

慣量測功機(MEA)常見 Q&A

第一章 基本原理

第二章 國標裏各種測試方法解析

第三章 MEA 慣量測功機系統對誤操作自動智能提示代碼

第四章 MEA 設備負責人異動處理

第一章 基本原理

1 · MEA 慣量測功機是哪個國家的系統？

係以色列（Israel）MEA 電機測試公司。

其有着近一個世紀對電機測試、研發和製造的經驗。

2 · MEA 慣量測功機的測試標準和規範是什麼？

IEEE 112-1996 / 2004 電機測試標準；

IEC Std 60034-21-2007 電機測試規範；

GBT 21418-2008 無刷直流電機測試規範。

參考相關文獻

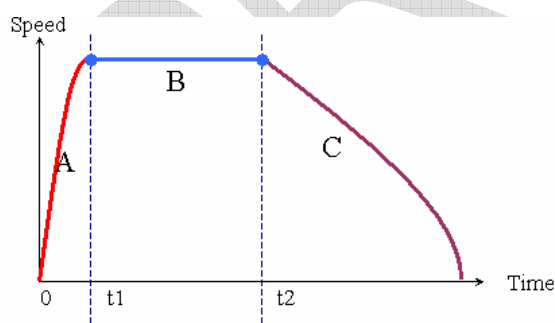
3. 此測功機系統測試電機的一般步驟是什麼？

首先測試出電機轉子的轉動慣量，然後測試出自由加速條件下，從 0 到最

大轉速下每個速度點的角加速度。 $M_{Torque} = I_{M.O.I} * \beta$

從而測試出所有速度下電機所能展現出的扭矩。（TN 負載特性）

4. 此系統都測試那些項目？



MEA 電機測試系統，是量測電機的整個過程 暨：

A，加速階段（TN 特性）

B，穩態階段（速度扭矩漣波分析 Torque & Speed Ripple）

C，減速階段（摩擦及 DC 電機的 EMF 和齒槽扭矩 Cogging Torque 分析）

就像很多客戶所講的：MEA 測試系統不僅僅量測電機的 TN 特性，而且對電機的整個運行狀況也進行了一個全面的考察，這才是真正意義上的電機測試。

5. 系統可以測試什麼電機？

單相 AC，三相 AC，DC 及 BLDC / BLAC 無刷高頻電機。由於此系統不像傳統測功機有那樣的複雜系統機械連接，所以在對於大型電機，超小型電機特別是外形奇特且連接複雜的電機，有著獨特的優勢。

6. 系統精度是多少？

系統量測精度 $\pm 0.2\%$

7. 最小/大測試扭矩；最小/大測試電流；最小/大測試轉速各是多少？

額定 0.072 m N.m 以上；額定 0.05A 以上；額定 10 rpm~250,000 rpm 詳細參數視所選測功機規格。

8. 慣量測功機和傳統測功機有什麼不同？

在測試數據一致的前提下，更精準，更快速，更強大，更安全，操作簡單，維護容易。

參考慣量測功機和傳統測功機優缺比較表

9. 可以測試啓動數據嗎？

可以，而且是最有效的測試啓動數據的方法。

傳統測功機是通過機械的方式把電機堵住，然後啓動電機，測試數據。這種方法有過很大的不足就是當電機被堵住後，會迅速發熱，而此時電源也會迅速掉下來，所有常常測試的不是真實的啓動數據。

慣量測功機是在其自身物理啓動條件下，啓動時所產生的自身真實數據，通過快速採集手段，抓取啓動點數據。

10. 可以測試噪音嗎？

不能直接測試噪音值，不過可以通過對拮取速度漣波及扭矩漣波進行頻譜分析，來分析發生噪音的來源。

11. 電機很大，需要很大的能量，可以降壓測試嗎？

可以，只要是感應電機都可以進行降壓測試，然後補償到需要的電壓。

12. BLDC 電機有控制在裏面可以測試嗎？

首先需要解除控制，因為測試是在電機自由加速時，如果有控制在裏面，測試出的數據，就不是電機固有特性了。

13. 如何解決某些電機在啓動階段對 Driver 做了限制？

a 完全解除啓動階段電流控制（只是對電機進行一兩次的測試，不會對電機造成損傷）

b 部分解除啓動階段電流控制

有些 Driver 無法做到啓動階段的電流控制完全解除。

因為客戶電機的使用區不在低速區，所以可以設定啓動電流不大于工作區電流，減小 Driver 容量以節約成本。

這時測試的有效數據為工作區數據。（NISSHIN）

c 無法解除（Driver 容量小且響應慢，只能提供電機某段穩態運行。）
低端電機，無法達到較好的轉速調整率及轉矩&轉速變化響應時間。

14. 為什麼控制電機要在啓動階段做限制？

a 啓動時電機加速大，電流變化快（響應時間）

b 啓動是從 0 到最大轉速，低速區電流需求大（模塊容量）

c 保護電機（長期這樣會加重電機機械和電路模塊損傷）

第二章 國標裏各種測試方法解析

1. 電機特性測試有哪幾種方法？

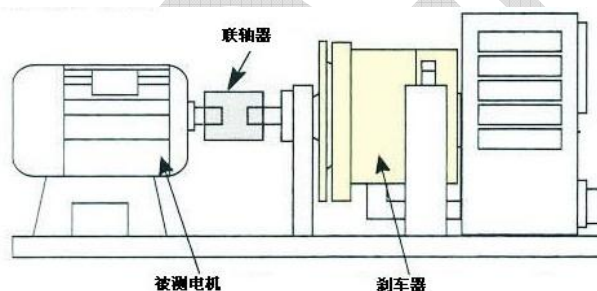
電機業界的人都知道，*IEEE* 裏規定電機特性測試一般有三種方法：

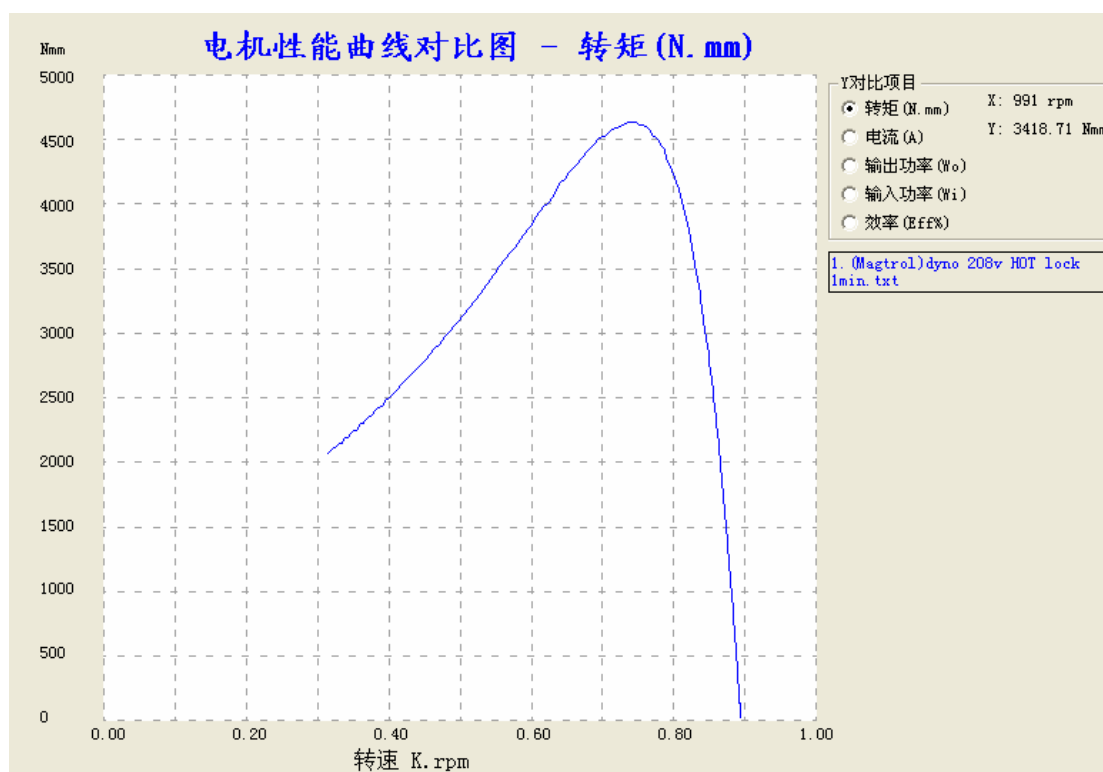
- 1) .給電機外加一個恒負載；(Direct Measurement)
- 2) .利用電機轉子慣量負載；(Acceleration)
- 3) .電機和其他更容易測得的參數之間建模來考察兩者的關係。(Input)

請參看 *IEEE Std 112-2004*。

2. 怎麼利用恆負載來測試電機負載特性？

首先要有能提供恆定負載的機構或者單元，然後以一個一定的逆向扭力施加在電機軸上，迫使電機受力，然後通過相應的感測單元測量此時的扭矩、轉速、電流、電壓、效率等特性參數。以這樣的方式提供若干個負載扭力，來描繪一條 TN 負載特性曲線。





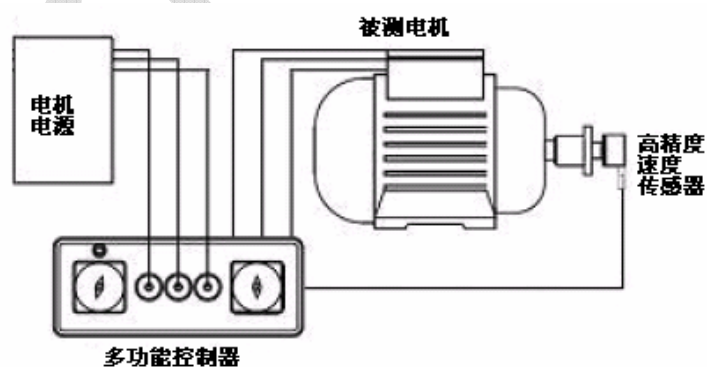
3. 怎麼利用慣量負載來測試電機負載特性？

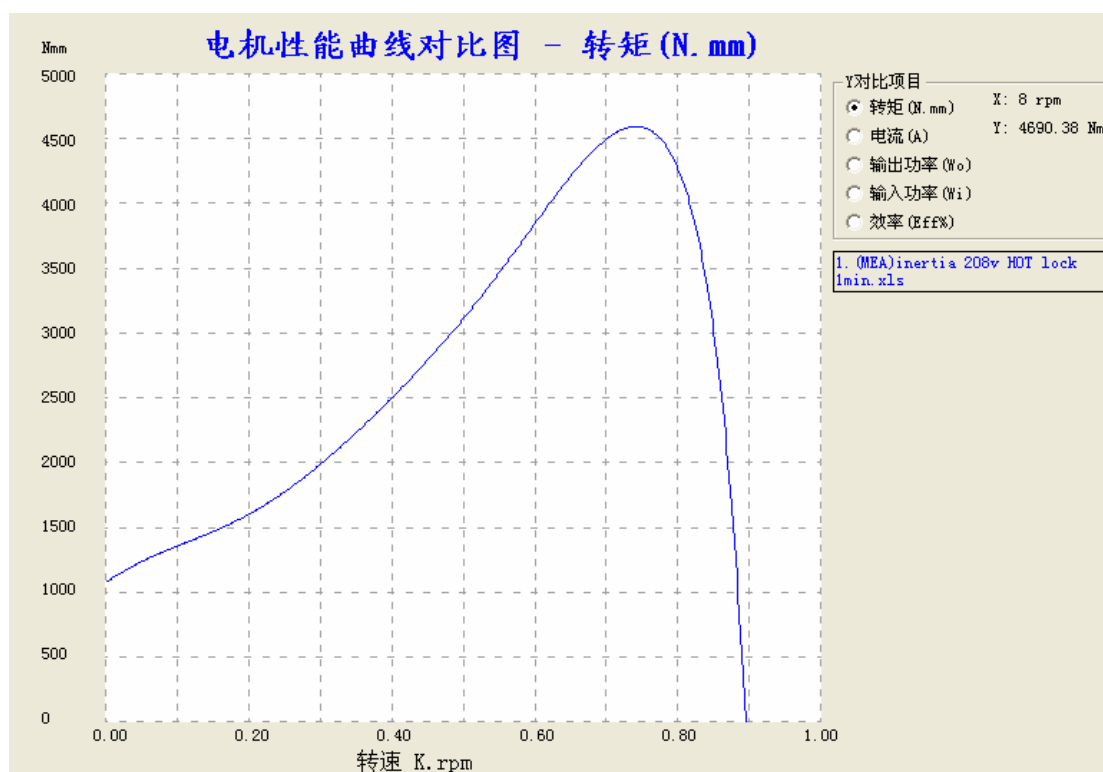
牛頓定律對於旋轉體 $M = J \cdot \beta$ ；M 扭矩、J 物體轉動慣量、 β 角加速度

- 1) · 首先精準測出電機轉子的轉動慣量 J;
- 2) · 在電機加速啟動過程中，測出 0 RPM~ Max RPM 每個速度點的

$$\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 \dots \beta_{\max}$$

- 3) · 量測出全程負載 TN 特性；
- 4) · 利用高精度電力分析儀，同步檢測電參數。





4. 怎麼利建模來測試電機負載特性？

目前這種方法由於精度不高，所有只是對於特大型電機使用。這種方法主要是通過採集電機電氣參數，根據經驗與公式來分離出相應的負載特性數據。

5. 恆負載測試和慣量測試有什麼不同？

對於這兩種測試方法總體來講，只是測試方法不同，測試結果是一樣的，即所謂“條條大路通羅馬”。區別在於哪個測試更精準、更方便。

對於恆負載測試來講，要提供很多不同的恆定扭力是比較複雜的，而且你不可能每個點都提供到位，勢必造成很多露點，而不得不用曲線來描繪和連接。

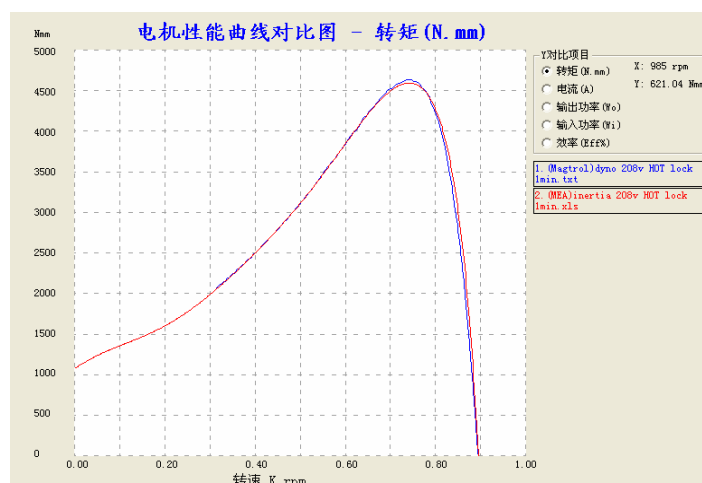
且測試過程中由於不同的扭力對電機造成的溫度上升不同，所以測試報告中無法標註統一的測試溫度。

目前這種方法也有“改進”，就是利用 DSP 控制器來快速改變模擬負載，速度提高了很多，不過也產生了另外一個問題，即由於速度不是恆定的，所以勢必產生額外的慣性扭力出來，造成數據失真。

目前解決的辦法是從空轉加扭力到堵轉或者某一轉速，再從堵轉或者某一轉速減扭力到空轉，然後求其平均值。

對於慣量負載測試來講，其測試方法是利用自身轉子的轉動慣量在電機加速過

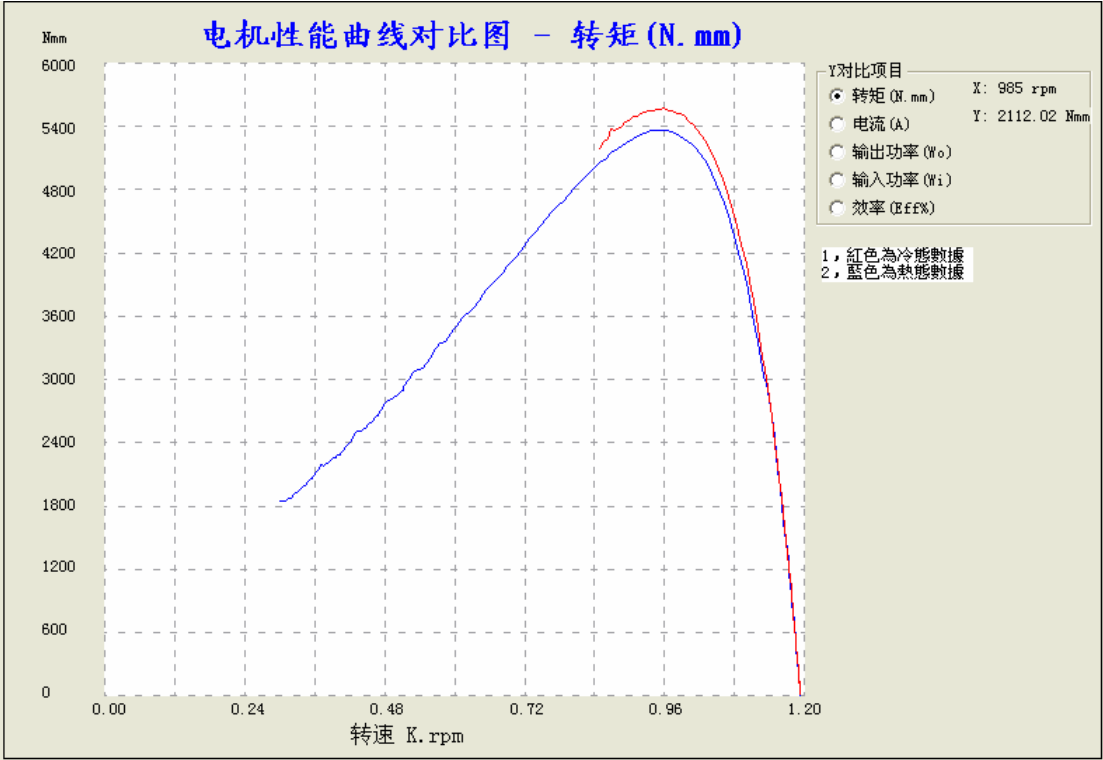
程中，擔當慣量負載來測試的，是電機自身負載特性“展演”。由於測試機構不需要那麼庸雜，所以測試方便性和速度性都非常優越。還有一個最大的優勢就是由於測試數據很快加之不需要外加扭力在電機軸上，電機測試溫度一旦固定下來，整個測試過程中幾乎都不會改變這個溫度狀態，所以報告上可以加註電機測試溫度數據。



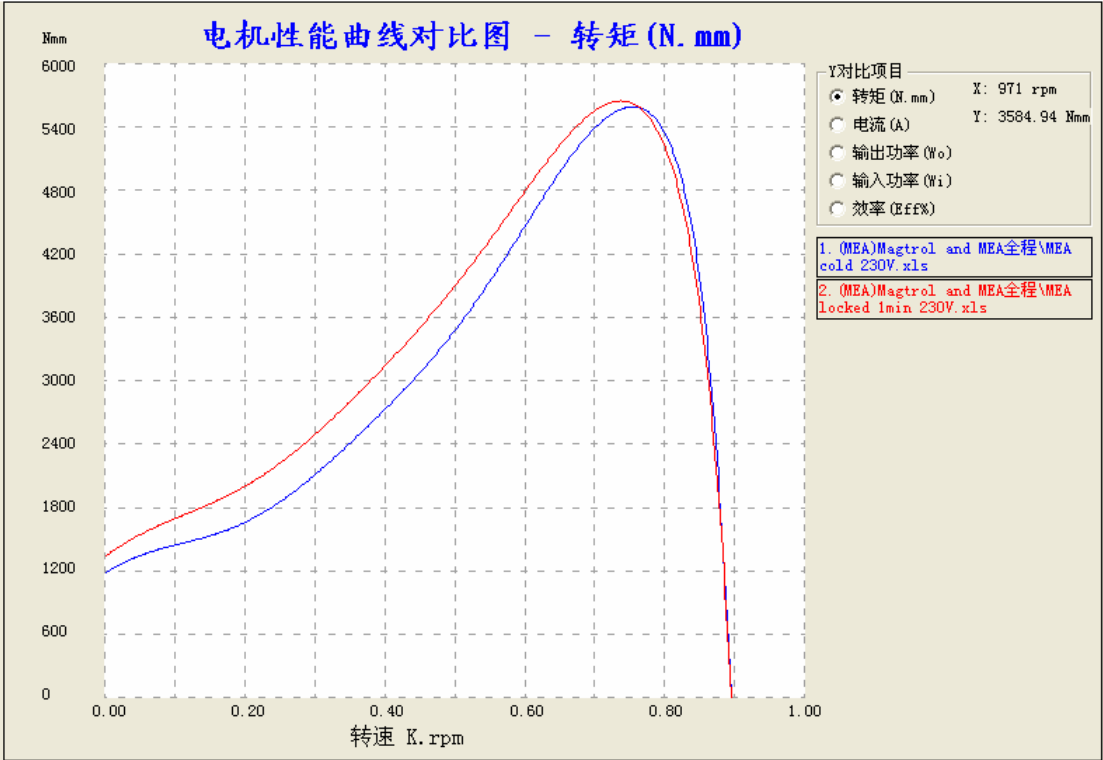
上面數據是同一顆電機兩種測試系統的測試結果。兩個測試結果都非常好，一致性也非常好，不過在測試全面性上還是有一些細微的差別。要想在低速區加載，必須很大的扭力，加載了很大的扭力后，電機在低速區又及其不穩定，所以一般恆定負載法，都不測試低速區特性。慣量法則可以從空轉一直測試到堵轉全部速度範圍的數據。

6· 電機不同的溫度測試數據有什麼不同？

不同的溫度下，電機所能展現出的負載特性不盡相同，原因是不同的溫度，電機線圈的溫度（電阻）不同，電機摩擦也不同，導致展現出的負載特性也不同。下圖是熱態下的數據和冷態下的數據（冷態比熱態大）：



下圖是熱態下的數據和冷態下的數據（熱態比冷態大）：



7· 恆負載測試和慣量測試哪個更方便？

慣量測功機系統	傳統測功機系統	說 明
更精準	系統外加誤差 電機狀態誤差 量測人為誤差	傳統測功機量測時需要外加負載，加載時有 Coupling Loss / Cap(或圓盤) Loss / 電機夾具 & 對軸 Loss 等。MEA 設備不需要外加負載，沒有這些外加誤差。 電機轉子不平衡和電機被傳統測功機量測時加載過程產生溫升，導致設備量測再現性差。MEA 慣量測功機系統採用最新技術，可排除這些老舊問題，故 MEA 設備擁有絕佳的【再現性】。 傳統測功機量測時，會因為操作者的不同，無論是 R&D / QC / QA / IQC / End-User (或 Buyer)，在電機的固定/聯軸/對軸/狀態，將因人而異而造成不同的人為誤差。而 MEA 慣量測功機系統採用最新技術免外加負載，無論何時/何人/何地，操作條件一致，因此【一致性】更勝傳統測功機。
更快速	系統要每次校準 電機需費時安裝	傳統測功機因為是採用應力計(Load Cell) 的方式檢出電機扭力，量測時應力計容易因為應力產生應變和溫度變化的關係，造成零點漂移，因此每次使用之前必需要重複校準才能正確使用。MEA 慣量測功機系統採用新技術，系統穩定校準容易，設備只需一次校準，節省時間。 傳統測功機測對電機夾具機構設計要求高，同時必須做好聯軸和對軸的工作，需花費許多時間，稍有偏差又極容易產生量測誤差。MEA 慣量測功機系統採用新技術，量測時被測電機裝卸非常簡單，數秒便可完成電機測試，非常適合生產線快速檢驗要求。
更安全	防護能力脆弱 電機不良受損 操作安全顧慮	傳統測功機系統搭載一般 PC。而 MEA 慣量測功機系統則配備工業電腦，並具備短路自我保護功能，同時全系統通過 CE 品質認證，不但安全有保障，設備品質更高。 傳統測功機，電機短路時常造成電力分析儀燒毀；電機轉子偏擺或安裝時對軸不良或高轉速時，常造成測功機軸承和扭力檢出計(Load Cell)損毀；被測電機過載時，常造成測功機 Brake 過熱損毀。MEA 慣量測功機系統不需要外加負載，並具備短路自我保護功能，可消除異常狀況的損失風險。 傳統測功機在高轉速或扭力加載過載時，或聯軸器劣化(不良)或是對軸不良情況下，容易造成聯軸器破碎，飛出碎片傷及操作人員。MEA 慣量測功機系統不需要經聯軸器加載，沒有操作安全顧慮。

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	MEA 慣量測功機系統除了擁有傳統測功機系統的量測分析功能之外，更提供了如 Capacitor Voltage, Aux Current, Main Current from stall up to no load. 亦可追加測試項目: dynamic torque, cogging, friction, torque spectrum, speed spectrum, and friction spectrum.等更能滿足各式各樣電機問題的解析和探討。 傳統測功機為滿足不同的電機扭力範圍要求，經常需要購買很多套測功機，MEA 慣量測功機系統採用最新技術，能夠不受量測電機扭矩的限制。 傳統測功機設計上受到軸承轉速和制動圓盤高速風阻損的限制，一般使用在轉速 20,000RPM 以內，MEA 慣量測功機系統適合各式各樣高低轉速電機，最高轉速可達到 60,000RPM 以上。 傳統測功機如欲擴充扭力範圍，需要購買很多套測功機，花費高昂又佔空間。MEA 慣量測功機系統採用最新技術，非但一套可抵多套傳統測功機使用，一般擴充只需添購轉速 Sensor 即可，價值更高。
操作簡單	執行負載安裝 安全檢查確認	傳統測功機採用外加負載方式進行電機測試，每次使用都必需先確認電機被精確固定和對軸。MEA 慣量測功機系統採用新技術【符合 IEEE112-2004 電機測試標準規範】無需外加負載，電機固定簡單，以及無需對軸。 傳統測功機因為自我保護功能脆弱，每次使用除了需確認電機固定和對軸之外，同時需要先作電機的電力配線與安全檢查。MEA 慣量測功機系統採用自行開發的電力分析控制器，配線安全簡單，無需專業人員，自動量測分析。
維護容易	漂移校準問題 散熱除塵問題 維修停機問題	傳統測功機因為零點漂移問題，每次使用之前必需要校準才能正確使用。MEA 慣量測功機系統採用新技術，系統穩定且校準容易，設備只需經過一次系統軟體的校準。 傳統測功機因為是使用 Brake 加載方式取得扭力，Brake 必需維持良好的散熱能力系統才能正常使用，所以必須散熱和經常作除塵清潔保養。MEA 慣量測功機系統採用新技術沒有此一問題。 傳統測功機常會因為過載和人為因素的問題，例如：電機不良短路時，常造成電力分析儀燒毀，電機轉子偏擺或安裝時對軸不良或高轉速時，常造成測功機軸承和扭力檢出計(Load Cell)損毀，被測電機過載時，常造成測功機 Brake 過熱損毀，造成停機和保養費用偏高，MEA 慣量測功機系統採用新技術無 Brake 和 Load Cell 等高損耗性零件，並具備短路自我保護功能，保養容易。

8. 恆負載測試和慣量測試哪個測試項目更全面？

慣量測試法和恆定負載測試法都可以測試電機的負載特性，即**扭矩、轉速、電壓、電流、效率（輸入/輸出）**，不過慣量法更有可能進行更多的電機綜合分析，如以色列 MEA 研發的慣量測功機系統。

a) 馬達起動加速 測試分析

慣量測功機系統	傳統測功機系統	說 明
起動時間 Time-speed	無	電機啟動時間常數。
動態扭矩 Dynamic Torque	無	電機加速過程中的動態扭矩和速度曲線，是個高靈敏度的量測方法，可顯現出靜態扭矩無法展現之問題點，為高感度量測功能。 例如電動車電機，動態扭矩可以直接分析，電動車加速過程的運行平穩性。
降壓測試補正	無	針對需要降壓啟動的電機，使其補正到額定電壓下的數據。
電壓緩升補正	無	針對一些軟啟動電機，使其補正到額定電壓下的數據。

b) 馬達運轉穩態 測試分析

慣量測功機系統	傳統測功機系統	說 明
轉速漣波 Speed Ripple	無	對與一個電機在自由運轉時，速度總是象水的波浪一樣上下振動，這種現象叫，速度漣波 Speed Ripple。 而此階段是分析一顆電機振動來源的最好階段，因為此種狀態下，振動最純淨。
轉速頻譜 Speed Spectrum	無	對在穩態下速度漣波，做頻率從3Hz 到6KHz 的頻譜分析。被用來檢測噪音及振動等級，對特定頻寬峰值，將提供噪音振動問題來源訊息。

扭矩頻譜 Torque Spectrum	無	對在穩態下扭矩漣波，做頻率從3Hz 到6KHz 的頻譜分析。被用來檢測噪音及振動等級，對特定頻寬峰值，將提供噪音振動問題來源訊息。
震盪分析 Oscillation Analyse	無	顯示穩態下轉速對扭力震盪等級。使用此測試功能，建立原型機標準，在同一坐標上對比同型號不同電機的震盪等級。

c) 馬達自轉減速 測試分析

慣量測功機系統	傳統測功機系統	說 明
摩擦力分析 Friction Analyse	無	電機在減速階段的靜摩擦扭矩。在電機減速時段檢出電機內部因碳刷，培林，氣隙及其他機械元件造成之摩擦。應用於量產檢測，檢查培林或機械元件問題。
齒槽扭矩 Cogging Torque	無	於極低轉速之下齒槽扭力對角度之測試。是分析DC電機低速下，噪音及振動的最好方法。尤其對應用到控制領域的DC無刷電機，提供重要的數據。
反電動勢 Back EMF	無	顯示DC電機速度和反電動勢的關係。於減速期間檢測出反電動勢，有別於以另一個電機連接帶動被測電機之傳統量測方法。

MEA 慣量測功機系統	傳統測功機系統	說 明
尖端的量測技術 電機的測試標準 專業的診斷分析	老舊的量測方法 電機的基本測試	MEA 慣量測功機系統符合 IEEE112-2004 電機測試標準規範 = New Industry Standard 更精準 + 更安全 = 可靠 ，更強大 + 更快速 = 能幹 ，操作簡單 + 維護容易 = 好養 (可靠 + 能幹 + 好養 = 好幫手) 【佳準科技】提供電機業界【超越過去 引領未來】新的設備標準

9· 恆負載測試和慣量測試在測試過程中，都有哪些測試損失或者主要測試誤差來源？

T_m = Torque of Motor ；電機自身扭力

T_d = Torque measured by constant load way ；恆負載法測試的電機扭力

T_i = Torque measured by Inertia way ；慣量負載法測試的電機扭力

T_l = Torque by other ；一些人為的或者自身的誤差

對於恆定負載法：

$$T_m = T_d + T_l$$

這裡面 T_l 包括：

電機自身產生的+加載單元產生的+連軸器產生的+風摩損耗+

溫度產生的熱耗 等等。

這裡只有風摩損耗可以計算：

附 录 C

(规范性附录)

测功机转矩读数的修正

用测功机、转矩测量仪或绳索滑轮测得的输出转矩,应进行风摩耗转矩的修正。

测功机、转矩测量仪或滑轮的风摩耗转矩按式(C. 1)计算:

$$T_{fw} = \frac{9.55(P_{10} - P_0)}{n_d} - T_d \quad \dots\dots\dots (C. 1)$$

式中:

P_{10} ——电动机在额定电压下驱动测功机、转矩转速传感器或带动滑轮时的输入功率,单位为瓦特(W)。此时,测功机的电枢和励磁回路均应开路;转矩转速传感器应与负载器械脱离;绳索应与滑轮脱离;

P_0 ——在额定电压下,被试电动机的空载(不带测功机、转矩转速传感器或滑轮),输入功率,单位为瓦特(W);

T_d ——测量 P_{10} 时测功机的转矩值,单位为牛顿米(N·m);

n_d ——测量 P_{10} 时电动机的转速,单位为转每分钟(r/min)。

电动机修正后的输出转矩 T_c 按式(C. 2)计算:

$$T_c = T_t + T_{fw} \quad \dots\dots\dots (C. 2)$$

式中:

T_t ——试验时测得的输出转矩,单位为牛顿米(N·m)。

對於慣量負載法：

$$T_m = T_i + T_l$$

這裡面 T_l 由於不需要外加負載在電機軸上，所以僅僅包括：

電機自身產生的（基本上都是來源於軸承上的摩擦力）

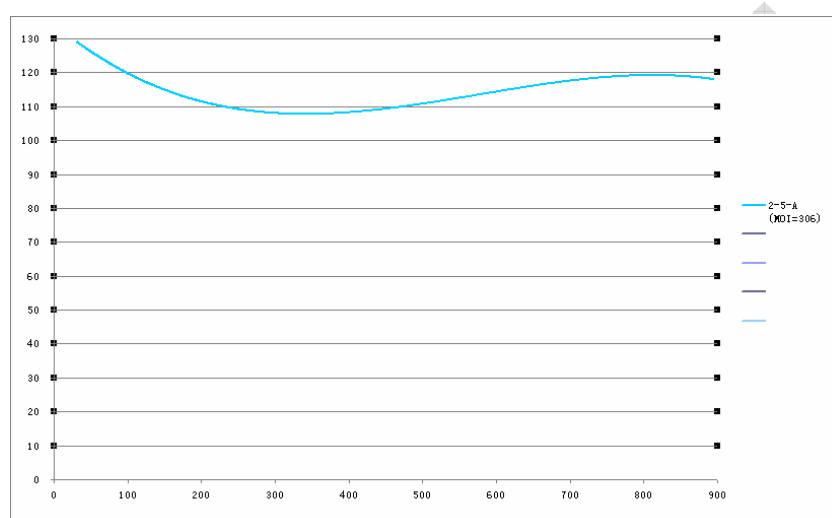
當然在測試過程中，不管是人為誤差還是自身誤差都是避免不了的。

我們只能做到知道他們的來源，和盡量減小這樣的誤差。

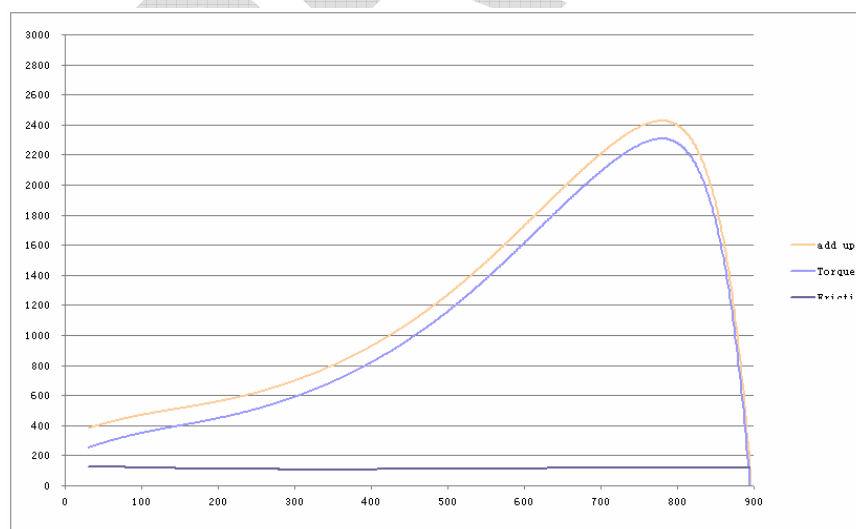
所以從選擇更先進的測試方法是一個不錯的捷徑。

慣量負載法不僅誤差源少，而且以色列 MEA 公司研發的慣量測功機系統，還能進一步測量出這個誤差的量，這是非常了不起的。

下圖是一顆電機的摩擦損失數據圖：



下圖是電機測試數據+摩擦損失數據圖：



10．恆負載測試和慣量測試法還有哪些區別？

更細節的區別，就需要測試人員親自體現和使用后方才有更多的體會了。

第三章 MEA 慣量測功機系統對誤操作自動智能提示代碼

MEA 系統提示代碼：

99=Motor is not moving.

檢查電源連接是否正確；

檢查 MEA 傳感器是否連接正確；（否則系統無法偵測電機運轉狀態）

檢查電機是否損壞；

檢查 MEA 控制器在輸入端子有電壓存在的情況下，是否在點擊“測試”后有電壓輸送到輸出端子上；

（否則為控制器內部無動作，請聯絡我們 Propii@propii.com.tw）

100=Test failed.

重新固定電機，連接 MEA 傳感器。

101=Phase detection error.

檢查和確認控制器已經打開和正確連接於系統。

102=No samples.

檢查 MEA 傳感器正確連接，有條件可以換另外一個 MEA 傳感器檢查。

103=Sampling time out.

測試時間選擇過長，請減小測試時間。

說明：電機運轉到最大速度的加速時間為 1s，我們只需要大於 1s 一些就可以了。

MEA 加速期間測試的是電機負載特性，空轉時測試的是空轉特性及震動分析等。

104=Waiting for motor to stop time out.

在電機減速階段進行電機摩擦分析時，電機滑行時間過長而終止測試。

這個現象很少發生，除非電機為特製的所謂的“無摩擦電機”，

如果有此電機請聯絡我們，增加電機減速測試時間即數據採集量容量。

105=Shunt resistance is too high

盡量不要讓系統出現這樣的信息提示，因為出現這種提示說明，你選擇的 SHUNT 檔位為小電流檔，然而你測試電機的電流為大電流檔，這樣會造成 SHUNT 損壞。
請選擇小電阻 SHUNT 即大電流檔位。

正確的操作是：

在知道電機最大電流情況下，選擇最大電流指標的 SHUNT 量程；

在不知道的情況下，應該從最大電流指標 SHUNT 檔位逐次測試，系統會給出指導信息。

106=Shunt resistance is too low

選擇小電流檔位即大電阻 SHUNT。

109=Wrong Sensor Type.

MEA 傳感器型號不對，即電機轉速不在指導測試範圍內。

請選擇合適量程傳感器，否則會造成傳感器損傷。

111=Start speed problem.

出現這樣提示信息后，再進行其他測試之前，把測試軟件裏。

[MEA<MotorLab<Database<SamplingResults<LastRun](#) 文件複製下來，發給我們。

112=Start speed problem.

同上。

113=Not enough samples.

增大測試時間。

114=Not enough samples.

同上

115=Friction test failed.

重新固定電機，調整飛輪平穩，重新測試。

116=Frequency window too large.

減小頻譜頻管窗口大小。

117=Noisy sampling.

測試受到很大幹擾。MEA 測試系統的抗干擾能力很強，一般電子設備都不會對其造成影響，請檢查周圍是否有大型電子設備及電機是否可靠接地，並進行相應的干擾屏蔽。

118=No current signal. Make sure the control box is on and connected.

沒採到電力信號，請確認 MEA 控制器已經打開和正確的接綫。

119=Illegal efficiency value.

錯誤的轉動慣量值。

120=Not enough sample for the Rotor Electrical Symmetry test.

增加測試時間，或採用低解析度的傳感器。

121=Auxiliary shunt resistance is too high

此信息針對有輔助綫圈之電機如 PSC 電機。參考解決方案如 105 代碼。

122=Auxiliary Shunt resistance is too low

同上

123=A2D cable is not connected.

檢查連接至電腦的數據綫是否正確連接。（並口綫）

124=Electronic power switch is off.

打開控制器上電機電源導通開關。

125=Control cable is not connected.

檢查連接至電腦的控制綫是否正確連接。（串口綫）

126=Please replace the coupling.

適配器過大或者過小。

127=Vibrating sensor.

MEA 傳感器連接不好，隨電機運轉不平穩，抖動較大，請重新連接。

128=Illegal switch speed.

離心電機切換異常，請檢查電機。

129=Please decrease the voltage or add disk

請增大飛輪依次增大電機加速時間。

第四章 MEA 設備負責人異動處理

如果貴司負責 MEA 測試設備人員異動（離職），請及時做好設備交接及設備應用技術交接，並提前通知我司備案，以便應對由於設備交接中出現的某些不可預事情對貴司造成困擾，而影響設備使用。

我司網站發佈信息如下：<http://www.propii.com.tw/news.php#news01>

感謝您長期以來對本公司的支持與愛護！

本公司所代理銷售之各類測試儀器設備，皆為最先進之精密儀器設備，為提供您更好的服務品質，確保儀器設備能夠維持在最佳使用狀態。因此，如果貴單位有人事異動或新進人員對儀器設備之使用有疑問情況，需要本公司派遣技術工程師，重新安排儀器設備之維護診斷和培訓工作時，敬請提前告知和預約，我們將提供您最優質的技術服務。

台北總公司 機電處 林益富 協理 Tel:(02)8797-3606

光電處 陳清祥 協理 Tel:(02)8797-3606

台中辦公室 楊曉明 課長 Tel:(04)2350-0290

上海辦公室 降保升 經理 Tel:(021)3416-0216

廣州辦公室 郭 梟 經理 Tel:(020)8623-5990