

感应电动机设计与制造

丁士鈞 編

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書內容主要講述：(1)感應電動機設計與計算；(2)感應電動機機械零件；(3)繞組與絕緣；(4)感應電動機試驗方法等四方面。書中並列有大小電動機的設計計算表百餘張，整套設計圖樣，可作為電動機製造廠與電動機修理廠技術人員之參考書及專科學校與各類技術學校電機製造專業學員之補充讀物。

感應電動機設計與製造

丁士鈞編

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出093號

上海市印刷四廠印刷 中華書店上海發行所總經售

開本850×1168 1/32 印張10 11/16 插頁3 字數260,000

(原大東、科技版共印6,720冊)

1959年5月第1版 1959年5月第1版第1次印刷

印數1—10,000

統一書號：15119·355

定價：(十四) 1.90元

序 言

一個電機製造專業的畢業生在初次踏入電機製造廠設計室裏去時所最感驚異的一點，恐怕要算電機的設計方式了。在那裏，人們不常使用細緻而繁複的公式來計算漏磁、損耗、與綫捲溫昇，也並不把每一座電機計算得與規範上訂定的行為保證數字完全相同。在那裏，人們把習用慣例和已往經驗看得與理論同等重要。其理由是：除去時間匆促無暇作繁複的演算外，主要是爲了在製造電機的過程中，不定的因素太多——例如由鐵心光製而增高的鐵損和通風的有效程度——無從準確估計；而倘若這一點做不到，任何細緻的公式都免不了僅是紙面上的數字。在這種情形下，經驗却無疑成了最好的參考。所以在實地製造中，人們非常着重經驗數字。把學者從感應電動機的理論設計的基礎引渡至實際設計，減少學者在實際工作中的隔閡，這便是本書的目標。對於學者所不甚熟悉的製造過程和一般慣用尺寸，本書也作了較爲詳細的原則性敘述與介紹。又感應電動機的行爲性能必然跟極數、馬力、式樣（鼠籠或滑環）而具有一定的變動，變動的理由學者往往不易充份理解。編者認爲指出這種必然性變動的由來的最具體方式，莫過於實地設計一連串的電動機而加以對比。本書開列了設計單百餘張，讀者在參照之下便可明瞭其中詳情。

對於另一部份讀者——實地從事電機專業的工作人員——他們具有豐富的實際知識而沒有充份時間去研究高深的理論和數學，本書以最簡單最直捷的方式把感應電動機的設計與製造的整個過程作了鳥

廠，使有志於電機設計的人們能於相當短促的時間內，和在比較淺近的理论根基上，就能充分地掌握感應電動機設計的主要原則和製造中所慣用的一般數據與操作程序。

對於電機製造廠的設計人員，本書介紹了一種實際設計的方法，可供借鏡。書中所列的設計單當然不一定適合每一個製造廠的實地製造情況；不過仍不失為一種有用的參考。本書又介紹了一般尺寸與數據和波形線捲的接法，可以作製造手冊使用。

本書資料關於設計部份，主要採自英國設計師霍欽思 (R. E. Hopkins) 所著的“感應電動機之實踐”(Induction Motor Practice) 一書，而加以適當的修正，使能符合國情。關於製造過程部份，則除去編者個人經驗以外，又參照了國內外各製造廠的一般工作法規而加以歸納。

本書初稿寫就於一九五一年之秋，並由前華通電機廠工程師柯士鏘兄閱讀一過，指正不少缺點，謹此致謝。本年在付印之前又作了一度修改，以期減少錯誤，俾免貽誤讀者。不過本書裏面一定還存在着很多的謬誤和缺點，有待讀者們指正，請隨時加以批評。

丁士鈞草於上海

一九五三年國慶日

目 錄

序 言

第一章 感應電動機的標準範圍	1
1.1 用戶的要求	1
1.2 輸出容量	3
1.3 速率	4
1.4 電壓	5
1.5 時間定額	5
1.6 溫昇	6
1.7 封閉方式	7
1.8 其他機械性要求	12
第二章 機身與衝片之設計與製造	15
2.1 導言	15
2.2 機身總數	16
2.3 主要尺寸	17
2.4 矽鋼	21
2.5 矽鋼片製造	22
2.6 衝片	23
2.7 機槽之設計	24
2.8 厚衝片	27

2.9 通風槽	29
2.10 通風道	29
2.11 分節衝片	30
2.12 衝片種數	30
2.13 定子衝片	31
2.14 滑環轉子衝片	32
2.15 鼠籠轉子衝片	35
2.16 衝片尺寸	35
2.17 衝片製造	37
第三章 線捲設計	47
3.1 銅片線捲與銅線線捲	47
3.2 線捲種類	51
3.3 整圈籃形線捲	51
3.4 半圈籃形線捲	53
3.5 同心線捲	56
3.6 波形線捲	61
3.7 平行接法	71
第四章 絕緣概要	81
4.1 引言	81
4.2 絕緣漆	81
4.3 棉質品與絲質品	82
4.4 絕緣紙	83
4.5 雲母製品	83
4.6 線匝絕緣	84
4.7 外包絕緣	84

第五章 繞線嵌線與浸漬.....	87
5.1 製造總論.....	87
5.2 繞線圈.....	87
5.3 拉線圈.....	89
5.4 嵌線.....	90
5.5 封口.....	93
5.6 包藥.....	95
5.7 排列.....	96
5.8 加相絕緣.....	98
5.9 聯接.....	99
5.10 浸漬烘培.....	101
5.11 特殊位置線圈之嵌置.....	101
5.12 敞露槽線捲.....	102
5.13 轉子嵌線.....	103
第六章 機械元件概要.....	105
6.1 引論.....	105
6.2 機座.....	105
6.3 端罩.....	110
6.4 軸承.....	114
6.5 潤滑.....	116
6.6 機軸.....	118
6.7 機輻.....	118
6.8 滑環.....	118
6.9 電刷與電刷裝置.....	120
6.10 短路裝置與舉刷裝置.....	121

6.11 通風設備.....	122
6.12 接線匣.....	124
6.13 零星機械配件.....	126
6.14 機件組合.....	128
6.15 機械零件清單.....	129
6.16 工作圖樣.....	132
第七章 電動機計算	149
7.1 引論.....	149
7.2 計算方法.....	149
7.3 圓圖繪法.....	161
7.4 鼠籠轉子損耗計算.....	163
7.5 漏磁計算.....	164
7.6 鼠籠機計算示範.....	167
7.7 滑環機計算示範.....	174
7.8 輕載定額.....	176
7.9 輕載定額電機之設計.....	176
7.10 磁通調整曲線.....	178
7.11 特種封閉方式.....	178
7.12 單相感應電動機之設計.....	181
第八章 設計計算單彙集	184
8.1 引論.....	184
鼠籠式感應電動機設計計算單.....	189—237
滑環式感應電動機設計計算單.....	241—310
第九章 電動機試驗	311
9.1 引論.....	311

9.2.閃光試驗.....	312
9.3.絕緣試驗.....	312
9.4.加速試驗.....	313
9.5.斷路試驗.....	313
9.6.空載試驗.....	314
9.7.短路試驗.....	314
9.8.滿載試驗與過載試驗.....	315
9.9.溫度試驗.....	315
9.10縮短性發熱試驗.....	318
9.11試驗編號.....	319
9.12效率及功率因數之量度.....	319
9.13公差.....	322
9.14拒收.....	322
9.15試驗室設備.....	324

第一章

感應電動機的標準範圍

(1.1) 用戶的要求 電動機製造廠的任務雖然是製造電動機，而製造那一式的電動機的選擇權却並不在製造廠本身，而在電動機的用戶。換句話說，用戶開列了他所需求於該電動機的一般性能，而由製造廠代為選擇一種最能符合於上開條件的一種式樣。用戶所開列的條件，普通包含那幾點呢？一般說來，決定電動機種類的主要條件不外下列五點：

(1) 速率變動問題 需要固定速率、變動速率、多種速率還是單速率。

(2) 電源性質問題 所能獲得的電源是直流還是交流；若是交流的話，是單相還是三相。

(3) 啓動情況問題 是輕載啓動，是滿載啓動，還是過載啓動。

(4) 功率因數問題 超前或滯後功率因數的最低需要程度。

(5) 養護、成本、與可靠性問題。

針對上列條件，我們把各式電動機的一般性能列表說明如下：

由於一般工業用電都是三相交流電，所以電動機的選擇只限於三相交流電動機；而就用戶的觀點來說，養護的難易、成本的高低、運用的可靠與否，當然是所要考慮的主要問題。從這個觀點來選擇電動機，那麼三相感應電動機——尤其是鼠籠式——無疑要入選了。鼠籠機具有

第 1.1 表 主要電動機的一般性能表

電動機種類	電源類別	速率變動	啓動轉矩以滿載值之百分率計	功率因數	養護，成本，與可靠性
三相鼠籠感應電動機	三相交流	分激型單速率	100% 足壓直推啓動25%—60% 變壓器啓動33% 星網式啓動	0.75至 0.90	成本低廉，養護簡易，運用可靠。
三相滑環感應電動機	三相交流	分激型單速率	200% 轉子加阻啓動	0.75至 0.90	成本尚低，養護簡易，運用尚可靠。
單相鼠籠感應電動機	單相交流	分激型單速率	15%—50% 本身無啓動轉矩須另裝啓動設備	0.7 至 0.8	成本低廉，養護簡易，運用可靠。
三相同步電動機	三相交流	絕對固定	200% 轉子電阻式啓動 53% 普通啓動	1.0 至 超前性 0.7	成本尚低，養護尚簡易，運用尚可靠。
三相整流子電動機	三相交流	分激型多種速率	200%	0.9 至 1.0	成本較高，養護較難，故障較多。
單相串激或推斥電動機	單相交流	串激型	200%	0.9 至 1.0	成本較高，養護較難，故障較多。
直流電動機	直 流	串激型 分激型	巨大 100%—200% 視啓動電流強弱而定		成本較高，養護較難，故障較多。

註：表中所註分激型速率係指速率因負載增加而平坦地降低而言。串激型速率係指速率因負載增加而依雙曲線形降落而言。

一切優點，足以壓倒其他種類的電動機；但有三個缺點：（1）只能有一個近於固定的速率，而且是分激型的；（2）中型容量的功率因數不能提高至 85% 以上；（3）啓動轉矩只能大致等於滿載值，而該時的啓動電流却又相當龐大，大約五倍至六倍於滿載值，可能為電力廠所不能容許。第一項缺點並不嚴重，因為除去起重機電車等少數用途需要串激型速率變動者以外，分激型並不足為病。第三項缺點最好能由用戶採用空載啓動來解決，或者改用滑環式感應電動機，就可以克服這個缺點。

祇有第二個缺點，由於感應電動機是先天性屬於電感的型式，無法徹底解決，不過用戶能夠儘量地避免電機經常不足滿載，避免常開常關，避免無原則的採用容量過小的電機，設法把功率因數保持至 75% 以上，這個問題也就得到相當程度的解決。即使不是這樣辦，也儘可裝置一組容電器，或在感應電動機以外另用一座同步電動機，藉以改善全廠的綜合功率因數。根據經濟觀點，這種辦法仍是有利的，要比全部採用整流子電動機或同步電動機好得多。基於這些理由，三相感應電動機便受了一切用戶的歡迎，尤以鼠籠式為然。本書所討論的也就限於這種型式的電動機。

但即就感應電動機一個種類而論，容量之大小、速率之高低、電壓之強弱，範圍也很廣泛。為集中目標專攻一門起見，僅選出若干日常習見的規格，加以詳細討論，其他特殊的式樣暫且不談，我們稱這個縮小後的範圍為標準範圍，下面把標準範圍內的界限劃分一下。

(1.2) 輸出容量 標準範圍的最低輸出容量，當然應該與分數馬力電動機的最高輸出容量相銜接，即約在 1 匹左右。標準範圍的最高輸出容量則無法規定，某種特殊場所，如軋鐵廠、煤礦的主要運輸道，所需的動力可能超出一般需要甚遠。這種電機應該特殊設計，不必考慮零件能否互換使用等問題。就常備的電機而論，150 匹馬力的輸出可以認為是最高容量了。

在最高與最低兩項限度之間，輸出容量的數目可以說是無窮的，但是事實上却只能計劃若干種規定的容量，所以目前的趨勢便是挑出若干容量作為標準。就大部份情形而論，用戶所訂定的馬力數字總是一個約畧的估計，所以固定一些標準的容量也不致產生嚴重的不便。進一步來講，縱使訂定的馬力確係正確，我們仍可挑選較大一號的設計，作為輕載定額電動機使用。

電動機容量的大小應由用戶在規範中開明，因為他對於被動機械的性能較為熟悉。在很多情形下，動力的大小極容易計算出來，但倘若不知道被動機械的能率循環，唯一的方法便是參照已在運用中的相類機械的性能。這雖是一種粗枝大葉的方法，可是却最能獲得滿意的結果。

被動機械的轉矩倘若是固定的，那麼普通所用的馬力轉矩公式便可適用。若負載是起伏的，可以取整個循環的均方根值，作為約數。

倘若負載曲線呈現很高的巔值（例如衝床），決定電機容量的應是它的最高過載量。同理，在啟動能率特別加重的地方，決定電機容量的可能不是運行性能，而是啟動能力。

電動機製造廠規定了若干標準容量來應付這種種情況。標準容量的數值以馬力表示，大概如下：

1、2、3、5、7½、10、12½、15、20、25、30、40、50、60、75、100、125、150。

在情形許可，不必增添機身號數的時候，倘能在上述容量內另行插入若干輸出容量，那也是求之不得的。

(1.3) 速率 感應電動機用在 50 週上，速率最高不會超出每分鐘 3,000 轉，最低的速率則並無限制；但是為了成本關係，只要傳動情形許可，速率總以選得愈高愈妙。在直接傳動的狀況下，大型電動機的速率可以低至每分鐘 200 轉。惟這種電機的效率不高，成本昂貴，過載量甚低。在標準範圍內，我們不妨把每分鐘 500 轉的同步速率列為最低限度，而把更低的速率認作特殊情形。在這最高最低的限制中間，倘若電源的頻率不加變更，我們只能獲得六級速率。因為就 50 週的頻率來說，感應電動機所可能達到的同步速率以每分鐘數計算是：3,000、1,500、1,000、750、600、500、428、375、333、300 等類推。

電動機的滿載速率大概要比上列數字低百分之 2 至 6，確實數字

視各機容量大小而異。容量微小的電動機多數不會需用很低的速率；而電機的容量倘若龐大，則最高的速率大致也不會有什麼用處。

(1.4) 電壓 電源的電壓數值，首先影響定子線捲的設計，其次又影響電機絕緣的方式。第一點影響所及，導線的匝數和截面積便要更動，幸而這兩種更動是成反比例的，並不影響電機的一般尺寸。

就絕緣方面而言，經驗告訴我們，能抵抗 100 伏電壓的電動機也就能抵抗 700 伏的電壓。這就是說，它就能適應整個低壓範圍的要求。

超過這個電壓，就要用特殊的方法。在 3,300 伏以下，還可以設法保持電機的一般式樣，不加更動（接線箱除外），祇是它的應有輸出稍為減低。電壓若在 3,300 伏以上，製造法便有不同；但是在標準範圍所規定的容量限度以內，這樣高的電壓實在是少見的。

所以事實上，標準範圍對於所能遇到的電壓大致都能適合，只要在設計 700 伏以上的電機時，把輸出容量稍加減低，絕緣方式稍加變更。

標準的線路電壓是 380 伏，但是其他電壓可能同時存在。電壓增減率若在 10% 以內，電機可以不加更變使用，在此以上，線捲便應另行設計。我們可以把比較通用的電壓分組併合起來，使儲料及設計得以簡化。從這個基礎出發，電壓可以分為下列五組：

110、200/220、350/380、400/440、500/550。

(1.5) 時間定額 時間定額這一問題主要決定於電動機的任務。用來轉動煤礦裏的風扇的電動機絕對是一種連續性的運用；發火災警報的電動機則一年不過使用 5 分鐘。製造廠對於這問題，也和對於容量問題一樣，除預備一組標準的定額，聽任用戶挑選之外，別無其他辦法，不過若能預備三種不同的時間定額，就大致能滿足一切工業上的要求了。

(一) 連續定額 這是最流行的一種定額，舉凡一切終日運行並

無長時期間斷的工作都用這一類定額的電動機。連續定額又稱作六小時定額，這兩個名詞的意義可以說是相同的。只有大型全封閉式電動機才在六小時之內尚不能達到恆定的溫度。也只有在這個情形下，六小時定額的電動機纔會比連續定額的電動機畧小些。

(二) 半小時定額 電機以額定馬力運行半小時後它的溫度方始達到規定限度者，稱作半小時定額。這並非說實際的運行情形確是如此，而只是一種容量的衡量方法。經驗告訴我們，這樣的容量大致已可應付此類電動機所適用的一切工作，半小時定額的意義如此而已。它所能勝任的最大能率是滿載一分鐘停頓四分鐘的循環性工作。應用場所是電梯(重任電梯除外)、起重機、絞盤、滑車組等。

(三) 一小時定額 這種定額的電機能夠以額定馬力運行一小時方始達到規定的溫度極限。也和上述的情形相同，定額並不表示實際的工作任務。它的最大能率是滿載一分鐘停頓二分鐘的循環性工作。重任的電梯，大型起重機的舉高運動，和煤礦的運輸工具常用這樣的電動機。

(1.6) 溫昇 電機在滿載時所能承受的最高安全溫昇，要看絕緣級別，周圍溫度和裝置地的海拔而定，又由該電機所可能擔負的持續過載量而定。

在常用的絕緣級別內，在海拔不超過 1000 公尺、周圍溫度不超過 35°C 的地方，規定的線溫昇數字，用電阻法測定，是：

通風式電動機	50°C
全封閉式電動機	60°C

若所在地的周圍溫度超過 35°C ，那麼容許的溫昇數字就應按比例減低，使絕緣的安全溫度不致超出。倘海拔超出 1,000 公尺，則每高 100 公尺，溫昇數字便應減低百分之



