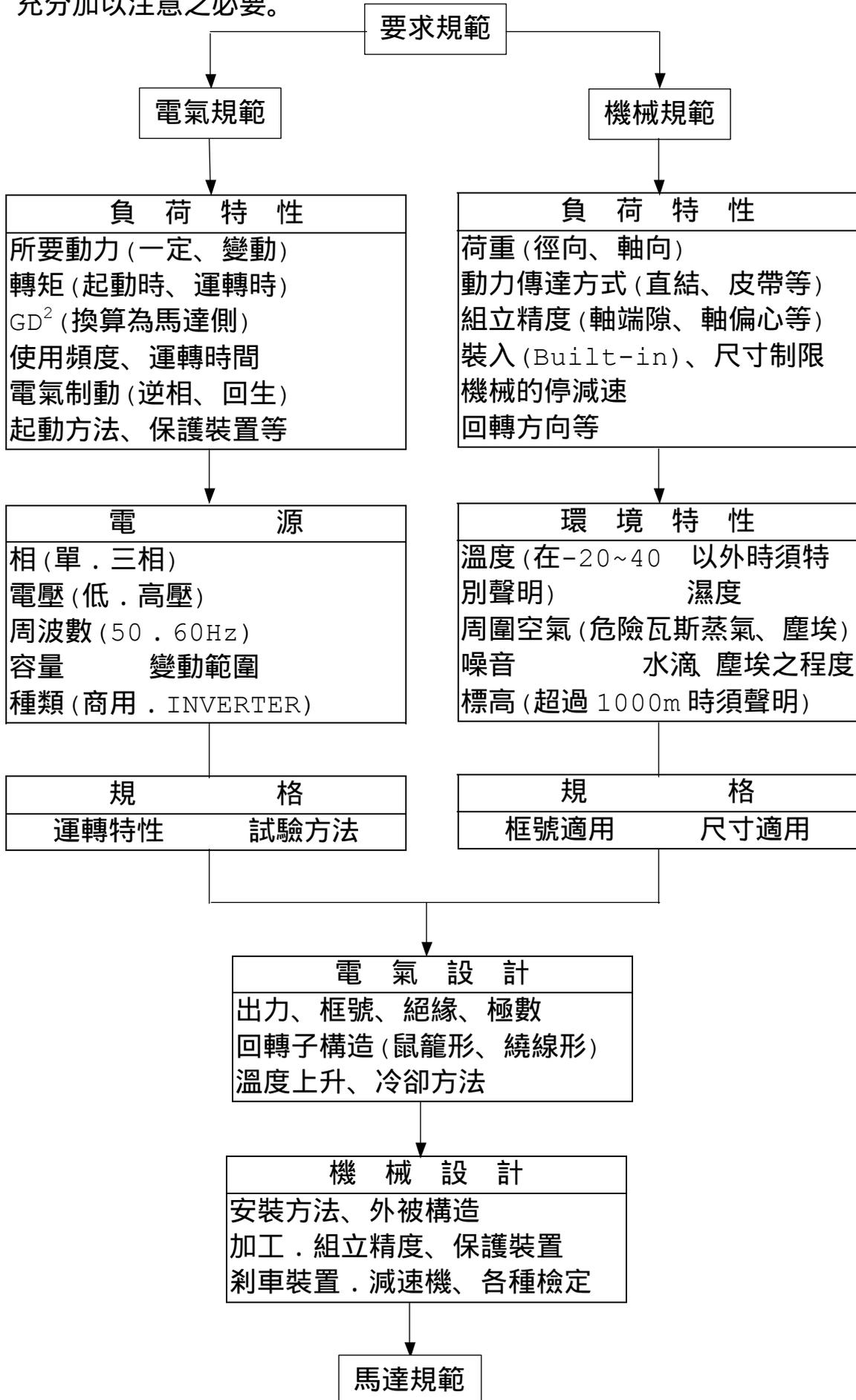


1. 電動機選定

1-1 電動機規範決定流程圖 (Flow chart)

電動機之最佳選定乃相當困難之事。為了規範決定將必要事項彙總如下列之流程圖。然各項目並非獨立，因各個具有相互之關係，有充分加以注意之必要。



1-2 電動機之轉矩特性

電動機自開始轉動(稱起動)起,使負載機械加速,乃至定常運轉為止之速度及轉矩之關係如圖 1-1 所示。而此圖被稱之為速度-轉矩曲線(S-T Curve)。

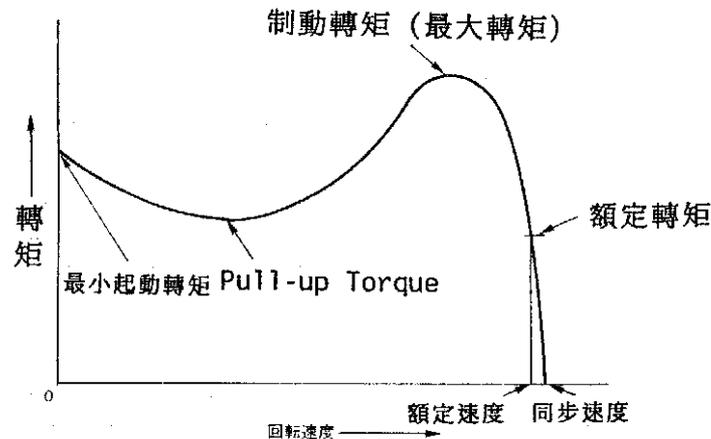


圖 1-1 電動機的速度、轉矩曲線

(1) 最小起動轉矩 (Locked Rotor Torque)

在額定電壓、頻率之基準下,電動機之轉部行將開始回轉時所產生之轉矩。

依轉部之構造,其大小有所不同(請參看圖 1-2)。

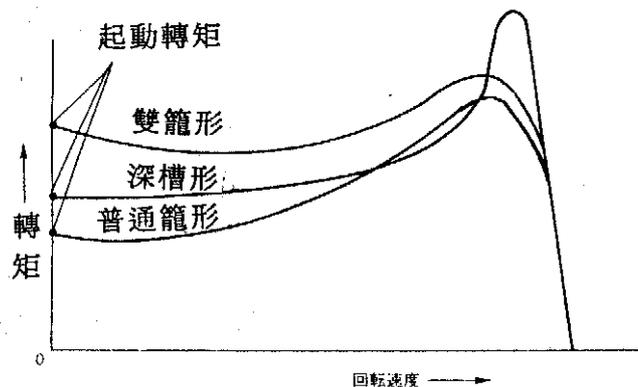


圖 1-2 轉部形狀別之轉矩曲線

(2) 拉升轉矩 (Pull up Torque)

電動機於自零速度起到相當於制動轉矩之回轉速度之間所發生之轉矩之最小值。一般為起動轉矩之 80% 左右。

(3) 制動轉矩 (Breakdown Torque)

將電動機之負載逐漸增加時,其轉差率(Slip)會增大終至停止轉動。此乃指電動機之已到耐不住帶動當時之負荷所致,而此停止轉動瞬間前之轉矩之值稱之為制動轉矩(最大轉矩)。

(4) 額定轉矩 (Full Load Torque)

額定轉矩係指以電動機之極數及轉差率(Slip)所決定之回轉速來運轉對應於電動機出力之負載時之回轉力,並以 kg.m 或 g.cm 表

示之。額定轉矩 T_R (kg·m) 得以下式計算之。

$$T_R = \frac{P_R \cdot 1000}{9.8 \cdot 2\pi \frac{N_R}{60}} = 975 \cdot \frac{P_R}{N_R} \text{ (kg·m)} \dots \text{式(1-1)}$$

[例題] 額定出力 3.7KW 額定回轉速 1750rpm 之電動機之額定轉矩為多少？

[答] 由式 (1-1)

$$T_R = 975 \times \frac{3.7}{1750} = 2.05 \text{ (kg·m)}$$

至於 JIS 規格所規定之轉矩特性如表 1-1 (三相)、1-2 (單相) 所示。

表 1-1 低壓三相鼠籠形感應電動機之轉矩特性

(JIS C 4210-1983)

額定出力 kW	對額定轉矩之比(最小值)								
	2極			4極			6極		
	最小起 動轉矩	拉 升 轉 矩	制 動 轉 矩	最小起 動轉矩	拉 升 轉 矩	制 動 轉 矩	最小起 動轉矩	拉 升 轉 矩	制 動 轉 矩
0.2	1.9	1.3	2.0	2.0	1.4	2.0	—	—	—
0.4	1.9	1.3	2.0	2.0	1.4	2.0	1.7	1.2	1.7
0.75	1.8	1.2	2.0	1.9	1.3	2.0	1.7	1.2	1.8
1.5	1.8	1.2	2.0	1.9	1.3	2.0	1.6	1.1	1.9
2.2	1.7	1.1	2.0	1.8	1.2	2.0	1.6	1.1	1.9
3.7	1.6	1.1	2.0	1.7	1.2	2.0	1.5	1.1	1.9
5.5	1.5	1.0	2.0	1.6	1.1	2.0	1.5	1.1	1.9
7.5	1.5	1.0	2.0	1.6	1.1	2.0	1.5	1.1	1.8
11	1.4	1.0	2.0	1.5	1.1	2.0	1.4	1.0	1.8
15	1.4	1.0	2.0	1.5	1.1	2.0	1.4	1.0	1.8
18.5	1.3	0.9	1.9	1.4	1.0	1.9	1.4	1.0	1.8
22	1.3	0.9	1.9	1.4	1.0	1.9	1.4	1.0	1.8
30	1.2	0.9	1.9	1.3	1.0	1.9	1.3	1.0	1.8
37	1.2	0.9	1.9	1.3	1.0	1.9	1.3	1.0	1.8

備 考 額定出力0.2KW及0.4KW則僅限全閉形。

表 1-2 單相感應電動機之轉矩特性

(JIS C 4203-1983)

種 類	額定出力	對額定轉矩之比(最小值)	
		最小起動轉矩	制 動 轉 矩
分相起動	0.1	1.25	1.60
	0.2		
電容器起動	0.1	2.50	1.60
	0.2		
	0.4		

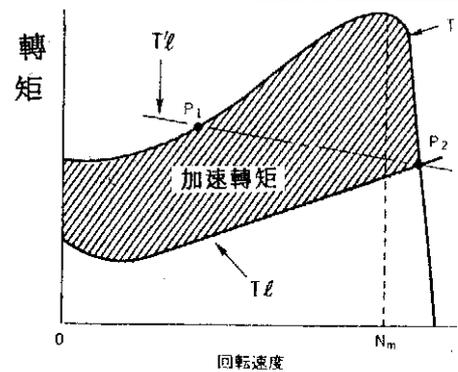


圖 1-3 電動機轉矩及負荷轉矩

1-3 負載之轉矩特性

為了使所有之機械連續運轉，必須給予某種程度之轉矩。為了使此機械轉動所必要之轉矩即為電動機之負載轉矩 (或為反抗轉矩)。

電動機與負載轉矩之關係如圖 1-3 所示。

T 為電動機之轉矩特性， T_1, t'_1 為某負載之轉矩曲線。

在零速度因 $T > T_1$ 而開始回轉，並以 $T > T_1$ 之範圍加速之，且在 $T = T_1$ 之點 P_2 做定常運轉。亦即點 P_2 為安定之平衡點。在點 P_2 時，即使以任何之原因致速度上升時，亦因 T_1 較 T 為大而使速度下降，結果回復到 P_2 之平衡點。相反地，速度下降時，造成 $T > T_1$ 而加速，並拉回至點 P_2 。

其次點 P_1 時，一旦速度上升時，由於 $T > T'_1$ ，故會加速而速度逐漸上升，相反地，速度下降時終至最後之停止轉動。此種現象點 P_1 即為不安定之平衡點，且欲使之連續安定之運轉是不可能的。

速度 $0 \sim N_m$ 之領域，僅為加速時通過之用，電動機轉矩與負載轉

矩不得相交始可。於第 7 章所述之採用降壓起動時，因電動機之轉矩亦可能會降低，故有特別加以注意之必要。

因此，對於負載機械之起動時之轉矩特性做好充分之理解是非常之重要。

圖 1-4 所示為代表性負載機械之起動時轉矩特性，而表 1-3、表 1-4 所示為負載別分類例。

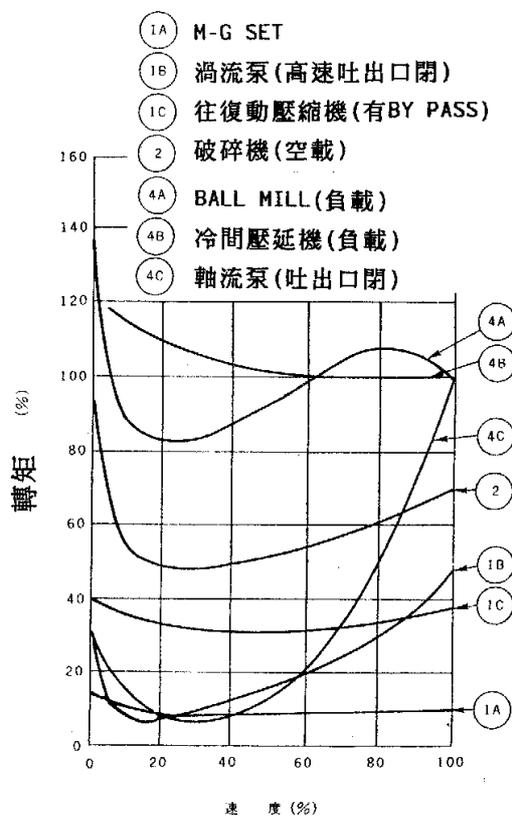


圖 1-4 代表性負載機械之起動時轉矩特性

表 1-3 代表性機械之起動時轉矩特性

起 動 條 件	曲 線	特 性	負 載 之 例
1 以輕載可以起動之機械	1A	作均一之回轉運動，且要求中等之起動轉矩，一定之軸轉矩者，MG Set 為其一例，非為負載之起動，而起動轉矩僅為軸承以及發電機側之碳刷之損失而已。又 GD^2 (飛輪效應) 之值亦小故起動及加速極為容易。此類之負載除 MG Set 外，尚有如右列之負載。	發電機 精鍊機 (Refiner) 紙漿研磨機 金屬壓延機 鋸 真空泵浦
	1B	作高速之均一之回轉運動，且以較小之起動轉矩即足夠，然軸轉矩係以速度之指數函數而要求者，渦流泵浦為代表例。離心力機械時則速度達上升高速為止，其負載條件並無很大差別，無論負載起動、無載起動其起動轉矩均大致相同，然對於加速轉矩則有影響。此類之機械尚有右列者。	離心分離機 鼓風機 泵浦
	1C	於空氣或氣體 (Gas) 壓縮機等往復運動之機械，通常要求較大之起動轉矩，而其軸轉矩則因機械之構造而作種種變化。此類之機械於起動時，潤滑不良靜摩擦轉矩大，因而要求大的起動轉矩。又欲將液體或氣體作全背壓之壓入，則需要全轉矩。為此，於壓縮機時須採用旁通結構 (By pass) 來起動。	往復動形機械 壓縮機 泵浦 真空泵浦
2 非作無載起動不可之機械	2	例如像軋碎機 (Crusher) 那樣，機械停止時會妨礙材料之運轉，而再起動時需要相當大之轉矩，例如即使給與轉矩機械亦有受損之虞之那	磨粉機 (Attrition mill) 鎚碎機

			使給與轉矩機械亦有受損之虞之那類機械即是。亦即說機械之性質上無法作負載起動，而在作正常之運轉時，在停機前須將內容物全部出清，而在緊急停機時，其再行起動之前亦須以手動將內容物出清。此類中尚有右列之機機。	(Hammer mill) 軋碎機 (Crusher)
3	以無載起動為宜之機械	一	GD^2 大之機械如不能作無載起動，並且更要求其加速轉矩，則轉部導體會造成過度發熱。例如高速軸流壓縮機與離心壓縮機具相同之起動特性及加速負載轉矩，然因其構造上 GD^2 相當之大，須考慮特別之加速方法。	磨粉機 帶鋸 送風機 壓縮機 鎚碎機 真空泵浦
4	非作全載起動不可之機械	4A	機械之性質上並無減輕負載之方法，且通常又需要大的起動轉矩及軸轉矩。例如大型球磨粉機或軋條機欲作無載運轉是相當之困難。但是此類之大部分之機械 GD^2 均小為其優點。	球磨粉機 (Ball Mill) 軋條機 (Rod Mill) 往復動泵浦
		4B	此類之機械，其運轉條件雖然可作短暫之無載運轉，然電動機則必須應付起動時最大之極端不利之狀態。例如橡膠研磨機時，通常之起動係無載狀態，然運轉中停電再起動時則需要全負載之起動轉矩。不然的話，材料將全部報廢。	班布瑞混合機 (Banbury Mixer) 冷間壓延機 黃銅及銅之精修壓延機
		4C	如欲變更通常之起動狀態時，反而非增加所需求之轉矩不可，例如低揚程大流量之軸流泵浦為其一例，如將吐出閥關小時反而需要更大之轉矩。	軸流泵浦

表 1-4 負荷機械所需轉矩 (摘自 NEMA 規格 MG1-21)

負荷之種類	起動轉矩 (%)	拉升轉矩 (%)	制動轉矩 (%)	負荷之種類	起動轉矩 (%)	拉升轉矩 (%)	制動轉矩 (%)
<u>Pump</u>				<u>Mill, Crusher</u>			
離心式 Pump				製鐵方面			
a. 吐出閥「閉」	5-40	40-60	150	型鋼、Rail 粗壓延	40	30	300-400
b. 吐出閥「開」	40	100	150	型鋼、Rail 精壓延	40	30	250
往復式 Pump				厚板壓延機 (Mill)	40	30	300-400
a. 旁通閥開	40	40	150	熱板條壓延機	50	40	250
b. 旁通閥無 (3 氣筒)	150	100	150	鋼管軋軋機	60	40	250
軸流式 (可變翼)				市售壓延機	60	40	250
翼水平	5-40	40	150	軋條機	100	60	250
<u>Fan, Blower</u>				水泥工業方面			
離心式 Blower				錐形軋碎機	100	100	250
a. 吸入 (吐出) 閥「閉」	30	40-60	150	(無負荷起動)			
b. 吸入、吐出閥「開」	30	100	150	佳伊特雷利形軋碎機	100	100	250
離心式 Fan				(無負荷起動)			
a. 吸入 (吐出) 閥「閉」	30	40-60	150	顎夾式軋碎機	150	100	250
b. 吸入、吐出閥「開」	30	100	150	(無負荷起動)			
軸流扇 (Propeller fan)				軋筒軋碎機	150	110	250
吐出閥「開」	30	100	150	(無負荷起動)			
<u>壓縮機</u>				球研磨機 (礦石)	150	110	175
往復式				球研磨機 (岩石、煤)	140	110	175
a. 無負荷起動 空氣	30	25	150	紙漿、造紙工業方面			
b. 無負荷起動 冷媒	30	40	150	打碎機 (Beater)	125	100	200
離心式				切屑機 (空起動)	60	50	250
a. 吸入 (吐出) 閥「閉」	30	40-60	150	Jordan	50	50-100	150
b. 吸入、吐出閥「開」	30	100	150	紙漿研磨機	50	40	150
<u>Mill, Crusher</u>				(Magazine 形無負荷起動)			
橡膠工業方面							
Banbury Mixer	125	125	250				
橡膠用研磨機 (Mill)	125	125	250				

2. 出力及額定之選擇方法

2-1 標準出力

電動機之出力必須配合負載機械之所要動力者加以選定始可。出力之選定如果過大時，須採用價昂之大馬力電動機，然而其效率及功因變差而不經濟。又，相反地作過小之選定時，會造成起動不良，且由於以連續不停地超載運轉，乃造成故障之原因。一般之負載，如將電源電壓之變動等亦考慮進去，而以電動機出力之 75%~100% 程度為選定目標可說是恰當之值吧。

電動機之出力，其標準值如表 2-1 之所示者，故盡可能採用標準出力極為重要。

表 2-1 電動機之標準出力

kW	HP	KW	HP	kW	HP
0.4	1/2	22	30	200	270
(0.55)	3/4	30	40	(220)	300
0.75	1	37	50	250	350
(1.1)	1.5	45	60	280	375
1.5	2	55	75		
2.2	3	75	100		
3.7	5	90	125		
5.5	7.5	110	150		
7.5	10	132	175		
11	15	(150)	200		
15	20	160	220		
18.5	25	(185)	250		

註：1. () 內之出力盡可能不要採用

2-2 電動機之使用及額定

對於電動機之使用方法，在 JIS C 4004 「回轉電氣機械通則」有如表 2-2 之規定。

2-3 出力之決定方法

(1) 連續使用

實質上在一定之負載下，電動機之溫升達穩定之時間以上做連續運轉之使用謂之連續使用，而連續額定之電動機均適用於如此之使用。預估負載機械之效率之誤差、餘裕，以所需動力追加 5~15% 左右之值，從標準出力中選定之。

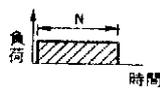
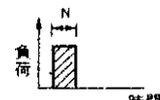
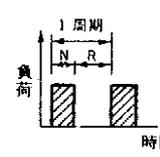
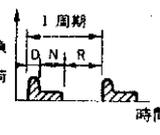
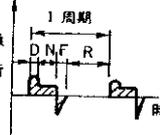
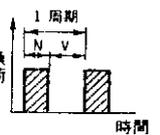
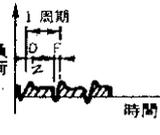
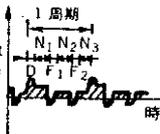
標準大同馬達為連續額定。

(2) 短時間使用

實質上在一定之負載下，於電動機之溫升未達最終穩定值之指定時間做連續運轉之後，將電動機停止，至下一次之起動時，電動機之溫度須降至與周圍溫度之相差至 2 以內之使用謂之短時間使用，而短時間額定之電動機均適用於如此之使用。

短時間額定之標準值則規定如下。

表 2-2 使用及額定之種類 (JIS C 4004-1980)

額 定		使 用			
名 稱	運 用	記號	名 稱	負 荷 之 狀 態	表 示 方 法
連續額定	S1 之使用	S1	連續使用	 <p>N: 在一定負荷下電動機達熱平衡之時間以上之運轉時間</p>	[連續]
短時間額定	S2 使用 原則上運轉時間為 10 分鐘 30 分鐘 60 分鐘或 90 分鐘	S2	短時間額定	 <p>N: 在一定負荷下電動機未達熱平衡之範圍之運轉時間 起動時, 電動機溫度與冷媒溫度差在 2 以內</p>	記號、負荷繼續時間 [例: S2 60 分鐘]
反復額定	S3~S8 之使用無特別指定時 1 週期之標準值為 10 分鐘而負載時間率原則上為 15, 20, 40 或 60%	S3	反復使用	 <p>N: 在一定負荷下之運轉時間 R: 停止而電壓之不印加之期間 (N, R 係在電動機之未達熱平衡之範圍)</p> $\text{負荷時間率} = \frac{N}{N+R} \times 100 (\%)$	記號、負荷時間率 [例: S3 25%]
		S4	起動之有影響之反復使用	 <p>D: 不可忽視之對溫度上升有影響之起動時間 N: 在一定負荷下之運轉時間 R: 停止而電壓之不印加之期間 (N, R 係在電動機之未達熱平衡之範圍)</p> $\text{負荷時間率} = \frac{D+N}{D+N+R} \times 100 (\%)$	記號、負荷時間率、蓄積能量定數、慣性係數 [例: S4 25% H2 FI3]
		S5	含電氣制動之反復使用	 <p>D、N、R 同上 (S4) F: 不可忽視之對溫度上升有影響之電氣制動期間</p> $\text{負荷時間率} = \frac{D+N+F}{D+N+F+R} \times 100 (\%)$	記號、負荷時間率、蓄積能量定數、慣性係數 [例: S5 25% H2 FI3]
等價額定	S3~S8 之使用置換為熱的等價連續使用或短時間使用並進行試驗, 以決定等價連續額定或等價短時間額定	S6	反復負荷連續使用	 <p>N: 在一定負荷下之運轉期間 V: 無負荷運轉期間 (N, V 係在電動機之未達熱平衡之範圍)</p> $\text{負荷時間率} = \frac{N}{N+V} \times 100 (\%)$	記號、負荷時間率 [例: S6 40%]
		S7	含電氣制動之反復負荷連續使用	 <p>D: 不可忽視之對溫度上升有影響之起動時間 N: 在一定負荷下電動機未達熱平衡之範圍之運轉期間 F: 不可忽視之對溫度上升有影響之電氣制動期間</p> <p>負荷時間率=100 (%)</p>	記錄、蓄積能量定數、慣性係數 [例: S7 H1 FI6]
		S8	變速度反復負荷連續使用	 <p>D: 加速期間 N1, N2, N3: 對應於各速度之在一定負荷下之電動機未達熱平衡之範圍之運轉期間 F1, F2: 針對各速度之電氣制動期間</p>	各回轉速度之蓄積能量定數、慣性係數、負荷回轉速度、負荷時間率 例: S8 H 0.65 FI2 24KW 740rpm 15% H 1.0 FI2 60KW 1460rpm 25% H 0.60 FI2 45KW 980rpm 60%

(註) 1. 蓄積能量定數 H 得以下式表示之。

$$H = \frac{J\omega n^2}{2Sn} \cdot 10^{-3} \quad (S)$$

此處 J: 回轉子之慣性力矩 (kg.m²)

$$J = GD^2/4$$

GD²: 飛輪效應 (kg.m²)

n: 額定回轉角速度 (rad/s)

$$\omega n = \frac{2\pi}{60} \cdot n_n$$

n_n: 額定回轉速度 (rpm)

S_n: 額定皮相電力 (KVA)

JIS C 4004-1980.....10, 30, 60, 90 分鐘

JEC-37-1979.....5, 10, 15, 30, 60, 90, 120 分鐘

2. 慣性係數 FI 得以下式表示之。

$$FI = \frac{J_m + J_l}{J_m}$$

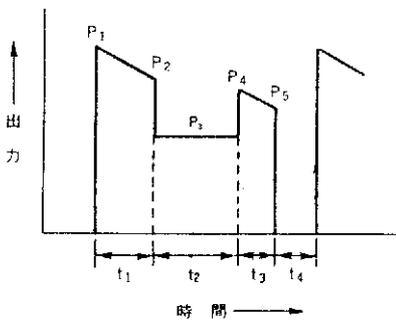
此處 J_m: 電動機之慣性力矩

J_l: 換算成電動機軸之負荷之慣性力矩

(3) 變動負載使用

負載之大小如隨時間而變動時，依下述之二次方平均法將之置換為等價之一定負載則可求出其額定出力。

如圖 2-1 之所示，出力(電流)變化時之二次方平均出力得以下式求得。



$$P = \sqrt{\frac{(P_1^2 + P_1 \cdot P_2 + P_2^2) t_1 + P_3^2 \cdot t_2 + (P_4^2 + P_4 \cdot P_5 + P_5^2) t_3}{3} \cdot \frac{a t_1 + t_2 + a t_3 + b t_4}{3}} \quad \dots\dots\dots \text{式(2-1)}$$

圖 2-1 電動機之出力曲線

此處之 a 為加速或減速中之冷卻係數，b 為停止中之冷卻係數，如全速時之冷卻係數當做 1 時，各各之值則依通風方式或保護方式將如表 2-3 之所示。至於如果知道運轉時之電流曲線時可將 P₁, P₃.....等出力代之以 I₁, I₂.....，求出二次方平均後之電流，亦可選擇擁有較之為大之額定電流之出力之電動機。

表 2-3 冷卻係數

通風構造	a	b
防滴形	0.6	0.3
全閉外扇形	0.7	0.4
他力通風形	1.0	1.0

(4) 反復使用

負載期間與無負載期間連續，或於負載期間後接連停止期間為同一之週期 (cycle)，而以較之到達熱平衡為短之一定之週期作反復之使用謂之反復使用，反復額定之電動機則適用於此種之使用。

反復使用時之額定表示採用 %ED。 %ED 係指電動機之運轉停止做週期性之進行，但運轉時之負載一定時，則以 1 週期中之運轉時間之百分率表示之，在圖 2-2

時則表示如下。

$$\%ED = \frac{\text{運轉時間}}{\text{運轉時間} + \text{停止時間}} \times 100 = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \times 100 \dots \text{式}(2-2)$$

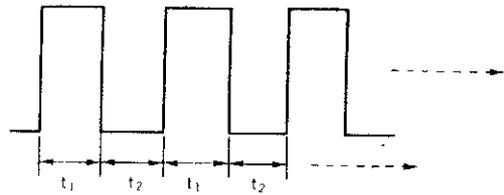


圖 2-2 電動機之週期運轉

至於規格 (JIS C 4004) 時 %ED 之標準為 15% , 25% , 40% , 60% , 而週期 (以圖之例為 t_1+t_2) 為 10 分鐘。

電動機之損失, 其起動時及運轉中分開計算, 並求出 1 週期之平均損失。

a) 起動時之損失

電動機之起動時之發生損失 W_{st} 得以下式求出。

$$W_{st} = \frac{GD^2 \cdot N_s^2 (1 - S^2)}{730} \times \left(1 + \frac{r_1}{r'_2}\right) \times \frac{T_M}{T_M - T_L} (W \cdot S) \dots \text{式}(2-3)$$

此處 GD^2 : 換算成電動機軸之全 GD^2 (kgm^2)

N_s : 同步回轉速度 (rpm)

S : 全負載運轉時之轉差率 (Slip)

r_1 : 一次繞組電阻 ()

r'_2 : 換算為一次之二次繞組電阻 ()

T_M : 電動機之平均轉矩 (%)

T_L : 負載之平均轉矩 (%)

至於, 上述計算詳細進行時有困難, 因此在標準電動機時, 其概略計算時取 ($S = 0, r_1/r_2 = 1$) 作計算亦無妨。

b) 運轉中之損失

起動完了後, 進入於全速運轉後之運轉中之損失 W_r 得以下式示之。

$$W_r = P_r \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) (W) \dots \text{式}(2-4)$$

此處 P_r : 運轉中之電動機出力 (W)

η : 出力 P_r 時之效率

至於, 效率 η 係依出力 P_r 之大小 (負載率) 而變化, 因此應以其對應之值計算之。

c) 制動時之損失

(1) 電動機之逆期相制動時之發生損失得以下式表示之。

$$W_{br1} = \frac{3GD^2 N_s^2}{730} \times \left(1 + \frac{r_1}{r'_2}\right) \times \frac{T_M}{T_M + T_L} (W \cdot S) \dots \text{式}(2-5)$$

(2) 回生制動時之損失 (極數變換電動機時)。

$$Wbr2 = \frac{GD^2 \cdot N_L^2 \left\{ \left(\frac{P_L}{P_H} \right) - 1 \right\}^2}{730} \left(1 + \frac{r_1}{r_1'} \right) \times \frac{T_B}{T_B + T_L} (W \cdot S) \dots \dots \dots \text{式} 2-6$$

此處 N_L : 低速時之回轉數 (rpm)

P_L : 低速時極數

P_H : 高速時極數

T_B : 回生制動轉矩 (%)

d) 平均損失及出力選定

如圖 2-3 所示，如以運轉時間 t_1 (S)，停止時間為 t_2 (S) 時，由起動至下一次起動時之平均損失為如下所示。

$$W_{mean} = \frac{W_{st} + W_r \cdot t_1 + W_{br1}}{t_1 + b \cdot t_2} (W) \dots \dots \dots \text{式} (2-7)$$

因此，電動機之出力係指，該電動機於 100% 負載下運轉時之損失 W_{r100} ，較之以式 (2-7) 所求得之平均損失 W_{mean} 為大而選定之。 W_{r100} 得以額定出力及 100% 負載時之效率代入於式 (2-4) 求出之。

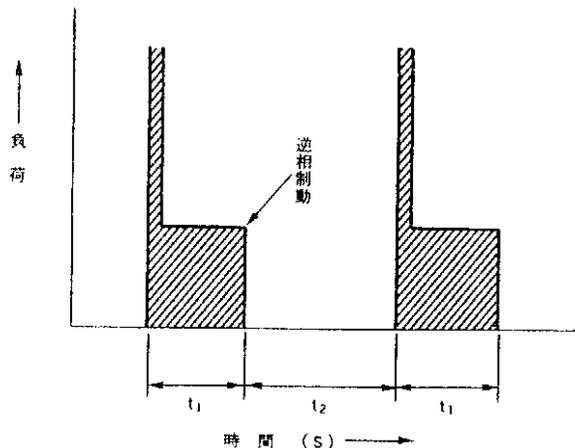


圖 2-3 含起動之總效率 (Duty)

2-4 所需動力之算定例

(1) Pump

$$P = (1.1 \sim 1.2) \frac{Q \cdot H}{6.12 \times \eta} \quad (\text{kW}) \dots \dots \dots \text{式} (2-8)$$

Q: 揚水量 (m³/min)

H: 總揚程 (m)

: pump 效率 (小數點表示)

(2) Fan, Blower

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot K}{6120 \times \eta} \quad (\text{kW}) \dots \dots \dots \text{式} (2-9)$$

Q: 風量 (m³/min)

H: 風壓 (mmAq)

: 送風機效率 (小數點表示)

送風機效率 () 及係數 (K) 之值

種類		K
Propeller Fan	0.5~0.75	1.3
Desk Fan	0.3~0.5	1.5
Sirocco Fan	0.45~0.55	1.20~1.30

Turbo Fan	500HP 以上	0.65~0.75	1.15~1.25
Turbo Fan	500HP 未滿	0.6~0.7	1.15~1.25
Plate Fan		0.5~0.6	1.15~1.25
Turbo Blower	1 段	0.6~0.75	1.10~1.20
Turbo Blower	多段	0.55~0.7	1.10~1.20

(3) Compressor 壓縮機

$$P = 5.83Q(P^{0.286} - 1) \times \frac{1}{\eta} \quad (\text{kW}) \dots \text{式}(2-10)$$

P: 吐出絕對壓力 (kgf/cm²)

Q: 吐出空氣量 (m³/min) (大氣壓換算值)

: 效率 (小數點表示)

段數	效率
一段壓縮	小型空冷 0.5~0.8
	中型水冷 0.7~0.85
二段壓縮	水 冷 0.7~0.9

(吐出壓力 7kg/cm² 時)

(4) Crane 吊車

a. 卷上用

$$P = \frac{W \cdot V}{6.12 \times \eta} \quad (\text{kW}) \dots \text{式}(2-11)$$

W: 卷上部分之總重量 (荷重+吊鉤、吊繩重量) (ton)

V: 卷上速度 (m/min)

: 機械效率 (概算結果, 齒輪 1 段減速時為 0.95 ~0.85, 齒輪 2 段減速時為 0.9~0.7, 蝸齒輪 1 段減速時為 0.5)

b. 橫行 . 走行用

$$P = \frac{K \cdot (W + W_1) \cdot V}{6.12 \times \eta \times 1000} \quad (\text{kW}) \dots \text{式}(2-12)$$

w: 卷上部分之總重量 (ton)

W₁: 橫行時為 Trolley 重量, 走行時為 crane 自重 (ton)

V: 速度 (m/min)

K: 走行阻抗 (屋外用或特殊用吊車機械製造廠家提供。天花板吊車時, 滾筒軸承為 7kg/ton, 滑動軸承時為 12kg/ton)

: 機械效率 (與卷上用時相同)

(5) 卷上機

$$P = \frac{(W + W_t + W_r) \cdot (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \cdot 2\pi R}{6120 \times \eta} \quad (\text{kW}) \dots \text{式}(2-13)$$

W: 荷重 (kg) W

W_t: 運搬車之重量 (kg)

W_r: 卷網自身之不平衡重量 (kg)

R: 卷胴之回轉半徑 (m)

n: 卷胴之每分鐘回轉數 (rpm)

: 卷上方向與水平線之形成角度

μ: 摩擦係數 (0.015~0.03)

: 機械效率 (小數點表示)

(6) 電梯

$$P = \frac{K \cdot V \cdot W \cdot F}{6120 \times \eta} \quad (\text{kW}) \dots \text{式}(2-14)$$

V: 昇降速度 (m/min)

W: 最大積載重量 (kg)

F: 平衡荷重率 (0.5~0.6)

K: 電梯之加速、減速所需轉矩之相關係數 (1.3~1.5)

: 卷上裝置效率 (在齒輪式時為 0.45~0.55, 在無齒輪式時為 0.75~0.8)

[附錄] 考慮平衡配重 (Balance Weight) 時之卷上機所需動力計算例:

重量 1.2ton 之升降籠將 3ton 之貨物以每分鐘 20m 之速度吊升時 (=0.8)

a) 平衡配重沒有時之所需動力 P₁

$$P_1 = \frac{(3+1.2) \times 30}{6.12 \times 0.8} = 25.7 \text{ kW}$$

b) 如圖 a 所示裝設有 2ton 平衡配重時所需動力 P₂

$$P_2 = \frac{\{(3+1.2)-2\} \times 30}{6.12 \times 0.8} = 13.5 \text{ kW}$$

c) 如圖 b 所示裝設有 2ton 平衡配重時所需動力 P_3

$$P_3 = \frac{\{(3+1.2)/2-2\} \times 30}{6.12 \times 0.8} = 0.6 \text{ kW}$$

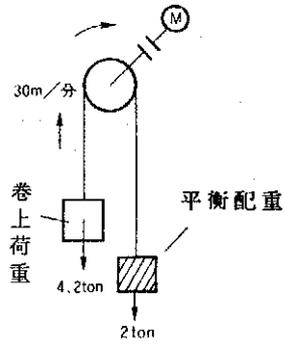


圖 a

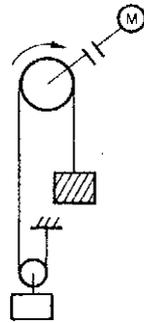


圖 b

(註)：考慮平衡配重時之負載之 GD^2 係以 (卷上荷重 + 平衡配重荷重) 之總重量為考慮。

3. 電壓之選擇方法

3-1 出力及電壓之關係

對於電動機之出力，其額定電壓應如何選定相當重要，其不但能促使電動機之機能作最佳之發揮，同時亦能使動力設備（電源配線、控制機器等）作到經濟有效之投入及營運。例如 JIS C 4210 中，出力至 37kW 為止，電壓 200V 為標準，至於在此之上時，如同時將設備費亦列入於經濟性之考慮，確有加以檢討之必要。

三相感應電動機之額定出力及適正之電壓之關係如圖 3-1 所示。

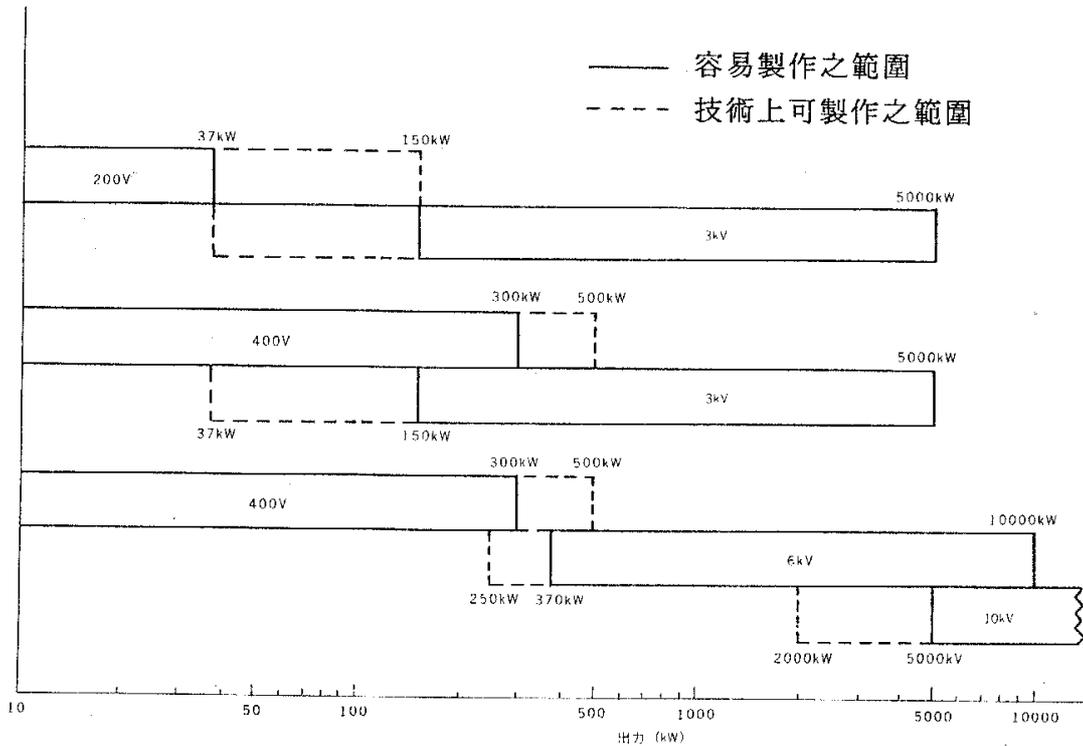


圖 3-1 三相感應電動機額定出力及電壓之關係

3-2 低壓標準電動機之額定電壓

37kW 以下之一般用低壓三相籠形感應電動機之額定電壓於 JIS C4210 中規定為 200V，然本公司之標準電動機之額定電壓則如表 3-1 之所示。

表 3-1 低壓標準電動機之額定電壓

防滴保護形 . 防滴形				出力 (kW)	全閉外扇形			
2極	4極	6極	8極		2極	4極	6極	8極
				0.2				
				0.4				
				0.75				
				1.5				
				2.2				
				3.7			200V-50Hz	
				5.5			200V-60Hz	
				7.5			220V-60Hz	
				11				
				15				
				18.5				

			22		
			30		
			37		
* 3	* 1	* 3	45	* 3	* 1
			55		* 3
			75		
	* 2		90		* 2
			110		
	* 4		132		
			160		* 4

注) * 1.....200/400V-50Hz
200/220/400/440V-60Hz
* 2.....200/400V-50Hz
220/440V-60Hz
* 3.....200V-50Hz, 220V-60Hz
* 4.....400V-50Hz, 440V-60Hz

3-3 主要國家之額定電壓 - 頻率

國名		電壓 (V)		週波數 (Hz)
		單 相	三 相	
北美洲	美國	115/230	230/460	60
	加拿大	115/230	460, 575	60
	墨西哥	110/220	220	60
南美洲	巴西	220	220, 380	50, 60
	阿根廷	220	380	50
	智利	220	380	50
歐洲	英國	240	415	50
	法國	220	380	50
	西德	220	380	50
	義大利	220	380	50
	瑞典	220	380	50
	蘇聯	220	380	50
亞洲	韓國	200	200	60
	台灣	220	220	60
	菲律賓	220	220	60
	香港	200	346, 380	50
	中國	220	380	50
	印尼	220	380	50
	泰國	220	380	50
	馬來西亞	240	415	50

洲	新加坡	230	400	50
	印度	230	400	50
中東	沙烏地阿拉伯	240	415	50
	伊朗	220	380	50
非洲	埃及	220	200	50
	南非	220	380, 400, 500	50
大洋洲	澳洲	240	415	50
	紐西蘭	230	400	50

(註) 上表為各國之代表性電壓 - 頻率之例子，在都市別裡亦有不同之情況，因此務請做好事前之確認。

3-4 電壓、頻率變動之對於電動機特性之影響

至於電源電壓及頻率之變化之對於電動機之影響，於 JIS C 4004(1980) 回轉電氣機械通則中有如此之規定，即「有關起動特性或制動轉矩，除有特別之要求者以外，即使其電壓在額定值之上下 10%，頻率在額定值之上下 5% 之範圍產生變化，於相等於額定出力之負載下使用時，亦不致於有實用上之障礙」。在此所謂不致於有實用上之障礙之意義，係指可持續作安定之運轉，且電動機之壽命不會有明顯之短縮狀態產生之謂，而對於額定狀態所規定之效率、溫升等規範即使有所不符亦可。

茲將電壓、頻率之變化所引起代表性之性能之變化表示於表 3-2。

表 3-2 電壓及頻率之變化對於電動機之影響

特性	電壓變動			周波數變動		
	110%	90%	v%	105%	95%	f%
轉矩(起動 制動 拉升)	+ 21%	- 19%	v^2	- 10%	+ 11%	$1/f^2$
同步速度	不變化	不變化	不變化	+ 5%	- 5%	f
Slip	- 17%	+ 23%	$1/v^2$	微增	微減	-
全負荷電流	- 12%	+ 11%	-	微減	微增	-
起動電流	+ 12%	- 11%	v	- 5~6%	+ 5~6%	$1/f$
全負荷效率	+ 0.5~1%	- 2%	-	微增	微減	-
全負荷功用	- 3%	+ 1%	-	微增	微減	-
最大出力	+ 21%	- 19%	v^2	微減	微增	-
溫度上昇	- 3~4deg	+ 6~7deg	-	微減	微增	-

(註)：在單相馬達時，其起動轉矩，拉升轉矩(Pull-up torque)值原本就低，因此對於電壓變動有特別加以注意之必要。

3-5 不平衡電壓之對於電動機特性之影響

電源之電壓，一般而言，三相之平衡及普通之事，然有時以 v 結線使用變壓器，如有不平衡負載或不平衡故障時，就會造成各相電壓之不平衡。

電壓不平衡時，會產生電動機效率之下降、出力之減少，因局部加熱致絕

緣物之劣化，以及電流之大小的不平衡等現象。一般電壓不平衡率達 5~6% 時，線圈之局部加熱而產生問題。根據日本電機工業技術資料，為了維持長時間之壽命，電壓不平衡有控制在 1% 以內之必要。

不平衡運轉之對於電動機之影響有下列之項目。

- (1) 對於各相之電流會產生不平衡。
- (2) 電流之增大，致溫升提高。
- (3) 輸出減少、輸入增加，致效率下降。
- (4) 功因下降。

至於一般電壓之不平衡表示如下。

$$\text{電壓不平衡率} = \frac{\text{逆相電壓}}{\text{正相電壓}} \times 100 (\%)$$

但，對於簡略計算法，亦有採用 NEMA 規格所定之下列式子。

$$\text{電壓不平衡率} = \frac{\text{相中之最大(或最小)之電壓值} - \text{各相之平均電壓值}}{\text{各相之平均電壓值}} \times 100 (\%)$$

3-6 變頻器 (Inverter) 驅動時之對於電動機之影響

變頻器之與商用電源比較，並非為完全之正弦波，而係屬接近於正弦波之歪波 (畸變波)。變頻器驅動時之對於電動機特性之主要影響如下。

- (1) 電動機之溫升多少會增加。標準電動機於低速使用時，有採取轉矩減低之必要。
- (2) 會產生磁氣音，且與商用電源之驅動相比，噪音多少會增大。如欲減低噪音時，在變頻器與電動機之間插入交流電抗器 (Reactor) 則會有效果。
- (3) 輕負載時之振動多少會變大。
- (4) 電動機與負載機械之間使用油潤滑方式之減速機或變速機時，因低速時之潤滑會變差，須請注意。
- (5) 剎車馬達 (Brake Motor) 時，一體切換回路時之起動時之電壓低，致剎車無法開放。因此，如蒙採用剎車馬達之時，請將剎車之回路連接於變頻器之電源側。
- (6) 單相馬達，因係使用電容器 (Condenser) 或離心開關，故無法作變頻器運轉。

4. 回轉速度之選擇方法

4-1 極數及回轉速度之選擇方法

所謂極數，係指於電動機之中所形成之磁極之數（N 及 S 為一組謂之 2 極），且為 2 之倍數。

同步速度係由此極數及頻率來決定。

$$\text{同頻回轉速度 (rpm)} = \frac{\text{頻率}}{\frac{\text{極數}}{2}} \times 60 = \frac{120 \times \text{頻率 (Hz)}}{\text{極數 (P)}} \dots\dots\dots \text{式 (4-1) 極數與同步}$$

回轉速度之關係如表 4-1 所示。

電動機之負載增加時，會比同步回轉速度降低。

此降低之回轉速度之對同步回轉速度之比率謂之轉差率 (Slip)。

表 4-1 極數及同步回轉速度

極數	同步回轉速度 (rpm)	
	50Hz	60Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600
14	429	514
16	375	450

$$\text{轉差率 (\%)} = \frac{\text{同步回轉速度 (rpm)} - \text{電動機回轉速度 (rpm)}}{\text{同步回轉速度 (rpm)}} \times 100 \dots\dots\dots \text{式 (4-2)}$$

又，電動機之全負載回轉速度得以下式表示之。

$$N = \frac{120 \cdot f}{P} \cdot (1 - S) \quad (\text{rpm}) \dots\dots\dots \text{式 (4-3)}$$

f: 頻率 (Hz), P: 極數, S: 全負載時之轉差率

一般電動機之回轉速度，係將負載機械之速度或傳達裝置之減速比等列入考慮而加以選定。

表 4-2 所示可做為代表性之負載之回轉速度 (極數) 之適用參考。

表 4-2 負載之回轉速度之例

機 械 名	極 數 之 適 用
泵 浦	4 極為最多被採用，2 極亦有使用。
壓縮機	4 極、6 極之皮帶輪帶動。 6 極、8 極、10 極之直結使用最多。
風扇、鼓風機	2 極、4 極使用最多。然最近則以 8 極以上之直結，傾向於低噪音化。
滾軋機、軋碎機	6 極、8 極或 10 極使用最多。

4-2 回轉速度與出力

馬達之出力係與(回轉力×回轉速度)成正比。又，回轉力(轉矩)係與(出力÷回轉速度)成正比。而馬達之極數則與轉數(回轉速度)成反比。因此，相同出力之馬達時，可以得知極數愈少回轉速度愈快，同時轉矩愈小。

轉矩、出力、回轉數之關係式如下所示。

$$\text{全負載轉矩(kg.m)} = \frac{\text{出力(KW)}}{\text{回轉數(rpm)}} \times 975 \dots \dots \text{式(4-4)}$$

4-3 變速運轉

欲將電動機之回轉數傳至負載時，可將負載直結之，使電動機之回轉數原原本本地傳過去，然亦有如第十章之所述，採用皮帶輪、齒輪，作增、減速之使用，或隨負載之變化使電動機本身之速度產生變化之使用情況。

(1) 以皮帶輪、齒輪等之增、減速

電動機軸與負載機械之間，藉著皮帶輪或齒輪等而使之增減速時，負載回轉數 N_l 與電動機回轉數 N_m 之間有如下之關係。

$$N_l = N_m \times \frac{D_m(\text{或} Z_m)}{D_l(\text{或} Z_l)} \dots \dots \text{式(4-5)}$$

D_m : 電動機皮帶輪節圓徑

D_l : 負載側皮帶輪節圓徑

Z_m : 電動機側齒輪齒數

Z_l : 負載側齒輪齒數

又，隨著增、減速之同時，電動機產生之轉矩與負載所需之轉矩之間建立成如下之關係。

$$T_m = T_l \times (\text{減速比或增速比}) \dots \dots \text{式(4-6)}$$

尤其是如以後第 6-2 項之所述，由於增、減速，在電動機軸之飛輪效應亦會改變，故務請注意。

(2) 可變速電動機

電動機之回轉速度如式(4-3)之所示，然因極數、轉差率或頻率改變而可以變速。

a. 極數變換

以改變定部線圈之接續使擁有 2 個以上之極數而設計之電動機，一般係以如 1:2, 2:3, 3:4, 2:3:4:6 那樣之單純之比，而可以使速度作階段性之改變。由於採用極數變換電動機，將可達成如下之效果。

① 於風扇或泵浦等之二次方減低轉矩負載方面，由於速度之切換，可以獲得在低負載時之大的省電效果。

② 由高速切換至低速時，利用回生制動，可提高停機精度，或抑制機械式剎車襯(Brake lining) 之制動工作量。

③ 起動 GD^2 之大的負載時，由低速起動再切換至高速時，可以減少起動時之損失。

b. 繞線形電動機

改變所接續於轉部線圈之外部電阻器之電阻而進行變速者即是。變速範圍大略約 1:2 之程度。

至於繞線形電動機，除了速度控制之目的以外，尚有如下許許多多之選定理由。

①藉由二次電阻器之選定，可以達成以電動機之最大轉矩來起動。

②比例於起動電流，可獲得較高之起動轉矩。

③在起動頻率高且通常之鼠籠形時所無法耐得住熱方面之使用場合。

④在 GD^2 之大的負載下，與③同樣在通常之鼠籠形時所無法耐得住熱方面之使用場合。

⑤於要求緩和起動(Cushion Start)之場合。

(3) 變頻器之變速運轉

以變頻器驅動標準電動機時，亦如 3-6 項之所述，必須注意到在低速時之溫升、噪音及振動，然其最大之魅力乃是可以達到幾乎無段之變速，並且亦可期待如 a、b 之中所述之省電效果，回生制動之應用， GD^2 之大的負載之起動及緩和起動等。

5. 絕緣種類之選擇方法

5-1 絕緣之種類及溫升界限

電動機運轉時，因內部損失而發熱致溫度上升，且經過數小時之後即趨於一定之溫度。電動機之溫度與周圍氣溫之差謂之溫升，如果此溫升之值過高時，將加速絕緣物之劣化或燒損。至於以空氣為一次冷媒，且冷媒溫度之限度為 40 時，在 JEC-37「感應機」中之規定如表 5-1。至於冷媒溫度在 40 以上時，標高超過 1000m 時則溫升限度有修正之必要。

表 5-1 空冷形感應機之溫升限度 (JEC-37) (單位)

項	感應機之部分	A 種絕緣			E 種絕緣			B 種絕緣			F 種絕緣			H 種絕緣		
		溫度計法	電阻法	埋入溫度計法	溫度計法	電阻法	埋入溫度計法	溫度計法	電阻法	埋入溫度計法	溫度計法	電阻法	埋入溫度計法	溫度計法	電阻法	埋入溫度計法
1	定部線圈	-	60	60	-	75	75	-	80	80	-	100	100	-	125	125
2	施以絕緣之轉部線圈	-	60	-	-	75	-	-	80	-	-	100	-	-	125	-
3	籠形線圈	此部分之溫度無論如何亦不能高到能造成近傍之絕緣或其他之材料損傷之溫度。														
4	未接觸到線圈之鐵心或其他之部分															
5	接觸到線圈之鐵心或其他部分	60	-	-	75	-	-	80	-	-	100	-	-	125	-	-
6	換向器及滑環 (Slip ring)	60	-	-	70	-	-	80	-	-	90	-	-	100	-	-
7	軸承 (自冷式)	於表面測定時 40 ，將溫度計素子埋入於軸承合金加以測定時 45 ，使用耐熱性良好之潤滑劑時，於表面測定時 55 ，但，水冷式或以特殊耐熱潤滑時則根據當事者間之協議。														

(註)：只要施以合適於溫升之絕緣，6 項之溫升是被允許的，但，換向器或滑環 (Slip ring) 接近於線圈時，則不得超過線圈絕緣種類之溫升。

茲將大同馬達之絕緣種類表示於如下之表 5-2。又本公司低壓亂繞線圈之標準絕緣構成之規範例則如表 5-3 之所示。

表 5-2

出力 (kW)	防滴保護形				全閉外扇形				安全增防爆形			耐壓防爆形		
	2 極	4 極	6 極	8 極	2 極	4 極	6 極	8 極	2 極	4 極	6 極	2 極	4 極	6 極
0.2	/				E 種絕緣				E 種絕緣			E 種絕緣		
0.4														
0.75	E 種絕緣				E 種絕緣				E 種絕緣			E 種絕緣		
1.5	E 種絕緣				E 種絕緣				E 種絕緣			E 種絕緣		
2.2	E 種絕緣				E 種絕緣				E 種絕緣			E 種絕緣		
3.7	E 種絕緣				E 種絕緣				E 種絕緣			E 種絕緣		

5-2 絕緣種類之決定方法

一般絕緣之種類，在各國規格或製造廠商之設計內容中雖有所規定，然從周圍狀況或信賴性方面之觀點，有下列之情況須加檢討。

(1) 溫升希望取高時

如欲進行頻繁之起動，逆相制動等時，即會產生如前面 2-3 所說明過之電動機之發熱增加，而溫升會超過規格值之現象。在此種之情況時，如採用出力大之電動機，或加大框號亦可迎合所需勝任工作，但是如因電動機加大而會有麻煩時，則就有提高絕緣等級之必要。

(2) 冷媒溫度偏高時

決定電動機溫升時之基準冷媒溫度，在空氣冷卻時為 40℃，因此冷媒(空氣)溫度超過 40℃ 時，如不將該剛好之超過部分以降低溫升限度使用，則會超出絕緣之容許溫度，縮短壽命，而形成燒損事故之原因。

絕緣種類係依冷媒溫度之值而定，然其他對於軸承之溫度亦需考慮。此即軸承方面亦有溫升問題，如果周圍溫度升高亦會隨之升高，因此須使用耐熱滑脂(Grease)，亦有採用軸承之間隙之較大(例如 C₃ 間隙)者。

又，H 種絕緣時，其電動機之表面處理(塗裝方法)亦須變更。

(3) 壽命或信賴性希望提高時

周圍溫度在 40℃ 以下，或將絕緣種類變更為更上之等級者時，則可以達到較該絕緣之溫升限度為低之溫升，並可延長壽命或提高信賴性。

(4) 希望小形化時

希望電動機小形化時，會與(1)之情況相同，其溫升會提高，因此必須提升絕緣種類之等級。

[附錄] 絕緣之溫升限度需修正時

於冷媒溫度 40℃，標高 1000m 以下之場所使用時，其各絕緣之溫升限度如表 5-1 所示，然而隨著冷媒溫度或標高之變化，各溫升限度須做如下之修正(依 JIS C 4004)。

(a) 冷媒溫度經常未達 30℃ 時

針對表 5-1 之值提高 10

(b) 冷媒溫度在 40~60℃ 時

將表 5-1 之值降低與 40℃ 之相差部分

(c) 冷媒溫度 40℃ 而標高在 1000~4000m 時

1000m 以上每超過 100m，各降低表 5-1 之溫升限度之 1%

例如：F 種絕緣之馬達於標高 3300m 之處使用時 $100 - \left\{ (100 \times 0.01) \times \frac{3300 - 1000}{100} \right\} = 77$

.....此即其溫升限度

(d) 冷媒溫度未滿 30℃ 而標高在 1000~4000m 時

(a) 與 (c) 兩方面均考慮，即 F 種絕緣之馬達在標高 3300m，冷媒溫度 28℃ 使用時，其溫升限度變成 $(77 + 10) = 87$

6. 起動時間與 GD^2

6-1 起動時間之計算

電動機從停止之狀態到達速度 N_m 時，其加速所需之時間係由其 GD^2 (飛輪效應) 及加速轉矩而定。

$$t = \frac{GD^2}{375} \int_0^{N_m} \frac{dn}{T_\alpha} = \frac{GD^2 \cdot N_m}{375 \cdot T_\alpha} \dots \dots \dots \text{式(6-1)}$$

GD^2 : [電動機之 GD^2] + [換算為電動機後之負載之 GD^2] ($kg \cdot m^2$)

T : 加速轉矩 ($kg \cdot m$)

N_m : 回轉速度 (rpm)

此處之平均加速轉矩，如圖 6-1 所示，係指由電動機之發生轉矩減去負載轉矩後之轉矩，亦即為了使負載加速之實際轉矩之平均值之謂，設電動機之轉矩曲線為 T_m ，負載之轉矩曲線為 T_{1a} 時，則式 (6-1) 得以下列之式 (6-2) 表示之。

$$t = \frac{\sum GD^2 \cdot N_m}{375 T_\alpha} = \frac{\sum GD^2}{375} \cdot \frac{N_m}{T_m - T_{1a}} (s) \dots \dots \dots \text{式(6-2)}$$

此處電動機及負載之轉矩曲線 T_m ， T_{1a} 為必要條件，由於欲以上式求出加速時間非常困難，實際上係由如下之近似方法求出加速時間。

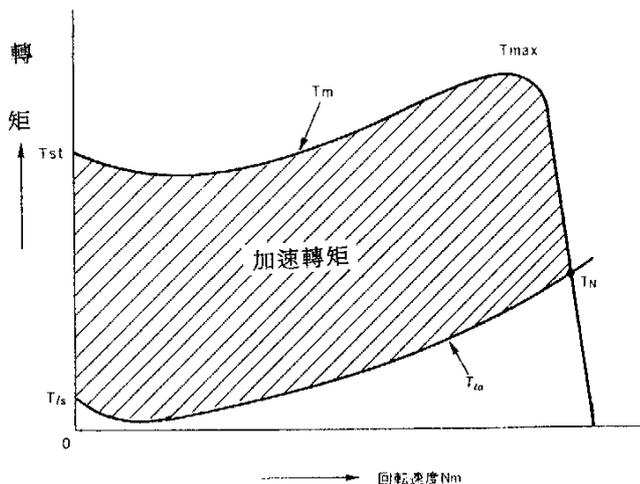


圖 6-1 轉矩 - 回轉速度曲線

(1) 電動機之發生轉矩

近似之計算方法如下。

$$T_m = \frac{\text{起動轉矩} + \text{制動轉矩}}{2} = \frac{T_{st} (\%) + T_{max} (\%)}{2 \times 100} \times T_N (kg \cdot m) \dots \dots \dots \text{式(6-3)}$$

T_N : 額定轉矩

(2) 負載轉矩 T_{1a}

按照負載轉矩特性，其近似於如下。

a. 二次方減低轉矩特性之負載 (風扇、鼓風機等)

負載轉矩與回轉速度之二次方成正比時，其平均之負載轉矩 T_{1a} 近似如下。

$$T_{1a} = 0.3 \times T_N \dots \dots \dots \text{式(6-4)}$$

T_N : 額定轉矩

b. 轉矩一定之負載 (工作機械之送料、輸送帶、攪拌機、印刷機等)
 負載轉矩與回轉速度無關而一定時

$$T_{1a} = T_N \dots \dots \dots \text{式 (6-5)}$$

T_N : 額定轉矩

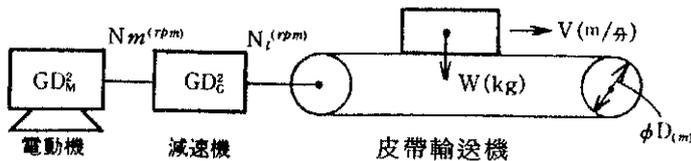
(3) 起動時間之計算

以 (1) (2) 項求得後代入於式 (6-2) 時結果如下。

$$t = \frac{\sum GD^2 \times Nm}{375 \times (T_m - T_{1a})} = \frac{(GD_M^2 + GD_L^2) \times Nm}{375 \times \left\{ \frac{T_{st}(\%) + T_{max}(\%)}{2 \times 100} \times T_N - T_{1a} \right\}} \text{ (s)} \dots \dots \dots \text{式 (6-6)}$$

此處 GD_M^2 : 電動機之 GD^2 ($kg \cdot m^2$)
 GD_L^2 : 負載之 GD^2 ($kg \cdot m^2$)
 N_m : 電動機之額定回轉速度 (rpm)
 T_N : 額定轉矩 ($kg \cdot m$)

[附錄] 皮帶輸送機之 GD^2 計算, 例:



$$\text{皮帶輸送機之 } GD_L^2 = WD^2 \dots \dots \dots (a)$$

將此換算為電動機軸時, 由式 (6-8)

$$GD_L^2 \times \left(\frac{N_1}{N_m}\right)^2 \dots \dots \dots (b)$$

因此, 換算成電動機軸時, 其 GD^2 之和 GD^2 為

$$\sum GD^2 = GD_M^2 + GD_G^2 + GD_L^2 \times (N_1/N_m)^2 \dots \dots \dots (c)$$

又, 輸送機 (Conveyer) 滾輪之直徑 D 可表示如下,

$$D = \frac{V}{\pi N_1} \dots \dots \dots (d)$$

$$\text{故代入於 (a) 時, } GD_L^2 = W \cdot \left(\frac{V}{\pi N_1}\right)^2 \dots \dots \dots (e)$$

再將此代入於 (b), 可得

$$GD_L^2 \times \left(\frac{N_1}{N_m}\right)^2 = W \cdot \left(\frac{V}{\pi N_1}\right)^2 \times \left(\frac{N_1}{N_m}\right)^2 = W \cdot \left(\frac{V}{\pi N_m}\right)^2 \dots \dots \dots (f)$$

因此 (c) 式亦可表示如下。

$$\sum GD^2 = GD_M^2 + GD_G^2 + W \cdot \left(\frac{V}{\pi N_m}\right)^2$$

6-2 負載之飛輪效應 (GD^2)

利用感應電動機, 使擁有大 GD^2 之負載作起動、制動時, 隨著該起動時間、制動時間之同時, 電動機內之定部線圈或轉部導體會造成溫度上升之大問題。茲

就 GD^2 說明如下。

(1) 何謂 GD^2

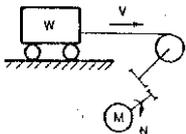
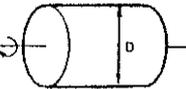
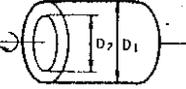
在直線運動中，將力量加諸於物體，且在一定時間內由靜止狀態到一定速度為止時，愈重者所需力量愈大。同理，為使物體在回轉軸之周圍回轉並於一定時間內達一定速度所必要之回轉力，與物體之重量及其形狀有關，且對於回轉軸之周圍愈寬大之大物體愈需要大的回轉力。以形狀、質量(相當於直線運動之重量)所擁有之固有之值，一般稱之為 GD^2 。

(2) GD^2 之求出方法

以電動機帶動負載機械時，電動機本身所擁有回轉體之 GD^2 以外，一定多少會與聯結器、軸、齒輪等之回轉體一起使用，而其分別均擁有 GD^2 。不僅是回轉運動，直線運動時亦有 GD^2 ，因此關於運動機之負載 GD^2 之考慮時，在知悉回轉軸之回轉運動之同時，必須知道裝置全體之慣性。

GD^2 之單位為 $(kg\ m^2)$ ，代表性之形狀之回轉體其 GD^2 之求出方法及直線運動之 GD^2 如表 6-1 所示。

表 6-1 GD^2 之求法之例

圖形	計算式	備考
	$GD^2 = W \left(\frac{V}{\pi N}\right)^2 (kgm^2)$ W: 物體之重量 (kg) V: 物體之速度 (m/min) N: 電動機之回轉速度 (rpm)	由電動機至機械之減速比可以不考慮(已含於速度 V)使用於卷上卷下,皮帶輸送機等之 GD^2 之計算。
	$GD^2 = \frac{1}{2} WD^2 (kgm^2)$ W: 丹柱之重量 (kg) D: 丹柱之直徑 (m)	使用於軸之 GD^2 之計算等
	$GD^2 = \frac{1}{2} W (D_1^2 + D_2^2) (kgm^2)$ W: 中空丹柱之重量 (kg) D ₁ : 丹柱之外徑 (m) D ₂ : 丹柱之內徑 (m)	使用於回轉圓筒之 GD^2 之計算等

GD^2 與工學系之慣性力之間具有 $GD^2=4gI$ 之關係。

(3) 電動機軸與負載軸之回轉速度相異時

如圖 6-2 所示，電動機與負載經由變速機加以連結時，則必須將負載軸之 GD^2 換算為電動機軸。茲將負載之 GD^2 當 GD^2_1 ，將其回轉速度當作 N_1 ，且將此換算為回轉速度 N_m 之電動機軸時之 GD^2 當作 GD^2_{m1} 時，則為

$$GD^2_{m1} = GD^2_1 \times \left(\frac{N_1}{N_m}\right)^2 \dots\dots\dots \text{式}(6-7)$$

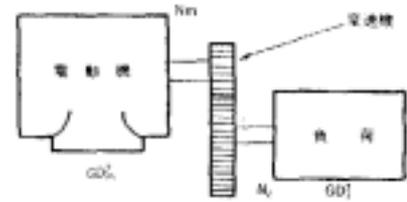


圖 6-2 變速機連結

即在減速時 ($N_1/N_m < 1$) 所換算為電動機軸之負載之 GD^2 變小，而在增速時

($N_1/N_m > 1$) 則變大。因此，電動機之 GD^2 當作 GD^2_m 時，則電動機軸之 GD^2 之計算如下：

$$GD^2 = GD^2_m + GD^2_{m_1} = GD^2_m + GD^2_1 \left(\frac{N_1}{N_m}\right)^2 \dots \dots \dots \text{式(6-8)}$$

6-3 容許負載 GD^2

(1) 何謂容許負載 GD^2

最近鼠籠形感應電動機之構造堅固，保養使用容易，而加以其價格亦比較便宜之優點，從電源容量之增強，對於過去一直是採用繞線形之鼓風機 (Blower) 等之 GD^2 大的負載機械亦逐漸在採用籠形馬達。

如 2-3-(4)-(a) 之式 (2-3) 之所述，於電動機之起動時，在電動機之內部會產生比例於 GD^2 大小之損失。因此欲起動 GD^2 大之負載機械時，因加速需花時間，且持續流通起動電流，致一次開關之過載繼電器會跳脫 (Trip)，或促使電動機加熱。

GD^2 之起動時之損失係發生於轉部線圈 (導體) 及定部線圈之雙方，一般而言，對轉部導體之影響大，如在 GD^2 非常之大，起動頻度高時，導體之溫度達異常之值，電動機會受到損傷，且因反復受到衝擊荷重會發生熱疲勞，並導致破損。

因此，在電動機當中，均各自具有其可以起動之最大 GD^2 ，此謂之容許負載 GD^2 。標準電動機之容許負載 GD^2 值另表示於他冊之技術資料，至於該值，以下列條件所求得之值，一般係以如鼓風機那樣之負載作假設。

(a) 當作以額定電壓、額定頻率做直接之起動者。

(b) 從電動機各部之溫度相等於周圍溫度開始起動時 (即所謂之 cold start) 為連續 2 次 (但，第 2 次之起動係於第一次之起動進行後，切掉電源使之自然停止後所進行者)。又，從各部之溫度不超過以額定負載連續使用時之溫度之狀態起動時 (即所謂之 hot start) 為 1 次。

(c) 負載轉矩 (加速時間中)，與回轉速度之二次方成正比，且在額定回轉速度時為不超過電動機之額定轉矩者。

(2) 起動方式與容許 GD^2

茲將於 2-3-(4)-(a) 說明過之式 (2-3) 再舉出來視之。

$$W_{st} = \frac{GD^2 \cdot N_s^2 (1-s^2)}{730} \times \left(1 + \frac{r_1}{r'_2}\right) \times \frac{T_M}{T_M - T_L} (W \cdot S)$$

由此式可以得知，起動時所發生之熱損失與 GD^2 成正比，而與加速轉矩 ($T_M - T_L$) 成反比。在降壓起動時，電動機之轉矩 T_M 比例於端電壓之二次方而減少，而另一方面，負載轉矩卻與電壓無關而保持一定，因而所得到之差之加速轉矩則減少，其結果使熱損失增大。因此 GD^2 之大時，以直接起動對於熱的方面有利，但從所謂抑制起動電流，或減輕起動時之機械上衝擊之觀點，以降壓起動者亦不少，故對於 GD^2 之大時之起動方式，每次均有加以檢討之必要。

(3) 反覆使用時之容許負載 GD^2 及容許出力

於電動機之加速中轉部導體所發生之熱量僅由 GD^2 及回轉速度來決定。然而即使負載之 GD^2 較容許 GD^2 為小，其起動頻度極多，且其時間間隔短而無法期待充分之冷卻效果時，將蓄積異常之過熱致轉部之導棒膨脹。由於導棒之膨脹往軸

方向伸展，在某範圍程度之伸展雖不會造成問題，然隨著短路環(End Ring)膨脹之同時將導棒往外側押開，致使承受到變曲力矩(Bending moment)而形成導棒發生龜裂或破損之原因。又因膨脹而與鐵心之間產生鬆動致起動中會振動，且因反覆之應力而使導棒斷裂。因此機械之 GD^2 與起動頻度之關係很重要。故對於標準電動機其 1 分鐘之起動次數 n 及運轉間隔(%ED)有所關連。

反覆週期比起電動機之熱時定數如短到可以忽略之程度時，以 1 週期之平均損失相等於電動機之最大容許損失之條件可以求出 $n \cdot GD^2$ 、容許出力 KW。圖 6-3 所示即為 $n \cdot GD^2 - \%ED$ 特性曲線之一例。

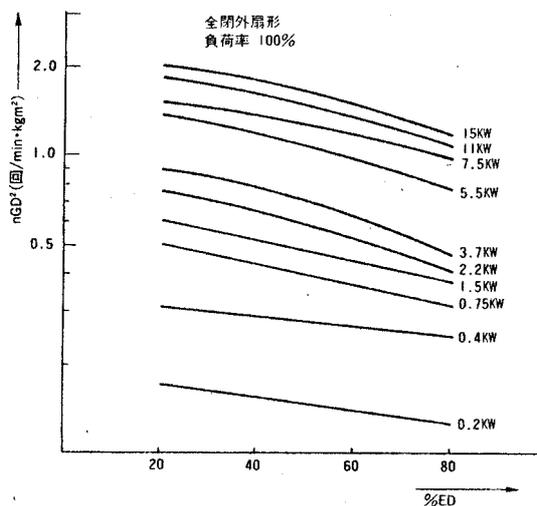


圖 6-3 $n \cdot GD^2 - \%ED$ 特性

7. 起動

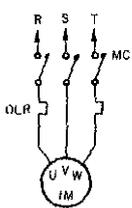
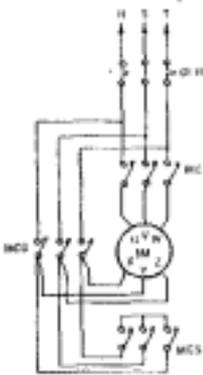
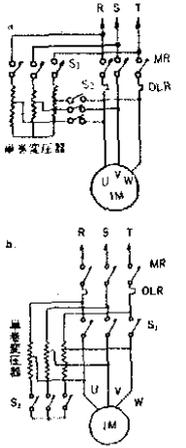
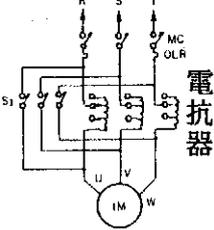
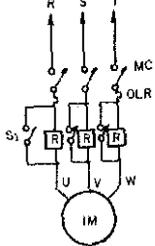
7-1 起動方式之選擇方法

將電源電壓(額定電壓)直接加諸於三相感應電動機時,起動電流所流通之電流約為全載電流之 500~700%,而產生之起動轉矩約為 150~200%左右。因此在起動時會帶給對方機械很大之衝擊,並且當電源容量不大時,由於起動電流之關係,電壓降會增加,導致明顯之電壓擺動,引起連接同一電源之其他負載之機能故障等現象會發生。另一方面,為了減少起動電流,將電壓降低固然可以達到目的,但必然地亦會導致電動機轉矩之下降,並且會拉長起動時間。

鼠籠形感應電動機有種種之起動方式,然在做決定時必須考慮下列幾點。

- (1) 電源容量。
- (2) 所容許之起動電流以及與起動、加速轉矩之調和及起動時間。
- (3) 對於對方機械所造成之起動時之衝擊。
- (4) 有關電動機之起動時之規格、規定。

至於起動方式之種類,其主要之方法可列舉如下(表 7-1)。

起動項目方法	全壓起動	降壓起動				
		Y- 起動	起動補償器起動	電抗器起動	一次電阻起動	
內容	將電源(額定)電壓直接加諸於電動機	起動時將電動機之線圈作 Y 之結線,使加諸於各線圈之電壓為 $1/\sqrt{3}$, 起動後,於額定轉數之 70~90%時切換為 結線。	a. Compensator 起動 將加於一次線圈之電壓利用單卷變壓器減壓之。 b. Korndorfer 起動 起動時以變壓器減壓,其次將變壓器之中性點切離而成為電抗器最後短路之,以全電壓加之。	將電抗器串聯介入於電動機之一次側而減壓之。	將電阻插入於電動機之一次側而減壓之。	
結線圖						
諸特性	起動電流	1	1/3	$\frac{m_1}{100}^2$	$\frac{m_2}{100}$	$\frac{m_3}{100}$
	起動轉矩	1	1/3	$\left(\frac{m_1}{100}\right)^2$	$\left(\frac{m_2}{100}\right)^2$	$\left(\frac{m_3}{100}\right)^2$

加速性	<ul style="list-style-type: none"> · 加速轉矩最大 · 起動時衝擊大 	<ul style="list-style-type: none"> · 轉矩之增加小 · 最大轉矩小 	<ul style="list-style-type: none"> · 轉矩之增加稍小 · 最大轉矩稍小 · 圓滑之加速 	<ul style="list-style-type: none"> · 轉矩之增加大 · 最大轉矩大 · 圓滑之加速 	<ul style="list-style-type: none"> · 轉矩之增加大 · 最大轉矩大 · 圓滑之加速
適用等	如電源容量足夠時，一般最常用。	<ul style="list-style-type: none"> · 一般 5.5kW 以上之電動機，可以無載或實負載起動者。 · 減壓起動方法最為一般。 · 工作機，有離合器之作業機械等。 	<ul style="list-style-type: none"> · 起動電流須特加抑制者 · 大容量電動機。 · 泵浦、風扇、鼓風機、離心分離機等。 	<ul style="list-style-type: none"> · 二次方降低轉矩負載。 · 紡織機械等之緩和起動用等。 	<ul style="list-style-type: none"> · 二次方降低轉矩負載。 · 小容量電動機 (7.5kW 以下)。

註：1. m_1 ：單卷變壓器之分接頭電壓 (%)

m_2 ：起動電抗器之分接頭電壓 (%)

m_3 ：起動電阻之分接頭電壓 (%)

2. 起動補償器之起動電流係將激磁電流忽視之 (實際上會增大 10~20% 左右)

7-2 起動時之電壓降及電源容量

當大的起動電流流通時，會引起明顯之電壓下降，且對所需電源容量，配線尺寸大小，保護裝置等之決定有很大之影響，因此，在事前對於電動機之起動特性有了解之必要。

(1) 起動輸入特性

鼠籠形電動機之起動輸入特性，根據 JIS C 4210-1983 [一般用低壓三相籠形感應電動機] 時如表 7-1 所示，其起動輸入 (KVA) 與額定出力 (KW) 之比有所規定。此值所表示者係指不採用起動裝置時之起動輸入特性。

起動輸入特性得以式 (7-1) 表示之。

起動輸入 (KVA) 與額定出力 (KW) 之比

$$= \frac{\sqrt{3} \times E \times I_{st} \times 10^{-3}}{P_R \times 10^{-3}} \text{ (kVA/kW)} \dots \dots \text{式(7-1)}$$

E：額定電壓 (V)， I_{st} ：起動電流 (A)， P_R ：額定出力 (kW)

表 7-1 對於額定出力 kW 之起動輸入 Kva

(JIS C 4210)

額定出力 kW	對於額定出力 kW 之起動輸入 kVA kVA/kW
0.2~5.5	13 以下
7.5~22	12 以下
30~37	11 以下

備註：額定出力 0.2kW 及 0.4kW 僅為全閉形而已。

又，如果已知起動輸入特性 (KVA/KW) 之值，即可由式 (7-1) 求出電動機之起動電流。

(2) 起動時之電壓下降

如前所述，鼠籠形電動機流通大的起動電流時會引起電源之電壓下降。電動機有直接接續於發電機及經由變壓器而接續之情況。接續於發電機之情況時，雖然會產生瞬間電壓下降，然由於自動電壓調整器等電壓會回復。但是在變壓器之

情況時，只要電流有流通時電壓不會回復。

電壓下降係由變壓器電纜等之阻抗 (Impedance) 所引起，可由下式之簡略計算求出之。

$$E_d = E_1 \times \frac{Z_m}{\sqrt{(R_m + R_s)^2 + (X_m + X_s)^2}} \text{ (V)} \dots\dots\dots \text{式(7-2)}$$

E_d : 電壓下降時之電動機端電壓 (V)

E_1 : 起動時之初期電壓 (V)

Z_m : 電動機之起動時阻抗 ()

R_m : 電動機之起動時電阻 ()

X_m : 電動機之起動時電抗 ()

R_s : 變壓器、電纜等回路之電阻 ()

X_s : 變壓器、電纜等回路之電抗 ()

電壓下降會導致接續於其同一電源之電動機、控制器具、照明器具等之故障，故須加注意。

容許電壓降一般在經由變壓器接續之情況時希能控制在 15% 以下為宜。電壓降大時，必須採取減小電動機起動電流之起動方式，或加大變壓器容量等之對策。

(3) 變壓器容量之決定方法

電動機之變壓器容量一般係依據下式。

$$\text{電壓器容量 (kVA)} = \frac{\text{電動機出力 (kW)}}{[\text{電動機之功因}] \times [\text{電動機之效率}]}$$

但是，實際上係依據變壓器本身之特性或電動機及負載所容許之電壓降加以計算。然因該計算稍嫌繁雜，故在此，於圖 7-1 表示於事先做如下條件設定時之電動容量與變壓器二次電壓之關係。

- 1) 起動電流為額定電流之 5.5 倍
- 2) 電源之短路容量

變壓器組容量 (KVA)	短路容量 (MVA)
10~300	25
500~1,000	50
1,500~3,000	100

註：Transformer Bank (變壓器組)

3) 變壓器阻抗 (Impedance)

變壓器組容量 (KVA)	阻抗 (%)
10~50	3
75~150	4
200~500	5
750~2,000	5.5
3,000~10,000	6

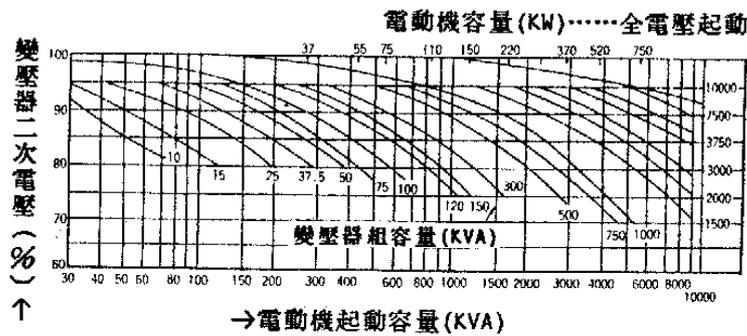


圖 7-1

7-3 電纜 (Cable) 所造成之電壓降

選定電動機之配線電纜時，檢討電纜之容許電流、機械強度及電壓下降為其重點。

在決定接續於電動機之電纜尺寸時，請以電纜中流通之線電流在電纜之容許電流以下來做選定。

依電動機之起動方式，其流通於電纜中之線電流則如下。

a. 全電壓起動，電抗器 (Reactor) 起動，Korndorfer 起動方式

電纜之線電流 = 電動機之電流

b. Y- 起動方式

電纜之線電流 = $\frac{\text{電動機之電流}}{\sqrt{3}}$

電動機之端電壓，因電纜之阻抗而發生電壓降，以致於較電源電壓為低。此電纜所造成之電壓降，在三相 3 線式時得以下式求出其近似值。

a. 全電壓起動，電抗器起動，Korndorfer 起動

$$\Delta e = \sqrt{3} \times I \times l \times k \times \left(\frac{235+t}{255} \right) \times 10^{-3} \times \cos \theta \text{ (V)} \dots \text{式(7-3)}$$

b. Y- 起動

$$\Delta e = \frac{2 \times I \times l \times k \times \left(\frac{235+t}{255} \right) \times 10^{-3} \times \cos \theta}{\sqrt{3}} \text{ (V)} \dots \text{式(7-4)}$$

e: 電壓降 (V) I: 電動機電流 (A) COS : 電動機功因

l: 電纜之長度 (m) k: 電纜電阻 (/km at 20) t: 電纜之溫度 ()

此電壓降大時對於電動機之特性會有影響，故請限制在 2% 以下。為了使電壓降盡量減小起見，必須使電纜之線徑加粗。尤其是配線距離長時，其電壓降會增大，故須謹慎考慮。

200V 級三相鼠籠形感應電動機之配線之概略情況如表 7-2 所示。使用 F 種絕緣等高溫絕緣材料之電動機，因其端子箱內之溫度亦比較高，故其使用之配線用電纜或絕緣綁帶 (Tape) 須採用耐熱性良好之材料。

表 7-2 電動機之配線

出力 (kW)	超過刻度電流計 (A)	配線之最小粗度 (銅) *註 1	接地線之最小粗 度(銅)	手邊(現成)保險 絲容量(A) *註 2	手邊開閉器容量 (A) *註 2
0.2	5	1.6mm	1.6mm	15	15
0.4	5	1.6mm	1.6mm	15	15
0.75	5	1.6mm	1.6mm	15	15
1.5	10	1.6mm	1.6mm	15	15
2.2	10	1.6mm	1.6mm	20	30
3.7	15	2.0mm	2.0mm	30	30
5.5	30	2.6mm	2.6mm	50 (30)	60 (30)
7.5	30	3.2mm	2.6mm	75 (50)	100 (60)
11	60	14mm ²	14mm ²	100 (50)	100 (100)
15	60	22mm ²	14mm ²	100 (100)	100 (100)
18.5	100	30mm ²	14mm ²	150 (100)	200 (100)
22	100	38mm ²	14mm ²	150 (100)	200 (100)
30	150	50mm ²	22mm ²	200 (150)	200 (200)
37	200	80mm ²	22mm ²	200 (150)	200 (200)

註：1. 配線之最小粗度係表示金屬管收容 3 條配線時。

2. 保險絲 (Fuse) 為 B 種保險絲，() 內之數字表示採用起動器時。

8. 功因之改善方法

“電動機之功因低”係指為產生替代作功之磁通所需電流之比率大之意，且能源消耗增大。

電動機單體時之功因改善，其方法有增加鐵心斷面積使磁通密度減小，或選定負載率接近於額定負載且可以運轉之出力等，但一般之情況時，其最經濟之方法係裝置進相電容器以進行功因改善。

功因改善之優點有：①降低配電線路之電力損失；②減少電壓降；③同一配電設備時負載容量之增加；④電力費用之基本電費之打折等。

以進相電容器作功因改善時之所需電容器容量 Q_C (KVA)，如已知電動機之出力 P (kw)，電動機之效率 η_0 ，電動機之功因 $\cos\theta_0$ ，進而訂出改善目標功因 $\cos\theta_1$ 時，即可以下式計算之。（參看圖 8-1）。

$$Q_C = \frac{P}{\eta_0} (\tan\theta_0 - \tan\theta_1) = \frac{P}{\eta_0} \left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_0} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_1} - 1} \right) \dots\dots\dots \text{式}(8-1)$$

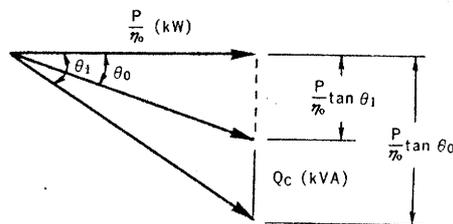


圖 8-1 電容器容量之算出

又，KVA- μF 之換算得以式 (8-2) 計算之。

$$C (\mu F) = \frac{Q_C - 10^9}{2\pi \cdot f \cdot E^2} \dots\dots\dots \text{式}(8-2)$$

f : 周波數 (Hz)， E : 額定電壓 (V)

但，電容器容量過大時會造成進相功因，且會產生電源電壓之上升、變壓器之過熱等之損失，故電容器容量不得大於電動機之無效分須小心。

[附錄] 功因改善用電容器之容量算出例

設額定出力 $P=37\text{kw}$ ，額定負載時之效率 $\eta_0=0.86$ ，改善前之功因 $\cos\theta_0=0.86$ ，改善後之功因 $\cos\theta_1=0.95$ ，又額定電壓頻率為 $200\text{V}-50\text{HZ}$ 時，首先以式 (8-1) 中之

$$\left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_0} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2\theta_1} - 1} \right) = \delta$$

而由圖 8-2 求出 $\delta=0.26$ 。

$$\text{因此電容器容量 } Q_C \text{ 為 } Q_C = \frac{37}{0.92} \times 0.26 = 10.4 \text{KVA}$$

$$\text{如以 } \mu F \text{ 表示時即為 } C = \frac{10.4 \times 10^9}{2 \times 3.14 \times 5 \times 200^2} = 830 \mu F$$

但，當實際之電容器選定時，因有電容器之標準靜電容量之關係，請向各電容器之製造廠商加以確認。

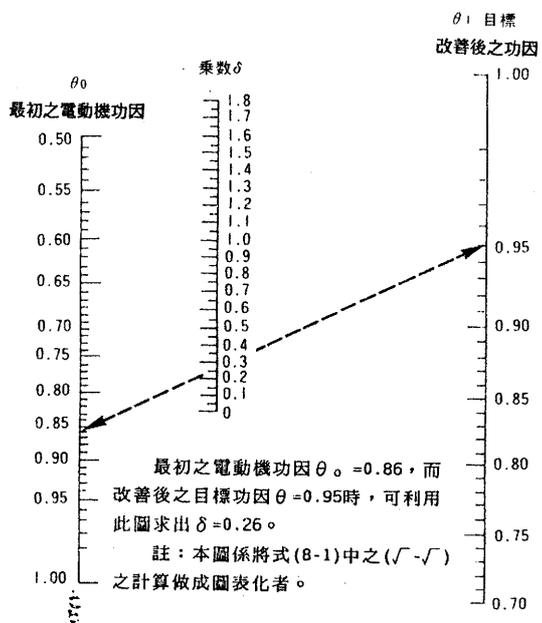


圖 8-2 乘數 之求法

9. 保護構造之選擇方法

使用電動機時，其所設置之環境，適合於周圍空氣之外被構造及保護構造之選定，對於電動機原來性能之發揮極為重要。如果該選定不適切時，不但會減低電動機之壽命，也是造成故障之原因，因此須充分加以注意。

9-1 依保護方式之分類

對以前之分類方法，以 IEC 所規定之保護方式 (IP) 為根據作細分化，並制定了將定義、試驗明確化之保護方式 (JP) 之分類。

(JISC4004)

依回轉機外被之保護方式為

(1) 關於人體及固體異物之保護形式 (第 1 形式名或第 1 記號)

保護人體使不觸及回轉機內之回轉部分或導電部，或對於固體異物之侵入於回轉機之保護之形式，共分成 5 種類。

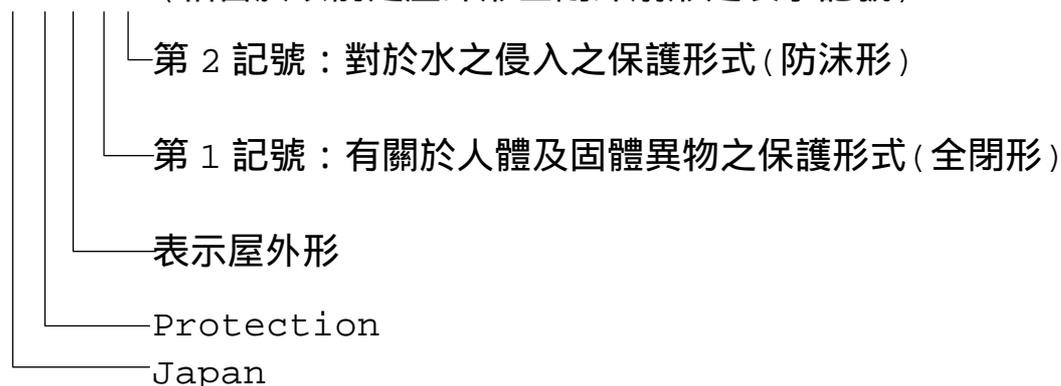
(2) 對於水浸入方面之保護形式 (第 2 形式名或第 2 記號)

對於水之侵入於回轉機之保護之形式，共分成 8 種類。

保護方式之記號表示如下例之所示，以第 1 記號、第 2 記號之順序並排，並對該記號冠以 JP。(形式名時亦同)

〔保護方式之記號表示例〕

JPW44 (相當於以前之屋外形全閉外扇形之表示記號)



形式名時即為屋外全閉防沫形。

(備考)

(1) 出口線不作保護 (無端子箱) 之保護方式係於 JP 前附加 BODY，而以「BODY JP」表示之。

(2) 屋外形時為 W、防爆形時為 E、對其他有害之外氣之保護形式時為 C，並將此插入於 JP 及記號之間。

記號 W、E、C 中有 2 種以上插入時，依 W、E、C 之順序並排之。

(3) 對於水之侵入之保護形式之試驗，於回轉機之停止中或回轉中進行時，分別將 S 或 M 添附於記號之後。如無此之表示時，則對於停止中，回轉中兩者均進行試驗。

表 9-1 保護方式之種類

對於水之侵入之保護形式 有關人體及固體異物之保護形式		第 2 形式名	無保護形	防滴形	防雨形	防沫形	防噴流形	防波浪形	防浸形	水中形
		第 2 記號	0	2	3	4	5	6	7	8
第 1 形式名	第 1 記號	說明	說明	說明	說明	說明	說明	說明	說明	說明
無保護形	0	對於人體之接觸、固體異物之侵入，未施以特別保護之構造。	JP00				×	×	×	×
半保護形	1	人體之較大部分如手等，不使誤觸到機內之回轉部分或導電部分之構造。直徑超過 50mm 之固體異物無法侵入之構造。	JP10	JP12S			×	×	×	
保護形	2	手指頭等不會觸及機內回轉部分或導電部分之構造。直徑超過 12mm 之固體異物無法侵入之構造。	JP20	JP22S	JP23S	JP24	×	×	×	
全閉形	4	工具、電線等最小寬或最小厚度較 1mm 為大者，不會觸及機內回轉部分或導電部分之構造。直徑超過 1mm 之固體異物無法侵入之構造。但排水孔及外扇吸氣口、排氣口則以記號 2 之構造即可。	×			JP44				
防塵形	5	無論任何之物體均不會觸及機內回轉部分或導電部分之構造。極力防止塵埃之侵入，且即使被侵入，對於正常之運轉亦不會妨礙之構造。	×			JP54				

註：(1) 各形式之試驗為，無保護形不做試驗，其他則依另外之規定進行試驗。

(2) JP 記號為通常所使用之保護方式，× 記號為組合之困難者。

(3) JP00 及 JP10 可分別簡稱為無保護形及半保護形。

9-2 對使用條件之保護構造之適用

電動機所使用場所之周圍條件與對此所適用之保護構造之關係如表 9-2 所示。至於在屋內普通條件時以 JP22 (防滴保護形) 可謂足夠矣。

表 9-2 針對使用條件之保護構造之適用

設置場所	環境或目的	損傷之可能性	應選定之電動機形式
屋內	普通之場所		保護形 (JP20) 防滴保護形 (JP22)
	塵埃多之場所 (砂塵、灰分、礦石粉等)	因通風冷卻之阻礙所造成之溫度上升 coil 絕緣物之摩耗 軸承之損傷	全閉外扇形 (JP44) 附過濾器 (Filter) 之開放形
	酸、鹼液或腐蝕性瓦斯	腐蝕，絕緣劣化	全閉外扇防蝕形
	爆發性或可燃性之液體或瓦斯、炭塵，其他爆發性粉塵	爆炸或火災	防爆形
屋外	普通之場所	絕緣之下降	全閉外扇屋外形 (JPW44)
	塵埃多之場所 (砂塵、灰分、礦石粉等) 鹽風強之場所	因通風冷卻之阻礙所造成之溫度上升 coil 絕緣物之摩耗 軸承之損傷	全閉外扇屋外形 (JPW44)
	酸、鹼液或腐蝕性瓦斯	腐蝕，絕緣之下降	全閉外扇屋外形防蝕形
	爆發性或可燃性之液體或瓦斯、炭塵，其他爆發性粉塵	爆炸或火災	耐壓防爆形屋外形 全閉外扇安全增防爆形屋外形 內壓防爆形屋外形 開放屋外安全增防爆形

10. 與負載機械之連結

10-1 電動機之連結方式

將電動機之動力傳達至負載機械之方法中，有皮帶傳動、鏈條傳動、齒輪連結、直結以及懸掛(overhang 即直接裝在軸上)等之方式。連結方式因負載機械之條件而定，並非以電動機側所決定者，茲就該等之方式及適用場合之注意事項說明如下。

項目 傳達方法	概要	注意事項												
皮帶傳動	<p>與直結方式同屬最為一般性之動力傳達方法，於電動機軸及對方側軸上裝置皮帶輪，並以皮帶(V型皮帶、平皮帶、定時皮帶等)驅動之。速度係由兩皮帶輪之直徑比所決定。</p> $N_2 = N_1 \times \frac{D_1}{D_2}$ <p> N_1: 電動機回轉數 N_2: 對方側回轉數 D_1: 電動機皮帶輪節圓徑 D_2: 對方側皮帶輪節圓徑 </p>	<p>根據皮帶張力，必須對徑向荷重之大小及電動機軸強度、軸承壽命加以計算核對。</p> <p>須考慮皮帶輪之通風孔以免因皮帶輪而阻礙了往電動機方向之通風。</p>												
鏈條傳動	<p>以鏈條代替皮帶，及採用鍵輪(sprocket)以替代皮帶輪以外，與皮帶傳動之內容相同。又速度係由鏈輪之齒數比而定。</p> $N_2 = N_1 \times \frac{Z_1}{Z_2}$ <p> Z_1: 電動機之鏈輪齒數 Z_2: 對方側之鏈輪齒數 </p>	與皮帶傳動之情況相同												
齒輪連結	<p>將齒輪直接裝在電動機軸上加以連結者。速度係由齒輪之齒數比而定。</p> $N_2 = N_1 \times \frac{Z_1}{Z_2}$ <p> Z_1: 電動機側齒輪之齒數 Z_2: 對方側齒輪之齒數 </p>	正齒輪時，與皮帶傳動時之注意事項同，然斜齒輪或渦輪齒輪(Worm gear)時會負加推力荷重，且因回轉方向而該推力之方向亦會隨之變化，故對於徑向、推力方向(軸向)兩方面之荷重有加以檢討之必要。												
直結	<p>經由連結器而使得負載機械與電動機之軸中心在一直線上之連結方式者。連結器有剛性(Rigid)及撓性(Flexible)連結器，剛性式比撓性式連結器其對心之精度要求為高。</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Rigid coupling</th> <th>Flexible coupling</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A 尺寸容許值</td> <td>0.03mm</td> <td>0.05mm</td> </tr> <tr> <td>B 尺寸容許值</td> <td>0.03mm</td> <td>0.04mm</td> </tr> <tr> <td>X 尺寸容許值</td> <td>0mm</td> <td>廠商之指定值</td> </tr> </tbody> </table>		Rigid coupling	Flexible coupling	A 尺寸容許值	0.03mm	0.05mm	B 尺寸容許值	0.03mm	0.04mm	X 尺寸容許值	0mm	廠商之指定值
	Rigid coupling	Flexible coupling												
A 尺寸容許值	0.03mm	0.05mm												
B 尺寸容許值	0.03mm	0.04mm												
X 尺寸容許值	0mm	廠商之指定值												

懸掛方式 (over-hang)	如泵浦或送風機、研磨機、圓鋸機等將葉片 (Impeller)、礦石、鋸片等直接安裝於電動機軸上者。	. 根據負載情況，有時僅有徑向負載，有時僅有軸向負載，有時徑向及軸向兩方向之負載均有。 . 在送風機等如未做好機械側之回轉平衡時，會產生振動並引起軸承之潛變 (creep) 現象。
---------------------	---	---

10-2 隨連結而帶給電動機之荷重

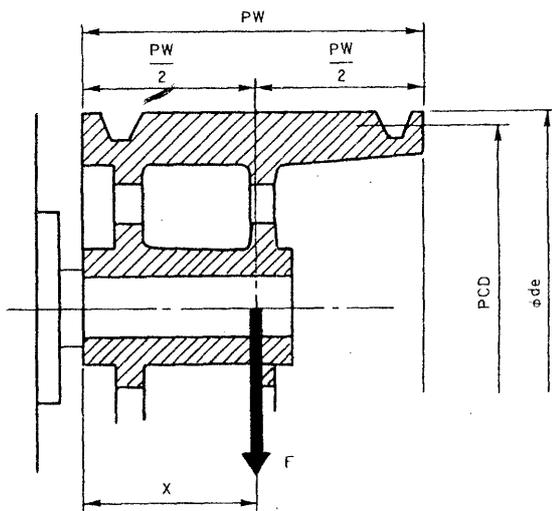
與負載機械之連結時，加諸於電動機軸之荷重會造成問題。

一般軸之折損係於軸承配合部 (即軸承套入時定位之軸肩部) 及軸端之段階部最容易發生，其原因大致如下。

- ① 在皮帶運轉時，軸之彎曲應力達最大時。
- ② 以皮帶運轉而有第 3 軸承時，三個之軸承之對心不良時。
- ③ 因剎車或對方機械之影響而加以異常之轉矩或衝擊時。

(1) 容許徑向 (Radial) 荷重

一般皮帶運轉時之軸荷重為圖 10-1 之 F 所示那樣加諸於皮帶輪寬之中央，其大小可以式 (10-1) 求出。由式中可以看出如果知道皮帶輪之 PCD 及 PW 尺寸時，即可得知 F 之大小及其位置 X，因此將之與容許軸端荷重比較，如較小時表示沒有問題。檢討之方法於圖 10-2 之例中加以說明。即由縱座標 F 畫平行線而與橫座標 X 畫垂直線之交點如在線圖之下方即代表可以使用。



- PW (mm) : V 皮帶輪之寬。
- F (kg) : 軸之垂直作用力。
- X (mm) : 軸肩部至荷重點之距離。
- de (mm) : V 皮帶輪之外徑。
- PCD (mm) : 皮帶 (或齒) 輪之節圓徑圓形細幅之 V 皮帶時，等於由 de 減去 1.2 (3V), 2.6 (5V), 5.0 (8V) 所得之值。
- N (rpm) : 電動機之每分鐘回轉數。

圖 10-1 來自皮帶之軸荷重

皮帶驅動時之軸荷重為 $F = 1.948 \cdot K \cdot \frac{kW}{N \cdot PCD} \cdot 10^6 (kg) \dots \dots \dots$ 式 (10-1)

表 10-1

使用條件	K
V 皮帶時	2.5
正齒輪時 (為壓力角)	(1.1~1.3) tan
有拉緊帶輪 (Tension Pulley) 時之 2 條皮革皮帶	3~35
1 條皮革皮帶 . 橡膠皮帶	4~5

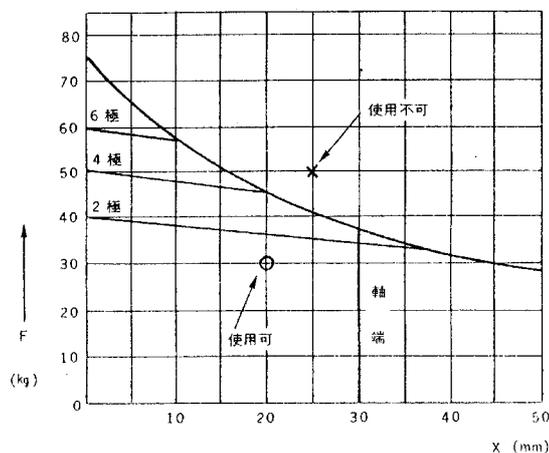


圖 10-2 軸端容許徑向荷重
(全閉外扇形框號 71 之例)

至於計算荷重較容許軸端荷重為大時，須採取對策，而大致之想法如下所述，然對於詳細之內容則請與我們協商。

①在機械製造廠商方面請其減小 X_{mm} 或 F_{kg} 。亦即 V 皮帶運轉時，在 V 皮帶速度 22~23m/s (最大亦只到 25m/s) 之範圍內請加大 V 皮帶輪之 PCD (Pitch Circle Diameter)。又在平皮帶及齒輪驅動時，亦請盡量在容許周速之範圍內能加大外徑。

如採用最近才開始普及之尼龍皮帶時，因皮帶速度可以到達 60m/s 左右，故皮帶輪之外徑可以加大，更因其摩擦係數大，致荷重 F 顯著減小。(但初張力不得過大)

②將軸承加大

如須變更標準外形圖之軸承時，則必須做軸承托架之設計變更。

③進行拆損危險斷面之設計變更

作成沒有段階或沒有鍵槽，沒有孔等特殊之設計。

④作成第 3 軸承方式或第 4 軸承方式

第 3 軸承方式因 3 組軸承之對心不良反而容易導致折損事故之危險。兩者在成本方面均屬不利，但如能確實做好對心工作，最能提高軸之強度。

⑤變更軸之材質

亦可變更為含 Ni、Cr、Mo 等高強度之軸材。但疲勞強度並未如所期待者那樣之提高。(大同馬達之標準材質為 S40C)

⑥提高折損斷面附近之表面硬度

進行各種之淬火處理雖可達到，但製作上之配合不太便於採用。

(2) 容許軸向 (Thrust) 荷重

泵浦等時對於電動機之軸會受到軸向荷重。此時在事前對軸向荷重之大小及其方向有知道之必要。

(3) 有徑向 (Radial) 荷重時之容許軸向 (Thrust) 荷重

將螺旋葉片 (Propeller Fan) 安裝於電動機軸時，則同時承受到徑向及軸向之兩方之荷重。在此情況之時，須檢討在承受徑向荷重之時，其可容許軸向荷重至何種之程度。

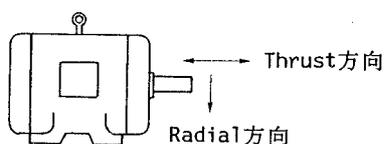


圖 10-3 (徑向與軸向之關係)

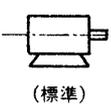
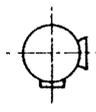
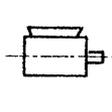
11. 安裝方式、組立精度、振動

11-1 安裝方式之種類

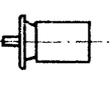
電動機之安裝方式有：腳安裝、凸緣(Flange)安裝、腳安裝附凸緣以及特殊情況時之植入(Build-in)式安裝等。

說明電動機之安裝方式時，舉腳安裝為例，可採用「橫形」、「軸水平」、「軸向下」等種種之稱呼方法，但無論如何都不能說是正確之表示。因此，在規格上，對於各種之電動機形式均定有以記號做為表示之方法。

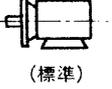
腳安裝...一般以地板安置形為標準，且因使用狀態而有種種之安裝方法。

安裝 規格	 (標準)				
JEM 1408	IMB3	IMV5	IMV6	IMB6 IMB7	IMB8
IEC 34-7	IMB 3	IMV5	IMV6	IMB 6 IMB 7	IMB 8
BS 4999	IM 1001	IM 1011	IM 1031	IM 1051 IM 1061	IM 1071
AS 1359	IM 1001	IM 1011	IM 1031	IM 1051/IM 1061	IM 1071
NEMA MG1	F1	W6	W8	W2/W3	C2

凸緣安裝...一般以立軸(軸向下)為標準，然因機械及使用狀態而有種種之安裝方法。

安裝 規格		 (標準)	
JEM 1408	IMB5	IMV1	IMV3
IEC 34-7	IMB 5	IMV1	IMV3
BS 4999	IM 3001	IM 3011	IM 3031
AS 1359	IM 3001	IM 3011	IM 3031

腳安裝附凸緣...軸水平為標準，但因使用狀態而有種種之安裝方法。

安裝 規格	 (標準)		
JEM 1408	IMB35	IMV15	IMV36
IEC 34-7	IMB 35	IMV15	IMV36
BS 4999	IM 2001	IM 2011	IM 2031
AS 1359	IM 2001	IM 2011	IM 2031

(註) IEC34-7 及 BS4999 係表示 Code /Code 。

11-2 組立精度

(1) 對凸緣形馬達所要求之組立精度

設置電動機時，於安裝至負載機械之際，組立精度為問題之所在。特別是工作機械或泵浦等所採用之凸緣形之電動機對於凸緣面之直角度，凸緣嵌合部之偏心度、軸偏心，所要求之精度高因此特就精度說明如下。

直角度、偏心度、軸偏心，其各項之定義如表 11-1 之所示，然在 JEM1401 對於凸緣形電動機之組立精度其規定如表 11-2、表 11-3。

表 11-2 直角度．偏心度

(單位 mm)

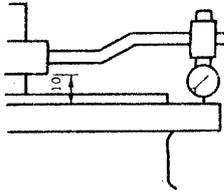
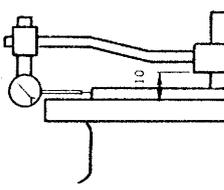
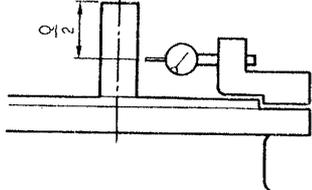
凸緣 LA 尺寸	直角度．偏心度
130	0.10 以下
165	0.10 以下
215	0.10 以下
265	0.10 以下
300	0.125 以下
350	0.125 以下
400	0.125 以下
500	0.125 以下
600	0.160 以下

表 11-3 軸端之偏心

(單位 mm)

軸徑	軸端之偏心
10 以上 18 以下	0.035 以下
18 以上 30 以下	0.040 以下
30 以上 50 以下	0.050 以下
50 以上 80 以下	0.060 以下
80 以上 120 以下	0.070 以下

表 11-1

<p>1. 凸緣面對軸之直角度之測定法 將針盤量規(Dial gage)離凸緣面 10mm 而固定於軸上，並將測定子頂住靠外緣之凸緣面，將軸轉一圈時所讀取之最大值與最小值之差即為測定值。</p>	
<p>2. 凸緣面嵌合部外徑之偏心度之測定法 將針盤量規離凸緣面 10mm 而固定於軸上，且將測定子頂住於嵌合部之外周部，將軸轉一圈時所讀取之最大值與最小值之差即為測定值。</p>	
<p>3. 軸端偏心之測定值 將針盤量規固定於凸緣面，並將針盤量規之測定子頂住軸端長之中央部，將軸轉一圈時所讀取之最大值與最小值之差即為測定值。</p>	

(2) 振動

在工作機用等被採用時，因電動機單體振動之大小會影響製品精度，故有時會要求低振動值馬達。

以下所示為 JEC-37(1979)「感應機」所規定之測定條件，以及大同之標準振動值及振動指定界限值。

- ① 振動測定係在額定電壓、額定頻率下進行無載運轉。本測定之目的是在獲知不平衡之良否。
- ② 相當於框號 225 以下之電動機，其安裝時原則上做成彈性體支持。相當於框號 250 以上之電動機，原則上在定盤上測定。
- ③ 在軸端之鍵槽內，原則上使用原鍵之一半厚度之半鍵。
- ④ 測定時，盡量接近於各軸承部位進行之，並記錄其全振幅。
- ⑤ 振動階級，依軸承部位全振幅之大小畫分為表 11-4 之 5 階級。

表 11-4 振動階級

階級	V5	V10	V15	V20	V30
全振幅(mm)	0.005 以下	0.010 以下	0.015 以下	0.020 以下	0.030 以下

(3) 軸端隙(End play)

通常電動機具有軸方向之軸端隙(游隙)，其雖受溫度之影響，在運轉時亦不會產生異常之振動或噪音。(但，如不加以軸方向之荷重，即不會產生此軸端隙)。

在泵浦等之負載下軸方向之移動大時，葉片(Impeller)會打到泵浦之殼體(Casing)，即使不會打到，其特性亦會改變，因此，此軸端隙之值為問題點之所在。

如欲減少軸端隙時，則必須從軸承予壓間隙之調整，軸承押環之適用，軸承之內容變更等方面加以考慮。

12. 噪音

近年來人人對於噪音之意識逐漸提高。在民國 57 年(1968)12 月國家之噪音規制法開始實施，而對於噪音公害方面之法的保護亦隨之被確立起來。

但是，談到對於噪音之知識，果真是否被真正地做到正確之理解時，以現狀尚稱不夠。

所謂噪音，根據 JISZ8106(1961)之音響用語時，係指「不喜歡之音，例如妨害聲音音樂等之傳達，或造成耳朵痛苦、傷害之音」，其相對應之英語，得以 noise undesired sound 說明之。但所謂「不喜歡之音」該由誰來判斷時，依各人之目的，將有全然不同之看法。

有時候音樂對於在談話的人亦會構成噪音，相反的，講話對於正在欣賞音樂的人則成為噪音。如此噪音之容許值必須依其使用目的而定，並且須綜合噪音之物理本性以及聽聞該噪音之周圍之大家之意見一併考慮始可。

12-1 噪音有關用語

(1) 噪音(Noise)

即不希望有之音、不喜歡之音之總稱，大的聲音、擾耳之音、音色不爽之音固然屬之，即使是音樂，如對於思考或作業有妨害時亦被認為是噪音。所有種類之聲音，因時因地都可能成為噪音。在電動機之噪音方面，以高周波音或嗡鳴音等似乎最成為問題。

(2) 音(Sound)

由振動體之存在所產生者即是，然振動之音對人類耳朵可以感覺之範圍則在 16HZ~20,000HZ 之範圍。JIS C 1502 之普通噪音計之周波數範圍為 31.5HZ~8,000HZ。

(3) 暗噪音(Ground Noise)

以某種音為對象時，在該音消失時之該場所所存在之噪音謂之對於該對象音之暗噪音。例如，在防音室等測定電動機之噪音時，電動機之噪音為對象音，而電動機停止時之噪音為暗噪音。

(4) 嗡鳴音(Beats)

振動數稍異之二種正弦波之重疊時所產生振動之周期性變化謂之嗡鳴音。嗡鳴音之周期為

$$T = \frac{1}{f_a - f_b} = \frac{1}{f_e} \dots\dots\dots \text{式 12-1)}$$

因發生振動之周波數之差致嗡鳴音之周期會改變。

在電動機之噪音中，此種嗡鳴音屬最令人聽起來痛苦而介意之聲音之一種。

(5) 音壓水準(Sound Pressure Level)簡稱 SPL

某聲音之音壓與基準音壓之比之常用對數之 20 倍以 dB(Decibel)所表示者即是。如以公式表示時則如下。

$$\text{SPL} = 20 \log_{10} \frac{P_e}{P_o} (\text{dB}) \dots\dots\dots \text{式 12-2)}$$

此處 P_e : 所要求之聲音之音壓實效值

P_o : 基準音壓 ($2 \times 10^{-4} \mu \text{bar}$)

(6) 音功水準(Sound Power Level)簡稱 PWL

某音響出力(W_1)與基準音響出力(W_0)之比之常用對數之 10 倍以 dB(分貝)所表示者即是。如以公式表示時則如下。

$$PWL=10\log\frac{W_1}{W_0}(\text{dB})\cdots\cdots\text{式}(12-3)$$

(註)在 JIS, JEC 時係採用音壓水準及聽感補正回路 A 並以 dB(A) 及 phon A 表示之, 然在 NEMA 規格時似乎以 Power Level 之使用為多。在規範等有測定法、單位等之指定時, 以何種表示須明確指定, 故務請注意。

(7) 音之小大之水準(Loudness Level)

聽到聲音時之感覺程度為主觀上之感覺量。稱此為音之大小, 且與周波數或波形等有關。為了表示其水準而採用 phon。Phon 係指在 1KHZ(1000KHZ)時, 其音壓水準值之謂, 對於 1KHZ 以外之音, 與 1KHZ 之音聽聽比較而判斷大小相等稱之為 1KHZ 之音壓水準之數值。

(8) 噪音水準(Sound Level or Noise Level)

對於耳朵表示噪音水準(噪音值)之單位有 dB(分貝)、phon、phon(A) 等種種單位之採用, 然所謂噪音水準係指採用於音壓水準計上裝上特定之補正回路之噪音計, 將音之大小作近似之指示, 並以規格化之噪音計所測定之水準之謂, 故必須與表示音之大小之 phon 加以區別。

在日本則以噪音計測定之值稱之為 phon, 而對於所使用之補正回路之種類普通係以 phon A、phon B、phon C 來表示, 但以 dB(A)、dB(B)、dB(C) 表示之亦可。現在之噪音測定係採用 A 特性(A scale), 故以 70 phon(A)、70dB(A) 來表示為適當。

(註)如 70 phon 這樣在 phon 之後面沒有回路之指示時, 即為普通 A scale 之意。

(9) 聽感補正曲線

人類之耳朵, 即使對相同大小之音, 也會因音的周波數而感覺不一樣, 而一般愈高之周波數之音感覺愈大。

在普通噪音計中加進此點而裝入對周波數之聽感補正回路。圖 12-1 為聽感補正特性比較圖(JIS C 1502 摘要), 然 A 特性擁有與人類耳朵可以聽到之音之大小之相同特性, 而低周波域之音比起其他之特性有很大之衰減(噪音計之指示)。噪音之測定係採用 JIS C 1502 所規定之普通噪音計並採用 A 特性。如圖示 A、B、C 均為 1KHZ(1000HZ)時補正值為 0。C 特性則在全周波數域為平坦(Flat)之特性並將音之強度原原本本指示出來, 故適合於各周波數之分析。

A、B、C 特性之不同在低周波域時極顯著, 例如 125HZ 之音以 C 特性測定之為 70dB, 以 B 特性測定為 65dB, 而以 A 特性測定為 53dB。電動機時, 根據以 A、B、C 之各特性或以 A、C 之特性測定者可以得知大致之音之性質。

例如, 以 A 特性及 C 特性測定某電動機之噪音; 如 A、C 特性之值偏離大時, 可以得知由此電動機所產生之低周波成分之音為多, 如無差別時即可知為高周波成分之音。

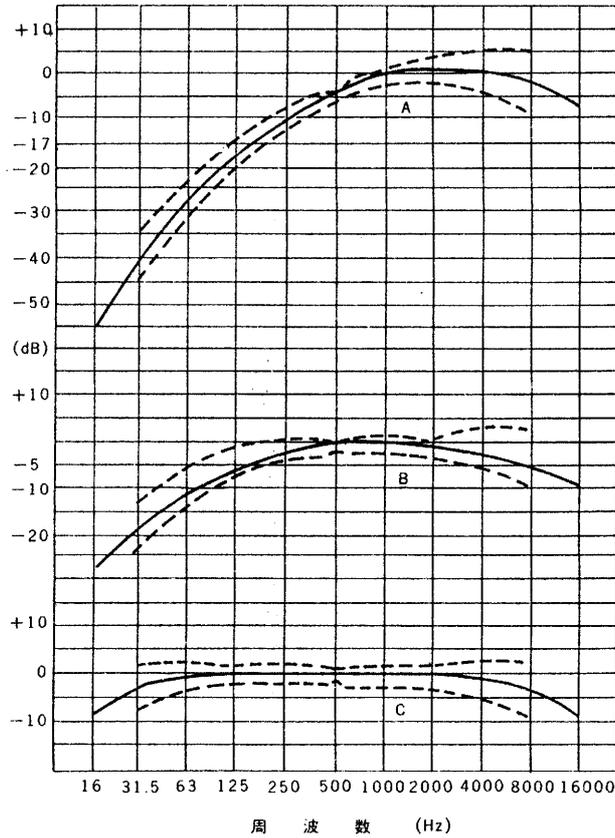


圖 12-1 聽感補正特性比較圖

12-2 電動機之噪音之原因

電動機中噪音之發生要因雖有種種之原因，但大別之可分為電磁音、機械音、通風音三大類。下表將就噪音之種類及其發生要因加以說明。

噪音之種類	要 因 、 其 他
電 磁 噪 音	<p>電磁噪音為電源周波數之倍，亦即 100HZ 或 120HZ 及其倍數噪音、更因槽數組合而有種種之情況等。其原因大別如下。</p> <p>a. 因電源電壓之不平衡所造成者。</p> <p>b. 由槽數(slot)組合為起因之高諧波磁通間之吸引力，反斥力所造成者。</p> <p>電源電壓不平衡時，在三相感應電動機，其定部旋轉磁場及轉部電流之間有異常轉矩作用，而此轉矩係以電源周波數之 2 倍之正逆方向作變化。此即電源之起因者，故必須將之修正。</p> <p>電磁噪音在電源切斷時馬上消失，因此可以與機械力所引起之噪音區別。</p>

機械噪音	回轉噪音	轉部之平衡跑掉時，會產生與轉數相等周波數之振動噪音。在大形機時振動對策上抓平衡極為敏感，但在小形機抓平衡在噪音對策上亦很重要。又，將對方機械直結到電動機軸時，對方機械之平衡，或因直結不良也經常會產生回轉噪音。
	軸承噪音	雖然滑動輪承也會形成噪音之原因，但此處僅就滾動軸承加以說明。普通滾珠軸承之噪音與荷重，或轉數無關，而大多發生在高周波數時，其周波數在 1,000HZ 以上者為多。 軸承噪音之一般對策為 1. 採用滾珠、滾筒以及滾動面之精度之高者。 2. 軸承之徑向間隙在容許範圍內盡量縮小。 3. 給予適當之予壓。 4. 潤滑油使用保持之良好者。 如此，對於瑕疵音除更換軸承別無他法，對於灰塵音，一度將軸承洗淨，且必須使用不會有灰塵混入之虞之潤滑劑。
	定部共振噪音	起振力係由普通電磁力所造成者為多，但如定部之固有振動數，或其他之固有振動數與起振力之周波數一致時，將形成大的振幅，並產生噪音。
	滑動音 衝擊音	碳刷等之滑動所產生之音，又，配合太鬆而引起之鬆動打擊音，均屬純機械之音。此須盡量避免配合部之遊隙。
	通風噪音	一般電動機之冷卻均使用風扇。特別是外扇形電動機，其噪音之原因，如僅考慮只有風扇之通風噪音亦無妨。風扇之噪音與外徑之 7 次方、速度之 5 次方成正比。亦即，以周速即可決定風扇之噪音，因此，即使進行對於防上通風路產生渦流等之改善也幾乎沒有效果。提高效率之對策，到底還是要利用吸音風道並附消音器。

12-3 噪音試驗

噪音水準之測定，在 JEC-37「感應機」中規定，係以額定電壓、額定周波數使電動機作無載運轉，並以表 12-1 之方法進行之。

表 12-2 所示為一般用低壓三相籠形感應電動機之噪音水準基準值。

表 12-2 一般低壓三相籠形感應電動機之噪音水準基準值

單位 phon(A 特性) (JEM1313)

額定出力 kW	保護形				全閉形			
	2 極	4 極	6 極	8 極	2 極	4 極	6 極	8 極
0.2	-	-	-	-	66	59	-	-
0.4	-	-	-	-	69	61	60	-
0.75	63	58	58	-	73	63	61	-
1.5	67	58	58	-	75	67	61	-
2.2	68	62	60	-	77	68	63	-
3.7	71	65	62	-	80	72	65	-

5.5	75	67	64	-	83	74	68	-
7.5	76	69	67	-	84	77	70	-
11	78	72	69	-	87	78	72	-
15	80	74	72	-	87	82	74	-
18.5	82	76	74	-	90	82	77	-
22	86	76	74	-	90	82	79	-
30	88	79	77	75	91	84	81	-
37	88	79	77	75	91	85	81	77
45	90	82	80	76	93	86	83	77
55	90	82	80	76	93	86	83	79
75	92	85	82	79	94	89	86	79
90	92	85	82	79	94	89	86	82
110	92	85	82	79	94	89	86	82
132	93	87	84	-	95	92	87	82
160	93	87	84	-	95	92	87	-
200	94	88	-	-	95	92	-	-

表 12-1 噪音試驗法 (JEC-37)

大項目	小項目	內容						
1. 測定條件	(1) 安裝	希望能盡量在反射音、暗噪音少之場所且在彈性體上進行。						
	(2) 供給電源	希望為正弦波，且電動之不平衡，急劇變動之少者。						
	(3) 暗噪音之影響	合成噪音之差在 10 phon 以上時，其暗噪音之影響可忽略。未滿 3 phon 時則測定值不具信賴性。						
	(4) 反射音之影響	所選定之場所希望是，對於從電動機表面到麥克風之距離其噪音之減少一樣，且距離為 2 倍時約可減少 4 dB 以上。						
2. 測定法	(1) 噪音形	依 JIS C 1502 (普通噪音計) 進行測定，而聽感補正回路為 A 特性。						
	(2) 測定位置	測定時，在含軸中心線之水平面上之軸方向以及定部外框之大概中心，與軸垂直方向之 4 點處以下列之距離行之。 麥克風之距離 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>電動機出力</th> <th>距離 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1kW 未滿</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>1kW 以上</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table> 至於麥克風則應放置在不受電動機本身之冷卻風所影響之處。	電動機出力	距離 (m)	1kW 未滿	0.5	1kW 以上	1.0
	電動機出力	距離 (m)						
1kW 未滿	0.5							
1kW 以上	1.0							
(3) 立形電動機之噪音水準之測定	於通過定部外框之大概中心之水平面進行測定。							
3. 噪音	(1) 噪音水準	以測定值之算術平均做為電動機之噪音水準，如噪音計之指示有變動時，多讀取幾次，採用其平均值。						

水 準	(2) 測定之誤差	由於噪音計以及測定上之誤差，噪音水準測定時，將產生 3dB 以內之誤差。
--------	-----------	--------------------------------------

13. 振動

異常之大的振動，會使該機械、基礎或附近之裝置受到無謂之力，進而亦將使該等之壽命導致明顯之短縮。因此，機械之保養時，須時時檢測其振動，以利保養、修護之參考。

(1) 振幅

振動之位置、變化量，亦即搖動之大小所表示之量謂之振幅。另外亦稱變位。

機械之振動振幅普通係以 mm 或 μ (1μ 為 0.001mm) 表示之，並稱之為全振幅 (peak-to-peak)。正弦波振動 x 得以下式表示之。

$$X=A \sin \omega t \dots\dots\dots \text{式}(13-1)$$

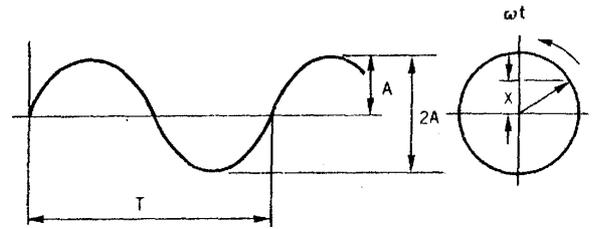
此處 x =某時間之振幅

$$2A=\text{全振幅 (peak-to-peak)}$$

$$=2 A$$

$$f=\text{振動數 (Hz)}$$

$$t=\text{時間 (s)}$$



(2) 周期與振動數

於單位時間內振動之進行次數謂之振動數或振動周波數。因此 1 次之振動所需時間謂之周期。這些可以下列式子表示。

$$\text{振動數 } f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \text{ (HZ)} \dots\dots\dots \text{式}(13-2)$$

$$\text{周期 } T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \text{ (s)} \dots\dots\dots \text{式}(13-3)$$

(3) 相位角

振動之引起力與其振幅 (變位) 之間之角度量謂之相位角。

得知此相位角，對於平衡作業或其他之振動問題之解決很重要。

$X=A \sin \omega t$ 中之 ωt 稱為相位角。

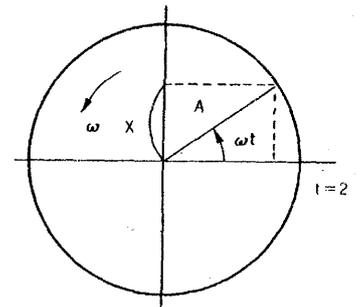


圖 13-1 $x=A \sin \omega t$

(4) 振動速度

振動體為了以某振動數做某變位之運動，須具有某速度。此則普通以 mm/s 表示之，且其與振幅 (變位) 之間有所關連。

$$\text{速度 } V = 2\pi f A \cos \omega t = 2\pi f A \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots \text{式}(13-4)$$

例如，最大速度為 $\cos \omega t = 1$ 之時 (振動體在移動之中間點速度成為最大)，因此，3000rpm 之電動機，如做 20μ 之振動時，

$$f = \frac{N}{60} = 3000 / 60 = 50 \text{ (Hz)}$$

$$A = \frac{20}{2} = 10 (\mu) = 0.01 \text{ (mm)}$$

$$V = 2\pi f A = 2\pi \times 50 \times 0.01 = 3.14 \text{ (mm/s)}$$

亦即，振動速度之最大值為 3.14mm/s。

(5) 振動加速度

振動加速度係時時刻刻均在變化。給與其變化量者即振動加速度。此係以 mm/s^2 表示之。其與振幅(變位)之間有如下之關係。

$$\text{振動加速度} = (2\pi f)^2 A \sin(\omega t + \phi) \dots\dots\dots \text{式(13-5)}$$

例如，以上例而言，其最大振動加速度為

$$= (2\pi f)^2 A = (2\pi \times 50)^2 \times 0.01 = 986 \text{ (mm/s}^2\text{)}$$

將之以重力之加速度 G ($1G = 9800 \text{mm/s}^2$) 表示時

$$\frac{\alpha}{9800} = \frac{986}{9800} = 0.1 (G)$$

亦即，振動加速度可以說有 $0.1G$ 。

(6) 固有振動數

1 種之振動係當中，擁有其表示既定個性之振動數。此與重量、彈簧定數之間具有下式之關係。

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{gk}{W}} \dots\dots\dots \text{式(13-6)}$$

f_n = 固有振動數 (Hz)

g = 重力之加速度 (m/s^2)

k = 彈簧之定數 (kg/m)

W = 振動體之重量 (kg)

(7) 共振

電動機及對方機械均各自擁有某種程度之固有振動數。無論其中之何者，與強制振動(例如因回轉而產生之不平衡之振動)相等，或近似時，其振幅會異常增大。此稱為共振。

此時之振動數稱之為共振振動數。

大同馬達在設計時，均已考慮到不使做為零件單位及電動機之固有振動數接近於既知之強制振動之振動數。但是，實際上與對方機械共同安裝之後，與基礎之重量，對方機械之重量組合而成一體之振動系，此有可能與強制振動之振動數一致而形成異常大之振幅。

在如此之情況時，假設於電動機產生大的振動時，如果不把基礎有關一併加以檢討也無法解決。

13-2 振動之容許值

電動機雖經充分之振動調整後才予出貨，但實際上與負載機械結合運轉時，還是有可能會產生大的振動。

但是，振動大時，不用說對於電動機，特別是對於軸承等會給與不良之影響。

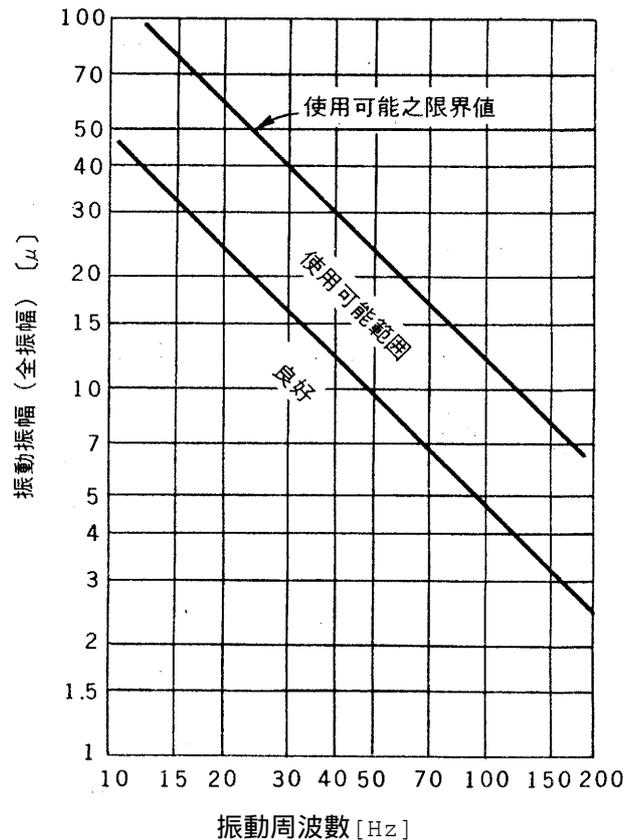
一般不使機械加速損傷之可容許之振動量，因機械之形狀、大小、回轉數等而異。振動容許值並非一律相同者，須因應狀況而與用戶共同決定。此處所示者為代表性之「振動良否之判定基準」。

①馬達運轉時之振動請以圖之數值以下為目標。馬達之振動狀態因馬達之安裝狀態而改變，故請適用於馬達外框各部之振動。註：振動周波數並非馬達回轉數。振動大時，請作振動之周波數分析，並掌握振動周波數，而適用此圖。

②馬達在運轉中受到來自對方機械或外部之衝擊時，請將振動加速度抑制在 $0.5G$

程度以下。如使用在壓床等地方而受到此程度以上之衝擊時請與我們商談。

③馬達在停止中如受到來自外部之振動或衝擊，將導致軸受之受損，故須請注意。



13-3 振動之種類及對策

	振動之種類	性質	原因	對策
電 氣 振 動	由主磁通之變形力所引起之振動	振動數為 $2f$ 。 定部作多角形變形。 與負載狀態無關。 與電壓之平方成正比。	定部之多角變形之固有振動數接近於 $2f$ 。	檢討定部鐵心之防振支撐基礎台之剛性。
	由主磁通之不平衡吸引力所引起之振動。	振動數與 $2f$ 或 $f/p \times m$ ($m=1, 2, \dots$) 並以 $2sf$ 鳴叫。 定部朝某方向擺動。 振動大時未必與電壓成正比。 與負載狀態無關。	因轉部彎曲、偏心致氣隙之不平衡大。 轉部之不平衡致振動大。 以基礎台、定部、轉部之剛性而定之固有振動數接近於電源周波數。	消除氣隙之不平衡 (有時相反地使轉部偏心亦能獲致效果。) 減小轉部之不平衡振動。 減小軸承之間隙。 設置均壓線。 檢討基礎之剛性。
	定部與轉部電流之相互間作用力所引起之振動。	振動數為 $2f$ 。 在起動時及負載狀態時大。	繞組之不平衡大 (斷線，置入於轉部回路之電阻器之不平衡)	消除繞組之不平衡。

	由轉矩脈動所引起之振動。	振動數為 $2f$ 。 會引發促使定部作圓周方向振動之力。	電源電壓之不平衡大	消除電源電壓之不平衡。
機 械 振 動	重量不平衡所引起之振動。	振動數為 n 。	殘留不平衡量。 塵埃之附著。 絕緣物之枯萎。 熱變形所導致之重量偏心。	作動平衡之修正，並作清掃、檢查、修理。
	軸彎曲所引起之振動	振動數為 n	因外力而導致彎曲。 熱變形。	修正真圓度。 更換主軸。
	軸頸之異形所引起之振動	振動數為 $2n, 3n$	橢圓形、三角形	軸之再加工。
	滾動軸承之間隙所引起之振動	振動數不定。 滾動面傷痕時為滾珠個數之倍數。	輸送時之受傷。 停止中外部之振動所導致之傷痕。 過負荷運轉之疲勞。	更換軸承。
	滾動軸承之配合方法不良所引起之振動。	振動數一般為 n 。 軸方向振動大。	轉送面對軸不成直角。	軸之段階部再加工。 軸承鎖緊之再確認。
	由滾動軸承之構造而來之振動	振動數不定。 大多之發生與回轉數無關。 振動方向為軸方向。	與軸承各部之固有振動數之共振。	給與予壓。 改變徑向間隙。 更換別牌之軸承。
	油沫鞭撻 (Oilwhip)	振動數為 $n/2$ 。 在危險速度之 2 倍以上之速度時發生。	油膜之成長所造成之自激振動。	低粘度之潤滑油。 縮短軸承之寬。 加大軸承之間隙。 變更軸頸直徑。
	與對方機械之直結不良所引起之振動。	振動數一般為 n 。 拆開直結時即平靜下來。	相互軸之偏心。 真直度不良。 軸聯結器之加工不良。	安裝之調整。 聯結器之修正。
	由安裝之起因者。	振動數為 $n, 2n$ 或 $f, 2f$ 。	與基礎之連結不良。	基礎之變更。 連結構造之變更。

註：f: 電源周波數，s: 轉差率，p: 極數，m: 整數，n: 回轉數。

13-4 振動試驗

為了得知電動機單獨之平衡是否良好，可以額定電壓，額定周波數作無載運轉，並以表 13-2 之方法進行振動之測定。

表 13-2 振動試驗法 (JEC-37)

大項目	小項目	內容																
1. 測定條件	(1) 安裝	重量 400kg 以下.....原則上彈性體支持 重量 400kg 以上.....原則上定盤上																
	(2) 供給電源	以正弦波形，並希電壓之不平衡，激烈之變動要小。																
	(3) 鍵槽之修正	於軸端之鍵槽中裝上使用鍵之一半之厚度者。																
2. 測定法	(1) 振動計	在使用範圍中，具有最大振幅 1/10 以下之最小指示刻度。																
	(2) 測定位置	盡可能於接近各軸承部位進行，就上下方向、橫方向以及軸方向測定全振幅。																
3. 振動階級	(3) 振動階級	表示振動階級時，係由軸承部分之全振幅之大小依下表表示之。																
		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="6">振動階級</th> </tr> <tr> <th></th> <th>V5</th> <th>V10</th> <th>V15</th> <th>V20</th> <th>V30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>全振幅 (mm)</td> <td>0.005 以下</td> <td>0.010 以下</td> <td>0.015 以下</td> <td>0.020 以下</td> <td>0.030 以下</td> </tr> </tbody> </table>	振動階級							V5	V10	V15	V20	V30	全振幅 (mm)	0.005 以下	0.010 以下	0.015 以下
振動階級																		
	V5	V10	V15	V20	V30													
全振幅 (mm)	0.005 以下	0.010 以下	0.015 以下	0.020 以下	0.030 以下													

14. 電動機之安裝場所

電動機之所設置之周圍條件，千差萬別無法一律加以規定，然在此試就由電動機方面考慮到之理想環境，與可以想像得到之惡劣環境條件及其對策加以考慮。

環境條件	電動機之對應	大同標準系列
由電動機側所看之理想設置場所之條件	(1) 周圍溫度在 $-20 \sim 40$ 。 (2) 無吸排氣之障礙物。 (3) 通風良好。 (4) 無濕氣、水滴。 (5) 無塵埃。 (6) 無有毒之瓦斯、蒸氣。 (7) 作業容易。 (8) 無外來振動。 (9) 電源變動少。	
周圍溫度	<p>流通於電動機之電流為轉矩發生之源，相反地卻具有發熱作用之副作用，而成為電動機溫度上升之原因。電動機之壽命與該溫度有關。因此電動機所採用之絕緣材料，依其構成材料分類為 A、E、B、F、H、C 種，且各各之容許最高溫度均有規定。電動機之溫升值因冷媒溫度而異。國內外之規格，一般基準冷媒溫度為 40 ，於 JIS C 4004 中所規定之溫升限度之數值係表示在冷媒溫度 40 以下，以電阻法或溫度計法測定電動機定部繞組溫度時之最高限度之數值。</p> <p>當電氣爐之近旁或日光直射之場所等，冷媒溫度超過 40 時，則其溫升限度僅須就冷媒溫度超過 40 部分之值予以降低。因而在這種之場所如以標準電動機作照常之使用時，有過熱之危險故應避免。</p> <p>如果，非在冷媒溫度高之場所使用不可時，則對於絕緣種類、軸承、滑脂、出口線等之變更是有必要。</p> <p>又，對於須在極端高溫之周圍空氣下使用之電動機有排煙送風機用之電動機，其規範則要求在非常時(火災發生時)，於 260 亦能夠運轉 30 分鐘以上而不故障。</p> <p>另一方面當溫度極端降低時，在溫度方面固然有利於電動機，然所使用之滑脂會固化，或出口線會產生劣化。一般在 20 以下場所使用之電動機最好須與電動機製造廠商商談，應採用有耐寒處理之電動機。</p>	高溫用馬達 低溫用馬達 -50 系列 排煙用馬達
濕度	<p>電動機最討厭濕度。最近由於絕緣材料之進步，防滴形在相對濕度 85%，全閉形在 100% 之條件下不會發生故障，但超出此條件，或在濕度之變化激烈且可能會結露之條件下時，必須實施耐高濕處理。</p>	
腐蝕性瓦斯、蒸氣	<p>在化學工場等所發生之腐蝕性物質種類非常之多，其以氣體、蒸氣、液體等之狀態，且亦有數種類之混合而存在著。對於電動機，一般會造成構造材料之腐蝕、絕緣物之特性劣化，軸承滑脂之變質(劣化)、電氣之接觸部分之生鏽(接觸不良)等之故障。</p> <p>表 14-1 所示為腐蝕性物質之種類及濃度以及對使用環境之電動機之適用。表 14-1 係周圍溫度 40 以下，相對濕度 90% 以</p>	防蝕形馬達 屋外形馬達

下時之一般性之適用，但在瓦斯及結露 (msit) 時濕度提高而腐蝕性增加，故適用上比較嚴苛。防蝕性能因保養之程度其所受之影響亦很大，故當實際之適用時，必須與使用者協商後決定。

表 14-1 防蝕電動機之選定基準 (JEM 技術資料 N0118)

防蝕之種類		1 種	2 種	3 種	
		適應於高度之腐蝕條件者	適應於中度之腐蝕條件者	適應於輕度之腐蝕條件者	
腐蝕性物質之濃度	等級	濃度 1 級	濃度 2 級	濃度 3 級	
	氣體	亞硝酸氣體 (NO ₂) 亞硫酸氣體 (SO ₂) 氯氣 (Cl ₂) 氯化氫氣體 (HCl)	超過 5ppm (1)	0.3ppm 以上 5ppm 以下	未滿 0.33ppm
		硫化氫氣體 (H ₂ S) 二硫化碳 (CS ₂)	超過 10ppm (1)	0.6ppm 以上 10ppm 以下	未滿 0.6ppm
	霧液	鹽酸霧 (HCl) 硝酸霧 (HNO ₃) 硫酸霧 (H ₂ SO ₄)	超過 10mg/cm ³ (1)	0.3mg/cm ³ 以上 10mg/cm ³ 以下	未滿 0.3mg/cm ³
		鹽酸 (HCl) 硝酸 (HNO ₃) 硫酸 (H ₂ SO ₄) 苛性鹼 (NaOH)	經常會灑到 (2)	經常會潤濕 (2)	-
		食鹽水 (NaCl) 氨水 (NH ₄ OH)	經常會潤濕或灑到	經常會灑到	經常會潤濕
		等級	A 級	B 級	C 級
		內容	對電動機之高度影響	對電動機之中度影響	對電動機之輕度影響
	使用環境之種類	場所選定之目標	1) 海邊重化學工業之屋外工場。 2) 通風、換氣不良之有腐蝕性物質作業之屋內工場。對眼、鼻等刺激，但不帶保護具時不能作業。建築物之腐蝕快一年須補修塗裝數次。 3) 有時感覺刺激但平時無保護具可以作業。 4) 建築物之腐蝕慢半年一年左右塗裝一次。	1) 化學工業、製鐵工業等之屋外工場。 2) 通風、換氣良好有腐蝕性物質作業之屋內工場。 3) 有時感覺刺激但平時無保護具可以作業。 4) 建築物之腐蝕慢半年一年左右塗裝一次。	1) 重工業地帶之屋外，不直接受到風雨。 2) 通風換氣良好、無強烈之腐蝕性物質之屋內工場。 3) 因風吹之方向而有酸臭味、鹼臭味之感覺。 4) 建築物幾乎看不到紅鏽—二年塗裝一次。

註：(1) 超過之程度過大時請協商後再決定規範。
 (2) 經常受到強酸、強鹼潤濕或灑到之處，原則上不設置，但如非設置不可時請經協商之後再決定規範。

爆發性瓦斯、蒸氣 在有爆發性瓦斯之周圍空氣下使用時，如電動機之選定錯誤恐造成爆發事故之原因。防爆形電動機中有安全增防爆電動機，耐壓防爆 耐壓防爆形 安全增防爆形

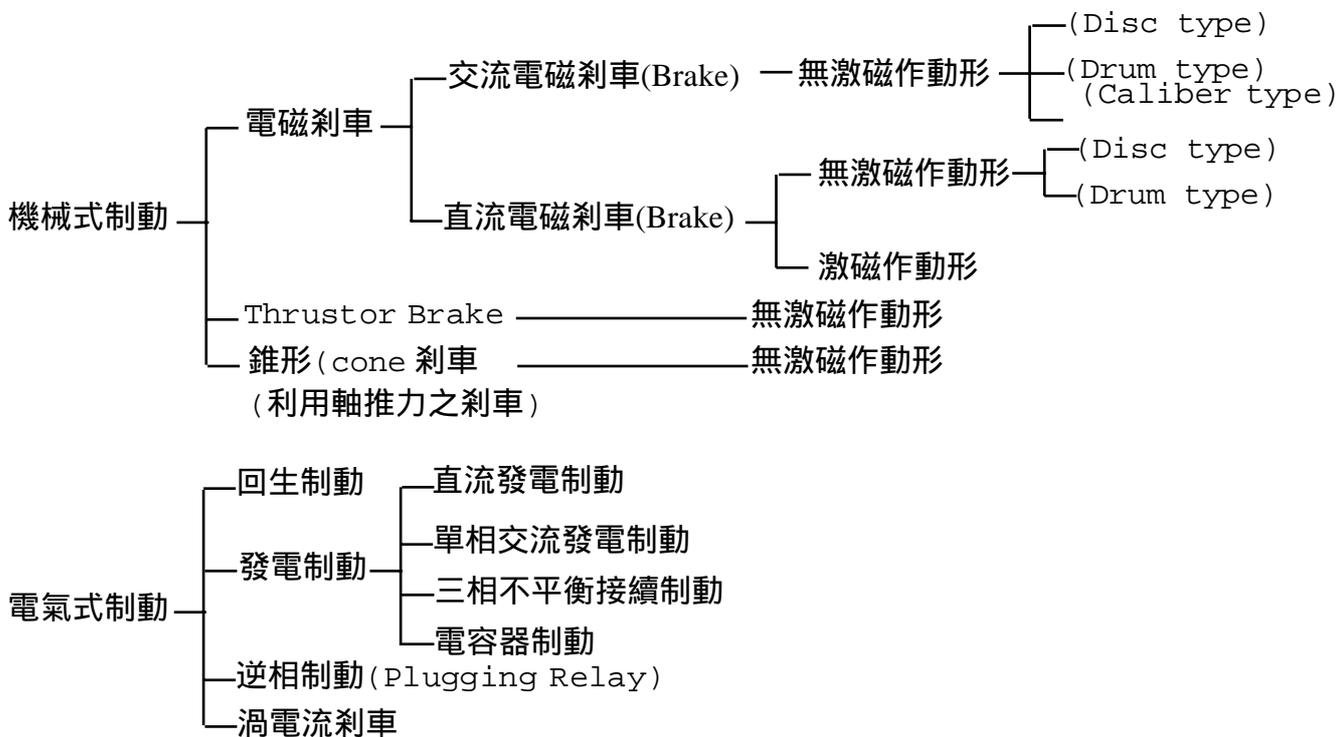
	<p>電動機以及內壓防爆電動機之三種類，而此等之中應該選用那一形，則必須根據瓦斯種類所定之發火度、爆發等級，以及瓦斯之濃度及爆發危險程度所定之爆發危險場所來加以決定。安全增防爆形電動機(採用 IEC 尺寸)時，根據適用規格、適用發火度，有些機種比起一般之標準電動機其框號較大，故應注意。</p>	
希望抑低噪音之場所	<p>最近從生活環境改善之觀點，於空調機器、醫療機器、室內輸送帶機、住宅設備機器亦在使用，甚至對於噪音水準較低之一般用小形電動機亦強烈要求低噪音之電動機。在如此之要求低噪音，而標準電動機所無法滿足時，則適用低噪音電動機。</p>	Gold Motor 低噪音 70~85phon 系列
塵埃	<p>在製粉工場、水泥工場等灰塵多之場所使用時，須採用不使灰塵侵入之防塵形，然還是須要對電動機定期分解進行清掃處理。</p>	
高地	<p>電動機在山地(標高 1,000m 以上 4,000m 以下)使用時並無必要特殊之處理，但希請注意下列幾點。</p> <p>(1) 在冷媒溫度 40℃，標高 1,000m 以下之場所使用時不必修正。</p> <p>(2) 以空氣為冷媒，在與冷媒溫度 40℃ 不同之場所或在標高超過 1,000m 之場所使用時則依 JIS C 4004 修正其溫升限度。</p> <p>例如，E 種時溫度上升值為 69℃ (冷媒溫度 40℃，標高 1,000m) 時，如在標高 3,000m、冷媒溫度 35℃ 之周圍條件下使用此電動機時，其溫度上升限度為</p> $75 - (35 - 40) - \left\{ \frac{3000 - 1000}{100} \times 0.75 \right\} = 65 ()$ <p>故不能使用。又標高 3,000m、冷媒溫度 30℃ 時，則溫升限度變成 70℃，故可以使用。</p>	

15. 制動之方式

當電動機及負荷機械擁有大的慣性之時，即使將電動機切離電源也不會馬上停止，其蓄積於轉部上之動能在尚未為摩擦損及風損所全部吸收完之前仍會繼續回轉。尤其是高爐送風機、水泥磨機(cement mill)、動葉輪軋碎機 (Impeller Breaker) 等慣性力矩大，其比率上機械損極小，故任其放置時，長時間不會停止。

如需進行頻繁之起動、停止、逆轉等動作時，為了提高作業之速度就必須使之急速停止。又，如吊車、電梯等之將重物往上升高時，如任其放置時速度會明顯提高而有危險，因此回轉速度有加以限制之必要。無論採何措施，均須施以阻礙電動機回轉之反向轉矩，此謂之制動。

以停止為目的之制動謂之停止制動，以速度限制或速度控制為目的之制動謂之運轉制動。以構造為分類法則有機械式制動法及電氣式制動法之 2 種方法。



15-1 機械式制動 (Friction Braking)

將電動機及負載所擁有之運轉能量經由剎車塊 (Brake Shoe) 及剎車鼓 (Brake Drum) 之摩擦轉換為熱能而予以消耗之方法即是。

機械式剎車之中最為一般化之盤式 (Disc type) 電磁剎車係於剎車塊上將剎車襯 (Brake lining) 頂住而遂行制動者，其制動時間或壽命之計算時，以下面之式子為之。

(1) 制動時間

由剎車馬達之電源切斷到停止時之速度以圖 15-1 之示波圖表示之，而停止時間得以下式求出。

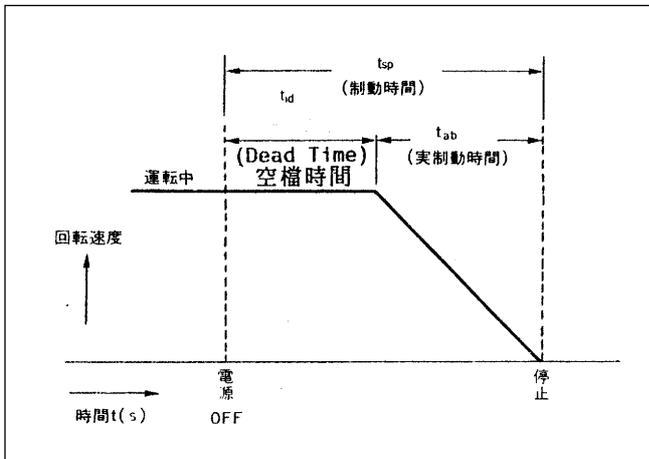
$$t_{sp} = t_{id} + t_{ab} = t_{id} + \frac{(GD_M^2 + GD_L^2) \times N_M}{375 \times (T_b + T_L)} (S) \dots \dots \dots \text{式 15-1}$$

t_{sp} :制動時間(S)

t_{id} :空檔時間(Dead Time)(S)(因剎車之特性而異)

t_{ab} :實制動時間(S)

圖 15-1 動作示波圖



$$t_{ab} = \frac{(GD_M^2 + GD_L^2) \times N_M}{375 \times (T_B + T_L)} (S) \dots \dots \dots \text{式 15-2}$$

GD_M^2 : 電動機之 GD^2 ($kg \cdot m^2$)

GD_L^2 : 換算為電動機軸之負荷 GD^2 ($kg \cdot m^2$)

N_M : 電動機全負荷回轉速度 (rpm)
(同步速度)

T_B : 制動轉矩 ($kg \cdot m$) (動摩擦轉矩)
動摩擦轉矩 = 靜摩擦轉矩 $\times 0.8$

T_L : 負荷轉矩 ($kg \cdot m$)
(如升降機下降時, 所作用之轉矩為負時, T_L 即成為負值。)

(2) 制動距離, 制動回轉數

從剎車馬達之切離電源到停止為止之制動距離或制動回轉數得以下式計算之。

$$L = \frac{V}{60} \left(t_{id} + \frac{t_{ab}}{2} \right) (m) \dots \dots \dots \text{式 15-3}$$

$$N_m = \frac{N_M}{60} \left(t_{id} + \frac{t_{ab}}{2} \right) (\text{次}) \dots \dots \dots \text{式 15-4}$$

L : 制動距離 (m)

N_m : 制動回轉數 (次)

V : 運轉速度 (m/min)

N_M : 電動機負荷回轉速度 (rpm)

t_{id} : 空檔時間 (s)

(同步速度)

t_{ab} : 實制動時間 (s) (參照式 (15-2))

(3) 制動工作量

1 次之制動所產生之剎車襯 (Brake Lining) 之工作量得以下式求出。

$$E_B = \frac{(GD_M^2 + GD_L^2) N_M^2}{7150} \times \frac{T_B}{T_B + T_L} (kg \cdot m) \dots \dots \dots \text{式 15-5}$$

E_B : 1 次之制動工作量 ($kg \cdot m$)

GD_M^2 : 電動機之 GD^2 ($kg \cdot m^2$)

GD_L^2 : 換算為電動機軸之 GD^2 ($kg \cdot m^2$)

N_M : 電動機全載回轉速度 (rpm)
(同步速度)

T_B : 制動轉矩 ($kg \cdot m$)

T_L : 負載轉矩 ($kg \cdot m$)

(昇降機下降其作用之轉矩為負時， T_L 即成為負值。)

至於，1 分鐘之制動工作量，其計算式為

$$E = E_B \times n \text{ (kg} \cdot \text{m/min)} \dots\dots\dots \text{式 (15-6)}$$

E_B : 1 次之制動工作量 (kg · m)

n : 1 分鐘之制動頻度 (次/min)

(4) 須作間隙調整前之制動次數

$$\text{須作間隙調整前之制動次數 (次)} = \frac{\text{須作間隙調整前之工作 量 (kg} \cdot \text{m)}}{\text{相當1次之制動工作量 (} E_B \text{) (kg} \cdot \text{m)}} \dots\dots\dots \text{式 (15-7)}$$

(5) 總制動次數

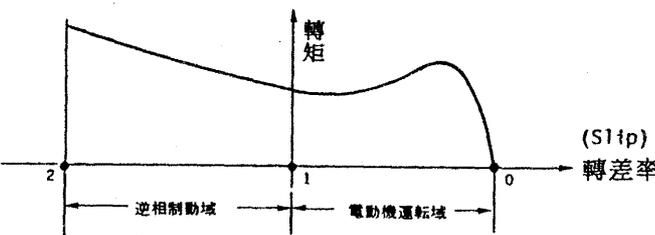
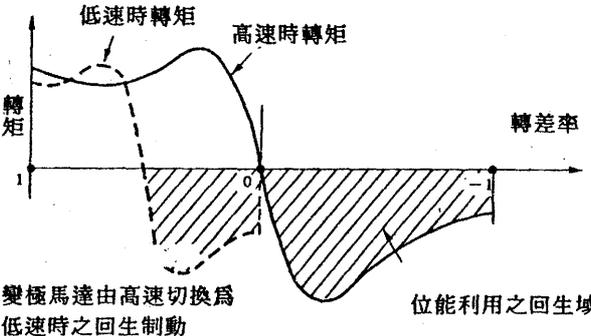
$$\text{須更換剎車襯前之總制動次數 (次)} = \frac{\text{總制動工作量 (kg} \cdot \text{m)}}{\text{相當1次之制動工作量 (} E_B \text{) (kg} \cdot \text{m)}} \dots\dots\dots \text{式 (15-8)}$$

(註) 總制動次數以機械之壽命 100 萬次為限。

15-2 電氣式制動之種類

電氣式制動之主要種類如下表所示。

表 15-2 電氣式制動之種類

種類	概要	特徵等
逆相制動 Plugging	<p>將三相感應電動機之一次繞組之三線中二線交換輸入，可獲得與轉部之回轉方向相反之制動轉矩之方法。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 須採用 Plugging Relay 以防逆轉之用。 與其他之電氣制動法不同。係以停止制動為目的之用。 負載 GD^2，制動頻度對於電動機之溫升有很大之影響故須加注意。
回生制動 Regenerative Braking	<p>以負載做為原動機使用，將電動機做為發電機所發生之電力回送至電流之方法。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 利用纜車、礦山之捲揚機或吊車等下降時之下降重量之位能時。 利用變極馬達由高速移轉至低速之際。 為提高停止精度而做為減速機之用。 於切換途中須採用電阻器或電抗器以免造成激烈之衝擊。
直流發電制動	將運轉中之三相感應電動機之一次繞組切離電源	因所發生之電力全

DC.Dynamic Braking	<p>並代之以直流電壓輸入使成為回轉電樞形發電機而獲得制動轉矩者。</p> <p>制動轉矩之大小，因直流激磁之強度、二次電阻值以及回轉速度而異。</p>	<p>部於轉子內部變為熱量故鼠籠形時不能長時間使用。因此只適用繞線形。</p> <p>. 需直流電源。</p>
<p>渦電流剎車 Eddy Current Brake</p>	<p>將渦電流聯結器之磁極側固定，而由激磁線圈之激磁電流之大小以調整制動轉矩者。</p>	<p>做為吊車馬達等之速度控制用而被使用。</p>

16. 規格 . 法規

16-1 國內規格

有關電動機之主要國內規格有下述 3 種。

(1) JIS (JAPANESE INDUSTRIAL STANDARDS)

依工業標準化法，由通產省內之日本工業標準調查會審議，且為政府所規定之國家規格，將工業全般總共畫分為 17 之部門。

(2) JEC (JAPANESE ELECTRO TECHNICAL COMMITTEE)

由電氣學會之電氣規格調查會所制定之團體規格。

(3) JEM (THE STANDARD OF JAPAN ELECTRICAL MANUFACTURES ASSOCIATION)

由電氣機器製造廠商之團體之日本電氣工業會所定之標準規格。特別是針對低壓之感應電動機，可適用下表之規格。

項目	單相標準馬達	標準三相 0.2~37kW	標準三相 45~200kW	防爆形
一般特性	JIS C 4203 「一般用單相感應電動機」	JIS C 4210 「一般用低壓三相籠形感應電動機」	-	-
框號適用及尺寸	JIS C 4203 (0.1~0.4kW のみ對象. それ以外は規格なし)	JIS C 4210	JEM 1400 「一般用低壓籠形感應電動機之尺寸」	JEM 1201 (限安全増) 「安全増防爆形低壓三相籠形感應電動機尺寸」
構造	(保護 . 冷卻) JIS C 4004 「回轉電氣機械通則」	(保護 . 冷卻) JIS C 4004	(保護 . 冷卻) JIS C 4004	防爆構造 JIS C 0903 「一般用電氣機器之防爆構造通則」 工場電氣設備 防爆指針 (産業安全衛生研)
試驗項目方法	JIS C 4203 JEC 37 「感應電動機」	JIS C 4210 JEC 37	JEC 37	工場電氣設備 防爆指針 JEC 37

16-2 國際規格

有關電動機之國際規格係由日本、美國等世界各國之委員集合，於國際電氣標準會議 (IEC: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION) 所有地定出各個項目之推薦規格，至於其個別之運用，由各國之國家規格單位決定之。

茲將低壓三相感應電動機有關之日本規格與主要國家規格之對照概略表示於下表。

國名 項目	日本	IEC	美國	英國	澳洲	西德
特性	JIS C 4210	IEC 34-12	NEMA MG1-12 ×	BS 4999-41 ×	AS 1359-10 ×	VDE 0530-1 ×
尺寸	JIS C 4210 JEM 1400	IEC 72	NEMA MG1-11 ×	BS 4999-10	AS 1360-10	DIN 42672 42676
註 1 框號適用 (含軸)	JEM 1400	-	NEMA MG1-13 ×	BS 5000-10	AS 1360-10	DIN 42672 42676
註 2 試驗	JIS C 4210 JEC 37	IEC 34-1	IEEE 112A	BS 4999-60	AS 1359-60	VDE 0530

:與日本之規格同

:部分不一致

×:不一致

註 1:框號之稱呼,日本等系列係框號=中心高,但在 NEMA 規格時,其分數馬力馬達之框號 42.48 及 56 係表示中心高之 16 倍,而整數馬力馬達則 3 位數中前 2 位之數字為中心高之 4 倍。

即,框號 48 之中心高為 $48/16=3"$

框號 143T 之中心高為 $14/4=3.5"$

註 2:一般在日本時,特性算係以圓線圖法求出,然其他之規格大多採用實負載測定法。

16-3 關連法規

(1) 電氣用品取締法(昭和 36 法律第 234 號)

目的在藉由電氣用品之製造、販賣、使用等之規制,以防止因粗劣之電氣用品而造成感電、火災、電波障害等之危險及障害。

所謂電氣用品係指為一般用電氣工作物之部分,或與之接續所使用之機械器具、材料,且為政令所規定者,以及攜帶形發電機之為政令所規定者之謂,可區分為甲種電氣用品及乙種電氣用品。

甲種電氣用品:從構造或使用法等其他方面視之,比較危險或發生障害之可能性較高之電氣產品。(434 品目).....三相感應電動機(3kW 以下 300V 以下)

乙種電氣用品:被指定為電氣用品者之中,除甲種電氣用品以外者。

(46 品目).....單相感應電動機

對於甲種電氣用品,其製造(進口)業者之登記(註冊)、形式許可、形式許可完畢之表示義務(記號、形式許可號碼、製造者名、額定、其他),或對於乙種電氣用品,其製造(進口)業者之申報,表示義務(記號、額定、其他),均分別有所規定。

(2) 有關電氣設備之技術基準(昭和 40,通產省令第 61 號)

基於電氣事業法之規定,對於電氣工作物,訂定為確保保安所應維持必要之最低限度之基準,同時為配合該目的而昭示所需之工事計畫。與此技術基準互為表裡一體之民間規定則有「日本電氣協會規定(JEAC)」,

其中之規定有關內線工事之技術性事項者為「內線規定(JEAC-8001)」。

(3) 勞動安全衛生法(昭和 47, 法律第 57 號)

藉由勞動災害防止之危害防止基準之確立, 責任體制之明確化等總合性計畫性之對策推進, 而促進勞動者之安全、健康之確保及愉快之作業環境之形成為目的。

根據同法所衍生之關係規則有如下之所述者。

(1) 勞動安衛生規則(昭和 47, 勞動省令第 32 號)

(2) 鍋爐(Boiler)及壓力容器安全規則(同第 33 號)

(3) 吊車(crane)等安全規則(同第 34 號)

(4) 無蓋貨車(Gondola)安全規則(同第 35 號)

(5) 檢查、檢定代行期間及指定教習期間規則(同第 44 號)

(6) 機械等檢定規則(同第 45 號)

為防止因工場電氣設備所引起之爆炸或火災之技術指針, 有「工場電氣設備防爆指針」。

[附錄] 近年來, 由於 ISO 之適用單位系統由過去之 MKS 單位系統逐漸移轉到 SI 單位系統。因此特將主要單位之對於 SI 之換算率彙總如下表。

主要單位之對於 SI 之換算率表

	Pa	bar	kg f/cm ²	mmH ₂ o	mmH ₂ o	MmHg 或 Torr
壓力	1	1×10 ⁻⁵	1.019 72×10 ⁻⁵	9.869 23×10 ⁻⁶	1.019 72×10 ⁻¹	7.500 62×10 ¹
	1×10 ⁵	1	1.019 72	9.869 23×10 ⁻¹	1.019 72×10 ⁴	7.500 62×10 ²
	9.806 65×10 ⁴	9.706 65×10 ⁻¹	1	9.678 41×10 ⁻¹	1×10 ⁴	7.355 59×10 ²
	1.013 25×10 ⁵	1.013 25	1.033 23	1	1.033 23×10 ⁴	7.600 00×10 ²
	9.806 65	9.806 65×10 ⁻⁵	1×10 ⁻⁴	9.678 41×10 ⁻⁵	1	7.355 59×10 ²
	1.333 22×10 ²	1.333 22×10 ⁻³	1.359 51×10 ⁻³	1.315 79×10 ⁻³	1.359 51×10	1

注 1Pa=IN/m²

	Pa	Mpa 或 Nmm ²	atm	kgf cm ²
應力	1	1×10 ⁶	1.019 72×10 ⁻²	1.019 72×10
	1×10 ⁶	1	1.019 72×10 ¹	1.019 72×10
	9.806 65×10 ⁶	9.806 65	1×10 ²	1×10 ²
	9.806 65×10 ⁴	9.806 65×10 ⁻²		1

	J	kW . h	kgf . m	Kcal
作功 · 能量 ! 熱量	1	2.777 78×10 ⁻⁷	1.019 72×10 ⁻¹	2.388 89×10 ⁴
	3.600×10 ⁶	1	3.670 98×10 ⁵	8.600 0×10 ²
	9.805 65	2.724 07×10 ⁻⁶	1	2.342 70×10 ⁻⁴
	4.186 05×10 ³	1.162 79×10 ⁻³	4.268 58×10 ²	1

注 1J=1W . S、1W . h=3600W . h

1cal=4.186 05J(依計量法)

功 率 （ 功 因 · 動 力 ） 熱 流	J	kW . h	kgf . m	kcal
	1	1.019 72×10 ⁻³	1,359 62	8.600 0×10 ⁻²
	9.806 65×10 ³	1	1.333 33×10 ⁻²	8.433 71
	7.355×10 ¹	7.5×10 ⁻¹	1	6.325 29×10 ²
	1.162 79×10 ³	1.185 72×10 ¹	1.580 95×10 ⁻³	1

注 1W=1J/s、PS: 馬力

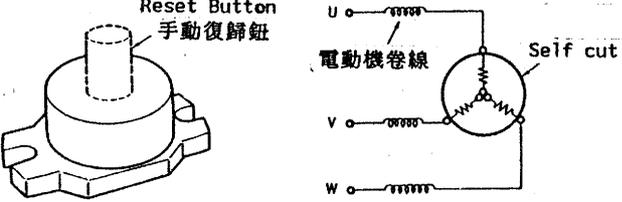
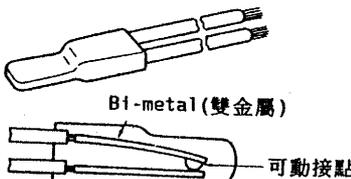
1PS=0.735 5kW(依計量法施行法)

1cal=4.186 05J(依計量法)

17. 電動機之保護

17-1 電動機線圈之燒損保護

為保護電動機之線圈因過載、電源變動或堵住等原因之燒損事故，一般所採用之方法有如下幾種之以電流值或溫度之動作保護。

區分	名稱	內容								
可直接切斷主回路者	自動切斷 (self cut)	<p>以過負載 異常堵住等電動機之異常電流及溫升雙方之因素而動作，並防止其燒損者。將電動機之定部線圈作成 Y 結線，且在其作為中性點之處連接自動切斷 (self cut)。因此不能作 Y- 起動及二重電壓接續。又，係屬將電動機回路直接開路之方式，故小容量機種方面採用多，至於大容量機種 (15kW 以上程度) 時，固電流容量關係製作困難。至於復歸因有自動式及手種式，故欲採那一種須請指定。</p> 								
將操作回路切斷者	線圈埋入形熱動電驛 (Thermal Relay)	<p>為防止因起動頻繁之激烈變動負載 過負載等之定部線圈之異常溫升之燒損，而於線圈內插入溫度動作素子者。一般於三相電動機時以複數之素子串聯接續之，因其端子二根拉至電動機之端子箱內而引出，故請連接此端子至電磁開關之操作回路上作為停止聯鎖 (Interlock)。至於，素子之動作溫度須選定可適應絕緣等級、電動機構造者，但一般標準如下表。</p> <table border="1" data-bbox="790 1579 1225 1758"> <thead> <tr> <th>絕緣階級</th> <th>動作溫度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>105</td> </tr> <tr> <td>E, B</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>135</td> </tr> </tbody> </table> 	絕緣階級	動作溫度	A	105	E, B	120	F	135
絕緣階級	動作溫度									
A	105									
E, B	120									
F	135									

PTC 熱敏電阻
(Thermistor)

與線圈埋入形熱動電驛 (Thermal Relay) 同樣埋入於線圈內，係利用熱敏電阻 (Thermistor) 素子之所謂在某一溫度時其電阻值會急速增加之特長者。但，其本身內部沒有接點而與線圈埋入形熱動電驛有所差異，故另外需要專用之繼電器組 (Relay Unit)。

絕緣階級	動作溫度
E	120/130
B	130/140
F	150/160

註：動作溫度可適用於防滴形/全閉形。

