

介绍方法·讲解实例·提供资料

涵盖量大面广的常用电机产品
能够满足绝大多数读者的参考查阅需要
贯彻我国最新的标准规范

黄坚 郭中醒 主编

实用电机设计 计算手册

第2版

上海科学技术出版社

实用电机设计计算手册

(第2版)

黄 坚 郭中醒 主编

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

实用电机设计计算手册/黄坚,郭中醒主编. —2
版. —上海:上海科学技术出版社,2014.10
ISBN 978-7-5478-2260-9

I. ①实… II. ①黄…②郭… III. ①电机—设计计
算—技术手册 IV. ①TM302-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 118821 号

实用电机设计计算手册(第2版)

黄 坚 郭中醒 主编

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海科学技术出版社

(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行
200001 上海福建中路193号 www.ewen.cc

上海中华商务联合印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张:23.75 插页:4
字数 560 千字

2010年6月第1版

2014年10月第2版 2014年10月第2次印刷

ISBN 978-7-5478-2260-9/TM·50

定价:78.00元

内 容 提 要

本手册从实用的角度出发,在量大面广的电机产品中,选择了一些常用类型的产品如三相异步电动机、单相异步电动机、同步电机、永磁同步电动机、直流电机、微特电机(包括自整角机、旋转变压器、测速发电机、步进电机、永磁交流伺服电机、永磁无刷直流电机)等,介绍了这些产品简单实用的设计与计算方法,并附有计算实例以及供计算用的曲线和图表、常用的材料数据及标准目录等,同时介绍了一些电机的常规试验项目及简易维修方法。

本手册以从事电机设计的初、中级工程技术人员为主要的读者对象,同时也可供从事电机维护和运行的工程技术人员以及高等院校相关专业的师生参考。

再 版 前 言

电机是一个量大面广的产品,产品的覆盖面遍及工业、农业、交通、航空航天、公用设施和家用电器等国民经济各个领域。随着我国国民经济的迅速发展,电机行业获得了极大的市场发展空间。特别是改革开放以来,我国电机行业有了长足的进步,电机的年产量不断增长,已达到了上亿千瓦的水平;同时产品的品种也不断增多,目前我国已成为世界上电机的制造大国。许许多多中小企业的应运而生,对尽快掌握电机实用技术产生了迫切的需求。为了满足市场的发展需要,我们编辑了这本《实用电机设计计算手册》,主要供从事电机设计的初、中级工程技术人员参考使用。

根据作者在实际工作中的经验,并从实用的角度出发,通过筛选,在量大面广的电机产品中,选择了一些常用的基本类型产品,如三相异步电动机、单相异步电动机、同步电机、永磁同步电动机、直流电机、微特电机(自整角机、旋转变压器、测速发电机、步进电机、永磁交流伺服电机、永磁无刷直流电机)等,介绍了这些产品简捷实用的设计与计算方法,并附有计算实例以及供计算用的曲线和图表、常用的材料数据及标准目录,同时介绍了一些电机的常规试验及简易维修的实用方法。

手册第一版自2010年出版后,得到从事电机技术工作者的喜爱。根据部分读者的建议,在本次再版时增加了永磁无刷直流电机设计计算、电动机效率等级和三相异步电动机效率的测试方法等内容,同时对第一版存在的一些错误进行了修订。

本手册由黄坚、郭中醒主编,参加编写工作的有上海电器科学研究所黄坚、强雄、张金辉、龚定章、游寿康,上海微电机研究所郭中醒、周奇慧、陆英、李晓锦、李听斌、王真,上海应用技术学院王步来,博山电机厂吴昭文,景德电机股份有限公司房华等同志。

希望本手册的再版对从事电机行业的科技人员有更多的帮助,也敬请广大读者提出更多的宝贵意见。

编 者

2014年6月

目 录

第一章 电机的基本概念	1	二、典型结构	81
一、基本原理及结构	1	三、三相凸极同步发电机	82
二、基本参数及技术要求	1	(一) 额定参数及主要尺寸	82
三、产品的分类	2	(二) 定子绕组计算	83
四、效率等级	3	(三) 磁路尺寸计算	85
五、产品的选用	5	(四) 磁路性能计算	88
第二章 异步电动机计算	7	(五) 阻抗稳态参数计算	95
一、三相异步电动机	7	(六) 励磁参数计算	97
(一) 主要参数	7	(七) 效率与有效材料计算	98
(二) 典型结构	7	(八) 谐波励磁绕组计算	100
(三) 常用数据	8	(九) 三相凸极同步发电机计算单	100
(四) 主要物理量的代号及单位	12	四、同步电动机	102
(五) 阻抗等参数的计算	13	五、小型单相同步发电机	102
(六) 磁路计算	22	(一) 励磁方式	102
(七) 运行性能计算	25	(二) 计算特点	103
(八) 起动性能计算	29	(三) 计算实例	108
(九) 计算实例	30	第四章 直流电机计算	122
二、变极多速三相异步电动机	43	一、典型结构	122
(一) 变极原理	44	二、主要参数计算	123
(二) 变极绕组的分析方法	44	三、主要性能计算	137
(三) 反向法变极	49	四、机械计算要点	148
(四) 换相法变极	49	五、计算实例	151
(五) 计算方法	50	第五章 永磁电机计算	159
(六) 计算实例	51	一、永磁电机概述	159
三、单相异步电动机	52	二、永磁材料的性能和选用	160
(一) 主要参数	53	三、永磁电机的磁路	162
(二) 典型结构	54	四、自起动永磁同步电动机的典型结构	164
(三) 计算方法	54	164
(四) 计算实例	62	五、自起动永磁同步电动机的主要参数	165
第三章 同步电机计算	80	及特点	165
一、主要参数	80	六、自起动永磁同步电动机的起动过程	

分析	167	(七) 计算实例	214
七、自起动永磁同步电动机的简易		四、测速发电机	221
计算	169	(一) 主要参数	221
八、自起动永磁同步电动机的计算		(二) 典型结构	221
实例	170	(三) 常用数据	221
(一) 额定参数及技术要求	170	(四) 主要物理量的符号及单位	221
(二) 主要尺寸	171	(五) 计算程序	222
(三) 永磁体计算	171	(六) 计算实例	225
(四) 定转子冲片	171	五、永磁交流伺服电动机	228
(五) 绕组计算	172	(一) 基本原理	228
(六) 磁路计算	173	(二) 典型结构	228
(七) 参数计算	175	(三) 技术指标与参数	228
(八) 交轴磁化曲线计算	177	(四) 计算实例	229
(九) 工作特性计算	177	六、步进电动机	232
(十) 起动性能计算	180	(一) 主要参数	233
第六章 微特电机计算	182	(二) 典型结构	233
一、微特电机概述	182	(三) 常用数据	233
(一) 微特电机的分类	182	(四) 主要尺寸的确定	234
(二) 微特电机的基本结构	182	(五) 冲片计算	235
(三) 微特电机的结构特点	183	(六) 转子永磁体计算	236
(四) 微特电机的计算	184	(七) 绕组计算	236
二、自整角机计算	185	(八) 保持转矩计算	237
(一) 主要参数	185	(九) 主要性能参数校算	238
(二) 典型结构	185	(十) 计算实例	238
(三) 常用数据	186	七、永磁直流无刷电动机	243
(四) 主要物理量的符号及单位	187	(一) 基本原理	243
(五) 磁路计算	187	(二) 驱动电路及原理	243
(六) 励磁绕组计算	188	(三) 典型结构	244
(七) 整步绕组计算	191	(四) 计算程序	244
(八) 参数计算	194	(五) 计算实例	247
(九) 计算实例	197	第七章 电机的简易试验与维修	252
三、旋转变压器	206	一、简易试验	252
(一) 主要参数	207	(一) 三相异步电动机	252
(二) 典型结构	207	(二) 单相异步电动机	258
(三) 主要尺寸确定	207	(三) 同步电机	260
(四) 磁路计算	209	(四) 直流电机	265
(五) 绕组计算	210	(五) 微特电机	270
(六) 性能计算及核算	212	二、简易维修	272

(一) 电动机	272	曲线(200 Hz)	295
(二) 发电机	275	附表 14 冷轧硅钢片 35WW300 损耗	
附录	277	曲线(200 Hz)	295
附录一 常用计算用附图	277	附表 15 冷轧硅钢片 35WW400 磁化	
附图 1 常用槽形单位漏磁导计算	277	曲线(50 Hz)	296
附图 2 平底槽下部单位漏磁导	282	附表 16 冷轧硅钢片 35WW400 损耗	
附图 3 圆底槽下部单位漏磁导	283	曲线(50 Hz)	296
附图 4 梨形槽下部单位漏磁导	284	附表 17 冷轧硅钢片 35WW400 磁化	
附图 5 转子闭口槽上部单位漏		曲线(200 Hz)	297
磁导	285	附表 18 冷轧硅钢片 35WW400 损耗	
附图 6 凸形槽下部单位漏磁导		曲线(200 Hz)	297
系数	286	附表 19 冷轧硅钢片 50WW270 磁化	
附图 7 截面宽度突变修正系数	287	曲线	298
附图 8 节距漏抗系数	288	附表 20 冷轧硅钢片 50WW270 损耗	
附录二 常用材料数据	288	曲线	298
附表 1 漆包圆绕组导线规格	288	附表 21 冷轧硅钢片 B50A270 磁化	
附表 2 漆包扁绕组导线规格	289	曲线	299
附表 3 热轧硅钢片 DR510-50 磁化		附表 22 冷轧硅钢片 B50A270 损耗	
曲线	290	曲线	299
附表 4 热轧硅钢片 DR510-50 损耗		附表 23 冷轧硅钢片 B50A290 磁化	
曲线	290	曲线	300
附表 5 热轧硅钢片 DR420-50 磁化		附表 24 冷轧硅钢片 B50A290 损耗	
曲线	291	曲线	300
附表 6 热轧硅钢片 DR420-50 损耗		附表 25 冷轧硅钢片 B50A310 磁化	
曲线	291	曲线	301
附表 7 冷轧硅钢片 35WW250 磁化		附表 26 冷轧硅钢片 B50A310 损耗	
曲线(50 Hz)	292	曲线	301
附表 8 冷轧硅钢片 35WW250 损耗		附表 27 冷轧硅钢片 B50A350 磁化	
曲线(50 Hz)	292	曲线	302
附表 9 冷轧硅钢片 35WW250 磁化		附表 28 冷轧硅钢片 B50A350 损耗	
曲线(200 Hz)	293	曲线	302
附表 10 冷轧硅钢片 35WW250 损耗		附表 29 冷轧硅钢片 50WW350 磁化	
曲线(200 Hz)	293	曲线	303
附表 11 冷轧硅钢片 35WW300 磁化		附表 30 冷轧硅钢片 50WW350 损耗	
曲线(50 Hz)	294	曲线	303
附表 12 冷轧硅钢片 35WW300 损耗		附表 31 冷轧硅钢片 B50A400 磁化	
曲线(50 Hz)	294	曲线	304
附表 13 冷轧硅钢片 35WW300 磁化		附表 32 冷轧硅钢片 B50A400 损耗	
		曲线	304

附表 33	冷轧硅钢片 50TW400 磁化 曲线	305	附表 53	冷轧硅钢片 B50AE-2 磁化 曲线	315
附表 34	冷轧硅钢片 50TW400 损耗 曲线	305	附表 54	冷轧硅钢片 B50AE-2 损耗 曲线	315
附表 35	冷轧硅钢片 B50A470 磁化 曲线	306	附表 55	冷轧硅钢片 B50AE-3 磁化 曲线	316
附表 36	冷轧硅钢片 B50A470 损耗 曲线	306	附表 56	冷轧硅钢片 B50AE-3 损耗 曲线	316
附表 37	冷轧硅钢片 B50AH470 磁化 曲线	307	附表 57	冷轧硅钢片 50SW600 磁化 曲线	317
附表 38	冷轧硅钢片 B50AH470 损耗 曲线	307	附表 58	冷轧硅钢片 50SW600 损耗 曲线	317
附表 39	冷轧硅钢片 50WW470 磁化 曲线	308	附表 59	冷轧硅钢片 50SW800 磁化 曲线	318
附表 40	冷轧硅钢片 50WW470 损耗 曲线	308	附表 60	冷轧硅钢片 50SW800 损耗 曲线	318
附表 41	冷轧硅钢片 50TW470 磁化 曲线	309	附表 61	冷轧硅钢片 50WW800 磁化 曲线	319
附表 42	冷轧硅钢片 50TW470 损耗 曲线	309	附表 62	冷轧硅钢片 50WW800 损耗 曲线	319
附表 43	冷轧硅钢片 50TW600 磁化 曲线	310	附表 63	冷轧硅钢片 B50A800 磁化 曲线	320
附表 44	冷轧硅钢片 50TW600 损耗 曲线	310	附表 64	冷轧硅钢片 B50A800 损耗 曲线	320
附表 45	冷轧硅钢片 50WW600 磁化 曲线	311	附表 65	冷轧硅钢片 B50AH800 磁化 曲线	321
附表 46	冷轧硅钢片 50WW600 损耗 曲线	311	附表 66	冷轧硅钢片 B50AH800 损耗 曲线	321
附表 47	冷轧硅钢片 B50A600 磁化 曲线	312	附表 67	冷轧硅钢片 50WW1300 磁化 曲线	322
附表 48	冷轧硅钢片 B50A600 损耗 曲线	312	附表 68	冷轧硅钢片 50WW1300 损耗 曲线	322
附表 49	冷轧硅钢片 B50AH600 磁化 曲线	313	附表 69	冷轧硅钢片 50DW465 磁化 曲线	323
附表 50	冷轧硅钢片 B50AH600 损耗 曲线	313	附表 70	冷轧硅钢片 50DW465 损耗 曲线	323
附表 51	冷轧硅钢片 B50AE-1 磁化 曲线	314	附表 71	电工纯铁 Fe10 磁化曲线	324
附表 52	冷轧硅钢片 B50AE-1 损耗 曲线	314	附表 72	铸钢或厚钢板磁化曲线	324

附表 73	DT1 电工钢板磁化曲线	325	电动机性能数据	347	
附表 74	厚度 1~1.75 mm 钢板磁化 曲线	325	附表 84	BO2 系列单相电阻起动异步 电动机结构数据	347
附录三	常用电机数据	326	附表 85	CO2 系列单相电容起动异步 电动机性能数据	348
附表 75	YE2 系列(IP55)高效率三相 异步电动机性能数据(50 Hz)	326	附表 86	CO2 系列单相电容起动异步 电动机结构数据	348
附表 76	YE3 系列(IP55)超高效率三相 异步电动机性能数据(50 Hz)	328	附表 87	DO2 系列单相电容运转异步 电动机性能数据	349
附表 77	Y 系列(IP44)三相异步电动机 性能数据(50 Hz)	331	附表 88	DO2 系列单相电容运转异步 电动机结构数据	349
附表 78	Y 系列(IP44)三相异步电动机 结构数据	333	附表 89	Z2 系列直流电动机性能 数据	350
附表 79	Y2 系列(IP54)三相异步电动 机性能数据(50 Hz)	337	附表 90	Z2 系列直流电动机结构 数据	354
附表 80	Y2 系列(IP54)三相异步电动 机结构数据	340	附表 91	Z4 系列直流电动机性能 数据	355
附表 81	AO2 系列三相异步电动机性能 数据	345	附表 92	Z4 系列直流电动机结构 数据	359
附表 82	AO2 系列三相异步电动机结构 数据	346	附录四	常用标准目录	361
附表 83	BO2 系列单相电阻起动异步		参考文献		369

第一章 电机的基本概念

电机是依据电磁感应定律而制造出来的旋转机械,主要用于实现电能和机械能之间的相互转换。根据电能和机械能之间转换的过程,电机可分为发电机和电动机。发电机是由机械能转化为电能,向电网或用电设备输送电能;电动机则是由电能转化为机械能,向机械系统输出动力。各种类型的电动机作为驱动各种机械设备的动力源,广泛应用于工业、农业及国民经济的各行各业。

一、基本原理及结构

由电磁感应定律可知,导体在磁场中作切割磁感应线运动时,就会在导体中产生感应电势,当导体形成回路后,就会在导体回路中产生感应电流。这就是发电机的基本原理。

如果把通电的导体放在磁场当中,通电的导体就会受到力的作用而发生运动。这就是电动机的基本原理。

发电机和电动机的典型结构如图 1-1 和图 1-2 所示。伴随着科学技术的不断进步,各种类型的发电机和电动机也越来越多。

虽然不同用途的电机其结构有所不同,但它们的基本结构都由定子、转子及辅助件等三个部

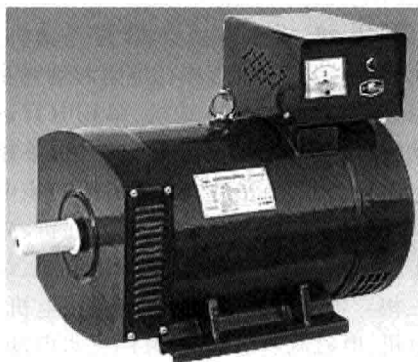


图 1-1 发电机典型结构

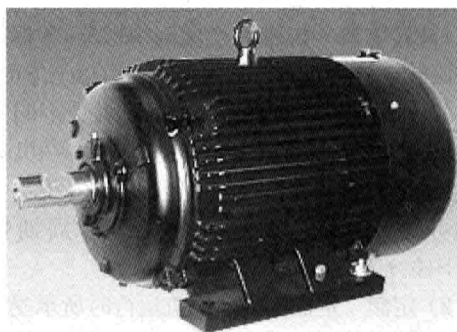


图 1-2 电动机典型结构

分组成。以电动机为例,将电动机拆开后,其典型的电机结构零部件如图 1-3 所示。

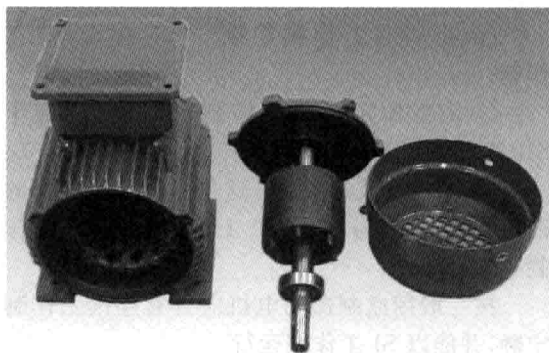


图 1-3 电动机典型结构的零部件图

二、基本参数及技术要求

电机在计算时所涉及的基本参数可分为性能参数和制造参数两部分。性能参数主要是指电机在运行时所表现出来的力能指标;制造参数主要指电机制造时所必需的有效材料的结构参数。

1. 性能参数

性能参数主要包含额定功率或转矩、额定电压(V)、额定频率(Hz)、相数及接法、额定转速(r/min)、额定电流(A)、额定效率(%)、功率因

数、损耗、励磁方式及励磁电压或电流、牵入转矩、气隙磁密(高斯)等数据。

2. 制造参数

制造参数主要包含定、转子内外径,定、转子铁心长度,定、转子槽数,定、转子槽形尺寸,气隙长,绕组匝数,绕组跨距(节距),绕组线规(或线径),绕组系数,定、转子铁心材料,定、转子绕组材料等数据。

3. 旋转电机基本参数及技术要求

《旋转电机 定额和性能》(GB 755)等标准规定的旋转电机的基本技术要求主要有以下方面。

1) 工作制 工作制是对电机承受不同负载情况的说明,包括起动、电制动、空载、停机和断能以及这些阶段的持续时间和先后顺序等。工作制可分为连续、短时、周期性和非周期性等S1~S10十种类型。

2) 定额 定额是规定电机运行时所承受的负载情况和相应的运行条件。定额的类型一般有:

① 连续工作制定额——对应于S1工作制;

② 短时工作制定额——对应于S2工作制;

③ 周期工作制定额——对应于S3~S8工作制;

④ 非周期工作制定额——对应于S9工作制;

⑤ 离散恒定负载工作制定额——对应于S10工作制;

⑥ 等效负载定额——这是一种为试验目的而规定的定额,与S3~S10工作制中的某一工作制等效。

按一般用途制造的电机应具有连续工作制定额,并能以S1工作制运行。

3) 温升限值 在基准运行环境条件下,电机绕组的温升限值如表1-1所示。

表 1-1 电机绕组的温升限值 (°C)

绝缘等级	A	E	B	F	H
输出功率 0.6~200 kW	60	75	80	105	125
输出功率小于 0.6 kW	65	75	85	110	130
无扇自冷式电机	65	75	85	110	130

三、产品的分类

电机产品的分类方式一般有以下几种:

1) 按馈电电源的方式进行分类 一般可

分为:

(1) 直流电机: 又分为直流发电机和直流电动机。

(2) 交流电机: 又分为同步电机和异步电机;同步电机又分为同步发电机和同步电动机,异步电机通常指异步电动机(异步发电机的用量很少)。

2) 按功率的大小或机座号或电压等级进行分类 一般分为微特电机、分马力电机、中小型电机和大型电机等。

(1) 微特电机: 主要用于自动控制和计算机控制系统中的检测、放大、执行和解算元件;功率范围从数百毫瓦到数百瓦。

(2) 小功率电机: 又称为分马力电机,主要用于家用电器及各种小型机具等;其功率范围为2.2 kW及以下(对应2极电机),额定电压大多数为220 V、380 V的常用电压。

(3) 中小型电机: 其功率范围为0.12~3 000 kW,机座号范围H63~630 mm。常用的电压等级为220 V、380 V、6 kV和10 kV等。

(4) 大型电机: 功率一般在2 000 kW及以上,机座号范围:H710 mm及以上。

3) 按产品的类型、功能及用途进行分类

(1) 按产品的类型进行分类,一般可分为发电机和电动机。

发电机: 通常用于电能的输出,有直流发电机、交流同步发电机和交流异步发电机等。

电动机: 通常是用于驱动各种机械设备的动力源。

(2) 按产品的功能及用途进行分类。

微特电机有自整角机、旋转变压器、测速发电机、伺服电机、力矩电动机、步进电动机、直线电动机等;小功率电机有单相电阻起动异步电动机、单相电容起动异步电动机、单相电容运转异步电动机、单相双值电容异步电动机、单相罩极异步电动机、磁滞同步电动机、磁阻同步电动机等;中小型电机有低压三相异步电动机、高压三相异步电动机、同步发电机、直流电动机、绕线转子式三相异步电动机、起重冶金专用电机、电磁制动电机、电磁调速电动机、井用潜水电动机、开关磁阻电动机、无刷永磁同步电动机、无齿轮永磁同步曳引机等。

四、效率等级

1. 电动机效率发展情况简述

中小型电机是量大面广、实现机电能量转换的重要驱动机械。据统计,中小型电机系统的用电量约占工业系统总用电量的75%、占全国总发电量的50%以上,因此,近几年世界上主要发达国家和国际组织对中小型电机系统的节能给予了高度重视。

1992年美国通过了电动机有关节能的新能源法令(EPACT),规定自1997年10月24日起,在美国生产和进口到美国市场的电动机必须达到该法令所规定的效率标准,否则就不能进入市场。该法令所规定的电动机为一般用途、单速、在230 V/460 V和恒定60 Hz的电源下运行的三相笼型异步电动机,功率范围为1~200 hp,极数为2极、4极和6极。该法令所规定的电动机最低效率标准比当时一般工业用电机的效率平均提高了2.7%,电动机损耗分别下降了15%~33%,平均下降了24.3%。2001年美国又制定了超高效率电机标准(NEMA Premium标准),其功率范围为1~500 hp,单速,2极、4极和6极,为连续定额的三相笼型异步电动机,并自2011年起在全球范围内率先强制推行超高效率电动机。

欧盟于1999年制订了电动机能效标准(EU—CEMEP协议),将电动机的效率水平分为Eff1、Eff2和Eff3三级,其中Eff3电机为低效率(low efficiency)电动机, Eff2电动机为效率改善(improved efficiency)电动机, Eff1电动机为高效率(high efficiency)电动机。该协议规定制造商应在产品铭牌和样本数据表上列出效率级别的标识及效率数值,以便于用户选用和识别。EU—CEMEP协议还规定,制造商除应标明电动机在额定负载时的效率数值外,还应标明电动机在3/4负载时的效率数值。EU—CEMEP协议所覆盖的产品为全封闭扇冷型(IP54或IP55)三相交流笼型异步电动机,功率范围为1.1~90 kW,极数为2极和4极,电压为400 V、50 Hz、S1工作制(即连续定额),标准设计(即其起动能符合IEC 60034—12中N设计的技术要求)。

鉴于世界上许多国家和地区都相继制订了低压三相异步电动机的能效标准,如美国、加拿

大、欧盟、澳大利亚、新西兰、巴西、中国等,由于在有关高效电机的标准定义方面存在较大的差异,给各国对高效电机的认同及全球贸易带来了一些障碍,为此,国际电工委员会IEC组织于2008年10月颁布了IEC 60034—30“单速、三相笼型感应电动机的能效分级”标准,统一了全球的电机效率标准。

根据各国不同的情况,IEC 60034—30统一将电动机能效标准分为IE1、IE2、IE3、IE4四个等级,其中IE1为标准效率、IE2为高效率、IE3为超高效率、IE4为目前的最高效率等级,并制订了50 Hz和60 Hz两套标准体系,分别用于电源频率50 Hz和60 Hz的国家和地区;同时统一了效率的测试方法。该标准适用范围为:额定电压为1 000 V及以下,输出功率为0.75~375 kW,极数为2、4、6极,S1连续工作制或S3断续工作制(负载持续率为80%及以上)。

欧盟完全采用了IEC 60034—30标准,并规定自2011年6月25日起在欧盟范围开始强制执行IE2高效率标准等级,2015年1月1日起7.5 kW及以上的三相异步电动机开始执行IE3超高效率标准等级,2017年1月1日则全部开始执行IE3超高效率标准等级(功率范围0.75~375 kW)。

2. 我国的电动机能效标准

自2001年起,我国首次颁布了国标GB 18613—2002《中小型三相异步电动机能效限定值及节能评价价值》,明确规定了我国中小型三相异步电动机必须达到的最低效率标准(即能效限定值)以及推荐的高效率标准等级(即节能评价价值)。该标准所规定的中小型三相异步电动机的最低效率标准等同于欧盟的Eff2效率等级,所推荐的高效率标准等同于欧盟的Eff1效率等级。

2006年12月,又正式发布了GB 18613—2006《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》标准,并自2007年7月1日起正式实施。GB 18613—2006与GB 18613—2002相比,不同之处在于将电机的效率分为三级,其中效率3级为能效限定值,即为中小型三相异步电动机必须达到的最低效率标准;效率2级为节能评价价值,即为中小型三相异步电动机的高效率标准等级;效率1级为最高效率值,即为中小型三相异步电

动机的超高效率标准等级。但 GB 18613—2006 的 3 级、2 级效率指标与 GB 18613—2002 的能效限定值、节能评价价值相一致。国标 GB 18613—2006 标准还规定了 4 年过渡期,即在 2007 年 7 月 1 日至 2011 年 6 月 30 日期间电动机的能效限定值仍与原标准(GB 18613—2002)相同,但自 2011 年 7 月 1 日以后,原节能评价价值将作为能效限定值实施。

2006 年 7 月“电机系统节能工程”列入“十一五”期间国家十大重点节能工程之一;2008 年 1 月国家发展改革委、国家质检总局和国家认监委联合发布了《中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录(第三批)》及相关实施规则,规定自 2008 年 6 月 1 日起,在中国生产、销售、进口的中小型三相异步电动机产品均强制要求粘贴相应的能效标识。2010 年中小型三相异步电动机产品列入国家惠民工程,即用户购买使用符合国标(GB 18613—2006)中的高效率标准三相异步电动机可得到国家财政补贴。

随着国际电工委员会 IEC 60034—30 标准的发布,我国再次对国标 GB 18613 进行了修订,并于 2012 年 5 月正式发布,新国标 GB 18613—2012 从 2012 年 9 月 1 日起已开始强制实施。新国标 GB 18613—2012 将效率等级分为三级,其效率等级与老国标 GB 18613—2006 及 IEC 60034—30 的对应关系如表 1-2 所示。由表中的对应关系可知,我国的新 3 级能效限定值标准与国际 IEC 60034—30 中的 IE2 高效率等级相同,我国的新 2 级节能评价价值标准与国际 IEC 60034—30 中的 IE3 超高效率等级相同。实际上新国标中的 3 级、2 级效率指标完全等同采用了 IEC 60034—30 标准中的 IE2 和 IE3 效率等级标准,新国标中的 1 级效率指标与 IEC 60034—30 标准中的 IE4 效率等级相当。

新国标 GB 18613—2012 的实施还表明,自 2012 年 9 月 1 日起,我国中小型三相异步电动机

产品的效率比 GB 18613—2006 提升了一个等级,平均约提高了 3%,这也是我国中小型三相异步电动机产品进行了一次更新换代的重要标志,即我国中小型三相异步电动机的最低效率等级要求(即能效限定值)已升级为国际 IE2 高效率标准等级,我国中小型三相异步电动机的节能评价价值水平则升级为国际 IE3 超高效率标准等级。

国标 GB 18613—2012《中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级》适用于 1 000 V 以下的电压、50 Hz 三相交流电源供电,额定功率在 0.75~375 kW 范围内,极数为 2 极、4 极和 6 极,单速封闭自扇冷式、N 设计、连续工作制的一般用途电动机或一般用途防爆电动机。

GB 18613—2012 标准将电动机的效率等级分为三级,各等级的效率指标如表 1-3 所示,其中 1 级为效率最高等级、2 级为节能评价价值、3 级为能效限定值;对于未在表 1-3 中额定功率列出的其他功率值的电动机,其效率可用线性插值法确定。电动机的效率应按 GB/T 1032 中的 B 法——测量输入—输出功率的损耗分析法测量。按照 GB 18613—2012 的规定,该标准所规定范围的三相异步电动机的最低效率不能低于 3 级能效限定值。同时按照 GB 18613—2012 标准的建议,该标准在实施四年后,其目标能效限定值将改为表 1-3 中的 2 级效率标准,即电动机的最低效率值将由目前的 3 级提升到 2 级标准,目标能效限定值建议开始实施的条件如下:

(1) 对于额定功率范围为 7.5~375 kW 的电动机,其目标能效限定值在 GB 18613—2012 标准自 2013 年 9 月 1 日起实施 4 年后(也即自 2017 年 9 月起)开始正式实施。

(2) 对于额定功率为 7.5 kW 以下电动机,其目标能效限定值在 GB 18613—2012 标准实施 5 年后(也即自 2018 年 9 月起)开始实施。

依据上述的规定,表明我国电动机的效率等级在 2017 年 9 月后将再次升级。

表 1-2 国标 GB 18613 与 IEC 60034—30 效率的对应关系

GB 18613—2012 新标准	GB 18613—2006 老标准	IEC 60034—30	平均效率(%)	效率提高幅度 (%)
1 级效率标准	无	IE4; 最高效率等级 (目前为讨论稿)	93.1	1.6

(续表)

GB 18613—2012 新标准	GB 18613—2006 老标准	IEC 60034—30	平均效率(%)	效率提高幅度 (%)
2级效率标准 (节能评价价值)	超高效率标准(1级)	IE3: 超高效率等级	91.5	1.5
3级效率标准 (能效限定值)	节能评价价值或 高效率标准(2级)	IE2: 高效率等级	90.0	3.0
无(已废止)	能效限定值标准(3级)	IE1: 普通效率等级	87.0	—

表 1-3 电动机的效率等级标准值

额定功率 (kW)	效率(%)								
	1级			2级			3级		
	2极	4极	6极	2极	4极	6极	2极	4极	6极
0.75	84.9	85.6	83.1	80.7	82.5	78.9	77.4	79.6	75.9
1.1	86.7	87.4	84.1	82.7	84.1	81.0	79.6	81.4	78.1
1.5	87.5	88.1	86.2	84.2	85.3	82.5	81.3	82.8	79.8
2.2	89.1	89.7	87.1	85.9	86.7	84.3	83.2	84.3	81.8
3	89.7	90.3	88.7	87.1	87.7	85.6	84.6	85.5	83.3
4	90.3	90.9	89.7	88.1	88.6	86.8	85.8	86.6	84.6
5.5	91.5	92.1	89.5	89.2	89.6	88.0	87.0	87.7	86.0
7.5	92.1	92.6	90.2	90.1	90.4	89.1	88.1	88.7	87.2
11	93.0	93.6	91.5	91.2	91.4	90.3	89.4	89.8	88.7
15	93.4	94.0	92.5	91.9	92.1	91.2	90.3	90.6	89.7
18.5	93.8	94.3	93.1	92.4	92.6	91.7	90.9	91.2	90.4
22	94.4	94.7	93.9	92.7	93.0	92.2	91.3	91.6	90.9
30	94.5	95.0	94.3	93.3	93.6	92.9	92.0	92.3	91.7
37	94.8	95.3	94.6	93.7	93.9	93.3	92.5	92.7	92.2
45	95.1	95.6	94.9	94.0	94.2	93.7	92.9	93.1	92.7
55	95.4	95.8	95.2	94.3	94.6	94.1	93.2	93.5	93.1
75	95.6	96.0	95.4	94.7	95.0	94.6	93.8	94.0	93.7
90	95.8	96.2	95.6	95.0	95.2	94.9	94.1	94.2	94.0
110	96.0	96.4	95.6	95.2	95.4	95.1	94.3	94.5	94.3
132	96.0	96.5	95.8	95.4	95.6	95.4	94.6	94.7	94.6
160	96.2	96.5	96.0	95.6	95.8	95.6	94.8	94.9	94.8
200	96.3	96.6	96.1	95.8	96.0	95.8	95.0	95.1	95.0
250	96.4	96.7	96.1	95.8	96.0	95.8	95.0	95.1	95.0
315	96.5	96.8	96.1	95.8	96.0	95.8	95.0	95.1	95.0
355~375	96.6	96.8	96.1	95.8	96.0	95.8	95.0	95.1	95.0

五、产品的选用

电机产品的选用一般是根据使用目的、使用

时的环境和运行条件等要求来选择,使所选用的电机能满足生产工艺过程和工作机械特性的要

求,同时也应尽量考虑整个使用系统的经济、合理、可靠、安全、节能和环保。

电机选用的一般方法有:

1. 根据电机类型选用

微特电机广泛应用于自动控制系统和计算机装置中,作为系统的监测、放大、执行和解算元件,它们可分属于信号元件和功率元件两大类。信号元件用来转换信号(如旋转变压器、自整角变压器和测速发电机等)。功率元件把信号转换为输出功率(如电机扩大器)以及把电能转换为机械能(如交、直流伺服电机等)。

小功率电机广泛用于驱动各种电动工具、日用电器、医疗器械、自动记录仪器、钟表、农业小型电动机械、纺织机械以及飞机、汽车、计算机、电视和无线电探测装置等设备中。

中小型三相异步电动机具有结构简单,制造、使用和维护方便,运行可靠以及成本较低的特点,因此,广泛应用于工业、农业等国民经济各行各业,用于拖动机床、鼓风机、水泵、压缩机、起重卷扬设备、轻工业和农业加工设备。由于三相异步电动机的调速性能较差,故在要求调速平滑且范围较宽的运行场合,如传动轧机、矿山卷扬机、大型机床等,就不如采用直流电机经济、方便;但若采用变频调速技术,其调速性能可与直流电机相媲美。

永磁同步电动机也已得到广泛的推广应用,比如用于计算机及自动控制系统中的各种特种永磁微电机、用于石油和纺织行业的高效永磁电动机、用于电动汽车的各种无刷永磁同步电动机、用于电梯的无齿轮永磁同步曳引机等。

直流电动机通常是用于需要宽调速的场合和有特殊要求的自动控制系统中。在某些领域中,如真空冶炼和无交流电网又需要直流电源的场合,则选用直流发电机。直流电机按不同的励磁方式,可分为永磁、并励、串励、复励、他励等。永磁直流电动机用于自动控制系统中的执行元件或一般传动;他励和并励直流电动机主要用于起动转矩稍大的恒速负载;复励电动机主要用于要求很大的起动转矩、转速变化不大的负载;串励电动机用于起动转矩大、转速允许有较大变化的负载。

2. 根据运行方式选用

电机的运行方式必须满足被驱动机械的运行要求,以确保驱动机械系统安全可靠的运行。选用电机的运行方式应综合考虑被驱动机械的以下各方面的情况:

- ① 负载的类型;
- ② 机械的转矩—转速特性;
- ③ 机械的工作类型(如连续工作、短时工作、变负载工作或断续工作等);
- ④ 机械的起动频次;
- ⑤ 负载转动惯量的大小;
- ⑥ 是否需要调速(无级调速、有级调速或恒速运行等);
- ⑦ 机械的起动和制动方式;
- ⑧ 是否需要反转等。

3. 根据额定转速选用

在频率一定时,电机的额定转速与电机的磁极极数有关,极数越多电机的额定转速越低。

异步电动机的同步转速等级,当电源频率为50 Hz时,有3 000 r/min、1 500 r/min、1 000 r/min、750 r/min、600 r/min和500 r/min等;直流电动机的额定转速等级有3 000 r/min、1 500 r/min、1 000 r/min、750 r/min、500 r/min、200 r/min、100 r/min、50 r/min和25 r/min等。微特电机的转速最高每分钟可达十几万转。

4. 高效节能电机的选用

高效节能电机的选用一般有以下几种情况。

(1) 对于负载率在50%以上、年运行时间较长的恒转矩负载场合,可选用一般用途的高效率或超高效率三相异步电动机。

(2) 由于水泵、风机类型的负载具有负载转矩与转速呈二次方的关系,从运行时能够获得实际的高效节能的效果来看,建议在一些场合选用水泵、风机等专用高效率三相异步电动机。

(3) 对于负载率变化较频繁,经常运行于空载、轻载状态的场合,建议选用永磁高效率同步电动机。由于车床、冲压、化纤、纺织、拉丝等负载类型不同,宜选用不同类型的永磁电机。

(4) 对于需要调速运行的负载场合,建议选用调速电机及控制系统。对于调速精度要求不高的运行场合,宜选用变极多速电机;对于调速精度要求较高的运行场合,宜选用变频电机。

第二章 异步电动机计算

异步电动机是量大面广的产品,产品的使用覆盖面遍及工业、农业、国防、交通、公用设施等各个领域。异步电动机由于其结构简单、实用可靠,而得到广泛的应用。根据馈电方式的不同,异步电动机一般分为三相异步电动机和单相异步电动机。根据用途的不同,异步电动机有普通型、特殊专用和派生系列产品。本章主要介绍常用的且使用量较大的普通型三相异步电动机、变极多速三相异步电动机和单相异步电动机的计算。

异步电动机的典型结构有定子和转子两个主要部分,以及端盖、轴承和接线盒等辅助件。定子包括定子铁心、定子绕组及机座等,转子包括转子铁心、转子绕组和转轴等。异步电动机设计主要包括结构设计和电磁计算两部分。异步电动机的外形尺寸和机械结构主要通过结构设计来确定;异步电动机的定子铁心和绕组、转子铁心和绕组主要通过电磁计算来确定。由于异步电动机的外形尺寸和机械结构在定型设计完成后,在实际的生产过程中一般很少再发生变化,而更多的情况是厂家根据市场、用户的特殊需要,使异步电动机的定子铁心和绕组、转子铁心和绕组发生适当的变化,故本章所讨论的异步电动机计算主要指的是电磁计算。

一、三相异步电动机

三相异步电动机按照转子的结构形式,分为笼型转子和绕线型转子两类,其中常用的普通型三相异步电动机一般为笼型转子,本章内容以此为主,故把常用的笼型转子三相异步电动机简称为三相异步电动机。进行三相异步电动机的计算时,产品的通用标准、产品的运行环境和条件、用户的技术要求等应明确。

(一) 主要参数

1. 性能参数

三相异步电动机在计算时所涉及的主要性能

参数有:额定输出功率(kW或W),额定电压(V),额定频率(Hz),额定转速(r/min),额定电流(A),额定效率(%),功率因数,堵转电流(倍),堵转转矩(倍),最大转矩(倍),热负荷,定子铜耗(W),转子铜(或铝)耗(W),铁耗(W),风摩耗(W),杂散损耗(W),转差率,气隙磁密(高斯),定、转子齿部磁密(高斯),定、转子轭部磁密(高斯)等。

2. 制造参数

三相异步电动机在进行电磁计算时所涉及的主要制造参数有:

定、转子内外径,定、转子铁心长度,定、转子槽数,定、转子槽形尺寸,气隙长,绕组匝数,并联路数,绕组跨距(节距),单层绕组或双层绕组,槽满率,绕组线规(或线径),导体并绕根数,转子斜槽度,绕组分布系数,绕组短距系数,绕组系数,转子端环尺寸等。

(二) 典型结构

我国三相异步电动机产品的技术发展经历了几个阶段。20世纪50、60年代为效仿苏联模式阶段,开发的产品有J、JO、J2、JO2系列等,这些产品基本上属于苏联的标准体系。自70年代后,我国逐步开始转入国际电工委员会组织IEC标准体系,于80年代初完成了符合IEC标准的Y系列三相异步电动机产品的开发,并在此基础上完成了开启式电机、绕线转子式电机、防爆专用电机、起重冶金专用电机、电磁制动电机、变极多速电机、齿轮减速电机等18个派生专用系列产品的开发。1985年国家明文下令淘汰J2、JO2系列产品,推广采用Y系列电机,自此,Y系列及其派生系列产品在全国范围内得到迅速推广,国内生产的小型异步电动机基本上是以Y系列及其派生和专用系列产品为主。

90年代初完成了符合IEC标准体系的Y2系列三相异步电动机产品的开发。2003年3