

出國報告（出國類別：開會）

2018 年美國都寶工程公司國際年會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：方振瑞，電機工程師

派赴國家：美國

出國期間：107 年 4 月 7 日至 4 月 13 日

報告日期：107 年 5 月 14 日

出國報告審核表

出國報告名稱：參加美國都寶工程公司國際年會(International Conference of Doble Clients)

出國人姓名 (2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
方振瑞	電機工程師	台灣電力公司綜合研究所
出國類別	☐ 考察 ☐ 進修 ☐ 研究 ☐ 實習 ☒ 其他 開會 (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	

出國期間：107年4月7日至107年4月13日 報告繳交日期：106年5月21日

出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
☒	☐	1.依限繳交出國報告
☒	☐	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
☒	☐	3.無抄襲相關資料
☒	☐	4.內容充實完備.
☒	☐	5..建議具參考價值
☒	☐	6.送本機關參考或研辦
☐	☐	7.送上級機關參考
☐	☐	8.退回補正，原因：
☐	☐	(1) 不符原核定出國計畫
☐	☐	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
☐	☐	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
☐	☐	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
☐	☐	(5) 引用相關資料未註明資料來源
☐	☐	(6) 電子檔案未依格式辦理
☐	☐	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：
☐	☐	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。
☐	☐	(2) 於本機關業務會報提出報告
☐	☐	(3) 其他 _____
☐	☐	10.其他處理意見及方式：

報告人：  單位：  主管處：  總經理：
 主管： 主管： 副總經理：

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。
- 三、

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：2018 年美國都寶工程公司國際年會

頁數 60 含附件：☐是☒否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台電 人資處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

方振瑞/台灣電力公司 綜合研究所/電機工程師/02-23601116

出國類別：☐1 考察☐2 進修☐3 研究☐4 實習☒5 其他：開會

出國期間：107 年 4 月 7 日至 4 月 13 日

出國地區：美國

報告日期：107 年 5 月 14 日

分類號/目

關鍵詞：Doble、故障調查、套管、離岸風力、EMI 測試、頻響分析、FRA

內容摘要：(二百至三百字)

本次出國的主要任務為參加美國都寶工程公司(Doble Engineering Company)於 2018 年 4 月在美國波士頓(Boston)舉辦的第 85 屆國際年會，不但學習到國外最新電力設備運轉維護的相關試驗與標準，還與各國電力設備試驗經驗豐富的工程師互相關交流，收穫十分豐富。

此次年會所發表的論文內容涵蓋：「避雷器，電容器，電纜及其配件」、「變壓器」、「保護電驛、自動化、控制和通信」、「企業資產管理(EAM)」、「絕緣材料」、「斷路器」、「旋轉機械和電氣設備可靠度」、「變壓器有載分接開關氣體分析」等電力設備相關技術，會議之間，同時也參觀了各家廠商展示的電力相關、最新科技的儀器設備還有材料，不但是目前電力業界的研發潮流，同時也可提供作為本公司設計與採購方向的參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

出國報告審核表.....	I
出國報告提要.....	II
目錄.....	III
一、出國緣由、行程及主要任務.....	1
二、心得報告.....	3
2.1 年會議程介紹.....	3
2.2 論文摘要.....	8
2.3 論文選粹.....	27
2.3.1 「Trench COS 325 kV 套管的故障調查」.....	28
2.3.2 「將中壓電纜設計推向更高的電壓發展」.....	36
2.3.3 「為什麼要使用電磁干擾（EMI）測試法來測試機器？」.....	42
2.3.4 「變壓器頻響分析 FRA 方法的現狀 - CIGRE WG A2.53 的進展 與最新方向」.....	47
三、感想與建議.....	50
四、參考文獻.....	53

表目錄

表 1	行程與工作內容.....	2
表 2	議題與日程表.....	5
表 3	Trench 套管 COS 325KV 在法國故障的數量.....	28
表 4	Trench 套管油中氣體分析(DGA)的結果	29
表 5	關鍵氣體含量比率識別標準.....	29
表 6	計算結果.....	30
表 7	功率因素測量結果.....	30
表 8	Trench 套管的設計值.....	30
表 9	IEC 60137 和 IEEE C57.19.01 的功率因數（或 $\tan \delta$ ）限制值.....	32
表 10	Trench 的 COS 套管的功率因數限制值及測量週期.....	32
表 11	CIGRE guide 445 針對不同類型的套管的功率因數（或 $\tan \delta$ ）限制值， 在 15 到 400Hz 的變頻功率因素測量	33
表 12	中壓電纜的設計.....	37

圖目錄

圖 1	國際年會相關照片	3
圖 2	套管的各種診斷工具與測試方法.....	29
圖 3	套管的各種診斷工具與測試方法.....	31
圖 4	變頻功率因素測量結果.....	33
圖 5	介電頻率響應測量結果.....	34
圖 6	套管細部分解：上：拆除應力椎後的套管電容層，下：C1 的第 1 層被擊穿的穿孔（下左：導體、下右：電容層）.....	34
圖 7	歐洲離岸風電安裝容量的年增量.....	34
圖 8	XLPE(左)和 WTR-XLPE(右)的差異	38
圖 9	在不同溫度變化下，水下針刺測試的水樹成長長度.....	39
圖 10	在不同鹽分濃度下，XLPE 和 WTR-XLPE 的水樹成長比較	40
圖 11	絕緣材料中，水樹出現的態樣	40
圖 12	EMI 測試法可以應用的範圍相當廣泛	42
圖 13	典型的 RFCT 放置位置：馬達(左)和發電機(右).....	43
圖 14	軸心接地不良造成軸電流燒損轉子的軸承.....	44
圖 15	EMI 圖譜（有異常放電高峰，正常應回下方和緩曲線）	44
圖 16	高壓馬達的轉子破損.....	45
圖 17	EMI 圖譜（跟馬達轉速同頻率時有高峰值）.....	45
圖 18	EMI 實施的過程.....	46

圖 19	頻率響應曲線測試圖譜.....	47
圖 20	頻率響應曲線之間的差異指標.....	20

一、出國緣由、行程及主要任務

出國緣由：

美國都寶工程公司國際年會(International Conference of Doble Clients)為國際知名電氣試驗討論會議之一，每屆年會皆有大量高水準論文被發表，尤其在絕緣試驗方面，可提供本公司多種電氣設備試驗數據資料，以作為本公司竣工及維護標準訂定之重要參考。

本公司為 Doble 公司年會會員之一，Doble 公司於 2018 年 4 月在美國波士頓舉辦第 85 屆國際年會，有各國電力公司工程人員與會，可互相技術交流，提升本公司國際知名度。

美國都寶工程公司 (Doble Engineering Company) 為機電設備絕緣及特性試驗之權威機構，協會每年所編寫之年報內容豐富，如電氣特性、絕緣理論及試驗技術發展趨勢等皆有專文論述，內容涵蓋廣泛。

本次出國開會「2018 年美國都寶工程公司國際年會」之重點如下：

- a. 避雷器，電容器，電纜及其配件相關技術
- b. 變壓器相關技術
- c. 保護電驛、自動化、控制和通信技術
- d. 企業資產管理 (EAM)
- e. 絕緣材料相關技術
- f. 斷路器相關技術
- g. 旋轉機械和電氣設備可靠度
- h. 變壓器有載分接開關氣體分析

藉由此次參加國際會議，可了解國外電力設備運轉、維護的相關試驗與標準，還有國外與電力設備相關的最新科技與發明，期能對本公司相關電力設備運轉與維護、採購與管理策略等，做出更大的貢獻，以確保設備安全以及用電品質。

本次出國案件係 107 年度出國計畫第 141 號，出國核定書為 1071411 號，
電人字第 1078028750 號函

出國行程及主要任務：

本次出國期間自 107 年 4 月 7 日至 4 月 13 日，主要的任務為參加美國都寶工程公司於 2018 年 4 月在美國波士頓(Boston)舉辦的第 85 屆國際年會，了解國外電力設備運轉、維護的相關試驗與標準，讓本公司電力設備的運轉維護之試驗技術與標準能與世界接軌。行程與工作內容概要說明如表 1：

表 1 行程與工作內容

項次	起始日	迄止日	地點	工作內容概況
1	1060407	1060407	桃園-洛杉磯-波士頓	路程
2	1060408	1060411	波士頓	參與 2018 年美國都寶工程公司國際年會
3	1060412	1060413	波士頓-洛杉磯-桃園	路程

二、心得報告

2.1 年會議程介紹

美國都寶工程公司國際年會(International Conference of Doble Clients)為美國都寶工程公司(Doble Engineering Company)一年一度所舉辦，也是國際知名電氣試驗討論會議之一，年會中由多位專家學者簡報與發表最新研究成果，並於會議中熱烈提問與討論。

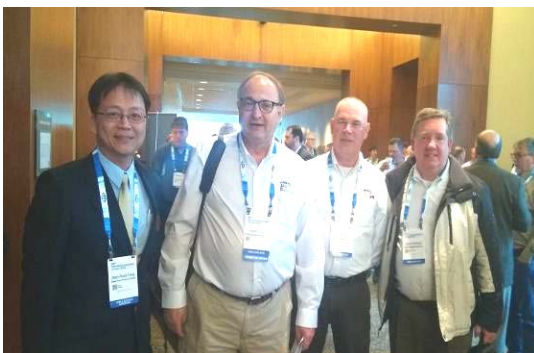
本次年會議程包含三大主軸：論文發表與討論、委員會以及訓練等，內容涵蓋：「避雷器，電容器，電纜及其配件」、「變壓器」、「保護電驛、自動化、控制和通信」、「企業資產管理（EAM）」、「絕緣材料」、「斷路器」、「旋轉機械和電氣設備可靠度」、「變壓器有載分接開關氣體分析」等電力設備相關技術，最後主辦單位還邀請 ABB、Siemens、GE、BAUR、FLIR...等超過 40 多間國際知名大廠，舉辦工業博覽會展示最新技術與設備，以提供與會工程師或學者最新的技術潮流以及趨勢，參加會議相關照片如圖 1 所示。



(a)報到處



(b)開幕式

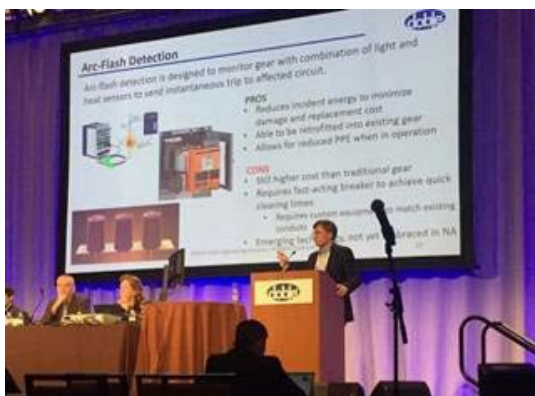


(c)與 Doble 公司資深工程師合影



(d)Doble 公司亞太區經理 Louis Lee

圖 1 國際年會相關照片



(e)會議實況



(f)工業博覽會展示新型電力設備

圖 1 國際年會相關照片(續)

本次「2018 年美國都寶工程公司國際年會」為期 6 天，是以電力事業相關行業為主的國際級年會，藉由論文發表、交流會議以及教育訓練和技術介紹等，讓與會者能就實際的經驗互相交流，進而提升與會者的技術層次，而主要討論的議題包括如下：

- Arresters, Capacitors, Cables and Accessories
- Asset and Maintenance Management
- Bushings, Insulators and Instrument Transformers
- Circuit Breakers
- Insulating Materials
- Protection, Automation, Controls and Communication
- Rotating Machinery
- Transformers

本次年會於 4/8 開始，4/13 結束，計 6 天的時間，而由於討論議題內容豐富，故許多議程需同時進行，日程表如表 2 所示。

表 2 議題與日程表

Sunday, April 8, 2018

10:00 AM – 7:00 PM	<i>Registration and Information Desk</i>
1:00 PM - 5:30 PM	TUTORIAL: Composite Bushings – Latest Technologies, Practices & Client Experiences
3:00 PM - 3:30 PM	<i>Conference Break</i>
5:30 PM - 7:30 PM	Welcome Reception

Monday, April 9, 2018

6:00 AM - 6:00 PM	<i>Registration and Information Desk</i>
6:30 AM - 7:15 AM	<i>Newcomers Orientation</i>
6:30 AM - 7:30 PM	<i>Breakfast sponsored by the Westin</i>
7:30 AM - 8:45 AM	<i>Opening and Keynote Address</i>
9:00 AM - 9:45 AM	Arresters, Capacitors, Cables and Accessories Committee Meeting
9:00 AM - 12:00 PM	Training: Protecting Your Critical Assets – Transformers
10:00 AM - 12:00 PM	Arresters, Capacitors, Cables and Accessories Technical Presentations
12:00 PM - 1:30 PM	Doble Hosted Lunch
1:30 PM - 3:15 PM	Transformer Committee Meeting
1:30 PM - 3:15 PM	Rotating Machinery Guide Subcommittee
1:30 PM - 5:30 PM	Training: Protection Your Critical Assets – Generators & Motors
3:30 PM - 6:00 PM	Transformers Technical Presentations
3:00 PM - 3:30 PM	<i>Conference Break</i>
6:00 PM - 7:30 PM	Doble Reception
7:30 PM	Hospitality Suites Open

Tuesday, April 10, 2018

7:00 AM - 6:00 PM	<i>Registration and Information Desk</i>
7:30 AM - 12:00 PM	Transformers Technical Presentations continued
7:30 AM - 10:30 AM	Protection, Automation, Controls and Communications Technical Presentations
10:30 AM - 12:00 PM	Protection, Automation, Controls and Communications Committee Meeting
9:30 AM - 10:00 AM	<i>Conference Break</i>
11:00 AM - 12:00 PM	Enterprise Asset Management (EAM): Modern Information, Data, and Integration Architectures to Enable Comprehensive EAM
12:00 PM - 1:30 PM	Doble Hosted Lunch
1:30 PM - 6:00 PM	Insulating Materials Technical Presentations
1:30 PM - 3:30 PM	Circuit Breaker Committee Meeting
1:30 PM - 3:30 PM	Rotating Machinery Committee Meeting
1:30 PM - 3:30 PM	Doble Worldwide Headquarters Tour
1:30 PM - 3:30 PM	Users Group & Workshop: NERC CIP & Regulation

表 2 議題與日程表(續)

2:30 PM - 3:45 PM	Training: Power Factor Theory
3:30 PM - 4:00 PM	Conference Break
3:45 PM - 5:45 PM	Users Group: EMI Surveyor and Field Testing
4:00 PM - 5:00 PM	Circuit Breaker Timing Users Group
4:00 PM - 6:00 PM	Asset and Maintenance Management Committee Meeting
4:00 PM - 6:00 PM	Training: Transformer Testing
6:00 PM - 8:00 PM	Industry Expo Opening Reception
7:30 PM	Hospitality Suites Open
Wednesday, April 11, 2018	
7:00 AM - 6:00 PM	Registration & Information Desk
7:30 AM - 12:00 PM	Rotating Machinery Technical Presentations
7:30 AM - 12:00 PM	Circuit Breaker Technical Presentations
7:30 AM - 8:45 AM	Training: Bushing Power Factor Testing
8:00 AM - 10:00 AM	Insulating Materials Committee Meeting
8:00 AM - 10:00 AM	Users Group: dbleARMS
9:00 AM - 10:15 AM	Training: Instrument Transformer Power Factor Testing
9:45 AM - 10:15 AM	Conference Break
10:30 AM - 12:00 PM	Transformer Failures Subcommittee Meeting
10:30 AM - 12:00 PM	Training: Partial Discharge Basics
12:00 PM - 1:30 PM	Industry Expo & Lunch
1:30 PM - 3:30 PM	Bushings, Insulators and Instrument Transformers Committee Meetings
1:30 PM - 5:30 PM	Rotating Machinery & Electrical Plant Reliability Tutorial
1:30 PM - 3:00 PM	Training: Circuit Breaker Controls
1:30 PM - 2:30 PM	Users Group: DTA Pro
2:45 PM - 3:45 PM	Members Only: Wind Farm Subcommittee Meeting
3:30 PM - 6:00 PM	Asset and Maintenance Management Panel Discussion: Transformer Sparing Strategies
3:15 PM - 3:45 PM	Conference Break
4:00 PM - 5:00 PM	Members Only: Bushing Guide Subcommittee Meeting
4:30 PM - 6:00 PM	Training: Circuit Breaker Power Factor Testing
4:30 PM - 6:30 PM	Users Group: Protection Software
5:30 PM - 7:00 PM	Industry Expo & Reception
6:00 PM - 9:00 PM	Members Only: Oil Committee Dinner and Meeting
7:00 PM	Hospitality Suites Open
Thursday, April 12, 2018	
7:00 AM - 6:00 PM	Registration & Information Desk
7:30 AM - 12:00 PM	Bushings, Insulators & Instrument Transformers Technical Presentations

表 2 議題與日程表(續)

8:00 AM - 12:00 PM	Rotating Machinery & Electrical Plant Reliability Tutorial
8:00 AM - 12:00 PM	Users Group & Workshop: On-line Monitoring
9:00 AM - 10:15 AM	Training: Power Factor Case Studies
9:30 AM - 10:00 AM	Conference Break
10:30 AM - 12:00 PM	Training: Geo-magnetically Induced Current
11:00 AM - 12:00 PM	Members Only: Circuit Breaker Guide Subcommittee
12:00 PM - 1:30 PM	Industry Expo & Lunch
12:00 PM - 1:30 PM	Advisory Committee Meeting & Lunch <i>Members Only</i>
1:30 PM - 4:15 PM	Asset & Maintenance Management Panel Discussion: Storm Recovery, Mutual Assistance – Disaster Response
1:30 PM - 5:00 PM	Rotating Machinery & Electrical Plant Reliability Tutorial
1:30 PM - 3:30 PM	Training: Transformer Load Tap Changer Dissolved Gas Analysis
3:00 PM - 3:30 PM	Conference Break
3:30 PM - 6:00 PM	Training: Transformer Design Review and Manufacturing
4:30 PM - 6:00 PM	Asset & Maintenance Management Technical Presentations
6:00 PM - 10:00 PM	Closing Social Event

Friday, April 13, 2018

7:00 AM - 12:00 PM	Registration & Information Desk Open
7:30 AM - 12:00 PM	Asset & Maintenance Management Technical Presentations

2.2 論文摘要

➤ Arresters, Capacitors, Cables and Accessories

(避雷器、電容器、電纜及配件)

(1) **Jonathan Woodworth**, 「避雷器事故鑑定法則」

當避雷器過載或失效時，發現根本原因對系統操作員來說非常重要。本文概述瞭如何進行全面和有效的根本原因分析，以便讓所有利益相關者對其發生的原因以及未來如何避免類似事件的信心。

(2) **Tom Sandri**, 「風場中使用電力電纜的事故調查」

本文討論直埋式電纜的失效模式，以提供失敗趨勢的資料，調查兩個風電場的失效情況，並提供根本原因分析結果的總結，最後將確定並討論安裝，驗收和維護測試方法。

(3) **Fernando Garnacho, Javier Ortego, Miguel Angel**

Sanchez-Urán, 「使用最小數量的部分放電傳感器於在線式電纜監測系統的方法」

本文討論使用最少數量的部分放電傳感器監測大型電纜系統時，高頻（HF）範圍內的部分放電測量效率最高。但是，HF 範圍內的噪聲抑制對於在此頻率範圍內工作的部分放電儀器來說卻是一個關鍵問題。

(4) **Simon Sutton**, 「將中壓電纜設計推向更高的電壓發展」

歐洲現有超過 16GW 的海上風電場裝機容量正在建設中，每一代風力發電場都使用更大的風機，這對於陣列間的電纜(海纜)有很大的影響，過去，33kV 電力電纜已足以傳送每串風機的功率，但是，最新風機(8MW)的輸出容量則需要將電纜的電壓升高到 66kV 才能滿足需求，而歐洲風電產業熱衷於降低投資成本，並一直在考慮使用濕式設計電纜(即無徑向金屬防水層)作為降低成本的手段之一，但是，目前沒有用於測試 66kV 濕式設計電纜的國際標準，此外，僅僅試圖擴展現有的陸上中壓電纜的標準可能不適用於海纜或其周圍的環境條件，本文討論了試圖預測新條件下老化性能的挑戰。

➤ Asset and Maintenance Management

(資產與維護管理)

(5) **Richard Evert**, 「閃電和風暴對中壓電網的實際影響」

本文將首先討論雷電是如何形成的，以及雷擊會消散的能量，並討論設備協調設計和變電站設備必須具有的防止設備損壞的絕緣特性，這將涵蓋避雷器和其他設備以及 ESKOM 的非屏蔽網絡中使用的接地作業程序，本文還涵蓋歸因於照明的不同地區的設備損失。

本文包含一個典型的資產管理案例，因為他們收集了包括電線桿，斷路器和變壓器在內的所有分銷網絡的 ESKOM 中的大量照明數據和故障，將照明故障與燈光照射相關聯，以推動其係統和保護協調的改進。

- (6) **Shuzhen Xu, Rick McMillen, Lee Kenny**, 「電氣設備和系統完整性：保險公司的看法」

所有商業活動都依賴於電力供應的可靠性和可用性，電氣系統的大小和複雜性以及其中的設備數量可能有很大差異，但都需要定期檢查、測試和維護，當發生故障時，對工作的干擾也可持續幾分鐘到幾個月，根據故障類型，可能涉及單件或多件設備，並且在某些情況下，還可能會發生火災，從而導致建築物和內容物進一步受損。

本文的目的是提供 FM Global(保險公司)損失控制以及在系統知識、充足的電氣保護、預防性維護、操作和人為因素下的防損準則，這些旨在減少失敗的可能性並確保企業保持彈性。

- (7) **Vince Polsoni**, 「變電所設備維護最佳化」

本文將利用 RCM、傳感器數據、智能 CMMS 以及即時營運數據和信息對變電所設備資產進行維護優化，結合 螢幕面板可顯示即時的資產狀況及其工作狀態。

- (8) **Jim Dieter**, 「透過資產管理將公用事業公司政策與運營實際相結合」

當公用事業營運的技術複雜性與組織戰略和策略不一致時，營運以及最終用戶的擴增可能會受到負面影響。資產管理提供了一種共享語言，可以為財務和管理層提供資產生命週期相關決策和非決策的運營影響。這種語言的價值是可以使用金錢來量化，例如用美元來表示，且以短期、中期和長期目標以及觀點來看最為明顯。

本文將使用一個實用案例研究案例和利用問題、機會、選項、解決方案和解決方法論來說明可用於組織中的行動，並顯現出直接、可衡量的差異。

- (9) **Steve Rhoads, Eileen Duarte, Philip N. Prout, Robert A. Kopp, William J. Rumble**, 「變壓器的總體擁有成本」

本文將討論電網內變壓器壽命的總體擁有成本，並探討在購買變壓器的招標過程之前需要考慮的許多要因。國家電網已經有認知在評估建議時，除購買價格之外，還需要考慮許多其他因素，以確定資產在其預期使用壽命期間的真實成本，目前國家電網僅包括 30 年期的損失成本，文中，將研究 TCO 模型中應包含的維護活動、故障、故障率、翻新和其他間接成本等因素，以計算資產的真實成本。使用此模型將

使我們能夠在共同基礎上比較多個提案。TCO 模式可以成為選擇最佳變壓器以在貴公司所有權期間節省貴公司資金的重要工具。

(10) **Elkin Cantor**, 「使用健康指數和風險資產管理方法來評估電力變壓器的決策」

輸電公司正面臨變壓器和電力系統的老化，還有需要高標準、可靠性能源需求的增加，考慮到電力變壓器是變電站更大投資的資產，制定更換設備的計劃可以為企業帶來巨大的財務挑戰，執行提前更新可能意味著資金和資產壽命的損失，以及延遲更新將涉及風險增加和可靠性降低。

本文將介紹在 INTERCOLOMBIA(輸電公司)實施的變壓器更新決策支援模型，並使用健康指數和風險分析作為實施資產管理的結果，如今，替代變壓器的決定是基於資產風險水平而不只是技術條件（健康指數）。

(11) **Alex Salinas, Ben Almendarez**, 「數據分析和健康指數的開發」

在確定需要哪些基礎設施項目時，有很多研究項目是為了優先考慮哪些項目需要先完成以及如何將其與其他計畫和成長中的系統連結起來。Southern California Edison(電力公司)擁有約 3,200 台變壓器，13,000 台斷路器和 35,000 個保護電驛作為他們追蹤的資產。本文將介紹 Southern California Edison 如何使用他們開發的“維護決策工具”和“運營數據分析工具”來處理這一過程。這使用從 SCADA 取得的健康指數、負載標準和 SAP 維護工單來追蹤績效，此外，還考慮到影響資產的環境因素以及將風險導入客戶的工具。評估資產的風險、策略、支出、績效和管理將有助於他們做出更好的維護決策，並進一步轉向基於條件的維護，這也有助於在確定資本支出時向公用事業委員會制定費率計劃。

(12) **Tony McGrail**, 「將資產健康指數轉化為失效機率」

業界對電力變壓器故障和故障率的興趣以致了對“故障”的實際定義以及與已公佈的故障研究相關的統計的適用性進行大量的討論，電力供應行業似乎對資產狀況評估並希望看到資產被索引、分類和排名（電力變壓器尤其如此），以便大型資本密集型資產的運營計劃和響應可以是有效的、並進行長期的財務計劃，這樣可以說是十分有道理的。本文將從可用的原始數據以及從資產健康指數中推導出有用的失效機率的可能性來觀察資產健康指數中變異的來源。變異源於最初的測量，通過編碼系統對數據進行分類，以及隨後將編碼數據組合到最終的健康指數。

- (13) **Richard Weissinger**, 「信息技術和運營技術組織在亞利桑那計畫的整合」

(延後至 2019 年美國都寶工程公司國際年會發表)

亞利桑那中部計畫正在發展有形資產運營和維護的技術，運營技術（OT）資產看起來很像資訊技術（IT）資產，並要求將 IT 治理應用於這些資產，以確保合規性、使用壽命、安全性、靈活性和可靠性。具有獨立，專有系統執行單一功能或支持單台機器的傳統 OT 架構正在演變為互聯的，數據豐富的架構，稱為工業物聯網（IIoT）。

這份提案的目的是為與會者提供一個關於組織調整的角度，以支援不斷變化的技術環境，其目標是幫助其他組織找到機會改進對支持工業資產的技術的實施和管理。

- (14) **Gowri Rajappan**, 「外線人員資訊安全的維護與挑戰」

現場人員越來越多地處於防禦電網威脅的最前線，由於他們經常與重要的工業控制系統（ICS）資產接觸，用於處理資產的筆記本電腦和平板電腦需要得到保護。正如聯邦能源管理委員會（FERC）在第 791 號令中指出的那樣，這些移動設備可以在電子安全邊界之間移動，並可能在關鍵基礎設施上傳播惡意軟件，由於現場維護和測試任務的獨特性質，真正保護這些設備是具有挑戰性的，而安全措施經常會阻止工作完成，例如，由於某些資產的年限，用於測試它們的軟件應用程序可能需要傳統環境，例如 Windows XP，IT 強化通常不允許這種軟件應用程序。

本文將介紹作業程序構建安全與符合計劃的實際經驗，這種方法雖然不易實現，但也有助於提高現場工作的效率，現場人員的 IT 需求長期以來一直受到忽視，並且正如本文所討論的，遵守相關準則才能提高現場生產力以及維護關鍵基礎設施的安全性。

- (15) **Ed Kochanek**, 「如何使用紅外相機進行準確的溫度測量」

紅外攝影機是在變電站和其他公用工程空間進行預測性維護的重要工具，但只有正確使用時才能提供準確的信息，了解如何使用紅外熱像儀實現準確的溫度測量對於任何預測性維護計劃都至關重要，本文闡述設置紅外相機進行正確測量所需的步驟，包括單點觸控、位準/量程、雷射輔助對焦、反射溫度和發射率…等，最後，還討論了入門級、中級和專業級攝影機適用於預測性維護協議以及高分辨率攝影機用於變電站和輸電線路檢測的優勢。

- (16) **Jay Bowen**, 「紅外技術在實用工業中的應用」

紅外線技術是公用事業基礎設施內，相對所有組件、應用成本顯著較

低的技術，應用範圍包括發電、輸電、配電和變電站，這也將包括最新使用的熱成像和正射影像的空中檢測。

➤ Bushings, Insulators and Instrument Transformers
(套管、礙子、儀用變壓器)

(17) **Don Dorris P.E.**, 「Ohio Brass GK-15 C 型套管故障分析」

從 1985 年開始，Nashville 電力服務公司已經替換了今天仍在使用的設備上的 258 個套管，根據經驗，Ohio Brass GK-15 C 型套管並不知道是麻煩的套管，因此，在最近一次的 Ohio Brass GK-15 C 型套管故障後，想知道其故障的原因，故在本文將回顧此故障，以協助識別其故障模式。

(18) **Mario Capuozzo**, 「非傳統電流互感器」

非傳統行電流互感器 (NCCT) 是一種相對較新類型的互感器，其作用原理不依賴於磁芯上的兩個繞組的相互耦合，儘管其他國家正在推進 NCCT 的實施，但在美國的採用進展緩慢，本文旨在提供有關這些技術的簡短教學，以增進對這一概念的了解，並給出了測量時的各種機制的描述，此外，還會比較傳統電流互感器和 NCCT 之異同。

(19) **Etienne Dion**, 「Trench COS 325 kV 套管的故障調查」

法國公用事業公司(包含多家電力公司)發現了 Trench COS 套管的多種故障，主要發生於 1995 年至 2003 年之間生產的 COS 型、電壓範圍為 72.5kV 和 100kV 的 Trench COS 套管，本文將報告故障情形以及調查、測試和提出根本原因的分析結果。

(20) **Samson Debass**, 「發電機變壓器套管故障」

變壓器故障並不總是從本體開始，通電中的有載分接開關和套管皆可能會故障，並根據故障的性質啟動或繼續而延伸進入變壓器本體，本文旨在闡述變壓器的套管故障模式。

(21) **Bill Griesacker**, 「三個故障的 Celeco BRLW 型 69kV 套管的調查」

Doble 工程公司受託對三款 Celeco、型號為 BRLW-69/400 / 1200-4 的 69 kV 套管進行拆卸調查，收到的一個套管在使用中故障 (S/N 27) 並且部分已毀損，調查是為了確定 S/N 27 故障原因，並確定是否其他類似構造的套管也可能會出現故障而導致失效的情況。

所有三個套管的 O 形密封圈都變形了，S/N 27 的套管故障很可能是由於中心導體上失效的頂部墊圈/ O 形圈進水引起的。墊圈/ O 形圈的失效允許水進入套管並沿著套管芯絕緣體的頂部沉降的中心導體流下；水也繼續滴落在套管絕緣的一側。隨著時間的推移，水飽和套管絕緣材料，產生穿過電容層的導電路徑，引發局部放電活動並導

致最終失效。

(22) **Long Pong**, 「不帶測試分接頭的不良變壓器套管現場診斷」

本文討論了使用現場診斷技術在差動保護電驛跳脫後，快速發現電力變壓器故障，這些診斷技術和方法使用絕緣功率因數、熱環套管試驗、交叉檢查、掃頻響應分析（SFRA）測試以及目視檢查，並清楚地闡述在沒有測試接頭的低壓繞組上出現接地故障時，如何使用絕緣功率因數測試，維護人員面臨的挑戰性任務是確定故障是發生在繞組還是套管中，這些信息對行動計劃的方向和維修範圍至關重要，使用現場診斷技術可以全面了解發生故障的設備的運行狀態，並將故障位置指向 LV 套管，並迅速將設備維修、投入運轉。

➤ **Circuit Breakers**
(斷路器)

(23) **Ralph Tan**, 「最近發生的氣體斷路器故障」

本文重點介紹 Puget 能源公司經歷的兩種 SF6 氣體斷路器故障，斷路器由兩個不同的製造商設計和製造，卻有類似的故障點，這是非常不尋常的，本文將分享有關斷路器和兩種故障背景的一些訊息，並發表在其初步調查、現場測試、工廠調查和製造商調查結果中完成的步驟。兩台斷路器都被送回製造商進行更徹底的調查，由於參加故障調查審查，使 Mr.Tan 有機會分享經驗和教訓。

(24) **Kevin Gowan**, 「SF6 測試程序 - 發現和保存」

Puget 能源公司在過去的三年裡一直在開發 SF6 氣體測試項目，值得注意的發現包括：

- 四個濕式斷路器 - 導致進入斷路器、更換乾燥劑，將斷路器抽真空後，再添加新的 SF6 氣體
- 兩個斷路器因二氧化硫含量高，在後續主迴路電阻測試值很高，故結果更換斷路器，內部檢查後發現，噴嘴直徑已經磨損到不合格的地步，結果導致接觸不良。主觸點上有一層類似碳的薄膜，這增加了主電路的電阻值。

(25) **Todd Irwin, Jason Stull, Eric Olson**, 「減少 SF6 絕緣高壓斷路器的 SF6 排放」

SF6 氣體通常在高壓電力斷路器中用於絕緣和滅弧特性，作為溫室氣體，對於輸電和配電（T&D）設備的用戶，銘牌容量超過 17,820 磅需要強制排放報告，本文將詳細介紹如何在設計、製造、測試和安裝高壓斷路器時控制和減少 SF6 排放。

(26) **Karla Trost**, 「SF6 法規的影響-製造商的看法」

與許多製造商一樣，中壓 SF6 絕緣開關設備製造商 G&W Electric 受到美國有關 SF6 排放報告的各種法規的影響，本文將介紹這些法規的概述，並深入了解這些法規發布之後所發生的各種變化，G&W 特別經歷了幾個直接影響，如創建測量和報告流程，但更重要的是，發生了幾個間接影響，本文的最後部分集中討論這些法規對整個行業的影響，例如銘牌不準確性、標準變更以及引入新的絕緣介質等，這些都是規章制定時意想不到的影響，但它們在行業和設備的未來發揮著關鍵的作用。

(27) **Mike Wolf**, 「油斷路器的測試和維護」

油斷路器 (OCB) 被熟知為堅固耐用的設計，但是這是在假定以維修頻率為優先考量的情況，隨著維護週期的延長，油路斷路器的測試和數據分析變得至關重要。本文的重點放在最初的日常測試完成之後進行的調查性測試和內部維護步驟，並且當判斷的結果很差時，要決定執行內部維護之前、期間和之後需要考慮的事項。

(28) **Ray Urbanic**, 「減輕電弧閃光風險的有效方法」

電弧閃光事件對人員安全、財產損失和生產力造成巨大風險，像 NFPA(美國消防協會)和 OSHA(美國職業安全與健康管理局)這樣的機構已經制定了提高人員對這些風險意識更嚴格的手段，但通常情況下，克服或減輕這些風險的手段仍然沒有得到解決，因此，潛在的電弧閃光能量仍然較高，個人防護設備 (PPE) 的重複投資、安全程序和培訓以及備份系統程序和基礎設施都需要更多的投入。本文旨在強調有助於降低潛在電弧閃光能量的策略和方法，從而減少個人防護裝備的數量和長期基礎設施投資，並進一步減少損失生產時間的風險。這些策略和方法可能需要對設備修改進行一次性投資，但每年可以獲得持續的收益。

(29) **John Kim**, 「電池維護安全守則」

電池維護是電氣設施內的一項重要任務，許多重要的系統都依賴於直流電源，在安裝和維護電池系統時，需要個人防護設備 (PPE) 以有效保護工作人員免受到鉛酸蓄電池組中存在的危險，本文對電池安裝和維護過程中需要進行的 PPE 建議和安全注意事項進行討論與闡述。

(30) **Armin Fazlic**, 「使用定電阻負載進行電池容量測試的現場經驗」

本文介紹電池容量測試，IEEE 標準討論了在首次安裝電池之後建立基準容量，然後使用相同的測試方法來改變電池壽命期間的容量變化。透過使用恆定電阻負載而不是恆定電流來實現電容測試的一種方法，本文探討電阻負載用於電池容量測試，並提供關於此方法是否可

用於容量測試的累積數據。DV Power(測試儀器商)透過使用恆定電流和恆定電阻測試方法比較了幾種電池類型的容量，測試結果表明：使用恆定電阻測試方法測量的電池容量提供了更大的容量結果值，這是由於電流隨著電壓降低而下降，而這個偏差的性質也在文中被討論和解釋。

➤ **Insulating Materials**
(絕緣材料)

- (31) **Jim Allgood, Lance Lewand**, 「同系列變壓器中乙烷和甲烷的產生及添加氧化抑製劑的影響」

Duke Energy (電力公司) 擁有同系列的變壓器共 11 具，其中包括一個備品，所有這些變壓器都產生了一定量的甲烷和乙烷，雜散氣體分析結果顯示，這不是變壓器初期故障問題，而只是與油品化學有關，添加氧氣抑製劑後顯著減少了甲烷和乙烷的發生，儘管添加氧氣抑製劑的目的不在此，值得注意的是乙烯、一氧化碳和二氧化碳在加入氧化抑製劑後暫時增加並且持平，在某些情況下，有的絕緣油有經過白土(Fuller's earth)進行過濾，有些沒有，然後再加入氧化抑製劑。本文討論了雜散氣體分析和 DGA 分析的細節，並將探討添加氧化抑製劑的影響。

- (32) **Tom Rhodes**, 「分享近二十年的有載分接開關的絕緣油分析」

本文討論 Duke Energy (電力公司) 用於建立和更改有載分接開關 DGA 分析的統計工具和方法，Duke Energy 的有載分接開關維護規範成熟(定期更換)，因為他們將測試結果與內部檢查進行比較並了解更多信息，他們發現不同地區的測試值之間存在一些統計差異，因為不同的運轉條件和維護方式，所以儘管所提供的規範可能適用於其他設備而無需修改，但它們也可能在所有設備中都不起作用。

本文列出所有 Duke Energy 的有載分接開關的標準值，以便其他人可以將其作為出發點來製定分析其設備中有載分接開關的合理規則，或者將其與已經建立的標準進行比較，Duke Energy 已經制定了大量基於品牌和型號的規範，並將與客戶群共享。

- (33) **Century Aluminum**, 「絕緣油功率因數測試在整流變壓器中存在的問題」

Century Aluminum (煉鋁工廠) 的一台整流變壓器絕緣油的功率因數迅速上升，本文提供信息和隨後進行的調查，以確定功率因數增加的原因或來源。

- (34) **William R. Downey**, 「Novvi 草本基底的合成變壓器絕緣油」

幾年前，Novvi(油品製造商)引入了一種草本基底的新型變壓器絕緣油，它與基於 ASTM D3487 和 Doble TOPS 規格的常規絕緣油相當，本文介紹該產品的技術及其特點和如何製造。

- (35) **Chris Rutledge, Randy Cox**, 「溶解氣體分析 (DGA) 和碳氧化物比率的價值」

如今許多公用事業公司都採用溶解氣體分析 (DGA) 作為選擇的診斷工具，因為它涉及電力變壓器的內部條件，隨著我們現有基礎設施的日益壯大以及取代現有資產所需的大量資本化，延長目前使用的電力變壓器的使用壽命已成為公用事業行業的首要任務，本文詳細描述了使用溶解氣體分析 (DGA) 的更全面的診斷評估，減輕了以前的許多挑戰。

雖然熱金屬氣體被業界廣泛理解，但變壓器的固體絕緣繼續存在問題，透過觀察 CO_2/CO 的比率及其與熱金屬氣體的關係，本文概述了一種方法，使分析人員能夠更準確地預測變壓器主體內發生的異常情況，在多大程度上會影響絕緣，隨後縮短變壓器的使用壽命，該方法在確定繞組功率因數的增加，絕緣體上的負載影響及其由於潮濕和其他可能的污染所導致的纖維素加速退化方面也被證明是有用的。

- (36) **Brendan Diggin**, 「風力發電減少的碳排放」

ESB (工程顧問公司) 投資的風力電場包括高達 600MW 的風力發電系統，而系統需求總量為 4600MW，全島的風電裝機總容量為 3900MW，ESB 第一個風電場建於 1998 年，風力發電主要位於南部和西北部海岸，隨著愛爾蘭將煤炭和泥炭地的發電轉變為天然氣和風能，其二氧化碳排放量從 2001 年至 2015 年在 15 年內減少了 29%。

在歐盟 RES-E 指令 2001/77 / EC 中，歐盟表示目標是到 2010 年，成員國消耗的能源總量中有 22% 是由可再生能源生產的。

- (37) **Melissa Zajac, Harry Heulings, Denis Lafrance**, 「Doble 和 Morgan Schaffer 實驗室的案例研究」

本文根據實際發現的問題提出三項案例研究，並使用實驗室檢測和診斷進行評估，由測試絕緣材料獲得相當多的資訊，選擇案例來說明如何評估問題的例子，並提供那些在他們的系統上看到相同狀況的人作為參考。

- (38) **Lance Lewand**, 「帶有氣囊的變壓器之典型氮氣值和氧氣值」

幾十年來，變壓器油枕中的氣囊已被用作減少進入變壓器系統的氧氣和氮氣量的方法，這有助於通過保持氧氣非常低來減緩老化，而氣囊也很重要，因為它能使變壓器油中的總氣體含量保持在較低的量，並

有助於減緩氣體在油溫大幅波動期間的超飽和度和氣泡的形成，然而，氣囊是一種有彈性的物質，氣體在氣囊的壽命週期中會緩慢地擴散到材料上，氧和氮的含量會開始上升，本文即在探討這一現象。

- (39) **Dr. Nad Moodley, C. T. Gaunt**, 「用於電力變壓器健康評估的低能量簡化三角形」

溶解氣體分析（DGA）仍然是評估變壓器運行狀況和內部故障的最佳非侵入式方法之一，然而，很少有方法一致地確定由低能量退化過程引發的初期故障，低能量降解三角（Low Energy Degradation Triangle, LEDT）方法將三種低能溶解氣體氫氣（H₂），甲烷（CH₄）和一氧化碳（CO）組合為三角形表示，以識別從正常狀態到不健康狀態的早期狀態之變化，該方法已應用於 200 多台發電機升壓變壓器、大型變壓器和工業設備的 DGA 記錄，從 LEDT 導出的退化參數可以及早預測超過 90% 的已失效或提早被更換的變壓器故障，這種方法似乎對變壓器健康評估有益，而它也說明了一些變壓器在退化和地磁干擾之間的關係。另外，LEDT 表明低能量退化開始後，絕緣油處理幾乎沒有什麼用。

- Protection, Automation, Controls and Communication
(保護、自動化、控制與通訊)

- (40) **Bill Cook, Michael Thompson, Kamal Garg**, 「相移變壓器功率調節分接開關控制系統的新進展」

本文介紹了用於移相變壓器的功率流量調節和分接開關控制系統的新進展，透過網路化的傳輸系統及分支電路來控制相位角，從而調節傳輸電網分支中的有效功率。過去，公用事業公司以手動控制大多數移相變壓器的設定，因為分接開關位置僅能間接調節功率，每個分接 TAP 的實功率變化皆為系統函數的一部分，進而造成可自動控制移動分接頭成為連續變化的函數。

本文討論了在 San Diego Gas & Electric (SDG & E, 電力公司) 的 230kV 傳輸系統上安裝兩個並聯 400MVA 移相變壓器，移相變壓器上的功率流量調節分接頭控制技術的進展，本文總結了 2008 年至本項目啟動階段控制技術的最新發展，還討論了控制附加功能的開發，以滿足加州獨立系統運營商 (CAISO, 輸配電公司) 和 SDG & E 為自動控制這些並行移相變壓器所指定的要求。

- (41) **John Kweku Amoo-Otoo**, 「高壓直流輸電保護方案的理論與應用」

HVDC (高壓直流) 傳輸系統使用直流電來傳輸電力，而不是傳統的

交流電，高壓直流輸電系統對傳統交流電源系統有很多優點。

本文簡要介紹了高壓直流輸電技術的發展，以及與傳統交流技術相比高壓直流輸電的優缺點，此外，討論了高壓直流輸電的不同配置，對於少數項目選擇高壓直流輸電是合理的，此外，本文調查了 HVDC 中可能發生的故障類型以及每個確定的配置方案的相關保護方式和原理。

(42) **Rich Bauer**, 「故障導致逆變器的資源流失」

基於逆變器的資源正在被快速的連接到 Bulk Electric System

(BES, 大型互聯電氣系統, 在美國, BES 由北美電力可靠性公司 NERC 負責監督), 這些資源的行為與傳統的旋轉式交流電機不同, 並且去了解這些資源的行為至關重要, 特別是在 BES 傳輸部分的故障期間。

本文解釋了太陽能資源損失的相關原因, 文中顯示如何消除不希望的電力跳脫, 此外, 還介紹了基於逆變器的短路響應, 以適應 BES 中更多基於逆變器的資源浪費。

(43) **Joe Stevenson, Katherine George**, 「建立一個持續性的保護數據系統」

保護方案適用於許多保護電驛, 需要完整的操作信息記錄才能捕捉到資產管理系統中並識別這些電驛的所有設備的詳細信息, 這些設備詳細信息包括特定的工程和現場測試數據, 為此, 公司設計了保護系統數據源的“系統”。

保護系統專業人員與管理系統數據的衝突, 以下是每日面臨的一些挑戰:

- 勞動力流動
- 推進技術
- 監管合規
- 網絡安全要求

本文確定了公司在創建可持續保護系統數據時遇到的主要挑戰, 現代解決方案已經成熟並解決了這些數據挑戰, PowerBase 軟體的例子說明如何支援保護數據管理和客戶與供應商之間的合作關係。

(44) **Mark Thompson**, 「調試和測試 IEC 61850 保護和控制系統」

當公用事業從傳統的變電站保護和控制(P & C)系統轉變為基於 IEC 61850 的全數字化方案時, 財務效益將得到最大程度的關注, 該計劃的最終成功在於工程師和技術人員手中, 這些工作人員定期與新系統進行互動, 尤其是在對新的 IEC 61850 P & C 系統進行調試、測試和

故障排除時。本文探討了實用程序安裝 IEC 61850 P & C 系統時在調試和測試中學到的經驗和教訓，還有如何實現數字化變電站的最大收益，同時最大限度地降低風險。

IEC 61850 設計人員在考慮到測試的情況下創建了此協議，但並非所有製造商都以相同的態度切進該標準，本文研究如何解決這些解釋差異。

(45) **Gabe Authier**, 「NERC CIP 相容標準：保持控制系統的安全」

在駭客的入侵下，控制系統被攻擊和監控，本文介紹了有關確保電力系統安全的最佳實踐，以防止不良行為者造成停電並使電力系統損壞。

註：NERC CIP(北美電力可靠性公司關鍵基礎設施保護標準)。

➤ Rotating Machinery

(旋轉機)

(46) **André Tétreault, Marc Bissonette**, 「旋轉機的氣隙監測」

本文探討氣隙和相對振動之間的這種相關性對於正確識別特定振動行為的來源非常有價值，在分析數據時，接觸專業人員也非常重要，因為如果觀測到的差異是錯誤的，則修正的措施也可能是無效的，而且在某些情況下還會適得其反。大部分的時候，問題的來源並總是不易察覺，而且往往是多重問題的結果，在這種特殊情況下，監測系統特別是氣隙數據，恰如其分地表明了振動問題是由不均勻形狀的轉子引起的，而不是電磁問題，正如許多人所強調的那樣，在這種情況下，解決方案將是改善轉子的圓度，以改善勵磁時產生的磁場。沒有氣隙數據，建議的解決方案就是轉子平衡，能夠在保修期內進行這些評估至關重要，以便運轉人員能夠執行修正措施，因此，才能確保設備在使用壽命內的正常運轉。

(47) **David L. McKinnon, Howard W. Penrose**, 「使用絕緣電阻分佈圖 (IRP) 評估電機的絕緣系統狀況」

本文介紹解釋絕緣電阻分佈圖 (IRP) 的方法及其在評估電機絕緣系統狀況中的應用，有多種模式可用於識別影響電機可靠性的絕緣系統和環境條件，無論絕緣系統類型如何，所包含的模式都是一致的。

最後，包含 IEEE Std 43-2013 的補充文件所示，此方法已存在了一個多世紀，本文目的是回顧幾種成功的方法，包括：所有階段的實地、每相接地、其他相接地和施加時間等，討論與不同類型的絕緣到接地條件有關的模式，以及關於這種用於狀態監測的預測方法的有效性的一系列觀察。

- (48) **W. Howard Moudy**, 「低壓和高壓絕緣系統之間的區別以及為什麼使用正確的系統很重要」

許多業主或用戶面臨著指定或評估定子絕緣系統的決策，表面上看，這可能對某些人來說很簡單，仔細觀察可能會發現，這項任務比表面上看起來更為艱鉅，有很多因素需要考慮，例如機器電壓、線圈類型和幾何尺寸、線圈退出鐵心、槽體空間、銅橫截面以及每 mil 所需的絕緣伏特電壓等等。

本文簡短介紹未來將發展對當今市場上不同系統的認識，探索系統的優勢和弱點，以幫助參與者評估和選擇各種機器應用的最佳絕緣系統選項。

- (49) **Clyde Maughan**, 「定子的熱固性絕緣系統」

本文探討了聚酯雲母(Polyester-mica)和環氧雲母(Epoxy-mica)定子絕緣的歷史和經驗。

- (50) **Kevin Alewine**, 「海上風電：維護和可靠性的挑戰」

海上風能的強度始終處於風的高可用性以及由基本負載風能所產生的低能量成本效益，而缺點是建築、運營和維護的成本，以及其複雜性通常會給成功帶來很大的障礙，該行業如何克服其中的一些問題以及包括可靠性計劃在內的特殊操作和維護問題可能會有用。本文涵蓋這個快速增長的市場的幾個方面，包括發電機類型、維護方面的考慮以及幾家主要風機製造商正在開發的新機器設計，另外，還特別關注實際的發電機和預期故障模式。

- (51) **James Timperley**, 「為什麼要使用電磁干擾(EMI)測試法來測試機器？」

旋轉機械、馬達和發電機，可以提供幾十年可靠的服務，但是所有機器故障都可能會出現嚴重後果，例如工廠收入損失、環境或安全問題，即使是新機器也可能有設計或製造缺陷，很少會有備用馬達和發電機，修理也通常很昂貴，可能需要數週或數月才能完成，平時維護以延長使用壽命並防止故障是實現最佳生命週期管理的謹慎方法，以滿足投資者、運營商和保險公司的需求，幸運的是，有幾種診斷測試可用於檢測、識別機器惡化的趨勢，在線式測試優於離線式測試，因為停電時間受到限制，離線式測試應該用於維護，而不是平時。

其中有一種更先進的狀態評估工具是 EMI 診斷，EMI 測試是一種在線式測試技術，可以在一次測試中識別電氣和機械老化，可以確定機器的狀態是否是穩定或惡化的趨勢，在實施修理之前，應安排其他測試或檢查以進行驗證，維修後再次測試將確認情況是否得到修正，亦或

者是維護過程使得情況惡化。

(52) **Ryan Hogg**, 「解決發電機中性點電流互感器的局部飽和問題」

由於差動電驛動作，以致美國墾務局(Bureau of Reclamation)水力發電機組跳機，同時，在高壓傳輸線上發生單相接地故障，透過事件報告的分析，確定差動誤動作，據推測，是來自其他相的電流的磁場使得發電機的中性線匯流排上之其中一具電流互感器(CT)局部飽和，以致導致電流不匹配，該理論在實驗室環境中進行了測試和驗證，解決方式的評估包括磁通屏蔽電流互感器和電驛設定為“高安全模式”在內的緩解措施。

➤ Transformers

(變壓器)

(53) **Anastasia O'Malley, Georg Johannes Pukel**, 「天然酯充填的變壓器設計」

一百多年來，電力變壓器通常採用礦物油進行絕緣和冷卻，對替代品越來越感興趣，而推動了替代絕緣油的發展，一些用戶已經考慮過，其他用戶已經獲得了設計用於填充天然酯類絕緣油的變壓器，這些可生物分解液體，可降低對環境影響和防火安全特性得到改善，有助於降低運轉的風險。另外，天然酯具有更高的含水飽和能力，有助於延長纖維素絕緣材料的使用壽命。然而，為了可靠地利用天然酯絕緣液體特性的好處，變壓器不僅要考慮酯的介電性能，還要考慮其熱性能、化學性能和物理性能，因此需要在設計變壓器時，仔細考慮，它們與傳統礦物油的區別提供了需要納入變壓器設計、施工、加工和投入使用的挑戰，除了環境、安全和壽命延長益處之外，酯液體的高熱容量以及高溫固體絕緣材料提供了更高的設計靈活性，以突破先前受限的創新解決方案。

西門子為紐約Consolidated Edison公司(電力公司)提供的移動式變壓器與合成酯液體一起使用的混合絕緣系統，以提供緊湊的多電壓互感器設計，從而以最大限度地提高了操作靈活性並以最大程度地縮短了安裝時間，這些新型替代方案的實施能夠滿足當今電力系統安全性，可滿足持續性和彈性的需求。

(54) **T. Kobayashi, I. Ohno, K. Aoki, H. Sugiyama, S. Iwasaki**, 「有載分接開關(OLTC)生命週期維護成本的最佳化」

由於老化引起的接觸表面磨損，TEPCO(東京電力公司)正在透過CBM(Condition Based Maintenance, 狀態維護)來建立自己的診斷方法，在相對較低的負載下運轉的傳輸變壓器的OLTC，由於主觸點

和過渡觸點之間的不平衡負載而容易接觸不平衡磨損，東京電力公司根據變壓器負載和開關操作次數確定了切換開關檢查間隔的標準，對於長期未經檢查的換向開關，氧化污泥積聚在觸點上，因此對於結構因素更容易過熱的 OLTC 類型，東京電力公司通過 OLTC 油溫進行診斷，另外作為其他診斷方法，使用 AE 傳感器(超音波)進行振動測量以檢測由彈簧能量系統的磨損引起的異常操作。

為了降低 OLTC 的生命週期成本，對於執行大量開關操作的傳輸變壓器的 OLTC，替代更換切換開關接觸子（檢修），東京電力公司使用真空斷續器 VI 型 OLTC 改裝其傳統類型，其具有：接觸磨損少、壽命週期長的特點，當改造時，現有的油箱將被重新使用，因此為了評估其機械強度的下降和因老化而引起的尺寸變化，東京電力公司使用廢油箱進行了電氣和機械開關操作測試，並確認其可靠性，2016 年，東京電力公司對 VI 型 OLTC 進行了改造，運行良好。

(55) **John Lott**, 「相移變壓器有載分接開關的升級」

Public Service Electric and Gas (PSEG, 電力和天然氣公司) 擁有大約六個大型相角調整器 (300MVA-450MVA)，這些調整器建於 20 世紀 70 年代，這些連接到主要區域，位於系統的骨幹中，由於電力公司在島上，它們對 PSEG 非常重要，大多數移相器是兩個油箱（串聯和勵磁）設計，在勵磁箱上有兩個負載分接開關，在過去幾年中，PSEG 在負載分接開關正常工作時遇到了許多問題，技術上不再支持它們，所以備品不可用，並且在結構上它們已經磨損並開始出現故障，新的移相器的訂貨時間大約為三年，從發出採購訂單開始，平均製造時間為 15 個月，這些也是非常昂貴元件，因此，PSEG 在與供應商合作的過程中，在 Lake Success Substation(變電所)提出了一種解決方案，以切斷 LRT-400 分接開關並將其更換為新的，通用電氣(GE) 與 Reinhausen 製造公司合作於 2017 年 5 月完成更換工作。

(56) Patrick **Lalancette**, **Ed teNyenhuis**, **Pierre Landry**, 「送電中變壓器絕緣油再生案例研究」

變壓器油的品質是變壓器健康狀況的重要指標，而油的維護是延長變壓器壽命的主要方法，回收變壓器油可顯著改善油品質量並減緩油老化和淤積的影響，本文詳細研究變壓器油質量和電氣測試性能，以便在變壓器完成再生油之前和之後對設備進行送電，該變壓器在高負荷下已經使用了大約 20 年，並顯示出老化油（在 100°C 時油功率因數為 12%，界面張力為 28）。由於變壓器需要維修，因此決定在機組保持充電的同時回收絕緣油，絕緣油被回收後，經 9 次熱油循環，完成後的油品質量測試顯示，功率因數（100°C 時為 12% 進步至 0.23%，

25°C 時為 0.215% 進步至 0.007%) 和界面張力 (28 至 49) 有很大改善, 介電頻率響應 (DFR) 測試還顯示油中水分大幅減少 (約減少 1%), 絕緣功率因數減少 (減少約 0.10%), 這證實了在線式回收的正面效果, 在線式回收還具有減少回彈 (由於殘留/浸漬的舊油導致的油變質) 的額外益處, 當然, 在線式油回收需要額外的安全預防措施與詳細調查, 當停電 (即排空和真空充滿新油) 不能進行時, 回收充油方式為不錯的選擇。

(57) **Jon Christiansen, Dom Corsi**, 「山間電力計畫變流器變壓器現場故障調查」

Intermountain Power Project (山間電力計畫) 也被稱為 IPP, 其中包括位於猶他州北部 Delta 的 Intermountain 轉換站與位於加州南部的 Adelanto 轉換站之間的高壓直流互聯, 高壓直流互連於 1986 年投入使用, 最初額定功率為 1600MW, 具有較大的過載能力, 1989 年, 高壓直流輸電連接裝置被升高到 1920MW, 並使用了一些這種過載能力, 通過對變壓器冷卻進行各種升級, 高壓直流互聯在 2010 年再次被提升至 2400MW。

每個換流站還包括一個備品, 在 Adelanto, 備品被用於替換 2011 年失效的原始 2 極 B 相變壓器, 2014 年從 ABB 採購了一種額外的備件, 作為備品, 它具有與升級後原始變壓器相同的額定特性, 但是, 是一個新的設計, 在 2 極 C 相故障後, 2017 年初再從 ABB 訂購了第二個變壓器備品。

本文將介紹極 2 極 C 相變換器的現場故障和拆卸調查結果。

(58) **Stefan Tenbohlen, M. Tahiri, Satoru Miyazake**, 「電力變壓器頻率響應分析 (FRA) 客觀解讀方法的發展與優化」

電力變壓器是電力系統中的主要和關鍵設備之一, 由於多重壓力和老化, 這種變壓器可能會出現故障, 因此, 對條件和診斷技術的評估對於提高電網可靠性和服務連續性非常重要。有幾種技術可用於診斷電力變壓器內的故障, 頻率響應分析 (FRA) 方法是診斷變壓器繞組變形以及在製造、運輸、安裝和在使用壽命期間引起的其他幾類問題的強大技術, 以前 FRA 的貢獻導致了測量程序的標準化, 然而, FRA 結果的解釋仍然局限於該領域專家的分析, 因為仍然沒有基於 FRA 結果評估電力變壓器機械條件的綜合可靠演算法, 因此, 用於解釋 FRA 結果的系統方法是必要的。

使用數值指數是為 FRA 解釋引入的方法之一, 它量化了 FRA 曲線的差異, 文獻中提出了許多指標, 然而, 沒有綜合的對比研究來評估這些數值指數對不同頻段不同斷層的敏感性, 由於數學指標的靈敏度和正

確評估取決於評估的頻段，這項貢獻評估了不同故障對 FRA 曲線的影響，不同數值指標的敏感性，在單一平台上開發和收集它們，才能判斷其一到兩個為標準，以作為 FRA 標誌的系統解釋。

SFRA 測試的故障模型解釋法必須建立頻率範圍和特定故障之間的可能關係，因為可以在 SFRA 曲線的不同頻率範圍內檢測到不同的故障類型。因此，在第一步中，進行靈敏度研究以確定各種機械變形對 FRA 特徵的影響，為此，開發一個詳細的變壓器三維有限元模型，其中可以系統地實現不同的機械變形，以研究它們對 FRA 曲線的影響，之後，再進行不同數值指標對不同頻帶的不同機械變形的敏感性。在這樣的的研究中，選擇了與故障程度為單一變數和線性相關，並且對不確定性影響最大的指標。此外，研究了在多個頻率範圍應用指數來區分故障的可能性以及同時使用多於一個指數的效果。

為了輔助基於 FRA 的狀態監測，來自比較敏感性研究的可靠演算法，開發了 MATLAB 圖形用戶界面（GUI）。最後，本文還提出了一種自動故障檢測和解釋方法。

為了驗證該方法的準確性，所提出的方法使用不同的案例研究進行驗證，並且所獲得的診斷結果與真實故障相當一致，在這項研究中，進行了以下案例：

- (1) 餅式變壓器的有限元模型
- (2) 餅式變壓器的實驗模型
- (3) 兩台電力變壓器的真實案例研究

所提出的故障分類策略可以深入了解基於 SFRA 的電力變壓器診斷方法，這些工具可以更準確地檢測和解釋 SFRA 結果。

(59) **Patrick Picher**, 「變壓器頻響分析 FRA 方法的現狀 - CIGRE WG A2.53 的進展與最新方向」

頻率響應的測量範圍從幾 Hz 到幾 MHz，目前變壓器行業常用於變壓器繞組的狀態評估，已經證明了它對檢測各種機械和電氣故障模式的靈敏度，通常實際的應用上，是頻率響應的目視比較、或者與先前在相同或同型的設備上的測量、或者三相變壓器的相位之間進行比較。在過去的 15 年中，許多出版物都提出了使用數據解釋，試圖使其更加客觀和定量，為此，2016 年 CIGRE 啟動了一個新的工作群組，名為“使用頻率響應分析（FRA）進行變壓器繞組狀態評估的客觀解釋方法”。

(60) **Long Pong**, 「變壓器 SFRA 匝比測試」

SFRA 測試是一種評估變壓器之機械完整性的強大而且具敏感性的方法，兩種標準程序是開路（OC）和短路（SC）測試，兩種程序都是測

量繞組的電感、電容和電阻的複雜網絡，並提供關於包括繞組之間的交互電路的網絡的總體狀況的信息，因此，一個繞組的匝間故障會影響每個繞組的測量結果，這使得識別故障的繞組變得困難，本文提出了一種稱為 SFRA Ratio 的測試方法，可以消除這種不確定性。此外，SFRA 比率測試可以提供其他電氣和頻率特性，而不是通過標準測試方法測量的。本文包括四篇案例研究，分別來自三台失效的電力變壓器和一台空心電感，作為首次嘗試將此技術應用。

(61) **Jon Allen**, 「測試連接到 GIS 的變壓器」

2007 年 United Illuminating (UI) 受委託進行曾經是北美最大的 GIS 安裝案，該案包括 16 個 GCB，配置在 1½ 匯流排、4 具 345kV 並聯電抗器、2 具 345/115kV 自耦變壓器和 6 個地下電纜，為了保持變電所的佔地面積相對緊湊，該計畫將 SF6 用於油套管，並將 GIS 匯流排從建築物內的斷路器中連接，且該建築物將 345kV 開關設備容納到每個變壓器或電抗器中，自耦變壓器的低壓側也透過 GIS 總線連接並切換到電纜終端。

為了以傳統方式對自耦變壓器和並聯電抗器進行常規的功率因數測試，GIS 匯流排必須打開並與套管斷開連接，與一般變壓器相比，自耦變壓器的 GIS 拆卸、測試和重新組裝過程需要大約兩週的時間，而一般變壓器只需要兩天的停電時間，為了減少測試的停機時間，我們開始嘗試替代測試方法，本文將描述所使用的各種測試裝置，各自的測試結果以及與通過以傳統方式直接連接到套管而獲得的測試結果的比較。

(62) **Mark F. Lachman, Yuri N. Shafir, AbdulMajid Shaikh, Vadim Fomichev, Ajith Varghese**, 「由 I_R 、 I_L 和 I_C 測量值來解釋變壓器的單相激磁電流和損耗」

一種分離激磁電流和損失測量中的電感成分和電容成分的方法，被應用於約 50 個新的充油式電力變壓器。數據透過解釋電感、電容和電阻電流分量進行評估，並討論、驗證各個成分分離方法的經驗、關鍵觀察和方法。

(63) **Michael Anderson**, 「單相短路勵磁電流和損耗測量的意義」

本文討論了一種診斷技術，該技術在每個單相勵磁電流期間利用一個繞組的短路以及三相變壓器的損失測量，通過這種技術，在每次測量過程中，變壓器鐵芯中一個支路的影響會被去除，從而改變了通過鐵芯的磁通路徑的整體磁阻，根據哪個繞組短路，即可以對每個單相測試測量值均衡磁芯磁阻，從而對未損壞的變壓器在所有三相上產生相

等的電流和功率損耗測量值，使用這種診斷技術可以更全面地了解和評估變壓器磁化電路。本文介紹了與這種特定測試技術相關的物理原理、優點、測試設置和數據分析。

- (64) **Long Pong, Christopher McElreavy, Louis-Philippe Laforest**, 「乾式變壓器的最佳測試方法和失效模式」

過去的乾式變壓器被認為是次要裝置，幾乎沒有維護測試或狀態監測，如今，由於環境意識，它們的應用已經成倍增加，廣泛使用於醫院、發電廠，發電機勵磁系統和綠色能源發電等許多關鍵負載，因此，需要嚴格的品質控制和有效的預防性維護計劃，以防止故障損失或過早老化。本文介紹了乾式變壓器的採購過程和預防性維護計劃中可實施的預防常見故障模式和最佳的測試，為此，本文記錄了三個案例研究以及近年來 Double 客戶報告的一系列問題。

- (65) **Norbert Gilbert**, 「用交叉檢查和開路 DETC 測試技術來研究變壓器高 CH 功率因數」

本文討論了交叉檢查和開放式 DETC 測試技術，這些測試技術用於幫助確定處於可疑狀態的絕緣層。

- (66) **Robert Breazeal**, 「使用窄頻帶介電頻率響應（NBDFR）檢測負載對絕緣退化的影響」

窄帶介電頻率響應（NBDFR）分析協議由一系列功率因數測量組成，範圍為 1 至 400Hz，測量的 CHL 值的總和構成測試樣品的介電響應。隨後的評估包括從測量得出的曲線的幾何分析與傳統 60Hz 測試中使用的數值評估，隨著繞組的老化，NBDFR 響應的變化反映了油和纖維素組分的熱分解，利用 NBDFR，在許多情況下，曲線（波谷）最低點的位置將取代 60Hz 的幅度，以作為條件評估的關鍵參數。

- (67) **Tony McGrail**, 「IPP 電廠的升壓變壓器、機組變壓器和發電機狀態監測的更新」

本文透過監測發電機升壓變壓器（GSU）、相關的機組變壓器和發電機本身，檢視了在獨立發電站的應用和使用狀態監測的方法。檢視狀態監測的資產管理環境以及確保制定切合實際的業務計劃和後續行動計劃以保證使用狀況監控來支援業務的方法。舉例說明了實際數據和分析以及針對部分放電資料、DGA 數據、熱力和運行值以及套管狀況數據的案例討論的警報管理和決策支持方法。

2.3 論文選粹

此次年會所發表的論文數量頗多，內容豐富，因篇幅有限，故精選數篇與未來趨勢相關以及有助本公司發展的相關技術論文加以詳細探討，以期能對本公司相關電力設備運轉與維護、採購與管理策略等，做出更大的貢獻，精選論文如下：

- (1) 「Trench COS 325 kV 套管的故障調查」(Investigation on Trench COS 325 kV Bushings)

作者 / 公司：*Etienne Dion; Doble Engineering Company*

- (2) 「將中壓電纜設計推向更高的電壓發展」(Pushing MV Cable Designs to Higher Voltages)

作者 / 公司：*Simon Sutton; Doble Engineering Company*

- (3) 「為什麼要使用電磁干擾（EMI）測試法來測試機器？」(Why Electromagnetic Interference (EMI) Test Machines?)

作者 / 公司：*James Timperley; Doble Engineering Company*

- (4) 「電力變壓器頻響分析(FRA)客觀解讀方法的發展與優化」(Development and Optimization of Methods for Objective Interpretation of Frequency Response Analysis of Power Transformers)

作者 / 公司：*Stefan Tenbohlen, M. Tahiri; University of Stuttgart*
Satoru Miyazake; Central Research Institute of
Electrical Power Industry (CRIEPI)

2.3.1 「Trench COS 325 kV 套管的故障調查」 (Investigation on Trench COS 325 kV Bushings)

作者 / 公司：*Etienne Dion; Doble Engineering Company*

摘要：

在過去幾年中，法國電力生產商和分銷商在 63kV 和 90kV 電網上出現故障，這些故障的來源被確定為 1995 年至 2002 年間生產的 Trench COS 套管，本文件報告了正在進行的調查，以了解這些故障和實施診斷解決方案。

內容：

2015 年夏季，法國的電力公司遭受了幾次電力變壓器故障，導致維修時的運行損失（一些變壓器約 6 個月）、材料損失以及一台 36MVA 電力變壓器被火災摧毀。

變壓器套管是所有這些故障的共通點，故障模式是套管瓷殼的毀滅性爆炸。在爆炸的作用力下，部分的電容元件和導體，因變壓器的外部 HV 引線或匯流排連接或通過連接到線圈的引線連接著而保留在原地。

63kV 和 90kV 電網上連接的套管上出現故障，在溫差最高的時候，一天的溫度變化幅度超過 20°C。

分析確定了 Trench 套管 COS 325KV BIL 和 450KV BIL 是主要的失效點。

在套管銘牌上製造年份為 1995 年到 2002 年間的一系列產品，Trench 套管 COS 的主要絕緣系統由油浸紙（OIP 型）組成，在其製造過程中，Trench 將 1995 年至 2002 年期間生產的 COS 325 和 COS 450 襯套使用的油類型進行了升級，表 3 為 Trench 套管 COS 325KV 在法國故障的數量統計。

表 3 Trench 套管 COS 325KV 在法國故障的數量

電力公司	EDF	CNR	SHEM	RTE	ENEDIS
故障數	2	1	1	0	16
變壓器燒毀	0	0	0	0	1
同型套管數量	10	20	7	10	210
全部套管總數	40	80	28	40	840

其共通點為每日溫差高達 20°C，且套管皆為 Trench 套管 COS325 OIP

1995 ~ 2002 年生產，而法國當地還有超過 1000 具同型式的套管，安裝在超過 250 個電力變壓器上，影響非常大，因此，有必要對套管做全面性的診斷，圖 2 所示為 OIP 套管的診斷工具與測試方法。

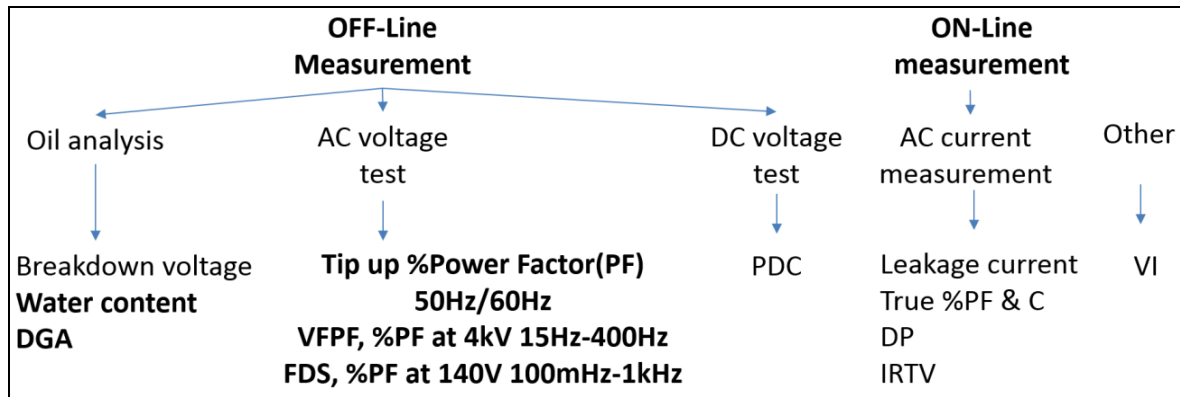


圖 2 套管的各種診斷工具與測試方法

(1)油中氣體分析(DGA)的結果如表 4 所示：

表 4 Trench 套管油中氣體分析(DGA)的結果

Gas	IEC61464 limits	Trench limits	95B3145	95B3146	98B3499	99A3865	99A3866	99A3871	99A3872
CO	<1000	>1500	256.5	261.2	282.4	446	365	611	158
CO2	<3400	>5000	569	565	379	1080	1040	1683	1406
H2	<140	>1000	>5000*	>5000*	3775	3295	3719	992	2325
CH4	<40	>300	2023.8	3347.2	263.5	640	1064	547	685
C2H2	<2	>10	20.8	231.4	0.5	0	0	0	0
C2H4	<30	>150	29.9	104.8	3.6	10	14	6	0
C2H6	<70	>300	1687.2	2916.2	130.2	302	689	291	90
H2O	<10	>20	10	7	8	4	10	8	10
Total gas			587.2	12426.1	4834.2	5773	6891	4130	664

*：超出儀器測量範圍

表 5 關鍵氣體含量比率識別標準

Ratios calculation	limits	Typical default
H2 / CH4	> 13	Partial discharges resulting from incomplete impregnation or high water content.
C2H4 / C2H6	> 1	Thermal fault in oil due to overheating of a conductor in oil.
C2H2 / C2H4	> 1	Continuous high energy discharge in oil due to poor connections at different potentials.
CO2 / CO	>20 ou < 1	Paper thermal fault due to overheating of a conductor in contact with the paper.

表 6 計算結果

Ratiogaz	95B3145	95B3146	98B3499	99A3865	99A3866	99A3871	99A3872
CO2/CO	2.218	2.163	1.342	2.422	2.849	2.755	8.899
H2/CH4	2.471*	1.494*	14.326	5.148	3.495	1.814	3.394
C2H2/H2	0.004	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C2H2/C2H4	0.696	2.208	0.139	0.000	0.000	0.000	0.000
C2H4/C2H6	0.018	0.036	0.028	0.033	0.020	0.021	0.000
C2H6/CH4	0.834	0.871	0.494	0.472	0.648	0.532	0.131

*：超出儀器測量範圍

氣體比率計算證實了套管上有部分放電的現象，而且套管 95B3146 上還有發生高能量放電的情形。

(2)功率因素測量(Power Factor)的結果如表 7 所示：

表 7 功率因素測量結果

Voltage (kV)	Power factor value in %							
	99A3867	00A3039	95B3145	95B3146	99A3865	99A3866	99A3871	99A3872
0.5	0.200	2.338	-	-	0.51	0.862	0.545	0.86
2	0.188	2.62	1.114	1.898	0.517	0.892	0.547	0.885
4	0.191	3.098	1.227	2.116	0.567	1.004	0.6	0.986
6	0.193	3.434	1.324	2.301	0.614	1.11	0.647	1.08
8	0.197	3.659	1.396	2.44	0.655	1.205	0.689	1.167
10	0.198	3.805	1.453	2.544	0.689	1.284	0.718	1.241
20°C measuring(pF)	195.7	276.58	190.49	196.14	194.7	195.2	196.5	197.5
C certificate(pF)	-	190	186	186	-	-	-	-
Delta(pF)	-	86.5	4.49	10.14	-	-	-	-
No. layer broken	-	8	0	1	0	0	0	0

表 8 Trench 套管的設計值

	Trench COS 325	Trench COS 450
No. layers of C1	17	23
Typical C1 Capacitance	190 pF	230 pF
Capacitance for 1 C1 layer	3230 pF	5290 pF
△Capacitance for 1 layer C1	Increase initial value 11.8 pF	Increase initial value 10.5 pF
Typical C1 PF (%)	0.25% to 0.3%	0.25% to 0.3%
Typical C2 Capacitance	185-190 pF	230-340 pF
Typical C2 PF(%)	≤1%	≤1%

功率因素測量的結果顯示，除了套管 99A3867 之外，其餘樣本的 PF 值皆超出標準（標準為 0.25% ~ 0.3%），且其中套管 00A3039 以及套管 95B3146 的 C1 值更是超過標準值甚多，顯示 C1 電容有層間短路的現象，以致 C1 變大，而圖 3 則顯示除了 99A3867 之外，其餘樣本的 PF 值皆會隨試驗電壓不同而改變。

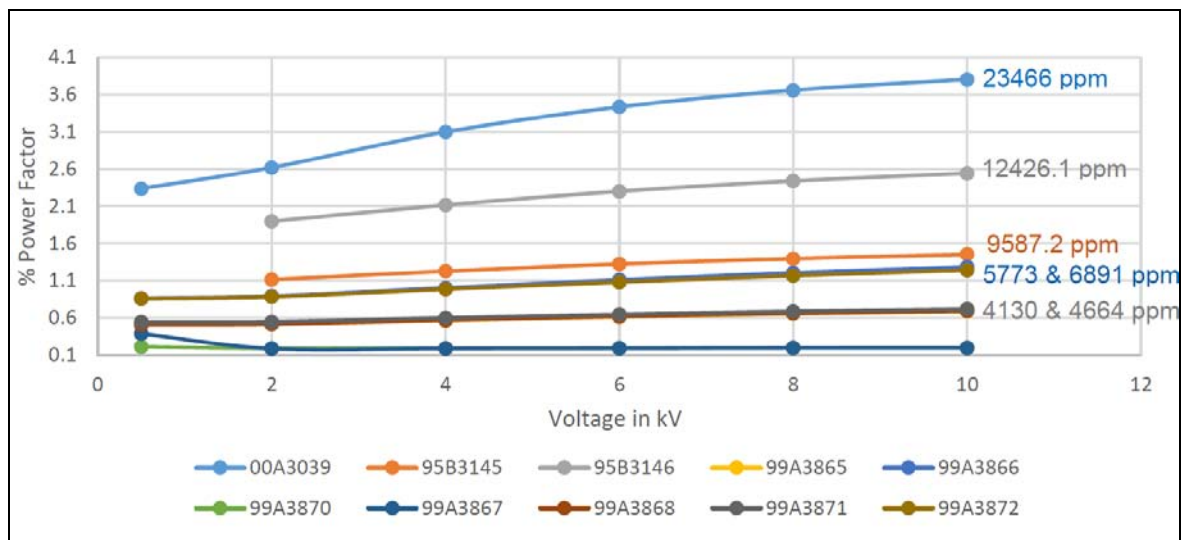


圖 3 套管的各種診斷工具與測試方法

有幾個因素可能導致功率因數和電容量隨試驗電壓而變化：

- 如果功率因數（PF）隨著電壓變大而下降，則通常是試驗的迴路，在加壓的位置有電阻存在。
- 如果功率因數（PF）隨著電壓變大而下降或成為負值，則表示 C1 電容的某處有接地的現象。
- 如果功率因數（PF）隨著電壓變大而增加，則表示絕緣電阻會隨試驗電壓而下降，導致損耗電流增加，使功率因數上升。
- 如果不論試驗電壓變大或變小，C1 電容值有增加，則表示有一層或多層的 C1 電容層發生短路。

IEC 60137 和 IEEE C57.19.01 標準設定了不同絕緣套管類型的功率因數（或 $\tan \delta$ ）限制，如表 9 所示：

表 9 IEC 60137 和 IEEE C57.19.01 標準的功率因數（或 $\tan \delta$ ）限制值

Bushing type	RIP	OIP	RBP
	Resin impregnated paper	Oil impregnated paper	Resin bonded paper
Tan δ (IEC 60137)	< 0.7 %	< 0.7 %	< 1.5 %
PF (IEEE C57.19.01)	< 0.85 %	< 0.5 %	< 2 %
Typical value	0.3 to 0.4 %	0.2 to 0.4 %	0.5 to 0.6%

而 Trench 的 COS 套管的標準，還比 IEC 60137 規定的更為嚴格，如表 10 所示：

表 10 Trench 的 COS 套管的功率因數限制值及測量週期

Capacitance	PF variation (Trench source)	Typical value	Measurement periodicity
C1	1.0 PF $\leq$ nameplate $\leq$ 1.5 PF	0.25% $\leq$ PF $\leq$ 0.375 %	5 years
	1.5 PF < nameplate $\leq$ 2 PF	0.375% < PF $\leq$ 0.5 %	1 years
	2 PF > nameplate	PF > 0.5%	remove
C2	PF $\leq$ 3%	0.1% $\leq$ PF $\leq$ 3%	5 years
	PF > 3%	PF > 3%	remove

由以上試驗以及分析可得：套管 99A3867 的電容和功率因數值不會隨試驗電壓而變化，並且確認絕緣良好。

而其他套管不但功率因數值超出標準，油中氣體分析也檢驗出氫氣（H₂）、甲烷（CH₄）和乙烷（C₂H₆）超出標準。

因此，要獲得可靠診斷的結果，必須結合套管特性的相關知識、詳細的測試報告以及油中氣體分析的相互比較與驗證，才能得到正確的解答。

(3) 變頻功率因素測量(Variation Frequency Power Factor; VFPF)：

絕緣材料的介電常數和功率因數是一個複雜的函數，主要取決於所受電場的頻率，因為極化作用所產生的自由電荷及其電流的移動所引起的傳導電流跟時間相關，故低頻對損失的測量比高頻較為敏感。

CIGRE guide 445 針對不同類型的套管設定了 C1 功率因數值在不同頻率下的限值，如表 11 所示：

表 11 CIGRE guide 445 針對不同類型的套管的功率因數（或 $\tan \delta$ ）限制值，在 15 到 400Hz 的變頻功率因素測量

Bushing type	RIP		OIP		RBP	
	Resin impregnated paper		Oil impregnated paper		Resin bonded paper	
Frequency	New	Degraded	New	Degraded	New	Degraded
15Hz	<0.6%	<0.7%	<0.5%	<0.7%	<0.7%	<1.5%
50/60Hz	<0.5%	<0.5%	<0.4%	<0.5%	<0.6%	<1.0%
400Hz	<0.6%	<0.7%	<0.5%	<0.7%	<0.7%	<1.5%

圖 4 為變頻功率因素測量的結果。

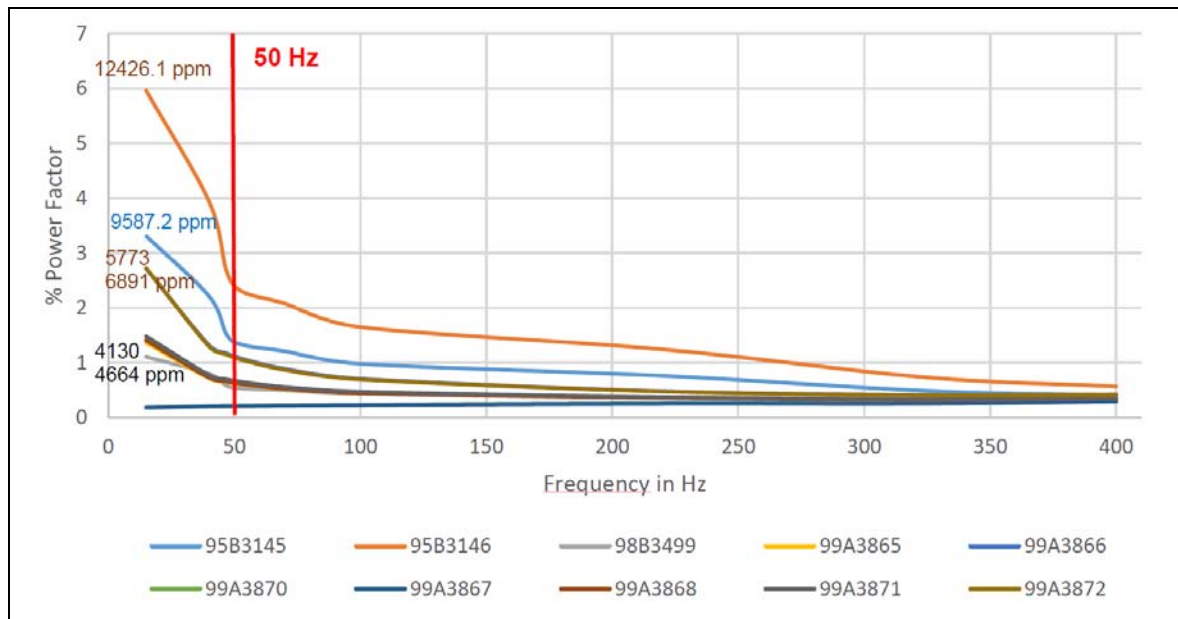


圖 4 變頻功率因素測量結果

套管 99A3867 和 99A3870 的頻率響應是線性的，並在 CIGRE guide 445 的標準範圍內。

而其他套管，在低頻時，功率因數值皆會增加，證明這些套管損耗的增加，氫氣（ H_2 ）、甲烷（ CH_4 ）和乙烷（ C_2H_6 ）的增加會導致損耗因數（功率因數）增加，這在低頻範圍（50/60 至 15 Hz）尤其明顯。

(4) 介電頻率響應（DFR）功率因數測量於 100mHz 至 1000 Hz：

測量頻譜的擴大，可以取得更多與極化現象相關的訊息。

介電頻率響應的測量迴路與一般功率因素測量的接法雷同，測量結果如圖 5 所示：

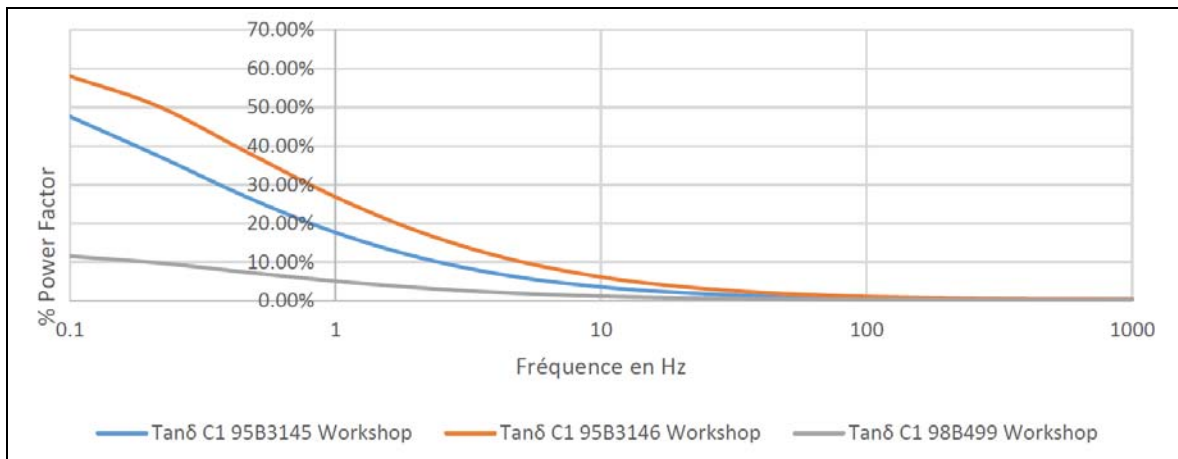


圖 5 介電頻率響應測量結果

針對此三個套管，功率因數值往較低頻率之下持續增加，證實了這些套管的損耗確實有變大、絕緣劣化。

故障套管細部分解：

對於故障套管細部分解才能對試驗的結果進行證明與了解，並對套管的設計作進一步的控制與確認，如圖 6 所示。



圖 6 套管細部分解：上：拆除應力椎後的套管電容層，下：C1 的第 1 層被擊穿的穿孔（下左：導體、下右：電容層）

結論：

在 OIP(Oil-Impregnated Paper)的絕緣系統中，油與纖維素之間水分的交換因為隨環境溫度的上升或下降而不斷發生，水在油中的溶解度隨著溫度的升高而增加，而紙中的含水量卻隨溫度上升而減少。因此，高溫時，絕緣紙釋放出水而溶解在油中，當溫度迅速下降且幅度較大（20°C）時，油的冷卻速

度比紙張快，導致油的吸水能力下降，這時就會產生自由水，造成套管內不均勻的電場，進而發生部分放電。

這些部分放電會釋放出氫氣 (H_2) 和甲烷 (CH_4)，使損失增加，產生甲烷 (CH_4)，然後產生乙烷 (C_2H_6)，這種現象導致熱失控，導致更高的能量提升，使 C1 的電容層逐漸短路，而產生乙炔 (C_2H_2)，最後導致套管絕緣失效故障。

Trench 對於 2002 年以後製造的套管，已經改變了一些設計，如：中心導體的升級、膨脹油箱的設計，並更換了油的類型。

對於功率因數測量和電容的監測，可以對套管的絕緣進行簡單而可靠的診斷，此外，油中氣體分析、變頻功率因素測量和介電頻率響應則可以確認套管劣化的程度，並可作為套管更換年限的參考。

2.3.2 「將中壓電纜設計推向更高的電壓發展」 (Pushing MV Cable Designs to Higher Voltages)

作者 / 公司：**Simon Sutton; Doble Engineering Company**

摘要：

歐洲現正在建設中的海上風電場有超過 16GW 的裝機容量 (如圖 7 所示), 在過去, 33kV 電力電纜(海纜)已足以傳送每串風機的功率, 但是, 最近風機 (8MW) 的輸出容量則需要將電纜的電壓升高到 66kV 才能滿足需求, 而歐洲風電產業熱衷於降低投資成本, 一直考慮使用濕式電力電纜 (即無徑向金屬防水層) 作為降低成本的手段之一, 但目前沒有可用於測試 66kV 濕式電力電纜的國際標準, 本文研究了電纜絕緣材料相對於老化參數的相關性, 並試圖預測新條件下濕式電力電纜的壽命。

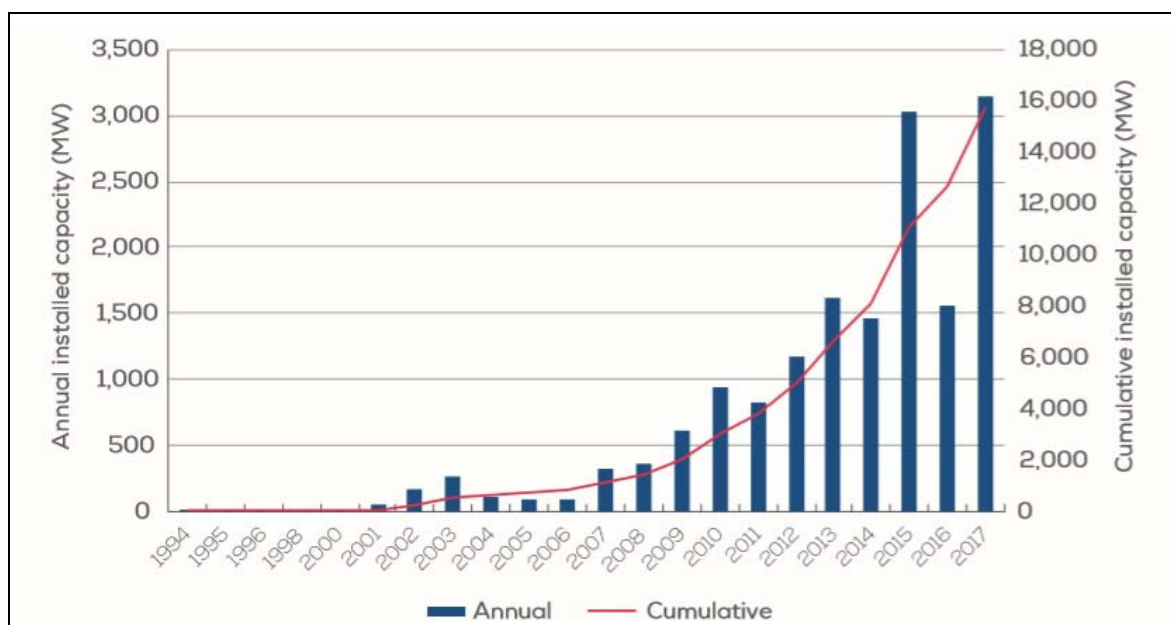


圖 7 歐洲離岸風電安裝容量的年增量

風力發電陣列間電纜工作電壓為 33kV, 但下一代風力發電機組 (包括高輸出風機) 工作電壓將為 66kV。這種高壓電纜將設計成具有金屬徑向防水層 (通常由海底電纜的鉛製成) 以防止水分流出並防止水樹。但是, 海上風力發電工業希望消除金屬徑向防水層, 而不是增加絕緣厚度, 從而降低成本。

內容：

現有的中壓電纜的測試方法是針對陸上電纜而設計的, 然而, 在海上風電場周圍海床中運行的中壓電纜的實際條件是不同的, 例如：

- 連續浸泡在水中
- 周圍的水中存在鹽份（海水）
- 環境溫度
- 機械應力和/或振動
- 海底的水壓
- 負載模式（更大的溫度波動）

此外，對於新提出的 66kV 濕式電纜設計，希望在與乾燥（即具有金屬徑向防水層）66kV 電纜相同的電應力下操作，與傳統的 33kV 電纜相比，這有效地意味著電纜芯的直徑沒有增加，因此，電應力從約 3.0 kV/mm 增加到約 5.5 kV/mm，這具有的優點就是現有的電纜處理和敷設技術可用於新的電纜。

電網中的陸上電纜與海底電纜之間的一個顯著差異是預期壽命，通常預計陸上電纜將運行 40 年，而海上電纜的使用壽命僅為 25 年，與渦輪機的預期壽命相匹配。

本文評估影響電纜老化的因素，值得注意的是，與 EPR 相比，許多的文獻都集中在 XLPE 和 WTR-XLPE 上，這很可能是由於易於識別、計數和測量水樹。

中壓電纜設計的類型有三種：「乾式」、「濕式」、「半乾式」，其內容如表 12 所述：

表 12 中壓電纜的設計

設計類型	CORE	Waterblocking tape	Radial water barrier	Jacket	MV(land)	HV(land)
Dry	✓	✓	✓	✓	Europe (most countries)	Everywhere
Wet	✓	✗	✗	✓	Europe (most countries)	✗
Semi-dry	✓	✓	✗	✓	Europe (most countries)	✗

XLPE 和 WTR-XLPE 的差異如下圖所示：

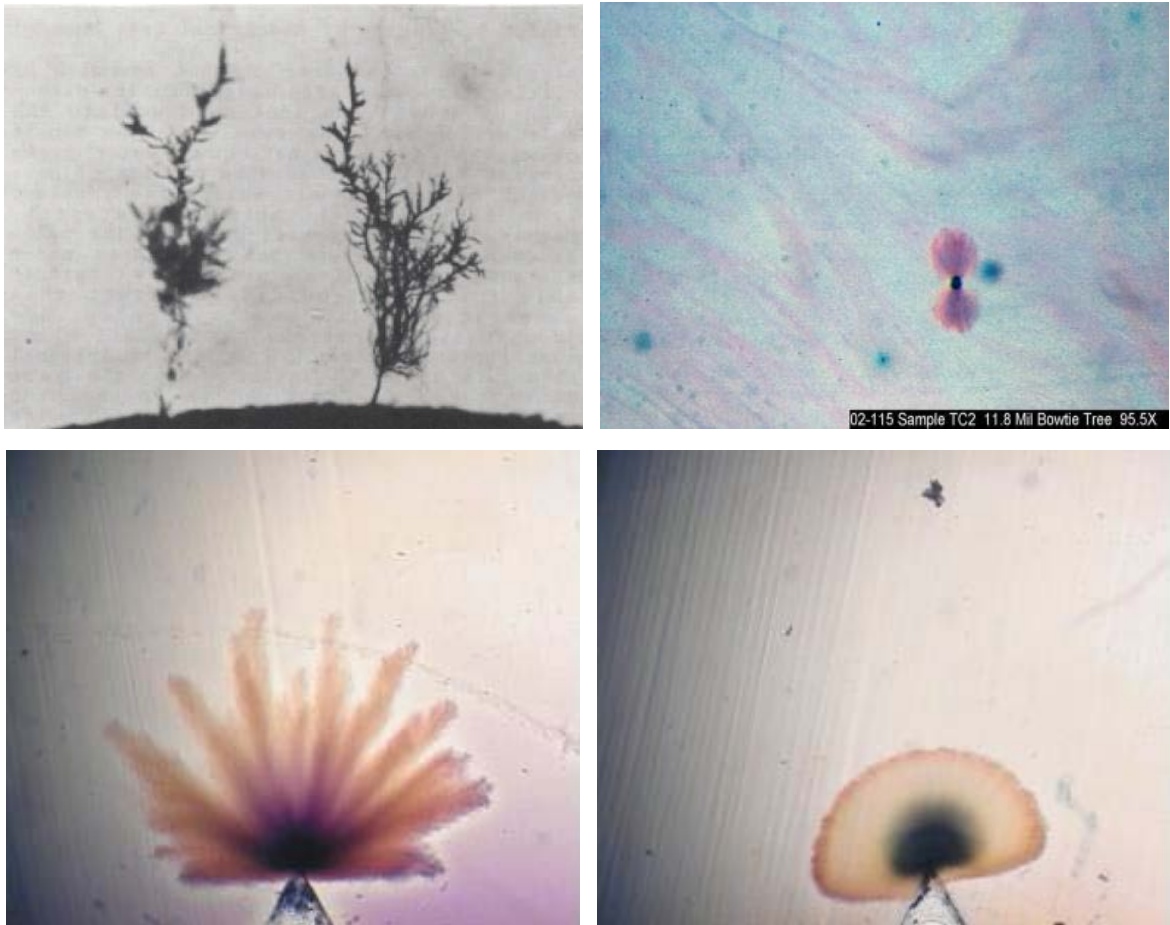


圖 8 XLPE(左)和 WTR-XLPE(右)的差異

海上風電場的運轉條件

現有中壓電纜的測試標準是為了陸上電纜而發展的，然而，實際在海上風電場周圍海床中的中壓電纜的運轉條件是不一樣的，例如：

- 連續浸入水中
- 周圍的水中存在鹽
- 環境溫度
- 機械應力和/或振動
- 靜水壓力
- 負載模式（更大的溫度波動）

另外，對於提出的 66kV 濕電纜設計，希望在與乾式 66kV 電力電纜（即具有金屬徑向防水層）相同的電應力下運轉，與傳統的 33kV 電纜相比，這等於電纜的直徑沒有增加，但電壓卻增加一倍，因此，電應力從 3.0 kV / mm 增

加到 5.5 kV / mm，這具有的優點是現有的電纜處理和敷設技術可以應用於所提出的新電纜，以下針對不同運轉條件進行 XLPE 和 WTR-XLPE 之研究：

(1) 溫度：

關於電纜溫度，有幾個重要方面需要考慮：

1. 海上風電場電纜周圍的熱環境與陸地上不同，無論是岸邊或海底的溫度皆低於陸上典型的溫度。
2. 海底是動態的，電纜可能暴露(增強冷卻)或埋藏較深(降低冷卻)。
3. 風電場電纜的負載比陸地電纜的變化更大，從而在更廣的範圍內引起更大的熱循環。
4. XLPE 中水的擴散係數隨著溫度升高而增加。
5. XLPE 中水蒸汽的飽和極限隨著溫度的升高而增加。

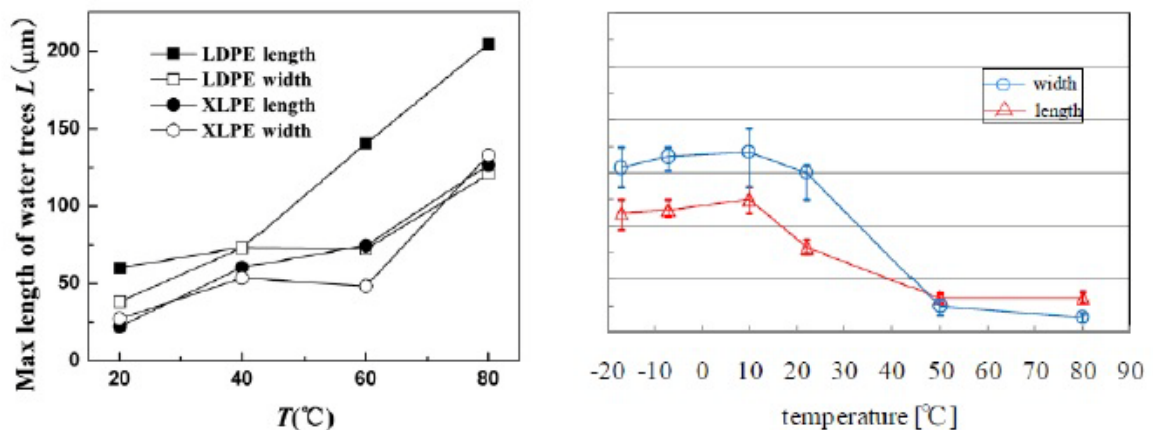


圖 9 在不同溫度變化下，水下針刺測試的水樹成長長度

(2) 鹽分：

長期以來，鹽溶液已被用於加速 ASTM 水針測試(ASTM D-6097)中水樹的生長，雖然便於測試不同材料的反應，但結果卻不一定反應在電纜壽命上，其中還需要考慮許多其他因素，例如電纜中半導體的影響，儘管如此，由於其簡單性，許多研究人員已經使用這種方法。

文獻中已經研究了各種各樣的離子物質，並且取決於具體的離子物種，水樹生長可以增強或減弱，隨著鹽(NaCl)濃度的增加，水樹長度已經顯著增加，海水中的 XLPE 絕緣電纜與自來水中的相比，顯示將縮短 40% 的時間。

圖 9 顯示在不同鹽分濃度下，XLPE 和 WTR-XLPE 的水樹成長比較：

Salt concentration – Model samples

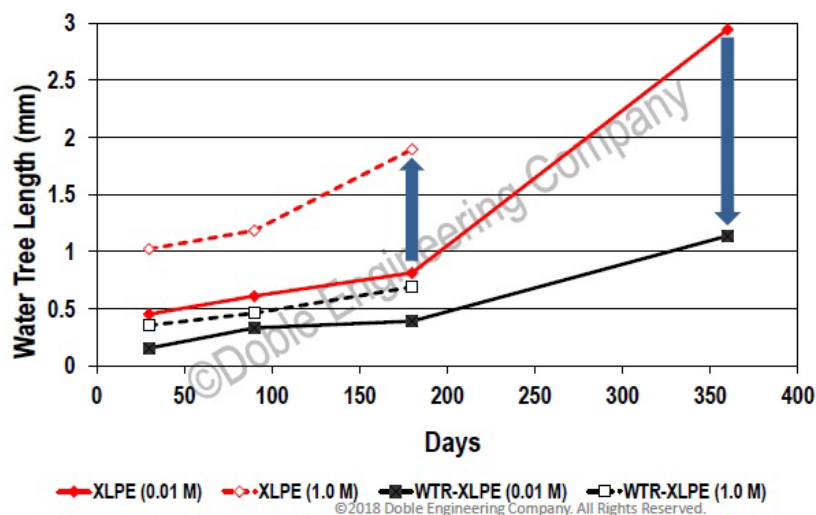


圖 10 在不同鹽分濃度下，XLPE 和 WTR-XLPE 的水樹成長比較

(3) 電應力：

一般假設，新的 66kV 濕式電纜將在與 66kV 陸上電纜相似的電應力水平下工作，即 5-6kV/mm，或者大約是當前 33kV 電纜的應力的兩倍，在 LDPE 工作的 Fothergill 先生表示，出現水樹的數量與電應力有非常高的相關性，上述 EPRI 的研究中發現，根據老化溫度的不同，老化應力減半（ $4E_0$ 至 $2E_0$ ）會延長故障時間增加 2 至 6 倍，即對剩餘擊穿強度的影響非常不明顯。

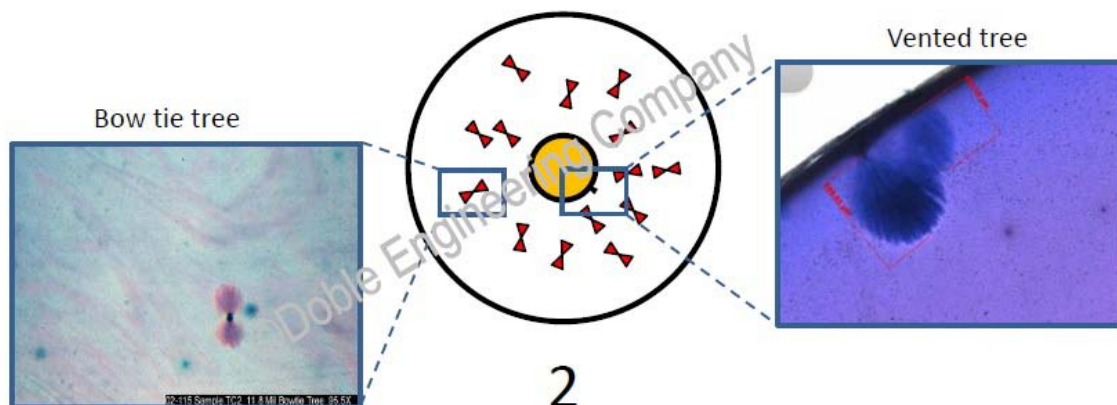


圖 11 絕緣材料中，水樹出現的態樣

結論：

儘管有關於水樹的研究已經發展了將近 50 年，但還是沒有任何理論能夠預測材料或電纜相對於老化參數的相關性，對於一些老化參數，雖可以確定其趨勢，但並不保證可靠，因此，試圖透過 33kV 陸上電纜的經驗和實驗室的結果來預測海上風電場使用的 66kV 濕式電纜的壽命是不可能的，因此，要使投資人對 66kV 濕式電纜的壽命有信心，是十分具有挑戰性的。

2.3.3 「為什麼要使用電磁干擾（EMI）測試法來測試機器？」 (Why Electromagnetic Interference (EMI) Test Machines?)

作者 / 公司：**James Timperley; Doble Engineering Company**

摘要：

旋轉機械、馬達和發電機，可以提供幾十年可靠的服務，但是所有機器故障都可能會出現嚴重後果，例如工廠收入損失、環境或安全問題，即使是新機器也可能有設計或製造缺陷，很少會有備用馬達和發電機，修理也通常很昂貴，可能需要數週或數月才能完成，平時維護以延長使用壽命並防止故障是實現最佳生命週期管理的謹慎方法，以滿足投資者、運營商和保險公司的需求，幸運的是，有幾種診斷測試可用於檢測、識別機器惡化的趨勢，在線式測試優於離線式測試，因為停電時間受到限制，離線式測試應該用於維護，而不是平時。

實現企業資產管理中、最佳生命週期的管理方法就是平時維護保養以延長使用壽命並防止故障。有幾種測試可以用於「在線式測試」並識別機器惡化的趨勢，其中有一種比較新型態的評估工具是 EMI 測試，EMI 測試是一種在線式測試技術，可以識別機器的狀態是否是穩定或惡化的趨勢，在實施維修之前，可安排其他測試或檢查以進行驗證，並且在大修維護後再次測試以確認情況是否得到改善或是惡化。

Since 1980 EMI testing has been applied to hundreds of generators and motors in many countries.



圖 12 EMI 測試法可以應用的範圍相當廣泛

內容：

電磁干擾(Electromagnetic Interference, EMI)是精確的頻域測量和射頻(RF)能量測量，其源於許多類型的電氣和機械缺陷所引發的電活動，最終的 RF 頻譜或 EMI 特徵曲線對於每個物理位置和缺陷類型都是唯一的，EMI 診斷系統可測量並識別由高壓局部放電 (PD) 所導致的絕緣以及導體間的低壓電弧產生的射頻信號。

EMI 標記頻率和幅度記錄在 CISPR 16 (國際特別研究無線電電台，一種用於收集 EMI 數據的國際標準) 上，有幾種 EMI 模式：電暈 (corona)、間隙放電 (gap discharge)、微小火花放電 (micro-sparking)、電弧 (arcing) 和隨機噪聲 (random noise)。每個頻率和模式都包含有關缺陷類型且和系統中每個位置的信息，例如：馬達和發電機有 40 多個電氣和機械條件可能導致設備故障，可以在早期的發展階段確定，有足夠的時間來規劃驗證測試和時間表修理。

EMI 測試程序：

EMI 數據是從電氣導管、安全地線或中性線周圍的臨時安裝獨立、快拆式射頻電流互感器 (RFCT) 所收集的，任何通電導體都不需要活電連接，這一個測試位置允許對電動機或發電機系統進行整體的調查，數據收集需要大約 1 小時，而設備可以是在運轉中的狀態，典型的 RFCT 放置位置如圖 13 所示。



圖 13 典型的 RFCT 放置位置：馬達(左)和發電機(右)

EMI 數據被即時收集和處理，可提供工程師檢測到其惡化類型和系統位置的詳細信息，而其所顯示的 EMI 模式也必須能夠被看到和聽到，以幫助識別。

案例一：

通過軸承的軸電流是幾十年來可能被錯誤診斷的常見問題，圖 14 顯示了可能導致嚴重的軸損壞，對馬達和負載設備造成損壞，軸的修理比更換軸承更昂貴，柴油機軸承損壞是由發電機驅動的軸電流產生的，確實消除軸電流才是解決的唯一辦法。

The results of shaft currents can be severe. Detection of shaft currents with EMI saves future deterioration and repairs.



圖 14 軸心接地不良造成軸電流燒損轉子的軸承

Generator shafts must also be properly grounded.

Some use two grounds.

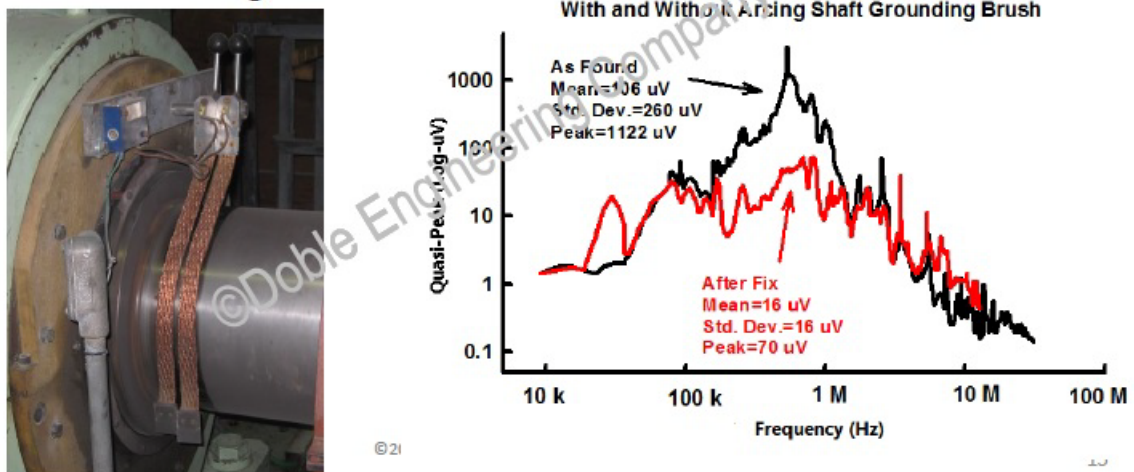


圖 15 EMI 圖譜 (有異常放電高峰，正常應回下方和緩曲線)

案例二：

圖 16 為轉子破損的高壓馬達，在下一次計劃停機大修時安排修理比等待馬達故障再來修理要好得多，沒有備用馬達，如果它不故障無法啟動，工廠就會停工直到轉子修理完成。

工作如能提前計劃，轉子的維修費用會少很多，高壓馬達的轉子破損，最後是換新才成功修復。

Broken rotor bars are quickly identified with EMI techniques.



圖 16 高壓馬達的轉子破損

The EMI pattern seen was of arcing that followed the rotor slip frequency. An indication of broken rotor bars. Recent repairs were not successful.

Bar replacement was necessary.

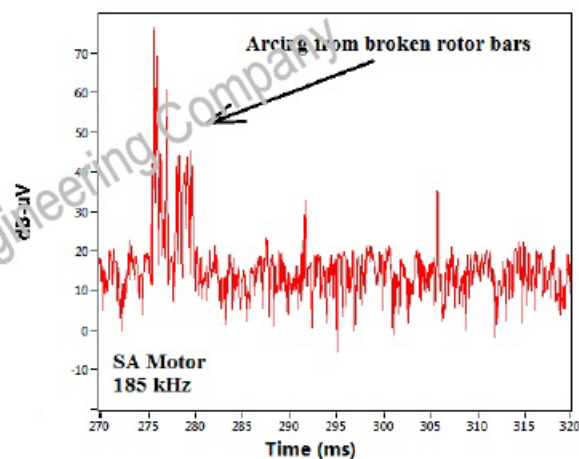


圖 17 EMI 圖譜 (跟馬達轉速同頻率時有高峰值)

結論：

本文利用案例分析為例，提供了EMI測試結果的特徵signatures 和 模板patterns 的幾個範例，可用於用 EMI 測試辨別出各種類型的狀況和缺陷，可在設備運轉時，同時進行在線測試與紀錄，在第一次測試中可以識別

各種的電氣或機械的狀態，藉由EMI 測試可進行「以設備狀態為基礎的維護保養」，透過了解組件的狀態，來決定維護保養的程度。

EMI 測試的應用可以優化資產管理、改善生產和節省資金，是一個能夠提高盈利的重要工具。

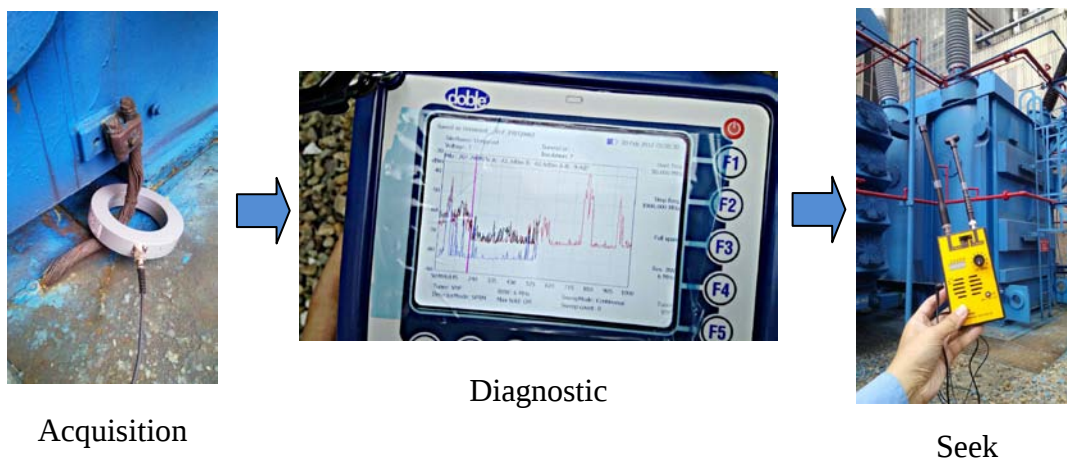


圖 18 EMI 實施的過程

2.3.4 「變壓器頻響分析 FRA 方法的現狀 - CIGRE WG A2.53 的進展與最新方向」 (Current State of Transformer FRA Methodology – Progress Report on behalf of CIGRE WG A2.53)

作者 / 公司：**Patrick Picher; Hydro Quebec**

摘要：

頻率響應測量的範圍從 20Hz 到 2MHz，目前變壓器行業常用於變壓器繞組的狀態評估，已經證明了它對檢測各種機械和電氣故障模式是有效的，但在實際的應用上，頻率響應曲線通常是用目視法去比較，例如與先前在相同或同型的設備上的測量、或者三相變壓器的相位之間進行比較。在過去的 15 年中，許多出版物都提出了使用數據去解釋，試圖使其更加客觀和定量，為此，2016 年 CIGRE 啟動了一個新的工作群組，名為“使用頻率響應分析（FRA）進行變壓器繞組狀態評估的客觀解釋方法”。

內容：

頻率響應曲線測試 (measurement of the frequency response) 是用來測試評估電力變壓器繞組的機械結構與電應力所造成的變化，如圖 18 所示，頻率響應曲線測試已經有適用的標準：IEC 60076-18 以及 IEEE std C57.149 標準，但測試結果的判讀仍然偏向人為主觀且仰賴有經驗的測試人員，而判讀方法通常是經由波形之間的比較來做確認：與過去波形做比較、與同型變壓器做比較、與別相做比較。

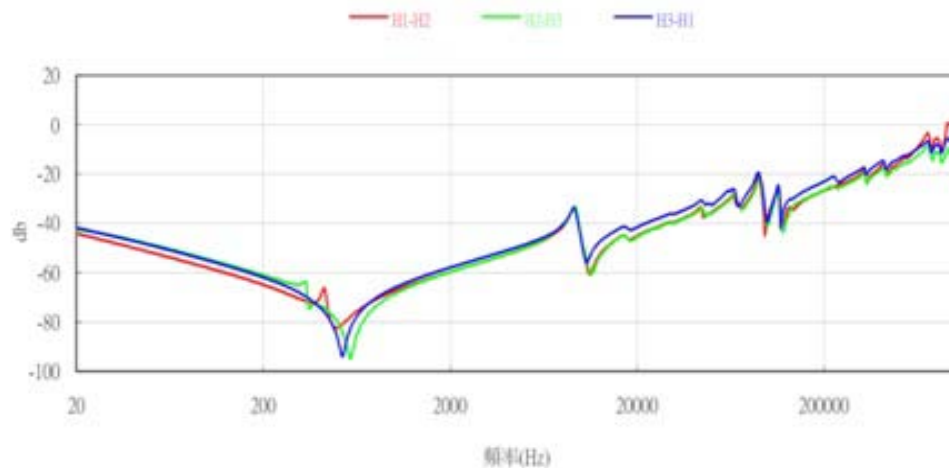


圖 19 頻率響應曲線測試圖譜

定量的好處

許多文獻中都有進行於可疑變壓器上測量頻率響應曲線的定量評估數指標的研究，未來 CIGRE 的工作群組將總結一些最有前途的技術，並強調主要特點、優點和局限性。為此，審查技術分為兩組：

(1)基於測量的數值指標

這可能是評估兩個頻率響應測量之間變化程度的最常見和直觀的方法，指數可將曲線之間的差異轉換為單個值，可用於診斷目的，如圖 19 所示。

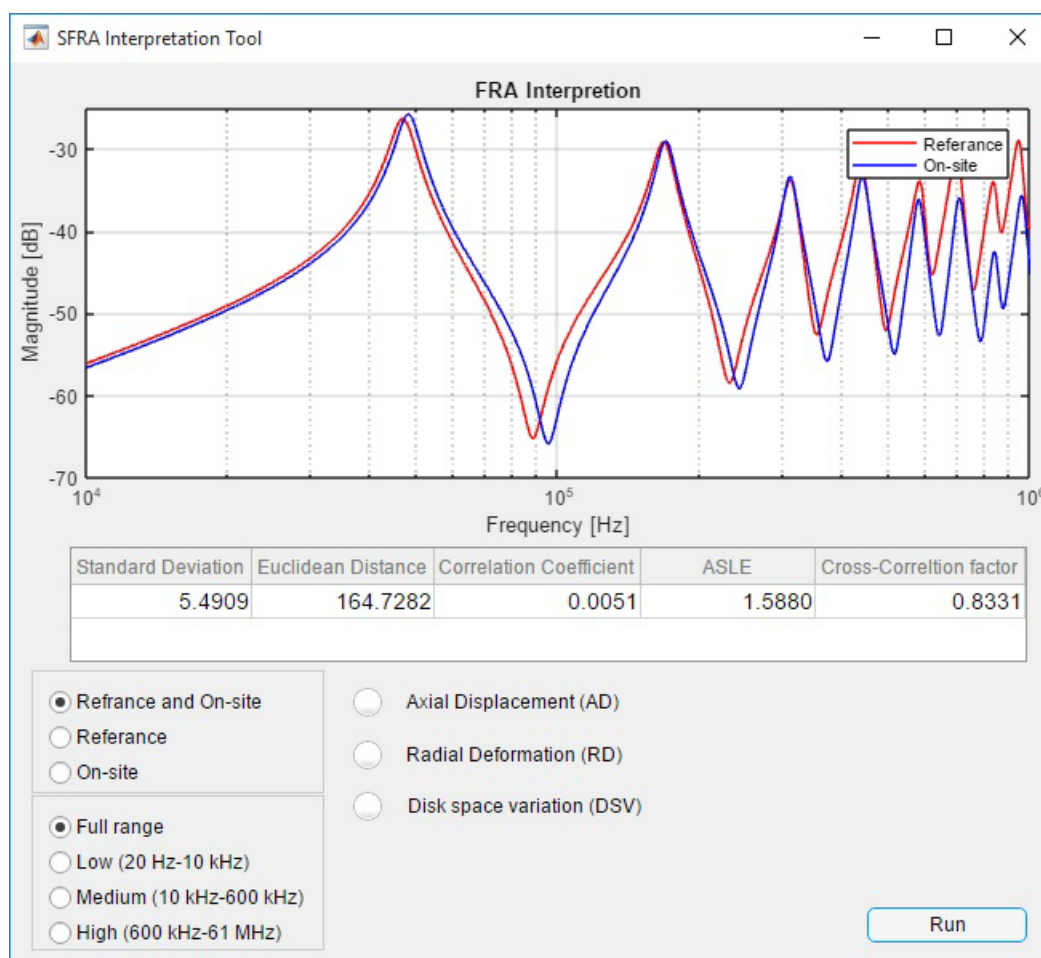


圖 20 頻率響應曲線之間的差異指標

(2)基於設計數據的電路模型

這種方法依賴於使用集總元件的高頻物理變壓器模型的設計，即集成元件、電阻、自身和互感以及電容來構建變壓器的模型。這種方法側偏重於關鍵的頻率範圍，在這個模型中，繞組被分成幾個部分，然後每個部分由不同的電路參數表示。

結論：

- FRA 曲線的解釋依然存在著許多挑戰
 - 測試人員本身需要具備良好的訓練和豐富的經驗
 - 複雜的高頻響應會影響 FRA 測試工作的進行
- 已有許多文獻發表 FRA 相關的數值化指標。
- 目前仍無法達到共識。
- CIGRE 的工作小組會繼續朝這方面努力並對標準化提出建議。

三、感想與建議

3.1 感想

很榮幸能奉派執行此次出國任務，感謝綜合研究所洪所長紹平、楊副所長金石、鍾副所長年勉核派此次的出國任務以及吳組長春明、楊課長思平、林光課長的支持與鼓勵，還有辦公室同仁無私分擔業務，不勝感激，謹予此聊表謝忱。

本次出國主要的任務為參加美國都寶工程公司於 2018 年 4 月在美國波士頓 (Boston) 舉辦的第 85 屆國際年會，不但學習到國外最新電力設備運轉維護的相關試驗與標準，還與各國電力設備試驗經驗豐富的工程師互相交流，收穫十分豐富。

同時，在會議之間也參觀了各家廠商展示的電力相關、最新科技的儀器設備還有材料，如 ABB、Siemens、GE、BAUR、FLIR...等超過 40 多間國際知名大廠都有參展，不但是目前電力業界的研發潮流，同時也可提供作為本公司設計與採購方向的參考。

此次年會所發表的論文內容豐富，精選與未來趨勢相關以及有助本公司發展的相關技術論文加以詳細探討，期能對本公司相關電力設備運轉與維護、採購與管理策略等，做出更大的貢獻。

3.2 建議

(一) 「Trench COS 325 kV 套管的故障調查」

- (1) 本文使用於套管上的診斷工具有：油中氣體分析(DGA)、功率因素測量、變頻功率因素測量(VFPP)、介電頻率響應(DFR)。
- (2) 油中氣體分析(DGA) 可明確偵測套管內部有無放電現象，但從套管抽取油樣本不易。
- (3) 功率因素測量可監測套管絕緣與電容層的變化。
- (4) 變頻功率因素測量(VFPP)、介電頻率響應(DFR)則為較為新穎的測量

技術，適合驗證結果使用。

- (5) 因此，要獲得可靠診斷的結果，必須結合套管特性的相關知識、詳細的測試報告以及油中氣體分析的相互比較與驗證，才能得到正確的解答，目前本公司僅使用功率因素測量作為套管的診斷工具，建議加入其他測試方式如**介電頻率響應(DFR)**以做為運轉的參考。

(二) 「將中壓電纜設計推向更高的電壓發展」

- (1) 本文以各種老化條件(如鹽分濃度、溫度、壓力、負載)去比較 **XPPE** 和 **WTR-XLPE** 的優劣，並彙整目前業界最新的進展。
- (2) 將額定電壓提升為 **66kV** 是一個必經過程，許多因素都會造成電纜的老化，以致無法預測故障何時發生，也無法保證其品質，但可確信的是可降低成本。
- (3) 目前 **WTR-XLPE** 為最新型態的絕緣材料，連 **CIGRE** 也剛在今年才擬定 **B1.55「6kV 到 60kV 濕式海底電纜相關額外測試的建議」** 的指引。
- (4) 面對國內目前推動的能源轉型，尤其在 107 年 4 月 30 日經濟部剛完成了 **離岸風力發電規畫場址遴選**，本公司也進入獲選名單，因此，勢必也會遇到相關的問題，建議提早對 **WTR-XLPE** 電纜進行可行性分析，並評估提高輸電電壓的優劣，以滿足未來風機陣列輸電容量的需求。

(三) 「為什麼要使用電磁干擾(EMI)測試法來測試機器？」

- (1) **EMI** 測試法是少數在線式的測試方法之一，國外自 1980 年以來就已開始使用並發展至今，因此，累積相當經驗及圖譜。
- (2) 本文雖然僅介紹馬達和發電機有關的 **EMI** 診斷經驗，但 **EMI** 測試還可應用於變壓器、匯流排、電纜和開關…等等電力設備，用途十分廣泛。
- (3) 建議投入 **EMI** 測試相關應用，及早累積更多經驗，以協助優化資產管理、提高維護保養效率。

(四) 「變壓器頻響分析 FRA 方法的現狀 - CIGRE WG A2.53 的進展與最新方向」

- (1) FRA 測試在國內已行之有年，但面臨與國外一樣的困境，就是 FRA 曲線的判讀，仍然必須依賴訓練有素且經驗豐富的工程師。
- (2) 本公司目前使用 FRA 測試設備雖符合 IEC 60076-18 以及 IEEE std C57.149 標準，但測試結果一樣需要人工判讀。
- (3) CIGRE WG A2.53 的工作會議已經緊鑼密鼓的展開，相信很快就會有結果，建議在新標準建立之後，再採購符合新標準之測試設備，才能跟世界接軌。

四、參考文獻

1. Doble Engineering Company, “2018 Program Book”, *85th International Conference of Doble Clients*, 2018.
2. Etienne Dion, “Investigation on Trench COS 325 kV Bushings”, *85th International Conference of Doble Clients*, 2018.
3. Simon Sutton, “Pushing MV Cable Designs to Higher Voltages”, *85th International Conference of Doble Clients*, 2018.
4. James Timperley, “Why Electromagnetic Interference (EMI) Test Machines?”, *85th International Conference of Doble Clients*, 2018.
5. Stefan Tenbohlen, M. Tahiri, Satoru Miyazake, “Development and Optimization of Methods for Objective Interpretation of Frequency Response Analysis of Power Transformers”, *85th International Conference of Doble Clients*, 2018.