

电机工程
第三卷

73.21073
210.1
:4

电机工程手册

第4卷 电 机

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机械工业出版社

本卷包括同步电机、异步电机、直流电机、驱动微电机以及控制微电机等五篇。综合介绍了上述各类旋转电机的工作原理、结构、设计要点、工艺、试验以及安装、运行和维护等方面的基本技术内容、主要经验与常用的公式、数据和曲线，并概要介绍了有关的专用电机、派生电机以及若干新型微特电机的特点与应用等方面的技术内容。

ZM136/13
电机工程手册

第4卷 电机

机械工程手册 编辑委员会编
电机工程手册

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)

上海商务印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16·印张 53 1/4·插页 2·字数 1576 千字

1982年8月上海第一版·1982年8月上海第一次印刷

印数: 00,001—22,000·定价: 6.60 元

统一书号: 15033·4689

编辑委员会

主任委员：沈 鸿

副主任委员：周建南 汪道涵 张 维 史洪志

委员(按姓氏笔划为序)：叶 铮 孙 琪 许力以 张 影
张大奇 陈文全 陈元直 寿尔康 金实蓬 施泽均 俞宗瑞
陶亨咸 翁迪民 章洪深 曹维廉 程 光

《电机工程手册》特约编辑

(按姓氏笔划为序)

于志璇 方大中 方福林 王众托 王祖泽 支秉彝 龙汉河 叶自仪
叶仰尧 冯勤为 刘 豹 刘大椿 刘绍峻 传 凯 朱仁堪 朱春甲
许连义 汤明奇 吕勇哉 阮善先 肖 心 陈 熙 陈来九 沈从龙
张弘夏 张明勋 张朝汉 邹时琪 邹康宏 吴维正 吴履梯 严筱钧
孟庆元 周仲民 周茂祥 周鸿昌 林金铭 郝立至 祝宗寿 顾心民
殷元章 殷向午 贾自亮 郭志坚 唐宝乾 梅贤豪 黄祖干 葛和林
褚应璜 樊 虎 霍梓荣

《电机工程手册》编辑及编辑组负责人

(按姓氏笔划为序)

马健华 王 达 王力中 王志森 王良楣 王树勋 刘 镇 刘向亭
邓子静 邓昆甫 孙流芳 吕敏戌 汤镛之 陈文全 陈元直 闵君一
沈宝书 余果慈 陆鸣嘉 吴雪莹 罗命钧 施泽均 俞宗瑞 姚洪朴
海 靖 高庆荣 高振鸾 顾谷同 钱寿福 鲁学平 谢 健 雷 引
颜明志

序

期望已久的《机械工程手册》和《电机工程手册》终于分卷合订成册,正式出版了。这是对我国机电工程科学技术领域的一个贡献。两部手册的编写队伍,由国内有专长、有经验的学者、专家所组成。这两部手册扼要地总结了我国机电工程各主要方面的科学技术成就,同时也吸收了一些国外的成熟经验。聚沙成塔,集腋成裘。名为手册,实则巨著。

读书不易,写书颇难,写工具书更难,写综合性工具书可谓难中之难。为了编好两部“立足全局,勾划概貌,反映共性,突出重点”,而又全面的、完整的、彼此协调的手册,同志们做了很大努力,从无到有,诸事草创,困难重重,艰辛备尝。恰似唐朝韩愈所说的:“贪多务得,细大不捐。焚膏油以继晷,恒兀兀以穷年。”值此合订本出版之际,我谨向各主编单位、各编写单位和印刷出版单位,向数以千计的全体编审同志,向遍及全国的为两部手册提供资料和其他方便条件的单位和同志们,表示衷心的感谢。

两部手册的第一版,现在完成了。对编写者来说,已经有了成果。而对阅读手册的工厂、学校、院所、机关同志们来说,还只是两朵鲜花。在成千上万人的应用中使鲜花结成果实——发展机电工程科学技术事业,为现代化建设服务——才是更丰硕的成果。这才是我们的目的。

一般说来,工具书分两种类型:一种是综合性的,一种是专业性的。综合性的工具书从广度来说是较为全面的,从深度来说是不足的;而专业性的工具书则反之。二者各有所长,相辅相成。我们这两部手

册是综合性的工具书，主要供从事技术工作的各类人员查阅使用。对于搞专业性技术工作的人员来说，还可从中猎取相邻专业和其他有关专业的知识，帮助他们从专业分工的局限性中开拓思路，从科学技术各个环节的相互联系上，综合地、全面地研究和解决技术问题。也唯有以渊博的科学技术知识作为基础，才能不断创新。在编写这两部手册时，考虑到专业手册还比较少，而且一时又出不了那么多，因此在内容的深度上也予以顾及，以适当满足专业工作的需要。所以，它的篇幅已经超过一般常见的综合性手册了。实践是检验真理的唯一标准。我们将严肃认真地听取广大读者的反映和意见，作为评价和改进两部手册的主要依据。国外这类工具书已经有了几十年、甚至百余年的历史，而我们则刚刚开始。现在是从无到有，将来是精益求精。让我们在新的长征途中，戮力同心，再接再厉，去完成时代赋予我们的光荣使命。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会主任委员 沈 鸿

一九八二年 北京

编辑说明

一、《机械工程手册》、《电机工程手册》的分卷合订工作是在试用本的基础上进行的。试用本的编写工作始于一九七三年，一九七七年以后陆续出版发行，一九八一年出齐。这次分卷合订主要做了三方面工作：一是在技术内容上做了订正；二是尽可能用已颁布的新标准取代老标准；三是按卷编制了索引。

二、《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品等六个部分，共七十九篇，二千余万字，分为十四卷。《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化等七个部分，共五十篇，一千余万字，分为九卷。

三、参加这两部手册编写工作的，有全国许多地区和部门的工厂、科研设计院所、高等院校，近五百个单位，作者两千余人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员，更为广泛。各篇在编写、协调、审查、定稿等环节中，既注意发挥学者、专家的骨干作用，又注意集中群众的智慧和力量。

四、这两部手册因系初版，囿于条件，所采用的名词、术语、符号、代号以及单位制，尚有不尽统一之处。此外，内容上也有重复、遗漏、甚至错误的地方；在设计、印刷、装帧等方面也还存在一些问题。我们将通过手册的不断修订再版，逐步改进。

五、手册合订本的署名，采用单位和个人相结合的方式。各篇的主编单位、编写单位和主编、编写人均按篇署名，置于相应篇的前面。编写人的署名以其编写的章号为序。特约编辑以姓氏笔划为序，集中署于卷首。编辑（包括总编辑、副总编辑）及编辑组负责人亦按姓氏笔划为序，署于卷首。

另外，参加两部手册编写、审查、组织、协调的单位和同志还很多，恕不一一署名。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

常用符号表

(适用于第19~21篇)

<p>A——线负荷, 电负载</p> <p>a——加速度, 导线厚度, 绕组并联路数或支路对数</p> <p>B——磁通密度</p> <p>B_{ad}——电枢反应直轴磁通密度</p> <p>B_{aq}——电枢反应交轴磁通密度</p> <p>B_f——轭部磁通密度</p> <p>B_m——主极极身磁通密度</p> <p>B_p——主极极靴磁通密度</p> <p>B_{pa}——电枢齿磁密</p> <p>B_{pc}——主极补偿齿磁密</p> <p>B_{r1}——定子齿磁通密度</p> <p>B_{r2}——转子齿磁通密度</p> <p>B_δ——气隙磁通密度</p> <p>b——宽度</p> <p>b_v (或 b_D)——通风槽宽度</p> <p>b_k——换向区域宽度</p> <p>b_p——极靴宽度</p> <p>b_s——槽宽度, 矩形槽宽度</p> <p>b_{sc}——补偿槽宽度</p> <p>b_{sk}——斜槽宽度, 槽斜距</p> <p>C——电机利用系数</p> <p>C_A——电机常数</p> <p>c——定压比热</p> <p>E——电动势</p> <p>E_a——电枢电动势, 电枢反应电动势</p> <p>E_i——内电动势</p> <p>E_ν——ν次谐波磁场感应电动势</p> <p>E_ϕ——相电动势</p> <p>E_0——空载电动势</p> <p>E'_2——折算到定子侧的转子电动势</p> <p>F——磁动势, 磁位降</p> <p>F_a——电枢反应磁动势</p> <p>F_{ad}——电枢反应直轴磁动势</p> <p>F_{aq}——电枢反应交轴磁动势</p> <p>F_c——补偿绕组磁动势</p> <p>F_f——励磁磁动势</p> <p>F_s——串励绕组磁动势</p> <p>F_δ——气隙磁位降</p> <p>f——频率</p> <p>H——磁场强度</p> <p>H_f——轭部磁场强度</p> <p>H_δ——气隙磁场强度</p> <p>h——高度</p> <p>I——电流有效值</p>	<p>I_{k1}——单相稳态短路电流</p> <p>I_{k2}——两相稳态短路电流</p> <p>I_{k3}——三相稳态短路电流</p> <p>I_N——额定电流</p> <p>I_P——电流有功分量</p> <p>I_Q——电流无功分量</p> <p>I_{st}——起动电流, 最初起动电流</p> <p>I_W——功电流</p> <p>I_x——电抗电流</p> <p>i——电流瞬时值</p> <p>i'_{k1}——单相突然短路时电流的瞬变分量</p> <p>i'_{k2}——两相突然短路时电流的瞬变分量</p> <p>i'_{k3}——三相突然短路时电流的瞬变分量</p> <p>i''_{k1}——单相突然短路时电流的超瞬变分量</p> <p>i''_{k2}——两相突然短路时电流的超瞬变分量</p> <p>i''_{k3}——三相突然短路时电流的超瞬变分量</p> <p>j, J——电流密度</p> <p>J_c——补偿绕组电流密度</p> <p>J_k——换向极绕组电流密度</p> <p>J_s——串励绕组电流密度</p> <p>K——换向器片数, 变比</p> <p>K_c——短路比</p> <p>k_{ap}, K_{ap}——绕组系数</p> <p>$k_{ap\nu}, K_{ap\nu}$——ν次谐波绕组系数</p> <p>K_{Fe}——铁心叠装系数</p> <p>K_i——电流比</p> <p>K_s——磁路饱和系数</p> <p>K_{sk}——斜槽系数</p> <p>K_u——电压比</p> <p>K_{Wt}——电流波形系数</p> <p>k——耦合系数</p> <p>L——自感</p> <p>L_a——电枢电感</p> <p>L_f——励磁绕组电感</p> <p>L_m——主极磁路长度</p> <p>L_p——声压级</p> <p>L_s——槽漏感</p> <p>L_W——声功率级</p> <p>L_1——声强级</p> <p>l——长度</p> <p>l_c——线圈匝平均长度</p> <p>l_{Fe} (或 l_{Fe1})——定子铁心净长度</p> <p>l_j——机座长度</p> <p>l_k——换向器长度</p> <p>l_{t1} (或 l_t)——定子铁心总长度</p>
--	--

M ——互感	v_w ——水速度
M (或 T)——转矩	W ——功, 能
m ——相数, 质量, 数的序列, 定子绕组沿槽高方向的股线数, 绕组重路数	W, w ——绕组每相串联匝数
N_a ——电枢导线数	X ——电抗
N_b ——每刷杆电刷数	X_d ——直轴同步电抗
N_v (或 N_D)——通风槽数	X_f ——转子漏电抗、励磁绕组总电抗
N_s ——每槽导体数	X_k ——堵转时等值电抗
n ——转速, 数的序列	X_l ——定子漏电抗
n_N ——额定转速	X_p ——保梯电抗
P ——功率, 损耗	X_q ——交轴同步电抗
P_{Al} ——铝绕组的欧姆损耗	X_0 ——零序电抗
P_{Cu} ——铜绕组的欧姆损耗	X_1 ——正序电抗
P_{Fe} ——铁耗	X_2 ——负序电抗
P_{fv} ——风摩损耗	Y ——绕组节距
P_s ——杂散损耗	Z ——阻抗
p ——极对数	Z_1, z_1 ——定子槽数
Q ——无功功率	Z_2, z_2 ——转子槽数
q ——每极每相槽数	Z'_2, z'_2 ——转子虚槽数
R ——电阻	α ——电角度
S ——视在功率	γ ——重率, 容量增长系数
s ——转差率	γ (或 ρ)——质量密度
T ——周期, 时间常数, 转矩	δ ——气隙长度
T_k ——换向周期	η ——效率
t ——时间, 温度	θ ——温升
t_{st} ——起动时间	Δ ——磁导
U ——电压	λ ——长径比
U_N ——额定电压	μ_0 ——真空磁导率
U_ϕ ——相电压	ρ ——导体电阻系数
V ——体积	τ ——极距
v ——风速, 线速度	\mathcal{D}, ϕ ——磁通
v_a ——电枢圆周速度, 空气流速	ψ ——磁链
	ω (或 Ω)——角频率

目 录

序

编辑说明

第19篇 同步电机

常用符号表

第1章 概 述

- 1 同步电机的用途和类型19-1
 - 1.1 特征和用途19-1
 - 1.2 主要类型19-1
- 2 运行概况19-1
- 3 发展趋向19-4

第2章 基本工作原理

- 1 同步电机的励磁磁场与电枢绕组的感应电动势19-5
 - 1.1 直流励磁磁场19-5
 - 1.2 电枢绕组的空载感应电动势19-6
 - 1.3 高次谐波电动势的产生原因及其危害19-6
- 2 交流绕组的构成原理19-7
 - 2.1 交流绕组的分类与线圈节距19-7
 - 2.2 整数槽绕组的构成原理19-8
 - 2.3 三相 60° 相带分数槽绕组的构成原理19-10
 - 2.4 60° 相带绕组的对称条件19-12
 - 2.5 并联支路数 a 与三相绕组的接法19-12
 - 2.6 单相绕组19-12
- 3 交流绕组的磁动势19-13
 - 3.1 单相分布绕组的磁动势19-13
 - 3.2 对称三相绕组的合成磁动势19-13
 - 3.3 圆形旋转磁场与非圆形旋转磁场19-14
- 4 同步电机电枢反应磁动势的折算19-16
 - 4.1 同步电机的磁动势平衡关系、电枢反应磁动势的分解19-16
 - 4.2 电枢反应磁动势的折算19-16
- 5 同步电机的电动势平衡方程、相量图和同步电抗19-17
 - 5.1 不饱和时电枢绕组中的感应电动势19-18
 - 5.2 不饱和时发电机的电动势平衡方程和同步电抗19-18
 - 5.3 同步发电机的电动势-磁动势相量图和内功率因数角 ψ_0 19-18
 - 5.4 饱和时的气隙磁场、电动势平衡方程和同步电抗19-19
- 6 同步发电机19-20
 - 6.1 同步发电机的运行特性19-20
 - 6.2 同步电机的准同步并网与自同步并网19-20
- 7 同步电机的电磁功率和稳定条件19-21
 - 7.1 损耗及效率19-21
 - 7.2 电磁功率和电磁转矩19-21
 - 7.3 静态稳定19-22
 - 7.4 动态稳定概念19-22
- 8 同步电动机19-23
 - 8.1 同步电动机的电动势平衡方程和相量图19-23
 - 8.2 同步电动机无功功率的调节——V形曲线19-23
- 9 同步电机的稳态不对称负载运行19-24
 - 9.1 分析方法——对称分量法19-24
 - 9.2 相序电动势方程和相序阻抗19-26
 - 9.3 不对称稳态短路19-26
- 10 突然短路19-26
 - 10.1 分析方法概述19-26

VIII 目 录

10.2	空载时机端三相突然短路	19-26
10.3	突然二相短路	19-27
10.4	突然单相对中点短路	19-28
10.5	突然短路的电流和时间常数汇总	19-28
10.6	突然短路时的电磁转矩	19-28
11	同步电机的振荡	19-30
11.1	振荡时同步电机的转矩及转矩平衡 方程	19-30
11.2	同步电机的自由振荡和强制振荡	19-31
11.3	定子电阻对振荡的影响	19-32

第3章 电磁设计

1	主要尺寸的确定	19-32
1.1	利用系数	19-33
1.2	比值 λ 的选择	19-33
1.3	主要尺寸及槽数、槽形的确定	19-34
1.4	电磁负荷选择要点	19-34
2	磁路计算	19-35
2.1	凸极同步电机磁路及空载特性计算	19-35
2.2	隐极同步电机磁路计算特点	19-37
2.3	气隙长度的确定	19-39
2.4	磁路各部分的磁通密度取值范围	19-39
2.5	负载励磁电流计算	19-40
3	参数及计算	19-41
3.1	参数标么值	19-41
3.2	电抗计算	19-41
3.3	电阻计算	19-44
3.4	时间常数计算	19-46
3.5	主要参数的影响及典型数值	19-46
4	损耗及效率	19-46
4.1	损耗分类及设计要点	19-46
4.2	空载铁损耗计算	19-46
4.3	负载时杂散损耗计算	19-48
4.4	效率	19-51

第4章 绕组绝缘结构和工艺

1	概述	19-51
2	绕组绝缘的基本性能	19-51
2.1	耐热等级	19-51
2.2	耐电性能	19-51

2.3	绝缘电阻	19-53
2.4	介质损失角正切($\tan\delta$)及其增量($\Delta\tan\delta$)	19-53
2.5	机械性能	19-54
3	高压定子绕组绝缘结构的设计	19-54
3.1	绝缘结构设计要点	19-54
3.2	定子绕组过电压倍数	19-55
3.3	框式线圈匝间绝缘结构	19-55
3.4	对地绝缘	19-55
3.5	端部绝缘结构和斜边间隙	19-59
3.6	绝缘结构的可靠性评定	19-60
4	高压定子绕组绝缘工艺	19-60
4.1	工艺流程	19-60
4.2	绝缘工艺要点	19-60
5	绕组端部连接件绝缘及端部绝缘间距	19-62
5.1	绕组端部连接件和固定件绝缘	19-62
5.2	并头套绝缘	19-64
5.3	定子绕组端部绝缘间距	19-64
6	电晕、电腐蚀及其防止	19-65
6.1	槽部电晕、电腐蚀的起因和防止的原理	19-65
6.2	端部出槽口处电晕的起因和防止的原理	19-68
6.3	防晕措施	19-70
6.4	高原电机和氢冷电机的电晕	19-70
7	转子绕组绝缘工艺	19-72
7.1	凸极磁极线圈绝缘及工艺要点	19-72
7.2	隐极转子线圈绝缘及工艺要点	19-73
8	绕组绝缘的检查试验	19-74
8.1	条式线圈股间短路检查	19-74
8.2	框式线圈匝间绝缘检查	19-75
8.3	凸极磁极线圈匝间短路检查	19-75
8.4	对地绝缘的耐压试验	19-75
8.5	直流泄漏试验	19-77
8.6	介质损失角 $\tan\delta$ 检测	19-77

第5章 汽轮发电机

1	概述	19-78
2	主要尺寸的确定	19-78

2.1	转子本体直径与长度的确定	19-78
2.2	定子铁心直径与长度的确定	19-79
2.3	定子槽数、绕组并联支路数和槽形的确定	19-79
2.4	转子槽数和槽形的确定	19-80
2.5	两极汽轮发电机初步设计的主要公式	19-80
3	基本结构	19-80
3.1	定子铁心	19-80
3.2	定子绕组	19-84
3.3	定子机座与端盖	19-85
3.4	转轴	19-85
3.5	转子绕组	19-87
3.6	护环和中心环	19-88
3.7	转子槽楔	19-89
3.8	风扇	19-89
3.9	集电环和电刷	19-90
3.10	气体冷却器	19-90
3.11	轴电流和轴承绝缘、接地电刷	19-92
4	通风系统	19-92
4.1	定子通风系统	19-92
4.2	转子通风	19-93
5	热计算要点	19-95
5.1	热计算的基本公式和有关散热系数	19-97
5.2	内冷线圈的温升计算	19-97
5.3	电机不稳定温升与冷却	19-99
6	氢冷汽轮发电机	19-100
6.1	气隙取气氢内冷转子线圈结构	19-101
6.2	机座与端盖	19-101
6.3	氢冷汽轮发电机的油密封	19-103
6.4	氢、油控制系统	19-103
7	水内冷汽轮发电机	19-104
7.1	定子绕组及其水电连接	19-106
7.2	定子线圈的水接头	19-106
7.3	定子线圈绝缘引水管及其接头	19-107
7.4	转子绕组及其水电连接	19-107
7.5	转子线圈绝缘引水管及其接头	19-108
7.6	转子线圈引水管	19-108
7.7	转子的进水箱和出水箱	19-109
7.8	转子的进水装置和内水装置	19-109
7.9	水内冷汽轮发电机的外部水系统	19-110
8	大型汽轮发电机的几个特殊问题	19-110
8.1	机座的隔振	19-110
8.2	作用于定子绕组的电磁力及绕组槽部和端部的固定	19-111
8.3	定子铁心端部及其附近金属结构件的电磁屏蔽	19-112
8.4	转子阻尼系统	19-113
8.5	轴的扭转振动概要	19-114
8.6	转子校动平衡要点	19-114
8.7	轴承及其油膜振荡	19-116
9	汽轮发电机的非正常运行	19-117
9.1	不对称负载运行	19-117
9.2	异步运行	19-117
9.3	功率因数变化时的运行	19-117
9.4	水内冷汽轮发电机的短时断水运行	19-117
10	汽轮发电机安装	19-117
10.1	安装参数	19-117
10.2	安装前的检查要点及对基础的要求	19-117
10.3	定子安装	19-118
10.4	转子安装	19-118
10.5	轴承的安装	19-119
10.6	环式油密封的安装	19-119
第6章 水轮发电机		
1	概述	19-120
2	水轮发电机设计	19-120
2.1	基本数据及要求	19-120
2.2	主要尺寸选择	19-124
2.3	安装结构型式选择	19-127
2.4	槽数选择	19-129
2.5	阻尼绕组	19-130
2.6	外型尺寸估算	19-131
2.7	总重及转子重量估算	19-132
2.8	油量、水量和气量估算	19-132
2.9	技术经济指标	19-132
3	水轮发电机的结构与工艺	19-132
3.1	定子	19-133
3.2	转子	19-136

X 目 录

3.3	座式滑动轴承	19-144
3.4	立式电机用推力轴承	19-145
3.5	导轴承	19-150
3.6	机架	19-152
4	水轮发电机的通风冷却	19-154
4.1	冷却方式	19-154
4.2	通风方式	19-154
4.3	通风系统	19-155
4.4	风扇	19-156
4.5	通风计算	19-156
5	水轮发电机的辅助设备	19-157
5.1	制动装置	19-157
5.2	永磁发电机	19-157
5.3	水内冷水轮发电机定、转子冷却水的循环系统	19-158
6	小容量水轮发电机	19-160
6.1	特点	19-160
6.2	结构要点	19-161
6.3	系列产品技术数据	19-162
7	灯泡式水轮发电机	19-162
7.1	电磁设计要点	19-162
7.2	结构设计要点	19-164
7.3	通风冷却方式	19-164
7.4	励磁系统选择	19-164
8	发电电动机	19-164
8.1	特点	19-164
8.2	起动方式	19-165
8.3	轴承	19-165
8.4	变极原理	19-166
9	水轮发电机的特殊运行方式	19-167
9.1	调相运行	19-167
9.2	进相运行	19-168
10	水轮发电机的振动	19-168
10.1	振动原因或条件	19-168
10.2	振动标准	19-168
11	水轮发电机的安装	19-168
11.1	安装程序及大部件起吊	19-168
11.2	发电机安装高程、中心确定及机组轴线检查和调整	19-168
11.3	推力轴承受力调整	19-172

第7章 柴油发电机

1	概述	19-172
1.1	结构和安装方式	19-173
1.2	发电机与柴油机的功率匹配	19-173
1.3	对自励恒压柴油发电机的主要要求	19-173
2	小型柴油发电机的设计要点	19-174
2.1	定子绕组	19-174
2.2	每极每相槽数 q 的选择	19-175
2.3	斜槽	19-175
2.4	气隙长度 δ 的确定	19-175
2.5	磁极结构型式的选择	19-175
2.6	磁极形状的选择	19-175
2.7	防止产生轴电流的拼片条件	19-176
2.8	轴的扭转振动	19-176
2.9	通风冷却	19-176
2.10	校平衡	19-177
2.11	小型柴油发电机的主要尺寸及参数	19-177
3	柴油发电机的运行	19-177
3.1	无闪烁运行	19-177
3.2	并联运行	19-177
4	自励恒压柴油发电机的试验特点	19-178
4.1	稳态电压调整率的测定	19-178
4.2	电压整定范围的检查	19-179
4.3	冷热态电压变化的测定	19-179
4.4	突加额定负载及起动异步电动机能力的检查	19-179
4.5	发电机在不对称负载工作时线电压偏差程度的测定	19-179
5	故障现象、原因及处理方法	19-179

第8章 同步电动机和同步调相机

1	同步电动机的特点和用途	19-180
2	同步电动机的结构	19-180
2.1	卧式同步电动机的常用结构	19-180
2.2	阻尼绕组的结构及其焊接	19-181
2.3	同步电动机的通风冷却方式	19-182
2.4	对防爆同步电动机结构的要求	19-183
3	同步电动机的起动	19-183

3.1	起动方法	19-183
3.2	异步起动特性及其设计要点	19-184
3.3	牵入同步的条件	19-184
3.4	起动特性计算	19-185
3.5	起动时间计算	19-185
3.6	异步起动时的绕组温升计算	19-185
3.7	全压与降压起动对绕组温升的影响	19-186
4	往复式压缩机用同步电动机飞轮力矩的选择	19-186
5	同步电动机的功率圆图	19-187
6	同步异步电动机	19-188
6.1	用途和结构特点	19-188
6.2	设计要点	19-188
7	同步调相机	19-189
7.1	特点和用途	19-189
7.2	电力用同步调相机设计要点	19-189
7.3	钢铁企业用同步调相机的设计要点	19-190
7.4	同步调相机的起动方法	19-190

第9章 中频发电机

1	感应子式发电机的特点和分类	19-191
1.1	特点	19-191
1.2	分类	19-191
2	感应子式中频发电机工作原理	19-191
2.1	多极倍齿距式感应子发电机工作原理	19-191
2.2	多极等齿距式感应子发电机工作原理	19-193
2.3	单级式磁路结构	19-194
2.4	电枢反应及相量图	19-195
2.5	运行特性	19-195
3	设计与计算	19-196
3.1	额定数据及选型	19-196
3.2	主要电磁参数的确定	19-196
3.3	磁路及空载特性计算	19-197
3.4	额定励磁电动势、额定励磁磁动势和参数的计算	19-199
3.5	损耗和效率	19-200
3.6	电磁材料的选择特点	19-200

4	小型变频器	19-201
4.1	基本数据	19-201
4.2	对电压波形的要求与改善波形的方法	19-202
4.3	结构要点	19-203
4.4	控制系统	19-204
4.5	使用维护	19-204
5	感应加热用变频器	19-204
5.1	基本数据	19-204
5.2	并联运行	19-204
5.3	控制系统	19-205
5.4	结构要点	19-205
5.5	关键工艺	19-208
5.6	使用维护	19-208

第10章 同步电机的励磁系统

1	概述	19-210
1.1	励磁系统的种类及适用范围	19-210
1.2	各种励磁系统的特点比较	19-210
1.3	励磁系统术语	19-210
2	自动励磁调节器	19-215
2.1	调节器的种类	19-215
2.2	调节器的组成	19-215
2.3	半导体型自动励磁调节器基本单元的 典型线路	19-216
2.4	基本调节装置的总体工作原理	19-220
2.5	大中容量同步发电机用自动励磁调节 器的基本性能指标	19-221
2.6	直流电机励磁系统用的自动励磁调节 器	19-221
3	大中容量同步发电机及调相机的励 磁系统	19-221
3.1	对励磁系统的要求	19-221
3.2	励磁系统简要说明	19-222
3.3	发电机及调相机的灭磁	19-225
3.4	整流器励磁系统的转子过电压及其限 制	19-226
3.5	励磁系统供电设备主要电气参数等的 确定	19-226
4	同步电动机的励磁系统	19-231
4.1	对励磁系统的要求	19-231

XII 目 录

4.2 直流电机励磁系统.....	19-231	3.2 冲击短路电流时的机械强度试验.....	19-249
4.3 可控硅励磁系统.....	19-231	3.3 氢冷汽轮发电机的气密试验.....	19-249
5 低压小型同步发电机的励磁系统.....	19-233	4 温升与效率	19-249
5.1 对励磁系统的要求.....	19-233	4.1 温升试验.....	19-249
5.2 常用的几种励磁系统及其性能特点	19-233	4.2 效率测定.....	19-252
5.3 不可控电抗移相复励系统.....	19-234	5 转矩测定	19-254
5.4 谐振式相复励系统.....	19-237	5.1 最初起动电流和最初起动转矩的测定	19-254
5.5 双绕组电抗分流式励磁系统.....	19-238	5.2 标称牵入转矩测定.....	19-254
5.6 自并励系统.....	19-238	5.3 最大转矩测定.....	19-254
5.7 谐波励磁系统.....	19-239	6 参数测定	19-255
6 中频发电机的励磁系统	19-242	6.1 方法选用.....	19-255
6.1 工频他励可控硅励磁系统.....	19-242	6.2 测定方法.....	19-255
6.2 可控相复励系统.....	19-242	7 其它性能测定	19-258
6.3 晶体管自并励系统.....	19-242	7.1 额定励磁电流和电压变化率的测定	19-258
7 交流励磁机	19-242	7.2 电压波形正弦性畸变率测定.....	19-258
7.1 特点.....	19-242	7.3 飞轮力矩 GD^2 的测定	19-259
7.2 设计特点及性能参数.....	19-243		
7.3 结构特点.....	19-244		
7.4 辅助发电机的设计要点.....	19-245		
7.5 交流副励磁机.....	19-246		

第 11 章 产品试验方法

1 试验类型及项目	19-246
1.1 型式试验与检查试验.....	19-246
1.2 试验项目.....	19-246
2 绝缘性能试验	19-247
2.1 绕组对机壳及其相互间绝缘电阻测定	19-247
2.2 电枢绕组匝间绝缘介电强度试验.....	19-247
2.3 电枢绕组绝缘直流介电强度试验与泄 漏电流测量.....	19-247
2.4 电机绕组绝缘交流介电强度试验.....	19-248
3 机械性能试验	19-249
3.1 超速试验.....	19-249

附 录

附录 I 两极 3000 转/分的汽轮发电机主要 参数	19-260
附录 II 国外大容量汽轮发电机主要技术数 据	19-261
附录 III 小容量水轮发电机系列产品技术数 据	19-261
附录 IV 500~5000 千瓦水轮发电机部分产 品技术数据	19-262
附录 V 灯泡式水轮发电机典型产品主要技 术数据	19-263
附录 VI 大容量水轮发电机典型产品主要技 术数据	19-263
附录 VII 国外大容量水轮发电机主要技术数 据	19-264
参考文献	19-264

第 20 篇 异 步 电 机

第 1 章 概 述

1 基本特点	20-1	2 用途和分类	20-1
		3 标准化、系列化、通用化.....	20-2
		4 主要技术数据	20-3

第2章 基本工作原理

1 异步电机三相交流绕组	20-4
1.1 各槽线圈相属的确定	20-4
1.2 绕组连接	20-5
2 异步电机交流绕组的磁动势	20-8
3 异步电机绕组中的感应电动势	20-8
3.1 基波磁场感应电动势	20-8
3.2 高次谐波磁场的感应电动势	20-8
4 异步电机等值电路和相量图	20-8
4.1 转子参量折算	20-8
4.2 T形等值电路	20-9
4.3 励磁支路移前的等值电路	20-9
4.4 简化等值电路	20-9
4.5 相量图	20-10
5 异步电机的漏抗	20-10
5.1 槽漏抗	20-10
5.2 端部漏抗	20-10
5.3 气隙漏抗(谐波漏抗)	20-10
5.4 齿端漏抗	20-11
5.5 斜槽漏抗	20-11
6 损耗和功率	20-11
6.1 损耗	20-11
6.2 功率平衡	20-12
7 电磁转矩	20-12
7.1 基波电磁转矩	20-12
7.2 附加(谐波)转矩	20-13
8 运行特性	20-14
8.1 运行特性及其特征	20-14
8.2 电源电压或频率非额定值时的运行	20-15
8.3 电源电压和频率按一定规律变化时的运行	20-15
8.4 三相电压不平衡时的运行	20-15
9 异步电机的电磁噪声	20-15
9.1 径向电磁力波	20-15
9.2 基波磁场产生的电磁噪声	20-16
9.3 谐波磁场产生的电磁噪声	20-16
9.4 其它的电磁噪声	20-17

第3章 电磁设计

1 产品技术要求	20-17
1.1 额定数据	20-17
1.2 性能指标	20-17
2 系列设计考虑的主要问题	20-17
2.1 功率等级	20-18
2.2 安装尺寸	20-18
2.3 功率与安装尺寸的对应关系	20-18
2.4 零部件标准化、系列化、通用化	20-18
3 电磁方案的设计	20-18
3.1 电机利用系数	20-18
3.2 电磁负荷	20-19
3.3 定子铁心	20-21
3.4 气隙长度	20-22
3.5 定子、转子槽数	20-23
3.6 绕组设计	20-24
3.7 定子、转子槽形及尺寸	20-25
4 电磁计算	20-27
4.1 标么值	20-27
4.2 磁路计算	20-27
4.3 正常运行时阻抗	20-31
4.4 满载电流和电动势	20-36
4.5 损耗	20-37
4.6 运行性能计算	20-38
4.7 起动时阻抗	20-38
4.8 起动性能计算	20-40
5 设计数据调整	20-40
5.1 设计数据改变对性能、有效材料用量的影响	20-40
5.2 设计数据调整方法	20-40
6 利用现成铁心决定设计方案	20-40
6.1 有额定(铭牌)数据	20-40
6.2 无额定(铭牌)数据	20-40
7 电磁设计方案示例	20-43

第4章 结构设计

1 结构型式	20-47
1.1 防护型式	20-47
1.2 安装结构型式	20-47
2 通风冷却	20-48

2.1 传热方式20-48

2.2 电机的传热路径20-49

2.3 通风冷却散发的热量20-49

2.4 通风参量20-50

2.5 通风系统20-51

3 气隙均匀度20-53

4 主要零、部件的公差配合及光洁度20-53

5 定子20-56

5.1 定子铁心20-56

5.2 机座20-58

6 转子20-60

6.1 转子铁心结构20-60

6.2 笼型转子20-61

6.3 绕线型转子20-62

6.4 转轴的挠度、临界转速和强度20-62

7 集电装置20-63

7.1 集电环20-63

7.2 电刷和刷握20-64

8 风扇20-65

8.1 风扇种类和特性20-65

8.2 风扇与风罩、挡风板等的尺寸关系20-66

8.3 相似风扇的参量变化20-67

8.4 风扇和电机通风噪声的关系20-67

9 轴承20-67

9.1 滚动轴承选用20-67

9.2 轴承装配结构20-68

9.3 滚动轴承的润滑剂20-68

9.4 小型电机的轴承噪声20-69

9.5 滚动轴承的寿命计算20-69

第5章 绝缘结构和绕组制造

1 绝缘材料的选用20-70

2 高压定子绕组绝缘结构和绕组制造20-71

3 低压定子绕组绝缘结构20-73

3.1 散嵌绕组绝缘结构20-73

3.2 分片嵌绕组绝缘结构20-74

4 低压定子绕组制造20-75

4.1 散嵌绕组制造20-75

4.2 分片嵌绕组制造20-75

5 绕线型转子绕组绝缘20-76

5.1 散嵌绕组20-76

5.2 插入式线棒绕组20-76

5.3 绕线型转子的端部绝缘和嵌线20-78

6 绝缘处理工艺20-79

6.1 绝缘漆和浸渍方法的选用20-79

6.2 浸漆工艺要点20-79

6.3 沉浸工艺20-81

6.4 无溶剂漆滴浸工艺20-81

6.5 真空压力浸漆工艺20-82

第6章 制造工艺

1 冲片冲制工艺20-83

1.1 冲制工艺要点20-83

1.2 冲片冲制自动化20-84

1.3 影响冲片质量的因素20-85

1.4 冲片表面绝缘处理20-85

2 定子铁心压装工艺20-86

2.1 叠压系数20-86

2.2 压装工艺要点20-86

3 铸铝转子制造工艺要点20-87

3.1 转子铸铝20-87

3.2 铸铝转子外圆加工工艺20-88

4 绕组焊接工艺要点20-89

4.1 铝导体焊接20-89

4.2 铜-铝过渡接头预制品20-89

4.3 铜笼转子焊接工艺要点20-89

5 集电环制造工艺要点20-90

6 转子校平衡20-90

6.1 转子的许用不平衡量20-90

6.2 转子校平衡工艺20-91

7 机座和端盖加工工艺20-91

7.1 机座加工工艺要点20-91

7.2 端盖加工工艺要点20-92

8 保证定子同轴度的工艺20-92

9 制造工艺波动对电机性能的影响20-92

第7章 产品试验

1 型式试验20-94

1.1 绕组对机壳及绕组相互间绝缘电阻的测定20-94