

工程船电气设备

张俊洪 编著

海 军 工 程 学 院

一九九二年十月

工程船电气设备

张俊洪 编著

海军工程学院

一九九二年十月

工程船电气设备

张俊洪 编

*

海军工程学院教材处

出版

海军工程学院印刷厂

印刷

*

787×1092毫米·1/16开本·14.63印张·356.8千字·29插页

1992年10月第1版第1次印刷

印数1—150册

院内统一书号 92406.26

定价 19.65元

前 言

工程船舶是海军在编船种之一，应工程船电气设备技术人员培养要求，编写了《工程船电气设备》教材。

本教材是在翻译 4M³ 挖石船设备使用说明书及工程图纸的基础上，针对该船电气设备的特点和海军在编工程船的现状编写而成。

教材包括上、下两册，两册相对独立。上册介绍电力拖动的基础知识；工程船典型电力拖动控制装置的工作原理，使用、维护保养知识。下册拟介绍工程船电站、网络的有关知识，包括电站调压装置、电能系统保护、配电板的使用维护保养等知识内容。

教材的成文得到了刘信和同志的指导。唐白波等同志审阅了译稿和教材初稿，并提出了修改意见。

由于时间紧，加之作者对工程船设备了解不够，书中可能有不妥和错误之处，望读者批评指正。

编 者

1992 年 11 月

目 录

第一章 概 述	(1)
第二章 电动机与电器	(4)
§ 2—1 生产机械的特性与电力拖动运行的稳定条件	(4)
§ 2—2 直流电动机的机械特性	(8)
§ 2—3 直流他励电动机的调速	(11)
§ 2—4 直流他励电动机起动	(13)
§ 2—5 电动机制动	(15)
§ 2—6 交流异步电动机特性	(19)
§ 2—7 异步电动机的起动与调速	(22)
§ 2—8 非自动化电器	(23)
§ 2—9 电磁接触器与继电器	(27)
§ 2—10 电磁电器的调整及维护	(35)
§ 2—11 保护电器	(38)
§ 2—12 控制装置常用图形和电器通用符号	(44)
第三章 电动机的电器控制和保护	(48)
§ 3—1 电器控制装置中的基本控制环节	(48)
§ 3—2 电器控制关系的逻辑特点	(52)
§ 3—3 电器保护	(55)
§ 3—4 电动机起动控制	(60)
§ 3—5 4m ³ 挖石船常规拖动设备起动控制装置	(65)
§ 3—6 61m 桩船和 100 吨起重船电力拖动装置	(78)
第四章 调速系统	(85)
§ 4—1 概述	(85)
§ 4—2 传递函数与结构图化简	(87)
§ 4—3 磁放大器	(91)
§ 4—4 整流电路	(98)
§ 4—5 可控硅阻容移相触发电路	(109)
§ 4—6 可控硅磁触发控制器	(112)
§ 4—7 电压反馈调速系统	(115)
§ 4—8 电流反馈控制	(127)
§ 4—9 其他反馈控制	(135)
第五章 4M ³ 挖石船挖石控制装置	(145)
§ 5—1 概述	(145)
§ 5—2 操作准备 I——电源准备	(150)
§ 5—3 操作准备 II——主电动机与风机油泵起动	(156)

§ 5—4	操作准备Ⅲ——监控台操作准备	(159)
§ 5—5	主起升——前桩操作基本控制电路 I	(164)
§ 5—6	主起升——前桩操作基本控制电路 II	(169)
§ 5—7	主起升操作	(174)
§ 5—8	前桩操作	(177)
§ 5—9	俯仰运动	(182)
§ 5—10	斗门释放	(184)
§ 5—11	平台回旋	(185)
§ 5—12	斗柄推压	(189)
§ 5—13	主起升——前桩发电机单机运行	(192)
§ 5—14	保护装置	(193)
§ 5—15	后桩操作	(198)
§ 5—16	泥驳绞车	(206)
第六章	故障检修	(211)
§ 6—1	准备电路电器检修	(211)
§ 6—2	准备操作故障检修	(212)
§ 6—3	主起升运动	(214)
§ 6—4	前桩运动	(216)
§ 6—5	俯仰运动	(217)
§ 6—6	斗门释放	(217)
§ 6—7	平台旋回与斗柄推压	(218)
§ 6—8	磁触发器与半导体器件检查方法	(219)
附表 I	船舶电气设备常用符号	(221)
附表 II	JIS 电气设备通用符号及中英文文字对照表	(225)

第一篇 电力拖动

第一章 概述

一、电力拖动

我们知道,工作机构运动、作功,需要原动机拖动。通常,称以电动机作原动机的拖动方式,为电力拖动,相应的拖动系统称为电力拖动系统。现代工业中,各类拖动方式较多。电力拖动在工程船舶中有着广泛的应用。如船舶中的锚机、绞车、空压机、泵等拖动系统,又如挖石船中挖石工作机构拖动系统等,大多是以电动机作原动机的拖动系统。

电力拖动,控制核心是拖动电动机。为满足工作机械及电动机的控制需要,要求有相应的控制装置,以对拖动电动机有效地实施拖动控制。

拖动控制装置的组成,视工作环境和电动机——工作机械的控制需求而定。如有些容量较大的空压机电动机、水泵电动机等,仅对起动有特殊要求,相应地构成满足起动要求的控制装置。若对反转、制动等特殊要求,其控制装置构成也有类似特点。这类控制装置,控制要求单一,一般由少量的控制电器构成,具有结构简单、操作方便的特点。

与上述不同的是,有些电动机或负载机械正常工作需要涉及多方面的控制问题。如挖石船中,挖石系统(起升、推压、旋回操作等)涉及主工作电机数十台,考虑通风、制动等情况,工作电机则有数十台之多,对于这类系统除涉及上述拖动控制问题外,还涉及电机间的协调控制问题。这类装置由为数较多的控制电器构成控制装置,一般而论,结构偏于复杂,操作管理相对困难。

控制装置的性能完善与否,直接关系到电动机——工作机构的工作性能好坏,影响操作管理的便利性。拖动控制装置是电力拖动系统的重要组成部分。

电动机拖动工作机构作功,为使电动机与工作机构间较好地匹配和联接,在电动机和工作机构间装有设计要求的传动机构。如变速箱、连轴器等。

总的说,电力拖动系统

一般具有如下基本框图。

其中:电动机——即电力拖动原动机。用于将电能转变为机械能,是拖动控制的核心。

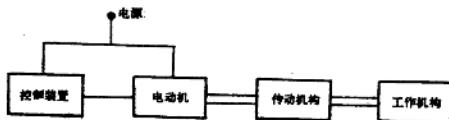


图 1-1-1 电力拖动基本框图

控制装置——用于控

制电动机工作机构运行的装置。是电力拖动装置重要组成部分。

传动机构——电动机和工作机构间的匹配或联接装置。

二、控制装置分类:

为了便于对电力拖动控制装置进行分析比较,通常对控制装置进行简单分类。

控制装置按自动与非自动化分为自动控制装置与手动控制装置。

按所选器件及信号传输方式分为断续有触点、断续无触点、连续控制装置等。

断续有触点控制:在电力拖动系统中,广泛使用着电磁接触器、继电器等有触点电器构成的控制装置。该类控制装置主要特征是控制信号的传递,通过有关触点的开闭动作实现。称之为断续有触点控制装置。此类控制装置在船舶中应用尤为普遍。

断续无触点控制:另一类是半导体等器件为主体构成的控制装置。其主要特征是,控制信号通过半导体器件的导通和截止实现传递和转换。称此类控制装置为断续无触点控制装置。

连续控制装置:在电动机速度控制方面,为适应连续变化的速度信号,对电动机速度进行平滑、无级调整,获得优异的调速性能,需要控制信号连续传递。对应的,称此类控制装置为连续控制装置。常见的有发电机——电动机调速系统,可控硅自动调速系统等。

半导体器件和微电子技术及控制理论的发展,产生了顺序控制器、数字控制器及微机与专用电子计算机控制等控制系统。

三、工程船电力拖动特点与基本数学内容

1. 工程船电力拖动有关特点:

为便于分析、讨论,常将工程船舶拖动设备划分为常规拖动设备、特种机械拖动设备。

常规拖动设备是指各类舰船通用的锚、系缆、空气压缩机、泵等拖动设备。这类设备通常只有起动和简单调速要求。

特种机械设备顾名思义,是指工程船舶特有的机械设备,如挖石船中挖石机、桩机等。该类机械的有关特点简要概述如下:

1) 为大功率拖动机械:如 4m^3 挖石船中,主起升电动机功率为 360kW ,前桩电动机功率为 120kW ,需由单独发电机组供电工作。

2) 有主电路、大电流工况转换:如挖石船主起升运动,电动机涉及提升、下放、制动等工作状态,因此必须进行主电路的工况转换。

3) 涉及多个电机及不同操作的协调控制:如 4m^3 挖石船挖石系统,主起升运动涉及前桩电动机、风机、油泵、制动器等多个电机电器的协调控制;及电机正、反转操作的发电机励磁等协调控制,由有触点电器实施协调控制。

4) 有电动机平滑调速要求:为改善拖动系统工作性能,需要对电动机工作特性进行控制和平滑调节。如挖石船中,主起升运动采用发电机—电动机平滑调速系统。

2. 教学基本内容:

(1) 海军在编工程船无论是常规拖动设备,还是特种机械设备,有触点电器控制都是其基本控制方式。本教材系统讲授了电器结构原理,控制装置的组成、控制原理及维护保养知识。

(2) 工程船电力拖动机械调速常见形式为发电机—电动机调速系统,本教材以 4m^3

挖石船发电机—电动机调速系统为主介绍调速系统的组成、工作原理等知识。

(3) 为便于同学们全面了解工程船特种机械系统组成及操作、维护管理等知识和有关特点，以 4m^3 挖石船挖石系统为例，系统介绍该挖石船挖石系统的基本组成、操作方法、控制原理及维护管理知识。

第二章 电动机与电器

【摘要】 本章针对工程船舶拖动系统的组成特点, 摘要分析电动机的机械特性及各种运转状态; 介绍工程船舶电器控制装置中基本电器的原理结构及使用保养知识。

本章内容是理解拖动装置控制原理, 提高操作管理水平的基础, 希望同学们加强对本章内容的理解。

§ 2—1 生产机械的机械特性与电力拖动运行的稳定条件

一、生产机械的机械特性

作为电动机负载的生产机械的静转矩一般是阻碍运动的, 但是在一定的条件下也能促进运动。

负载静转矩的大小和许多因素有关, 但在研究动力学问题时, 需要了解的是负载静转矩与转速的关系。生产机械的机械特性是指转速 n 与负载静转矩 T_L 的关系, 即 $n=f(T_L)$ 。

生产机械的机械特性可归纳为下列三种类型:

1. 恒转矩负载特性

恒转矩负载特性, 就是指负载静转矩 T_L 与转速 n 无关的特性, 即当转速变化时, 负载静转矩 T_L 保持恒值。

恒转矩负载特性按动力学性质可分为反抗性与位能性两种。多数恒转矩负载特性是反抗性的。

反抗性恒转矩负载特性的特点是恒值转矩 T_L 总是与运动的方向相反, 如图 2—1—1 所示。摩擦类型的转矩就具有这样的性质。

位能性恒转矩负载是由拖动系统中某些具有位能的部件 (如起重类型负载中的重物) 造成, 因而负载静转矩 T_L 具有固定的方向, 不随转速方向改变而改变。如图 2—1—2 所示。

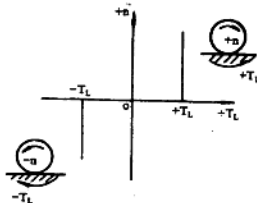


图 2—1—1 反抗性恒转矩负载特性

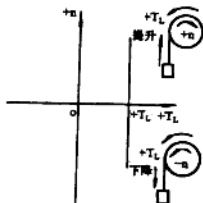


图 2—1—2 位能性恒转矩负载特性

示, 不论重物提升 (n 为正) 或下降 (n 为负), 负载转矩始终不改变方向, 即 T_L 总为正, 特性图在第一与第四象限内。

由图 2—1—2 可见, 提升时, 负载静转矩 T_L 阻碍提升; 下降时, T_L 却帮助下降, 这是位能性负载的特点。

2. 恒功率负载特性:

有一类负载, 其静转矩与转速成反比,

$$\text{即 } T_L = \frac{K}{n}$$

$$P_L = T_L \Omega = T_L \frac{\pi n}{60} = \frac{T_{L1}}{9.55} = \frac{K}{9.55} = K_1$$

$$\text{式中: } K_1 = \frac{K}{9.55} = \text{const.}$$

可见, 负载静转矩 T_L 与转速 n 的特性曲线呈现恒功率的性质, 如图 2—1—3 所示。

3. 通风机负载特性

通风机负载的转矩与转速大小有关, 基本上与转速的平方成正比, 在数值上可以表示为:

$$T_L = K n^2$$

式中: K ——比例常数。

通风机负载特性如图 2—1—4。属于通风机负载的生产机械有: 通风机、水泵、油泵等, 其中空气、水、油等介质对机器叶片的阻力基本上和转速的平方成正比。



图 2—1—3 恒功率负载特性

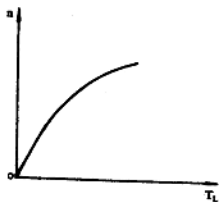


图 2—1—4 通风机负载特性

二、电动机的机械特性

电动机的机械特性是指其转速 n 与电磁转矩 T 的关系, 即 $n = f(T)$ 。它指出了电动机在稳定运转时的性能, 并且决定着电力拖动过渡过程的特征。

评价电动机的性能时, 机械特性具有重要的意义; 而在为生产机械选择电动机类型时, 机械特性又是主要的衡量标准之一。无论在稳定运转或是在过渡过程中, 电动机均需满足生产机械在特性方面对它的要求。

大部分工业上通用的电动机均有这种性能: 其转速随着转矩的增加而降低。按这种变化程度, 电动机的机械特性可分为以下三类:

1. 绝对硬特性

绝对硬特性是转矩变化而转速不变, 如同步电动机的机械特性, 见图 2—1—5 中曲线

1;

2. 硬特性

硬特性是转矩增加而转速下降较小，如直流他励电动机和交流感应电动机的机械特性（指在临界转差率以前的部分），见图 2—1—5 中直线 2 和曲线 3；

3. 软特性

软特性是转速随转矩的增加而下降很大，如直流串励电动机的机械特性，见图 2—1—5 中曲线 4。

对于直流他励电动机，当励磁磁通不变时，有时把转速与电枢电流的关系 $n = \varphi(I)$ 也称为机械特性。

三、电动机——负载机械转矩平衡

图 2—1—6 电动机电磁转矩为 T ，负载转矩为 T_L ，系统等效转动惯量为 J ，正方向如图所示，则有转矩平衡关系如下（量纲为米—公斤—弧度—秒制）

$$T - T_L = J \frac{d\Omega}{dt}$$

式中： Ω ——电动机旋转角速度（弧度/秒）；

$\frac{d\Omega}{dt}$ ——角加速度。

在实用中，由于主要分析对象是电动机的旋转速度 n ，故上式 Ω 常以每分钟转速 n 代替。

由
$$\Omega = \frac{2\pi n}{60}$$

则
$$T - T_L = J_n \frac{dn}{dt} \quad (2-1-2)$$

式中， $J_n = \frac{2\pi}{60} J$ ，为与转速形式对应的惯量常数。

式(2—1—2)表明：

当 $T - T_L > 0$ 则 $\frac{dn}{dt} > 0$ ，电动机加速， $n \uparrow$ ；

$T - T_L < 0$ 则 $\frac{dn}{dt} < 0$ ，电动机减速， $n \downarrow$ ；

$T - T_L = 0$ 则 $\frac{dn}{dt} = 0$ ，电动机稳定， $n = \text{常数}$ 。

式 $T - T_L = 0$ (2—1—2a)

称为系统静态转矩平衡关系；

而式 $T - T_L = J_n \frac{dn}{dt} \quad (J_n \frac{dn}{dt} \neq 0)$ (2—1—2b)

则称为系统动态转矩平衡关系。

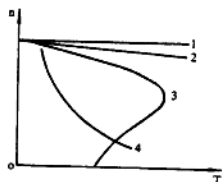


图2—1—5 电动机的机械特性

1—同步电动机 2—直流他励电动机

3—感应电动机 4—直流串励电动机

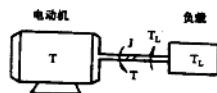


图 2—1—6 电力拖动传动简图

四、电力拖动运行的稳定条件

前面已分析了生产机械的机械特性与电动机的机械特性及电动机—生产机械转矩平衡关系，现在来讨论这两种特性的配合，即稳定运行条件问题。

在生产机械运行时，电动机的机械特性与生产机械的机械特性是同时存在的。为分析电力拖动的运行问题，可把两者画在同一坐标图上。设图 2—1—7 中直线 1 为直流他励电动机的机械特性 $n = f(T)$ ，而直线 2、3 为对应不同负载静转矩的生产机械的机械特性。

如电动机转矩 T 与负载静转矩 T_L 方向相反，大小相等而相互平衡时，电动机的转速为某一稳定值，拖动系统即处于稳态（或称静态）。如图 2—1—7 上两特性的交点 A，转速都是 n_A ，而转矩 $T = T_L = T_{L1}$ ，因之交点 A 表明电力拖动系统的某一稳态运行点。

如负载增大，即负载静转矩由 T_{L1} 增为 T_{L2} ，此时由于惯性，电动机转速来不及变化，电动机转矩 T 还是由 A 点决定，即 $T = T_{L1} < T_{L2}$ ，平衡状态被破坏，拖动系统进入动态减速过程，或称减速过渡过程状态。

在减速过程中，转矩 T 与 T_L 各按其本身的特性变化，由图 2—1—7 可见，随着转速 n 的下降，负载静转矩保持为 T_{L2} 不变，而电动机转矩 T 则不断增加，这一过程一直进行到特性 3 与 1 交于 B 点，即 $T = T_B = T_{L2}$ ，减速过程才结束，系统又转变为稳态，以新的转速 n_B 稳定运行。由此可见，稳态下电动机发出转矩的大小是由负载静转矩的数值所决定的。

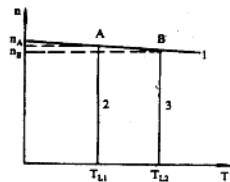


图 2—1—7 他励电动机带恒转矩负载的特性

1— $n = f(T)$ 2— $n = f(T_{L1})$ 3— $n = f(T_{L2})$

由上可知，如电动机的机械特性与生产机械的机械特性具有交点，则电力拖动系统可能稳定运行。必须指出，两个特性有交点仅是稳定运行的必要条件，但还不够充分。充分的条件是：如果电力拖动系统原来在交点处稳定运行，由于出现某种干扰作用（如电网电压波动、负载转矩的微小变化等），使原来的转矩 T 与 T_L 变为不平衡，电动机转速便稍有变化，此时当干扰消除后，拖动系统必须有能力使转速恢复到原来交点处的数值。电力拖动系统如能满足这样的特性配合，则该系统是稳定的，否则是不稳定的。下面举例说明：

图 2—1—8 示出他励电动机拖动一恒转矩负载。图 2—1—8a 中，两特性的交点为

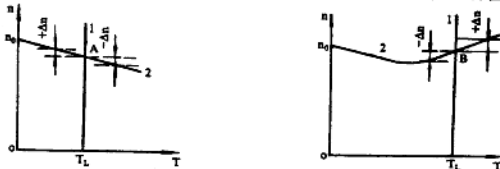


图 2—1—8 两种特性的不同配合
1—恒转矩负载特性 2—他励电动机的机械特性

A. 若系统出现瞬时扰动(如端电压升高)使电枢电流 I 与转矩 T 均瞬时增大, 则电动机转速 n 稍有增加 $(+\Delta n)$, 随之转矩 T 便减小, 当扰动消除后, 因负载静转矩 T_L 大于电动机转矩 T 而迫使转速下降, 消除 $+\Delta n$ 而恢复原值 n_A , 同理如瞬时扰动引起转速稍有降低 $(-\Delta n)$, 当扰动消除后, 转速也会上升而恢复到原值 n_A 。因此, A 点是系统的稳定运行点。

图 2—1—8b 中, 特性 2 是考虑电枢反应影响时电动机的机械特性, 在负载大时呈上翘现象。B 为两个特性的交点, 它处于特性 2 的上翘部分。若这时转速有微小增加, 将使 $T < T_L$, 而使电动机继续加速; 反之, 转速稍有降低, 将导致 $T < T_L$ 电动机将进一步减速。总之, 在 B 点, 不论转速瞬时微小增加或减小, 拖动系统都没有恢复到原转速 n_B 的能力, 所以 B 点是不稳定运行点。

由上分析可见, 对于恒转矩负载, 要得到稳定运行, 电动机需具有向下倾斜的机械特性。推广到一般情况, 如果两特性在交点处的配合能满足下列要求, 系统的运行是稳定的, 否则是不稳定的:

“在交点所对应的转速以上应保证 $T < T_L$, 而在此转速以下则要求 $T > T_L$ ”。显然, 特性这样的配合保证系统有恢复原转速的能力。

§ 2—2 直流电动机的机械特性

一、直流他励电动机的机械特性方程

直流他励电动机原理电路图如图 2—2—1 所示, 电源电压为 U , 电枢绕组电阻 R_D , 电动机拖动负载机械, 运行转速为 n (转/分), R_f 为电枢回路外串电阻, 设正方向如图 2—2—1 所示, 可得电势平衡方程如下:

$$U = E_D + RI_D \quad (2-2-1)$$

式中, $R = R_D + R_f$ ——为电枢回路总电阻;

$E_D = C_e \Phi n$ ——电动机的反电势。

将 $E_D = C_e \Phi n$ 代入电势方程式, 有:

$$U = C_e \Phi n + RI_D$$

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R}{C_e \Phi} I_D \quad (2-2-2)$$

考虑到电动机电磁转矩 T 与电枢电流满足:

$$T = C_m \Phi I_D$$

其中: $C_m = \frac{60}{2\pi} C_e = 9.55 C_e$ 。

故有:
$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R}{C_e C_m \Phi^2} T \quad (2-2-3)$$

式(2—2—3)即为电动机机械特性方程, 它也可以写成:

$$n = n_0 - \Delta n \quad (2-2-4a)$$

式中:

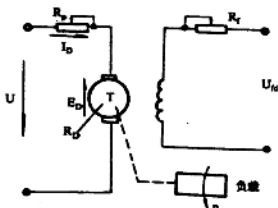


图 2—2—1 电动机原理电路图

$$n_0 = \frac{U}{C_e \Phi} \quad (2-2-4b)$$

n_0 称为电动机的理想空载转速。即电枢电流 $I_D = 0$ 或 $T = 0$ 时, 电机反电势 E_D 等于电源电压 U 时电动机所具有的转速。

$$\Delta n = \frac{RI}{C_e \Phi} = \frac{R}{C_e C_m \Phi^2} T \quad (2-2-4c)$$

Δn 为电动机在某一负载转矩下的转速降。它是由负载电流流过电枢电路时, 在电枢回路电阻上产生压降而引起的。负载越大, 转速降 Δn 越大。

他励电动机的机械特性是自理想空载转速 n_0 起, 向下倾斜的一条直线, 如图 2-2-2 所示。 $R_p = 0$, 即 $R = R_0$ 时所得机械特性是一条向下倾斜度很小的直线, 称此为他励电动机的固有特性 (或称自然特性)。

转速降 Δn 的大小与枢路电阻成正比。当电枢电路中有附加电阻时, 特性的斜度便较固有特性增大, 称此变化为“软化”。若附加电阻相当大, 电动机的运转稳定性就很差, 即负载有微小变动时就会引起较大转速变动。

必须指出, 机械特性中的转矩 T 是电磁转矩, 它与电动机轴上的输出转矩 T_2 是不等的, 其间差一个空载转矩 T_0 。在电动状态下

$$T = T_2 + T_0$$

T_0 的大小可根据电动机的额定数据求得, 一般仅为电动机额定转矩 T_N 的 2~5%, 在一般工程分析中可略去 T_0 , 而认为电磁转矩 T 与轴上输出转矩 T_2 相等

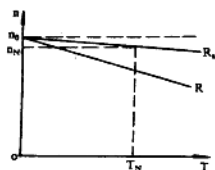


图 2-2-2 他励电动机的机械特性

二、直流他励电动机的人为特性

前已述及, 当他励电动机的端电压与磁通均为额定值 U_N 与 Φ_N , 电枢中无附加电阻时的机械特性称为固有特性。相应的用改变电动机参数的方法所获得的特性则称为人为特性。他励电动机一般可得到下列三种人为特性。

1. 电枢串接电阻时的人为特性

当 $U = U_N$, $\Phi = \Phi_N$ 而电枢串接附加电阻 R_p 时人为机械特性方程为

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_0 + R_p}{C_e C_m \Phi_N^2} T \quad (2-2-5)$$

由于电动机的电压及磁通保持额定值不变, 人为特性具有与固有特性相同的理想空载转速 n_0 , 而其倾斜度则随串接电阻 R_p 之增大而增加, 即人为特性的硬度降低, 如图 2-2-3 中直线 2 与 3 所示。

由图可知, 在一定的负载静转矩 (例如在额定转矩 T_N) 下, 转速降 Δn 随附加电阻 R_p 之增加而增大。变电阻时的人为特性具有不同斜率且均交于纵坐标一点 ($n = n_0$) 形成一直线族。

2. 改变电压时的人为特性

当电枢不串接附加电阻 ($R_p = 0$), 而磁通 $\Phi = \Phi_N$, 仅改变电压时的人为特性方程为

$$n = \frac{U}{C_e \Phi_N} - \frac{R_0}{C_e C_M \Phi_N^2} T \quad (2-2-6)$$

改变电压时, 理想空载转速 n_0 随电压的降低而降低, 特性的斜率则保持不变。他励电动机的电压一般向低于额定电压的方向改变, 因此人为特性为一组平行线, 它们都低于固有特性 1, 且与固有特性相平行, 如图 2-2-4 所示。因电枢中没有附加电阻, 所以特性较串接电阻时要硬。

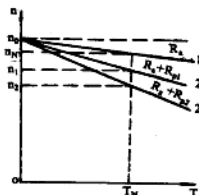


图 2-2-3 他励电动机串电阻时的人为特性

$$R_{p2} > R_{p1}$$

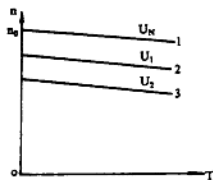


图 2-2-4 他励电动机改变电压时的人为特性

$$U_N > U_1 > U_2$$

3. 改变磁通 Φ 的机械特性:

一般直流他励电动机在额定磁通下运行时, 磁路已接近饱和, 因而改变磁通实际上是减弱磁通。

在励磁回路内串接电阻 R_{fd} , 并改变其值, 即能减弱磁通, 使其在低于额定磁通 Φ_N 下得到调节。

此时 $U = U_N$, 电枢不串接电阻, 减弱磁通时的人为特性方程为

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi} - \frac{R_0}{C_e C_M \Phi^2} T \quad (2-2-8)$$

$n = f(I)$ 的特性方程式为

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi} - \frac{R_0}{C_e \Phi} I \quad (2-2-8)$$

由转速特性方程知, 堵转时 ($n=0, I \neq 0$) 堵转电流 I_K

$$I_K = \frac{U}{R_a}$$

I_K 为一常数; 而堵转转矩 T_K

$$T_K = C_m \Phi I_K$$

T_K 随 Φ 减小而减小。

又由于理想空载转速 $n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi}$ 随 Φ 减小而上升。由上述关系可得 Φ 为不同值

时 $n = f(I)$ 、及 $n = f(T)$ 特性如图 2—2—5、2—2—6 所示。

图 2—2—5 上绘出了不同 Φ 值时 $n = f(I)$ 特性曲线，这些特性都是直线，交横坐标于一点 ($I = I_k$)，磁通 Φ 愈小其特性愈软。

Φ 为不同值时的人为机械特性 $n = f(T)$ 绘于图 2—2—6。图中 T_{kN} 、 T_{k1} 、 T_{k2} 分别为 Φ_N 、 Φ_1 、 Φ_2 时的短路（堵转）转矩，显然 $T_{kN} > T_{k1} > T_{k2}$ ，且这些特性在第一象限内有交点。一般情况下，电动机的额定转矩 T_N 比堵转转矩 T_k 小得多，故减弱磁通时，若电动机的负载不变，将使电动机转速升高。只有当负载特别重或磁通特别小时，如再减弱磁通，则转速反而会下降。

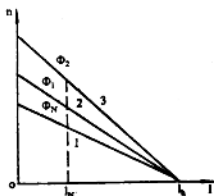


图 2—2—5 减弱磁通时的 $n = f(I)$

$$\Phi_N > \Phi_1 > \Phi_2$$

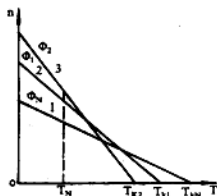


图 2—2—6 减弱磁通时的 $n = f(T)$

$$\Phi_N > \Phi_1 > \Phi_2$$

§ 2—3 直流他励电动机的调速

调速是指用改变电动机或电源的参数强迫电动机的转速发生变化，也可通过改变电动机的接线使其转速发生变化。这里切不要把调速和由于负载的变动而引起电动机转速的波动混淆起来。换言之，调速是指在某一负载（一般指额定负载，即 $I = I_N$ ）下，改变电动机的转速。因此，分析与研究各种调速方法，实质上归结为分析与研究电动机运用这些调速方法而得到的人为机械特性。

由直流他励电动机的机械特性

$$n = \frac{U - I_N R}{C_e \Phi}$$

可知，只要改变电枢回路电阻、电动机的端电压及励磁磁通，就可使转速发生变化。由此，他励电动机有下列三种调速方法：

一、改变电枢回路电阻

在直流他励电动机的电枢回路串接附加电阻，并改变其大小，即可实现调速。调速时的机械特性如图 2—2—3 所示。显然串接的电阻 R_s 愈大，特性愈软，在某一负载下的转速也愈低。

此种调速方法适用于恒转矩负载。因方法简单、方便，适于作短时调速。

能量损耗大是此法的主要缺点，且转速越低，损耗越大。