

發電機在產業界的應用

前言

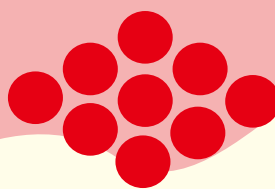
1831年英國科學家法拉第發現電磁感應原理，並設計出全世界第一台發電機，電力改變了人類的生活，成為生活中不可或缺的一部分，電力的普及更帶動文明與進步，隨著科技進步，對電力倚重程度也越重，吾人幾乎無法想像，有朝一日處於長時間電力完全中斷的景象。



圖片來源:<http://blog.sciencenet.cn/blog-677621-683766.html>

一、自備發電設備的概念

就如同電動機將電能(電力)轉換為機械能(動力)，發電機則是將機械能(動力)轉換為電能(電力)，由於電力只能轉換而無法自生，電能無法長期儲存的特性，即使發電業者(發電機業者是指同時具備發電業;配電業;受電業三者，而電業法規定，民間不得經營發電業，因此台灣只有唯一的台電)致力於穩定電力的質和量(運轉維護保養和電源分散)，但輸配電系統是面對大自然，而台灣處於地震與颱風頻繁的地區，當天災無法避免時，電力供應就無法保證，公共電力可能中斷，為降低電力中斷造成的損失，就只能仰賴自備之發電設備，自備發電設備多為自用性質，沒有電力買賣的商業行為，因此在設置上不受法令限制，反倒是人群進出場所(大樓、飯店等等)，政府法令還規定必須設置。

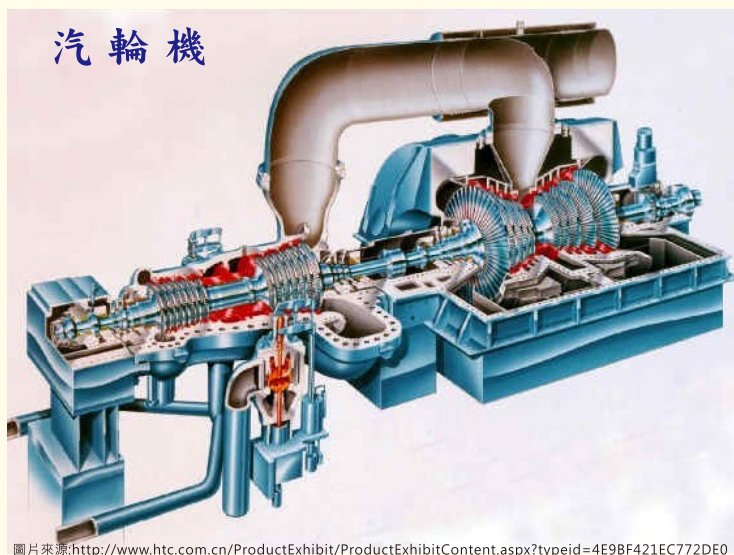


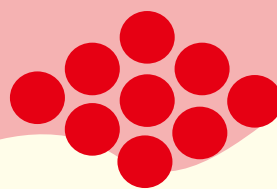
二、發電設備的動力源與類型

A.發電設備的動力源

發電機為轉換電能的設備，必須以原動機來帶動，原動機的轉換能源不同而有：水能→水輪機；風能→風葉輪；太陽能 & 核能→汽輪機；石化能→內燃機等等，內燃機由於燃料取得（汽油、柴油、天然氣）及操作方便之優勢，相對適用於備用發電設備之驅動。

內燃機又可分為：往復式內燃機(包括：柴油引擎、汽油引擎、燃氣引擎)及旋轉式內燃機(燃氣渦輪機)，由於汽油引擎容量太小，燃氣引擎生產廠家有限，燃氣渦輪機成本高昂等不利因素，僅少數特定場所採用(如瓦斯業者)外，幾乎都以柴油引擎作為備用發電機的動力源。





● 柴油引擎發電機組作為備用型發電設備，主要優點為：

1. 柴油引擎高壓縮比，體積小但馬力大。
2. 電動啟動快速和控制確實。
3. 熱效率高(優於汽油引擎燃氣引擎及燃氣渦輪)。
4. 結構堅固，產品技術成熟，發電確實可靠。
5. 低油耗率，燃料取得容易，運轉及維護成本低。
6. 購置成本較低，建構工期短，階段性的擴增方便。

● 柴油引擎發電機組也有其不利之處，包括：

1. 噪音大，有吸氣音、排氣音、機械音、爆發音等，合成約110~120dbA，其中機械及爆發音之降噪困難(需加裝防音外箱但也影響冷卻散熱)。
2. 往復運動機構，磨耗多，振動大。
3. 排氣污染程度較燃氣機組高，廢熱回收也受限。

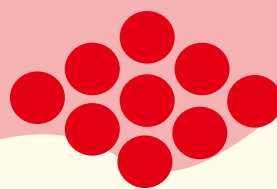
B.發電設備的類型

自備發電設備在應用大致分為二個區塊，緊急用發電機組及備用發電設備，兩者最大差異在於運轉時間與負載率的考量，緊急用發電機組，其容量完全以供應緊急電源為主(消防設備、電梯、升降機及照明)，備用發電設備則除緊急電源外也涵蓋必要用電設施之電力，以降低電力中斷對產業界造成的二次損失。

● 緊急用發電組平時不運轉，只在市電中斷時運轉，依設置目的可分為：

1. 消防用：

發電機在因火災而停電時運轉，只供消防設備及照明，用途單純發電只要能順利啟動消防泵，大多容量較小，這類機組標示之輸出為最大功率，沒有超載能力，也有運轉的時間限制(消防法規一小時以上)。



2. 緊急用：

發電機市電停電時運轉，發電供消防、照明設備及電梯、升降機、通風設備、給水系統等緊急用電源，這類機組用在電梯大樓、醫院、機場、車站、港口、飯店、百貨公司、購物商場、地下街、會議中心、展覽館、汙水處理廠、抽水站等等，這類發電機容量比較大，對供電的品質有時會有特殊要求(例如：容許電壓降，電壓及頻率變動率等)，這類機組一般也不具備超載能力。

- 備用發電設備平時不運轉，只在市電中斷或計畫性供電時運轉，其類型較重疊大致分為：

1. 臨時供電型：

市集攤販、建築工地、新建工程、砂石場等臨時性電源，如攜帶式；移動式防音型機；拖車型；固定屋外型等，引擎可選輕型。

2. 備用供電型：

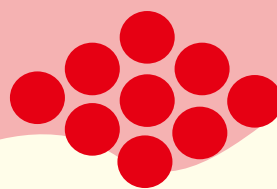
於市電中斷時運轉，提供消防設備以及必要電力，以減低持續停電衍生的損失(如：IC電子恆溫恆濕製程產品不良；煉鋼高爐溶液冷凝；一貫化塑化製程材料膠著；冷凍倉庫海鮮食材等，停電時間超過會造成大量材料或半成品之報廢，甚至設備的損壞報廢)，以及如國際網路服務：金融商品交易；氣象預報中斷；海陸交通之鉅額賠償等，引擎應選中載(Medium duty或重責務型(Heavy duty))。

3. 輔助電源型：

此類發電設備為計畫性運轉，如：無市電(養殖場、礦區)或供電不足(契約容量超量；尖峰受限)；離島用電；船舶電源，這類機組由於長時間運轉，在裕量、可靠度、信賴性要充分檢討，引擎應選重責務型(Heavy duty)，以連續額定出力作為發電機容量之匹配，甚至選用低速機型或多機交替運轉。

4. 特殊機型：

例如：50Hz及240Hz測試電源；120Hz中周波爐用電源；400Hz高頻軍規電源；動態不斷電電源等，此類機組因有特殊規範要求，在發電機與引擎選用需特別注意。



三、有關額定；機組容量；用途等的分類定義

發電機組是由發電機與柴油引擎組成，引擎與發電機有各自的額定及定義，且不完全相同，目前僅ISO8528有關於發電機組的標準，我國則把部分與驅動機引擎相關的規格(頻率、振動、噪音)掛在CNS 2901中小型交流同步發電機的章節內。

A.發電機額定：

分為連續額定功率；備載額定功率及最大額定功率，其額定是以運轉達溫度穩定時的溫昇(線圈繞組)作區分，各種絕緣材料的等級不同，相對容許之溫昇也不同。

●以H級絕緣為例（H級絕緣材料之容許最高溫度為190℃）

40℃周溫，繞組溫昇為125°K →連續功率

40℃周溫，繞組溫昇為150℃ →備載功率

27℃周溫，繞組溫昇為163℃ →最大功率

亦即同一台發電機因溫昇不同而出現三個功率輸出

B.柴油引擎額定及出力：

依國際標準ISO 8528-1之功率輸出額定等級區分為：

1.連續功率(COP)：

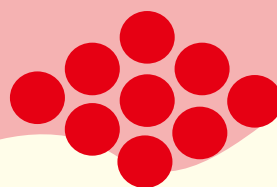
於約定運行條件下，並依規定實施定期維護保養，此一額定功率可100%連續恒定輸出，且沒有運轉時間的限制。

2.主要功率(PRP)：

於約定運行條件下，並依規定實施定期維護保養，在以24小時為周期之平均允許變動輸出功率，不大於此額定功率之70%，此輸出也沒有運轉時間限制。

3.限時運轉功率(LTP)：

於約定運行條件下，並依規定實施定期維護保養，此額定功率運轉有時間限制，此額定功率之100%輸出，年總運轉時數不得超過500小時。



4. 緊急備用功率(ESP)：

於約定運行條件下，並依規定實施定期維護保養，在24小時可變功率之運轉周期，允許平均輸出功率為額定功率之70%，實際平均輸出功率應小於允許平均輸出功率，此額定功率之100%輸出，年總運轉時數不得超過200小時。

C.發電機組容量

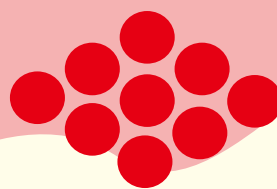
理論上發電機組的容量等於引擎淨出力扣除發電機的效率損失，然而受外部影響(如：周溫海拔的環境;安裝運轉條件等等)，實際值小於理論值，機組容量是指發電機可供負載使用的最大輸出能力，但因需求端的使用條件(負載比率、轉速、運轉週期等)不同，以機組使用壽命考量作容量修正，使用條件中散熱冷卻影響最為顯著。

1. 柴油引擎為往復式熱機，因摩擦運動而產生磨耗，而磨耗率與轉速成正比(速度與壓力)，負載率關係到散熱平衡(潛熱的熱應變)，運轉週期影響壽命(彈性疲勞)。
2. 發電機的效率影響(軸承、潤滑、風扇)及繞組絕緣壽命(絕緣劣化與溫昇限制)。

D.用途區分：

非常用發電機與常用發電機，只有使用條件的考量，機器設備並沒有明確區分與定義，在設置發電裝置時，先就使用目的為前提及下表項目檢討。

項目	非常用	常用
容量	以負載算出最小必要容量，再選擇具1.0~1.1倍出力程度的機組	計算出所需之負載容量，再選擇具1.1~1.3倍出力程度的機組
機組及數量	1.單機為主 2.高速4極1800rpm為主	1.高速機採多機並聯 (n+1)輪流運轉 2.中低速8極900rpm以下
柴油引擎	1.輕量化安裝面積最小化 1. 重視啟動特性大多採用柴油為燃料 2. 依據消防法及建築法	1. 保養與檢查列為重點 2. 大容量引擎以經濟性考量會採用重油為燃料 3. 為了長時間運轉要有大燃料油槽 4. 採高速機時多台輪流運轉
發電機	1. 高速輕量化安裝面積最小化 2. 小型化採F級以上絕緣	1. 著眼於使用壽命以及方便保養及檢修之設計 2. 繞組絕緣大多為採B級溫昇
保護裝置	過電流電驛	過電流電驛 內部故障檢出電驛 軸承溫度檢出附警報接點 電樞線圈埋設探測線圈監控溫度
操作方式	自動或全自動	機側或手動操作



四、自備發電機組應用在產業上的重點

A.機組容量的選定：

先以負載性質及使用條件，計算出發電機之需要容量，再選擇出力滿足發電機容量需求之引擎。

1.發電機容量：

依下列條件計算出之發電機容量中之最大者

- 所有負載同時定常運轉所需之發電機容量 P_{G1}
- 以負載中最大啟動電流計算發電機容量 P_{G2}
- 最後啟動負載群中之最大負載之啟動，計算出之發電機容量 P_{G3}

P. S. 緊急消防發電機的主要負載為馬達，而鼠籠型感應馬達其特質是啟動電流特別大，(當發電機與馬達為1對1時)，更需詳加調查馬達之啟動方式。

2.柴油引擎的選定：

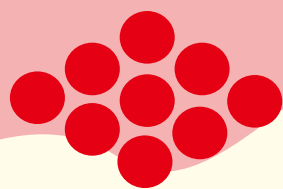
依前項計算出之發電機容量，檢討柴油引擎的輸出功率及型式。

- 輸出功率檢討，引擎之淨出力(扣除外部由引擎驅動附屬設備如風扇；轉速充電機後之出力)，必須大於發電機所需之出力及適度的出力裕量。
- 引擎型式的檢討時，要考慮空氣過給引擎對於急速的負載變動，由於增壓器在無載時無法快速對應，造成瞬間投入造成速度低下或甚至引擎熄火的狀況，因此對大容量感應馬達、電爐等負載，要特別確認瞬間投入的問題。

a. 引擎容許瞬間投入之出力 P_{E2} (一次投載限制)

b. 由於負載的啟動等計算引擎所需的出力 P_{E3}

*選定上要確認 P_{E2} 大於 P_{E3}



P. S.

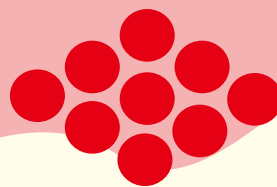
1. 引擎容許瞬間投入負載之比率，應以引擎氣缸之實質平均有效壓力大小(參照ISO 8528)。
2. 其他資料:(僅供參考)
 - 日本三菱重工引擎
自然進氣引擎可一次投載 0→100%
附增壓之引擎一次容許投入負載量
分段為0→70 %或先0→30 % 再由30 %→100 %
 - 富士電機 平均有效壓力 kg/cm^2 →一次投載百分比%
 9kg/cm^2 以下→100% $9\sim13\text{kg/cm}^2$ →70% 13kg/cm^2 以上→50%
 - 東芝電機 平均有效壓力 kg/cm^2 →一次投載百分比%
 8kg/cm^2 以下→100% $8\sim13\text{kg/cm}^2$ →70% 13kg/cm^2 以上→50%
- 周圍條件及出力的修正，機組就安裝現場之高度、周圍溫度、溼度、冷卻水溫度等環境條件依ISO3046-1作必要之出力修正。
3. 大容量備用及輔助發電設備，也可採2台以上之複數台機組並聯運轉，避免單機輕載運轉或臨時故障時限於完全無電可用的狀況。

B、發電機組的電機特性需求：

1. 電壓特性：

自備發電機在無載時的端電壓V，等於感應電勢E，當負載電流通，發電機內部的阻抗增加，電壓亦隨之下降，再經由AVR檢出端電壓的高低，自動回饋以調整激磁量來保持穩定，特性要求一般包括：

- 電壓超逸、低逸及回復時間：瞬間負載加卸之超逸、低逸及回復時間，因負載量、AVR精度及響應時間、發電機本身的短路比而不同，電壓過高過低有時會造成控制元件性能無法發揮或誤動作。
- 暫態及穩態之電壓變動率：有載與無載電壓之變動比，一般指無載與滿載之變動率，AVR裝置可大幅改善。
- 電壓調整率：電壓可調整之範圍，一般為額定之10%。



2. 頻率特性：

發電機為從動機，因此發電機的頻率亦即引擎之轉速，而引擎轉速隨負載大小而變動，靠調速機增減燃油量，以達到頻率穩定。

● 頻率超逸、低逸及回復時間：

瞬間加卸載之頻率超逸、低逸，取決於機組軸系之飛輪效應(轉動慣量)及調速機性能。

● 頻率變動率：

滿載與無載之頻率變動，因調速機的精度而異，調速機的形式有：機械式；液壓式；電子式。

C、設置安裝上的考量：

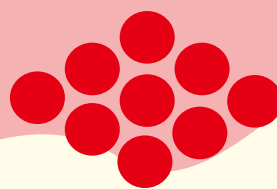
1. 機組冷卻方式選擇(散熱器、放水式、熱交換式等)
2. 換氣方式(散熱及通風的計算)
3. 排氣阻抗計算(配管管徑)及排氣噪音防治(消音器)
4. 機組振動問題(基礎設計及防震方式：防震橡膠；防震彈簧)
5. 熱回收(熱水、暖氣及吸收式冷氣)之整體經濟性考量

D、特殊負載對發電機的影響：

備用發電機的負載大多為電動機、照明燈、電熱器等，除需考慮鼠籠型感應電動機的大啟動電流外，對於一些特殊的負載，也會影響發電機容量的選定，仍必須充分檢討。

1. 負載中有大容量的閘流體或電解用整流器負載：

整流器負載整流過程會產生高諧波電流，而過量之高諧波電流可能導致發電機阻尼電路過熱或燒損，由於發電機的阻尼繞組容量係以反向分電流來表示，一般發電機設計的容許反向電流約在12%以下，而高諧波電流對阻尼繞組的損失可以用等值之反相電流換算，一般三相全波接線的整流器產生之高諧波電流，換算成等值反向電流約整流器負載值的25%~30%，整流器負載需小於發電機容量的40%以下。



2. 負載具有回生制動：

如升降機，門式吊車具有回生能量的負載，由於回生制動中生產的能量會造成機組超速的危險，必須設法將回生功率吸收(如水電阻器)，但在效果控制上相當的困難。

3. 負載為電弧爐：

電弧爐在三相操作時之反向電流約可控制在20%以下，但單相操作時會達100%，若發生單向短路時更高達200%，因此供電弧爐使用時，至少需將阻尼電路設計至100%，(發電機體機也變得很大反而不經濟，而應該避免直接以發電機供應電弧爐。

4. 變壓器負載：

大於發電機容量之變壓器，在因電壓投入和殘留磁束間的關係，會有數倍到10數倍之激磁突加電流流入發電機端子，因等值的小電抗介入而造成短路，挑戰發電機的機械強度（衝擊扭矩和軸的扭轉扭矩）。

5. 其他負載：

如電腦終端機及電梯之瞬間電壓降限制等。

結語

拜電子科技的蓬勃發展，數位控制技術成熟，今日發電機組不論是會操作控制或保護系統，自動化程度已非過去傳統方式可以比擬，遠方監控及自動定期運轉，更大大提升機組的可靠度與信賴性。

然而自備發電機組本身，並沒有突破性的進展，就算再精密的調速機與自動電壓調整器，也只能維持無載時的電壓與頻率精度，受限機組容量太小，對於負載變動時的特性，還是無法與市電相比，不過以一般用電設備而言，發電機的電壓與頻率也沒有使用上的問題，至於特殊精密的用電設備，即使用市電也須加裝穩壓設備，倒是最近環保意識抬頭法規要求趨嚴，對於機組振動、噪音或排放對空氣造成的污染等，不論就源頭的控管及末端的處置，對生產者或使用者，都是必須面臨的問題，也是未來發展與面對的課題。