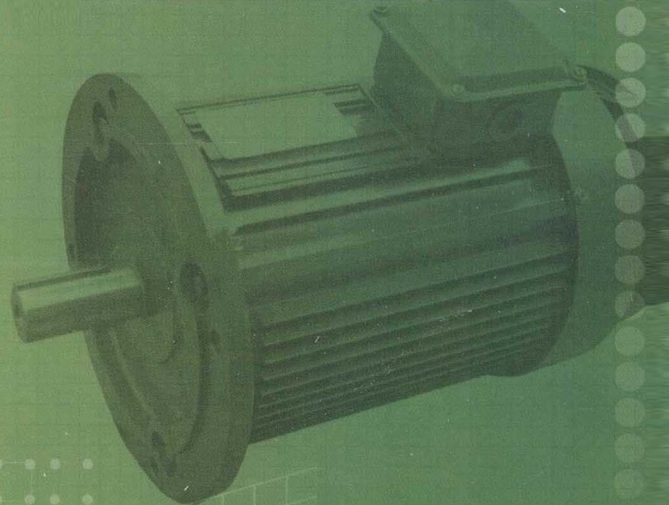
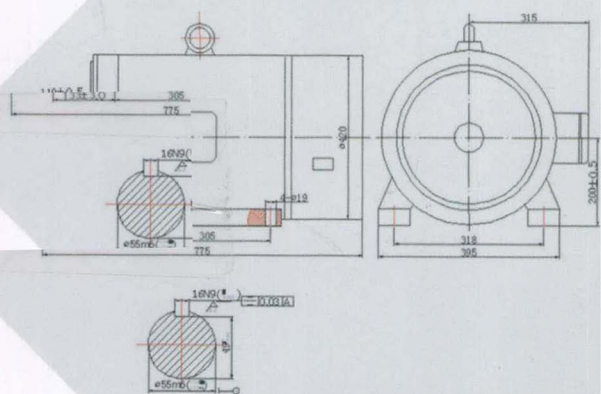




中压电动机的 工程设计和维护

ZHONGYA DIANDONGJI DE
GONGCHENG SHEJI HE WEIHU

常瑞增 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中压电动机的工程 设计和维护

常瑞增 编著

机械工业出版社

本书系统地介绍了 6kV 和 10kV 大、中型交流异步电动机和同步电动机的起动、运行、保护、节能和维修。并介绍了电气新产品和新技术在工程中成功应用的实践,如霍尔元件、数字电位器、数字相位触发电路、PLC 和单片机在同步电动机励磁装置中的应用;近年来的液阻中压电动机软起动、热变电阻软起动、晶闸管中压软起动、中压磁控软起动和降压固态软起动替代传统起动方式;PLC 在辅机电控柜和仪表柜的应用;微机型综合电动机保护装置在保护中的应用;电动机短时工作的电缆选择;中压电动机无功功率补偿节能,电动机维护。本书力求为设计方便、实用,收集、编制、计算了需要的技术数据、图表和控制原理图,并给出了已投入运行的工程设计案例。为了便于电气工人的阅图理解,对原理图和工程图样进行了详细的分析和说明。

本书是从事中压电动机工程设计技术人员的重要用书,也可以作为从事中压交流电动机施工、运行和维护的技术人员,以及大专院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

中压电动机的工程设计和维护/常瑞增编著. —北京:机械工业出版社, 2010. 10

ISBN 978-7-111-31876-7

I. ①中… II. ①常… III. ①电动机-设计②电动机-维护
IV. ①TM32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 177235 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林春泉 责任编辑:赵玲丽

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:路恩中 责任印制:杨 曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21 印张·519 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-31876-7

定价:50.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面防伪标均为盗版

前 言

改革开放以来,工厂企业的经济规模不断地扩大,冶金、矿山、石油、化工、市政、造纸、船舶、环保和电站等行业使用中压(3kV、6kV、10kV)电动机来驱动相关设备与日俱增,虽然中压电动机的数量不多,但是它们的用电量却占整个工厂企业总用电量的大部分,并对工厂企业的正常运行和经济效益起着重要的作用。

随着电力电子技术、计算机和自动控制理论的发展,使中压电动机运行、控制和节能的技术进步日新月异。同步电动机励磁装置、中压电动机辅机用的“电控柜”、“仪表柜”,由“分离元件”不断更新,采用了单片微机、PLC、模数转化、数字化、集成化等技术;中压电动机需要减压起动时,由传统的有级串固定阻抗的起动方式:如变压器—电动机组、电抗器减压起动和自耦变压器减压起动不断更新,采用了使电动机串阻抗值或等效阻抗值可平滑调整的“软起动”方式,如液阻软起动、磁控软起动和晶闸管软起动,它们在国内已得到广泛应用,就是用在大型电动机上的减压固态软起动,也得到很快的发展,中压电动机新型软起动的兴起是我国近10年来电动机软起动技术进步的主要标志之一;电动机的继电保护由传统的机电型保护,到目前成为机电型保护和微机型保护并存。中压电动机无功功率补偿节能和维护的技术也有较大的发展。

由于科技的进步,不可避免地对岗位操作和维护提出新的要求,同时对工厂的技术管理人员也要求具有更新、更广泛的知识面,还有在技术改造、扩建工程和新建工程中,要求从事设计的电气技术人员了解新技术,采用新技术。

现在使用的交流电能,几乎全由同步发电机产生,所以目前高等学校教科书中介绍同步发电机的内容多,而对同步电动机的知识讲的少,有些电气设计手册和参考书中关于中压同步电动机的内容也不多。

上述说明:对中压电动机的设计、维护和管理,需要有一本着重物理概念,着重新技术,着重工程设计,着重介绍控制原理和有关设备的、内容较全面和较系统的参考书。

为了使应用中压电动机的读者在只懂得电的基础知识的情况下,能看懂工程图中有关一次和二次图,对中压电动机有系统的了解,在书中找到关于中压电动机的原理和维护的解答;也为了使从事中压电动机工程设计的电气技术人员节省查找资料的时间,并有工程实例可供参考。笔者根据自己多年的工作经验,总结了一些设计院的设计实例,收集了工厂企业产品的技术资料,给出了一些新的技术数据和计算表格,这些内容有的是从实践经验中积累的,有的是从有关规定中摘取的,有的是按有关公式计算的资料和数据。本书结合工程实例,详细和系统地分析了新技术,努力做到理论和实践的结合。书中内容若与新修订的标准规范和有关规程条款有不一致处,应以国家公布的现行规范和规程为准。

本书的写作过程得到陈秉祥高级工程师的大力支持,还得到机械工业出版社林春泉老师的大力支持和帮助,在此对他们表示诚挚的感谢。

虽然有良好的愿望,但由于水平有限,并且书中涉及一些新技术,因此书中内容不可能很全面,甚至可能有不对的地方,希望同行们对书中的错误和不足给予批评指正。

最后,向支持、协助本书编写工作并提供产品技术资料的以下企业表示感谢:天津市先导倍尔电气有限公司、上海动能重工制造有限公司、河北省电子信息技术研究院、株洲变流技术国家工程研究中心有限公司、北京大力浩然工业控制技术有限公司。

常瑞增

2010年10月

目 录

前言

第 1 章 中压交流电动机 1

- 1.1 中压异步电动机 1
 - 1.1.1 异步电动机的原理 1
 - 1.1.2 异步电动机的额定值 1
 - 1.1.3 异步电动机的工作特性 2
 - 1.1.4 异步电动机的类型 4
 - 1.1.5 异步电动机的型号说明 5
 - 1.1.6 异步电动机的功率型谱 6
 - 1.1.7 Y、YR 系列 6kV 中型异步电动机 7
 - 1.1.8 Y、YR 系列 10kV 中型异步电动机 26
 - 1.1.9 Y 系列 6kV 大型异步电动机 42
- 1.2 中压同步电动机 45
 - 1.2.1 什么是同步电动机 45
 - 1.2.2 同步电动机的特点 45
 - 1.2.3 同步电动机的结构 46
 - 1.2.4 同步电动机的起动 46
 - 1.2.5 同步电动机的运行 47
 - 1.2.6 同步电动机的失步 48
 - 1.2.7 同步电动机的类型 49
 - 1.2.8 T、TK 系列中型三相同步电动机 50
 - 1.2.9 TD 系列大型三相同步电动机 55
- 1.3 电动机外壳防护分级 60
- 1.4 电动机结构及安装型式 63
- 1.5 电动机的温升限度 63
- 1.6 旋转电动机冷却方法代号 64
- 1.7 绝缘材料的电耐热分级 66
- 1.8 电动机噪声限值 67

第 2 章 同步电动机的励磁装置 68

- 2.1 异步起动时励磁装置的主要功能 68
 - 2.1.1 附加电阻的作用 68
 - 2.1.2 直流励磁电源的主电路 69
 - 2.1.3 到亚同步速时给励磁绕组投励 71
- 2.2 运行时励磁装置的主要功能 73
 - 2.2.1 用改变控制角来改变励磁电流 73
 - 2.2.2 励磁系统的几种调节方式 74

- 2.2.3 双机热备 77
- 2.3 励磁装置的监控功能 78
- 2.4 传统励磁装置在运行中存在的问题 79
- 2.5 PLC 和单片机对励磁装置的改进 79
- 2.6 数字电位器在励磁装置中的应用 80
 - 2.6.1 功能介绍 80
 - 2.6.2 电路图例 81
- 2.7 数字相位触发电路在励磁装置中的应用 82
 - 2.7.1 原理结构 83
 - 2.7.2 引脚图与引脚功能表 84
 - 2.7.3 芯片外型尺寸 85
 - 2.7.4 工频三相晶闸管全控整流触发电路 86
- 2.8 同步电动机晶闸管励磁装置 86
 - 2.8.1 KLF11 和 KLF12 系列晶闸管励磁装置 87
 - 2.8.2 BL1A、BL1B 系列晶闸管励磁装置 92
 - 2.8.3 BKL—1 系列晶闸管励磁装置 92
- 2.9 BAKL 微机励磁控制装置 94
 - 2.9.1 概述 94
 - 2.9.2 性能特点 95
 - 2.9.3 原理图 95
- 2.10 TJ (W) L—D5 全数字晶闸管励磁装置 101
 - 2.10.1 概述和适用范围 101
 - 2.10.2 引用标准 101
 - 2.10.3 一般使用条件 101
 - 2.10.4 励磁装置型号及型谱 101
 - 2.10.5 外形及安装尺寸 102
 - 2.10.6 控制原理说明 102
 - 2.10.7 技术特点 107
 - 2.10.8 装置性能指标 109
 - 2.10.9 外接端子图 109
- 2.11 XZL—P45—2 增安型无刷励磁旋转整流装置 111
 - 2.11.1 概述和适用范围 111

2.11.2 引用标准和工作条件	111	3.8.3 性能特点	180
2.11.3 型号说明和铭牌内容	111	3.8.4 使用条件	180
2.11.4 技术参数和外形尺寸	111	3.8.5 主要技术参数	180
2.11.5 技术要求	112	3.8.6 装置组成	180
2.11.6 对外端子图	115	3.8.7 外形及安装尺寸	181
2.12 采购时需要提供的资料	116	3.8.8 向厂家提供的资料	186
2.12.1 需向制造单位提供的资料	117	3.9 TGQ 晶闸管软起动装置	186
2.12.2 需向制造单位索取的资料	117	3.9.1 概述和型号说明	186
第3章 中压电动机的全电压起动和		3.9.2 装置构成	187
 软起动	118	3.9.3 故障保护功能	188
3.1 起动时引起下降的电压允许值	118	3.9.4 基本技术参数	190
3.2 起动方式的选择	119	3.9.5 系统方案原理图	190
3.2.1 全电压起动	119	3.9.6 软起动/软停止方式	192
3.2.2 软起动	122	3.9.7 外形和基础图	193
3.3 中压软起动的仿真	125	3.9.8 安装尺寸	196
3.3.1 何谓“电动机软起动仿真”	125	3.10 中压电动机的控制	197
3.3.2 软起动仿真的重要作用	125	3.10.1 全电压起动的控制原理	197
3.3.3 电动机软起动仿真实例	125	3.10.2 软起动的控制原理	198
3.4 几种中压软起动技术简述	128	3.11 采购时需要提供的资料	198
3.4.1 液阻中压电动机软起动装置	128	第4章 中压电动机的电控柜和	
3.4.2 热变电阻器软起动方式	128	 仪表柜	199
3.4.3 磁控软起动	129	4.1 “GN312”“电控柜”	199
3.4.4 晶闸管中压软起动装置	130	4.1.1 “电控柜”的内容和功能	199
3.4.5 中压变频软起动装置	130	4.1.2 “GN312”“电控柜”的几个抽象	
3.4.6 降补固态软起动装置	131	内容的具体分析	209
3.5 几种中压软起动性能比较	131	4.1.3 对“GN312”、“电控柜”的一个	
3.6 HTR 中压热变电阻软起动装置	133	改进设想	210
3.6.1 概述和型号说明	133	4.2 “GN312”仪表柜	210
3.6.2 工作原理和性能特点	133	4.2.1 “仪表柜”的内容	210
3.6.3 使用条件	134	4.2.2 “仪表柜”的功能	220
3.6.4 外形和安装基础图	135	4.3 “仪表柜”、“电控柜”和“中压运行柜”	
3.6.5 技术参数	137	的关系	220
3.6.6 系统方案选择及原理图	139	4.4 设计时需要提供和索取的资料	222
3.7 RQD—D7 型磁控软起动器	168	第5章 中压电动机的保护和整定	
3.7.1 概述、适用范围和型号说明	168	 计算	223
3.7.2 装置组成、工作原理和性能		5.1 基本要求	223
特点	169	5.1.1 选择性	223
3.7.3 使用条件	171	5.1.2 快速性	223
3.7.4 外形尺寸和技术参数	171	5.1.3 灵敏性	223
3.7.5 系统方案选择及原理图	172	5.1.4 可靠性	224
3.7.6 RQD—D7 的仿真制作	176	5.2 继电保护的配置	224
3.8 TCS 降补固态软起动装置	178	5.2.1 中压电动机的继电保护配置	224
3.8.1 概述和型号说明	178	5.2.2 电动机低电压保护的装设	225
3.8.2 工作原理	178		

5.2.3 同步电动机失步和失磁保护的装设	225	柜的平面布置	273
5.3 继电保护的工作原理	226	6.3.2 设备之间的电缆连接	278
5.3.1 电流速断保护的工作原理	226	6.3.3 电动机的“一拖二”软启动控制	282
5.3.2 过电流保护的工作原理	227	6.4 异步电动机晶闸管软启动的工程实例	285
5.3.3 电动机纵差保护的工作原理	227	6.4.1 晶闸管软启动的平面布置	285
5.3.4 电动机单相接地保护的工作原理	228	6.4.2 设备之间的电缆连接	285
5.3.5 交流操作保护的工作原理	229	6.4.3 晶闸管软启动的系统组成	288
5.4 几种常用的继电器	231	6.4.4 晶闸管软启动控制	290
5.4.1 GL—10 (20) 系列过电流继电器	231	6.4.5 软启动的参数调整	295
5.4.2 BCH—2、DCD—2 型差动继电器	233	第 7 章 电缆的选择	297
5.4.3 DD—1、DD—1H、DD—11 型接地继电器	234	7.1 按短路电流的热效应选中压电缆	297
5.5 继电保护的整定计算表	235	7.1.1 短路电流校验电缆的热稳定公式	297
5.6 整定计算例子	239	7.1.2 变电站馈出 10 (6) kV 电缆的最小标称截面积	301
5.7 微机综合电动机保护装置	242	7.1.3 选择电缆的应用实例	303
5.7.1 微机综合电动机保护的特点	242	7.1.4 几点说明	303
5.7.2 DMP373 微机电动机保护装置	242	7.2 软启动装置的中压电缆选择	303
5.7.3 微机综合保护整定的说明	252	7.2.1 短时工作电缆的温升计算	303
5.8 设计时需要索取或提供的资料	252	7.2.2 短时工作电缆的选择	304
5.8.1 需向供电部门或建设单位索取的资料	252	7.2.3 短时工作电缆选择的实例	304
5.8.2 需向制造单位和建设单位提供的资料	252	7.3 同步电动机励磁装置的低压电缆选择	305
第 6 章 工程设计实例	255	第 8 章 电动机无功功率补偿节电	306
6.1 6kV 同步电动机直接启动的工程实例	255	8.1 异步电动机的就地无功功率补偿	306
6.1.1 同步电动机、励磁柜和辅机柜的平面布置	255	8.1.1 什么叫就地无功功率补偿	306
6.1.2 设备之间的电缆连接	255	8.1.2 就地无功功率补偿的适用范围	306
6.1.3 电动机的直接控制	256	8.1.3 就地无功补偿与电动机的接线	306
6.1.4 电动机的外部端子图	262	8.1.4 就地无功补偿容量的计算	307
6.2 10kV 同步电动机软启动的工程实例	263	8.1.5 设计就地无功补偿中关注的问题	310
6.2.1 运行柜、星点柜、热变电阻柜和励磁柜的平面布置	263	8.1.6 就地无功补偿的好处	310
6.2.2 设备之间的电缆连接	263	8.2 同步电动机无功功率的合理使用	310
6.2.3 电动机的软启动控制	263	8.2.1 同步电动机输出的无功功率	310
6.2.4 电动机的外部端子图	272	8.2.2 合理使用同步电动机的无功功率	311
6.3 6kV 同步电动机“一拖二”软启动的工程实例	273	第 9 章 电动机和软启动装置的维护	312
6.3.1 运行柜、星点柜、热变电阻柜和励磁		9.1 电动机运转前后的维护检查	312
		9.1.1 电动机运转前的维护检查	312
		9.1.2 电动机运转后的维护检查	312
		9.2 电动机运行中的维护检查	312
		9.2.1 用视觉的外观检查	313

9.2.2 用听觉的外观检查	313	9.5.1 电动机的检修周期	322
9.2.3 用嗅觉的外观检查	313	9.5.2 异步电动机检修的质量要求	322
9.2.4 用手感觉的外观检查	313	9.5.3 同步电动机检修的质量要求	323
9.3 异步电动机常见故障、原因及处理		9.6 TGQ 软起动装置维护和故障处理	323
方法	314	9.6.1 维护	323
9.4 同步电动机常见故障、原因及处理		9.6.2 故障处理	324
方法	318	参考文献	327
9.5 电动机的检修周期和质量要求	322		

第 1 章 中压交流电动机

把电能转换为机械能的电机称为电动机。按电动机使用的电源不同又分为直流电动机和交流电动机，交流电动机又分为交流异步电动机和交流同步电动机。异步电动机的主要优点为：结构简单、容易制造、价格低廉、运行可靠、坚固耐用、运行效率较高和具有适用的工作特性，缺点是功率因数较差，运行时要从电网里吸收滞后性的无功功率。大功率同步电动机与同容量的异步电动机相比较，同步电动机的功率因数高，在运行时，它不仅不使电网的功率降低，相反地，却能够改善电网的功率因数，这点是异步电动机做不到的。机械对启动、调速及制动无特殊要求时，应采用笼型电动机，但功率大且连续工作的机械，当在技术经济上合理时，宜采用同步电动机。重载起动的机械，选用笼型电动机不能满足起动要求或加大功率不合理时，宜采用绕线转子电动机。调速范围不大的机械，且低速运行时间较短时，也宜采用绕线转子电动机。

国标 GB/T 11022—1999《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》规定 3kV 及以上为高压，但 IEC 相关标准规定 1kV 以上为高压。在行业内通常把 3 ~ 72.5kV 称为中压，把 110 ~ 220kV 称为高压，330 ~ 550kV 称为超高压，把 750kV 称为特高压。本书主要介绍和分析 3kV、6kV 和 10kV 的中压电动机。

1.1 中压异步电动机

1.1.1 异步电动机的原理

三相电动机的三相在定子绕组里的空间成 120° ，定子接入三相交流电源后，三相正弦电流在时间上有 120° 的相位差，产生旋转磁场，因此在转子绕组内感应出电动势而产生感应电流，此电流与定子旋转磁场之间相互作用产生的电磁转矩就使电动机转动起来。

旋转磁场的速度与转子的速度相等时，转子绕组内不产生电动势，无感应电流流过，不产生电磁转矩。旋转磁场的速度与转子的速度有差别时，也就是说，这两种速度在“异步”的情况下，转子绕组内产生电动势，流过感应电流，产生电磁转矩，使转子旋转，拖动所带的机械运行。

1.1.2 异步电动机的额定值

额定值是“通常由制造厂对电动机在规定运行条件下所指定的一个量值”，即与工作制类型和定额类别密切相关的。在工程设计中，我们通常用额定功率和额定电流作为选择电动机的依据。

1. 额定功率 P_N

即额定输出功率或称满载功率。指电动机在额定运行时，转轴输出的机械功率，它不包括电动机的机械损耗（轴承损耗、风耗）和电气损耗（铁损、铜损），单位是 kW。

2. 额定电压 U_N

指额定运行状态下，加在定子绕组上的线电压（一般指标称电压），单位为 V。

3. 额定电流 I_N

或称满载电流，指电动机在定子绕组上加额定电压、转轴输出额定功率时，定子绕组中的线电流，单位为 A。

4. 额定频率 f

我国规定电网供电的额定频率是 50Hz。

5. 额定转速 n_N

指电动机定子加额定频率的额定电压，并且输出额定功率时电动机的转速，单位为 r/min。

6. 额定功率因数 $\cos\varphi_N$

指电动机在额定负载时，定子边的功率因数。

7. 温升与绝缘等级

可参见 1.5 节的表 1-48 和 1.7 节的表 1-52。

1.1.3 异步电动机的工作特性

1. 机械特性

三相异步电动机在保持额定电压、额定频率的状态下，定、转子回路不串入任何电器元件下的机械特性，称为固有机械特性，其 $T-s$ 曲线（即 $T-n$ 曲线）如图 1-1 所示。通过改变电动机的某些物理量或参数，可以获得许多人为的机械特性，以适应电动机起动、调速和制动的需要。

在图 1-1 中，曲线 1 为电动机定子绕组接正相序时的曲线，曲线 2 为反相序时的曲线。在第 I 象限内，电动机工作在此范围内是电动状态，A 点为电动机的起动点，对应 A 点， $n=0$ ，转差率 $s=1$ ，对应 A 点的电磁转矩称为起动转矩。B 点为电动机的额定运行点，对应 B 点的转速与电磁转矩均为额定值，P 点和 P' 点为电磁转矩最大点，也称机械特性的临界点。H 点为电动机的理想空载运行点，即同步点，对应的转速为电动机的同步转速。在第 II 象限内，电磁转矩为负值，是制动性转矩，电磁功率也是负值，是发电状态。在第 IV 象限，虽然电磁转矩是正值，是一种制动状态。

机械特性上的起动点、额定运行点和电磁转矩最大点的电磁转矩可以从三相异步电动机产品样本里的数据计算得出。

(1) 额定电磁转矩 额定电磁转矩用 T_N

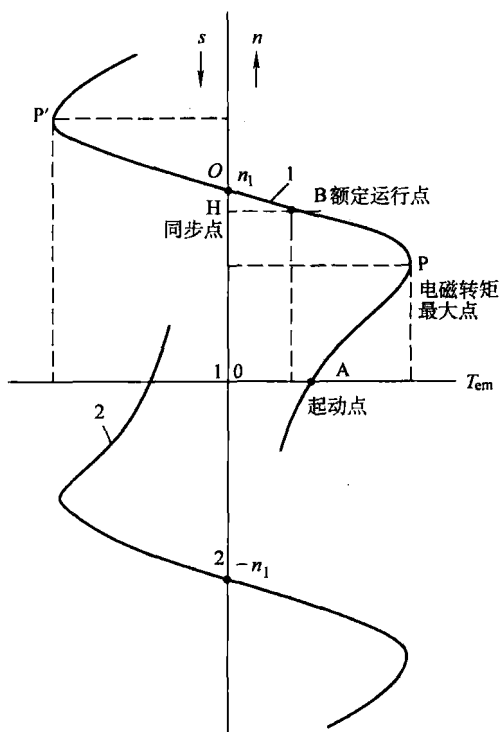


图 1-1 三相异步电动机的固有机械特性

表示, 对应的转速为额定转速用 n_N 表示, 电动机可以长期连续运行在额定状态。

从三相异步电动机产品样本查得额定功率 P_N 和额定转速 n_N , 可用下式近似算出额定电磁转矩 T_N , 输出转矩 T_2 可以表示为

$$T_2 = \frac{P_N}{\frac{2\pi n_N}{60}} = 9550 \frac{P_N}{n_N} \approx T_N \quad (1-1)$$

式中, P_N 的单位为 kW; n_N 的单位为 r/min; 则 T_N 的单位为 N·m。

(2) 最大电磁转矩 最大电磁转矩用 T_m 表示, 从三相异步电动机产品样本查到最大电磁转矩与额定转矩的比值, 该比值称为最大转矩倍数, 又称过载能力, 用 k_m 表示, 为

$$k_m = \frac{T_m}{T_N}$$

一般地, 三相异步电动机的 $k_m = 1.6 \sim 2.2$, 起重、冶金用的异步电动机 $k_m = 2.2 \sim 2.8$, 用式 (1-1) 算出的 T_N 乘以 k_m 就得 T_m , 应用于不同场合的三相异步电动机都有较大的过载能力, 当电压突然降低或负载转矩突然增大时, 电动机转速变化不大, 待干扰消失后, 又恢复正常运行, 但是, 不能让电动机长期工作在最大转矩处, 这样定子电流很大, 温升往往超出允许值, 有可能烧毁电动机, 同时在最大转矩处运行转速也不是稳定的。

(3) 堵转转矩 电动机堵转时 ($n=0$, $s=1$) 的电磁转矩称为堵转转矩, 用 T_s 表示。从三相异步电动机产品样本查到堵转转矩与额定转矩的比值, 该比值称为堵转转矩倍数, 用 k_{st} 表示, 为

$$k_{st} = \frac{T_s}{T_N}$$

用式 (1-1) 算出的 T_N 乘以 k_{st} 就得到 T_s 。

三相异步电动机的机械特性有三种表达形式: 物理表达式、参数表达式和实用表达式, 在工程实际中通常应用实用表达式。即

$$\frac{T}{T_m} = \frac{2}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} \quad (1-2)$$

式中 T ——电动机的电磁转矩, 单位为 N·m;

T_m ——电动机的最大转矩, 单位为 N·m;

s ——电动机转速的转差率;

s_m ——临界转差率。

由式 (1-2) 可知, T 与 s 为二次函数关系, 其曲线如图 1-1 所示。

(4) 如何使用机械特性实用公式 从实用公式 (1-2) 看出, 要知道最大电磁转矩 T_m 及临界转差率 s_m 才能计算。

式 (1-1) 推导出: $T_N \approx T_2 = 9550 \frac{P_N}{n_N}$, 额定功率 P_N 、额定转速 n_N 和过载能力 k_m 可从产品中查到, 故由 $T_m = k_m T_N$ 便可确定。

当三相异步电动机在额定负载范围内运行时, 转差率在 $s_N > s > 0$ 的范围内, 式 (1-2) 可简化为 $T = \frac{2T_m}{s_m} s$, 这样使三相异步电动机的机械特性呈线性变化关系, 使用起来更为方

便。根据电动机的型号,可知电动机的极数及极对数 p ,同步转速 $n_1 = 60f/p = 3000/p$,额定转差率 $s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1}$,一般 $s_N = 0.01 \sim 0.05$,把额定转差率代入下式,得到产生最大电磁转矩时的转差率 s_m 为

$$s_m = 2k_m s_N$$

2. 运行特性

三相异步电动机的运行特性,一般是指电动机在额定电压和额定频率下运行时,转子转速 n 、电磁转矩 T 、功率因数 $\cos\varphi$ 、效率 η 和定子电流 I_1 等随输出功率 P_2 而变化的关系如图1-2所示。该图是以标么值示出的一般异步电动机典型运行特性曲线。

(1) 转速特性 $n = f(P_2)$ 三相异步电动机空载时,转子转速 n 接近于同步转速,从空载到满载,随着负载的增加,转子转速 n 要略微降低。

(2) 电磁转矩特性 $T = f(P_2)$ 稳态运行时,三相异步电动机的转矩方程为

$$T = T_2 + T_0$$

输出功率 $P_2 = T_2\Omega$,所以

$$T = \frac{P_2}{\Omega} + T_0$$

当电动机空载时,电磁转矩 $T = T_0$,随着负载增大, P_2 增大,由于机械角速度 Ω 变化不大,电磁转矩 T 随 P_2 的变化近似为一条直线。

(3) 功率因数 $\cos\varphi = f(P_2)$ 三相异步电动机是感性负载,它的功率因数 $\cos\varphi$ (φ 是定子电压与定子电流之间的相位差)永远小于1,空载时,一般功率因数不超过0.2,随着功率的增加,功率因数渐渐增加,额定负载时,功率因数最高,从产品样本中可以查到它的额定功率因数 $\cos\varphi$ 数值。

(4) 效率 $\eta = f(P_2)$ P_2 电动机效率的定义为输出功率 P_2 与输入功率 P_1 之比,用 η 表示, $\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$,电动机空载时, $P_2 = 0$, $\eta = 0$,随着输出功率的增加,效率也增加。从使用的观点看,要求电动机的效率高,在同样负载条件下,就省电,技术标准中规定了三相异步电动机在额定功率时的额定效率 η_N 。

(5) 定子电流特性 $I_1 = f(P_2)$ 电动机空载时, $P_2 = 0$,转子电流 $I_2 \approx 0$,定子电流等于励磁电流 I_0 ,当负载增加时,转速下降,转子电流增大,定子电流也增大。

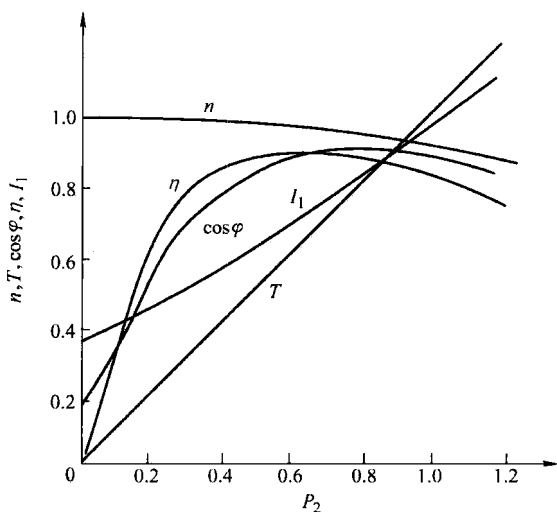


图1-2 一般异步电动机的运行特性曲线

1.1.4 异步电动机的类型

异步电动机的规格、品种繁多,从不同角度,有不同的分类法。按定子相数可分为:单相异步电动机、两相异步电动机和三相异步电动机。本书只介绍三相异步电动机。而三相异步电动机按转子绕组型式、尺寸大小、防护型式、通风冷却方式等进行分类,见表1-1。

表 1-1 三相异步电动机的主要分类

分类方式	类 别		
转子绕组型式	笼型、绕线转子		
电动机尺寸 中心高/mm (定子铁心外径)	大型 大于 630 (大于 1000)	中型 355 ~ 630 (500 ~ 1000)	小型 80 ~ 315 (120 ~ 500)
电压等级	380V, 0.55 ~ 250kW 3kV, 90 ~ 1250kW 6kV ~ 10kV, 220 ~ 5600kW		
防护型式	开启式 (IP11) 防护式 (IP22、IP23) 封闭式 (IP44)		
通风冷却方式	自冷式、自扇冷式、他扇冷式、管道通风式		
安装结构型式	卧式、立式、带底脚、带凸缘		
绝缘等级	E 级、B 级、F 级、H 级		
工作定额	连续、断续、间歇		

1. 按转子绕组型式的分类

按转子绕组型式可分为绕线转子异步电动机和笼型异步电动机，后者又包括单笼型异步电动机、双笼型异步电动机和深槽异步电动机。本书只介绍绕线转子异步电动机和单笼型异步电动机。

2. 电动机尺寸的分类

按电动机尺寸可分为：大型、中型和小型。中压电动机一般不是小型电动机，所以本书只介绍大型和中型异步电动机。按电动机中心高的不同对电动机的分类，可参见 1.1.5 节、1.1.6 节、1.1.7 节和 1.1.8 节。

3. 按防护型式分类

按防护型式可分为：开启式、防护式和封闭式。大、中型中压电动机的基本防护等级为 IP23。在电动机机座顶部换装不同的顶罩及通风冷却部件，即可派生出不同的防护等级和冷却方法。电动机外壳防护分级可参见 1.3 节。

4. 电动机安装结构型式可参见 1.4 节

5. 电动机按绝缘等级的温升可参见 1.5 节

按上述的分类，在异步电动机中，本书主要介绍 Y 系列（笼型转子）大中型 6kV 和 10kV 异步电动机，还有 YR 系列（绕线转子）大中型 6kV 和 10kV 异步电动机的主要参数也一并给出。

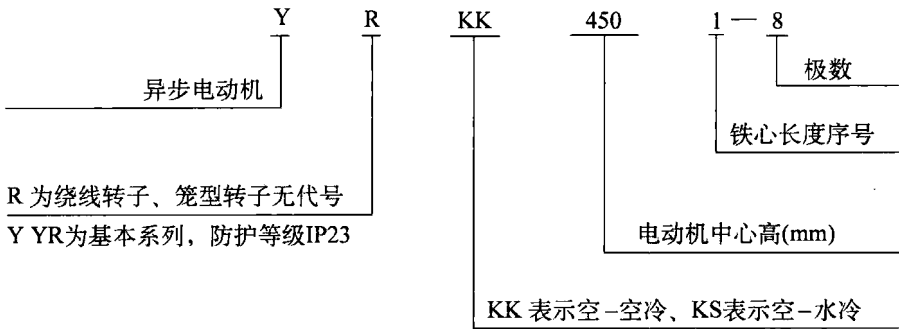
1.1.5 异步电动机的型号说明

Y 系列（IP44）三相异步电动机，自 1982 年由原机械工业部推广以后，在国民经济各行业中发挥了积极作用。Y 系列（IP44）是基本系列，在其基础上已派生出许多系列的产品，如 Y（IP23）、YR、YD、YA、YB 等系列，这些电动机比老系列产品效率高，性能优越，取代了相应的老产品。

Y、YR 系列和 YKK、YRKK、YKS、YRKS 系列大中型中压三相异步电动机，是我国 20 世纪 90 年代的最新产品，是 JS（JSQ）、JR（JRQ）老系列产品的更新换代产品。

一些大型电动机厂的产品引进并消化国外著名公司 20 世纪 80 年代的电动机设计制造技术，采用新的箱式结构型式，机座和端盖全部由钢板焊接组成，使中压电动机达到了新的水平。上海动能重工制造有限公司，引进了美国西屋公司的新技术，吸收了瑞士 ABB 公司的新技术，并结合了各厂生产 JS（JSQ）、JR（JRQ）的经验，在 1.1.6 节、1.1.7 节和 1.1.8 节中介绍了该公司生产的上述产品。

这部分的型号说明如下：



按 GB755—2000《旋转电机定额和性能》中有关电动机运行条件规定，电动机使用地点海拔不超过 1000m，环境温度为 0~40℃，无尘埃、无爆炸性和腐蚀性的环境中工作。额定频率为 50Hz。定子绕组一般为 F 级整浸绝缘，温升按 B 级考虑。表 1-2 表示了 Y 系列 6kV 电动机防护等级和冷却方法。

表 1-2 Y 系列 6kV 电动机防护等级和冷却方法

防护等级	冷却方法	冷却方法代号	电动机系列代号
IP23	自冷防滴式	IC01	Y、TR
IP44、IP54	空-空冷却封闭式	IC0161	YKK、YRKK
IP44、IP54	空-水冷却封闭式	ICW37A81	YKS、YRSKS

1.1.6 异步电动机的功率型谱

异步电动机的功率型谱见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 Y 系列高压电动机（IP23）功率型谱

极数	同步转速 /(r/min)	电压 /kV	额定功率/kW					
			中心高560mm			中心高 630mm		
4	1500	6	1600	1800	2000	2240	2500	2800
6	1000		1120	1250	1400	1600	1800	2000
8	750		800	900	1000	1120	1250	1400 1600
10	600		710	800	900	1000	1120	1250 1400
12	500		500	560	630	710	800	900 1000

(续)

极数	同步转速 /(r/min)	电压 /kV	额定功率/kW							
			中心高560mm				中心高 630mm			
4	1500	10	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2240
6	1000		710	800	900	1000	1120	1250	1400	1600
8	750		560	630	710	800	900	1000	1120	1250
10	600		500	560	630	710	800	900	1000	1120
12	500		355	400	450	500	560	630	710	800

注：本表数据供选型参考，以生产厂提供的数据为准。

表 1-4 YR 系列高压电动机（IP23）功率型谱

极数	同步转速 /(r/min)	电压 /kV	额定功率/kW							
			中心高560mm				中心高 630mm			
4	1500	6	1400	1600	1800		2000	2240	2500	
6	1000		1000	1120	1250		1400	1600	1800	
8	750		800	900	1000		1121	1250	1400	1600
10	600		630	710	800		900	1000	1120	1250
12	500		500	560	630		710	800	900	1000
4	1500	10	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000
6	1000		630	710	800	900	1000	1120	1250	1400
8	750		500	560	630	710	800	900	1000	1120
10	600		450	500	560	630 710	710	800	900	1000
12	500		280	315	355	400 450	500	560	630	710

注：本表数据供选型参考，以生产厂提供的数据为准。

1.1.7 Y、YR 系列 6kV 中型异步电动机

1. 适用范围

电动机可用于驱动各种通用机械，如压缩机、水泵、通风机、破碎机、起重传输机械及其他机械设备，在矿山、机械、石油、化工、环保、电站等各种工矿企业中作原动机用。用以传动鼓风机、轧钢机、卷扬机、带式输送机的电动机应在订货时提供有关资料，并要签订技术协议，作为电动机特殊设计的依据，以确保电动机的可靠运行。

2. 建议起动核查

- 1) 被驱动机械设备转动部分的转动惯量（在折算到电动机转速后）应不超过技术数据表中的〔J 负载〕项的数值；
- 2) 用户的电网电压应保证电动机在起动过程中的电动机端电压不低于额定电压的 85%；
- 3) 被传动机械的阻转矩特性为水泵、鼓风机类的阻转矩特性。

在满足上述条件下，电动机允许在实际冷状态下连续起动两次，或者在电动机热状态下起动一次，电动机在两次起动之间为自然停车，额外的再次起动电动机应在停车 4h 以后。

如果需要电动机传动的机械转动惯量超过技术数据表中的〔J 负载〕数值，或要求频繁

起动电动机，或有可能要带负载起动的电动机，必须事先和制造公司联系协商，以便特殊设计，保证电动机的可靠运行。

3. 依据的标准

《JB/T 7593—2007 Y 系列高压三相异步电动机技术条件（机座号 80 ~ 132）》

《JB/T 7594—2006 YR 系列高压绕线转子三相异步电动机 技术条件（机座号 355 ~ 630）》

4. 电动机的中心高

电动机的中心高 $H_{355 \sim 630\text{mm}}$ 。

5. 电动机的额定电流 I_N

$$I_N = \frac{P_N}{\eta \sqrt{3} U_N \cos \varphi_N}$$

6kV 中型三相异步电动机技术参数见表 1-5 ~ 表 1-20。

表 1-5 Y、YKS 系列三相异步电动机技术数据（保证值）

型号	额定功率 /kW	同步转速 /(r/min)	效率 (%)	功率因数 ($\cos\varphi$)	最大转矩 额定转矩 $\frac{T_m}{T_N}$	堵转转矩 额定转矩 $\frac{T_{st}}{T_N}$	堵转电流 额定电流 $\frac{I_{st}}{I_N}$	J 负载 /kg · m ²	重量 /kg
Y YKS 3553—4	220	1500	93.3	0.85	1.8	0.8	6.5	92	1830
Y YKS 3554—4	250		93.4	0.85				104	1880
Y YKS 3555—4	280		93.5	0.86				115	2040
Y YKS 3556—4	315		93.6	0.86				128	2200
Y YKS 4001—4	355	1500	93.8	0.86	1.8	0.8	6.5	106	2390
Y YKS 4002—4	400		94.0	0.86				118	2430
Y YKS 4003—4	450		94.2	0.86				132	2490
Y YKS 4004—4	500		94.3	0.87				145	2570
Y YKS 4005—4	560		94.5	0.87				159	2670
Y YKS 4501—4	630	1500	94.8	0.87	1.8	0.8	6.5	176	3240
Y YKS 4502—4	710		95.0	0.87				195	3270
Y YKS 4503—4	800		95.1	0.87				216	3370
Y YKS 4504—4	900		95.2	0.87				238	3930
Y YKS 5001—4	1000	1500	95.3	0.87	1.8	0.7	6.5	260	4150
Y YKS 5002—4	1120		95.4	0.88				285	4370
Y YKS 5003—4	1250		95.5	0.88				310	4510
Y YKS 5004—4	1400		95.6	0.88				340	4700
Y YKS 5601—4	1600	1500	95.7	0.89	1.8	0.6	6.5	378	5320
Y YKS 5602—4	1800		95.8	0.89				414	5530
Y YKS 5603—4	2000		95.9	0.89				447	5790
Y YKS 6301—4	2240	1500	96.0	0.89	1.8	0.6	6.5	496	6520
Y YKS 6302—4	2500		96.1	0.89				520	6890
Y YKS 6303—4	2800		96.2	0.89				560	7250