

上海纺织工学院 胡企贤 编译



电磁离合器

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书系根据日文书刊资料编译。内容包括各种电磁离合器(摩擦式、牙嵌式、粉末式、涡流式等)的结构作用和性能原理、离合器的控制电气回路以及离合器在各种生产设备上的应用实例。其中对摩擦式电磁离合器的特性参数——摩擦力矩、接合时间、连结功和发热温升有较深入的讨论;对电磁离合器的选用计算方法作了比较详细的介绍;并重点介绍了离合器在各种自动调节装置和机床上的应用实例。

本书可供电磁离合器制造厂和机床、纺织、自动化、其它有关专业的工程技术人员以及高等院校机械设计专业的教学人员参考。

电 磁 离 合 器

胡企贤 编译

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 江苏溧水印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 8 75 字数 192,000

1981 年 5 月第 1 版 1981 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—7,000

书号: 15119·2109 定价: (科四) 0.82 元

前 言

电磁离合器是六十年代中发展起来的一种新型传动件。它比常规的机械式离合器结构紧凑、控制方便,因此在各种自动机器中获得日益广泛的应用。电磁离合器既是传动件,又是一种重要的控制元件。国外早已作为商品由专门工厂成批生产,目前我国也已由专业工厂生产。因此对机械设计技术人员来说,重要的是掌握选用电磁离合器的知识;对离合器设计专业人员来说,更要深入掌握结构分析、设计计算的原理。由于有关电磁离合器的专著尚不多见,在实践中也经常遇到不能正确设计和合理使用的问题,因此本人从1973年起与有关工厂协作,进行了这方面的国外资料收集工作,并于1976年完成本书的初稿,现经修改定稿后出版,供读者参考。

本书主要是根据日本三富孜所著《电磁离合器、制动器》(1967年版)一书及日本《机械设计》杂志中有关电磁离合器的论文资料以编译形式写成。书中介绍各种电磁离合器(摩擦式、牙嵌式、磁粉式、涡流式)的结构作用和性能原理、有关离合器控制的电气回路,以及离合器在各种生产设备上的应用实例。重点介绍了离合器在机床上的应用。内容取材于国外书刊,未引用国产离合器资料。

本书可供有关技术人员及高等学校机械设计专业师生参考。

本书编译过程中,曾请上海电器技术研究所陈建华同志、上海第三机床厂叶祥发同志、上海工业大学华申吉同志对全

稿进行审阅，并请上海电缆研究所张海洪同志对第四章内容进行审阅。华东纺织工学院蔡康洪、万成林等同志亦曾协同整理、定稿。对有关同志的帮助，谨表示衷心感谢。

由于水平有限，书中难免有错误，尚请读者提出宝贵意见。

编 译 者
于华东纺织工学院
一九八〇年五月

目 录

第一章 摩擦式电磁离合器	1
一、概述	1
二、基本原理	2
三、摩擦式电磁离合器的型式与结构	16
四、摩擦式电磁离合器的特性	33
五、摩擦式电磁离合器的选定方法	55
六、润滑方法	65
七、安装方法和使用注意点	68
八、电磁离合器的电气控制线路	69
九、摩擦式电磁离合器的用途和应用例	83
十、摩擦式电磁离合器的保养和故障处理	94
十一、摩擦式电磁离合器的试验测定	95
第二章 牙嵌式电磁离合器	99
一、概述	99
二、动作特性	102
三、连结状态	104
四、电气控制线路	106
第三章 电磁离合器在机床上的应用	107
一、概述	107
二、电磁离合器的选定	108
三、应用上的几点注意事项	115
四、车床上的应用实例	125
五、转塔式六角车床上的应用实例	130
六、自动车床上的应用实例	134
七、在进给传动机构中的应用	137

八、实例讨论	144
第四章 粉末离合器、制动器	167
一、概述	167
二、动作原理与构造	169
三、粉末离合器的特性	183
四、试验方法	195
五、选定方法	197
六、保养和故障处理	205
七、电气控制线路	208
八、应用实例	224
第五章 涡流联接器、制动器	241
一、基本原理与特性	241
二、结构型式	246
三、选定的注意点	249
四、控制线路及应用实例	251
第六章 其它类型的电磁离合器	261
一、磁滞式离合器、制动器	261
二、静电式离合器	264
三、各种电磁离合器的比较	267

第一章 摩擦式电磁离合器

一、概 述

摩擦式电磁离合器是利用一对或若干对摩擦面间的摩擦力来传递力矩的一种传动装置。摩擦面的加压和释压方法有两种:即利用电磁力加压,用弹簧释压;或是用弹簧加压,电磁力释压。摩擦式电磁离合器比其它电磁离合器构造简单,价格便宜,是目前最常用的一种型式。

摩擦式电磁离合器的制造历史已很久,约在 1920 年就有生产。最初制造的是干式单片型电磁离合器,以后逐渐发展了干式多片型、湿式多片型结构。据 1940 年前最早发表的资料,它先是用在自动雕刻机上,以后广泛用于机床上。电磁离合器的发展和机床制造的发展有密切联系。由于它具有反应迅速、调节容易和操作简便等优点,能适应自动化和遥控技术的需要,从而能大大提高生产效率,故目前已在各类生产机器上得到广泛使用。国内外已有许多专业工厂或兼营工厂专门



干式多片型电磁离合器 湿式多片型电磁离合器 湿式多片型电磁制动器

图 1-1 各种摩擦式电磁离合器外形图(一)



干式单片型电磁制动器 小型电磁离合器

图 1-2 各种摩擦式电磁
离合器外形图(二)

制造。

目前摩擦式电磁离合器的规格很多，其静摩擦力矩可由 $1 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 到 $500 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ 。其中大量需要的干式单片型离合器的静摩擦力矩一般为 $1 \sim 20 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ ；湿式多片型的动摩擦力矩是

$1 \sim 80 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ 。图 1-1 和图 1-2 是各种摩擦式电磁离合器的外形照片图。

二、基本原理

1. 动作原理

电磁离合器和电磁制动器的动作原理：前者是向转动件传递能量；后者是吸收能量。从能量传递观点来看，两者的动作原理是类似的。即离合器是承受正力矩，而制动器承受负力矩；离合器产生加速运动，而制动器产生减速运动。以后将主要讨论电磁离合器，而制动器则可认为是和离合器基本一样的(参见图 1-3)。

这里以湿式多片型电磁离合器(线圈回转式)为例来说明其动作原理(图 1-4)。电磁离合器主要由电磁铁部分和摩擦

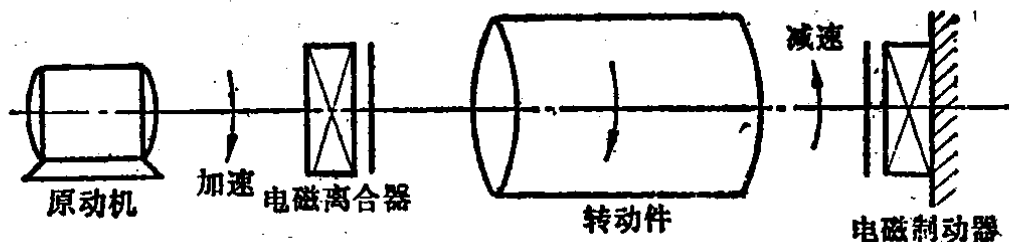


图 1-3 转动件的加速和减速作用

片部分所构成。电磁铁部分包括安装在轴上的磁轭铁芯(磁轭中装有励磁线圈)以及能在轴上作轴向滑动的衔铁。衔铁本身和轴一起转动。摩擦片部分是由与轴一起啮合转动的内摩擦片和与外侧被动轮一起啮合转动的外摩擦片交叉重迭嵌合而构成。

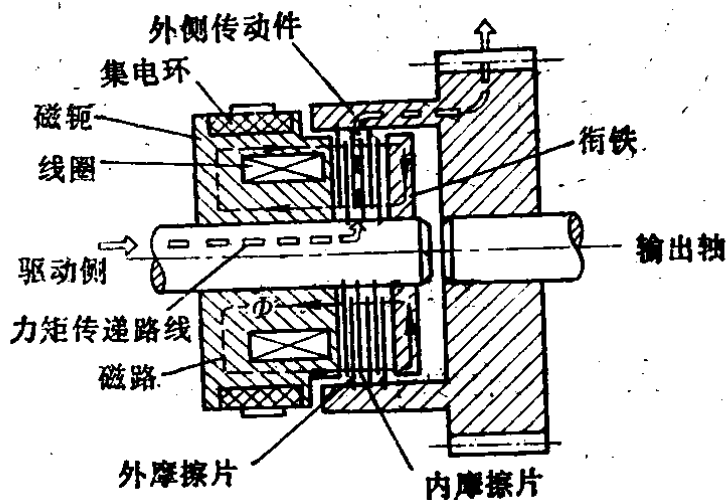


图 1-4 离合器动作原理图

线圈通电后就产生磁力线(图中以虚线表示)，形成一个磁路，由此产生电磁力，吸动衔铁而将内、外摩擦片压紧。靠摩擦片间的摩擦力使离合器连结成一体回转。当切断电流时，则磁力线消失，衔铁释放，摩擦力消失，这样就使被动侧处于自由状态。在切断电流后，靠反作用力(一般是弹簧力或摩擦片自身的弹性恢复力)使摩擦片松开。图中电流是通过集电环和电刷供给的。

2. 摩擦力矩

摩擦式电磁离合器上的力矩可用下式表示(参见图 1-5):

$$T = \mu P r_m n = \mu p S r_m n \quad (1-1)。$$

式中: T ——摩擦力矩(kgf·m);

μ ——摩擦系数;

P ——轴向总压力(kgf);

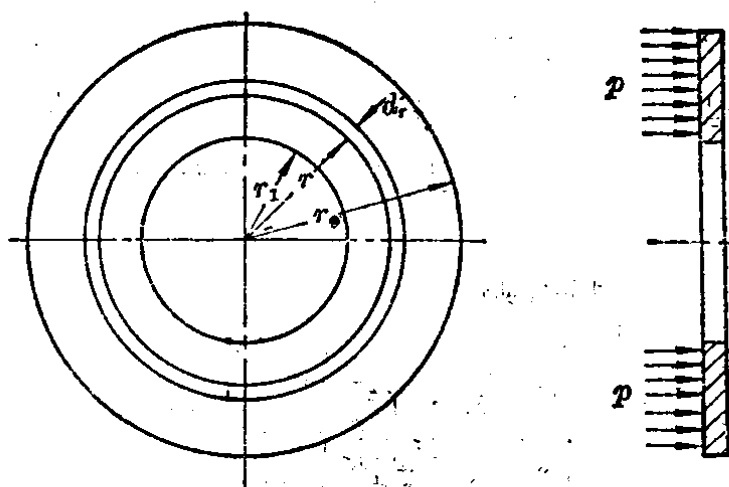


图 1-5 摩擦片

r_m ——摩擦面的有效平均半径(m);

n ——摩擦面数目;

p ——单位面积压力(kgf/m²);

S ——单个摩擦面的面积(m²)。

由上式可知, 摩擦力矩是随摩擦系数、轴向总压力、有效平均半径、摩擦面数目而变化的。在计算静摩擦力矩时, μ 取静摩擦系数; 在计算动摩擦力矩时, 则取动摩擦系数。各种摩擦材料的静、动摩擦系数值可见表 1-1。

有效平均半径要根据压力分布情况来决定。有两种情况:

(1) 假定压力分布是均匀的

假定在全部接触面上的压力分布是均匀的, 则每一微小面积上的力矩 dT 可用下式来表示:

$$dT = \mu p r dS \quad (1-2)。$$

式中: dS ——微小面积;

r ——微小面积 dS 的平均半径。

因为 $dS = 2\pi r dr$, 故全部摩擦接触面上的力矩为

表 1-1 各种摩擦材料的静、动摩擦系数

	静 摩 擦 系 数		动 摩 擦 系 数	
	干 式	湿 式	干 式	湿 式
钢-钢	0.15	0.1~0.12	0.15	0.05~0.1
钢-软钢	—	—	0.2	0.1~0.2
钢-铸铁	0.3	—	0.18	0.05~0.15
钢-青铜	0.15	0.1~0.15	0.15	0.1~0.15
软钢-铸铁	0.2	—	0.18	0.05~0.15
软钢-青铜	0.2	—	0.18	0.07~0.15
铸铁-铸铁	—	0.15	0.15	0.07~0.12
铸铁-青铜	—	—	0.15~0.2	0.07~0.15
青铜-青铜	—	0.1	0.2	0.07~0.1
铜基烧结合金-钢	0.3~0.4	0.1	0.2~0.3	0.05~0.1
石棉-钢	0.3~0.45	—	0.2~0.35	—

$$T=2\pi\mu p\int_{r_i}^{r_o}r^2dr=\frac{2}{3}\pi\mu p(r_o^3-r_i^3) \tag{1-3}。$$

如果象图 1-3 那样只有一个摩擦面($n=1$)时, 则(1-1)式可写成

$$T=\pi\mu p(r_o^2-r_i^2)r_m \tag{1-4}。$$

由(1-3)、(1-4)式得出

$$r_m=\frac{2(r_o^3-r_i^3)}{3(r_o^2-r_i^2)} \tag{1-5}。$$

(2) 假定磨损量是均匀分布的

摩擦片在以某一相对速度滑移时, 由滑移摩擦而引起的磨损量可以认为是和摩擦功成正比的。摩擦功是压力 p 和滑移速度 v 的乘积, 因此

$$\text{磨损量} \propto pv。$$

又因 $v=r\omega$ (ω 为角速度(rad/s)), 故

$$\text{磨损量} \propto pr。$$

现在假定摩擦片的全部接触面上磨损量是均匀分布的, 则各微小面积上的磨损量也是相等的。因此在外周附近, 圆周速度快, 从而压力较小; 而内周附近, 圆周速度慢, 从而压力较大。在圆周速度最小处, 即 $r=r_i$ 处, 将产生最大压力 $p_{\max}$, 故可写出

$$pr = p_{\max} r_i,$$

$$p = p_{\max} \frac{r_i}{r}。$$

故每一微小面积上的压力 dP 可用下式表示:

$$dP = p dS = p_{\max} \frac{r_i}{r} (2\pi r dr) = 2\pi p_{\max} r_i dr \quad (1-6),$$

$$\therefore P = 2\pi p_{\max} r_i \int_{r_i}^{r_0} dr = 2\pi p_{\max} r_i (r_0 - r_i) \quad (1-7)。$$

而每一微小面积上的力矩 dT 为

$$dT = \mu r dP = 2\pi \mu p_{\max} r_i r dr \quad (1-8),$$

$$\therefore T = 2\pi \mu p_{\max} r_i \int_{r_i}^{r_0} r dr = \pi \mu p_{\max} r_i (r_0^2 - r_i^2) \quad (1-9)。$$

由(1-1)、(1-7)、(1-9)式可求得

$$r_m = \frac{r_i + r_0}{2} \quad (1-10),$$

亦即有效平均半径 r_m 是摩擦面的算术平均半径。

在摩擦式离合器上, 若考虑其静摩擦力矩, 则要根据(1)类情况假定; 若考虑其动摩擦力矩, 则要根据(2)类情况假定。故两种情况所用的有效平均半径是不同的, 分别以(1-5)、(1-10)式表示。比较这两个公式可以看出, 用(1-5)式算出的值较大。而两者之比是和内径与外径的比值 $\frac{r_i}{r_0}$ 有关。一般离合器上摩擦片的 $\frac{r_i}{r_0}$ 约为 0.5~0.7, 在此范围内, 两式计

算结果差别仅只有百分之几，故一般情况下可用(1-10)式来计算。

3. 直流电磁铁的磁路

在励磁作用下，(1-1)式中的轴向总压力 P 就等于直流电磁铁的吸力。现在来讨论磁路中的吸力计算。

图 1-6 是常规的直流电磁铁磁路原理图。如磁路中的磁通量及磁场强度、励磁安匝数都是均匀的，并且为简单起见，认为磁路中各处断面积 $S(\text{m}^2)$

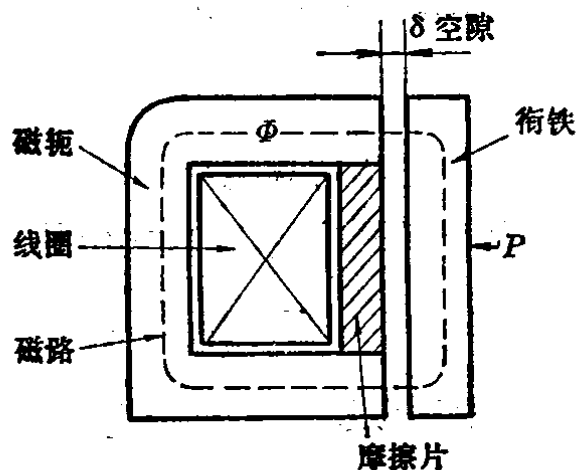


图 1-6 磁路原理图

也是相同的，则在磁路中产生磁通量 $\Phi(\text{wb})$ 的磁势为

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 = \Phi \frac{l_o}{\mu_o S} + \Phi \frac{2\delta}{\mu_o S} \\ &= \frac{B}{\mu_o} l_o + \frac{B}{\mu_o} 2\delta = H_o l_o + H_o 2\delta \quad (1-11)。 \end{aligned}$$

式中： U ——磁势 (AT)；

H_o ——铁芯磁场强度 (AT/m)；

H_o ——空隙磁场强度 (AT/m)；

l_o ——铁芯磁路长度；

δ ——空隙长度 (m)；

Φ ——磁通量 (wb)；

B ——磁通密度 (wb/m²)；

μ_o ——铁芯的导磁率；

μ_o ——空隙的导磁率。

亦即在计算磁路总磁势时,应先求得磁通密度 B , 然后计算各段磁路的磁势。其中空隙部分由 B 及 $\mu_0 (=4\pi \times 10^{-7})$ 求出 H_0 , 铁芯部分由磁化曲线求出 H_c , 各乘以磁路长度以求得相应的磁势, 再相加得总磁势 U 值。

这里空隙部分和铁芯部分的磁场强度比值为

$$\frac{H_0}{H_c} = \frac{\mu_c}{\mu_0} = \mu_r \quad (1-12),$$

μ_r 为铁的相对导磁率。若铁芯部分处于磁饱和状态, 则 μ_r 等于 $10^3 \sim 10^4$, 故 (1-11) 式中的第 1 项可以略去不计, 因此:

$$U \approx U_2 = H_0 2\delta = \Phi \cdot \frac{2\delta}{\mu_0 S} = \frac{2\delta B}{\mu_0} \quad (1-13)。$$

电磁吸引力 P 可根据磁路蓄积的磁能对于空隙长度取微分来算出。对磁轭一端空隙而言, 其磁势 $U' = \frac{U}{2}$, 而磁阻为 $\frac{\delta}{\mu_0 S}$, 故在一端空隙中蓄积的磁能 $W = U'^2 / \frac{\delta}{\mu_0 S}$ 。若衔铁移动了 $d\delta$, 则磁轭一端对衔铁的吸引力 P' 为:

$$P' = \frac{dW}{d\delta} = \frac{1}{2} U'^2 \cdot \frac{\mu_0 S}{\delta^2} \quad (1-14),$$

而衔铁受到的总吸引力 $P = 2P'$, 且 $U' = \frac{U}{2}$, 故由 (1-13) 式得出:

$$P' = \frac{1}{2} \left(\frac{2\delta B}{2\mu_0} \right)^2 \cdot \frac{\mu_0 S}{\delta^2} = \frac{1}{2} \frac{B^2 S}{\mu_0} \quad (1-15),$$

$$P = 2P' = 2 \frac{dW}{d\delta} = \frac{B^2 S}{\mu_0}。$$

式中: $B = \Phi / S$ (wb/m²) 即为空隙中的磁通密度;

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (wb/AT·m) 是空气的导磁率。

因此

$$P = \frac{B^2 S}{4\pi \times 10^{-7}} = 7.95 \times B^2 \times S \times 10^4 \quad (\text{N}) \quad (1-16)。$$

在图 1-6 所示的结构中, 磁极和摩擦材料处于同一平面内, 假定该作用平面上的压力分布是均匀的, 则离合器传递的力矩等于两部分摩擦力矩之和:

$$T = \mu P \cdot r = \mu_1 r_1 \frac{S_1}{S_1 + S_2} P + \mu_2 r_2 \frac{S_2}{S_1 + S_2} P \quad (1-17)。$$

由此可得当量摩擦系数为

$$\mu = \frac{\mu_1 r_1 S_1 + \mu_2 r_2 S_2}{r (S_1 + S_2)} \quad (1-18)。$$

在一般结构中, 可取摩擦半径 $r = r_1 = r_2$, 则当量摩擦系数为

$$\mu = \frac{\mu_1 S_1 + \mu_2 S_2}{S_1 + S_2} \quad (1-19)。$$

式中: μ_1 ——磁极面的摩擦系数;

μ_2 ——摩擦材料的摩擦系数;

S_1 ——磁极的面积 (m^2);

S_2 ——摩擦材料的面积 (m^2);

r_1 ——磁极的平均半径 (m);

r_2 ——摩擦材料的平均半径 (m)。

4. 直流电磁铁的过渡作用现象

一般直流电磁铁在加上电压后到衔铁被吸引总有一段过渡时间; 从切断电压到衔铁被释放也要有一段过渡时间。这就是所谓直流磁路的过渡作用现象。

直流电磁铁是一种有自感的电气回路。当电流发生急剧变化时, 将由自感的作用在电路内发生一种与自感量成比例变化的感应反电势。因此, 电流就不能立即发生变化。

在图 1-7 所示的回路中, 若自感量为 $L(\text{H})$, 电阻为 $R(\Omega)$, 则当开关 S 接通的瞬间, 将受到起始电势 $E(\text{V})$; 而回路中的电流 $i(\text{A})$ 最初是零, 以后按下式逐渐增加:

$$i = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) = I (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (1-20)。$$

式中: $I = \frac{E}{R}$, $\tau = \frac{L}{R}$ (时间常数),

或写成

$$\frac{i}{I} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1-21)。$$

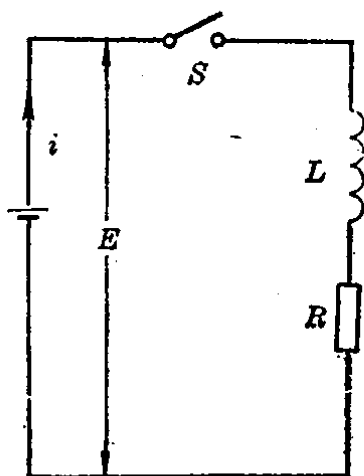


图 1-7 有自感的回路

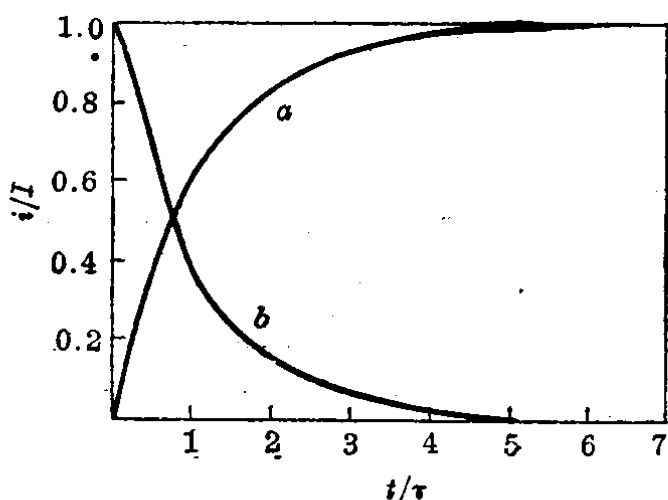


图 1-8 电流增衰状况

这可用图 1-8 中曲线 (a) 来表示, I 是电路达到稳定时的电流值。

若将开关 S 断开, 则瞬间电压立即消失, 但电流却不立刻为零, 而是按下式逐渐减小:

$$i = I e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1-22),$$

或写成

$$\frac{i}{I} = e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1-23),$$

此式可用图 1-8 中曲线 (b) 来表示。

综上所述，由于回路中有自感存在，在加上阶跃性电压时，其电流却是逐渐变化的。这种现象称为过渡作用。在式(1-21)和(1-23)中，若 $t = \tau$ ，则

$$\frac{i}{I} = 0.632, \quad \text{及} \quad \frac{i}{I} = 0.368。$$

这意味着在回路中加上电压经过 τ 秒以后，电流将达到稳定值的 0.632 倍；而在回路中切断电压经过 τ 秒以后，电流将减少到最初值的 0.368 倍。由此可见， τ 的数值是反映过渡作用现象的一个指标。 τ 值小，则回路的动作迅速； τ 值大，则回路的动作迟缓。这个 τ 值称为时间常数。若 R 以欧姆 (Ω) 为单位， L 以亨 (H) 为单位，则 τ 的单位是秒。

5. 离合器连结时的力学分析

图 1-9 是用离合器来连结负载时的机构简图，可以用来分析其过渡状态。图 1-10 是和离合器运转特性有关的运动系统力学参数。图 1-11 是离合器在连结时的特性曲线。

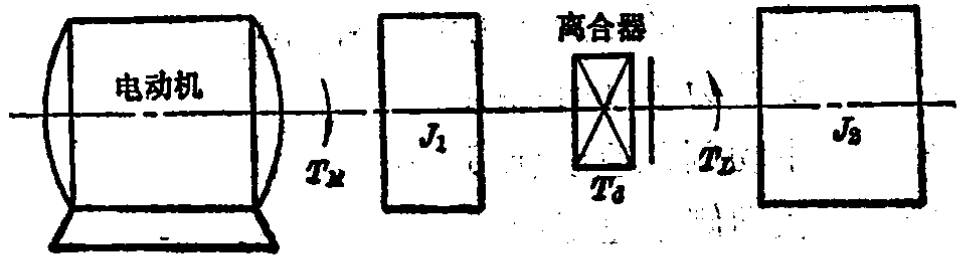


图 1-9 用离合器连结负载的机构简图

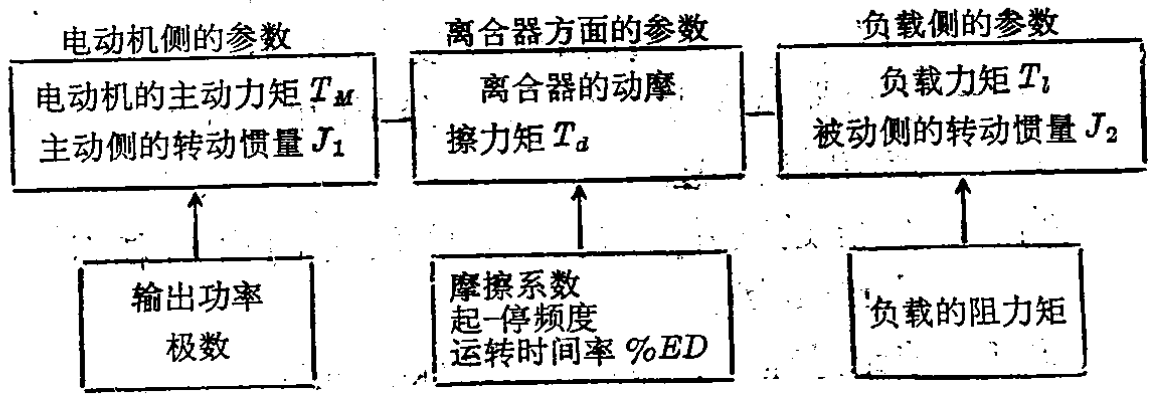


图 1-10 离合器运转系统的力学参数分类