

第3章

机械传动装置的主要参数



第3章
微课视频



学习目标

本章主要介绍如何选择电动机的型号；合理分配传动装置的传动比；计算传动装置的运动和动力参数。通过本章的学习,学会根据工作机的已知工况条件选择合适的电动机,合理分配传动比,最终计算出传动装置的运动和动力参数。



重点与难点

- ◇ 计算电动机功率,合理选择电动机的型号;
- ◇ 传动装置中各级传动比的合理分配;
- ◇ 计算传动装置运动和动力参数(轴的转速、功率及转矩)。



案例导入

带式输送机

图 3-1 为一带式输送机,由电动机驱动,动力经传动装置、联轴器传递到输送带,传动装置由带传动和齿轮传动组成。齿轮传动采用一级圆柱齿轮减速器,包括轴 I、轴 II 和一对齿轮,轴 I 是与电动机连接的轴,常称为高速轴,轴 I 上的齿轮称为高速齿轮,轴 II 是与工作机连接的轴,常称为低速轴,轴 II 上的齿轮称为低速齿轮。根据带式输送机的工作条件(即卷筒直径、输送带有效拉力、输送带速度),可确定工作机的转速和功率。根据传动装置的传动

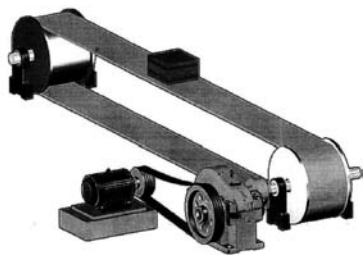
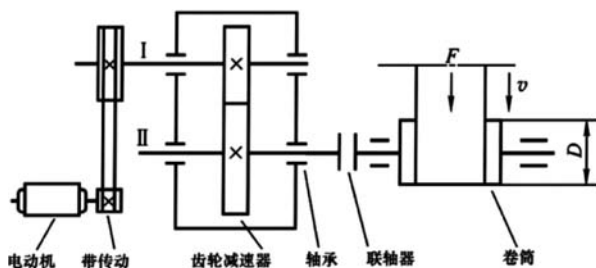


图 3-1 带式输送机传动方案示意图

比,从而确定电动机的型号。计算出减速器各轴传递的功率、转矩和转速,为后续的带传动、齿轮传动设计提供技术参数。

由上可知,机器一般由原动机、传动装置和工作机三部分成。传动装置在电动机和工作机之间,主要作用是传递运动和动力或改变运动状态,是机器的重要组成成分。本章主要介绍传动装置中主要参数的确定。

3.1 电动机的选择

电动机已经标准化、系列化,设计时应按照工作机的要求,根据传动方案选择电动机的类型、结构、功率和转速,并在产品目录中查出其型号和尺寸,以便购置。

3.1.1 电动机的类型及结构形式

1. 电动机的类型

电动机分为交流电动机和直流电动机两种。工程实践中一般采用 YE3 系列三相交流电动机。这种电动机具有超高效、节能、低振动、低噪声、性能可靠、安装维护方便等特点,可用于压缩机、风机、水泵、破碎机等机械设备,以及在石油、化工、医药、矿山及其他环境条件比较恶劣的场合作为动力源使用。

2. 电动机的结构形式

按安装位置不同,电动机有卧式和立式两类;按防护方式不同,电动机有开启式、防护式、封闭式和防爆式。常用结构形式为卧式封闭型电动机,如图 3-2 所示。



图 3-2 Y 系列卧式封闭型电动机

3.1.2 机械传动的效率

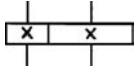
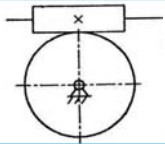
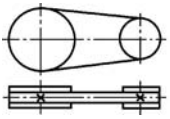
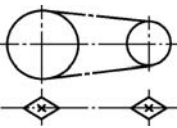
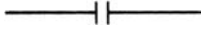
机械在运转时,作用在机械上的驱动力所做的功称为输入功,克服生产阻力所做的功称为输出功,输出功和输入功的比值反映了输入功在机械中的有效利用程度,称为机械效率,通常以 η 表示。机械在运转过程中会有功率的损耗,所以要计算机械传动的效率。传动装置总效率 η 应为组成传动装置各部分运动副效率的乘积,即

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdots \eta_n \quad (3-1)$$

式中: $\eta_1, \eta_2, \eta_3 \cdots \eta_n$ 分别为传动装置中每一传动副(如齿轮、蜗杆、带或链传动)、每对轴承、每个联轴器的效率。

传动副效率数值可按表 3-1 选取。

表 3-1 常用机械传动的主要性能

类 别		传 动 效 率	常用传动比	传 动 简 图
闭式 齿轮 传动	圆柱齿轮	7 级精度: 0.98 8 级精度: 0.97 9 级精度: 0.96	一级 3~5 二级 8~40	
	圆锥齿轮	7 级精度: 0.97 8 级精度: 0.96	2~3	
蜗杆传动	自锁	0.40~0.45	10~40	
	单头	0.70~0.75		
	双头	0.75~0.82		
	三头和四头	0.82~0.92		
V 带传动		0.96	2~4	
滚子链传动		0.96	2~6	
轴承 (一对)	滑动轴承	润滑不良: 0.94~0.97 润滑良好: 0.97~0.99	—	
	滚动轴承 (稀油润滑)	球轴承: 0.99 滚子轴承: 0.98		
联轴器	弹性联轴器	0.99~0.995	—	
	齿式联轴器	0.99		
	十字滑块联轴器	0.97~0.99		

计算总效率 η 时应注意以下几个问题。

(1) 同类型的几对传动副、轴承和联轴器,要分别计入各自的效率。

(2) 所取传动副效率中是否包括其支承轴承的效率,如已包括,则不再计入该对轴承的效率,轴承效率均指一对轴承而言。

(3) 蜗杆传动效率与蜗杆头数及材料等因素有关,设计时应先初估蜗杆头数,初选效率值,待蜗杆传动参数确定后再精确计算其效率。

(4) 在资料中查出效率为某一范围值时,一般取中间值,如工作条件差、润滑维护不良时应取低值,反之取高值。

3.1.3 电动机的功率

电动机的功率选择得合适与否,对电动机的工作能力和经济性都有影响。选择的功率小于工作要求,则不能保证工作机正常工作,或使电动机长期过载、发热过大而过早损坏;选择的功率过大则电动机价格高,能力不能充分利用,效率和功率系数都较低,增加电能损

耗,造成很大浪费。

确定电动机的功率主要由运行时的发热条件限定,在不变或变化很小的载荷下长期连续运转的机械,只要所选电动机的额定功率 P_m 等于或稍大于电动机的工作功率 P_0 ,即 $P_m \geq P_0$,电动机在工作时就不会过热,通常不必校验发热和启动力矩。电动机所需功率为

$$P_0 = \frac{P_w}{\eta} \quad (3-2)$$

式中: P_0 为电动机的工作功率, kW; P_w 为工作机所需输入功率, kW; η 为电动机至工作机之间传动装置的总效率。

工作机所需功率 P_w 应由工作机的工作阻力(力或转矩)和运动参数(线速度或转速、角速度)求得,可由设计任务书给定的工作参数按下式计算,即

$$P_w = \frac{F \cdot v}{1000 \eta_w} \quad (3-3)$$

$$P_w = \frac{T_w \cdot n_w}{9550 \eta_w} \quad (3-4)$$

式中: F 为工作机阻力, N; v 为工作机线速度, m/s; n_w 为工作机转速, r/min; T_w 为工作机的阻力矩, N·m; η_w 为工作机的效率。

3.1.4 电动机的转速

除了选择合适的电动机系列和额定功率以外,还要选择适当的电动机转速。额定功率相同的同一类型电动机,有几种不同的转速系列可供选择,如三相异步电动机有4种常用的同步转速,即 3000r/min、1500r/min、1000r/min、750r/min(相应的电动机定子绕组的磁极对数为 2、4、6、8)。同步转速是由电流频率与磁极对数而定的磁场转速,电动机空载时才可能达到同步转速,负载时的转速都低于同步转速。

电动机的转速高,磁极对数少,尺寸和质量小,价格也低,但传动装置的传动比大,从而使传动装置的结构尺寸增大,成本提高;选用低转速的电动机则相反。因此,确定电动机转速时要综合考虑,分析比较电动机及传动装置的性能、尺寸、重量和价格等因素。

为合理设计传动装置,根据工作机主动轴转速要求和各传动副的合理传动比范围,可推算出电动机转速的可选范围,即

$$n'_m = i' \cdot n_w = (i'_1 \cdot i'_2 \cdot i'_3 \cdots i'_n) \cdot n_w \quad (3-5)$$

式中: n'_m 为电动机满载转速可选范围, r/min; i' 为传动装置总传动比的合理范围; $i'_1 \cdot i'_2 \cdot i'_3 \cdots i'_n$ 为各级传动副传动比的合理范围(见表 3-1); n_w 为工作机转速, r/min。

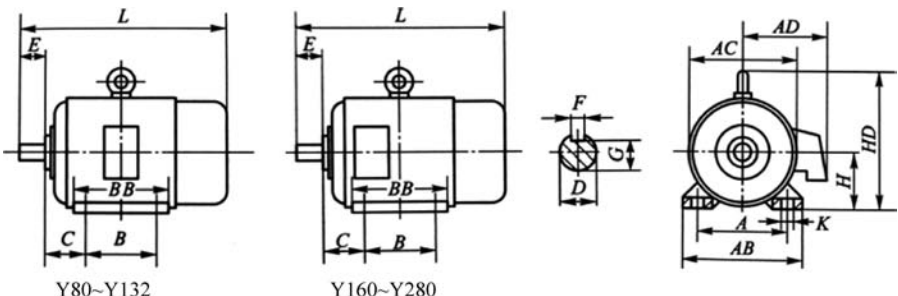
电动机的类型、结构、功率和转速确定后,可在标准中查出电动机的型号、额定功率 P_m 、满载转速 n_m 、外形尺寸、电动机中心高、轴伸长尺寸和键联接尺寸等。可由表 3-2、表 3-3 查取 YE3 系列电动机型号及外形尺寸。

设计计算传动装置时,通常采用实际需要的电动机的工作功率 P_0 进行设计计算。如按电动机额定功率 P_m 设计,则传动装置的工作能力可能超过工作机的要求而造成浪费。有些通用设备为留有存储能力以备发展或不同工作的需要,也可以按额定功率 P_m 设计传动装置。传动装置的转速则可按电动机额定功率时的转速 n_m (满载转速,比同步转速低)计算。

表 3-2 YE3 系列电动机的技术数据

电动机型号	额定功率/kW	满载转速/ (r/min)	堵转转矩	最大转矩	电动机型号	额定功率/kW	满载转速/ (r/min)	堵转转矩	最大转矩
			额定转矩	额定转矩				额定转矩	额定转矩
同步转速 1000r/min					同步转速 1500r/min				
YE3 132S-6	3	975	1.9	2.0	YE3 100L2-4	3	1440	2.3	2.3
YE3 132M1-6	4	975	1.9	2.0	YE3 112M-4	4	1455	2.2	2.3
YE3 132M2-6	5.5	975	1.9	2.0	YE3 132S-4	5.5	1465	2.0	2.3
YE3 160M-6	7.5	980	1.9	2.0	YE3 132M-4	7.5	1465	2.0	2.3
YE3 160L-6	11	980	1.9	2.0	YE3 160M-4	11	1470	2.0	2.2

表 3-3 机座带底脚、端盖无凸缘电动机的安装及外形尺寸 单位：mm



Y80~Y132 Y160~Y280

机座号	极数	A	B	C	D		E	F	G	H	K	AB	AC	AD	HD	BB	L
100L	2、	160	140	63	28	+0.009	60	8	24	100	12	205	205	180	245	170	380
112M	4、6	190		70	38	-0.004				112		245	230	190	265	180	400
132S	2、	216	178	89	42	+0.018		10	33	132		280	270	210	315	200	475
132M	4、					+0.002				160		330	325	255	385	238	515
160M	6、8	254	210	108			110	12	37	160	15	330	325	255	385	270	600

3.2 机械传动装置的总传动比和各级传动比

3.2.1 机械传动装置的总传动比

电动机选定后,根据电动机满载转速 n_m 和工作机转速 n_w ,可确定传动装置的总传动比 i ,即

$$i = \frac{n_m}{n_w} \tag{3-6}$$

然后将总传动比合理地分配给各级传动。总传动比为各级传动比的乘积,即

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdots i_n \tag{3-7}$$

式中: $i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdots i_n$ 为各级传动机构的传动比。

3.2.2 机械传动装置的各级传动比

合理分配各级传动比是传动装置总体设计中的一个重要问题。传动比分配得合理,可以减小传动装置的结构尺寸,减轻质量,改善润滑状况等。分配传动比时应考虑以下几点。

(1) 各级传动比都应在合理范围内(见表 3-1),应符合各种传动形式的工作特点,并使结构比较紧凑。有关传动零件参数确定后,再验算传动装置的实际传动比是否符合要求。例如:齿轮的传动比为齿数比,带传动的传动比为带轮直径比。如果设计要求中没有规定工作机转速或速度的误差范围,则一般传动装置的传动比允许误差可按 $\pm(3\% \sim 5\%)$ 考虑。

(2) 应注意使各级传动件尺寸协调,结构匀称合理。例如图 3-3 所示,由 V 带传动和单级圆柱齿轮减速器组成的传动装置中,V 带传动的传动比不能过大,否则会使大带轮半径大于减速器中心高,使带轮与底座或地面相碰,给安装带来麻烦。

(3) 要考虑传动零件之间不会干涉碰撞。例如图 3-4 所示,由于高速级传动比 i_1 过大,使高速级大齿轮直径过大而与低速轴相碰。

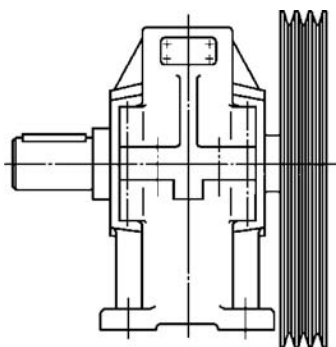


图 3-3 带轮与底面干涉

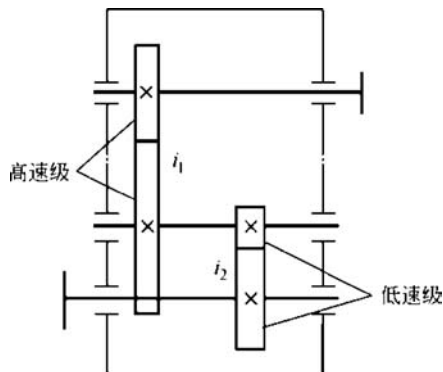


图 3-4 高速级大齿轮与低速轴干涉

(4) 应使传动装置的外廓尺寸尽可能紧凑。图 3-5 所示的传动装置为二级圆柱齿轮减速器,在总中心距和传动比相同时,图 3-5(b)所示方案外廓尺寸较图 3-5(a)所示方案外廓尺寸小,这是因为低速级大齿轮的直径较小而使结构紧凑。

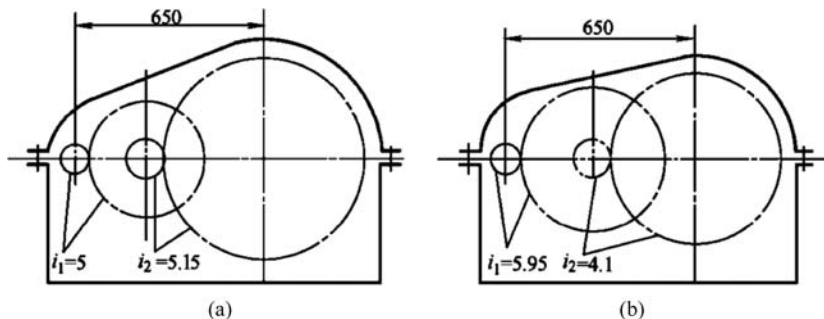


图 3-5 不同传动比对外廓尺寸的影响

(5) 在卧式二级齿轮减速器中,应尽量使各级大齿轮浸油深度合理(低速级大齿轮浸油稍深,高速级大齿轮能浸到油)。也就是希望各级大齿轮直径相近,避免为了各级齿轮都能浸到油,而使某级大齿轮浸油过深,造成搅油损失增加。

3.3 机械传动装置中各轴的转速、功率及转矩

在选定电动机型号、分配传动比之后,应将传动装置各轴的转速、功率和转矩计算出来,为传动零件和轴的设计计算提供依据。现以图 3-1 带式输送机传动方案为例说明传动装置各轴的转速、功率和转矩的计算方法。如将传动装置各轴由高速至低速依次定为 I 轴、II 轴……,电动机轴不编号或编为 0 号轴,则可按电动机至工作机运动传递路线,计算传动装置中各轴的转速、功率和转矩,一般设:

$n_I, n_{II} \dots$ 为各轴的转速, r/min;

$P_I, P_{II} \dots$ 为各轴的输入功率, kW;

$T_I, T_{II} \dots$ 为各轴的输入转矩, N·m;

$i_{0I}, i_{I II} \dots$ 为相邻两轴间的传动比;

$\eta_{0I}, \eta_{I II} \dots$ 为相邻两轴间的传动效率;

n_m 为电动机满载转速, r/min;

P_m 为电动机额定功率, kW;

P_0 为电动机实际所需的输出功率, kW;

T_0 为电动机输出的转矩, N·m;

P_w 为工作机所需功率, kW;

n_w 为工作机转速, r/min;

T_w 为工作机的转矩, N·m。

1. 各轴转速

$$n_I = \frac{n_m}{i_{0I}} \quad (3-8)$$

$$n_{II} = \frac{n_I}{i_{I II}} = \frac{n_m}{i_{0I} \cdot i_{I II}} \quad (3-9)$$

图 3-1 中 i_{0I} 为带传动的传动比 i_b ; $i_{I II}$ 为齿轮传动的传动比 i_g 。

2. 各轴功率

$$P_I = P_0 \cdot \eta_{0I} \quad (3-10)$$

$$P_{II} = P_I \cdot \eta_{I II} = P_0 \cdot \eta_{0I} \cdot \eta_{I II} \quad (3-11)$$

图 3-1 中 η_{0I} 为带传动的效率 η_1 ; $\eta_{I II}$ 包含一对轴承的效率 η_2 和齿轮副效率 η_3 。

各轴的输出功率与各轴的输入功率不同,因为有轴承功率损耗,输出功率分别为输入功率乘以轴承效率。

3. 各轴转矩

$$T_0 = 9550 \times \frac{P_0}{n_m} \quad (3-12)$$

$$T_I = 9550 \times \frac{P_I}{n_I} = T_0 \cdot i_{0I} \cdot \eta_{0I} \quad (3-13)$$

$$T_{II} = 9550 \times \frac{P_{II}}{n_{II}} = T_I \cdot i_{I II} \cdot \eta_{I II} \quad (3-14)$$

各轴的输出转矩与各轴的输入转矩不同,因为有轴承功率损耗,输出转矩分别为输入转矩乘以轴承效率。

【例】 图 3-6 所示为带式输送机传动方案示意图,已知卷筒直径 $D=400\text{mm}$,驱动卷筒的有效拉力 $F=2000\text{N}$,输送带速度 $v=2\text{m/s}$,带式输送机效率 $\eta_w=0.94$,输送机在常温下连续单向工作,载荷平稳,环境有轻度粉尘,结构尺寸无特殊限制,电源为三相交流。请确定该传动装置的主要参数。

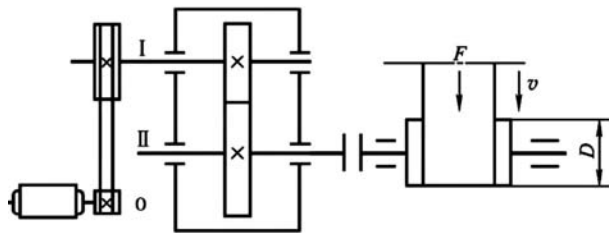


图 3-6 带式输送机传动方案示意图

解： 1) 选择电动机

(1) 选择电动机类型

按工作要求和条件,选用一般用途的 YE3 系列高效三相异步电动机,卧式封闭结构。

(2) 选择电动机功率

工作机所需功率 P_w 为

$$P_w = \frac{F \cdot v}{1000 \eta_w} = \frac{2000 \times 2}{1000 \times 0.94} = 4.26(\text{kW})$$

电动机所需功率 P_0 为

$$P_0 = \frac{P_w}{\eta}$$

式中: η 为电动机到卷筒工作轴的传动装置总效率,包括 V 带传动、齿轮传动、两对滚动轴承、一个联轴器,查表 3-1 得: V 带传动 $\eta_1=0.96$ 、齿轮传动 $\eta_2=0.97$ 、滚动轴承 $\eta_3=0.99$ 、弹性联轴器 $\eta_4=0.99$,则总效率为

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3^2 \cdot \eta_4 = 0.96 \times 0.97 \times 0.99^2 \times 0.99 = 0.904$$

$$P_0 = \frac{P_w}{\eta} = \frac{4.26}{0.904} = 4.71(\text{kW})$$

选取电动机额定功率 P_m ,使 $P_m = (1 \sim 1.3) P_0 = (1 \sim 1.3) \times 4.71 = 4.71 \sim 6.12\text{kW}$,查

表 3-2, 取 $P_m = 5.5 \text{ kW}$ 。

(3) 确定电动机转速

卷筒轴工作转速:

$$n_w = \frac{60 \times 1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{60 \times 1000 \times 2}{\pi \times 400} = 95.54 (\text{r/min})$$

按表 3-1 推荐的传动比合理范围, 取带传动的传动比 $i'_1 = 2 \sim 4$, 一级圆柱齿轮减速器传动比 $i'_2 = 3 \sim 5$, 则总传动比合理范围为 $i' = 6 \sim 20$, 故电动机转速的可选范围为

$$n'_m = i' \cdot n_w = (6 \sim 20) \times 95.54 = 573 \sim 1910 (\text{r/min})$$

则同步转速为 750r/min、1000r/min、1500r/min 的电动机均符合, 为降低电动机的质量和价格, 综合考虑电动机和传动装置的尺寸、结构、电动机功率及带传动传动比和减速器的传动比等因素, 查表 3-2, 选择同步转速为 1000r/min 的 YE3 132M2-6, 其满载转速为 $n_m = 975 \text{ r/min}$, 外形尺寸、安装尺寸可查表 3-3。

2) 计算传动装置总传动比和分配各级传动比

(1) 传动装置总传动比为

$$i = \frac{n_m}{n_w} = \frac{975}{95.54} = 10.21$$

(2) 分配各级传动比。根据表 3-1 初步取 V 带传动的传动比 $i_b = 3$ (实际 V 带传动传动比要在设计 V 带传动时, 由所选大、小带轮的标准直径比确定), 则一级圆柱齿轮减速器的传动比为

$$i_g = \frac{i}{i_b} = \frac{10.21}{3} = 3.40$$

i_g 值符合表 3-1 中一级圆柱齿轮减速器的传动比的常用范围。如不符合, 应改变 V 带传动的传动比 i_b , 或重新选择电动机的同步转速。

3) 计算传动装置的运动和动力参数

(1) 各轴转速计算如下。

$$n_m = 975 \text{ r/min}$$

$$n_I = \frac{n_m}{i_b} = \frac{975}{3} = 325 (\text{r/min})$$

$$n_{II} = \frac{n_I}{i_g} = \frac{325}{3.40} = 95.58 (\text{r/min})$$

$$n_w = n_{II} = 95.58 \text{ r/min}$$

说明 卷筒转速 n_w 的数值发生微小差异, 这是因为传动比分配以及计算时四舍五入造成的, 对最终设计结果影响不大。

(2) 各轴功率计算如下。

$$P_0 = 4.71 \text{ kW}$$

$$P_I = P_0 \cdot \eta_1 = 4.71 \times 0.96 = 4.52 (\text{kW})$$

$$P_{II} = P_I \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 4.52 \times 0.97 \times 0.99 = 4.34 (\text{kW})$$

$$P_w = P_{II} \cdot \eta_2 \cdot \eta_4 = 4.34 \times 0.99 \times 0.99 = 4.25(\text{kW})$$

(3) 各轴转矩

$$T_0 = 9550 \times \frac{P_0}{n_m} = 9550 \times \frac{4.71}{975} = 46.13(\text{N} \cdot \text{m})$$

$$T_I = 9550 \times \frac{P_I}{n_I} = 9550 \times \frac{4.52}{325} = 132.82(\text{N} \cdot \text{m})$$

$$T_{II} = 9550 \times \frac{P_{II}}{n_{II}} = 9550 \times \frac{4.34}{95.58} = 433.63(\text{N} \cdot \text{m})$$

$$T_w = 9550 \times \frac{P_w}{n_w} = 9550 \times \frac{4.25}{95.58} = 424.64(\text{N} \cdot \text{m})$$

将运动和动力参数的计算结果列于表 3-4,供以后设计计算时使用。

表 3-4 运动和动力参数计算结果

项 目	电动机轴	I 轴	II 轴	卷筒轴
转速/(r/min)	975	325	95.58	95.58
功率/kW	4.71	4.52	4.34	4.25
转矩/(N·m)	46.13	132.82	433.63	424.64
传动比	3	3.4	1	
效率	0.96	0.96		0.98

3.4 本章实训——传动装置主要参数的确定

1. 实训目的

掌握简单机械传动装置主要参数的设计。将计算结果整理列表,供后续章节设计时使用。

2. 实训内容

根据工作机已知条件,计算电动机所需的工作功率;根据传动装置的传动比范围,计算电动机的转速范围,从而选出合适的电动机;合理分配传动装置的传动比,计算传动装置的运动和动力参数。分组设计原始参数见本章的习题 2。

3. 实训过程

本章实训主要是设计计算训练,设计计算过程可参考表 3-5。

4. 实训总结

通过本章实训,能够根据给定工作机的已知条件,先计算,然后查手册,选择出电动机型号,分配各级传动比,计算出传动装置中各轴功率、转速和转矩等,作为后续其他章节实训的参数。