

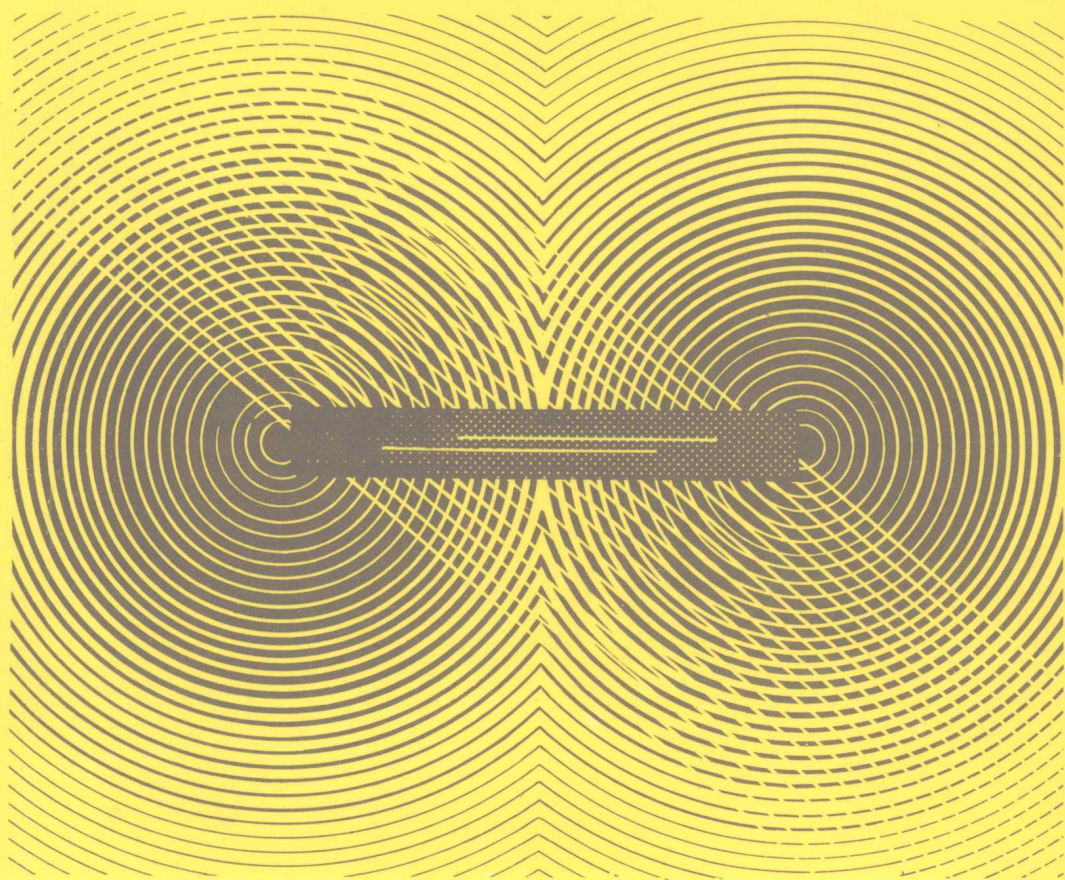
構造・原理・裝置・檢修

# 永久磁鐵

## —設計與應用—

牧野 昇編・林子銘譯

正言出版社印行



構造・原理・裝置・檢修

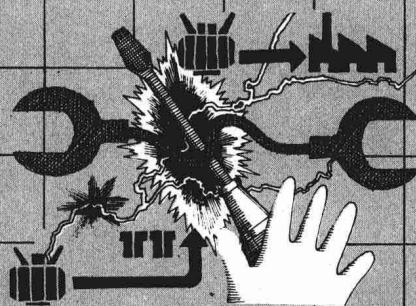
# 永久磁鐵

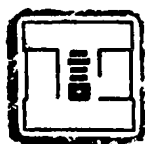
—設計與應用—

江苏工业学院图书馆

藏書章

牧野昇編・林子銘譯





## 永久磁鐵(平裝)

譯者：林子銘◇特價一八〇元

出版者☐正言出版社☐台南市新和路六號☐郵政劃撥儲金帳戶第三一六四號☐電話(〇六二)六一三一七五／七號☐發行者☐正言出版社☐發行人☐王餘安☐本出版社業經行政院新聞局核准登記☐發給出版事業登記證局版台業字第〇四〇七號☐印刷者☐大眾書局安平廠☐台南市新和路六號

72.6.初版

## 序 言

「永久磁鐵之設計與應用」一書自1966年刊行以來，甚獲好評，加印再三，現已第四版，在此領域迄未出現有關永久磁鐵之專門技術參考書籍。

永久磁鐵為構成電子機器或計測機器之重要零件，是為左右性能之機能材料，具磁性能以及經年變化或溫度係數等之副次性質在設計時應慎重考慮，最近由於技術進步，加上資源的要求增強，永久磁鐵材料之主角有交替之趨向，對於性能極高之特殊材料，亦漸漸開拓市場。

趁本書加印之便，增加補充新穎技術，永久磁鐵之基本的設計構想雖無多大變化，對於材料以及應用方面之改進變化均予設法收錄。

撰稿者均為各業之權威，在業務萬忙中抽出時間，允為本書修訂增補，期使更臻完善，謹此致謝。

牧野 昇

## 目 錄

## I / 設 計 篇

## 1. 現用磁鐵與其特性

|                 |    |
|-----------------|----|
| § 1 總 說         | 2  |
| 1. 永久磁鐵發達之歷史    | 2  |
| 2. 磁鐵必須具備之性質    | 3  |
| 3. 磁鐵之用途與機能     | 5  |
| 4. 磁鐵工業現況       | 6  |
| 5. 稀土類鈷磁鐵       | 8  |
| § 2 永久磁鐵材料之特性   | 10 |
| 1. 實用磁鐵之種類      | 11 |
| 2. 鋁鎳鈷合金 (MK鋼)  | 12 |
| 3. 陶鐵磁體磁鐵       | 16 |
| 4. 其他磁鐵材料       | 18 |
| 5. 依使用目的之選擇方法   | 19 |
| § 3 永久磁鐵之穩定度    | 21 |
| 1. 磁導穩定度之基礎     | 21 |
| 2. 依內在因素之衰退     | 22 |
| 3. 外來之去磁要因      | 23 |
| § 4 使用永久磁鐵之注意事項 | 27 |
| 1. 尺寸、形狀之限制     | 27 |
| 2. 起磁與去磁        | 28 |

## 2. 鋁鎳鈷磁鐵之設計

|                   |    |
|-------------------|----|
| § 1 設計之基本態度 ..... | 30 |
| § 2 具體實例之解析 ..... | 31 |
| 1. 棒狀磁鐵 .....     | 31 |
| 2. 揚聲器用磁路 .....   | 32 |
| 3. 磁控管用磁鐵 .....   | 34 |
| 4. 吸着磁鐵 .....     | 38 |
| 5. 發電機用磁鐵 .....   | 41 |

## 3. Ba-陶鐵磁體磁鐵之設計

|                        |    |
|------------------------|----|
| § 1 Ba-陶鐵磁體之性質 .....   | 46 |
| 1. 歷    史 .....        | 46 |
| 2. Ba-陶鐵磁體之製造 .....    | 46 |
| 3. Ba-陶鐵磁體之特性 .....    | 48 |
| 4. 磁性之穩定度 .....        | 51 |
| § 2 Ba-陶鐵磁體之設計 .....   | 53 |
| 1. 單體磁鐵之設計 .....       | 53 |
| 2. 磁路之設計基礎 .....       | 55 |
| 3. 無反動或部分反動時 .....     | 55 |
| 4. 完全反動時 .....         | 60 |
| 5. 動態磁路之設計 .....       | 64 |
| § 3 Ba-陶鐵磁體之利用方法 ..... | 64 |
| 1. 吸收用磁鐵 .....         | 64 |
| 2. 小型直流電動機 .....       | 72 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 3. 小型發電機·····        | 76 |
| 4. 揚聲器·····          | 77 |
| 5. 橡膠磁鐵·····         | 79 |
| § 4 Sr-陶鐵磁體·····     | 81 |
| § 5 Sr-陶鐵磁體磁鐵·····   | 83 |
| § 6 SrM直流電動機之設計····· | 87 |
| § 7 陶鐵磁體磁鐵之將來趨向····· | 94 |

## II／ 應 用 篇

### 4. 電視機·收音機之應用

|                      |     |
|----------------------|-----|
| § 1 作用原理·····        | 98  |
| 1. 電動型轉換器·····       | 98  |
| 2. 磁性型轉換器·····       | 99  |
| § 2 電動型揚聲器·····      | 102 |
| 1. 揚聲器之構造·····       | 102 |
| 2. 揚聲器之性能與磁路·····    | 103 |
| 3. 磁路之設計·····        | 107 |
| 4. 使用陶鐵磁體磁鐵之揚聲器····· | 112 |
| § 3 收聽器（耳機）·····     | 115 |
| § 4 交混回響裝置·····      | 116 |
| § 5 電視機零件·····       | 117 |
| 1. 偏轉畸變補正用磁鐵·····    | 118 |
| 2. 靜態收斂磁鐵·····       | 119 |
| § 6 新種磁鐵及其應用·····    | 120 |

### 5. 通信機器之應用

#### 4 永久磁鐵其設計與應用

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| § 1 音響機器之應用 .....                 | 124 |
| 1. 微音器 .....                      | 124 |
| 2. 接收機 .....                      | 126 |
| 3. 揚聲器 .....                      | 129 |
| 4. 水中送受波器 .....                   | 129 |
| § 2 振動計 ( Vibration Meter ) ..... | 130 |
| § 3 錄音機器之應用 .....                 | 131 |
| 1. 圓盤錄音機(Disc Recorder) .....     | 131 |
| 2. 磁性錄音用機器 .....                  | 132 |
| 3. 光學錄音裝置 .....                   | 133 |
| § 4 電話用信號機器之應用 .....              | 133 |
| 1. 磁鐵發電機 .....                    | 133 |
| 3. 磁鐵電鈴 .....                     | 133 |
| § 5 磁動電驛 .....                    | 134 |
| 1. 極化電驛 .....                     | 134 |
| 2. 自鎖型電驛 .....                    | 135 |
| 3. 振簧開關與振簧電驛 .....                | 136 |
| 4. 電功率型電驛 .....                   | 139 |
| 5. 定時電驛 .....                     | 140 |

## 6. 電子機器之應用

|                        |     |
|------------------------|-----|
| § 1 電子顯微鏡之應用 .....     | 143 |
| 1. 電子透鏡利用永久磁鐵之激磁 ..... | 143 |
| 2. 1 段電子透鏡系與其特性 .....  | 144 |
| 3. 2 段電子透鏡系與其設計 .....  | 144 |
| 4. 3 段電子透鏡系與其特性 .....  | 147 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 5. 焦距改變方式·····       | 147 |
| 6. 起 磁·····          | 148 |
| 7. 代表性電子透鏡系之構成·····  | 149 |
| § 2 高性能理化學機器之應用····· | 151 |
| § 3 電子管之應用 ·····     | 153 |
| 1. 磁控管等之應用·····      | 153 |
| 2. 行波管等之應用·····      | 154 |

## 7. 計測機器之應用

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| § 1 可動線圈式計器 ·····     | 157 |
| 1. 使用領域·····          | 157 |
| 2. 間隙磁通被要求條件·····     | 157 |
| 3. 磁鐵材料之選定·····       | 158 |
| 4. 磁路之設計·····         | 158 |
| 5. 去 磁·····           | 159 |
| 6. 設計例題·····          | 161 |
| 7. 磁鐵構造之變遷與最近之趨向····· | 161 |
| § 2 阻尼磁鐵 ·····        | 164 |
| § 3 計測用發電機 ·····      | 165 |
| 1. 絕緣電阻試驗器用·····      | 165 |
| 2. 轉速計用·····          | 165 |
| § 4 磁 化 ·····         | 166 |
| 1. 關於磁化之一般注意事項·····   | 166 |
| 2. 起磁器·····           | 168 |
| § 5 其他應用例·····        | 170 |
| 1. 位移—電壓轉換器·····      | 170 |

## 6 永久磁鐵其設計與應用

|            |     |
|------------|-----|
| 2. 自動記錄示波器 | 171 |
| 3. 磁性螺旋線   | 173 |
| 4. 振動片形頻率計 | 174 |

## 8. 電動機之應用

|                    |     |
|--------------------|-----|
| § 1 微小型電動機之用途      | 176 |
| § 2 微小型電動機之一般構造與原理 | 177 |
| § 3 電動機之設計         | 179 |
| 1. 主要尺寸之決定         | 179 |
| 2. 磁路之構造與種類        | 180 |
| 3. 微小型電動機磁路之設計概要   | 182 |
| § 4 磁路之測定          | 183 |
| 1. 環狀磁鐵內部之有效磁通測定   | 184 |
| 2. 外界漏洩磁通之測定       | 185 |
| 3. 磁鐵作用點之測定        | 187 |
| 4. 磁路之磁通分佈與其測定     | 188 |
| § 5 微小型電動機之起磁      | 192 |
| § 6 電動機之基本特性       | 194 |
| 1. 轉矩              | 194 |
| 2. 迴轉數             | 195 |
| 3. 特性曲線之表示法        | 196 |
| § 7 磁通數與電動機效率      | 197 |

## 9. 發電機之應用

|        |     |
|--------|-----|
| § 1 概說 | 200 |
|--------|-----|

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 1. 磁鐵發電機之種類               | 200 |
| 2. 動作解析之程序                | 200 |
| <b>§ 2 電路之解析</b>          | 201 |
| 1. 等效電路                   | 201 |
| 2. 電路電流                   | 202 |
| 3. 電能與磁能之關係               | 204 |
| 4. 發電機之負載特性               | 205 |
| <b>§ 3 磁路之解析</b>          | 207 |
| 1. 動態永久磁鐵之磁路處理            | 207 |
| 2. 永久磁鐵之動作解析              | 208 |
| 3. 電路與磁路之關聯               | 211 |
| <b>§ 4 磁路之設計</b>          | 213 |
| 1. 磁路之構成                  | 213 |
| 2. 磁路設計時應考慮問題             | 215 |
| 3. 設計，計算方法與其實例            | 217 |
| 4. 交流負載特性之計算              | 219 |
| <b>III / 資 料 篇</b>        |     |
| <b>10 試驗與測定</b>           |     |
| <b>§ 1 磁滯迴路全體之測定方法</b>    | 225 |
| 1. 使用電磁鐵與通量計之方法           | 225 |
| 2. JIS 規格之測定法             | 232 |
| 3. 自動記錄通量計                | 233 |
| 4. 英國規格型磁動計               | 233 |
| 5. A E G 雙軛鐵法             | 234 |
| <b>§ 2 祇求磁滯迴路上一點之測定方法</b> | 235 |
| 1. 矯頑磁力計                  | 235 |
| 2. 拔出磁通法                  | 235 |
| 3. 利用產品磁路之方法              | 236 |

## 11 永久磁鐵之日本工業規格

1. 永久磁鐵材料JIS ..... 237
2. 永久磁鐵試驗方法JIS ..... 240

## 12 美國之永久磁鐵材料

1. 磁特性..... 246
2. 成份及特性..... 247
3. 去磁曲線..... 248

## 13 歐洲之永久磁鐵材料

1. 德國永久磁鐵材料規格D I N..... 251
2. 法國之永久磁鐵..... 253

## 14 鋁鎳鈷磁鐵之狀態圖

## 15 解說及換算表

1. 有關磁鐵之記號解說..... 256
2. 磁鐵之單位對照表..... 257
3. 磁鐵之單位換算表..... 257
4. 用語解說..... 258

## 16 各種圖表

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 1. 磁導係數 ( $B/H$ ) 求算圖表..... | 261 |
| 2. 等方向陶鐵磁體磁鐵之去磁曲線與麥納迴路..... | 267 |
| 3. 起磁.....                  | 268 |
| 4. 揚聲器磁路之計算圖表.....          | 270 |

# I 設計篇

1. 現用磁鐵與其特性
2. 鋁鎳鈷磁鐵之設計
3. Ba—陶鐵磁體磁鐵之設計

# 1. 現用磁鐵與其特性

## § 1 總 說

### 1. 永久磁鐵發達之歷史

日本有關磁鐵之研究，其開創既早且成就輝煌，素為世界各國所重視。

在基礎的物性研究有長岡半太郎，本田光太郎，茅誠司等之卓越學者，對於強磁性體論之發展有極大貢獻，然而翻閱有關永久磁鐵之歷史，則可發現更多事蹟，自從永久磁鐵之初期產品——碳鋼至現在之強力磁鐵，必須列舉 3 位偉大發明家。

第一位為發明 K S 鋼之本多光太郎及其共同研究者，此種磁鐵鋼為高鈷碳鋼，於 1917 年發見，較當時使用之鈷鋼，鎢鋼，矯頑磁力（coercive force）為 4 倍以上，磁特性亦甚多提高，當時被譽為世界十大發明之一，使電測儀器之精度顯著改進。

第二位為開發陶瓷與相同氧化物磁性材料之加藤與五郎及其共同研究者，氧化物磁鐵於 1931 年發明，永久磁鐵為 O P 磁鐵，最初開發 Co—陶鐵磁體，高導磁係數材料以陶鐵磁體工業化成功，造成陶鐵磁體繁榮期（Ferrite Boom）之基礎。

第三位為引進永久磁鐵之析出硬化（Deposition Hardening）機構，獲得劃時代磁性之三島德七，1932 年發見之此種磁鐵係為鐵—鎳—鋁合金，稱為 MK 鋼，此種磁鐵再加上鈷、銅、鈦等改進品質，迄今仍在永久磁鐵界稱霸，並為高級磁鐵之代名詞，其質量均凌駕於其他磁鐵之上。

現稱鋁鎳鈷 ( Alnico ) 合金，對於關聯工業貢獻甚大。

第 2 次世界大戰以前，永久磁鐵之發展進步，殆由日本學者推動，但近十數年來，相繼有異向性陶鐵磁體磁鐵，Ba—陶鐵磁體磁鐵，ESD 磁鐵 ( 微粉末磁鐵 ) 等工業化，且均在荷蘭、法國、美國等開發，主導權已自日本易手至諸外國。

## 2. 磁鐵必須具備之性質

永久磁鐵以在外界產生強力磁場為目的，以較小尺寸具有強大磁力者則為優良磁鐵。

茲將 2 支棒放在磁場內，其中 1 支為永久磁鐵材料，1 支為純鐵棒，磁場除去後，前者殘餘強大磁性，而後者磁性殆已消失。

將強磁性體之棒放在磁場內，則如圖 1.1 所示，兩端為 N 與 S 之磁極，必然產生由 N 極向 S 極之磁場，其磁場自 N 極向四周擴散，但一部分可貫通磁鐵內部，此時磁場為削弱磁化之去磁場，強磁性體之棒依自己去磁場去磁 ( Demagnetizing )，純鐵棒因磁分域 ( Magnetic Domain ) 容易移動，依自己去磁場去磁，磁性消失，但永久磁鐵可抵抗去磁場，磁分域之方向堅持最初磁化方向，磁鐵如圖 1.1 下所示為馬蹄形時，N → S 極之去磁流過相對空間，去磁場迂迴繞遠

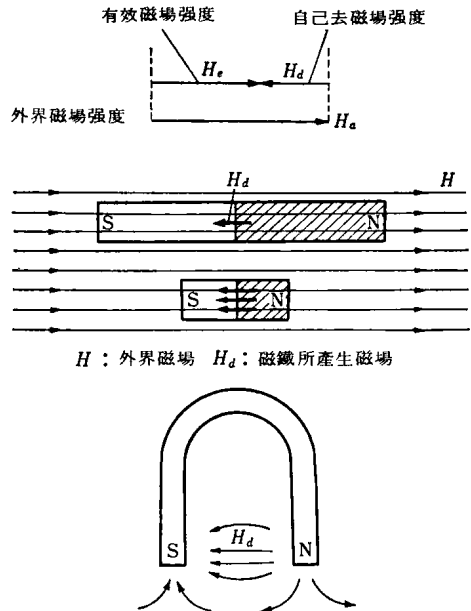


圖 1.1 永久磁鐵與去磁場與形狀之關係  
去磁場為負作用，磁鐵之磁化強度減弱，  
( 仍朝着正方向 )

而降低，弱小磁鐵亦可耐用。

一般磁性材料之磁性狀態，以磁場強度（ $H$ ）為橫軸，磁性材料產生之磁通量密度（ $B$ ）為縱軸，繪成  $B-H$  曲線表示。

先使飽和磁化後，磁場為零，則如圖1.2 (a)所示，材料之磁通量密度為  $B_r$ （殘磁通量密度：residual flux density）。

繼而再加以倒反方向之磁場，則通過  $D'$  點，磁通量密度為零，此時去磁場之強度  $H_c$  謂為矯頑磁力（Coercive Force）。

$N$  與  $S$  之磁極間距離短者（則長度/直徑之尺寸比愈小）自己去磁場愈大，將磁鐵長度縮短使仍保持強力磁性，須以強大矯頑磁力為先決條件，換言之，「永久磁鐵為矯頑磁力强大之材料」。

永久磁鐵之性能，不單由矯頑磁力所左右，儲積在外界之磁能與  $B \times H$  之積成比例，尚須考慮殘餘磁通量密度或去磁曲線之彎角狀況。

去磁曲線如圖1.2(a)所示， $B-H$  曲線以外，尚使用繪有  $B_i-H$  曲線者，縱軸以  $B_i = 4\pi I = B - H$ （ $I$ ：磁化強度）表示，則為除去磁場強度  $H$  之「本質磁通量密度」（Intrinsic Flux Density），限用於物理或理論的檢討，圖1.2(b)為  $B_i-H$  曲線， $H_{ci}$  為磁化強度歸

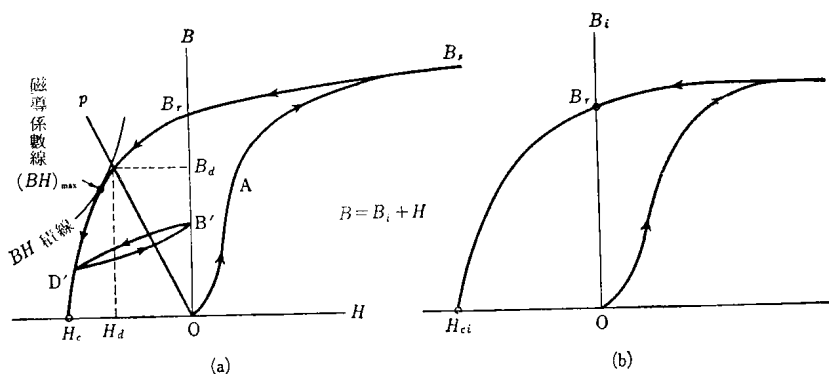


圖1.2 磁化曲線（ $OAB_s$ ）與去磁曲線（ $B_rD'H_c$ ）

(a)： $B-H$  曲線，(b)  $B_i-H$  曲線