

探討 NFPA 70 與 OSHA 和 電力檢測的關係

■ 范綱志 / 震江電力科技股份有限公司

壹、前言

美國消防協會 (National Fire Protection Association, 以下簡稱NFPA) 成立於1896年, 超過100年的歷史沿革, 為國際上倡導消防安全的先驅, 其300條法令與規範影響範圍遍及全球之建築業、產品與工作手法。NFPA法規已廣泛被各界所使用或以此為基礎衍伸出相關規範。

NFPA 70, 亦即國家電氣法規 (National Electric Code, 以下簡稱 NEC) 為電氣設計、安裝與檢測之標準。其並未針對電器維護或工作安全的實踐做具體的說明。對於此兩類標準, 將分別在NFPA 70B和NFPA 70E中定義。

雖然NFPA並無監管權力, 其規範和標準卻為當地市政府和OSHA等機構廣泛採用或引用, 於現實中這些標準經常作為公司工作上的監管要求。事實上, OSHA在2007年8月採納了部分的NFPA 70E和NEC法規, 並僅做了微幅的調整, 修訂於其 (OSHA) 1910.303 的子 (S) 部

分, 並指出該機構將會大量採納2000年版的NFPA 70E, 以及2002年版的NEC法規。

其他方面, 保險公司可能參考此類規範作為最佳的管理方向, 或是要求符合此類規範以獲得較佳的保險費率, 甚至是作為加保的必要條件。許多保險公司都會要求製造廠至少每年, 根據NFPA 70B檢查其重點的配電設備。

在NFPA 70B中, 紅外線熱影像檢測為預防性維護中的重要一環。然而, 紅外線熱影響檢測時, 需要活電開啟盤門, 測試人員在此情形下, 常面臨電弧危害的風險。因此, 在NFPA 70E中, 明述了電弧危害的評估方法, 以及避免此類風險的對策。為此, 本文概略介紹NFPA 70B、NFPA 70E, 以及常用的對策手法, 供讀者參考。

貳、NFPA 70B與紅外線熱影像 檢測

NFPA 70B是實施有效的電氣預防性維護 (Electrical Preventive Maintenance, 以下簡稱EPM) 計畫的標準。EPM計劃的

目的在於減少因電氣系統和設備故障所導致的生命和財產危害。其表示一個管理良好的EPM計劃，能有效減少事故、人員傷亡並最大限度，降低成本和避免非計畫性停電，若無良好的EPM計劃，管理層將面臨較高的嚴重電氣故障及其後果的風險。

70B規範亦說明，可靠度可經由設計及規劃來提升，仍需要透過有效的維護來確保其可靠性；電氣設備的老化為正常現象，但設備故障並非不可避免。從設備新安裝開始，便伴隨著正常的劣化現象。如未經檢查，劣化過程可能導致故障或電氣事故，一個有效的EPM計畫能辨識這些因素，並提供應對措施。

一、70B 概述了EPM 計畫的好處

- (一) 資產保護：經驗指出，在良好的EPM計畫內，設備能運轉更長時間與更加的效能。
- (二) 風險管理：EPM計畫為防止事故、避免生產及利益損失的一種

形式。

- (三) 節約能源：維護良好的設備運行效率更高，耗能更少。
- (四) 增加正常運轉時間與產能：通過降低生產中斷和更佳的運轉和更高的生產力。
- (五) 提高員工士氣，減少曠工。
- (六) 可能降低保險成本：替代成本高昂且不適當的維護。

NFPA認為有系統，且定期的紅外線熱像檢測，如圖1為EPM計畫中重要的一環，並指出“熱像”檢測可揭露多種潛在的危險。這些情況的適當診斷和補救措施，也有助於防止多次重大損失，此手法可減少傳統的視覺檢查和繁瑣的手動檢查，並在長距離的檢測下尤其有效。指出熱像檢測為相對低廉的檢測手法，特別是比較避免設備損壞和產線中斷的損失，被認為是一種有用的工具，用於評估先前的修繕作業或測試新電氣系統和仍在保修期內的新設備。

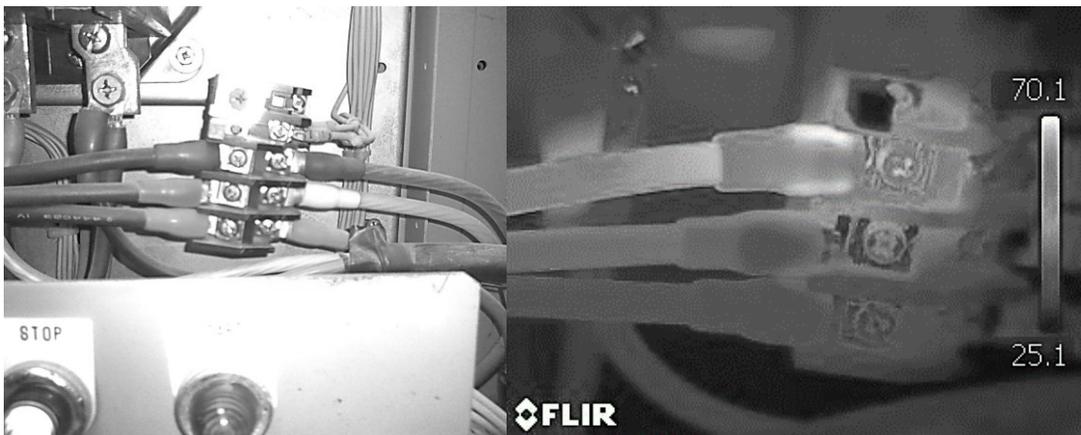


圖1 透過開盤紅外線熱像測試檢測過熱點

表1 NETA(國家電氣測試協會)針對設備溫度變化與修復措施之基準

溫度變化	狀態分析	維護動作
1°C (1.8°F) 至 3°C (5.4°F)	潛在瑕疵	進行調查
4°C (7.2°F) 至 15°C (27°F)	具體瑕疵	時間許可時進行修繕
16°C (28.8°F) 或更高	重大瑕疵	及時進行修繕

70B標準規定，紅外線熱像檢測應在設備停機前執行，如需進行更頻繁的紅外線檢測，如每季或半年一次，應在損失經驗、新安裝之電氣設備或環境、附載、運行條件變化的情況下進行。70B亦制定溫度測試基準並參考NETA基準(如表1)。此表將量測溫度與“正常值”，由合格技術人員定義進行比較，並根據與正常值的溫差來進行維護。

溫度(T)和溫差(ΔT)的量測精確度會受到被測物所使用的光學元件影響。因此，紅外線檢測視窗或其他檢測口則必須補償傳輸中的任何衰減。該規範亦對運行檢測(於設備運行中進行檢測)有著相當具體的規定，並要求紅外線檢測應在可能的最大負載期間進行，且不得低於待測電氣設備額定負載的40%。由於標準面板蓋或標準視窗的材質，如：強化玻璃或有機玻璃，於紅外線光譜中的不透射性質，檢測人員無法經由此處來計算盤內溫度，因此若無紅外線檢測視窗或檢測口，檢測人員則需於適當時，開啟盤門進行檢測。

想當然爾，紅外線熱像檢測人員或電力工程師於開啟盤門時，需遵照NFPA 70B法規和保險要求，即便如此，開盤導致事故的風險亦同時增加了。NFPA 70E將電氣設備的開盤作業列為最高危險/風險等級，因此，現場人員需遵守NFPA 70E電氣安全標準。另外，NFPA 70B亦於近期進行了修訂，2010年版的修正包含：

1. 排序整理：包括相關主題的分類和測試資訊的整合。
2. 緊急應變準備和電力系統設備回復的新材料。
3. 關於如何進行電氣設備維護外包的新建議。
4. 有關故障模式影響和關鍵分析 (Failure Modes Effects and Criticality Analysis, FMECA) 的新信息。

參、NFPA 70E與電弧閃絡

一、電弧閃絡

電弧閃絡(圖2)為通過空氣的短路(相對相或相對地故障)。電弧的產生可經由不同的機電因素或事故包括：接觸表面上的灰塵、腐蝕和雜質；開關損壞和更換保險絲；絕緣材料失效；接點損壞；身體、工具、螺栓或其他金屬部件意外接觸導體。



圖2 電弧閃絡事故

電弧本身可達超過華氏35,000度 (攝氏約19,427度)的高溫，同時產生致盲閃光，並導致銅排和電纜瞬間達到電漿狀態(液態和氣態之後的第四種型態)，其(銅)尺寸將展開超過其固態尺寸67,000倍，此乃電弧爆炸，如同炸彈般爆炸，可釋放出數千磅的力量，挾帶著熔毀的碎片和極高溫之火球，可將鋼板從鉸鏈和螺栓上炸開，對任何直接接觸的設備或資產造成全面性的破壞，同時影響產線作業。若恰巧有電氣人員或勞工在事故的設備前工作，可能對個人和其家屬造成永久性的損傷。電弧產生的熱可導致三度灼傷，其爆炸產生的壓力可能造成器官破裂，傷害聽力和身體部位的傷害。碎片和盤面於爆炸時可造成明顯的破壞並劃破或擊傷周遭的人員。

在北美地區，每天發生5至10起嚴重的電弧傷害事故，導致每年超過2000名勞工需要在燒燙傷中心治療(估計有更多事件僅發生於急診室，因此並未歸納於此統計)。估計因電弧事故的支出每年高達數千萬美元，然而對於這些受難的工人及其家庭而言，影響不僅僅是這些數字能夠表示的。

二、NFPA 70E

NFPA 70E標準最初於1976年制定，並在1979年發佈，主要針對族群為“僱主、員工和OSHA。其目的為協助OSHA制定一套標準，作為評估工作場所電氣安全的基準。經歷約30年八次的修訂，NFPA 70E在美國本土甚至全球各地於工作安全

的實踐皆有不可磨滅的成效，而其中最具有影響力的便是在2000年版中對個人防護器具(PPE, Personal Protective Equipment)的要求。其中，現行版本70E中要求僱主：

1. 進行閃絡危害分析以定義電弧閃絡邊界並記錄相關設備的事故能量或參考130.7(C)(9)表。
2. 提供工作業者適當的個人防護具。
3. 僅允許合格人員在活電設備上或附近工作。
4. 培訓工作人員的電氣安全和工作安全的實踐。
5. 使用工安號誌、告牌和事故預防標籤。
6. 提供工作安全的工具。



圖3 2000年版NFPA 70E新增對個人防護器具的要求。

三、控管階層結構

NFPA 70E和OSHA的核心在於階層式的控管 (如2009年版的70E中附錄F所述)。簡而言之,此概念的目的在于盡可能地控管或減輕風險。

(一) 控管階層的優先排序 (最上為最優選):

1. 徹底消除風險。
2. 工作風險替換 (以低風險手法進行)。
3. 工程上的控制 (如安裝電弧防護盤)。
4. 實踐工作安全。
5. 個人防護器具。

總之,降低風險的最佳方式便是消除風險。這也是為何NFPA 70E和OSHA清楚地說明電氣設備在開啟之前必須斷電。但在某些特定的情況下,無法停電進行檢查和故障排除,因此有必要將使用個人防護具作為最後的手段,即便是階層結構中最不優選的手段。

OSHA 1910.303 Linhardt Interpretation 明確指出,為避免電弧閃絡造成的燒燙傷,遵守工作安全的一般規定,通常要求在員工於電氣設備上或其附近工作時,必須在施作前斷開電源。

儘管OSHA建議,雇主諮詢諸如NFPA 70E-2004 的標準,卻未完全贊同130.7(C)(9)圖表中的對於個人防護具的建議。除此之外,OSHA亦於Linhardt Interpretation中說明,部分的個人防護具保護與缺少lockout/tagout (LOTO) 的要

求,導致其保護程度並不如S子部分完整。

必須了解到OSHA的宗旨在於完全消除工作場所的事故風險,因此,個人防護具的保護對於OSHA的事故零容忍度而言為不足的。如2009年版的70E(130.7(A) FPM No.1) 明確指出個人防護具的限制: 130.7 中對於個人防護具要求的,目的在于保護施工人員免於電弧閃絡和觸電的危害,但有些情況仍會導致灼傷,因此即便在穿戴個人防護具的情況下,還是得盡量去避免燒燙傷並保持存活率。由於電弧事件往往伴隨著爆炸意外,進而造成人員身體上的物理傷害,但130.7對於個人防護具的要求僅針對電弧閃絡的熱影響,並未提出物理傷害的保護措施。

肆、常用風險抑制對策

一、NFPA 70E與熱影像

2009年版的NFPA 70E新增了許多部分,其中對熱影像技術人員最值得一提的便是將紅外線熱影像測試新增至130.7(C)(9)危險/風險分類表中。

危險/風險分類在提供作業人員與管理人員,還未執行完整的事件能量分析電弧閃絡危害分析時,建議適當等級的個人防護具。對於最大短路容量和最大故障清除,時間做了一定程度的假設,超出此假設範圍的部分,則需要完整的分析。

在限制範圍之外的紅外線熱影像,與其他非接觸式檢測已被列為與開蓋(露出裸露、帶電導體或線路)同級 - 1kV至38kV開關設備中風險等級第三級(共四級)。

600V以上的移除蓋板檢測依然為最高級(第四級)危險/風險等級。

結論淺而易見，開盤進行熱影像檢測屬高風險行為，需要做事前預防，包括使用適當的個人防護器具，以保護檢測人員避免受到電弧閃絡所造成的高溫傷害。而這不僅對人員而言是高風險，對於生產流程和廠區資產來說也同樣具有高風險，意即對利潤的風險。

二、密閉與保護

紅外線視窗包含一個專用透鏡(通常由聚合物或水晶製成)，允許紅外波長透過此部件，最終被紅外線熱像儀或相機給捕獲。紅外線視窗可安裝在配電設備的蓋板或門上，例如開關設備、變壓器、MCC、PDU面板和馬達接線盒等。

透過紅外線視窗(圖4)，熱影像檢測人員能夠在不開啟盤門的情況下進行檢測，因此無需暴露於帶電導體及迴路的高風險環境，且不需破壞機櫃的平面。以NFPA的規範來說，電氣櫃依舊保持“密閉”狀態，且帶電導體和迴路亦保持保護狀態。因此，在櫃內的狀態沒有改變的環境下，進行熱像檢測的人員所受到的危險/風險便如同在相關設備旁走動一般。



圖4 安裝紅外線檢測視窗可提高紅外線熱影像的檢測效率並降低對個人防護具使用的要求。

若能落實無需開盤的檢測，便能省去99%因紅外線檢測所引起的閃絡事故。如NFPA 70E所描述密閉的帶電設備以正確的方式安裝與維護，在正常的操作下，不太可能會引起電弧閃絡。這也是為何在70E規範中，個人防護具的要求範圍，限於電氣安全相關工作與暴露於電氣危害的工作人員、接觸密閉和保護狀態設備的工作人員，在正確操作、正確安裝和正確維護的前提下，並無受到電氣危害的風險，因此不需要(如70E要求)使用高規格的個人防護具。

簡而言之，紅外線視窗並非一種保護裝置，市面上的任何視窗的結構強度都無法與鋼相比，且都容易於爆炸中破損。主流的三家紅外線視窗製造商皆在開關盤上進行過50kA的電弧測試，此測試的主要目的在於驗證視窗和其他部件的耐受性，亦不影響耐電弧開關的安全機制。另外，改變爆炸衝擊的能量與熱量乃透過耐電弧開關的設計，而非紅外

線視窗。如同耐電弧試驗中常見的觀察窗口和面板儀表，紅外線視窗屬於預防性設備，旨在保持熱像檢測人員與帶電設備的距離，以降低電弧閃絡的風險。

伍、結論

NFPA對於改善電氣設備的安全性，和工作安全措施已產生了深遠的影響，不僅在美國本土，在國際上亦經常被採用。

任何希望提高盈利能力、設備運轉時間和工作安全性的公司，都該研習 NFPA 70B 電氣預防性維護標準中的建議。為了更進一步增強安全性並降低廠房和人員的風險，70E為必要的標準，OSHA監管機構亦將該標準作為工作場所電氣安全的參考。

作為EPM計畫的關鍵部分，電氣設備的熱影像檢測被法規列為重點項目。而紅外線檢測視窗則提供企業遵守檢查流程的一種途徑，同時符合避免電弧閃絡的規定。

NFPA (美國消防協會) 和 OSHA (職業安全與健康管理局) 商定，除非停電，否則不應開啟電氣設備盤門。然而，對於50V以下之導體及電路不在此限，另外若停電會產生更大風險或當停電不可行之時，亦另當別論。

紅外線檢測視窗為廠商及熱影像技師於活電的情況下，提供了一種更安全且更有效率的方式，並保持設備在密閉且受到保護的情況下進行，同時保持盤內狀態穩定。相較於開盤測試，無需開

盤的檢測手法大大降低了檢測時的風險，並降低了個人防護具使用的要求。

紅外線視窗可幫助企業符合法規並縮短檢測時間，同時提高熱影像技術人員以及工廠資產和流程的安全性。最終達到節省時間、金錢並提高效率和安全性的目標。