



“十三五”普通高等教育规划教材

DIANQI GONGCHENG SHEJI

# 电气工程设计

陈忠孝 主编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

# 电气工程设计

主编 陈忠孝  
编写 张立广 高雅  
任晶鼎 苗荣霞  
主审 谭宝成 杜乐



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材。

本书共四篇 21 章, 电气传动系统设计篇包括电气传动概述、电气传动系统的设计依据、电气传动系统方案设计、电气传动系统图纸设计、电气传动系统图纸审查、电气传动系统直流调速的设计、电气传动系统交流调速的设计, 高层建筑电气工程设计篇包括高层建筑电气概述、高层建筑电气方案设计、高层建筑电气初步设计、高层建筑电气施工图设计、高层建筑电气图审查, 变电站电气工程设计篇包括变电站概述、变电站主接线图设计、变电站电气布置图设计、变电站二次电气图设计、变电站防雷与接地设计、变电站用电和照明设计、变电站设计说明, PLC 控制系统设计篇包括 PLC 控制系统设计基础、PLC 控制系统设计实例。本书融入了编者工程实践的经验和总结, 使读者掌握相关的设计内容、方法和步骤, 为全面系统完成对应的电气工程设计打下良好基础。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、建筑电气与智能化等专业的教材, 同时也可作为其他相关专业和工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电气工程设计 / 陈忠孝主编. —北京: 中国电力出版社, 2019.1

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5198-2591-1

I. ①电… II. ①陈… III. ①电气工程—设计—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 255104 号

---

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 冯宁宁

责任校对: 黄 蓓 常燕昆

装帧设计: 赵姗姗

责任印制: 钱兴根

---

印 刷: 北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次: 2019 年 1 月第一版

印 次: 2019 年 1 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 19

字 数: 467 千字

定 价: 55.00 元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

# 前 言

近年来,电气工程及其自动化方面的技术发展迅速,特别是在特高压、微电网、新能源发电、电力系统的自动化和智能化、设备的大容量和小型化及智能化、节能环保等方面得到了较大发展。我国在电气传动、大型风力发电、光伏发电、水力发电、核电等清洁能源利用方面成绩显著,特高压交、直流输电技术和建设处于世界领先地位,微电网技术和建设取得长足发展,全球能源互联网的建设也进入快车道,各行各业安全、高效、合理、环保使用电能的水平大幅提高,大大促进了我国能源产业的发展和保障作用,为可持续发展奠定了良好基础。

电气工程及其自动化专业所涉及的内容非常广泛,本书是在《电气工程设计讲义》基础上,仅就应用最多的电气传动系统、高层建筑电气工程、变电站电气工程、PLC 电气控制系统四个方面的电气设计进行讲述。每篇讲述方法的侧重点不同,各有特点,融入了编者的工程实践经验。

本书由西安工业大学的老师编写,陈忠孝担任主编并负责统稿,高雅、张立广、任晶鼎、苗荣霞参与编写。其中第1~5章由高雅编写,第6、7章由张立广编写,第8~12章由陈忠孝编写,第13~19章由任晶鼎编写,第20、21章由苗荣霞编写。第1~7章,20、21章由西安工业大学谭宝成教授审定,第8~19章由中国建筑西北设计研究院有限公司杜乐高级工程师(教授级)审定。

限于编者水平,加之时间仓促,难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2018年12月

# 目 录

前言

## 第一篇 电气传动系统设计

第1章 电气传动概述	3
1.1 传动分类及电气传动	3
1.2 电气传动系统运动方程	4
1.3 电气传动系统技术指标	7
习题1	10
第2章 电气传动系统的设计依据	11
2.1 电气传动设计的基本依据	11
2.2 防爆等级的要求	12
2.3 电磁兼容性的要求	14
2.4 冷却方式的要求	15
2.5 温升的要求	16
2.6 电气保护方式的要求	16
2.7 绝缘的设计依据	20
2.8 接地的设计依据	24
2.9 线路的敷设要求	25
习题2	26
第3章 电气传动系统方案设计	27
3.1 方案设计内容及步骤	27
3.2 电机的选择	28
3.3 电机控制器的选择	36
3.4 工业现场总线	47
3.5 人机交互方式的选择	51
3.6 控制器的选择	53
习题3	55
第4章 电气传动系统图纸设计	57
4.1 项目代号组成的一般原则	57
4.2 概略图设计	63

4.3	电路图设计	64
4.4	接线图设计	67
4.5	布置图设计	69
4.6	主要设备材料表	72
	习题 4	73
<b>第 5 章</b>	<b>电气传动系统图纸审查</b>	<b>74</b>
5.1	器件及功能检查	74
5.2	接地检查	75
5.3	抗干扰设计检查	75
5.4	电动机的功率计算校验	76
5.5	调试前现场的检查	80
	习题 5	81
<b>第 6 章</b>	<b>电气传动系统直流调速的设计</b>	<b>82</b>
6.1	直流电机基本知识	82
6.2	直流传动系统电源转换装置	85
6.3	直流传动系统工程设计	87
6.4	步进电机的控制	100
	习题 6	103
<b>第 7 章</b>	<b>电气传动系统交流调速的设计</b>	<b>104</b>
7.1	交流电机基本知识	104
7.2	交流传动系统电源转换装置	106
7.3	交流传动常用方法	112
	习题 7	120

## 第二篇 高层建筑电气工程设计

<b>第 8 章</b>	<b>高层建筑电气概述</b>	<b>123</b>
8.1	概念	123
8.2	高层建筑电气设计内容	124
8.3	高层建筑电气设计依据	125
8.4	高层建筑电气设计阶段	129
	习题 8	129
<b>第 9 章</b>	<b>高层建筑电气方案设计</b>	<b>130</b>
9.1	方案设计内容和步骤	130
9.2	收集与提供的相关资料	131
9.3	确定编制依据	132
9.4	负荷容量估算	132
9.5	防雷设计方案	133
9.6	制定设计方案	133

9.7	编制设计说明书	135
	习题 9	137
<b>第 10 章</b>	<b>高层建筑电气初步设计</b>	<b>138</b>
10.1	初步设计内容和步骤	138
10.2	收集与提供的相关资料	139
10.3	确定编制依据	140
10.4	负荷计算	141
10.5	其他工程计算	144
10.6	编制设计说明书	146
10.7	图纸设计	152
10.8	主要设备材料表	153
10.9	概算	153
	习题 10	154
<b>第 11 章</b>	<b>高层建筑电气施工图设计</b>	<b>155</b>
11.1	施工设计内容和步骤	155
11.2	收集与提供的相关资料	156
11.3	确定设计依据	157
11.4	编制设计总说明	158
11.5	施工图设计	162
11.6	电气设备材料表	178
11.7	预算	178
	习题 11	179
<b>第 12 章</b>	<b>高层建筑电气图审查</b>	<b>180</b>
12.1	图纸审查的必要性	180
12.2	规范的主要条款	180
12.3	图纸审查	203
	习题 12	204

### 第三篇 变电站电气工程设计

<b>第 13 章</b>	<b>变电站概述</b>	<b>209</b>
13.1	基础知识	209
13.2	设计依据	211
13.3	所需知识	216
13.4	设计内容和方法	216
	习题 13	218
<b>第 14 章</b>	<b>变电站主接线图设计</b>	<b>219</b>
14.1	总的要求	219
14.2	变电站主接线设计	219

14.3	负荷计算和短路计算	224
14.4	变压器选择	226
14.5	高压电器选择	227
	习题 14	231
<b>第 15 章</b>	<b>变电站电气布置图设计</b>	232
15.1	变电站形式	232
15.2	变电站布置的要求	233
15.3	布置图设计	234
15.4	资料图设计	234
	习题 15	235
<b>第 16 章</b>	<b>变电站二次电气图设计</b>	236
16.1	总的要求	236
16.2	小母线设置	237
16.3	二次保护和计算	238
16.4	二次电气接线图设计	238
	习题 16	242
<b>第 17 章</b>	<b>变电站防雷与接地设计</b>	243
17.1	防雷基本知识	243
17.2	建筑物防雷设计	244
17.3	高压配电装置防雷设计	247
17.4	接地装置设计	247
17.5	等电位连接设计	249
	习题 17	250
<b>第 18 章</b>	<b>变电站用电和照明设计</b>	251
18.1	变电站用电	251
18.2	站动力用电	251
18.3	照明方式和灯具确定	251
18.4	灯具布置和照度计算	252
18.5	照明供电	252
18.6	照明设计	252
	习题 18	252
<b>第 19 章</b>	<b>变电站设计说明</b>	254
19.1	工程概况	254
19.2	设计依据	254
19.3	方案和方法	254
19.4	其他说明	254
19.5	图例说明	254
	习题 19	255

## 第四篇 PLC 控制系统设计

第 20 章 PLC 控制系统设计基础 .....	259
20.1 PLC 控制项目总体实施阶段 .....	259
20.2 PLC 控制系统软硬件设计 .....	260
20.3 模拟调试与现场安装联调 .....	266
20.4 PLC 控制系统资料归档与项目验收 .....	267
习题 20 .....	268
第 21 章 PLC 控制系统设计实例 .....	269
21.1 项目工艺分析 .....	269
21.2 项目控制方案设计 .....	271
21.3 控制系统硬件设计 .....	272
21.4 控制系统软件设计 .....	285
21.5 控制系统调试与安装运行 .....	292
21.6 控制系统资料归档与项目验收 .....	292
习题 21 .....	292
参考文献 .....	293



总码

## 第一篇

# 电气传动系统设计



### 主要内容

- (1) 电气传动系统的概念、基本组成和技术指标。
- (2) 电气传动系统的设计依据。
- (3) 电气传动系统方案设计的主要内容及步骤。
- (4) 电气传动系统图纸设计的规范和构成。
- (5) 电气传动系统图纸审查的主要内容及步骤。
- (6) 电气传动系统直流调速的设计。
- (7) 电气传动系统交流调速的设计。



### 知识要点

(1) 基本概念。电气传动；设计规范；方案；软起动；现场总线；概略图；逻辑无环流调速；正弦脉宽调制 (SPWM)。

(2) 知识点。

- 1) 系统的设计依据；方案的设计步骤；系统的设计内容。
- 2) 图纸的设计规范；图纸的基本构成；图纸的审查步骤。
- 3) 直流单闭环调速系统设计；直流可逆双闭环调速系统设计。
- 4) 交流调压调速系统设计；交流变频调速系统设计。

(3) 重点及难点。

- 1) 系统的设计内容；图纸的基本构成。
- 2) 直流可逆双闭环调速系统设计；交流变频调速系统设计。



### 基本要求

遵循设计依据和图纸设计规范，能根据电气传动系统设计步骤，设计合理的传动系统方案和绘制标准的图纸；了解直流和交流电机的调速原理，能设计简单功能的调速控制系统。



电气传动系统设计篇

# 第1章 电气传动概述

## 1.1 传动分类及电气传动

### 1.1.1 传动概念及分类

传动：传递动力使机器或生产部件运动或运转，其主要是动力的传递、功率的传递、能量的传递。传动分为机械传动、流体传动和电力传动3大类。

机械传动是利用机械部件直接实现传动，主要有齿轮传动、链传动的啮合传动、摩擦轮传动和带传动的摩擦传动等。

结构：齿轮、蜗轮蜗杆、轮系、皮带、传输链；

特点：传动准确、实现回转运动简单、传递扭矩大；故障易发现，便于维修。但一般情况下不太稳定，制造精度不高时易产生振动和噪声，实现无级变速的结构复杂且成本高。

应用：定比传动、减速机、制动器、丝杠和滑轨等。

流体传动是以液体或气体为工作介质的传动，广泛应用的有液压和气压传动。

液压传动是依靠液体静压力作用的液压传动或依靠液体动力作用的液压传动。

结构：液缸、液压阀、液压管路、液压泵、液压马达；

特点：力矩大，有油污；

应用：轮船、大型压机。

气压传动是以压缩空气为工作介质进行能量传递和信号传递。

结构：气缸、气阀、气体管路、气源；

特点：干净、力矩较小、噪声小；

应用：食品、药品、包装行业。

电气传动是利用电动机将电能转化为机械能，以电动机作为动力带动机械结构工作，并按规定的规律运动的传动方式。

结构：电机、电缆、电源；

特点：传送距离更远、调速性能更好；

应用：国民经济各行各业<sup>[1]</sup>。

### 1.1.2 电气传动基本组成和发展

电气传动主要由电气控制装置、电源、电动机、传动机构和执行机构组成。电动机及电源：把电能转换成机械能；传动机构将机械能转换成所需要的运动形式并进行传递与分配；执行机构完成生产工艺任务；电气控制装置控制系统按生产工艺的要求动作，并对系统进行保护和自动控制。其结构形式如图1-1所示。

电动机通常是根据生产机械的工作要求选用，主要有：直流电动机、异步电动机、同步电动机等。

直流电动机为动力的传动系统称为直流电力拖动系统，简称直流拖动系统。

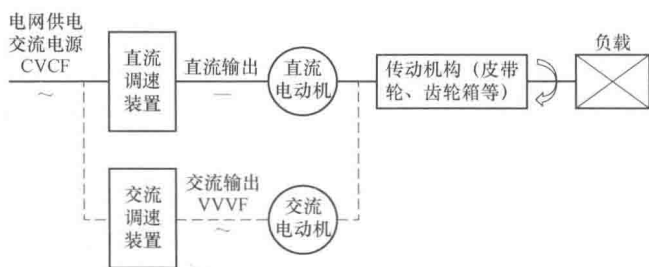


图 1-1 电气传动结构示意图

交流电动机为动力的传动系统称为交流电力拖动系统，简称交流拖动系统。

早期的生产机械如通用机床、风机、泵等对调速或调速要求不高，以电磁式电器组成的简单交、直流电力拖动系统即可满足要求。随着工业技术的发展，人们对电力拖动的静态与动态控制性能有了较高的要求，具有反馈控制的直流电力拖动系统以其优越的性能曾一度占据了系统可变速与可逆电力拖动的绝大部分应用场合。自 20 世纪 20 年代以来，可变速直流电力拖动较多采用直流发电机—电动机系统，并以电机扩大机、磁放大器作为其控制元件。电力电子器件出现后，以电子元件控制、由可控整流器供电的直流电力拖动系统逐渐取代了直流发电机—电动机系统，并发展到现在多采用数字电路控制的电力拖动系统。这种电力拖动系统具有可精密调速和动态响应快等性能。这种以弱电控制强电的技术是现代电力拖动的重要特征和趋势。交流电动机没有机械式整流子，结构简单、使用可靠、有良好的节能效果，在功率传递和转速极限方面都比直流电动机高；但由于交流电力拖动没有直流电力拖动控制简单且性能好，所以 20 世纪 70 年代以前交流电动机在高性能电力拖动中未获得广泛应用。随着电力电子器件的发展，自动控制技术的进步，出现了如晶闸管的串级调速、电力电子开关器件组成的变频调速和伺服控制等交流电力拖动系统，使交流电力拖动系统能在控制性能方面与直流电力拖动系统相抗衡和媲美，并已在较大的应用范围内取代了直流电力拖动。

## 1.2 电气传动系统运动方程

### 1.2.1 电气传动的动力学基础

(1) 基本运动方程式。定义电磁转矩  $T_e$  的正方向与转速的正方向相同，负载转矩  $T_L$  的正方向与转速的正方向相反。则

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega_m}{dt} \quad \left( \omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} \right) \quad (1-1)$$

$J$  为转动惯量，即

$$J = m\rho^2 = \frac{G}{g} \cdot \frac{D^2}{4} = \frac{GD^2}{4g} \quad \left( \rho: \text{转动惯量半径} = \frac{D}{2} \right) \quad (1-2)$$

$$\omega_m = \frac{2\pi n}{60} \quad (1-3)$$

所以有

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega_m}{dt} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1-4)$$

当  $T_e = T_L$  时, 即加速度为零, 电气传动系统处于恒速运行的稳定状态(或静止状态);  $T_e > T_L$  时, 即加速度为正值, 电气传动系统处于加速运行的过渡过程; 当  $T_e < T_L$  时, 即加速度为负值, 电气传动系统处于减速运行的过渡过程。

(2) 转矩、飞轮矩的折算。

1) 转矩的折算。

按照能量守恒定律, 折算后负载功率等于原负载功率减去传动的损耗。

$$T'_L \times \omega_m = \frac{T_L \times \omega_L}{\eta} \quad (\text{旋转}) \quad (1-5)$$

$$T'_L \times \omega_m = \frac{GR \times \omega_L}{\eta} \quad (\text{直线}) \quad (1-6)$$

其中:  $\eta < 1$  为传递效率;  $T_L$  为负载轴上的负载转矩;  $T'_L$  为折算到电机轴上的等效负载转矩。

则折算到电机轴上的转矩是

$$T'_L = T_L / j\eta \quad (\text{旋转}) \quad (1-7)$$

$$T'_L = GR / j\eta \quad (\text{直线}) \quad (1-8)$$

式中:  $j = \omega_m / \omega_L$  为主从动轴的速比。

2) 飞轮矩的折算。

根据动能守恒原则, 折算后等效系统储存的能量应该与实际系统相等。设等效转动惯量为  $J$ , 飞轮矩为  $GD^2$ , 则

$$\frac{1}{2} J \omega_d^2 = \frac{1}{2} J_d \omega_d^2 + \frac{1}{2} J_L \omega_L^2 \Rightarrow J = J_d + \frac{J_L}{j^2} \quad (1-9)$$

$$GD^2 = GD_d^2 + \frac{GD_L^2}{j^2} \quad (1-10)$$

$$\frac{1}{2} J \omega_d^2 = \frac{1}{2} J_d \omega_d^2 + \frac{1}{2} J_L \omega_L^2 + \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow J = J_d + \frac{J_L}{j^2} + \frac{m v^2}{\omega_d^2} \quad (1-11)$$

$$GD^2 = GD_d^2 + \frac{GD_L^2}{j^2} + \frac{365 G v^2}{n_d^2} \quad (1-12)$$

由于

$$J = \frac{GD^2}{4g}, \quad \omega = \frac{2\pi n}{60}, \quad G = mg$$

可得

$$GD^2 = 4gJ = \frac{4gmv^2}{\omega_d^2} = \frac{4Gv^2}{\left(\frac{2\pi n_d}{60}\right)^2} = \frac{365Gv^2}{n_d^2} \quad (1-13)$$

### 1.2.2 电动机的负载转矩特性

生产机械工作机构的负载转矩与转速之间关系  $T_L = f(n)$ , 称为负载转矩特性。

负载的转矩特性可以归纳为风机和泵类负载、恒转矩负载和恒功率负载三种典型类型。

(1) 风机和泵类负载, 通风机、水泵、油泵和螺旋桨等, 其转矩大小与转速平方成正比, 即  $T_L \propto n^2$ 。

风机和泵类负载转矩与转速关系曲线图如图 1-2 所示。

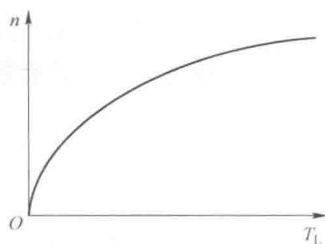


图 1-2 风机和泵类负载转矩与转速关系曲线图

(2) 恒转矩负载。当运行时，无论其速度变化与否，负载阻转矩大小总保持恒定或基本恒定。恒转矩负载及其特性如图 1-3 所示。

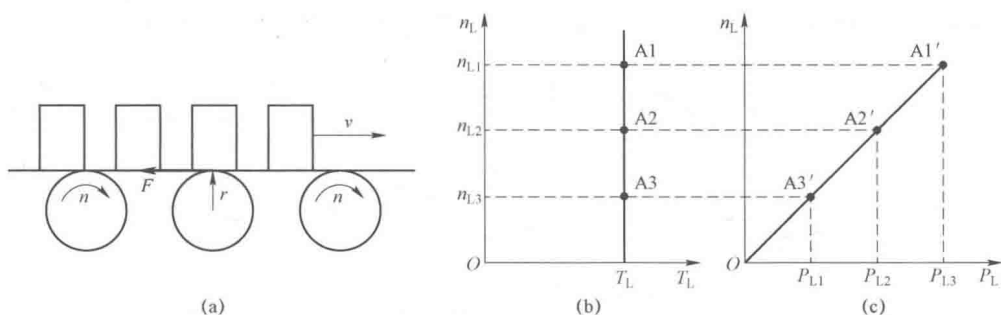


图 1-3 恒转矩负载及其特性

(a) 带式输送机；(b) 机械特性；(c) 功率特性

恒转矩负载基本特点如下：

负载转矩为

$$T_L = F \times r \quad (1-14)$$

负载的转矩基本恒定，即负载转矩的大小与转速无关。

负载功率为

$$P_L = \frac{T_L n}{9550} (\text{kW}) \propto n \quad (1-15)$$

负载功率与速度成正比。

恒转矩负载种类：包括反抗性恒转矩负载和位势能负载。

1) 反抗性恒转矩负载。反抗性恒转矩负载的特点是负载转矩的大小不变，但负载转矩的作用方向始终与生产机械运动的方向相反，总是阻碍电动机的运转，当电动机的旋转方向改变时，负载转矩的方向也随之改变，始终是阻转矩。摩擦性负载就是典型的反抗性恒转矩负载，所以反抗性恒转矩负载也称摩擦转矩负载。属于这一类特性的生产机械有轧钢机和机床的平移机构、皮带运输机等。

2) 位势能恒转矩负载。吊车或升降机等重力负载，负载转矩的方向不随运动方向的改变而改变。例如，吊车所吊起的重物、无论升降速度大小，方向如何，其在地球引力的作用下而产生的重力方向是永远不变的，即为恒转矩负载。

3) 恒功率负载。恒功率负载是指在改变速度时，负载转矩与转速大致成反比，而负载功率不变。即功率高低与转速无关。

恒功率负载及其特性如图 1-4 所示。

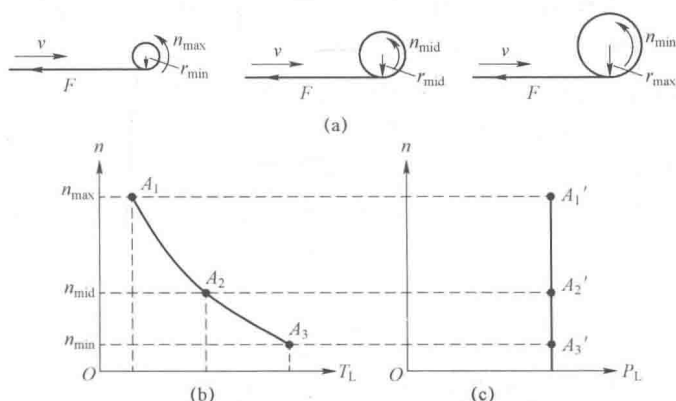


图 1-4 恒功率负载及其特性

(a) 卷径不同; (b) 转矩特性; (c) 功率特性

恒功率负载基本特点如下:

负载功率为

$$P_L = F \times v \quad (1-16)$$

负载功率基本恒定, 即负载功率的高低与转速无关。

负载转矩为

$$T_L = \frac{9550P_L}{n} \propto \frac{1}{n} \quad (1-17)$$

负载转矩与速度成反比。

恒功率负载设备:

轧钢机、造纸机和塑料薄膜生产线中的开卷机、卷曲机等。在卷曲初期由于生产的物料卷的半径较小, 为保持恒定线速度, 物料卷必须以较高速旋转, 而负载转矩却较小; 但随着物料卷半径的逐渐变大, 物料的转速也应随之降低, 而负载转矩却必须相应增大。

各种机床也属于恒功率负载, 当粗加工时通常进给量大, 负载转矩大, 转速低; 精加工时, 进给量小, 负载转矩就小, 转速高, 负载转矩与转速成反比。

### 1.3 电气传动系统技术指标

#### 1.3.1 转速控制的要求和调速指标

任何一台需要控制转速的设备, 其生产工艺对调速性能都有一定的要求。例如, 最高转速与最低转速之间的范围, 是有级调速还是无级调速, 在稳态运行时允许转速波动的大小, 从正转运行变到反转运行的时间间隔, 突加或突减负载时允许的转速波动, 运行停止时要求的定位精度等。归纳起来, 对于调速系统转速控制的要求有以下三个方面:

(1) 调速——在一定的最高转速和最低转速范围内, 分档地(有级)或平滑地(无级)调节转速;

(2) 稳速——以一定的精度在所需转速上稳定运行, 在各种干扰下不允许有过大的转速

波动，以确保产品质量；

(3) 加、减速——频繁起、制动的设备要求加、减速尽量快，以提高生产率；对不宜经受剧烈速度变化的机械则要求起、制动尽量平稳。

为了进行定量分析，可以针对前两项要求定义两个调速指标，称为“调速范围”和“静差率”。这两个指标合称调速系统的稳态性能指标。

(1) 稳态性能指标。

1) 调速范围。生产机械要求电动机提供的最高转速  $n_{\max}$  和最低转速  $n_{\min}$  之比称为调速范围，用字母  $D$  表示，即

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} \quad (1-18)$$

$n_{\max}$  和  $n_{\min}$  是电动机在额定负载时的最高和最低转速。

2) 静差率  $s$ 。当系统在某一转速下运行时，负载由理想空载增加到额定值所对应的转速降落  $\Delta n_N$  与理想空载转速  $n_0$  之比称作静差率  $s$ ，即

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_0} \quad (1-19)$$

或用百分数表示

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_0} \times 100\% \quad (1-20)$$

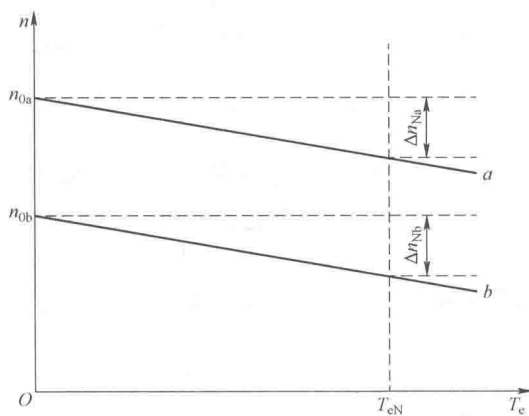


图 1-5 不同转速下的静差率

显然，静差率是用来衡量调速系统在负载变化时转速稳定度的参数。它和机械特性的硬度有关，特性越硬，静差率越小，转速的稳定度就越高。

然而静差率与机械特性硬度是有区别的。一般变压调速系统在不同转速下的机械特性是互相平行的，如图 1-5 中的特性曲线  $a$  和  $b$ ，两者的硬度相同，额定速降  $\Delta n_{Na} = \Delta n_{Nb}$ ，但它们的静差率却不同，因为理想空载转速不一样。根据式 (1-20) 的定义，由于  $n_{0a} > n_{0b}$ ，所以  $s_a < s_b$ 。这就是说，对于同样硬度的特性，理想空载转速越低时，静差率越大，转速的相对稳定度也就越差。在 1000r/min 时降落 10r/min，只占 1%；在 100r/min 时同样降落 10r/min，就占 10%；如果  $n_0$  只有 10r/min，再降落 10r/min，就占 100%，这时电动机已经停止转动了。

由此可见，调速范围和静差率这两项指标并不是彼此孤立的，必须同时提才有意义。在调速过程中，若额定速降相同，则转速越低时，静差率越大。如果低速时的静差率能满足设计要求，则高速时的静差率就更满足要求了。因此，调速系统的静差率指标应以最低速时所能到达的数值为准。

(2) 调速范围、静差率和额定速降之间的关系。电机额定转速  $n_N$  为最高转速，转速降落为  $\Delta n_N$ ，则按照上面分析的结果，该系统的静差率应该是最低速时的静差率，即