

# 國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

## 碩士論文

應用紅外線熱影像儀於製程機台電氣設備  
之預知保養研究-以某 TFT-LCD 廠為例

A Study on The Application of Infrared Thermography to  
Predictive Maintenance of Machine Electrical Equipment  
— The Case of A TFT-LCD Manufacturer

研究生：廖雁亭

指導教授：陳春盛 教授

中華民國九十八年九月

應用紅外線熱影像儀於製程機台電氣設備  
之預知保養研究-以某 TFT-LCD 廠為例

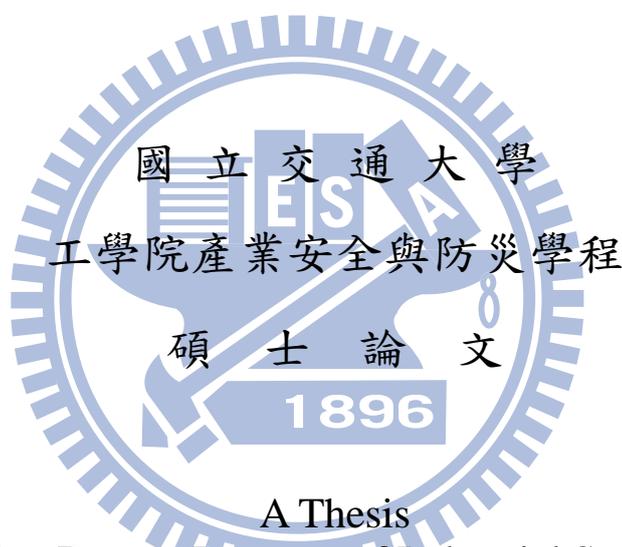
A Study on The Application of Infrared Thermography to Predictive  
Maintenance of Machine Electrical Equipment  
— The Case of A TFT-LCD Manufacturer

研究生：廖雁亭

Student : Yen-Ting Liao

指導教授：陳春盛

Advisor : Chun-Sung Chen



A Thesis

Submitted to Degree Program of Industrial Safety and Risk  
Management  
College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master of Science  
in  
Industrial Safety and Risk Management  
Septemper 2009  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十八 年 九 月

# 應用紅外線熱影像儀於製程機台電氣設備 之預知保養研究-以某 TFT-LCD 廠為例

學生:廖雁亭

指導教授:陳春盛 教授

國立交通大學工學院產業安全與防災學程

## 中文摘要

製程設備之電氣設施一旦發生異常，不僅會造成機台當機，導致製程中斷影響產能，若引發電氣火災，還會破壞無塵室潔淨度，並威脅作業人員生命安全。本研究以 TFT-LCD 廠製程設備之電氣設施為對象，以紅外線熱影像儀對 ARRAY、CELL、MDL 各製程設備之電氣設施進行檢測，以找出設備電氣設施失效原因，提供預防對策，並提供製程機台電氣設施進行紅外線熱影像作業之建議。

依本研究檢測結果統計，最常發生異常之元件為端子台；造成溫度異常的原因以接觸不良比例最高。觀察歷次檢測結果可發現，藉由紅外線熱影像儀進行機台電氣設備之預知保養後，機台異常百分比確實有降低之趨勢。

**A Study on The Application of Infrared Thermography to  
Predictive Maintenance of Machine Electrical Equipment  
— The Case of A TFT-LCD Manufacturer**

**Student : Yen-Ting Liao**

**Advisor : Chun-Sung Chen**

**Industrial Safety and Risk Management**

**College of Engineering**

**National Chiao Tung University**

**Abstract**

**We take array, cell, mdl Process equipment of TFT-LCD as the example. Using infrared thermography to detection, to find out fault reason , to propose preventive, and advanced suggestion which apply infrared thermography to predictive maintenance of machine electrical equipment.**

**The experimental results have shown. Terminal block is inside all electronic component most often occurs fault. Most of reson that Cause temperature abnormality is the bad contact. The results revealed that after application of infrared thermography to predictive maintenance of machine electrical equipment, the fault probability reduce indeed .**

## 誌謝

就讀研究所，是我自求學以來設定的目標，如今順利畢業，對我而言無疑是美夢成真，心中除了喜悅，更多的是無盡感激。

能夠順利完成論文，首先要感謝的就是我的指導教授陳春盛老師，教授不論專業知識或是待人處世均受人景仰，能成為陳教授的學生，當真是三生有幸。撰寫論文期間，教授不厭其煩悉心指導，又給予我自由發展、學習的空間，在此致上最誠摯的謝意與敬意。口試期間，陳俊瑜教授、林國安所長、陳建忠教授在論文上給予諸多寶貴建議及不吝指正與指導，使本論文能夠更加完整，再此亦致上最深刻的謝意。

接下來要向我求學時期所有的老師、我的主管、同事、同學、我最親愛的家人，以及所有出現在我身邊的貴人誌謝，謝謝您們的教導、謝謝您們的驅策、謝謝您們的勉勵、謝謝您們的愛護，您們是我前進的動力，與最堅強的後盾，竭誠感謝您們。

由於我不善言詞，要感謝的人實在很多，因此『誌謝』寫的又改，改了又寫，總覺得無法傳達出我的感激之情，於是在此要向所有出現在我身邊的貴人致歉，您們給我的指導、協助、支持與鼓勵，令我沒齒難忘，但我卻沒有足夠的文采能夠傳達我的感激之情，請您們見諒。

千言萬語道不盡我心中的謝意。在此恭祝您們身體健康、萬事如意。

# 目 錄

中文摘要 .....	iii
Abstract .....	iv
誌謝 .....	v
目 錄 .....	vi
表目錄 .....	vii
圖目錄 .....	viii
第一章 前言 .....	1
1.1. 研究動機 .....	1
1.2. 研究目的 .....	2
1.3. 研究範圍 .....	2
1.4. 研究流程及架構 .....	3
第二章 文獻回顧 .....	4
2.1. 維修保養策略介紹 .....	4
2.2. 電氣設備失效診斷技術 .....	9
2.3. 紅外線歷史 .....	11
2.4. 文獻探討 .....	12
第三章 研究方法 .....	19
3.1 實驗儀器 .....	19
3.2 研究方法與流程 .....	26
第四章 結果與討論 .....	46
4.1 紅外線熱影像檢測結果 .....	47
4.2 異常原因分析及說明 .....	67
4.3 TFT-LCD廠電氣設備故障風險分析 .....	73
第五章 結論與建議 .....	78
5.1 結論 .....	78
5.2 建議 .....	79
參考文獻 .....	80

## 表目錄

表 2.1 設備維護管理歷史演化表 .....	7
表 2.2 電氣設備失效診斷技術 .....	9
表 2.3 電氣設備溫度診斷技術比較 .....	10
表 2.4 相關文獻回顧 .....	13
表 3.1 熱型感測器比較 .....	23
表 3.2 紅外線熱影像儀規格 .....	25
表 3.3 紅外線熱影像檢測結果彙整表 .....	30
表 3.4 高低壓設備熱顯影檢測紀錄表 .....	31
表 3.5 低壓絕緣電線之最高容許溫度表 .....	32
表 3.6 絕緣導線於周溫超過 35 °C 時之修正係數 .....	33
表 3.7 金屬閉鎖型配電箱及控制箱之最高容許溫度及溫度上昇限度 .....	33
表 3.8 溫度在開關組件裡使用的絕緣材料限制 .....	36
表 3.9 溫度在開關組件裡使用的匯流排和連接限制 .....	36
表 3.10 半導體製造設備各零組件及裝置最大溫度極限 .....	36
表 3.11 絕對溫度異常研判及處理方式參考表 .....	42
表 3.12 絕對溫差值與檢修時效要求 .....	42
表 3.13 相對溫度異常研判及處理方式參考表 .....	43
表 3.14 紅外線熱影像檢測異常報告 .....	45
表 4.1 第一次檢測異常清單 .....	47
表 4.2 第二次檢測異常清單 .....	50
表 4.3 第三次檢測異常清單 .....	58
表 4.4 第四次檢測異常清單 .....	61
表 4.5 檢測結果一覽表 .....	64
表 4.6 檢測異常元件一覽表 .....	65
表 4.7 檢測異常原因一覽表 .....	66
表 4.8 電氣設備接觸不良原因分析及說明 .....	68
表 4.9 電氣設備超載原因分析及說明 .....	70
表 4.10 電氣設備元件故障及線路老化原因分析及說明 .....	72
表 4.11 TFT-LCD各機台檢測異常統計表 .....	74
表 4.12 TFT-LCD各機台風險值 .....	76

# 圖目錄

圖 1.1 97 年度火災件數統計 .....	1
圖 2.1 設備生命週期浴缸曲線(一) .....	4
圖 2.2 設備生命週期浴缸曲線(一) .....	5
圖 3.1 主動式紅外成像原理 .....	19
圖 3.2 紅外線熱影像儀結構及功能 .....	20
圖 3.3 光機掃瞄系統的掃描方式 .....	21
圖 3.4 焦平面探測器 .....	22
圖 3.5 紅外線光譜圖 .....	24
圖 3.6 紅外線熱影像儀外觀 .....	24
圖 3.7 使用紅外線熱影像儀進行電氣設備預知保養流程圖 .....	27
圖 3.8 遮蔽物影響量測結果說明 .....	29
圖 3.9 紅外線熱影像檢測結果診斷方式 .....	32
圖 3.10 UPS 熱影像圖 .....	38
圖 3.11 變壓器熱影像圖 .....	38
圖 3.12 變壓器熱影像圖 .....	39
圖 3.13 為無熔絲開關熱影像圖 .....	39
圖 3.14 無熔絲開關熱影像圖 .....	40
圖 3.15 比流器熱影像圖 .....	40
圖 3.16 無熔絲開關熱影像圖 .....	40
圖 4.1 TFT-LCD 製程流程圖 .....	46
圖 4.2 金屬濺鍍裝置 G03 電力熔絲接觸不良之熱影像圖(改善前) .....	48
圖 4.3 金屬濺鍍裝置 G03 電力熔絲接觸不良之熱影像圖(改善後) .....	48
圖 4.4 乾蝕刻裝置 01 端子台接觸不良之熱影像圖(改善前) .....	49
圖 4.5 乾蝕刻裝置 01 端子台接觸不良之熱影像圖(改善後) .....	49
圖 4.6 剝膜及成膜前洗淨裝置 08 無熔絲開關超載之熱影像圖(改善前) .....	53
圖 4.7 剝膜及成膜前洗淨裝置 08 無熔絲開關超載之熱影像圖(改善後) .....	53
圖 4.8 電漿式化學氣相沈積裝置 01 端子台接觸不良之熱影像圖(改善前) .....	53
圖 4.9 電漿式化學氣相沈積裝置 01 端子台接觸不良之熱影像圖(改善後) .....	54
圖 4.10 清洗/塗佈/顯像裝置 01 board IC 設計不良之熱影像圖(改善前) .....	54
圖 4.11 清洗/塗佈/顯像裝置 01 board IC 設計不良之熱影像圖(改善後) .....	54

圖 4.12 硬烤裝置 02 固態繼電器接觸不良之熱影像圖(改善前) .....	55
圖 4.13 硬烤裝置 02 固態繼電器接觸不良之熱影像圖(改善後) .....	55
圖 4.14 TFT側 多重裝載機 01 電磁接觸器接觸不良之熱影像圖(改善前) .....	55
圖 4.15 TFT側 多重裝載機 01 電磁接觸器接觸不良之熱影像圖(改善後) .....	56
圖 4.16 配向機 02 端子台線路老化之熱影像圖(改善前) .....	56
圖 4.17 配向機 02 端子台線路老化之熱影像圖(改善後) .....	56
圖 4.18 多重載重機 01 風扇故障之熱影像圖(改善前) .....	59
圖 4.19 多重載重機 01 風扇故障之熱影像圖(改善後) .....	59
圖 4.20 剝膜及成膜前洗淨裝置 10 積熱電驛接觸不良之熱影像圖(改善前) .....	60
圖 4.21 剝膜及成膜前洗淨裝置 10 積熱電驛接觸不良之熱影像圖(改善後) .....	60
圖 4.22 印字露光裝置 01 IO通訊板設計不良之熱影像圖(改善前) .....	62
圖 4.23 印字露光裝置 01 IO通訊板設計不良之熱影像圖(改善後) .....	62
圖 4.24 配向後洗淨機 03 無熔絲開關接觸不良之熱影像圖(改善前) .....	62
圖 4.25 配向後洗淨機 03 無熔絲開關接觸不良之熱影像圖(改善後) .....	63
圖 4.26 配向後洗淨機 03 變壓器線路超載之熱影像圖(改善前) .....	63
圖 4.27 配向後洗淨機 03 變壓器線路超載之熱影像圖(改善後) .....	63
圖 4.28 檢測異常元件統計 .....	66
圖 4.29 檢測異常原因統計 .....	67
圖 4.30 電氣設備接觸不良原因魚骨圖分析 .....	67
圖 4.31 電氣設備超載原因魚骨圖分析 .....	70
圖 4.32 電氣設備元件故障及線路老化原因魚骨圖分析 .....	72
圖 4.33 各異常等級件數統計 .....	75
圖 4.34 檢測異常機台件數統計 .....	75
圖 4.35 TFT-LCD各機台風險比較.....	77

# 第一章 前言

## 1.1. 研究動機

自十九世紀中葉以後，第二次工業革命開始，人類進入電氣時代。電力逐漸成為主要動力，被廣泛使用在各個領域，生產技術由一般的機械化轉變到電氣化、自動化，改變了人們的生活方式也點燃了現代文明。但水能載舟亦能覆舟，電力的應用為人類的生活帶來光明與便利，可是若使用不當或疏忽，也可能引起重大危害。依內政部消防署進行的火災統計，92年至97年電氣設備連續六年蟬聯火災主要肇因。以97年度之統計資料為例，去年度共發生2886起火災，由電氣設備所引起的件數為1016件，佔35.2%，如圖1.1所示。

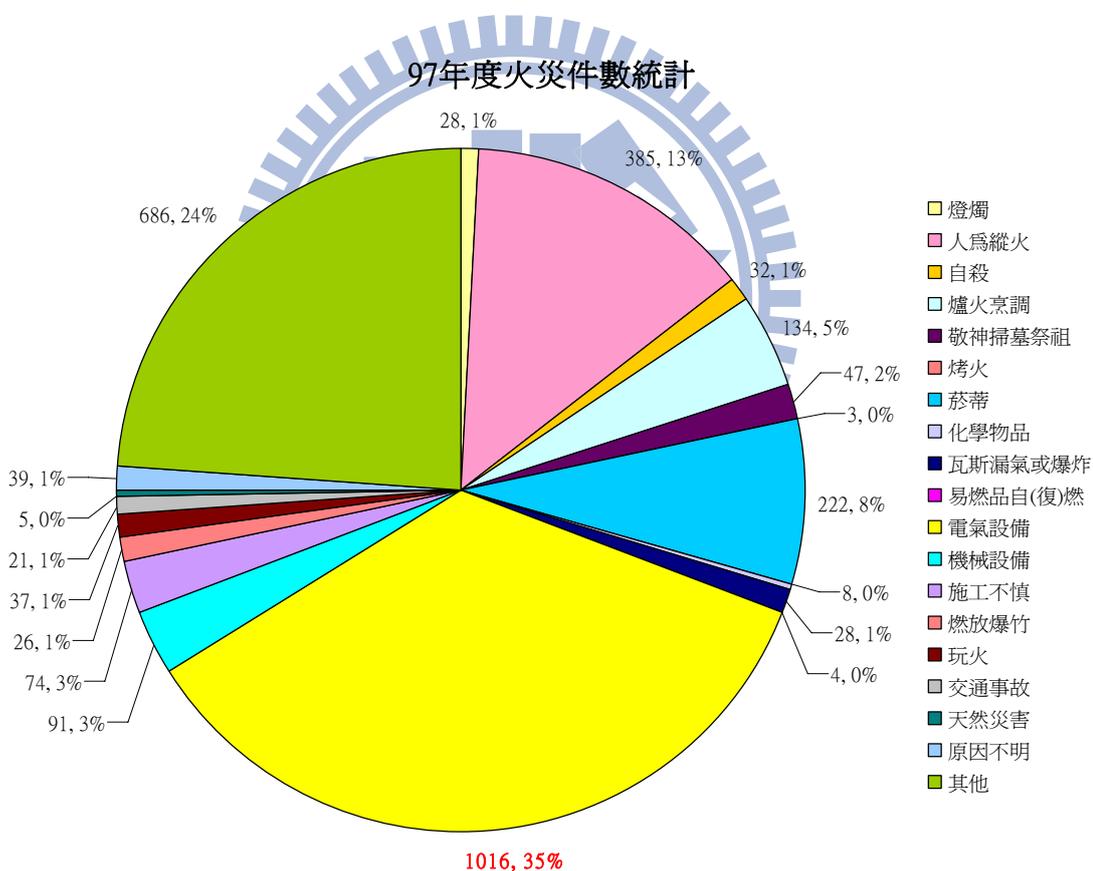


圖1.1 97年度火災件數統計

在光電、半導體等高科技產業，為因應快速、大量、精密的生產需求，電氣設備更是被大量使用，因此異常發生機率及嚴重性也隨之提高，一旦電氣設施發生異常，可能造成產能中斷之營運損失，電氣火災之設備、廠房損失，甚至造成人員傷亡，對產業而言絕對是一項巨大的衝擊。因此如何能早期發現電器設備之異常，事先進行對策，避免

災害與損失的發生，最好的方式之一就是透過適當的檢查與保養。

## 1.2. 研究目的

傳統的事後保養對精密、複雜的高科技產業而言不敷使用，定期保養也有造成過度保養或保養不足之虞，事先診斷電氣設備的狀態再進行防制的預知保養，是最經濟、有效的保養方式。

現今電氣設備之診斷技術極為廣泛，紅外線熱影像分析、紫外線電暈(放電)影像分析、振動分析、超音波音洩及油中氣體分析、油品特性試驗、油中糠醛類分析等技術，其中又以紅外線熱影像分析之應用最為廣泛者。

但目前大部份的產業進行電力設施之紅外線熱影像檢測，其檢測對象大多仍集中於廠務之電氣設施，製程設備之電氣設施則因數量眾多、分布廣泛，再加上人力、物力有限，大多未予以檢測。其實製程設備之電氣設施發生異常的機率及所造成之危害，並不亞於廠務設備，以下列舉數點進行說明：

1. 製程設備之電氣設施均由設備廠商自行設計安裝，但由於製程設備之數量、種類眾多、廠牌不一，因而導致施工技術、品質良莠不齊，易造成運轉時之異常。
2. 製程設備之電氣設施發生故障時，其影響雖然不及可能造成全廠停電之廠務設備，但部分瓶頸製程之設備若故障，也會造成整條產線停擺，嚴重影響產能。
3. 半導體跟液晶面板的某些製程對潔淨程度要求嚴苛，而製程設備之電氣設施大多放置於 Fab 或 Sub-Fab，若因電氣設施故障引起電氣火災，火災產生的煙粒子，無疑會破壞無塵室的潔淨度，影響產品良率。國外曾經有無塵室發生小型火災，雖然並未造成建築本體破壞，但卻耗費了大量的時間與金錢在廠房、設備清潔等環境復原上。
4. 製程設備之電氣設施大多放置於 Fab 或 Sub-Fab，均為人員之作業區域；且因應製程需求，廠房內會使用數種毒性、腐蝕性、易燃性之氣體及藥液，一旦發生火災，造成人員傷亡之機率大增。

因此本研究選擇 TFT-LCD 廠之製程設備為研究對象，提供應用紅外線熱影像儀進行製程設備電氣設施預知保養之注意事項並分析製程機台較常發生異常之原因及部位，期能提供業界進行電氣設備預知保養時之參考。

## 1.3. 研究範圍

目前紅外線熱影像儀已廣泛應用在各個領域，查詢國內外相關研究，也不乏應用紅外線熱影像於電氣設備預知保養上之探討，但其研究對向大多以變壓器、絕緣礙子等高壓電氣設備或電廠、變電站等區域為主，較缺乏對高科技產業及其製程機台電氣設備應

用之研究，因此本研究於 2006 至 2008 間，以某 TFT-LCD 廠 ARRAY、CELL 及 MDL 製程機台電氣設備為對象，以紅外線熱影像儀進行該廠製程機台電氣設備之預知保養，並提供研究結果，期能作為製程機台執行預知保養作業時之參考。本研究之研究範圍如下：

1. 以實際進行紅外線熱影像檢測之經驗，提供製程設備執行預知保養及檢測結果判讀時之建議。
2. 製程機台電氣設備異常及異常改善案例說明。
3. 製程機台異常部位、異常原因分析。

#### 1.4. 研究流程及架構

本研究共分為五個章節，第一章為前言，第二章為文獻回顧，第三章為研究儀器及方法，第四章為結果與討論，第五章為結論與建議。本研究之研究流程及架構，請參閱圖 1.2。

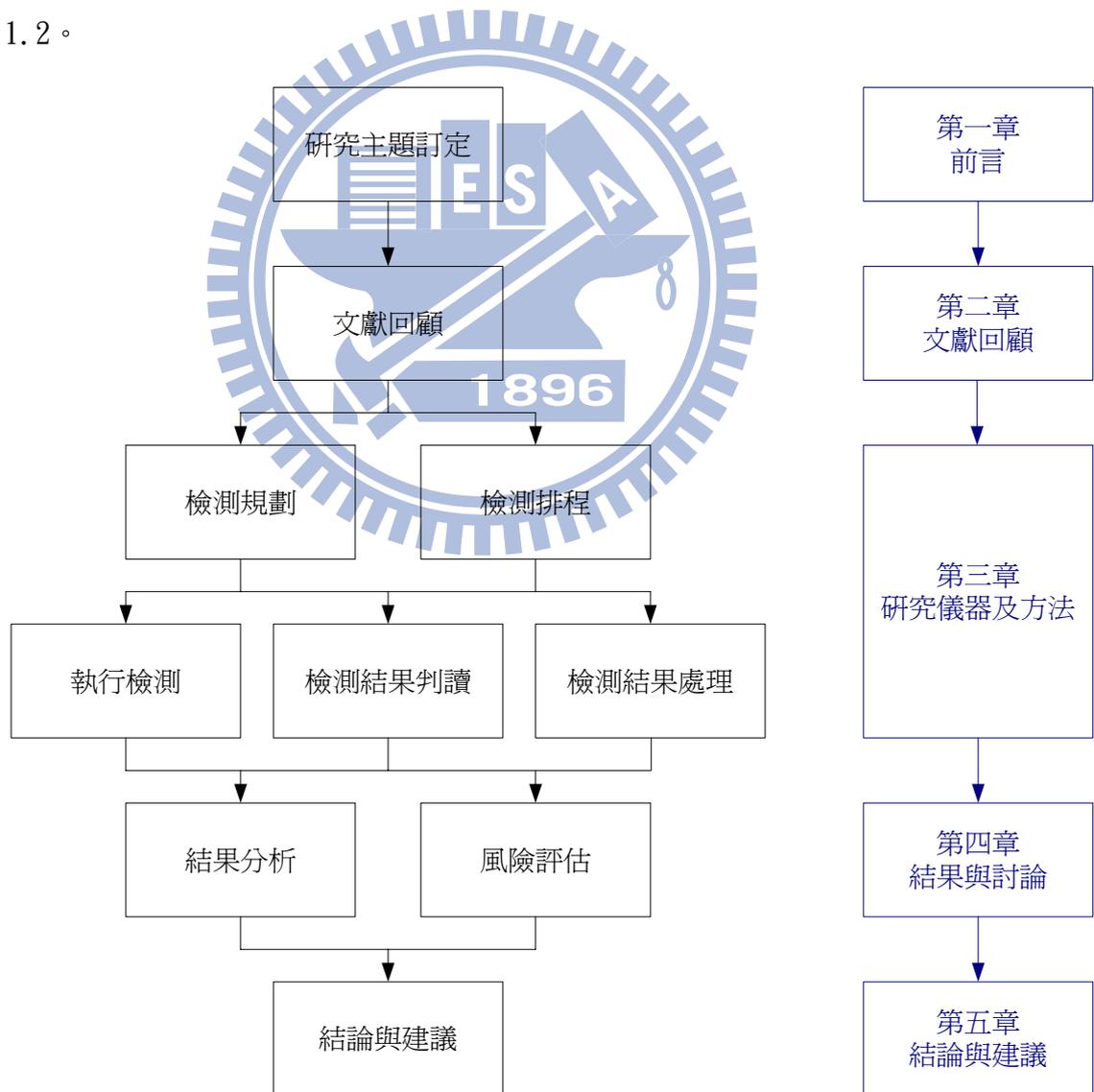


圖 1.2 研究流程及架構

## 第二章 文獻回顧

### 2.1. 維修保養策略介紹

在工業界中的電氣設備常佔工廠設備的最大宗，經過統計結果分析多數電氣設備的故障率是時間的函數，典型故障曲線稱之為浴盆曲線 (Bathtubcurve, 失效率曲線)如圖 2.1，其中縱軸代表故障率，橫軸代表累計的操作時數，曲線的形狀呈兩頭高中間低，具有明顯的階段性，可劃分為三個階段：早期失效期、偶然失效期、耗損失效期。

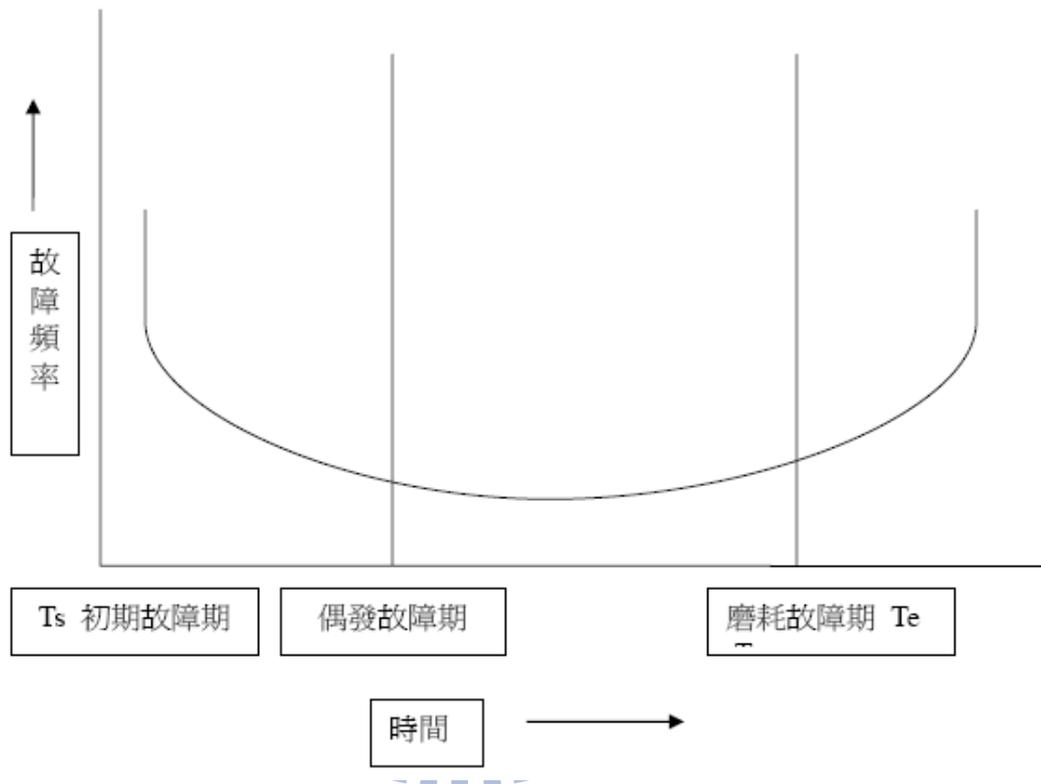


圖2.1 設備生命週期浴缸曲線(一)

資料來源：鄭達才，2000

第一階段是早期失效期(Infant Mortality)：一台新裝設完成的機器在最初的幾個小時或是幾個運轉週期時間內產生故障的可能性非常高，這些失效的原因通常是由於設計、原材料和製造過程中的缺陷或安裝時所產生的問題。

第二階段是偶然失效期，也稱隨機失效期(Random Failures)：過了這個初期階段之後，長時間的正常運轉時期產生故障的機率相對較低，且較穩定，這一時期是產品的好使用階段，偶然失效主要原因是品質缺陷、材料弱點、環境和使用不當等因素引起。

第三階段是耗損失效期(Wearout)：隨著工作時數的不斷增加，該階段出現故障的可能性將急遽增加，主要由磨損、疲勞、老化和耗損等原因造成。

然而，若設備自生命週期開始，就能落實完善的維護保養，不但能縮短初期故障期的時間，甚至因為設備劣化的趨勢與速度受到控制，因而延長設備正常壽命，延後進入磨耗故障期。反之，若設備維護保養不當，設備劣化的速率就會加快，設備壽命將會提前至  $T_b$  甚至  $T_a$ ，如圖 2.2。

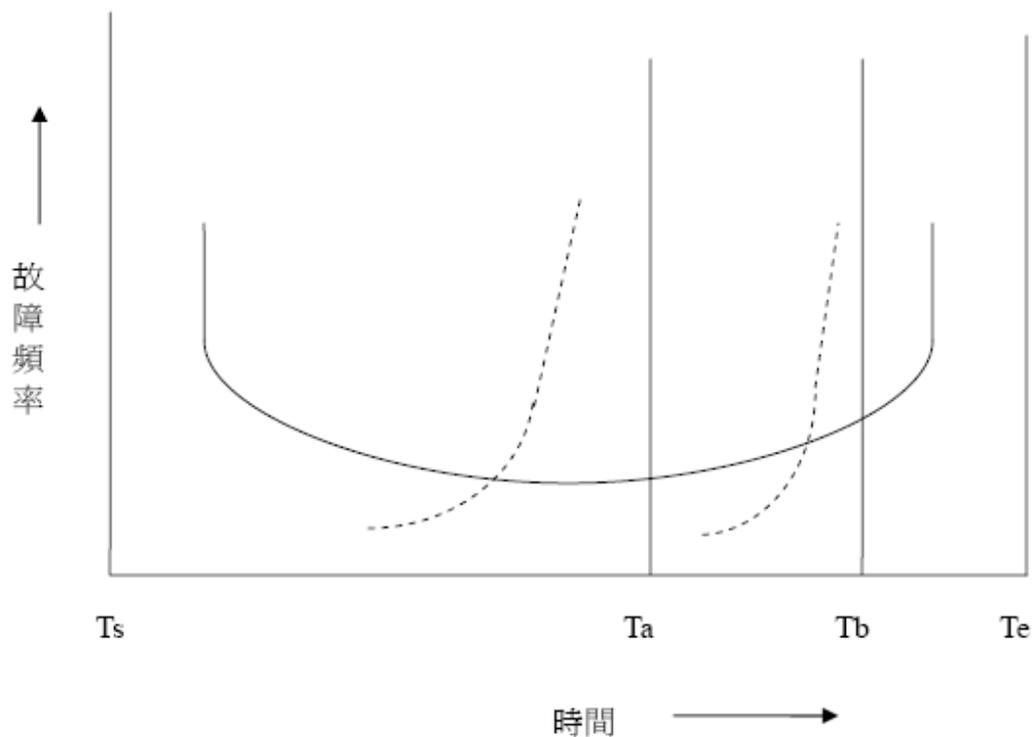


圖2.2設備生命週期浴缸曲線(一)

資料來源：鄭達才，2000

一般而言，企業的主要損失有八項(Burres, k. , 2002)

1. 設備故障停止
2. 產品線調整
3. 正常的生產損失
4. 不正常的生產損失
5. 設備失效
6. 品質缺陷
7. 製程不良
8. 產品重工

隨著科技越來越發達，工廠自動化程度提高、機械設備愈趨複雜精密，設備的產值隨之提高，造價也愈趨昂貴。以友達光電為例，97年6月所公佈之固定資產總計508,715,620，其中機械設備的金額就高達431,145,340，佔了85%。因此一旦設備發生

故障、損壞，光就設備本身單價，對廠商而言就是一項巨大損失。另外，當設備發生故障或非正常關機(shut down)，機台進行重新開機、設定、升溫，直至可以正常生產，可能就需花半天至一天的時間，生產設備之良窳及可靠度對設備的產值、良率有絕對的影響。而實施設備保養的目的，就是使生產設備維持長期經濟效益。(羅樹棠，2005)

根據美國貿易及工業局(The british Department of Trade & Industry-DTI)對保養的定義如下：保養是為了確保機器、裝備的可用度及整體效能達到最佳狀態，以符合商業需求的管理、管制、執行及品保的作為。美國伯斐教授 1961 年出版之「現代化生產管理 (Modern Production-Management)」保養乃維持整個生產系統之可靠性于一合理水準，亦即使所有機器設備能依生產計畫不停操作之意。設備維護保養有下列效益：

1. 使設備發揮最大效益：

- (1). 降低設備故障率及維修時間
- (2). 減少設備停機造成之產能損失
- (3). 減少設備停機造成之工時損失
- (4). 延長設備壽命

2. 節省能源、原物料費用

- (1). 降低製程中物料耗損
- (2). 減少停機時已上料之原料損失
- (3). 減少因故障所產生之不良品
- (4). 節省能源的使用

3. 確保產品品質

- (1). 降低產品故障率
- (2). 提高產品良率
- (3). 確保產品品質

4. 增加安全

- (1). 減少或避免意外事故的發生
- (2). 降低維修工作的複雜度，促使維修人員減少工作錯誤

隨著工廠生產設備由 30、40 年代的簡單、大型化設備，演變至 80 年代後之精密、複雜的自動化設備，工廠對設備維修保養的方式及觀念，也隨之改變，設備維護管理歷史演化請參閱表 2.1。

表 2.1 設備維護管理歷史演化表

時期	維護管理方式	維護管理時機	背景因素	優缺點	分類
1950前	緊急(故障)搶修 Breakdown Maintenance (BM), Corrective Maintenance (CM), Run-to-Failure (RTF), No Scheduled Maintenance	設備不做任何計畫保養，直到設備故障才進行矯正措施	機械化程度不高，設備簡單	優點：檢點成本為零 缺點：維修費用高、生產影響大、影響產品品質及良率	被動保養
1950   1990	預防保養 Time-Based Maintenance (TBM), Preventive Maintenance(PM)	依據設備特性，排定固定週期定期更換可能損壞的零組件，以避免設備突然故障後所造成的生產流程嚴重損失。	機械化程度提高，設備越趨複雜	優點：檢點成本為零，需求人力少，故障也少 缺點：常保養過度，總成本通常比預知保養來的高	主動保養
1990後	預知保養 Condition Based Maintenance (CBM) On-Condition Maintenance (OCM) Predictive Maintenance (PdM) Proactive Maintenance (PaM)	依據設備操作條件，進行長期監控，當操作條件異常時，立即與以更正，以避免設備故障發生，同時達到即時有效的設備維修。	設備複雜、價值高、產值大	優點：可防止過度保養 缺點：監視或量測系統成本高，人員素質需求高於定期保養，	主動保養

1950 年代以前，生產方式主還還是以人工為主，機械自動化程度並不高，再加上操作人員對機械設備的本身並不十分了解，因此設備平時不做任何定期或不定期之點檢、檢查、保養，一直到設備故障停止或顯著劣化，才予以維修，故稱為事後保養(Break-down Maintenance 簡稱 BM)。此種保養方式，十分倚賴操作者之經驗，若操作者未能早期察覺故障，設備損壞的情況通常都很嚴重，甚至造成機械完全無法維修而報廢，還可能因此危及人員安全，因此目前除非重要性、危害性較低之設備，才可能採取此種維修保養方式。

1950~1990 設備機械化程度提高、設備數量增加，因此開始重視設備的管理，採取定期式保養(Time Base Maintenance)。依據設備特性、使用時數、動作次數等，排定計劃定期更換可能損壞的零件。定期保養可避免設備突然故障所造成的產能、待工損失，增加設備的可靠度。但人員需依照設備所更換下來零件判斷劣化狀況，持續調整維修保養週期，否則很容易過度保養，造成成本、時間及產能的浪費，另外，不必要的維修保養行為，也增加人為疏失的可能性。

1990 年後許多設備改採預知保養策略。設備使用者可利用各種監測、診斷技術，主動知悉設備、元件的劣化與故障，預期設備之性能及可靠性，再施以必要對策，因維修時機視其劣化狀況而定，所以亦稱之為臨界保養或現況維修 (Condition Based Maintenance 或 On-Condition Maintenance)。預知保養具備了預防保養的優點，能降低設備故障率，提高設備運轉之可靠性，還能避免設備過度維護衍生之問題。雖然預知保養策略無法保證不會發生非預期的故障，且實施預知保養須有診斷、監測設備，人員素質要求較高，但經過整體評估，其效益大於故障保養及定期保養，是三種策略中，最有效的維修方式。

根據文獻指出，美國傳統的維護成本(即人力與材料)在過去的一、二十年間急遽升高。在 1981 年，美國的工廠花費在維護其關鍵裝置設備上的成本達到了 6000 億美元。在 1991 年，這項成本已經升至 8000 多億美元，而在 2000 年更是破記錄地達到 12000 億美元。這些數據表示，這些成本的 1/3 到 1/2 是由於採用了無效的維護管理方法而遭浪費掉。台灣目前並沒有這樣的統計數據，但我們可以確定的是，實際的情況在基本上亦是相同的。有鑑於此，選擇適當的維護保養策略，才能使保養維護符合「經濟、安全、有效」的原則。(葉芳俊，2006)

根據美國 TEC(Technology for Energy Corporation)公司機具效能評估部門於 1988 年對 500 家使用預知保養維修策略的工廠所作的調查，其維修費用減少 50%以上，設備使用率提高 30%，且可降低 30%的備品零附件及提高 30%的產能。這也是為何越來越多設備採用預知保養策略之原因。

## 2.2. 電氣設備失效診斷技術

在工業界中的電氣設備常佔工廠設備的最大宗，電氣設備維修保養方法需依據設備失效之可能性、嚴重性及異常發生的症狀，施予不同的診斷方式及分配適當的維修保養資源。工廠所推展電氣設備之預知保養，其應用的診斷技術極為廣泛，其中包含了紅外線熱影像分析、潤滑油分析、電暈分析、振動分析、及超音波音洩等技術，這些均屬於非破壞性分析技術，讓電氣設備在不需要停機的狀況下，即可實行檢測及監控並發現異常問題點，以達到即時改善，避免發生重大損失之目的。茲列舉較常應用之電氣設備失效診斷技術，如表 2.2 做簡要說明。

表 2.2 電氣設備失效診斷技術

檢測技術	應用範圍	檢測方式
紅外線熱影像檢測(IR 檢測)	輸電系統：絕緣礙子、電纜接續套管、跳接線、夾板 配電系統：配電系統：開關箱、配電盤、變壓器、斷電器、接觸器、保險絲、電纜 變電系統：空斷開關、隔離開關、變壓器、斷路器、匯流排、比壓器、比流器、合成器、電容器、電抗器、接觸器、避雷器 發電廠：發電機碳刷繞組裝備、發電機、發電機饋電線、電壓調節器、發電機馬達控制中心電盤	設備失常所產生的異常溫度。
紫外線放電影像檢測(UV 檢測)	輸電系統：電纜線、礙子、終端夾板、套管 配電系統：開關設備、銅排、螺栓、螺母、電纜終端處理頭 變電系統：高壓電力設備、乾式變壓器	電暈放電所產生之光波。
超音波檢測(US 檢測)	高壓電纜、模鑄型變壓器、模鑄型比流器、模鑄型比壓器、GIS	放電點產生之聲波或震動波。
振動檢測	發電機、變壓器。	異常的振動及振幅。

表 2.2 電氣設備失效診斷技術(續)

檢測技術	應用範圍	檢測方式
油中氣體分析	變壓器、OLTC	絕緣油中因高溫而產生之故障氣體，例如 CO、H <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub>
絕緣油特性試驗	變壓器、OLTC	絕緣油的物理、化學和電氣性質，例如電介質強度、含水量、酸價、介面張力
糠醛分析試驗	變壓器、OLTC	絕緣油中因絕緣材料纖維質劣化生成之糠醛類化合物

電力設備的異常前兆包括溫度、振動、壓力、聲響、電量、光、異物等各項，藉由量測、分析、判斷這些異常徵兆，便可極早發現電氣設備之故障並予以對策。其中，絕大多數電氣設備異常，在初期階段會顯示可覺察的溫度差異，因此溫度的測定已經成為重要的檢驗技術。

電氣設備溫度診斷方式大致可分為接觸式、非接觸式，接觸式包括溫度貼紙監測、接觸式表溫計，非接觸式包括紅外線點溫計及紅外線熱影像儀。表2.3列出三種較常用於電器設備的溫度診斷技術，其中紅外線熱影像儀較適合進行設備的全面性檢測，其餘診斷技術則較適用於電器設備之局部查核。

表 2.3 電氣設備溫度診斷技術比較

檢測種類	測量原理	優點	缺點
紅外線熱像儀	接收物體因原子、分子運動所發射的紅外輻射能量，測出設備表面的溫度及溫度場的分佈。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 容易進行全面性設備檢測工作</li> <li>2. 可對高處及遠處之設備作遠距檢測</li> <li>3. 顯示整體溫度分佈，可便利故障原因研判工作</li> <li>4. 熱像儀可直接儲存設備熱影像，方便記錄及比對。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 昂貴</li> <li>2. 體積相對大，攜帶較不便</li> <li>3. 須定期校正，校正費用高</li> </ol>

表 2.3 電氣設備溫度診斷技術比較(續)

檢測種類	測量原理	優點	缺點
紅外線點溫計	接收物體因原子、分子運動所發射的紅外輻射能量，測出設備表面的溫度值。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 較適合作重點式局部查核</li> <li>2. 可對高處及遠處之設備作遠距檢測</li> <li>3. 體積小，攜帶方便</li> <li>4. 相對較便宜</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 當測量距離變大時，準確性會受到影響</li> <li>2. 須以多點量測才能構成整體溫度分佈，不利故障原因研判工作</li> <li>3. 需自行記錄檢測溫度</li> <li>4. 需進行校正</li> </ol>
溫度貼紙	利用特殊顏料不同熔點之特性來變色。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 較適合作重點式局部查核</li> <li>2. 體積極小，攜帶方便</li> <li>3. 便宜</li> <li>4. 無需維修保養。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 僅能作直接接觸檢測，不易達成整體溫度分佈量測</li> <li>2. 難以使用於高處及遠處之設備</li> <li>3. 僅能做半定量分析，無法知道確切溫度值。</li> <li>4. 檢測結果難以記錄，及作為比對之用</li> <li>5. 設備之形狀及污漬會導致檢測誤差及貼紙脫落。</li> </ol>

### 2.3. 紅外線歷史

紅外線的歷史主要可分為三個時期，黎明其、開拓期及發展期。

#### 1. 黎明期 (1800~1880)：

西元 1800 年英國倫敦皇家學院的赫契爾爵士 (Sir. WILLIAM HERSCHEL) 發表太陽光在可見光譜的紅光之外還有一種不可見的延伸光譜，具有熱效應，因而推斷有紅外線的存在，從此開闢了人類應用紅外技術的廣闊道路。

#### 2. 開拓期 (1881~1950)：

1917 年第一次世界大戰期間，第一台光電控制器 (Photoconductive detector) 問世，在這之前的溫度探測器，只能量測到物體在受到刺激時增加的溫度，而光電控制器能直接將入射的輻射轉換成導電率，隨後再轉換成溫度。第二次世界大戰時紅外線的運用變的更廣泛，包括機械裝置、船艦、冰山探測、通訊、追蹤飛彈等。

### 3. 發展期 (1951~今日):

1964 年美國德克薩斯儀器公司 (TI) 首次研製成功第一代的熱紅外成像裝置，叫紅外前視系統 (FLIR)，這類裝置利用光學元件運動機械，對目標的熱輻射進行圖像分解掃描，然後應用光電探測器進行光電轉換，最後形成視頻圖像信號，並在螢幕上顯示，紅外前視系統至今仍是軍用飛機、艦船和坦克上的重要裝置。六十年代中期瑞典 AGA 公司和瑞典國家電力局，研製出第一套工業用的即時成像系統 (THV)，該系統在紅外前視裝置的基礎上，開發了具有溫度測量功能的熱紅外成像裝置，這種第二代紅外成像裝置，通常稱為熱像儀。該系統由液氮致冷，110V 電源電壓供電，重約 35 公斤，攜帶不便。經過對儀器的幾代改進，1986 年研製的紅外線熱影像儀已無需液氮或高壓氣，而以熱電方式致冷，可用電池供電；1988 年推出的全功能熱像儀，集溫度的測量、修改、分析、圖像採集、儲存於一體，重量小於 7 公斤，儀器的功能、精度和可靠性都顯著提高。九十年代中期，美國 FSI 公司首先研製成功由軍用技術 (FPA) 轉民用並商品化的新一紅外線熱影像儀 (CCD) 屬焦平面陣列式結構的一種凝成像裝置，技術功能更加先進，現場測溫時只需對準目標攝取圖像，並將上述資訊存儲到機內的 PC 卡上，即完成全部操作，各種參數的設定可回到室內用軟體進行修改和分析資料，最後直接得出檢測報告，由於技術的改進和結構的改變，取代了複雜的機械掃描，儀器重量已小於二公斤，使用中如同手持攝像機一樣，單手即可方便地操作。

#### 2.4. 文獻探討

回顧前人進行之研究，電力系統(電氣設備)故障診斷之手法有多許種，例如紅外線熱影像、超音波部分放電檢測技術、局部放電圖譜檢測、油中氣體分析及利用人工智慧…等方式，但其研究對象大多以變壓器、電路板、絕緣礙子或大型及高壓電力系統為主，並無以製程機台電氣設備為對象之研究。

葉瑞興於 2006 年發表之「自動化半導體廠電力系統之故障診斷研究」，研究對象與本研究類似，均為高科技廠之電力(氣)設備，但葉瑞興之研究是以電力系統的運轉特性進行分析，以因果網路及規則矩陣方法，增訂部份電力系統診斷的步驟，藉以縮短值班人員判斷出故障位置的時間。而本研究則是以紅外線熱影像儀對 TFT-LCD 廠 ARRAY、CELL、MDL 製程設備之電氣設施進行檢測，並分析製程機台較常發生異常之原因、部位及該廠之風險推估值，研究對象及手法均不同，因此也期本研究能提供業界進行電氣設備預知保養時之參考，以降低製程電氣設備故障之風險。應用紅外線熱影像儀於電力系統或電氣設備之研究及電力系統或電氣設備故障診斷之相關研究請參閱表 2.4。

表 2.4 相關文獻回顧

論文名稱/作者/出版年	研究對象	使用設備/方法	研究內容/貢獻
<p>基于紅外熱像技術的電力設備故障在線監測與診斷/張越/2008</p>	<p>電力系統接線設備</p>	<p>紅外線熱影像儀、matlab 軟體</p>	<p>主要是利用 matlab 軟體對紅外熱像儀所拍攝到的電力系統接線設備圖像進行增強圖像、降低干擾和壓縮等處理，並以 matlab 軟件編程設計電力設備故障診斷系統界面，該界面具有圖像處理，直方圖顯示，偽彩色像素值與溫度的轉化，邊緣提取，故障定位和故障類型顯示的功能，可供人員檢修時進行參考。</p>
<p>Hazard rate estimation for high-voltage contacts using infrared thermography/ Lindquist, T.M.; Bertling, L./2008</p>	<p>high-voltage electrical contacts in electric distribution and transmission systems.</p>	<p>infrared thermography</p>	<p>This paper proposes a method to save and make use of thermography measurements to estimate statistical distribution parameters for the time to failure for a population of electrical contacts. The statistical distributions may then be used to support maintenance decisions for the sometimes large proportion of contacts that may not be assessed directly due to low load. As the measurement results accumulate over the years more accurate predictions can be made.</p> <p>The proposed method is illustrated using three test cases applied to a population of high-voltage disconnectors with randomly generated thermography measurements.</p> <p>The main conclusion of the paper is that using the proposed method will provide maintenance decision support for high-voltage apparatus that may not be assessed directly by thermography.</p>

表 2.4 相關文獻回顧(續)

論文名稱/作者/出版年	研究對象	使用設備/ 方法	研究內容/貢獻
電力變壓器熱故障的 在線診斷技術/郭英 軍、孫麗華、孫會琴、 冉海潮/2007	變壓器	紅外線熱影 像儀	利用紅外線熱像儀即時拍攝變壓器表面的熱圖像，建立其溫度分佈場。根據變壓器的表面溫度、內部結構參數、物理特性參數和環境溫度，建立其傳熱模型，對變壓器內部鐵芯故障點溫度進行反演計算，並將推演結果與離線 DGA 診斷結果進行比較，證明利用紅外線攝像儀確實可以進行電力變壓器的故障預測診斷。
基于紅外線熱像及人工 智能的絕緣子污穢等 級識別方法研究/何洪 英/2006	絕緣子	紅外線熱影 像儀、人工 智能	絕緣子受到污染會嚴重影響電力的安全、穩定、可靠傳輸。因此該研究提出了利用紅外線熱像特徵與人工智能的絕緣子污穢等級測量方法。研究時使用高分辨率紅外線攝像儀採集污穢絕緣子圖像，並利用人工智能去除干擾，獲得絕緣子紅外線熱像背景的最高溫度、最低溫度、平均溫度等資訊，再綜合考慮濕度及電壓對污穢特征的影響，建立起了不同濕度和電壓下的絕緣子紅外線熱像污穢特征與各污穢等級之間的映射關係，以達成絕緣子各污穢等級的準確和快速識別。
應用紅外線熱影像及 超音波技術於電力設 備預知維護之研究/蔡 耀友/2006	電力設備	超音波部分 放電檢測技 術、紅外線 熱影像儀	提出紅外線熱影像對電力設備內部故障檢測較不明顯，因此該研究結合超音波技術來對電力設備內部故障進行檢測，兩者相輔相成，藉以預知設備是否異常，提升電力設備維護之安全要求，防止大規模的停電。

表 2.4 相關文獻回顧(續)

論文名稱/作者/出版年	研究對象	使用設備/ 方法	研究內容/貢獻
基于紅外熱像技術的變壓器內部故障診斷研究/孫守華/2006	變壓器	紅外線熱影像儀	以紅外熱影像儀檢測到的變壓器表面溫度分布數據為附加邊界條件，應用傳熱學理論從而確定變壓器內部故障的性質及位置，並提供變壓器內部故障的紅外熱影像典型圖譜分析，作為變壓器預知性維修依據。
以熱影像儀輔助之切換式電源供應器損失配置與傳導性電磁干擾分析/游嘉弘/2005	反馳式電源供應器	紅外線熱影像儀	以紅外線熱影像儀輔助偵測電路板上之熱源分佈情形，藉此對反馳式架構的切換式電源供應器進行元件損失定位，與散熱對傳導性電磁干擾(Conducted EMI)之影響分析。由本文實驗結果得知降低電路板之表面溫度，確可改善電源供應器之傳導性電磁雜訊干擾。
應用紅外線熱影像技術於電力設備異常診斷之研究/李意誠/2002	高低壓電力設備	紅外線熱影像儀	提供高壓電力設備如電力變壓器、高壓套管、避雷器、陷波器及低壓電力設備如電力電纜、隔離開關、比流器、旋轉電機等電力設備發生異常的典型案例分析訊息，俾利電力維護人員能有效且安全地運用此技術，增進設備運轉可靠度及安全。
熱影像技術應用於電子板件故障檢測之研究/吳麟哲/1999	電子板	紅外線影像輻射儀	以紅外線影像輻射與數位攝影機擷取電子板件的熱分佈影像與可見光影像，將兩種不同影像相互對照，藉此可得到電路板上各元件的明顯邊界及熱量分佈狀況。由於電子元件於正常與故障狀態下會產生不同溫度變化，利用此特性可找出元件的熱特徵參數並輸入至倒傳遞網路模式中診斷電子元件故障與否，以達到電子板件上故障元件檢測之目的，且診斷結果正確率達 95%以上。

表 2.4 相關文獻回顧(續)

論文名稱/作者/出版年	研究對象	使用設備/方法	研究內容/貢獻
Assessment of circuit direct cooling for infrared thermography purposes/Janicki, M.; Napieralski, A./ 2004	Circuit Direct	infrared thermography	<p>One of the most commonly employed methods of electronic circuit temperature measurement is the infrared thermography. Using this method requires direct access to the structure surface thus, in order to perform measurements, openings must be made in the circuit package. This, in turn, changes cooling conditions and consequently circuit temperature.</p> <p>This paper presents the problem on a practical example where the impact of an opening on circuit temperature is assessed by the comparison of infrared and p-n junction measurements</p>
電力電纜局部放電檢測與圖譜辨識之研究/鄭凱中/2007	交連聚乙烯電纜、電力電纜終端接頭、直路接續匣	局部放電圖譜檢測	<p>以 25kV 電力電纜為被試物，首先於高壓實驗室模擬常見之劣化現象，如電暈、刀傷及針孔空洞等，再進行局部放電圖譜檢測分析。同時進行現場電力電纜終端接頭、直路接續匣等局部放電圖譜檢測。此外，文中以局部放電脈衝電流、暫態對地電壓與音射法檢測進行驗證，顯示放電圖譜於電力電纜劣化推斷效果頗佳，可有效提升線上即時劣化判斷之準確性。</p>
應用株落選擇演算法及支撐向量機於電力變壓器先期故障診斷策略之研究/李財福/2007	電力變壓器	株落選擇演算法、支撐向量機	<p>該論文首次結合免疫株落選擇運算法則(CSA)來探索，使用徑向基函數(RBF)為核心函數，規劃具有特徵輸入和核心函數自動參數選擇的的類神經網路(ANN)以及多層支撐向量機網路模型(SVM)來處理解決複雜的電力變壓器先期潛在故障診斷之問題。本研究運用免疫株落選擇運算法則改進分類的準確性；它可在運算中除去多餘可能干擾分類器的輸入特徵向量並且同時可以自動優化核心參數選擇。</p>

表 2.4 相關文獻回顧(續)

論文名稱/作者/出版年	研究對象	使用設備/ 方法	研究內容/貢獻
PDA 在醫院工務機電設備定期保養管理之運用 —以永和耕莘醫院為例/王毓坤/2007	醫院機電設備	PDA、資訊管理系統	以 PDA (Personal Digital Assistant) 為工具，利用其輕巧的特性，內建條碼掃描器功能，構建一套醫院設備定期保養管理資訊系統。經過於某教學醫院實際測試驗證，其能有效改善人力作業成本，節省操作端約一半時間，在管理端效率的部份從原有 1 至 1.5 小時縮短成爲 3 至 5 分鐘的時間，有效的改善醫院機電設備的維護人力成本。
應用細菌趨化尋優演算法於電力系統故障區段之診測/黃世杰 /2007	電力系統	細菌趨化尋優演算法	該研究提出細菌趨化尋優演算法來求解電力系統故障診斷的問題，經由實際系統進行測試，以驗證細菌趨化尋優算法於配電系統故障診斷之效能，並將其與其它方法測試比較，而由結果顯示，此細菌趨化尋優演算法確具較佳運算效能，且能以較少之疊代次數判定故障區段，應有助於工程人員即時預警及施行相關維修之需。
應用機器視覺於鉚釘電氣接點之表面檢測/陳玟伶 /2006	鉚釘電氣	機器視覺檢測系統	運用影像處理技巧，建立一套有效之鉚釘電氣接點之視覺檢測系統，以機器視覺代替人力來做嚴格的品質把關及瑕疵分類。
自動化半導體廠電力系統之故障診斷/葉瑞興/2006	半導體廠電力系統	因果網路、規則矩陣	該論文經由半導體廠電力系統的運轉特性分析，提出因果網路及規則矩陣為研究方法，增訂部份診斷的步驟，使其適應於半導體廠的電力運轉特性，經驗證即使面對多重故障且有設備失效的狀況下，診斷結果亦相當正確。並藉此開發出一套電力故障診斷的輔助系統，將能更加快速、正確的協助值班人員，對電力故障區域進行隔離，並恢復電力供應減少產能損失。

表 2.4 相關文獻回顧(續)

論文名稱/作者/出版年	研究對象	使用設備/ 方法	研究內容/貢獻
利用 GSM 資料收集模組與多層支撐向量機分類器建構電力變壓器故障診斷系統/王錦榮/2005	電力變壓器	無線型資料收集與監測系統、多層支撐向量機分類器	1.係針對變電所(站)電力變壓器研製與建立一套無線型資料收集與監測系統，藉以收集與監測變壓器的電力參數(包含電壓、電流、實功與功因)、變壓器高低壓側外殼振動模式、以及油中主要氣體總含量 TCG，並經由 GSM 無線通信發出警訊，即時通知運轉人員。 2.建置多層支撐向量機網路模型 (Multi-Layer Support Vector Machine, SVM) 用以診斷變壓器故障的先期徵兆，以便進一步停機進行相關維護程序，以有效降低變壓器維護成本，並期延長變壓器運轉壽命與提升變電所之供電可靠度。
電力系統適應性故障診斷及電力品質偵測之研究/林家宏/2003	電力變壓器	故障診斷系統(人工智慧)	本論文主要建立一套輔助性偵測工具，不僅不須再增加任何設備，且可納入現行既有的監控系統，以進行故障區域偵測、警報訊號處理、變壓器故障診斷、及電力品質偵測，可取代傳統施行人工監視控制方式。
應用線上監測於電力變壓器異常診斷之研究/李清吟/2002	電力變壓器	油中氣體分析、診斷程式	當變壓器內部產生異常現象時，其內部之油中氣體含量將產生變化，因此該研究透過線上監測器檢測出油中氣體成分與含量，並經診斷程式立即診斷出變壓器運轉狀況、異常原因及可能異常部位，以提供變壓器維護人員預知防範及維護保養之參考。 經以台電實際之變壓器異常案例，運用本文所提的診斷程式，進行變壓器診斷測試，比較各種診斷方法分析測試結果顯示，本文所提出的診斷程式能快速且正確的診斷。

## 第三章 研究方法

### 3.1 實驗儀器

本研究所使用到之儀器包括紅外線熱影像儀、紅外線熱影像軟體、勾表、三用電錶等：

1. 紅外線熱影像儀：為本研究主要使用儀器，其原理、功能及規格於 3.1.1 及 3.1.2 章節將做較詳細之介紹。
2. 勾表：具電流量測功能，主要用來確認電氣設備之負載。
3. 三用電錶：可用作電流、電壓和電阻之測量，可輔助電氣設備異常原因之確認。
4. 紅外線熱影像軟體：MIKROSPEC 軟體，可用來分析及處理紅外線熱影像檔案，例如擷取單點、選取區域之溫度資料，轉換熱影像檔案格式及製作檢測報告等功能。

#### 3.1.1 紅外線熱影像儀原理及分類

自然界任何物體在絕對溫度(0 K 或 $-273^{\circ}\text{C}$ )以上，即存在內部能量(Internal Energy)，並輻射出電磁波，紅外線是一種電磁波，波長介於 0.75m~1000m 之間，紅外線熱影像儀可利用被檢設備輻射的紅外線，直接「看見」設備熱分布情形，因此能在無接觸的情況下檢測出正在形成的異常，進行設備過熱故障的診斷。

紅外線熱影像儀大致可依照紅外線來源、冷卻系統、感測器形式之不同進行分類。紅外線熱影像儀的分類方式包括：

1. 依照紅外輻射信號來源分類：可分為主動式和被動式兩大類。

主動式紅外熱成像是以紅外輻射源去照射目標，再利用被反射的紅外輻射生成目標的熱圖像，如圖 3.1 所示。

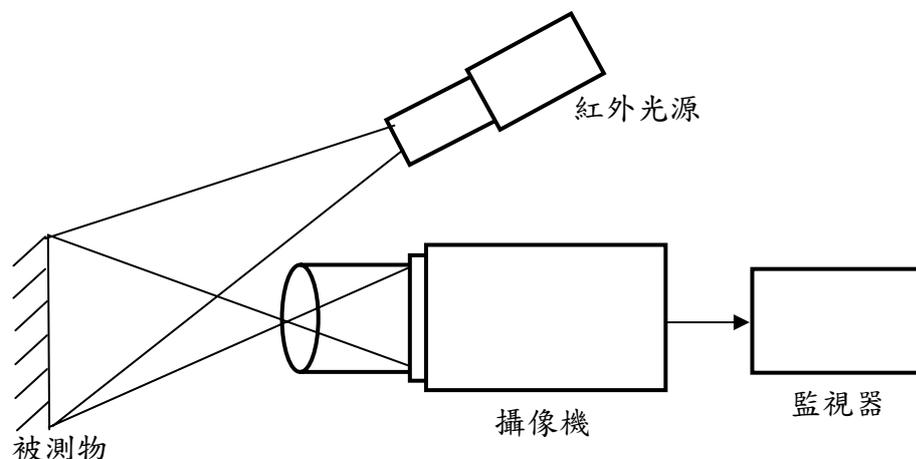
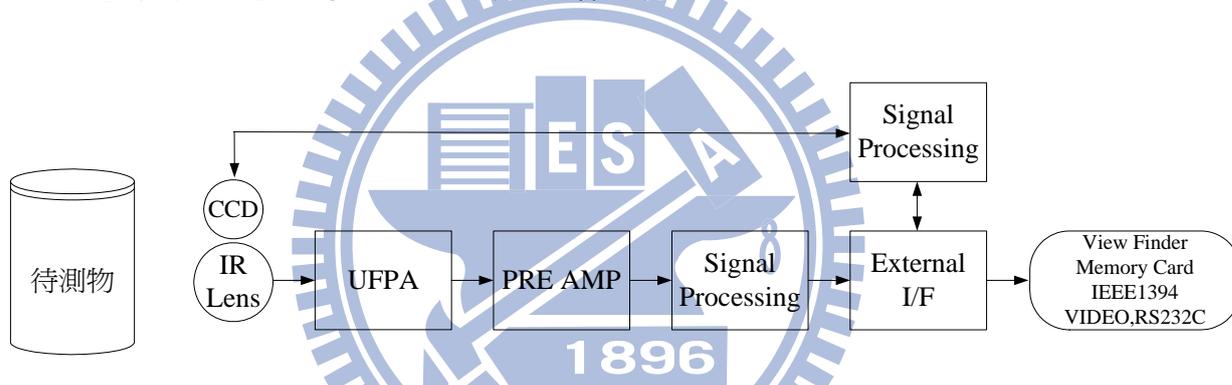


圖3.1主動式紅外成像原理

資料來源：王伯雄等，2006

被動式紅外熱成像是利用目標自身發射的紅外輻射生成目標的熱圖像，自然界中的一切物體，只要它的溫度高於絕對溫度（ $-273^{\circ}\text{C}$ ）就皆會因內部分子振動而輻射出電磁波。隨著溫度的不同，其所輻射電磁波之強度與波長分布特性亦隨之改變。物體溫度較高，輻射頻率較高，波長較短（如：紫外線）；溫度較低，輻射線頻率較低，波長較長（如：紅外線）。當物體之溫度在絕對零度（ $-273^{\circ}\text{C}$ ）以上時，就會不停地發出熱紅外線，但若要發出人類肉眼可視之可見光，物體的溫度需高達  $1000^{\circ}\text{C}$  以上。

被動式紅外線熱影像儀係由偵測單元、訊號放大單元、訊號處理單元及輸出單元組成，其可利用偵測器接收目標物體發射、反射和傳導的能量，再利用放大器和訊號處理器將訊號轉換成可供人類視覺辨視之影像圖形及溫度，紅外線熱影像儀結構及功能如圖 3.2，由於其不需外部紅外光源，使用方便，能精確的攝取反應待測物溫差訊息，因此目前已被廣泛使用。



IR Lens：此鏡頭僅容許紅外線通過，材質：Germanium(鍺)

CCD：用來顯示可見光影像

UFPA：紅外線訊號偵測器

PRE AMP：將偵測器所擷取的電氣訊號放大

Signal Processing：將紅外線訊號轉換成爲溫度訊號

CPU：執行控制及調整所有控制單元

External I/F：外部輸入/輸出介面

View Finder：顯示熱影像

圖3.2 紅外線熱影像儀結構及功能

## 2. 依成像系統分類：光機掃描成像系統、非掃描成像系統

光機掃描成像系統分為單獨使用一個感測元件以二維機械掃描或使用線列感

測元件並配合機械掃描方式讀取熱像訊號。單獨感測元件之偵檢器必須利用二維雙軸之光學掃描器產生熱像畫面，而線列偵檢器則必須使用一維單軸之光學掃描器產生熱像畫面。這類偵檢器畫面顯示速度較慢，而且有體積大、耗電、可靠度較低等缺點，掃描方式如圖 3.3。

非掃描成像系統，例如近幾年推出的陣列式凝視成像的焦平面熱像儀。焦平面熱像儀所使用之探測器如圖 3.4，於焦平面上排列著感光元件陣列，從無限遠處發射的紅外線經過光學系統成像在系統焦平面的這些感光元件上，探測器將接受到光信號轉換為電信號並進行積分放大、採樣保持，通過輸出緩衝和多路傳輸系統，最終送達監視系統形成圖像。此種型式之熱像儀的解析度及靈敏度較高，體積輕薄短小、可靠度高。

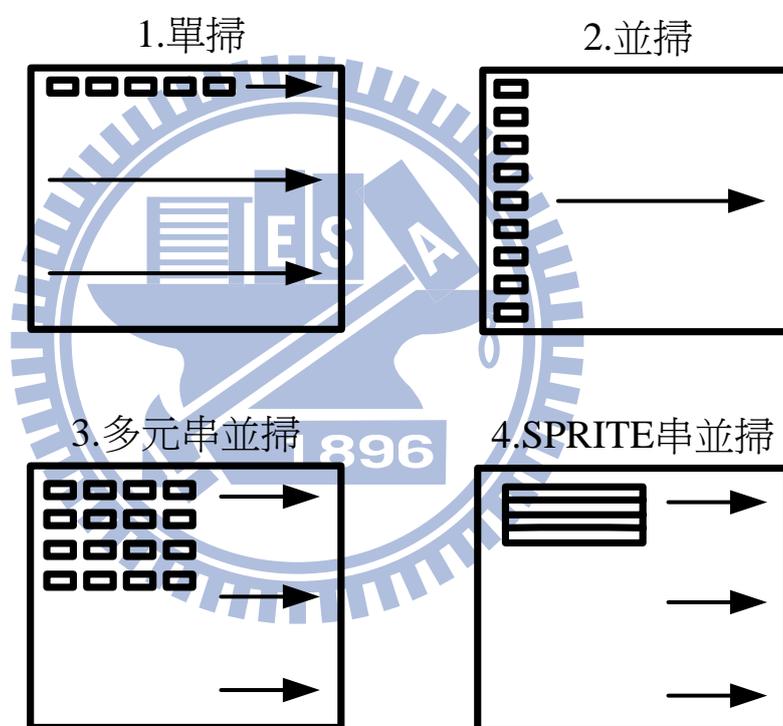


圖3.3 光機掃描系統的掃描方式

資料來源：葉玉堂等，2005

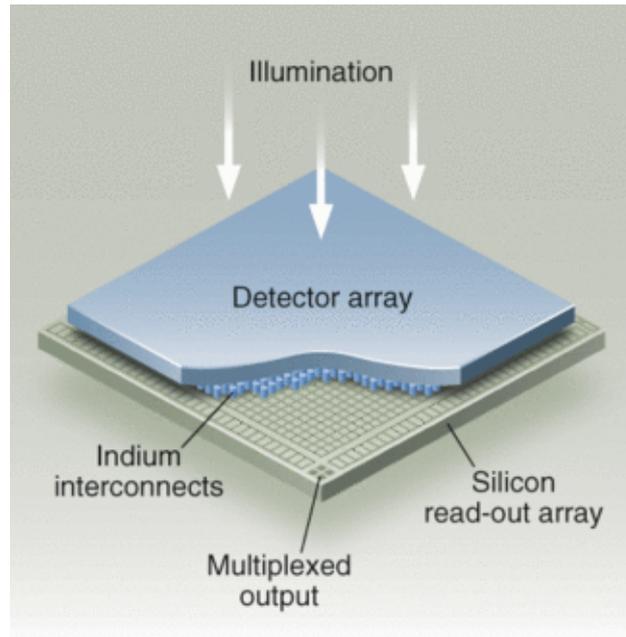


圖3.4 焦平面探測器

資料來源：JAMES W. BELETIC，2007

### 3. 依冷卻方式分類：冷卻型、非冷卻型

冷卻型的熱像儀一般使用光子型感測器(photon detection)，利用窄能隙感材料吸收紅外線輻射，經光電轉換產生電洞對，引起材料電性改變，藉以感測紅外線，這種感測器對溫度的變化非常敏銳，但必須在極低溫環境下操作，才能維持感測器的高靈敏度，因此使用這型感測器的紅外線熱像儀，需使用史特林致冷器(Stirling cooler)、液態氮、高壓氫氣...等進行冷卻。在  $3\sim 5\mu\text{m}$  波段中常見的有 PrSi(矽化鉬)、InSb(銻化銻)、MCT(汞鎘碲)， $8\sim 12\mu\text{m}$  波段中常見的有 MCT(汞鎘碲)、QWIP(量子井紅外線光感測器)。

非冷卻式熱影像儀則是使用熱感測器(thermal detection)，係藉由吸收紅外線的熱量改變感測元件的溫度，從而改變元件的電氣特性，來達到偵檢紅外線的目的，其響應與表面材料輻射吸收率有關。熱感測器不像光子感測器那麼靈敏，但在室溫下仍然能夠將性能維持在一定的水平，因此儀器可以不需進行冷卻，所以又稱為室溫型紅外線熱影像感測器。但元件的結構設計必須在元件與環境間提供良好的熱隔絕，且選用的感測材料必須具有高的溫度-電氣特性變化係數，使微小的溫度變化即能產生相當高的電氣特性變化。目前微機電技術已發展成熟，因此成本低，性能不錯的熱型感測器，已漸漸獲得重視。

通常熱型的紅外線感測器依照感測機制來區分，可分為熱電式(thermoelectric)、熱阻式(resistive bolometer)、熱氣動式(Golay-cell)、

焦電式 (pyroelectric sensor) 紅外線感測器。熱型感測器依其感測原理與性質列表比較，請參閱表 3.1。

表 3.1 熱型感測器比較

種類	感測原理	材料選擇	外加感測電源	電源響應	缺點
熱電式	熱電效應	導體 (種類多)	不需要	直流	低響應度，傳統結構之陣列方式不易製作成陣列。
熱阻式	TCR 之改變	TCR 高之材料 (製程不易標準化)	需要	直流或交流	自我加熱現象，外加電路引入雜訊
熱氣動式	氣體受熱膨脹	易膨脹氣體	不需要	直流	低響應度，體積難以縮小
焦電式	內部電場之改變	材料具極性 (種類少且製程不易標準化)	需要	交流	外加電路引發之雜訊，材料特殊造成標準製程污染。

#### 4. 依照測量頻譜分類：中波段紅外線熱影像儀、長波段紅外線熱像儀

紅外線依照其波長的長短，又可分為近、中、遠紅外線。近紅外線之波長介於  $0.8\mu\text{m}\sim 2\mu\text{m}$  之間，中紅外線之波長介於  $2\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$  之間，遠紅外線之波長介於  $7.5\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$  之間。(如圖 3.5 所示)。熱影像技術大多是利用具有熱效應的紅外線及遠紅外線，主要是應用  $3\sim 5\mu\text{m}$  和  $8\sim 12\mu\text{m}$  這兩個波段。

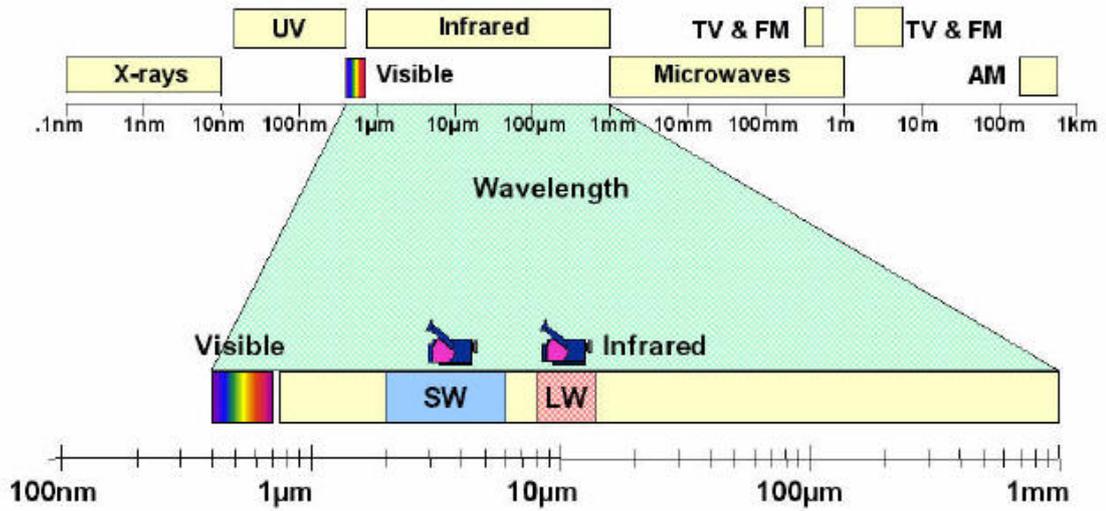


圖3.5 紅外線光譜圖

資料來源：[www.itcnewsletter.com/Newitc/ir\\_primer.htm](http://www.itcnewsletter.com/Newitc/ir_primer.htm)

### 3.1.2 紅外線熱影像儀介紹

本研究所使用之紅外線熱影像儀係由 NEC 製造，為一非接觸式及高靈敏度之紅外線放射溫度計。被量測物體所放射的紅外線射線被接收，並且以二維非冷卻式平面陣列感測器轉換成為電氣訊號，此類比訊號被放大後再轉換成為數位訊號，最後此數位訊號以彩色或黑白的方式被顯示在螢幕上，紅外線熱影像儀及其規格請參閱圖 3.6、表 3.2。



圖3.6 紅外線熱影像儀外觀

表 3.2 紅外線熱影像儀規格

量測範圍	範圍一：-20 到 100°C；範圍二：0 到 250°C
量測解析度	0.06°C at 30°C, 60Hz
精確度	±2°C 或 ± 2% 讀值 (取較高者)
頻譜範圍	8 到 14 μm
IFOV(瞬時視野)	1.2 mrad
對焦距離	30cm 到無限遠
FOV(視野)	21.7° ± 5%(H) x 16.4° ± 5% (V)
螢幕更新時間	60 畫面 / sec
熱影像畫素	320 (H) x 240 (V) 畫素
A/D 解析度	14 bits
環境溫度補償功能	提供 (包括 interval NUC)
REF 校正及外部校正	提供
Lens 補償	提供(Auto)
環境補償功能	提供(使用者輸入距離、環境溫度、環境溼度)
背景補償	提供
操作溫度/溼度	-15 到 50°C, 90%RH 或以下(非結露狀態)
儲存溫度 /溼度	-40 到 70°C, 90%RH 或以下(非結露狀態)
電源供應	AC 變壓器：100V 到 240V, DC 7.2V (額定)
衝擊及震動防護等級	294m/sec <sup>2</sup> (IEC60068-2-27), 29.4m/sec <sup>2</sup> (IEC60068-2-6)
環境防護	IP54 (IEC60529)

### 3.2 研究方法與流程

本研究首先使用紅外線熱影像儀檢測某 TFT-LCD 廠製程機台電氣設備之溫度值及溫度分布狀況。將所測得之溫度值與該設備或元件之最高容許溫度、溫度上升限度及設備之相對溫差值進行比較，以找出設備故障之部位及決定電氣設備維修保養時程。並利用設備溫度分布狀況、溫度值及設備負載狀況，初步判定電氣設備異常原因。

最後利用魚骨圖分析、風險值估算等風險評估方式，提出製程機台電氣設備異常原因、預防對策及進行預知保養之建議。

#### 3.2.1 檢測流程

進行電氣設備預知保養前，應先擬定保養計畫，以避免漫無目的進行，徒然造成人力、物力的浪費，及造成檢測時機的延誤。

為了使電氣設備預知保養的工作能獲得最佳的效益，預知保養工作的進行應依照 P、D、C、A 的循環管理方式，依據檢測所回饋之訊息，修改檢測目標及頻率，逐步調整至最適化。使用紅外線熱影像儀進行電氣設備預知保養之流程如圖 3.7 所示，以下將分別說明個各流程之作業內容及注意事項。



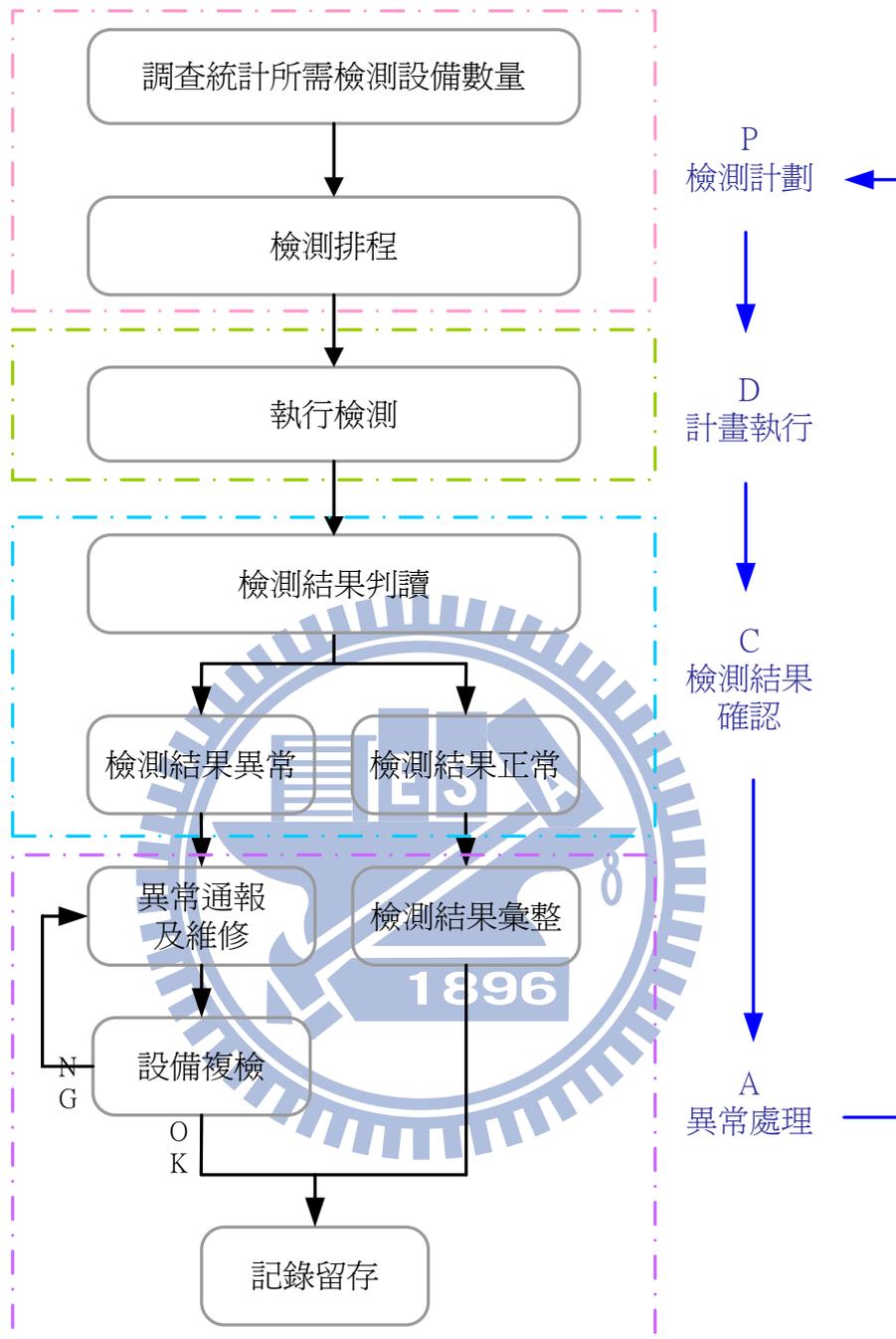


圖3.7 使用紅外線熱影像儀進行電氣設備預知保養流程圖

### 1. P-plan 電氣設備預知保養計畫應注意事項及程序

進行電氣設備預知保養前，應先擬定保養計畫，以避免漫無目的進行，徒然造成人力、物力的浪費，及造成檢測時機的延誤。

#### (1). 建立機台設備清單

TFT-LCD 廠之機台數量眾多，為避免疏漏，及統計上的困難，得以課或以部

為單位，請機台維護保養單位提供機台名稱、編號、樓層、柱位、設備保管單位及擔當姓名、聯絡方式…等資訊，以建立廠內機台設備清單。

## (2). 選擇優先檢測對象及訂定檢測頻率

檢測對象及檢測頻率的規劃，應依據機台實際狀態來決定，由於 TFT-LCD 廠的機台愈來愈大型化，因此有時單一個機台的電盤、分電盤、控制盤，零零總總的電氣設備加起來超過十幾個，且又分佈在不同位置，若未排定優先順序，全部一齊檢測，會使得電氣設備預知保養工作窒礙難行，因此於進行紅外線熱影像檢測前，檢測人員與機台擔當可依據下列原則共同規劃檢測機台、部位及檢測頻率。

- A. 事故發生頻率較高之機台及部位—每月、每季、每半年。
- B. 事故嚴重率較大之機台及部位—每月、每季、每半年。例如：具有藥液加熱單元之機台，若電氣設備故障發生過度加熱之狀況，可能引發火災，因此該機台，尤其是控制加熱器之電氣設備應列入優先檢測對象。
- C. 曾發生事故之機台及部位—每季、每半年、每一年。
- D. 使用頻率與負載較大之機台及部位—每季、每半年、每一年。
- E. 新設與重新安裝之機台及部位—新設及安裝完成後。

檢測之優先順序及頻率，是依據電氣設備事故發生頻率、事故發生嚴重性、設備操作頻率、設備負載狀況等綜合評估。若為新設廠區、廠內電氣設備異常案例較少或之前未進行電氣設備預知保養…等，無充分資訊可供評估者，可先參考於製程設計階段、設備初期操作運轉階段所進行之風險評估資料，例如：PHA 初步危害分析、HAZOP 危害與操作性分析的結果，以利檢測作業之進行，後續再依據實際檢測結果修改檢測計劃即可。

## (3). 行程規劃

檢測行程應依據機台位置、電氣設備配置、廠區動線等加以規劃，在不遺漏應檢測對象的前提下，減少檢測人員腳程，提高檢測效率。

## 2. D-do 執行檢測方式及注意事項

紅外線熱影像儀之操作方式十分簡單，除非處於高溫、低溫、距離太遠…等特殊環境，或檢測溫度異常，需確定待測物「絕對溫度」的狀態下，須特別進行環境、距離補正或放射率設定外，否則一般狀況下，紅外線熱像儀只要完成開機時之自動校正，便可直接使用。檢測人員將紅外線熱影像儀對準待測物執行對焦，即可自螢幕中看到被測物體的溫度分布及溫度值。以下列舉數點檢測時應注意之事項。

- (1). 檢測時應以表單紀錄機台名稱、檢測部位、照片編號、檢測結果及其他注

- 意事項，以利後續資料比對及資料庫之建立。表單格式可參閱表 3.3、3.4。
- (2). 受檢設備外部之遮蔽物會增加檢測及診斷工作之困難度，在不影響安全的前提下，應儘量卸除。如圖 3.8，紅色方框圈選處為被壓克力板遮蔽之部位，設備溫度會因被遮蔽而失準，甚至無法清楚看出物件形狀。

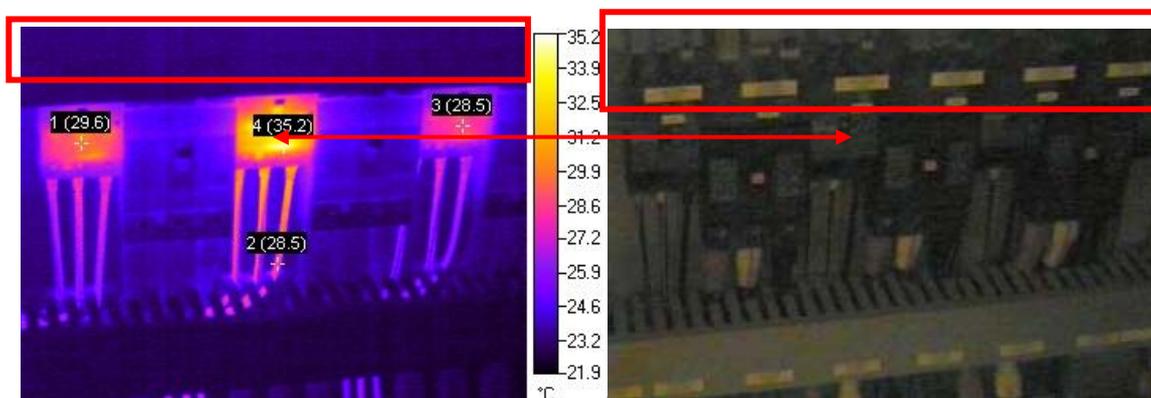


圖3.8 遮蔽物影響量測結果說明

- (3). 紅外線熱影像儀需於機台稼動運轉之狀況下，方可進行檢測。若機台於停機、待機或於維修保養. . 等狀態，則熱影像儀所測溫度數據無法作為設備狀況判斷之依據。
- (4). 對焦清晰與否，會影響紅外線熱影像儀所測得之溫度值，因此量測時請務必調整焦距至「清晰」狀態，以免造成溫度誤差。
- (5). 檢測作業為現場設備活線檢查作業，進行檢測時，應注意安全，使用紅外線熱影像儀於距離電盤三十公分至一公尺之範圍內進行攝影即可，切勿以肢體及螺絲起子等手工具接觸金屬等未具備絕緣披覆之元件，以免感電。
- (6). 檢測人員於進行檢測作業前，應先確認設備與其電盤是否設有連鎖。若設有連鎖應於檢測前請設備擔當暫時將連鎖 by pass，以免貿然開起電盤，造成機台 shut down。完成檢測作業後，應確實將 by pass 之各項連鎖機制復歸回原有狀態，以維持設備及人員安全。
- (7). 若機台之連鎖無法 by pass，則無法以紅外線熱影像儀進行檢測，為確保設備電氣安全，設備擔當應請設備商或合格之檢測人員定期進行電氣設備之檢測。



表 3.4 高低壓設備熱顯影檢測紀錄表

高低壓設備熱顯影檢測紀錄			用電戶：				地點：		日期：	檢測員：	頁次：
序	盤面名稱	設備名稱	區域	時間	檢測溫度	異常溫度	異常位置	熱像圖檢測分析說明		評判	備註
1											
2											
3											
4											
5											
1			2				3			4	
5			6				7			8	
備註											

各項檢測應列明儀器、廠牌、型式、規格、序號及判別標準，必要時另附 A 4 紙填寫。

專任電氣技術人員或檢驗維護業簽章\_\_\_\_\_

資料來源：專任電氣技術人員及用電設備檢驗維護業管理規則

註解：G：良好。

B：異常

附件（六）F

### 3. C-check 檢測結果診斷方式及注意事項

紅外線熱影像儀可歸類為直讀式儀器，因此檢測人員可於檢測當下，依據儀器所於提供的熱影像及溫度值，立即對設備狀態進行初步判定。但紅外線熱影像檢測結果的診斷需考量設備負載、電氣設備容許工作溫度、溫升上限、元件材質…等資料綜合判定，無法以高溫即是異常，低溫歸屬正常的方式判斷，一般檢測結果診斷方式如圖 3.9 所示，以下將分別進行說明。

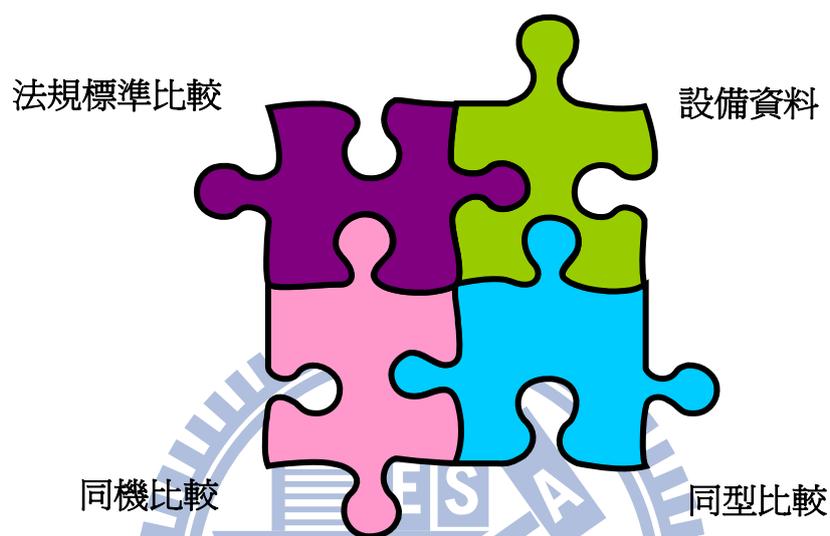


圖3.9 紅外線熱影像檢測結果診斷方式

#### (1). 法規標準比較

判斷紅外線熱影像檢測結果是否正常，首先可與法令或標準所訂定之最高容許溫度及溫升上限加以比對。目前許多法規及標準中均有對電氣元件之溫度予以規範，例如國內的法規：屋內線路裝置規則，標準則包括：ISO、IEC、CNS、EN 等，其中法令屬於強制遵守，標準則屬於自願遵守。有時不同的標準中，對溫度的要求會略有不同，使用時可依據使用環境、設備實際運轉狀況及可容忍的風險，挑選適當之管制值進行診斷。以下列舉數個國內外法規及標準中對電氣材料可容許操作溫度之規定，供檢測人員作為過熱故障診斷之依據，如表3.5~3.10。

表 3.5 低壓絕緣電線之最高容許溫度表

絕緣電線之種類	絕緣物容許溫度 $^{\circ}\text{C}$
1. PVC 電線	60
2. RB 電線（指天然橡膠之混合絕緣物）	
3. 耐熱 PVC 電線	75

表 3.5 低壓絕緣電線之最高容許溫度表 (續)

絕緣電線之種類	絕緣物容許溫度℃
4. PE 電線(PLOYETHYLENE)	75
5. SBR 電線(STYRENE BUTADIENE RUBBER)	
6. 人造橡膠電線(BUTYL RUBBER)	80
7. EP 橡膠電線(ETHYLENE PROPYLENE RUBBER)	90
8. 交連 PE 電線(CROSSLINKED POLYETHYLENE)	

資料來源：參考資料【31】

表 3.6 絕緣導線於周溫超過 35 °C 時之修正係數

周圍溫度 (°C)	絕緣物最高容許溫度			
	60°C	75°C	80°C	90°C
40	0.9	0.94	0.94	0.96
45	0.78	0.87	0.87	0.9
50	0.64	0.79	0.8	0.85
55	0.45	0.71	0.74	0.8
60		0.62	0.67	0.74
65		0.5	0.58	0.67
70		0.36	0.48	0.61
75			0.34	0.53
80				0.43
85				0.3

資料來源：參考資料【31】

表 3.7 金屬閉鎖型配電箱及控制箱之最高容許溫度及溫度上昇限度

零件材料及絕緣物之種類		最高容許溫度	溫度上昇限度
1. 接觸部	裸銅及裸銅合金 氣中	75	35

		SF6 中	90	50
		油中	80	40

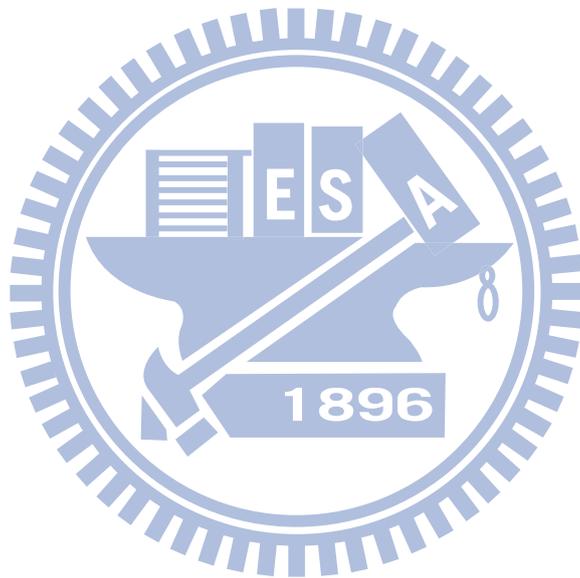


表 3.7 金屬閉鎖型配電箱及控制箱之最高容許溫度及溫度上昇限度 (續)

零件材料及絕緣物之種類		最高容許溫度	溫度上昇限度	
1. 接觸部	鍍銀或鍍鎳	氣中	105	65
		SF6 中		
		油中		
	鍍錫	氣中	90	50
		SF6 中		
		油中		
2. 以螺絲鎖緊之接觸部	裸銅，裸銅合金或裸氣中鋁合金	氣中	90	50
		SF6 中	105	65
		油中	100	60
	鍍銀或鍍鎳	氣中	115	75
		SF6 中	115	75
		油中	100	60
	鍍錫	氣中	105	65
		SF6 中	105	65
		油中	100	60
3. 其他金屬或者是以電鍍之接觸部或接續部		依材料特性而定	依材料特性而定	
4. 以螺絲或螺絲連接於外部導體用之端子	裸接點	90	50	
	銀鎳或鍍錫	105	65	
	其他之電鍍	依材料特性而定	依材料特性而定	
5. 油中開閉構件用之絕緣油		90	50	
6. 以彈簧作用之金屬部		不可有損材料彈性	不可有損材料彈性	
7. 絕緣物之所用材料以及與右側等級的絕緣物接觸之金屬部	絕緣材料的種類	Y	90	50
		A	105	65
		E	120	80
		B	130	90
		F	155	115
		H	180	140
		C	180 超過	140 超過
8. 除接觸部外與油接觸的金屬或絕緣物之任意部分		100	60	

資料來源：參考資料【30】

表 3.8 溫度在開關組件裡使用的絕緣材料限制

絕緣材料的等級	限制熱點溫度提升 (°C)	限制熱點總溫度 (°C)
等級 90	50	90
等級 105	65	105
等級 130	90	130
等級 155	115	155
等級 180	140	180
等級 220	180	220

資料來源：參考資料【34】

表 3.9 溫度在開關組件裡使用的匯流排和連接限制

絕緣材料的等級	限制熱點溫升 (°C)	限制熱點總溫度 (°C)
匯流排和連接器銅對銅連結	30	70
匯流排和連接器銀連結	65	105
匯流排和連接器錫連結	65	105
電纜和連接器銅對銅連結	30	70
電纜和連接器銀連結	45	85
電纜和連接器錫連結	45	85

資料來源：參考資料【34】

表 3.10 半導體製造設備各零組件及裝置最大溫度極限

設備零件	溫度極限 (°C)
閘刀開關片及接觸夾片	55
保險絲及保險絲夾	110
絕緣導線	#1
現場接線端子	--
依標示用於 60°C 或 60/70°C 電源線的設備	75
依標示用於 75°C 電源線的設備	90

表 3.10 半導體製造設備各零組件及裝置最大溫度極限(續)

設備零件	溫度極限 (°C)
母線及排線	125
設備零件	溫度極限 (°C)
電容器	#2
功率切換式半導體	#3
印刷電路板	#4
馬達及變壓器	#5
#1 標示在導線上的溫度，或導線製造商以其他方式指定的額定溫度。 #2 標示在電容器上的溫度，或製造商以其他方式指定的額定溫度。 #3 半導體製造商建議適合功率耗散的箱體溫度 #4 電路板製造商指定的電路板工作溫度。 #5 製造商指定的馬達或變壓器額定溫度。若製造商未依指示，請依據 IEC 61010-1 或其他相關標準決定此溫度。	

資料來源：參考資料【33】

(2). 設備資料

電氣設備使用的材料中以導電金屬為主，此外尚包括絕緣材料及支撐材料等，依據使用之材質不同，其容許工作溫度及溫升上限也會隨之改變。由於製造電氣設備所使用之材料種類繁多，各項標準並無法對各種材料使用之溫升值 (Temperature Rising) 作詳細的規範，因此設備之運轉溫度管理工作，應另參考設備製造商所提供之使用溫度規定，以彌補不足。

(3). 同機、同型比較

法規標準、設備資料比較，是以「絕對管制值」作為標準，例如PVC電線只要超過60°C，就可以判斷為異常。然而同機、同型比較則是在檢測溫度未超過法規標準及原廠所提供的容許溫度及溫升上限時，利用量測點與「參考點」間的「相對溫差」做為異常診斷之依據。尤其是在環境溫度低、負載電流小的情況下，設備的溫度值並沒有超過標準，但許多事實證明此時的溫度值並不足以證明該設備沒有缺陷或故障存在，往往在負載增加或環境溫度上升後，就會引發設備事故，因此對電流型設備還可藉由「相對溫差」來判其故障存在與否。

(4). 案例說明

- A. 案例一：圖 3.10 為 UPS 之熱影像圖，影像中某元件之溫度高達  $110^{\circ}\text{C}$ ，若單就溫度判斷，很容易診斷為異常。但經過確認後，該元件為水泥電阻，依據原廠所提供之資料，其容許溫度為  $150^{\circ}\text{C}$ ，因此檢測結果  $110^{\circ}\text{C}$  判定結果為正常。

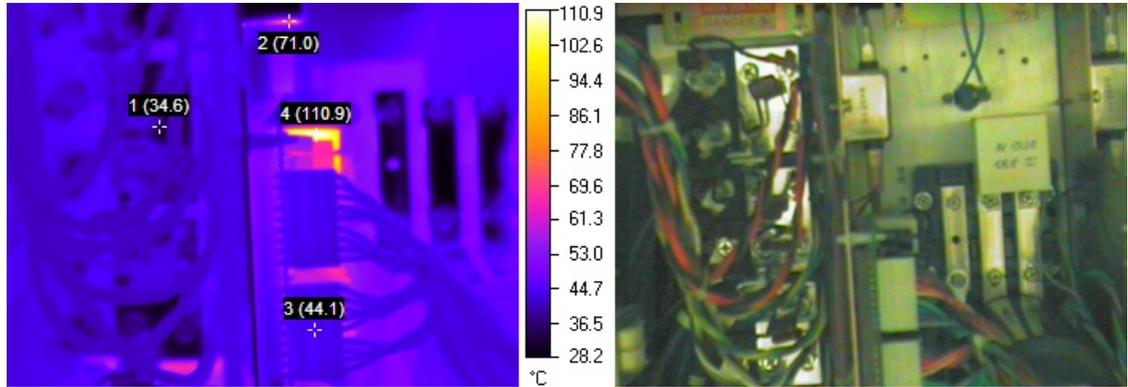


圖3.10 UPS熱影像圖

- B. 案例二：圖 3.11 與 3.12 均為變壓器之熱影像圖，圖 3.11 之最高溫度為  $120.6^{\circ}\text{C}$ ，圖 3.12 之最高溫度為  $46.1^{\circ}\text{C}$ ，兩者溫差超過  $70^{\circ}\text{C}$ 。但與原廠確認，圖 3.11 之變壓器其絕緣等級為 6，因此最高容許溫度可達  $220^{\circ}\text{C}$ ，因此檢測結果判定為正常。

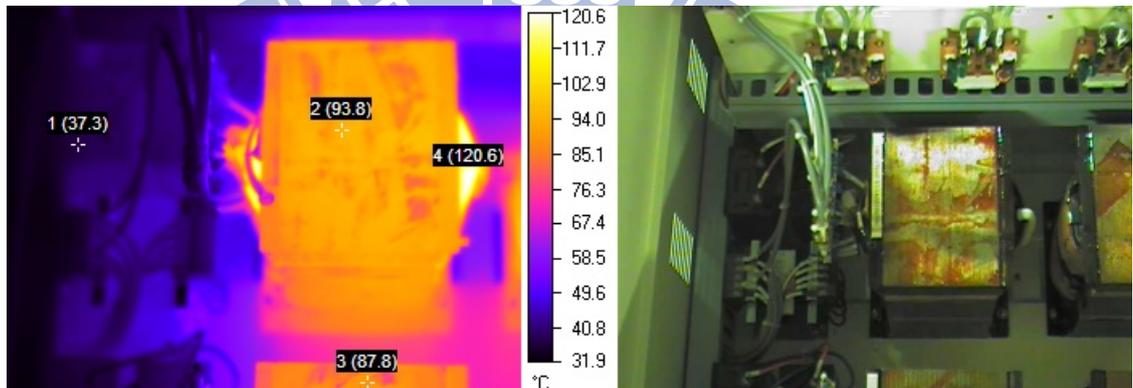


圖3.11 變壓器熱影像圖

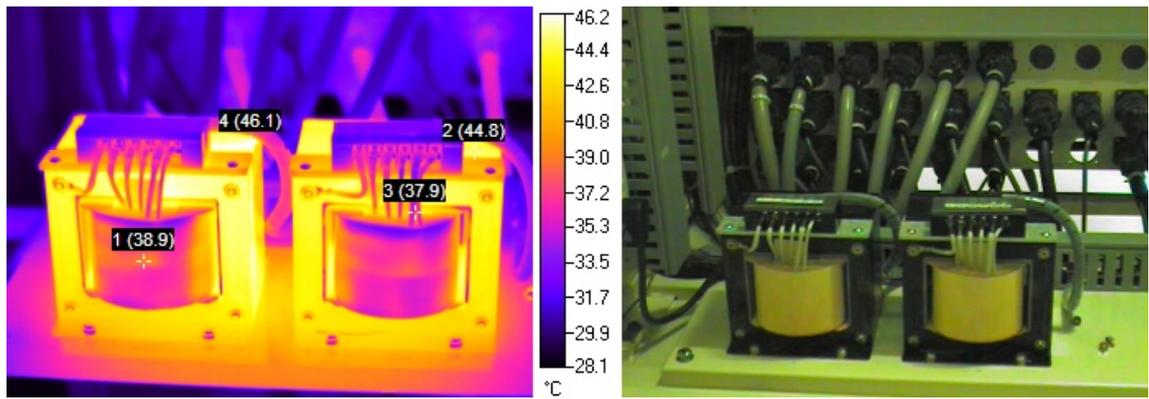


圖3.12 變壓器熱影像圖

- C. 案例三：圖 3.13 為無熔絲開關一二次測相對溫差過大之熱影像圖，圖中無熔絲開關一次測之溫度為 54.5°C（溫度點 4），二次測之溫度為 41.3°C（溫度點 2），雖然溫度均未超過線材或接點之容許溫度，但 1、2 次測之溫度相差 13.2°C，溫差過大，且確認設備一、二次測之線徑、材質均相同，因此研判設備的確有異常溫升。

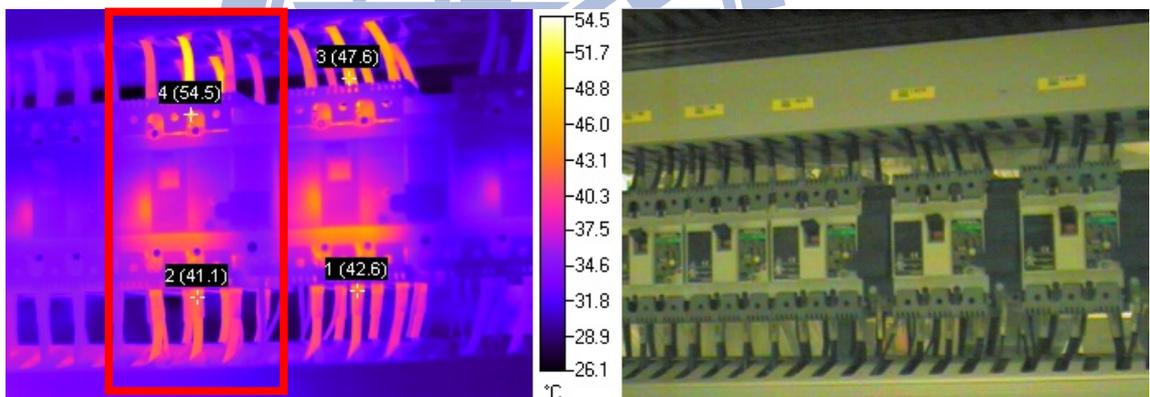


圖3.13 為無熔絲開關熱影像圖

- D. 案例四：圖 3.14 為無熔絲開關三相間相對溫差過大之熱影像圖，以溫度最低之 R 相作為參考點（溫度點 1），T 相之溫度為測量點（溫度點 4），兩者相差 8.9°C，因此判斷設備異常，應請設備維修保養負責人確認是否為三項不平衡、接觸不良…等因素所造成，以利異常排除。

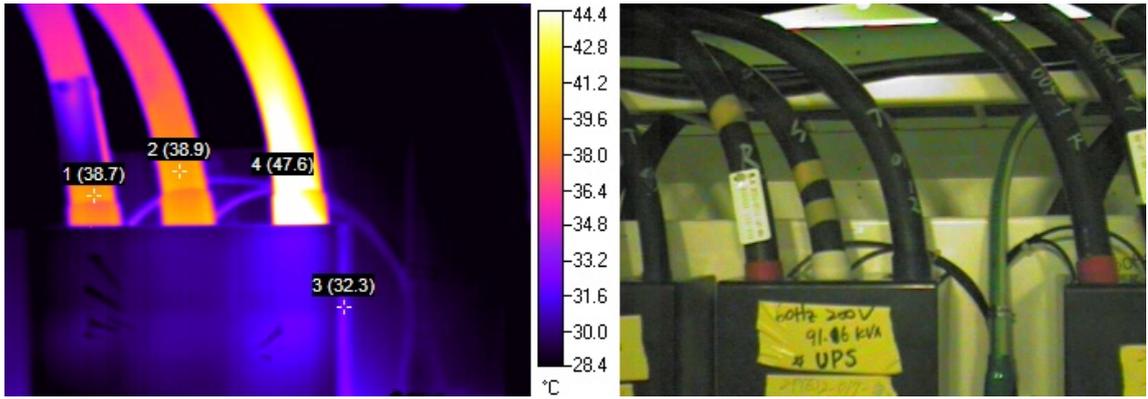


圖3.14 無熔絲開關熱影像圖

(5). 其他注意事項

A. 如圖 3.15、3.16 所示，紅外線熱影像所觀測到的顏色並非固定值，因此檢測時一定要注意畫面中所設定之溫度值，不得僅以「顏色」作為診斷之依據。紅外線熱影像儀有數種溫度顯示方式，例如：定點(Spot)溫度或區域(Aera)溫度，甚至可以設定畫面最高、最低(Peak/Max)及平均溫度(Average)，檢測者可依據使用習慣自行設定。

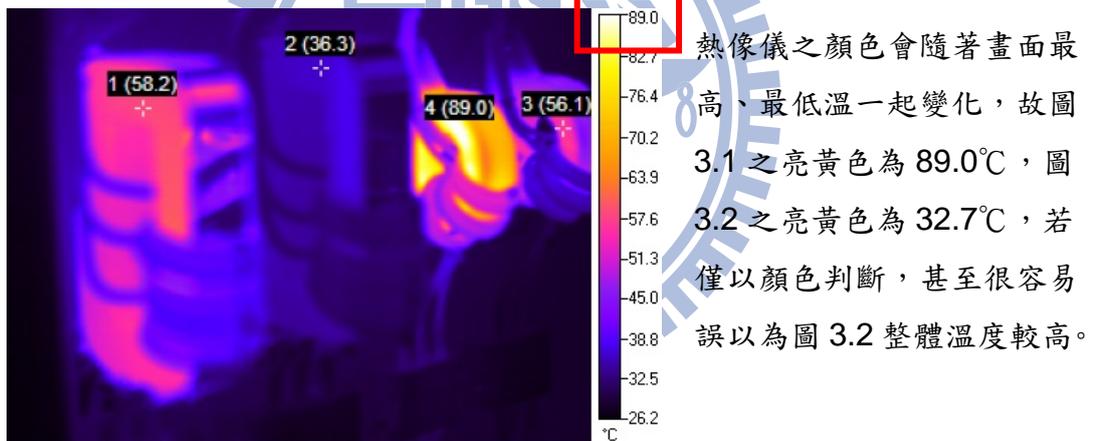


圖3.15 比流器熱影像圖



圖3.16 無熔絲開關熱影像圖

(6). 電氣設備的發熱量會隨負載變化而不同，由於進行熱檢測時，設備的負載電流大小並無法控制，因此檢測時最好使用勾表一併確認設備負載狀況，並加以記錄，才能更準確的判別設備狀況。由於大部分警告值與危險值之訂定，皆以常溫與滿載或八成負載來訂定，因此可藉由下列公式概略估算設備於某種負載比率時(如 100%負載)設備之溫度。公式(1)表示，設備的發熱量與流經過的負載電流的平方成正比，此即所謂的焦耳定律：

$$P = I^2 \times R \text{ ----- (1)}$$

P：功率發熱量)

R：接觸電阻

I：負載電流

由於設備的過熱溫度與發熱量呈正比關係(如公式(2))：

$$\Delta T_s \propto P \text{ ----- (2)}$$

$\Delta T_s = T_h - T_s$ ；表示溫升值

$T_h$ ：設備溫度

$T_s$ ：設備使用環境之溫度

綜合公式(1)與(2)即可得到：

$$\Delta T_s \propto I^2 \text{ ----- (3)}$$

#### 4. A-action 檢測結果處置

##### (1). 異常設備維修

若檢測結果異常，檢測人員應立即將異常訊息告知設備擔當及部門主管，令其進行設備異常原因確認及維修。但遽然停機檢修，必然會對產能造成影響，因此以下列舉 3 個檢修建議，供維修保養部門作為參考(如表 3.11~3.13 所示)。由於不同元件的嚴重性分級不同，某些元件溫差 2°C 就很嚴重，例如：GIS 外殼、油浸式變壓器外殼、避雷器接地電阻上游端子盤、變壓器接地線…等，有些元件溫差 10°C 仍屬正常，例如：蒸氣軸封、除濕加熱電組…等。因此設備維修保養人員應依照設備劣化程度並參考設備重要性、設備故障之嚴重性及累積的經驗，訂定設備檢修日期，以確保人員、設備安全，並降低產能損失。

表 3.11 絕對溫度異常研判及處理方式參考表

狀況分類	需注意	異常
設備狀況	最高容許溫度之 80% ≤ 全載溫度 ≤ 最高容許溫度	最高容許溫度 ≤ 全載溫度
狀況說明	有輕度缺陷，需注意	有缺陷，需加強注意
處理方式	1. 可待大修時一併進行檢修。 2. 未檢修前應二個月追蹤檢測一次。	1. 應於三個月內進行檢修。 2. 未檢修前應每半個月追蹤檢測一次。

資料來源：參考文獻【31】

表 3.12 絕對溫差值與檢修時效要求

設備位置	與參考點絕對溫度(ΔTr)	處置方式
地上裝置	0°C ~ 20°C	定期檢測
	21°C ~ 40°C	下次定檢時檢修
	41°C ~ 60°C	儘速停機檢修
	60°C 以上	立即停機檢修
地下裝置	0°C ~ 4°C	定期檢修
	5°C ~ 10°C	下次定檢時檢修
	11°C 以上	立即停機檢修

註：(ΔTr) = Th - Tr Th：設備之熱點溫度； Tr：參考點溫度

資料來源：參考文獻【31】

表 3.13 相對溫度異常研判及處理方式參考表

狀況分類	正常	低度警示	中度警示	異常
設備狀況	相對溫差率 ( $\Delta$ Tr%) 0%~10%	相對溫差率 ( $\Delta$ Tr%) 10%~50%	相對溫差率 ( $\Delta$ Tr%) 50%~100%	相對溫差率 ( $\Delta$ Tr%) 100%以上或換算為額定電流之設備熱點修正溫度超過設備最高容許溫度值。
狀況說明	無明顯過熱現象，且未發現相關缺失。	有輕度缺陷，需注意。	有中度缺陷，需加強注意。	有嚴重缺陷，短期內可能發生故障。
處理方式	定期檢測	1. 可待大修時一併進行檢修。 2. 未檢修前應二個月追蹤檢測一次。	1. 應於三個月內進行檢修。 2. 未檢修前應每半個月追蹤檢測一次	1. 應儘速安排檢修。 2. 未檢修前應每週追蹤檢測一次

資料來源：參考文獻【31】

當設備改善完成後，檢測人員及維修保養擔當應共同針對異常設備進行複測，確認檢修成效，例如溫升是否消除，或者維持、轉移，甚至加劇，若未完成改善，則重複檢修、複測，直至改善完畢為止。

## (2). 檢測資料紀錄

預知保養的目的為即早發現設備故障或即將發生故障之徵兆，並能即時予以修護，以杜絕危害事件發生。所以不論檢測結果是正常或異常，均應製作檢測紀錄，檢測結果的主要應用如下列所示。檢測結果正常的部份，可直接將檢測結果彙整於表 3.3 紅外線熱影像彙整表；檢測結果若屬異常，應做成異常報告，內容應包含設備名稱、設備編號、異常照片編號、異常熱影像圖片、異常溫度、異常原因、改善方式…等資訊，報告格式可參考表 3.14。

### A. 紅外線熱影像診斷之參考：檢測結果可作為「同機比較」及進行「趨勢分

- 析」之依據，以利檢測人員及設備維修保養人員能更精準的掌握設備狀況。
- B. 擬定、修改檢測計劃的參考：檢測計劃之訂定及修改應依照檢測結果進行修改，防止檢查頻率太過或不及。
- C. 維修保養時機之根據：紅外線熱影像檢測的結果得作為維修保養執行時機及方式之憑據，檢測結果屬嚴重劣化者，應立即採取停機維修、更換等對策；若屬輕度異常者，可採取定期監測、局部維修的方式，讓維修保養人員能對症下藥，減少不必要的維修保養支出及產能中斷損失。
- D. 備品管理之依據：維修保養人員可依據紅外線熱影像結果進行備品管理。備品之數量須參考備品價格、備品交期及備品使用頻率等參數進行規劃。紅外線熱影像檢測結果，可協助維修保養人員即早定性、定量設備之異常，提前進行備品採購，不但可減少維修保養時間，還能降低庫存成本。另外，經常發生故障之元件，也有可能是因為元件品質不良所造成，若為上述原因，設備維修保養單位應尋找替代備品，以降低故障風險及維修保養成本。
- E. 設備故障診斷及維修經驗傳承：電氣設備故障診斷及維修保養工作，經常需要依據設備的特性及異常案例...等經驗，因此須將檢測及異常原因、改善方法等加以紀錄，以利工作之傳承與交接。

表 3.14 紅外線熱影像檢測異常報告

## 紅 外 線 熱 影 像 檢 測 異 常 報 告

檢測日期		報告日期	
檢測地點		檢測人員	
設備名稱/盤名		異常部位	
設備擔當/電話		照片編號	
紅 外 線 影 像		可 見 光 影 像	
	Point 1	Point 2	Point 3
放射率設定	1	1	1
區域平均值			
最小溫度值			
最大溫度值			

檢測結果說明： <input type="checkbox"/> 無異常 <input type="checkbox"/> 有異常 預定改善日期 896 年 ____ 月 ____ 日			
改善完成日期： ____ 年 ____ 月 ____ 日		改善前溫度： ____ °C	改善後溫度： ____ °C
改善說明：			
紅外線影像(改善完成)		可見光影像(改善完成)	
主管簽名：		設備擔當簽名：	

表單編號：

版本：

※單位主管欄位請簽核至經理級(含)以上主管

## 第四章 結果與討論

本研究以某 TFT-LCD 廠之製程機台為檢測對象，使用紅外線熱影像儀，檢測包含 ARRAY、CELL、MDL 段設備之電盤、UPS 等電氣設施。

TFT-LCD 主要製程包括在玻璃基板上製作「薄膜電晶體」(亦稱 Array 製程)、液晶灌注面板(Cell)製程以及模組(Module)製程，TFT-LCD 製程流程圖請參閱圖 4.1。

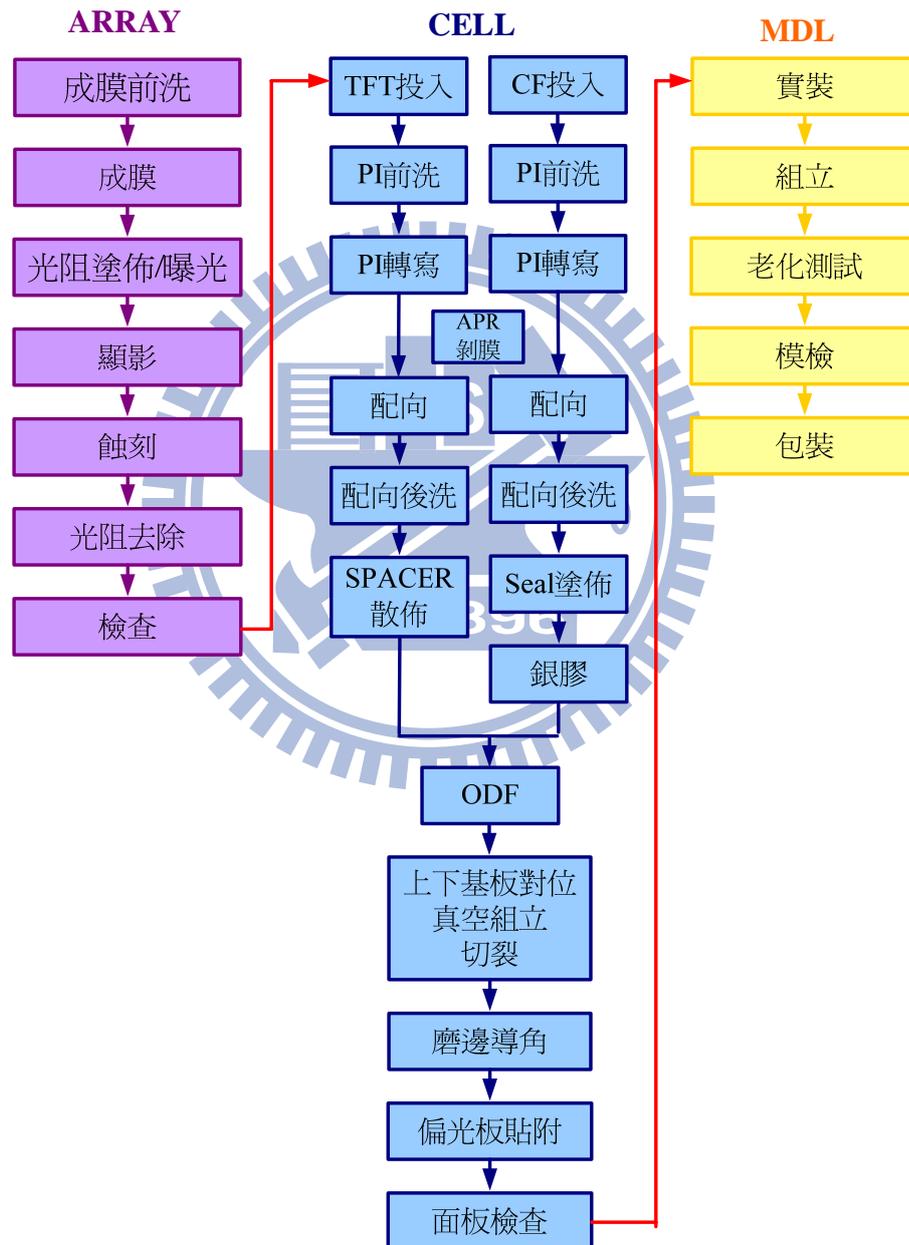


圖 4.1 TFT-LCD 製程流程圖

TFT-LCD 製程大多在無塵室內進行，雖然 ARRAY、CELL、MDL 製程要求不同，故環境

溫度、濕度與塵度設定不盡相同，但溫度差異不超過 5 度，濕度差異也在 12% 以內，再加上紅外線熱影像儀開機時可對檢測環境進行補正，因此並不足以造成紅外線熱影像儀檢測上之誤差，故本研究並無針對檢測環境進行紀錄。

本研究共收集四次檢測成果，第一次檢測於 2006 年下半年進行，檢測對象為廠內用電量較大及使用藥液、加熱設備之製程機台，共 287 台；第二、三、四次檢測分別於 2007 年下半年、2008 上半年、2008 下半年進行，檢測對象除第一次檢測之機台外，並將一般製程機台及附屬移載設備列入檢測範圍，檢測數量分別為 765、743、870 台。檢測結果分述如下：

#### 4.1 紅外線熱影像檢測結果

##### 4.1.1 第一次紅外線熱影像檢測結果

統計第一次檢測結果，檢測 287 台機台，其中 9 台發現異常，共發現 10 處異常，機台異常百分比為 3.136%。異常原因大多為接觸不良，共計 8 件，另外還有超載及元件故障，各佔 1 件。最常發生異常之元件為無熔絲開關 (NFB)，共 6 處發現異常，其次為端子台，發現 2 處異常，電力熔絲 (PF) 及風扇各發現 1 處異常，第一次檢測異常清單如表 4.2 所示。

表 4.1 第一次檢測異常清單

機台名稱	異常元件	異常原因	異常溫度	容許(參考點)溫度	備註
金屬濺鍍裝置 S03	無熔絲開關	接觸不良	77	65	
金屬濺鍍裝置 G03	無熔絲開關	接觸不良	81	44	
金屬濺鍍裝置 G03	電力熔絲	接觸不良	40.9	25.5	圖 4.2、圖 4.3
電漿式化學氣相沈積裝置 01	無熔絲開關	接觸不良	75	56	
濕蝕刻裝置 03	端子台	接觸不良	61	34	
電漿式化學氣相沈積裝置 02	無熔絲開關	接觸不良	58	50	

表 4.1 第一次檢測異常清單(續)

機台名稱	異常元件	異常原因	異常溫度	容許(參考點)溫度	備註
乾蝕刻裝置 01	端子台	接觸不良	79.2	42.4	圖 4.4、圖 4.5
成膜前洗淨裝置 03	無熔絲開關	超載	55	40	
自動 APR 版洗淨機 01	風扇	元件故障	101	36.8	
配向後洗基板乾燥爐 03	無熔絲開關	接觸不良	71	50.6	

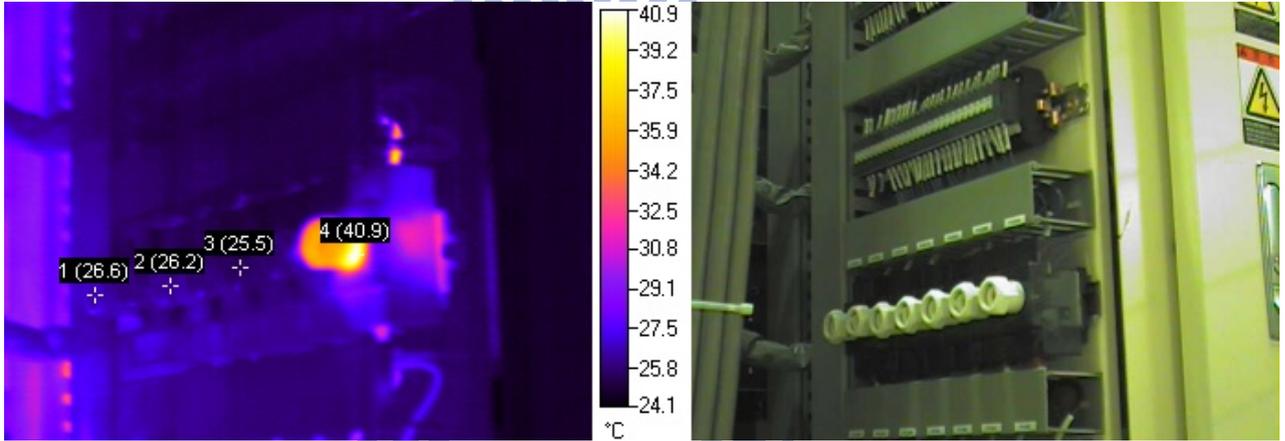


圖 4.2 金屬濺鍍裝置G03電力熔絲接觸不良之熱影像圖(改善前)

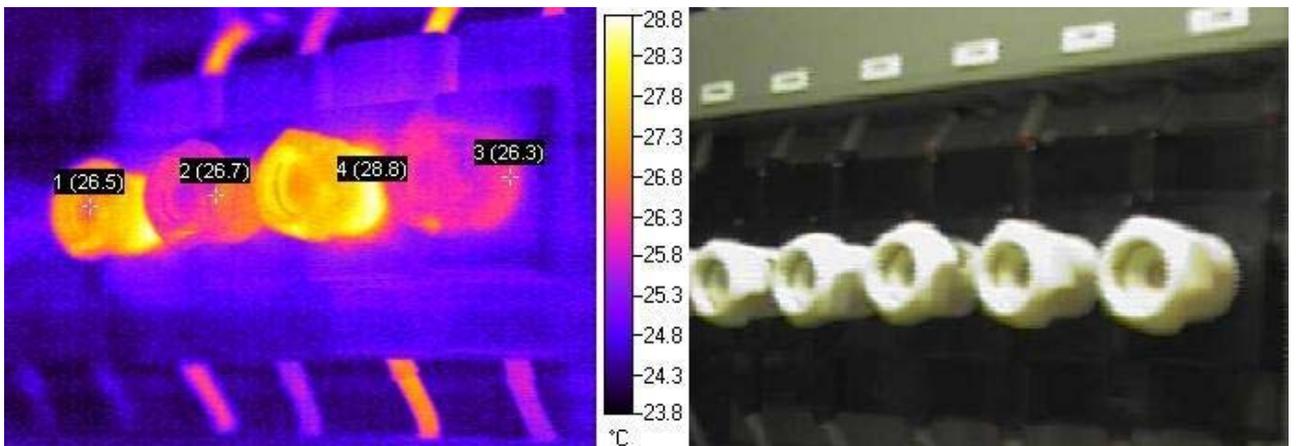


圖 4.3 金屬濺鍍裝置G03電力熔絲接觸不良之熱影像圖(改善後)

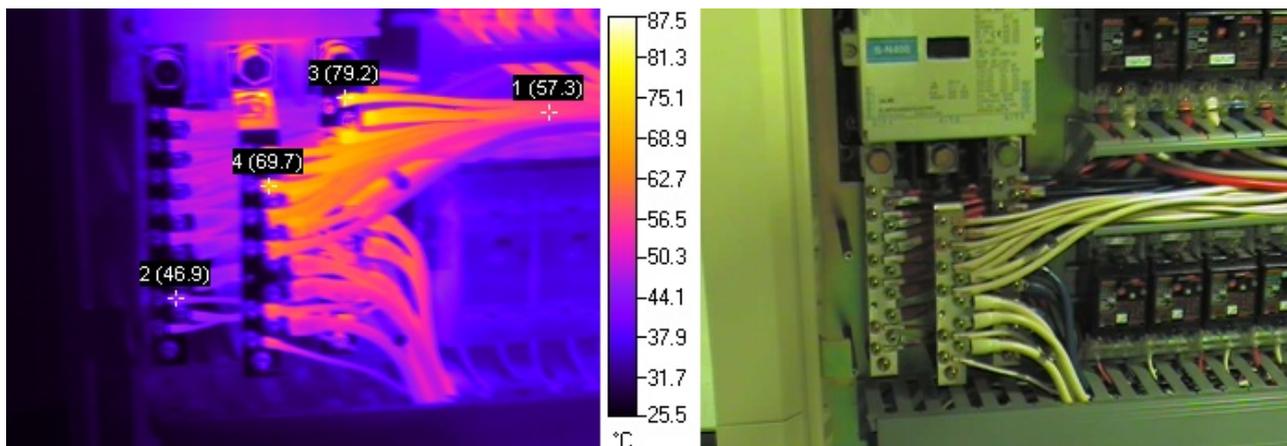


圖4.4 乾蝕刻裝置01端子台接觸不良之熱影像圖(改善前)

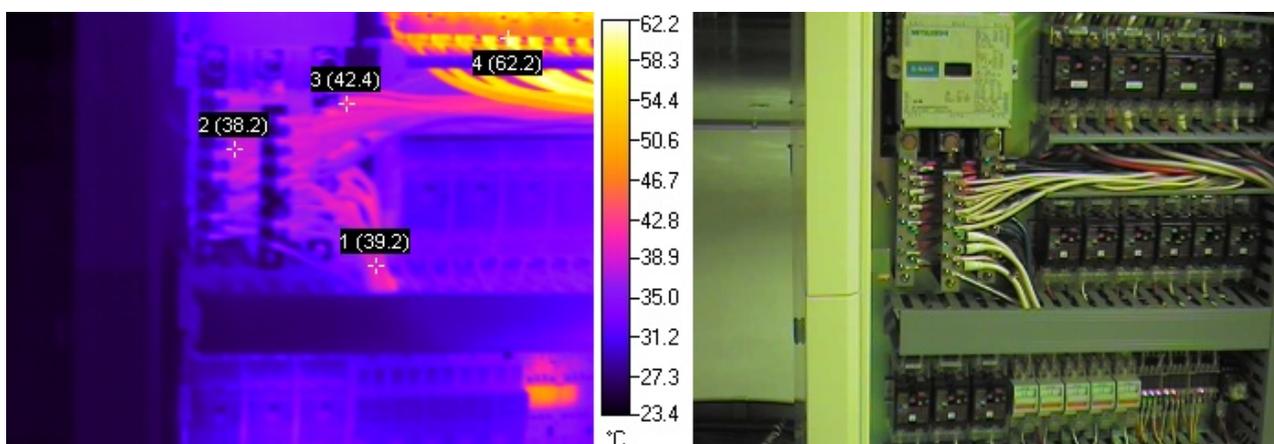


圖4.5 乾蝕刻裝置01端子台接觸不良之熱影像圖(改善後)

圖 4.2 為金屬濺鍍裝置 G03 之電力熔絲(Power Factor, PF)因接觸不良導致溫度異常。電力熔絲之功能與保險絲類似，主要是作為短路或過載保護，若電力熔絲無法正常動作，可能造成負載側設備無法正常啟動甚至造成設備燒毀。圖 4.2 之電力熔絲異常溫度為 40.9℃；相同負載之元件溫度為 25.5℃，上升 15.4℃。經人員將該熔絲座清潔後重新鎖緊，溫度下降至 26.3℃，如圖 4.3。

圖 4.4 為乾蝕刻裝置 01 端子台接觸不良之熱影像圖。端子台(Terminal block, TB)是導線連結用之零組件，在許多控制電路中為了接線方便及保養容易起見，都裝有端子台。圖 4.4 乾蝕刻裝置之端子台因接觸不良造成接點溫升，改善前溫度為 79.2℃，經人員將接點重新壓接後再次確認，溫度下降至 42.4℃，如圖 4.5。

#### 4.1.2 第二次紅外線熱影像檢測結果

第二次共檢測 788 台機台，其中 24 台發現異常，共發現 51 處異常，機台異常百分

比為 3.046%，異常原因前三名分別為接觸不良 38 件，超載 5 件，設計不良 4 件。異常比例前三名之元件為端子台 34 件，無熔絲開關 6 件，board IC 5 件。第二次檢測異常清單如表 4.2 所示。

表 4.2 第二次檢測異常清單

機台名稱	異常元件	異常原因	異常溫度	容許(參考點)溫度	備註
剝膜及成膜前洗淨裝置 01	無熔絲開關	超載	74.9	55.5	圖 4.6、圖 4.7
剝膜及成膜前洗淨裝置 07	無熔絲開關	超載	71.3	55.5	
剝膜及成膜前洗淨裝置 07	電磁接觸器	接觸不良	70.7	54.1	
剝膜及成膜前洗淨裝置 08	無熔絲開關	超載	81.1	55.5	
剝膜及成膜前洗淨裝置 08	電磁接觸器	超載	64.6	55.5	
電漿式化學氣相沈積裝置 01	端子台	接觸不良	106	60	圖 4.8、圖 4.9
電漿式化學氣相沈積裝置 01	端子台	接觸不良	71	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 01	端子台	接觸不良	74	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 01	端子台	接觸不良	62	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 01	端子台	接觸不良	70	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 01	端子台	接觸不良	69	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 01	端子台	接觸不良	61	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 01	端子台	接觸不良	66	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 01	端子台	接觸不良	67	60	

表 4.2 第二次檢測異常清單(續)

機台名稱	異常元件	異常原因	異常溫度	容許(參考點)溫度	備註
電漿式化學氣相沈積裝置 01	端子台	接觸不良	66	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 02	端子台	接觸不良	77	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 02	端子台	接觸不良	91	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 02	端子台	接觸不良	94	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 02	端子台	接觸不良	90	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 03	端子台	接觸不良	68	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 03	端子台	接觸不良	73	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 03	端子台	接觸不良	80	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 03	端子台	接觸不良	82	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 03	端子台	接觸不良	87	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 03	端子台	接觸不良	87	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 04	端子台	接觸不良	61	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 04	端子台	接觸不良	62	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 04	端子台	接觸不良	65	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 05	端子台	接觸不良	61	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 06	端子台	接觸不良	88	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 06	端子台	接觸不良	74	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 06	端子台	接觸不良	85	60	

表 4.2 第二次檢測異常清單(續)

機台名稱	異常元件	異常原因	異常溫度	容許(參考點)溫度	備註
電漿式化學氣相沈積裝置 06	端子台	接觸不良	80	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 07	端子台	接觸不良	63	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 07	端子台	接觸不良	61	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 08	端子台	接觸不良	91	60	
清洗/塗佈/顯像裝置 01	board IC	元件故障	128.9	70	
清洗/塗佈/顯像裝置 01	board IC	設計不良	140	70	圖 4.10、圖 4.11
清洗/塗佈/顯像裝置 02	board IC	設計不良	134.8	70	
清洗/塗佈/顯像裝置 05	board IC	設計不良	138.8	70	
清洗/塗佈/顯像裝置 06	board IC	設計不良	133	70	
硬烤裝置 02	固態繼電器	接觸不良	73.9	38	圖 4.12、圖 4.13
退火裝置 02	無熔絲開關	接觸不良	54	40	
剝膜及成膜前洗淨裝置 09	電磁接觸器	接觸不良	57.5	41.5	
TFT 側 多重裝載機 01	電磁接觸器	接觸不良	206.1	34.9	圖 4.14、圖 4.15
配向膜印刷機 02	無熔絲開關	超載	71.8	47.5	
配向機 02	端子台	線路老化	70.5	60	圖 4.16、圖 4.17
呼氣相檢查機 01	端子台	線路老化	72	60	
Mura 檢查機 01	風扇	元件故障	77.3	45	
Mura 檢查機 03	無熔絲開關	接觸不良	67.8	49.6	
電漿式化學氣相沈積裝置 07	端子台	接觸不良	61	60	

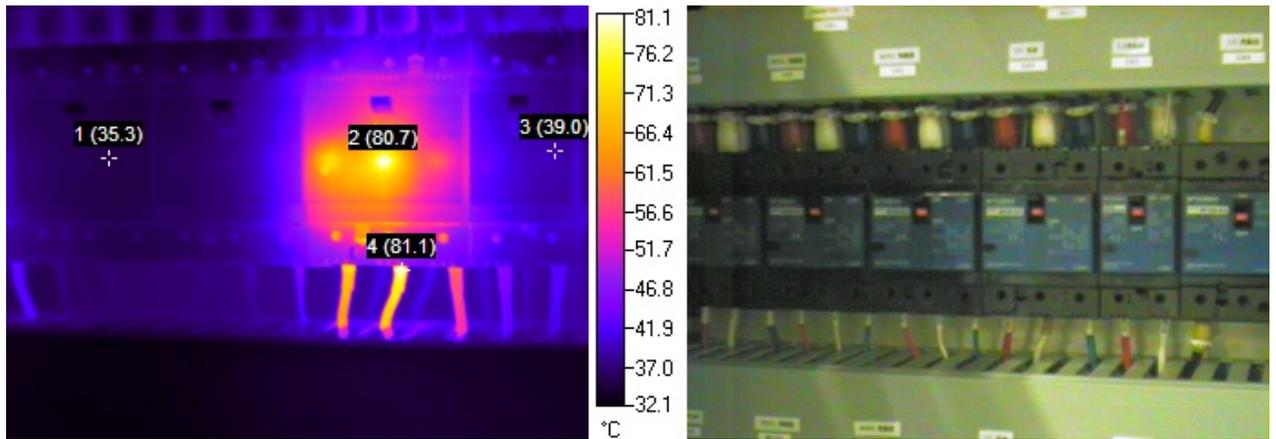


圖4.6 剝膜及成膜前洗淨裝置08無熔絲開關超載之熱影像圖(改善前)

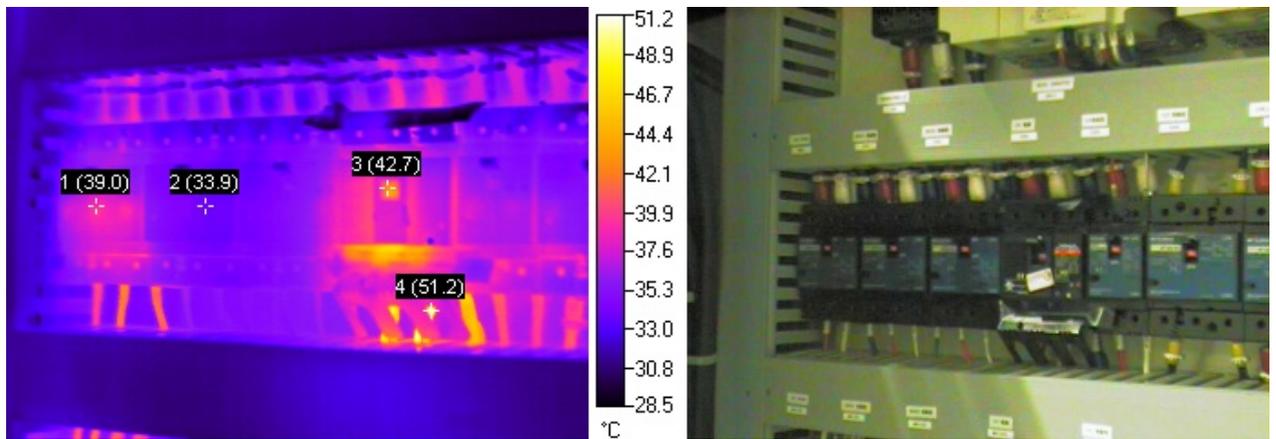


圖4.7 剝膜及成膜前洗淨裝置08無熔絲開關超載之熱影像圖(改善後)

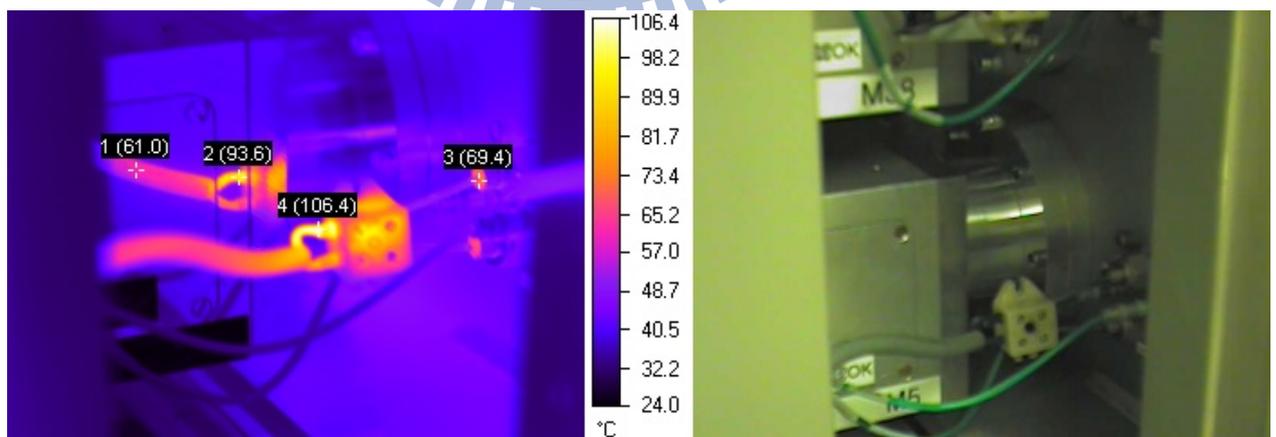


圖4.8 電漿式化學氣相沈積裝置01 端子台接觸不良之熱影像圖(改善前)

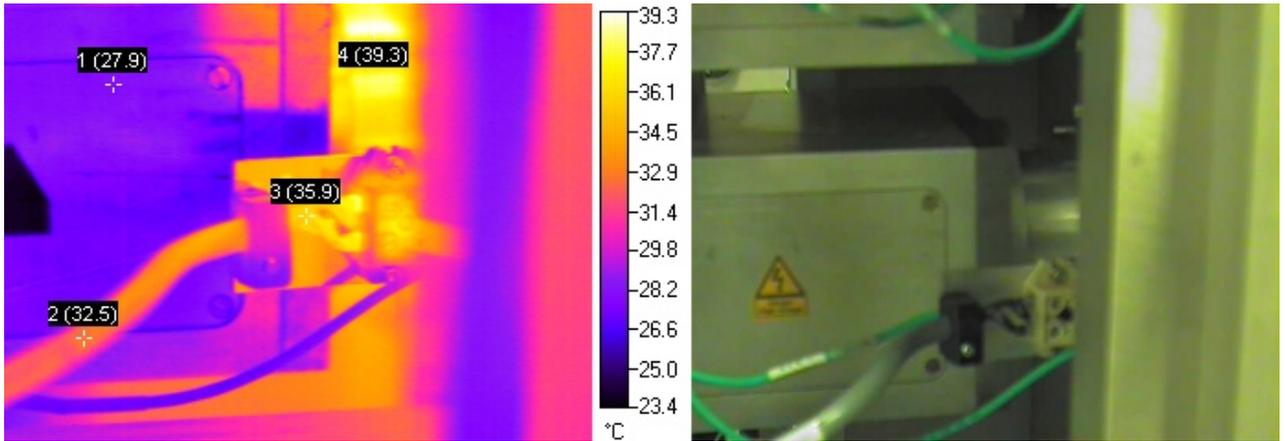


圖4.9 電漿式化學氣相沈積裝置01 端子台接觸不良之熱影像圖(改善後)

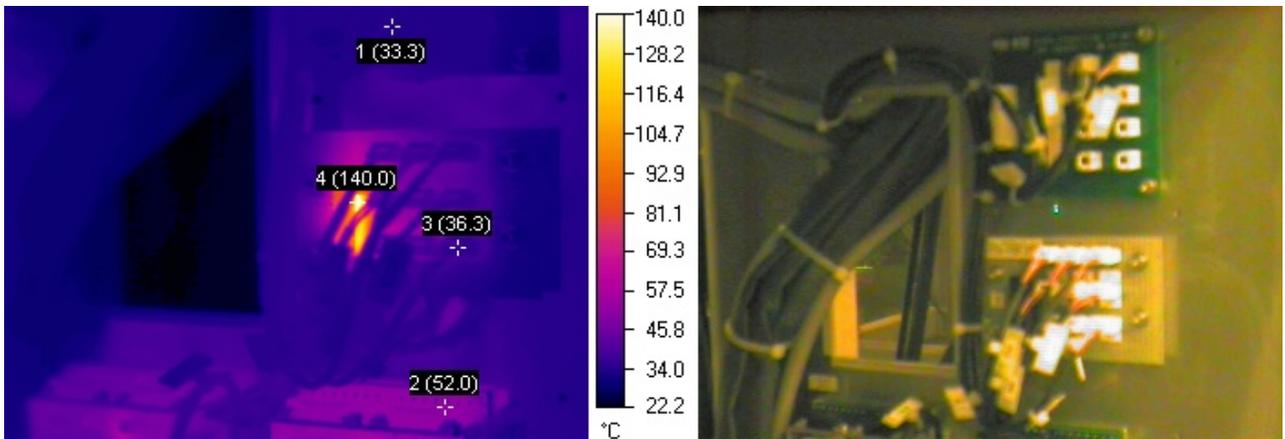


圖4.10 清洗/塗佈/顯像裝置01 board IC設計不良之熱影像圖(改善前)

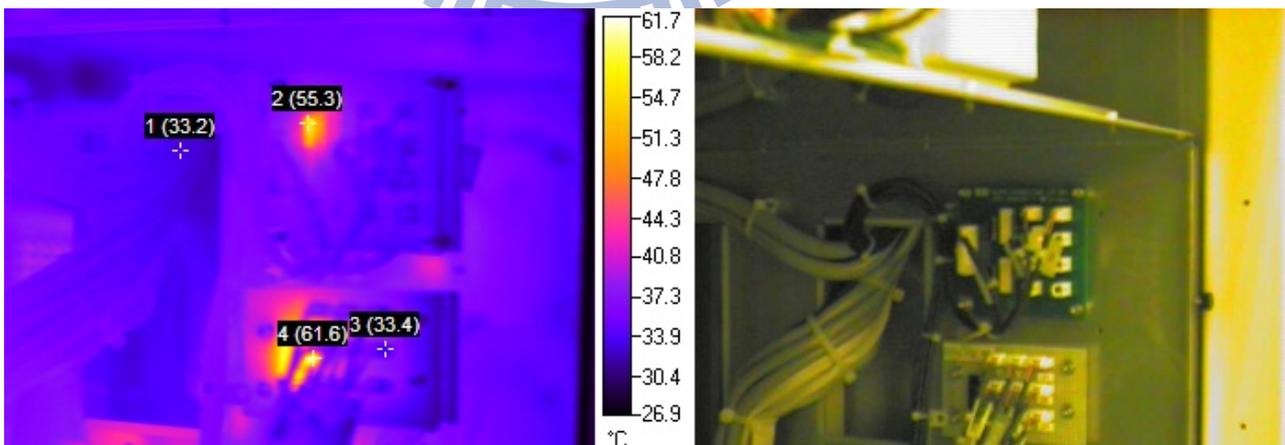


圖4.11 清洗/塗佈/顯像裝置01 board IC設計不良之熱影像圖(改善後)

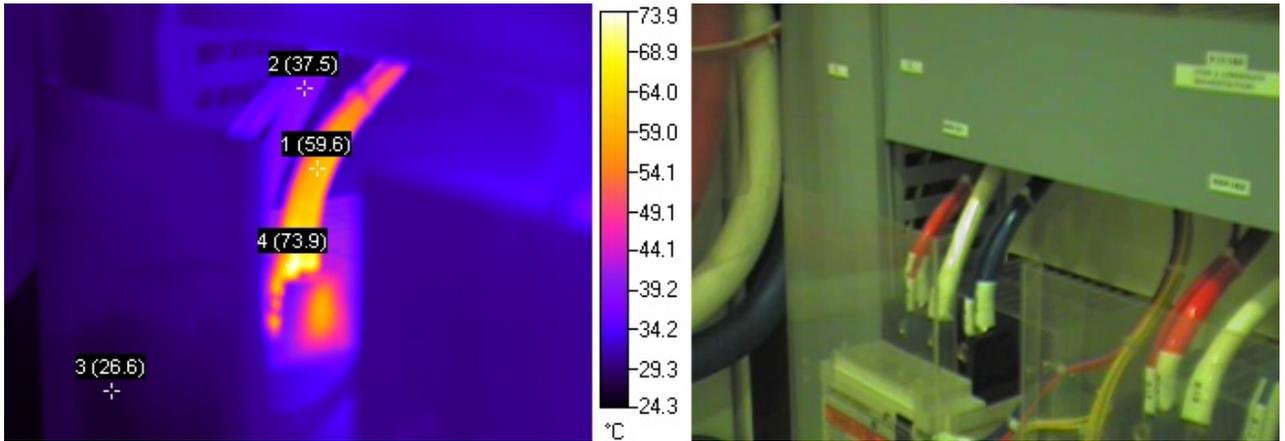


圖4.12 硬烤裝置02固態繼電器接觸不良之熱影像圖(改善前)

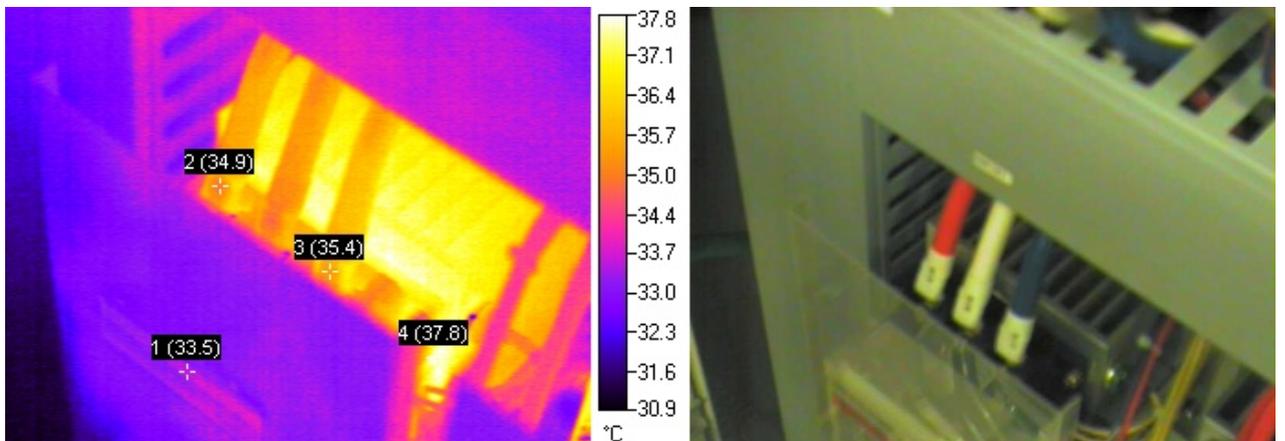


圖4.13 硬烤裝置02固態繼電器接觸不良之熱影像圖(改善後)

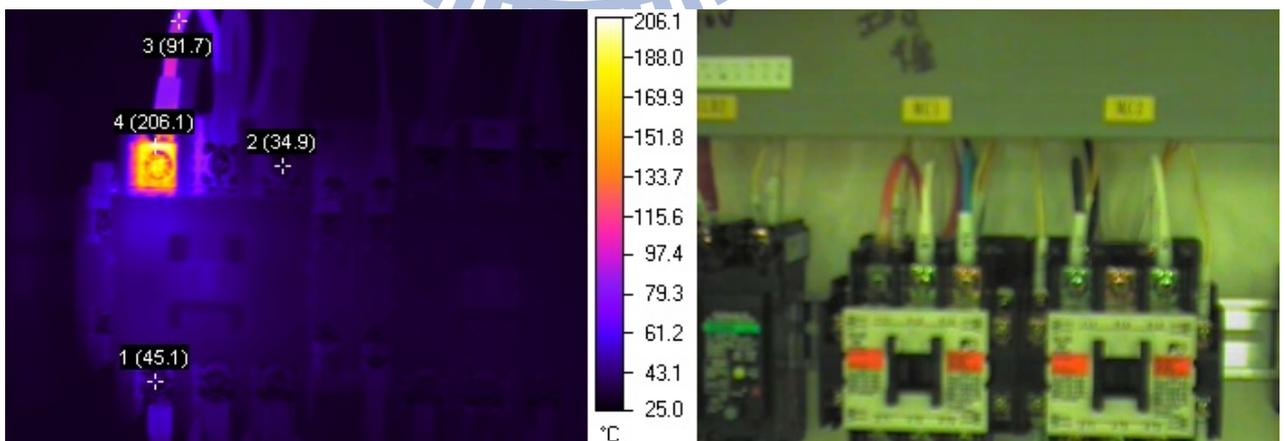


圖4.14 TFT側 多重裝載機 01電磁接觸器接觸不良之熱影像圖(改善前)

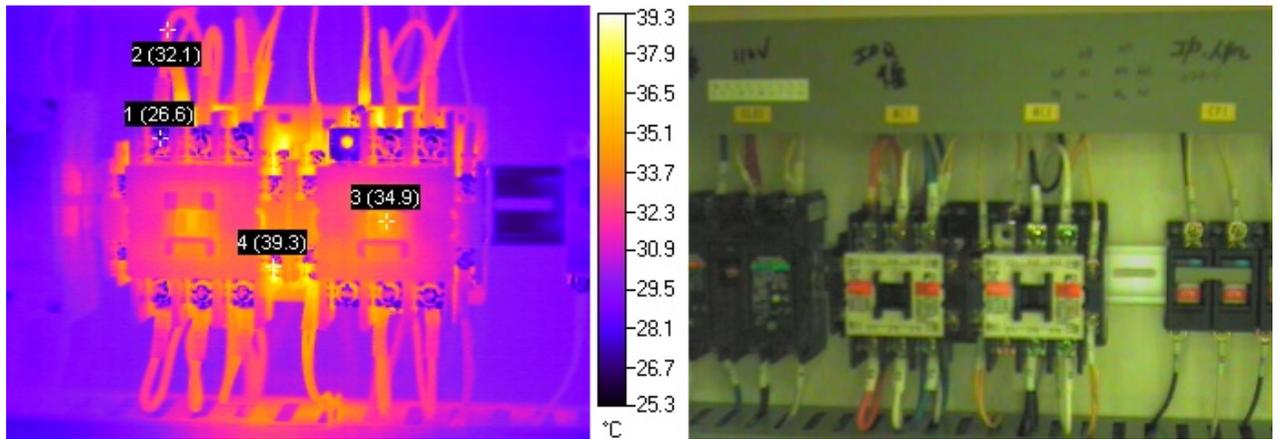


圖4.15 TFT側 多重裝載機 01電磁接觸器接觸不良之熱影像圖(改善後)

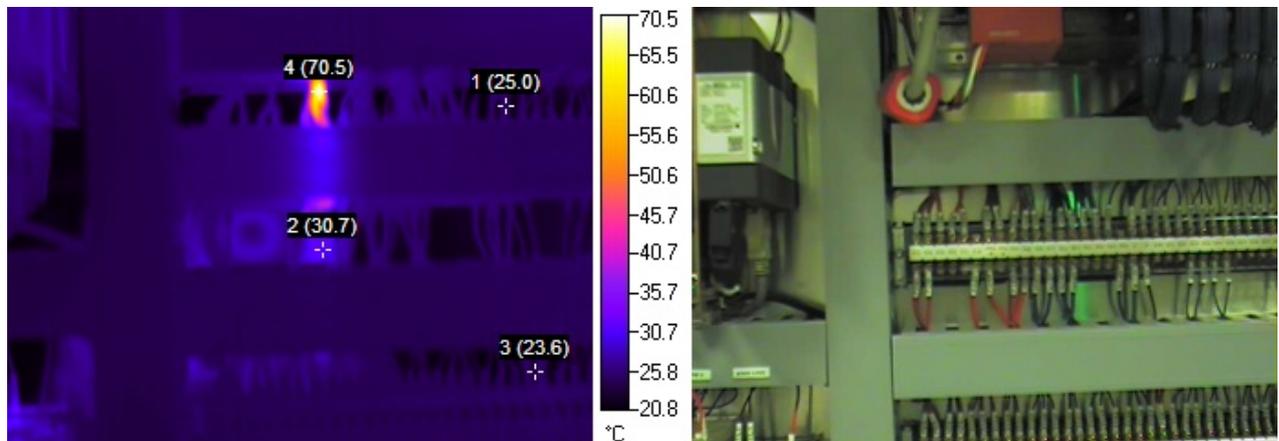


圖4.16 配向機02端子台線路老化之熱影像圖(改善前)

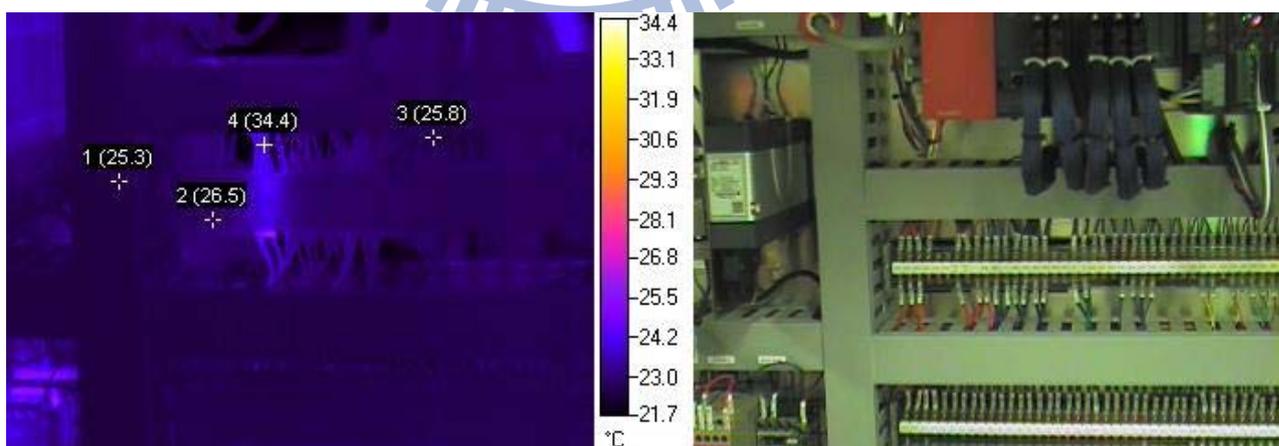


圖4.17配向機02端子台線路老化之熱影像圖(改善後)

圖 4.6 為剝膜及成膜前洗淨裝置 08 無熔絲開關超載之熱影像圖。無熔絲開關為一種低壓過電流保護之斷路器，可使用於室內配線上之總開關與分電流控制開關，亦可有

效的保護電器的重要元件及負載，當負載電流發生短路或過載均會自動跳脫。在美國稱為模殼型斷路器(molded-case circuit breaker, MCB)，而日本則稱為無熔絲開關(No-Fuse Breaker, NFB)，目前國內通常稱為NFB。無熔絲開關超載使用會讓其整體溫度上升，長期超載使用，易造成無熔絲開關損壞甚至燒毀。圖 4.6 無熔絲開關及其線路，改善前之溫度分別為 80.7、81.1℃，經人員評估負載後更換較大容量之無熔絲開關及其線路，溫度下降至 42.7、51.2℃，如圖 4.7。

圖 4.8 為電漿式化學氣相沈積裝置 01 之端子台由於接觸不良導致接點溫升，異常溫度 106.4℃，與正常接點溫度 34 相比，上升 72.4℃，經人員清理接點後重新鎖接，溫度下降至 35.9℃，如圖 4.9。

圖 4.10 為清洗/塗佈/顯像裝置 01 board IC 設計不良之熱影像圖。該設備之 Leak Sensor board IC 由於設備商設計有誤，導致同型設備該部位之 board IC 均有溫度過高之情況發生，圖 4.10 board IC 之異常溫度到達 140℃，經設備商重新設計 board IC 並進行更換後，重新進行檢測，溫度為 61.6℃，下降 78.4℃，如圖 4.11。

圖 4.12 為硬烤裝置 02 固態繼電器接觸不良之熱影像圖。固態繼電器(Solid State Relays, SSR)其功能與一般電磁式繼電器相同，主要用以啟斷電路。圖 4.12 中固態繼電器之 T 相接點因接觸不良導致接點溫升，異常溫度達 73.9℃，經人員清理接點後重新鎖接，溫度下降至 35.4℃，如圖 4.13。

圖 4.14 為 TFT 側多重裝載機 01 電磁接觸器接觸不良之熱影像圖。電磁接觸器(Magnetic Contactor, MC)主要用作電源開啟與切斷控制，藉以控制馬達、電熱器、電力機組等電力負載。圖 4.14 電磁接觸器之 R 相接點因鎖接不良，導致接點溫升，異常接點溫度高達 206.1℃，T 相接點溫度為 34.9℃，溫度相差 171.2℃。由於溫度過高，修保養人員立即停機進行維修，經由清理接點並更換線路重新鎖接後，溫度下降至 26.6℃，如圖 4.15。

圖 4.16 為配向機 02 端子台線路老化之熱影像圖。線路處於高溫、潮濕、腐蝕等惡劣環境下或因超載使用、壓接不良、鎖接不良，均會造成線路溫度過高，加速線路絕緣老化，線路會產生變色、硬脆、龜裂的情形。圖 4.16 配向機 02 端子台線路已有變色、變硬的情況，線路溫度升高至 70℃，經人員停機更換線路後，溫度下降至 34.4℃，如圖 4.17。

#### 4.1.3 第三次紅外線熱影像檢測結果

第三次共檢測 743 台機台，其中 17 台發現異常，共發現 18 處異常，機台異常百分比為 2.288%，異常原因分別為接觸不良 13 件，超載 3 件，元件故障 2 件。異常比率前

三名之元件為無熔絲開關 7 件，端子台 4 件，Driver 線路 3 件。第三次檢測異常清單如表 4.3 所示。

表 4.3 第三次檢測異常清單

機台名稱	異常元件	異常原因	異常溫度	容許(參考點)溫度	備註
電漿式化學氣相沈積裝置 02	端子台	接觸不良	89	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 05	端子台	接觸不良	108	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 08	端子台	接觸不良	94.2	60	
電漿式化學氣相沈積裝置 08	端子台	接觸不良	86.4	60	
剝膜及成膜前洗淨裝置 02	無熔絲開關	超載	76	54.4	
剝膜及成膜前洗淨裝置 04	無熔絲開關	超載	73	54.4	
剝膜及成膜前洗淨裝置 05	無熔絲開關	超載	75	54.4	
清洗/塗佈/顯影裝置 08	Driver 線路	接觸不良	72.2	60	
清洗/塗佈/顯影裝置 10	Driver 線路	接觸不良	76.6	60	
清洗/塗佈/顯影裝置 11	Driver 線路	接觸不良	69	60	
多重裝載機 14	電磁接觸器	接觸不良	50.5	38.5	
多重載重機 01	風扇	元件故障	84.9	40	圖 4.18、圖 4.19
多重載重機 02	風扇	元件故障	77.9	40	
成膜前洗淨裝置 01	無熔絲開關	接觸不良	62.5	44.1	
剝膜及成膜前洗淨裝置 10	積熱電驛	接觸不良	66.2	34.4	圖 4.20、圖 4.21

表 4.3 第三次檢測異常清單(續)

機台名稱	異常元件	異常原因	異常溫度	容許(參考點)溫度	備註
剝膜及成膜前洗淨裝置 12	無熔絲開關	接觸不良	72.5	54.6	
硬烤裝置 04	無熔絲開關	接觸不良	59.1	43.6	
硬烤裝置 01	無熔絲開關	接觸不良	61.3	44.8	

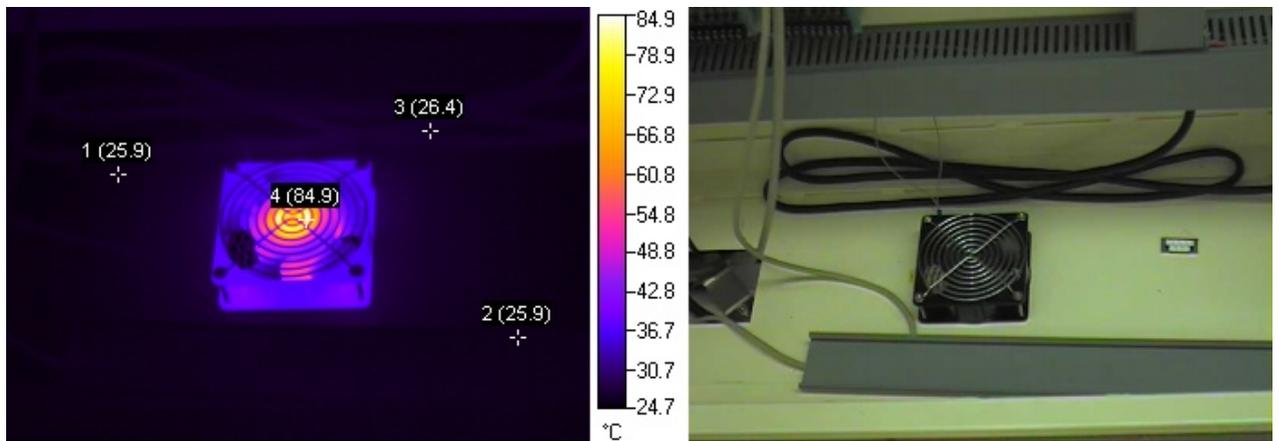


圖4.18 多重載重機01風扇故障之熱影像圖(改善前)

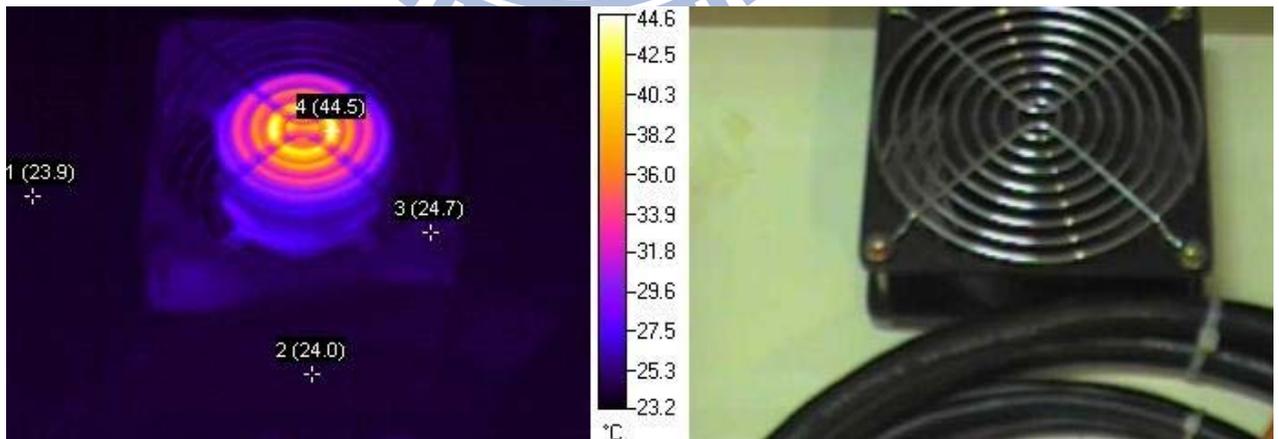


圖4.19 多重載重機01風扇故障之熱影像圖(改善後)

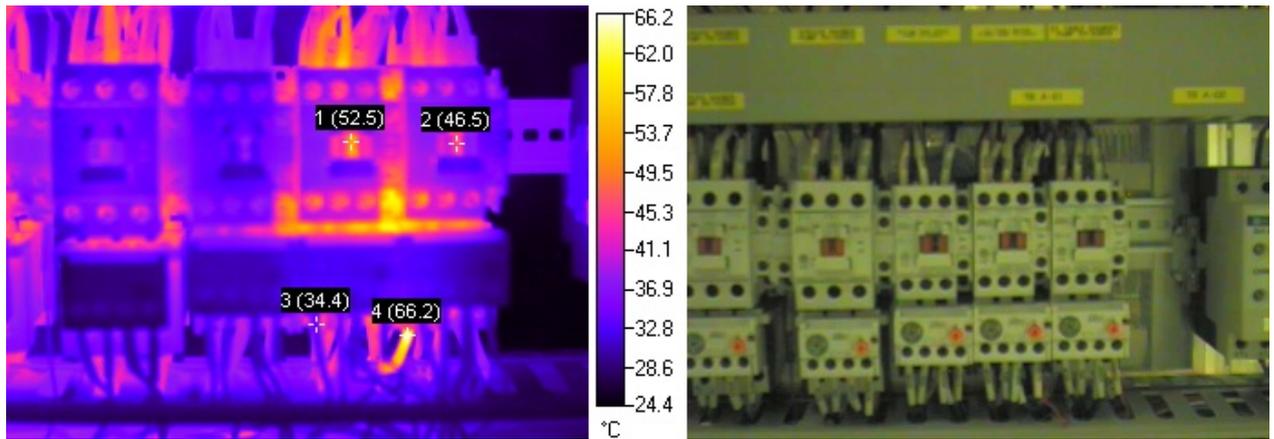


圖4.20 剝膜及成膜前洗淨裝置10積熱電驛接觸不良之熱影像圖(改善前)

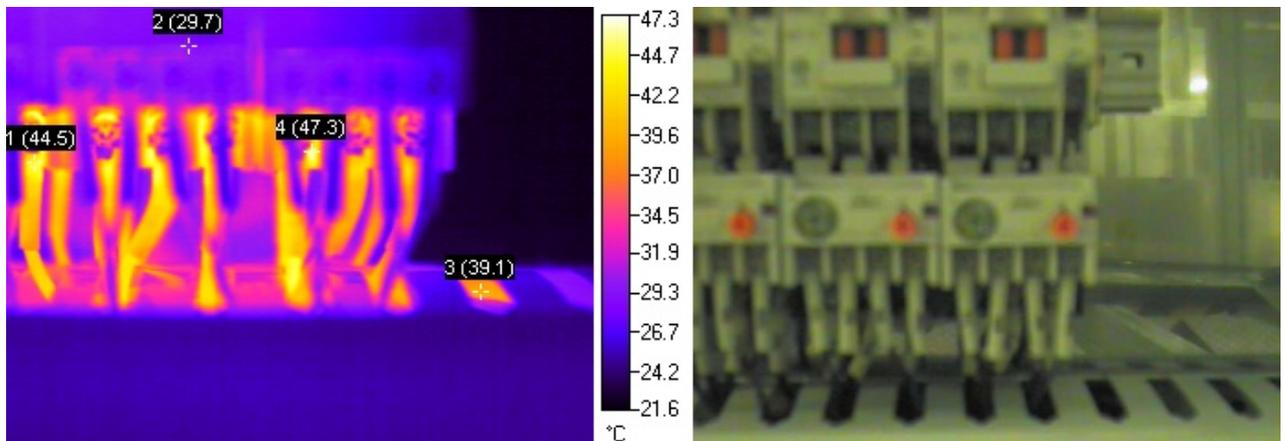


圖4.21 剝膜及成膜前洗淨裝置10積熱電驛接觸不良之熱影像圖(改善後)

圖 4.18 為多重載重機 01 風扇故障之熱影像圖，風扇故障會讓風扇本體過熱，並造成電盤內通風散熱不良，還可能導致電盤內元件因溫度過高而燒毀。圖 4.18 中的故障風扇溫度上升至 84.9℃。維修保養人員更換新品後重新檢測，風扇溫度為 44.5℃，下降 40.4℃，如圖 4.19。

圖 4.20 為剝膜及成膜前洗淨裝置 10 積熱電驛接觸不良之熱影像圖。積熱電驛 (Thermal Relay, TH-RY, 又稱為過載電驛 Over Load, OL)，一般串接於負載之前或接於電磁接觸器之後，做為負載的過載保護用，若積熱電驛故障未依設定啟動時，則可能會燒毀被保護之裝置。圖 4.20 中之積熱電驛接點由於接觸不良導致溫升，接點溫度達 66.2℃，經人員清理接點重新鎖接，溫度下降至 47.3℃，如圖 4.21。

#### 4.1.4 第四次紅外線熱影像檢測結果

第四次共檢測 858 台機台，其中 14 台發現異常，共發現 15 處異常，機台異常百分

比為 1.632%，異常原因分別為設計不良 7 件，接觸不良 6 件，超載 2 件。異常比率前三名之元件為 I/O 通訊板 7 件，無熔絲開關 3 件，電磁接觸器及變壓器各 2 件。第四次檢測異常清單如表 4.4 所示。

表 4.4 第四次檢測異常清單

機台名稱	異常元件	異常原因	異常溫度	容許(參考點)溫度	備註
剝膜及成膜前洗淨裝置 02	無熔絲開關	接觸不良	64.2	50	
印字露光裝置 01	I/O 通訊板	設計不良	55.6	29	圖 4.22、圖 4.23
印字露光裝置 02	I/O 通訊板	設計不良	61.2	29	
印字露光裝置 03	I/O 通訊板	設計不良	56	29	
印字露光裝置 04	I/O 通訊板	設計不良	55.7	29	
印字露光裝置 05	I/O 通訊板	設計不良	60.3	29	
印字露光裝置 06	I/O 通訊板	設計不良	58	29	
印字露光裝置 07	I/O 通訊板	設計不良	57.5	29	
乾蝕刻裝置 03	無熔絲開關	接觸不良	75	57.8	
多重裝載機 14	電磁接觸器	接觸不良	52.8	43	
多重裝載機 16	電磁接觸器	接觸不良	56.3	44.5	
配向後洗淨機 01	變壓器	超載	78.2	47.2	
配向後洗淨機 03	無熔絲開關	接觸不良	79.5	51.1	圖 4.24、圖 4.25
配向後洗淨機 03	變壓器	超載	111.5	47.2	圖 4.26、圖 4.27
Mura 檢查機 04	無熔絲開關	接觸不良	59.9	43.9	

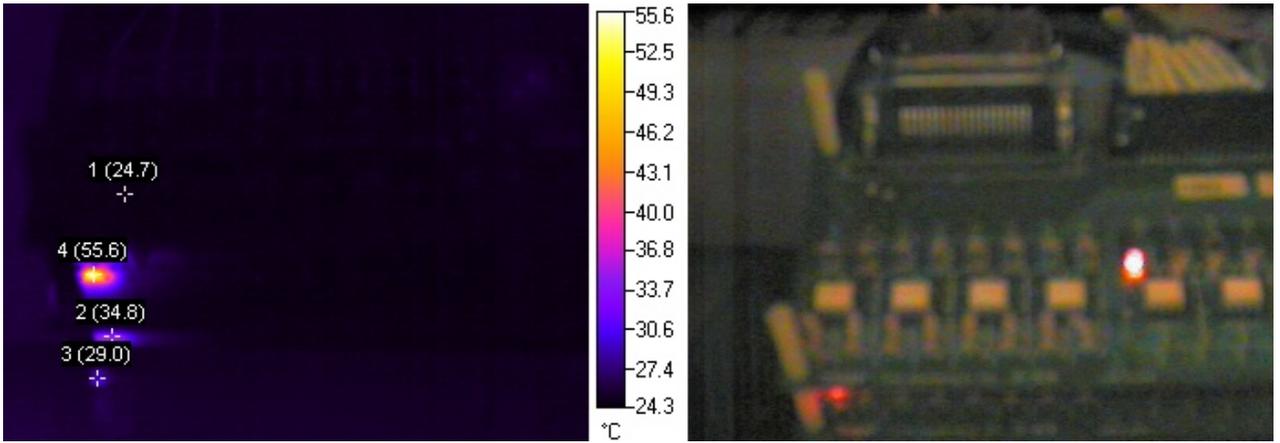


圖4.22 印字露光裝置01 IO通訊板設計不良之熱影像圖(改善前)

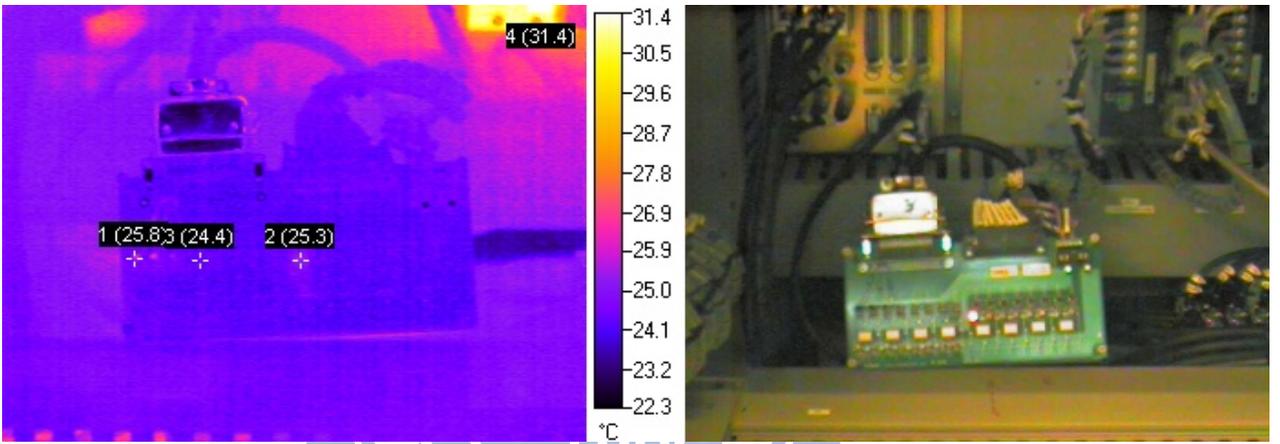


圖4.23 印字露光裝置01 IO通訊板設計不良之熱影像圖(改善後)

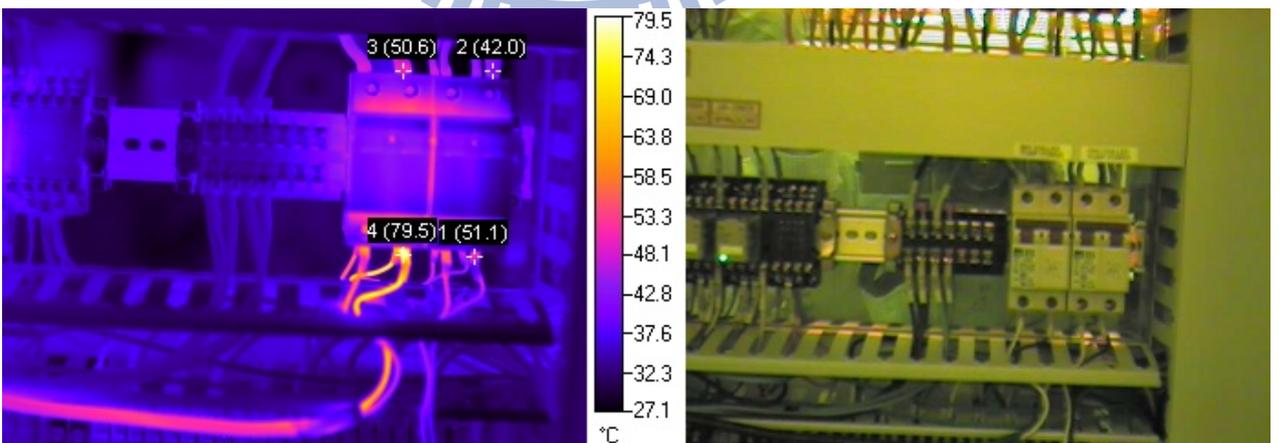


圖4.24 配向後洗淨機 03無熔絲開關接觸不良之熱影像圖(改善前)

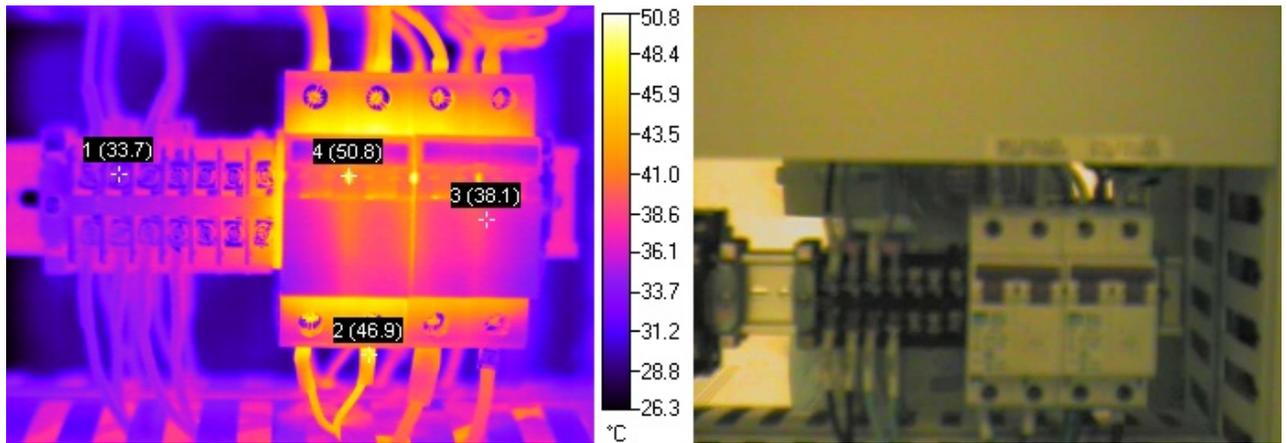


圖4.25 配向後洗淨機 03無熔絲開關接觸不良之熱影像圖(改善後)

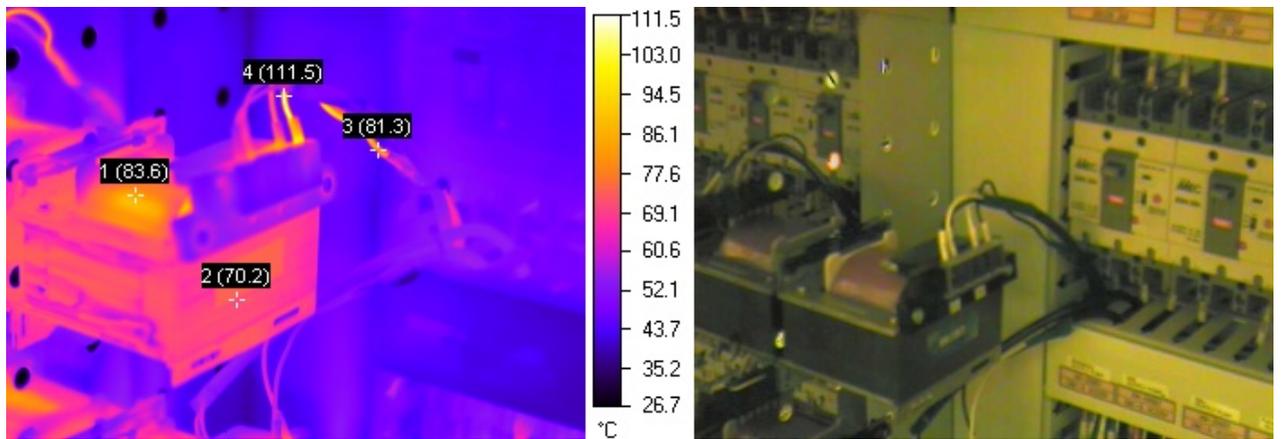


圖4.26 配向後洗淨機 03 變壓器線路超載之熱影像圖(改善前)

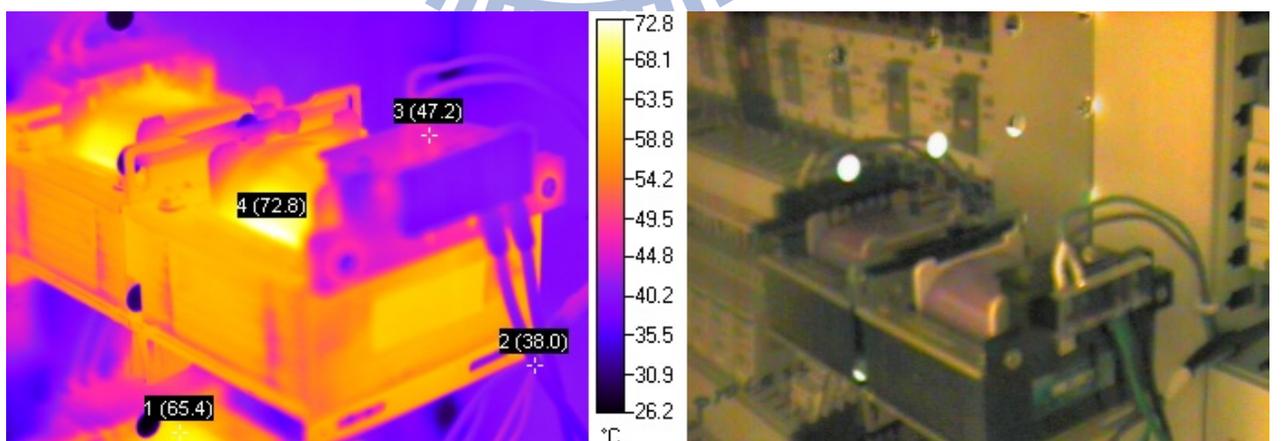


圖4.27 配向後洗淨機 03 變壓器線路超載之熱影像圖(改善後)

圖 4.22 印字露光裝置 01 I/O 通訊板設計不良之熱影像圖。該設備之 I/O 通訊板由於設備商設計有誤，導致同型設備該部位之 I/O 通訊板均有溫度過高之情況發生，圖 4.22 I/O

通訊板之溫度為 55.6°C，檢測時還曾經瞬間觀察到超過 100°C 之高溫，導致 IO 通訊板燒毀、機台當機，經設備商重新設計 IO 通訊板並進行更換後，重新進行檢測，溫度下降至 25.8°C，如圖 4.23。

圖 4.24 為配向後洗淨機 03 無熔絲開關接觸不良之熱影像圖，該無熔絲開關一次側接點之溫度僅 50.6°C，接觸不良之二次側接點溫度則高達 79.5°C，相差 28.9°C。經人員清理接點後重新鎖接，溫度下降至 46.9°C，如圖 4.25。

圖 4.26 為配向後洗淨機 03 變壓器線路超載之熱影像圖。變壓器(transformer)，是通過電磁耦合把一種交流電壓轉換成相同頻率的另一種交流電壓的電力設備或電力元件，其應用十分廣泛，從輸配電系統到日常用家電，都使用的到變壓器。圖 4.27 配向後洗淨機 03 變壓器連接負載之線路，由於容量不足，導致線路溫度過高，還超過線路容許溫度。經人員重新確認負載後，更換線直徑較粗之線路，溫度下降至 47.2°C，如圖 4.27。

#### 4.1.5 歷次檢測結果彙整

本研究以某 TFT-LCD 廠 ARRAY、CELL、MDL 各製程之機台電盤、UPS 等電氣設施為檢測目標，共進行四次檢測，檢測機台數共 2672 台，其中 64 台發現異常，共發現 94 處異常，機台異常百分比為 2.392%，如表 4.5 所示。

表 4.5 檢測結果一覽表

項目	第一次檢測	第二次檢測	第三次檢測	第四次檢測	總計
機台總數	287	788	743	858	2676
異常點數	10	51	18	15	94
異常機台數	9	24	17	14	64
異常機台百分比	3.136	3.046	2.288	1.632	2.392

發生異常的元件分別為端子台、無熔絲開關(NFB)、電磁接觸器(MC)、IO 通訊板、驅動 IC、風扇、Driver 線路、變壓器、電力熔絲(PF)、固態繼電器(SSR)、積熱電驛(TH-RY)，最常發生異常之元件為端子台，共 40 件，佔異常比例之 44%。如表 4.6、圖

4.28 所示。

表 4.6 檢測異常元件一覽表

異常元件	異常數量	異常百分比
端子台	40	43%
無熔絲開關	23	24%
電磁接觸器	7	8%
IO 通訊板	7	8%
驅動 IC	5	5%
風扇	4	4%
Driver 線路	3	3%
變壓器	2	2%
電力熔絲	1	1%
固態繼電器	1	1%
積熱電驛	1	1%

### 檢測異常元件統計

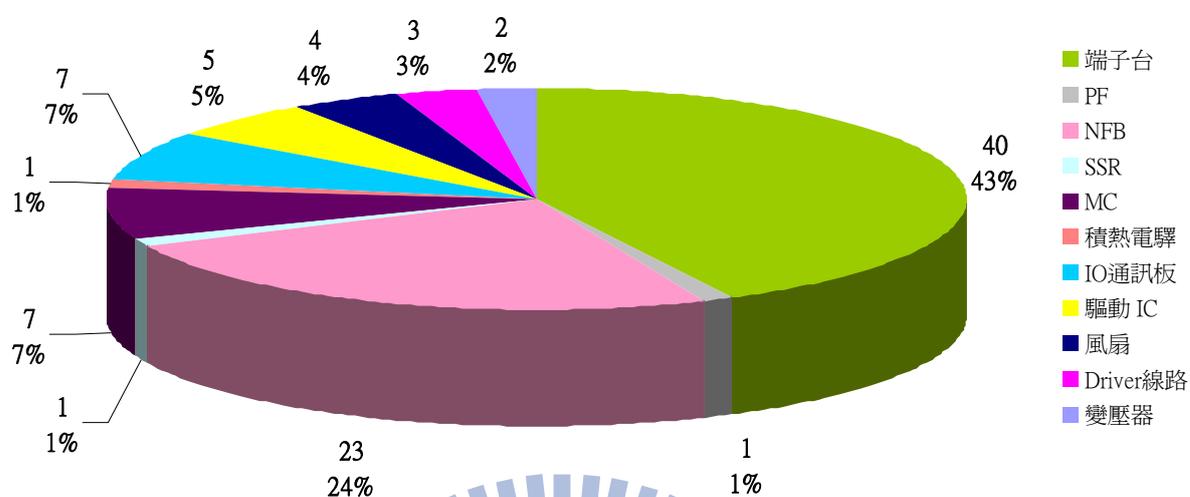


圖 4.28 檢測異常元件統計

彙整四次檢測結果，其中造成溫度異常的原因分別為接觸不良、超載、設計不良、元件故障及線路老化，其中因接觸不良導致溫度異常的比例最高，共 65 件，佔異常比例之 69%。如表 4.7、圖 4.29 所示。

表 4.7 檢測異常原因一覽表

異常原因	接觸不良	超載	設計不良	元件故障	線路老化
件數	65	11	11	5	2
異常百分比	69%	12%	12%	5%	2%

## 檢測異常原因統計

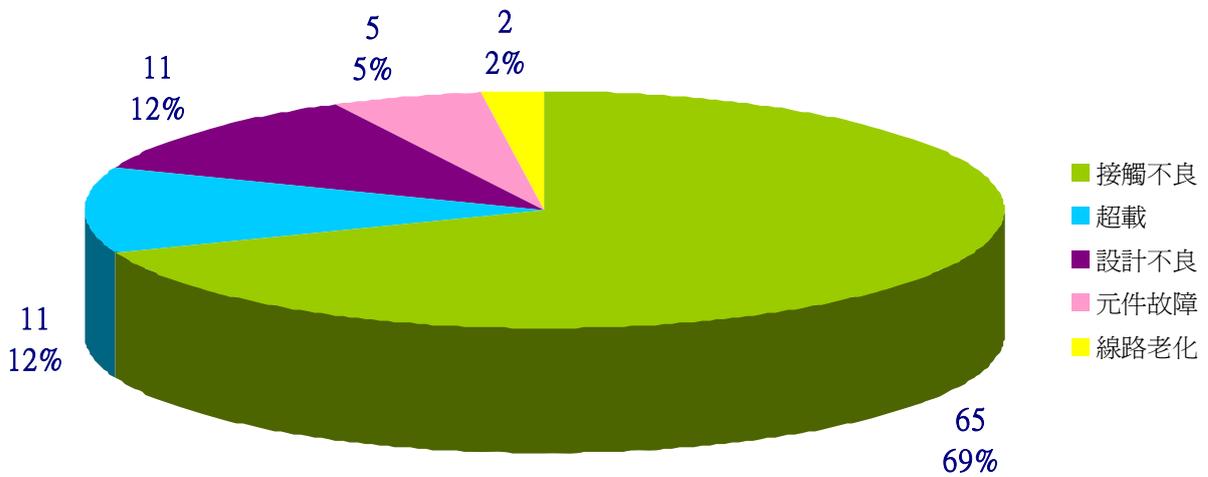


圖4.29 檢測異常原因統計

### 4.2 異常原因分析及說明

#### 4.2.1 接觸不良

由統計結果得知，接觸不良是造成電氣設備溫度異常的主要原因。接觸部位是電路中的薄弱環節，人員操作異常、環境不良、設備異常、電力品質不良…等原因，均容易造成接觸部位溫升的現象。接觸不良原因分析及說明請參閱圖4.30、表4.8。

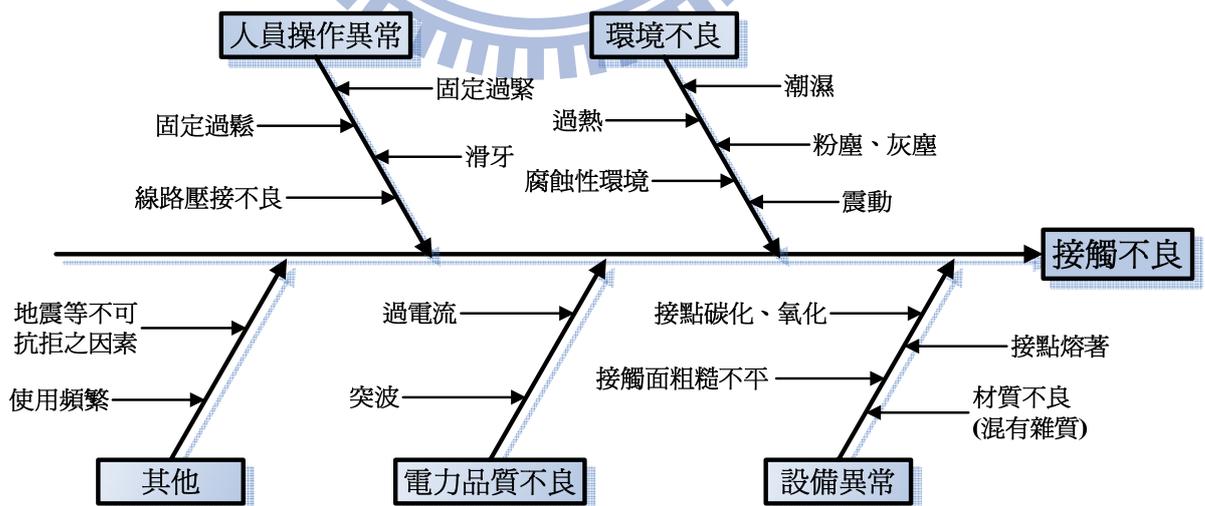


圖4.30 電氣設備接觸不良原因魚骨圖分析

表 4.8 電氣設備接觸不良原因分析及說明

主要因素	次要因素	說明
人員操作異常	固定過鬆 接觸過緊 滑牙 線路壓接不良	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 人員於設備安裝或維修保養時，鎖接不牢、鎖接過緊、角度未對正或焊接不良等，均會造成接觸面積減少，增加接觸電阻，導致接觸部位溫升。</li> <li>● 因此勞工安全衛生設施規則第 276 條第一項中也規定，雇主為防止電氣災害，對於工廠、供公眾使用之建築物及受電電壓屬高壓以上之用電場所，電力設備之裝設與維護保養，非合格之電氣技術人員不得擔任。</li> <li>● 設備安裝時的鎖緊扭力請遵循產品式樣書的規定值進行操作。</li> </ul>
環境不良	過熱 潮濕 腐蝕性環境 灰塵、粉塵 振動	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 在高溫多濕的環境下長期放置或使用時，接點表面會形成氧化皮膜或硫化皮膜，而導致接觸不良等問題。</li> <li>● 於環境有粉塵、灰塵之場所，可能因為異物嵌入，導致接點接觸不良。</li> <li>● 長期處於硫化氣體、有機氣體的環境，接點表面會被腐蝕或發生外學變化，而發生接觸不穩定、接觸障礙、或端子的焊接性降低等情形。</li> <li>● 連續震動或被施以衝擊的狀態下，有可能因磨損的粉屑而造成接點接觸不良之情形，或因震動或衝擊過大，造成接點破壞。</li> <li>● 因此電氣設備之使用及儲存需注意環境狀況。若於惡劣環境下使用，應選用特殊規格之設備並加強維修保養。</li> </ul>

表 4.8 電氣設備接觸不良原因分析及說明(續)

主要因素	次要因素	說明
電力品質不良	過電流 突波	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 過電流、突波電流可能導致接點碳化、熔著，造成接觸不良之情形。</li> <li>● 過電流、突波不但會造成電力設備的損壞，對負載設備也會造成一定的影響，因此可加裝保護裝置或 UPS，以降低過電流、突波之危害。</li> </ul>
設備異常	材質不良 (混有雜質) 接觸面粗糙不平 接點熔著 接點碳化、氧化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 接頭處混有雜質、接觸表面粗糙不平，都會因接觸面積不足，造成接觸電阻升高，導致接頭過熱。</li> <li>● 挑選電氣設備時，應注意設備之品牌、品質，並於設備能力範圍內進行操作。若超過其建議使用時間尚未更換者，應增加維修保養頻率，避免危害發生。</li> </ul>
其他	地震等不可抗拒之因素 使用頻繁	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 劇烈震動的狀態下，可能因震動造成接點破壞，或因磨損的粉屑而造生接點接觸不良之情形。</li> <li>● 負載變化頻繁之迴路，其熱脹冷縮與震動現象較嚴重，容易因此造成鎖接機構鬆弛之過熱現象。</li> <li>● 天災及使用頻繁較難以避免，但為了預防危害發生，於正常狀況下，可增加使用頻繁設備之檢查頻率，(劇烈)地震發生後，則應重新進行檢查。</li> </ul>

#### 4.2.2 超載、設計不良

超載、設計不良之件數皆為 11 件，異常百分比均為 12%。超載與設計不良所造成之症狀，有時於設備運轉初期就會被發覺，但許多案例是在設備運轉一段時間，甚至是一兩年後，問題點才慢慢顯現。但由於大多是在設備安裝時就已存在之問題點，因此相同型式的機台大多會出現同樣的問題。若於檢查時發現肇因為超載、設計不良造成之溫升，應該同時確認相同型式之機台，以早期對策，避免危害發生。超載原因分析及說明請參閱圖 4.31、表 4.9。

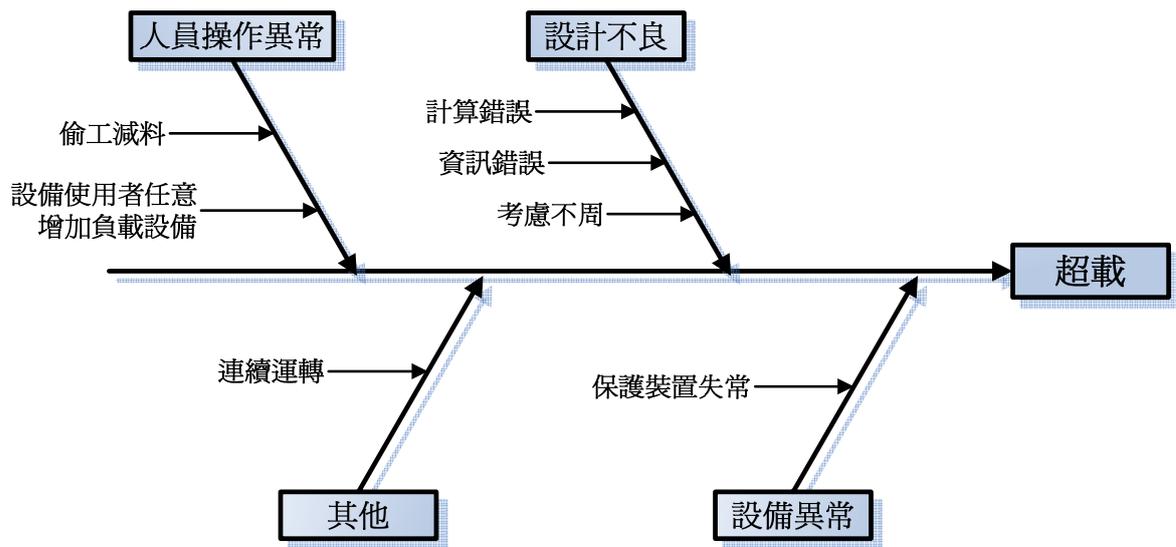


圖4.31 電氣設備超載原因魚骨圖分析

表 4.9 電氣設備超載原因分析及說明

主要因素	次要因素	說明
設計不良	計算錯誤 資訊錯誤 考慮不周	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 造成超載的主要原因絕大多數也是由於「設計不良」，設備、工程人員接受到不正確的資訊，或計算錯誤，導致電氣設備或線路之規格、容量不足或沒有考慮適當餘裕量，均會造成設備整體溫度上升。</li> <li>● 因此，設備於設計、安裝初期，設計者與使用者應妥善溝通聯繫，使用者應提出明確需求，設計者應依照需求內容及相關法規、標準進行設計。</li> </ul>
人員失誤	偷工減料 使用者任意增加 負載設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 部份不肖廠商為了增加利潤，會使用品質較差、甚至不符規格之元件，因此於監工及驗收時應確認元件之規格、品牌，以免造成設備運轉之風險。</li> <li>● 使用者有時為貪圖方便，會有自行搭接或任意增加負載之行為，若總負載超過電氣設備、元件之額定值，則會導致設備過熱甚至造成故障。</li> <li>● 使用者若欲進行變更或增加負載，應與原設計者或經過專業人員仔細評估後才可進行。</li> </ul>

表4.9 電氣設備超載原因分析及說明(續)

主要因素	次要因素	說明
設備異常	保護裝置異常	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 保護裝置失去應有功能，導致不正常的動作持續進行，不但會導致電氣設備異常溫升，還可能使負載設備燒毀。</li> <li>● 為避免此狀況，除了應依照電氣設備及負載之特性，選擇適當之保護裝置，另外保護裝置也應定期進行檢查。</li> </ul>
其他	連續運轉	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 連續使用時間過長，也會造成設備本體及線路之溫度上升。</li> <li>● 設備、線路本身會有積熱之現象，因此對於連續運轉之負載，應特別注意電氣設備之餘裕量。例如依照屋內線路裝置規則第67條第1項第五款規定：配電箱內之任何過電流保護裝置，如遇裝接負載正常狀態下將連續滿載三小時以上者，除該過電流保護裝置確能照其額定值連續負載外，該負載電流以不超過其額定值之百分之八〇為宜。</li> </ul>

#### 4.2.3 元件故障、線路老化

元件故障及線路老化，則多以環境不良、操作不當及設備本身老化、劣化所致。預防的對策包括加強環境管理、依照使用環境選擇適當的設備元件；根據設備特性，妥善使用與保養。元件故障、線路老化原因分析及說明請參閱圖4.32、表4.10。

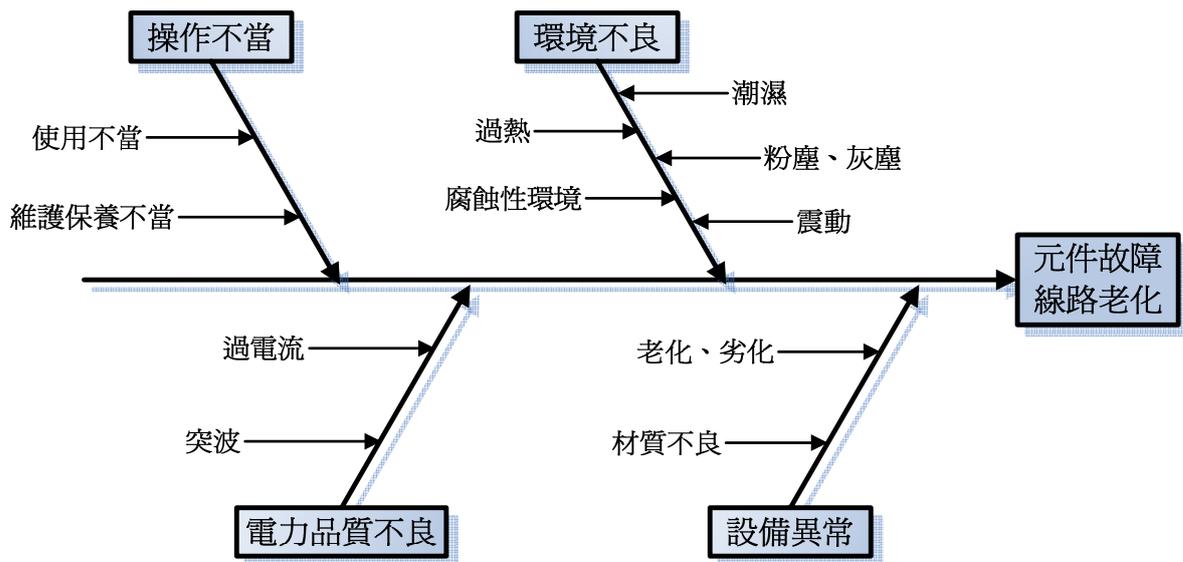


圖 4.32 電氣設備元件故障及線路老化原因魚骨圖分析

表 4.10 電氣設備元件故障及線路老化原因分析及說明

主要因素	次要因素	說明
操作不當	使用不當 維護保養不當	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 電氣元件、線路之使用未依照原廠建議，常常滿載甚至超載使用；未定期進行維修保養、潤滑作業，均會加速元件、線路之老化及劣化。</li> <li>● 應儘量於式樣書建議的條件下進行操作及維修保養工作。</li> </ul>
設備異常	材質不良 設備劣化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 線路之導體材料不良，會造成導電率不佳，甚至會因電阻較高，導致溫度上升。線路之絕緣批覆材質不良，可能導致漏電或短路。</li> <li>● 電氣元件、線路於正常使用下，也會有溫度上升、熱蓄積之現象，雖然未超過容許溫度，但長期、連續使用，仍會使設備老化、劣化。</li> <li>● 挑選電氣設備時，應注意設備之品牌、品質，並於設備能力範圍內進行操作。若超過其建議使用時間尚未更換者，應增加維修保養頻率，避免危害發生。</li> </ul>

表 4.10 電氣設備元件故障及線路老化原因分析及說明(續)

主要因素	次要因素	說明
環境不良	過熱 潮濕 腐蝕性環境 灰塵、粉塵 振動	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 環境的溫溼度及化學氣體成分會影響電氣元件、線路的使用壽命，例如：線路處於陽光高溫環境中，容易發生變硬變脆的情況；繼電器在高溫多濕的環境中，若周圍溫度急速變化時，繼電器內會結露，有時會導致絕緣不良、或絕緣材料表面通電現象，因而造成絕緣的劣化，造成元件故障。</li> <li>● 潮濕、粉塵聚集之場所，很容易發生粉塵在電氣設備的周圍凝集沉降，從而減少了電氣距離，破壞了電氣設備的絕緣強度、線上路過電壓或電氣操作過程中極易造成電氣擊穿短路事故。</li> <li>● 因此電氣設備之使用及儲存需注意環境狀況。若於惡劣環境下使用，應選用特殊規格之設備並加強維修保養。</li> </ul>
電力品質不良	過電流 突波	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 過電流、突波電流可能會因為超過設備、線路之額定能力，導致元件或負載端故障。</li> <li>● 因此可加裝保護裝置或 UPS，以降低過電流、突波之危害。</li> </ul>

#### 4.3 TFT-LCD 廠電氣設備故障風險分析

參照本研究第三章 表 3.8 及 3.10 之溫度異常研判參考，依溫度高低及溫升幅度將檢測異常溫升值分為四級，相對溫差率 ( $\Delta Tr\%$ ) 0%~10% 為「注意」、全載溫度大於最高容許溫度之 80% 或相對溫差率 ( $\Delta Tr\%$ ) 10%~50% 為「低度異常」、相對溫差率 ( $\Delta Tr\%$ ) 50%~100% 為「中度異常」、檢測溫度超過最高容許溫度或相對溫差率 ( $\Delta Tr\%$ ) 100% 以上為「嚴重異常」。

例如：檢測出 PVC 電線為 65°C，由於超過法規所訂之絕緣物容許溫度，因此列為嚴重異常；若檢測出一次測之 PVC 電線於滿載時之溫度為 55°C，雖未超過容許溫度，但二次測之溫度僅 42°C，相對溫差率 ( $\Delta Tr\%$ ) 為 31%，因此列為低度異常(相對溫差率 10%~50%)。容許溫度、溫升上限係參考本研究 3.3~3.8 所列國內外法規及標準中對電氣材料可容許操作溫度之規定及設備原廠所提供之溫度資料。

依據上述分級，本研究對象之 TFT-LCD 廠共有 8 件注意、47 件低度異常 26 件中  
 度異常及 13 件嚴重異常。各機台異常次數及異常等級請參閱表 4.11 及圖 4.33、4.34。

表 4.11 TFT-LCD 各機台檢測異常統計表

代號	機台名稱	異常等級				機台異常數 (total)
		注意	低度異常	中度異常	嚴重異常	
A	印字露光裝置			4	3	7
B	多重裝載機		3	1	2	6
C	成膜前洗淨裝置		2			2
D	自動 APR 版洗淨機				1	1
E	呼氣相檢查機				1	1
F	金屬濺鍍裝置		1	2		3
G	Mura 檢查機		2	1		3
H	剝膜及成膜前洗淨裝置		11	1		12
I	退火裝置		1			1
J	配向後洗基板乾燥爐		1			1
K	配向後洗淨機			2	1	3
L	配向膜印刷機			1		1
M	配向機				1	1
N	乾蝕刻裝置		1	1		2
O	清洗/塗佈/顯像裝置			4	4	8
P	硬烤裝置		2	1		3
Q	電漿式化學氣相沈積裝置	8	23	7		38
R	濕蝕刻裝置			1		1
異常等級件數(total)		8	47	26	13	94

### 異常等級分析

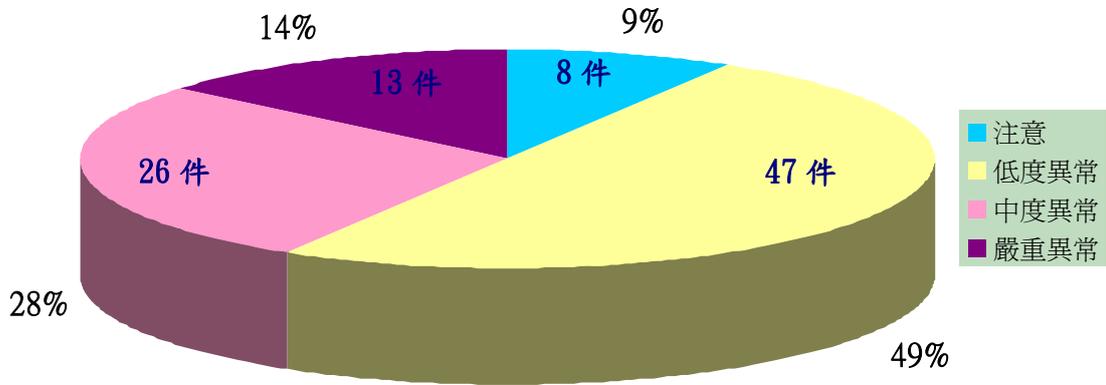


圖4.33各異常等級件數統計

### TFT-LCD 檢測異常機台件數統計

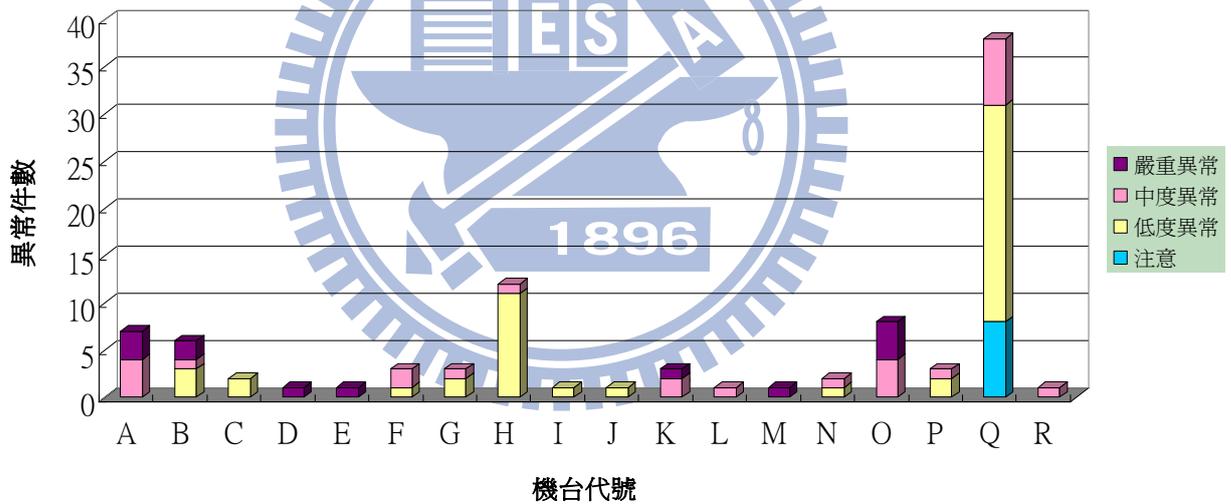


圖4.34 檢測異常機台件數統計

風險係指危害發生之機率及後果，在本研究中，該 TFT-LCD 各機台之風險評估之方式，係以實際檢測發現異常之件數作為事故發生頻率，並將紅外線熱影像所測得之電氣設備的「溫度」及「溫升」值，作為異常的嚴重性指標。

為了計算機台之風險值，本研究將注意、低度異常、中度異常、嚴重異常分別給予不同分數。但電氣元件(設備)失效之嚴重性受後方負載設備多寡、負載設備金額、負載設備重要性...等因素影響甚鉅，因此查詢國內外文獻，並無獲得單一電氣元件(設備)失效之嚴重性分數或權重之資料，故本研究僅依照所研究之 TFT-LCD 廠的風險評分方

式，將嚴重性排列評分從 1 分到 10 分，因此各異常等級所代表之分數分別為注意 1 分、低度異常 3 分、中度異常 6 分、嚴重異常 10 分。利用頻率與嚴重性兩者之乘積，即可獲得該 TFT-LCD 各機台風險值。如表 4.12 所示。

表 4.12 TFT-LCD 各機台風險值

代號	機台名稱	注意 (1 分)	低度異常 (3 分)	中度異常 (6 分)	嚴重異常 (10 分)	total
A	印字露光裝置			4	3	54
B	多重裝載機		3	1	2	35
C	成膜前洗淨裝置		2			6
D	自動 APR 版洗淨機				1	10
E	呼氣相檢查機				1	10
F	金屬濺鍍裝置		1	2		15
G	Mura 檢查機		2	1		12
H	剝膜及成膜前洗淨裝置		11	1		39
I	退火裝置		1			3
J	配向後洗基板乾燥爐		1			3
K	配向後洗淨機			2	1	22
L	配向膜印刷機			1		6
M	配向機				1	10
N	乾蝕刻裝置		1	1		9
O	清洗/塗佈/顯像裝置			4	4	64
P	硬烤裝置		2	1		12
Q	電漿式化學氣相沈積裝置	8	23	7		119
R	濕蝕刻裝置			1		6
※計算方式： $\Sigma F \times S$						

該 TFT-LCD 廠各機台風險值之比較，如圖 4.35 所示。由於第一次檢測對象為廠內用電量較大及使用藥液、加熱設備之製程機台，而第二、三、四次檢測除第一次檢測之機台外，並將一般製程機台及附屬移載設備列入檢測範圍，檢測對象略有不同，因此於機台風險值比較時，僅列出 4 次均有檢測之機台。

### 某TFT-LCD廠各機台風險比較

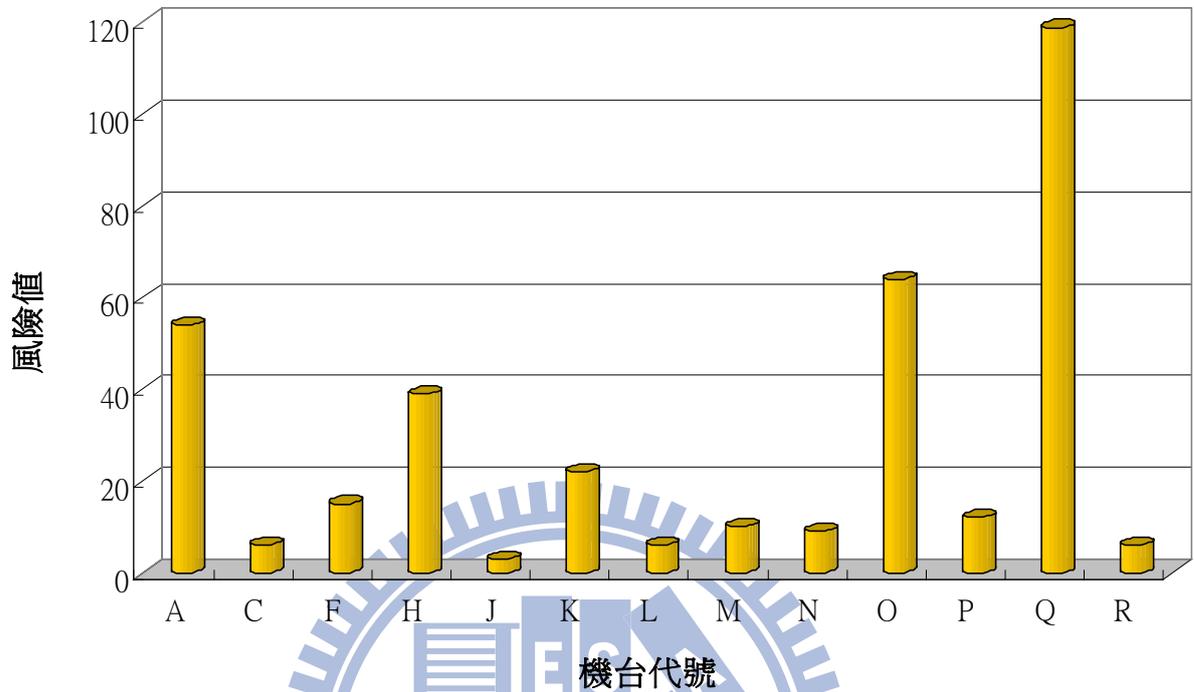


圖4.35 TFT-LCD各機台風險比較

以某 TFT-LCD 廠之檢測結果及風險推估結果統計，比較本研究對象-某 TFT-LCD 廠 ARRAY、CELL、MDL 各製程之電氣設備，其中風險位居前三名者分別為電漿式化學氣相沈積裝置、清洗/塗佈/顯像裝置、印字露光裝置。

## 第五章 結論與建議

根據統計資料，2006至2008年，全球 TFT-LCD面板廠每年投入的設備支出均超過100億美元，設備投資金額龐大。且TFT-LCD產品生命週期短、生產線技術更替快速，再加上龐大的設備折舊費用，因此能夠防止這些「昂貴」設備故障、損壞，避免其無預警停機，使設備發揮其最大效能，才能確保競爭優勢，降低經營成本。

目前產業界使用紅外線熱影像儀進行電氣設備的預知保養，檢測目標大多仍以廠務設備為主，製程機台之電氣設備則較為缺乏，故本文以TFT-LCD廠製程機台(含移載設備)之電氣設備為檢測目標，提供檢測數據、異常原因及預防對策，提供給業界做為參考，對可立即改善的風險加以控制，從而提高電氣設備的可靠性和利用率，降低事故發生機率，並減少成本及營運中斷等損失。

### 5.1 結論

1. 本研究以某 TFT-LCD 廠 ARRAY、CELL、MDL 各製程機台之電盤、UPS 等電氣設備為檢測目標，共進行四次檢測，檢測機台數共 2672 台。觀察歷次檢測結果可發現，藉由紅外線熱影像儀進行機台電氣設備之預知保養後，機台異常百分比確實有降低之趨勢。且本研究中之 TFT-LCD 廠，自 94 年開始使用紅外線熱影像進行預知保養，有實施檢測的部位，未發生電氣設備無預警失效，或因故障導致產能中斷的異常事件(案例)。
2. 設備之用電量與其發生異常之機率不一定會成正比，若設計得宜，使電氣設備均能在其額定範圍內運作，發生異常之機率偏低；反之，機台耗電量雖不大，但因設計不良或自行搭接造成超載，異常發生機率遠高於前者。因此檢測時不得以機台耗電量作為挑選檢測對象之唯一依據。
3. TFT-LCD 廠之機台數量眾多，在人力、物力有限的情況下，應仔細挑選『優先』檢測對象。但現場環境、負載狀況、使用頻率、設計不當、施工不良..等因素，均會導致電氣設備發生異常。以本研究之檢測結果為例，檢查機台、移載設備也發現多起異常，故建議完成優先檢測對象之檢測後，其餘設備仍應分批完成檢測。
4. 機台電盤內之電氣元件種類、廠牌繁多，且為了方便進行設備控制、節省空間等考量下，使用到許多模組化之電氣設備，難以於法規、規範、標準查出其容許溫度或溫升上限，建議於機台裝機完成後就立即進行紅外線熱影像檢測，並仔細紀錄各電氣設備、元件的溫度，建立「設備溫度參考值」，一方面可察覺因設計不良、施工不良所造成之異常，一方面可做為日後檢測之「基準」，以利日後檢測人員分析判斷。

5. 超載與設計不良所造成之症狀，有時於機台運轉初期就會被發覺，但許多案例是在機台運轉一段時間，甚至是一兩年後，問題點才慢慢顯現。除非使用者有自行增加負載設備之行為，否則若檢查時發現機台之電氣設備有超載及設計不良之情形，應該同時確認同型機台是否也有相同異常，以早期對策，避免危害發生。

## 5.2 建議

1. 本研究乃依照 TFT-LCD 廠製程設備種類，提供『檢測異常設備』之風險值給業界做為預知保養排程之參考，建議未來除『設備種類』外，另可考慮『設備廠牌』、『設備年齡』等參數進行統計分析，以利預知保養排程最適化。
2. 本研究評估機台嚴重度之主要依據為設備異常溫升值，建議未來研究能以不同嚴重度參數進行評估，如產能損失、環境影響等。
3. 使用紅外線熱影像儀進行預知保養，其中檢測結果判讀是最困難的工作之一，電氣元件種類、廠牌、負載狀況、絕緣等級均會影響該元件之容許溫度及溫升，因此判讀時需要對設備有足夠的了解，並需要經驗的累積。有鑒於此，若有程式、軟體能輔助判讀，定能降低人員失誤的機率。

目前已有研究利用人工智慧進行設備熱故障自動診斷，但大多針對單一設備、區域，而製程機台之電氣設備由於種類、廠牌、數量繁多，難度相對提升。因此建議可先挑選一風險較高之設備進行研究，結合設備基本資料、負載狀況等資訊，並與紅外線熱影像結果自動比對，發展製程設備電氣設備熱故障自動診斷系統，定能大幅降低電氣設備失效之風險。

## 參考文獻

1. 鄭達才，設備維護管理現在與未來，初版，臺北，中國生產力中心，2000。
2. 羅樹棠，「設備保養系統之績效評估與改善」，國立台灣科技大學，碩士論文，2005。
3. 葉芳俊，「電氣設備之診斷與預知保養」，勞工安全衛生簡訊，第 78 期，2~4 頁，2006。
4. 洪振剛，「以 FRP 補強結構之應用及檢測研究」，中原大學，碩士論文，2003。
5. 王伯雄、王雪、陳非凡，工程測試技術，一版，北京，清華大學出版社，2006。
6. 葉玉堂、饒建珍、肖峻，光學教程，一版，北京，清華大學出版社，2005。
7. 張越，「基于紅外熱像技術的電力設備故障在線監測與診斷」，大連理工大學，碩士論文，2008。
8. 郭英軍、孫麗華、孫會琴、冉海潮，「電力變壓器熱故障的在線診斷技術」，河北科技大學學報，28 卷 2 期，147-149 頁，2007。
9. 何洪英「基于紅外熱像及人工智能的絕緣子污穢等級識別方法研究」，湖南大學，博士論文，2006。
10. 蔡耀友，「應用紅外線熱影像及超音波技術於電力設備預知維護之研究」，崑山科技大學，碩士論文，2006。
11. 孫守華，「基于紅外熱像技術的變壓器內部故障診斷研究」，武漢大學，碩士論文，2006。
12. 游嘉弘，「以熱影像儀輔助之切換式電源供應器損失配置與傳導性電磁干擾分析」，長庚大學，碩士論文，2005。
13. 李意誠，「應用紅外線熱影像技術於電力設備異常診斷之研究」，國立台北科技大學，碩士論文，2002。
14. 吳麟哲，「熱影像技術應用於電子板件故障檢測之研究」，國立成功大學，碩士論文，1999。
15. 鄭凱中，「電力電纜局部放電檢測與圖譜辨識之研究」，國立成功大學，碩士論文，2007。
16. 李財福，「應用株落選擇演算法及支撐向量機於電力變壓器先期故障診斷策略之研究」，國立高雄應用科技大學，博士論文，2007。
17. 王毓坤，「PDA在醫院工務機電設備定期保養管理之運用—以永和耕莘醫院為例」，臺灣大學，碩士論文，2007。

18. 黃世杰，「應用細菌趨化尋優演算法於電力系統故障區段之診測」，國立成功大學，碩士論文，2007。
19. 陳玟伶，「應用機器視覺於鉚釘電氣接點之表面檢測」，國立台北科技大學，碩士論文，2006。
20. 葉瑞興，「自動化半導體廠電力系統之故障診斷」，國立台北科技大學，碩士論文，2006。
21. 王錦榮，「利用GSM資料收集模組與多層支撐向量機分類器建構電力變壓器故障診斷系統」，國立高雄應用科技大學，碩士論文，2005。
22. 林家宏，「電力系統適應性故障診斷及電力品質偵測之研究」，國立中山大學，博士論文，2003。
23. 李清吟，「應用線上監測於電力變壓器異常診斷之研究」，國立台北科技大學，碩士論文，2002。
24. 洪瑞勳，「紅外線熱影像於加熱爐熱分布檢測之應用研究」，屏東科技大學，碩士論文，2003。
25. 林國照，熱影像應用於工廠高壓開關之危害預知保養技術研究，初版，台灣，勞委會安全衛生研究所，2005。
26. 經濟部工業局、財團法人工業技術研究院，電氣設備失效預防技術手冊，初版，臺北市，經濟部工業局，2006。
27. 台灣電力公司，「用電設備檢測方法」，配電技術手冊（二十二），初版，台灣，台灣電力公司，2004。
28. 黃盛豐、楊慶祥，工業配線實習-低壓篇，九版，臺北市，全華科技圖書股份有限公司，1992。
29. 蘇健忠，「大型科技廠電力設備事故案例分析及其風險評估與改善對策」，中原大學，碩士論文，2006。
30. CNS 3990，「金屬閉鎖型配電箱及控制箱(A.C. 3.33~36kv)」，臺北，經濟部標準檢驗局，1995年。
31. 經濟部，屋內線路裝置規則，民國八十八年四月
32. 勞工委員會，勞工安全衛生設施規則，民國九十六年二月
33. SEMI, “Safety Guideline for the Electrical Design of Semiconductor Manufacturing Equipment ”, SEMI International Standards, 2006。
34. IEEE Std C37.20 2-1999, “Metal-Clad Switchgear”, 2000.
35. Burres, K. “Competitive advantage in plant reliability”, PTQ Magazine, pp.

107-111, 2002.

36. JAMES W. BELETIC, 「EXOTIC IMAGING: IR focal-plane arrays enable imaging that is out of this world」, Laser Focus World, Volume: 43, 2007.

from the World Wide Web : <http://www.laserfocusworld.com/index.html>

37. Lindquist, T.M. , Bertling, L. “Hazard rate estimation for high-voltage contacts using infrared thermography” , Reliability and Maintainability Symposium RAMS 2008. Annual, pp.231 - 237, 2008.
38. Janicki, M. Napieralski, A. “Assessment of circuit direct cooling for infrared thermography purposes” , Telecommunications and Computer Science 2004 , pp.611 - 613, 2004.

