

第 3 章

电力拖动系统及其动力学原理

拖动是指由原动机带动生产机械运转,以完成一定的生产任务。而以各种电动机为原动机的拖动方式称为电力拖动。

电力拖动是当前各种拖动方式中最主要的拖动方式。一方面是因为电能的生产、输送和分配比较方便,电动机的类型和规格很多,性能各异,可以充分地满足各类生产机械的要求;另一方面,电机控制方便,便于实现自动化。近几十年来,随着计算机技术、电力电子技术和自动控制理论的发展,各种复杂的、先进的电力拖动自动控制系统得到了迅速发展,大大提高了生产机械的生产性能和自动化水平,这都是其他拖动方式难以达到的。电力拖动与计算机技术、电力电子技术和自动控制理论的结合已形成一门新的综合性的高新技术。

凡是由电动机作为动力拖动各类生产机械,将电能转变为机械能且完成一定的生产工艺要求的装置或系统,都称为电力拖动系统。

电力拖动系统一般由电动机、传动机构、生产机械、电源和控制设备五部分组成,如图 3-1 所示。电动机将电能转换成机械动力,用以拖动生产机械的某一工作机构。工作机构是生产机械为执行某一任务的机械部分。控制设备由各种电气元件装置组成,用以控制电动机的运转,从而对工作机构的运动实现自动控制。电动机与工作机构之间的传动机构,是将电动机的旋转运动经过中间变速或变换运动方式后,再传给生产机械的工作机构。电源用来向控制设备和电动机提供电能。

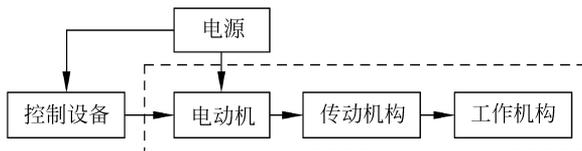


图 3-1 电力拖动系统的组成

虽然电力拖动系统中的电动机可以有不同种类和特性,生产机械的负载性质也可以各种各样,但从动力学角度来分析时,它们都服从动力学的统一规律。

3.1 电力拖动系统运动方程

电力拖动系统的内部关系主要表现为电动机与生产机械,也就是电动机与它的机械负载之间的关系。电力拖动系统的运动规律可以用动力学中的运动方程来描述。

首先用简单的单轴电力拖动系统进行分析。所谓单轴电力拖动系统,就是电动机转轴直接拖动生产机械运转的系统,如图 3-2 所示。



图 3-2 单轴电力拖动系统

电动机在单轴电力拖动系统中旋转运动,作用在电动机轴上的转矩有电动机的电磁转矩 T 和负载转矩 T_L 。一般来说,电磁转矩是驱动性质的,负载转矩是反抗性质的。根据牛顿第二定律可知,它们必须遵循以下运动方程式:

$$T - T_L = J \frac{d\Omega}{dt} \quad (3-1)$$

式中, J 为转动惯量,单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$; Ω 为电动机轴的角速度,单位为 rad/s ; $\frac{d\Omega}{dt}$ 为电动机轴的角加速度,单位为 rad/s^2 ; $J \frac{d\Omega}{dt}$ 为电动机轴系统的惯性转矩或加速转矩。

工程上,常用转动惯量 J 或飞轮矩 $GD^2 (\text{N} \cdot \text{m}^2)$ 来表示系统的惯性,系统的速度用转速 $n (\text{r/min})$ 表示。 GD^2 与 J 之间的关系为

$$J = m\rho^2 = \frac{GD^2}{4g}$$

式中, m 与 G 分别为旋转部分的质量(kg)和重量(N); ρ 与 D 分别为旋转部分的惯性半径与直径(m); $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 为重力加速度。

角速度 Ω 与转速 n 的关系为

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60}$$

将上面两式代入式(3-1)中,化简后即得实用的电力拖动系统的运动方程式

$$T - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (3-2)$$

式中,375 是一个具有加速度量纲的系数,其单位为 $\text{m}/(\text{min} \cdot \text{s})$; 转矩单位仍为 $\text{N} \cdot \text{m}$; 转速单位仍为 r/min 。 $T - T_L$ 称为动态转矩,动态转矩 $T - T_L$ 的大小决定了电力拖动系统的运行状态。这一点很重要,它提供了判断系统运行状态的依据,是分析系统运行的根据。

(1) 动态转矩 $T - T_L = 0$ 时,系统处于静止或恒转速运行的运动状态。

(2) 动态转矩 $T - T_L > 0$ 时,系统处于加速运动的过程中。

(3) 动态转矩 $T - T_L < 0$ 时,系统处于减速运动的过程中。

第一种运行状态中,系统无速率的变化,称为稳定运行状态,简称为稳态;后两种状态中,系统处于速度变化过程中,称为过渡过程,简称为动态。

必须注意, T 与 T_L 本身都是有方向的变量,其正方向的规定按电动机惯例:即以电动机转轴转速 n 的方向为参考方向,电磁转矩 T 的正方向与 n 相同,负载转矩 T_L 的正方向与 n 相反。在运用系统的运动方程式时,如果 T 或 T_L 的实际方向与规定的正方向相同,就用正数,否则就用负数。

3.2 负载转矩和飞轮矩的折算

实际的电力拖动系统,大多数并非如图 3-1 所示的单轴系统那样,电动机的转轴直接与工作机构相连,而是通过传动机构或变速装置再与工作机构相连,为多轴电力拖动系统。

图 3-3(a)所示为一个三轴电力拖动系统,工作机构的转速 n_L 与电动机转速 n 不同。由图中可看出这个系统的传动是通过二级齿轮减速机械来实现的。它有三根转速不同的转轴,三根轴上的转矩和飞轮矩都不尽相同。

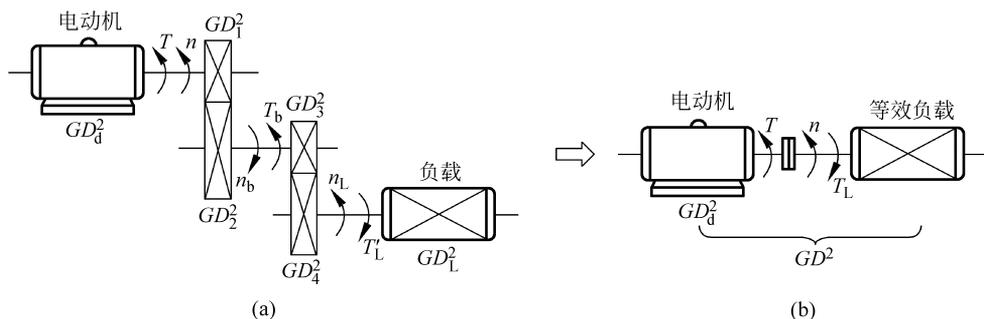


图 3-3 多轴电力拖动系统

分析这种系统,如果用单轴系统运动方程式研究其运行状态,则需对每根轴分别写出运动方程,再列出各轴间相互关系的方程,消去中间变量,联立求解。这种方法,对于三轴以上的系统,求解起来是非常烦琐的。

实际上,就电力拖动系统而言,一般不需要研究每根轴上的问题,而主要是把电动机作为研究对象。为此我们引入“折算”的概念,把传动机构和工作机械统一等效为电动机轴上的一个负载,将一个实际的多轴系统采用折算的办法等效为如图 3-2 所示的单轴系统,然后根据运动方程列出一个方程便可求解系统的运行状态。显然,这种方法比联立方程求解要简单得多。

折算的原则是:折算前后系统传递的功率及系统所储存的动能不变。这样,在分析计算该系统时,要从已知的实际负载转矩 T'_L 求出折算到电动机轴上的等效负载转矩 T_L ,这称为负载转矩的折算;从已知的各转轴上的飞轮矩 GD_L^2 、 GD_4^2 、 GD_3^2 、 GD_2^2 、 GD_1^2 ,求出反映到电动机轴上的系统总飞轮矩 GD^2 ,这称为飞轮矩的折算。

转矩和飞轮矩的折算随工作机构运动形式不同而不同。

3.2.1 负载转矩的折算

1. 旋转运动

图 3-3(a)所示为一个经齿轮二级传动的多轴电力拖动系统(更多系统的折算可类推),工作机构为旋转运动形式。

根据折算原则,在第一级转速变换中,所传递的功率应维持不变,即有

$$T_L \Omega \eta_1 = T_b \Omega_b$$

式中, η_1 为第一级的传递效率; Ω 、 Ω_b 分别为 n 、 n_b 所对应的机械角速度; T_L 、 T_b 分别为经第一级传动前后的负载转矩。

用 n 、 n_b 分别代替 Ω 、 Ω_b , 则有

$$T_L \frac{2\pi n}{60} \eta_1 = T_b \frac{2\pi n_b}{60}$$

整理得

$$T_L = \frac{n_b}{n} \frac{T_b}{\eta_1}$$

令 $j_1 = \frac{n}{n_b}$ 为第一级转速比, 则有

$$T_L = \frac{T_b}{j_1 \eta_1} \quad (3-3)$$

上式说明, 经一级转速变化后, 下一级的负载转矩除以该级的传递效率与转速比的乘积, 即为折算到上一级的负载转矩值。

同理, 经第二级转速变换后, 有

$$T_b = \frac{T'_L}{j_2 \eta_2} \quad (3-4)$$

式中, j_2 、 η_2 分别为第二级变换的转速比与传递效率; T'_L 为在负载轴端的实际负载转矩。将式(3-4)代入式(3-3)中, 可得

$$T_L = \frac{T'_L}{j_1 j_2 \eta_1 \eta_2} = \frac{T'_L}{j \eta} \quad (3-5)$$

式中, $j = j_1 j_2$, 若为 n 级传动, 则 $j = j_1 j_2 \cdots j_n$; $\eta = \eta_1 \eta_2$, 若为 n 级传动, 则 $\eta = \eta_1 \eta_2 \cdots \eta_n$ 。

式(3-5)便是负载旋转运动时, 将实际负载转矩 T'_L 折算到电动机轴上负载转矩 T_L 的折算公式。

2. 平移运动

根据有些生产机械的需要, 要求经传动机构变换到负载端转换成平移运动, 如图 3-4 所示。这样, 在进行转矩折算时, 可以不考虑传动机械内部的各级转换关系, 而直接考虑电动机轴伸端与实际平动负载之间的关系。

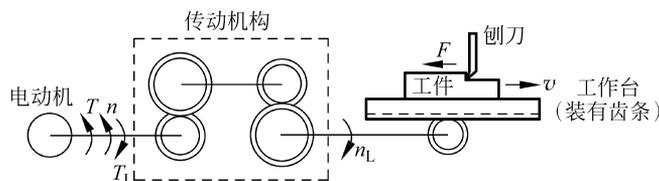


图 3-4 平移运动的电力拖动系统

根据折算原则, 电动机轴伸端输出的旋转运动功率, 乘以系统的传递效率后应等于实际负载端平移运动时所得的功率, 即

$$T\Omega\eta = Fv$$

式中, η 为系统整个传递过程中的总效率; F 为工作机构作平移运动时所克服的阻力, 单位为 N; v 为工作机构的平移速度, 单位为 m/s。

系统稳定运动时, 满足 $T = T_L$, 所以有

$$T_L \Omega \eta = Fv \quad (3-6)$$

将 $\Omega = \frac{2\pi n}{60}$ 代入式(3-6)中,得

$$T_L \frac{2\pi n}{60} \eta = Fv$$

所以

$$T_L = \frac{60Fv}{2\pi n\eta} = 9.55 \times \frac{Fv}{n\eta} \quad (3-7)$$

式(3-7)便是负载平移运动时的负载转矩折算公式。

3.2.2 飞轮矩的折算

1. 旋转运动

由力学知识可知,旋转物体所储存的动能为

$$W = \frac{1}{2} J \Omega^2$$

根据折算前后旋转物体所储能不变的折算原则,只要折算前后物体的 J 与 Ω^2 的乘积不变就可维持储能不变。而 J 反映在工程实用物理量中就是飞轮矩 GD^2 , Ω 所对应的是 n 。因此,折算前后实际上就是保持 GD^2 与 n^2 的乘积不变。

从图 3-3(a)可以看出,电动机本身的 GD_a^2 和第一级转速变换中的 GD_1^2 ,就是处于电动机转轴上的量,所以不需要折算。需要折算的仅是从 GD_2^2 以后的所有飞轮矩。

由于 GD_2^2 与 GD_3^2 同轴,为同一转速,故折算时可一并考虑。应用上述折算原则,可得

$$(GD_2^2 + GD_3^2)' n^2 = (GD_2^2 + GD_3^2) n_b^2$$

式中,加“'”的表示折算后的值。

所以,第一级飞轮矩折算公式为

$$(GD_2^2 + GD_3^2)' = \frac{n_b^2}{n^2} (GD_2^2 + GD_3^2) = \frac{GD_2^2 + GD_3^2}{j_1^2}$$

可见,飞轮矩的折算,只需将原值除以两轴之间传递的转速比平方,即飞轮矩是按照转速平方成反比来折算的,所以低速轴上的飞轮矩折算到高速轴上后就小多了。

以此类推,飞轮矩 GD_4^2 和 GD_L^2 经两级变换后折算到电动机轴伸端,应连续除以两级速比平方,即

$$(GD_4^2 + GD_L^2)' = \frac{GD_4^2 + GD_L^2}{j_1^2 j_2^2}$$

若 GD^2 经 n 级传动,则有

$$(GD^2)'_n = \frac{GD^2}{j_1^2 j_2^2 \cdots j_n^2}$$

这样,图 3-3(a)所示的多轴系统折算为图 3-3(b)所示的单轴系统后,总飞轮矩即为所有折算到电动机转轴上的飞轮矩之值的和,即

$$GD^2 = GD_a^2 + GD_1^2 + \frac{GD_2^2 + GD_3^2}{j_1^2} + \frac{GD_4^2 + GD_L^2}{j_1^2 j_2^2} \quad (3-8)$$

式(3-8)便是多轴系统中飞轮矩的折算关系式。

一般情况下,电力拖动系统均为减速传动系统,这样,在总的飞轮矩 GD^2 中,电动机转

子本身的飞轮矩 GD_a^2 占的比重最大,工作机构轴上的飞轮矩折算值占的比重较小,而传动机构飞轮矩的折算值所占比重则更小。因此在实际工作中,为了减少折算的麻烦,往往可以采用以下经验公式估算系统的总飞轮矩:

$$GD^2 = (1 + \delta)GD_a^2$$

式中, GD_a^2 是电动机转子本身的飞轮矩,其值可以从产品目录中查得。 δ 为小于 1 的数,一般取 $\delta = 0.2$ 左右。如果电动机轴上还有其他大飞轮矩的部件,如制动器闸轮等, δ 值则需加大。

2. 平移运动

与转矩折算的情况一样,飞轮矩也有一个对平移运动的折算问题。由力学知识可知,平运动体的动能为 $W = \frac{1}{2}mv^2$ 。设平移运动部件的重量为 G ,故图 3-4 所示平动部分所具有的动能为

$$W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \frac{G}{g}v^2$$

设折算到电动机轴伸端的动能为

$$W' = \frac{1}{2}J_L\Omega^2 = \frac{1}{2} \frac{GD_L^2}{4g} \left(\frac{2\pi n}{60} \right)^2 = \frac{1}{2g} \frac{GD_L^2 n^2}{365}$$

根据动能守恒的折算原则, $W = W'$, 即

$$\frac{1}{2} \frac{G}{g}v^2 = \frac{1}{2g} \frac{GD_L^2 n^2}{365}$$

所以

$$GD_L^2 = 365 \times \frac{Gv^2}{n^2} \quad (3-9)$$

式(3-9)为直线运动部分折算到电动机轴上的飞轮矩。而传动机构中转动部分 GD^2 的折算,则与前述相同,两部分之和才是系统的总飞轮矩。

如若采用以上的经验公式估算系统的总飞轮矩,当直线运动部分的速度不高时,它的成分也可包括在 δ 之内,而不需具体计算。

例 3-1 图 3-5 所示的电力拖动系统中,已知飞轮矩 $GD_a^2 = 14.5 \text{ N} \cdot \text{m}^2$, $GD_b^2 = 18.8 \text{ N} \cdot \text{m}^2$, $GD_L^2 = 120 \text{ N} \cdot \text{m}^2$,传动效率 $\eta_1 = 0.91$, $\eta_2 = 0.93$,转矩 $T'_L = 85 \text{ N} \cdot \text{m}$,转速 $n = 2450 \text{ r/min}$, $n_b = 810 \text{ r/min}$, $n_L = 150 \text{ r/min}$,忽略电动机空载转矩,求:

(1) 折算到电动机轴上的系统总飞轮矩 GD^2 ;

(2) 折算到电动机轴上的负载转矩 T_L 。

解: (1) 系统总飞轮矩

$$\begin{aligned} GD^2 &= \frac{GD_L^2}{\left(\frac{n}{n_L}\right)^2} + \frac{GD_b^2}{\left(\frac{n}{n_b}\right)^2} + GD_a^2 = \frac{120}{\left(\frac{2450}{150}\right)^2} + \frac{18.8}{\left(\frac{2450}{810}\right)^2} + 14.5 \\ &= 0.45 + 2.055 + 14.5 = 17.005 (\text{N} \cdot \text{m}^2) \end{aligned}$$

(2) 负载转矩

$$T_L = \frac{T'_L}{\frac{n}{n_L} \eta_1 \eta_2} = \frac{85}{\frac{2450}{150} \times 0.91 \times 0.93} = 6.15 (\text{N} \cdot \text{m})$$

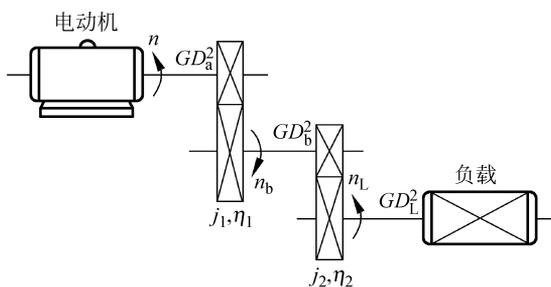


图 3-5 例 3-1 图

例 3-2 某刨床电力拖动系统如图 3-4 所示。已知切削力 $F=10\,000\text{ N}$ ，工作台与工件运动速度 $v=0.7\text{ m/s}$ ，传动机构总效率 $\eta=0.81$ ，电动机转速 $n=1450\text{ r/min}$ ，电动机的飞轮矩 $GD_a^2=100\text{ N}\cdot\text{m}^2$ ，求：

(1) 切削时折算到电动机轴上的负载转矩；

(2) 估算系统的总飞轮矩；

(3) 不切削时，工作台及工件反向加速，电动机以 $\frac{dn}{dt}=500\text{ r}/(\text{min}\cdot\text{s})$ 恒加速度运行，计算此时系统的动态转矩绝对值。

解：(1) 切削功率

$$P = Fv = 10\,000 \times 0.7 = 7000(\text{W})$$

切削时折算到电动机轴上的负载转矩

$$T_L = 9.55 \frac{Fv}{n\eta} = 9.55 \times \frac{7000}{1450 \times 0.81} = 56.92(\text{N}\cdot\text{m})$$

(2) 估算系统总的飞轮矩

$$GD^2 \approx 1.2GD_a^2 = 1.2 \times 100 = 120(\text{N}\cdot\text{m}^2)$$

(3) 不切削时，工作台与工件反向加速时，系统动态转矩绝对值为

$$T = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} = \frac{120}{375} \times 500 = 160(\text{N}\cdot\text{m})$$

3.2.3 位能性负载升降运动的折算问题

系统拖动位能性负载时，其工作机构是作升降运动的，如电梯、起重机等。升降运动也是直线运动，但又有其自己的特点，现以起重机为例来进行说明。

如图 3-6 所示系统，提升重物时，整个系统完全由电动机驱动，其情况与以上讨论的非位能性负载平动情况相同，其转矩折算式(3-5)或式(3-7)都可得出式(3-10)。

$$T_L^\uparrow = \frac{T_L'}{j\eta^\uparrow} = \frac{GR}{j\eta^\uparrow} = 9.55 \frac{Gv}{n\eta^\uparrow} \quad (3-10)$$

式中，转矩及效率右上角的箭头表示该值是提升时的值(下面的分析将会发现，提升时的值与

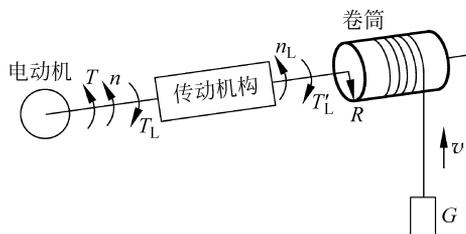


图 3-6 起重机电力拖动示意图

下放时的值不尽相同)。

式(3-10)中除以 η^{\uparrow} (小于1的数)的物理意义是:由于系统的传动机构有摩擦损耗,致使要求电动机提供的转矩 T ,也即反映到功率输入方的转矩 T_L^{\uparrow} 变大了。所以提升重物时传动机构内部的损耗转矩为

$$\Delta T = \frac{GR}{j\eta^{\uparrow}} - \frac{GR}{j} = \frac{GR}{j} \left(\frac{1}{\eta^{\uparrow}} - 1 \right)$$

下放重物时,重力起推动作用,成了原动的一方,拉着整个系统反向运动,而电动机的电磁转矩反而是起制动作用的。此时,功率的传递方向是由负载到电动机,传动机构的损耗应由负载来负担。因此在下放重物时,折算到电动机轴的负载转矩为

$$T_L^{\downarrow} = \frac{GR}{j} \eta^{\downarrow} = 9.55 \frac{Gv}{n} \eta^{\downarrow} \quad (3-11)$$

式中, η^{\downarrow} 为下放重物时系统的传递效率。

下放重物时传动机构内部的损耗转矩为

$$\Delta T = \frac{GR}{j} - \frac{GR}{j} \eta^{\downarrow} = \frac{GR}{j} (1 - \eta^{\downarrow})$$

对于同一重物的提升和下放,可以认为传动机构的损耗转矩 ΔT 不变,即

$$\Delta T = \frac{GR}{j} (1 - \eta^{\downarrow}) = \frac{GR}{j} \left(\frac{1}{\eta^{\uparrow}} - 1 \right)$$

故

$$\begin{aligned} 1 - \eta^{\downarrow} &= \frac{1}{\eta^{\uparrow}} - 1 \\ \eta^{\downarrow} &= 2 - \frac{1}{\eta^{\uparrow}} \end{aligned} \quad (3-12)$$

提升效率 η^{\uparrow} 与下放效率 η^{\downarrow} 在数值上不相等,式(3-12)便是位能性负载拖动系统传动机构提升与下放时两效率之间的关系。

由式(3-12)可知,当 $\eta^{\uparrow} > 0.5$ 时, $\eta^{\downarrow} > 0$,这说明提升重物时由于 η^{\uparrow} 比较大,系统传动机构内的损耗转矩较小,因此在下放重物时不足以制止重物自由下落,还需要电动机提供制动性质的转矩。

当 $\eta^{\uparrow} = 0.5$ 时, $\eta^{\downarrow} = 0$,此时意味着提升重物时,电动机的输出转矩只有一半去克服重力,另一半则消耗在传动机构中。因此,在下放时,重力作用刚好和损耗平衡,电动机不再承担任何转矩,折算到电动机轴上的等效转矩 T_L 为零。

当 $\eta^{\uparrow} < 0.5$ 时, $\eta^{\downarrow} < 0$,说明系统传动机构内部损耗更大,下放时重力产生的转矩不足以克服传动机构的损耗转矩,因此电动机必须产生与转速方向相同的转矩,以帮助重物下放,此时称为强迫下放。

在生产实际中, η^{\downarrow} 为负值是有益的,可以起到一定的安全保护作用。这样的提升系统在正常负载的情况下,如果没有电动机下放方向的驱动,负载是掉不下来的,这称为提升机构的自锁作用,它对于像电梯这类涉及人身安全的提升机械尤为重要。要使 η^{\downarrow} 为负,必须采用高损耗的传动机构,如蜗轮蜗杆传动,它的提升效率 η^{\uparrow} 仅为 0.3~0.5。

升降运动与平移运动都属于直线运动,所以对飞轮矩的折算采用相同的方法。

3.3 典型负载转矩特性

由电力拖动系统的运动方程式可知,系统的运行状态取决于电动机及其负载的双方。因此,要分析系统的运行状态,既要知道电动机的电磁转矩 T 与转速 n 的关系,即电动机的机械特性 $n=f(T)$,也要知道生产机械的负载转矩 T_L 与转速 n 的关系,即生产机械的负载转矩特性 $n=f(T_L)$ 。对于电动机的机械特性,会在介绍各类电动机的工作原理时进行分析,此处,仅讨论各类生产机械的机械特性。

实际的电力拖动系统中生产机械多种多样,其机械特性也随之不尽相同。根据统计,大多数生产机械的负载转矩特性可归纳为三种典型类型:恒转矩负载特性、恒功率负载特性及泵类负载特性。

3.3.1 恒转矩负载特性

此类生产机械的负载转矩 T_L 与转速 n 无关, T_L 不随转速 n 的变化而变化,始终保持为一个常数,即 $T_L = \text{常数} = C$ 。根据负载转矩的方向是否与转向有关,恒转矩负载又可分为以下两类。

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 T_L 作用的方向总是与运动方向相反,即总是阻碍运动的。当转速方向改变时,负载转矩 T_L 的大小不变,但作用方向随之改变,又可称为摩擦转矩负载。

对于反抗性恒转矩负载,当 n 为正方向时, T_L 也为正向;当 n 为负方向时, T_L 也改变方向变为负值。因此反抗性恒转矩负载特性曲线应在第一和第三象限内,如图 3-7 所示。

此类负载有:皮带输送机、轧钢机、机床刀架的平移,电车在平道上行驶等由摩擦力产生转矩的机械负载。

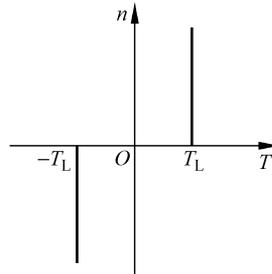


图 3-7 反抗性恒转矩负载特性

2. 位能性恒转矩负载

实际生产机械中,还有一类恒转矩负载,如起重机类生产机械,其工作方式是提升或下放重物。重物不论是作提升或下放运动,其重力总是向下的,且大小不会变化。因此,它所产生的负载转矩的方向也总是恒定的,不随运动方向变化而变化。

当提升重物时, T_L 与 n 的方向相反,是反抗性质的。设提升作为 n 的正方向,则根据负载转矩正方向的规定惯例, T_L 也为正,负载特性曲线位于第一象限;下放重物时, n 为负,而 T_L 的方向不变,仍为正,此时 T_L 与 n 的方向相同,是助动性质的,负载特性曲线位于第四象限,如图 3-8 所示。

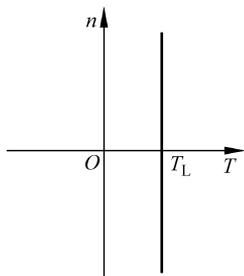


图 3-8 位能性恒转矩负载特性

在这种负载组成的系统中,电动机的做功是为了改变重物的

位能,在运行中由重物产生的转矩又因位能性质决定其大小和方向均不变,所以将这类负载称为位能性恒转矩负载。

3.3.2 恒功率负载特性

恒功率负载的特点是:当转速 n 变化时,负载从电动机轴上吸收的功率基本不变。

众所周知,负载从电动机吸收的功率就是电动机轴上输出的机械功率 P_2 。又因为 $P_2 = T_L \Omega$, 所以有

$$T_L = \frac{P_2}{\Omega} = P_2 \frac{60}{2\pi n}$$

当 P_2 为常数时,由上式可见,负载转矩 T_L 与转速 n 成反比,而 T_L 的方向始终与 n 的方向相反。负载转矩特性曲线是一条双曲线,如图 3-9 所示。

金属切削机床在进行粗加工时,切削量大,阻力矩较大,所以要低速切削;而在精加工时,切削量小,阻力矩也小,所以切削速度较高,这样就保证了高、低速时的切削功率不变。轧钢机轧制钢板时,工件小时高速低转矩,工件大时低速高转矩。具有这样一类特点的生产机械,都近似为恒功率负载。

3.3.3 泵类负载特性

属于泵类负载的生产机械有:通风机、水泵、油泵和螺旋桨等流体机械。其共同特点是负载转矩 T_L 和转速 n 的平方成正比,即

$$T_L = kn^2$$

式中, k 为比例常数。因其转矩也属于反抗性质, n 为正时 T_L 也为正,因此泵类负载特性曲线是一条抛物线,如图 3-10 所示。

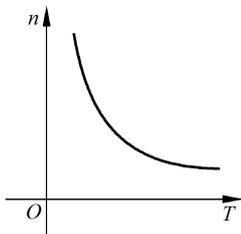


图 3-9 恒功率负载特性曲线

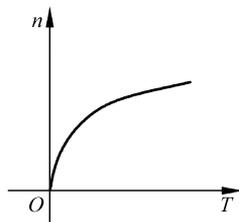


图 3-10 泵类负载的转矩特性曲线

应该指出的是,以上几种负载特性,只是将生产中的实际负载经过简化而归纳出来的典型形式,实际负载要比这复杂得多,可能是以某种典型为主或某几种典型的结合。例如实际的鼓风机,除了主要是泵类负载特性外,轴承摩擦又是反抗性的恒转矩负载特性,只是运行时后者数值较小而已。因此在分析实际的系统时,要根据具体情况,具体分析。

分析电力拖动系统时,负载转矩特性都作为已知量对待。