

# 馬達檢測技術革新與應用

林益富

(佳準科技股份有限公司, 台北 20080822)

**摘要：**IEEE 標準裏規定馬達特性測試一般有三種方法：1. 給馬達外加一個恒負載；2. 利用馬達慣性負載；3. 馬達和其他更容易測得的參數之間建模來考察兩者的關係。闡述了他們的優缺點及在馬達測試的應用，並從馬達檢測技術革新的角度進行分析。

**關鍵字：**IEEE; 恒負載；慣性負載；精准；快速；馬達測試的革命

## 1 引言

馬達業界的人都知道，IEEE 裏規定馬達特性測試一般有三種方法：1. 給馬達外加一個恒負載；2. 利用馬達慣性負載；3. 馬達和其他更容易測得的參數之間建模來考察兩者的關係。〔1〕每一種方法都有其優缺點。1. 給馬達外加負載，不管是機械的還是電子的，都要把馬達和負載進行耦合聯結，這是十分耗時的。〔2〕而且由於外加負載的限制，測試速度和扭矩都不可能很大。但是測試扭矩又不可以很小，因為有一個很大的外加負載誤差存在，例如：連軸器誤差，負載本身慣量誤差...等。從而決定了此方法不能用於微小和大型馬達測試，更難實現大批馬達的測量暨產線全檢。2. 利用馬達慣性負載，這是近幾年在歐美非常流行的測試方法，不僅測試快速，而且測試非常精准。但是前提條件必須精准的測試出馬達的轉動慣量 (moment of inertia) 和馬達加速階段的角加速度。3. 馬達和其他更容易測得的參數之間建模來考察兩者的關係。建模是一種間接的方法，不能測試馬達輸出量，因此容易出現錯誤，這種方法誤差大，一般幾乎都不再採用了。

那麼就目前使用最多的兩種馬達特性測試方法，即 1. 給馬達外加一個恒負載；2. 利用馬達慣性負載，來探討和分析一下其優缺點及應用。

## 2 馬達外加負載測試

馬達外加負載方法很多，例如：加飛輪，伺服電機，煞車器等等。目前用的最多的是煞車器，一般分為磁滯式，渦流式和磁粉式煞車器三種。磁滯式的用的最多；渦流式多用於轉速相對較高的測試，如 10000RPM 左右，但是由於其工作原理，當其在低速時就不能測試了；磁粉式多用在在大扭矩低轉速測試。

其工作原理大致可描述為，通過煞車器提供外加負載給測試馬達，扭矩感測器量測扭矩大小，轉速感測器量測轉速大小 (當然如果需要測量電力參數，可以加入電力量測單元)。〔3〕測試結構如圖 1 所示，測試資料如圖 2 所示。

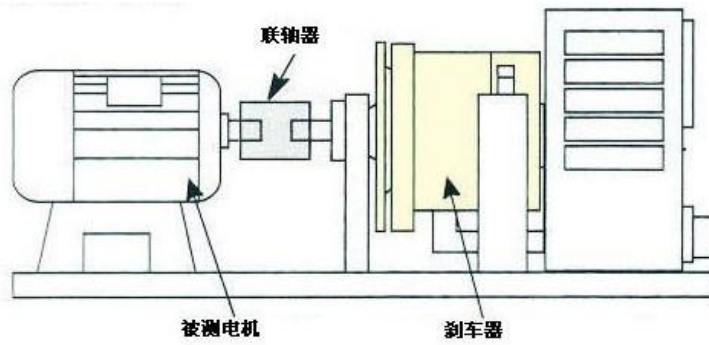


圖 1 外載入測試結構圖

佳准科技股份有限公司  
PRO-PII TECHNOLOGY CORP.  
馬達特性測試結果

客戶名稱 (Customer): PRO-PII CO.      馬達溫度 (Temperature): 35 C  
資料檔名 (Filename): AUTOTEST.DAT      空載轉速 (No-Load R.P.M.): 1900 r.p.m.  
馬達型號 (Motor No.): MOTOR-123      空載電流 (No-Load Current): 0.2 A  
額定電壓 (Voltage): 110 Vac      啟動轉矩 (Started Torque): 0.02 oz-in  
額定輸出 (Out Rated): 30W      測試日期 (Test Date): 84-6-28

序次	電壓	電流	輸入功率	轉速	轉矩	效率	轉矩	轉速	轉矩	轉速
Time	Volt	Amp	W	Speed	Chk	Eff	MP	Watt	RPM	FF
1	0.251	113.36	28.688	1791	0.000	0.0011	0.000	0.0202	0.1628	
2	0.254	113.36	28.618	1784	1.811	0.0167	0.002	1.9951	0.1682	
3	0.283	113.90	31.179	1736	2.816	0.3227	0.011	10.1577	0.9120	
4	0.376	113.90	41.671	1698	17.838	0.3278	0.039	22.4165	0.9723	
5	0.472	113.90	53.222	1622	26.119	0.6011	0.042	31.2403	0.9728	
6	0.509	113.90	60.190	1538	30.088	0.5784	0.047	34.9080	0.9641	
7	0.611	113.90	69.645	1452	32.249	0.5231	0.046	34.5591	0.9354	
8	0.651	113.26	69.590	1375	32.235	0.3728	0.044	32.9021	0.9084	
9	0.690	113.26	71.035	1309	31.664	0.3271	0.041	30.6752	0.9292	
10	0.700	113.40	73.400	1254	31.087	0.3021	0.038	28.6484	0.9236	
11	0.718	113.40	75.745	1202	30.283	0.3465	0.036	26.9163	0.9161	
12	0.731	113.60	75.732	1151	29.482	0.3317	0.036	25.1182	0.9111	
13	0.745	113.30	76.028	1103	28.683	0.3067	0.031	23.4250	0.9069	
14	0.797	113.30	77.170	1053	27.886	0.2818	0.029	21.7367	0.9010	
15	0.790	113.30	78.300	1003	27.038	0.2548	0.027	20.0640	0.8963	
16	0.774	113.60	78.790	955	26.217	0.2254	0.024	18.5212	0.8928	
17	0.781	113.30	79.128	905	25.273	0.2129	0.023	16.8884	0.8891	
18	0.791	113.60	79.382	856	24.552	0.1968	0.021	15.5541	0.8879	
19	0.798	113.30	80.189	806	23.767	0.1768	0.019	14.1723	0.8859	
20	0.802	113.30	80.181	750	23.176	0.1620	0.017	13.0357	0.8811	
21	0.809	113.30	80.886	701	22.330	0.1419	0.016	11.7171	0.8811	
22	0.811	113.30	81.991	640	21.650	0.1204	0.014	10.5711	0.8783	
23	0.819	113.60	81.117	611	21.013	0.1147	0.013	9.3402	0.8751	
24	0.822	113.60	81.563	563	20.379	0.1049	0.011	8.3746	0.8723	
25	0.821	113.60	81.830	518	19.768	0.0923	0.010	7.5553	0.8741	
26	0.828	113.60	82.192	460	19.201	0.0795	0.008	6.5208	0.8733	
27	0.831	113.60	82.742	430	18.387	0.0686	0.008	5.9403	0.8702	
28	0.831	113.30	83.142	363	18.176	0.0582	0.007	6.9833	0.8730	
29	0.824	113.30	82.602	315	17.653	0.0482	0.006	6.1001	0.8728	
30	0.830	113.30	83.442	300	16.925	0.0380	0.006	5.2472	0.8740	
31	0.837	113.30	83.813	279	16.744	0.0320	0.006	4.6319	0.8717	
32	0.840	113.60	83.811	261	16.111	0.0228	0.003	1.9472	0.8704	
33	0.840	113.60	83.134	135	15.739	0.0161	0.002	1.3379	0.8712	
34	0.840	113.30	83.179	9	15.700	0.0000	0.000	0.0000	0.8732	

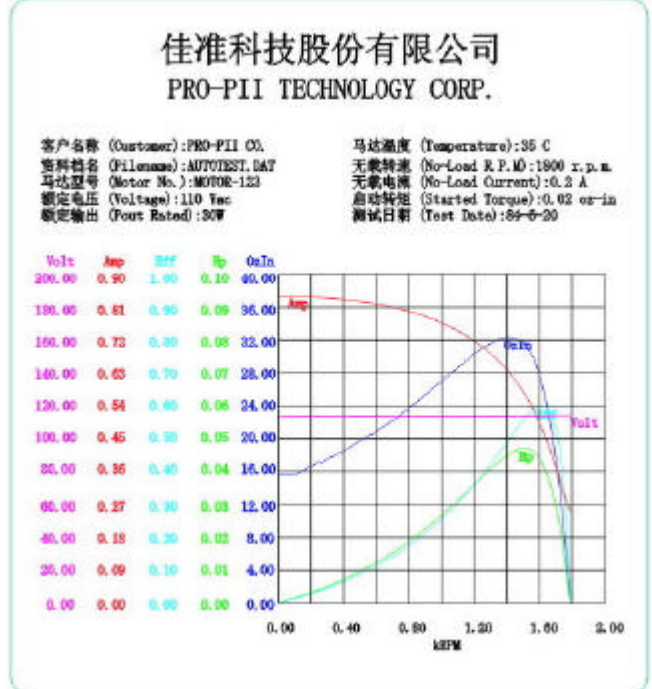


圖 2 馬達測試報告

從上面圖 1 和圖 2 可以看出，這種測試方法能很好的量測出馬達的特性，但是也同樣有著不可避免的物理瑕疵存在，聯軸器和煞車器轉子對測試馬達的影響。不難想像即使聯軸器與馬達耦合的特別好的情況下，由於聯軸器和煞車器轉子本身存在的轉動慣量，對測試資料精準度的影響也是非常大的，如何克服這些誤差是一個比較頭痛的難題。還有在測試轉動起來後，又一個問題出現了，由於外加了負載給馬達，本來是要測試室溫下的馬達特性，由於外加負載使馬達迅速升溫，最終結果可能不是室溫下的特性資料了。

由於這種測試方法對夾制具和對軸要求比較高，在測試過程中需要大量的時間，這就限制了其在產線的應用。在時間就是金錢和馬達性能要求越來越高的今天，每只馬達都必須接受檢測，顯然這種外加負載的方法已經不能滿足我們的需要了。在這種情況下利用馬達慣性負載，進行馬達特性測試的方法粉墨登場。因為它測試方便，由於不在需要外加負載，所以在夾制具和對軸上變的非常容易。目前這種測試方法在歐美已經非常流行，也得到了測試業界的廣泛贊同。目前世界上做的最好的當數以色列的 MEA 馬達測試公司，當初其發佈設備資訊時，曾在業界引起很大的振動，被譽為“馬達測試的革命”。〔4〕

### 3 馬達慣性負載測試

實現利用馬達慣性負載，進行馬達特性測試的載體是 IEEE Std 112 馬達測試規範，加之 MEA 公司幾十年馬達領域的專業技術與經驗。成功研發具有國際專利技術的馬達特性測試系統，給馬達測試領域帶來一場空前的大革命。

原理公式〔5〕：

$$T = \frac{J}{k} * \frac{dn}{dt} \quad 1$$

T 扭矩 (Nm)

J 轉動慣量 (Kg. m<sup>2</sup>)

n 轉速 (RPM)

k 9.549

由於  $w = 2\pi p / 60$ ，所以公式 1 等價於

$$T = \frac{J}{k} * \frac{60}{2p} \frac{dw}{dt} = J * b \quad b \text{ 為角加速度}$$

轉動慣量 J，是每個馬達固有的量，想得到它的值方法很多，目前大家都是用 AutoCAD 軟體推算，這樣結果就不是很精準。而 MEA 用的是拿一個標準飛輪（知道其精準的轉動慣量）加之自己國際專利技術，來實測馬達的轉動慣量，這樣求出的結果是十分精準的；角加速度的獲取，是使用一個高精度的速度感測器來實現的。測試結構圖和測試資料如圖 3，4 所示。

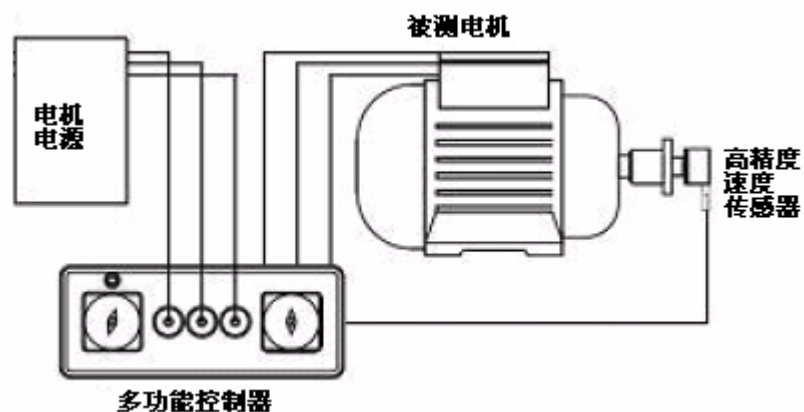


圖 3 慣性負載測試結構圖

Speed (RPM)	Torque (Nm)	P in (W)	P Out (W)	Efficiency (%)	Power Factor	Speed Volt (V)	Current L1 (A)	Current L2 (A)	Current L3 (A)
81.000	28.898	6665.882	245.186	3.684	0.762	403.156	12.300	11.784	12.188
131.000	28.945	6647.478	387.210	5.975	0.779	405.063	12.019	11.672	11.973
181.000	28.951	6623.388	540.909	8.287	0.793	406.889	11.754	11.567	11.751
231.000	29.111	6590.717	704.414	10.753	0.804	408.373	11.474	11.400	11.529
281.000	29.386	6441.730	864.388	13.419	0.811	409.558	11.179	11.199	11.285
331.000	29.600	6303.240	1026.321	16.282	0.818	410.379	10.878	10.884	11.000
381.000	29.795	6179.038	1189.135	19.370	0.818	410.868	10.568	10.539	10.687
431.000	29.986	5962.946	1353.805	22.742	0.819	411.046	10.233	10.174	10.282
481.000	30.157	5744.419	1519.482	26.451	0.821	411.019	9.885	9.782	9.881
531.000	30.207	5509.138	1680.230	30.498	0.823	410.887	9.424	9.363	9.438
581.000	30.009	5243.086	1826.363	34.834	0.826	410.681	8.932	8.879	8.947
631.000	29.489	4941.682	1942.179	39.444	0.830	410.544	8.377	8.350	8.406
681.000	28.631	4595.079	2042.423	44.448	0.834	410.523	7.757	7.754	7.805
731.000	27.375	4191.351	2096.024	50.006	0.834	410.654	7.073	7.062	7.147
781.000	25.485	3723.742	2084.973	55.990	0.828	410.939	6.331	6.332	6.404
831.000	22.600	3181.956	1987.367	61.827	0.809	411.329	5.530	5.511	5.620
881.000	18.455	2530.988	1703.164	67.288	0.767	411.717	4.641	4.608	4.716
931.000	12.933	1739.076	1261.275	72.525	0.671	411.927	3.642	3.622	3.736
981.000	4.427	746.956	454.957	60.941	0.378	411.705	2.774	2.749	2.860

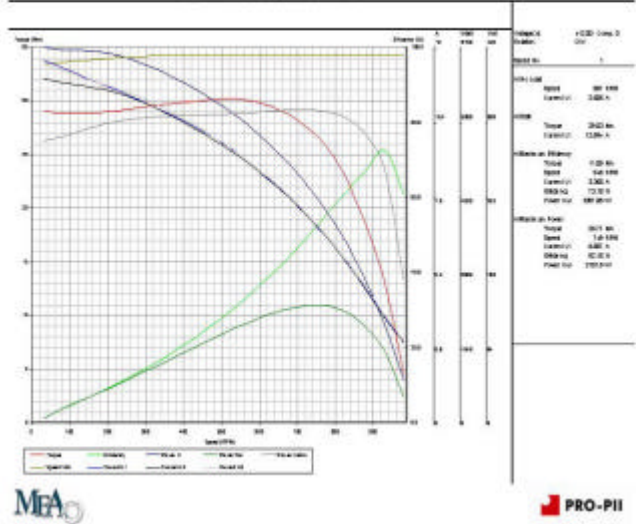


圖 4 馬達測試報告

舉例說明對一個馬達，利用 MEA 測試系統做負載特性試驗：

1. 首先利用 MEA 技術精準測出馬達的轉動慣量  $J$  ；
2. 在馬達加速啟動過程中，測出 0 RPM- Max RPM 每個速度點的角加速度  $b$  ；
3. 然後利用原理公式〔1〕，得出全程負載特性。

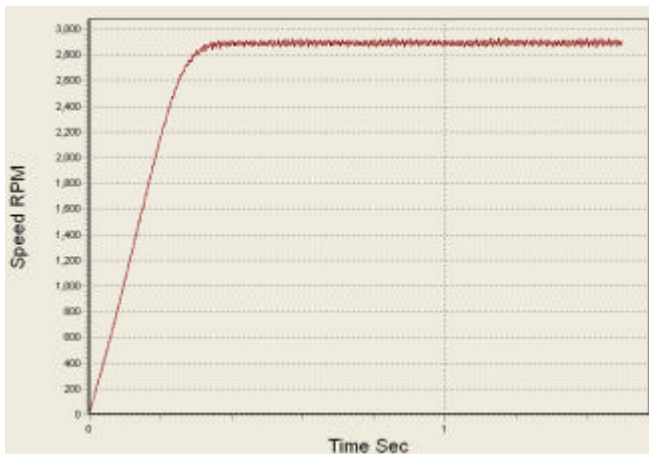


圖 5 速度與時間曲線

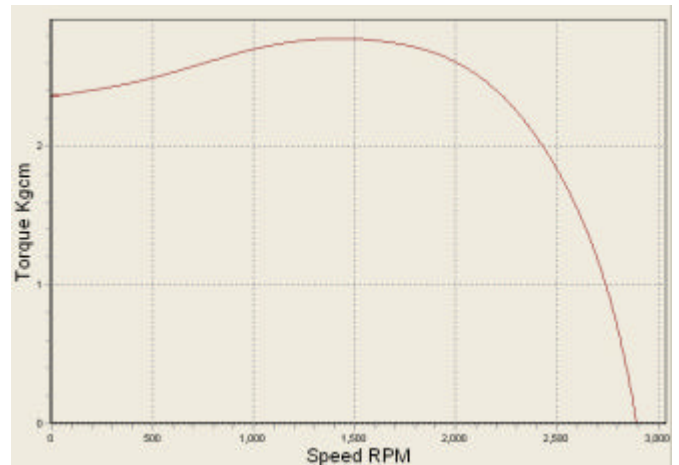


圖 6 馬達負載曲線

這一過程不僅測量了一顆馬達全程負載特性，並且有效的避免和克服了傳統式動力計，在載入測試過程中產生的溫升和機械損失。尤其在微小和大型馬達優點更加明顯，下面做一個對同一顆馬達，相同測試條件，使用外加負載和利用自身轉動慣量方法測試結果對比。

#### 4 外加負載和利用自身轉動慣量測試對比分析

AC PSC 交流分離型電容器馬達（3 速）馬達性能測試。下圖 7 和 8 顯示了，對同一馬達進行 5 次重複測試，運用 MEA 測試系統（紅色曲線），與傳統式動力計方法搭載 MEA 軟體（紫色曲線）進行對比。



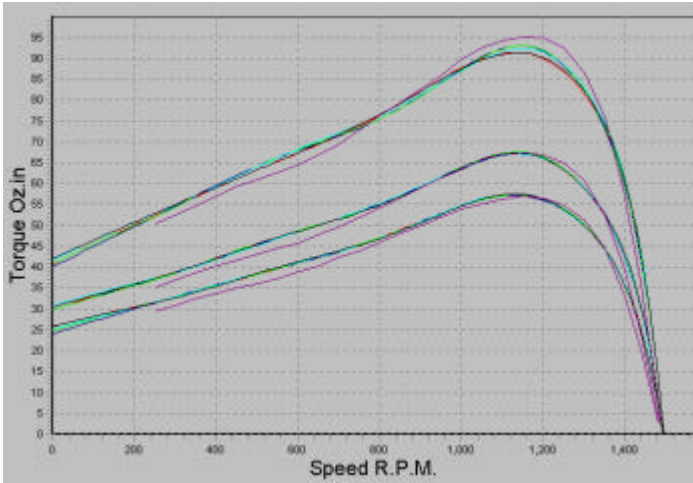


圖 7 扭矩對速度

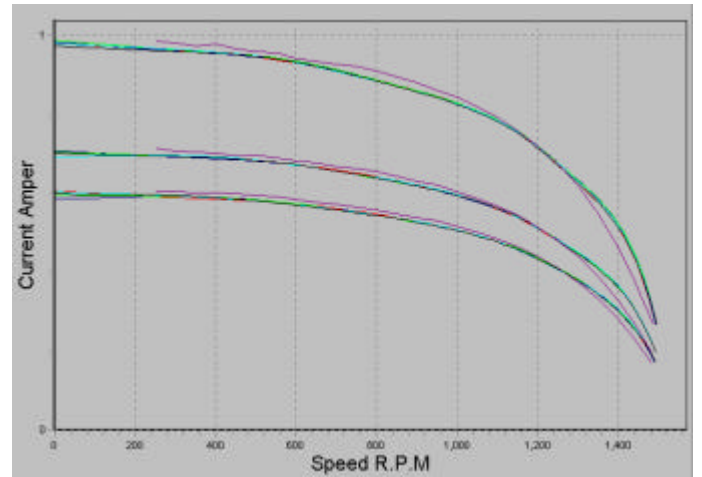


圖 8 電流對速度

上面可以看出 MEA 測試的精確結果和高度可重複性（低於 1%），以及傳統式動力計測試結果，都很清楚的顯示於下圖中。而且傳統式動力計測試系統在低轉速時（低於 200RPM）已經不能測試了，MEA 測試系統即馬達慣性負載測試方法，不僅精準的測試出了馬達的特性，而且是真正全部特性資料。〔6〕

### 5 馬達故障分析及產線應用

此系統不僅在特性測試上比較優秀，而且在馬達故障分析上，也有強大的功能，之所以有強大的分析功能是因為，傳統式動力計測試系統只是在減速階段測試，而 MEA 系統測試了馬達的加速，穩態，減速過程。加速階段測試馬達的特性；穩態進行馬達機械上的分析；減速進行馬達的摩擦分析。像用動態扭矩分析功能，分析馬達啟動過程中的瑕疵，這些用傳統式動力計測試系統是測試不出的。如圖 9 所示。

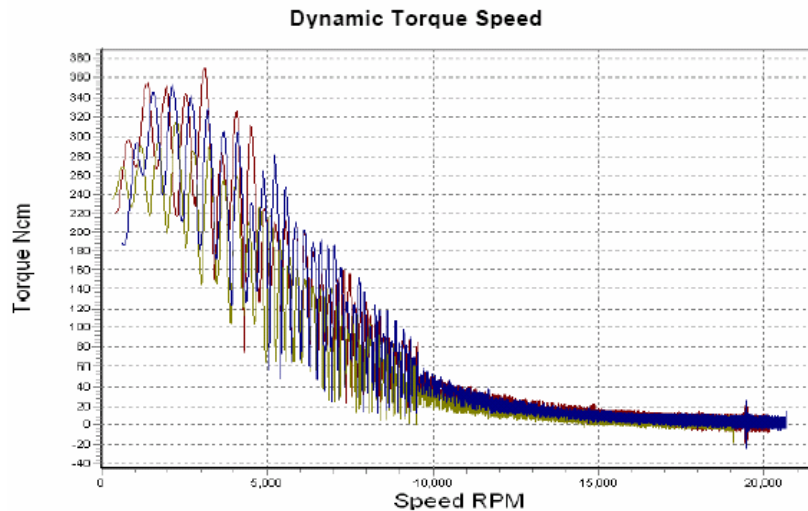


圖 9 三顆馬達的動態扭矩對速度

由於此測試方法在測試速度上有絕對的優勢，所以在歐美的馬達生產線（online）得到很大的應用。在產線全檢應用上，特點尤其突出，可以管制全部資料，也可以對某些特定的點進行管制，最終實現了快速，精準的測試。

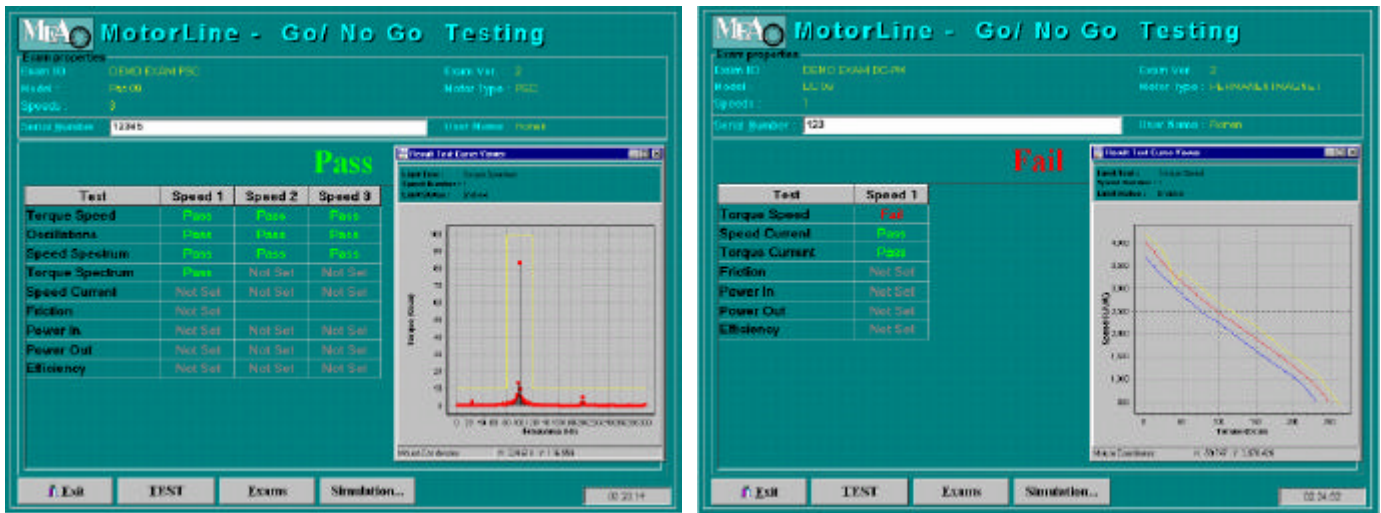


圖 10 產線馬達 Go/No Go 測試

## 6 結語

本文介紹了常用的兩種馬達測試方法，並分析其優缺點。就這兩種測試方法，可以得到以下結論：〔 7 〕

MEA 系統（慣性負載測試）	傳統式動力計測試系統
更精準	系統外加誤差，馬達狀態誤差，量測人為誤差
更安全	防護能力脆弱，馬達不良受損，操作安全顧慮
更強大	分析功能簡單，量測扭矩限制，量測轉速限制，擴充費用高昂
更快速	系統要每次校準，馬達需費時安裝
操作簡單	執行負載安裝，安全檢查確認
維護容易	漂移校準問題，散熱除塵問題，維修停機問題
尖端技術 新的工業測試標準	老舊的量測方法

在馬達性能要求越來越高的今日，找到一款適合自己的測試系統尤為重要，不僅節約自己的大量時間，提高產品品質，而且最重要的是能給自己帶來豐厚的回報。

### 【參考文獻】

- [1] IEEE 112-1996 Standard IEEE Power Engineering Society 1996
- [2] New Technology Speeds Motor Testing Appliance (USA) June 2002
- [3] 電機測試技術 王益全，張炳義 科學出版社 2004
- [4] Quality Engineering (Germany), Dipl.-Ing. Alfred K. Wunsch, March 2007
- [5] IEEE 112-1996 Standard, Method 2-Acceleration
- [6] MEA testing system company, Guy Fadida, April 2000
- [7] 電機特性測試系統(MotorLab)與傳統外載入測功機系統的比較分析 王敏堅 2006