

实用电工计算丛书

电力应用计算



实用电工计算丛书

电力应用计算

陈琴生 编译

天津科学技术出版社

实用电工计算丛书

电力应用计算

陈琴生 编译

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/32 印张2.625 字数52 000

1988年7月第1版

1988年7月第1次印刷

印数：1—12 400

ISBN 7-5308-0235-6/TM·1 定价：0.90 元

前 言

随着我国经济体制改革的逐步深入，社会主义现代化建设的不断发展，面临一个重要问题，就是人才不足，人员素质不高。笔者据根多年实践经验和从事电工业余教育的体会，深感当前各工厂企业的青年电工和初级技术人员计算能力明显不足。在掌握一定理论基础之后，计算能力是解决实际问题的关键。为此，笔者选译了日本有关电气技术刊物上的各类计算题，编成这套《实用电工计算》丛书，包括《电工基础计算》、《电动机计算》、《变压器计算》、《电力应用计算》和《输配电计算》等五个分册。为了使具有中等文化程度的读者易于看懂，学了会用，书中尽量不涉及高等数学，着重概念分析和计算方法，通过例题说明理论应用。

《电力应用计算》主要介绍工业动力用电，如吊车电动机的功率与过载能力，电热电器的发热与导线选用以及金属电加热熔化等计算方法。同时对红外线加热和灯光照明计算也作了简要介绍。

由于笔者水平有限，错误和疏漏之处在所难免，恳请广大读者给予指正。

陈琴生

1987年4月

目 录

1	吊车电动机的功率计算·····	(1)
2	电动机短时过载容量计算·····	(10)
3	电热计算·····	(18)
4	加热和熔解金属所需功率和消耗电能的计算·····	(26)
5	电热丝的设计计算·····	(33)
6	电热丝的表面温度计算·····	(39)
7	物体加热、熔解和蒸发时, 电热电器的功率 计算·····	(47)
8	电解电能的计算·····	(54)
9	红外线应用及计算·····	(60)
10	照明设计计算·····	(66)
11	电灯照明和电压之间的比例关系·····	(72)

1 吊车电动机的功率计算

通常在工矿企业中，为了搬运或起吊重物和工件，常常需要装设吊车。不论哪一种吊车（例如龙门吊车或桥式吊车）都需要使用电动机作为动力机械，因此，对如何选择一台合适的电动机来满足起重设备的需要，是一个很重要的问题。倘若选用不当，例如容量过大，则不仅会使电动机得不到合理的使用，而且还会造成设备和能源的浪费。本文将说明吊车在起吊重物，横向移动及前后行走三种工作状态下的电动机功率的计算方法。

一、起吊重物时的电动机功率计算

设起吊重物时需要电动机的功率为 P_1 千瓦，被吊的重物

为 W_1 吨，由图 1-1 可知，作用于重物的重力 F_1 为

$$F_1 = 9.8W_1 \times 10^3 [\text{N}]$$

式中，9.8是公斤力换算成牛顿时的换算系数。

现设起吊时，起吊力为 F_1 ，并以速率 v_1 （米/分）上升，这时需要电动机的功率 P_1' 为

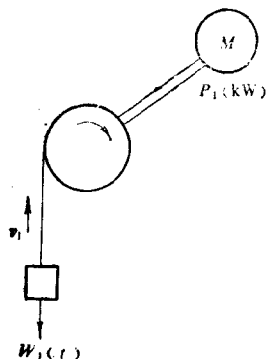


图 1-1

$$\begin{aligned}
 P_1' &= \left(\frac{F_1 v_1}{60} \right) \times 10^{-3} \\
 &= \frac{9.8 W_1 \times 10^3 \times v_1 \times 10^{-3}}{60} \\
 &\approx \frac{W_1 v_1}{6.1} [\text{kW}]
 \end{aligned}$$

如果起吊时起吊设备的效率为 η_1 ，则电动机总功率 P_1 应为

$$P_1 = \frac{P_1'}{\eta_1} [\text{kW}]$$

二、起吊重物后，吊车横向移动时电动机功率计算

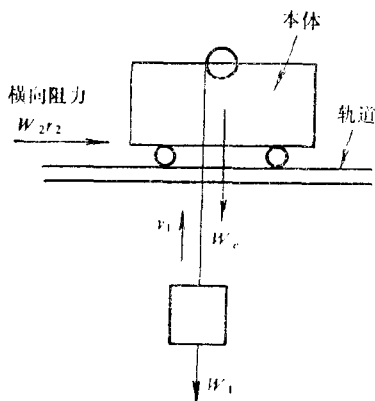


图 1-2

吊车起吊重物后，横向移动时力的分析如图 1-2 所示。图中， $W_2 = W_1 + W_c$ 为横向移动时总的重力，横向移动时遇到的阻力为 $W_2 r_2$ ， r_2 为行走时的摩擦阻力系数，它表示每吨重物受到多少公斤阻力，单位是〔公斤/吨〕。因此，起吊重物后，横向移动所必需的动力

F_2 为

$$F_2 = 9.8 W_2 r_2 [\text{N}]$$

现设重物横向移动的速率为 v_2 〔米/分〕；则电动机的功率

P_2' 为

$$\begin{aligned}
 P_2' &= \left(\frac{F_2 v_2}{60} \right) \times 10^{-3} \\
 &= \frac{9.8 W_2 r_2 v_2}{60} \times 10^{-3} \\
 &\approx \frac{W_2 v_2 r_2}{6100} \quad [\text{kW}]
 \end{aligned}$$

如果横向移动装置的机械效率是 η_2 ，则电动机的总功率 P_2 应为

$$P_2 = \frac{P_2'}{\eta_2} \quad [\text{kW}]$$

三、起吊重物后，吊车前后行走时电动机功率计算

吊车起吊重物后前后行走时的力的分析如图1-3所示。

图中， $W_3 = W_2 + W_q = W_1 + W_c + W_o$ ，它表示吊车本体重量

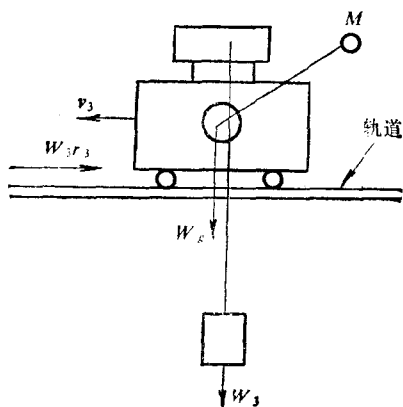


图 1-3

加上起吊重物的总重量。因此，起吊重物后，吊车前后行走时

遇到的总阻力应为 $W_3 r_3$ (公斤), r_3 为大车走行的摩擦阻力系数。这样, 为了使吊车前后走行所需要的动力 F_3 为

$$F_3 = 9.8 W_3 r_3 \text{ [N]}$$

现设吊车前后行走的速率是 v_3 [米/分], 则电动机功率 P_3' 应为

$$\begin{aligned} P_3' &= \frac{F_3 v_3}{60} \times 10^{-3} \\ &= \frac{9.8 W_3 r_3 v_3}{60} \times 10^{-3} \\ &\approx \frac{W_3 r_3 v_3}{6100} \text{ [kW]} \end{aligned}$$

如果吊车前后走行时的机械效率是 η_3 , 则电动机的总功率 P_3 为

$$P_3 = \frac{P_3'}{\eta_3} \text{ [kW]}$$

有关桥式吊车驱动装置的机械效率及摩擦阻力系数大致可参考下表中所列数值。

	机械效率 $\eta\%$	摩擦阻力系数 r (kg/t)
起吊	$\eta_1 = 60 \sim 80$	—
横向移动	$\eta_2 = 70 \sim 80$	$r_2 = 25 \sim 35$
前后走行	$\eta_3 = 65 \sim 70$	$r_3 = 23 \sim 33$

【例题 1】 有一台额定起重量为 50 吨的桥式吊车, 电动卷扬机及小车的总重量为 30 吨, 吊车桥架总重量为 100 吨。若起吊重物的速率为 2 [米/分], 小车横向移动速率及吊车前后行走速率均为 20 [米/分] 时, 求吊车起吊、横向移动及前后行走所需电动机功率各为多少。设横向移动的 r_2 是

27, 前后走行的 r_3 是25, 各部分的机械效率均为70%。

解 (1) 起吊重物用电动机功率 P_1

按题意 $W_1 = 50 \text{ [t]} = 50000 \text{ [kg]}$;

$$v_1 = 2 \text{ [m/min]} ; \eta_1 = 70\% = 0.7$$

$$\begin{aligned}\text{于是 } P_1 &= \frac{9.8 W_1 v_1}{60 \times \eta_1} \times 10^{-3} \\ &= \frac{9.8 \times 50000 \times 2}{60 \times 0.7 \times 10^3} \\ &= 23.3 \text{ [kW]}\end{aligned}$$

(2) 横向移动用电动机功率 P_2

按题意, 设横向移动的重量为 W_2 , 它等于小车重量加上起吊重物的重量, 即

$$W_2 = 30 + 50 = 80 \text{ [t]}$$

W_2 重量作横向移动时, 速率为20 [米/分], 阻力为27 [公斤/吨], 因此,

$$W_2 r_2 = 80 \times 27 = 2160 \text{ [kg]}$$

横向移动所需电动机的功率 P_2 为

$$\begin{aligned}P_2 &= \frac{9.8 W_2 r_2 v_2}{60 \eta_2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{9.8 \times 2160 \times 20}{60 \times 0.7} \times 10^{-3} \\ &= 10.1 \text{ [kW]}\end{aligned}$$

(3) 吊车前后走行时电动机功率 P_3

按题意, 设吊车前后行走时的重量为 W_3 , 它等于吊车总重量加上起吊重物的重量, 即

$$W_3 = 100 + 50 = 150 \text{ [t]}$$

设吊车前后行走时的摩擦阻力系数为25〔公斤/吨〕,因此,受到的总阻力 $W_3 r_3$ 为

$$W_3 r_3 = 150 \times 25 = 3750 \text{ [kg]}$$

所以,所需电动机的功率 P_3 为

$$\begin{aligned} P_3 &= \frac{9.8 W_3 r_3 v_3}{60 \eta_3} \times 10^{-3} \\ &= \frac{9.8 \times 3750 \times 20}{60 \times 0.7} \times 10^{-3} \\ &= 17.5 \text{ [kW]} \end{aligned}$$

【例题2】 有一台采用蜗轮减速的圆筒形卷扬机,要求使用一台50赫, 8极, 转差为0.04的三相感应电动机为原动机。卷扬机的最大卷扬能力是2吨,卷扬速度是62.8〔米/分〕,卷筒半径是0.5米,卷扬装置的机械效率是70%。试求电动机的功率及减速装置的减速比。

解 按题意,设卷扬机的最大卷扬重量为 W 吨,卷扬速度为 v 〔米/分〕,机械效率为 η ,则卷扬机用的电动机功率 P 为

$$P = \frac{9.8 W v}{60 \eta}$$

$$\text{代入数值 } P = \frac{9.8 \times 2 \times 62.8}{60 \times 0.7} = 29.4 \text{ [kW]}$$

其次,按题意要求采用8极、50赫转差是0.04的电动机,因此,电动机的转速 n 为

$$n = 750 (1 - 0.04) = 720 \text{ [r/m]}$$

式中,750是8极电动机的同步转速。

现在卷扬机的卷筒半径 r 是0.5米,要求卷扬速度 v 为

62.8〔米/分〕，则卷筒的转速 n' 为

$$\begin{aligned}n' &= \frac{v}{2\pi r} \\&= \frac{62.8}{2 \times 3.14 \times 0.5} = 20 \text{ [r/m]}\end{aligned}$$

所以，蜗轮减速装置的减速比 i 应为

$$i = \frac{n'}{n} = \frac{20}{720} = \frac{1}{36}$$

即，应采用1:36的蜗轮减速装置。

【例题3】有一台卷扬机，其卷筒直接和三台三相4极感应电动机连接，电动机的额定功率是40千瓦，额定频率是50赫，额定转速是1425〔转/分〕。用这台卷扬机起吊100公斤的重物时，电动机的转速及输出功率应为多少？设电动机的转矩和转差成正比，卷扬机的机械效率是100%，卷筒直径是0.5米。

解 电动机的额定转速是1425〔转/分〕，故电动机的同步转速 n_1 为

$$\begin{aligned}n_1 &= \frac{60 f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} \\&= 1500 \text{ [r/m]}\end{aligned}$$

式中， p 是电动机的极对数。

额定转差 s 为

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0.05$$

根据题意，电动机的转矩和转差成正比，即

$$P = \omega T$$

式中, T 是转矩, 单位是 [牛吨·米], ω 是电动机转子的转动角速度, 单位是 [弧度/秒],

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad [\text{rad/s}]$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } T &= \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n/60} \\ &= \frac{60 \times 40 \times 10^3}{2\pi \times 14 \times 5} = 268 \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

其次, 设在额定功率时起吊 100 公斤重物所需的转矩 T' , 则

$$\begin{aligned} T' &= 9.8 \times 100 \times \frac{0.5}{2} \\ &= 245 \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

另外, 设起吊 100 公斤重物时, 电动机的转差为 s' , 由于转差和转矩成正比, 故而,

$$\frac{T}{T'} = \frac{s}{s'}$$

$$\text{即 } \frac{268}{245} = \frac{0.05}{s'}$$

$$\text{所以 } s' = 0.0457$$

此时转速 n' 为

$$\begin{aligned} n' &= (1 - s') n_1 \\ &= (1 - 0.0457) \times 1500 \\ &= 1431 \quad [\text{r/m}] \end{aligned}$$

电动机的输出功率 P' 为

$$P' = \omega' T' \times 10^{-3}$$

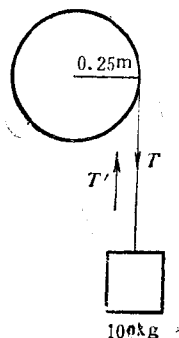


图 1-4

$$= \frac{2\pi n'}{60} \times T' \times 10^{-3}$$

$$= \frac{2\pi \times 1431}{60} \times 245 \times 10^{-3}$$

$$= 36.7 \text{ [kW]}$$

2 电动机短时过载容量计算

众所周知，电动机的运行受到本身发热条件的限制，连续运行的电动机，处于短时过载下使用时，温升必须与允许温升相符，不然，将会导致电动机绝缘加速老化，甚至烧毁。本文，首先说明电动机的温升和冷却之间的关系，然后介绍连续运行的电动机处于短时过载条件下使用时的功率计算。

一、电动机的温升和冷却

电动机的内部损耗主要是指铜损耗和铁损耗，其它有杂散损耗、机械损耗等。这些损耗，使得电动机发热，温度升高。在发热和向周围冷却介质的散热平衡时，电动机的温度就相对稳定下来。下面就说明这种平衡关系。

设电动机单位时间发生的热量为 Q （卡/秒），电动机的热容量为 C （卡/度），连续运行时间 t 时的温升是 θ （ $^{\circ}\text{C}$ ）。而且，随着电动机的温度升高，其热量也开始向周围散发。假定电动机的散热系数为 K ，经过 Δt 后，电动机发出的热量就是 $Q\Delta t$ 。同时，在 Δt 时间内，电动机本身也有相应的 $\Delta\theta$ 的温度升高。最后，电动机发生的热量和散发出去的热量以及使电动机本身温度升高这三者之间的关系，可用下列热平衡方程式来表示。

$$Q\Delta t = C\Delta\theta + K\theta\Delta t$$

式中 $Q\Delta t$ —— Δt 时间内，电动机发生的热量；

$C\Delta\theta$ —— Δt 时间内，使电动机温度升高 $\Delta\theta$ 而吸收的热量；

$K\theta\Delta t$ —— Δt 时间内，电动机向外散发的热量。

将上式进行变换后，可改写成下列形式。

$$\theta = \frac{Q}{K} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) = \theta_m \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

式中， $\frac{Q}{K} = \theta_m$ 表示电动机在连续运行状态下，达到的最后温升，也就是该电动机规定的温升； T 是电动机的发热时间常数， $T = \frac{C}{K}$ 。上面的公式如用曲线表示时，将如图2-1所示。

由图可知，电动机的温升曲线是一条按指数函数变化的曲线，

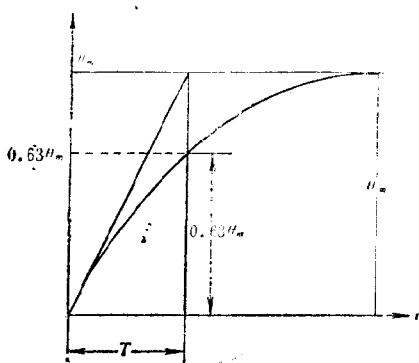


图 2-1

它说明电动机从开始运行起，直至电动机温度近似保持不变，即相对平衡，有一个时间过程。由图还可看出，当经过的时间等于其时间常数 T 时，这时电动机的温度是其稳定值的 0.63 倍。

其次，当电动机停止运行后，其冷却过程仍然需要时间，温度下降过程仍是一条按指数函数变化的曲线。下降过程中没有热源，所以曲线由下式表示，其变化曲线如图2-2

所示。

$$\theta = \theta_m e^{-\frac{t}{T}}$$

由图2-2可知,当温度下降到 $0.63\theta_m$ 时所需的时间就等于 T 。

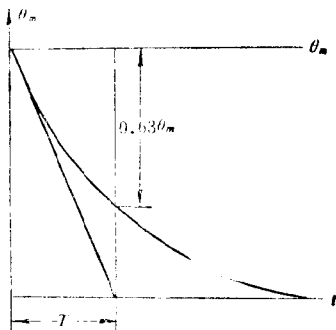


图 2-2

二、电动机处于短时使用状态下的功率计算

电动机的运行状态通常可分为连续运行、短时运行和断续运行三种。一般情况下,应按照铭牌规定的运行条件,正确地使用电动机。但是有时因工作需要,迫使电动机在不同于铭牌规定的条件下使用。例如,将连续运行的电动机改作短时运行,此时,若电动机的温升没有超过允许值,就可以适当地提高其输出功率,以充分发挥电动机的效益。下面就介绍在这种情况下,电动机功率允许有多大变化及其计算方法。从两个方面进行说明。

1. 将连续运行的电动机改作短时运行时的输出功率计算

当电动机开始启动经过时间 t 后,其温升可按前述公式表示。即