

電機能效提升應用實務 (馬達、泵)

施顏崇



溫室氣體與全球暖化

- ◆ 大自然原本就儲存二氧化碳在地底與海中，維持平衡狀態
- ◆ 人為活動使大氣中二氧化碳濃度升高，破壞自然平衡



全球暖化可能之衝擊影響



馬達分類

馬達(Electric motor)，又稱為馬達或電動馬達，是一種將電能轉化成機械能，並可再使用機械能產生動能，用來驅動其他裝置的電氣設備，分類如下

◆使用電源

➤ 交流馬達

- 同步馬達：如壓縮機、磨球機、...
- 非同步馬達：如風機、泵、...

➤ 直流馬達

◆工作原理

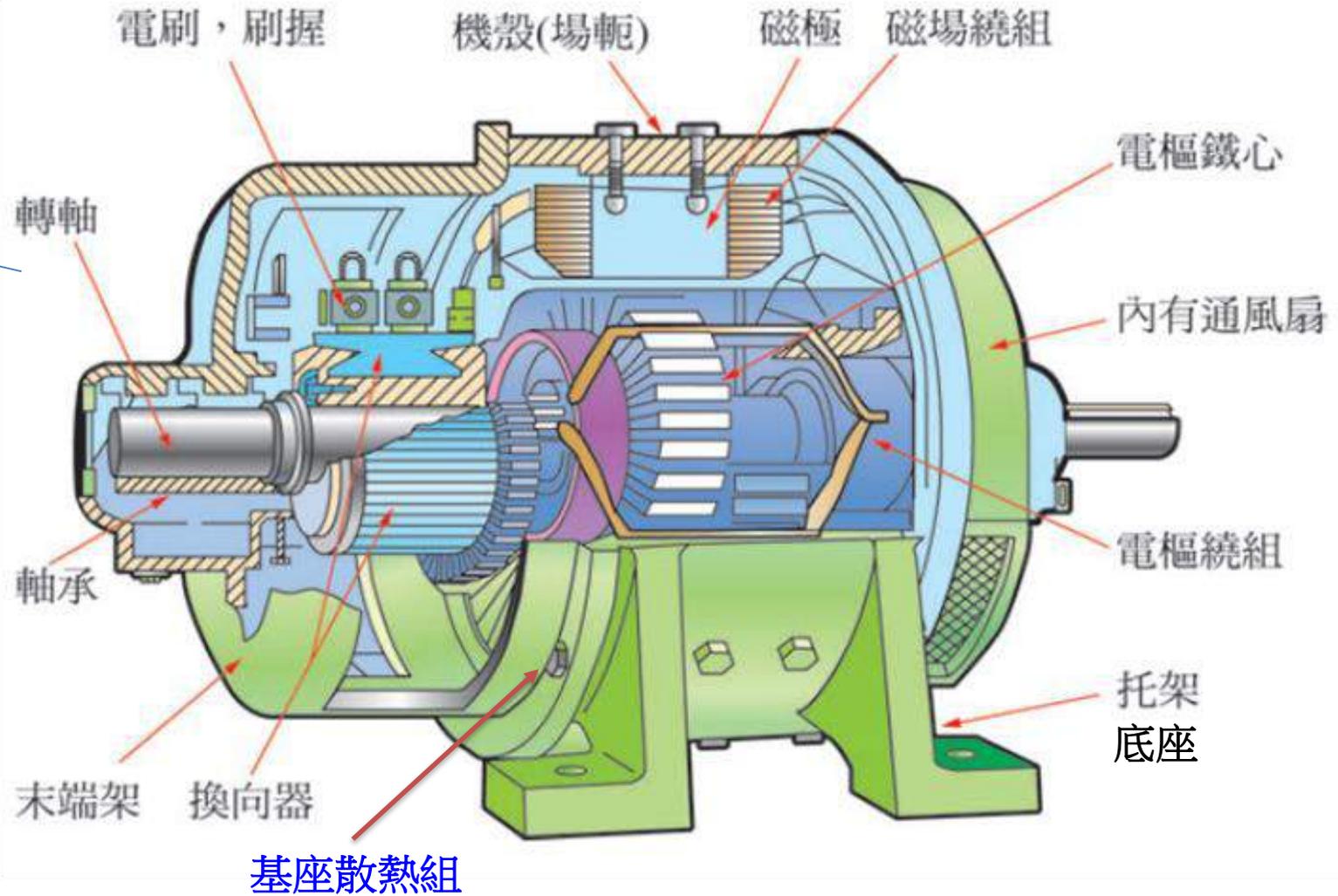
- 直流馬達的原理是定子不動，轉子依相互作用所產生作用力的方向運動。
- 交流馬達則是定子繞組線圈通上交流電，產生旋轉磁場，旋轉磁場吸引轉子一起作旋轉運動

◆功率大小

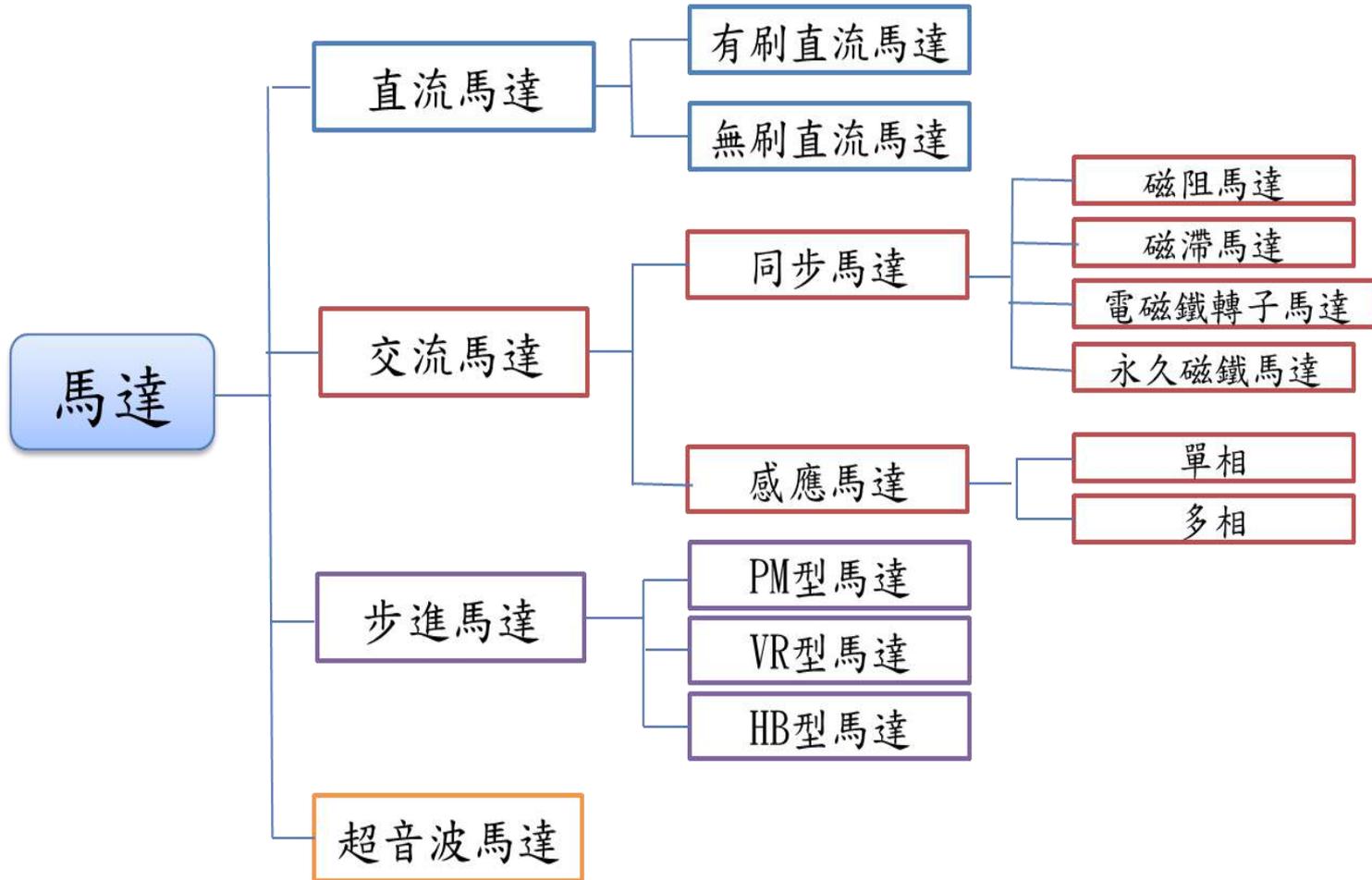
◆結構型式

◆產品用途

馬達(馬達)構造



馬達(馬達)型式分類



馬達的主要類型與用途

種類		主要用途
同步馬達	有刷激磁同步馬達	驅動功率較大或轉速較低的機械設備，用於大型船舶的推進器
	無刷激磁同步馬達	驅動功率較大或轉速較低的機械設備，用於大型船舶的推進器，並可用於防暴等特殊場合
	永磁同步馬達	用於紡織化纖設備和各種特殊用途轉用設備，以及年運轉時間長的如風機、泵、... 等
感應馬達	籠型感應馬達	用於驅動一般機械設備
	繞線轉子感應馬達	用於要求啟動轉矩(扭力)高、起停電流小或小範圍調速的機械設備
交流換像馬達		三相換向器馬達用於驅動需要調速機械 單相換向器馬達用於電動工具、吸塵器、... 等
直流馬達		用於冶金、採擴、交通運輸、... 等行業 主要驅動需要調速的機械設備、... 等
交直流二用馬達		用於電動工具、... 等

馬達成本週期分析

工業用馬達使用壽命約20年

1. 購置成本

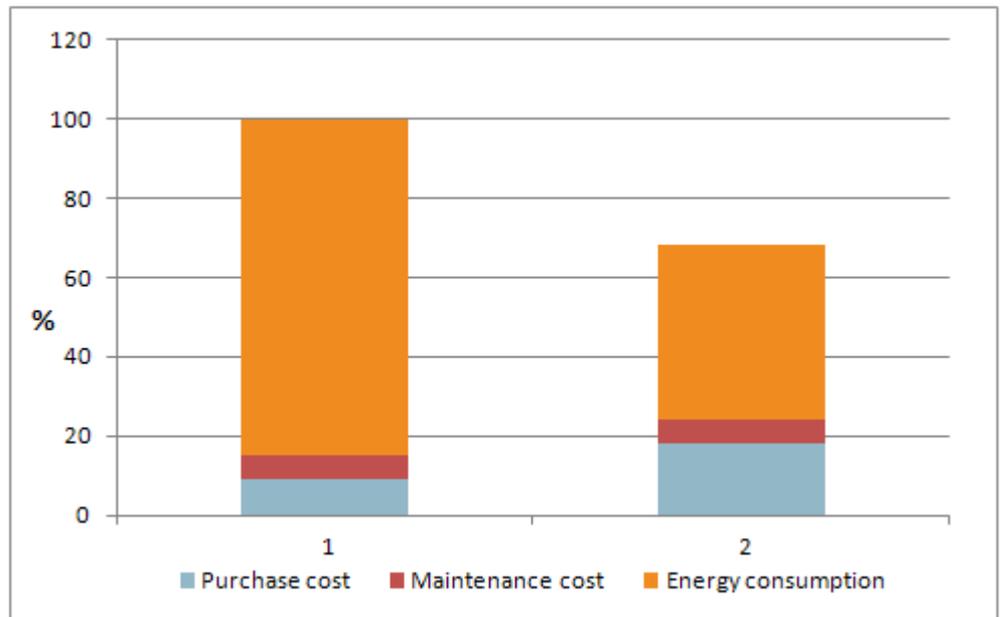
- 購買成本
- 建置成本
- 利息

2. 運營成本

- 能源消耗
- 故障、維修和備料成本
- 停機成本(生產損失)

3. 處置成本

- 環境成本
- 報廢成本



馬達效率等級製造趨勢

(モーター効率%)



馬達效率的提昇主要方法

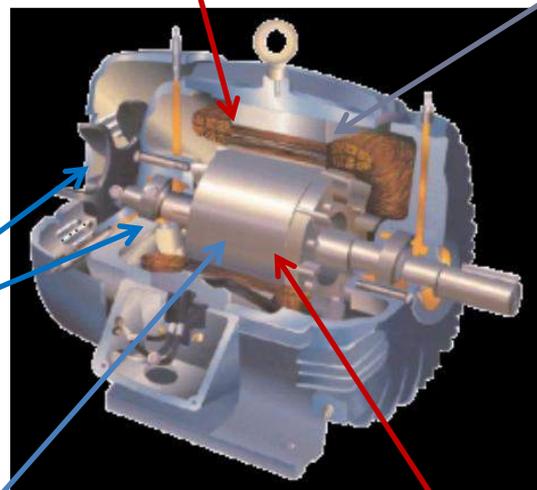
1. 降低定子電磁損失
2. 降低轉子電磁損失(使用高導磁矽鋼片、矽鋼片減薄)
3. 降低導線電阻損失(改善導線充填、改善導線電阻)
4. 降低摩擦和風阻(改善風扇效率)
5. 降低雜散損失(改善導線、改善溝槽設計)

一次銅損

線圈組合及鐵心形狀的最佳化，以減少銅損

鐵損

使用高品質的電磁鋼版，以減少鐵損



機械損

外扇之小型化等設計，以減少機械損

雜散損

二次銅損

高效率馬達優點

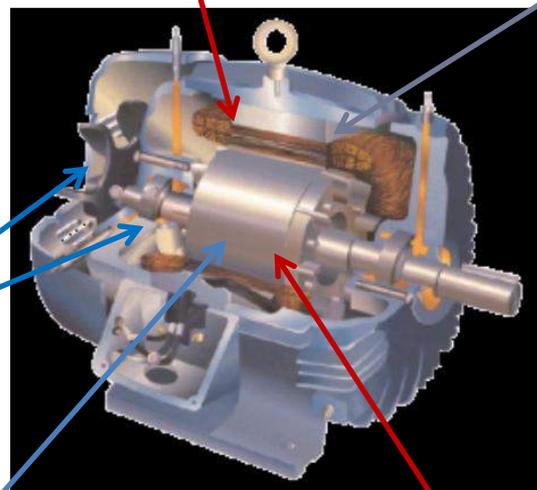
1. 電能的節省
2. 更長的使用壽命
3. 在不良工作環境下，能效較好，例如：電壓不平衡
4. 有較高的服務係數（higher service factors）
5. 絕緣以及軸承的壽命較長
6. 更低的無效熱能輸出
7. 更小的振動
8. 更低的噪音
9. 對於慣性高負載，加速能力佳
10. 在所有負載點都具有較高的效率

一次銅損

線圈組合及鐵心形狀的最佳化，以減少銅損

鐵損

使用高品質的電磁鋼版，以減少鐵損



機械損

外扇之小型化等設計，以減少機械損

雜散損

二次銅損

交流感應馬達與直流無刷馬達比較

AC感應馬達的損失
Loss of AC induction motor
IM(100%)



感應馬達
induction motor

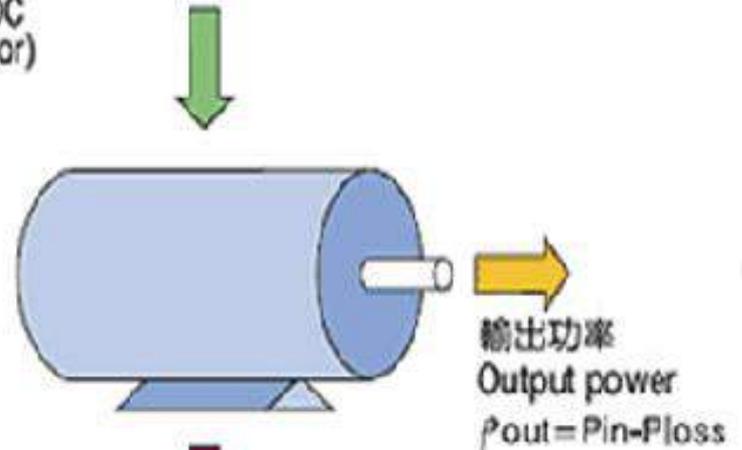
效率 η
Efficiency = $\frac{\text{輸出功率 } P_{out}}{\text{輸出功率 } P_{in}} \times 100(\%)$

DC直流無刷馬達
(磁鐵馬達)的損失
Loss of brushless DC
motor (magnet motor)
PM(60~70%)



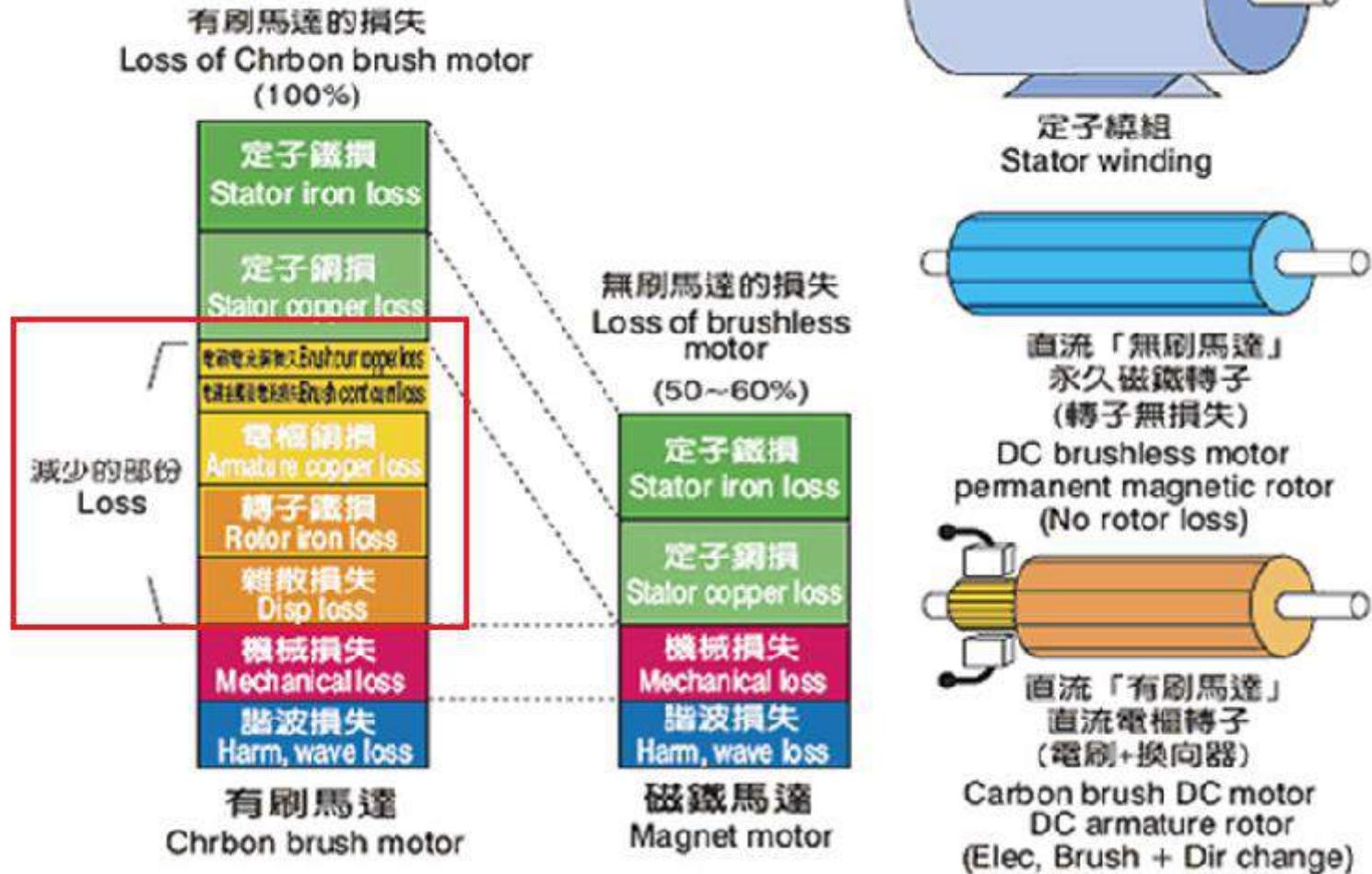
磁鐵馬達
Magnet motor

輸出功率 Output power
 $P_{in} = P_{out} + P_{loss}$



損失 Loss
 $P_{loss} = P_{in} - P_{out}$

直流有刷馬達與無刷馬達的損失比較



低壓三相鼠籠型感應馬達IE3能源效率基準

- 一. η 為額定滿載效率，實測滿載效率依中華民國國家標準 CNS 14400 「低壓三相鼠籠型高效率感應馬達(一般用)」或依中央主管機關規定之標準試驗。
- 二. 廠商於銘牌上的滿載效率標示值不得小於標準值。
- 三. 實測之滿載效率不得小於標示值 η' 減去許可差 ε ，許可差 ε 計算方式如下：

$$\varepsilon = (1 - \eta') \times 15\% \quad (\text{額定輸出功率} \leq 150\text{kW 之電動機})$$

$$\varepsilon = (1 - \eta') \times 10\% \quad (\text{額定輸出功率} > 150\text{kW 之電動機})$$

- 四. 滿載效率之實測值(%)計算至小數點後第一位，小數點後第二位四捨五入
- 五. 若未表列之輸出功率「大於或等於」其大一級輸出功率和小一級輸出功率之平均值，以大一級輸出功率之效率為檢驗標準。
- 六. 若未表列之輸出功率「小於」其大一級輸出功率和小一級輸出功率之平均值，以小一級輸出功率之效率為檢驗標準。

低壓三相鼠籠型感應馬達IE3能源效率基準

額定輸出功率		2極			4極			6極			實施日期
		同步轉速(rpm)	額定滿載效率 $\eta(\%)$		同步轉速(rpm)	額定滿載效率 $\eta(\%)$		同步轉速(rpm)	額定滿載效率 $\eta(\%)$		
kW	HP (參考值)	60Hz	全閉型	保護型	60Hz	全閉型	保護型	60Hz	全閉型	保護型	自一百零五年 七月一日起
0.75	1	3600	77.0	77.0	1800	85.5	85.5	1200	82.5	82.5	
1.1	1.5		84.0	84.0		86.5	86.5		87.5	86.5	
1.5	2		85.5	85.5		86.5	86.5		88.5	87.5	
2.2	3		86.5	85.5		89.5	89.5		89.5	88.5	
3.7	5		88.5	86.5		89.5	89.5		89.5	89.5	
5.5	7.5		89.5	88.5		91.7	91.0		91.0	90.2	
7.5	10		90.2	89.5		91.7	91.7		91.0	91.7	
11	15		91.0	90.2		92.4	93.0		91.7	91.7	
15	20		91.0	91.0		93.0	93.0		91.7	92.4	
18.5	25		91.7	91.7		93.6	93.6		93.0	93.0	
22	30		91.7	91.7		93.6	94.1		93.0	93.6	
30	40		92.4	92.4		94.1	94.1		94.1	94.1	
37	50		93.0	93.0		94.5	94.5		94.1	94.1	
45	60		93.6	93.6		95.0	95.0		94.5	94.5	
55	75		93.6	93.6		95.4	95.0		94.5	94.5	
75	100		94.1	93.6		95.4	95.4		95.0	95.0	
90	125		95.0	94.1		95.4	95.4		95.0	95.0	
110	150		95.0	94.1		95.8	95.8		95.8	95.4	
150	200	95.4	95.0	96.2	95.8	95.8	95.4				
185~200	250~270	95.8	95.4	96.2	96.0	95.8	95.8				

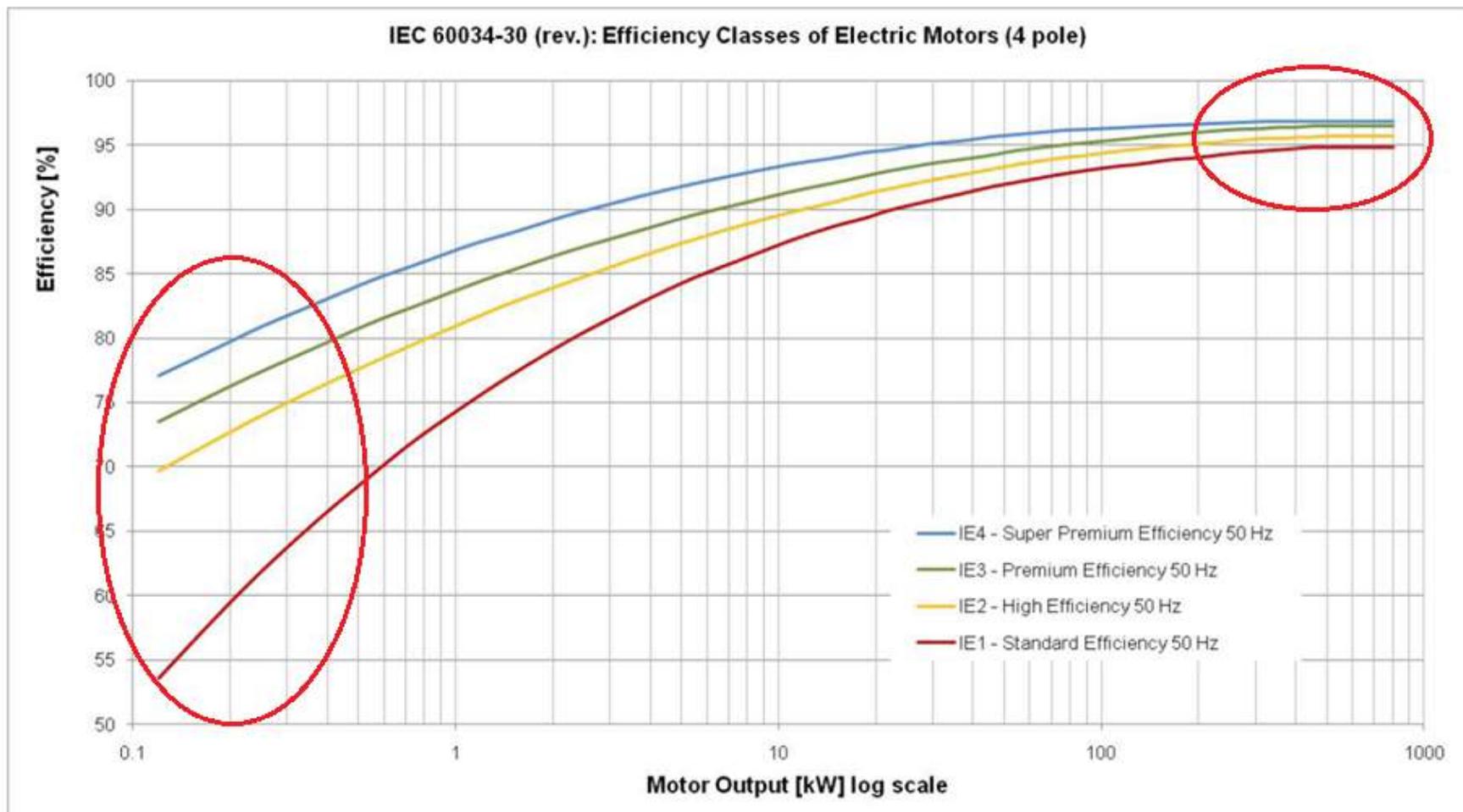
本公告適用符合中華民國國家標準(以下簡稱CNS) 14400規定，且額定輸出功率在 0.75kW/1HP 至 200kW/270HP或經中央主管機關認定之低壓三相鼠籠型感應馬達(以下簡稱馬達)。

https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/Law/Content.aspx?menu_id=1038

馬達額定效率等級表

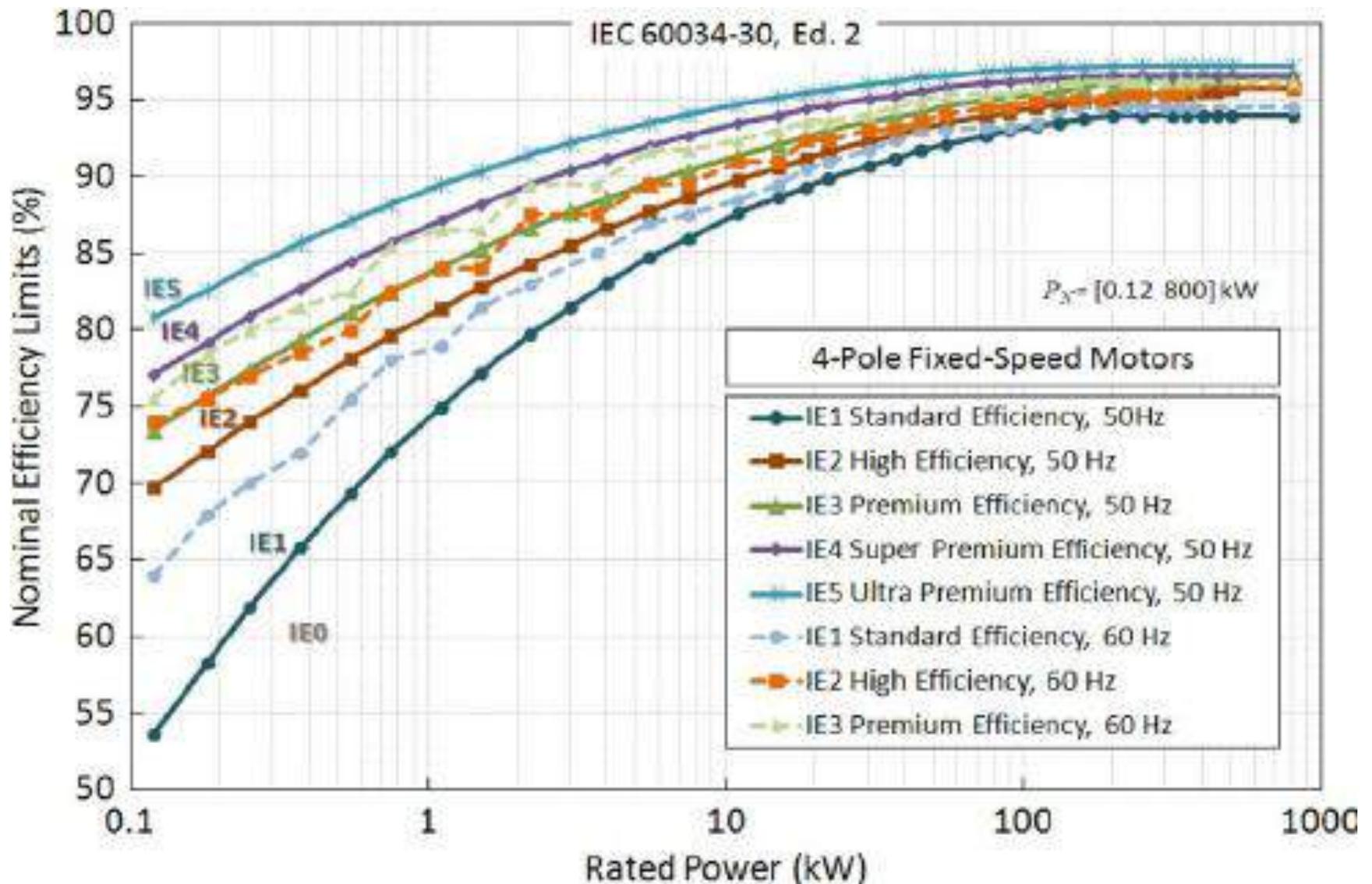
60 HZ		2 Pole					4 Pole					6 Pole						
		同步轉速	額定效率 η (%)				同步轉速	額定效率 η (%)				同步轉速	額定效率 η (%)					
KW	HP	rpm	IE1	IE2	IE3	IE4	rpm	IE1	IE2	IE3	IE4	rpm	IE1	IE2	IE3	IE4		
0.75	1	3600	74.0	75.5	77.0	82.5	1800	78.0	82.5	85.5	85.5	1200	73.0	80.0	82.5	84.0		
1.1	1.5		78.5	82.5	84.0	85.5		79.0	84.0	86.5	87.5		75.0	85.5	87.5	88.5		
1.5	2		81.0	84.0	85.5	86.5		81.5	84.0	86.5	88.5		77.0	86.5	88.5	89.5		
2.2	3		81.5	85.5	86.5	88.5		83.0	87.5	89.5	91.0		78.5	87.5	89.5	90.2		
3.0			—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—	—	—
3.7	5		84.5	87.5	88.5	89.5		85.0	87.5	89.5	91.0		83.5	87.5	89.5	90.2		
4.0			—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—	—	—
5.5	7.5		86.0	88.5	89.5	90.2		87.0	89.5	91.7	92.4		85.0	89.5	91.0	91.7		
7.5	10		87.5	89.5	90.2	91.7		87.5	89.5	91.7	92.4		86.0	89.5	91.0	92.4		
11.0	15		87.5	90.2	91.0	92.4		88.5	91.0	92.4	93.6		89.0	90.2	91.7	93.0		
15.0	20		88.5	90.2	91.0	92.4		89.5	91.0	93.0	94.1		89.5	90.2	91.7	93.0		
18.5	25		89.5	91.0	91.7	93.0		90.5	92.4	93.6	94.5		90.2	91.7	93.0	94.1		
22.0	30		89.5	91.0	91.7	93.0		91.0	92.4	93.6	94.5		91.0	91.7	93.0	94.1		
30.0	40		90.2	91.7	92.4	93.6		91.7	93.0	94.1	95.0		91.7	93.0	94.1	95.0		
37.0	50		91.5	92.4	93.0	94.1		92.4	93.0	94.5	95.4		91.7	93.0	94.1	95.0		
45.0	60		91.7	93.0	93.6	94.5		93.0	93.6	95.0	95.4		91.7	93.6	94.5	95.4		
55.0	75		92.4	93.0	93.6	94.5		93.0	94.1	95.4	95.8		92.1	93.6	94.5	95.4		
75.0	100		93.0	93.6	94.1	95.0		93.2	94.5	95.4	96.2		93.0	94.1	95.0	95.8		
90.0	125		93.0	94.5	95.0	95.4		93.2	94.5	95.4	96.2		93.0	94.1	95.0	95.8		
110.0	150		93.0	94.5	95.0	95.4		93.5	95.0	95.8	96.2		94.1	95.0	95.8	96.2		
132.0			—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—	—	—
150.0	200		94.1	95.0	95.4	95.8		94.5	95.0	96.2	96.5		94.1	95.0	95.8	96.2		
160.0			—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—	—	—
185.0	250		94.1	95.4	95.8	96.2		94.5	95.4	96.2	96.5		94.1	95.0	95.8	96.2		
200.0			—	—	—	—		—	—	—	—		—	—	—	—	—	—
220.0	300		94.1	95.4	95.8	96.2		94.5	95.4	96.2	96.8		94.1	95.0	95.8	96.5		
250.0	350		94.1	95.4	95.8	96.2		94.5	95.4	96.2	96.8		94.1	95.0	95.8	96.5		
300.0	400		94.1	95.4	95.8	96.2		94.5	95.4	96.2	96.8		94.1	95.0	95.8	96.5		
330.0	450		94.1	95.4	95.8	96.2		94.5	95.4	96.2	96.8		94.1	95.0	95.8	96.5		
375.0	500		94.1	95.4	95.8	96.2		94.5	95.4	96.2	96.8		94.1	95.0	95.8	96.5		

馬達效率標準(IE)



- IE 1 高效率 Standard Efficiency
- IE 2 優級效率 High Efficiency
- IE 3 超高效率 Premium Efficiency
- IE 4 超優級效率 Super Premium Efficiency

不同馬達IE效率標準(四極)



X廠高效率馬達 IE3 系列

馬力	極數	轉速	電壓	頻率	全載 電流	啟動 電流	負載 100%	負載 75%	負載 50%	PF 100%	PF 75%	PF 50%
1	2	3475	220	60	3.0	29.0	83.0	82.3	79.1	79.0	70.5	57.5
10	2	3515	220	60	25	183	90.2	91.0	90.7	87.0	85.5	80.0
15	2	3535	220	60	35	266	91.0	91.2	90.1	91.0	89.5	86.0
100	2	3575	220	60	231	1761	94.1	93.9	92.9	90.5	89.5	85.5
125	2	3580	220	60	278	2183	95.0	94.9	94.2	89.5	87.5	82.0
150	2	3580	220	60	349	2448	95.0	94.7	93.5	87.0	84.5	77.5
175	2	3575	220	60	408	3347	95.4	95.3	94.5	89.0	87.0	82.0

X廠高效率馬達不同馬力與負載關係

AEHF / AEUF 特性表

全密閉式。F級絕緣。40℃环境温度。使用係數S.F.: 1.15 at 60HZ

(220V/380V)

輸出 HP	kW	極數 Pole	滿載 轉速 rpm	機號 FRAME SIZE	24			34			44			電流		轉矩			轉子 質量 kgm ²
					滿載 (%)	負載 (%)	1/2 負載 (%)	滿載 (%)	負載 (%)	1/2 負載 (%)	滿載 (%)	負載 (%)	1/2 負載 (%)	220V (A)	380V (A)	起動 電流 380V (A)	滿載	起動 轉矩	
1	0.75	2	3470	80M	82.0	82.0	79.0	84.5	78.0	85.0	2.84	1.84	15	0.210	360	385	430	0.006	
		4	1730	80M	85.5	84.5	82.5	72.0	82.0	88.0	3.20	1.88	15	0.423	400	318	420	0.013	
		6	1145	90L	82.5	83.0	81.5	70.0	82.0	89.0	3.41	1.87	18	0.837	185	178	285	0.022	
2	1.5	2	3800	90L	85.5	86.0	84.5	86.0	78.0	89.0	3.38	3.10	30	0.417	370	310	410	0.011	
		4	1750	90L	87.5	88.0	86.0	78.0	87.5	84.0	3.62	3.43	30	0.834	325	278	380	0.022	
		6	1165	112M	85.5	86.0	85.5	89.0	86.0	87.0	3.45	3.72	30	1.263	180	165	270	0.071	
3	2.2	2	3505	90L	86.5	86.5	85.5	84.0	77.0	89.0	7.96	4.90	48	0.811	400	270	420	0.018	
		4	1745	100L	89.5	89.0	88.0	82.0	75.0	83.0	7.47	4.58	48	1.227	320	210	330	0.080	
		6	1180	112M	86.5	86.0	87.5	71.0	81.0	86.0	9.09	6.28	40	1.845	185	165	265	0.084	
5	3.7	2	3500	112M	90.0	91.0	89.5	80.5	87.0	80.0	11.9	6.90	70	1.023	360	220	408	0.048	
		4	1750	112M	89.5	90.0	89.5	82.0	77.0	87.0	13.2	7.66	70	2.097	225	185	380	0.089	
		6	1165	132S	89.5	90.0	89.0	78.0	72.0	80.0	13.9	8.05	70	3.090	185	170	280	0.143	
7.5	5.5	2	3505	132S	91.0	91.0	90.0	86.5	83.5	75.5	18.3	10.8	85	1.514	220	200	310	0.282	
		4	1780	132S	91.7	91.5	91.0	85.0	81.5	72.5	18.5	10.7	85	3.041	260	200	310	0.130	
		6	1170	132M	91.0	91.0	90.0	78.0	86.0	85.0	21.1	12.2	100	4.564	230	210	345	0.217	
10	7.5	2	3825	132S	91.5	91.5	90.0	86.0	83.0	75.0	25.0	14.5	130	2.070	240	200	300	0.078	
		4	1795	132M	92.0	92.5	92.0	86.5	81.0	72.0	25.0	14.5	130	4.138	280	200	338	0.173	
		6	1175	160M	91.7	92.0	91.0	79.0	73.5	82.5	27.2	15.7	130	6.211	280	235	285	0.484	
15	11	2	3505	160M	91.7	92.0	91.0	80.5	89.0	84.0	34.8	20.1	165	3.028	255	185	285	0.182	
		4	1785	160M	92.4	92.4	92.0	86.0	83.0	75.0	38.3	21.0	165	6.064	245	200	275	0.287	
		6	1170	190L	91.7	92.0	91.5	80.0	75.0	84.0	32.8	22.8	185	8.148	305	265	280	0.492	
20	15	2	3500	160M	91.7	92.0	91.5	80.0	88.0	81.0	47.7	27.6	225	4.138	240	180	260	0.188	
		4	1785	190L	93.0	93.0	92.5	86.0	83.0	75.0	49.2	28.5	230	8.269	255	200	288	0.462	
		6	1175	190M	92.0	93.0	93.0	83.0	80.0	72.0	81.6	29.8	220	12.42	240	185	235	0.692	
25	18.5	2	3505	190L	92.4	92.4	92.0	91.0	80.0	84.5	67.7	33.4	280	6.092	280	200	265	0.227	
		4	1775	190M	93.6	93.5	92.5	83.0	78.5	71.5	82.6	38.2	290	10.14	250	200	270	0.707	
		6	1180	180L	93.5	93.5	93.0	82.0	77.0	67.0	83.3	36.7	305	15.28	305	245	310	0.810	
30	22	2	3555	190M	93.0	93.0	92.0	90.0	88.0	82.0	89.0	38.9	380	8.021	270	240	360	0.282	
		4	1775	190M	93.8	93.5	93.5	84.0	81.0	73.0	73.4	42.5	360	12.08	235	200	270	0.792	
		6	1180	180L	93.5	93.5	93.5	83.0	78.5	69.0	74.4	42.1	345	15.14	285	225	285	1.217	
40	30	2	3590	190L	93.6	94.0	93.0	92.0	90.5	85.0	81.5	53.0	485	8.222	280	215	325	0.434	
		4	1775	180L	94.1	94.5	94.0	85.5	83.5	77.0	87.9	55.7	420	18.49	230	200	265	1.008	
		6	1180	200L	94.1	94.0	93.5	86.5	84.5	78.0	86.7	56.0	420	24.74	210	185	215	3.023	
50	37	2	3855	200L	93.0	92.8	91.5	89.0	86.5	79.0	117	67.9	580	10.13	170	145	285	1.018	
		4	1780	200L	95.0	95.0	94.5	85.5	83.0	75.0	120	88.2	580	20.23	230	200	260	1.898	
		6	1185	200L	94.1	94.5	93.5	85.0	81.5	73.0	121	70.3	580	30.38	240	185	240	3.658	
60	45	2	3555	200L	93.6	93.5	92.5	91.5	91.5	88.0	138	78.8	650	12.32	180	130	265	1.187	
		4	1780	200L	95.5	95.5	95.0	86.5	83.0	75.0	145	82.7	650	24.60	220	210	275	1.878	
		6	1185	225S	94.5	94.5	94.0	86.5	83.5	75.0	144	82.6	650	36.85	240	215	280	5.106	
75	55	2	3570	225S	94.5	95.0	94.5	90.0	90.0	86.0	170	88.2	800	14.96	165	140	280	1.841	
		4	1785	225S	95.5	95.5	95.0	86.5	84.5	78.0	175	101	835	29.88	290	205	280	3.911	
		6	1185	250S	95.0	95.5	94.5	83.0	79.5	71.0	183	106	800	45.16	180	185	280	6.492	
100	75	2	3585	250S	94.5	94.5	94.0	88.5	87.0	82.0	-	138	1080	25.47	140	120	285	1.759	
		4	1780	250S	95.4	95.0	93.5	88.0	84.5	78.0	-	139	1080	41.00	180	160	300	4.852	
		6	1185	250M	95.0	94.5	94.0	86.0	83.5	75.0	-	139	850	81.88	185	160	250	6.178	
125	90	2	3575	250M	95.0	94.8	93.5	89.0	87.0	82.0	-	162	1385	24.90	135	140	310	2.287	
		4	1785	250M	95.4	95.5	95.0	88.0	83.0	75.0	-	167	1385	49.06	235	220	380	6.111	
		6	1190	280S	95.2	95.1	95.0	86.5	83.0	76.1	-	168	1385	73.99	280	200	270	15.10	
150	110	2	3590	280S	95.2	94.8	93.9	88.0	85.0	78.1	-	189	1950	28.90	180	145	280	3.902	
		4	1788	280S	95.8	95.5	94.8	86.0	83.6	76.8	-	201	1850	69.88	180	140	360	9.802	
		6	1190	280M	95.8	95.8	95.2	84.5	80.9	72.2	-	206	1850	88.84	300	250	300	17.82	
175	132	2	3575	280M	95.4	95.2	94.3	89.0	86.5	81.9	-	238	1950	35.93	180	135	260	4.902	
		4	1790	280M	96.2	96.0	95.2	89.0	83.3	76.1	-	242	1900	71.78	185	140	375	11.50	
		6	1190	250S	95.8	95.8	95.7	85.0	81.8	73.9	-	248	2000	107.8	265	210	275	19.82	
215	160	2	3579	315S	95.4	95.1	94.5	90.0	89.2	85.8	-	283	2200	43.90	160	145	260	5.802	
		4	1788	315S	96.2	96.1	95.6	87.0	84.8	77.3	-	280	2200	87.07	130	117	330	12.82	
		6	1190	315M	95.8	95.8	95.7	85.5	82.9	75.9	-	297	2430	130.8	220	180	220	22.70	
270	200	2	3575	315M	95.8	95.8	95.5	90.5	90.4	85.5	-	350	2900	84.42	170	135	300	6.202	
		4	1788	315M	96.2	96.1	96.0	88.0	82.0	73.0	-	387	2800	104.8	120	117	330	14.40	

NOTE: 規範及裕度依據 CNS 14400

大陸小功率馬達效率標準

額定 功率 (W)	能效等級								
	1級			2級			3級		
	2極	4極	6極	2極	4極	6極	2極	4極	6極
10	-	35.0	—	-	31.4	—	—	28.0	—
16	54.1	39.4	—	50.1	35.6	—	46.0	32.0	—
25	60.0	50.1	—	56.0	46.0	—	52.0	42.0	—
40	62.8	58.1	—	59.0	54.1	—	55.0	50.0	—
60	67.5	63.8	—	63.8	60.0	—	60.0	56.0	—
90	69.3	65.7	—	65.7	61.9	—	62.0	58.0	—
120	73.8	67.5	—	70.5	63.8	—	67.0	60.0	—
180	75.5	71.1	66.6	72.4	67.7	62.9	69.0	64.0	59.0
250	78.1	73.8	70.2	75.2	70.5	66.7	72.0	67.0	63.0
370	79.3	75.9	74.6	76.5	72.8	71.4	73.5	69.5	68.0
550	81.0	79.3	77.2	78.4	76.5	74.2	75.5	73.5	71.0
750	—	—	—	—	—	—	77.4	79.6	75.9

GB 25958-2010 小功率馬達能效限定值及能效等級

馬達系統之損失來源

1. 電源：電源品質不良(如三相電壓不平衡、諧波)造成額外損失
2. 變頻器(Inverter)：變頻器中的電力電子元件開關切換以及電路本身電功率的損失
3. 變壓器：變壓器鐵心用來產生磁通的磁化電流以及用來補償鐵心磁滯以及渦流損失的鐵心損失電流，亦會造成損失
4. 電纜線：傳輸電功率時，在纜線上所造成的線路壓降及線路損失
5. 馬達損失：馬達損失可分為定子一次銅損、轉子二次銅損、定轉子之鐵損、雜散損、摩擦損及風損
6. 傳動裝置：不同的各種傳動方式，造成不同摩擦損失的大小
7. 負載：負載與馬達特性不符，造成馬達機械功率使用率不佳

一般NEMA design B的馬達為例，各部份損失占總損失之平均百分比，如下表

損失種類	典型之百分比	損失影響的因數
定子一次銅損	35%~40%	定子導體大小及材質
轉子二次銅損	15%~20%	轉子導體大小及材質
定轉子之鐵損	15%~20%	磁性材質之形式及材質
雜散損	10%~15%	主要製造及設計法
摩擦損及風損	5%~10%	風扇及軸承之選定與設計

馬達設計提高效率措施及成本對比

目標	措施	損耗降低幅度	成本是否增加
降低鐵心損耗	由高損耗的熱軋電工鋼改為低損耗、高磁感的冷軋無取向電工鋼	20%	大幅增加
降低定子銅損耗	增加定子有效材料用量、改進線圈結構	20%	大幅增加
降低轉子銅損耗	增加轉子有效材料用量	15%	略微增加
降低機械損耗	改善通風結構、改進風扇結構、減小風扇尺寸	35%	基本不變
降低附加損耗	改變定子繞組形式、定轉子槽配合、加大氣隙等	30%	略微增加

馬達發熱原因

1. 馬達定、轉子之間氣隙很小，容易導致定、轉子之間相碰
2. 馬達的不正常振動或噪音容易引起馬達的發熱
3. 軸承工作不正常
4. 電源電壓偏高，勵磁電流增大，馬達會過度發熱
5. 繞組短路，匝間短路，相間短路和繞組斷路
6. 物料泄漏進入馬達內部
一般液體和氣體泄漏有以下幾種表現形式：
 - 1)各種容器和輸送管道泄漏、泵體密封泄漏、沖洗設備和地面等
 - 2)機械油泄漏後從前端軸承盒縫隙中進入馬達
 - 3)與馬達相連的減速機等油封磨損，機械潤滑油順著馬達軸進入，在馬達內部積聚後，溶解馬達絕緣漆，使馬達絕緣性能逐步降低
7. **幾乎有一半以上馬達燒毀都是由於馬達缺相運行引起**
造成缺相運行的主要原因如下：
 - 1) 電源線路上因其它設備故障引起一相斷電，接在該線路上的其它三相設備就會缺相運行。
 - 2) 斷路器或接觸器一相由於偏電壓燒毀或接觸不良造成缺相。
 - 3) 馬達接進線由於老化、磨損等原因造成的缺相。
 - 4) 馬達一相繞組斷路，或接線盒內一相接頭鬆脫。
8. 其它非機械電氣故障原因

馬達發熱原理與溫度

- 各類馬達，內部都是有鐵芯和繞組線圈的組件
- 銅損：繞組有電阻，通電會產生損耗，損耗大小與電阻和電流的平方成正比，這就是銅損
- 如電流不是標準的直流或正弦波，還會產生諧波損耗
- 鐵損：鐵芯有磁滯渦流效應，在交變磁場中也會產生損耗，其大小與材料，電流，頻率，電壓有關
 - ✓ 銅損和鐵損都會以發熱的形式表現出來，影響馬達的效率
 - ✓ 馬達一般追求定位精度和力矩輸出，效率比較低，電流一般比較大，且諧波比例高，電流交變的頻率也隨轉速而變化，因而馬達普遍存在發熱情況，且情況比一般交流馬達嚴重
- 馬達發熱允許到什麼程度，主要取決於馬達內部絕緣等級
 - ✓ 內部絕緣性能在高溫下(130度以上)才會被破壞，而此時表面溫度會在90度以下
 - ✓ 馬達表面溫度在70-80度都是正常的
 - ✓ 簡單的溫度測量方法
 - 使用溫度儀器
 - 用手可以觸摸1-2秒，不超過60度；用手只能碰一下，大約在70-80度；滴幾滴水迅速氣化，則90度以上

环境温度/°C	30	35	40	45	50	55
电动机功率的增減/%	+8	+5	0	-5	-12.5	-25

馬達負載率與效率、功率因數之關係

◆ 馬達最高效率點常設計在百分之七十五到百分之百額定負載

◆ 圖1表示不同大小馬達負載率與滿載效率關係：

➢ 當馬達未達額定負載的一半時(50%以下)運轉，效率明顯下降

➢ 馬達效率範圍隨著其規格不同而變化，馬達最佳效率的操作區域隨著馬達容量的增加，逐漸變得更寬

➢ 過低的負載率也會造成功率因數的低落(圖2)，造成線路損失增加

➢ 馬達負載率低於50%時，宜檢查馬達容量是否適當，或適時的調整馬達操作，以防止其在效率較低的情況下運轉，造成額外的能源耗損

➢ 馬達在過負載狀況下運轉時，馬達容易過熱、效率降低並且會縮短馬達壽命

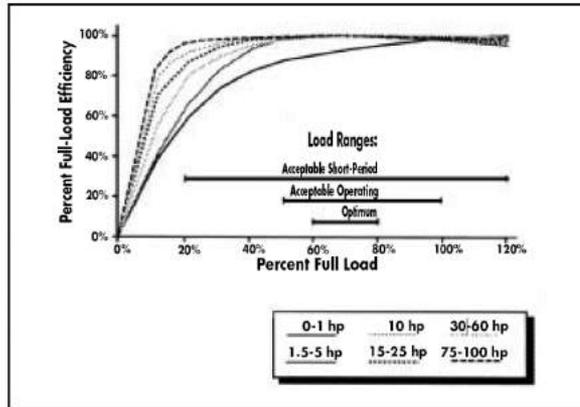


圖1 馬達負載率與滿載效率關係

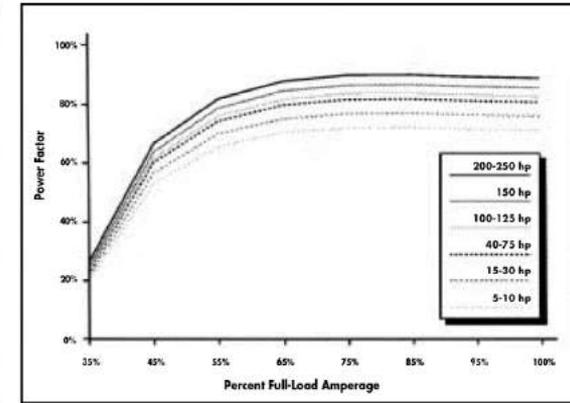
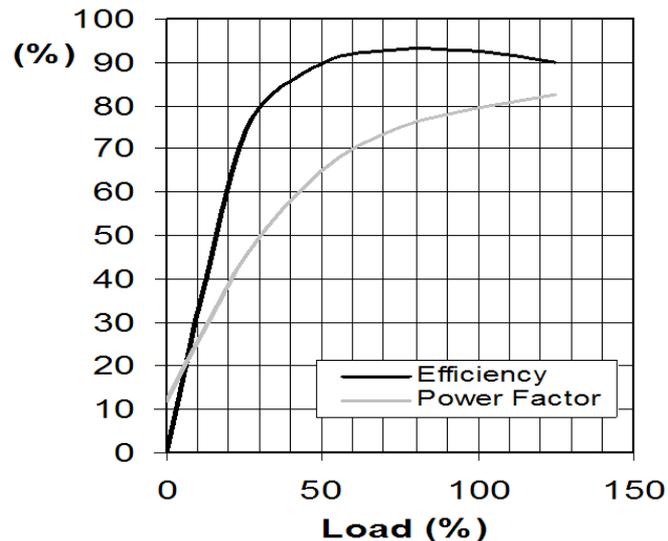


圖2 馬達功率因數與滿載電流之關係



馬達節能的途徑和措施

1. 更新淘汰低效馬達及高耗電設備

- 推廣高效節能馬達、稀土永磁馬達、高效風機、泵、壓縮機，高效轉動系統等。
- 更新淘汰低效馬達及高耗電設備。
- 新裝馬達系統要採用相關節電設備。
- 高耗電馬達、風機、泵類系統的更新，系統要合理分配。

2. 提高馬達效率

- 推廣變頻、永磁調速等先進馬達調速技術。
- 改善風機、泵類馬達系統調節方式；合理匹配，以合適耗電運轉。

3. 傳動裝置和設備改造

- 以先進電力電子技術傳動方式替代傳統之傳動方式。

4. 系統優化運轉和控制

- 系統自動化控制與運轉資料儲存與分析，做為節能運轉之依據。
 - 實現自動開關設置為 off 控制或手動開關關閉程式。
 - 考慮時間開關、聯鎖裝置、感應器和智慧控制項實現自動停止-啟動控制。

5. 馬達維修

- 維修係為恢復原有能效，必須做能效之驗證。

高效馬達的節能效益

➤ 電能的節約

採用高效率馬達的年節電量 ΔE ，可用下式計算：

$$\Delta E = \left(\frac{1}{\eta_0} - \frac{1}{\eta_r} \right) \times P_{2N} \times H \times K_z$$

式中：

η_0 — 一般馬達與高效率馬達的效率；

η_r — 高效率馬達的效率；

K_z — 負荷率；

P_{2n} — 馬達額定功率；

H — 年運轉小時。

案例

以11kW、4極馬達為例，普通馬達效率為88%，高效率馬達效率為91%，年運轉時間為4000h，負荷率為0.75，由上式可得採用高效率馬達每年的電能節約

$$\Delta E = \left(\frac{1}{0.88} - \frac{1}{0.91} \right) \times 11 \times 4000 \times 0.75 = 1234 \text{ kWh}$$

高效馬達的經濟效益

➤ 回收期計算法

➤ 全壽命週期成本分析法

1. 回收期計算法

高效率馬達由於電能的節約從而減少運行時的電費支出。電費的節約(ΔC_2)可用下式表示：

$$\Delta C_2 = \Delta E \times C_e \times N$$

式中： C_e —電價

N —運轉年數

高效率馬達為提高效率，在製造上採用較多或較好的材料，並往往增加一定的措施，使馬達成本增加。

ΔC_1 —此成本的增加

當運轉至一定的年限所節約的電費可能補償成本的增加，即

$$\Delta C_1 = \Delta C_2$$

N_0 —此段時間稱為投資回收期

回收期 N_0 的計算公式如下：

$$N_0 = \frac{\Delta C_1}{\Delta E C_e}$$

◆ 超過此回收期後的電費節約將是淨經濟收益

高效馬達的經濟效益回收期例

11kW、4極馬達為例

當馬達效率為88%提高至91%，年運轉時間為4000h，負荷率為0.75，每年的電能節約1234kWh，電費以0.5元/度計(人民幣)，年運轉時間為4000h，則年節省為3085元

成本增加約2500元

回收期 N_0 的計算公式：

$$N_0 = \frac{\Delta C_1}{\Delta EC_z} = \frac{2500}{3085} = 0.81\text{年} = 9.7\text{個月}$$

以4000小時計，回收期約9.7個月

2000小時計，回收期約1.6年

6000小時計，回收期約6個月

高效馬達的經濟效益

2. 全壽命週期成本分析法

採用全壽命週期成本分析法的目的就是對該產品在其壽命週期內的各項成本進行綜合考慮以求優化。如：

- 1) 初始採購成本
- 2) 安裝及試車調試成本
- 3) 能源成本(如電費等)
- 4) 運轉操作成本
- 5) 維護保養成本
- 6) 停車、延誤、生產損失
- 7) 環保處理成本

為估計在整個預定的運轉期間 N 年內總費用（即馬達售價與運轉電費之和）的節約可採用下式

式中已考慮馬達製造一次投資和運轉費用分期支付在經濟效益上的差別

$$\Delta C = \Delta C_2 - \Delta C_1 = \Delta E C_E N_E - \Delta C_1$$
$$N_E = \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N}$$

式中：

ΔC —採用高效率馬達代替一般馬達後總費用的減少

N_e —考慮投資效果的等效執行時間

i —貼現率或利潤率

高效馬達的經濟效益例

2. 全壽命週期成本分析法案例

11kW、4極馬達為例

- 電機壽命一般為10~20年，現假定價運行年現取中值 $N=15$ 年，現貼率 $i=0.06$

$$N_E(\text{等效年限}) = \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} = \frac{(1+0.06)^{15} - 1}{0.06(1+0.06)^{15}} = 9.7\text{年}$$

- 當馬達效率為88%提高至91%，年運轉時間為4000h，負荷率為0.75，每年的電能節約1234kWh，電費以0.5元/度計(人民幣)，年運轉時間為4000h
- 普通電機價格約2000元，高效電機價格約增加25%，則電機全壽命週期成本總費用減少：

$$\Delta C = \Delta C_2 - \Delta C_1 = \Delta E C_E N_E - \Delta C_1 = 1234 \times 0.5 \times 9.7 - 500 = 5485$$

電機系列	電機價格(元)	15年運行電費(元)	總費用(元)
標準電機	2000	181864	183864
高效電機	2500	175879	178379
效益比較	增加 500	節約5985	節約5485

馬達效率測試方法

中國電力科學研究院馬達測試系統的效率測試方法介紹如下：

➤ 銘牌數據法

銘牌資料法是一種較為簡單的效率計算方法，即根據銘牌上的資料，採用損耗分析法進行效率的分析和計算。

➤ 單一電壓點空載試驗法

在馬達能效測試中，為保證測試的準確度，應盡可能做空載試驗。如果沒有調壓電源，應作固定電壓下的空載試驗；如果有調壓電壓，應根據國標GB T 1032·2012要求，做多點電壓下空載試驗。在某一固定電壓下做空載試驗時，可得以下公式：

➤ 多點電壓空載試驗法

如果在實驗室有條件進行調壓，應根據GB T1032·2012《三相非同步馬達試驗方法》的要求，在多點電壓下做空載試驗，即施f 定子繞組上的電壓從1.1~1.3倍額定電壓開始，逐步降低到可能達到的最低電壓值即電流開始同升時為止，其間測取7~9點讀數，根據國標計算要求分解得出鐵耗和風摩耗，求出鐵耗PFE和風摩耗PFW後，即可得出馬達的效率

馬達負載與效率評估技術例

輸入功率量測值

有一部40匹馬力、1800 rpm轉速的防水馬達，使用時間為12年並未重新修理過，針對此馬達進行量測

量測值為

$$V_{ab} = 467V \quad I_a = 36A \quad PF_a = 0.75$$

$$V_{bc} = 473V \quad I_b = 38A \quad PF_b = 0.78$$

$$V_{ca} = 469V \quad I_c = 37A \quad PF_c = 0.76$$

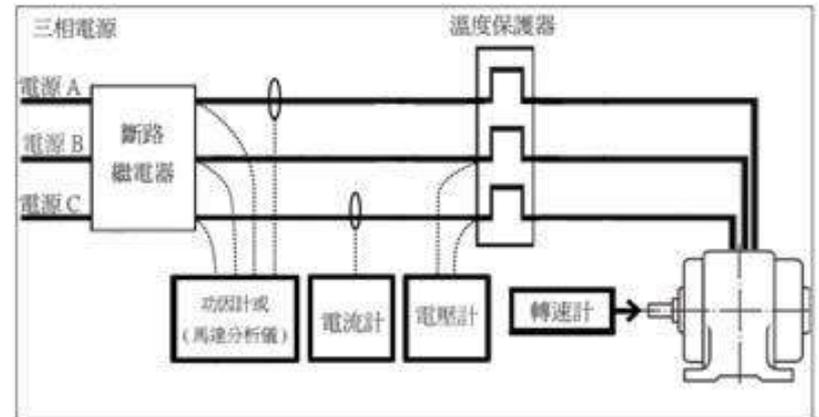
$$V = (467+473+469)/3 = 469.7V$$

$$I = (36+38+37)/3 = 37A$$

$$PF = (0.75+0.78+0.76)/3 = 0.763$$

得到：

$$P_i = 469.7 \times 37 \times 0.763 \times \sqrt{3} / 1000 = 22.97kW$$



馬達節能評估公式

- 一般低壓三相鼠籠型感應馬達(CNS10323)效率標準； 高效率低壓三相鼠籠型感應馬達(CNS14400)效率標準
- 高效率馬達以額定頻率及電壓運轉進行滿載特性試驗，使達到額定輸出(Pout)，測量其轉矩、轉速、輸入功率(Pin)、電壓以及電流，即可評估耗能程度。以一般標準效率馬達(CNS293標準)以及高效率馬達(CNS14400標準)為例，計算如下：

1. 以CNS14400高效率馬達標準中200KW-4P-3Φ-220V-60Hz-F class全閉型馬達為例，其

$$P_{out}=200\text{kw}、\eta=94.5\%$$

$$P_{in}=200\text{kw}/94.5\%=211.64\text{kw}$$

2. CNS2934一般用途低壓三相鼠籠型感應馬達中 200KW-4P-3Φ-220V-60Hz-F class全閉型，其

$$P_{out}'=200\text{kw}、\eta=91.5\%$$

$$P_{in}'=200\text{kw}/91.5\%=218.579\text{kw}$$

由以上可知，可節約能源 $218.579\text{kw}-211.64\text{kw}=6.939\text{kw}$ 。亦即高效率感應馬達由於其損失減少，其效率有效的提高，達到節約能源之目的。

- 傳統上，計算高效率馬達之成本效益是以滿載效率為依據，但馬達運轉並非固定在滿載工作點，尚需考慮到負載率對馬達效率的影響，因此高效率馬達與標準馬達其間的能源節省，可由下列馬達節能評估公式計算，且 E_A 、 E_B 可使用曲線迴歸法並搭配馬達特性與負載率關係圖，找出效率與負載率(L)的關係方程式。此公式較符合產業界實際情況，因馬達負載率常隨製程變動，而跟著不同，欲評估實際節能，此點應予考慮。

$$kW_{\text{saved}} = 0.746 \times HP \times L \times \left(\frac{100}{E_B} - \frac{100}{E_A} \right)$$

kW_{saved} = 節省之電能 (kW)

HP = 馬達輸出馬力 (HP)

E_B = 一般馬達負載率 L 時之效率 (%)

E_A = 高效率馬達負載率 L 時之效率 (%)

L = 馬達之負載率 (%)

馬達系統節能潛力

降低馬達系統之能耗，可藉由專業的查核(診斷)協助，找出以下各項節能機會點進行改善，例如：

- 使用高效率馬達或選用適當馬力馬達，提升馬達效率。
- 檢視傳動系統設計與狀況，改善傳動效率。
- 改善或汰換舊設備，提升設備效率。
- 降低系統阻抗或提升系統供應與負載的匹配性，以提高系統效率。
- 消除或降低系統負載的需求。
- 進行良好的系統維護，以維持系統最佳性能表現。
- **根據IEA研究報告改善馬達系統用電能效可提高20%~25%。**

一般傳動效率如下：

- 皮帶輪傳動 70~90%
- 鏈條傳動 75~85%
- 齒輪傳動 93~96%
- 直接傳動 100%

措 施	節能潛力(%)
使用高效能馬達	2~6
採用正確的型號和規格設計	1~3
採用轉速調節技術	10~50
三角皮帶改為齒型皮帶	0.5~2
間接傳動改為直接傳動	1~2
高效變速箱	2~10
潤滑、調整、微調	1~5
電力品質改善	0.5~3

減少馬達馬力規格節能效益

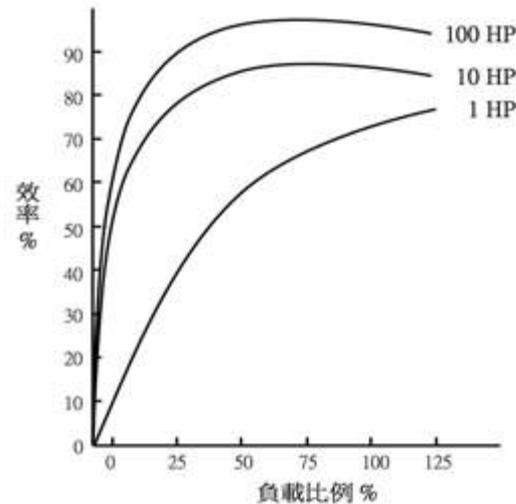
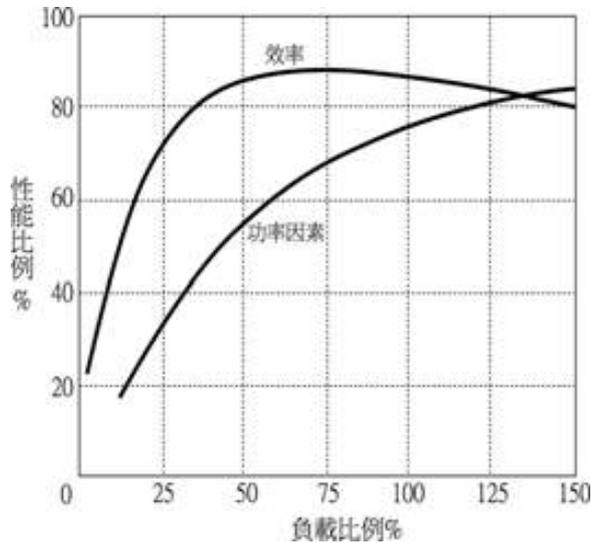
馬達改善規劃

◆ 減少馬達馬力規格有兩大原因能夠節省費用

- 購買馬達時，較小型馬達會比較便宜
- 低負載馬達運轉效率較差，而且功率因素也比較低

◆ 感應馬達之最大效率設計於正常負載率

- 75%~125%間，最好馬達運轉於此負載率
- 負載率低於50%功因及效率急速惡化，應改用小容量馬達



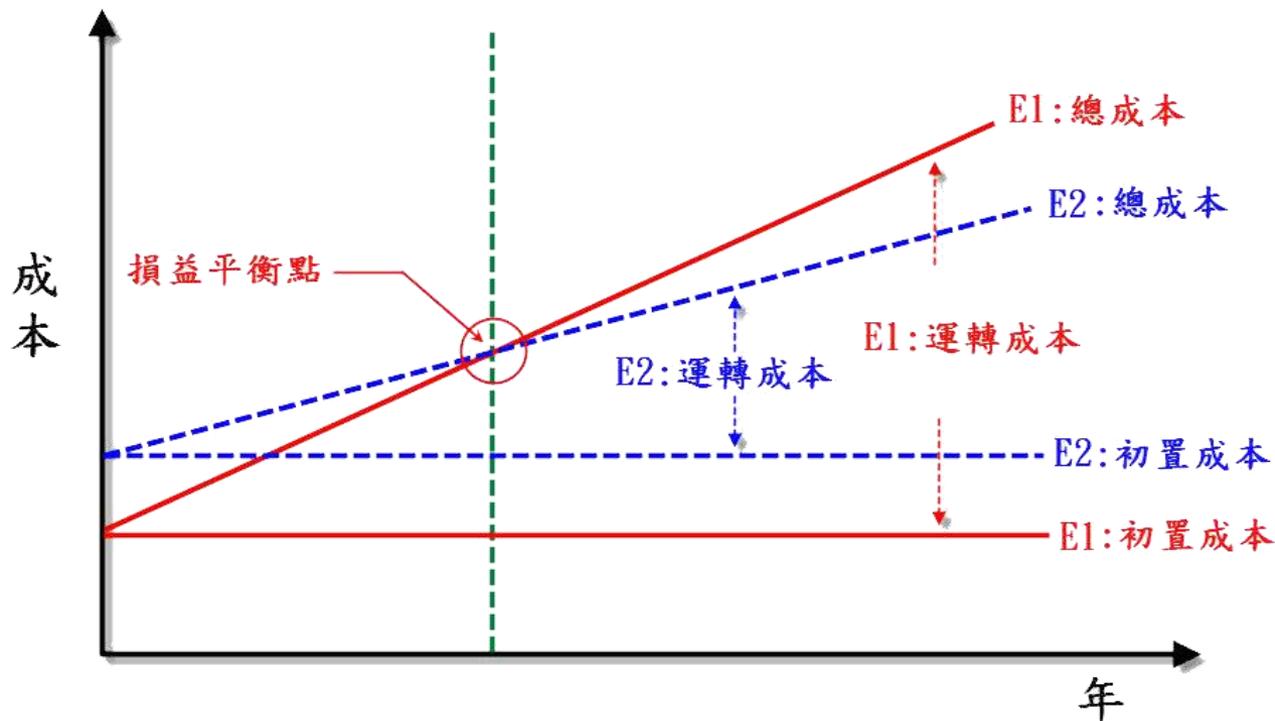
馬達節能改善效益例

- 單機馬達效率改善效益

以 3Φ、4P、60HZ、100HP之感應馬達為例；在每年全載運轉6000小時之條件下可產生之節能效益：

馬達類別	購置成本(元)	全載效率(%)	運轉時數(小時/年)	電費(元/度)	運轉電費(元/年)	電費差額(元/年)	運轉10年電費(元)	運轉10年效益(元)
一般	78,000	89.0	6000	2.0	1,005,843	—	10,058,430	Base
高效率	90,000	93.6	6000	2.0	956,410	49,433	9,564,100	494,330

◎正確的選用馬達與系統設計，在長時間使用下，可節省可觀的電力花費



馬達維修與更換比較評估例

項 目	單 位	原馬達故障前 (一般效率型)	原馬達維修後 (一般效率型)	更換新馬達 (高效率馬達)
馬達額定馬力	Hp	50	50	50
馬達負載率	%	100	100	100
馬達銘板效率	%	87.5	87.5	91.7
馬達重繞損失	%	—	1.0	—
每年運轉時數	hour	6,000	6,000	6,000
維修或購置成本	元	—	20,000(含裝設)	60,000(含裝設)
每年電能使用量	kWh(度)/年	255,669	258,624	243,959
流動電費費率	元/kWh(度)	2.2	2.2	2.2
每年電能成本費用	元/年	562,472	568,973	536,710
馬 達 維 修 與 更 換 新 購 馬 達 之 節 能 評 估 比 較				
				節能空間評估
每年電能使用差額	kWh(度)/年	—	—	14,665
每年電能成本差額	\$/年	—	—	32,263
維修與更新費用差額之投資回收年限	年	—	—	1.24

常見馬達效率低

➤ 無同樣備品

一般使用馬達時，由於使用者多使用一種以上的馬達，因此通常不太會去預備一個備用馬達，所以當馬達故障，除非能即時取得相同的馬達更換，不然通常會拿一個代用品，為了使用上的安全，代用品可能比原有馬力數大，但不管如何，由於降低停工的時間，先用再說之習性

➤ 馬達重繞

馬達若重繞，通常馬達的效率都會比故障前的低，而一般重繞又很少去了解重繞後的效率、用電成本是否會比買新的划算(可參考中國馬達再製造規範)

➤ 送修馬達沒換回

一般送回後應該是要換回來，但有時為了降低停工再次造成衝擊而一直等待機會更換，甚至想等到馬達再次故障再換回來

➤ 人員輪調(資料不全)

而很多時候，使用者若是輪調或換人，在交接時又沒說清楚，結果下次故障時又根據使用的馬達銘版資料(其實是代用品的馬達)換上另一個馬力更大的馬達，結果就造成馬達馬力再次往上調，這種狀況下，馬達的效率可能很快處於低負載低效率區，造成比原本馬達用電更大

影響馬達系統運轉效率的因素

1. 電能品質對馬達效率的影響

電能品質問題引起的馬達系統運行效率低下有以下幾種情況：

1) 電壓問題（電壓不穩定，過、欠壓）

由於鐵耗約與電壓的平方成正比，定子和轉子繞組電流損耗約與電壓的平方成反比，因此馬達效率與電壓變化的關係，將與不同負載率時，以鐵耗為主的不變損耗和定、轉子繞組電流損耗為主的可變損耗的比例有關。

電壓不穩定、過電壓或欠電壓供電都使馬達不在它的設計電壓點上工作，從而降低了效率。

2) 三相不平衡問題

由於馬達損耗與電壓不平衡率成平方關係增加，因此在線路設計時應儘量避免三相不平衡的現象。

3) 電力系統設計問題

電力設計系統在工廠供電的設計規劃中習慣採取冗餘設計，導致馬達系統的整體運轉功率因數偏低，視在功率增大和線路電流增大，增加了線路損耗。

應通過無功補償或無功就地補償提高功率因數。

4) 瞬變干擾（瞬變和浪湧問題）

瞬變和浪湧現象會對馬達起到有害的作用。可以用壓敏電阻和MOV器件對系統的瞬變和浪湧進行吸收。

5) 高次諧波問題

高次諧波會導致馬達定子鐵心磁滯損耗和渦流損耗增加（鐵耗=渦流損耗+磁滯損耗），進而引起馬達額外的發熱。

諧波問題對於變壓器，配電系統的效率也有一定影響，**特別是變頻器驅動馬達時**，普遍反映在原馬達加裝變頻器拖動後馬達的溫度明顯增加，這些都是諧波問題帶來的影響。

2. 負載特性對馬達效率的影響

3. 負載率對馬達效率的影響

常用非同步馬達調速方式比較

性能	液力耦合器	內饋調速	變頻調速
調速原理	損耗功率控制	轉子控制 ，改變電磁功率	定子控制 ，改變電磁功率
可靠性	停車；不安全	低壓控制 ；可靠性高	高壓控制 ；可靠性較高
調速範圍	較高	大；可根據需求設計	大
調速精度	低	高	很高
反應速度	慢	快	很快
效率與節能	技術要求較低	系統90%	系統95%
額定功率因數	小	較高(0.9)	較高(0.95)
諧波	產品不一	最小； 無須諧波	較大； 可能需要諧波
故障處理	較高(0.8~0.85)	轉全速；旁路調速控制	停機；旁路變頻器重新自動
自動	損耗功率控制；損耗大	電流2.0~3.0；轉矩1.0~1.8	電流0.5~1.0；轉矩0.2~0.8
備註		調速範圍不是很大的場所。特別適合於大功率風機、水泵類負載的調速	適用於負荷和轉速波動較大的設備上

提高馬達運轉用電效率方法

➤ 選擇合適的馬達

主要是馬達馬力大小要與負載匹配

➤ 變動負載時採用變頻器或變速器

除定負載以外，一般馬達常會遇到負載變動的狀況，因此馬達常不能在最佳運轉點運行，採用變頻器或變速器可以使馬達依負載條件進行調節調速，間接能讓馬達節能或在比不使用變頻器時較佳的效率狀況下運轉，使馬達運轉在做佳的狀態下，目前馬達有的必須要外加變頻器或變速器，也有一體生產的，而有時在使用變頻器或變速器也必須考慮馬達是否能符合其運轉要求

- 例如馬達驅動泵運轉，但泵流量太大時必須採用節流閥，這時馬達的用電和全負載相同，若加上變頻器，雖然變頻器本身會耗費一些電力，卻能使馬達能在耗費較低電力下運轉，進而促成節能並比原本不使用變頻器情況時在較佳的效率狀況下運轉。

➤ 改善馬達功率因素

由於感應馬達是電感應負載，因此功率因素較低，而提高感應馬達功率因素主要有並聯電容器和提高其本身功率因素，一般提高本身功率因素是採用Y-三角啟動

➤ 重新考量負載需求容量

選擇合適馬達一樣，除了馬達本身會留下工程裕度外，每個系統和其單元本身也都會有裕度考量，因此產生相乘的效果而造成馬達負載過低的現象，也連帶影響到效率，因此要改善馬達效率，負載系統本身也是一項重要的考量因素

馬達選擇的一般原則

1. 根據機械的負載性質和生產工藝對馬達的起動、制動、正反轉、調速等要求，合理選擇馬達種類
2. 根據負載轉矩、轉速變化範圍和起動頻繁程度等要求，考慮馬達的溫升限制、過載能力和起動轉矩，合理選擇馬達的功率，使功率匹配合理，力求安全、可靠、經濟
3. 根據生產機械的最高轉速和對電力傳動系統調速的要求，以及機械減速的複雜程度，選擇馬達的額定轉速
4. 根據企業電網電壓標準和對功率因數的要求，確定馬達的電壓等級
5. 根據現場的環境條件：如溫度、濕度、灰塵、雨水、瓦斯、腐蝕及易燃易爆氣體含量等，並考慮必要的保護方式，選擇馬達的防護結構形式
6. 要貫徹國家的技術經濟政策和能源政策，積極採用國家明令推廣的環保、節能型新產品，替換更新正在使用中的已被淘汰的產品
7. 選擇馬達時，應考慮影響安裝、運行和維護的因素，力求安裝、檢修方便，運行可靠
8. 選擇馬達時，應考慮產品的價格，建設費用和運行費用，力求綜合經濟效益最好

馬達額定功率的選用

➤ 馬達額定功率的選擇

- 對風機機組、泵機組起動、制動和過載能力沒有特殊要求時，馬達的額定功率按下式計算：

$$P_m = \frac{P_p(1 + \alpha)}{\eta_t}$$

式中

P_m — 馬達功率，單位為千瓦(kW)；

P_p — 額定流量下的軸功率，單位為為千瓦(kW)；

η_t — 傳動效率；

α — 餘量(安全係數)

55kW以下 $\alpha=0.1\sim0.2$

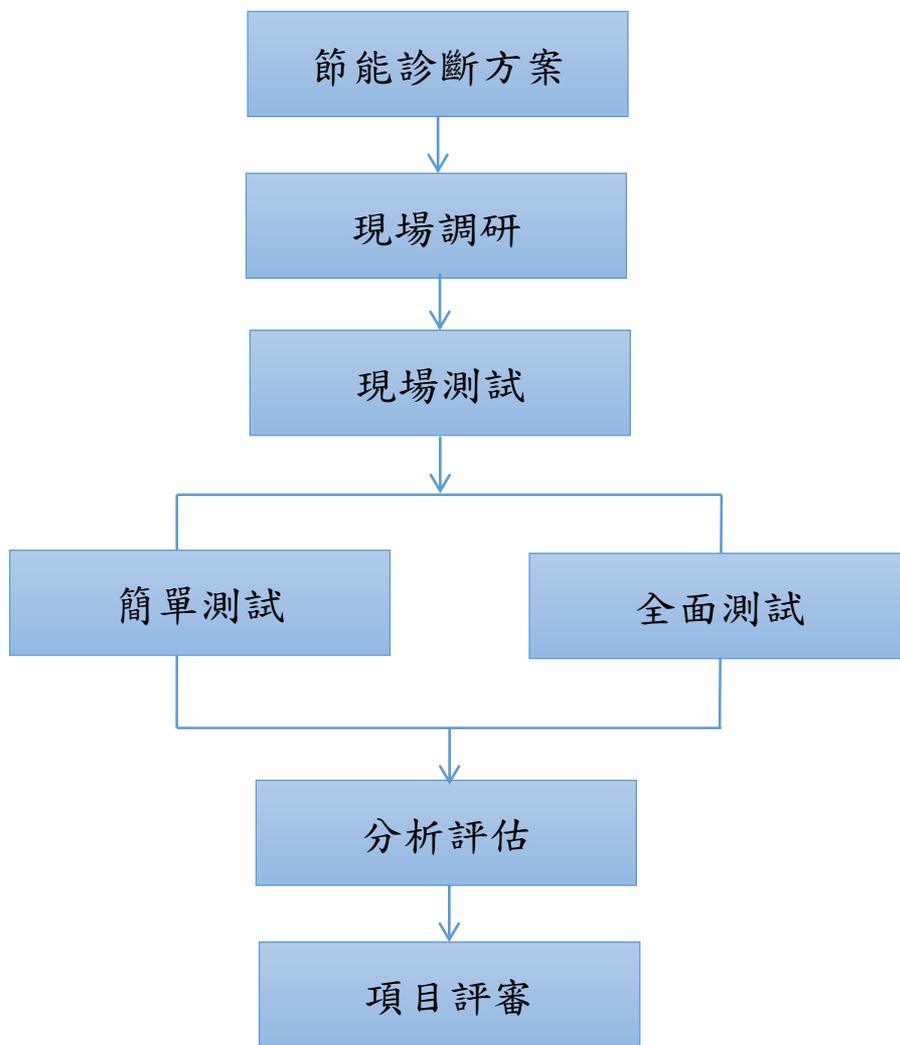
55kW~250kW $\alpha=0.05\sim0.15$

250kW以上 $\alpha=0.02\sim0.05$

馬達選擇調速方式的原則

- 風機、泵的運轉工況點偏離高效區，可通過調速使運轉工況處於高效區
- 中、低流量變化類型的風機、泵負載及全流量間歇類型的風機、泵負載運轉工況在滿足壓力時、宜符合下列要求：
 - 流量變化幅度 $\geq 30\%$ 、變化工況時間 $\geq 40\%$ 、年運轉時間 $\geq 3,000\text{h}$
 - 流量變化幅度 $\geq 20\%$ 、變化工況時間 $\geq 30\%$ 、年運轉時間 $\geq 4,000\text{h}$
 - 流量變化幅度 $\geq 10\%$ 、變化工況時間 $\geq 30\%$ 、年運轉時間 $\geq 5,000\text{h}$
- 空氣壓縮機適用變頻調速的條件
長時間處於變負載運轉的螺旋式空氣壓縮機，宜採用變速調速
- 泵機組運轉方式及泵設計流量
 - 應根據所供應區域需求總流量計算泵系統總流量，其總管道最大流量不宜超過總流量的50%
 - 應結合泵的型號與規格選擇泵機組群的台數，在保證供應液需求的情況下，使每台泵的運轉效率在額定效率的80%以上

馬達系統節能改造規範節能診斷流程圖



泵浦系統生命週期成本

- 一. 初始購置成本
- 二. 安裝成本
- 三. 能源成本
- 四. 運作成本
- 五. 維護成本
- 六. 停機成本
- 七. 環境成本和除役成本

泵浦生命週期成本分析6個步驟

1. 建立清單
將組裝泵浦系統中物件的完整清單建立起來
2. 確定負載需量
主要是確定系統中每一個負載所需的流量是多少
3. 平衡系統需求
有上述負載的需求後，即可進一步得到整個系統所需的揚程流量等基礎需求，並根據此進行調節至最佳化
3. 降低平衡所造成的損失
在平衡上，除了考慮實際需求外，也會有預測需求，這可能會造成系統各個最佳點與原有系統最佳化與最後平衡結果有差異，也可能造成系統損失
5. 降低系統變動
藉由考量內外環境，消除或減少可能會影響系統穩定操作的因素
6. 分別高消耗元件
包含泵浦本身或所屬元件，經常性地檢視，並適時進行更換

泵浦改善生命週期成本17個點建議

1. 考慮並確定生命週期成本的所有相關成本，如前所述8大項目
2. 採用具有LCC考量的泵和系統，這可透過前述分析步驟得到
3. 通過考慮運營成本和採購成本達到最佳化總成本
4. 考慮個別泵運作的持續時間
5. 將設備與系統需求相匹配，以獲得最大的效益
6. 將泵類型與預期使用相匹配，每種泵浦都有其特性，應依照實際需求進行選用，而不同特性有匹配需求與可達到需求之結果
7. 避免使用超過需求規格的泵浦，像是過設計
8. 指派專人執行本項工作
9. 使用高效率馬達
10. 電力傳輸設備需相匹配，每個環節都能做到最佳化，將有助於控制成本
11. 評估系統運轉效果，用各種工具方法來確認系統確實如要求運轉
12. 監測和維持泵和系統，以最大限度獲取效益，即時工具在初期建置時一併進行施作，對後續長遠應用將可提供即時性資訊，作為調控降低成本依據
13. 儘可能減少使用會浪費能源的控制閥或管件，使用效率高損失少的元件，對於節能省成本將有直接的效果
14. 利用政府相關機構或泵浦公司輔助服務，現階段產官學研均有提供泵浦相關服務，可善加利用
15. 預防性維護，這可降低前述發生不預期的停機成本，甚至免除生產、訂單損失
16. 遵循有關泵浦與所屬馬達的使用規定
17. 持續分析現有的泵浦系統，以找尋改善機會

泵系統的改善節能機會

➤ 美國能源部報告中提到對泵系統的改造可以帶來的節能機會。包括：

- 1) 降低泵的速度。
- 2) 泵的尺寸與負荷匹配。
- 3) 降低系統總體要求衡。

措施		系統能耗節約的潛力 (%)
1	流程優化	25~30%
2	優化物流	16%
3	製程鏈整合	30%
4	開發新產品	10~40%
5	向最佳做法看齊	15%

➤ 泵浦系統效率比較例

高效率泵浦系統	一般泵浦系統
1) 馬達成本與實體方面：94%	1) 一般馬達效率：90%
2) 配合變速傳動(VSD)效率：90%	2) 節流閥效率：70%
3) 一般聯軸器效率：98%	3) 一般聯軸器效率：98%
4) 高效率泵浦設計效率：80%	4) 一般泵浦設計效率：68%
※系統整體效率：66%	※系統整體效率：42%

泵浦效率對能源使用的影響例

有兩台直結式水泵(水比重為1)欲作選擇，其泵浦的規格資料說明如下

A泵浦：流量 $6\text{m}^3/\text{min}$ ；揚程 50m ；泵浦本體效率 85% ；馬達為額定輸出 $100\text{Hp}/4\text{P}$ ，**滿載效率為 93.6% 的高效率馬達**

B泵浦：流量 $6\text{m}^3/\text{min}$ ；揚程 50m ；泵浦本體效率 75% ；馬達為額定輸出 $100\text{Hp}/4\text{P}$ ，**滿載效率為 89.0% 的一般馬達**

A泵浦：

$$\text{水馬力(WHP)} = 0.163 \times 1 \times 50 \times 6 = 48.9 \text{ (kW)}$$

$$\text{軸馬力(BHP)} = 48.9 \div 0.85 = 57.53 \text{ (kW)}$$

以馬達額定輸出 $100\text{Hp}(75\text{kW})$ 來看此時負載率為 $57.53 \div 75 \times 100\% = 76.7\%$

以馬達的特性來看，馬達負載率在超過 75% 後，其效率值已趨近於滿載效率

$$\text{馬達輸入功率(Pin)} = 57.53 \div 0.936 = 61.46 \text{ (kW)}$$

(註：因泵浦採用直結式連結，所以連結效率目前假設為1)

B泵浦：

$$\text{水馬力(WHP)} = 0.163 \times 1 \times 50 \times 6 = 48.9 \text{ (kW)}$$

$$\text{軸馬力(BHP)} = 48.9 \div 0.75 = 65.2 \text{ (kW)}$$

以馬達額定輸出 $100\text{Hp}(75 \text{ kW})$ 來看此時負載率為 $65.2 \div 75 = 86.9\%$

以馬達的特性來看，馬達負載率在超過 75% 後，其效率值已趨近於滿載效率

$$\text{馬達輸入功率(Pin)} = 65.2 \div 0.89 = 73.26 \text{ (kW)}$$

(註：因泵浦採用直結式連結，所以連結效率目前假設為1)

由上得知A泵浦與B泵浦在馬達輸入功率(Pin)部分其差額為：

$$\text{馬達輸入功率(Pin)差額} = 73.26 - 61.46 = 11.8 \text{ (kW)}$$

正確選擇泵及泵送系統優化的障礙

過大的泵	過小的泵
通常搭配過大的控制閥和管道。過大的控制閥會因壓降過大而浪費能源，同時也會因此而縮短閥的壽命。	產生氣穴，從而造成振動、過早磨損，導致浪費能源的內漏、密封問題和有可能造成螺栓鬆動、錯位和管道泄漏。
企圖提供比系統實際需求更高的流量。在離心泵系統中，將壓頭提高到不必要的壓力： 過量的壓頭×流量＝能源浪費	引起馬達電流過大從而導致耗電量增加。
產生過大的壓力、速度、雜訊、振動、熱以及能源的浪費。	產生不穩定的液壓工況從而引起泵的過度振動、磨損甚至失效。
引起離心泵的內迴圈。	
這對於正位移泵很少會成為問題，因為它們在低速時仍能保持高效。	
過小的管道	
流量被限制	需要更大的泵，這將浪費能源。
需要更大的泵，這將浪費能源。	
小管徑管道比大管徑管道成本低。	承包商通過以較小的管道來投標可以降低期初成本，但這會在日後的運行中消耗更多的能量。
進口處吸力差	導致潛在的泵的修理、停機和停產。

泵系統的優化原則

➤ 泵機組運轉方式及泵設計流量

- 應根據所供應區域需求總流量計算泵系統總流量，其**總管道最大流量不宜超過總流量的50%**
- 應結合泵的型號與規格選擇泵機組群的台數，在保證供應液需求的情況下，使**每台泵的運轉效率在額定效率的80%以上**

➤ 選型步驟

- 應合理選擇泵的類型、規格和附件
- 按管網和供、排液流量方案計算泵揚程
- 按管網供、排液要求和供、排液圖表確定泵的台數、運轉方案
- 按供、排液要求的泵流量和計算的泵揚程初步選擇幾種轉速和泵型號方案
- **在初選泵的性能曲線上，繪出不同工況性能曲線，求出工作點的變化**
- **每種工況變化時，曲線上每工況點的效率不宜低於泵額定效率的80%**
- 進行技術經濟比較分析，選擇優化方案

➤ 應用變頻驅動

- 在很多系統中使用變頻調速，不僅可以提高泵的運轉效率，並使系統效率有效提高

泵浦使用的節能作法

➤ 適時關閉不需要的泵浦

- 依照流量需求更換合適之泵浦規格或換用合適之葉輪
- 換用高效率型之泵浦(搭配使用超高效率馬達)與高效率之傳動方式
- 定期整修磨損環與葉輪之間的間隙
- 定期矯正泵浦與原動機之對心
- 定期整修管路
- 流量需求改變請重新配置系統或改變控制方式，一般常見之運用方式有：
 - 1) 搭配使用變速控制(VSDs)
 - 2) 搭配使用多個並聯泵浦
 - 3) 搭配使用大小並聯之泵浦
 - 4) 配置適當之並聯迴路

泵浦腐蝕

➤ 給水泵浦運轉時

- 吸入處因流動液體局部靜水壓力低於蒸發壓力，使液體蒸發為氣泡
- 當氣泡隨流體流入壓力較高處，則氣泡將因壓力增大產生急速破裂現象，會造成噪音、振動及侵蝕葉片等問題，稱之為**孔蝕現象**

➤ 影響泵浦性能、效率、流量、壓力。

➤ 損壞泵浦。

汽電鍋爐給水系統流量控制改善

改善前

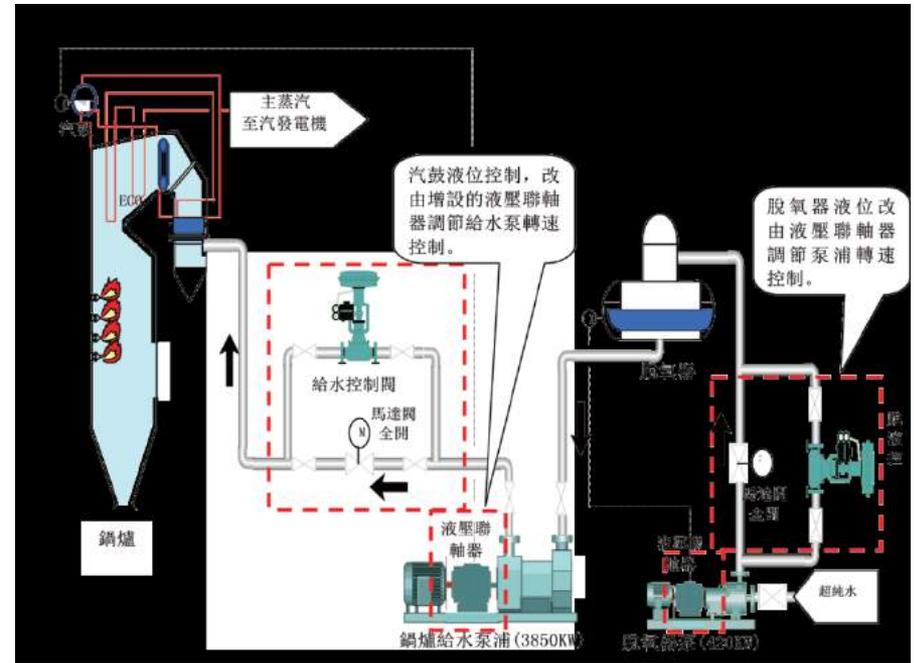
鍋爐給水系統的輸送及控制，由脫氧器泵及鍋爐給水泵，將超純水加壓輸送至脫氧器及鍋爐汽鼓，改善前，由控制閥節流控制給水系統的流量，保持脫氧器及汽鼓液位的穩定，但在節流的過程會造成壓降的能量損失，在離峰時段因鍋爐降載使給水量降低導致壓力差愈大，節流損失尤其嚴重，為節省運轉用電，提升經營的績效，必須檢討進行改善，改善前系統流程示意圖如下，鍋爐給水泵及脫氧器泵全部皆是透過控制閥調節流量，比較耗損運轉電力。

改善後

經檢討後，由於耗電量與(轉速)³次方成正比關係，於馬達與泵浦之間，改善增設液壓聯軸器，給水量控制模式由「以控制閥開度節流控制流量」改為「控制閥全開、轉速調節控制流量」，可以大幅減少控制閥節流壓降的能量損失，節省運轉用電。VN2 機組增設液壓聯軸器改善後，給水系統穩定運轉，改善後系統流程示意圖如下。

改善效益

VN2 鍋爐給水系統改用液壓聯軸器調節轉速、控制流量後，與VN1 鍋爐比較，**尖峰時段VN2 鍋爐給水泵可節省用電729.5kW(20.5%)、脫氧器泵可節省117.8kW(29.7%)，離峰時段鍋爐給水泵可節省863.3kW(25.7%)、脫氧器泵節省130kW(35.5%)**。另外鍋爐給水泵、脫氧器泵出口壓力均降低，可減少相關閥組管件磨耗，提高運轉穩定性。



日本X廠泵浦大修管制流程

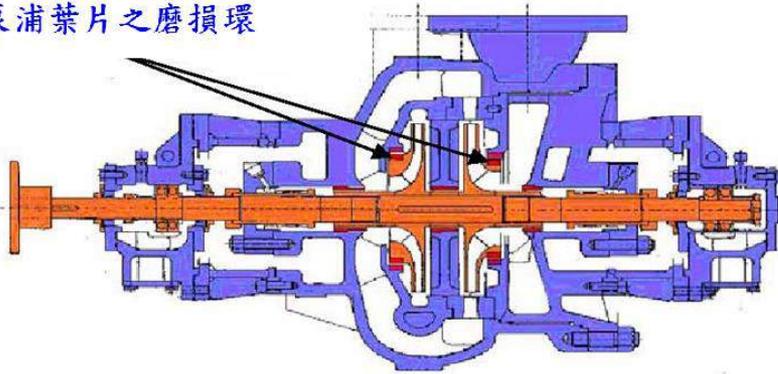
- 運轉人員發現泵浦供水量降低10%時，通知維護單位優先安排大修
- 日本X廠泵浦大修時，更新磨損環的比例高達80%以上
- 高壓泵磨損環才使用不銹鋼環軟化處理，低壓泵磨損環($<10\text{kg/cm}^2$)一般均使用青銅環
- 控制單吸泵全關揚程 $<2\%$ 內，雙吸泵全關揚程 $<1\%$ 內，管控非常嚴格
- 日本X廠於14年前全廠就已逐漸將碳鋼、銅葉片泵浦改為不銹鋼葉輪泵
- 高壓泵浦($>100\text{kg/cm}^2$)運轉超過10000hrs就安排大修，著重在更新磨損環
- 低壓泵浦運轉每6年或發現流量低於10%時就安排大修，亦著重在更新磨損環
- 全廠100%均使用不銹鋼葉片泵浦，一般水系統使用30年均沒有問題，鑄鐵泵則每5年更新一次，海水泵每10~15年更新一次
- 全廠僅加藥泵使用碳鋼葉片加ceramic coating，或FRP葉片

中國蘭州石油公司改善案例

新日本石油株式會社ESCO協助中國蘭州石油公司案例

1. 使用CFRP=Carbon Fiber Reinforced Plastic磨損環
2. 隙間的調整，(API-610基準の半分)
3. P-3B：0.75~0.80mm → 0.24mm
P-6B：0.75~0.92mm → 0.24mm

泵浦葉片之磨損環



泵浦磨損環使用新材質，磨損環間隙變小，減少流體內循環的量，也減少電力以節能

ポンプ	Case Wear Ring (mm)				Impeller Wear Ring (mm)				Clearance (mm)			
	Front ID		Rear ID		Front ID		Rear ID		Front ID		Rear ID	
	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後
P-3B	185.15		185.20		184.40	184.81	184.40	184.96	0.75	0.24	0.80	0.24
P-6B	180.05		180.12		179.30	179.78	179.20	178.96	0.75	0.34	0.92	0.24

ポンプ	入口圧力		出口圧力		差圧		流量		電流		電圧		動力	
	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後	設置前	設置後
	Mpa		Mpa		Mpa		m3/hr		A		V		Kw	
P-3B	0.14	0.14	0.92	0.95	0.78	0.81	65.61	58.97	80.9	75.7	360	360	47.92	44.84
P-6B	0.14	0.06	0.88	0.93	0.74	0.87	100.48	91.81	90.0	84.0	360	360	53.31	49.76

泵全關揚程與全關電流與效率的關係

	新機值	大修前	大修後	大修前	大修後	要求值
		測試值		差異比例		
全關電流	26.5A	35A	27.5A	32%↑	4%↑	100~108%
磨損環gap	0.4mm	0.78mm	0.78mm			
全關揚程	106.6M	100M	100m			98~100%
分析說明	<ol style="list-style-type: none"> 1. 泵浦運轉約20年，水平式雙吸不銹鋼泵浦。 2. 新泵效率83.7%，設計gap0.4mm現況0.78mm，應該予以更新，但為執行。 3. 大修前效損約16%，大修後之電流值變化不大；因未更換磨損環，且是不銹鋼葉片，懷疑大修後之全關電流是否有誤，判斷效損仍存在。 4. 磨損環gap 大於130~150%時，建議予以更新。 					

	新機值	大修前	大修後	大修前	大修後	要求值
		測試值		差異比例		
全關電流	48.6A	64A	53A	37%↑	13%↑	100~108%
磨損環gap	0.5mm	1.25mm	0.6mm	250%↑	120%↑	> 0.7mm時， 建議更新磨損環
全關揚程	96.23M	110M	105m	儀錶故障		98~100%
分析說明	<ol style="list-style-type: none"> 1. 泵浦運轉約20年，水平式雙吸不銹鋼泵浦。 2. 新泵效率78%，設計gap 0.5mm現況1.25mm，大修前效損約18%，大修更新磨損環後，效損減少至6%，更新後效率提升12%。 					

泵之葉片與磨損環損壞例



葉片損壞



磨損環損壞



泵浦大修

改善前效率損失：20~30%

改善後效率損失：+4~-3%

監控系統消防水泵異常例

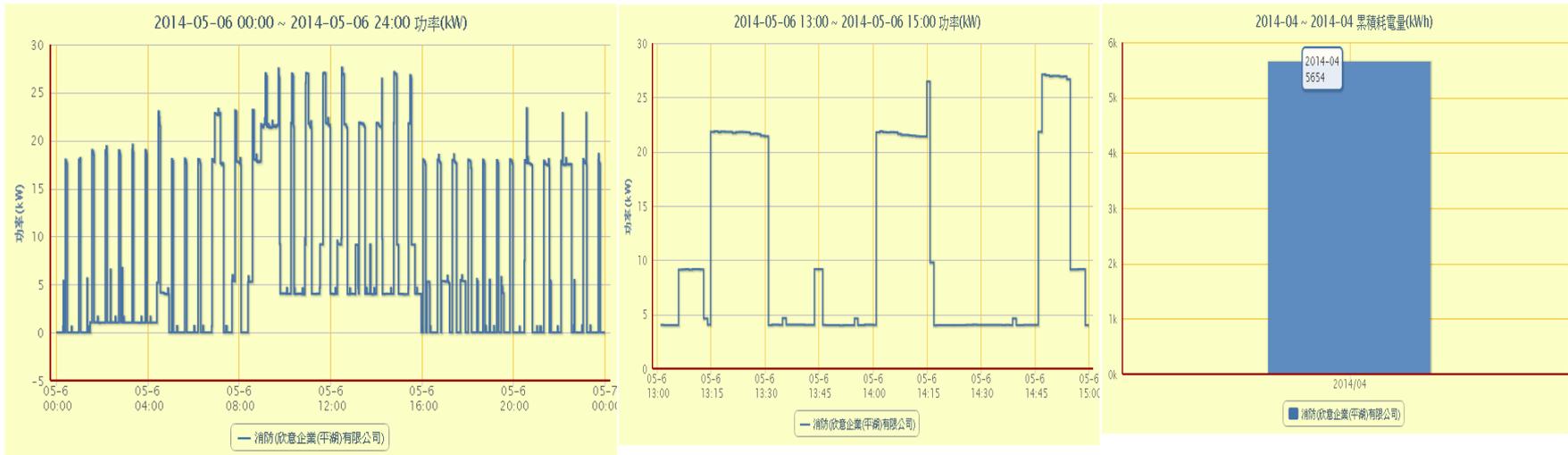
消防設備應為發生火災或緊急事件時才會使用，其他時段不會使用，更不會有耗電狀態，從監控系統人員發現消防水泵有異常用電曲線，是為**消防水池漏水**導致消防水泵有耗電情況

消防水泵耗電量：5,654kWh/月

改善後能節省效益：14,060428元/月

$5,654\text{kWh} \times 2.5\text{kWh/元(電費單價)} = 14,060\text{元/月}$

預估年效益：168,720元/年



消防水泵一日24hr之電力曲線

製程用水系統節能例

◆改善前(開放系統)

1. 此製程冷卻水為開放系統，冷卻水供給溫度為 17.8°C ，回水溫度 21°C ，溫度差為 3.2°C ，揚程為 56m ，使用點要求壓力大於 $4.1\text{kg}/\text{cm}^2$ ，冷卻水量則為 $1,121.9\text{m}^3/\text{hr}(18,700\text{LPM})$ ；冷卻容量為 $18,700 \times 3.2 \times 60 = 3,590,400\text{kcal}/\text{hr} = 1,187.3\text{RT}$
2. 冷卻水泵額定電壓3相 480V ，額定電流為 106 安培，全部八台泵運轉受變頻器控制，運轉頻率為 **51.4Hz** ，每日總耗電量為 $10,733\text{kWh}$
3. 因熱交換器的溫度差 ΔT 只有 3.2°C ，遠小於原設計值溫度差的 5°C (IN： 18°C 、OUT： 23°C)，由此可知冰水的水量過大，而泵揚程為 54m

◆解決方案(密閉系統)

➤將開放系統改成密閉系統，則可以充份利用密閉系統的回水壓力減低泵的揚程，如此可降低冷卻水的流量，減少管路損失，加大冷卻水的溫度差，進而節省電費

■改善後

1. 將原先水槽移至Fab棟頂樓做製程冷卻水(PCW)系統補水用，並請現場設備人員配合，逐步調整系統壓力，泵提升的揚程由原來的 54m 降至 34m
2. 泵由原先的八台運轉減為六台運轉，運轉頻率為 **48.8Hz** ，每日總耗電量為 **$6,816\text{kWh}$** ，平均流量為 $878.4\text{m}^3/\text{hr}(14,640\text{LPM})$ ，冷卻水供給溫度為 18°C ，回水溫度 22°C ，溫度差 ΔT 為 4.0°C ，冷卻容量為 $14,640\text{LPM} \times 4.0 \times 60 = 3,601,440\text{kcal}/\text{hr} = 1,161.9\text{RT}$ ，與原先的 $1,187.3\text{RT}$ 相差 25.3RT
3. 假設設備所需的冷卻容量不變，則這 25.3RT 的冷卻容量就平白消耗在管路的磨擦損失、泵的發熱及在Fab內輸送時所吸收的熱量等地方

■冷卻水節能改善後節省電費

• 冷卻水於實施節能改善後，每年可節省的電費為：

$$(10,733 - 6,816) \times 365 \times 2.5/\text{kWh} = 3,574,263\text{元}$$

X廠冰水系統泵浦節能例

1. 該廠依據泵浦耗電量與流量之三次方成正比之理論，將流量減少20%做變頻控制可減少50%耗電量，因此**降低單台流量並以多台運轉來達到分工節能運轉模式**則可達到節能之立竿見影的效果
2. 該廠並以創新方法新技術之“專利節能模式”運轉，亦即依不同天候條件及空調負載變化需求，各系統自動以「專利節能最佳化方程式」調整做最適化相互匹配，使其運轉處最佳狀態而達到最佳化節能運轉

➤ 改善前狀況

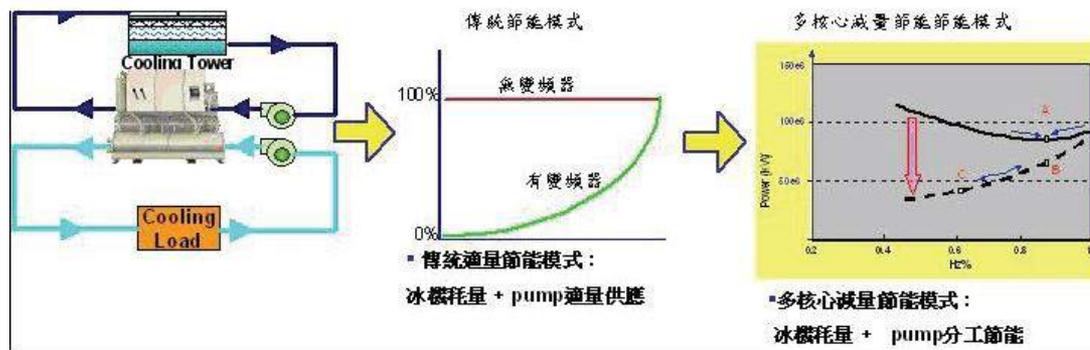
該廠改善前的狀況是：冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔風扇(CHP、CWP、C/T Fan)均是定速運轉

➤ 改善後狀況

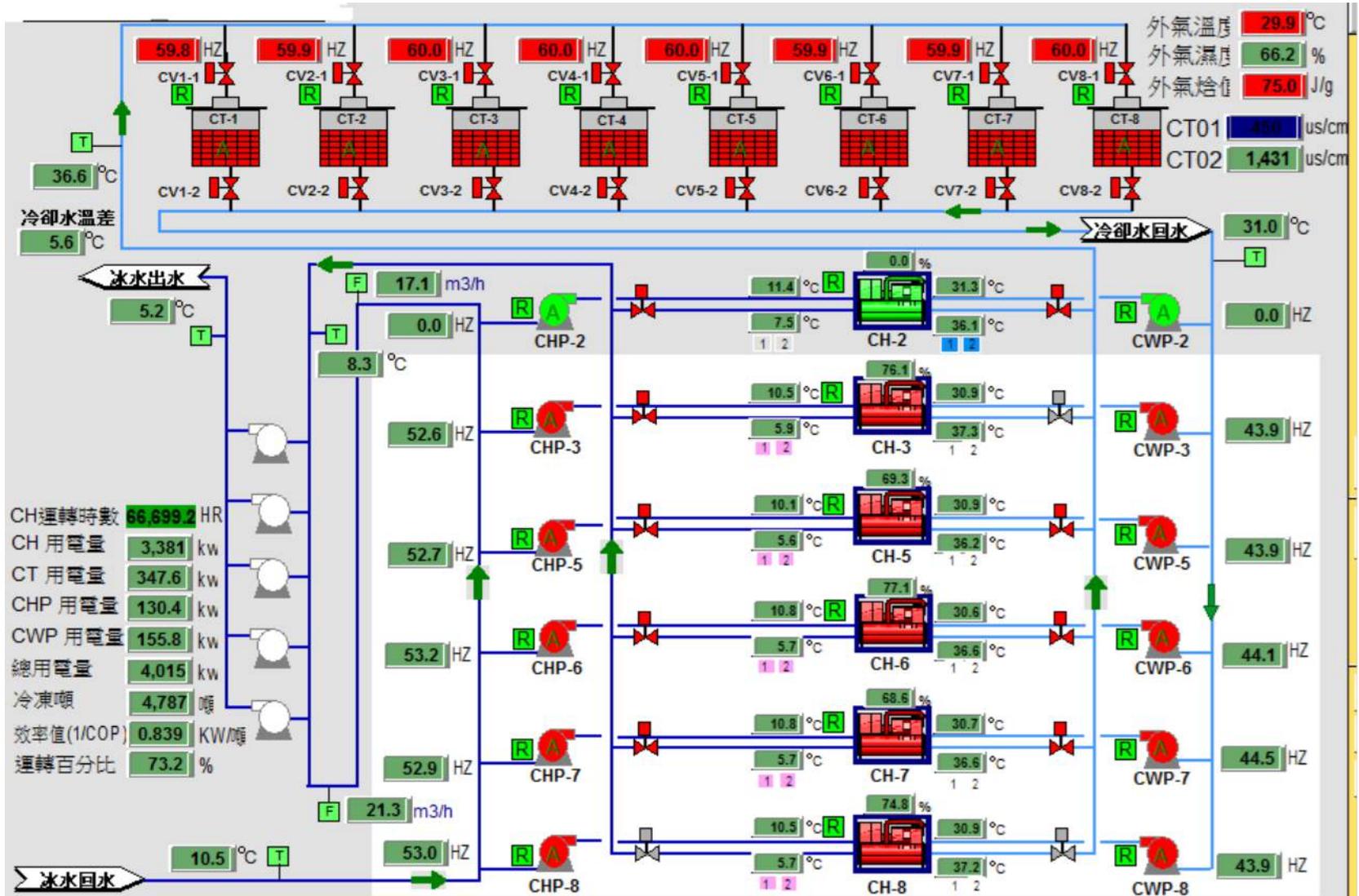
該廠改善手法是將冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔風扇依負載需採多核心減量節能控制，可降低單台流量並以多台運轉以達到分工節能效果

➤ 成效分析

1. 年節省電力=原系統耗能-分工運轉用電=4,710.7仟度/年
2. 年節省金額=956.7萬仟元/年



X廠冰水系統監控統



清水離心泵機組能效限定值與節能評價值 (GB 19762-2007)

清水離心泵機組能效限定值與節能評價值

5. 泵效率

5.1 泵效率為泵輸出功率與軸功率之比的百分數。按式(1)計算：

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

η ：泵效率，%；

P_u ：泵輸出功率(有效功率)，單位為千瓦(kW)；

P_a ：泵軸功率(輸入功率)，單位為千瓦(kW)。

5.2 泵輸出功率按式(2)計算：

$$P_u = \rho \times g \times Q \times H \times 10^{-3} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ρ ：密度，單位為千克每立方米(kg/m³)；

g ：重力加速度， $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ；

Q ：流量，單位為立方米每秒(m³/s)；

H ：揚程，單位為米(m)。

6. 泵能效限定值

6.1 當流量在5m³/h~10,000m³/h範圍內，泵能效限定值 η_1 按表1確定。計算方法示例見附錄A。

6.2 當流量大於10,000m³/h，單級單吸清水離心泵能效限定值 η_1 為87%。單級雙吸清水離心泵能效限定值為86%。

7. 泵目標能效限定值

7.1 當流量在5m³/h~10,000m³/h、比轉速在20~300範圍內，泵目標能效限定值 η_2 確定如下：單級清水離心泵從圖1曲線“目標限定值”中直接讀取或按表2“目標限定值”樣查取 η_2 ；多級清水離心泵從圖2曲線“目標限定值”中直接讀取或按表3“目標限定值”樣查取 η_2 ；如果比轉速在20~120、210~300範圍內，其目標限定值 η_2 應分別按圖3、圖4或表4的規定進行修正。計算方法示例見附錄B。

7.2 當流量大於10,000m³/h，泵效率的目標能效限定值 η_2 為88%。

7.3 泵目標限定值 η_2 在本標準實施之日3年後開師實施，並替代本標準第6章中泵能效規定值 η_1 。

8. 泵節能評價值

8.1 當流量在5m³/h~10,000m³/h範圍內，泵節能評價值 η_3 按表1確定。計算方法示例見附錄A。

8.2 當流量大於10,000m³/h，泵效率的節能評價值 η_3 為90%。

清水離心泵機組能效限定值與節能評價值

表1 泵能效限定值及節能評價值

泵類型	流量Q m ³ /h	比轉速n _s	未修正效率值 η/%	效率修正值 Δη/%	泵規定點效率值 η ₀ /%	泵能效限定值 η ₂ /%	泵節能評價值 η ₃ /%
單級 單吸 清水 離心泵	≤300	120~210	按圖1曲線“基準值”或按表2“基準值”樣查η	0	η ₀ =η	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +2
		<120、>210	按圖1曲線“基準值”或按表2“基準值”樣查η	按表4查Δη	η ₀ =η-Δη	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +2
	>300	120~210	按圖1曲線“基準值”或按表2“基準值”樣查η	0	η ₀ =η	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +1
		<120、>210	按圖1曲線“基準值”或按表2“基準值”樣查η	按表4查Δη	η ₀ =η-Δη	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +1
單級 雙吸 清水 離心泵	≤600	120~210	按圖1曲線“基準值”或按表2“基準值”樣查η	0	η ₀ =η	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +2
		<120、>210	按圖1曲線“基準值”或按表2“基準值”樣查η	按表4查Δη	η ₀ =η-Δη	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +2
	>600	120~210	按圖1曲線“基準值”或按表2“基準值”樣查η	0	η ₀ =η	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +1
		<120、>210	按圖1曲線“基準值”或按表2“基準值”樣查η	按表4查Δη	η ₀ =η-Δη	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +1
多級 清水 離心泵	≤100	120~210	按圖1曲線“基準值”或按表3“基準值”樣查η	0	η ₀ =η	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +2
		<120、>210	按圖1曲線“基準值”或按表3“基準值”樣查η	按表4查Δη	η ₀ =η-Δη	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +2
	>100	120~210	按圖1曲線“基準值”或按表3“基準值”樣查η	0	η ₀ =η	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +1
		<120、>210	按圖1曲線“基準值”或按表3“基準值”樣查η	按表4查Δη	η ₀ =η-Δη	η ₂ =η ₀ -2	η ₃ =η ₀ +1

備註：基準值為當前泵行業較好的產品效率平均值。

清水離心泵機組能效限定值與節能評價值

主要技術內容說明

(1) 本技術規範為首次制定；

(2) 本技術規範對配用馬達的範圍作了相應的規定：

單速封閉自扇冷、N設計、連續工作制的一般用途的三相籠型感應馬達；

額定電壓：690V及以下；

額定頻率：50 Hz；

額定輸出功率：0.75 kW~900 kW；

極數：2極、4極和6極；

(3) 本技術規範只適用於單級單吸清水離心泵機組、單級雙吸清水離心泵機組、多級清水離心泵機組；

(4) 本技術規範規定了3個能效等級，1級能效最高，3級能效最低，2級能效規定為泵機組的節能評價值；

(5) 泵機組的效率是泵、馬達和傳動機構三者效率的綜合匹配效率；

(6) 對於3級能效和2級能效的泵機組，馬達的效率根據馬達功率的不同，應分別符合IEC-60034-30：2008規定的IE2要求（馬達功率：0.75KW~375KW）和JB/T 10868-2008《Y3系列（IP55）三相非同步馬達技術條件》的效率指標要求（馬達功率：400KW~900KW）；同時泵的效率應分別符合GB 19762-2007標準所對應的能效限定值（對3級能效機組）和節能評價值（對2級能效機組）的要求；

(7) 對於1級能效的泵機組，馬達的效率根據馬達功率的不同，宜符合IEC-60034-30：2008規定的IE3要求（馬達功率：0.75KW~375KW）和JB/T 10868-2008《Y3系列（IP55）三相非同步馬達技術條件》的效率指標要求（馬達功率：400KW~900KW）；同時泵的效率應符合GB 19762-2007標準規定的節能評價值要求；

清水離心泵機組能效限定值與節能評價值(GB 19762-2007)

8. 在GB 19762-2007《清水離心泵能效限定值及節能評價值》泵能效等級標準中，泵的能效限定值及節能評價值是通過泵的基準效率值（ η ）、修正值（ $\Delta\eta$ ），根據泵的類型、流量範圍及比轉速範圍，修正泵的規定點效率值（ η_0 ）；而泵的能效限定值（ η_2 ）在泵規定點效率值上遞減2%，節能評價值（ η_3 ）在泵規定點效率值上遞增1%~2%，如表1所示；

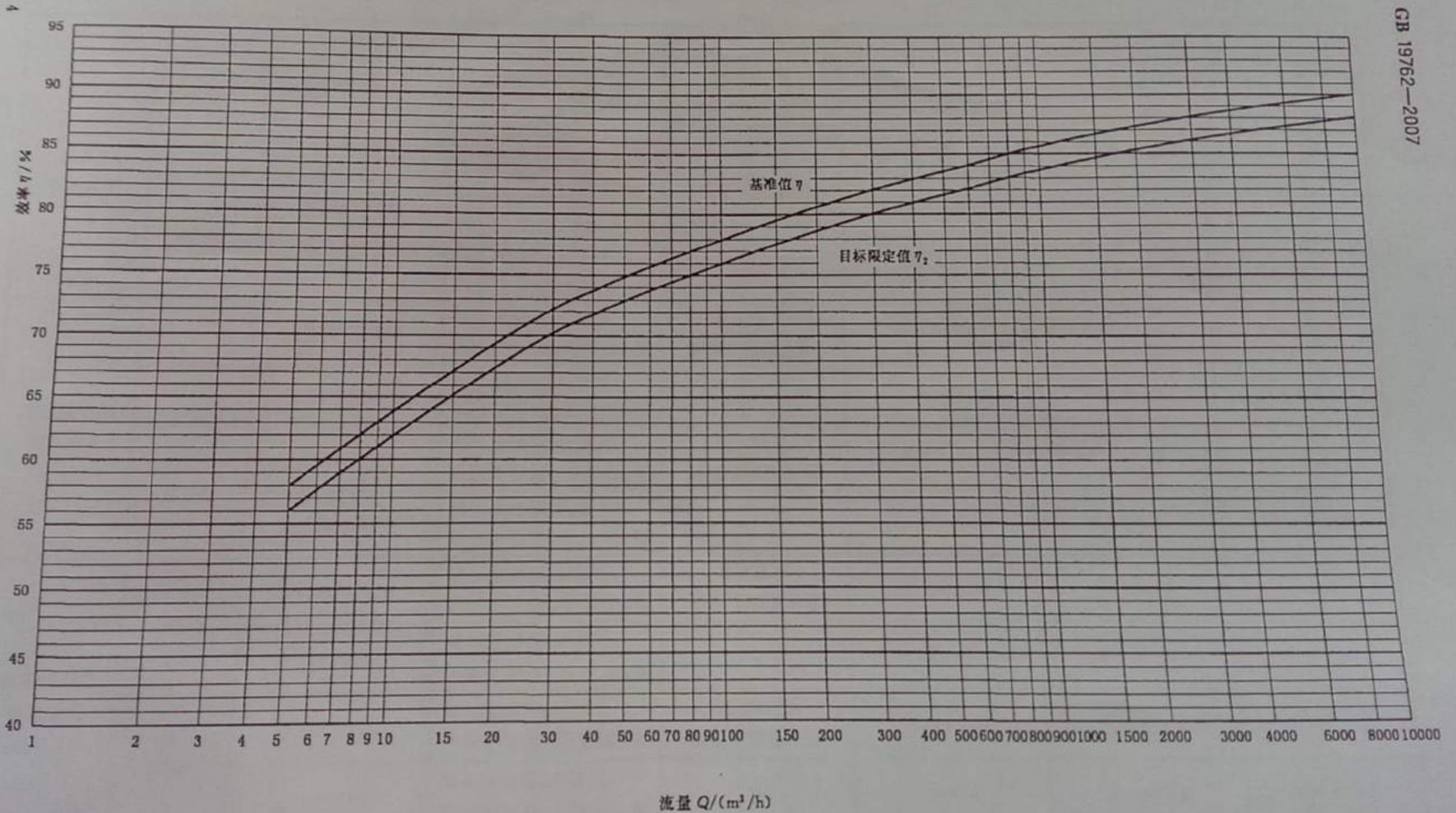
表1 泵能效限定值及節能評價值

泵類型	流量Q m ³ /h	比轉速n _s	未修正效率值 η %	效率修正值 $\Delta\eta$ %	泵規定點效率值 η_0 %	泵能效限定值 η_2 %	泵節能評價值 η_3 %
單級 單吸 清水 離心泵	≤300	120~210	按表2“基準值”查 η	0	$\eta_0=\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+2$
		<120、>210	按表2“基準值”查 η	按表4 查 $\Delta\eta$	$\eta_0=\eta-\Delta\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+2$
	>300	120~210	按表2“基準值”查 η	0	$\eta_0=\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+1$
		<120、>210	按表2“基準值”查 η	按表4 查 $\Delta\eta$	$\eta_0=\eta-\Delta\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+1$
單級 雙吸 清水 離心泵	≤600	120~210	按表2“基準值”查 η	0	$\eta_0=\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+2$
		<120、>210	按表2“基準值”查 η	按表4 查 $\Delta\eta$	$\eta_0=\eta-\Delta\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+2$
	>600	120~210	按表2“基準值”查 η	0	$\eta_0=\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+1$
		<120、>210	按表2“基準值”查 η	按表4 查 $\Delta\eta$	$\eta_0=\eta-\Delta\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+1$
多級 清水 離心泵	≤100	120~210	按表3“基準值”查 η	0	$\eta_0=\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+2$
		<120、>210	按表3“基準值”查 η	按表4 查 $\Delta\eta$	$\eta_0=\eta-\Delta\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+2$
	>100	120~210	按表3“基準值”查 η	0	$\eta_0=\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+1$
		<120、>210	按表3“基準值”查 η	按表4 查 $\Delta\eta$	$\eta_0=\eta-\Delta\eta$	$\eta_2=\eta_0-2$	$\eta_3=\eta_0+1$

備註：基準值為當前泵行業較好的產品效率平均值。

清水離心泵機組能效限定值與節能評價值

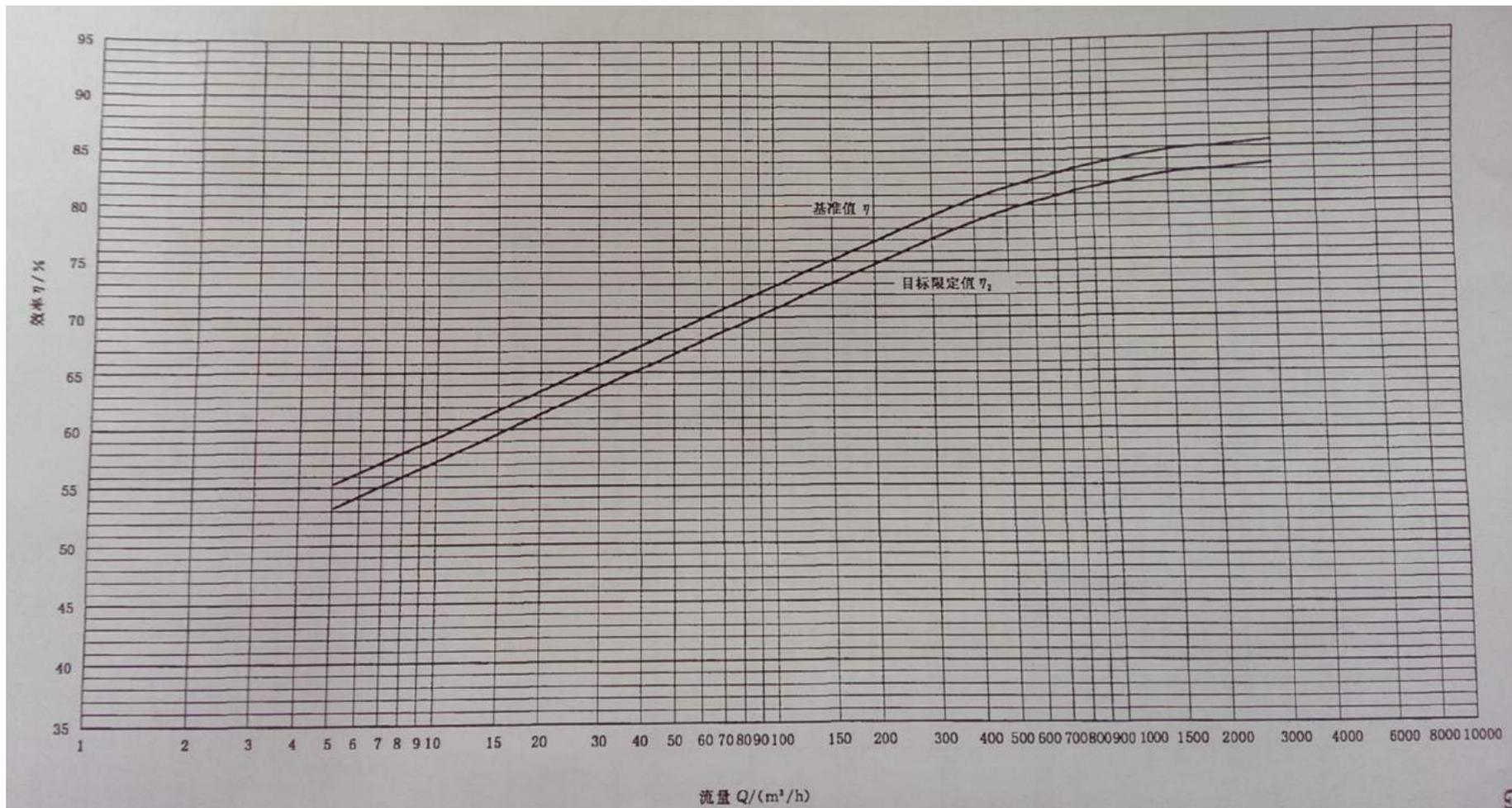
圖1 單級清水離心泵效率



注：對於單級雙吸離心水泵，圖中流量是指全流量值。

清水離心泵機組能效限定值與節能評價值

圖2 多級清水離心泵效率



清水離心泵機組能效限定值與節能評價值

圖3 $n_s=20\sim 120$ 單級、多級清水離心泵效率修正值

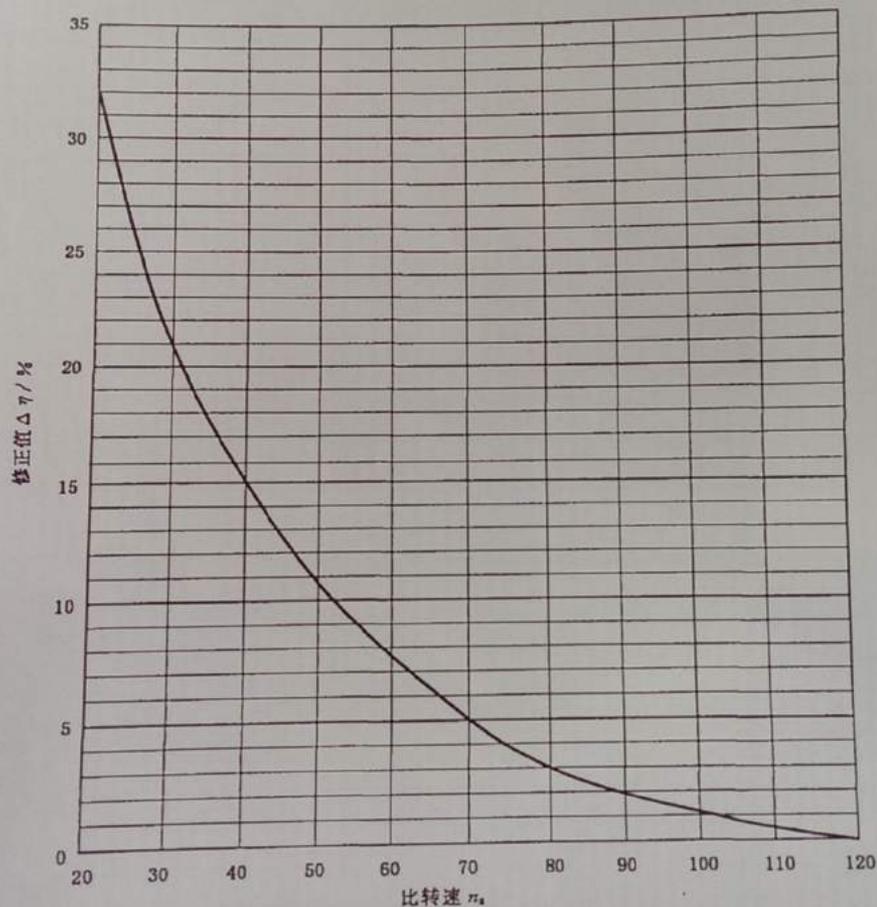
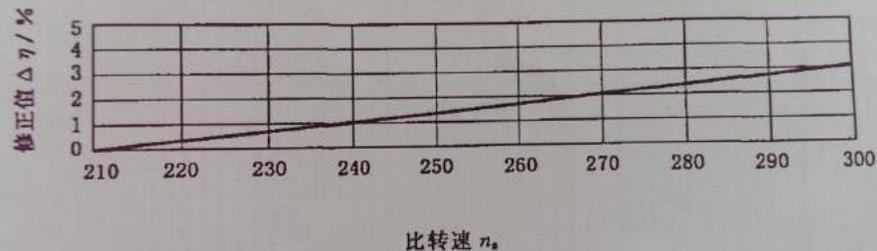


圖4 $n_s=210\sim 300$ 單級、多級清水離心泵效率修正值



清水離心泵機組能效限定值與節能評價值

表2 單級清水離心泵效率

Q/(m ³ /h)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
基準值 η /%	58.0	64.0	67.2	69.4	70.9	72.0	73.8	74.9	75.8	76.5	77.0
目標限定值 η /%	56.0	62.0	65.2	67.4	68.9	70.0	71.8	72.9	73.8	74.5	75.0
Q/(m ³ /h)	90	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900
基準值 η /%	77.6	78.0	79.8	80.8	82.0	83.0	83.7	84.2	84.7	85.0	85.3
目標限定值 η /%	75.6	76.0	77.8	78.8	80.0	81.0	81.7	82.2	82.7	83.0	83.3
Q/(m ³ /h)	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
基準值 η /%	85.7	86.6	87.2	88.0	88.6	89.0	89.2	89.5	89.7	89.9	90.0
目標限定值 η /%	83.7	84.6	85.2	86.0	86.6	87.0	87.2	87.5	87.7	87.9	88.0
備註：表中單級雙吸離心泵的流量是指全流量值											

清水離心泵機組能效限定值與節能評價值

表3 多級清水離心泵效率

Q/(m ³ /h)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
基準值 η /%	55.4	59.4	61.8	63.5	64.8	65.9	67.5	68.9	69.9	70.9	71.5	72.3	72.9
目標限定值 η /%	53.4	57.4	59.8	61.5	62.8	63.9	65.5	66.9	67.9	68.9	69.5	70.3	70.9
Q/(m ³ /h)	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	3000
基準值 η /%	75.3	76.9	79.2	80.6	81.5	82.2	82.8	83.1	83.5	83.9	84.8	85.1	85.5
目標限定值 η /%	73.3	74.9	77.2	78.6	79.5	80.2	80.8	81.1	81.5	81.9	82.8	83.1	83.5

表4 $n_s=20\sim 300$ 單級、多級清水離心泵效率修正值

n_s	20	25	30	35	40	50	55	60	65	70	75	80	85
η /%	32	25.5	20.6	17.3	14.7	12.5	10.5	9.0	7.5	6.0	5.0	4.0	3.2
n_s	90	95	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
η /%	2.0	1.5	1.0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_s	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300			
η /%	0	0.3	0.7	1.0	1.3	1.7	1.9	2.2	2.7	3.0			

清水離心泵機組能效限定值與節能評價值

附錄A(資料性附錄)

泵能效限定值及節能評價值計算方法

某單級雙吸清水離心泵規定點性能： $Q = 800\text{m}^3/\text{h}$ ， $H = 12\text{m}$ ， $n = 1470\text{r}/\text{min}$ ，求其能效限定值 η_1 集節能評價值 η_2 。

A.1 按式(A.1)計算泵的比轉速 n_s

$$n_s = \frac{3.65n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

Q ：流量，單位為立方米每秒(m^3/s)(雙吸泵計算流量時取 $Q/2$)。

H ：揚程，單位為米(多級泵計算取單級揚程)。

n_s ：轉速，單位為轉每分(r/min)。

數據帶入式(A.1)得

$$n_s = \frac{3.65n\sqrt{\frac{Q}{2}}}{H^{3/4}} = \frac{3.65 \times 1470 \times \sqrt{\frac{800}{2 \times 3600}}}{12^{3/4}} = 277.4$$

A.2 查取未修正效率值 η

查圖1曲線“基準值”或表2“基準值”樣，當 $Q=800\text{m}^3/\text{h}$ 時， $\eta = 85\%$ 。

A.3 確定效率修正值 $\Delta \eta$

查圖4或表4，當 $n_s=277.4$ 時， $\Delta \eta = 2.1\%$ 。

A.4 計算泵規定點效率值 η_0

$\eta_0 = \eta - \Delta \eta = 85\% - 2.1\% = 82.9\%$ 。

A.5 計算能效效率值 η_1

$\eta_1 = \eta_0 - 4\% = 82.9\% - 4\% = 78.9\%$ 。

A.3 計算節能評價值 η_2

$\eta_2 = \eta_0 + 1\% = 82.9\% + 1\% = 83.9\%$ 。

清水離心泵機組能效限定值與節能評價值

附錄B(資料性附錄)

泵能效限定值及節能評價值計算方法示例

某單級單吸清水離心泵規定點性能： $Q=100\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=125\text{m}$ ， $n=2900\text{r}/\text{min}$ ，求其能效限定值 η_1 集節能評價值 η_2 。

B.1 按式(A.1)計算泵的比轉速 n_s

數據帶入式(A.1)得

$$n_s = \frac{3.65 \times 2900 \times \sqrt{\frac{800}{3600}}}{125^{3/4}} = 47.2$$

B.2 查取未修正效率值 η

查圖1曲線“基準值”或表2“基準值”樣，當 $Q=100\text{m}^3/\text{h}$ 時， $\eta=76\%$ 。

B.3 確定效率修正值 $\Delta\eta$

查圖3或表4，當 $n_s=47.2$ 時， $\Delta\eta=11.5\%$ 。

B.4 計算泵目標能效限定值 η_2

$$\eta_0 = \eta - \Delta\eta = 76\% - 11.5\% = 64.5\%$$

馬達系統節能改造規範
GB/T 29314—2012

馬達系統節能改造規範

7.4 節能改造效果檢測計算方法

7.4.1 節能量和節能率的確定

7.4.1.1 總則

改造完成後應根據實際，採用以下幾種方式的一種或幾種方式進行節能改造效果評估。

7.4.1.2 統計報告期節能量

統計報告期節能量按式（1）計算：

$$\Delta E_T = E_{Th} - E_{Tq} + E_x \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ΔE_T ：統計報告期節能量，單位為千瓦時（kWh）；

E_{Th} ：統計報告期總耗能量，單位為千瓦時（kWh）；

E_{Tq} ：—基期總耗能量，單位為千瓦時（kWh）；

E_x ：建設方和施工方認可的修正值（主要由統計報告期和基期不可消除的影響決定），單位為千瓦時（kWh）。

7.4.1.3 統計報告期節能率

S_q

統計報告期節能率按式（2）計算：

$$S_q = \frac{\Delta E_T}{E_{Tq}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

S_q ：統計報告期節能率，%。

7.4.1.4 產品節能率

產品節能率按式（3）計算：

$$S_q = \frac{e_{dj} - e_{dy}}{e_{dy}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

S_q ：產品節能率，%；

e_{dj} ：統計報告期單位產品平均耗能量，單位為千瓦時（kWh）。

e_{dy} ：基期單位產品平均耗能量，單位為千瓦時（kWh）；

備註：產品節能率 S_q 可以為產品有功節能率、無功節能率和綜合節能率中的任何一種，只需注意在計算時將相應的基期單位產品耗能量 e_{dy} 和統計報告期單位產品耗能量 e_{dj} 賦以相對應的值即可。

馬達系統節能改造規範

7.4.1.5 產品節能量

產品節能量按式(4)計算：

$$\Delta E_d = S_q \times e_{dy} \times M \dots \dots \dots (4)$$

式中：

ΔE_d ：產品節能量，單位為千瓦時(kWh)；

M ：統計報告期產出的合格產品數量。

7.4.1.6 工況節能率

工況節能率按式(5)計算：

$$S_g = \frac{\sum_{i=1}^n S_{gvi} \times T_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \dots \dots \dots (5)$$

式中：

S_g ：工況(工藝)節能率，%；

S_{gi} ：第*i*種工況(工藝)節能率，%，按式(6)計算；

T_i ：統計報告期系統在第*i*種工況(工藝)執行時間，單位為小時(h)；

n ：統計報告期系統工況(工藝)的數量。

$$S_{gi} = \frac{e_{gji} - e_{gvi}}{e_{gvi}} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

式中：

S_q ：產品節能率，%；

e_{dj} ：統計報告期單位產品平均耗能量，單位為千瓦時(kWh)。

e_{dy} ：基期單位產品平均耗能量，單位為千瓦時(kWh)；

備註：產品節能率 S_q 可以為產品有功節能率、無功節能率和綜合節能率中的任何一種，只需注意在計算時將相應的基期單位產品耗能量 e_{dy} 和統計報告期單位產品耗能量 e_{dj} 賦以相對應的值即可。

馬達系統節能改造規範

7.4.1.7 工況節能量

工況節能量按式(7)計算：

$$\Delta E_g = \sum_{i=1}^n S_{gi} \times e_{gvi} \times T_i \dots\dots\dots (7)$$

式中：

ΔE_g ：工況節能量，%；

7.4.1.8 綜合節能量

綜合節能量按式(8)計算：

$$\Delta E_C = E_P + K_Q \times E_Q \dots\dots\dots (8)$$

式中：

ΔE_C ：綜合節能量，單位為千瓦時(kWh)；

E_P ：有功節能量，單位為千瓦時(kWh)；

K_Q ：無功經濟當量，其具體取值按GB/T 12497-2006 附錄A.3中的規定；單位為(kW/kvar)；

E_Q ：無功節能量；單位為千乏時(kvarh)。

備註：有功節能量可以按照7.1.1.2、7.1.2.5、7.1.2.7中的任意一種方法計算得到；無功節能量可參照7.1.1.2、7.1.2.5、7.1.2.7中的任意一種方法計算得到，但要注意公式中涉及的節能量值為無功節能量。

7.4.1.9 綜合節能率

7.4.1.9 綜合節能率

綜合節能率按式(9)計算：

$$S_C = \frac{\sum E_{Cj} - \sum E_{Cy}}{\sum E_{Cy}} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

S_C ：綜合節能率，%；

$\sum E_{Cy}$ ：基期綜合節能量；單位為千瓦時(kWh)；

$\sum E_{Cj}$ ：統計報告期綜合節能量；單位為千瓦時(kWh)；

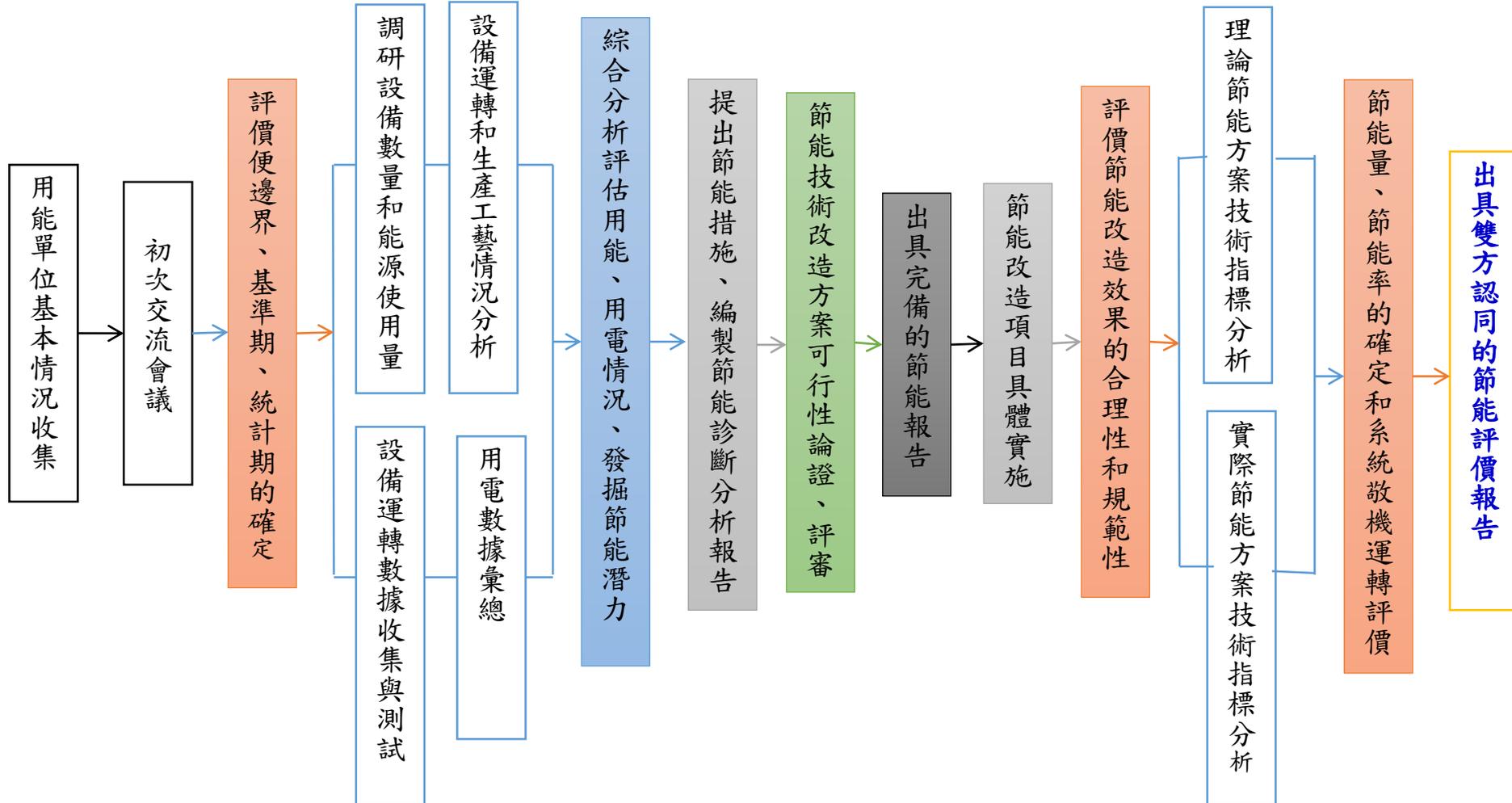
馬達系統節能改造規範

節能改造診斷評估、設計實施及節能評價流程圖

附錄 A (資料性附錄)

節能改造診斷評估、設計實施及節能評價流程圖

A.1 節能改造診斷評估、設計實施及節能評價按圖A.1中所示流程進行



節能減碳★循環經濟★生態環保



施顏崇

E-Mail : syc123s@yahoo.com.tw