

中等专业学校试用教材

电机设计

哈尔滨电机制造学校 主编

机械工业出版社

电机设计

哈尔滨电机制造学校 主编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 16 · 字数 382 千字

1979 年 9 月北京第一版 · 1979 年 9 月北京第一次印刷

印数 00,001—26,000 · 定价 1.20 元

*

统一书号: 15033 · 4808

编 者 的 话

本书是根据第一机械工业部 1977 年 12 月在北京召开的中专教材座谈会精神及 1978 年 1 月在湘潭召开的中专电机制造专业教材会议制订的《电机设计》教材编写大纲编写的。

本书内容主要介绍中小型直流电机计算和异步电机计算；同时介绍了电机结构设计、通风计算和温升计算的基本知识，以及同步电机计算特点和 I、II 类电力变压器计算程序及空气自冷式变压器温升计算程序。

本书为中专电机专业的试用教材，也可供中小型电机制造厂的工人和技术人员参考。

本书由哈尔滨电机制造学校主编。本校的石允初同志和黄厅荣同志、河北机电学院沈鸿生同志、湘潭电机学校周定颐同志参加了编写、修改和定稿工作。

在编写过程中，得到兄弟院校、工厂和上海电器科学研究所的大力支持和帮助，在此特表谢意。

主要符号表

A ——线负荷 A/m ($1 A/m = 10^{-2} A/cm$)	q ——每极每相槽数
A ——面积、截面积 m^2 ($1 m^2 = 10^4 cm^2 = 10^6 mm^2$)	q ——热流密度 W/m^2
a ——交流绕组并联支路数或电枢绕组并联支路对数	R ——电阻 Ω 、磁阻 A/wb
B ——磁通密度 T ($1 T = 1 Wb/m^2 = 10^4 G$)	r ——半径 m
b ——宽度 m ($1 m = 10^2 cm = 10^3 mm$)	S ——绕组元件数
C ——常数、系数	s ——转差率
D ——直径、内外径 m	T ——转矩 $N \cdot m$ ($1 N \cdot m = 0.102 kgf \cdot m$)
d ——直径、导线尺寸 m	t ——间距 m
E ——电势 V	U ——电压 V
e ——瞬时电势 V	V ——体积 m^3 ($1 m^3 = 10^6 cm^3$)
F ——磁势 A	v ——圆周表面线速度 m/s
F ——力 N ($1 N = 0.102 kgf$)	w ——匝数
f ——频率 Hz	X, x ——电抗, 漏抗 Ω
G ——重量 N	y ——线圈节距
G ——质量 kg	Z ——风阻、槽数
g ——重力加速度 m/s^2	z ——阻抗 Ω
H ——磁场强度 A/m ($1 A/m = 10^{-2} A/cm$)	α ——计算系数
H ——风压 N/m^2 ($1 N/m^2 = 1.02 \times 10^{-5} kgf/cm^2$)	β ——绕组短距比
h ——高度 m	γ ——密度 kg/m^3 ($1 kg/m^3 = 10^{-3} g/cm^3$)
I, i ——电流 A	δ ——空气隙长度 m
J ——转动惯量 $kg \cdot m^2$	η ——效率
j ——电流密度 A/m^2 ($1 A/m^2 = 10^{-6} A/mm^2$)	θ ——温度降、温升 $^{\circ}C$
K ——换向片数	λ ——长径比、导热系数 $W/(m \cdot ^{\circ}C)$ 、单位漏磁导
K ——系数、比值	μ ——磁导率 H/m ($1 H/m = 10^9 Gcm/A$)
L ——磁路计算长度 m	ν ——谐波次数
l ——几何尺寸长度 m	σ ——漏磁系数、正应力 N/m^2
m ——相数	ρ ——电阻率 $\Omega \cdot m$ ($1 \Omega \cdot m = 10^8 \Omega \cdot mm^2/m$)
m ——质量 kg	ξ ——导条挤流效应程度、风阻系数
N ——导体数	τ ——极距、跨距 m ；切剪应力 N/m^2
n ——转速 r/min	Φ ——磁通 Wb ($1 Wb = 10^8 Mx$)
P ——功率 kW 、损耗 W	φ ——相角
p ——极对数	ψ ——磁链
Q ——风量 m^3/W 、单位时间散发的热量 W	ω ——角频率、角速度
	ΔU ——电压变化率、电压降
	Δn ——转速变化率

主要的下角符号表

1 —— 定子的	q —— 交轴的
a —— 电枢的	0 —— 空载的、槽口的
t —— 齿的	K —— 换向极的
i —— 内的、绝缘的	c —— 补偿的
d —— 直轴的、谐波的	R —— 端环的
σ —— 漏的	e —— 端部的
N —— 额定的	Q —— 无功的
f —— 励磁的	b —— 电刷的
B —— 导条的	M —— 最大的
s —— 槽的、杂散的	Cu —— 铜的
P —— 有功的、每极的	Al —— 铝的
φ —— 相的	sk —— 斜槽的
x —— 电抗的	em —— 电磁的
Fe —— 铁的	av —— 平均的
2 —— 转子的	ef —— 有效的
δ —— 气隙的	st —— 起动的
j —— 轭的、机座的	fv —— 风阻摩擦的
m —— 主极的、磁化的	

- 注 1. 所有物理量单位，全部采用国际单位制（即SI制）。
2. 上述物理量符号中，如果是矢量，则在该物理量上部注以“·”，例如 \vec{j} 、 \vec{E} 、 $\vec{\Phi}$ 等。
3. 上述物理量符号中，如果是折算值，则在该物理量右上角注以“/”，例如 I_2' 、 R_2' 等。
4. 上述物理量符号中，如果是标么值，则该物理量符号用小写字母代替，并在右上角注以“*”，例如 \dot{i}_1^* 、 x_1^* 、 v_2^* 、 x_{2st}^* 等等。

目 录

主要符号表

绪 论 1

第一篇 直流电机计算

第一章 概论	3
§ 1-1 我国直流电机生产的发展概况	3
§ 1-2 关于直流电机的标准	3
§ 1-3 直流电机设计时的额定数据	7
§ 1-4 直流电机的系列	7
第二章 主要尺寸的决定	8
§ 2-1 直流电机计算的基本公式	8
§ 2-2 电磁负荷的选择	10
§ 2-3 极对数的选择	12
§ 2-4 主要尺寸的确定	13
第三章 电枢绕组的计算	16
§ 3-1 电枢绕组的选择	16
§ 3-2 电枢绕组的计算	18
§ 3-3 电枢绕组的绝缘和槽形尺寸	21
§ 3-4 电枢绕组的重量及电阻计算	25
第四章 换向器和电刷尺寸的决定	25
§ 4-1 换向器直径的确定	25
§ 4-2 电刷的牌号和尺寸的选择	26
§ 4-3 换向器工作长度的计算	28
第五章 空气隙的选择和磁路计算	28
§ 5-1 磁路计算原理	28
§ 5-2 空气隙的选择	29
§ 5-3 磁路各部分尺寸的确定	31
§ 5-4 空气隙磁势的计算	34
§ 5-5 电枢齿磁势的计算	34
§ 5-6 电枢轭、磁极和机座轭磁势的计算	36
§ 5-7 空载磁势和空载特性	37
第六章 换向检查及换向极计算	39
§ 6-1 换向检查	39
§ 6-2 换向极磁势的计算	42
§ 6-3 换向极尺寸计算	44
§ 6-4 换向极绕组计算	46

第七章 主极绕组计算	48
§ 7-1 负载时励磁磁势的计算	48
§ 7-2 并励电机励磁绕组的计算	51
§ 7-3 复励电机励磁绕组的计算	52
§ 7-4 励磁绕组的尺寸、重量及电阻	53
第八章 性能计算	54
§ 8-1 直流电机的损耗与效率	54
§ 8-2 发电机的性能计算	58
§ 8-3 电动机的性能计算	59
第九章 有补偿绕组电机的计算特点	59
§ 9-1 补偿绕组的作用和选用原则	59
§ 9-2 补偿绕组的计算	60
§ 9-3 有补偿绕组电机的磁路计算	62
第十章 直流电机性能的调整	63
§ 10-1 设计时性能的调整	64
§ 10-2 试制时性能的调整	64
例题一 直流电动机计算	66

第二篇 异步电机计算

第十一章 概论	77
§ 11-1 我国异步电机设计制造发展概况	77
§ 11-2 异步电动机的标准	78
§ 11-3 异步电机设计时的已知数据	81
§ 11-4 标么值	82
§ 11-5 异步电动机的系列	83
第十二章 主要尺寸的确定	83
§ 12-1 主要尺寸的基本关系式	84
§ 12-2 电磁负荷的选择	85
§ 12-3 主要尺寸比的选择	87
§ 12-4 主要尺寸的确定	88
§ 12-5 空气隙长度的选择	89
§ 12-6 定子铁心长度	89
第十三章 定转子绕组和冲片的计算	91
§ 13-1 定子绕组型式和节距的选择	91
§ 13-2 定子绕组计算	94
§ 13-3 定子冲片计算	95
§ 13-4 鼠笼转子绕组和冲片的计算	99
第十四章 异步电机的磁路计算	103
§ 14-1 磁路计算的目的是方法	103
§ 14-2 空气隙磁势的计算	104
§ 14-3 齿部磁势的计算	107

VI

§ 14-4	轭部磁势的计算	109
§ 14-5	满载磁化电流和激磁电抗的计算	112
第十五章	参数计算	113
§ 15-1	定子绕组的电阻计算	113
§ 15-2	转子绕组的电阻计算	115
§ 15-3	定子绕组漏抗的计算	117
§ 15-4	转子绕组漏抗的计算	121
第十六章	运行性能的计算	137
§ 16-1	额定负载时的定转子电流计算	137
§ 16-2	空载磁化电流的计算	140
§ 16-3	异步电机的损耗计算	141
§ 16-4	运行性能计算	143
§ 16-5	电机有效材料的计算	145
第十七章	起动性能的计算	145
§ 17-1	饱和效应及其对漏抗的影响	145
§ 17-2	挤流效应及其对转子参数的影响	149
§ 17-3	起动性能的计算	153
第十八章	绕线式异步电动机的计算特点	153
§ 18-1	转子槽数的选择	154
§ 18-2	转子绕组计算	154
§ 18-3	转子参数计算	155
§ 18-4	转子相电压和相电流的计算	155
第十九章	异步电机电磁计算的调整	156
§ 19-1	效率偏低的调整	156
§ 19-2	功率因数偏低的调整	157
§ 19-3	最大转矩偏低的调整	157
§ 19-4	起动转矩偏低的调整	158
§ 19-5	起动电流偏大的调整	158
例题二	异步电动机电磁计算	158

第三篇 同步电机计算特点

第二十章	同步电机计算特点	170
§ 20-1	主要尺寸的决定	170
§ 20-2	空气隙的选择	173
§ 20-3	励磁绕组的计算	174
§ 20-4	参数计算与性能计算	175

第四篇 电机结构设计

第二十一章	电机结构设计的任务与方法	178
§ 21-1	电机结构设计的任务	178
§ 21-2	结构设计的方法和步骤	179

第二十二章 定子结构及计算	180
§ 22-1 直流电机机座结构	180
§ 22-2 直流电机主极和换向极结构	181
§ 22-3 直流电机主极与换向极绕组结构	182
§ 22-4 直流电机主极固定螺钉计算	183
§ 22-5 直流电机端盖和出线盒结构	183
§ 22-6 异步电机机座结构	184
§ 22-7 异步电机定子铁心结构	185
§ 22-8 异步电机端盖及出线盒结构	186
§ 22-9 轴承结构	187
第二十三章 转子结构及计算	187
§ 23-1 直流电机转子结构	187
§ 23-2 槽楔计算	188
§ 23-3 异步电机转子结构	188
第二十四章 转轴	189
§ 24-1 轴的结构及其尺寸的确定方法	189
§ 24-2 轴的挠度计算	191
§ 24-3 轴的强度计算	193
第二十五章 换向器	194
§ 25-1 换向器结构简述	194
§ 25-2 换向片各部分尺寸的决定	195
第二十六章 通风计算	197
§ 26-1 一般电机常用的通风方式	197
§ 26-2 通风计算	199
§ 26-3 风扇的结构形式	203
第二十七章 温升计算	205
§ 27-1 电机的发热情况	205
§ 27-2 电机的散热方式	205
§ 27-3 封闭式异步电动机的温升计算方法	208
例题三 JO ₂ -42-4 型电机温升计算	212

第五篇 变压器计算程序及公式

第二十八章 I、II 类油浸式电力变压器计算程序及公式	214
第二十九章 空气自冷式变压器温升计算程序及公式	231
附录 I 常用圆漆包线规格表	237
附录 II 扁线规格与计算截面	238
附录 III 铝、铜带规格和计算截面	240
附录 IV 常用扁电磁线绝缘厚度	240
附录 V 铸钢和钢板的磁化曲线	241
附录 VI 热轧硅钢薄板电磁性能	242
附录 VII 电刷的技术条件	244
附录 VIII 电刷的标准尺寸	245

绪 论

一、电机设计的任务和步骤

电机设计的任务就是根据使用要求，在总结过去生产经验的基础上，做好充分的调查研究，基于必要和可能，正确处理好电机的结构尺寸、参数和性能之间的矛盾，设计出工作可靠、体积小、重量轻、结构简单、性能良好，制造和使用维护方便的先进产品，以满足国民经济发展的需要。

一个电机产品的整个设计过程大致是：

1. 编制设计任务书 这是进行电机设计的第一个环节。它是根据用户对产品提出的技术要求及使用特点，结合设计和制造的可能而编制的。其内容包括设计的指导思想、生产的必要性、产品的用途及使用范围、电机的额定数据、主要性能指标、结构形式与外形安装尺寸等。

2. 电磁计算 主要是根据设计任务书的规定，参照生产实践经验，计算确定定转子铁心各部分尺寸、槽数配合；定转子绕组设计；电机的磁路、参数、运行性能和起动性能的计算。

通过电磁计算所得的电机性能指标必须符合国家标准或设计任务书的要求，否则应进行调整。在电磁计算过程中一般选择若干个不同的方案同时进行，然后通过分析比较选择最佳方案。

3. 结构设计 主要是确定各结构部件的结构形式、尺寸、材料等，并进行必要的机械计算，同时画出总装配图、分装配图和零件图。并提出外购件计划。

4. 工艺会签及工艺装备设计 工艺会签的目的是检验设计图纸所采用加工工艺的可能性和合理性。并确定加工的方法和工序，以及加工所需的设备、刀具、量具和工、夹、模具等。

5. 技术文件的编制 主要是编制组织生产所需要的各种明细表、成套数据一览表、电磁计算单、使用维护说明书和产品技术条件等。

6. 试制和调整设计 由于计算方法和制造上的偏差，设计计算能否完全符合电机的性能要求，还需通过样机试制和型式试验检验其性能。如果有某些性能不符合要求，则需调整设计，直至电机性能全部符合标准为止。

二、电机制造的发展趋势

电机自十九世纪末诞生以来，由于它具有独特的优点，发展极为迅速，现在已经成为工农业生产中的主要动力设备。从近百年来生产经验可以看出今后电机制造业的发展趋势是：

1. 在保证工作可靠的前提下，缩小体积、减轻重量、提高性能指标 据统计，国际上小型电机的平均重量每十年降低20%，从二十世纪的六十年代到七十年代同体积的中型电机容量提高了一倍。随着生产自动化程度的提高，对电机的运行可靠性也提出了更高的要求。因此，今后电机生产应在保证工作可靠的前提下向体积小、重量轻的方向发展。

2. 发展系列化、标准化、通用化生产 把应用范围、结构型式、性能水平、生产工艺上有共同性的电机，容量从小到大按一定的递增规律排列，构成一个系列，按国家规定的统一标准生产，做到零部件通用。这样可使制造和使用部门得到方便，并获得良好的经济效益。

为了便于国际交流和对外贸易，还要实行由国际电工协会研究和制订的，适用于各类电

机的功率等级和安装尺寸的国际标准。

3. 提高单机容量 理论分析证明, 电机和变压器的单机容量愈高, 则单位容量消耗的材料愈少, 效率愈高。另外, 单机容量大, 则机组数量少, 这样可减小厂房面积和减少工作人员, 节省基建投资。所以电机和变压器的单机容量均在向大的方向发展。

4. 同步电机采用无刷励磁方式 无刷励磁是由三相旋转电枢式交流励磁机和装在轴上的旋转整流器以及控制装置三个主要部分组成。交流励磁机电枢输出, 经旋转整流器整流后, 直接供给发电机励磁, 以代替直流励磁机。由于除去了电刷、换向器和集电环, 所以无刷励磁的可靠性较高, 特别适用于自动化电站及易燃易爆场所。

5. 发展铝线电机 “以铝代铜” 不仅是我国的一项技术政策, 国际上一些国家从降低成本出发, 也很重视在电机工业中的“以铝代铜”。从长远来看, 逐步发展小型铝线电机, 无论是对降低成本还是解决铜的原料不足的矛盾, 都是很重要的。

6. 发展特种电机 随着工农业生产的发展, 对电机提出了各种各样的特殊要求, 如潜油电机、钻探电机等。为此必须使它们得到相应的发展, 以满足生产的需要。

7. 在生产工艺上, 由于各种机械手、电子计算技术和数控机床越来越广泛地应用于电机制造行业, 使电机生产的机械加工、机壳铸造、定子嵌线等都朝着自动线方向发展。

三、促使电机制造业发展的主要措施

1. 采用高导磁低消耗的导磁材料和耐高温的高级绝缘材料 例如采用冷轧无取向硅钢片、无硅低碳冷轧钢片和 F 级绝缘材料。据报道, 采用 F 级绝缘材料的电动机与采用 E 级绝缘材料的电动机比较, 体积约缩小 20%、重量约减轻 25%。

2. 改进通风结构和冷却方式 例如采用强迫通风冷却, 由外冷变为内冷等。

3. 提高计算技术 用电子计算机进行电磁计算和机械强度计算等, 以便确定最佳设计方案。

4. 改进工艺 例如采用无溶剂滴浸工艺、低压铸铝工艺等。在冲压工艺上采用高速级进冲床, 以及采用硬质合金模具。

四、本课程的任务和学习方法

电机设计课是电机制造专业的一门专业课。主要讲授中小型直流电机和三相异步电动机的电磁计算, 以及电机结构设计、通风计算和温升计算的基本知识, 其中以小型电机为主。通过对本课程的学习, 应该使学生:

1. 掌握一般中小型直流电机和三相异步电动机主要尺寸和绕组数据的确定方法, 并能按《电磁计算程序》进行性能计算和调整。

2. 了解电机的材料、尺寸、参数与性能之间的关系。

本课程是在学习《电机原理》的基础上开设的, 在学习本课程时应该着重理解电机设计中各个量的变化规律及相互之间的关系, 而不要死记硬背公式, 只有这样才能灵活地运用设计知识去解决实际生产中的问题; 应熟练掌握查阅图表曲线和技术资料的能力, 加强计算技巧的基本功训练, 注意培养精益求精的精神; 应紧密联系实际; 注意用辩证唯物主义的观点来学习电机设计。因为在设计过程中会遇到许多相互矛盾的因素, 这就必须从中找出主要矛盾, 同时又不忽视其他次要因素, 防止片面、孤立地分析问题。

根据本专业的培养目标和学时数的限制, 本课程对大型和特殊电机的设计不作介绍。对小型电力变压器, 只介绍其计算程序。对同步电机只介绍其计算特点。

第一篇 直流电机计算

第一章 概 论

§ 1-1 我国直流电机生产的发展概况

直流电动机的显著优点是：（1）能宽广而平滑地调速；（2）具有较高的过载、起动和制动转矩；（3）在复杂的生产过程中自动控制方便。由于上述优点，直流电动机广泛应用在各种轧钢机、熔铁炉的装料机构、冶金企业的辅助设备、矿井起重设备、各种机床的传动设备、纺织造纸及橡胶工业以及船舶上。直流发电机则用于向直流电动机供电、向电池充电、以及做为电解、电镀设备的电源。

解放前我国没有正规的直流电机生产厂。解放后，直流电机的生产才有了迅速的发展，只用了很短的时间，就由基本上仿制国外产品过渡到能自行设计中大型直流电机，并且有了统一的国家标准和系列产品。早在 1953 年，我国就进行了 Z 系列一般用途直流电机的统一设计和生产，接着 ZD、ZF 系列大中型直流电机，ZQ 系列直流牵引电机也相继进行了设计和生产。1958 年又进行了 Z₂ 系列电机的设计，采用了一部分新工艺、新材料。1963 年，根据实际生产经验又进行了 Z₂ 系列电机的调整设计，使这一系列电机的技术经济指标比 Z 系列有了很大提高。以 Z₂ 系列与 Z 系列相比，铜约节省 34%，硅钢片约节省 17%。目前国内广泛采用的就是这个系列。此后又设计和试制了 Z₃ 系列小型直流电机。与 Z₂ 系列相比，Z₃ 系列电机电枢用铜约节省 18%，电枢用硅钢片约节省 14%，总重量约减轻 10%。此外还进行了 ZF₂ 和 ZD₂ 系列大中型直流电机的改型设计。

到目前为止，在我国不仅一般用途的直流电机已有完整的系列，而且各种专用直流电机也都进行了系列设计和生产。我国自行设计和生产的各种类型直流电机已经基本上能够满足国民经济的需要。

随着电子工业的迅速发展、大功率可控硅的使用，使可控硅整流电源越来越广泛地用作直流电动机的电源。但是这种电源谐波较多，对电机的换向性能和结构都带来了一些新的问题，这些新的矛盾，必将促使直流电机产生进一步的改进。

§ 1-2 关于直流电机的标准

国家标准对各种型号的电机提出了具体的要求，是电机生产的依据，也是判断和评价电机质量的标准。

我国的标准分为国家一级（称为国标、代号为 GB）和部一级（称为部标，如一机部的部标代号为 JB、冶金部的部标代号为 YB 等）二种，它们包括以下三类：

1. 一般规定和技术要求 如《电机基本技术要求》，代号为 GB755-65。这一标准应用范围较广，适用于各种类型的旋转电机，是最基本的。

2. 试验方法类 规定了试验内容和具体方法，如《直流电机试验方法》，代号为 GB1311-77。

3. 技术条件类 如《Z₂系列小型直流电机技术条件》，代号为 JB1104-68；《ZF、ZD系列中型直流电机技术条件》，代号为 JB 624-65 等。

JB1104-68 规定的 Z₂ 系列小型直流电机的有关技术指标列出如表 1-1 至表 1-5 所示。

表1-1 Z₂系列直流复励发电机的电压变化率保证值

电机功率(kW)	电压变化率 ΔU (%)
≤ 14	-3 +7
19~48	-2 +6
≥ 67	+6

表1-2 Z₂系列直流并励电动机的转速变化率保证值

额定功率 P_N (W)与额定转速 n_N (r/min)比	转速变化率 Δn (%)	额定功率 P_N (W)与额定转速 n_N (r/min)比	转速变化率 Δn (%)
$\frac{P_N}{n_N} < 0.67$	18	$2.5 \leq \frac{P_N}{n_N} < 10$	12
$0.67 \leq \frac{P_N}{n_N} < 2.5$	15	$10 \leq \frac{P_N}{n_N}$	10

表1-3 Z₂系列直流电机的功率等级

(kW)

机座号	类别 转速 (r/min)	电 动 机					发 电 机		
		3000	1500	1000	750	600	2850	1450	960
11	0.8	0.4	—	—	—	—	—	—	
12	1.1	0.6	—	—	—	—	—	—	
21	1.5	0.8	0.4	—	—	1.1	—	—	
22	2.2	1.1	0.6	—	—	1.7	0.8	—	
31	3	1.5	0.8	0.6	—	2.4	1.1	—	
32	4	2.2	1.1	0.8	—	3.2	1.7	—	
41	5.5	3	1.5	1.1	—	4.2	2.4	—	
42	7.5	4	2.2	1.5	—	6	3.2	—	
51	10	5.5	3	2.2	—	8.5	4.2	—	
52	13	7.5	4	3	—	11	6	—	
61	17	10	5.5	4	—	14	8.5	—	
62	22	13	7.5	5.5	—	19	11	—	
71	30	17	10	7.5	—	—	14	—	
72	40	22	13	10	—	—	19	—	
81	—	30	17	13	—	—	26	14	
82	—	40	22	17	—	—	35	19	
91	—	55	30	22	17	—	48	26	
92	—	75	40	30	22	—	67	35	
101	—	100	55	40	30	—	90	48	
102	—	125	75	55	40	—	115	67	
111	—	160	100	75	55	—	145	90	
112	—	200	125	—	—	—	180	115	

表1-4 直流发电机的效率保证值

功 率 (kW)	电 压 (V)	效 率 (%)		
		2850 (r/min)	1450 (r/min)	960 (r/min)
0.8	115	—	74	—
	230	—	75	—
1.1	115	76	75.5	—
	230	76.5	76.5	—
1.7	115	79.5	78	—
	230	80.5	79	—
2.4	115	81	76.5	—
	230	82	77.5	—
3.2	115	82.5	79	—
	230	83.5	80	—
4.2	115	79.5	80	—
	230	81.5	81	—
6	115	82	82	—
	230	83	83	—
8.5	115	83.5	83	—
	230	84.5	84	—
11	115	—	85	—
	230	85.5	85.5	—
14	115	—	85	81.5
	230	86	85.5	82.5
19	115	—	85.5	82.5
	230	87.5	86	83.5
26	115	—	86	84.5
	230	—	86.5	85.5
35	115	—	—	86
	230	—	87	87
48	115	—	—	86.5
	230	—	87.5	87.5
67	115	—	—	87
	230	—	88	88
90	230	—	88.5	88.5
115	230	—	89	89
145	230	—	89	—
180	230	—	89.5	—

表1-5 直流电动机的效率保证值

功率 (kW)	电 压 (V)	效 率 (%)				
		3000 (r/min)	1500 (r/min)	1000 (r/min)	750 (r/min)	600 (r/min)
0.4	110	—	66.5	65	—	—
	220	—	67	66	—	—
0.6	110	—	70.5	71	69	—
	220	—	71	71.5	70	—
0.8	110	74	73	72.5	72.5	—
	220	75	73.5	73.5	73.5	—
1.1	110	75.5	76	75	70.5	—
	220	76.5	76.5	76	71.5	—
1.5	110	77	77.5	75.5	72.5	—
	220	78	78.5	76.5	73.5	—
2.2	110	79	80	77.5	76.5	—
	220	80	81	78.5	77	—
3	110	78.5	79.5	79	77.5	—
	220	79.5	80	79.5	78.5	—
4	110	80	81	80.5	78	—
	220	81	81.5	81.5	79	—
5.5	110	81.5	82	81.5	79.5	—
	220	82	82.5	82.5	80	—
7.5	110	82	83	82	80	—
	220	82.5	83.5	82.5	81	—
10	110	—	84	82.5	81	—
	220	83	84.5	83	81.5	—
13	110	—	84.5	83	81.5	—
	220	83.5	85	83.5	82	—
17	110	—	85.5	83.5	82.5	80
	220	84	86	84	83	81
22	110	—	86	84	83.5	82.5
	220	85	86.5	84.5	84	83.5
30	110	—	86.5	85.5	84.5	84
	220	85.5	87	86	85	84.5
40	110	—	—	86	85.5	84.5
	220	86.5	87.5	86.5	86	85
55	220	—	88	87.5	86.5	86.5
75	220	—	88.5	88.5	88	—
100	220	—	89	89	—	—
125	220	—	89.5	89.5	—	—
160	220	—	90	—	—	—
200	220	—	90	—	—	—

他励直流发电机的电压变化率一般不作规定，用户有要求时可另行规定。

§ 1-3 直流电机设计时的额定数据

直流电机的种类有很多，一般可以将它们分成两类。

一类是一般用途的直流电机。这类电机应用于没有特殊要求的场合，并在规定的网路电压下运行。

一般用途的直流电动机的调速范围不超过 1:2，不要求提高过载转矩及降低转动惯量。这种电动机均制成并励并具有几圈使转速稳定的串励绕组，其转速调整率在 10~18% 之间。

一般用途的直流发电机主要用作直流电动机和小容量直流电网的电源、控制电路电源或者大型电机的励磁机。这种发电机制成复励或并励，其电压调整率在 -3%~+7% 之间。

一般用途的直流电机均能承受 50% 过载 15 秒钟而不致损坏。

另一类是特殊用途的直流电机。这类电机种类较多，各有各的特殊要求，如汽轮发电机的励磁机，对它有励磁方面的要求；牵引电动机，它在使用中起动频繁，工作条件较差；轧钢电动机，它的负载变化大，转向要经常改变；因为它们各有其特殊要求，所以它们的计算方法也各具有本身的特点。本篇只介绍一般用途直流电机的设计原理和方法。

通常在直流电机设计时，除了提出特殊运行条件外，一般给定以下的额定数据：

1. 额定容量 P_N 对发电机为出线端输出的电功率用千瓦表示。对电动机为轴上输出的机械功率用千瓦表示。
2. 电机的端电压 U_N 用伏表示，电压等级应符合 GB156-59 的规定。
3. 电机的额定转速 n_N 用转/分表示，根据传动要求确定。
4. 励磁方式。
5. 绝缘等级。
6. 冷却方式。

直流电机设计的任务就是根据给定的数据，确定电机各部分的尺寸和结构，并计算其运行性能和发热情况(温升计算)，使其符合技术条件的规定。在计算过程中，还必须注意电机的换向性能。

§ 1-4 直流电机的系列

在电机设计中要设计单独的一种电机的情况是比较少的，通常需要设计的是一种“系列电机”。所谓系列电机就是指在应用范围、结构型式、性能水平、生产工艺上有共同性的许多规格的电机。系列电机的零部件通用性很大，容量按一定比例递增，电压、转速、机座号和铁心长度都有一定的等级。

如 Z₂ 系列直流电机，这是一种一般用途的小型直流发电机、调压发电机和直流电动机系列，容量为 0.4~200 千瓦。发电机的额定电压为 115 伏、230 伏；调压发电机的额定电压为 110/160 伏，220/320 伏；电动机的额定电压为 110 伏，220 伏。发电机的额定转速考虑与异步电动机配套，采用 960 转/分、1450 转/分、2850 转/分三种；电动机的额定转速为 600 转/分、750 转/分、1000 转/分、1500 转/分、3000 转/分五种。结构型式为防护式。采用的绝缘

等级，均为B级绝缘。本系列共有11个机座号，每个机座号有两种铁心长度，这样采用相同的电枢外径而仅改变电枢长度就可以得到几种容量和转速。如Z₂-31和Z₂-32直流电动机，电枢外径相同，只是电枢长度不同，就可以获得4种转速，7种容量。这就大大减少了冲制电枢和磁极冲片所需的冲模数量，也大大减少了机座和端盖的铸造模数量。同一机座号的电机可以采用相同的轴径和换向器，这就使工装设备、量具和材料规格大大减少，从而降低成本，缩短生产周期，提高劳动生产率。

在系列电机的设计中，为了照顾产品的通用性，不仅要考虑本电机的方案，还要顾及相邻容量电机的方案，有时甚至不得不放弃对本身来说是最理想的设计方案，本篇只讨论关于直流电机设计的一般原理和方法，不分析有系列设计的问题。

第二章 主要尺寸的决定

§ 2-1 直流电机计算的基本公式

直流电机的主要尺寸是指电枢外径 D_a 和电枢长度 l_a 。因为电机其它零部件的尺寸、重量、运行性能及技术经济指标都与这两个尺寸有关，所以决定电机的 D_a 和 l_a 是电机设计的重要步骤。

电机的主要尺寸与电机的容量 P_N 、转速 n_N 、空气隙磁通密度 B_δ 及线负荷 A 有关。为了找出它们之间的联系，可以用电磁功率公式进行推导。

电机的电磁功率为：

$$P_{em} = E_{aN} I_{aN} \times 10^{-3} \text{ (kW)} \quad (2-1)$$

式中 E_{aN} ——电枢额定电势 (V)；

I_{aN} ——电枢额定电流 (A)。

由电机学可知：

$$E_{aN} = \frac{N_a p n_N \Phi}{60 a} \text{ (V)} \quad (2-2)$$

式中 N_a ——电枢绕组的有效导体数；

a ——电枢绕组的并联支路对数；

p ——主极对数；

Φ ——气隙中每极磁通 (Wb)。

每极磁通可用下式表示：

$$\Phi = b_\delta l_{ef} B_\delta = \alpha_\delta \tau l_{ef} B_\delta \text{ (Wb)} \quad (2-3)$$

式中 B_δ ——气隙中的最大磁通密度 (T)；

τ ——极距 (m)；

$$\tau = \frac{\pi D_a}{2 p} \quad (2-4)$$

l_{ef} ——电枢有效长度 (m)；