

以平均故障間隔時間為基礎之 氣渦輪發電機熱元件用料需求決策分析策略-- 以南部某電廠為例

王淑卿

廖文賓

嚴國慶*

王順生*

朝陽科技大學

{scwang; s9833901; kqyan*; sswang*}@cyut.edu.tw

*: 聯絡人

摘要

由於目前我國各複循環電廠對熱元件用料計畫的編制，都是以原廠告知的熱元件應使用的時數或是電廠人員過去的經驗來進行預測。而每部機組未來大修日、機組使用壽命、熱元件使用標準壽命、熱元件可使用再生次數等相關數值，原廠都有詳細的規範，因此電廠人員的作業保養程序必須根據這些規範來進行，以期獲取可靠、穩定及連續的電力供應。但因不同的使用方式或環境將造成熱元件使用壽命的不同，當忽略這些外在因素，有可能發生熱元件用料資源浪費及庫存不足問題。因此，本研究以平均故障間隔時間為基礎，制定氣渦輪發電機熱元件用料需求決策分析。除此之外，熱元件在使用時有一些既定的規則，如再生次數、再生時間、使用壽命及預購時間等，因此在本研究中將利用這些規則配合所推估之機組預定失效日，建置一套氣渦輪發電機熱元件用料需求決策資訊系統，藉以輔助熱元件採購排程的預測，以提高採購預測的準確度，並降低熱元件的庫存成本。

關鍵詞：平均故障間隔時間；氣渦輪發電機熱元件；熱元件；需求決策分析。

Abstract

Today, the most common methods employed by the combined cycle power plant to schedule component planning are based on the data provided by the manufactory or the experience of the power plant staff. However, there exist some detailed specifications from the original factory related to the regular overhaul of each turbine engine, turbine engine service life, standard life of the thermal element, and regeneration times. The power plant personnel must also perform

operational procedures and maintenance in accordance with these specifications to obtain reliable, stable and continuous power supply. After all, different usage and environment can also lead to the differences in service life of the thermal component. Therefore, a strategic decision analysis of MTBF-based gas turbine engine components needs is proposed in this study. In addition, some absolute principles for the use of thermal components, such as the times of regeneration, the period of regeneration, service life and requisitions time, etc., must also be taken into account. We make use of these principles and the next scheduled expiry date resulting from the study to develop an information system for assisting scheduling forecast, thus improving the accuracy of prediction of procurement, and reducing inventory cost of the thermal element.

Keywords: Mean time between failures, Gas turbine generator thermal element, Thermal power plant, Strategic decision analysis.

1. 前言

隨著國民經濟的快速發展，人們對電力的依賴越來越強烈。然而電力卻不能像煤炭或石油一樣可以有效的大量儲存，大部分都是透過發電機產生，火力發電就是其中一種發電方式。因此，為了獲取可靠、穩定及連續的電力供應，火力發電廠的正常運行是關鍵[6]。火力發電廠為確保發電機能夠正常運轉，因此位處高溫區的氣渦輪機葉片及燃燒室等熱元件必須定期維護與更換。

過去火力發電廠的氣渦輪機熱元件，其更換周期係依其使用的運轉時數作為更換基準[3]。然而目前發電廠現有的氣渦輪機組因發電成本及所賦予的任務不同，並非如核能及燃煤機組等一直保持常態穩定運轉，多視負載的需

求動態起起停停。因此，氣渦輪機組不僅運轉時數不穩定，且大修排程規劃亦以核能及燃煤機組作優先考量後再考慮氣渦輪機大修排程。除此之外，再加上熱元件新品的製造及再生時程動輒超過8個月甚或長達2年，因此無法在大修期間完成，導致氣渦輪機組熱元件的用料規劃受限因素很多，無法明確單純的以固定間隔時間作更換。因此，在氣渦輪機組熱元件的用料規劃上複雜度很高，必須有專人定期進行運轉時數的追蹤及預估作業，以便隨時視運轉情形及各單位協調後的大修排程機動調整配件更換時間點，因此需頻繁且定期修正用料計畫。

分析我國發電廠目前的現況，可知熱元件未來用料計畫的資訊對一個電廠的正常運作非常重要。而經由訪查目前我國各複循環電廠對於熱元件用料計畫的編制，都是以原廠告知的熱元件應使用的時數或是電廠人員過去的經驗直接來預測。由於每部機組未來大修日、機組使用壽命、熱元件使用標準壽命、熱元件可使用再生次數等這些數值，原廠都有詳細的規範，電廠人員的作業保養程序也都必須根據這些規範來進行，以期能獲取可靠、穩定及連續的電力供應。然而因使用方式或環境也會造成熱元件使用壽命的不同，忽略了這些外在因素有可能發生資源浪費及庫存不足問題。由於熱元件的成本非常高，動輒上百萬或甚至上千萬，若電廠人員依據原廠所提供的數據，就拆除熱元件送再生或甚至淘汰，如此將造成資源的浪費。另外，原廠提供的數據只是一個參考值，熱元件也有可能是在保養期未到就發生故障，此時如庫存不足，可能會造成整個機組停止運行而影響電廠的正常營運。

由於目前我國各發電廠針對熱元件的需求，均未考慮熱元件的可靠度(Reliability)，在預估未來實際熱元件的用料時，更未考慮熱元件可靠度的影響。然而，熱元件的可靠度將影響一個熱元件的使用期程。所以，本研究擬藉由統計熱元件的可靠度指標，並配合原廠所提供的熱元件應使用之時數及電廠人員的經驗數值來進行預測，以期能制定一套更準確的熱元件用料排程預測。由於可靠度是產品在使用期間最主要的品質指標之一，以往傳統的品質技術著重於產品使用初期的品質，雖然可以改善製程品質，但對於設計品質、維修品質等與平均壽命有密切關聯的可靠度品質卻無法有效評估與確認。所以，本研究將利用韋氏分配

時間(Mean Time Between Failure；MTBF)，以提高電廠熱元件的品質與可靠度。藉此瞭解電廠熱元件的各項特性，以獲得未來在進行用料預測時的更準確度。透過本研究所獲得的成果，可提供電廠在採購成本與發電機穩度運轉兩者找到最佳的平衡點，以利電廠人員以機組設計壽齡進行長期用料及資金需求的規劃，使每個昂貴的熱元件皆能充分使用其剩餘價值。

總而言之，本研究的主要目的是從氣渦輪發電機過去使用熱元件的歷史紀錄，以MTBF統計數據來求得熱元件更精確的等效運轉時數(Equivalent Operating Hours；EOH)，更進一步來預測該部發電機未來使用熱元件的情形。

本文在第2節中將說明與本研究相關的名詞與方法，包括：浴盆曲線、磨合期與有效壽命期及耗損期、MTB及熱元件再生；第3節則說明本研究所提出的方法；第4節則以南部某電廠為例說明本研究所提出的方法之實際執行；第5節則是總結及未來的工作

2. 文獻探討

在本節中將說明與本研究相關的名詞與方法，包括：浴盆曲線、磨合期與有效壽命期及耗損期、MTBF及熱元件再生。

2.1 浴盆曲線

定期維修的理論依據是浴盆曲線，使用經驗及試驗結果表明，設備在剛投入使用時，由於設備未經磨合，故障率很高；隨著使用時間的增加，故障率漸漸地趨於穩定。在使用壽命期終了的時候，故障率又逐漸增加，其故障率隨時間變化的關係如圖1所示，它的故障率是兩頭高，中間低。由於定期維修的圖形有些像浴盆，故稱為浴盆曲線，此曲線於1951年發現，1959年正式命名[8]。

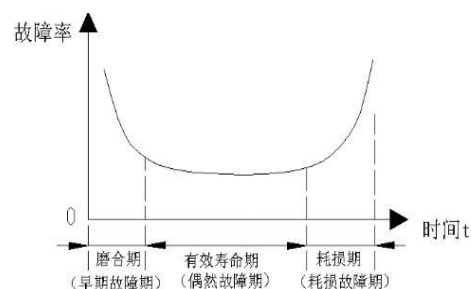


圖1 浴盆曲線[8]

2.3 MTBF

從浴盆曲線可以看出，設備的故障率隨時間的變化可以分為三個階段：早期故障期、偶然故障期和耗損故障期，也有人稱其為磨合期、有效壽命期、及耗損期。當時人們認為如果在耗損故障期到來之前對設備進行拆檢，更換磨損的零件，就能防止其功能故障的出現。傳統的定期維修基於零件磨損的原理，即設備要工作、機件必磨損、磨損出故障、故障要維修。定期維修把設備的維修，依據修理內容和維修工作量劃分為若干個不同的修理類別。根據零件磨損的原理來確定每個修理類別之間的關係，確定每個不同修理類別之間的修理間隔時間(即確定每種修理類別的周期)，並把各個不同修理類別按上述確定的關係組成一個系統，從而形成一個建立在零件平均磨損基礎上的計畫修理體系。執行中，可根據加工的對象、批量等參數選用不同的時間間隔。這種修理方式能夠在設備運轉時間的基礎上方便地建立起一套預防計畫修理體系，達到以預防為主的目的。

2.2 磨合期與有效壽命期及耗損期

產品依其失效的特性，一般可分為磨合期、有效壽命期及耗損期，其失效率函數呈現為一個浴盆型曲線，該浴盆型曲線則隨不同之失效機制而異。多位學者以失效率函數為出發點，考慮可靠度行為，主要依據各失效機制對失效率之影響，探討浴盆曲線的特性[12]。

可靠度模式中，常用的分配函數作為其失效的機率密度函數，如常態分配、對數常態分配、韋伯分配、指數分配等。這些可靠度模式其失效率函數皆為時間的函數，因時間與可靠度具有單調對應關係，亦即失效率可為可靠度函數[14]。一般用來評估產品的壽命時大部分都以可靠度來進行分析，並在時效與經濟性的考量下，採用合適的「產品壽命測試類型」。葉曉雯提出關於動力配送電壓器的壽命用韋氏分配來驗證動力配送，其中電壓器的可靠度是一個非常重要的因素[10,11]，不僅對系統的經濟效益產生衝擊，亦是設計上不可忽略的重要項目之一。換言之，產品的壽命評估可使用韋氏分配，其使用的範圍包括電子、電介體聚合物、光纖通信等產品，在電子產品中發生失效的通常是電決元的部分，原因是受到電力熱或機械的反覆磨損[10]。

MTBF 平均故障間隔時間又稱平均無故障時間，英文全稱是“Mean Time Between Failure”指可修復產品兩次相鄰故障之間的平均時間，記為 MTBF。MTBF 是衡量一個產品的可靠性指標，反映了產品的時間質量，是體現產品在規定時間內保持功能的一種能力，同時也規定產品在總的使用階段累計工作時間與故障次數的比值為 MTBF[13]。

MTBF 之可靠性，就是產品在規定條件下和規定時間內完成規定功能的能力；反之，產品或其一部分不能或將不能完成規定的功能就是出故障。概括地說，產品故障少的就是可靠性高，產品的故障總數與壽命單位總數之比叫“故障率”(Failure Rate)，常用 λ 表示。例如正在運行中的 100 套熱元件，一年之內出了 2 次故障，則每個熱元件的故障率為 0.02 次/年。當產品的壽命服從指數分佈時，其故障率的倒數就叫做平均故障間隔時間，簡稱 MTBF。

2.4 熱元件再生

所謂的熱元件就是指壓縮機、燃燒室及渦輪上之氣機組件，通常機組大修(定期保養)時必須常更換的是葉片、燃燒筒與魚尾管。燃燒筒與魚尾管等長期在高溫環境運轉下，產生熱腐蝕與高溫氧化損壞，須進行維修或更換。由於新組件價格昂貴，為降低新組件購置成本，節省營運費用，須將運轉後之熱元件再生處理，延長使用壽命。然而再生就會牽涉到再生率問題，例如第一級動葉片送給電廠自己的修護處 72 片葉片再生，再生完成後的數量為 54 片，其再生率為 75%；而如果送修單位為原廠，可能再生回來的數量亦為 72 片，所以再生率為 100%。

因此，不同的熱元件送給不同的送修單位會有不同的再生率，再生率對熱元件未來的用料預測是一個主要關鍵因素。而再生時間也是影響到未來用料排程的另一個關鍵因素，例如如果送給原廠修理，雖然能達到 100%再生，但送修時間需要 3 年，而送給修護處再生雖然再生率為 75%，但只要 6~8 個月，這二種結果就必需有取捨。圖 2 為再生因素與熱元件未來用料計畫的關係。其中，再生單位，熱元件總類及已再生過的次數將產生了再生率，而再生率因子再加上再生時間因子就影響到熱元件未來的用料計畫。

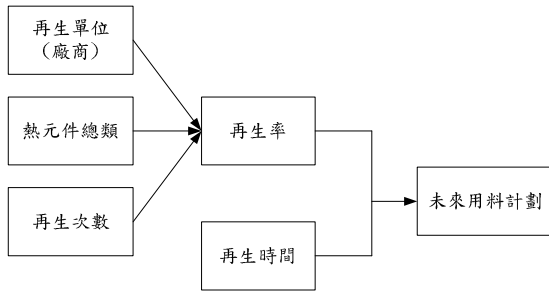


圖 2 再生因素與熱元件未來用料計畫的關係

3 研究方法

本研究以平均故障間隔時間為基礎，制定氣渦輪發電機熱元件用料需求決策分析，期能輔助我國目前發電廠了解未來特定氣渦輪發電機對特定熱元件供需情形，減少電廠停機待料及備料過多情況發生。

3.1 平均壽命與可靠度

在本節中將說明本研究所使用的可靠度函數與平均壽命。

3.1.1 可靠度函數

產品壽命 T 是個隨機變數，產品壽命 T 超過某一時間 t 的機率 $P(T \geq t)$ 即為產品壽命超過 t 的可靠度 $R(t) = P(T \geq t)$ ， $R(t)$ 稱為可靠度函數 (Reliability Function)[2]。

把上述之可靠度函數運用於本研究中，假設熱元件壽命 (T) 的機率分配函數為 $f(t)$ ，其累積機率分配函數如(1)所示：

$$F(t) = P(T < t) = 1 - R(t), t \geq 0 \quad \dots(1)$$

如果熱元件失效時間用隨機變數 t 來代表，而 t 的機率密度函數 $f(t)$ 與可靠度 $R(t)$ 之關係如(2)所示。

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t') dt' \quad \dots(2)$$

3.1.2 平均壽命 (Mean Life)

平均壽命是指某特定物件，在其應有的環境下執行明確的應用(或使用)，該物件截至失效(故障)為止的平均時間或預期時間。平均壽命有時亦稱為平均失效發生時間 MTTF (Mean Time To Failure) 或平均失效間隔時間 MTBF (Mean Time Between Failure)[7]。

(1). MTTF 是依據產品到故障截止之時間長短而作的量測尺度(關注焦點是可靠度)。MTTF 平均失效發生時間是指產品或零件經使用至故障不能再使用為止，產品在平均壽命期間，MTTF 通常較偏重失效無法修復，例如零件失效立即換新。產品平均壽命 MTTF，為基本機率理論，所定義之產品失效發生時間的期望值，亦即如(3)式表示。

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad \dots(3)$$

(2). MTBF 是依據一定時間內故障數量的多寡而做成的測度(關注焦點是故障率)。MTBF 平均失效間隔時間，是指產品經過一段時間使用，計算其平均每一次故障的時間有多長，通常用於產品故障時可修復再利用。若 T 代表許多產品總操作時間， r 則是在 T 時間內之總失效數，則 MTBF 的數學式可以以(4)式表示。

$$MTBF = T / r \quad \dots(4)$$

由於 MTTF 的物件數量不只一個，因此適用對象是針對物件故障(失效)後，無法修理者。而 MTBF 的物件數量只有一個，因此適用對象是針對物件故障(失效)後，可以修復者。以本研究而言，因熱元件是故障(失效)後，可以修復者，所以採用 MTBF 來計算較為適合。

3.2 常見之平均失效分配分析

可靠度應用領域中最常用之二種分配為指數分配及韋氏分配，表 1 所示為不同適用產品應採取的分配類型[1,5]。

表 1 不同適用產品應採取的分配類型[5]

分配類型	失效率	適用產品
指數分配	常數	具有固定故障率的元件，精耐久試驗並進行定期維修的元件
韋氏分配	漸增、漸減或常數	某些電容器、滾珠軸承、繼電器、電子管、電位計等電子產品、發電機

3.2.1 韋氏分配 (Weibull Distribution)

由於產品的壽命之失效率，不全是常數，有時有些產品在初期使用的階段，仍可當作正常產品來使用。而且有時壽命試驗的目的，不

在研究機率性的壽命問題，而在產品損耗的壽命問題[4]。因此在這種情形下，無法使用指數分配用，必須仰賴應用較廣的韋氏分配作為理論基礎[8]。以本研究為例，當機組運轉時，若導致熱元件發生損耗的問題，則應該以韋氏分配來評估較為實用。

另外，由表1所列的指數分配、韋氏分配與其所對應之適用產品，可以知道以韋氏分配來預估氣渦輪發電機較為適合。因此本研究將採取韋氏分配來預估機組運轉時的失效時數。假設韋氏分配的二個參數，分別為 α 和 β ，而其機率密度函數為(5)

$$f(t) = \alpha\beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta}, t > 0, \alpha > 0, \beta > 0 \dots(5)$$

可靠度函數為(6)：

$$R(t) = e^{-\alpha t^\beta} \dots(6)$$

失效率函數為(7)：

$$h(t) = \alpha\beta t^{\beta-1} \dots(7)$$

其中， α 為尺度參數(Scale parameter)又稱為特徵壽命(Characteristic life)； β 為形狀參數(Shape Parameter)。得到韋氏分配之形狀參數 β 與尺度參數 α 後，可以求得推估而(8)式中之積分，即為伽瑪分配 $\Gamma(1+1/\beta)$ ，因此可知韋氏的MTBF如(9)所示。

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \times \alpha\beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta} dt \dots(8)$$

$$MTBF = \alpha^{1/\beta} \Gamma(1+1/\beta) \dots(9)$$

圖3所示為 β 與CV值關係曲線圖。表2為 β 與CV對應表，當獲得CV值時，可查出 β 值。再由表3查出伽瑪分配 $\Gamma(1+1/\beta)$ 對應值，以簡化MTBF之計算。

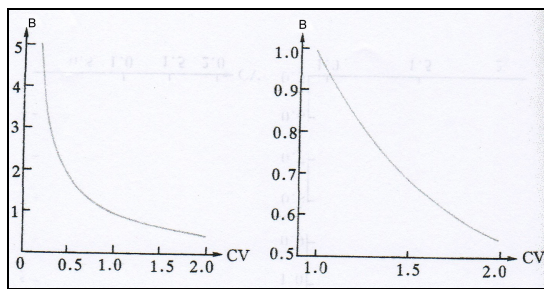


圖3 所示為 β 與CV值關係曲線圖[5]

3.2.2 韋氏分配動差法

由公式(9) $MTBF = \alpha^{1/\beta} \Gamma(1+1/\beta)$ 可以得知形狀參數 β 與尺度參數 α 是計算MTBF的重要參數，對於估計韋氏分配的形狀參數 β

與尺度參數 α ，則可以利用動差法與最大似法兩種方法[9]。由於表2及3是由韋氏分配動差法求得的數值，因此本研究將採用韋氏分配動差法來進行估算。

表2 變動係數CV與形狀參數 β 的關係[1]

變動係數 CV	形狀參數 β
1.5	0.71
1.00	1.00
0.75	1.35
0.5	2.10
0.45	2.35
0.43	2.50
0.35	3.11
0.25	4.55

表3 形狀參數 β 與伽瑪分配 $\Gamma(1+1/\beta)$ 對應表[5]

β	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
2.0	0.886	0.886	0.886	0.886	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885
2.1	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885
2.2	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885
2.3	0.885	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886
2.4	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.886	0.887	0.887	0.887
2.5	0.887	0.887	0.887	0.887	0.887	0.887	0.887	0.887	0.888	0.888
2.6	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.889	0.889
2.7	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889	0.890	0.890	0.890	0.890
2.8	0.890	0.890	0.890	0.890	0.890	0.891	0.891	0.891	0.891	0.891
2.9	0.891	0.891	0.891	0.892	0.892	0.892	0.892	0.892	0.892	0.892
3.0	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	0.893	0.894	0.894
3.1	0.894	0.894	0.894	0.894	0.894	0.895	0.895	0.895	0.895	0.895
3.2	0.895	0.895	0.895	0.896	0.896	0.896	0.896	0.896	0.896	0.896
3.3	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.898	0.898	0.898
3.4	0.898	0.898	0.898	0.898	0.898	0.898	0.898	0.898	0.899	0.899
3.5	0.899	0.899	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.901
>3.5	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906

韋氏分配母數的平均數與標準差可以表示為(10)與(11)，

$$E(T) = \alpha^{1/\beta} \Gamma(1+1/\beta) = \eta \Gamma(1+1/\beta) \dots(10)$$

$$D(T) = \alpha^{-1/\beta} \sqrt{\Gamma(1+2/\beta) - \Gamma^2(1+1/\beta)} \\ = \Gamma \sqrt{\Gamma(1+2/\beta) - \Gamma^2(1+1/\beta)} \dots(11)$$

因此變動係數CV可以表示為(12)，

$$CV(T) = \frac{D(T)}{E(T)} = \frac{\sqrt{\Gamma(1+2/\beta)}}{\Gamma(1+1/\beta)} \dots(12)$$

由大小 n 的樣本(t_1, t_2, \dots, t_n)所得到的樣本平均數 \bar{T} 與標準差 S ，再將 S/\bar{T} 即可求得樣本的變動係數CV，其相關公式如(13)-(15)所示：

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \dots(13)$$

$$\text{樣本標準差 } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} \quad \dots(14)$$

$$\text{樣本變動係數 } CV = \frac{S}{\bar{T}} = \sqrt{\frac{\Gamma(1 + \frac{2}{\beta})}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})} - 1} \quad \dots(15)$$

由(15)即可得出 β 的方程式，將此式求解設為 $\bar{\beta}$ ，則形狀參數 β 就可以用 $\bar{\beta}$ 來估計。換言之，將母數的平均數 $E(T)$ 與標準差 $D(T)$ 等置為樣本平均數 \bar{T} 與標準差 S ，進行母數的估計方法稱之為動差法(Moment)。

同樣地，尺度參數 α 也可估計為(16)-(18)，

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^{\bar{\beta}} \quad \dots(16)$$

$$\bar{\Gamma} = \bar{\alpha}^{\frac{1}{\bar{\beta}}} \quad \dots(17)$$

$$\text{平均壽命 } MTBF = \bar{\alpha} \frac{1}{\beta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})} \quad \dots(18)$$

3.4 機組平均失效時數之評估

由於，熱元件在使用時除了平均壽命 MTBF 需要考量外，機組的再生次數、再生時間、使用壽命及預購時間都必須納入考慮。因此，在本研究中，將首先評估機組平均的失效時數。圖 4 為機組平均失效時數的計算過程。透過圖 4 的流程，可以獲得機組平均的失效時數，如表 4 所示。表 4 中，機組大修時點以 D_i 表示，每次機組大修時之累計 EOH 以 E_{i1} 表示，大修間隔之 EOH 以 E_{2i} 表示。當得知每部機組的失效時數間隔時，就可利用統計公式求得機組每次失效時數的樣本變動係數 CV。

$$\text{由 } CV = \frac{S}{\bar{T}} = \sqrt{\frac{\Gamma(1 + \frac{2}{\beta})}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})} - 1} \text{ 得知，當 CV 值知道}$$

時可反可求得形狀參數 β ，然而在計算上比較複雜，因此可利用表 2 查出形狀參數 β 。當形狀參數 β 計算出來後，則可以由(16)

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^{\bar{\beta}} \text{ 求得尺度參數 } \alpha \text{ 值。}$$

另外，藉由查察表 3(形狀參數 β 與伽瑪分配 $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$ 對應表)，也可求得 $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$ 值。

由於已獲得 α 及 $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$ ，因此代入(18)式

$MTBF = \frac{1}{\alpha \beta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})}$ ，即可獲得機組的 MTBF。

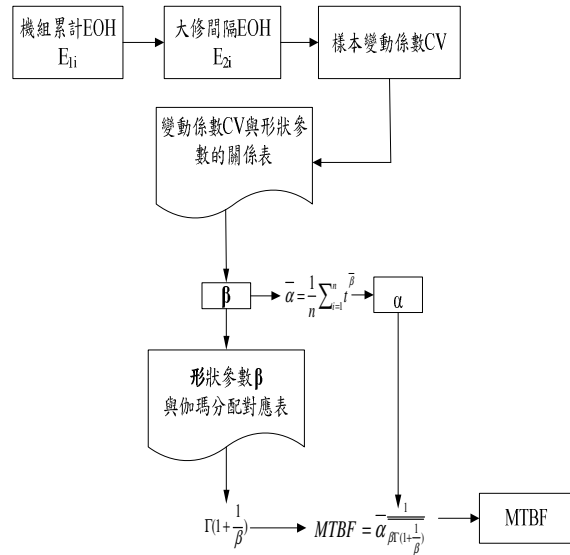


圖 4 機組平均失效時數評估流程

表 4 機組大修 EOH 間隔時數

項次	大修日 D_i	機組累計 EOH E_{i1}	大修間隔 EOH E_{2i}
1	D_1	E_{11}	
2	D_2	E_{12}	$E_{21} = E_{12} - E_{11}$
3	D_3	E_{13}	$E_{22} = E_{13} - E_{12}$
...
$n-1$	D_{n-1}	E_{1n-1}	$E_{2n-1} = E_{2n-1} - E_{2n-2}$
n	D_n	E_{1n}	$E_{2n} = E_{2n} - E_{2n-1}$

3.5 機組平均失效日之評估

由於本研究最終的目的是要預測未來機組大修日期，而到目前為止，本研究所提出的方法雖然已經可以獲得機組必須更換的運轉時數(MTBF)，然而實際運轉時間卻是未知數。因此，本研究接著將利用等比例法來推估未來應大修的日期。推算方式有二種：

(1)、以最新抄表日與開始併聯日之間隔推算

D_1 ：以最新抄表日與首次併聯日(機組開始運轉日期)之時間間隔。

D_2 ：下次大修日期。

EOH_2 ：下次機組預計大修運轉時數與以最新抄表日之 EOH 間隔。

$$D_2 = \frac{EOH_2 \times D_1}{EOH_1} \quad \dots(19)$$

(2)、以最新抄表日與上次大修日之間隔推算

D_1 : 目前最新抄表日與上次機組大修日之時間間隔。

D_2 : 下次大修日期。

EOH_2 : 下次機組預計大修運轉時數與目前最新抄表日之 EOH 間隔。

$$D_2 = \frac{EOH_2 \times D_1}{EOH_1} \quad \dots(20)$$

由於本研究的目的是要預測未來機組大修日期，而機組因有其特性，因此本研究將採用以最新抄表日與開始併聯日(點火日)之間隔比例法來推算。

3.6.系統設計

圖 5 為影響熱元件未來排程的四大重要因子，依次為機組未來大修日因子、請購時間因子、入庫時間因子及再生時間因子，以下分別說明。

- 1、機組未來大修日因子：為本系統設計中唯一之預測因子，也是本研究中所探討依韋氏分配動差法所求得的因子。
- 2、請購時間因子：因為熱元件是使用特殊材料，由下單訂購至到貨至少須二年時間，所以必須精確的預估未來什麼時點機組要大修保養換料，以確定請購時點。
- 3、入庫時間因子：此時點為熱元件實際購買回來入庫的時點。
- 4、再生時間因子：當機組進行大修時，熱元件就必須拆下送修保養。然而由於每一熱元件保養時程不一樣，以 Combustor Basket 為例其再生時間需要 180 天。而且每一熱元件都有使用壽命的限制，如 Combustor Basket 的使用壽命為 24000EOH，也就是說，如果我們算出機組每 7323.37 EOH 需要進行大修，則熱元件最多只能使用三次及再生二次。

本研究以平均故障間隔時間為基礎，制定氣渦輪發電機熱元件用料需求決策分析，因此將在本研究所提出的理論基礎下，建置一套決策支援系統。此系統所提供的功能，將透過預先把上述因子建檔完成，最後只要輸入每部機組的大修日期及本研究所計算出來的機組失效時數，則可自動預測未來的用料排程及所需的庫存量。本研究所建置的決策支援系統，其系統功能將於 4 節中詳述。

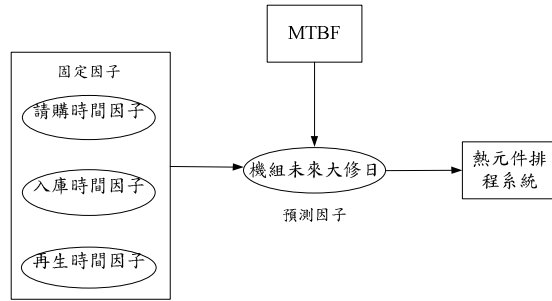


圖 5 影響熱元件未來排程的四大重要因子

4.實例說明

4.1 實際平均失效時間的計算

本例中我們以南部火力發電廠 GT41 熱機組為實例，利用韋氏分配動差法，來求得該機組的失效時數。表 5 所示是 GT41 熱機組從開始點火日(新機組開始運行日)至目前，該機組曾經大修的記錄資料。

表 5 GT41 熱機組大修記錄

項次	大修日	檢修時 機組累 計 EOH	上次大 修 EOH	間隔 EOH
1	20040130	8948	0	8948
2	20041113	15666	8948	6718
3	20050606	20268	15666	4602
4	20060106	24259	20268	3991
5	20070105	32118	24259	7859
6	20071226	40850	32118	8732
7	20081128	49652	40850	8802
8	20100105	57709	49652	8057
9	20110323	65970	57709	8261

資料來源：台灣電力公司南部火力發電廠熱機組

因此，可獲得

(1) 失效時數樣本平均數 $\bar{T} = \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{n} = 7330$

(2) 樣本標準差 $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} = 1744.544$

(3) 變動係數 $CV = \frac{S}{\bar{T}} = \sqrt{\frac{\Gamma(1 + \frac{2}{\beta})}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})} - 1} = 0.238$

由 CV 值代入(2) $R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t') dt'$

求解可得形狀參數 $\bar{\beta}=4.55$

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i^{\bar{\beta}} = 601870160793069000.00$$

$$\bar{\Gamma} = \frac{1}{\bar{\alpha}^{\bar{\beta}}} = 8083.19$$

表 3 為形狀參數 β 與伽瑪分配 $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$ 對應表，由表 3 形狀參數 β 與伽瑪分配 $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$ 對應表，可知 $\Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) = 0.906$ ，

$$\text{平均壽命 MTBF} = \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \times \frac{1}{\bar{\alpha}^{\bar{\beta}}} = 0.906 * 8083.19 = 7323.37$$

因此可以得知，當 GT41 汽渦輪發電機每運行約 7323.37 EOH，就必須進行大修整理。

項次	大修日	檢修時機組 累計 EOH	上次大 修 EOH	間隔 EOH
1	20030502	0	0	0
2	20110323	65970	65970	65970

$$D_2 = \frac{EOH_2 * D_1}{EOH_1} = \frac{[(2011/0323) - (2003/05/02)] * 7323.4}{65970} = 319.9(\text{天})$$

若以年計算，則可知約 $Years = 320/365 = 0.88$ 年就須進行大修整理。

4.2 以資訊系統輔助未來排程的預測

由於構成熱元件用料預測的基本條件，最核心的部份是本研究依韋氏分配動差法算出機組每運行 7323.37 EOH。除此之外，影響熱元件未來排程尚有四大重要因子，依次為機組未來大修日因子、請購時間因子、入庫時間因子及再生時間因子。在本研究中，將依據這些條件及預估出來的機組大修日去設計開發一套決策支援系統來輔助計算，藉以簡化排程的過程。

如圖 6 所示，首先鍵入藉由韋氏分配動差法計算出來的 7323.37 大(檢)修間隔 EOH 欄位、首次點火日(併聯日)代表 GT41 機組新機組開始運行日、及該機組的點火日期 2003/05/02。片，所以再生率為 75%；而如果送修單位為原廠，可能再生回來的數量亦為 72 片，所以再生率為 100%。因此，不同的熱元件、送給不同的送修單位會有不同的再生率，這個再生率對熱元件未來的用料預測是一個主要關鍵因素。而再生時間也是影響到未來用料排程的另一個關鍵因素，例如如果送給原廠修理，

雖然能達到 100% 再生，但送修時間需要 3 年，而送給修護處再生雖然再生率為 75%，但只要 6~8 個月，這二種結果就必需有取捨。圖 7 為再生因素與熱元件未來用料計畫的關係。其中，再生單位，熱元件總類及已再生過的次數將產生了再生率，而再生率因子再加上再生時間因子就影響到熱元件未來的用料計畫。

圖 6 機組基本資料建構

接著，輸入排程預測參數，如圖 7 所示。此時要為 GT41 機組預測 2010 至 2020 年間，Combustor Basket(熱元件編碼為 33000001)進行用料排程預策。首先我們先點選該機組之熱元件編號，再鍵入想要預策的時間間隔，按確定則可則得該期間的用料情形，而其主要的失效時數依據 4.1 所述之數據計算而來。圖 8 所示為熱元件預測排程表。

圖 7 排程預測參數

編號 S121007001 名稱 Combustor Basket 型號 第一代 型式 STD 機組型號 501F1	2012				2013				2014							
	01	02	03	04	05	06	01	02	03	04	05	06	01	02	03	04
GT41-L1	001						002						001			
再生品																
GT41-R							001						002			
入庫時間	001					002										
請購時間	001															
002																
期初庫存	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
New	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Repair	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
Used	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
期末庫存	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00

圖 8 熱元件預測排程表

圖 9 為 Combustor Basket 熱元件 2012 年至 2020 年預測之裝拆日，而圖 10 為 Combustor Basket 熱元件預測之送再生與再生完成入庫日之預測。

01	001	001:16	20120209	20130209	
02	002	002:16	20130209	20131227	
03	001	001:16	20131227	20141113	
04	002	002:16	20141113	20150930	
05	003	003:16	20150930	20160816	
06	002	002:16	20160816	20170703	
07	003	003:16	20170703	20180520	
08	004	004:16	20180520	20190406	
09	003	003:16	20190406	20200221	
10	004	004:16	20200221	20211124	

圖 9 熱元件裝拆日預測

由圖 10 所示，可以知道 2013/02/09 是 Combustor Basket 熱元件 002 套(新品)的起用日，預估在 2014/11/13 因 GT41 機組運行了 7323.37 EOH，必須進行大修保養，此時該熱元件就拆下送保養廠進行第一次再生保養。而 001 套早在 2013 年 8 月 8 日時就再生回來入庫，因此可裝入第 1 套。同時圖 8 也顯示 2014/11/13 日機組大修，001 套拆下後即超過使用壽命，不再送再生，而 002 套早在 2014/6/25 時就再生回來入庫，因此此時機組可裝入 002 套。但如果機組再運行 7323.37 EOH，即 2015/9/30 大修時，002 套拆下送保養廠進行二次再生時，電廠將沒有任何熱元件可裝入，所以此時必須要有新品 003 套存在，而基於熱元件請購需二年的原則。因此 2014/9/3 時就要預先請購 003 套，以備 2015/9/30 機組大修時的使用。如此，周而復始，即可輕鬆地藉由本研究所建置之決策支援系統產生 10 年或 20 年的熱元件用料排程預測。

項次	套號	內容	起用日	結束日	顯示顏色
01	001	001:16	20130209	20130808	
02	002	002:16	20131227	20140625	
03	002	002:16	20150930	20160328	
04	003	003:16	20160816	20170212	
05	003	003:16	20180520	20181116	
06	004	004:16	20190406	20191003	

圖 10 熱元件再生起迄日預測

在本例中，我們以台電南部火力發電廠 GT41 汽渦輪發電機作為研究的標的，並且以 Combustor Basket 熱元件作為驗證的實例，採取可靠度之產品壽命測試失效終止型，從 GT41 機組點火日至最近一次大修日期間，收集每一次機組失效點之日期及失效時數，進一步以韋氏分配分析該機組之 MTBF 及可靠

度來求得之預估失效時數。最後，再用等比例法以最新抄表日與開始併聯日之間隔推算未來機組的預定失效日。當求得未來之預定失效日後，就可推估該機組中熱元件的等效運行時速(EOH)，精準的預策出該熱元件未來的用料排程。

5. 結論與未來研究

5.1 結論

由於熱元件未來用料計畫的資訊對一個電廠的正常運作非常重要，然而目前我國各複循環電廠對於熱元件用料計畫的編制，都是以原廠告知的熱元件應使用的時數或是電廠人員過去的經驗直接進行預測。由於，不同的使用方式與環境也會造成熱元件使用壽命的不同，忽略了這些外在因素有可能發生資源浪費及庫存不足問題。因此，本研究以平均故障間隔時間為基礎，制定氣渦輪發電機熱元件用料需求決策分析，使得特定氣渦輪發電機對特定熱元件供需情形得以透明化，減少電廠停機待料及備料過多情況發生。透過本研究所提出的方法，將可協助我國發電廠之用料單位，規劃出熱元件最佳化用料排程，俾利決定熱元件新品採購時點及最經濟採購數量，降低整體熱元件維護與管理成本。

除此之外，熱元件在使用時有一些規則，如再生次數、再生時間、使用壽命及預購時間等。因此，在本研究中將再利用這些原則配合推估出來機組的預定失效日，建置一套氣渦輪發電機熱元件用料需求決策資訊系統來輔助熱元件採購排程的預測，以提高採購預測的準確度，並降低熱元件的庫存成本。

在本研究中我們可以得到以下幾點結論：

- (1). 在分析氣渦輪機與熱元件平均失效時數的研究過程，因為熱元件失效率並不是一個固定的常數，熱元件失效會隨著周遭的環境、溫度、壓力及電廠人員使用的習慣、頻率和使用時數多寡等變動的因素而改變，使用韋氏分配是最佳的選擇。
- (2). 經由實例的驗證，GT41機組從點火日至最近一次大修日間，收集每一次機組失效點之日期及失效時數，利用動差法求得韋氏分配的形狀參數與尺度參數，進一步求得各該機組的平均失效時數

(MTBF)，所得到結果也令研究者相當滿意，因為韋氏分配分析的結果7323.37 EOH與實務上原廠所建議的數據8000EOH相當吻合。

- (3). 由於最終的目的是要預測未來機組大修日期，而每部機組預定運轉8000EOH~16000EOH就必須停機保養，進行熱元件更換，雖然知道機組必須更換的運轉時數，而實際運轉時間卻是未知數。因此，本研究利用等比例法，以最新抄表日與開始併聯日之間隔推算未來機組的預定失效日。

5.2未來的研究方向

- (1). 當機組大修時，熱元件就必須拆下送修保養。惟熱元件再生會因機組運轉狀況及再生次數不同，再生成功率會隨時改變。本研究尚未把再生的成功率問題納入討論，只考慮到再生次數。熱元件再生時一般是以整套送出，而以Combuster Basker熱元件而言，一套有16片，當再生完成時有可能只回來15片，另一片嚴重損壞無法再生。而機組要運轉一定要裝入16片才可運轉，所以就必須拆下其他套別的熱元件片來組裝成一套，此時就會有混套的情形。因為本研究是以南部發電廠為範圍進行驗證，而南火大部份都是送原廠再生，所以再生率幾乎多是100%，因此本研究可以把再生率當成1。然而，其他電廠有可能送我國的再生處自行再生處理，所以就有可能有再生率的問題，所以在未來的研究中將把再生率納入考慮。
- (2). 在本研究中，熱元件之失效時速測試是以韋氏分配之動差法來分析，未來將以指數失效分及常態失效分析進行深度研究。
- (3). 在本研究中，尚未證明本研究所採用之方法是否比原廠所公佈之方法正確，所以在未來的研究中可以把此議題納入考慮。

參考文獻

- [1] 丁瑞新，**寬頻網路ATU-R的採購決策分析**，碩士論文，逢甲大學工業工程與系統

管理學系，2007。

- [2] 王宗華編著，**可靠度工程技術手冊**，中華民國品質學會發行，pp. 407-425，pp. 459-481，2000。
- [3] 尤森驗，**分散式電源之成本效益分析**，碩士論文，國立中山大學電機工成學系，2003。
- [4] 石逸群，**累積失效與可靠度關係之探討**，碩士論文，國立中央大學機械工程研究所，2000。
- [5] 阮光業、盛其安編著，**品質管制與可靠性工程**(修訂版)，超級科技圖書股份有限公司發行，pp. 267-280，1990。
- [6] 李俊忠，**以專案管理執行火力電廠汽輪機大修工程**，碩士論文，逢甲大學材料與製造工程機械工程組，2008。
- [7] 林坤佑，**可靠度預估與可靠度試驗之研究**，碩士論文，朝陽科技大學工業工程與管理系，2005。
- [8] 柯輝耀編著，**可靠度保證—工程與管理技術之應用**，中華民國品質學會發行，pp. 201-270，2004。
- [9] 陳耀茂編著，**可靠性分析與管理**，五南圖書出版公司印行，pp. 41-56，pp. 334-337，pp. 343-360，pp. 419-432，1996。
- [10] 楊棋全，**指數與韋伯分佈遺失值之處理**，碩士論文，國立中央大學統計研究所，2004。
- [11] 葉曉雯，**應用直交殘差最小平方法在韋氏分配參數估計**，碩士論文，國立成功大學製造工程研究所，2000。
- [12] Araset, M.V., "How to Identify a Bathtub Hazard Rate," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 36, No. 1, pp. 106-108, 1987.
- [13] Bain, L.J., Englehardt, M., *Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models: Theory and Methods*, 2nd ed., Marcel Dekker, New York, 2002.
- [14] Wang, K.S., Wan, E.H., "Reliability Consideration of Flexible Manufacturing System from Fuzzy Information," *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 10, pp. 44-57, 1992.