

异步电动机 设计手册

第2版

傅丰礼 主编
唐孝镐

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



● ISBN 7-111-20013-6

封面设计·电脑制作：
姚毅

ISBN 7-111-20013-6



9 787111 200130 >

定价：78.00 元

编辑热线 (010)88379768

地址：北京市百万庄大街22号

邮政编码：100037

联系电话：(010) 68326294

网址：<http://www.cmpbook.com>

(010) 68993821

E-mail: online@cmpbook.com

TM343

15=2

2007

异步电动机设计手册

第 2 版

傅丰礼 主编
唐孝镐

机械工业出版社

本书共9章。内容包括：三相异步电动机设计、多速异步电动机设计、锥形异步电动机设计、潜水异步电动机设计、单相盘式异步电动机设计、实心转子与复合转子异步电动机设计、直线异步电动机设计、三相交流力矩电动机设计、变频异步电动机设计。

参加编写工作的作者都是在该领域富有成就的专家。书中较完整地总结了我国在异步电动机设计方面的最新成果，特别是对各种专用电动机设计，书中都以一定的篇幅介绍了其运行原理，详细介绍了设计方法，并提供了计算实例，具有较大的实用价值和参考价值。

本书可供从事电机研究、设计、运行、维修的工程技术人员作为工具书使用，也可供高等院校电机专业的师生作为教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

异步电动机设计手册/傅丰礼, 唐孝镐主编. —2版.
—北京: 机械工业出版社, 2006.10
ISBN 7-111-20013-6

I. 异… II. ①傅…②唐… III. 异步电动机—设计—技术手册 IV. TM343.02-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 118702 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 李振标 版式设计: 冉晓华 责任校对: 魏俊云
封面设计: 姚毅 责任印制: 洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2007 年 1 月第 2 版 · 第 1 次印刷
140mm × 203mm · 30.25 印张 · 3 插页 · 866 千字
0 001—3 000 册
定价: 78.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68326294
编辑热线电话 (010) 88379768
封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书第1版出版以后，受到了电机行业广大读者的普遍欢迎。应读者的建议，本书第2版除对第1版中个别地方做了修改和补充了部分内容之外，又增加了第8章三相交流力矩电动机设计（上海大学胡康银副教授编写），第9章变频异步电动机设计（东南大学胡虔生教授编写）。这两章的内容都是作者多年来潜心研究的最新成果，也是电机行业近年来热门开发的产品之一，对读者有较大的实用参考价值。

在“十五”期间，我国中小型电机产业有了快速的发展。据中国电器工业协会中小型电机分会2004年对56家主要生产企业的统计资料表明：2004年中小型电动机的产量已达到8000万kW，销售收入156亿元，年产量在200万kW以上的生产企业有19家，我国已成为全球主要的电机生产国之一。在“九五”和“十五”期间，我国中小型电机行业开发的几大系列产品——Y2系列低压三相异步电动机、Y2系列中型高压三相异步电动机、YB2系列隔爆三相异步电动机、YZ2、YZR2系列起重冶金用三相异步电动机、YVF2系列变频调速三相异步电动机等已得到全面的推广和应用，这些产品基本上达到了20世纪90年代中后期的国际先进水平，并已成为国内电机行业的主流产品。

但与国外先进的电机企业相比，我国还存在着明显的差距，主要表现在：品牌方面的差距、生产规模上的差距、产品水平的差距。另外，随着科学技术的进步和新材料、新装备、新技术和新设计的应用以及用户对各种用途的电机不断提出新的要求，电机产业也必须与时俱进，以新的姿态满足社会的各种需求。因此，密切关注国际上电机的发展趋势和研究方向，分析我国电机行业的现状并寻找相应的对策，不断开发新的产品将是电机设计工程师应尽的责任。希望本书第2版的出版能在电机产业的技术进步中发挥更大的作用。

傅丰礼

2006年9月

第1版前言

随着我国加入WTO的日益临近，电机行业正面临着新的机遇和挑战。调整企业的产品结构，加强国内外市场需求的新产品开发，是我国电机行业目前的一项重要任务。

长期以来，我国电机行业的产品结构，一直维持着基本系列产量大，派生和专用系列产量小的局面。八五期间，上海电器科学研究所曾做过一次调查，调查结果表明，我国电机产品基本系列与派生系列的比例为7:3，而发达国家的比例是3:7。因此，原机械工业部在“八五”、“九五”期间，把大力发展派生系列和专用系列作为一项工作重点。经过十年的努力，目前我国电机产品基本系列与派生系列、专用系列的产量比例，已大致提高到5:5的水平。

当前，从事电机产品开发的科技人员，普遍感到缺少有关介绍派生系列和专用系列产品的设计资料。有鉴于此，上海电器科学研究所组织了在该领域内富有成就的专家，编写了这本异步电动机设计手册，以期对电机行业从事产品开发的科技人员有所裨益。

本书共分七章。第1章三相异步电动机设计是本书的基础，除了介绍经典的设计方法之外，还以较大篇幅介绍了我国电机行业在八五、九五期间所取得的最新成果，其中包括异步电机的起动计算、通风与温升计算、噪声计算、电机的优化设计和电机设计专家系统。第2章多速异步电动机设计，详细介绍了单绕组变极设计的最新成果，并列举了有代表性的变极绕组方案汇编。第3章锥形异步电动机设计，较全面地介绍了锥形异步电动机的设计特点，以及锥形异步电动机特有的轴向磁拉力、起动性能和制动性能计算。第4章潜水异步电动机设计，在国内是首次完整地介绍各种潜水异步电动机的结构和设计方法。第5章实心转子与复合转子异步电动机设计，其内容基本上都是该学科的最新成果。第6章三相盘式电动机设计，内容较为新颖，对盘式电动机的结构、工艺特点和设计要

点，做了较清晰的阐述。第7章直线异步电动机设计，介绍了目前最常用的扁平型和圆筒型两类直线电机的原理、结构和设计方法。

本书内容丰富、文字通顺，书中除了对设计方法有较详细的阐述外，考虑到本书所涉及的内容，都是近年来新开发的产品，因此，对其理论基础和运行原理，也做了扼要的介绍。

本书由上海电器科学研究所傅丰礼博士、华中科技大学唐孝镛教授主编。参加编写工作的有：华中科技大学唐孝镛教授（第1章（除1.10~1.12节），第5章、第6章）；东南大学胡虔生教授（第1章1.10~1.12节）；广东工业大学张城生教授（第2章）；华中科技大学冯信华教授（第3章）；上海电器科学研究所李圣年高级工程师（第4章）；上海大学蔡廷锡教授（第7章）。

限于编者水平，错误不当之处在所难免，敬请广大读者不吝指正。

2001年5月

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第 1 章 三相异步电动机设计	1
1.1 概述	1
1.1.1 异步电动机的主要性能指标和额定数据	1
1.1.2 异步电动机设计的主要内容和基本工作流程	2
1.2 异步电动机的结构和结构设计概述	3
1.2.1 结构设计的基本内容和原则	3
1.2.2 异步电动机的结构型式	3
1.2.3 几个主要构件的设计问题	10
1.3 铁心和绕组设计	16
1.3.1 主要尺寸确定和电磁负荷选择	16
1.3.2 铁心设计	20
1.3.3 绕组设计	30
1.4 磁路计算	35
1.4.1 异步电动机的磁路	35
1.4.2 每极磁通 Φ	35
1.4.3 磁通密度和磁位降计算	36
1.4.4 磁化(励磁)电流计算	41
1.5 参数计算	42
1.5.1 定子绕组平均匝长	42
1.5.2 电阻计算	44
1.5.3 漏电抗计算	46
1.6 运行性能计算	52
1.6.1 异步电动机的等效电路和圆图	53
1.6.2 定转子电流计算	53
1.6.3 满载电动势计算	55

1.6.4	空载电动势和空载磁路计算	55
1.6.5	损耗计算	56
1.6.6	电动机的力能指标和过载能力	59
1.7	起动能计算	60
1.7.1	饱和效应计算	61
1.7.2	集肤效应计算	71
1.7.3	起动电流和起动转矩计算	76
1.7.4	起动时间计算	77
1.7.5	起动温升的工程计算方法	79
1.8	异步电动机的通风与温升计算	83
1.8.1	异步电动机的通风型式	83
1.8.2	小型异步电动机的通风计算	87
1.8.3	小型异步电动机的温升计算	89
1.8.4	中型异步电动机的通风计算	92
1.8.5	中型异步电动机的温升计算	94
1.9	异步电动机的噪声计算	94
1.9.1	概述	94
1.9.2	轴承噪声计算	95
1.9.3	通风噪声计算	96
1.9.4	电磁噪声计算	98
1.10	异步电动机的计算机辅助设计	106
1.10.1	概述	106
1.10.2	异步电动机 CAD 中常用的数学处理方法	108
1.10.3	异步电动机的分析程序	115
1.10.4	异步电动机的综合程序	120
1.11	异步电动机的优化设计	123
1.11.1	优化设计的数学模型	124
1.11.2	优化设计方法	127
1.11.3	优化设计	131
1.12	异步电动机设计专家系统	133
1.12.1	概述	133
1.12.2	专家系统的构成	134
1.12.3	专家系统的设计	140
1.13	三相异步电动机电磁计算程序及算例	146

1.14 附录 三相异步电动机技术数据	161
参考文献	206
第2章 多速异步电动机设计	207
2.1 概述	207
2.2 单绕组多速异步电动机的变极原理	208
2.3 用安导调制法设计反向变极绕组	209
2.3.1 经典的反向变极双速绕组接法——“Dahlander 联结法”	209
2.3.2 用安导调制法设计 $2Y/Y$ (或 $2Y/\Delta$) 接法的 反向变极绕组	211
2.4 用“槽号相位图法”设计反向变极绕组	218
2.4.1 槽号相位图的意义和画法	218
2.4.2 双极对数槽号相位图的意义和画法	219
2.4.3 用“槽号相位图法”设计 $2Y/Y$ (或 $2Y/\Delta$) 接法的 反向变极绕组	221
2.4.4 用“槽号相位图法”设计非正规分布反向变极绕组	229
2.5 用“槽号相位图法”设计换相变极绕组	232
2.5.1 $3Y/3Y$ 接法的换相变极绕组设计	233
2.5.2 Δ/Δ 接法的换相变极绕组设计	253
2.5.3 $2\Delta/\Delta$ 接法的换相变极绕组设计	261
2.5.4 $\Delta\Delta/\Delta$ 接法的双速绕组设计	271
2.5.5 Δ/Δ 接法的换相变极绕组设计	274
2.6 单绕组三速电动机变极绕组设计	280
2.6.1 反向变极的 $4/6/8$ 极三速绕组设计	280
2.6.2 反向变极的 $2/4/8$ 极三速绕组设计	284
2.6.3 换相变极的 $2/4/8$ 极三速绕组设计	288
2.6.4 换相变极的 $2/4/6$ 极三速绕组设计	289
2.7 双绕组四速电动机变极绕组设计	294
2.8 变极绕组磁动势的谐波分析	304
2.8.1 Δ 接法 (或 Y 接法) 变极绕组磁动势谐波的定量计算	304
2.8.2 Δ 接法 (或 Δ 接法) 变极绕组磁动势谐波的定量计算	311
2.9 单绕组双速异步电动机的设计特点	313
2.9.1 气隙磁密比 $B_{\delta 01}/B_{\delta 1}$ 的估算	313
2.9.2 变极绕组方案的优选	315

2.9.3 主要尺寸的确定与磁路计算	316
2.9.4 参数计算	317
2.10 有代表性的变极绕组方案汇编	318
参考文献	329
第3章 锥形异步电动机设计	330
3.1 概述	330
3.2 锥形异步电动机的类型和使用特点	330
3.3 额定数据和要求	331
3.4 设计分析与计算	332
3.4.1 磁路与磁化曲线	332
3.4.2 磁路计算中有关系数的分析与计算	334
3.4.3 三段法磁路计算举例	335
3.4.4 轴向磁拉力计算	341
3.4.5 锥形异步电动机起动性能	346
3.4.6 锥形异步电动机制动性能	350
3.5 电磁设计要点	354
3.5.1 主要尺寸的选取	354
3.5.2 电磁负荷初值的确定	355
3.5.3 定子槽数与定转子槽配合	356
3.5.4 绝缘	356
3.5.5 制动装置型式的选择	356
3.6 锥形异步电动机电磁计算程序及算例	359
3.7 双速锥形异步电动机	369
3.7.1 实现双速的调速方法	369
3.7.2 单绕组双速锥形异步电动机性能预估	371
3.7.3 双速锥形异步电动机设计特点	378
3.8 附录 锥形异步电动机技术数据	379
参考文献	381
第4章 潜水异步电动机设计	384
4.1 概述	384
4.1.1 潜水电动机简介	384
4.1.2 潜水电动机分类	384

4.2 潜水异步电动机的结构	390
4.2.1 充水式电动机	390
4.2.2 充油式电动机	395
4.2.3 下式电动机	399
4.2.4 屏蔽式电动机	400
4.2.5 外装式电动机与内装式电动机	402
4.2.6 上泵型、下泵型与贯流式潜水电泵	404
4.2.7 大型高压潜水电动机的典型结构与主要特点	407
4.2.8 串接式电动机	409
4.3 井用潜水三相异步电动机设计计算	413
4.3.1 额定数据、主要性能指标与运行条件	413
4.3.2 利用系数和主要尺寸比	413
4.3.3 机座号与额定功率	415
4.3.4 绝缘结构	416
4.3.5 电磁设计特点	417
4.3.6 井用潜水电动机的损耗	423
4.3.7 发热与冷却	428
4.3.8 井用潜水电动机的串接	429
4.3.9 井用潜水三相异步电动机电磁计算程序及算例	432
4.3.10 温升计算	445
4.4 通用潜水电动机设计计算	457
4.4.1 电动机主要结构	457
4.4.2 功率等级	458
4.4.3 电磁设计特点	458
4.4.4 通用潜水异步电动机的损耗	464
4.4.5 发热与冷却	465
4.4.6 温升计算	467
4.5 矿用隔爆型潜水电动机设计计算	475
4.5.1 概述	475
4.5.2 主要尺寸的确定	476
4.5.3 电磁设计特点	476
4.5.4 隔爆结构	477
4.5.5 电缆和导线的引入	480
4.6 潜水单相异步电动机设计	486

4.6.1	概述	486
4.6.2	潜水单相异步电动机的类型与主要特点	486
4.6.3	额定数据与主要性能指标	490
4.6.4	运行性能的分析与计算	491
4.6.5	电动机尺寸的确定	496
4.6.6	定转子槽配合	499
4.6.7	定转子冲片主要尺寸	500
4.6.8	定子绕组设计	501
4.6.9	斜槽的选择	507
4.6.10	有效匝数比与电容器的选择	509
4.6.11	潜水单相异步电动机电磁计算程序及算例	511
4.6.12	罩极潜水电动机电磁计算程序	530
4.7	潜水电动机用主要材料	539
4.7.1	定子绕组用绝缘导线	539
4.7.2	转子导条	546
4.7.3	引出扁电缆	548
4.7.4	水润滑轴承	549
4.8	潜水电动机(潜水电泵)的主要标准	553
4.8.1	井用潜水异步电动机(GB/T2818—2002)	553
4.8.2	小型潜水电泵(JB/T8092—1996)	559
4.8.3	离心式潜污电泵(JB/T8857—2000)	562
4.8.4	污水污物潜水电泵(JB/T5118—2001)	564
4.8.5	潜水排污电泵(CJ/T3038—1995)	569
4.8.6	矿用隔爆型潜水电泵(JB/T6762—2004)	571
4.9	附录 潜水异步电动机技术数据	574
第5章 实心转子与复合转子异步电动机设计		596
5.1	概述	596
5.2	实心转子异步电动机的等效电路	598
5.3	实心转子异步电动机的转子参数和工作特性计算	600
5.3.1	透入深度法计算实心转子参数	601
5.3.2	单位磁阻抗法计算实心转子参数	607
5.3.3	应用多层理论分析实心转子中的电磁场及参数计算	612
5.3.4	实心转子异步电动机的性能及工作特性计算	617

5.4 实心转子异步电动机的磁场分析	618
5.4.1 实心转子异步电动机电磁场问题综述	618
5.4.2 饱和、磁滞、涡流及端部效应	619
5.5 实心转子异步电动机的派生结构及性能改进	622
5.5.1 转子表面开轴向窄槽的参数计算和性能分析	623
5.5.2 转子两端加良导体端环的参数计算和性能分析	627
5.5.3 转子两端加良导体端环并开轴向槽的参数计算 与性能分析	630
5.5.4 铁铜 (Fe-Cu) 合金实心转子异步电动机	631
5.6 双层转子异步电动机	631
5.6.1 双层转子异步电动机的原理	631
5.6.2 双层转子电动机的相对功率	633
5.6.3 双层转子异步电动机的转子参数及工作特性计算	636
5.7 复合转子异步电动机	640
5.7.1 复合转子异步电动机的结构及运行原理	640
5.7.2 复合转子异步电动机模型及等效电路	641
5.7.3 复合转子的端部系数 K_e	642
5.7.4 复合转子异步电动机的转子参数和性能计算	643
5.7.5 钢套表面开环形槽的复合转子异步电动机	648
5.8 实心转子和复合转子三相异步电动机的设计计算	649
5.8.1 主要尺寸和定子的设计问题	649
5.8.2 实心转子三相异步电动机电磁计算框图	651
5.8.3 复合转子三相异步电动机电磁计算框图	652
5.8.4 实心转子三相异步电动机电磁计算程序	653
参考文献	662

第 6 章 三相盘式异步电动机设计

6.1 概述	663
6.2 盘式异步电动机结构型式和生产工艺的主要特点	664
6.2.1 基本结构型式	664
6.2.2 制动型盘式异步电动机	665
6.2.3 双定子-单转子盘式异步电动机	666
6.2.4 泵机合一的盘式异步电动机	666
6.2.5 盘式异步电动机生产工艺的主要特点	667

6.3 三相盘式异步电动机的主要尺寸和设计的基本关系式	668
6.3.1 主要尺寸	668
6.3.2 设计的基本关系式 (主要尺寸方程式)	668
6.3.3 主要尺寸比、直径比和气隙选择	670
6.4 盘式异步电动机的磁路特点和计算方法	673
6.4.1 盘式异步电动机的磁路特点	673
6.4.2 气隙磁密 $B_g(r)$ 的分布	673
6.4.3 齿磁密 $B_c(r)$ 的分布	675
6.4.4 轭部磁密 $B_j(r)$ 的分布	675
6.4.5 盘式异步电动机磁路的平均直径计算法	676
6.4.6 盘式异步电动机磁路的分环计算法	676
6.4.7 盘式异步电动机磁路尺寸的优化	680
6.5 盘式异步电动机的绕组设计	682
6.6 盘式异步电动机的参数、损耗和性能计算	683
6.6.1 参数计算	683
6.6.2 铁耗计算	684
6.6.3 轴向磁力计算	686
6.7 三相盘式异步电动机电磁计算程序	691
6.8 附录 三相盘式异步电动机技术数据	708
参考文献	712
第7章 直线异步电动机设计	713
7.1 概述	713
7.2 直线异步电动机的结构	713
7.2.1 直线异步电动机的结构型式	713
7.2.2 直线异步电动机的结构特点	717
7.3 直线异步电动机的工作原理	719
7.3.1 直线异步电动机的基本工作原理	719
7.3.2 直线电动机与旋转电动机的区别	720
7.4 直线异步电动机的气隙磁场	720
7.4.1 纵向端部效应	720
7.4.2 横向端部效应	721
7.5 直线异步电动机的等效电路	724
7.6 直线异步电动机的设计要点	728

7.6.1	原始数据	728
7.6.2	电磁负荷的取值范围	729
7.6.3	气隙长度的确定	729
7.6.4	初级槽数和槽形的选择	730
7.6.5	绕组设计	730
7.6.6	次级材料的选择和尺寸	734
7.6.7	磁路计算	735
7.7	直线异步电动机的电磁计算	736
7.7.1	非磁性次级直线异步电动机的电磁计算程序及算例	736
7.7.2	钢次级直线异步电动机	742
7.7.3	圆筒型直线异步电动机	755
7.8	附录 直线异步电动机技术数据	762
	参考文献	842
第 8 章	三相交流力矩电动机设计	843
8.1	概述	843
8.1.1	交流力矩电动机的分类	843
8.1.2	三相交流力矩电动机的结构	844
8.1.3	三相交流力矩电动机的主要应用	845
8.2	三相交流力矩电动机的设计要点	845
8.2.1	三相交流卷绕型力矩电动机最大转差率 s_m 的选取	845
8.2.2	三相交流卷绕型力矩电动机额定参数	846
8.2.3	三相交流卷绕型力矩电动机特性系数计算	847
8.2.4	三相交流卷绕型力矩电动机转矩最大变化率计算	847
8.2.5	三相交流导轭型力矩电动机额定参数和 最大转差率 s_m 的选择	848
8.3	三相实心钢转子力矩电动机的结构设计	848
8.3.1	实心钢转子厚度的选择	848
8.3.2	实心钢转子长度的选择	849
8.4	三相实心钢转子力矩电动机有关参数计算	851
8.4.1	实心钢转子力矩电动机等效电路	851
8.4.2	实心钢转子力矩电动机励磁电阻抗	853
8.4.3	实心钢转子力矩电动机转子等效电阻抗	853
8.4.4	实心钢转子力矩电动机堵转电流和转矩计算	853

8.4.5 实心钢转子力矩电动机机械特性计算	854
8.5 三相实心钢转子力矩电动机电磁计算	855
8.5.1 三相实心钢转子力矩电动机电磁计算框图	855
8.5.2 三相实心钢转子力矩电动机电磁计算程序及算例	855
8.6 三相导轭型力矩电动机电磁计算	866
8.6.1 三相导轭型力矩电动机电磁计算框图	866
8.6.2 三相导轭型力矩电动机电磁计算程序及算例	867
8.7 附录 三相交流力矩电动机技术条件及规格 (部分)	879
参考文献	882
第9章 变频异步电动机设计	883
9.1 概述	883
9.1.1 变频电动机的主要工作原理	884
9.1.2 变频器供电对电动机的影响	885
9.1.3 变频电动机设计特点	886
9.2 变频电动机额定点设计	888
9.2.1 恒转矩负载时额定点的确定	888
9.2.2 风机或水泵类负载时额定点的确定	888
9.2.3 恒功率负载时额定点的确定	889
9.2.4 变频电动机额定容量的确定	889
9.3 变频电动机参数设计	889
9.3.1 变频电动机极数的确定	889
9.3.2 变频电动机主要尺寸设计	890
9.3.3 槽形和阻抗设计	891
9.4 变频电动机槽数的选择	895
9.4.1 槽配合的选取	895
9.4.2 转子槽数对电动机性能的影响	896
9.5 变频电动机绕组及绝缘设计	897
9.5.1 变频电动机绝缘损坏机理	897
9.5.2 变频电动机加强绝缘的措施	899
9.6 变频电动机的电磁设计	901
9.6.1 电磁负荷选择	901
9.6.2 磁通密度计算	902
9.7 变频电动机工作性能计算	903