

電力變壓器老化 潛藏的風險突顯



撰稿：Anastasiya SIMSEK

今年早些時候希思羅機場（倫敦希思羅機場，一個全球最繁忙的國際機場）發生的一場火災導致停電。這不僅是單一事件，更是系統性問題的警告。隱藏在停電背後的是全球機場、物流中心和關鍵基礎設施面臨的問題：老化的變壓器缺乏實時監測。這次事件導致超過100個航班取消，並中斷貨物運輸，促使人們重新審視電網可靠性的問題。根據H2Scan（一家變壓器氣體感測技術領導公司）CEO/Meyers的說法，這次希思羅機場的停電不是意外，而是可以預見的。Meyers解釋，英國和美國的許多變壓器設備已經超過40或50年老化。隨著時間增長，內部故障風險增加。如果沒有持續監測，就像是「盲目飛行」，意味著在未知風險的情況下運作。

（MPI評註：變壓器是電力系統的核心設備，負責維持穩定的電壓供應。老化變壓器容易故障，如果沒有持續監測，就無法及時發現問題。變壓器老化預防的重要性，就像定期檢查健康一樣，這比喻強調監測的必要性。畢竟變壓器老化會導致絕緣材料退化、過熱或電弧放電等問題，進而引發火災或無徵兆斷電。持續可控的監測可以及早偵測這些變化，避免災難。）

對航空運輸可靠性的隱藏威脅

在航空運輸和物流行業，穩定的電力能源供應是不可或缺的重要元素。一旦意外發生，哪怕只有一個電力變壓器故障都會波及正常的作業，如裝載、掃描、冷藏、安全系統和數位基礎設施等故障可能導致航班延誤、貨物損壞或安全檢測的問題。然而，這些負責系統電力輸送的變壓器，卻很少在發生故障前得到準確判別。（MPI評註：預防比事後修復更重要。）

傳統的監測方法，是對變壓器內的絕緣油定期手動抽取樣本，大概是6到48個月一次，通過檢測這些樣本的氣體成分及含量來研判其老化的程度。這些樣本會被專業的實驗室分析所含的溶解氣體成分，如氫氣、甲烷和乙炔，這些氣體的成分及含量可以反映變壓器的內部如過熱或電弧等負載，造成的老化程度。Meyers說：「問題是嚴重故障可能在取樣間隔期間發展，就像如果你有風險卻只每年檢查一次血壓，然後希望不會心臟病發。」（MPI評註：溶解氣體分析DGA是常規檢測的標準方法，但間歇性取樣無法進行連續穩定的監測。譬如氫氣是老化狀況發生的早期指標，變壓器負載過熱時會首先釋放。傳統的監測方法像定期體檢，但卻存在無法有效監測故障觸發的臨界狀態的風險。）

由於氫氣是變壓器內部過熱時首先釋放的氣體，所以也是特別關鍵的老化顯現早期指標，在故障發生前幾週或幾個月，氫氣達到一定臨界程度的含量時即可提供最早的故障警告。

Meyers說：「氫氣是你的第一道防線。如果你看到它上升，就可以在情況變成災難前採取行動。」

（MPI評註：變壓器內的絕緣油在故障時會分解產生氣體。其中氫氣是最早產生的，在故障發生的臨界階段就會產生。因此有效的連續監測氫氣含量，就可以預防故障發生，而不是等到爆炸或火災。）

希思羅國際機場的火災，據報是由未及時偵測到的變壓器故障引發，災源位於機場空管系統電力供應的變電站。雖然事故調查仍在進行，但行業分析師估計中斷造成的經濟損害超過1億英鎊（故障期間的每小時約為600-700萬英鎊的營收損失）。Meyers指出：「我們在其他工業場所看到每小時停機成本約為50萬美元。但對主要機場來說，損失的金額會指數級增加。」

（MPI評註：全球貿易的關鍵樞紐機場依賴電力運行空管、貨物處理等，安全作業的時效確保的是巨額的營收。電力供應的故障帶來的是巨大經濟損失。）

除了財務損失，變壓器故障還會附帶安全、環境和監管的風險。災源洩漏的廢油對近水域汙染，可能會帶來昂貴的清理成本。如醫院、數據資料中心和冷鏈倉庫等單位，同樣會因類似的故障，導致罰款或停業。隨著溫室氣候加劇，電力需求日漸增加，缺乏有效監測的，老化的變壓器設備故障頻發。

舊式的多氣體DGA系統建置成本需數萬美元，並需停機安裝，還僅限於對最重要或關鍵變壓器進行持續監測。確幸的是，技術的進步使監測的工具更易用和便宜了。而今H2Scan的感測器技術，Meyers解釋：「我們現在可以在不到兩小時內完成氫氣感測器的安裝，而不需讓變壓器中斷電力供應。機場或資料中心可對老化的設備進行快速改造，並立即檢測到氫氣含量的數據。」

（MPI評註：H2Scan的感測器技術，專注於氫氣檢測的獨特技術，裝置安裝簡單，無需中斷電力設備的工作。這降低了對老舊設備改造的成本門檻，滿足更廣泛的設施採用。）

這種有效降低運營成本的做法不僅得到越來越多資方的認同，同時越來越多的保險公司也願為加裝了H2Scan監測設備的資產提供保費折扣。Meyers說：「保險公司也認同這個新技術，正積極地領導推動“以防代賠”的市場加保策略。」

不僅保險公司鼓勵監測新技術應用以降低索賠風險。國際標準機構如IEEE（電氣工程師協會）和CIGRÉ正在將更高的監測標準寫入新規範，而防火組織如NFPA（國家防火協會）也正在通過宣導新技術對火災的有效預防，大力推動各產業轉向主動監測。然而，新舊技術更替的挑戰是巨大的。公用事業保守的態度總傾向於優先穩定而非創新。

但Meyers堅信優先高風險（如機場的）資產是務實策略，「短期內改造每個變壓器並不現實，」他承認。「關鍵是優先排序。從最關鍵資產開始——那些與乘客操作、冷鏈貨物或空管系統相關的——然後逐步擴展。」

成功專案

Meyers分享了幾個氫氣監測防止事故的成功專案。一個是氫氣含量上升偵測發現了變壓器內的接頭鬆動，若未偵測，則導致火災或停電。另一個是運營商透過數據分析幫助辨別了真假故障威脅，優化維護，降低了檢測維修的成本。Meyers說：「不僅偵測，還能協助分析，辨別真假故障、優先維護，有效延長設備的工作生命週期。」

AI可以分析趨勢，預測故障時間，使用持續感測器數據建立預測模型，而非僅依賴定期樣本。收集的實時數據越多，未來的故障預測就越準確。這種技術的進階實現了從反應式到預測式維護轉變，進一步降低事故發生的風險。

機場不僅是乘客樞紐，還擔負連接全球供應鏈的責任。對越來越多作為物流樞紐的機場來說，電子商務、生鮮冷鏈、醫藥和電子產品等產品的24/7運轉，後台電氣化保障能力的韌性正愈來愈受到重點關注。隨著電氣化進程加速，特別在地勤操作和貨物處理的關鍵作業中增加電力需求，電網穩定和確保監測不中斷將成為運營連續性的基石。

Meyers總結：「監測變壓器不再只是工程問題。它是連續運營策略、防火措施和環境保護義務的“三位一體”。」