

國立勤益科技大學  
電機工程系研究所碩士班  
碩士論文

利用熱影像和可拓方法於配電盤安全評估  
Using thermal image and extension theory for the  
safety assessment of distribution panel



研究生：曾達成

指導老師：王孟輝 教授

中華民國 一百零三年一月

國立勤益科技大學

研究所碩士班

論文口試委員會審定書

本校電機工程系碩士班 曾達成 君

所提論文 應用熱影像和可拓方法於配電盤自動診斷

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

論文口試委員會：

召集人：

李志強

委員：

呂俊峰  
王孟鴻

指導教授：

王孟鴻

所

長：



中華民國 103 年 01 月

# 利用熱影像和可拓方法於 配電盤安全評估

學生：曾達成

指導教授：王孟輝

## 中文摘要

近年來因經濟的高度發展及科技的快速進步，造成電能的耗用與日劇增。經有關單位統計歷年以來的全國火災發生原因，有近 1/3 是電氣類火災所造成，每年電氣類火災死亡人數，約佔全國火災死亡總人數的百分之三十，造成重大的生命財產損失。因此電氣設備的保養及維護非常重要的，如何在電氣設備異常發生初期就能被檢出是非常重要的，即能以適當儀器檢測判別出來，避免持續溫升惡化發生短路起火事故。

供電系統中配電盤是配電系統中相當重要的設備之一，當配電盤供應負載時，在電流通過時會產生不同的熱分佈現象。本文就是利用紅外線檢測為非接觸診斷，時間短、效率高及可在線上執行無須停電，可減低保養人員的負擔，避免人員感電風險等優點，來執行配電盤的檢測作業，辨別不同熱異常點色溫轉換之溫度數值，再利用可拓方法建立熱影像的物元模型。依據電工法規、設備型錄及專家經驗來設定經典域數值，並經過層次分析法來取得適當的權重值；再以關聯函數計算輸入特徵和故障類型之關聯度，經由關聯度之分析可直接診斷出電盤的異常程度，做為後續的維修處理之依據。

關鍵詞：故障診斷、可拓理論、熱影像、關聯度

# **Using thermal image and extension theory for the safety assessment of distribution panel**

Student : Ta-Cheng, Tseng

Advisor : Meng-Hui, Wang

Department of Electrical Engineering,

National Chin-Yi University of Technology

## **Abstract**

The high degree of economic development and rapid advances in technology result in a surge of energy consumption. The authority shows a statistics of nearly 1/3 of fire accidents caused by electrical cases which accounted for 30 percent death in fire annually nationwide. This causes significant loss of life and property. The maintenance of electrical equipment is very important. It is important to detect the abnormality of the electrical equipment early with an appropriate instrument to help avoid the fire accident caused by continuing rise of temperature and the subsequent short circuit. Youyi switchboard is one essential component of the - power supply system; the switchboard produces different heat distribution phenomenon when the electrical current running through it overloads. Here we used infrared detection as non-contact diagnostic ,which leads to the advantages of high efficiency ,celerity and it is able to execute on-line without turning off the power. Therefore, it can reduce the maintaine's personnel and the risk of electric shock ,Used infrared images to distinguish different color temperature thermal anomalies convert temperature values, and then the extension method to establish the thermal image matter-element model. We set the classic field value according to electrical regulations,

equipment catalog and expertise. After AHP, we obtained the appropriate weights. We then analyse the correlation between the input features and the fault values. We can then directly diagnose of the degree of abnormality of the power panel to facilitate subsequent maintenance via the correlation analysis.

**keywords** : Power panel fault diagnosis, Extension method,  
Thermal images, correlation degree.



## 誌謝

首先誠摯的感謝指導教授王孟輝博士，讓我們沉浸在電機的浩瀚學海中能夠初窺門徑。因為有老師深入淺出的教導，使我在上課期間，了解到綠色能源的現況及未來發展趨勢，讓我能夠對於電機實驗中，結合理論與實際讓我能學以致用。

研究題目的訂定及論文撰寫期間，教授更是根據我們的實務職能，讓我們產學結合，用實際的公司案例發展出電盤的安全診斷方法，並適時提供意見與鼓勵，不至讓研究方向偏離主題，讓論文得以如期付梓。另外要感謝華志強教授、呂俊鋒院長，二位口試委員細心的審閱，並對本論文提出許多建議與指正，讓本論文能更加嚴謹、完整。

在研究過程中，特別感謝同班同學子濬、志雄、宗樹、育德、孟錫等，在求學階段相互鼓勵與幫忙，得以在學分修習上能順利完成，特別感謝鐘裕國、陳慕佳學長在論文研究上給予協助。

還要感謝我的家人，在求學的過程中對我的支持與體諒，最要感謝我的妻子謝月娥小姐，謝謝妳於我不在家時操持家務，照顧兒子及母親，讓我可以無後顧之憂的追求學業與工作上的成就，更要謝謝妳讓我擁有二個健康活潑的寶貝兒子。

最後，感謝關心我、幫助過我的人，僅以此小小榮耀與大家分享！

曾達成 謹誌

國立勤益科技大學 電機工程系碩士班

中華民國一〇三年一月

# 目錄

中文摘要 - - - - -	I
英文摘要 - - - - -	II
目錄 - - - - -	IV
表目錄 - - - - -	VII
圖目錄 - - - - -	VII
第一章 緒論 - - - - -	1
1.1 研究目的與動機 - - - - -	1
1.2 文獻探討 - - - - -	4
1.3 現行配電盤檢測的之方法 - - - - -	5
1.4 本文方法與目前做法的差異 - - - - -	7
1.5 應用可拓方法之優點 - - - - -	8
1.6 論文大綱 - - - - -	9
第二章 可拓方法 - - - - -	11
2.1 物元的基本理論 - - - - -	11
2.2 可拓關聯度計算 - - - - -	12
2.2.1 距的定義 - - - - -	12
2.2.2 位置值 - - - - -	12
2.2.3 初等關聯函數 - - - - -	12
2.3 可拓方法之應用 - - - - -	13
2.4 可拓評估方法 - - - - -	15
第三章 特徵權重之決定方法 - - - - -	17
3.1 分解 - - - - -	17
3.2 加權 - - - - -	18
3.3 評估 - - - - -	21

3.4	選擇 -----	22
3.5	成對比值的一致性檢驗-----	22
第四章	本文所提之方法-----	24
4.1	研究架構-----	24
4.2	物元模型的建立-----	27
4.3	研究對象及背景-----	28
4.4	可拓故障診斷法-----	29
4.5	可拓故障診斷程式及流程圖-----	32
第五章	實測結果及討論-----	35
5.1	實測對象說明-----	35
5.2	配電盤影像物元之建立-----	35
5.3	實測和分析-----	36
	5.3.1 變壓器 / 比壓器診斷結果-----	36
	5.3.2 電磁接觸器 / 電驛診斷結果-----	37
	5.3.3 無熔絲開關 / 導線診斷結果-----	41
	5.3.4 燈具/馬達及其他診斷結果-----	45
	5.3.5 診斷結果統計-----	50
第六章	結論與未來展望-----	52
6.1	結論-----	52
6.2	未來展望-----	52
參考文獻-----		54
作者簡介-----		57

## 表目錄

表 1.1	95 年至 99 年的全國火災發生原因統計-----	1
表 1.2	95 年至 99 年的全國火災人員死亡統計-----	2
表 1.3	絕緣電線容許溫度(室內配線裝置規則)-----	5
表 3.1	第一層的權重值計算-----	19
表 3.2	第二層的權重值計算-----	20
表 3.3	優先向量(Priority Vector)-----	23
表 3.4	最終權重值結果-----	23
表 4.1	UIC 模鑄變壓器溫昇限制-----	25
表 4.2	UIC 模鑄變壓器負載溫昇-----	26
表 4.3	電盤故障的物元模型-----	30

## 圖目錄

圖 1.1	配電盤短路事故-----	3
圖 1.2	配電盤局部放大事故-----	3
圖 1.3	停電檢修變壓器清潔作業-----	7
圖 1.4	停電檢修絕緣檢測作業-----	7
圖 2.1	關聯函數曲線-----	13
圖 3.1	配電盤故障因素拆解-----	18
圖 3.2	鐵心故障因素成對相比-----	18
圖 3.3	聯合推算比例-----	19
圖 3.4	鐵心對線圈偏好度-----	19
圖 3.5	第一層權重值計算結果-----	20
圖 3.6	第二層權重值計算結果-----	20
圖 3.7	總合交叉比對 $\rho_A$ 、 $\rho_B$ 第二層權重值算式-----	21
圖 3.8	總合交叉比對 $\rho_A$ 、 $\rho_B$ 第二層權重值計算結果-----	22
圖 4.1	配電盤自動診斷系統之架構-----	25
圖 4.2	比壓器 PT 實體-----	26
圖 4.3	比壓器 PT 之熱影像-----	27
圖 4.4	導線 Cable 異常之熱影像-----	29
圖 4.5	電磁開關 MC 異常之熱影像-----	30
圖 4.6	可拓配電盤故障診斷系統-----	33
圖 4.7	VB 程式選擇載入參數檔-----	33
圖 4.8	可拓診斷系統流程-----	34
圖 5.1	比壓器故障診斷為正常之結果-----	37
圖 5.2	電磁接觸器故障診斷為正常之結果-----	38
圖 5.3	電磁接觸器故障診斷為有風險之結果-----	40

圖 5.4	電磁接觸器故障診斷為異常之結果-----	41
圖 5.5	無熔絲開關故障診斷為正常之結果-----	42
圖 5.6	無熔絲開關故障診斷為有風險之結果-----	44
圖 5.7	無熔絲開關故障診斷為異常之結果-----	45
圖 5.8	燈具故障診斷為有風險之結果-----	47
圖 5.9	馬達故障診斷為正常之結果-----	48
圖 5.10	風扇故障診斷為正常之結果-----	49
圖 5.11	風管洩漏診斷為有風險之結果-----	50



# 第一章 緒論

## 1.1 研究目的與動機

近年來國內因經濟的發展、科技的進步，電能的耗用也與日劇增，從一般家庭到大的工業用戶皆然，依據表 1.1「內政部消防署 95 年至 99 年的全國火災發生原因統計表」資料，電氣設備所造成的火災，佔全國所有火災件數的比例約 32~35%，可見電氣設備平日保養維護有多麼的重要，而在一般住宅、辦公大樓或工廠中配電設備供載電流大，損壞時危害性更大，往往造成起火事故的發生，所以配電設備日常維護保養更為重要，但是一般大眾常忽略的地方，目前配電設備日常維護保養皆無一種安全、可靠且不影響供電的方法，所以往往須等到聞到燒焦味或發現變色，甚至於等到電盤短路事故發生後，才知道配電元件發生問題，因此無法預知危害風險的產生，一直是維護保養人員不可承受的負擔[1]。

表 1.1 95 年至 99 年的全國火災發生原因統計表[2]

		人為縱火	自殺	爐火烹調/ 燭燭	敬神 祭祖 掃墓	菸蒂	電氣 設備	機械 設備	烤火/ 玩火	施工 不慎	化學 品/易燃 品自燃	瓦斯 漏氣 爆炸	燃放 爆竹	交通事故/ 天然 災害	原因 不明	其它	合計
95年	火災次數	480	61	280	142	461	1384	291	74	88	28	57	45	54	104	783	4332
	百分比	11.1%	1.4%	6.5%	3.3%	10.6%	31.9%	6.7%	1.7%	2.0%	0.6%	1.3%	1.0%	1.2%	2.4%	18.1%	100.0%
96年	火災次數	419	42	226	79	334	1122	127	62	85	17	39	24	33	40	743	3392
	百分比	12.4%	1.2%	6.7%	2.3%	9.8%	33.1%	3.7%	1.8%	2.5%	0.5%	1.1%	0.7%	1.0%	1.2%	21.9%	100.0%
97年	火災次數	385	32	162	47	223	1016	91	40	74	12	28	26	26	39	685	2886
	百分比	13.3%	1.1%	5.6%	1.6%	7.7%	35.2%	3.2%	1.4%	2.6%	0.4%	1.0%	0.9%	0.9%	1.4%	23.7%	100.0%
98年	火災次數	294	39	122	48	347	846	70	28	64	13	37	35	14	66	598	2621
	百分比	11.2%	1.5%	4.7%	1.8%	13.2%	32.3%	2.7%	1.1%	2.4%	0.5%	1.4%	1.3%	0.5%	2.5%	22.8%	100.0%
99年	火災次數	271	25	112	52	164	747	51	30	46	15	21	31	25	18	578	2186
	百分比	12.4%	1.1%	5.1%	2.4%	7.5%	34.2%	2.3%	1.4%	2.1%	0.7%	1.0%	1.4%	1.1%	0.8%	26.4%	100.0%

現今配電設備的檢查使用紅外線影像儀已相當廣泛，可以在日常點檢當中，找出因一些設備的瑕疵、安裝不良、環境因素或長時間使

用熱脹冷縮，而造成供電設備的接點鬆脫、線圈熱蓄積造成絕緣劣化，引發電力事故，而熱蓄積是一個緩慢的過程，可能為一個月，也可能是一年，我們只要在配電設備有危害性發生前，一定溫升值以上時即進行計畫性改善，從根本解決引起配電盤短路而發生火災事故成因，避免造成生命及財產的損失，依據表 1.2「內政部消防署 95 年至 99 年的全國火災死亡人數統計表」資料，電氣設備火災每年的死亡人數約 26~41 人，佔全國每年所有火災死亡總人數的比例約 25~38%，可見因電氣設備事故所引發的火災比例佔 1/3 強，造成全國人民生命財產鉅大的損失。

表 1.2 95 年至 99 年的全國火災死亡人數統計表[3]

		自殺	人為縱火	電氣設備	菸蒂	燈燭	爐火烹調	玩火	施工不慎	敬神掃墓祭祖	瓦斯漏氣爆炸	其他	合計
95年	死亡人數	19	7	32	18	0	2	8	2	3	6	28	125
	百分比	15.2%	5.6%	25.6%	14.4%	0.0%	1.6%	6.4%	1.6%	2.4%	4.8%	22.4%	100.0%
96年	死亡人數	11	17	41	10	2	5	9	4	2	1	18	120
	百分比	9.2%	14.2%	34.2%	8.3%	1.7%	4.2%	7.5%	3.3%	1.7%	0.8%	15.0%	100.0%
97年	死亡人數	14	3	39	13	4	3	3	1	4	1	16	101
	百分比	13.9%	3.0%	38.6%	12.9%	4.0%	3.0%	3.0%	1.0%	4.0%	1.0%	15.8%	100.0%
98年	死亡人數	13	15	30	10	3	9	8	4	3	2	20	117
	百分比	11.1%	12.8%	25.6%	8.5%	2.6%	7.7%	6.8%	3.4%	2.6%	1.7%	17.1%	100.0%
99年	死亡人數	3	11	26	4	0	3	1	0	2	3	31	84
	百分比	3.6%	13.1%	31.0%	4.8%	0.0%	3.6%	1.2%	0.0%	2.4%	3.6%	36.9%	100.0%

個人從事工廠的電力系統維護已超過 15 年，也處理過很多的配電盤元件的異常維修，以及電盤短路起火事故，如圖 1.1 及圖 1.2 所顯示，深切感覺能在配電盤的故障前檢出是非常重要的，事故前發現異常可立即協調轉移負載至其他饋線，將異常設備做斷電隔離來進行維修，避免故障短路造成災害的擴大，以及影響生產線的運作，也因為在電盤發生短路事故後，所有人都關注著你的處理復原進度，偏偏有一些配電元件又需要數天的交期，因此在處理事情上也承受極大的壓力，所以說異常發生前的檢出及判斷是非常重要的，寧可事前備好

料件計畫性維修，也比異常短路發生後的緊急搶修來的重要，所以擬訂此研究課題來改善電力系統供應妥善率，以減輕廠務維修人員的負擔，也可減少工廠因異常停止生產的損失。

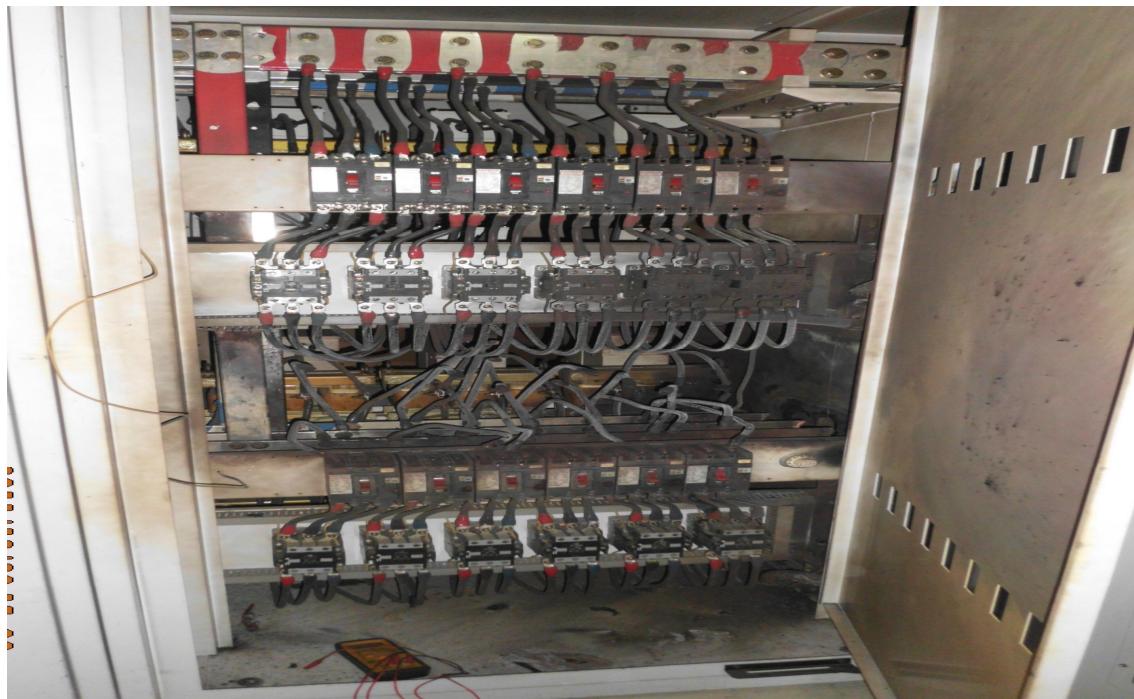


圖 1.1 配電盤事故相片



圖 1.2 配電盤事故局部放大相片

## 1.2 文獻探討

本論文應用紅外線拍攝熱影像，來進行配電盤的故障診斷，當配電設備流過電流時，會於流通線路上的接點、元件上產生局部過熱現象向週邊輻射出紅外線，其波長約略介於  $0.75\mu\text{m}$  到  $1000\mu\text{m}$  之間，又因為人類的眼睛可辨識光的波長，約僅在  $0.4\mu\text{m}$  到  $0.75\mu\text{m}$  之間 [4-5]，所以必須借由紅外線儀器將裸露部份檢測出來，並以故障點為中心的熱漸層分佈呈現，我們稱之為外部熱故障特徵；而另一種發生於供電設備內部的局部過熱現象，因為紅外線在固體及液體內穿透力極差，所以有人以部分放電(Partial discharge)或超音波儀器來檢測 [6-8]，但仍可經由傳導、對流及輻射方式將熱顯現於外殼或設備表面，稱之為內部熱故障特徵[9]，電力設備紅外線檢測的判別方法有：

(1) 溫度判別法：即直接讀出溫數值進行判斷，是否超過該項

設備容許溫度。

(2) 相對溫差法：是排除負載重、環境溫度等對檢測溫度的影

響，與相同設備在相近電流值、規格型號等狀況相同時，

進行比較，如表示式 1.1 所示。

$$\Delta T(\%) = \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) \times 100\% \quad (1.1)$$

$T_1$ ：溫度較高測點的溫升(K)

$T_2$ ：溫度較低測點的溫升(K)

當  $\Delta T(\%) \geq 35\%$  時，即可判定設備有異常。

(3) 同類比較法：是指同一迴路同類設備或同一設備三相間進行比較。

(4) 存檔資料比較法：是指同一設備檢測的歷史資料，進行趨勢追蹤的比較。

而比壓器、比流器則採用三相相間檢出的溫度進行比較診斷，避雷器正常時溫度會均勻分布，但異常時會局部或單邊出現不均勻現象，電力電容器故障時會在側面三分之二的高度出現最高溫度，電纜內部異常時會在表面出現過熱現象，導體因施工不良或接點鬆脫，很容易發生過熱現象，而根據室內配線裝置規則規定，不同種類導線容許最高溫度，如下表 1.3 所示。

表 1.3 絶緣電線容許溫度(室內配線裝置規則) [10]

絕緣電線之種類	絕緣物容許溫度
PVC電線	60°C
RB電線 (指天然橡膠之混合絕緣物)	60°C
耐熱PVC電線	75°C
PE電線 (POLYETHYLENE)	75°C
SBR電線 (STRENE BUTADIENE RUBBER)	75°C
人造橡膠電線 (BUTYL RUBBER)	80°C
EP橡膠電線 (ETEYLENE PROPYLENE RUBBER)	90°C
交連PE電線 (CROSSLINKED POLYETHYLENE)	90°C

本文是藉由紅外線儀器的檢測，來進行預先檢測並診斷配電設備的潛在故障因素[11]，又因配電設備種類繁多，每個設備耐溫程度又不同，所以需利用上述的電力設備紅外線檢測的判別方法，來進行本文之可拓方法來進行配電盤紅外線的故障診斷，避免因個別負載的不同、電流的大小、人為經驗的多寡、受測物材質的反射率設定[12]及人為疏失，而造成配設備紅外線檢測的結果的誤判，影響供電設備的正常運作，甚至造成人命產產的損失。

### 1.3 現行配電盤檢測之方法

依據專任電氣技術人員及用電設備檢驗維護業管理規則[13]第 9 條規定，「用電場所負責人應督同專任電氣技術人員，對所經營之用

電設備，每六個月至少檢驗一次，每年應至少停電檢驗一次。檢驗結果應依作成紀錄並於檢驗後次月十五日前，將檢驗紀錄表分送原登記地方主管機關及所在地電業營業處所備查」，所以目前的做法是與合格檢驗維護業者簽訂維護合約，每年定期停電清潔及檢測電路是否正常，如圖 1.3 及圖 1.4 所顯示，由於都必須先停電，再用量測高壓的儀器，檢測供電迴路的絕緣阻值，來作為故障與否的判斷依據，此種方法因為儀器會輸出一直流高電壓，來模擬供載 1.5 倍的高壓電加諸於高壓配電設備上，檢測出配電設備電流洩漏狀況，紀錄電流洩漏讀值後再回公司換算為絕緣阻抗  $M\Omega$  值，然後再出據檢測報告書，經電機技師覆核簽章後交給委託的業者，做為半年配電設備檢修申報之用，現行做法也具有相當高的危險性，所以須委託合格的機電檢測顧問公司的團隊來執行，由停電檢測日收到檢測報告書往往耗時月餘，更何況每每於新聞報導中得知，維修送電中發生工安感電意外，是一種危險性高、需動用很多人力、且須耗費數天的時間、因停電也造成工廠產能的損失及獲得檢測結果須費時月餘，所以是一種耗工、耗時、又很花錢的方法，在景氣暢旺的訂單需求時，更是無法施行每年的停電檢測作業，所以依據產業景氣的循環數年才進行停電檢測作業的公司大有人在，有違反法規的疑慮，更何況停送電及檢測過程中，也隱藏有一定的危險性存在。

第二種為委由機電檢測合約廠商或自行購買紅外線儀器，應用紅外線溫度槍或紅外線檢測儀，來進行配電盤設備的日常點檢保養作業，由於人員直接判別檢測數據，僅能辨別出嚴重異常與否，無法作風險及異常等級的判別，來進行追蹤分析，防範潛在的風險於未然，再者，如模鑄式變壓器、有外殼遮擋的配電元件，其異常點溫升所散發的紅外線輻射也一併被遮罩，一般經由目視紅外線儀器直接判別的

方式[14]，也無法診斷出潛在的風險及異常。



圖 1.3 停電檢修變壓器清潔作業相片



圖 1.4 停電檢修絕緣檢測作業相片

#### 1.4 本文方法與目前作法的差異

配電盤設備隨著環境、電流大小、安裝的方式、螺絲的鬆緊都可能產生不同溫度上的變化，而本文因應此種溫升的變化，應用可拓方法將之進行數值化、科學化的分析，在利用上節所述的紅外線顯像設備檢測的影像，取其省時、便利性及安全性等特點，來解決供載中配電盤元件異常檢出的問題，先依據各種配電設備運轉特性分類，再依

據電工法規、設備型錄資料及經驗法則，來設定各種設備的耐溫程度經典域數值，然後選定熱影像圖片的最高溫升點，依據各個元件的電氣合格標準判別出配電盤元件的正常或異常。

近年來幸賴半導體產業的高速發展及進步，使得原本主要應用於軍事工業的紅外線技術，也因為紅外線影像設備準確度高、體積小、重量輕等優點，很快地轉換應用於民生方面，也因為民間需求的快速運用於感應控制、防盜需求及延伸利用來測距...等，使得紅外線產業又再一次的蓬勃發展，造成普及化使得價格更趨親民合理，使得紅外線檢測運用於配電盤診斷也越來越普及。本文的方法就是利用紅外線顯像儀的優點，非接觸、節省時間、效率高、不必斷電，負載電流越大檢測出異常的準確率越高[15]，結合可拓方法的故障診斷程式可以自動診斷出結果[16]，避免測出的數據因人員經驗不足或判別失誤的風險，忽略了潛在的未知風險，一般紅外線影像的檢測工作，需要受過專業訓練獲得 ASNT NDT Level I 認證資格的人員才能正確做出判斷[17]，而受 ASNT Level I 訓練需花費數萬元及超過 30 個小時的時間，且須通過測驗方能獲得資格認證，這是一般企業主無法接受的額外負擔。

而本文所提之方法僅需受過三十分鐘基本的操作訓練，就能執行故障診斷程式的操作，立即可上手無須多餘費用，故本方法尚有省錢省時的優點，因此本文提出利用可拓方法，將配電盤元件量測溫度差異數值建立成物元模型，藉由事物、特徵及量值多維矩陣的方式來分析，對於配電元件過熱風險進行科學的、客觀的數學計算，藉由關聯函數計算結果來發現異常及潛在的風險，屏除人員誤判的情況發生。

## 1.5 應用可拓方法的優點

本文提供一種可以節省人工、不破壞、檢測快速、準確率高、且

節省成本之方法，來自動診斷配電盤設備，使用目前已廣泛運用的熱影像儀器，直接拍攝供電設備熱分佈之熱影像，再利用可拓方法的診斷程式，來分析溫升點對於配電盤故障程度的診斷，可預先發現異常設備及潛在的風險，做為後續異常改善的考依據，將診斷檔案做成存檔紀錄後，在資料累積一段時間後，還可預測出有風險設備的劣化溫升趨勢圖，做為每年計畫性停電歲修的改善項目，本文所提出方法之優點包括：

- (1) 可遠距離量測，不必接觸帶電部位，避免人員感電風險。
- (2) 診斷時間短，效率高，可減低保養人員的負擔。
- (3) 可以預先診斷出即將過熱之元件，減少短路事故之發生。
- (4) 準確率高、節省時間及成本，簡單訓練後人人可以操作。
- (5) 可提供使用者對特徵有真實而清楚的數值分析，判別出電盤元件損壞的程度。

## 1.6 論文大綱

本論文共分為六章節，各章內容如下：

### 第一章 緒論

主要是介紹本論文的研究目的與動機、目前電盤檢測做法，以及本文所提方法之差異，及應用可拓方法診斷之優點概述。

### 第二章 可拓方法

可拓方法主要應用物元理論及可拓數學，來解決配電盤元件的故障診斷，先建立物元模型、再以可拓關聯度計算出的數值，乘以各特徵的權重值，即可由關聯函數計算值的大小來判別是屬於何種程度的故障。

### 第三章 特徵權重之決定方法

應用層級分析法將複雜的決策模式拆解成數個小部份，再將拆解後的小部分組織成為一個樹狀的層次結構。然後，對每一個部份的相對重要性給予權數值，然後進行分析出各個部份權重。

#### 第四章 本文所提之方法

本章是敘述系統架構、物元模型的建立、研究對象的背景，可拓故障診斷法說明操作的步驟及流程圖。

#### 第五章 實測結果與討論

本章說明配電盤各種元件熱影像診斷之結果、測試結果之統計分析，探討準確率及誤差率，作為驗證實用性的依據。

#### 第六章 結論與未來展望

將本論文的成果作介紹，以及可拓展不同領域應用，期能對異常的診斷作出實用的貢獻。



## 第二章 可拓方法

可拓方法是利用可拓理論解決矛盾問題的工具，將所有事物以可拓學量化的方式，利用定量和定性兩個角度去研究解決矛盾的問題，可拓方法的兩大支柱依據是，物元理論和可拓集合理論[18]。

### 2.1 物元的基本理論

本論文使用可拓方法，是 1983 年大陸學者蔡文所提出，經由定性及定量的角度，可以解決不相容、虛實、真偽及顯潛的問題，應用物元理論及可拓集合理論的想法，以物元的可拓性為依據的物元變換的方式來解決矛盾的問題，藉由建立可拓域和臨界元素來進行質量變換，達到數值化及具體化，應用可拓理論將物元經過不斷特徵及量值的轉換，使得原本不相容難以解決的問題得到科學化、簡單數學化的方式來解答，可應用在診斷、決策、控制、辨識等方面，物元的定義包括三個元素，其中的名稱為  $N$ ，例如變壓器、電磁接觸器、電驛、無熔絲開關...等，其關於特徵  $C$ ，例如鐵心、線圈、接點、本體、導線...等的溫度，的量值為  $v$ ，例如  $56.88^{\circ}\text{C}$  則可描述事物的物元為：

$$R_j = (N, C, v) \quad (2.1)$$

事物的名稱  $N$ 、特徵  $C$  和量值  $V$  稱物元三要素。多維物元設事物有  $n$  個特徵分別為  $C_1, C_2, \dots, C_n$ ，其對應的量值分別為  $v_1, v_2, \dots, v_n$ ，則物元的表示式為：

$$\mathbf{R}_j = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_1 \\ \mathbf{R}_2 \\ \dots \\ \mathbf{R}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N, & C_1, & V_1 \\ & C_2, & V_2 \\ & \dots & \dots \\ & C_n, & V_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

或簡化成

$$\mathbf{R}_j = (N_j, C_j, V_j) \quad (2.3)$$

## 2.2 可拓關聯度計算

### 2.2.1 距的定義

設  $X$  為實域點， $X_0 = \langle a, b \rangle$  為一實域上任一區間，則點  $X$  與區  $(-\infty, \infty)$  上任一點，則點  $X$  與區間  $X_0$  的距定義為：

$$\rho(x, X_0) = \left| x - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{|b-a|}{2} \quad (2.4)$$

### 2.2.2 位置值(位值)

可拓集中除需考慮點與區間的位置關係外，經常須考慮一個點對兩區間之位置關係。設  $X_0 = \langle a, b \rangle$ ， $X_p = \langle c, d \rangle$  為實域上之二區間，且  $X_0 \subset X_p$ ，則點  $x$  關於  $X_0, X_p$  之距為：

$$D(x, X_0, X_p) = \begin{cases} \rho(x, X_p) - \rho(x, X_0) & x \notin X_0 \\ -1 & x \in X_0 \end{cases} \quad (2.5)$$

### 2.2.3 初等關聯函數

設  $X_0 = \langle a, b \rangle$ ， $X_p = \langle c, d \rangle$ ， $X_0 \in X_p$  且無公共端點，則初等關聯函數為：

$$K(x) = \frac{\rho(x, X_0)}{D(x, X_0, X_p)} \quad (2.6)$$

則

- (1)  $x \in X_0$  , 且  $x \neq a, b \Leftrightarrow k(x) > 0$
- (2)  $x = a$  或  $x = b \Leftrightarrow k(x) = 0$
- (3)  $X \notin X_p, X \in X_0, X \neq a, b, c, d \Leftrightarrow -1 < K(X) < 0$
- (4)  $x = c$  或  $x = d \Leftrightarrow k(x) = -1$
- (5)  $X \notin X_p$  且  $X \neq c, d \Leftrightarrow K(x) < -1$

稱  $K(x)$  為  $x$  於區間  $X_0, X_p$  的關聯函數，關聯函數相關特性，如圖 2.1 所顯示。

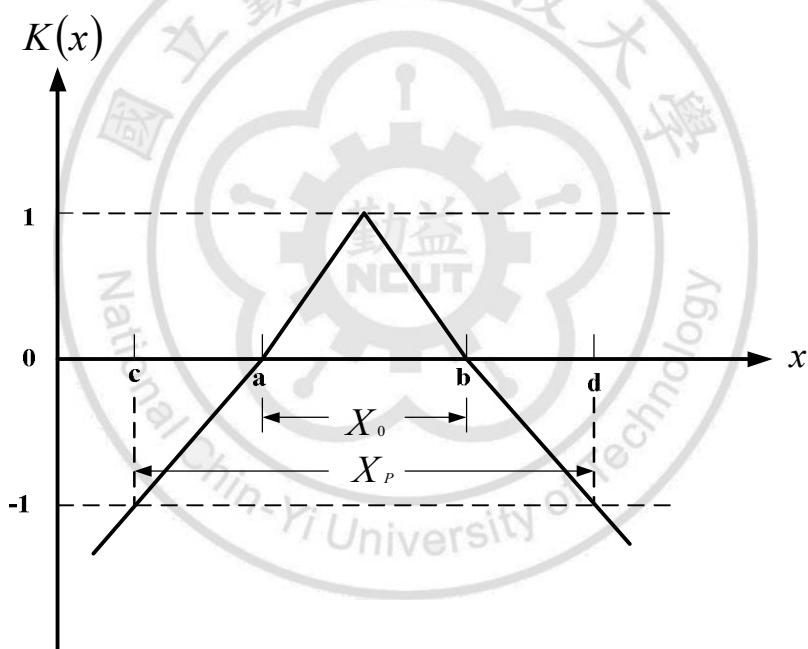


圖 2.1 關聯函數曲線圖

當時測數值  $X$  若位於  $(a, b)$  之間，關聯函數計算值顯示於  $(0, 1)$  之間，即為  $X \in X_0$  稱之為經典域，關聯函數計算值越是接近 1，表示越有代表發生該等第故障程度的可能性越高，若是  $X$  若位於  $(c, d)$  之間，關聯函數計算值顯示於  $(-1, 0)$  之間，即為  $X \in X_p$  稱之為可拓域，關聯

函數計算值越是接近-1，則表示越不可能發生該等第故障程度的可能性就越高，如此就能準確的判斷出結果。

### 2.3 可拓方法之應用

可拓方法也可以結合其他方面的專業，擴展應用到各個領域，目前可於各類期刊或專業雜誌看到，可拓方法應用於工業、農業、經濟、醫學、生物等領域[19-21]，所以本文也應用以紅外線電盤的檢測方式，運用以往的經驗及參考各器具的材質設定出各個經典域，靠菱形思維方法以不同面向，來自動診斷出紅外線電盤的檢測的判別，是結合可拓方法、紅外線影像、再依據各種電氣耐溫標準的綜合故障診斷方法，減少對經驗法則的依賴及人為誤判，以獲得最客觀、較準確的結果。

配電盤設備不同溫度上的變化，而此種變化可應用可拓方法來評估，事物變化的可能性則可稱為物元的可拓性，而將物元的可拓性和物元變換的性質構成了物元理論。然而當系統太過複雜難以由人力簡單判別時，一般則需借助人工智慧或電算機運算的方法來獲得解答。本法是利用紅外線顯像設備的便利性及安全性等特點，解決供載中配電盤元件異常的檢出問題，選定熱影像圖片的最高溫升點，依據熱影像圖片的顏色條塊上下限值進行溫度數值的轉換，再依據各個元件的電氣合格標準載入參數值，將轉換的溫度數值作為實測值，與標準值做關聯含數的計算，然後自動判別出配電盤元件的正常或異常程度。

將各個配電盤元件分別定義出不同的物元名稱、特徵及量值形成可拓集合，藉由可拓集合定量化的描述出配電盤元件的可變性，進而建立了關聯函數，界定出任一元素的正域、負域或臨界值，所以可以根據不同的選擇路徑，能得到如實數般全領域的問題解決方法，而在其間我們必先考慮到設定合格條件，依據主觀想法訂定適當的權重

值，以作為關聯含數的權係數，計算出關聯含數值，再比較關聯含數值的大小，進而判別出各個配電盤元件的合格度[22]，診斷出配電盤各個元件的異常與否，以做為後續維修改善的依據。

## 2.4 可拓評估方法

可拓方法是應用可拓工程、可拓邏輯來進行事務的評估，而物元理論是研究物元變化的可能性，即為物元的可拓性，透過物元變換的方式，來解決物元矛盾及不相容的問題。也就是本論文所提出的方法，把配電盤內主要的元件所產生溫度數值，建立為物元的模型，以關聯函數來進行可拓關聯度的運算，數值經過正規化計算後以(-1,1)來顯現，數值越接近1即表示越能代表該等第的故障程度，越是接近-1即代表越不可能為該等第的故障程度，所以單就可拓關聯度的運算結果數值，正規化後就能準確判別出故障程度。

本文所提方法可比一般邏輯的判斷非1即0，若做為電盤故障診斷使用，就能判別出合格與不合格，不能發現有風險的狀況，這樣完全不能處理矛盾及不確定性的問題，無法容許有模糊的空間，後來1965年查德(L.A. Zadeh)提出了模糊集合理論[23]，模糊理論可以解決模糊空間的問題，但集合函數僅能解決(0,1)，所以可拓方法進一步將集合的空間由(0,1)擴展到 $(-\infty, \infty)$ [24]，診斷出配電盤異常與否，以為後續處置的參考。

本文可拓方法是可描述事物變化的可變性，把是或不是的定性描述發展為定量的描述，並將“是中有非”及“非中有是”的過程作具體描述，例如變壓器設備中可能鐵心、線圈的診斷結果是“合格”的，但接點的分項診斷結果是“有風險的”情況發生，但又不足以危害整體設備的運作，像這種情況僅需要將檢查週期縮短，給予持續定期檢測的關注即可；另外例如電磁接觸器設備診斷結果是“有風險”，其中可能線

圈的診斷結果是“合格”的，但接點、導線的分項診斷結果是“有風險”的情況發生，像這種情況發生時就必須考量危害性，依以往的經驗給予權重值較大的接點項目，就是電磁接觸器設備維護的重點，所以必須看看是否螺絲鬆脫重新鎖緊即可，這樣就不需要整組電磁接觸器換新品，就可解決電磁接觸器設備診斷結果是“有風險”的異常狀況。



### 第三章 特徵權重之決定方法

因為選取適當的權重值，能使關聯函數計算的結果，更為準確辨別出配電盤的故障與否，所以本文特別運用湯瑪士·沙提(Thomas L. Saaty)教授所發明的層次分析法((Analytical Hierarchy Process, 簡稱 AHP.) [25]，來驗證設定的權重值是否為最優值，而層次分析法是將複雜的決策模式拆解成數個小部份，再將拆解後的小部分組織成為一個樹狀的層次結構。然後，對每一個部份的相對重要性給予權數值，然後進行分析出各個部份優先權[26]，AHP.分析包含分解、加權、評估及選擇 4 個步驟：

#### 3.1 分解

將整個問題分解為多個小問題。例如、將配電盤的異常拆解成多個類別元件因素，變壓器/比壓器等鐵心類元件，這一類的異常影響因素拆分成鐵心、線圈、接點三部分；將電磁接觸器/電力電驛等線圈類元件，這一類的異常影響因素拆分成線圈、接點、電線三部分；將無熔絲開關/電纜等非發熱類元件，這一類的異常影響因素拆分成本體、接點、電線三部分，如圖 3.1 配電盤故障因素拆解圖所示。

以配電盤故障因素來看，每一種類別根據筆者以往的保養維修經驗，可利用變壓器/比壓器類、電磁接觸器/電力電驛、無熔絲開關/電纜類等，各元素特徵之重要性稱為權重，因為不是樹狀結構的最底層，所以稱為第二層權重，也可以稱為總合權重值。而以各類別元件來看，根據筆者經驗給予主觀的百分比權重，因為各個權重值的選擇直接會影響到本論文可拓方法連函數值的計算結果，所以利用層次分析法來獲得最佳的權重值。

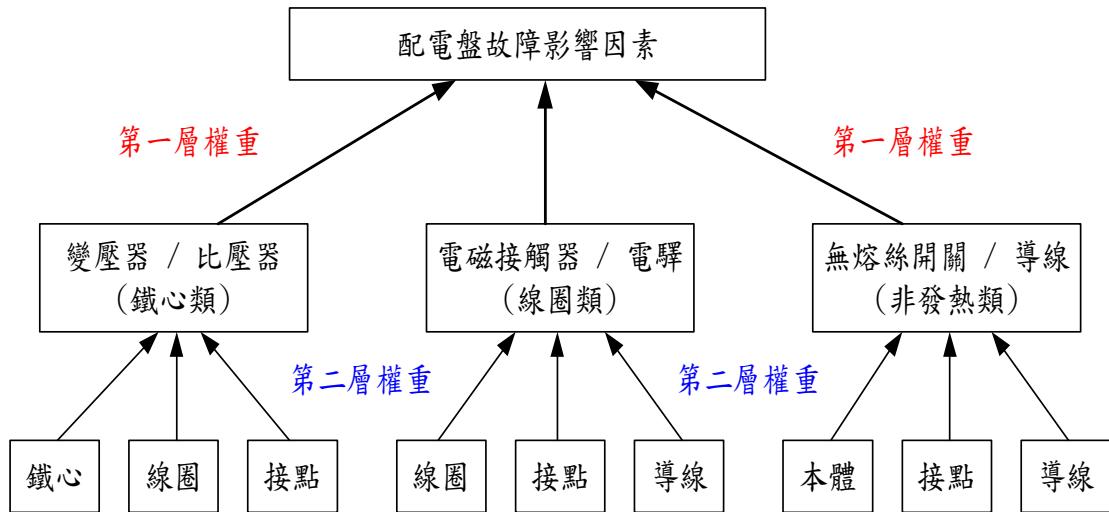


圖 3.1 配電盤故障因素拆解圖

### 3.2 加權

依據主觀上認定三個小部分評選條件的權重值，例如：鐵心(0.2)、線圈(0.4)、接點(0.4)，做兩兩成對相比並從其偏移的比例  $p:q$  推算出其權數，即是將多個比較項目簡化拆解成一對一的比較，再依比較的結果製成多維矩陣圖，以取得各個權重值如圖 3.2。

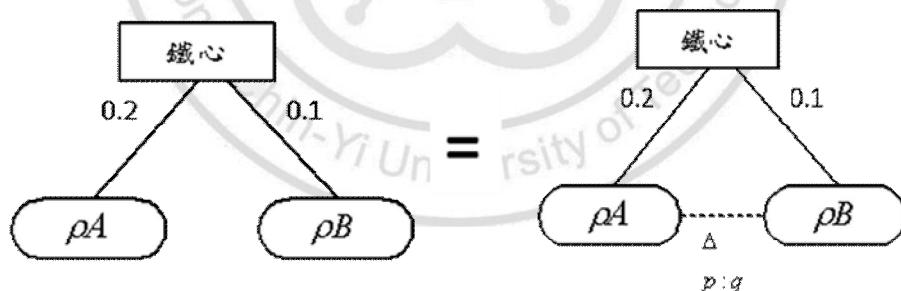


圖 3.2 鐵心故障因素成對相比圖

由此可看出鐵心、線圈、接點的權數值比為  $2:4:4$ ，可利用偏好度比較出兩兩的比值關係，例如：鐵心、線圈的比值為  $1:2$ ；線圈、接點的比值為  $1:1$ ；接點、鐵心的比值為  $1:2$ ，以此類推，兩兩比較之偏移比例，可以聯合推算出其各別對變壓器/比壓器的異常影響因素權數比為  $\omega_x : \omega_y : \omega_z$ ，如圖 3.3。

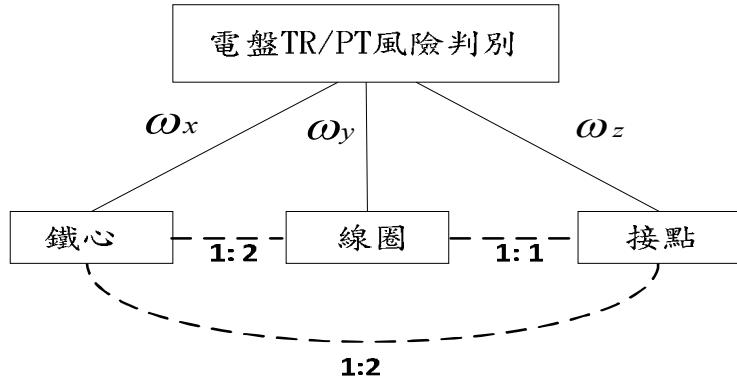


圖 3.3 聯合推算比例圖

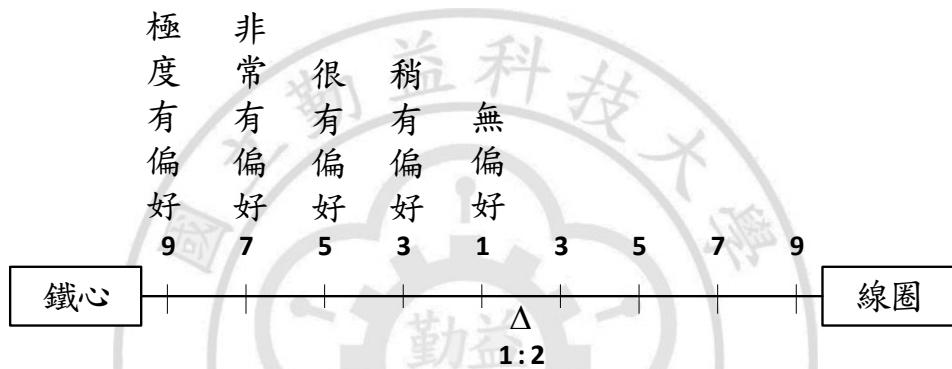


圖 3.4 鐵心對線圈偏好度圖

鐵心對線圈的偏好度比值為 1:2，比差值由 1 到 9，比差值越大就表示遍耗程度越高，如圖 3.4 所示。利用 AHP 方法都輸入鐵心：線圈、鐵心：接點、線圈：接點的比值如下表：將左邊表格數值除以欄總和值，得到右邊表格數值，而 PV 值為各列的平均值，求得電盤元件變壓器/比壓器對於鐵心、線圈、接點的第一層的權重值如下表 3.1 所示：

表 3.1 第一層的權重值算式表

	鐵心	線圈	接點			鐵心	線圈	接點	PV
鐵心	1	1:2	1:2	$\omega_x$	$\Rightarrow$	鐵心	1/5	1/5	1/5
線圈	2:1	1	1:1	$\omega_y$		線圈	2/5	2/5	2/5
接點	2:1	1:1	1	$\omega_z$		接點	2/5	2/5	2/5
欄總和	5	2.5	2.5			欄總和	5	2.5	2.5

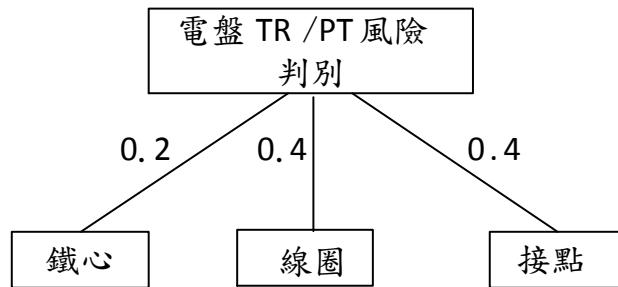


圖 3.5 第一層權重值計算結果

依據上述方法續求接點對於  $\rho_A$ 、 $\rho_B$  的第二層的權重值計算結果如下圖 3.5 所示。

表 3.2 第二層的權重值算式表

	$\rho_A$	$\rho_B$	PV		$\rho_A$	$\rho_B$	PV(列平均)	
$\rho_A$	1	2:5			$\rho_A$	2/7	2/5 x 5/7	2/7
$\rho_B$	5:2	1			$\rho_B$	5/2 x 2/7	5/7	5/7
欄總和	7/2	7/5						

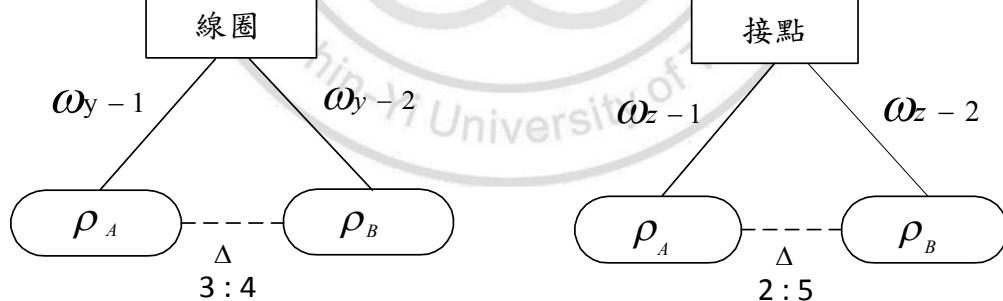


圖 3.6 接點第二層的權重值計算結果

根據上述計算方法算即可得出線圈及接點分項交叉比對  $\rho_A$ 、 $\rho_B$  權重值結果為 3:4 及 2:5，即表示線圈權重  $\rho_B$  相對於  $\rho_A$  的適合程度為 1.33，接點權重  $\rho_B$  相對於  $\rho_A$  的適合程度為 2.5，如圖 3.6 所示。

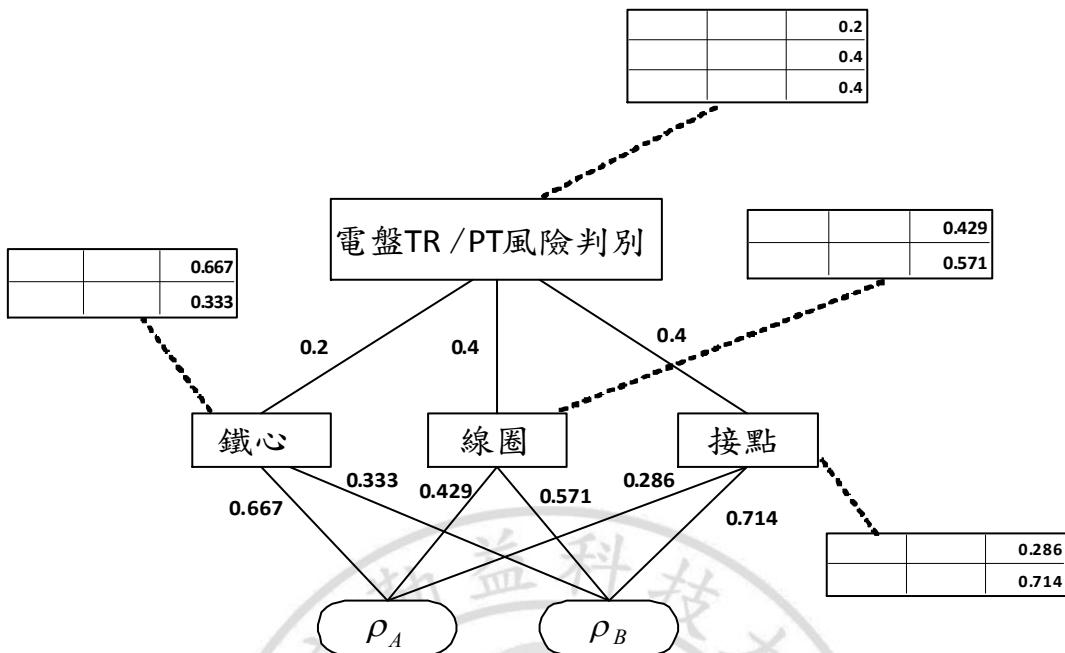


圖 3.7 總合交叉比對  $\rho_A$ 、 $\rho_B$  第二層權重值算式

### 3.3 評估

$\rho_A$  對「鐵心」的貢獻度為 0.2，而「鐵心」對總目標(即「TR./PT. 的異常影響」)的貢獻度為 0.2，所以  $\rho_A$  透過「鐵心」對總目標的貢獻度為： $0.2 * 0.2 = 0.04$ ； $\rho_A$  對「線圈」的貢獻度為 0.3，而「線圈」對總目標(即「TR./PT. 的異常影響」)的貢獻度為 0.4 的計算式，如圖 3.7 所示，所以  $\rho_A$  透過「線圈」對總目標的貢獻度為： $0.3 * 0.4 = 0.12$ ； $\rho_A$  對「接點」的貢獻度為 0.2，而「接點」對總目標(即「TR./PT. 的異常影響」)的貢獻度為 0.4，所以  $\rho_A$  透過「接點」對總目標的貢獻度為： $0.2 * 0.4 = 0.08$ 。所以可算出  $\rho_A$  所表現的對總目標度貢獻為： $0.04 + 0.12 + 0.08 = 0.24$ ，如圖 3.8 所示。

以此類推， $\rho_B$  透過「鐵心」對總目標的貢獻度為： $0.1 * 0.2 = 0.02$ ； $\rho_B$  透過「線圈」對總目標的貢獻度為： $0.4 * 0.4 = 0.16$ ； $\rho_B$  透過「接

點」對總目標的貢獻度為： $0.5 * 0.4 = 0.2$ ；所以可算出  $\rho_B$  所表現的對總目標度貢獻為： $0.02 + 0.16 + 0.2 = 0.38$ 。

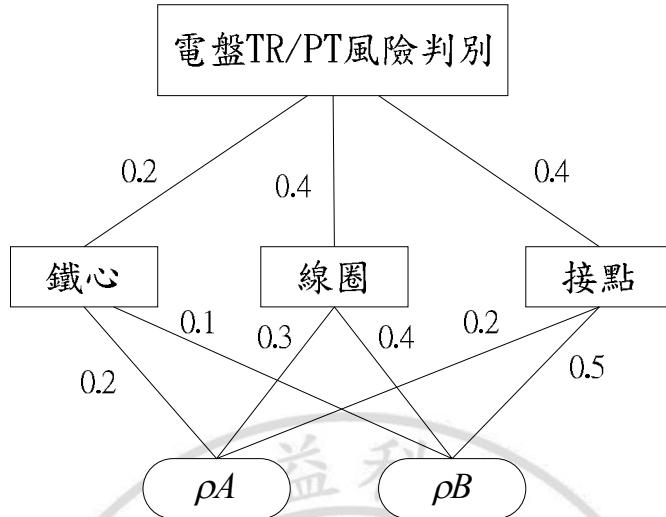


圖 3.8 總合交叉比對  $\rho_A$ 、 $\rho_B$  第二層權重值結果

### 3.4 選擇

所以依據上面的計算評估結果， $\rho_A$  所表現的對總目標度貢獻為 0.24， $\rho_B$  所表現的對總目標度貢獻為： 0.38，所以建議： $\rho_B$  是較好的權重值選擇，也就是  $\rho_B$  分別對於鐵心、線圈、接點的比值選 1:4:5 會優於  $\rho_A$  的權重值設定 2:3:2，所以在變壓器/比壓器等鐵心類設備的關聯函數計算時，對於鐵心、線圈、接點的權重值比例應選擇比值選 1:4:5。

### 3.5 成對比值的一致性檢驗

就是因為權重值的選擇，會嚴重的影響到關聯函數計算結果，所以運用層次分析法來驗證，設定的權重值是否為最優化的數值。另外，本文之診斷程式中特別使用加重權值的方式，可以使該電盤檢測出異常時，能更有效反應出來，所以本實驗除了選取最高溫度為特徵值外，尚於關連函數判別有異常時，加重權值為原權重值  $\rho_1$  乘以 3

倍、關連函數判別有風險時，加重權值為原權重值  $\rho_2$  乘以 2 倍，期以獲得最精確的判別結果，避免因個人偏好或失誤選擇錯誤權重比值，變壓器/比壓器等鐵心類設備的最佳權重值稱之為優先向量，如表 3.3 所示；依此類推可計算出各類元件最佳權重值結果，如表 3.4 所示。

表 3.3 優先向量(Priority Vector)

	鐵心	線圈	接點	PV
鐵心	1/5	1/5	1/5	1/5
線圈	2/5	2/5	2/5	2/5
接點	2/5	2/5	2/5	2/5
欄總和	5	2.5	2.5	

表 3.4 最終權重值結果

負載名稱	特徵	權重值
變壓器 / 比壓器	鐵心	0.2
	線圈	0.4
	接點	0.4
電磁接觸器 / 電驛	線圈	0.2
	接點	0.5
	導線	0.3
無熔絲開關 / 導線	本體	0.2
	接點	0.5
	導線	0.3

## 第四章 本文所提之方法

利用熱影像來檢測配電盤故障前之熱異常，必須要有一台可拍出供載中配電盤之熱影像的儀器，並且要可以下載紅外線相片存檔，並使用電腦來執行一套用來判別異常與否的軟體，此軟體必須要具備有，可建立各種熱影像的色溫轉換為溫度數值，及可輸入物元模型，和計算出可拓關聯度的能力，來比對判別異常與否，並可以知道是否有其他潛在有風險疑慮元件，以利後續追蹤及維修的處理依據[27]。

### 4.1 研究架構

本研究是利用由現場人員拍下配電盤之紅外線影像，凡最高溫度大於  $45^{\circ}\text{C}$ ，或同設備三相溫度差大於  $5^{\circ}\text{C}$ ，即先判定為非正常需將影像存檔，完成後回辦公室即可個人電腦執行診斷程式，先選擇元件類型，利用程式編輯人機介面載入參數及存檔相片，程式會擷取熱影像每點轉換為溫度數值，還要有可以輸入溫度範圍區塊當作特徵上下限值，點選顏色區塊最高溫度異常的點，建立待測物元模型的數值，就可以進行計算關聯度來判別點選區域異常程度，同時在判別結果出現時，就可以知道故障點位置在哪，並且可以在一般照片上以圖示紅色“ $\times$ ”閃爍來表示異常、圖示黃色“ $\triangle$ ”閃爍來表示有風險、圖示綠色“ $\square$ ”閃爍來表示正常，提示出故障設備後續的應有處置措施為何，整個診斷系統整體架構，如圖 4.1 所示。

本研究使用一般配電盤常用元件，包含有導線、端子接頭、乾式變壓器、比壓器、無熔絲開關、電力電驛、電磁接觸器及積熱電驛等，就以乾式變壓器為例，依據該配元件目錄規格表，如表 4.1「UIC 模鑄變壓器溫昇限制表」及表 4.2「UIC 模鑄變壓器負載溫昇表」，H 級絕緣系統溫度為  $180^{\circ}\text{C}$ ，在額定電流下線圈的平均溫升為  $120^{\circ}\text{C}$ ，意

味著 H 級乾式變壓器線圈，最大溫度需小於 120°C，若是沒有滿載運轉須依據負載比例，查表 4.2 曲線下修最大溫度限制，另依據 ASNT 檢測標準及方法，建立各元件的經典域及可拓域數值，以作為實際感測值判別比對的依據。

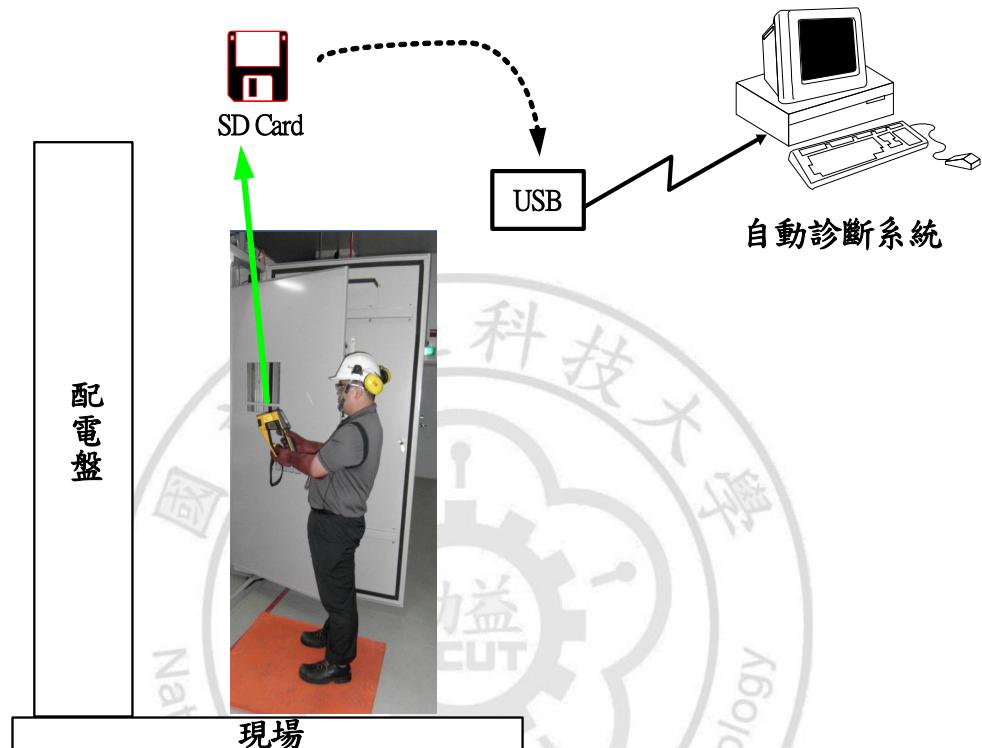


圖 4.1 配電盤自動診斷系統之架構圖

表 4.1 UIC 模鑄變壓器溫昇限制表[28]

線圈溫升限制表	
絕緣系統溫度 (°C)	額定電流下的線圈平均溫升 (K)
105 (A)	60
120 (E)	75
130 (B)	80
155 (F)	100
180 (H)	125
200	135
220	150

表 4.2 UIC 模鑄變壓器負載溫昇修正曲線

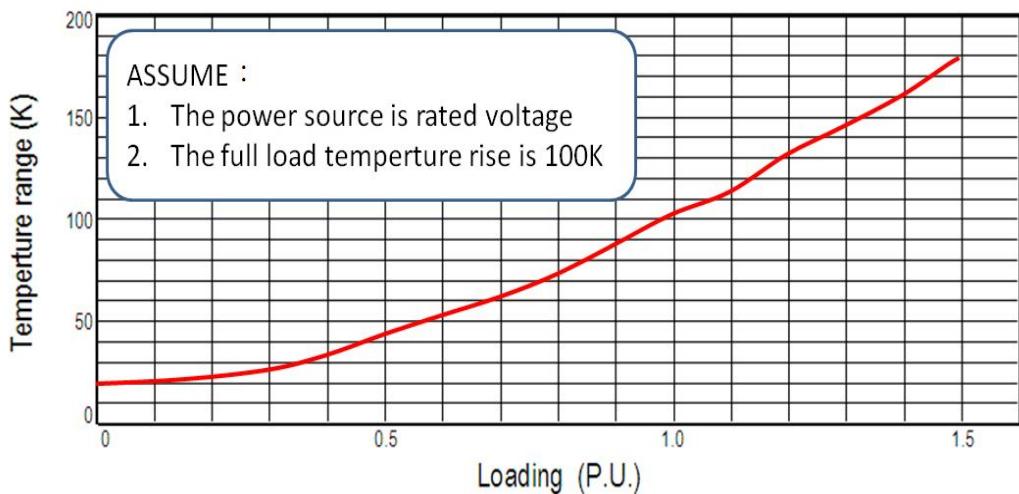


圖 4.2 為比壓器元件實體相片，主要功能是 AC-AC 電壓轉換，將輸出較低電壓提供給儀錶及控制電源使用，達到隔絕主迴路輸入/輸出控制迴路之目的，幾乎每個電盤都有比壓器元件，所以本論文將這個重要元件放在第一個類別選項，這類元件一般來說都是小負載使用，也就是規格容量一般也以伏-安來計算，這類負載有鐵心來做導磁使用，通電後因為會產生磁損失而發熱，通常只要做好散熱，避免受潮是一種相當可靠及安全的配電元件。

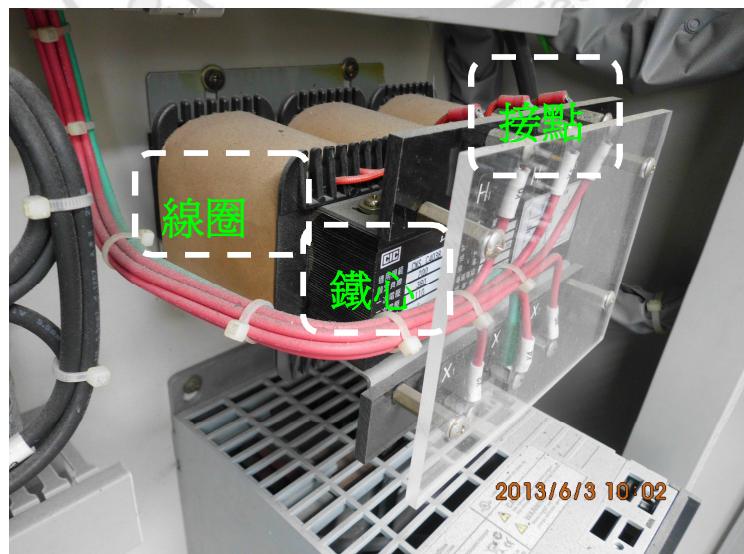


圖 4.2 比壓器 PT 實體相片

## 4.2 物元模型的建立

配電盤通電經過一段時間後，即可利用熱影像分析儀觀察各元件溫度變化，固定熱影像攝影後，即可攝出如圖 4.3 比壓器元件正常運作之熱影像，其中比壓器元件之熱影像溫度的下限值為  $37^{\circ}\text{C}$ ，上限值為  $46^{\circ}\text{C}$ ，與圖 4.2 實體相片比對相對位置後可建立物元模型，名稱為比壓器，區別出不同的特徵，如鐵心、線圈及接點等，測量出的溫度值作為前述特徵的量值，而選取特徵值須點選該特徵位置，如鐵心、線圈及接點的最高溫度數值，以作為比較正常與否的數值，這樣才能具代表性，也可避免疏漏掉具有高風險的項目。

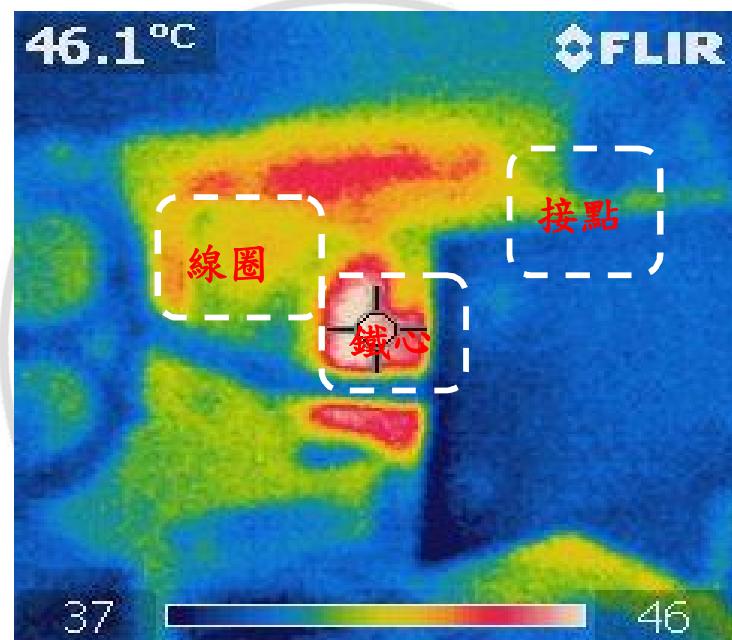


圖 4.3. 比壓器 PT 之熱影像

由圖 4.3 可發現比壓器元件溫度分布的情形，依圖片下方的溫度區塊，可以讓我們知道整張圖片的溫度度數值，及上下限數值的分佈情況，接著就可利用熱影像攝影相片的色溫差異，經由程式來轉換成溫度的數值來建立物元模型，本文利用滑鼠來點選 3 個區塊，如鐵心、線圈、接點來建立待測物的物元模型輸入，如圖 4.3 設定 3 個區塊，分別設定為特徵值  $c_1, c_2, c_3$ ，所以經典域的值域  $V$  也分別取範圍區塊內的溫度最大值  $v_1, v_2, v_3$  這樣就可以建立出如下所示之物

元模型。

$$R_j = \begin{Bmatrix} N & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & C_3 & V_3 \end{Bmatrix} \quad (4.1)$$

### 4.3 研究對象背景

本研究是利用員工人數約 250 人的中型工廠，全廠高低壓配電盤共 155 盤，公司因為考量健勞保及退休金提撥等人力成本，整個廠務課包含 6 名值班人員編制才 10 人，因整個廠的系統眾多有電力、消防、空調、純廢水、無塵室...等，分配到電盤維護保養的編制僅兩人，所以必須找到一個節省工時、人員施作安全、不影響持續供電及節省費用的保養方法，所以購置一台紅外線攝檢測儀，來執行全廠區配電盤的點檢維護工作，目前每年委由機電顧問公司停電，進行高壓電盤保養及絕緣檢測一次，低壓電盤部分只能由維護人員每半年執行配電盤紅外線攝影機點檢一次，拍攝溫升大於  $45^{\circ}\text{C}$ ，或同元件三相溫度差大於  $5^{\circ}\text{C}$  電盤元件，的熱影像及一般相片存檔於紅外線攝影機 SD 記憶卡內，完成後回辦公室下載存檔至電腦內，再交由系統工程師執行配電盤故障的判別，依據元件類型選擇最高溫度辨別正常與否，常因人為疏忽或經驗不足造成誤判，延誤了元件異常的改善處理，最終導致短路事故，造成無可挽回的生命財產損失。

現在只需將熱影像存檔後下載儲存至電腦內，再開啟自動診斷程式，其他的就交給程式來自動執行判別，選取熱影像各個特徵的最大溫度數值，當作建立該元件物元的特徵量值，依據配電盤元件的種類載入參數及權重值，經由程式計算出關連函數值獲得精準的結果，所以可拓關連函數計算的權重值選定，會直接影響到計算結果的準確

性，為減少關連函數計算數值的偏差，本法特別以層次分析法來確認權重值的最優性，為使程式判別出電盤檢測出異常時，能準確有效的將判別結果反應出來，於關連函數判別“有異常”時加重權值為原權重值  $\rho_1$  乘以 3 倍、關連函數判別“有風險”時加重權值為原權重值  $\rho_2$  乘以 2 倍，使關連函數計算結果凸顯出來，期以獲得最佳的判別結果。

#### 4.4 可拓故障診斷法

本文已經成功利用電腦軟體，建立出一套電盤紅外線檢測後，應用可拓方法判別配電盤故障診斷的方法[29]，僅須將熱影像與實體相片比對特徵位置，再依照下列步驟執行，即能獲得準確的配電盤紅外線影像診斷結果，其故障診斷演算法則操作步驟如下：

步驟 1：依配電盤元件的分類載入各個熱影像的物元模型，並修改紅外線色溫高低限數值，假設現在兩張有配電盤熱影像，分別如圖 4.4 為無熔絲開關類的導線溫升異常、圖 4.5 電磁開關接點溫升異常，點選設備類別後分別設定經典域的 a、b 值和節域的 c、d 值，完成後即可整理為多維矩陣，如表 4.5 所示。

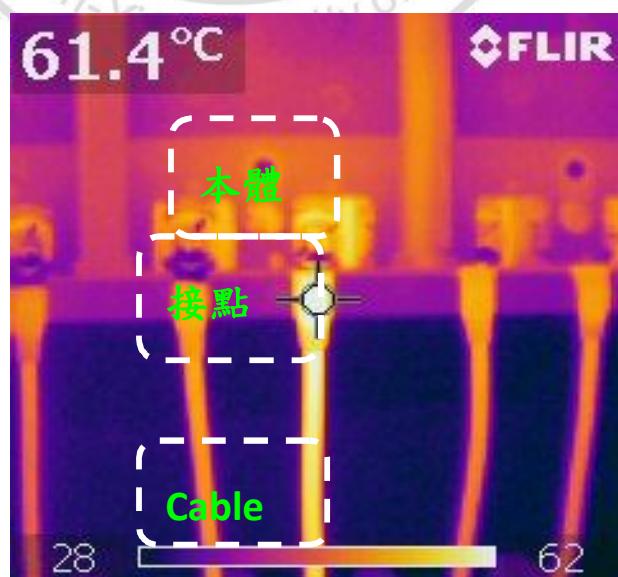


圖 4.4 導線異常之熱影像



圖 4.5 電磁開關 MC.異常之熱影像

表 4.3 電盤故障的物元模型

元件類型	物元模型
變壓器/比壓器	$R_1 = \begin{Bmatrix} N_1 & C_{11} & V_{11} \\ & C_{12} & V_{12} \\ & C_{13} & V_{13} \end{Bmatrix}$
電磁接觸器/電驛	$R_2 = \begin{Bmatrix} N_2 & C_{21} & V_{21} \\ & C_{22} & V_{22} \\ & C_{23} & V_{23} \end{Bmatrix}$
無熔絲開關/導線	$R_3 = \begin{Bmatrix} N_3 & C_{31} & V_{31} \\ & C_{32} & V_{32} \\ & C_{33} & V_{33} \end{Bmatrix}$

步驟2： 將點選受測物件種類，並將游標於紅外線影像最高數值判別點上快速按一下，然後程式會將載入熱影熱影像並建立待測信號物元數值。

$$R_n = \begin{Bmatrix} N_n & C_{n1} & V_{n1} \\ & C_{n2} & V_{n2} \\ & C_{n3} & V_{n3} \end{Bmatrix} \quad (4.2)$$

步驟3：載入受測物件種類參數，按下「判別鍵」，計算待測的熱影像待測信號物元模型的關聯度。

$$K(V_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(V_i, V_{ig})}{|V_{ig}|} & V_i \in V_{ig} \\ \frac{\rho(V_i, V_{ig})}{\rho(V_i, V_{pi}) - \rho(V_i, V_{ig})} & V_i \notin V_{ig} \end{cases} \quad (4.3)$$

其中

$$\begin{aligned} \rho(V_i, V_{ig}) &= \left| V_i - \frac{a_{ig} + b_{ig}}{2} \right| - \frac{|b_{ig} - a_{ig}|}{2} \\ \rho(V_i, V_{pi}) &= \left| V_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{|b_{pi} - a_{pi}|}{2} \\ i &= 1, 2, 3 ; g = 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (4.3)$$

步驟4：依各關聯函數值對故障診斷之重要性設定權重  $\rho_1$ 、 $\rho_2$ 、 $\rho_3$ ，本文中為關連函數判別有異常時加重權值為  $\rho_1 * 3$  倍、關連函數判別有風險時加重權值為  $\rho_2 * 2$  倍，期以快速獲得最準確的判別結果。

步驟5：計算各故障關聯度。

$$K(i) = \sum_{g=1}^3 \rho_{ig} K_{ig}, i = 1, 2, \dots, 3 \quad (4.5)$$

步驟6：計算各故障關聯度相對值  $\lambda_i$ ，正規化後使每次故障診斷

數值  $\lambda_i$  均在 1,-1 之間，以利快速診斷。

$$\lambda'_i = \frac{\lambda_i}{|\lambda_{\max}|} ; \lambda_i > 0; i = 1, 2, 3$$
$$\lambda'_i = \frac{\lambda_i}{|\lambda_{\min}|} ; \lambda_i < 0; i = 1, 2, 3 \quad (4.6)$$

其中

$$\lambda_{\max} = \max_{1 \leq i \leq 3} \{\lambda_i\} \quad \lambda_{\min} = \min_{1 \leq i \leq 3} \{\lambda_i\}$$

- 步驟7：確定熱影像異常程度及需要再定期追蹤，或是有嚴重風險需要立即停機維修，異常程度則由其關聯度決定，一般關聯度越大者，意謂發生該程度異常故障發生之機率越大。
- 步驟8：若所有電盤設備故障已診斷完畢，則結束；否則則須重回至步驟 2 重新判別一次。

本文提供可拓診斷方法，可在短時間內利用熱影像建入溫度數值，再由故障物元參數來判別故障程度模型，然後計算出關聯度數值，以診斷出屬於何種異常程度。

## 4.5 可拓故障診斷程式及流程圖

本文提供的可拓故障診斷方法是利用 Microsoft 公司的 Visual Basic 軟體，開發電盤設備紅外線影像診斷程式，圖 4.6 的可拓配電盤故障診斷系統，建立物元模型的方法是先載入配電盤設備元件的電盤熱影像，經由 USB 傳送到電腦，再透過可拓診斷程式對熱影像進行資料數據的擷取，圖 4.7 包括權重值、經典域、特徵、節域的設定參數的載入，資料完成以後，就可以滑鼠點選輸入待測電盤熱影像的最高

溫度數據，來計算和各個電盤異常熱影像的關聯度值，然後分析此電盤屬於何種程度的異常[30]，圖 4.8 的可拓診斷系統流程圖可以顯示可拓辨識方法的診斷程序。



圖 4.6 可拓配電盤故障診斷系統

依據檢測設備的類型點選診斷程式的類型頁面，例如 TR./PT.鐵心類設備、MC./Relay 線圈類設備、NFB./Cable 類設備等，載入參數檔案，包括權重值、經典域、特徵、節域的設定參數等，圖 4.7 所示。

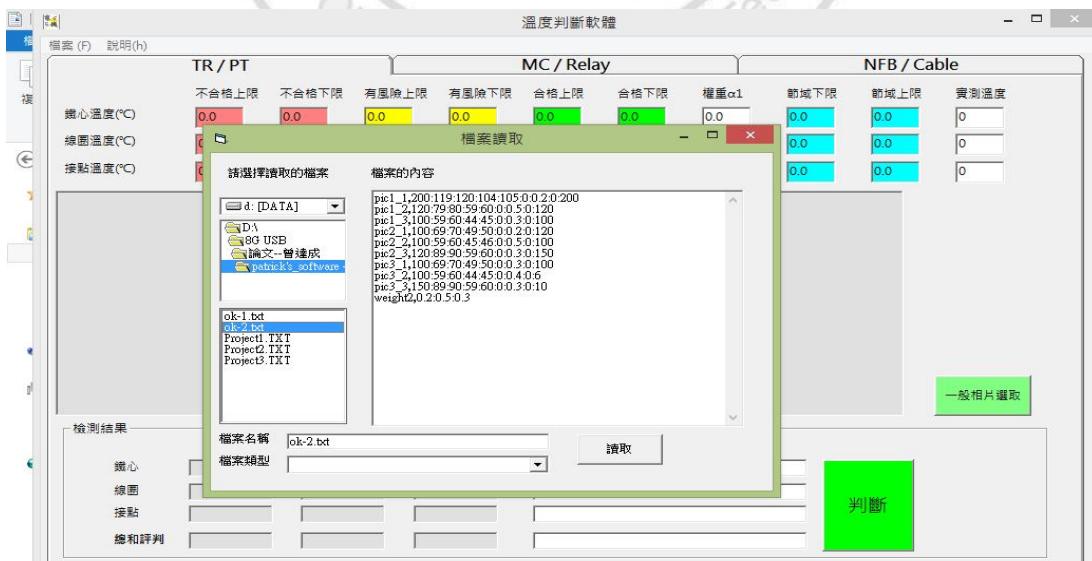
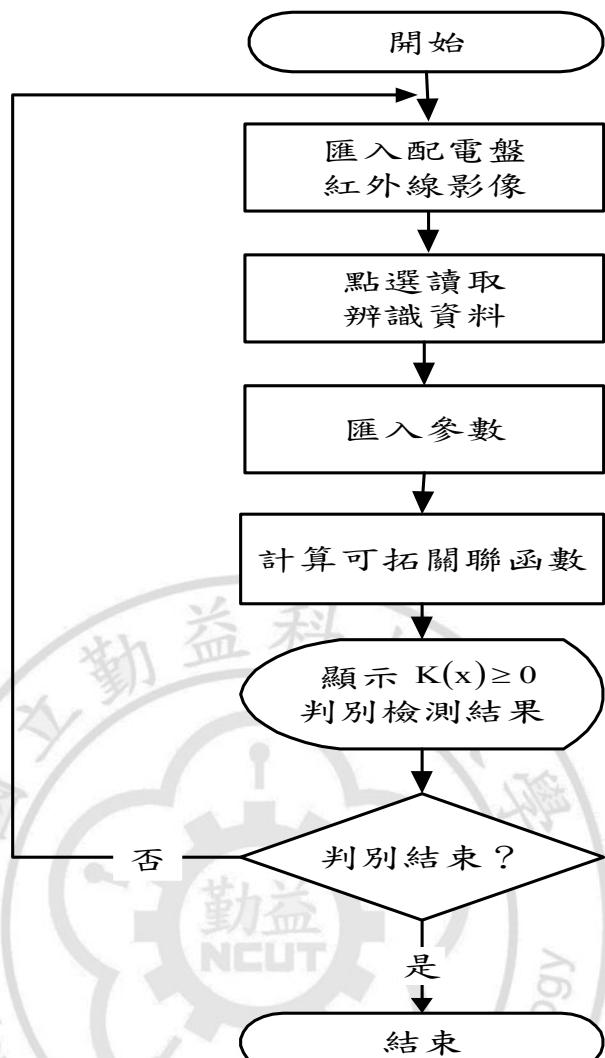


圖 4.7 可拓配電盤故障診斷系統載入參數



## 第五章 實測結果及討論

### 5.1 實測對象說明

本文的研究方式中提到為了建立異常的物元參數模型，必須使用紅外線影像分析儀器來拍攝影像，但是如何判別異常程度及類型，常常因人為因素導致誤判，故直接載入已拍攝完成的熱影像相片，交由程式來診斷判別絕對能避免人為因素的誤差產生，而且只要正確選擇電盤元件的類型，可以確保依載入該類型的正確參數，就能獲得客觀而正確的診斷結果[31]。

現今一般較具規模的工廠，廠內供電用配電盤成百上千，在日常的維護保養上需要耗費可觀的人力及時間來執行，對於企業來說能用最短的時間，及最少的人來完成電盤維護工作，就只能依據供電設備異常發生時會有熱蓄積的特性，借助紅外線能檢出溫度差異，再以顏色深淺來顯現的熱影像攝影設備就是非常好的工具。

電盤配電設備需要在有供載的情況下，才能產生異常點的熱蓄積現象，再以非接觸式熱影像攝影設備來擷取紅外線影像，對操作人員來說既安全、不影響下游負載、執行效率高，可以節省大量的時間及人力來進一步執行預防及改善異常的設備[32]。

### 5.2 配電盤影像的建立

配電盤元件紅外線的點檢，是統一將受測電盤門、中板及相關壓克力護蓋拆除，以免阻斷了紅外線的輻射傳導路徑，再利用紅外線影像分析儀由左至右，在由上到下逐步掃描供載設備的溫度，如果有接觸不良、線圈元件熱蓄積產生，只要溫度超過  $45^{\circ}\text{C}$  以上或同一元件三相溫差大於  $5^{\circ}\text{C}$ ，全部將熱影像儲存至紅外線影像分析儀的 SD 卡內，並於同時以數位像機於同角度、同距離拍攝異常元件的相片，然

後再移位到下一盤，依前述步驟在執行一便，直到所有配電盤都檢測完畢為止。

再接下來是回到辦公室開啟電腦，將剛剛存檔的熱影像及一般相片下載至電腦內，分別以不同地點、當天的年月日作為檔案夾的名稱，這樣可以方便日後得追蹤及管理，甚至於製做相同電盤元件的溫度趨勢圖，以長期的溫升數值來研判，該元件所造成異常的原因及損壞的程度，將配電盤紅外線熱影像做系統性的故障診斷，甚至可以預測出各個元件的異常週期，來作為預防性保養的依據，對配電盤設備的保養及維護做最有效、最適切的規劃。

## 5.3 實測和分析

### 5.3.1. 變壓器/比壓器診斷為正常之結果

本程式針對比壓器熱影像相片的鐵心、線圈及接點進行判別，首先是選取診斷類型 TR./PT.，載入參數設定檔，如圖 5.1 所示，再載入選擇參數檔，載入比壓器熱影像後以滑鼠點選鐵心溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選鐵心最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $44.197^{\circ}\text{C}$ ，再來滑鼠點選線圈溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選線圈最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $40.584^{\circ}\text{C}$ ，最後滑鼠點選接點溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選接點最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $36.328^{\circ}\text{C}$ ，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別結果，各鐵心、線圈及接點分項診斷結果皆為“合格”，於一般 PT. 相片上比對處顯示綠色“”記號，並在最下方總和評判列的評定欄位，顯示出最終的診斷結果為“合格”，如圖 5.1 所示。

本案例最終的診斷結果為”合格”，後續僅需列入每半年定期做紅外線攝影機檢測即可，將檔案以電盤名稱為檔名製作為該電盤履歷資料，若干年後以便長期追蹤溫升趨勢線，作為後續萬一生異常時參考及調整的資料。

本鐵心類別設備矽鋼片所組成的鐵心，只要線圈通過電流界為產生磁通，鐵心就是做為導通磁路的載體，期間產的磁滯損、渦流損就會使鐵心發燙，所以須依據規格表數據操作使用，另外通常線圈都是包覆在絕緣樹酯內，流通電流的大小也會產生線圈溫度的變化，為避免溫升過高損壞絕緣，因此紅外線儀器檢測及強制風扇散熱就變得非常的重要。



圖 5.1 PT 故障診斷軟體結果（正常）

### 5.3.2. 電磁接觸器/電驛診斷

#### (1) 電磁接觸器/電驛為正常之結果：

程式針對電磁接觸器熱影像相片的線圈、接點及導線進行判別，首先是選取診斷類型 MC./Relay，載入參數設定檔，再載入電磁接觸器熱影像後以滑鼠點選線圈溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選線圈最高溫度

處，快速點兩下來載入測試值  $41.482^{\circ}\text{C}$ ，再來滑鼠點選接點溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選接點最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $46.08^{\circ}\text{C}$ ，最後滑鼠點選導線溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選導線最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $44.766^{\circ}\text{C}$ ，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別結果，雖然於接點的分項診斷結果為“有風險”，但因該數值恰巧介於“合格上限”與“有風險下限”間，有比較偏向於“合格上限”數值，所以於最下方總和評判列的評定欄位，顯示出最後的診斷結果“合格”，如圖 5.2 所示。本案例最終的診斷結果為“合格”，但於接點溫度有潛在風險存在，後續應於每兩個月定期做紅外線攝影機檢測，以防止接點溫度持續上升，造成危害到異常的程度，另也將檔案以電盤名稱為檔名製作為該電盤履歷資料，若干年後以便長期追蹤溫升趨勢線，作為後續萬一生異常時參考及調整的資料。

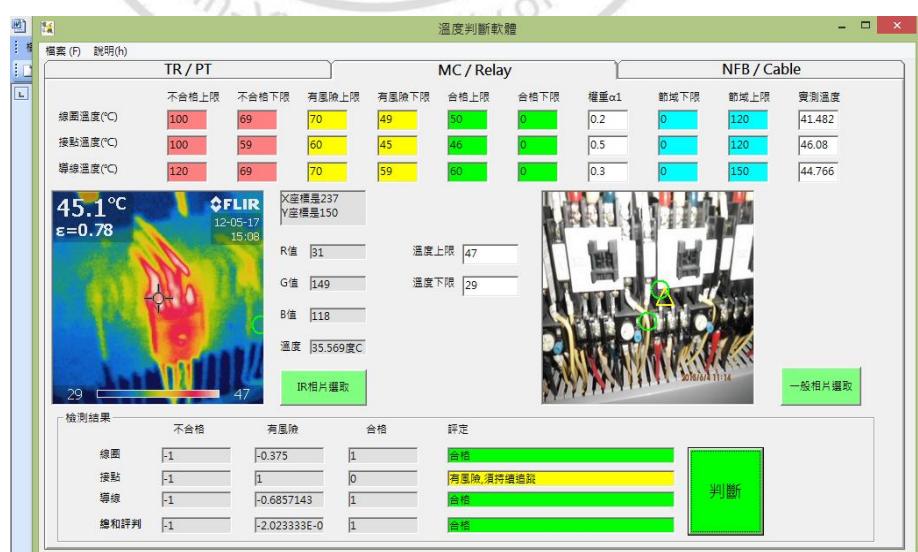


圖 5.2 MC. 故障診斷軟體結果（正常）

## (2) 電磁接觸器/電驛為有風險之結果：：

程式針對電磁接觸器熱影像相片的線圈、接點及導線進行判別，首先是選取診斷類型 MC./Relay，載入參數設定檔，再載入電磁接觸器熱影像後以滑鼠點選線圈溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選線圈最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $60.474^{\circ}\text{C}$ ，再來滑鼠點選接點溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選接點最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $60.153^{\circ}\text{C}$ ，最後滑鼠點選導線溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選導線最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $61.117^{\circ}\text{C}$ ，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別結果，雖然於接點的分項診斷結果為“異常”，但因該數值恰巧介於“有風險上限”與“異常下限”間，有比較偏向於“有風險上限”數值，所以於最下方總和評判列的評定欄位，顯示出最後的診斷結果“有風險”，如圖 5.3 所示。

本案例最終的診斷結果為“有風險”，但於接點溫度有不合格存在，建議巡檢接點螺絲是否鬆脫？接點螺絲鎖緊後隔天應在照一次熱影像，看是否已恢復正常，如果仍然無法降溫至正常  $45^{\circ}\text{C}$  以下，建議安排更新電磁接觸器，或應於每兩個月定期做紅外線攝影機檢測，以防止接點溫度持續上升，造成危害到異常的程度，另也將檔案以電盤名稱為檔名製作為該電盤履歷資料，若干年後以便長期追蹤溫升趨勢線，作為後續萬一生異常時參考及調整的資料。

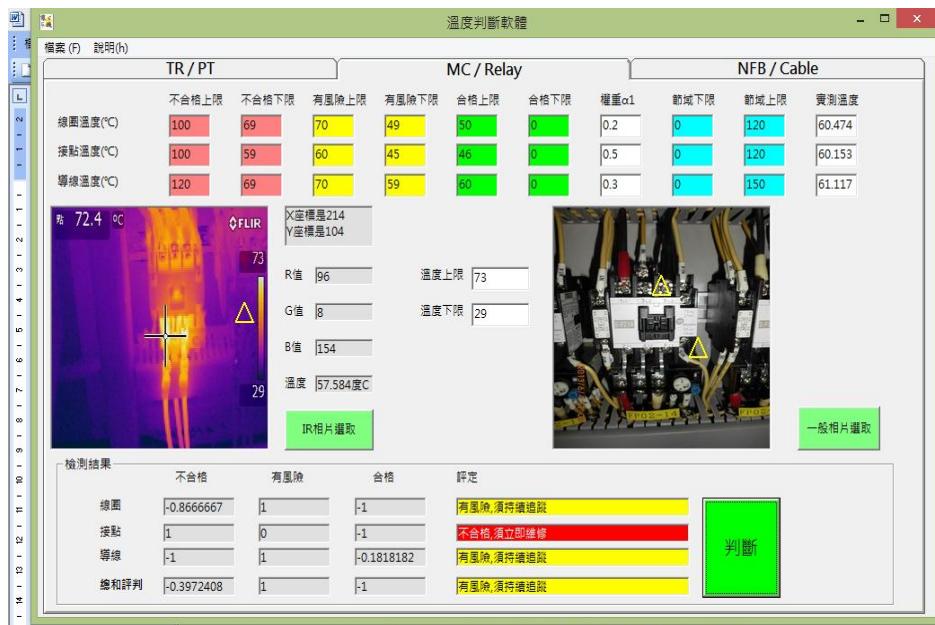


圖 5.3 MC. 故障診斷軟體結果（有風險）

### (3) 電磁接觸器/電驛診斷為異常之結果

程式針對電磁接觸器熱影像相片的線圈、接點及導線進行判別，首先是選取診斷類型 MC./Relay，載入參數設定檔，再載入電磁接觸器熱影像後以滑鼠點選線圈溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選線圈最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $69.182^{\circ}\text{C}$ ，再來滑鼠點選接點溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選接點最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $73.277^{\circ}\text{C}$ ，最後滑鼠點選導線溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選導線最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $64.343^{\circ}\text{C}$ ，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別結果，於線圈及接點的分項診斷結果為“異常”，但因該數值皆超出於“異常下限”，所以於最下方總和評判列的評定欄位，顯示出最後的診斷結果“異常”，如圖 5.4 所示。

本案例最終的診斷結果為“異常”，線圈及接點分項有異常溫升已達到危險程度，須立即備料並於最短的時間內安排維修更新，更新完成後也應再做紅外線攝影機檢測，並且須連續兩日檢測，以防止更換工法錯誤或器具品質不良造成的異常發生，另也將檔案以電盤名稱為檔名製作為該電盤履歷資料，若干年後以便長期追蹤溫升趨勢線，作為後續萬一生異常時參考及調整的資料。

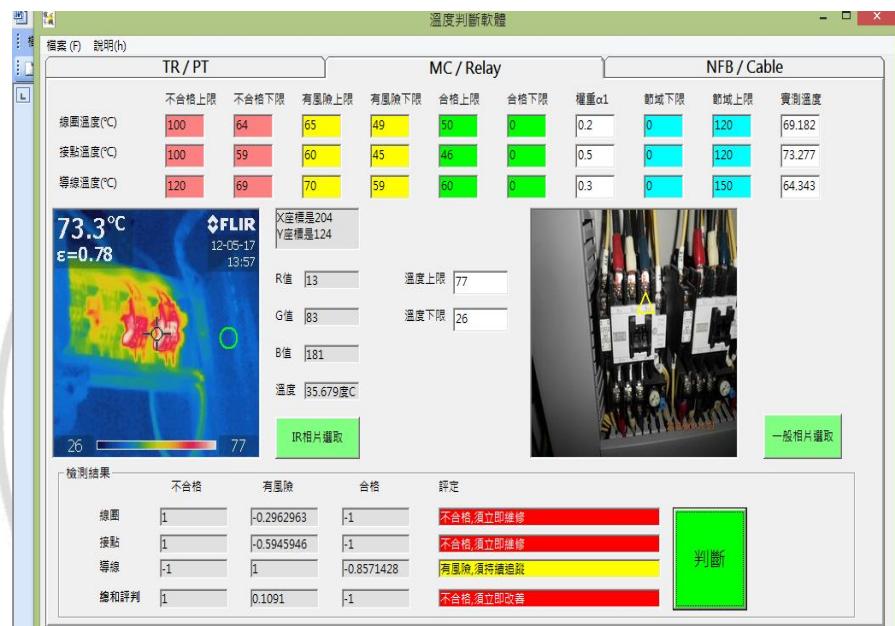


圖 5.4 MC. 故障診斷軟體結果（異常）

### 5.3.3 無熔絲開關/電纜診斷

#### (1) 無熔絲開關/電纜診斷為正常之結果

程式針對無熔絲開關熱影像相片的本體、接點及導線進行判別，首先是選取診斷類型 NFB./Cable，載入參數設定檔，再載入無熔絲開關熱影像後以滑鼠點選本體溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選本體最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $35.241^{\circ}\text{C}$ ，再來滑鼠點選接點溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選

接點最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $42.015^{\circ}\text{C}$ ，最後滑鼠點選導線溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選導線最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $44.117^{\circ}\text{C}$ ，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別各分項結果皆為“合格”，所以於最下方總和評判列的評定欄位，顯示出最後的診斷結果“合格”，如圖 5.5 所示。本案例最終的診斷結果為“合格”，雖然 NFB. 一次側 T 相有相對於 R 相、S 相的溫差，但仍在可接受範圍，後續僅需列入每半年定期做紅外線攝影機檢測即可，將檔案以電盤名稱為檔名製作為該電盤履歷資料，若干年後以便長期追蹤溫升趨勢線，作為後續萬一生異常時參考及調整的資料。



圖 5.5 NFB. 故障診斷軟體結果 (正常)

## (2) 無熔絲開關/電纜診斷為有風險之結果

程式針對無熔絲開關熱影像相片的本體、接點及導線進行判別，首先是選取診斷類型 NFB./Cable，載入參數設定

檔，再載入無熔絲開關熱影像後以滑鼠點選本體溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選本體最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $53.423^{\circ}\text{C}$ ，再來滑鼠點選接點溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選接點最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $47.117^{\circ}\text{C}$ ，最後滑鼠點選導線溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選導線最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $51.255^{\circ}\text{C}$ ，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別結果，雖然於接點及導線的分項診斷結果為“有風險”，接點的數值介於“有風險上限”與“有風險下限”間，有比較偏向於“有風險上限”數值，所以於最下方總和評判列的評定欄位，顯示出最後的診斷結果“有風險”，如圖 5.6 所示。

本案例最終的診斷結果為“有風險”，但於接點及導線溫度有潛在風險存在，應先以電流勾錶分別量測三相電流數值，以確認是否為三相電流不均衡造成，若為否定則需要再將接點螺絲鎖緊，螺絲上緊後隔天再以紅外線攝影機檢測一次，以確認溫度是否恢復正常，若無法降溫至  $45^{\circ}\text{C}$  以下，建議每年停電歲修時做計畫性更新，或者後續應於每兩個月定期做紅外線攝影機檢測，以防止接點溫度持續上升，造成危害到異常的程度，另也將檔案以電盤名稱為檔名製作為該電盤履歷資料，若干年後以便長期追蹤溫升趨勢線，作為後續萬一生異常時參考及調整的資料。



圖 5.6 NFB. 故障診斷軟體結果 (有風險)

### (3) 無熔絲開關/電纜診斷為異常之結果

程式針對無熔絲開關熱影像相片的本體、接點及導線進行判別，首先是選取診斷類型 NFB./Cable，載入參數設定檔，再載入無熔絲開關熱影像後以滑鼠點選本體溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選本體最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $52.832^{\circ}\text{C}$ ，再來滑鼠點選接點溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選接點最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $74.175^{\circ}\text{C}$ ，最後滑鼠點選導線溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選導線最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $72.292^{\circ}\text{C}$ ，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別結果，雖然於本體的分項診斷結果為“合格”，但接點的判別結果為超過“異常”數值，導線的判別結果為超過“有風險”所以於最下方總和評判列的評定欄位，顯示出最後的診斷結果“異常”，如圖 5.7 所示。

本案例最終的診斷結果為接點溫升”異常”，須立即備料並於最短的時間內安排維修更新，也診斷出銅排導體有潛在風險發生，並於更新完成後也應再做紅外線攝影機檢測，並且須連續兩日檢測，以防止更換工法錯誤或器具品質不良造成的異常發生，另也將檔案以電盤名稱為檔名製作為該電盤履歷資料，若干年後以便長期追蹤溫升趨勢線，作為後續萬一生異常時參考及調整的資料。

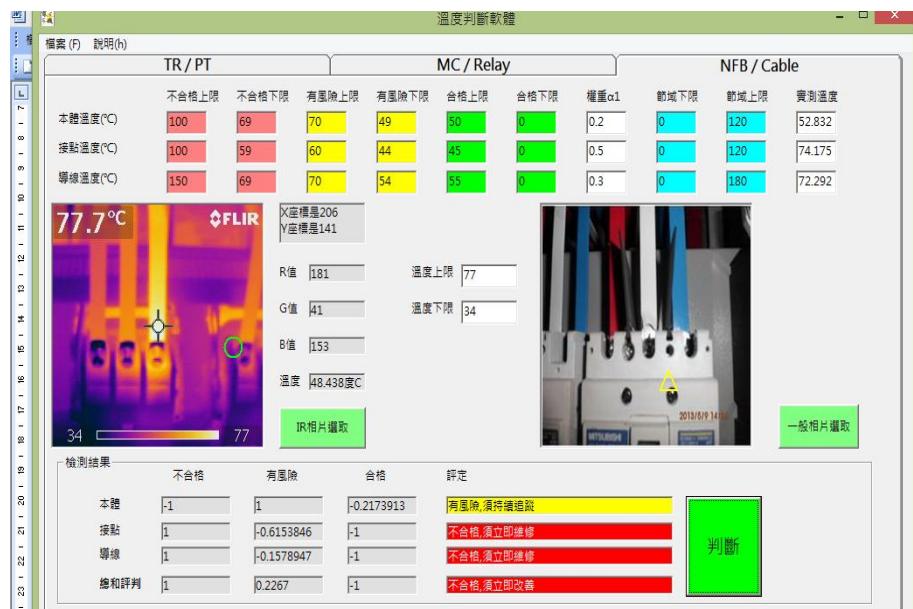


圖 5.7 NFB. 故障診斷軟體結果（異常）

### 5.3.4 燈具/馬達及其他診斷

#### (1) 燈具診斷為有風險之結果

程式針對燈具熱影像相片進行診斷，因燈具數非鐵心及線圈類的設備，故選擇 NFB./Cable 類型，對於本體、接點及導線進行判別，首先是選取診斷類型 NFB./Cable，載入參數設定檔，再載入燈具熱影像後以滑鼠點選本體溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選本體最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $115.4^{\circ}\text{C}$ ，再來滑鼠點選

接點溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選接點最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $75.762^{\circ}\text{C}$ ，最後滑鼠點選導線溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選導線最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $63.175^{\circ}\text{C}$ ，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別結果，於接點及導線的分項診斷結果為”有風險”，雖然本體的溫度數值診斷為”異常”，有比較偏向於”有風險上限”數值，所以於最下方總和評判列的評定欄位，顯示出最後的診斷結果”有風險”，如圖 5.8 所示。

本案例最終的診斷結果為”有風險”，但於燈具本體因防爆區使用，防爆設計散熱不易，溫升到有風險的程度，應先以電流勾錶量測電流數值，以確認是否為過電流運轉造成，若為否定則須檢討隔散熱方式以降低溫升風險，再以紅外線攝影機檢測一次，以確認溫度是否恢復正常，若為否定後續應於每兩個月定期做紅外線攝影機檢測，以防歎接點溫度持續上升，造成危害到異常的程度，另也將檔案以電盤名稱為檔名製作為該電盤履歷資料，若干年後以便長期追蹤溫升趨勢線，作為後續萬一生異常時參考及調整的資料。

## (2) 馬達診斷為正常之結果

程式針對馬達熱影像相片，因屬有線圈類的設備故選擇 MC./Relay 類型，對於，線圈、接點及導線進行判別，首先是選取診斷類型 MC./Relay，載入參數設定檔，再載入馬達熱影像後以滑鼠點選線圈溫度實測溫度框內，然後移

動滑鼠在熱影像相片上點選線圈最高溫度處，快速點兩下

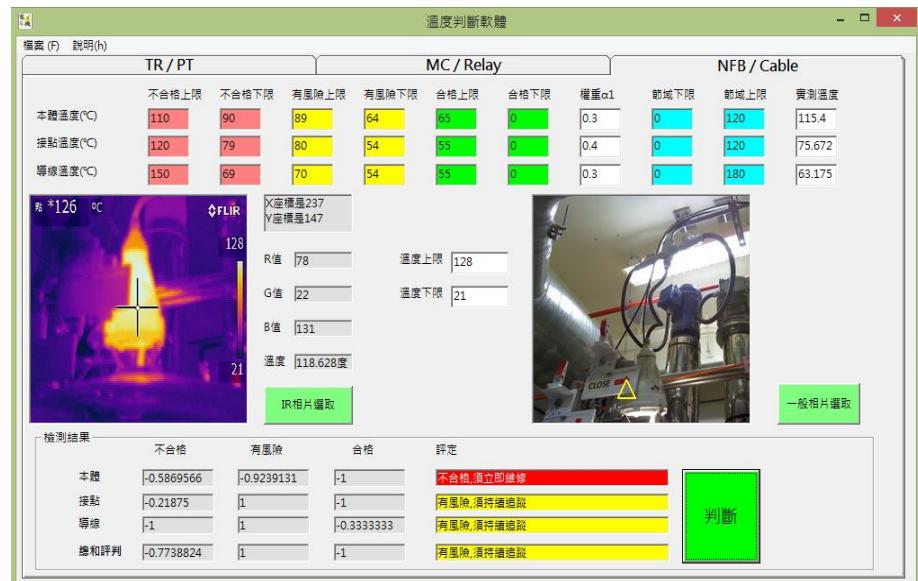


圖 5.8 燈具故障診斷軟體結果（有風險）

來載入測試值  $23.81^{\circ}\text{C}$ ，再來滑鼠點選接點溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選接點最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $24.139^{\circ}\text{C}$ ，最後滑鼠點選導線溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選導線最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $23.117^{\circ}\text{C}$ ，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別結果，於線圈、接點及導線診斷結果為“正常”，所以於最下方總和評判列的評定欄位，顯示出最後的診斷結果“合格”，如圖 5.9 所示。

本案例最終的診斷結果為“合格”，後續應於每半年定期做紅外線攝影機檢測即可，另也將檔案以電盤名稱為檔名製作為該電盤履歷資料，若干年後以便長期追蹤溫升趨勢線，作為後續萬一生異常時參考及調整的資料。

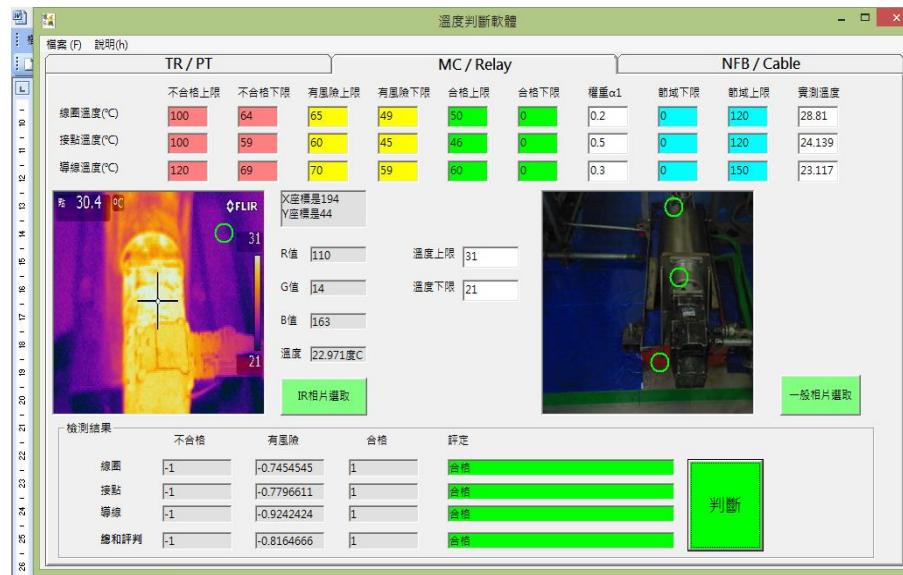


圖 5.9 馬達故障診斷軟體結果（正常）

### (3)風扇診斷為正常之結果

程式針對風扇熱影像相片，因屬有線圈類的設備故選擇 MC./Relay 類型，對於，線圈、接點及導線進行判別，首先是選取診斷類型 MC./Relay，載入參數設定檔，再載入風扇熱影像後以滑鼠點選線圈溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選線圈最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $63.759^{\circ}\text{C}$ ，再來滑鼠點選接點溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選接點最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $43.526^{\circ}\text{C}$ ，最後滑鼠點選導線溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選導線最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $32.445^{\circ}\text{C}$ ，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別結果，於線圈、接點及導線診斷結果為“正常”，所以於最下方總和評判列的評定欄位，顯示出最後的診斷結果“合格”，如圖 5.10 所示。本案例最終的診斷結果為“合格”，後續應於每半年定期做紅外線攝影機檢測即可，另

也將檔案以電盤名稱為檔名製作為該電盤履歷資料，若干年後以便長期追蹤溫升趨勢線，作為後續萬一生異常時參考及調整的資料。



圖 5.10 風扇故障診斷軟體結果（正常）

#### (4) 風管洩漏診斷為有風險之結果

程式針對風管熱影像相片進行診斷，因風管屬非鐵心及線圈類的發熱設備，故選擇 NFB./Cable 類型，對於本體進行判別，首先是選取診斷類型 NFB./Cable，載入參數設定檔，再載入燈具熱影像後以滑鼠點選本體溫度實測溫度框內，然後移動滑鼠在熱影像相片上點選本體最高溫度處，快速點兩下來載入測試值  $76.255^{\circ}\text{C}$ ，因無接點及導線兩分項故溫度實測溫度框內不填入數值，按下下方判斷鍵來執行故障診斷軟體，計算關聯函數數值及判別結果，於本體的分項診斷結果為“有風險”，顯示出最後的診斷結果“有風險”，如圖 5.11 所示。

本案例最終的診斷結果為“有風險”，但於風管本體因

法蘭接合處無保溫造成，溫升到有風險的程度，應增加以保溫材覆蓋，避免熱散失以及降低高溫風險，萬一有可燃物或有機溶劑燃點低掉落會發生火災風險。

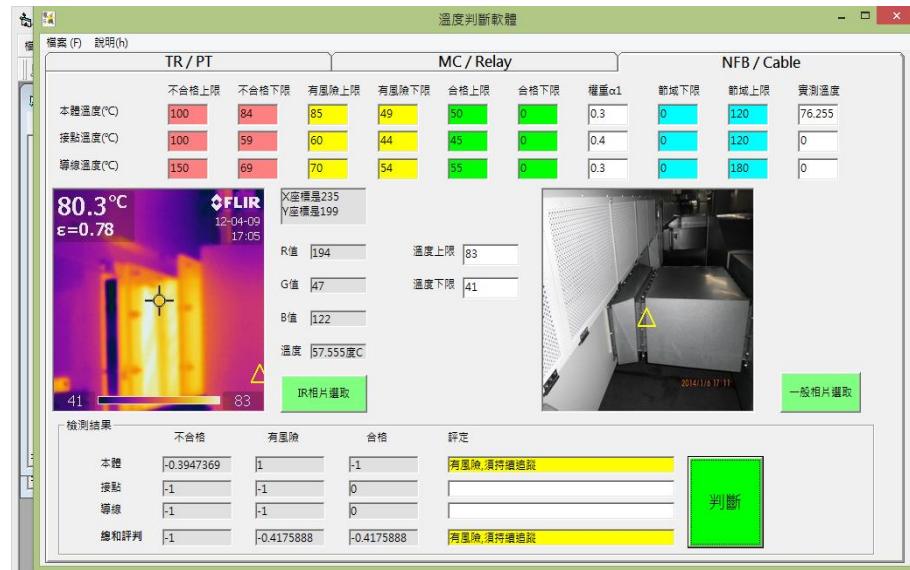


圖 5.11 風管洩漏診斷軟體結果（有風險）

### 5.3.5 診斷結果統計

經由定期的配電盤紅外線攝影機點檢，可有效減低配電盤異常事故發生風險，同時也能降低公司投保產險的保費金額，也是對經營者來說也可以降低營運風險，畢竟對於工廠若是火災事故，無論規模大小、損失如何，對於公司都是無法承受的危機，所以做配電盤的定期紅外線點檢對公司是有大助益的事。

上節實測程式診斷結果如為正常，僅需每半年再以紅外線攝影機定期檢測是否有異常即可；診斷結果如為有風險但還不到立即危害的程度，須做的三相電流量測看看三相電流數值是否相近，是否超出導線安全載流值，以及做簡易維修，例如接點有溫升風險時可將螺絲鎖緊，並要每兩個月以紅外線攝影機點檢持續定期進行追蹤；診斷結果如為異常，則須立即備料及切換至備機運轉，將該迴路斷電避免溫度

過高造成絕緣破壞發生短路故障，必須協調以最短的時間內更新維修，以避免再惡化影響供電，維修完成後再以紅外線攝影機檢測數日並留存紀錄，看是否有異常溫升發生，使供電系統更加穩定。

本文共檢測電盤配電設備 65 件，各分項類別關連函數判別出有異常時，但總評判未判別出異常有 4 件，檢測正確率為 93.85%，誤判為 6.15%，誤差部分是另外需人工再次依據參數資料二次判別方式補救，減少檢測誤差的發生。



## 第六章 結論與未來展望

### 6.1 結論

本論文針對配電盤內常用元件，進行紅外線檢測後的熱影像，應用可拓方法的程式來進行故障診斷，可拓方法的經典域數值是依據電工法規、設備型錄資料及個人經驗，來設定經典域、上下限及權重的選擇，有可能因為個人主觀造成偏失的疑慮。

本論文應用層級分析法來選擇最佳權重數值，載入熱影像後再配合可拓故障診斷法，只要建立好各設備元件的經典域參數，並且設定出最佳診斷結果的特徵值和最適合權重，然後經由可拓辨識方法計算出各設備的關聯度大小診斷出異常程度，本文所提方法之結論如下：

- (1) 本論文為非接觸診斷，時間短、效率高及可在線上執行無須停電，可減低保養人員的負擔，避免人員感電風險，在施行時不影響工廠生產確實可行。
- (2) 本論文可以預先診斷出即將過熱之元件，並可發現同一電盤內其他的風險元件，預先備料做計畫性維修，避免維修時對於產線的影響，有效避免短路事故之發生。
- (3) 本文這項技術的應用可以減低對經驗法則的依賴，由診斷程式自動判斷，減少人為誤判的發生。
- (4) 累積數年資料後，可將數年來的資料製作成溫升趨勢曲線，甚至可預知故障或異常辨識的功能，將全廠性同一配電設備做統一的更新，降低個別元件陸續發生異常的機率。

### 6.2 未來展望

本論文僅對於配電盤常用的元件進行故障診斷，尚有許多如油浸式變壓器、避雷器、礙子、GIS...等設備未能列入，因為高壓設備除了

無遮蔽的架空線路、礙子、避雷器設備外，如油浸式變壓器、GIS 等設備應以局部分電檢測較為合適[33]，期待日後能擴大研究主題至其他類型，未來期許如下：

- (1) 期望本論文日後在紅外線器材更普及、價格更低廉時，能在未來做為紅外線影像線上即時監測的發展貢獻一點心力。
- (2) 本論文除了應用在配電盤上之外，期望日後能擴展至其他類型的應用，如引擎、馬達、轉動軸承、隔熱材破損偵測...等溫升異常的診斷上。
- (3) 期望本論文可應用在紅外線火警初期自動偵測上，線上即時辨識溫度高於背景值即自動診斷連動警報、照明設備及錄影機的運作，達到災害初期抑制避免延燒擴大，保障人生財產安全的目的。



## 參考文獻

- [1] 機電現場雜誌第 35 期 , Apr 2008 。
- [2] 內政部消防署 95 年至 99 年的全國火災發生原因統計 , Mar 2011 。
- [3] 內政部消防署 95 年至 99 年的全國火災死亡人數統計 , Mar 2011 。
- [4] Ming-Shing Young, Chin-Fu Tsai "Study of The Radiometry Combining Multi-band Infrared and Ultraviolet Techniques For forcensting Fires" NCKU pp15-16, Jan 2006.
- [5] Taoi Hsu, Meng-Yi Chen "A study of Image fusion in dual mode imaging sytems" NCCU pp4-6, Jan 2008.
- [6] 林惠民 陳力榮 “應用超音波技術於模鑄式變壓器局部放電診斷分析之研究” 中山大學 pp 5-33, July 2008 。
- [7] 陳鴻誠 趙孟鴻 陳柏硯 “應用可拓理論於電力變壓器局部放電模式辨識” 電機月刊 PP136-147, Sep 2013 。
- [8] Y. H. Yoon, J. C. Kim and J. K. Park, "A Neural Network Approach for On-Line Estimation of Partial Discharge Location in Power Transformer Using Advanced Correlation Technique," International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems, pp. 316-320, Jan 1996.
- [9] 黎道明 紅外線溫度檢測診斷 台灣電力公司, 2010 。
- [10] 行政院勞委會 室內配線裝置規則 。
- [11] 周建強 高翌戎 “红外线测温技术在变电站运行中的用” 北京电力高等专科学校学报 , Nov 2011 。
- [12] 泰菱有限公司 “紅外線溫度計反射率表”, April 2006 。

- [13] 專任電氣技術人員及用電設備檢驗維護業管理規則，April 2008。
- [14] 李聰穎 黃智得 “應用紅外線熱影像技術於配電盤過熱檢測之研究” 明新科技大學 pp4-12, July 2012。
- [15] 程玉蘭 紅外診斷現場實用技術 北京：機械工業出版社，2002。
- [16] M. H. Wang , Y. K. Chung, W. T. Sung, "Using thermal image matter-element to design a circuit board fault diagnosis system", Expert Systems with Applications, Vol. 38, pp. 6164-6169, May 2011。
- [17] 參考 American Society of Nondestructive Testing “ASNT Level 1 訓練講義”。
- [18] 楊春燕，蔡文，”可拓工程研究” 廣東工業大學可拓工程研究所 中國工程科學, Feb 2000。
- [19] Parameswaran Ramachandran<sup>1,2</sup>, Theodore J Perkins<sup>1,2\*</sup>From Great Lakes Bioinformatics Conference 2013 Pittsburgh, PA, USA. 14-16 , May 2013.
- [20] Li-Ping Bai, Ye-Yao Wang, Jia-Li Sun, Bin Gong “Application of Extension Theory in Risk Zoning of Debris Flow in Beijing” Global Geology 12 卷 1 期 pp40-45, Mar 2009.
- [21] Ke-Gang Li, Ke-Peng Hou, Jun-Zhi Chen ” Extension methods in underground rock quality evaluation of the project” 湖南科技大學學報自然科學版 23 卷 3 期 pp73-76, Sep 2008。
- [22] M. H. Wang , Y. K. Chung, "Applications of Thermal Image and Extension Theory to Biometric Personal Recognition", Expert Systems with Applications, Vol. 39, pp. 7132-7137, 2012.

- [23] L.A. Zadeh, Fuzzy Sets, Information and Control, Vol.8, pp338-353, 1965.
- [24] M. H. Wang ,Guan-Jie Huang "Application of extension neural network to fault diagnosis of wind power system" pp. 25-28, July 2009 。
- [25] AHP By Misoo 團隊 AHP&DoDAF 小組, July 2006 。
- [26] 周碩彥，王鴻錡“以技術預測方法探討美國行動電視的產業發展及趨勢”台灣科技大學 pp16-20, Jan 2011 。
- [27] M. H. Wang , Y. K. Chung, "Application of Extension Neural Network Type-1to Fault Diagnosis of Electronic Circuit", Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2012, pp. 12-12 , 2012.
- [28] UIC 模鑄變壓器型錄資料。
- [29] M. H. Wang , Y. K. Chung, "A Novel Analytic Method of Power Quality Using Extension Genetic Algorithm and Wavelet Transform", Expert Systems with Applications, Vol. 38, pp. 12491-12496, Jan 2011.
- [30] M. H. Wang, "Hand Recognition Using Thermal Image and Extension Neural Network", Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2012, pp. 15-15, 2012. (EI/SCI)
- [31] M. H. Wang, "Grey-Extension Method for Incipient Fault Forecasting of Oil-immersed Power Transformer", Electric Power Components and Systems, Vol. 32, No. 10, Oct 2004.
- [32] M. H. Wang, "A Novel Extension Neural Network for Power Transformer Fault Diagnosis", IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, Vol. 150, No. 6, pp. 669-685, 2003.

- [33] Jin-Mong Ho, Ming-Yish Chen “The Application of Partial Discharge Measurement on Gas Insulation Switchgear” CYCU pp19-35, July 2007.



## 作者簡介

姓名：曾達成 (Ta-Cheng, Tseng)

出生日期：民國五十七年三月十五日

籍貫：台灣省桃園縣



學歷：

國立勤益科技大學 電機工程系研究所(2011.02~2013.12)

清雲科技大學 電機工程系(2003.09~2005.06)

勤益工專 電機科電力組(1987.09~1989.06)

經歷：

- (1) 明基材料股份有限公司龍科廠廠務課工程師（2008.08~迄今）
- (2) 勝華科技股份有限公司機電課組長（2007.12~2008.07）
- (3) 瀚宇彩晶廠務處資深工程師（1999.12~2007.11）
- (4) 中華航空公司公設維護課技術員（1997.6~1999.12）
- (5) 馥凱股份有限公司生管課長（1993.7~1997.6）
- (6) 丞鈞企業生產技術員（1991.9~1993.4）
- (7) 中華民國空軍發電機助理修理士（1989.8~1991.6）

專業證照：

- (1) 甲種電匠合格證書（1997.1）

(2) 乙級室內配線合格證書 (1997.1)

(3) 乙級鍋爐合格操作證書 (1998.7)

(4) 高壓氣體操作人員合格證書 (2000.10)

(5) 缺氧作業主管合格證書(2009.07)

論文著作：

(1) 曾達成、王孟輝， “應用熱影像和可拓方法於配電盤自動診斷”

第三十四屆電力工程研討會，pp1576-1581， 12 月 2013。

