 閑步街衢，可聞無線電台擴送之悠揚音樂。發出此項樂聲之揚聲器，亦有用耐久磁鋼製作者。無線電報所用收報之耳機 (earphone) 與電話機所用之受話器相同，亦需磁鋼。

(四) 儀器 儀器之種類繁多，而精細儀器爲現代國家所不可少。普通儀器需用耐久磁鋼之處至多。言其大者，則如建橋大學實驗室有試驗 β 射線所用之磁場，係以鈷鋼 (cobalt steel) 作成。言其小者則例如精緻之電流計 (galvanometer)，式樣甚多，亦用耐久磁鋼產生磁場。

綜上所述，磁鋼材料爲國防上，工業上，科學上不可或缺之物。英國且有耐久磁鋼會之組織，該會阿利發 (D. A. Oliver) 曾謂英國每年用於久磁動圈揚聲器 (permanent magnet moving coil loudspeaker) 之整件與零件，約在百萬件左右。

二 磁鋼之發展

磁鋼在工業上之應用約始於一九〇〇年，故近代磁鋼歷史不過四五十年。一九〇〇年時主要磁鋼材料為硬如玻璃而含碳百分之一至一·五之碳素鋼。價值低廉為其優點，但往往因溫度改變或受搖撼震動，遺失磁性，故不久即為鉻鋼與鎢鋼所替代。

磁鋼方面所發表之詳盡研究，以居禮夫人（一八五七——一九三四）開其先河。居禮夫人之文字發表於一八九八年法國工程促進會報，題為淬硬鋼之磁性。伊研究含鉍鋼料淬火後之磁性，所得結果如下表：

表一 鉍鋼淬火後之磁性

號數	化學成份(百分數)		淬 火 溫 度 (攝氏)(水淬)	剩磁值 B_r	矯磁力 H_c	$B_r \times H_c$ $\times 10^{-3}$
	鉍	碳				
A	3.48	0.51	850	6,700	60	402
B	4.05	1.24	800	6,000	82	492
B	4.05	1.24	800	6,700	85	570
C	3.91	1.72	700	6,400	73	467
C	3.91	1.72	830	5,200	75	411
C	3.91	1.72	800	7,000	78	546

(註：remance 本書譯為剩磁值。coercive force 譯為矯磁力，亦譯為矯力。)

依據各方記載，第一次大戰時，電計與久磁電機均用鎢鋼。

戰事發生後，德國感覺錳之來源缺乏，興趣集中於鉻鋼。有須注意者即在週期表中，鉬、鉻、錳三元素固同在一直行中者。一九一七年耿姆利希 (Gumlich) 以 6% 鉻磁鋼代替，此種鉻磁鋼因之在近世材料中佔一顯著之地位。下列之成份

碳 1.0-1.1% 鉻 6%

經過適當之熱處理，所得磁性不亞於含錳 6% 之錳鋼，僅剩磁值略低。至於能量積與矯磁力，兩者之間殊無差別。

一九一七年本多 (K. Honda) 發現，同時加鉻與錳入碳鋼，在磁性方面獲一絕大之進步。由此進而產生 85% 或 86% 之鉻鋼。

自居禮夫人之工作發表後，磁鋼製造之技術進步甚多。一九一三年湯姆卜生 (S. P. Thompson) 發表一詳盡而有價值之文章，敘述發展梗概，附有極佳之書目。一九一七年克利 (Kelly) 發表一較短而頗詳細之論著。美國標準局白哲士 (Burgess) 與亞斯頓 (Aston) 亦有極完美之研究，闡明各種合金元素對於磁性之影響。

關於磁鋼之理論及設計，以愛佛希德 (Evershed) 於一九二〇及一九二五年所發表之著作精采而有名，後者係關於磁鋼成分與熱處理，而特別論及錳磁鋼。

一九三一年三島試驗錄、鐵與第三元素之三元素合金 (ter-

nary alloy), 當第三元素爲鋁時, 在某一成份, 發見其試樣有極高之硬度與脆性。其考查中包含有磁性試驗步驟, 因之察覺矯磁力極高。最優良之成份爲含鎳約 29%, 鋁 13.5%, 其餘爲鐵, 幾完全合乎 Fe_2NiAl 公式。施於此種合金之矯磁力, 約爲施於鎢鋼者之十倍。

一九三三年, 本多教授等復有重要發現。即獲知鈷、鎳、鈦與鐵之合金, 有極優之磁性, 惟此種材料價值昂貴, 尙不能以之應用於工業。

一九三四年, 何斯柏克 (Horsburgh) 與戴特列 (Tetley) 二人, 研究加鈷入鎳鋁鐵三元素合金之效應。三島原已言及加鈷之益, 但如欲獲得優良之磁性, 除非鑄件有極薄之橫截面。何斯柏克等以銅加入而解除此困難, 且經有系統之實驗達到最佳之成份。此項工作之結果, 產生一近代材料, 多稱之爲「阿尼可」(alnico), 其成份約爲

鎳 18% 鋁 10% 鈷 12% 銅 6% 鐵 54%。

三島之合金不含銅而含鈷, 稱爲 M. K. 鋼, 本多之合金稱爲新 M. K. 鋼。究其實, 各種合金最佳者爲不滲入碳素, 而不一定爲鋼。

一九三五年另一有趣味不含碳素之三元素合金, 爲奧爾士 (Auwers) 與紐曼 (Neumann) 所宣佈者, 即鎳, 銅, 鐵之合金是

也。此種合金最適宜之成份爲鎳 20% 銅 60% 鐵 20%。其特點：能鍛擊，鑽空與機製。因冷製 (cold-work) 而金屬原子之排列格子 (lattice) 扭曲。從耐久磁鋼之觀點視之，磁性可以增強。此種合金名爲 magnetoflex。

由電化學方法製成之氧化鐵 Fe_3O_4 與氧化鐵鈷 $CoFe_2O_4$ 混合均勻，壓成所需之形狀，在攝氏一千度熱之，在三百度充磁（磁化），可得極佳之結果。此種材料之比重，僅三·五三。

上述各項材料僅及綱領，一九三七年紐曼與魏卜 (webb) 之著作，均附有極佳之參考資料。

一九四〇年美國貝爾電話公司復發表鈮 (vanadium) 與鐵、鈷合金之耐久性，爲任何市場上材料所不能及，此項合金名爲 Vicalloy。

最近一九四七年美國奇異公司復發表除「阿尼可」外之其他四種新材料，爲戰時研究之結果。其詳見本書第五章。

參 考

1. J. A. Mathews, Proc. A. S. T. M., vol. 15 p. 50, 1914.
2. K. Honda, Phys. Rew., vol. XVI, p. 494, 1920.
3. J. A. Mathews, Trans. A. S. S. T., p. 565, 1925.