

# 4



页码

## 减速电机选型

**27-48**

减速电机规格

驱动配置

电动机配置

输出轴径向力和轴向力

基于效率的计算

机械冲击载荷

查询 ☐ 订货 ☐ Bauer GmbH  
查询/订单号: \_\_\_\_\_ Fax: 010-85679058  
联系信息: \_\_\_\_\_ Email: [yang.yang@bauergears.com.cn](mailto:yang.yang@bauergears.com.cn)  
应用领域: \_\_\_\_\_

(例如: 运输传送、升降提升、滚筒传送、丝杠等)

减速电机类型



需求数量 \_\_\_\_\_ 效率等级 非 IE ☐ IE1 ☐ IE2 ☐  
型号 \_\_\_\_\_ 功率 \_\_\_\_\_ kW  
输出转速 \_\_\_\_\_ 1/min 扭矩 \_\_\_\_\_ Nm 使用系数 fB= \_\_\_\_\_  
安装位置、安装方式 \_\_\_\_\_ 接线盒位置 \_\_\_\_\_  
喷漆颜色 RAL7031 或特殊 RAL 颜色 \_\_\_\_\_  
防腐标准或 COR01/COR02/COR03 \_\_\_\_\_  
额定电压 \_\_\_\_\_ V 频率 \_\_\_\_\_ HZ  
热敏保护 ☐ 开关保护 ☐  
环境温度 \_\_\_\_\_ 度 安装海拔高度 [m] \_\_\_\_\_  
环境条件和安装地点 \_\_\_\_\_  
传动构件 (直连、链轮、齿轮、皮带等) \_\_\_\_\_  
输出轴径向力 \_\_\_\_\_ N, 作用点离轴连接端距离 x \_\_\_\_\_ mm。输出轴轴向力 \_\_\_\_\_ N

如需变频操作, 速度从 \_\_\_\_\_ 1/min 到 \_\_\_\_\_ 1/min 截止频率 \_\_\_\_\_ Hz  
集成变频器 ☐ 外部变频器 ☐

齿轮箱设计 ☐ 光孔地脚安装 D= \_\_\_\_\_ mm  
☐ 光孔法兰安装 D= \_\_\_\_\_ mm  
☐ 螺纹孔法兰安装  
☐ 扭矩臂带橡胶缓冲, 扭矩臂方向 L/T/B \_\_\_\_\_  
☐ 螺纹孔地脚安装, 在哪一侧 L/R/LR/T/B \_\_\_\_\_  
输出轴 ☐ 实心轴, 方向在 F/B/FB \_\_\_\_\_  
☐ 空心轴  
☐ 带锁紧盘空心轴

电动机附件 ☐ 制动器  
型号 \_\_\_\_\_ 制动扭矩 \_\_\_\_\_ Nm  
电压= \_\_\_\_\_ VAC \_\_\_\_\_ Hz 或者 \_\_\_\_\_ V DC  
手动释放 是 ☐ 否 ☐  
微动开关 是 ☐ 否 ☐  
☐ 编码器  
增量型 ☐ 绝对值型 ☐  
脉冲数 \_\_\_\_\_  
输出信号 HTL ☐ TTL ☐  
☐ 强制风冷  
☐ 逆止器 (顺时针方向/逆时针方向)

特殊说明: \_\_\_\_\_

## 驱动配置

在生产工厂和设备在制造商品和产品时，必定会用到运动。减速电机就是用于在固定的生产设备中产生运动。驱动配置的目的是对于每种类型的运动，获得最优性能的电机。

机器和设备的运动存在多种形式。有经验的工程师将运动归纳为一些标准类型：

- 连续直线运动
- 往复直线运动
- 水平直线运动
- 垂直或倾斜直线运动（用于提升或减轻载荷）
- 连续旋转或往复旋转运动

所有的运动均可以分为以下阶段：

- 加速阶段
- 匀速阶段
- 制动（减速）阶段

当选择驱动时，必须单独检测每个运动阶段，目的就是得到该运动阶段的最大负载。在得到最大负载后才能够选择驱动系统。

参考手册《Design Guide》，其中有多应用案例。

## 驱动配置所需数据

除 35 页（减速电机的规格）的数据外，下表中的数据在选择驱动时也是必要的。

名称	描述	单位
Z	开关频率	[1/h]
$t_d$	每日运行时间	[h]
$t_a$	减速时间	[s]
$n_2$	输出速度	[rpm]
n	转轴额定转速	[rpm]
J	转动惯量	[kgm <sup>2</sup> ]
$J_{ext}$	外部瞬间惯量	[kgm <sup>2</sup> ]
$J_{ext}$	与转子相关的外部瞬间惯量	[kgm <sup>2</sup> ]
$J_{rot}$	电机转子转动惯量	[kgm <sup>2</sup> ]
F	力	[N]
m	质量	[kg]
v	速率	[m/s]
a	加速度	[m/s <sup>2</sup> ]
g	地心引力常数	[m/s <sup>2</sup> ]
$P_{dyn}$	动态功率	[kW]
$P_s$	静态功率	[kW]
P	功率	[kW]
$M_2$	输出扭矩	[Nm]
$M_{zerf}$	所需的驱动扭矩	[Nm]
$M_N$	转子的额定扭矩	[Nm]
$M_a$	减速扭矩	[Nm]
$M_L$	制动或负载扭矩	[Nm]
$M_{gr}$	在减速比 i 的极限扭矩	[Nm]
$M_{Br}$	额定制动扭矩	[Nm]
i	减速比	
FI	惯性因子	

#### 驱动配置过程

#### 电动机配置

#### 电机功率的确定

电动机所需要的功率通常能够按照下式来计算：

$$P = \frac{F \times V}{\eta}$$

正如之前所述，所有的运动能够分为加速阶段（动态功率），匀速阶段（静态功率），制动（减速）阶段。电动机所产生的力  $F$  需要克服所有反作用力，包括滚动摩擦、滑动摩擦、重力、加速度以及在驱动链上的力。根据运动类型的不同，力  $F$  对于所需功率的选择有很大的影响，必须对于每个应用实例进行明确的判断。

关于如何正确选择电动机功率参见第 15 部分。

#### 扭矩的确定

在电机功率选定以后，所需的齿轮箱输出扭矩就能够用下式算出：

$$M_2 = \frac{P \times 9550}{n_2}$$

#### 齿轮箱减速比的确定

齿轮减速比是电动机的额定转速和减速后的输出转速之比（参见第 15 部分）。

$$i = \frac{n}{n_2}$$

#### 惯性因子的确定

惯性因子是电动机驱动的所有质量的惯性矩与转子的惯性矩之比，前者包括等效于转轴的惯性矩和转子的惯性矩。

$$FI = \frac{J_{\text{ext}} + J_{\text{rot}}}{J_{\text{rot}}} \qquad J_{\text{ext}'} = \frac{J_{\text{ext}}}{i^2}$$

## 冲击载荷的确定

冲击载荷取决于惯性因素、传动构件的类型和相关的加速阶段（参见 6、7、8、9 部分）。

## 最小服务系数 $f_{Bmin}$ 的确定

根据每天的运行时间、起停频率和确定的冲击载荷，服务系数  $f_{Bmin}$  能够从 6、7、8、9 部分中的表格中查取。

## 制动器

根据最小服务系数  $f_{Bmin}$ 。从表格中选择一个大于此服务系数的减速机，同时具有所需的输出速度、输出扭矩和电机功率。

注意：服务系数仅仅与静态运行所需要的扭矩有关，此扭矩必须在所选减速电机的输出扭矩范围之内。

此处并没有考虑动态部分。

与减速电动机静态运行所需扭矩相关的实际的服务系数，能够通过下式来计算：

$$f_B = \frac{M_{gr}}{M_{2erf}}$$

最后一步就是确定减速电机的附件。

获得制动器所消耗的摩擦能量是非常有必要的，无论是对于保持制动器还是工作制动器。关于两种制动器的定义参见第 16 部分。

只要知道所有需要的数据和需求，所需的制动扭矩就能够通过下式来计算：

$$M_{br} = M_a \pm M_L$$

$$M_a = \frac{J \times n}{9,55 \times t_a}$$

如果具体的数据不知道，对于水平的驱动设备，建议选择的制动扭矩为电机的额定扭矩的 1-1.5 倍。

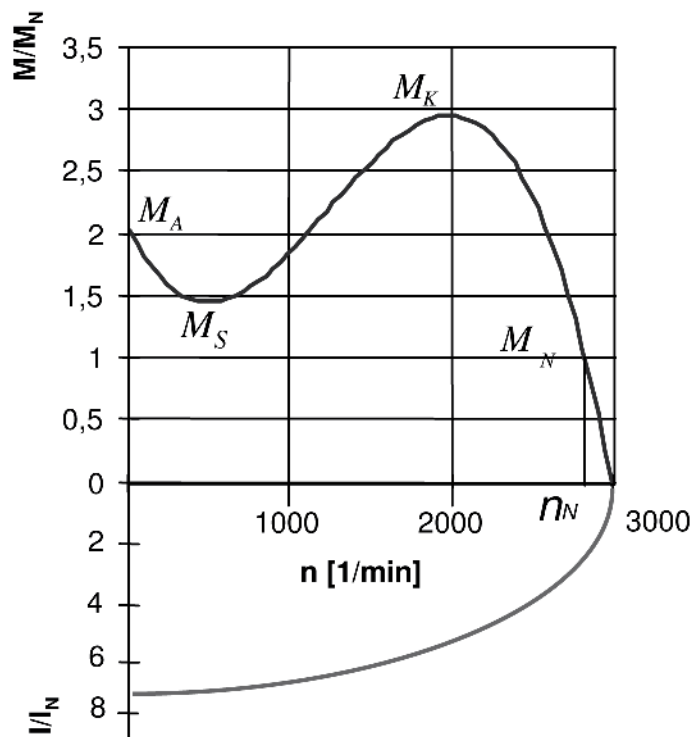
如果在应用中有非常大的驱动设备惯性矩和很高的操作频率，那么制动器就需要考虑所允许的制动产生的热量。关于制动器配置的细节信息请参见 16 部分。

在提升设备中，考虑到安全因素，建议选择的制动扭矩为电机的额定扭矩的 2 倍。

## 扭矩 - 转速特性

电机扭矩 - 转速曲线显示了异步电机的运行特点。图中的注释点是在电动机选择中十分重要的标准。

扭矩. 速度曲线



起动扭矩  $M_A$  是在转子不动时的扭矩，也成为锁定转子扭矩，决定了设备或系统的加速度。如果电机直接由电源供电，那么请注意起始扭矩  $M_A$  是个固定值并且不可改变，它通常可以在电动机数据表格的  $M_A/M_N$  查取。这就意味着当电动机直接由电源驱动时，所设计的加速度只能是差不多大小。如果是由变频器驱动则另外考虑。

拉起扭矩  $M_S$  是电动机升速过程中产生的最低扭矩。当处于拉起扭矩时，它必须总是大于实际的载荷扭矩。否则就不能加速驱动。

堵转扭矩  $M_K$  是电动机所能够产生的最大扭矩。如果载荷增加超过额定转矩  $M_N$ ，转差率增加，速度降低，电动机输出更大的扭矩，最大能够达到  $M_K$ 。超过此点后，电动机就会停止，也就是说电动机在临界转差时会突然停止。如果超过堵转扭矩，必须立即卸掉载荷或者是关掉电动机。否则电动机可能会因为过热而损坏掉。

额定扭矩  $M_N$  是在额定功率  $P_N$  和额定转速  $n_N$  下连续运行时的允许扭矩。

## 动态功率

动态功率是用于加速整个系统的功率，包括载荷、传动构件、齿轮减速箱和电动机。

$$P_{dyn} = \frac{m \times a \times v}{\eta}$$

$P_{dyn}$  动态功率 [W]  
 $m$  质量[kg]  
 $a$  加速度 [m/s<sup>2</sup>]  
 $v$  速度[m/s]  
 $\eta$  效率

## 静态功率

静态功率包括在零加速情况下所有的反作用力消耗的功率。包括滚动摩擦、滑动摩擦、提升力（如果是提升设备）、风力及其它。

$$P_s = \frac{F_f \times v}{\eta}$$

$P_s$  静态功率 [W]  
 $F_f$  运行阻力 [N]

## 总功率 $P_G$

$$P_G = P_{dyn} + P_s$$

$$P_G = \frac{m \times a \times v}{\eta} + \frac{F_f \times v}{\eta}$$

水平运动，旋转运动，垂直上升运动	
启动时间 [s]	$t_A = \frac{\left[ J_M + \frac{J_{ext}}{\eta} \right] \times n_M}{9,55 \times \left[ M_A - \frac{M_L}{\eta} \right]}$
起停频率 [c/h]	$Z = Z_0 \times \frac{1 - \left[ \frac{M_L}{M_A \times \eta} \right]}{\left[ \frac{J_s + \frac{J_{ext}}{\eta} + J_M}{J_M} \right]} \times K_L$
垂直下降运动	
启动时间 [s]	$t_A = \frac{\left[ J_M + \frac{J_{ext}}{\eta} \right] \times n_M}{9,55 \times \left[ M_A - (M_L \times \eta) \right]}$
起停频率 [c/h]	$Z = Z_0 \times \frac{1 - \left[ \frac{M_L \times \eta}{M_A} \right]}{\left[ \frac{J_s + J_M + (J_{ext} \times \eta)}{J_M} \right]} \times K_L$

电动机选择

实例:

所需的动态扭矩（加速）: 126 Nm

所需的静态扭矩: 70.0 Nm

电动机总扭矩: 196 Nm

IE2

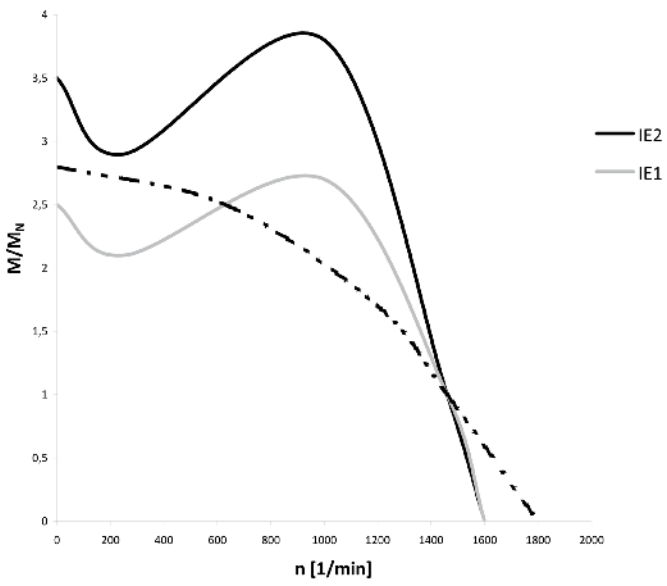
P <sub>N</sub> [kW]	Type	n <sub>N</sub> [rpm]	M <sub>N</sub> [Nm]	I <sub>N</sub> 400 V [A]	cos φ	η (100% load) [%]	η (75% load) [%]	η (50% load) [%]	I <sub>A</sub> /I <sub>N</sub>	M <sub>A</sub> /M <sub>N</sub>	M <sub>S</sub> /M <sub>N</sub>	M <sub>K</sub> /M <sub>N</sub>	J <sub>rot</sub> [kgm <sup>2</sup> ]
7,5	DHE13LA4	1460	49	15,1	0,81	88,9	89,2	87,9	7,0	3,3	3,0	3,5	0,0345
9,5	DHE16MA4	1470	62	19,7	0,78	89,4	89,4	86,5	6,8	2,9	2,5	3,2	0,057
11	DHE16LA4	1470	71	22,5	0,78	90,3	90,0	88,3	7,9	3,5	2,9	3,8	0,076
15	DHE16XA4	1470	97	31	0,77	90,6	90,8	88,8	7,2	3,2	2,8	3,5	0,087
18,5	DHE18LA4	1470	120	35	0,83	91,5	91,7	90,0	7,9	3,6	3,0	3,3	0,160

IE1

P <sub>N</sub> [kW]	Type	n <sub>N</sub> [rpm]	M <sub>N</sub> [Nm]	I <sub>N</sub> 400 V [A]	cos φ	η (100% load) [%]	η (75% load) [%]	η (50% load) [%]	I <sub>A</sub> /I <sub>N</sub>	M <sub>A</sub> /M <sub>N</sub>	M <sub>S</sub> /M <sub>N</sub>	M <sub>K</sub> /M <sub>N</sub>	J <sub>rot</sub> [kgm <sup>2</sup> ]
7,5	DSE13MA4	1440	50	15,3	0,81	87,5	87,8	87,1	6,2	2,8	2,5	3,2	0,02900
9,5	DSE13LA4	1440	63	19,2	0,82	87,1	87,5	87,5	6,0	2,9	2,6	3,0	0,03450
11	DSE16MA4	1460	72	22,6	0,81	87,7	88,0	87,3	6,0	2,5	2,1	2,7	0,05700
15	DSE16LA4	1460	98	29,5	0,83	88,9	89,2	88,9	6,1	2,5	2,1	2,8	0,07600
18,5	DSE16XA4	1460	121	37,5	0,81	89,3	89,9	88,5	6,1	2,6	2,2	2,8	0,08700

在这个案例中，由于IE2电动机的启动扭矩 ( $M_A$ ) ( $M_A/M_N$  3.5) 明显高于IE1电动机 ( $M_A/M_N$  2.5)，所以选择11kW的IE2 (DHE16LA4) 电动机。否则就应该选用15kW的IE1电动机。

选择的电动机:  
11.0 KW  
IE2: DHE16LA4





## 空载起停

如果起停频率高于正常水平（典型值为每小时 60 次），在电动机选型上必须根据电力传输类型考虑额外的热负荷和额外的机械负荷。

空载起停频率  $Z_0$  是电动机空载运行（无外部惯性矩）情况下，每小时的启动次数。此时，F 级绝缘材料的绕组温度在允许范围内。

## 空载起停频率

$P_N$ [kW]	型号	$Z_0$ [c/h]
0,37	DHE08MA4	27000
0,55	DHE08LA4	19000
0,75	DHE08XA4	15000
1,1	DHE09LA4	11000
1,5	DHE09XA4	8700
2,2	DHE09XA4C	6400
3	DHE11MA4	5000
4	DHE11LA4	4000
5,5	DHE11LA4C	3100
7,5	DHE13LA4	2400
9,5	DHE16MA4	2000
11	DHE16LA4	1800
15	DHE16XA4	1400
18,5	DHE18LA4	1200
22	DHE18XA4	1000
30	DHENF20LG4	790
37	DHENF22SG4	670
45	DHENF22MG4	570
55	DHENF25MG4	490
75	DHENF28MG4	380

由于外部载荷作用，空载起停频率降低为允许的运行起停频率。负载的影响取决于惯性因子 FI 和载荷系数  $K_L$ 。

## 负载系数 $K_L$

载荷系数反映了相对负载  $P/P_N$  电动机运行时的占空比。

相对负载对于允许的起停频率有二次方大的影响。而占空比的影响取决于工作条件。在空载或负载很小的情况下，电动机会由于相对较长的冷却时间，应力降低。但在额定载荷或超载的情况下，电动机会因为负载损失而应力增加。

四极电动机的载荷系数  $K_L$  可以通过下式来计算：

$$K_{L100} = 1 - \left( \frac{P}{P_n} \right)^{1,5}$$

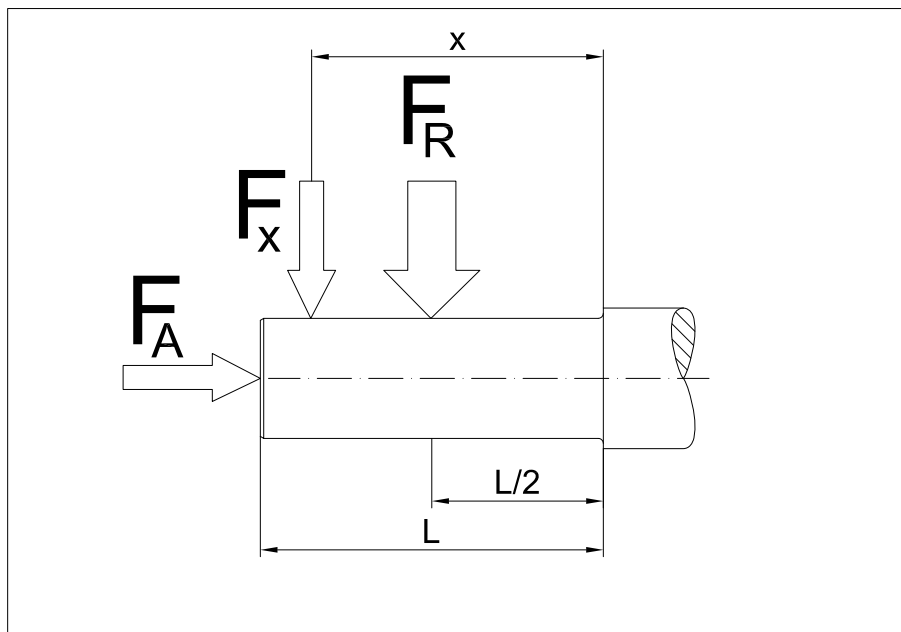
$$K_L = 0,35 + (K_{L100} - 0,25) \times ED$$

### 输出轴径向力和轴向力

对于每个带有实心轴的减速电机，所允许的位于输出轴中间 ( $X=L/2$ ) 的径向力  $F_{R(N,V)}$  列在电动机选型表格中。表格中的数据对于地脚固定和法兰固定均适用。如果力的作用点  $F_X$  不在中间处，则所允许的径向力要考虑到轴承寿命和轴的强度来重新计算。

### 受力点 X 处最大允许轴向力

4



$F_{R(N,V)}$  选型表格中允许的径向力 ( $x = l/2$ ) [N]  
 $X$  受力点离轴连接端面距离 [mm]  
 $F_A$  轴向力 [N]

为了衡量受力点 X 处的径向力，必须获得在 X 点允许的径向力。这就要考虑到轴承的载荷限制和轴的强度。

如果计算出受力点 X 处的允许径向力大于实际所受的径向力，就能够用该减速箱。

如果计算出的受力值不足以承力或者受力点 X 超出轴的长度，请联系我们。

### 轴承承载限制

$$F_{XL1} = F_q \times \frac{0,5 + b}{\left[ \frac{X}{l} + b \right]}$$

$$F_{XL2} = F_q \times \frac{0,5 + a}{\left[ \frac{X}{l} + a \right]}$$

轴强度

$$F_{xw1} = F_{qmax} \times \frac{0,5}{\left(\frac{x}{l}\right)}$$

$$F_{xw2} = F_{qmax} \times \frac{0,5 + c}{\left(\frac{x}{l} + c\right)}$$

在减速电机选型表格中，对于选定的齿轮减速比和轴承类型（普通或加强型）， $F_q$  是允许的正交力  $F_{RN}$  or  $F_{RV}$ 。

在减速电动机选型表格中，对于选定的齿轮箱， $F_{qmax}$  是允许的最大正交力。（包括常规和加强型轴承）。

对于各个类型减速箱，参数 a, b, c 列在下表中。

BG 系列

尺寸型号	轴承	输出轴 代号	l	a	b	c
BG04	普通	-.1	24	0,5625	1,5	-
BG05	普通	-.1	28	0,5893	1,3929	-
BG06	普通	-.1	30	0,6667	1,4167	-
BG10	普通	-.1	40	0,7125	1,6750	-
		-.7		1,1000	2,0625	-
BG20	普通	-.1	50	0,6100	2,2500	-
		-.7		0,9400	2,5800	-
BG30	普通	-.1	60	0,5917	2,1750	-
		-.7		0,9417	2,5250	-
BG40	普通	-.1	60	0,6917	2,3667	-
		-.7		1,0083	2,6833	-
BG50	普通	-.1	80	0,5625	2,0000	-
		-.7		0,8563	2,2938	-
BG60	普通	-.1	100	0,5300	2,0200	-
		-.7		0,7650	2,2550	-
BG70	普通	-.1	120	0,4750	1,7292	-
		-.7		0,7292	1,9833	-
BG80	普通	-.1	140	0,4286	1,7000	-
		-.7		0,6000	1,8714	-
BG90	普通	-.1	200	0,3675	1,5300	-
		-.7		0,5825	1,7450	-
BG100	普通	-.1	220	0,3477	1,4341	-
		-.7		0,5386	1,625	-

BF系列

尺寸型号	轴承	输出轴 代号	l	a	b	c
BF06	普通	-1	50	0,4500	1,4100	-
BF10	普通	-1	60	0,5083	1,4833	-
		-2		0,6500	1,6250	-
BF20	普通	-1	70	0,4286	1,3571	-
		-2		0,5571	1,4857	-
BF30	普通	-1	80	0,3875	1,2563	-
		-2		0,5688	1,4375	-
BF40	普通	-1	100	0,4050	1,2250	-
		-2		0,5250	1,3450	-
BF50	普通	-1	120	0,3125	1,0625	-
		-2		0,3959	1,1458	-
BF60	普通	-1	140	0,3286	1,0821	-
		-2		0,4036	1,1571	-
	加强	-1		-	-	0,2750
		-2		-	-	0,3643
BF70	普通	-1	180	0,2722	1,0566	-
		-2		0,3056	1,0889	-
	加强	-1		-	-	0,2194
		-2		-	-	0,2639
BF80	普通	-1	220	0,2878	1,3536	-
		-2		0,2873	1,3518	-
	加强	-1		-	-	0,2364
		-2		-	-	0,2268

BK系列

尺寸型号	轴承	输出轴 代号	l	a	b	c
BK06	普通	-1	40	0,4375	1,9875	-
		-2		0,4375	1,9875	-
		-7		0,9125	2,4625	-
		-8		0,9125	2,4625	-
BK10	普通	-1	60	0,5917	2,2417	-
		-2		0,5917	2,2417	-
BK20	普通	-1	70	0,5071	2,2357	-
		-2		0,5071	2,2357	-
	加强	-1		-	-	0,3929
		-2		-	-	0,3929
BK30	普通	-1	80	0,5250	2,2750	-
		-2		0,5250	2,2750	-
	加强	-1		-	-	0,4125
		-2		-	-	0,4125
BK40	普通	-1	100	0,4300	2,1700	-
		-2		0,4300	2,1700	-
	加强	-1		-	-	0,3400
		-2		-	-	0,3400
BK50	普通	-1	120	0,4083	1,9417	-
		-2		0,4083	1,417	-
	加强	-1		-	-	0,3250
		-2		-	-	0,3250
BK60	普通	-1	140	0,3536	1,8036	-
		-2		0,3536	1,0836	-
	加强	-1		-	-	0,3121
		-2		-	-	0,2979
BK70	普通	-1	180	0,2861	1,6694	-
		-2		0,2861	1,6694	-
	加强	-1		-	-	0,2428
		-2		-	-	0,2317
BK80	普通	-1	220	0,2818	1,5545	-
		-2		0,2818	1,5545	-
	加强	-1		-	-	0,2305
		-2		-	-	0,2214
BK90	普通	-1		0,2519	1,6096	-
		-2		0,2519	1,6096	-
	加强	-1		-	-	0,1989
		-2		-	-	0,1912

BS系列

尺寸型号	轴承	输出轴代号	l	a	b	c
BS02	普通	-.1	30	0,6	2,1	-
		-.2		-	-	-
		-.7		1,3333	2,8333	-
		-.8		-	-	-
BS03	普通	-.1	40	0,4375	1,9875	-
		-.2		-	-	-
		-.7		0,9125	2,4625	-
		-.8		-	-	-
BS04	普通	-.1	40	0,5375	1,7875	-
		-.2		-	-	-
BS06	普通	-.1	50	0,4800	1,9400	-
		-.2		-	-	-
BS10	普通	-.1	60	0,5917	2,3083	-
		-.2		-	-	-
BS20	普通	-.1	70	0,5500	2,4357	-
		-.2		-	-	-
BS30	普通	-.1	80	0,5312	2,4313	-
		-.2		-	-	-
BS40	普通	-.1	120	0,4292	1,7042	-
		-.2		-	-	-

传动部件

如果使用传动部件（齿轮、链轮、V型带等），所产生的径向力可以通过下式来计算：

$$F_R = \frac{2000 \times M}{D_T} \times f_z \leq F_{R(N,V)}$$

$F_R$  径向力 [N]  
 $M$  扭矩 [Nm]  
 $D_T$  传动构件的节圆半径 [mm]  
 $f_z$  安全系数

安全系数  $f_z$  取决于连接到输出轴的传动构件的类型，在计算径向力 $F_R$ 时必须将其计算在内。

不同传动部件的安全因数  $f_z$

传动构件	安全因数 $f_z$	注释
齿轮	1	$\geq 17$ 齿
齿轮	1.15	$< 17$ 齿
链轮	1	$\geq 17$ 齿
链轮	1.25	$< 17$ 齿
齿条	1.15	$< 17$ 齿（小齿轮）
V 带	2. . . . . 2.5	根据张紧力
平带	2. . . . 3	根据张紧力
摩擦轮	3. . . . 4	

轴向力

以下表达式用于计算允许的输出轴的轴向力  $F_A$ （受拉或压），对于所有 Bauer 的减速电机均适用，无论是地脚、法兰还是空心轴类型。

$$F_A = 0,5 \times F_{R(N,V)}$$

如果需要更大的轴向力请联系我们。

基于效率的驱动配置

根据 IEC 60034-30 标准和 ErP 2009/125/EC EU，在工业生产中利用潜在的节能技术已经是十分紧迫并且具有法律强制性。

在工业应用领域，电动机消耗大部分电力能源（接近 70%）。电动机在大部分领域里均有广泛的应用。比如风力、泵、磨床、轧钢厂、提升设备、运输和输送设备、家用电器、办公设备。

电力驱动系统由于具有广泛的应用，所以它是节约能耗的主要目标。由于电动机消耗了大量的电力能源，甚至提高很小的效率都能够节约很多的能量。

在很多应用案例中，尤其是运输和输送设备，三相鼠笼式电动机有必要进行减速来使用。这可以使用外部的牵引齿轮箱或使用外部或集成的减速齿轮箱。考虑到节约能源，齿轮箱单元和传动构件的效率就不能够被忽略。

系统的总效率可以通过下式计算：

$$\eta_{\text{System}} = \eta_{\text{Motor}} \times \eta_{\text{Getriebe}} \times \eta_{\text{Anlage}}$$

电动机节能  $\eta_{\text{motor}}$

根据电动机规范 16640/2009/EC，具有法律约束的 EU ErP 2009/125/EC 规定 IE2（高效率）作为新电动机在连续工作时的最低效率，并于 2011 年 6 月 16 号生效。

根据 IE2 系列的新电动机规范，应该考虑环境因素选择合适的电动机基座号和电动机类型。

环境分析

电动机容量利用率是电动机能量利用率的一个特别重要的因素。

简单的将只有 50% 容量利用率的电动机换成更小型号的 100% 容量利用率并不能减少能耗，不像那些错误的假设，部分负载的电动机浪费更少的能量从而获得更高的效率。

下表中显示了 2.2kW 电动机（铜和铝转子）和 1.1kW 电动机（铝鼠笼式转子）的技术数据比较。

P <sub>N</sub> [kW]	Type	n <sub>N</sub> [rpm]	M <sub>N</sub> [Nm]	I <sub>N</sub> 400 V [A]	cos φ	η (100% load) [%]	η (75% load) [%]	η (50% load) [%]	I <sub>A</sub> /I <sub>N</sub>	M <sub>A</sub> /M <sub>N</sub>	M <sub>S</sub> /M <sub>N</sub>	M <sub>K</sub> /M <sub>N</sub>	J <sub>rot</sub> [kgm <sup>2</sup> ]
1.1	DHE09LA4	1440	7.3	2.5	0.75	82.7	82.3	79.8	5.9	2.9	2.7	3.4	0.0032
2.2	DHE09XA4C	1440	14.5	4.75	0.79	84.5	85.0	83.5	5.2	1.8	1.7	2.7	0.0053
2.2	DHE11SA4	1440	14.5	4.6	0.80	86.2	86.0	84.7	7.0	3.1	2.8	3.6	0.0081

尽管只有 50% 的容量利用率，这两个 2.2kW 的电动机比 1.1kW（100% 负载）电动机有更高的效率。

由于 IE2 电动机留有较大的热余量，所以在设计参数时没有比较考虑额外的安全余量。

然而，对于起停频率高的情况下，IE2 电动机就应该考虑更高的启动扭矩和相应更高的齿轮加速负载。

更多的信息参见单独的手册 EP34。



## 部分负载下的效率计算

电动机的说明手册根据电动机规范 640/2009/EC 列出了效率表格，包括不同负载情况（50%，75%，100%）。

在任意负载时的效率可以近似根据 75% 和 100% 负载来计算。那么热平衡就能够依次来评估。

$$R_{VL} = \frac{\left( \frac{100}{\eta_{100}} - 1 \right) - 0,75 \times \left( \frac{100}{\eta_{75}} - 1 \right)}{0,4375}$$

$$R_{VO} = \left( \frac{100}{\eta_{100}} - 1 \right) - R_{VL}$$

$$\eta_p = \frac{100}{\left( 1 + \frac{R_{VO}}{p} \right) + R_{VL} \times p}$$

和

$\eta_{100}$	100%负载效率
$\eta_{75}$	75%负载效率
$R_{VL}, R_{VO}$	中间结果
$p$	部分载荷（值的范围：0-1或者超载）
$\eta_p$	部分载荷 $p$ 端点的效率

## 经济分析

如上所述，经济分析不允许特别大的安全系数。电动机很容易达到 ErP 2009/125/EC 规定的节能要求，但是要附加价格成本。

由于由电源供电的电动机在连续工作时的效率等级从 IE1 变成 IE2，（2011 年 6 月 16 号生效），所以用户在购买这些产品时必须支付功率相关的额外费用。选择驱动电动机本质上是考虑投资回报时间。

一个 2.2kW 电动机运行，负载恒为 50%（如上所述），从经济角度来考虑并没有多大影响。但是在这种情况下，必须额外支付 IE2 电动机的箱体大小和包装变化以及材料费用。所以，电动机的投资回报时间会延长到整个系统的使用周期。

因此，选择经济效益最高的电动机必须根据以下因素。

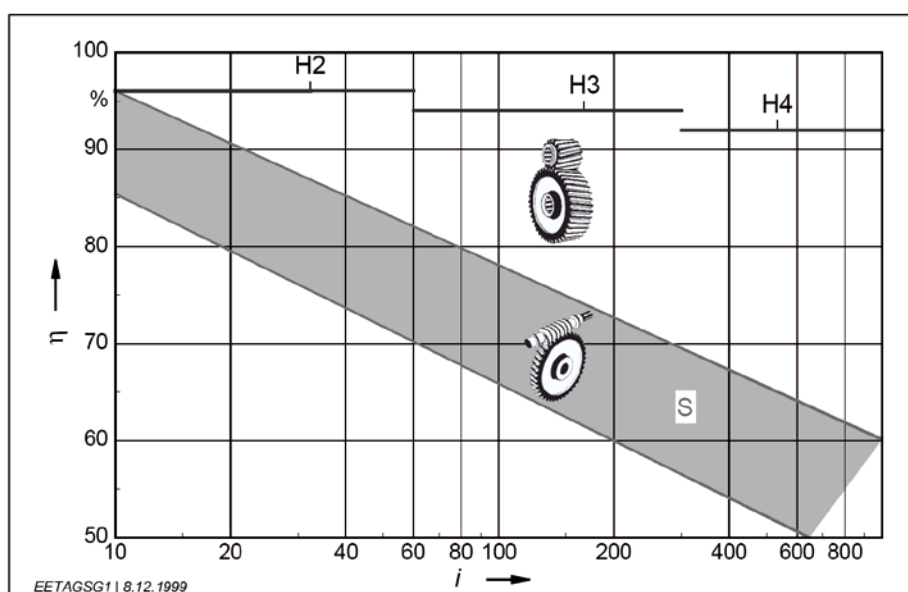
- 工作制类型  
对应用进行评估，大多数应用不会工作在连续工作制 S1 下。
- 运行时间  
运行时间越长，则投资回报时间越短。
- 电动机容量利用率  
利用率在 75% 或更高。
- 额外的经济支出  
提高安全系数会增加经济支出。
- 回报时间

齿轮箱效率  $\eta_{\text{gear}}$

对比在连续工作制（S1）下的齿轮箱和电动机的节能潜力，发现齿轮箱的节能潜力比电动机大很多。齿轮箱的效率主要依赖于轴承和密封件的齿形和摩擦值。对于高速输入或者是垂直结构设计中一级齿轮完全浸在润滑油中，就不能忽略飞溅的损失。

通常情况下，应当避免垂直结构设计。

蜗轮的驱动效率很大程度依赖于速度（参见图示）。对于 BS04 或者更大的基座号，Bauer 蜗轮组能够有两级传动。这样就能够获得很大的减速比，且同单个蜗轮相比，有更高的效率。可以假定对于二级蜗轮组，每级蜗轮单元损失 2% 的效率。



典型效率（ $\eta$ ）减速比（ $i$ ）对比图。H 为同轴减速电机，H2，H3，H4 为 2 级、3 级和 4 级减速。S 为 2 级蜗轮减速。

系统效率  $\eta_{\text{system}}$

在整体效率分析中，传动系统有最高的节能潜力。设计者和工厂工程师总在努力优化传动系统。

传动构件	工况	效率
钢索	每整圈（径向轴承或滚柱轴承）	0.91-0.95
V带	每整圈（正常皮带张力）	0.88-0.93
合成皮带	带有滚柱轴承的每圈或转（正常皮带张力）	0.81-0.85
橡皮带	带有滚柱轴承的每圈或转（正常皮带张力）	0.81-0.85
齿形带	带有滚柱轴承的每圈或转（正常皮带张力）	0.90-0.96
链	带有滚柱轴承的每圈或链轮（正常皮带张力）	0.90-0.96
轴	梯形螺纹主轴	0.30-0.70
	滚珠丝杠主轴	0.70-0.95
齿轮箱	对于直齿轮或锥齿轮：每级损失 2%；对于蜗轮或其它齿形，参考说明手册	0.94-0.98

各种类型的机械装置的冲击载荷在标准、手册、特定行业文件以及在制造商手册中都可以查到。例如，在一般情况下，压碎机和印刷机在表中的冲击载荷为 III 级。另一方面，在一般情况下，皮带运输机的冲击载荷为 I 级，但是在频繁起停操作、高速或超速运行，会因为松链迅速达到 III 级。

所以，下表中的等级不要盲目使用，它们只是提供一个粗略的参考。最终的冲击载荷等级要根据要考虑 Bauer 规定的因素，特别是惯性因数、起停频率和传动构件。

4

驱动类型	冲击载荷			驱动类型	冲击载荷		
<b>建筑机械</b>				<b>橡胶</b>			
建筑提升机		II		挤压机			III
混凝土搅拌机		II		砾光机		II	
筑路机械		II		揉面机			III
				混炼机		II	
<b>化学工业</b>				轧机			III
冷却筒		II					
混炼机		II		<b>木材加工</b>			
搅拌器（稀介质）	I			剥皮滚桶			III
搅拌器（粘性介质）		II		刨机		II	
干燥滚筒		II		木工机械	I		
离心分离机（轻）	I			锯			III
离心分离机（重）		II					
				<b>起重设备</b>			
<b>运输和输送系统</b>				摆动机械	I		
搬运绞盘		II		横移式机械			III
运输机			III	起重机	I		
裙式输送机		II		回转机械		II	
带式运输机（散装）	I			吊臂		II	
带式运输机（件）		II					
斗式带轮输送机		II					
链式运输机		II		<b>塑料</b>			
圆管带式运输机		II		挤出机		II	
货物电梯		II		砾光机		II	
斗式面粉输送机	I			混炼机		II	
客梯		II		研磨和粉碎机		II	
平型传送带		II					
螺旋输送机		II		<b>金属加工</b>			
斗式砂砾输送机		II		弯曲机		II	
倾斜升降机			III	矫直机			III
钢带输送机		II		锤子			III
链式输送机		II		刨床			III
				压力机			III
				剪切机		II	
<b>鼓风机和风扇</b>				锻压机			III
鲁特鼓风机		II		冲压机			III
鼓风机（轴向和径向）	I			主动轴和从动轴	I		
冷却塔风机		II		机床（主）		II	
抽风机		II		机床（附）	I		

驱动类型	冲击载荷			驱动类型	冲击载荷		
<b>食品加工</b>				<b>轧钢</b>			
灌装机	I			剪板机			III
捏炼机		II		卷板机		II	
捣碎机		II		轧胚机			III
包装机	I			钢坯和板坯切割			III
切蔗机		II		坯料搬运机			III
压蔗机			III	拔丝机		II	
切甜菜机		II		清板机			III
甜菜清洗机		II		金属板轧机			III
				轧板机			III
<b>造纸</b>				络筒机（带或丝）		II	
伏辊			III	冷轧机			III
平滑辊			III	链式移送机		II	
打浆机		II		钢坯剪断机			III
研磨机			III	冷床		II	
轧光机		II		横移机		II	
磨浆机			III	辊床（轻）		II	
碎纸机			III	辊床（重）			III
真空吸压			III	辊式矫直机		II	
吸力辊			III	管焊机			III
干燥辊			III	切边机		II	
				剪料头机			III
				连铸机			III
<b>岩石和土壤</b>				辊调整装置		II	
压碎机			III	操纵器			III
回转炉			III				
锤式粉碎机			III				
管磨机			III				
敲打粉碎机			III	<b>清洗</b>			
瓷砖压力机			III	干燥机		II	
				洗衣机		II	
<b>纺织品</b>							
络纱机		II		<b>水处理</b>			
印染机		II		离心风机		II	
制革机		II		螺旋升水泵		II	
破碎机		II					
织布机		II					

