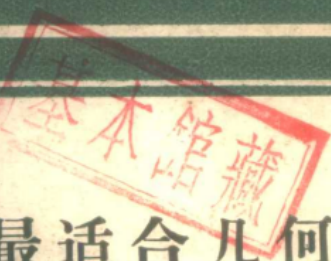


117587



电机最适合几何 尺寸的选择

波斯脫尼科夫著



机械工业出版社

4731

親愛的讀者：

当您讀完這本書后，請尽量地指出本書內容、設計和校对上的錯誤和缺点，以及对我社有关出版工作的意見和要求，以幫助我們改進工作。來信請寄北京东交民巷二十七号本社收（將信封左上角剪开，註明郵資总付字样，不必貼郵票），並請詳告您的通訊地址和工作职务，以便經常联系。

机械工業出版社



統一書号

15033·496

定价 0.60 元

电机最适合几何 尺寸的选择

波斯脱尼科夫著

浙江大学电机制造教研组译



机械工业出版社

1957

出版者的話

本書討論电机最适合的几何关系問題，即：材料和損耗价值的經濟比值問題、經濟电流密度問題，以及在選擇几何尺寸时如何考虑运用要求的問題等。書中还敘述了电机發热的計算方法和决定电流密度、鉄中的磁通密度和繞負荷經濟数值的方法。

本書适用於在电机制造部門工作的工程技術人員，以及大專电机系的学生。

苏联 И. М. Постников 著 'Выбор оптимальных геометрических размеров в электрических машинах' (Госэнергоиздат 1952 年第一版)

*

*

*

NO. 1272

1957 年 4 月第一版 1957 年 4 月第一版第一次印刷

787×1092¹/₃₂ 字數 80 千字 印張 3⁷/₈ 0,001—6,500 冊

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 0.60 元

目 次

序言	5
緒論	9
1 最适当尺寸的选择問題	14
2 按經濟的几何規律决定 $\beta = \frac{\tau}{l}$ 。在电机制造实践 中的 β 值	20
3 当电樞綫負荷 A 和磁通密度 B_δ 值一定时, 在已定 的 β 变化范围内, 根据相对損耗最小的条件来决定 最适当的 β 值	22
4 在第 3 节的条件下, 但考虑到在 β 变化范围内通風 損耗的变化时最适当的 β 值	27
5 根据活性材料重量最小的条件而其余条件都与第 4 节相同时所决定的最适当 β 值	33
6 關於考虑 $P = \text{常数}$ 时 B_δ 、 A 及 s 在 β 的变化范围内 的变化問題	35
7 电机的最小折合价值	36
8 不考虑及考虑通風損耗时最适当而經濟的电樞电流 密度	47
9 当鉄齿中磁通密度及比值 $\xi = \frac{\rho_{Cu}}{\rho_z}$ 給定时, 电 樞的經濟电流密度	54
10 根据最小折合价值这个条件得出的 $\beta = \frac{\tau}{l}$ 底 最适当数值	56
11 当 $\Theta_{Cu} = \text{常数}$ 时, 在 β 改变范围内綫負荷 A 与气隙磁 通密度 B_δ 的改变对最适当 β 值的影响	58
12 运行技术条件对选择 A 与 B_δ 的影响	60
13 經濟条件对电磁負荷与几何尺寸的影响	62
14 槽深对極距的比值	63

15 系数 $\lambda = \frac{b_n}{t_1}$; $\zeta = \frac{b_z}{t_2}$; φ_{Cu} , φ_{Fe}	67
16 最适当的軛重量与軛中損耗.....	68
17 当折合价值为最小时, 定子的銅損耗和銅重对轉子 的銅損耗和銅重的最适当比值.....	71
18 發熱条件和电磁負荷 A 、 B_δ 及 s	73
19 以極距函数表示的电机常数 C 的式子.....	76
20 电机通用常数 $C_s(C_R)$	80
21 电机的比热导 α_F 和 α_i	86
22 相对損耗公式.....	93
23 相对重量和相对材料价值公式.....	96
24 相对折合价值的公式.....	98
25 sA 准則.....	105
26 sB 准則.....	108
27 結論	110

附录

1 关于一次費用和运行費用的最有利比.....	117
2 当折合价值为最小时决定电机主要尺寸的例子.....	119
参考文献	122

序 言

本書編写的目的，主要是作为苏联高等学校所授的“电机設計”課程中研究經濟設計問題时以及在做課程設計和畢業設計时的教学参考書，因为經濟設計問題是極端重要的問題，因而把此項問題列入講課中就成为愈来愈必要了。同时本書對於在电力机械工厂中服务的工程师——計算員、設計師、及經濟学家也会是極有用处的。

在苏联共产党第十九次代表大会關於第五个五年計劃的指示中的第一和第四部分中指出：

“在設計新机器时，力求在提高質量的条件下減輕其重量”。又“……發掘和利用生产内部的潛力……，不断地改进生产方法，減低生产成本，实行經濟核算制。消灭浪費材料和装备的現象以保証进一步大量节省物資……”。

上述任务的完成需要周密研究电机的設計方法和制造方法。在这項事業中起主要作用的是苏維埃的設計師們、工艺师們和經濟学家們。

电机制造的經濟問題可以概略地分成四类：

1) 就下列各方面而言国家計劃的經濟性：动力經濟發展的总方向、各种类型电机發展的范围和速率等等；

2) 运用經濟性（运用期限、运用費用、可靠性、安全

性、运用簡單性、适合於一定的工作条件等等)；

3) 工艺經濟性 (新的材料、新的制造方法、統一化、标准化等等)；

4) 設計經濟性 (新系列电机的創造問題、設計規律性、最适当的尺寸比值、活性材料上經濟負荷的決定、机械計算問題、通風計算問題、及發热計算問題等等)。

我国(苏联)各主要工厂的設計師同人們已做了許多旨在降低电机生产成本的工作。例如“电力”(Электросила)工厂設計師們为偉大的共产主义建設在降低电机价格的問題上所取得的成就是众所週知的。但必須大大广泛地發展这种創举。必須把“电力”工厂及其他工厂的設計師們的經驗加以研究並系統化。必須出版關於电机制造經濟問題的書籍。

本書討論較狹窄的關於經濟設計問題的范围，即：电机底合理的几何关系問題，包括材料和損耗价值的經濟比值問題、經濟电流密度問題、在選擇尺寸时如何考虑运用要求的問題等等。

本書中所定的損耗与材料价值 (包括加工) 的經濟比值从估計各結構方案經濟性的观点来看是頗饒兴趣的，但因解决这样的問題还是初次嚐試，故尚需根据它們的实际使用来进一步地加以研究和确定。

决定电流密度、鉄中的磁通密度和綫負荷的經濟数值的方法是尤其重要的。如众所知，在設計輸电綫时利用所謂“价值双曲綫”。在电机中損耗价值与材料价值的最适当比值是更加复杂的，仅在个别情况下始可用价值双曲綫来表示。

本書中對於电机的最适当的几何比值問題將进行詳細的分析，由此求出若干簡單关系，便能获得个别电机，特别是

系列电机的初始方案（設計时初步选定的方案）。对系列电机来说，最重要的是求出初始电机（即系列电机中的基本电机）的最优良方案及求出从同一直徑的極端电机的經濟观点来看是可以容許的偏差。

但必須注意到所得的規律性並不要求絕對准确。电机的最适当尺寸只有当考虑到加於該类型电机的所有要求时才能求出（如运用要求、运用便利性、可靠性、工艺上的考虑、模具、工具、仪器、設備的具备、活性鉄从标准鋼片中合理地裁切等等）。所以本書內所提出的方法應該看作仅为决定初始方案的輔助資料之一，而以后採用的“最适当尺寸”一語應該在上述限制意义下来了解。

本書內分析了电机常数公式中的經濟的与热的系数，而且确立了通用常数，这常数對於各种电机都是一样的，並具有一定的經濟意义。这样使得当給定功率和轉速时能够選擇电机的最适当尺寸。

在第7、8、9各节中試圖尽可能求出評定各結構方案、經濟电流密度及磁通密度的經濟价值的簡單方法。但不應該將这几节內所示的結論認為十分严密或認為所得的規律性是絕對必須履行的。關於經濟准則問題还須进行适合於电机具体类型的更詳細的研究。

在第16及17节中研究了樞軛的最适当尺寸及定子和轉子的損耗与銅重之比的最适当值。樞軛尺寸实际上由其他許多因数决定（鉄片的裁切和現成模具的利用、直徑标准化、足够的机械强度問題等等）。定子和轉子損耗与銅重之比也由許多重要的运用要求（如过負荷能力、轉子發热、所需的激励磁通等等）决定。在不同类型的电机中这些要求是不同

的。我們所給出的方法只是根据若干經濟上的考虑，这些考虑在每种个别情况下均需作适当的确定。

最后作者對於苏联科学院 通訊院士柯斯秦柯 (М. П. Костенко)、托尔溫斯基 (В. А. Толвинский) 教授、阿烈克謝也夫 (А. Е. Алексеев) 教授和柯馬尔 (Е. Г. Комар) 工程師深致謝意，他們諸位在讀原稿內容時提出了許多珍貴的意見，作者同樣感謝伏尔傑克 (А. И. Вольдек) 工程師，他花了很大劳动來校閱原稿並補充了許多珍貴的内容。

作者

緒 論

在电机制造業的初期，就已經發生了制造具有最适当尺寸而且各主要尺寸間有着最适当比值的电机这个問題。只有最早的电机看起来才显然是很笨重的，或者在几何尺寸方面是不恰当的，但是后来多里沃-多勃洛沃里斯基(Доливо-Добровольский)所設計的电动机就已經大大地減少了这个缺点。

当然，当电机已經具备了人們所要求的基本功用以后，工程师的念头总是在寻求新办法，想用較小的費用达到同样的特性。

早在上世紀末叶就已經知道了某些关系，如果电机具备了这些关系，它就能在經濟上和运用上达到一定的要求。这些关系一直到現在也还具有相当效用。在国内外有关电机的名著中，这些关系有了进一步的發展。在苏联工程师們和学者們〔柯斯秦柯(М. П. Костенко)、阿烈克謝也夫(А. Е. Алексеев)、刘傑尔(Р. А. Лютер)、卡西耶諾夫(В. Т. Касьянов)、彼得洛夫(Г. Н. Петров)、卓且特(Ю. С. Чечет)、脫拉彼茲尼柯夫(В. А. Трапезников)、布尔加可夫(Н. И. Булгаков)等等〕的許多著作中，研究了在社会主义經濟制度条件下电机及变压器的設計、制造和运用的各种經濟問題。

最近本国文献中又重新討論了电机尺寸的最适当選擇問

題及电机底最适当（或經濟的）損耗和效率問題。在“电”雜誌中广泛地討論了經濟电流密度、折合价值和經濟損耗諸問題〔22、23、24、25〕[●]。但是不能說所提出的問題已經完滿地解决了。經濟計算問題應該不仅在总計劃中按照着粗略的指标进行研究，而是應該成为电机的电气計算和設計的有机構成部分。

如众所知，設計問題是一个帶有許多未知数的問題，企圖求出这些未知数間的数学关系並單值地解决合理結構的問題，是必然要失敗的，因为这些关系很多，而且很复杂。

因此，最适当的几何关系实际上常常是根据这样一些电机的經驗数据来选择的，这些电机的性能在电机制造的逐步發展过程中已經研究清楚並且改良过了的。在这个情况下只利用了最少数在實踐中驗證过的規律，其余就完全要憑設計师的經驗、敏感和技艺了。

这样的方法是完全正确而可靠的，但是它絲毫也不推翻建立一些很簡單的規律的必要性和重要性，使我們能够以較小的劳动和時間就可获得所希望的結果，特別是使我們能迅速地估計出結構尺寸的任何改变所产生的相对效果。

所謂“經濟几何”規律在当时曾起了很大的作用，而且直到現在也还有效，但是这些規律不能徹底解决实际电机的合理結構的一系列問題，因为它们撇开了所設計的电机必須滿足的各条件不管，即沒有理会到指定的運轉特性以及指定的溫度極限，同时它們也忽略了解决效率問題的必要性，亦即忽略了損耗价值和材料价值的比率問題。

● 方括弧內的號碼為本書參考文獻的序号，參考文獻排在本書最后一頁。——編者

在苏联学者——阿列克謝也夫、克拉沙夫斯基 (Б. Н. Красовский)、脫拉彼茲尼柯夫、彼得洛夫等——的著作中, 對於最适当几何尺寸的选择問題提出了新的解决方法。例如, 阿列克謝也夫在其所著的“計算及研究电机的綜合法”这一著作中, 首先敘述研究許多結構系数的方法及电机容量与这些系数間的关系。在克拉沙夫斯基的著作中研究了选择电机長度与直徑的比值的方法。但是这些著作中沒有考虑到被研究的系数本身的选择問題, 此外並假設損耗是已知的, 考虑到發热时的几何尺寸选择問題也沒有研究。

在众所週知的脫拉彼茲尼柯夫的著作中給出了相似性的一般条件, 根据这些条件可以求出实际电机, 特别是变压器的最适当的几何关系。但在許多著作中都假設損耗是已定的, 而且並沒有充分地研究, 从运用方面向設計師提出的条件以及这些条件對於选择几何尺寸的影响。

於是, 有些著作專門研究解决經濟或电气計算的局部問題。

但是孤立地研究一項电气关系或一項經濟关系是不够的, 而且常会引起内部的矛盾。

因此, 經濟几何規律虽然具有很大的方法性的意义, 但在設計时很少加以实际利用。

本書作者企圖一併研究这些关系, 此外还企圖將电机的發热条件包括到本書中去, 这些条件在推导一般規律时几乎总是不加以注意的, 但在設計任何电机时却是首先就要考慮到的。

設計一定容量的电机时用以決定电机各尺寸及其間比值的各种条件可适当地分为下列三大类:

1) 运行技术条件; 2) 经济条件; 3) 发热条件。

事实上所有这些条件在一定程度上是彼此有关系的, 但是, 把它们分开来研究在开头时是适当的。

第一項条件关系着一定电气特性的获得, 即关系着所需运行条件的满足 (例如同步电机的短路比、 $\cos \varphi$ 、漏抗、电压调整率等等)。

第二項条件关系着材料价值 (活性材料和结构材料)、加工价值及电机内的损耗价值 (或效率)。发热的条件在很大程度上决定电机的尺寸、尺寸间的比值以及结构上的特点, 所以最好是一开始就把这条件加以研究。

在初步设计时, 平常利用若干简化了的热负荷准则 (例如电流密度 j 与线负荷 A 的乘积)。但是, 不难证明, 这样的估计常常是有缺点的, 而且我们是能够制定其他虽不更加简单但却更加可靠的准则的。

要估计各设计方案的经济性, 利用电机的“有效折合价值” $\bullet M_o$ 的观念是方便的:

$$M_o = M_m + k \Sigma p$$

式中 M_m ——考虑加工价值在内的材料价值;

Σp ——总损耗;

k ——单位损耗的等效价值, 即单位损耗价值化成材料价值计算。

本书中将指出: 估计许多情况中的经济性时, 无需知道材料或损耗的绝对价值, 像平常经济计算那样, 因为在最经济结构的条件下, M_m 与 $k \Sigma p$ 之间存在着一定的比值:

$\bullet$ 须知这里所引入的“折合价值”概念显然是与脱拉彼兹尼柯夫所用的“折合价值”概念 [23] 是不同的。

$$\frac{k \Sigma p}{\Delta T_m} = k_s \approx \text{常数},$$

这比值無論對於整个电机而言，或是單對其中个别的活性材料而言，都是正确的。

要从上述三个条件的观点来表征电机，必須取几个（最少数的）基本参数，或称“坐标”，这些坐标要能表示为电机的某一个几何参数的函数，於是就能決定相當於最适当几何关系时的这些坐标值。

确定最少数目的一般規律（包括最重要的結構的、技术經濟的及热的因数），對於有經驗的設計師來說，具有輔助的方法学上的意义。这些規律對於工程師的实际訓練來說（例如課程設計及畢業設計）具有特別的意义，因为青年工程師習慣於不按現成的方案設計，而是利用一定的方法来求出自己的解答。有了一般方法以后，在設計時所用的实际工厂中的数据 and 曲綫，也就有了更大的意义和价值。

本書中确定了選擇几何尺寸及合理的几何关系的方法，在这种方法中一定的技术条件、經濟条件及發热条件是用最少数几个关系式表示出来的。应用这种方法以后就能够比以前快得多地選擇在滿足摆在設計師面前的技术条件和要求的情况下的最适当的結構。这里所謂最适当的結構就是說它的成本是最小。

本書按其內容分为三部分：在第一部分內把任务提出来了，並且研究了一般关系；在第二部分內研究如何選擇电机中最适当的極距与長度的比值的問題；在第三部分內得出一系列的一般关系，用以選擇在考虑到电机的参数和發热条件时电机的最适当尺寸。

公式的写法及参数的符号等等都是根据同步电机的，但

公式具有普遍的意义。對於其他电机仅加入表示特殊要求和条件的量（例如，直流电机的整流条件、感应电机的励磁电流及 $\cos\varphi$ ）。

1 最适当尺寸的选择問題

如上所述，在設計容量已定的电机时，用以选择电机几何尺寸及其比值的各种条件，可以分成三个基本类别：

1) 运行技术的条件，2) 經濟的条件，3) 發热的条件。

按照將条件分成上述三类的实质来看，可以列出一些一般的想法，即：电机显然可以做得完全滿足三項条件中的一項或兩項，而不能滿足其他兩項（或一項）。例如，电机可以达到所要求的电气性能，但它的成本就較貴；或者，例如有兩台电机，都滿足前兩個条件，而在發热方面可能不相同。从前面兩個条件的观点来比較兩台已設計好的电机，显然，應該在某一定的电机繞組溫度下来进行比較，这点在实际上有时是不被注意到的。电机設計師不能像实际上常常所做的那樣，仅遵循着第一和第三項条件，而應該更細心地对待經濟条件，使所获得的不仅是优良的而且也是价廉的电机。

这三項条件是互相关联的，並由許多几何量及其比值来确定。取出这些比值中最少数的几个是适宜的，这样可以解决它們的最适当选择的問題。

为了正确地选出这些比值，我們先来研究所熟知的表示几何尺寸、功率、轉速和电樞的比电磁負荷間的关系的公式。對於交流电机來說，这公式如下：

$$P = \frac{\pi^2 k_w}{\sqrt{2}} B_\delta A D^2 l n, \quad (1)$$

式中 k_w ——繞組系数 (對於三相繞組來說, $k_w = 0.92 \sim 0.95$);

B_δ ——氣隙中的基波磁通密度 (韋伯/公分²);

A ——電樞的綫負荷 (安/公分)[⊙];

D ——電樞直徑 (內膛直徑) (公分);

l ——(計算的)長度 (公分);

n ——轉速 (轉/秒)。

而對於直流電機來說, 這公式則為:

$$P = \pi^2 \alpha_i B_\delta A D^2 l n, \quad (2)$$

式中 α_i ——極弧系数;

B_δ ——氣隙中的磁通密度 (在直流電機中系指實際的最大值);

A, D, l, n ——同上所述。

只要把電動勢值

$$E = \pi \sqrt{2} \Phi \omega f k_w = \pi \sqrt{2} D l B_\delta \omega k_w n$$

和電流值

$$I = \frac{\pi D A}{2 w m}$$

代入內在功率的公式

$$P = m E I,$$

就可得到 (1) 和 (2) 式, 上式中的 m 表示相數。

如果用極距 $\tau = \frac{\pi D}{2p}$ 代替直徑 D , 並引入頻率 $f = p n$,

則從 (1) 式可得交流電機的功率

$$P = 2 p f \sqrt{2} k_w B_\delta A \tau^2 l, \quad (3)$$

⊙ 以後凡有關交流電機電樞 (定子) 的電磁量不在符號右下角加角註, 而有關被感應部分 (轉子) 者則加角註 "2" 字。