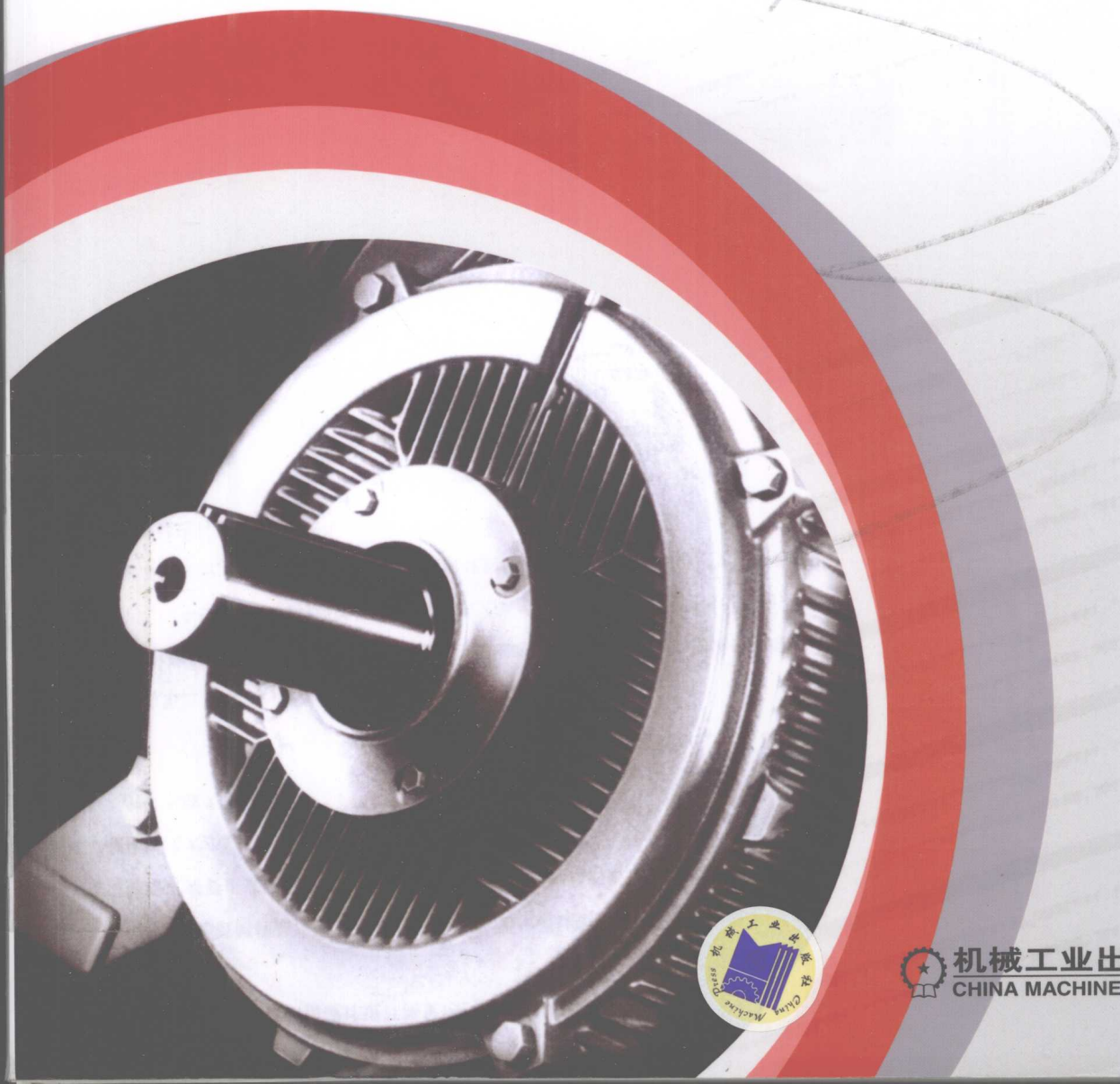


# 小型电动机现代实用

## 设计技术

► 胡岩 武建文 李德成 等编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 小型电动机 现代实用设计技术

胡 岩 武建文 李德成 等编著

机械工业出版社

本书从工程设计和应用的实用观点出发,比较系统地阐述了小型三相异步电动机、单相异步电动机、罩极异步电动机、单相串励电动机、小型串励直流电动机、小型永磁直流电动机、小型永磁同步电动机以及无刷直流电动机的设计理论、设计技术参数和设计方法。书中对电机永磁磁路计算、电子驱动电源以及计算机辅助设计作了较详细的分析叙述;还介绍了小型电动机的结构设计和常用材料。本书提供了上述各种小型电动机的电磁计算程序和算例以及两种小型电动机的计算机辅助设计程序,供读者参考。

本书可作为从事小型电动机设计和研发工程技术人员的参考书,也可作为提高小型电机行业工程技术人员设计水平的培训教材,还可作为大中专院校电气工程及其自动化专业的教学参考书和岗前培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

小型电动机现代实用设计技术/胡岩,武建文,李德成等编著. —北京:机械工业出版社, 2008.3

ISBN 978-7-111-23687-0

I. 小… II. ①胡…②武…③李… III. 电动机-基本知识 IV. TM32

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第032013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:牛新国 版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2008年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·42.5印张·1056千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-23687-0

定价:88.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379178

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

作为驱动动力的各种类型小型电动机是具有几百个系列、几千个品种的电动机产品，广泛应用于工业、农业、家用电器、办公设备以及现代自动化和军事装备等领域。

随着工业技术的发展，对电动机产品的机械性能、能效性能的要求越来越高，改善和提高电动机的这些性能，必须有设计技术保证。近年发展起来的“机电一体化”电动机（也称为“智能电动机”），如功率步进电动机、变频调速电动机、稀土永磁电动机、无刷直流电动机、开关磁阻电动机等，所需的供电电源已不是传统的电网供电，而是经过电力电子技术变换后的供电电源，因此这些电动机的设计显然与传统的电网供电电动机的设计是不同的。目前我国从事电机行业的科技人员数以万计，根据作者多年来服务于小型电机企业所受到的启迪，他们迫切需要一本反映现代实用设计技术的书籍，本书编写的目的，就是适应小型电机企业技术人员的需要。作者在总结多年教学经验和科研设计实践的基础上编著此书，期望该书能为我国小型电机行业企业的研发能力提高做出贡献。

本书着重阐述各种常用小型电动机的实用设计技术，程序实用，通俗易懂，取材实际。书中提供了各种小型电动机的电磁计算用计算图表、经验数据和曲线、设计计算程序与算例和几种电动机的计算机辅助设计程序。本书作者还备有几种小型电动机计算机辅助设计程序软件光盘可予以提供。此外书中还提供了部分小型电动机的系列技术数据，以供采用类比法设计时参考。

参加本书编写的有沈阳工业大学胡岩教授、李德成教授、吴伟博士，北京航空航天大学武建文教授。全书由李德成教授统编定稿。

在本书的编写过程中，参考了许多相关书籍和论文，作者对为本书提供设计技术数据和技术资料的这些相关书籍和论文的作者单位和本人表示衷心的感谢。

本书由中国工程院院士沈阳工业大学唐任远教授审阅，对此表示衷心感谢。

本书的出版得到了锦州特种电机厂、海城三鱼泵业有限公司等单位的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中缺陷和错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

本书可作为小型电机企业工程技术人员的参考书，也可作为提高小型电机企业工程技术人员设计水平的培训教材。还可作为大专院校电气工程及其自动化专业的教学参考书和岗前培训教材。

作者 于沈阳工业大学

HUYANSY@163.COM

2007年10月

# 目 录

## 前言

## 第1章 电动机实用设计技术综述 ..... 1

- 1.1 电动机分类 ..... 1
- 1.2 电动机设计任务、过程、  
内容和方法 ..... 2
  - 1.2.1 电动机设计任务 ..... 2
  - 1.2.2 电动机设计过程、内容和方法 ..... 2
- 1.3 电动机基本技术要求 ..... 3
  - 1.3.1 电动机运行条件 ..... 3
  - 1.3.2 电动机的工作制和定额 ..... 5
  - 1.3.3 温度和温升限值 ..... 9
  - 1.3.4 噪声和振动 ..... 9
  - 1.3.5 电动机的结构及安装型式 ..... 9
    - 1.3.5.1 旋转电机的结构和安装型式  
(IM代号) ..... 9
    - 1.3.5.2 旋转电机外壳防护分级  
(IP代码) ..... 13
    - 1.3.5.3 旋转电机冷却方法  
(IC代码) ..... 15
  - 1.3.6 旋转电机的尺寸和输出  
功率等级 ..... 16
  - 1.3.7 电动机产品型号 ..... 20
- 1.4 国家标准 ..... 22

## 第2章 小型三相异步电动机设计 ..... 24

- 2.1 三相异步电动机设计概述 ..... 24
  - 2.1.1 异步电动机的类型、特点和  
用途 ..... 24
  - 2.1.2 异步电动机的基本结构 ..... 30
  - 2.1.3 异步电动机的额定数据和  
技术指标 ..... 31
  - 2.1.4 异步电动机的功率等级与中心高的  
对应关系 ..... 34
  - 2.1.5 异步电动机产品的国家及  
行业标准 ..... 35
- 2.2 设计技术参数 ..... 36

- 2.2.1 电磁负荷选择 ..... 36
- 2.2.2 主要尺寸 ..... 37
- 2.2.3 定转子冲片槽形 ..... 40
- 2.2.4 定转子槽数选择和槽配合 ..... 41
- 2.3 三相异步电动机定子绕组 ..... 51
  - 2.3.1 绕组参数 ..... 51
  - 2.3.2 三相绕组设计 ..... 52
- 2.4 三相异步电动机的电磁设计 ..... 57
  - 2.4.1 三相异步电动机电磁计算主要内容和  
设计流程 ..... 57
  - 2.4.2 三相异步电动机的电磁计算 ..... 57
- 2.5 三相单笼型异步电动机电磁  
计算程序 ..... 65
- 2.6 三相单笼型异步电动机电磁  
计算算例 ..... 76
- 2.7 三相异步电动机电磁计算方案调整 ..... 83
- 2.8 变频调速三相异步电动机的  
设计问题 ..... 84
  - 2.8.1 变频调速三相异步电动机  
设计概述 ..... 84
  - 2.8.2 主要尺寸及电磁负荷选择 ..... 87
  - 2.8.3 额定电压的确定 ..... 90
  - 2.8.4 极数和额定频率的选择 ..... 91
  - 2.8.5 电动机参数的确定 ..... 91
  - 2.8.6 电磁设计的有关问题 ..... 93

## 附录 ..... 97

- 附录 2A 绕组系数, 漏抗、漏磁  
导系数 ..... 97
- 附录 2B 各种槽形单位漏磁导计算 ..... 98
- 附录 2C 三相异步电动机电磁计算  
用曲线 ..... 102
- 附录 2D 漆包圆导线规格 ..... 116
- 附录 2E 硅钢片的磁化及铁损耗特性 ..... 120

## 第3章 单相异步电动机设计 ..... 124

- 3.1 单相异步电动机设计概述 ..... 124

3.1.1 单相异步电动机的类型、特点和用途 .....	124	工作原理 .....	192
3.1.1.1 单相异步电动机的基本类型 .....	124	4.2 罩极异步电动机的运行分析 .....	194
3.1.1.2 基本系列及当前推广使用的系列 .....	126	4.3 罩极异步电动机的性能计算 .....	199
3.1.2 单相异步电动机的基本结构 .....	129	4.4 罩极异步电动机电磁计算程序 .....	201
3.1.3 单相异步电动机的额定值和技术指标 .....	130	4.5 罩极异步电动机的电磁估算 .....	209
3.1.4 单相异步电动机系列功率等级和中心高 .....	131	<b>第5章 单相串励电动机设计</b> .....	<b>211</b>
3.1.5 单相异步电动机的产品国家及行业标准 .....	131	5.1 单相串励电动机的基本结构和工作原理 .....	211
3.2 单相异步电动机运行分析 .....	132	5.2 单相串励电动机的绕组 .....	217
3.2.1 单相异步电动机的磁动势 .....	132	5.3 单相串励电动机的换向 .....	221
3.2.2 单相异步电动机的谐波磁动势 .....	137	5.4 单相串励电动机的产品国家及行业标准 .....	228
3.2.3 转子斜槽 .....	140	5.5 设计技术参数 .....	228
3.2.4 单相异步电动机性能分析 .....	141	5.6 单相串励电动机电磁计算程序 .....	230
3.3 单相异步电动机的绕组 .....	144	5.7 单相串励电动机电磁计算算例 .....	237
3.3.1 定子绕组选择 .....	144	<b>附录</b> .....	<b>243</b>
3.3.2 常规绕组 .....	145	附录 5A 单相串励电动机电磁计算用硅钢片的磁化曲线 .....	243
3.3.3 正弦绕组 .....	148	附录 5B 单相串励电动机电磁计算用曲线 .....	245
3.3.4 正弦绕组的绕组系数 .....	151	<b>第6章 小型串励直流电动机设计</b> .....	<b>250</b>
3.4 设计技术参数 .....	153	6.1 小型直流电动机概述 .....	250
3.4.1 电磁负荷选择 .....	153	6.2 小型串励直流电动机设计概述 .....	251
3.4.2 铁心尺寸和空气隙的确定 .....	154	6.2.1 小型串励直流电动机的类型、特点和用途 .....	251
3.4.3 定转子槽数的选择 .....	156	6.2.2 串励直流电动机的技术要求 .....	252
3.4.4 定转子槽形设计 .....	157	6.3 蓄电池车辆用直流电动机的国家及行业标准 .....	255
3.4.5 有效匝比 $a$ 与电容 $C$ 的选择 .....	158	6.4 蓄电池车辆用直流电动机的技术数据 .....	255
3.5 单相异步电动机电磁计算程序 .....	159	6.5 直流电动机绕组 .....	255
3.6 单相异步电动机电磁计算算例 .....	173	6.6 设计技术参数 .....	259
3.7 单相异步电动机电磁计算方案调整 .....	184	6.7 蓄电池车辆用小型串励直流电动机电磁计算程序 .....	264
<b>附录</b> .....	<b>187</b>	6.8 蓄电池车辆用小型串励直流电动机电磁计算算例 .....	274
附录 3A 正弦绕组系数、谐波强度 .....	187	<b>附录</b> .....	<b>280</b>
附录 3B 50W600 磁化及铁损特性 .....	189	附录 6A 蓄电池车辆用小型串励直流电动机 .....	
附录 3C 单相异步电动机电磁计算用表 .....	190		
附录 3D 单相异步电动机轭部磁路长度校正系数 .....	191		
<b>第4章 罩极异步电动机设计</b> .....	<b>192</b>		
4.1 罩极异步电动机的基本结构和			

机电磁计算用曲线 .....	280	8.1 永磁电机的磁路 .....	335
附录 6B 蓄电池车辆用小型串励直流电动机磁计算用磁化曲线 .....	283	8.2 永磁材料的基本性能及主要参数 .....	337
附录 6C 漆包扁线线规 .....	286	8.2.1 退磁曲线 .....	337
<b>第 7 章 小型电动机电力电子变流</b>		8.2.2 磁化强度与内禀磁通密度 .....	339
<b>驱动电源</b> .....	288	8.2.3 内禀曲线与内禀矫顽力 .....	341
7.1 直流电动机的整流电源 .....	288	8.2.4 自退磁磁场与永磁体等效磁路 .....	343
7.1.1 160V 直流电动机单相桥式全控整流电源 .....	290	8.2.5 回复线和磁导率 .....	346
7.1.2 440V 直流电动机三相桥式全控整流电源 .....	293	8.3 永磁电机等效磁路 .....	347
7.1.3 直流电动机自动调速原理 .....	296	8.4 永磁电机等效磁路的求解 .....	349
7.1.4 直流电动机整流电源性能分析 .....	297	8.4.1 解析法 .....	349
7.2 异步电动机变频调速控制驱动电源 .....	300	8.4.2 图解法 .....	352
7.2.1 交流调速系统的发展 .....	300	8.5 永磁体的最佳工作点 .....	354
7.2.2 PWM 控制的基本原理 .....	301	8.5.1 最大磁能的永磁体最佳工作点 .....	354
7.2.3 PWM 逆变电路及其控制方法 .....	301	8.5.2 最大有效磁能的永磁体最佳工作点 .....	355
7.2.4 异步调制和同步调制 .....	305	<b>第 9 章 小型永磁直流电动机设计</b> .....	357
7.2.5 产生 SPWM 脉冲的专用集成电路及应用 .....	306	9.1 小型永磁直流电动机设计概述 .....	357
7.2.6 异步电动机恒压频比变频调速控制方式 .....	310	9.1.1 永磁直流电动机的特点、用途和分类 .....	357
7.3 交流电动机矢量控制驱动电源 .....	312	9.1.2 永磁直流电动机基本技术要求 .....	359
7.3.1 坐标变换原理 .....	312	9.1.3 永磁直流电动机的产品国家及行业标准 .....	360
7.3.2 异步电动机电磁转矩和转子磁链观测 .....	314	9.2 永磁直流电动机的运行分析 .....	360
7.3.3 异步电动机电压型逆变器矢量控制原理 .....	315	9.2.1 永磁直流电动机的基本公式和基本方程式 .....	360
7.3.4 永磁同步电动机的控制策略 .....	317	9.2.2 永磁直流电动机的运行特性 .....	361
7.3.5 永磁同步电动机矢量控制原理 .....	318	9.2.3 永磁直流电动机的工作特性 .....	362
7.4 无刷直流电动机控制驱动电源 .....	320	9.3 永磁直流电动机的磁极结构形式 .....	362
7.4.1 无刷直流电动机的控制原理及其实现 .....	320	9.4 永磁直流电动机的电枢反应 .....	364
7.4.2 无刷直流电动机专用集成电路及其应用 .....	321	9.5 永磁直流电动机的设计技术参数 .....	368
7.4.3 有位置传感器无刷直流电动机专用集成电路应用举例 .....	323	9.6 永磁直流电动机电磁计算程序 .....	375
7.4.4 MI4428 无位置传感器无刷直流电动机控制器的应用 .....	329	9.7 永磁直流电动机电磁计算算例 .....	385
7.4.5 无刷直流电动机 DSP 调速系统 .....	332	<b>第 10 章 小型永磁同步电动机设计</b> .....	392
<b>第 8 章 永磁电机磁路计算基础</b> .....	335	10.1 永磁同步电动机设计概述 .....	392
		10.2 永磁同步电动机的磁路结构 .....	394
		10.2.1 总体结构 .....	394
		10.2.2 转子磁路结构 .....	395
		10.2.3 隔磁措施 .....	398
		10.3 永磁同步电动机稳定运行特性 .....	399
		10.3.1 相量图 .....	399

10.3.2	功角特性 .....	400			
10.3.3	功率因数和 V 形曲线 .....	402			
10.3.4	工作特性 .....	402			
10.4	永磁同步电动机的磁路分析 .....	405			
10.4.1	空载磁路特点 .....	405			
10.4.2	电枢反应及电抗参数 .....	407			
10.4.3	永磁同步电动机工作点的 计算 .....	410			
10.5	永磁同步电动机的设计特点 .....	411			
10.5.1	主要尺寸选择 .....	412			
10.5.2	永磁体设计 .....	413			
10.6	永磁同步电动机电磁计算程序 .....	414			
10.7	永磁同步电动机电磁计算算例 .....	424			
<b>第 11 章</b>	<b>无刷直流电动机设计</b> .....	<b>431</b>			
11.1	无刷直流电动机设计概述 .....	431			
11.1.1	无刷直流电动机的基本结构 .....	431			
11.1.2	无刷直流电动机的工作原理 .....	434			
11.1.3	无刷直流电动机的特点 .....	436			
11.2	无刷直流电动机转子位置传感器 .....	437			
11.3	无刷直流电动机绕组联结和换相 方式 .....	438			
11.3.1	三相星形非桥式联结和换相 .....	438			
11.3.2	三相星形桥式联结和换相 .....	439			
11.3.3	三相三角形桥式联结和换相 .....	442			
11.4	无刷直流电动机的电枢反应 .....	443			
11.5	无刷直流电动机的绕组 .....	445			
11.5.1	分数槽绕组的基本概念 .....	445			
11.5.2	分数槽绕组的对称条件 .....	446			
11.5.3	分数槽电枢绕组的连接方法 .....	446			
11.6	无刷直流电动机的基本计算公式 .....	454			
11.6.1	方波无刷直流电动机 .....	456			
11.6.2	普通无刷直流电动机 .....	459			
11.7	无刷直流电动机的运行特性 .....	460			
11.7.1	无刷直流电动机的机械特性 .....	461			
11.7.2	无刷直流电动机的调节特性 .....	462			
11.7.3	无刷直流电动机的工作特性 .....	462			
11.8	无刷直流电动机的设计特点 .....	463			
11.9	无刷直流电动机的转矩脉动 .....	466			
11.10	无刷直流电动机电磁计算程序 .....	467			
11.11	无刷直流电动机电磁计算算例 .....	475			
					<b>及实用电磁计算程序</b> .....
					481
12.1	概述 .....	481			
12.2	电动机的计算机辅助设计 .....	482			
12.2.1	电动机计算机辅助设计程序编制过 程中的有关问题 .....	482			
12.2.2	电动机计算机辅助设计程序 的编制 .....	483			
12.2.3	电动机计算机辅助设计程序编制过 程中有关问题的处理方法 .....	484			
12.3	三相异步电动机电磁设计的 计算机程序 .....	500			
12.3.1	程序结构 .....	500			
12.3.2	输入数据窗体 .....	500			
12.3.3	输出数据窗体 .....	508			
12.3.4	电磁计算模块 .....	510			
12.4	永磁同步电动机电磁设计的 计算机程序 .....	535			
12.4.1	程序结构 .....	535			
12.4.2	输入数据窗体 .....	535			
12.4.3	输出数据窗体 .....	538			
12.4.4	电磁计算模块 .....	540			
<b>第 13 章</b>	<b>小型电动机的结构设计</b> .....	<b>559</b>			
13.1	小型异步电动机的典型结构 .....	559			
13.2	异步电动机的机械结构设计 .....	560			
13.2.1	机座 .....	560			
13.2.2	定子铁心 .....	561			
13.2.3	转子铁心和转轴 .....	563			
13.2.4	端盖 .....	564			
13.2.5	轴承 .....	565			
13.3	小型电动机的公差配合及表面 粗糙度 .....	567			
13.4	异步电动机的通风冷却结构设计 .....	573			
13.4.1	电动机的冷却方式和 防护型式 .....	573			
13.4.2	电动机的通风冷却元件 .....	575			
13.5	电动机的绝缘结构设计 .....	580			
13.5.1	交流电动机的绝缘结构 .....	581			
13.5.2	低压交流电动机的槽绝缘 .....	582			
13.5.3	交流电动机定子绕组 绝缘规范 .....	583			
13.5.4	直流电动机的绝缘结构 .....	585			
13.6	电动机装配尺寸链计算 .....	587			
<b>第 12 章</b>	<b>电动机的计算机辅助设计技术</b>				



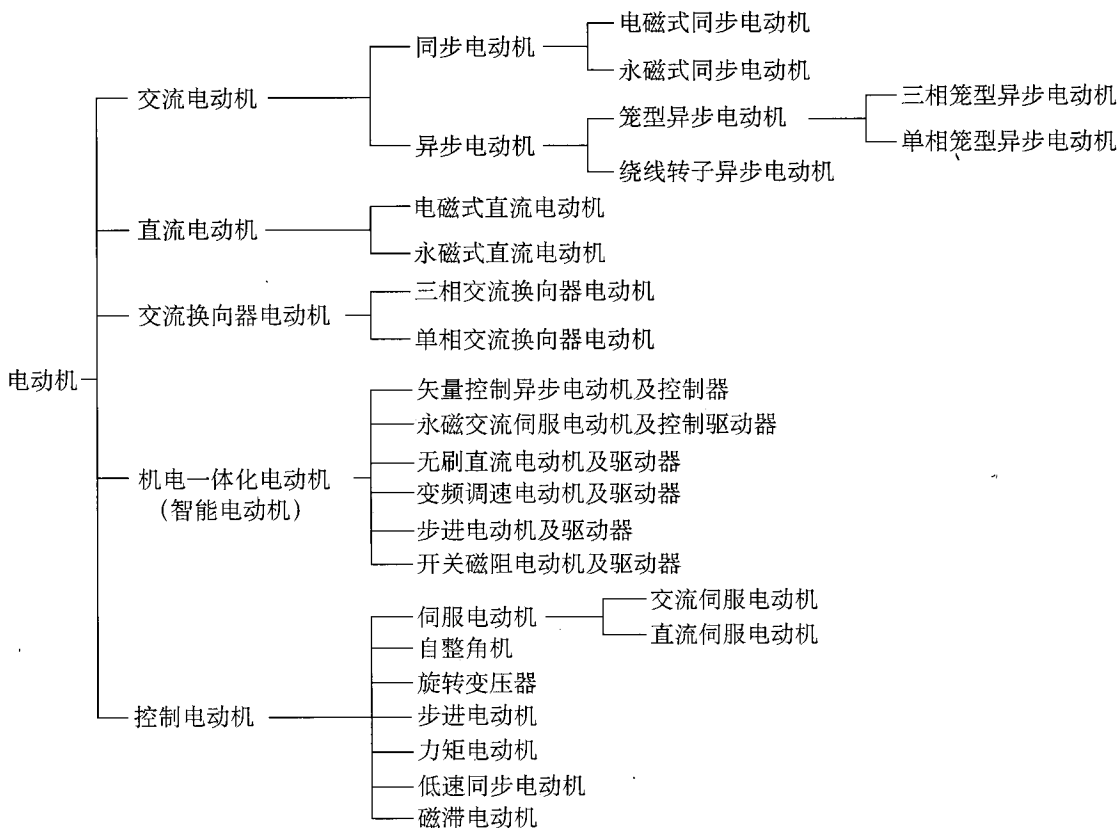
13.7 电动机转动部件的平衡 .....	589	绕组技术数据表 .....	636
<b>第 14 章 小型电动机常用材料</b> .....	<b>593</b>	附录 C 单相异步电动机设计数据	
14.1 导磁材料 .....	593	汇总表 .....	641
14.2 导电材料 .....	601	附录 D 单相串励电动机设计数据	
14.3 绝缘材料 .....	614	汇总表 .....	645
<b>附录</b> .....	<b>627</b>	附录 E Z2 系列小型直流电动机电磁设计	
附录 A Y 系列 (低压、IP44) 异步电动机技		数据表 .....	646
术数据表 .....	628	附录 F Z4 系列直流电动机技术数据表 .....	652
附录 B Y2 系列三相异步电动机性能和		附录 G Z4 系列直流电动机绕组数据表 .....	659
		<b>参考文献</b> .....	<b>669</b>

# 第 1 章

## 电动机实用设计技术综述

### 1.1 电动机分类

电动机的主要类型如下：



## 1.2 电动机的设计任务、过程、内容和方法

### 1.2.1 电动机设计任务

电动机设计的任务, 首先是根据国家标准、产品行业标准及用户提出的产品规格(如功率、电压、转速等)、技术指标要求(如效率、功率因数、最大转矩、起动转矩、起动电流、参数、温升限值等); 其次是根据国家技术经济政策和企业生产实际状况, 运用有关设计计算方法, 正确处理电动机尺寸、参数、性能等各方面矛盾关系, 合理选择结构型式和材料等, 从而设计出性能好、体积小、结构简单、运行可靠、制造和使用维护方便的先进电动机产品。

电动机设计任务中通常需要给定下列原始数据:

- (1) 额定功率或转矩: 电动机轴上输出机械功率(W和kW)或转矩(N·m);
- (2) 额定电压(V);
- (3) 相数及接法(对交流电动机);
- (4) 额定频率(Hz)(对交流电动机);
- (5) 额定转速(r/min);
- (6) 额定功率因数;
- (7) 励磁方式及额定励磁电压、励磁电流(对同步电动机和直流电动机);
- (8) 国家有关规定和用户提出的特殊性能指标, 如效率、过载能力、起动转矩、牵入转矩、失步转矩(对同步电动机)、转速变化率、绕组和铁心温升、振动与噪声等。

### 1.2.2 电动机的设计过程、内容和方法

**1. 初步设计** 初步设计过程即是编制设计技术任务书的过程。通常是根据设计任务要求, 广泛搜集相应生产成熟产品的技术数据(包括试验数据), 作为类比参照, 来确定产品的运行环境条件(海拔、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、安装型式和安装尺寸等。在这些原则的基础上来编制“设计技术任务书”, 设计任务书既是产品设计原则, 也是技术协议的技术基础。技术任务书应贯彻国家技术经济政策和有关国家标准。

**2. 电磁设计** 电磁设计是根据设计任务书的规定, 利用设计理论和设计计算方法, 通过计算来确定电动机的各种尺寸和数据。电磁计算的实质就是在保证电动机技术性能的基础上, 从温升限值出发, 来确定电动机各部分的几何尺寸, 如定子铁心、转子铁心、定子绕组、转子绕组及有关材料、规格及几何尺寸等。

由于电动机尺寸、参数和性能之间的内在联系, 尤其是任何一个电动机设计程序都存在着未知数多于方程式数的必然结果, 这些未知数有极弧系数、饱和系数、漏磁系数等。因此电磁设计的方法就是根据设计实际经验先假定一些尺寸(如定转子铁心内外径、气隙长度、铁心长度、槽形、定转子槽数和槽配合、绕组型式、线圈匝数、线径及连接方式等)。这种电磁计算方法通常称为“由外到里”, 即先根据相关系列电动机的技术数据选择一个定子铁心外径, 再向里确定定子内径、气隙长度等, 然后进行电动机的参数和性能计算, 核算其是

否符合技术条件要求。如果计算结果尚不能满足要求,则需另行更改假设的某些尺寸和数据,直到各项指标均达到技术条件要求,并从中选出最佳方案为止。

**3. 结构设计** 结构设计的任务是根据设计技术任务书要求及电磁设计确定的有关数据来确定电动机的总体结构,各结构部件的结构型式、尺寸、材料及加工要求等。必要时还要进行机械强度计算。确定机械结构后,绘制总装配图、分装配图和零件图,提出全套生产图样。在结构设计时,通常采用“由里向外、里外结合”的方法,即先从中心线开始向外绘制,以中心高、外限尺寸和安装尺寸作为外形的约束。否则,就需调整内部零部件的结构尺寸,即为“里外结合”。

绝缘结构主要是根据电动机的耐热等级和电压等级来确定绝缘材料及其尺寸,如槽绝缘、层间绝缘、端部绝缘及端部绑扎固定等。此外,尚需要确定绝缘浸渍漆处理,如绝缘漆的型号和浸渍规程等。

轴承结构,如滚动轴承、滑动轴承、推力轴承等,可以按中心高类比选择,必要时要进行寿命校核。

电动机的结构设计实际上是结构强度设计,在强度问题上往往都是凭经验确定,必要时也应进行受力分析和强度计算。

需要指出的是,结构设计和电磁设计是相辅相成的,结构设计通常在电磁设计后进行,有时也和电磁设计平行交叉进行,以便相互协调。

**4. 施工设计** 施工设计包括工、夹、模、量具设计和工艺设计。

(1) 工、夹、模、量具设计 电动机制造过程中涉及到的加工方法非常广泛。很多加工方法都需要用特殊的模具(如铁心冲剪时需要冲模;铸铁机座制造时需用铸件模型;转子铸铝时需用压铸模;线圈绕线时需用绕线模;钻孔加工时需用钻胎)、加工尺寸的检验工具(量具)、保证定子机座两端口同心度的特殊夹具、转子铸铝时所用的假轴,以上这些都是电动机生产过程中为保证质量、提高生产效率所必需的专用工具、夹具、模具、量具,都应进行单独设计,并绘制全部工装图样。

(2) 工艺设计 对每一工件来讲,都要经过不只一道工序才能完成零件图样所需的加工要求。例如一根轴要经过下料、打中心孔、粗车、精车、磨轴颈、铣键槽等。这些工序的加工顺序、加工方法、两道工序间应留的加工余量、哪些工序之后应安排什么尺寸的检验,都应有一个合理的安排。这个工作称为确定零部件的工艺流程,也就是工艺设计的主要内容。工艺设计不合理,零件质量就不能保证。工艺设计的最后应编制工艺文件,所有的加工必须按工艺文件执行。

## 1.3 电动机基本技术要求

国家标准 GB 755—2000 (IEC 34—1:1996)《旋转电机 定额和性能》中对电动机的技术要求有如下规定。

### 1.3.1 电动机运行条件

- (1) 海拔应不超过 1 000m。
- (2) 最高环境空气温度应不超过 40℃。

(3) 对于任何电机, 最低环境空气温度应不低于  $-15^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 最湿月月平均最高相对湿度为 90%, 同时该月月平均最低温度不高于  $25^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 电动机运行期间的电源电压, 三相 50Hz 或 60Hz 交流电动机的电压应符合 GB 156—2007 所规定的标准电压。

对用静止变流电源供电的交流电动机, 电压、频率和波形的规定均不适用, 额定电压应按变流电源实际供电电压确定。

(6) 电压、电流波形和对称性, 对于由交流发电机或电网供电频率为固定的电源上的交流电动机, 对单相电动机和三相电动机 (包括同步电动机), 供电电压谐波电压因数 (HVF) 应不超过 0.02。

HVF 值按下式计算:

$$HVF = \sqrt{\sum \frac{U_m^2}{n}}$$

式中  $U_m$  ——谐波电压的标么值 (以额定电压  $U_N$  为基值);

$n$  ——谐波次数 (对三相交流电动机不包含 3 及 3 的倍数)。通常取谐波次数  $n \leq 13$  已足够。

三相交流电动机应能在三相电压系统的电压负序分量不超过正序分量的 1% (长期运行), 或不超过 1.5% (不超过几分钟的短时运行) 且零序分量不超过正序分量 1% 的条件下运行。

即使 HVF 和负序分量、零序分量的限值在电动机额定负载运行时同时发生, 也不应导致在电动机中产生任何有害的温度。建议其温升或温度允许超过 GB 755—2000 规定限值, 但不能超过 10K。

对用静止变流电源供电的交流电动机, 应允许较高的电源电压谐波含量。

当直流电动机由静止电力变流器供电时, 脉动电压和脉动电流将影响电动机的性能, 与用纯直流电源供电的直流电动机相比, 损耗和温升将会增加, 换向更困难。

因此, 按特定电源供电设计的由静止电力变流器供电、额定功率超过 5kW 的电动机, 为降低电压、电流的波动程度, 电动机制造厂认为需要时应备有一个外接电感。

静止电力变流电源用下述代号作为标志:

$$[\text{CCC}-U_{\text{aN}}-f-L]$$

代号中, CCC 是变流器联结方式的代号, 按 JB/T 7062—1993;  $U_{\text{aN}}$  为由 3 位或 4 位数字组成, 表示变流器输入端的额定交流电压 (V);  $f$  为由 2 位数字组成, 表示额定输入频率 (Hz);  $L$  为由 1 位、2 位或 3 位数字组成, 表示与电动机电枢回路串接的外部电感 (mH), 如串接电感为零, 此标记可省略。

、额定功率不超过 5kW 的电动机, 只要没有超过设计所规定的额定波形因数, 而且电动机电枢回路的绝缘水平与静止电力变流器输入端子处的额定交流电压相匹配, 则不论有无外接电感, 可以适用于任一静止电力变流器而不局限于某一特定类型的静止电力变流器。

在所有情况下, 静止电力变流器输出电流的波动均假定为很小, 即在额定条件下电流纹波因数不大于 0.1。

### 1.3.2 电动机的工作制和定额

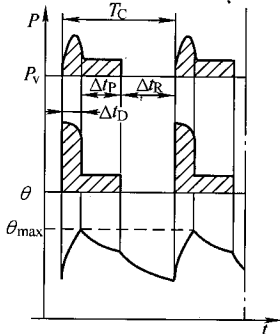
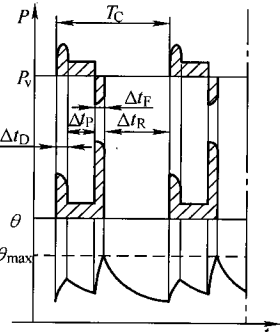
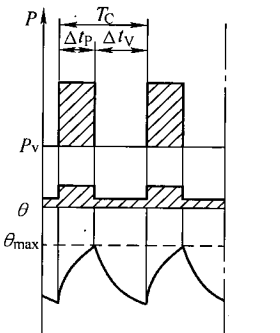
工作制和定额是电动机设计的基础。

1. 电动机工作制 工作制是电动机所承受的一系列负载状况的说明，包括起动、电制动、空载、停机和断能及其持续时间和先后顺序等。工作制共分为10类，见表1-1。

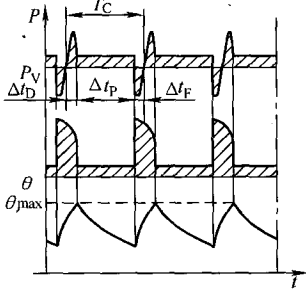
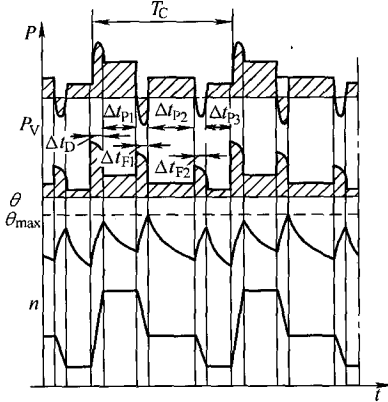
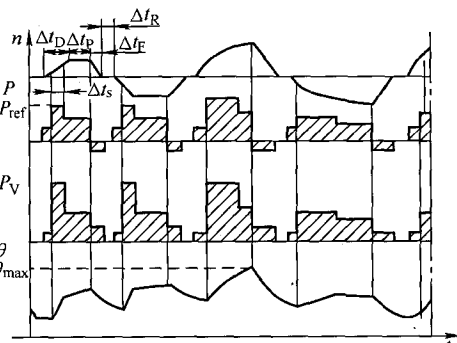
表1-1 旋转电动机的工作制

代号	名称	定义	图示
S1	连续工作制	保持在恒定负载下运行至热稳定状态	<p><math>P</math>—负载 <math>P_V</math>—电气损耗 <math>\theta</math>—温度  <math>\theta_{max}</math>—达到的最高温度 <math>t</math>—时间</p>
S2	短时工作制	在恒定负载下按给定的时间运行，电机在该时间内不足以达到热稳定，随之停机和断能，其时间足以使电动机再度冷却到与冷却介质温度之差在2K以内 例：S2 60min	<p><math>P</math>—负载 <math>P_V</math>—电气损耗 <math>\theta</math>—温度 <math>\theta_{max}</math>—达到的最高温度  <math>t</math>—时间 <math>\Delta t_P</math>—恒定负载运行时间</p>
S3	断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段停机和断能时间，每一周期的起动电流不致对温升产生显著影响 例：S3 25%	<p><math>P</math>—负载 <math>P_V</math>—电气损耗 <math>\theta</math>—温度 <math>\theta_{max}</math>—达到的最高温度  <math>t</math>—时间 <math>T_C</math>—负载周期 <math>\Delta t_P</math>—恒定负载运行时间  <math>\Delta t_R</math>—停机和断能时间 负载持续率 = <math>\Delta t_P / T_C</math></p>

(续)

代号	名称	定义	图 示
S4	包括起动的断续周期工作制	<p>按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段对温升有显著影响的起动时间、一段恒定负载运行时间和一段停机和断能时间</p> <p>例：S4 25% <math>J_M = 0.15\text{kg}\cdot\text{m}^2</math>  <math>J_{\text{ext}} = 0.7\text{kg}\cdot\text{m}^2</math></p>	 <p><math>P</math>—负载 <math>P_v</math>—电气损耗 <math>\theta</math>—温度 <math>\theta_{\text{max}}</math>—达到的最高温度  <math>t</math>—时间 <math>T_C</math>—负载周期 <math>\Delta t_D</math>—起动/加速时间 <math>\Delta t_P</math>—恒定负载运行时间  <math>\Delta t_R</math>—停机和断能时间 负载持续率 = <math>(\Delta t_D + \Delta t_P) / T_C</math></p>
S5	包括电制动的断续周期工作制	<p>按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间、一段电制动时间和一段停机和断能时间</p> <p>例：S5 25% <math>J_M = 0.15\text{kg}\cdot\text{m}^2</math>  <math>J_{\text{ext}} = 0.7\text{kg}\cdot\text{m}^2</math></p>	 <p><math>P</math>—负载 <math>P_v</math>—电气损耗 <math>\theta</math>—温度 <math>\theta_{\text{max}}</math>—达到的最高温度  <math>t</math>—时间 <math>T_C</math>—负载周期 <math>\Delta t_D</math>—起动/加速时间 <math>\Delta t_P</math>—恒定负载运行时间  <math>\Delta t_F</math>—电制动时间 <math>\Delta t_R</math>—停机和断能时间 负载持续率 = <math>\Delta t_P / T_C</math></p>
S6	连续周期工作制	<p>按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段空载运行时间，无停机和断能时间</p> <p>例：S6 40%</p>	 <p><math>P</math>—负载 <math>P_v</math>—电气损耗 <math>\theta</math>—温度 <math>\theta_{\text{max}}</math>—达到的最高温度  <math>t</math>—时间 <math>T_C</math>—负载周期 <math>\Delta t_P</math>—恒定负载运行时间 <math>\Delta t_V</math>—空载运行时间          负载持续率 = <math>\Delta t_P / T_C</math></p>

(续)

代号	名称	定义	图示
S7	包括电制动的连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间和一段电制动时间，无停机和断能时间 例：S7 $J_M = 0.4\text{kg}\cdot\text{m}^2$ $J_{\text{ext}} = 7.5\text{kg}\cdot\text{m}^2$	 <p>P—负载 <math>P_V</math>—电气损耗 <math>\theta</math>—温度 <math>t</math>—时间 <math>T_C</math>—负载周期  <math>\Delta t_D</math>—起动/加速时间 <math>\Delta t_P</math>—恒定负载运行时间 <math>\Delta t_F</math>—电制动时间                      负载持续率 = 1</p>
S8	包括负载-转速相应变化的连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段预定转速下恒定负载时间和一段或几段在不同转速下运行的其他恒定负载运行时间，无停机和断能时间 例：S8 $J_M = 0.5\text{kg}\cdot\text{m}^2$ $J_{\text{ext}} = 6\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 16kW 740r/min 30% 40kW 1460r/min 30% 25kW 980r/min 40%	 <p>P—负载 <math>P_V</math>—电气损耗 <math>\theta</math>—温度 <math>\theta_{\text{max}}</math>—达到的最高温度  <math>n</math>—转速 <math>t</math>—时间 <math>T_C</math>—负载周期 <math>\Delta t_D</math>—起动/加速时间  <math>\Delta t_P</math>—恒定负载运行时间 (<math>P_1, P_2, P_3</math>) <math>\Delta t_F</math>—电制动时间 (<math>F_1, F_2</math>)                      负载持续率 = <math>(\Delta t_D + \Delta t_{P1}) / T_C</math>; <math>(\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2}) / T_C</math>;  <math>(\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3}) / T_C</math></p>
S9	负载和转速作非周期变化的工作制	负载和转速在允许的范围作非周期变化的工作制，这种工作制包括经常过载，其值可远远超过基准负载 标注为 S9	 <p>P—负载 <math>P_{\text{ref}}</math>—基准负载 <math>P_V</math>—电气损耗 <math>\theta</math>—温度  <math>\theta_{\text{max}}</math>—达到的最高温度 <math>n</math>—转速 <math>t</math>—时间 <math>\Delta t_D</math>—起动/加速时间  <math>\Delta t_P</math>—恒定负载运行时间 <math>\Delta t_F</math>—电制动时间 <math>\Delta t_R</math>—停机和断能时间  <math>\Delta t_s</math>—过载时间</p>



(续)

代号	名称	定义	图 示
S10	离散恒定负载工作制	<p>包括不多于 4 种离散恒定负载值 (或等效负载) 的工作制, 每一种负载运行时间应足以使电动机达到热稳定。在一个工作周期中的最小负载值可为零 (空载或停机和断能)</p> <p>标注为 S10</p> <p>例: S10 <math>P/\Delta t = 1.1/0.4;</math>  <math>1/0.3; 0.9/0.2;</math>  <math>r/0.1; T_L = 0.6</math></p>	<p><math>P</math>—负载 <math>P_1</math>—负载周期内的恒定负载 <math>P_{ref}</math>—基于 S1 工作制的基准负载; <math>P_v</math>—电气损耗; <math>\theta</math>—温度; <math>\theta_1</math>—基准负载时的温度; <math>T_C</math>—负载周期; <math>\Delta\theta_1</math>—在负载周期内每种负载时绕组的温升与基准负载时温升的差值; <math>t</math>—时间; <math>t_1</math>—负载周期中的恒定负载时间; <math>P/\Delta t</math>—负载及其相应持续时间的标么值 <math>T_L</math>—绝缘结构相对预期热寿命的标么值, 预期热寿命的基准值是在 S1 连续工作制定额及其允许温升限值下的预期热寿命 <math>r</math>—停机和断能时的负载</p>

注:  $J_M$ —电动机转动惯量,  $J_{ext}$ —负载转动惯量。

**2. 电动机定额** 定额是指一组定额值和运行条件, 即由制造厂对符合指定条件的电动机所规定的, 并在铭牌上标明的电参量和机械量的全部数值及其持续时间和顺序。全部按定额的运行称为“额定运行”。定额共分六类:

(1) 连续工作制定额 是制造厂对电动机所规定的可以作长期运行的负载和条件。这类定额相应于 S1 工作制。

(2) 短时工作制定额 是制造厂对电动机所规定的可以作短时运行的负载和条件: 电动机应在实际冷态下起动, 并在规定的时限内运行, 该时限应为下列数值之一: 10min, 30min, 60min 或 90min。这类定额相应于 S2 工作制。

(3) 周期工作制定额 是制造厂对电动机所规定的可以按指定周期运行的负载和各种条件, 这类定额相应于 S3 ~ S8 工作制, 每一工作周期的时间为 10min, 负载持续率应为下列数值之一: 15%, 25%, 40% 或 60%。

(4) 非周期工作制定额 是制造厂对电动机所规定的在相应的变速范围内作非周期运行的变动负载 (包括过载) 和条件, 这类定额相应于 S9 工作制。

(5) 离散恒定负载工作制定额 是制造厂对电动机所规定的该种定额, 按其规定在满足 GB 755—2000 的各项要求的同时, 电动机应能承受 S10 工作制的联合负载作长期运行。在一个工作周期内的最大允许负载应考虑到电动机的所有部件, 如绝缘结构对于相对预期热寿命的指数规律的正确性、轴承温度以及其他部件的热膨胀等。除非其他相关国标或 IEC 标准另有规定, 最大负载应不超过以 S1 工作制为基准的负载值的 1.2 倍。最小负载可为零, 此时