
中小型电机 设计手册

上海电器科学研究所 编著
《中小型电机设计手册》编写组

机械工业出版社

中小型电机设计手册

上海电器科学研究所《中小型电机设计手册》编写组 编著



机械工业出版社

(京) 新登字 054 号

本书介绍了中小型电机设计基础知识, 各类中小型电机——异步电动机、同步发电机、直流电机的设计原理、方法及设计程序; 并附算例以及供设计用的曲线、图表, 设计常用的标准及材料; 对电机的计算机辅助设计也做了介绍。

本书由我国中小型电机归口研究单位的专家编写, 总结了几十年来设计的经验, 是一本内容详尽、实用、完整的专业性手册。本书是中小型电机制造厂、设计研究单位从事电机设计的广大工程技术人员不可缺少的工具书, 也可供电机维护、修理、运行的工程技术人员以及高等院校有关专业广大师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中小型电机设计手册/上海电器科学研究所《中小型电机设计手册》编写组编著·—北京: 机械工业出版社, 1994. 7
ISBN 7-111-03969-6

I. 中…

II. 上…

III. ①电机-异步电动机-设计-手册 ②电机-同步发电机-设计-手册 ③电机-直流电机-设计-手册

IV. TM302-62

出版人: 马九荣 (北京百万庄南街15号 邮政编码 100037)

责任编辑: 周娟 版式设计: 王颖 责任校对: 孙志筠

封面设计: 姚毅 责任印制: 卢子祥

河北三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1994年7月第1版·1994年7月第1次印刷

850mm×1168mm1/32·22.75印张·3插页·601千字

0 001—7000册

定价 30.00 元

前 言

目前我国从事电机研究、设计、制造和维修的科技人员数以万计，迫切需要一本能反映当代电机技术水平的设计手册。为此我们受中国电工技术学会的委托，按照“简明、实用、便查”的原则，积数十年的设计经验，组织编写了《中小型电机设计手册》。

本手册包括：中小型电机设计基础知识；单相、三相异步电动机，单相、三相小型同步发电机，小型直流电机的设计原理、电磁设计程序和算例；部分派生、专用三相异步电动机的设计特点；电机计算机辅助设计；电机基础标准；电机用材料及零部件标准。内容详尽、程序实用、取材全面，希望能成为电机设计工作者的良师益友。

目前我国电机计算机辅助设计（CAD）技术已取得了实用性成果，并已在中小型电机行业逐步推广，但它的理论基础和主要程序仍与本手册息息相关。所以本手册对有志于研究电机CAD技术的科技人员也是很好的参考资料。

本手册结合电机生产实际，把电机设计教科书介绍的基础理论知识实用化，可供高等院校电机及有关专业的师生参考。

本手册由机械工业部上海电器科学研究所中小型电机分所有关科技人员集体编写，黄国治、季杏法、彭友元负责手册编写的组织及统稿工作。书稿编写分工如下：黄国治编写第1、2章，并对全书校阅；陈伟华编写第4、8章（除8.4.2节）；龚定章编写第5章；仇文乞编写第6章；游寿康编写第7章；瞿祖方编写第9、10章；李嘉民编写第3.1节；胡春雷编写第3.2、3.4节；冯士强编写第3.3节；李圣年编写第3.5节；葛美德编写第8.4.2节。

高庆荣、殷元章、朱春甲、刘思源等同志对本手册取材、结构提出很多宝贵意见，并审阅了书稿。

《中小型电机设计手册》编写组

目 录

前言

1 中小型电机设计概要	1
1.1 设计技术要求	1
1.1.1 设计原始数据	1
1.1.2 设计过程及内容	1
1.2 主要尺寸	2
1.2.1 利用系数	2
1.2.2 电磁负荷	3
1.2.3 主要尺寸比	4
1.2.4 主要尺寸的确定	5
1.3 绕组	5
1.3.1 绕组构成原理	5
1.3.2 三相交流绕组	8
1.3.3 单相交流绕组	11
1.3.4 直流电枢绕组	11
1.4 主磁路	11
1.4.1 空载气隙磁场	11
1.4.2 磁路计算原理	11
1.4.3 励磁磁动势及励磁电流	13
1.5 电抗	14
1.5.1 主电抗	14
1.5.2 漏电抗	14
1.6 损耗和效率	16
1.6.1 绕组电阻损耗	16
1.6.2 基本铁损耗	16
1.6.3 风摩损耗	17
1.6.4 杂散损耗	17
1.6.5 效率	18
1.7 通风散热	18
1.7.1 电机冷却方式	18

1.7.2	风扇	19
1.7.3	电机温升限值	19
2	三相异步电动机设计	20
2.1	额定数据及要求	20
2.2	主要尺寸及绕组设计	21
2.2.1	主要尺寸	21
2.2.2	气隙	21
2.2.3	定转子槽数选择	22
2.2.4	绕组设计	24
2.2.5	定转子槽形及尺寸	26
2.3	电磁计算步骤及标么值	28
2.3.1	转子量的折算	28
2.3.2	标么值	28
2.3.3	电磁计算步骤	28
2.4	三相异步电动机电磁计算程序及算例	30
2.5	结构设计	46
2.5.1	典型结构示例	46
2.5.2	定子结构型式	48
2.5.3	转子结构型式	49
2.5.4	绝缘结构	50
3	部分派生专用三相异步电动机设计特点	73
3.1	单绕组变极变速异步电动机	73
3.1.1	绕组排列方法	73
3.1.2	设计特点	88
3.2	电磁调速异步电动机	92
3.2.1	概述	92
3.2.2	电磁离合器的基本理论	94
3.2.3	低电阻电枢电磁离合器	101
3.3	齿轮减速电动机	102
3.3.1	齿轮减速箱体结构设计	102
3.3.2	齿轮设计	102
3.4	交流力矩电动机	124
3.4.1	概述	124
3.4.2	卷绕型力矩电机的基本理论	126
3.4.3	导辊型力矩电机的参数选择	133

3.4.4	力矩电机调压调速	134
3.5	井用潜水异步电动机	135
3.5.1	结构型式与特点	135
3.5.2	绝缘结构	136
3.5.3	主要尺寸与功率等级	137
3.5.4	电磁设计特点	137
3.5.5	损耗	143
3.5.6	发热与冷却	147
3.5.7	机械计算	148
4	单相异步电动机设计	150
4.1	概述	150
4.2	单相异步电动机的类型及特点	150
4.3	额定数据及主要性能指标	153
4.4	运行性能的分析与计算	154
4.4.1	单相单绕组电机运行时的等效电路与性能计算	155
4.4.2	相轴正交的双绕组电机运行时的等效电路与性能计算	156
4.4.3	相轴非正交的双绕组电机的运行性能分析	157
4.4.4	Y 联结三绕组单相电容运转异步电动机的运行性能 分析	158
4.4.5	抽头调速单相电容运转异步电动机的运行性能分析	160
4.5	单相电机尺寸的确定	164
4.5.1	主要尺寸的确定	164
4.5.2	气隙长度的确定	166
4.5.3	定子槽数的选择	166
4.5.4	定转子槽配合	167
4.5.5	定转子冲片设计	168
4.6	单相异步电动机定子绕组设计	169
4.6.1	概述	169
4.6.2	单层同心式等相带绕组	170
4.6.3	单层同心式不等相带绕组	171
4.6.4	正弦绕组	172
4.7	斜槽的选择	175
4.8	有效匝数比和外接电容器的选择	177
4.9	单相异步电动机电磁计算程序	179
4.10	罩极电动机电磁计算程序	198

5	小型三相同步发电机设计	218
5.1	电磁设计要点	218
5.1.1	主要尺寸的选择	218
5.1.2	电磁负荷的取值范围	219
5.1.3	气隙长度 δ 的确定	219
5.1.4	定转子槽数及槽形	220
5.1.5	绕组设计	220
5.1.6	绝缘的选用	221
5.1.7	磁极结构的选择	222
5.1.8	磁极形状的选择	224
5.1.9	阻尼绕组的设置	225
5.1.10	磁路计算	225
5.1.11	防止产生轴电流的拼片条件	228
5.1.12	参数计算	229
5.1.13	损耗及效率	230
5.2	结构设计要点	230
5.2.1	装联轴器双支座转轴的計算 (挠度及临界转速)	230
5.2.2	装带轮双支座转轴的計算 (挠度及临界转速)	233
5.2.3	联轴器传动轴伸的計算	237
5.2.4	带轮传动轴伸的計算	238
5.3	小型三相凸极同步发电机电磁设计程序及算例	240
5.4	小型三相隐极同步发电机电磁设计程序及算例	258
5.5	交流励磁机设计要点	277
5.5.1	概述	277
5.5.2	电磁负荷及主要参数选择	279
5.5.3	电压、电流、容量及功率因数的确定	279
5.6	旋转整流桥的设计	280
5.6.1	旋转整流管耐旋转、振动的要求	281
5.6.2	旋转整流管的耐压水平	281
5.6.3	旋转整流管的电流	282
5.6.4	旋转整流管的保护	282
5.6.5	旋转整流器的故障和报警	283
5.7	小型三相同步发电机的励磁	284
5.7.1	分类及特点	284
5.7.2	直接可控励磁设计要点	285

5.7.3	三次谐波励磁设计要点	292
5.7.4	电抗移相相复励励磁系统设计要点	294
5.8	自动电压调节器	299
5.8.1	测量比较单元	299
5.8.2	综合放大单元	302
5.8.3	移相触发单元	304
5.8.4	典型线路分析	307
6	小型单相同步发电机设计	320
6.1	小型单相同步发电机设计特点	320
6.1.1	单相同步发电机的电枢反应	320
6.1.2	单相同步电机等效电路和转子复阻抗	321
6.1.3	消除负序磁场的方法和阻尼绕组	323
6.1.4	单相绕组	325
6.1.5	主要尺寸和电磁负荷的取值	327
6.2	小型单相同步发电机的励磁方式	330
6.2.1	励磁方式的选择原则	330
6.2.2	与三相同步发电机相同的励磁方式	330
6.2.3	利用负序磁场励磁的励磁方式	332
6.3	单相同步发电机基本设计程序	338
6.3.1	凸极式单相同步发电机基本设计程序及算例	338
6.3.2	隐极式单相同步发电机基本设计程序	360
7	小型直流电机设计	380
7.1	额定数据及要求	380
7.2	主要尺寸及绕组	381
7.2.1	电磁负荷	381
7.2.2	电枢尺寸选择	382
7.2.3	极数及主极尺寸	385
7.2.4	气隙	387
7.2.5	槽数及槽形	388
7.2.6	换向器直径与片数	391
7.2.7	电机的绕组型式	392
7.3	电磁计算	398
7.3.1	整流电源供电对电机设计的要求	398
7.3.2	电枢绕组数据	400
7.3.3	槽形尺寸计算	401

7.3.4	电刷与换向器	402
7.3.5	补偿绕组	405
7.3.6	换向性能与换向极绕组	406
7.3.7	磁路计算	414
7.3.8	励磁绕组计算	422
7.3.9	电动机转速变化率	426
7.3.10	损耗和效率	427
7.3.11	电动机电感计算	431
7.4	结构及机械计算	432
7.4.1	主磁极紧固螺栓计算	432
7.4.2	扎带计算	433
7.4.3	换向器计算	434
7.5	通风发热计算	438
7.5.1	常见的通风系统	439
7.5.2	风扇设计	440
7.6	小型直流电动机的计算程序及算例	442
8	电机的计算机辅助设计	470
8.1	概述	470
8.2	异步电机电磁计算 FORTRAN 程序	471
8.2.1	曲线和图表的数学处理	471
8.2.2	程序框图	473
8.2.3	输入和输出	475
8.2.4	FORTRAN 77 程序的编写	478
8.3	电机的优化设计	482
8.3.1	电机优化设计的数学模型	482
8.3.2	优化设计方法	485
8.4	计算机辅助设计系统	496
8.4.1	电机工程设计数据库	496
8.4.2	计算机绘图	502
8.4.3	计算机辅助设计系统的总体设计和管理	509
9	电机基础标准	513
9.1	旋转电机的基本技术要求 (GB755—87)	513
9.1.1	工作制和定额	513
9.1.2	运行条件	515
9.1.3	温升	518

9.1.4	介电性能	522
9.1.5	各种特性	524
9.1.6	换向	528
9.1.7	容差	528
9.1.8	波形畸变	531
9.1.9	电压与输出对应关系	532
9.1.10	结构要求	532
9.2	电机的外壳防护分级 (GB4942.1—85)	533
9.2.1	第一位表征数字	535
9.2.2	第二位表征数字	535
9.3	电机的冷却方法 (GB1993—80)	536
9.3.1	定义	536
9.3.2	冷却介质代号	538
9.3.3	冷却回路	538
9.3.4	冷却方法代号	538
9.4	电机的结构及安装型式代号 (GB997—81)	544
9.4.1	定义	544
9.4.2	规定1的代号组成	544
9.4.3	规定2的代号组成	550
9.5	电机的线端标志与旋转方向 (GB1971—80)	551
9.5.1	线端标志的字母和数字组成	551
9.5.2	交流电机的线端标志	551
9.5.3	直流换向器电机的线端标志	555
9.5.4	旋转方向	562
9.5.5	旋转方向与线端标志的关系	562
9.6	电机的噪声限值 (GB10069.3—88)	563
9.6.1	转速不超过 3750r/min, 功率从 1~5500kW 的 交直流电机的噪声限值	563
9.6.2	小功率异步电动机 (IP44) 的噪声限值	563
9.6.3	小功率单相串励电动机的噪声限值	564
9.6.4	电机的负载噪声限值	564
9.7	电机的振动限值 (GB10068.2—88)	564
9.7.1	不同轴中心高和转速的单台电机的振动限值	564
9.7.2	小于振动限值要求的优先推荐值	565
9.7.3	轴承无轴向限制机构时的规定	565

9.7.4	立式电机的规定	565
9.8	电机的功率和尺寸	565
9.8.1	电机功率等级 (GB4826—84)	565
9.8.2	电机的尺寸 (GB4772—84)	566
9.9	笼型异步电动机的起动性能 (GB5767—86)	573
9.9.1	设计代号	576
9.9.2	起动转矩	576
9.9.3	堵转视在功率	577
9.9.4	起动要求	577
9.10	额定电压 (GB156—80)	579
9.10.1	3 kV 以下的设备与系统的额定电压	579
9.10.2	3 kV 及以上设备与系统的额定电压	580
9.11	额定电流 (GB762—80)	581
9.12	额定频率 (GB1980—80)	581
10	电机用材料及零部件标准	583
10.1	导磁材料	583
10.1.1	热轧硅钢薄板 (GB5212—85)	583
10.1.2	冷轧电工钢带 (片) (GB2521—88)	586
10.2	导电材料	589
10.2.1	漆包圆绕组线	589
10.2.2	漆包扁绕组线 (GB7095.1~5—86)	595
10.2.3	玻璃丝包绕组线 (GB7672.1~6—87)	599
10.2.4	聚乙烯绝缘尼龙护套绕组线 (JB4014—85)	603
10.3	绝缘材料	606
10.3.1	电工纸板和布板	606
10.3.2	绝缘薄膜复合材料	622
10.3.3	漆绸和漆布	628
10.3.4	云母带和云母板	639
10.4	零部件	642
10.4.1	电机用换向器和集电环 (GB/T 12973—91)	642
10.4.2	电机用电刷尺寸 (JB2623—85)	643
10.4.3	电机用电刷 (JB4003—85)	647
10.4.4	RAA 型刷握及其集电环 (JB/T2839—92)	651
10.4.5	恒压刷握 (JB/T2361—92)	653
10.4.6	小型笼型三相异步电动机接线盒	

	(JB/DQ3116—85)	658
10.4.7	小型异步电动机用工程塑料风扇	
	(JB/DQ4644—90)	660
附录 1	Y 系列 (IP44) 三相异步电动机技术条件 (摘要)	664
附录 2	YC 系列电容起动异步电动机技术条件 (摘要)	672
附录 3	YL 系列双值电容单相异步电动机技术条件 (摘要)	675
附录 4	T2 系列小型三相同步发电机技术条件 (摘要)	677
附录 5	小型无刷三相同步发电机技术条件 (摘要)	681
附录 6	小型单相同步发电机技术条件 (摘要)	684
附录 7	Z2 系列小型直流电机技术条件 (摘要)	687
附录 8	Z4 系列直流电动机技术条件 (摘要)	692
附录 9	Y 系列 (IP44) 小型三相异步电动机技术数据	701
附录 10	Y 系列 (IP23) 小型三相异步电动机技术数据	711

1 中小型电机设计概要

1.1 设计技术要求

1.1.1 设计原始数据

电机设计时通常需要给定下列数据：

(1) 额定功率。发电机为线端输出的电功率 (kW 或 kVA)；电动机为轴上输出机械功率 (kW)。

(2) 额定电压 (V 或 kV)。

(3) 相数及接法 (对交流电机)。

(4) 额定频率 (Hz) (对交流电机)。

(5) 额定转速或同步转速 (r/min)。

(6) 额定功率因数。

(7) 励磁方式及额定励磁电压或电流 (对同步电机及他励直流电机)。

(8) 要求的性能指标。如效率、过载能力、起动电流、起动转矩、牵入转矩 (对同步电动机)、电压变化率 (对发电机)、转速变化率 (对电动机)、振动与噪声等。

在进行产品设计前，应根据产品的通用标准、技术条件、用户提出的技术要求，首先确定产品的运行环境条件 (海拔高度、冷却介质温度等)、工作方式、冷却方式、外壳防护等级、绕组绝缘等级等。

1.1.2 设计过程及内容

首先应根据产品通用标准、技术条件及用户要求确定设计原始数据，然后进行电磁设计和结构设计。电磁设计是根据设计技术要求确定电机的电磁负荷，计算定子、转子冲片和铁心各部分尺寸及绕组数据，进而核算电机各项参数及性能，并对设计数据