

中等专业学校教学用书

电机设计

維諾格拉道夫、加利亚因努夫、雪尔基夫合著

林启荣、林启华合译



中国工业出版社

中等专业学校教学用书

电机设计

維諾格拉道夫、加利亚因努夫、雪尔基夫合著

林启荣、林启华合译



中国工业出版社

目 次

原序	6
緒論	7
第一章 主要尺寸的決定	10
1-1 电机常数	10
1-2 电机制造中的几何相似律	13
1-3 主要尺寸比值的选择	14
1-4 成系列电机和个别电机的計算	15
1-5 电机計算的程序	16
第二章 电机制造中所采用的材料	19
2-1 磁性材料	19
2-2 导电材料	21
2-3 絕緣材料	25
第三章 直流电机的电樞繞組	27
3-1 基本概念	27
3-2 叠繞組	29
3-3 波繞組	30
3-4 繞組对称的条件	30
3-5 均压接綫	32
3-6 混合繞組	32
3-7 同槽式和异槽式繞組	32
3-8 实用繞組接綫图和均压接綫表	33
3-9 繞組的选择	35
3-10 繞組的制造	35
3-11 繞組的絕緣	38
3-12 繞組的尺寸	43
第四章 交流电机的电樞繞組	47
4-1 一般的概念	47
4-2 单层繞組	47
4-3 双层繞組	50
4-4 短路轉子繞組	55
4-5 繞組的繞法	55
4-6 繞組的选择	61
4-7 繞組的絕緣	62
4-8 繞組的尺寸	66
第五章 激磁、补偿和阻尼繞組	70
5-1 直流发电机的激磁繞組	70
5-2 补偿繞組	72
5-3 凸极同步电机的激磁繞組	72

5-4 阻尼(稳定)繞組	74
第六章 磁路的計算	75
6-1 空气隙的磁势	75
6-2 齿的磁势	79
6-3 磁极的磁势	81
6-4 定子軛的磁势	81
6-5 轉子軛的磁势	82
6-6 磁极的漏磁系数	83
6-7 无載时的激磁磁化力。无載特性曲綫	84
6-8 負載时的激磁磁化力	87
第七章 繞組有效电阻和感应电抗的确定	92
7-1 繞組有效电阻的确定	92
7-2 繞組感应电抗的确定	95
第八章 損耗和效率	103
8-1 鉄心中的損耗	103
8-2 机械損耗	107
8-3 电气損耗	110
8-4 附加損耗	112
8-5 效率	115
第九章 电机主要零件的結構設計和机械計算	116
9-1 电机結構設計的一般原理	116
9-2 結構材料	118
9-3 电机已成的結構形状	120
9-4 电机主要型式的一般結構組合	122
9-5 軸	130
9-6 轉子的构造	136
9-7 整流子	140
9-8 滑环	147
9-9 軸承	149
9-10 軸承外壳及軸承座	152
9-11 机座	154
9-12 定子的构造	157
9-13 磁极	159
9-14 电刷及刷握	163
9-15 搖杆	166
第十章 通風的計算	168
10-1 通風系統	168
10-2 通風的計算	171
10-3 通風机	177
第十一章 电机的热計算	183

11-1	一般概念	183
11-2	沿絕緣厚度上的溫度降落	185
11-3	表面散熱	186
11-4	熱計算的簡化公式	187
第十二章 直流電機的計算		197
12-1	一般概念	197
12-2	電磁負載	198
12-3	主要尺寸的確定	200
12-4	極數	202
12-5	電樞的繞組、槽和軛	203
12-6	整流子和電刷	206
12-7	空氣隙	207
12-8	磁極與機座	208
12-9	無載特性曲綫。過渡特性曲綫	209
12-10	激磁繞組	210
12-11	補償繞組	212
12-12	整流的檢查和整流磁極的計算	213
12-13	運轉特性	219
12-14	計算例子	222
第十三章 异步電機的計算		261
13-1	一般概念	261
13-2	電磁負載	262
13-3	主要尺寸的確定	264
13-4	定子的繞組、槽和軛	269
13-5	轉子的繞組、槽和軛	271
13-6	空氣隙	277
13-7	异步電機參數	278
13-8	運轉特性和起動特性的確定	290
13-9	計算例子	295
第十四章 同步電機的計算		323
14-1	一般概念	323
14-2	電磁負載	323
14-3	主要尺寸的確定	324
14-4	定子的繞組、槽和軛	327
14-5	空氣隙	329
14-6	轉子極和軛	330
14-7	無載特性曲綫	331
14-8	激磁繞組	332
14-9	阻尼繞組	333
14-10	同步電機參數、短路電流和轉矩	334
14-11	計算例子	338
附錄		352
參考文獻		388

原 序

在蘇聯近代電機製造業迅速發展的情況下，電機設計的問題具有特別重要的意義。它們應該列為中等電氣工業學校研究電機課程中不可缺少的一部分。

為了電機的研究得以完備，便必須同時有電機計算問題的研究。祇有在這種情況下，才能很好地瞭解電機尺寸與決定電機特性的參數間的關係。

缺乏有系統地研究這類問題的教科書使電機的教學發生困難，並且不容許在足夠合理的程度上把它加以組織。

著者在考慮到這些情況後，對自己提出了一個任務——替中等工業學校寫一本有關電機設計的教科書，同時使這教科書盡可能滿足那些久已醞釀的需要。

本書敘述下列的基本問題：電機尺寸的確定，繞組的計算，絕緣與結構的選擇並校核各零件的機械強度，參數與特性曲線的確定和通風與熱計算等。

首先研究電機計算與設計的一般問題（第一至十一章），其次分別研究各式電機的設計問題（第十二至十四章）。在這樣敘述的次序下，作者試用概括的方式來介紹電機設計的問題而又避免重複。

本書內容主要着重於正常的電機，這些電機在它們現代化的製造方法下可以歸併成為整系列。因為這些緣故，也涉及成系列電機的設計問題。

書中把實際計算時所需要的表格、曲線、國家標準（ГОСТ）等的輔助資料加以系統化。收集在本書中的這些資料應該能够使設計電機時工作方便、時間經濟。

在編寫本書時，著者利用了許多蘇聯電機製造廠的經驗，這些工廠有：列寧格勒基洛夫‘電力’工廠（Ленинградский завод ‘Электросила’），哈爾科夫的斯大林電氣機械工廠（Харьковский электромеханический завод, ХЭМЗ），莫斯科的基洛夫電機工廠（Московский завод ‘Динамо’），約洛斯拉夫電氣機械廠（Ярославский электромеханический завод, ЯЭМЗ），加里寧烏拉爾工廠（Уральский завод）與烏拉爾電器廠（Уралэлектромашин）。這些廠的電機完全表徵出電機製造的近代情況。這些工廠中所創擬的電機計算方法在目前是最現代化的。在這方面，基洛夫‘電力’工廠的人員做了特別多的工作。

電機設計所包含的問題十分廣泛，所以不可能在篇幅不大的一本書中對某些問題加以詳盡敘述。補充的知識可以從書末所列的參考文獻中獲得。本書中所參考的文獻用括號內的數字來標明，這些數字係和參考文獻目錄中各該書與期刊論著所排列的序號相對應。

著者在這裏應該對校讀手稿並提供意見的技術科學碩士納霍德金（М. Д. Находкин）講師表示謝意。這些意見在手稿最後校閱時已加改正。

著者的分工是這樣的：第九章是維諾格拉道夫（Н. В. Виноградов）寫的；第八、第十至十二章是加利亞因努夫（Ф. Л. Горяинов）寫的；其餘各章是謝爾基耶夫（П. С. Сергеев）寫的。本書的主編是謝爾基耶夫。

作 者

緒 論

電機設計的任務在於選擇和計算它的磁系、繞組、絕緣和結構零件等的尺寸以及它們所用的材料。電機材料與尺寸的選擇和計算，及各別零件的結合，應該使電機盡可能最適合於其本身的功用，而在運轉及製造時又能最為經濟。

在第一個設計方案下，不可能對這個問題獲得最完善的解答。我們還無法建立足夠準確的方程式，以確定用以決定電機的尺寸、它的工作特性、價格和所需材料的數量等值間的關係，亦無法建立容許我們立即獲得最完善解答的方程式。另外使問題複雜化的是我們時時應該考慮到獲得運轉可靠、製造簡單而又便宜的電機的必要性。

從後面所敘述的（參看第一章）可以看到：在設計電機時，必須注意到足以影響它的特性、重量及材料價值，影響到電機製造的價格、運轉時的可靠性等許多因素。

要獲得良好的設計，考慮數個方案是恰當的。不過，近代的計算方法已容許在花費較少的勞力下，得到足夠接近於最適當的方案。這些方法係根據電機製造和長期運轉的豐富經驗以及在製造和運轉過程中的深奧的理論研究而確立的。

如果追溯起電機設計方法發展的歷史，就可以得到一個結論：即這些方法係在理論與實際最密切聯系的基礎上發展起來的，理論與實際的密切聯系是電機發展史中的一大特色。

近代電機中最廣泛應用的係多利伏-多柏羅伏利斯基（М.О. Доливо-Добровольский）所發明的三相異步電動機。他是第一個設計並製造出這種電動機。這種電動機的出現使電工技術向前發展了一大步，並成為廣泛電氣化工作的開端。它們的發展使電系選擇問題獲得解決。如所周知，這個問題的解決係對多利伏-多柏羅伏利斯基所發明的三相電系有利的，他並把這電系應用於三相電動機、發電機和變壓器上。

多利伏-多柏羅伏利斯基對電機和變壓器計算方法的研究以及它們結構形狀的選擇貢獻很多。例如：多利伏-多柏羅伏利斯基所創製的三相異步電動機，其基本形狀到現在還保留着。他也確立了許多用以決定“有效”材料（銅和電工鋼）的數量、負載和效率間的關係式。這些關係式和由他所得到的許多實驗數據成為以後擬製電機設計方法的基礎。

最初的電機係在前一世紀的90年代初期由多利伏-多柏羅伏利斯基製造出來的。如果把當時的電機和近代的電機對比，首先分別出它們間的重量有很大的差別：近代的電機較舊式的電機輕了66~75%。這不單是因為近代電機製造上所用的材料較佳，而主要的由於現在學會了更加合理地使用材料以及採用較完善的電機冷卻。後者應該特別指出，因為電機製造的進步和電機通風系統的進步與改進是互相密切聯系着的。

在實驗資料和理論探討的積累過程中，電機的計算方法日趨準確，而到現在已達

到高度的完善。但是，要使它們更趨完善，還需要有許多的工作，特別是關於通風的計算與熱計算，以及必需設計用於大批生產的電機。

在沙皇時代的俄國，幾乎沒有本國的電機製造工業，那些在彼得堡、莫斯科、里格、列會利區的不大的工廠也不是獨立的。它們是屬於對俄國電機製造業發展不利的外國公司的。這些工廠實際上只是材料的裝配工廠，那裏不設計電機，而一般只裝配由國外生產的部件。在工廠的計算部門內，有時終究必須進行個別的計算。但是在這裏工作的大多數不是俄國的工程師與技術人員們。縱使在這種情況下，俄國仍有它自己的天才科學家和工程師們，他們只有在偉大的十月社會主義革命後，才能充分發揮他們的智慧與才能。

他們在蘇聯電氣化發展的事業中起了很大的作用。在他們的參與下，擬定了列寧的全俄電氣化計劃，擴展了並建造了電站和電氣工業的工廠。

在蘇維埃年代裏，電工技術和它的最重要部門——電機製造業——達到了真正的繁榮。巨大的工廠迅速興起。蘇維埃技術學校及工廠培養出新的善於解決複雜技術問題的熟練的專家幹部。

在蘇維埃政權的年代裏，主要是在頭兩個五年計劃內，我們電機製造業走過了外國技術在相近半世紀內所走的道路。

在廣泛計劃的基礎上，由於迅速精通電機的新的型式並廣泛地在生產上扶植社會主義形式的勞動，蘇聯的電機製造工業在第二個五年計劃的末期，在質和量方面都已達到外國技術的水平。

所有基本及特殊型式的電機——直流和交流電機，最巨型的發電機和變壓器——現已能在蘇聯的工廠內製造。

蘇維埃電機製造業的成就，是依靠我們的計劃經濟制度和蘇維埃人們爲了整個國民經濟普遍提高工作的決心。

我們技術的實力特別表現在偉大的衛國戰爭年代裏。在這些歲月中，建立了新的電機製造工廠，它們供應工業和軍事工程以必需的電機。

目前，我們在中心地區、在烏克蘭、在烏拉爾、在西伯利亞都有電機製造的工廠，出產成千成萬型式完全不同的電機。

在蘇維埃的電機製造家們繼承了本國傑出同胞們的事業——彼得洛夫(В.В.Петров)、耶戈比(Б.С.Якоб)、楞次(Э.Х.Ленц)、斯托列托夫(А.Г.Столетов)、耶柏洛契柯夫(П.Н.Яблочков)、拉秦諾夫(Д.И.Лачинов)、烏沙金(И.Ф.Усагин)、多利伏-多柏羅伏斯基以及過去一世紀來在電工技術發展真正的創始上做過工作，和在這部門的本身有過許多發現和發明的其他傑出的科學家與工程師們。

在我們蘇維埃時代裏，蘇維埃的科學家和工程師們已有極大的進步。在蘇聯，製造了舉世無匹的電機，例如：3000轉/分，111000 仟伏安的汽輪發電機，全世界尺寸最巨大的水輪發電機以及許多正常的與特殊的電機型式。

我們現在擁有許多高度熟練的專家，這種大軍不斷地在擴充着。

必須提及：在列寧格勒的基洛夫‘電力’聯合工廠，在莫斯科的基洛夫‘電機’廠，在哈爾科夫的斯大林電機製造廠，在約洛斯拉夫‘電機’工廠，在斯威爾杜拉夫的‘烏拉爾電器’廠都有很大的成就，這些企業的許多工作人員們都榮膺過斯大林獎金。

蘇維埃電機製造業的成就在很大程度上是依靠了蘇聯共產黨和蘇維埃政府對該工業部門的深切關懷。

在技術發展的範圍內，材料的改進，經驗的累積，以及理論知識的深入鑽研，對無論按照技術或經濟的指標來設計及製造更完善的電機提供了可能性。和這些相聯系的，便有必要來檢查現有系列的電機；檢查有關於它們的幾何外形（尺寸的比例）、電和磁部分的負載，有關於新材料的應用；便有必要來設計新系列的電機。這種設計的某些問題今後將要涉及。成系列電機的設計任務，亦即一系列容量漸增，藉結構與生產的工藝方法的共同性加以結合，並用於大批生產的電機的設計任務，只有在社會主義計劃經濟的條件下才能獲得正確的解決。只有在這種情況下，才能夠為所有的工廠製造出成系列的電機，以便有巨大的經濟利益。

目前在蘇聯出產有成系列的電機和變壓器，它們能夠完全滿足發電站、工業、電氣化運輸的要求。但是它們中間的若干種類還需繼續加以改進。大批應用的成系列電機，例如容量自 1～100 仟瓦的三相異步電動機應予特別注意。在各種設備上都能找到的這類電動機的總容量約達發電站裝置容量的 40～50%，而對它們的要求却仍不斷增加。

在設計電機時，經常應該密切留心到經濟問題，這時也必須注意到所有牽涉到電機生產的問題：設計的問題應該是和工藝的問題密切聯繫着的。

第一章 主要尺寸的決定

電樞的直徑 D 和長度 l 係電機的主要尺寸；對直流電機， D 係指電樞的外徑，但對一般構造的異步電機和同步電機， D 則為定子的內徑。

D 和 l 也主要決定了電機的其餘尺寸：磁極和定子外徑的尺寸，軸和軸承以及其他的尺寸。電機的重量、價格和它的運用特性與可靠性都決定於它的 D 和 l 以及兩者間的關係。

因此，應該把決定電機主要尺寸 D 和 l 當作電機設計的基本步驟。

電機尺寸 D 和 l 與電機的容量、轉速(n 轉/分)和對磁路系統與電路部分所選用的‘負載’有關。磁系統的負載或利用情況，基本上係決定於空氣隙中的磁感應 B_δ ；而電路部分的負載或利用情況，則由‘線負載’ A (安/公分)^①來決定。

1-1 ‘電機常數’

上述各因素間的關係可用下面的方法求得。

電機的計算容量^②等於：

$$P' = mEI \cdot 10^{-3} \text{ (仟伏安或仟瓦)}, \quad (1-1)$$

式中 m ——相數(直流電機 $m=1$)；

E ——電樞的電動勢(或定子每相的電動勢)(伏)；

I ——電樞的電流(異步或同步電機， I 為相電流)(安)。

電樞(或定子)的電動勢等於：

$$E = 4k_B f k_w w \Phi \cdot 10^{-8} \text{ (伏)}; \quad (1-2)$$

式中 k_B ——場曲線的波形係數，對正弦曲線為1.11；電流的頻率：

$$f = \frac{pn}{60} \text{ (赫芝)}, \quad (1-3)$$

k_w ——繞組係數(直流電機， $k_B \cdot k_w = 1$)；

w ——每相的匝數(直流電機， w 為每一並聯支路中的匝數)；

$$\text{磁通} \quad \Phi = \alpha_\delta \tau_\delta B_\delta \text{ (馬克士威爾)}, \quad (1-4)$$

式中 α_δ ——極弧的計算係數；

極距

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} \text{ (公分)}, \quad (1-5)$$

l_δ ——電樞的計算長度(公分)；

B_δ ——空氣隙中的最大磁感應(高斯)；

① 線負載也可用 AS 來表示。

② 根據容許溫昇而計算的容量叫做計算容量，用安培，仟伏安或仟瓦表示之。——譯者

線負載

$$A = \frac{2\pi w l}{\pi D} \text{ (安/公分)}. \quad (1-6)$$

把(1-2)的電動勢數值代入(1-1)並考慮及上述的關係,我們得到:

$$\frac{D^2 l_\delta n}{P'} = \frac{6.1 \cdot 10^{11}}{\alpha_\delta k_B k_w A B_\delta} = C_{A0} \quad (1-7)$$

數量 C_A 叫做阿爾諾列特(Арнольд)‘電機常數’。它的倒數 $\frac{1}{C_A}$ 叫做利用係數。電樞的計算長度 l_δ 和電樞的實際長度 l_1 相差很少: 例如, 對於沒有徑向通風溝的異步電動機 $l_\delta \approx l_1$ 。係數 $\alpha_\delta = 0.63 \sim 0.72$ 。

型式不同的電機的計算容量 P' 係按已給的額定容量 P_n 確定。

對直流電機

$$P' = E_a I_a \cdot 10^{-3} \text{ (仟瓦)}, \quad (1-8)$$

式中 $E_a = k_u U_n$, $I_a = k_1 I_n$, U_n 和 I_n 為電壓和電流的額定值, 係數 k_u 係計及電樞內部的電壓降落, 係數 k_1 則計及分激或複激電機中的激磁電流; 對 P_n 自 1~1000 仟瓦的發電機可以採用:

$$k_{u0} = 1.08 \sim 1.02, \quad k_{12} = 1.06 \sim 1.01, \quad k_e = k_{u0} k_{12} = 1.14 \sim 1.03;$$

$$\text{因而, 對發電機: } P' = k_2 U_n I_n \cdot 10^{-3} = k_2 P_n \text{ (仟瓦);} \quad (1-9)$$

對 P_n 自 1~1000 仟瓦的電動機, $k_{u0} = 0.92 \sim 0.98$, $k_{10} = 0.94 \sim 0.99$, $k_0 = k_{u0} \cdot k_{10} = 0.87 \sim 0.97$;

$$\text{因而, 對電動機: } P' = k_0 U_n I_n \cdot 10^{-3} = k_0 \frac{P_n}{\eta_n} \text{ (仟瓦)}, \quad (1-10)$$

式中 η_n ——電動機的效率(參看 §12-3)。

對異步電動機

$$P' = \frac{P_n}{\eta_n \cos \varphi_n} \text{ (仟伏安)}, \quad (1-11)$$

(異步電動機的 η_n 和 $\cos \varphi_n$ 的數值在 §13-3 中敘述)。

對同步發電機

$$P' = \frac{P_n}{\cos \varphi_n} \text{ (仟伏安)}, \quad (1-12)$$

(P_n [仟瓦] 與 $\cos \varphi_n$ 係已給數值; 如果 P_n 用仟伏安表示, 那末 $P' = P_n$)。

對同步電動機

$$P' = \frac{P_n}{\eta_n \cos \varphi_n} \text{ (仟伏安)}, \quad (1-13)$$

式中 η_n ——同步電動機的效率(參看 §14-3)。

關係式(1-7)是決定電機主要尺寸的依據。許多重要的關係式都可從該式求得。 $D^2 l_\delta$ 值和轉子的體積成比例; 定子的體積也和它有關。因而 $\frac{D^2 l_\delta}{P'}$ 值大略確定出電機每單位容量的體積。從(1-7)可以看到: 在 B_δ 和 A 不變時, 上述的體積和轉速 n 成反比, 亦即電機的尺寸和它的重量隨轉速的增加而減少。上述的關係在正常轉速電機的實用製造上已加以證實, 該種電機的轉動部分不應產生過度的機械應力。

從(1-7)式也可以看到, 電機的尺寸在很大程度上和所選用的電磁負載 A 及 B_δ

有關：這類負載愈大，電機的尺寸便愈小。這也說明了為什麼要力求選擇較大的 A 和 B_δ 的值。但必須注意到在 A 和 B_δ 的值太大時，將使電機的部件受到不能容許的過熱、電機的運用特性惡化和電機的製造困難。此外，應該在一定的範圍內選擇 A 與 B_δ 間的關係，因為這個關係決定了電機的工作特性。近代電機製造的實踐和電機運用的長期經驗已使確定適用的 A 和 B_δ 的範圍成為可能，該範圍也必須作為選用它們時的根據。它們普通係按照 τ 或 D 來選擇的。

由實踐和經驗所確定的 A 和 B_δ 的數值，當然不是最高的數值：材料（例如電工鋼和絕緣材料）的改進，選擇更合理的電機幾何形狀（電機尺寸間的關係）和通風的改善可使電機的利用情況提高，或者在容量相同時可使電機的尺寸減小。

A 和 B_δ 兩值和電機的容量及轉速有關，或者說得更確切一點，和極距 τ 及轉子的圓周速度 v ，有關。

對小容量（ τ 不大）的電機，必須選用較小的 A 和 B_δ 的數值，使不至於得到過壞的工作特性（例如，減小異步電動機的效率和 $\cos\varphi$ ）。

對中容量和大容量的電機， A 和 B_δ 的值可以提高，因為這時它們工作特性[●]惡化的影響較小。當 τ 和圓周速度愈大時，或者當 τ 一定而極數愈多時，可以採用的 A 和 B_δ 的值也愈大。

這樣，在電機容量和它的轉速增高時， A 與 B_δ 就跟着增加。因此“電機常數” C_A 實際上不是固定的數值，而是隨着電機容量的增加而顯著減小的。前述 C_A 的變化可從圖 1-1 所表示的直流電機的 C_A 和容量 P_n 間的關係曲線上看到。該曲線係從已製成具有

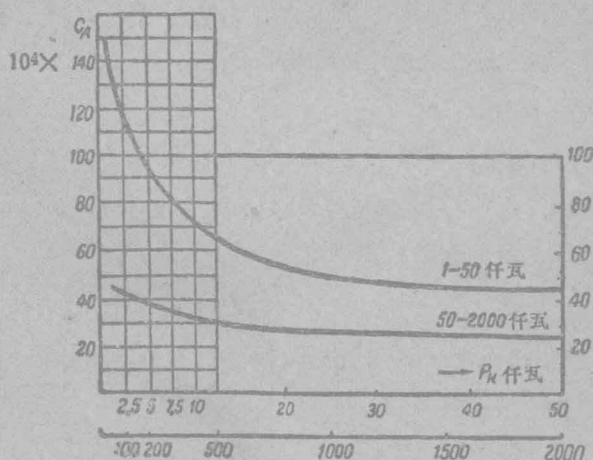


圖 1-1 具有整流磁極的直流電機的電機常數 C_A

整流磁極的開啓式直流電機上求得，而這些電機係 1926 年前出產的。

近代電機的 C_A 值比圖 1-1 中所給的數值約小 5~10%。

對異步和凸極同步電機，彼得羅夫所提出的電機常數 (C_n) 具有較穩定的數值 [11]，

$$C_n = \frac{D^{2.45} l_\delta n^{1.2}}{P} = (6 \sim 11) \cdot 10^6. \quad (1-14)$$

關係式 (1-14) 係在分析近代 50 赫芝的交流電機的基礎上獲得的，並考慮到 τ 和 n 增加時 A 和 B_δ 的增高。 C_n 的平均值等於 $8.5 \cdot 10^6$ 。

該平均值可用作評定電機利用情況的準繩：當 C_n 離開該值很遠時，即當 $C_n >$

● 以後當研究一系列容量遞增而幾何形狀相似的電機時，將指出在電機容量增加的情況下，它的單位容量的重量減小，因而單位容量的銅耗和鐵耗的對應值也減少。

$8.5 \cdot 10^6$ 時，可以認為電機的利用情況差，反之，當 $C_{II} < 8.5 \cdot 10^6$ 時，它的利用情況便好。

1-2 電機製造中的幾何相似律

下述的電機幾何相似‘律’在實踐上不可能很嚴格地遵循，但它們可以概括地，示出幾個重要的關係。

試研究一系列容量遞增而幾何形狀彼此相似的電機，它們具有相同的電流密度和磁感應。所謂幾何形狀相似係指電機相對應的尺寸間有一個相同的比值（例如，對幾何形狀相似的兩電機 A 和 B ， $\frac{D_A}{D_B} = \frac{l_A}{l_B}$ 等等）。

電機的計算容量和電動勢及電流的乘積成比例，即：

$$P' \equiv EI_0 \quad (1-15)$$

在電流頻率和轉速已定的情況下，電動勢 E 和電樞繞組的匝數 w 及磁通 Φ 成比例，該繞組中的電動勢可由下式決定：

$$E \equiv w\Phi_0 \quad (1-16)$$

把 $\Phi = BS_c$ (式中 B ——截面積 S_c 中的磁感應) 代入上式得：

$$E \equiv wBS_{c0} \quad (1-17)$$

電流 $I = \Delta s_{II}$ ，式中 Δ ——電流密度； s_{II} ——導體截面積。因之，(1-15) 式可改寫作：

$$P' \equiv wBS_{c0}\Delta s_{II0} \quad (1-18)$$

如果所用線匝的銅的總截面積以

$$S_m = ws_{II0} \quad (1-19)$$

表示，那末

$$P' \equiv B\Delta S_{c0}S_{m0} \quad (1-20)$$

面積 S_c 和 S_m 各和長度的因次 l 的平方成比例，因此

$$S_c S_m \equiv l^2, l^2 \equiv l^4 \quad (1-21)$$

從而在 B 和 Δ 為定值時，

$$P' \equiv l^4 \quad (1-22)$$

或

$$l \equiv P'^{\frac{1}{4}} \quad (1-23)$$

有效材料（銅和鋼）的重量和它們的體積成比例，亦即和長度因次的立方成比例：

$$G \equiv l^3 \quad (1-24)$$

因而

$$G \equiv P'^{\frac{3}{4}} \quad (1-25)$$

因此，在尺寸增大時，電機重量的增加比容量來得慢。

可以認為，在磁感應和電流密度已給的情況下，有效材料的價格 C 與其中的損耗 ΣP 也和重量成比例：

$$C \equiv G \equiv P'^{\frac{3}{4}}, \quad (1-26)$$

$$\Sigma P \equiv G \equiv l^3 \equiv P'^{\frac{3}{4}} \quad (1-27)$$

如果把電機的重量、價格和它的損耗與容量對比，則得：

$$\frac{G}{P'} \equiv \frac{C}{P'} \equiv \frac{\Sigma P}{P'} \equiv \frac{P'}{P'}^{\frac{3}{4}} \equiv \frac{1}{\sqrt[4]{P'}} \quad (1-28)$$

因而，在 Δ 和 B 的數值保持不變時，對一系列容量遞增、幾何形狀相似的電機，每仟瓦或每仟伏安有效材料的重量和價格，以及它們的相對損耗值（每單位容量的損耗）和容量的 $\frac{1}{4}$ 次方成反比。

這也說明了在近代電氣設備上為甚麼有採用大容量的電機來代替數部總容量相等的小容量電機的傾向（在這種代替是可能而又合理的地方）。

在一系列幾何形狀相似而容量遞增的電機中，假定它們的轉速不變，那末，它們的轉矩 M 將和容量（功率）成比例：

$$M \equiv P' \equiv l^4 \quad (1-29)$$

如果研究每分鐘轉數 n 各不相同的同一類型的電機，則它們的容量將和轉數成比例：

$$P' \equiv Mn \equiv l^4 n \quad (1-30)$$

亦即在電機尺寸和電磁負載 B 及 Δ 相同時，電機的容量和轉速 n 成比例。實際上在電機的轉速增加到某一限度時，電機的容量比轉速 n 增加得快，這是因為冷卻條件的改善，可使 B 和 Δ 的數值略為增高。

上面已經指出〔等式(1-27)〕：電機的損耗和長度因次的立方成比例。但冷卻面積的增加只和長度因次的平方成比例。因此，隨着機器容量的增加，必須提高它們的冷卻強度而放棄它們幾何形狀上的相似。

(1-22)~(1-30)的關係式只在決定電機容量、損耗和電機尺寸的關係時作為一般參考，而且它們也只是近似的。實際在設計容量遞增的電機時，由於構造上、工藝上和其他的原因，總在某種程度上和這些關係式有出入。

1-3 主要尺寸比值的選擇

前面已經指出，電機的尺寸和電磁負載 A 及 B_δ 有關。如果正確選擇 A 和 B_δ ，那末從(1-7)可以求得 $D^2 l_\delta$ 。以後的問題便是要從已求到的 $D^2 l_\delta$ 來分別決定 D 和 l_δ 。決定 D 和 l_δ 係根據所選用的比值

$$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau} \quad (1-31)$$

λ 的選擇又和很多條件有關。

對一般的直流電機 普通選用 $\lambda = 0.6 \sim 1.2$ 。 λ 愈大，所得到的電機也就比較長。按照材料的消耗，機身長電機價格可以較廉，這是因為在這類電機裏，繞組的銅利用得比較好。此外，電機次要的（結構的）部件也較輕。不過由於受整流繞組導體中的電抗電動勢增大，整流的情況變壞，同時，冷卻的條件也較差，使在這類長的電機上不

得不採用較複雜的軸向通風。對小容量的電機，常常必須採用較低的 λ ，以便就它們所能接受的尺寸中，在電樞上獲得足夠的槽數。在某些情況下，採用提高的 λ 值是爲了要得到不大的飛輪轉矩(GD^2)[●]和在起動時減小電機的昇速時間和損耗。

對容量不大的異步電機，選擇 $\lambda=0.6\sim1.2$ ；對大容量的電機，則選擇 $\lambda=0.9\sim2$ ，其中較大的 λ 係在極數較多時採用。電機的過載能力和它的 $\cos\varphi$ 與 λ 值有關：最適宜的數值約爲 $\lambda=1\sim1.3$ 。當 $\lambda=1.5\sim3$ 時，可得到在銅的重量和損耗上，最適宜的電機。選擇 λ 同時也要考慮到電機通風系統的設計。軸向通風時所取用的 λ 比徑向通風時所取用的來得大。在徑向通風時，雖然需要消耗較多的材料，但是因爲定子和轉子的裝配以及繞組的安放容易，而且常常不需要裝置有特殊的通風設備，結果在熱量分配較均勻，製造困難較小的情況下，電機的運用更爲可靠。

對凸極同步電機， λ 和極數很有關係。正常的電機採用 $\lambda=1.2\sim2.5$ ，其中上限屬於極數較多的電機。對水力發電機中轉速高者，必須增大 λ ，因而減小轉子的直徑，使不至於有過高的圓周速度。相反地，對必須具有較高轉動慣量的電機，則必須減小 λ ，以得到較大的轉子直徑。

這樣，我們看到：關於決定 l_d 對 τ 的比值亦即在極數已知時選擇 l_d 對 D 的比值的問題，必須在考慮很多情況後解決。這個問題主要要在經驗數據的基礎上，亦即在合理設計的電機數據的基礎上求解答；這些電機的製造和運用，已證實它們製造時的簡單和經濟、運用時的可靠性、效率、 $\cos\varphi$ 和其他工作特性等的優良品質。

在以後研究各式電機的計算時，對 λ 的選擇將有更詳細的敘述。

1-4 成系列電機和個別電機的計算

在電機製造廠中，很少碰到要設計單獨的電機。只有當這個電機和製造廠內成批生產的電機，例如，在容量、運用特性和結構等相差很大時，才需要這種設計。即在這種情況下，也必須考慮到工廠內現有的正規設備（例如衝模、模型、樣板、量具等），使所選擇的電機尺寸，有可能利用到這些正規設備。

通常需要設計的是成系列容量遞增的電機——在結構上有統一共同性並作爲大批生產的電機。

成系列電機的設計是一個複雜而又重要的任務，因爲在設計時，必須考慮到很多的要求，而它們又往往是互相矛盾的：一方面要求電機在製造時盡可能採用較少的材料，要求它們的結構簡單、價格低廉，但另一方面又要求電機工作可靠，電機的特性不比國家標準所規定的特性爲差。

所有這些要求都只能部分滿足。設計者必須選擇適當的解決辦法。在某種程度上，可放棄，例如，單純由材料消耗觀點出發所認爲是最適宜的電機尺寸的比值。

在設計成系列的電機時，合理的生產組織和生產工藝等問題具有重大的意義，而這些問題又和零件的劃一和結構組合、零件的標準化等問題有密切的關係（這裏也牽

● 即轉動慣量。——譯者

涉到‘互換性’的問題)。

對異步和同步電機,就由於這些問題迫使設計者不得不這樣選擇定子的外徑,即在單獨改變定子的內徑並保持或僅稍稍改變電機長度的情況下,便可以得到不同容量和轉速的電機,並且對極數相同的2~3種電機,可以保持相同的內徑而只改變它們的長度。

對數種容量和轉速的直流電機,設計者也同樣地選擇相同的電樞外徑,而僅改變電樞的長度。

這樣選擇的結果,大大地減少了衝壓定子和轉子或磁極鋼片所需的衝模數量,減少了機座和軸承外殼的模型,對成系列的電機,可以採用同一的軸徑、軸承、整流子和繞組支架,並大大地減少了量具的數量等。

在選擇異步和同步電機的定子外徑或者直流電機的電樞時,必須遵照全蘇電氣工業工廠所必須執行的標準(МЭП 643-47)。這些標準係在考慮了電工鋼片最合理的剪裁後製訂的,這些鋼片的標準尺寸為:1000×2000 公厘², 860×1720 公厘²和750×1500 公厘²(參看附錄1)。

在直徑超過990 公厘時,必須進而採用定子或電樞的扇片裝配(參看§9-12),同時,也要根據標準尺寸鋼片的最有利剪裁來選擇直徑。

已經指出,在成系列交流電機中,某一種定子外徑,往往有數種適合本身極數的內徑和它配合,以便能夠應用同一種定子外殼、軸承外殼和其他的部件,這時,電機的長度可以保持不變,或者變化很少。對極數相同的交流電機,單靠長度的改變,可以得到不同的容量;這種長度的變化一般只限於兩種。當定子的直徑相同時,交流電機線槽的尺寸一般保持不變,它和定子的長度及電壓無關。

在成系列的直流電機中,每一種電樞外徑配合一個定子內徑,同時,對若干種容量和轉速的電機,可以保留下同一的機座和磁極的衝模,但槽數和它們的尺寸却跟着電樞長度和電壓而改變,這又和限制選擇槽數的整流子有關。

有時在選擇主要尺寸時,必須預見到各種變形的電機製造的必要性,例如,容量自1~100 仟瓦,大量應用的各式異步電動機。這裏必須注意,如何做到防護、封閉和防爆,以及如何提高起動轉矩和最大轉矩,或如何提高轉差率。

在所有情況中,當選擇主要尺寸的比值時,必須拿所推薦的 λ 值作為根據,選擇此值須適合於所採用的通風系統,並考慮到對兩相鄰型式獲得可以接受的 λ 值的必要性,此兩相鄰型式具有相同的定子直徑或電樞直徑。

1-5 電機計算的程序

這裏只指出電機計算的一般程序。在第十二、十三和十四等章中有比較詳細的敘述,在那幾章裏將研討到不同形式的電機的計算方法和程序,並用計算例子來說明。前面已經注意到,如果正確選擇 B_d 和 A ,從公式(1-7)可以求得 $D^2 l_d$ 的值。但選擇 B_d 和 A 普通又和 τ 或 D 有關,因此只好利用漸近法來解決求 D 和 l_d 的問題;求得負