



專題

報導

# 離心式設備可調速系統探討

► 專案6部 謝明濬

## 一、前言

離心式設備(泵或風車)是在各大工廠應用最多及最廣範的型式設備；現今各大工廠皆存在著一個問題：馬達及負載設備效率低，系統匹配不合理；使得“大馬拉小車”現象嚴重。大部分風機、泵類採用機械節流方式調節，效率比調速調節方式約低30~60%以上，於變動負載製程應用中，有一個已被大家接受的事實，就是利用馬達驅動系統調整轉速來控制製程所需，進而節省能源。相似定律(圖1)告訴我們流量改變是依負載端的速度一次方比例而改善，而功率的需求是所負載之流量和負載端的速度成三次方比。因此，若流量降低50%，而速度也需降低50%，所需功率只有原來之12.5%。這個方法可利用調整速度，控制大多數的離心設備系統，皮帶輪組、變頻器、渦電流馬達、液力連軸器及永磁調速器都是屬於速度控制選項之一，本文針對上述的各種可調速設備做整體介紹。

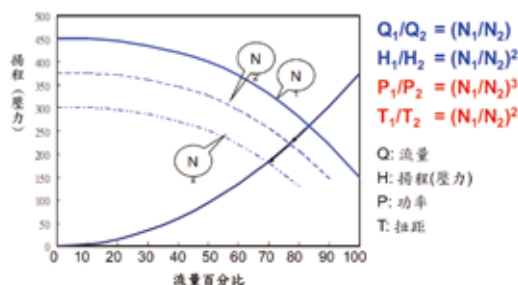


圖1 相似定律流量、揚程及耗電關係圖

## 二、各種可調速設備介紹

### (一)皮帶輪組

皮帶輪組是用於馬達變速系統中最老之變速技術的產業。皮帶輪組所驅動負載之速度是經由調整不同尺寸的皮帶輪或者使用可調整的皮帶輪來達到變速目的。如果驅動皮帶輪保持於固定的直徑而被驅動皮帶輪有兩倍驅動皮帶輪的直徑，此時被驅動端將只有一半的速度。除非使用滑輪組，否則這種系統需要停車後來調整速度，並且僅能提供有限的調整範圍。這不是一個以控制速度調整製程所需的適當選擇。若一個系統僅要求一次性的調速，這當然就是可被接受的選擇。

可調整的皮帶輪組或滑輪組為同樣的原理，皆藉由驅動端之皮帶輪的調整以達所需之功能。改變有效的皮帶輪直徑進而改變輸出速度。當在製程中連續控制速度，這系統將很容易損傷皮帶並且產生較高之機械損失。雖皮帶輪系統之節能效果優於限制流量之設備系統(如閥門或阻尼器)，但普遍而言，皮帶輪系統相較於其他調速系統為最差之節能效率技術。

### (二)變頻器

變頻器於1980年左右開始使用於工業中，變頻器藉由改變輸入的交流電轉成直流電，然後截開直流電變成所需要

的頻率來輸出以控制馬達。現代的變頻器運用微處理器控制頻率，提供給馬達在反應過程中循環的反饋信號，最常見的變頻器類型是脈衝寬度變調的設計。但經過這樣的過程，卻直接帶來諧波的影響。提高了馬達的溫度，破壞了馬達的軸承(槽)，並且該電壓於所在電網的平衡中帶來了損傷和畸變。此外，變頻器通常需要其他的輔助設備，如空調，變壓器等，這些也都會因為安裝變頻器所帶來能源效率之影響。

當變頻器做動時，驅動馬達繞組將會有諧波電流，這些諧波出現的另一層意義就是減少了繞組的負載能力，而使期望的電流值和效益降低了可使用的有效電力。能源損失的原因是因為諧波通常被視為熱損失，所影響的諧波電流會增加5% ~ 10%馬達的溫升，這是相當於因為能源損失而減小了系統效率，變頻器廠商的型錄列出諧波過濾器無效的範圍為1% ~ 3%。

變頻器本身相較於輔助設備來說體積不大，因為變頻器必須安裝於溫度不超過40°C的環境。如果溫度高於限制，則變頻器將會降低使用功率。正因為如此，在使用較大功率的變頻器時，空調系統是必須的配置。空調系統無論是水冷或空冷，所使用的電力都不是用於生產。視變頻器不同的大小，其必需的冷卻系統所消耗之電力為被應用之設備所需消耗之電力高達10%。安裝變頻器，意味著將會使用長電源線。通常建議電感電容、濾波器需安裝於馬達和變頻器間(這種組合的電感電容，將過濾掉有害的共振頻率)，因為變頻器距馬達較遠將引起“駐波”，而輸出脈沖將高達電壓的3倍。因為馬達製造廠商通常使用兩倍電壓絕緣之等級來製造馬達，這些脈沖會使馬達的絕緣材料降低絕緣而導致短路。變頻器專用馬達製作時，是使用高

電壓絕緣等級，但變頻器專用馬達的成本高於普通馬達。

### (三) 渦電流馬達

渦電流馬達是使用一個電磁式聯軸器於馬達和負載之間，當負載調整速度時，馬達皆運轉於額定轉速，渦電流馬達有兩個基本結構配置，一個是地腳安裝(如圖2)，另一個是軸直接安裝(如圖3)。

渦電流馬達由感應馬達和耦合機組合而成，耦合機是一種渦電流耦合機，利用渦電流將驅動馬達之轉矩送至負載端。框架內之激磁線圈通以直流電後，在轉筒及感應子之全圓周上通過輻向磁通，此磁通因感應子之存在而使圓周上的磁通有疏密之分，因轉筒和感應子間有相對運動，所以感應子相對的轉筒表面產生渦流，此渦流與磁通相對作用而產生轉矩。轉矩之大小隨感應子與轉筒間的相對轉速差及激磁電流產生之磁通大小變化，因此控制激磁電流大小，即可改變傳輸軸的轉速及轉矩。而轉速之變化對負載轉矩之變化相當靈敏，如負



圖2 地腳安裝



圖3 軸直接安裝



載需定速運轉時，則須有一自動控速裝置。

在流量控制的模式中，渦電流馬達可將效率提高。相同的，這也是根據相似定律。然而，渦電流馬達的技術是利用電力激磁電磁體，和標準的變頻器比較時效率較低。一般而言，高於200HP的渦電流馬達即需要水冷。而該水冷的裝置是直接降低系統總能源效率，並且渦電流馬達的軸通常搭配安裝皮帶及皮帶輪組，皮帶及皮帶輪組會降低整個系統效率。

#### (四)液體驅動器

液體驅動器有兩種類型，分別為液體黏性驅動(HV)及流體動力驅動(HK)，液體黏性驅動(HV)是利用液壓液體在馬達端的葉輪及負載端可調速機構間傳遞扭矩，液體黏性驅動傳遞馬達扭矩，經由在馬達軸上圓盤和對應的圓盤之間，連接裝載軸的油膜傳遞馬達扭矩，傳送在二端圓盤之間的扭矩是取決於受於兩組圓盤的壓力變化。

液體黏性驅動(HV)提供了機械上100%轉速傳遞優點，理論上完全傳遞馬達所給的負載扭矩，當然馬達和負載的對心不良將導致不斷地扭曲驅動部件，在這上面消耗的能源並不是被用在傳遞能量給負載，而是浪費效率。

流體動力驅動器(HK)的原理有點像是汽車的自動變速箱。雖然在葉輪和轉子之間沒有直接連接，但在其內部有軸承支撐，必須維持適當的間隙及對心準度，流體動力驅動器(HK)運轉時，在葉輪和轉子間有小量的滑動。另外，因為液壓油在流體動力驅動器(HK)內流動，會有液壓油和管路及驅動器機殼的磨擦損失。

在製造廠商宣稱的流體動力驅動器(HK)的特點，是可接受某一程度馬達端和負載端的對心不準；但很重要的是，

必須注意為了允許對心不準，在內部的葉輪和轉子間必需要有間隙，而該間隙即是導致無效功率的出現。流體動力驅動器(HK)內的驅動油是導致其溫度上升的原因，當油溫增加，它的黏度和傳送扭矩能力減退，因此熱交換器對於流體動力驅動器(HK)相當需要，這時需要另外的電力需求來帶動一台泵將這些油從馬達端通過熱交換器做一循環。

#### (五)永磁調速驅動器PMD

永磁調速驅動器原理：

##### 1. Lenz 's Law

- 2.當磁力線通過銅導體，靜止時不會有作用
- 3.當兩者有相對運動，磁力線在導體中移動產生感應渦電流(Eddy Current)，進而在銅導體上產生感應磁場，而產生扭距
- 4.越靠近時磁力線密度越密集，產生效應越強，扭距越大
- 5.相對運動越快，效應越強，產生扭距越大（轉差越大，扭距越大）
- 6.相對運動越大，兩者感應同極磁場越強，產生互相排斥的力量（磁懸浮效應）

PMD的組成(如圖4)包括了兩個部份，第一部份為銅導體盤，連結於馬達端。第二部份為永久磁鐵所組成的磁盤連結於負載端。在操作期間，馬達運轉在兩轉盤間形成相對運動，該運動使銅盤經過氣隙切割磁盤磁力線產生傳遞扭矩的感應磁場，利用調整氣隙的大小改變銅盤可切割的磁力線的密、疏以達到傳遞扭矩大、小的目的。由於是真正的非機械連結，在操作期間即可調整速度，並可減少近85%的震動。

PMD可使用於任何的離心設備，至今的技術負載可達4,000HP；因為負載的速度改變，但馬達的速度仍依原速度運轉，因此馬達的溫升及因溫生而影響

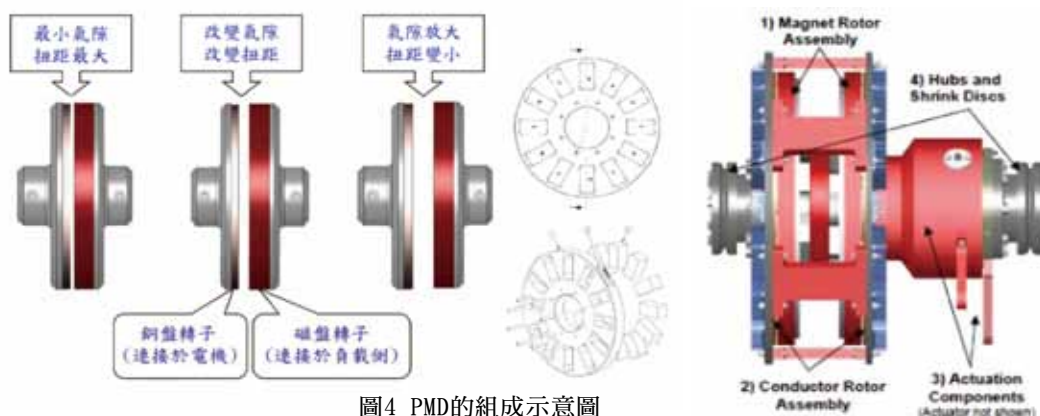


圖4 PMD的組成示意圖

的效率並不會被影響。並且因為PMD是種機械結構的變速設備，因此不會產生諧波，也不需要諧波濾波器及空調系統。(如圖5所示)

如上述，PMD產生渦電流，銅盤及磁盤的相對運動稱之為滑差；PMD因滑差會產生1%~2%的速度損失。所需要的唯一附屬設備是執行器(用於調整氣隙)，另外600HP以上需選用水冷(油冷)的PMD。

### 三、各種可調速設備比較

各種可調速設備系統效率比較如表1所示，在流量控制模式之下，PMD和變頻器的效率最佳(不考慮輔助設備損失)，但從系統整體來看，因為變頻器的輔助設備如：電感電容、濾波器、空調等，使變頻器效率略差，其次為渦電流馬達，再次為液體驅動器、皮帶輪組系統，最差為流量限制控制。

就PMD和變頻器比較如表2所示，當考慮運轉生命週期成本時，PMD的好處就更加明顯，因為PMD的生命週期將長達30年，很明顯地，永磁技術是很有發展潛力，可是於價格上變頻器於低壓相較有競爭力，但於中、高壓部分兩者價格差不多，永磁技術有其優勢。

### 四、結語

各種可調速設備，於變動負

載製程應用中，皆可利用馬達驅動系統調整轉速來控制製程所需，進而節省能源。所有的完整評估應該仔細地估算在操作範圍所需的轉速及效率特性。另外選擇時分析必須包括每個選項所有的相關費用。通常最初的設備購置費用只佔10%到25%，驅動系統能源效率、非能源方面的系統營運成本(如長期保養)、驅動器的壽命所產生的費用需全部在購置設備前做為購置決定，以得到最大效益。GO

### 參考文獻

- 1.AC Drive Worldwide Outlook. ARC Market Study.
- 2.Coyote Electronics, Inc. Fort Worth, TX.
- 3.DSI – Dynamatic, Inc., Sturtevant, WI.
- 4.Emerson Electric, St. Louis, MO.
- 5.Frost & Sullivan. N Amer & Euro VSD 2005 Report.
- 6.Hydraulic Institute, Variable Speed Pumping, 2005.
- 7.Jones, Garr. Pumping Station Design, Butterworth-Heinemann, 3rd ed., Woburn, MA, 2005.
- 8.Kuphaldt, Tony (2003). URL: [www.allaboutcircuits.com](http://www.allaboutcircuits.com).
- 9.US DOE. Industrial Electric Motor Market Study.
- 10.Voith Turbo GmbH & Co., Crailsheim, Germany.



圖5 PMD的架設示意圖



表1 各種可調速設備系統效率比較

| 技 術               | 獨立效率(不含附屬設備) | 總系統效率     | 潛在的損失描述                                            |
|-------------------|--------------|-----------|----------------------------------------------------|
| 流量限制控制<br>(閥或阻尼器) | 30% - 40%    | 30% - 40% | 最高的效率損失<br>不適用相似定律                                 |
| 皮帶輪組系統            | 85% - 90%    | 75% - 85% | 根據相似定律節能<br>能源損失來源：皮帶滑差，皮帶磨擦力及培林的磨耗。               |
| 變頻器               | 96% - 99%    | 75% - 90% | 根據相似定律節能<br>能源損失來源：附屬設備及因為對心不良產生的震動。               |
| 渦電流馬達             | 90% - 93%    | 80% - 90% | 根據相似定律節能<br>能源損失來源：供給電磁體的電源，皮帶輪組及水冷所需的消耗(200HP以上)。 |
| 液體驅動器             | 83% - 87%    | 80% - 85% | 根據相似定律節能<br>能源損失來源：液壓油黏度，循環油泵，冷卻系統及震動。             |
| 永磁調速器<br>PMD      | 97% - 99%    | 94% - 97% | 根據相似定律節能<br>能源損失來源：執行器及600HP以上功率需水冷。               |

表2 PMD及變頻器變速設備比較表

| 特 性                    | PMD      | 6 pulse VFD | 18 pulse VFD |
|------------------------|----------|-------------|--------------|
| 使用的技術                  | 永磁技術控制   | 電源控制        | 電源控制         |
| 馬達效率                   | 可達 98%   | 可達 95%      | 可達 95%       |
| 運轉附屬設備能耗(空調、變壓器能源損失等)  | 無        | 3% 至 5%     | 3% 至 5%      |
| 80% 至 98% 負載平均效率       | 90%      | 90%         | 90%          |
| 諧波污染                   | 沒有       | 高           | 低            |
| 設備壽命                   | 30 年     | 10 年        | 10 年         |
| 軟起動                    | 非負載於馬達   | 功率受限        | 功率受限         |
| 中、高電壓                  | 不需額外增加費用 | 成本 x 2 以上   | 成本 x 2 以上    |
| 馬達要求                   | 不需額外增加   | 變頻器專用馬達     | 變頻器專用馬達      |
| 降速限制                   | To 0%    | To 50%      | To 30%       |
| 超速運轉(馬達轉速)             | 不可       | 可           | 可            |
| 低電壓運轉(brownout)        | 可        | 不可          | 不可           |
| 重新起動時間                 | 0 sec    | 30 sec      | 30 sec       |
| 緩衝衝擊負載                 | 有        | 無           | 無            |
| 堵轉保護                   | 有        | 無           | 無            |
| 維護效益：                  |          |             |              |
| 隔離震動                   | 有        | 無           | 無            |
| 容許對心不準                 | 可        | 不可          | 不可           |
| 緩解故障排除                 | 可        | 不可          | 不可           |
| 延長軸承、軸封Increased 及設備壽命 | 可        | 不可          | 不可           |
| 保養維護由：                 | 僅機械保養部門  | 儀、電、機保養部門   | 儀、電、機保養部門    |