

114256



高等学校教学用书

电机结构学

阿列克謝也夫著



教师参考室

陈列图书不得携出室外



机械工业出版社

高等学校教学用书



电机结构学

清华大学电机系译

苏联高等教育部审定作为
电工和动力学院教学参考书



机械工业出版社

1957

出版者的話

本書敘述近代电机的一般結構和最主要的結構部件，並介紹各零件強度的計算方法。書中還闡述了电机的通風及熱計算的原理，提供了設計直流电机和交流电机結構的具体方法。

本書系供高等学校电工和动力專業作为教材，对从事电机設計和研究工作的电机工程師和使用电机的工作人員也是一本良好的参考書。

苏联 A. E. Алексеев 著 'Конструкция электрических машин' (Госэнергоиздат 1949 年第一版)

* * *

NO. 1305

1957 年 2 月第一版 1957 年 2 月第一版第一次印刷

787×1092¹/₁₆ 字數 594 千字 印張 24¹/₉ 插頁 2 0,001—6,000 册

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 新華書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第 003 号

統一書号

15033·449

定价(10)3.40元

目 次

原序	7
緒論	9
1 我國(苏联)电机制造發展簡史(9)——2 現今电机制造的發展趨勢(11)	
第一章 电机的主要型式和基本結構	14
I 決定各种电机的結構的主要情况	14
3 引言(14)——4 發电机的主要拖动方式(15)——5 电动机的主要应用情况(21)——6 總結語(23)	
II 电机按結構特征的分类	25
7 關於电机的分类(25)——8 一般的电机分类(25)——9 按容量的分类(26)——10 按轉速的分类(26)	
III 电机的典型構造型式及其結構簡圖	26
11 主要結構型式(26)——12 从主要型式变化出來的結構型式(28)——13 立式电机結構(28)——14 船塢电动机的結構型式(30)	
IV 电机的机械防护方法	32
15 过去的情况(32)——16 电机的运行条件(32)——17 电机按保护方式分类(33)——18 补充說明(34)	
第二章 通風計算基礎	35
I 电机的冷却方法和主要的通風系統	35
19 冷却方法(35)——20 引送式和封閉式通風(37)——21 氬冷却(39)——22 輻向和軸向通風原理(40)	
II 电机实际的通風系統	43
23 抽風式自己通風(43)——24 打風式自己通風(45)——25 机外面自己通風(51)——26 論防爆电动机(56)——27 論汽輪發电机的通風(58)	
III 立式水輪發电机的通風	60
28 通風系統的分类(60)——29 开啓式發电机(62)——30 由机器房取入空气而將它放出厂外(64)——31 封閉引送式通風(64)——32 封閉式通風系統(65)	
IV 电机通風迴路中压力損耗的計算	68
33 通風計算的任务(68)——34 压力的工作及流动压力(68)——35 局部的压力損耗(70)——36 風路的流体阻力(73)——37 串联和並联風路(74)	
V 風扇	76
38 風扇的一般分类(76)——39 風扇結構(76)——40 离心式風扇的基本方程式(80)——41 內裝風扇的近似計算(82)——42 通風型式的选择(86)——43 螺槳式風扇工作的物理概念(86)——44 螺槳式風扇的計算(88)	
VI 通風計算例題	90
45 双电机的風阻計算(90)——46 直流电机通風計算(93)——47 离心式風扇計算例題(93)——48 螺槳式風扇的計算例題(96)	
第三章 电机的热計算	99
I 概論	99
49 热計算的任务(99)——50 温升的允許限度(100)——51 电机的各种不同的工作情况(102)——52 电机的額定数据(103)	
II 穩定温升計算	103
53 基本定义(103)——54 絕緣厚度上的温度降落(105)——55 表面散热(107)——56 遮蔽而吹風的表面	

的散热及空气温升系数(111)——57 热流綫路圖的概念(115)——58 穩定状态下的热流綫路圖(117)——59 最热点的决定(119)	
III 不穩定的热流情况	121
60 均質物体發热和冷却的基本方程式(121)——61 結論(124)——62 电机在短时工作情况下的發热(126)——63 同步电动机启动繞組發热的計算(130)	
IV 發热計算例題	132
64 封閉式电动机的發热計算(132)——65 短时期运行中电樞的發热計算(135)	
第四章 电机制造所用材料的主要数据和工藝性簡論	133
I 有效材料及結構材料概述	133
66 有效材料和結構材料(133)——67 导体材料的物理特性(133)——68 絕緣材料(143)——69 漆和膠(143)	
II 結構材料的特性和許用的机械应力	144
70 电工鋼片(144)——71 軋压鋼和鍛鋼(145)——72 紫电樞用的綁綫(148)——73 鑄鋼(148)——74 鑄鉄(149)——75 巴氏合金(軸承合金)(149)——76 材料所經受負載的方式(150)——77 材料的許用机械負載(151)	
III 工藝性簡論	152
78 部件的互換性(152)——79 标准。尺寸的标准化(153)——80 公差与配合(154)——81 銲成零件的結構形式(155)——82 銲接結構的一般指示(158)	
IV 在不同生產方式下电机結構設計的特点	160
83 生產的方式(160)——84 由不同生產方式所决定的設計原則(162)	
第五章 轉子的繞組和磁極	164
I 異步电机和直流电机的轉子繞組	164
85 短路繞組(164)——86 單層繞組(166)——87 双層繞組(166)——88 均压联接綫(173)	
II 同步电机的轉子磁極和繞組	176
89 磁極的裝置(176)——90 磁極綫圈(178)——91 圆柱形轉子的繞組(180)	
III 旋轉繞組的固定	181
92 轉子的綁綫(181)——93 綁綫的結構型式(183)——94 綁綫的強度計算(185)——95 箍环(187)——96 轉子槽楔(189)	
IV 極間撐塊	190
97 極間撐塊的类型(190)——98 極間撐塊的計算(191)——99 磁極綫圈及撐塊的計算程序(194)	
第六章 滑环和換向器	196
I 滑环	196
100 同步电机的滑环(196)——101 單电樞換流机的滑环(199)——102 異步电机的滑环(200)——103 滑环的材料和尺寸(205)	
II 換向器結構	205
104 換向器分类和总論(205)——105 小电机的換向器(210)——106 大型电机的換向器(214)——107 分段換向器(215)——108 帶有箍环的圆柱形換向器(216)	
III 換向片尺寸的決定	219
109 換向器長度(219)——110 換向片的徑向高度(220)——111 換向器尺寸(221)	
IV 換向器各部分的強度計算	221
112 作用在換向片上的力(221)——113 基本应力的計算(222)——114 圆柱形換向器主要部分的应力(224)——115 圓錐形压圈中的应力(226)——116 溫度应力產生的情况(229)——117 換向器計算例題(231)	
第七章 轉子結構及強度計算	236

I 直流电机及異步电机的轉子	236
118 疊片轉子(236)——119 扇片轉子輻(240)——120 轉子星形支架(242)	
II 同步电机的轉子	243
121 整本轉子(243)——122 疊片鉄心(249)——123 圓柱形轉子(256)	
III 轉子的強度計算	258
124 轉子最簡單鉄心的計算(258)——125 扇片轉子計算(260)——126 帶有輪輻的鑄造轉子計算(263)——	
127 鑄成飛輪輪輻的剛度(265)——128 磁極鷓尾及固定螺釘的計算(266)	
第八章 軸	267
I 軸的工作条件及其裝置	267
129 軸負載的形式(267)——130 軸的各種負荷情况的分析(268)——131 合成軸的說明(270)——132 軸的各部分(272)	
II 軸的計算	276
133 用分析法确定軸的撓度(276)——134 磁拉力(280)——135 軸尺寸的确定(282)——136 軸的計算例題(284)	
III 橫振盪	290
137 橫振盪公式的導出(290)——138 臨界轉速一般等式的導出(293)——139 考慮摩擦時軸的臨界速度(295)——140 决定电机轉子臨界轉速的实际方法(297)	
IV 扭轉振盪	299
141 扭轉振盪的發生(299)——142 柴油機組的强制振盪(302)	
第九章 电机旋轉部分的支架	307
I 滑動支架	307
143 軸承支架的作用和特性(307)——144 臥式电机的軸承(308)——145 支撐軸承的結構尺寸和材料(320)——146 導軸承(321)——147 推力軸承(323)	
II 流体动力摩擦的理論的概要	327
148 流体动力摩擦的基本方程式(327)——149 推力軸承的計算(330)——150 支架軸承的計算(335)——151 導軸承的計算(342)——152 支架軸承的計算例題(343)	
III 滾動摩擦的軸承	344
153 構造概述(344)——154 滾動軸承的許可負載的選擇(348)	
第十章 導磁机座	351
I 導磁机座的繞組	351
155 一般分類(351)——156 銅綫綫圈(351)——157 扁銅綫綫圈(353)——158 补偿繞組(355)——159 阻尼繞組(355)	
II 導磁机座的極	356
160 主極(356)——161 小型及中型电机的換向極(358)——162 大型电机的換向極(358)——163 單電樞換流机和併合电机的換向極(359)	
III 導磁机座的結構	359
164 机座的一般結構(359)——165 小型導磁机座(360)——166 中型电机的導磁机座(362)——167 大型电机的導磁机座(363)——168 磁極固定裝置的計算(365)——169 机座強度的計算(367)——170 底脚螺釘的計算(368)	
第十一章 交流电机的定子	369
I 定子繞組	369
171 繞組的一般分類(369)——172 繞組安裝到槽中(370)——173 端接部分的尺寸和佈置(372)——174 端接部分的固定(377)	

II 定子鉄心	379
175 定子鉄心(379)——176 定子鉄心中通風槽的結構(381)	
III 定子机座	382
177 概述(382)——178 小型电机的机座(382)——179 中型电机的机座(386)——180 大型电机的机座(388)——181 立式电机机座構造的特点(388)	
IV 交流机定子机座的計算	389
182 弯度和应力的決定(389)——183 机座的振动(393)——184 定子鉄心的齒压片和拉緊螺桿的計算(394)	
第十二章 導电部分	397
I 电刷和刷握	397
185 电刷(397)——186 刷握(397)——187 刷桿(400)——188 刷握的支架(401)	
II 电刷座圈和匯流条	404
189 电刷座圈(404)——190 匯流条(406)	
III 电机的出綫	407
191 出綫头(407)——192 出綫盒(409)——193 汽輪发电机的出綫头(410)——194 水輪发电机的出綫(411)	
第十三章 联軸器、皮帶輪和底板	412
I 联軸器	412
195 联接的方式(412)——196 硬联接(413)——197 彈性联軸器(414)——198 半彈性联軸器(415)	
II 皮帶輪和緊輪	416
199 有圓柱形輪緣的皮帶輪(416)——200 決定皮帶輪的最小直徑(417)——201 槽形面輪緣的皮帶輪(417)——202 緊輪(418)	
III 滑軌和底板	419
203 滑軌(419)——204 底板(420)——205 底脚螺釘(422)	
第十四章 电机結構設計的方法	423
206 直流电机的結構設計(423)——207 異步电动机的結構設計(425)——208 臥式同步机的結構設計(426)——209 汽輪發电机結構設計的特点(427)——210 水輪發电机的結構設計(428)	

原 序

苏联电机制造工厂在许多重要的电机制造上站在全世界许多最著名工厂的前面。祖国工厂出产了在全世界电机制造业中划时代的电机。其中包括容量为125000仟伏安，转速为3000转/分氩气冷却的汽轮发电机和容量为67000仟伏安，转速为62.5转/分的水轮发电机。它们是在自己的类型中的最高记录。

电机里有许多因素，这些因素决定电机各部分的强度、各部件之间的正确的相互作用、和电机的发热情况，这些因素如果没有广泛的科学的综合，这类的电机是不可能制造出来的。

祖国电机工业累积了丰富的经验，在这个基础上先进的理论得到了探讨和修正，并且有成效地用来解决摆在电机工业面前复杂的问题。因此在高等学校里不能仅仅传授给学生一些初步的电机设计的知识，这些知识是在国外高等学校传授给学生的而且是革命前的旧东西。在培养工程师时，即将来电机制造工厂的工作者时，应不仅在电机的设计程序上，而且应该在学校里就对电机的结构要熟悉起来。直到现今在世界工程的文献中还没有解决这问题的书。本书乃是弥补这一空白点的初次尝试。

本书著者的目的在於把许多电机制造工厂的经验综合起来，这些工厂是他在过去许多年实际工作中有联系的。在走向这方向的第一步里很难说没有一点瑕疵。可能著者对这些或那些电机的看法影响到资料的排列和某些问题的细述。也可能有些在制造上没有困难，在运行中没有严重不好的经验的电机，在这本书里没有突出地反映出来而从教学的观点来看是必要的。

“电机结构学”这本书是使学生熟悉电机的主要结构问题——它们的总装置，冷却的方法和计算，还有电机主要零件的强度和刚度计算。

在书中各部分适当之处说明了现今电机制造工艺的趋势在於提高电机在运行中的可靠性和简化制造工艺的过程。

书中各部分的分配是按照问题的性质和电机部件的结构，而与电流的种类无关。这样安排使学生对于电机有总的概念。如果这本书的次序是按照讲电机原理的一样，则不但没有特别的优点而且会使篇幅过大，因为对不同样式的电机不可避免地会有重复之处。当然，现在的安排免不了在有些情况下对某些电机部件的结构特点，仍须按照它用在那一种电机而加以讨论。这样来说明局部情况不仅不会打乱本书的总规划，而且从研究各种电流的电机中的个别的差别中，可以对各种电机结构上的共同性更体会得深刻。

本书内容环绕着各类电机的基本结构系统，并指明决定各种用途的电机的结构的基本条件。在结构的详细说明上只限于现在实际中已通用的主要类型的电机。

在主要型式和结构系统的概述之后就讨论电机冷却问题。这样叙述的次序是因为在研究

电机的通風系統和發热情况时学生对电机能有整体的概念，当他研究电机的各部分时候，他不僅了解这些是电机的結構元件而且也認識到它們也是通風系統中和热綫路中的一部分。

电机通風問題放在發热計算之前是因为如果没有从通風計算所得的数据就不可能進行热計算。

關於材料这一章，它的性質是和其它的不同些。这里提出了电机里所用材料的数据並且討論了一些關於制造上的問題。这些知識可以有助於对电机各部分正确地选择材料。

在討論电机主要結構部件的各章里，著者着重在全面的介紹現代的結構，並且適当地指出各种方案的优点和缺点。在这几章里除了說明电机各部分在正常运行中和非正常运行中的应力和变形的計算方法外，而且也給出了那些不進行計算的零件的尺寸，它們是从已造成的，結果良好的电机中相类似的零件中选定。

本書主要在於滿足高等电机技術学校学生和教师的需要。著者希望它能減輕課程設計和畢業設計領導教师的負担，並且是“电机設計”課程中結構部分的良好参考教材。

著者認為对工厂里進行各种电机設計的实际工程师这本书也是有用的，因为这里边有許多数据是根据許多电机制造厂的經驗而做出。書中对多数大电机制造厂的电机結構做了比較。

最后著者对許多位基洛夫(С. М. Киров)“电力”(Электросила)工厂的工程师們，特別对斯大林獎金獲得者——主任工程师柯馬尔(Е. Г. Комар)，工程师叶烈密也夫(А. С. Еремеев)和費道罗夫(В. П. Федоров)，和总电机工程师，科学技術博士刘傑尔(Р. А. Лютер)，为了他們的友誼的帮助表示热誠的感謝。

著者的从前的学生，節罗(А. Р. Деро)，克拉索夫斯基(Б. Н. Красовский)和拉霍夫斯基(Е. М. Раховский)工程师为了他們在本書上工作的帮助而表示謝意。特別可貴的是節罗的帮助，屢次地校核原稿並閱讀和校对印稿。

著者請求讀者把意見和願望寄到下列地址：列寧格勒，88，Невский пр. 28，动力出版社。这些意見在下次本書再版中会得到考慮。著者对願把意見寄送來的讀者們先为致謝。

——著者——

緒 論

1 我國（苏联）电机制造發展簡史

在所有的电学理論的發展各階段上，尤其在把它們应用到实际的技術上是与俄罗斯学者，工程师和發明家的名字分不开的。

在前一世紀的开始时，俄罗斯在电工方面接連有过具有世界意义的發現。

早在1804年彼得洛夫（В. В. Петров）已發現电弧；这个發現決定了以后的电能在照明方面和电鍍方面的应用。

在1832~1833年雅考比（Б. С. Якоби）和楞次（Э. Х. Ленц）的工作使法拉第的电磁理論得到進一步的發展。由於这些工作的結果而建立了感应电流方向的定律（楞次定律），並且說明了它的主要理論，由此而奠定电机可逆性的原則。

於1834年雅考比發明了第一个有轉动电磁的电动机。这个电动机被公認為第一个实现的沒有往复运动機構而直接獲得旋轉运动的电动机。在雅考比的發明以前，沒有一个曾超出活塞式發动机（蒸汽机）結構的範圍，而在电动机里重复使用了某一种形式的曲軸和連接桿的机件。

在雅考比的第一个电动机里奠定了換向器的基礎，沒有它現代的直流电机的运行是不可想像的。

把他所發明的电机应用到船的行駛上，雅考比已超出自己的时代許多年。

后来楞次發現並闡明了电樞反应的物理现象。此后楞次又拟定了当电流通过有效电阻时所產生的热量的著名的定律。

在这些年里斯多列多夫（А. Г. Столетов）作了關於鋼在磁化过程中磁導变化研究的重要供獻，換言之，他發現了鉄磁路中的饱和現象。

1880年拉其諾夫（Д. И. Лачинов）發表了關於电动机的轉矩和效率的論文，这样就开始从能量的观点去考慮电动机。

傑出的發明家雅布罗契可夫（П. Н. Яблочков）和烏薩金（И. Ф. Усагин）在1882年創造了世界第一个变压器，这样就开始了交流电在照明的網路上和以后在电力傳輸綫上的应用。

此外，雅布罗契可夫以俄罗斯第一个电机制造工厂的創办者而聞名。1885年在这工厂里製造了世界第一台兩種电流的电机。它們是由雅布罗契可夫和著名的結構專家波列士科（А. Н. Полешко）設計的。从換向器上給出直流而从同一电樞上的滑环給出單相或二相的交流。这种电机直到現在还保持它的重要意义。

十九世紀九十年代的开始时，优秀的俄罗斯工程师陶利沃-陶布罗夫斯基（М. О. Доливо-Добровольский）在全世界第一次倡議採用三相交流。他發明了鼠籠式感应电动机，其中的主

要的結構形式一直保留到今天。

同時值得注意的是在提高鼠籠式電動機的性能的研究工作中，陶利沃-陶布羅夫斯基在1893年發明了雙鼠籠電動機。

上世紀的末尾和這世紀的開始時在俄羅斯的各城市中建立了電機工廠，在這里邊許多天才的俄羅斯工程師的創造得到了實踐。特別要注意的是在現在稱為“電工”（Электрик）的工廠里於1910年出產伏羅格金（В. П. Вологдин）系統的高頻率機組。這些電機在它們的工作可靠性和結構的簡單上遠遠地超過了外國公司所生產的同類電機。上述工廠所生產的用於運輸設備上的直流電機是俄羅斯設計思想的巨大成就。這種電機是封閉式的；具有一小時額定容量，並在很大的超額負載時其換向極為穩定。自1910~1916年製造了許多這種電機，是由本書的著者所設計的。大多數這些電機到現在還很好地工作着，能在許多的運行性能上和現今的電機較量。

在偉大的社會主義十月革命以後，進入了新的時代，在這時代中我們的學者和工程師的科學的和創造的理想，從資本主義的末路上解放出來，在他們前面展開了寬廣的道路，這是我國電機製造發展的主要因素之一。

在實現偉大的列寧斯大林全國電氣化計劃和歷次斯大林五年計劃中，以工程技術史上從未見過的速度的，電機的生產範圍開始擴大，不但在類型上而且在額定功率上和旋轉速度上都急劇增加。

各類的電機製造重新建立起來，例如水輪發電機製造，汽輪發電機製造和中小型交直流電機的大量生產。

早在1927年“電力”工廠就製造8750仟伏安、75轉/分的水輪發電機，它們是用在窩爾霍夫斯基水電廠的，其結構設計是在著者的領導下進行的。我們現在可以說，這些電機的性能，和它的工作可靠性，都超過了裝在同一電廠里的瑞士的水輪發電機。必須注意，在那時候窩爾霍夫斯基的水輪發電機是歐洲最大的電機。

到1932年我國水輪發電機製造已經達到美國水輪發電機製造的水平而且能夠完成第聶泊水電站的裝配。

到1938年蘇聯電器工業在大型水輪發電機製造的範圍上已超過了美國；在這時候就製造了68750仟伏安，62.5轉/分的水輪發電機，在它的尺寸大小和在推力軸承的壓力方面都是前所未有的。

次年製造了世界上最大的兩極汽輪發電機，它們是100000仟瓦、3000轉/分，用空氣冷卻的。

在偉大的衛國戰爭後，基洛夫“電力”工廠製造了功率125000仟伏安，3000轉/分，氬氣冷卻的兩極汽輪發電機。

這樣就不論在電機製造各門類發展的規模上，或祖國工廠所生產的單個汽輪發電機和水輪發電機的功率上都超過了其他國家的電器工業。

蘇聯的機器製造工業的力量已足夠完成歷次斯大林五年計劃所給它們的任務。祖國的電器工業對各種電廠設備，包括高壓的變壓器，能完全自給自足而不仰仗國外的輸入。

苏联的电机制造的成就应归功于列宁斯大林党和苏联政府给予它们的重视。它的成就也归功于苏联的电气工作者——学者，发明家，先进工作者，胜利地完成了电机制造中结构和工艺改进的任务。在这方面可以提到：伏罗格金——第一个高频率电机的创造者；倪克勤（В. П. Никитин），他发展了一系列的电焊机；刘傑尔，他是苏联最重要电机的计算方法著者；叶夫列莫夫（Д. В. Ефремов），高斯琴科（М. П. Костенко）和奥琴格（И. А. Одинг），他们的试验和理论工作对各种电流的电机设计开辟了新的道路；科马尔（Е. Г. Комар），格魯索夫（М. Н. Грузов），叶烈密也夫（А. С. Еремеев）和費道罗夫（В. П. Федоров）在我国工厂最大的电机上进行了工作；卡西雅诺夫（В. Т. Касьянов），他的名字和最大的直流电机的创造是分不开的；杜加利诺夫（Н. П. Тугаринов），烏魯索夫（И. Д. Урусов）和科拉索夫斯基（В. Н. Красовский）建立了电机零件机械强度计算方法；伊凡诺夫（Н. П. Иванов），高斯金（В. К. Костин），还有許多其他的人。

在科学和工厂的工作者们创造性合作的基础上不断地努力改进技术，这是决定我们电机制造工厂今后工作的主要原则，这样可以不断地提高苏联电机制造工业到更高的水平。

2 现今电机制造的发展趋势

现今电机的特点是它们应用领域的扩大和与此同时的每台电机功率的增长。不论在电能生产方面或机床和机构的拖动方面，我们可以遇到直径从几公分到几公尺的电机。电机的功率可能从几瓦到几万甚至几十万千瓦。电机的转速范围也很广，从每分钟几十转到几万转。应用场合的不同和功率及转速的宽的范围使电机在构造形式上有很大的不同，而在它们的基本结构上则差别较少。

现今电机的第二个特点是材料用量和外形尺寸的不断降低，同时还维持它们的效率和过载能力。为了说明这一点在第一表中列出三相鼠笼式感应电动机的外形尺寸和重量，功率自3.7到4.0千瓦，它们是在不同年分里制造的。

表1 异步电动机的外形尺寸和重量

制造年份	功率(千瓦)	转速(转/分)	机座外径(公厘)	总长(公厘)	总重(公斤)
1893	3.7	1500	450	600	150
1903	3.7	1500	430	550	105
1913~26	4.0	1500	390	500	94
1926	4.0	1500	335	470	65
系列1932	4.0	1500	310	450	60
系列1937	4.0	1500	290	400	56

电机功率的急剧增长和材料用量的降低，主要是由完善地解决了大电机里的两个主要问题：1）电机附加损耗的计算，和绕组导线（扭绞和换位）及电机零件构造的改进使电机附加损耗显著地降低；在需要之处用非磁性材料来做结构的零件，对于减低损耗起了重大作用；2）对于长铁心电机冷却系统的改进；在多数情形下这问题的解决使我们发现电机的新

通風系統。

能使电机功率增大，許多种类强度高新材料的出現是另一个主要因素。过去在电机里只需要应付低週速的，它們零件里的应力較小，所以沒有問題。現在要制造大功率电机，必須採用相当高的週速，这样在零件里会产生大的应力。另一方面为了尽可能減低电机成本也要求增加材料的应力負載。

与增加电机零件材料的应力負載的同时，也增加了电磁方面的負載。本世紀头二十年里所做的电机，它們的繞組導綫中的电流密度和極距內每單位長度中安匝数（ AS ）要比現在的电机中所用的小一半以上。因此那时的电机每單位空气冷却面所散出的热量也小得多。当構造这一类的电机时很少需要考慮它們的通風是否合適，因为不採用特殊办法已經得到足够的冷却。但在設計現今的电机时，適當的冷却要特別注意。只有解决冷却系統問題后，才能順利地实现增加电与磁的負載和減少电机重量。时常因为空气的通路不够，为了改善通風需要把有些結構零件做得小些，这样就必須細心校核它們的强度是否足够。有时在这情形下須採用更好的材料。

在过去的电机里零件的机械負載很小，設計者可以从类似的結構來選擇材料以至零件的尺寸，換言之憑他的“用眼估計”或“敏感”。在現今的电机里以这种用眼估計的方法來解決問題是不行的。这里必須要詳細地計算各部分的应力，並小心地選擇適當的材料，有时还要去找新的材料。現已有許多种类的材料特別为电机制造业用的，而以后在别的工業里也得到採用。这些是：非磁性鍛鋼和鑄鋼，非磁性鑄鐵，鉻鎳鉬的合金鋼，輕的抗蝕合金。

一面研究新的有提高的特殊特性的材料的机械性能，另一面還必須進一步擴大我們对早已有的材料的知識，它們使用的正确性大部分还没有引起任何的怀疑。然而正是这些材料是使我們早几批大机器發生嚴重损坏的原因。在零件强度的計算上並未發現錯誤，应力也沒有超过所允許的标准而且材料也都符合所提給它的一切要求。在研究它們损坏的原因时發現，或者是材料处在一种負載情況下，其中含有週期性变化的成分，因此發生現在所謂材料的疲劳，或者因为零件在鑄造或鍛造的过程中处理的方法錯誤使材料有高的剩余的內应力。

即便在看上去好像很簡單的工藝程序如退火，虽經過小心的处理，在大的鍛件里，还会發生相当大的內应力而不能从普通的样品試驗中予以發現。虽然是同样的退火如經不小心或不正确的方法來处理，在大尺寸的鍛件中會發生極大的內应力，当它加到材料的工作应力上，將增加它的机械負載而可能使它损坏。

制造期限的長短也会影响电机制造的成本。电机的制造日期愈長，它所需要的週轉資金也愈大，而这些物資停留在制造过程中也愈久。此外这个机器所需要的車間面積也愈大。虽然縮短制造期限最主要依靠適當的安排生產，即生產的計劃，但設計者在这一方面也起着重大的作用。

最近二十年來电机制造业在零件的制造上採用了新的方法，如火焰切割，鐸接，用强大高速冲床冲片，热冲，磨輪加工和电加工。这些新方法加速了制造过程並且減輕了一些重量。特別对大功率电机結構零件有影响的是电鐸。在單獨訂購的大电机里鐸接的零件不需要

模子，因此能把制造日期縮短2~3月。除了縮短制造日期以外，銲接零件往往是更輕更堅固。如果此时不需用特別材料，銲接的零件会比鑄件還要便宜。

如能適當地混和採用鑄的和銲的零件，可以減少制造期限，降低成本並提高其运行中的可靠性。

要擴展电机的使用範圍，就必須要做出各种类型的电机，它們能使用在戶外，在潮湿或多塵土的地方，在含有各种气体的空气中，甚至在水里面。电机制造業做出了許多种类的特殊电机如冶金工業用的，煤業用的和吊車上用的电动机。这里所謂的特殊电机是指它們有嚴格規定的使用範圍，例如用在礦山的對於沼氣或汽油揮發物有防爆性能的密封电机，和裝置在被拖动的机器里面的电机。特殊电机的生產是现代电机制造業的最重要趨勢之一。

第一章 电机的主要型式和基本結構

I 决定各种电机的結構的主要情况

3 引言

电机的結構設計的工作是在由电磁計算得出各部件的尺寸之后才進行的。这些部件都参与电机的电磁工作过程，即所有磁路各部分，所有通电流的部分（繞組，換向器，滑环，电刷裝置）和絕緣。所有这些部分的重量总和称为电机的有效部分的重量或簡称为电机的有效重量。

在电机的結構設計中要决定电机机械結構上各部分的形狀和尺寸，它們能使电机的有效部分正确地可靠地工作，使轉子的旋轉成为可能並使轉子有适当的固定位置，和使电机的各部分都有足够的强度和剛度。結構設計中使用的，增加到有效重量之上的附加重量，称为电机的結構重量。

这里我們要注意电机設計中一个令人煩惱的情况。在所有的非电机里（蒸汽的，水力的），嚴格地說只有結構重量，和在某种程度上來說还有絕緣。那里面的工作物質（蒸汽，水）除了一部分有限的空間以外，並不需要什么。限制这空間的物体（蒸汽管，汽缸的壁，汽輪机的外殼）就好像电机里導体的絕緣一样。如我們轉过来看一看电机，那里的磁通和电流就需要：第一，重的鉄塊做为導磁体以通过沒有重量的磁力綫；第二，重而且貴的銅做为电流的导体。

进行电磁計算的工程师努力使有效材料節省使用，改進計算方法，發現电机各主要尺寸的关系，使能在最少的有效材料下得到所要求的功率和轉速的电机。

結構設計者在这方面給了电磁計算工程师很大的帮助，因为他改進了电机通風方法，由此而提高了有效材料的电的和磁的負載。

电机設計的質量由下列几項來估計：第一，电机的效率和过载能力是否符合所給的条件；第二，电机材料的單位消耗量或者它的導比重量。有效材料的單位消耗量 g_{Cu} 和 g_{Fe} 由下列公式計算：

$$g_{Cu} = \frac{G_{Cu}}{P}; \quad g_{Fe} = \frac{G_{Fe}}{P} \quad (1-1)$$

而电机有效材料的導比重量（производный вес）等於：

$$\xi_{Cu} = \frac{G_{Cu}}{\left(0.975 \frac{P}{n}\right)^{\frac{3}{4}}} \quad \text{和} \quad \xi_{Fe} = \frac{G_{Fe}}{\left(0.975 \frac{P}{n}\right)^{\frac{3}{4}}} \quad (1-2)$$

式中 G_{Cu} ——电机总銅重； G_{Fe} ——电机总的有效鉄重； P ——电机功率以仟瓦或仟伏安表

示。在公式 (1-2) 中橫綫下括弧内是电机的轉矩。

电机結構設計的質量以所謂电机的結構系数 K 來估計，即电机的总重量 G 对它的有效重量 G_a 之比，

$$G_a = G_{Cu} + G_{Fe}$$

$$K = \frac{G}{G_a} \quad (1-3)$$

最后在估計結構时还要注意結構中所用材料的价格和在生產这台电机时所需的工資。

要設計出一个好的电机，使工資和材料費都最低，必須清楚了解这电机的工作条件，並且至少要能正确选用那种在类似运行条件下已証明是合適的型式。一个电机的結構型式决定了电机的外部裝置，和大部分部件的結構，这些部件的功用和它們的維護在电机的运行中有很大影响。

电机的外部裝置即：1) 它和推动它的原动机或被它所拖动的机件的联接方式，2) 支持电机轉动部分的支架的位置，数目和特征，3) 电机的固定（裝置）方法，4) 防止外物侵入的各种不同程度的掩护，和 5) 电机的冷却方法——主要決定於拖动的类型及电机的运行条件（第 16 節），一部分也決定於电机的功率及轉速。

在許多情形下正确地考慮电机在工作中的运行条件，對於电机各部件間主要联結的構造也有很大影响。例如在用柴油機直接帶

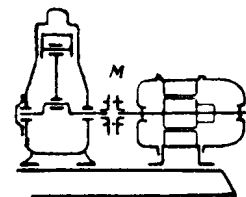


圖1-1 汽車發動機拖動的直流發電機 ЖЭС-3.5 的結構簡圖（“來夫脫洛特” РеВтруп 工厂）。

動的發電機中，它的轉子在軸上的配合，應比用同一个柴油機但用皮帶間接傳動時要緊的多。

在簡短地分析了決定电机結構类型的运行条件后，本章后面几節將考慮电机的典型結構外形。

4 發電機的主要拖動方式

現代發電機的主要拖動用發動機是：內燃機，汽輪機和水輪機。

在牽引設備中的蒸汽機及活塞式燃氣機還局部地保持着使用價值。

拖拉機的發動機及柴油發動機系利用內燃機。前者用於直流發電機及小容量交流發電機（從 3 到 50 仟瓦），柴油發動機用於較大容量的設備中。

具有內燃機拖動的發電機在“來夫脫洛特”工厂大量制造，这个工厂生產的機組結構簡圖示於圖 1-1 中。一般的汽油發動機和标准直流發電機裝在共同的底板上，間接地以聯軸器 M 相聯結。在三相發電機組中（圖1-2）發動機與發電機之間有減速器 K ，使不相適應的發動機轉速——2200轉/分合於标准交流頻率——50赫。具有特殊發動機的类型大容量機組結構示於圖 1-3。在這種情況發動機上有飛輪 M ，同時作為發動機和發電機的風扇用。發電機裝在發動機的外罩 K ，因此顯著地減少了底板重量。發電機電樞裝在發動機的飛輪-風扇 M 上，發

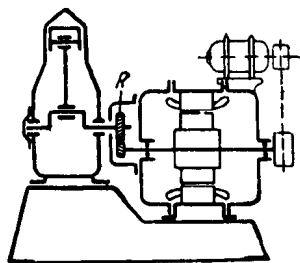


圖1-2 汽車發動機用減速器連接到發電機的結構簡圖（“來夫脫洛特”工厂）。

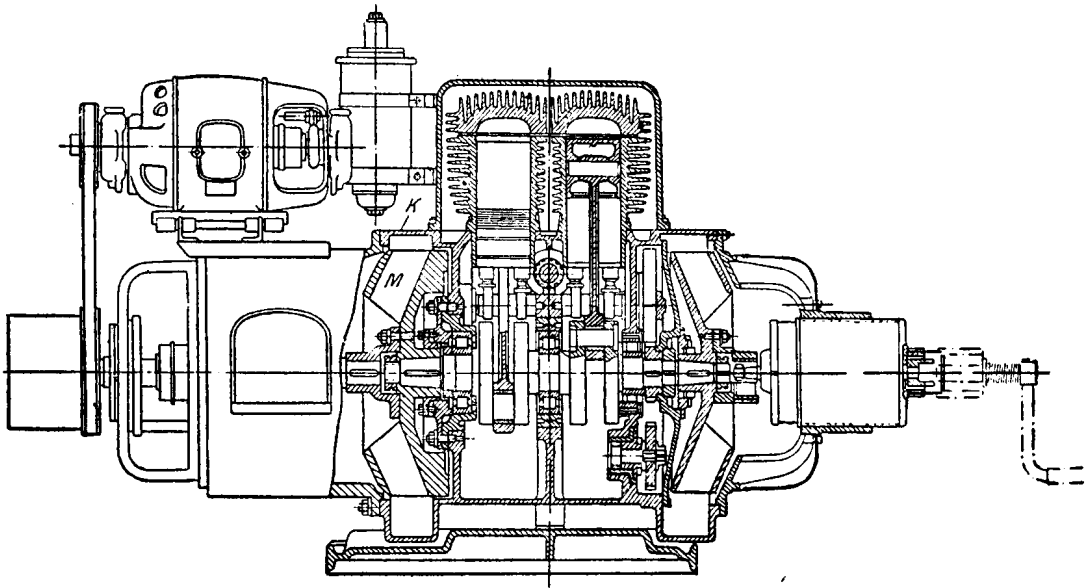


圖1-3 具有特殊內燃机的發电机。

电机在發动机側沒有軸承。类似結構不僅使發动机重量減少，同时亦使發电机重量減少。

“來夫脫洛特”工厂为較高容量的机組制造了帶有励磁机的特种發电机（30仟伏安；220伏，1000轉/分），励磁机的电樞裝配在軸伸上（圖2-24）。

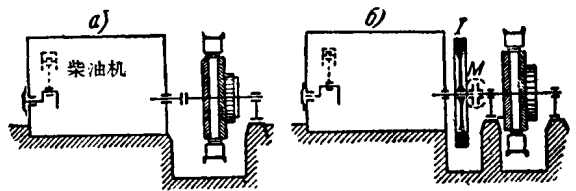


圖1-4 直流柴油發电机的結構圖：
a) 單軸承；b) 双軸承。

直流柴油發电机的典型結構示於圖 1-4 a 及 b。直接联結（圖1-4a）是最常用的。

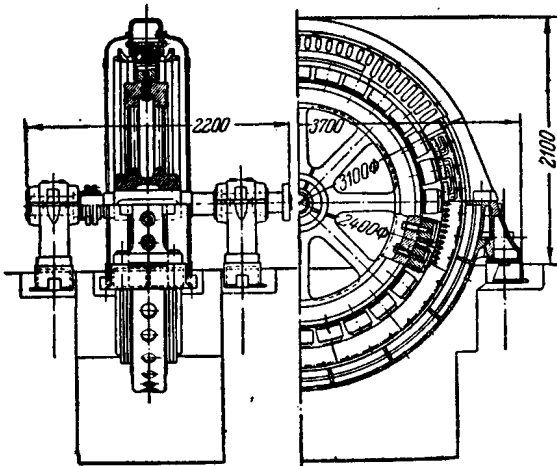


圖1-5 內感應器容量为 650 仟伏安, 300 伏, 215 轉/分的飛輪式發电机。

用柴油机拖动的發电机做成为内部旋轉磁極的飛輪式發电机（圖 1-5），或者做成为外部旋轉磁極的飛輪式發电机（圖1-6 a）。第二种構造可以減少轉子重量但在制造中較为困难。因此近年來制造的柴油發电机絕大多数採取圖 1-6b 的型式，因为它們在生產上比普通飛輪式要簡單的多，且更節省有效材料。

汽輪發电机（汽輪机和發电机）和以上所討論的电机一样，都是臥式的电机，它有内部旋轉圓柱形的（隱極式的）磁極。它的軸承往往裝在托架上，和定子有