

出國報告（出國類別：其他）

參加第十九屆 WGRISK 會議暨訪問巴 黎-薩克雷大學

服務機關：核能研究所

姓名職稱：羅崇功 副研究員
徐碧璘 副研究員

派赴國家：法國

出國期間：107 年 3 月 3 日~107 年 3 月 14 日

報告日期：107 年 4 月 10 日

英文摘要

The main purpose of this trip is to participate in the 19th WGRISK (Working Group on Risk Assessment) Annual Meeting and visit the Paris-Saclay University to collect information on the development and application in safety analysis and accident radiation assessment, in order to reassessment the accident of radiation conditions in auxiliary building on Kuosheng nuclear power plant.

WGRISK is one of the working groups under CSNI (Commission on the Safety of Nuclear Installations) of OECD/NEA (Organization for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency). The 19th annual meeting was held from March 5th to 9th in 2018. The INER (Institute of Nuclear Energy Research) has been invited yearly by OECD/NEA as an observer since 2007. This year, OECD/NEA WGRISK Secretary Andrew White invited Taiwan again to participate in the discussion of various issues at the WGRISK Annual Meeting. It is helpful to enhance nuclear safety by collecting the latest information of CSNI Member States on the development and application of safety assessment.

After the meeting, we visited the Chair on Systems Science and the Energy Challenge (SSEC) within the Laboratory of Industrial Engineering (LGI) at University of Paris-Saclay, to understand their current research topics and directions in the field of reliability and safety. By discussion, we tried to find some ways to assess the vulnerability of the power grid based on the Taiwan 815 blackout event. In addition, the feasibility of participating in short-term training courses in Europe was also discussed as a reference for future cultivating plans in the Institute.

中 文 摘 要

本次公差的主要目的為參加第十九屆 WGRISK (Working Group on Risk Assessment)工作小組會議及年會暨訪問巴黎-薩克雷(Paris-Saclay)大學，蒐集國際安全分析與事故輻射評估的發展與應用現況，以利本所執行核二廠輔機廠房事故輻射狀況之重估工作。

經濟合作暨發展組織核能署(Organization for Economic Cooperation and Development/ Nuclear Energy Agency OECD/NEA)下設的核設施安全委員會(Committee on the Safety of Nuclear Installations, CSNI)，於 3 月 5 日至 3 月 9 日舉辦第 19 屆 WGRISK 工作小組會議及年會，核能研究所自 2007 年開始應 OECD/NEA 之邀請，每年皆以觀察員身分參加會議。今年 OECD/NEA WGRISK 秘書長 Andrew White 再度邀請我國參與 WGRISK 年會中各項議題之討論，並藉此機會蒐集 CSNI 會員國在安全評估發展與應用研究之最新資訊。

此次公差順道拜訪巴黎-薩克雷大學工業工程實驗室(Laboratory of Industrial Engineering, LGI)之系統科學與能源挑戰小組(Chair on Systems Science and the Energy Challenge, SSEC)，瞭解其在可靠度與安全度領域目前的研究議題與方向，並以台灣 815 停電事件進行經驗交流並討論電網脆弱度評估方法，亦探詢參與歐洲短期相關訓練課程之可行性，作為本所未來人才培育之規劃參考。

目 次

	頁碼
英 文 摘 要	i
中 文 摘 要	ii
一、目的	1
二、過程	2
三、心得	36
四、建議事項	38
五、參考資料	39

一、目的

本次公差的主要目的為參加第十九屆 WGRISK (Working Group on Risk Assessment) 工作小組會議及年會暨訪問巴黎-薩克雷(Paris-Saclay)大學，蒐集國際安全分析與事故輻射評估的發展與應用現況，以利本所執行核二廠輔機廠房事故輻射狀況之重估工作。

經濟合作暨發展組織核能署(Organization for Economic Cooperation and Development/ Nuclear Energy Agency OECD/NEA)下設的核設施安全委員會(Committee on the Safety of Nuclear Installations, CSNI)，於 3 月 5 日至 3 月 9 日舉辦第十九屆 WGRISK 工作小組會議及年會。核能研究所自 2007 年開始應 OECD/NEA 之邀請，每年以觀察員身分參加會議，並積極參與工作小組之研究工作，包括提供我國安全度評估(Probabilistic Safety Assessment, PSA)研究相關資料，及協助審查研究報告等。今年 OECD/NEA 秘書長 Andrew White 博士於會議前透過原能會駐 NEA 代表林技正繼統，再度邀請我國參與 WGRISK 年會中各項議題之討論。本所核子工程組同仁羅員及徐員奉派出席會議，並藉此機會蒐集 CSNI 會員國在安全評估發展與應用研究之最新資訊。

此次公差順道拜訪巴黎-薩克雷大學工業工程實驗室(Laboratory of Industrial Engineering, LGI)之系統科學與能源挑戰小組(Chair on Systems Science and the Energy Challenge, SSEC)，瞭解其在可靠度與安全度領域目前的研究議題與方向，並以台灣 815 停電事件進行經驗交流，討論電網脆弱度評估方法，亦探詢參與歐洲短期相關訓練課程之可行性，作為本所未來人才培育之規劃參考。

二、過程

此次公差自 107 年 3 月 3 日起至 107 年 3 月 14 日止，共計 12 天，詳細行程如下表所示。

行程					公差地點		工 作 內 容
月	日	星期	地點		國名	地名	
			出發	抵達			
3	3~4	六~日	台北	巴黎	法國	巴黎	去程
3	5~6	一~二			法國	巴黎	參加工作小組會議
3	7~9	三~五			法國	巴黎	參加 WGRISK 年會
3	10~11	六~日			法國	巴黎	資料整理
3	12	一			法國	巴黎	訪問巴黎-薩克雷大學
3	13~14	二~三	巴黎	台北			返程

3 月 5 日至 9 日以觀察員身分參加第十九屆 WGRISK 工作小組會議及年會，本次年會除了進行之工作小組的工作報告外，亦進行 PSA 應用於支援核能電廠風險告知決策制定與安全管理之技術討論。整個議程由德國代表主持，在技術討論的部分則由捷克代表主持，英國、德國、比利時、瑞典、捷克、匈牙利代表分別發表六篇簡報並進行深入討論。

3 月 12 日拜訪巴黎-薩克雷大學工業工程實驗室之系統科學與能源挑戰小組，瞭解其在可靠度與安全度領域目前的研究議題與方向，並以台灣 815 停電事件進行經驗交流，請教 Zio 教授有關電網脆弱度評估的方法。

2.1 參加第十九屆 WGRISK 年會

WGRISK 的主要工作為協助 NEA 進行核設施相關的 PSA 研究工作，各 OECD 會員國均可參與，不限於具有核設施的國家，研究工作則透過由部分會員國所成立的工作小組聯繫進行。我國並非 NEA 會員國，在 2007 年，由於當時原能會駐 NEA 代表林耿民先生的積極聯繫與協調，WGRISK 首度允諾我國代表以觀察員身分參與 WGRISK 年會並全程

參與技術討論，之後 WGRISK 每年於會議前皆透過原能會駐 NEA 代表邀請我國參與年會議題討論。本所除了派員參與年會之外，同時也積極參與各項子計畫工作，與各會員國交換及分享核能安全相關資訊，對於本所執行各項工作具有正面的效益。

WGRISK 每年於 3 月定期在巴黎舉辦年會，邀請所有會員國家參與，年會主要目的是定期分享各國 PSA 相關資訊、討論執行中工作小組的進度及研究成果、討論新工作小組成立的必要性以及研究方向、專業技術議題討論等，會中也邀請美國電力研究所(Electric Power Research Institute, EPRI)、NEA、歐盟國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)以及同為 NEA 下屬的其他工作小組共同參與討論。

在年會舉辦前，WGRISK 所屬的工作小組會依需求先行舉辦工作小組會議，以確認各工作小組在年會簡報該工作小組一年來的工作成果，而籌劃中的工作小組亦會在年會舉辦前邀集有興趣的各國代表，商議所籌劃工作小組的研究目標與實際內容，以便在年會中獲得大部分代表的支持，順利成立所規劃的工作小組。

本次年會參加的人員包括：比利時、加拿大、捷克、芬蘭、法國、德國、匈牙利、義大利、日本、韓國、波蘭、羅馬尼亞、俄羅斯、斯洛伐克、西班牙、瑞典、瑞士、英國、美國等會員國代表，台灣與印度等觀察員代表，及 IAEA 代表，約 40 位參與討論，各國代表單位如下表。與去年相較，俄羅斯和印度去年沒有出席，荷蘭則今年缺席。

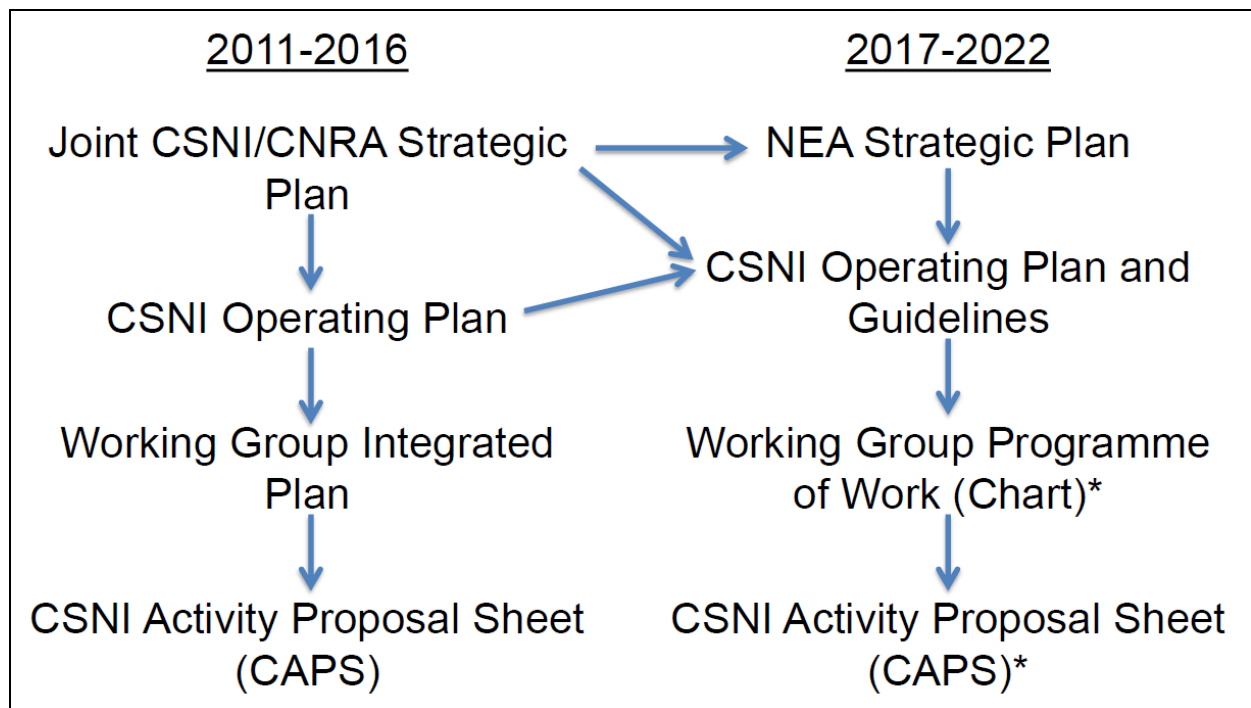
國家	單位名稱	單位中文譯名
比利時	TRACTEBEL ENGINEERING S.A.	TRACTEBEL 工程顧問公司
加拿大	Canadian Nuclear Safety Commission	加拿大核能安全委員會
中華民國	Institute of Nuclear Energy Research	核能研究所
捷克	Nuclear Research Institute Rez plc	核能研究所
芬蘭	Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK)	輻射和核能安全局
	VTT Technical Research Centre	芬蘭 VTT 技術研究中心
法國	Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN)	輻射防護與核能安全研究所
	Électricité de France (EDF)	法國電力公司

德國	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS)	德國核設備與反應器安全研究協會
匈牙利	Nuclear Safety Research Institute (NUBIKI)	核能安全研究所
	Hungarian Atomic Energy Authority (HAEA)	匈牙利原子能管理局
	Paks NPP	Paks 核能電廠
印度	Bhabha Atomic Research Centre (BARC)	印度原子能研究中心
義大利	Energia Nucleare ed Energie Alternative (ENEA)	義大利創新技術、能源與環境組織
日本	Nuclear Regulation Authority (NRA)	原子力規制委員會
	Japan Atomic Energy Agency (JAEA)	日本原子能研究開發機構
	Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)	電力中心研究所
韓國	Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)	韓國原子能研究院
	Korea Institute of Nuclear Safety (KINS)	韓國核能安全研究所
波蘭	National Atomic Energy Agency	國家原子能機構
羅馬尼亞	Institute for Nuclear Research Pitești	核能研究所
俄羅斯	Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE)	俄羅斯科學院核能安全研究所
斯洛伐克	Nuclear Regulatory Authority	核管局
	RELKO Ltd. Engineering & Consulting Services	RELKO 工程顧問公司
西班牙	Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)	西班牙核能安全委員會
瑞典	Swedish Radiation Safety Authority (SSM)	瑞典輻射安全局
瑞士	Paul Scherrer Institut (PSI)	Paul Scherrer 國家研究機構
英國	Office for Nuclear Regulation (ONR)	英國核管局
美國	U.S. Nuclear Regulatory Commission (USNRC)	美國核管會

會議主席由德國代表 Marina Röwekamp 博士擔任，她在歡迎各國代表遠道至巴黎參加本屆年會後，邀請 NEA 核能安全技術及管制局局長 Ho Nieh 博士致詞。他提到 NEA 在核能安全方面的貢獻，以及核設施安全委員會(CSNI)與核能管制委員會(Committee on Nuclear Regulatory Activities, CNRA)下一些議題的經驗，吸引了很多非會員國和其他組織。阿根廷與羅馬尼亞已正式成為 NEA 會員；印度去年獲准加入 CNRA，今年四月 NEA 指導委員會也將同意印度加入 CSNI 的要求；中國由於核能電廠的數量激增(目前有 28 座運轉的電廠，18 座興建中)，對於 NEA 的活動也表示積極參與的態度，特別是 CNRA 和 CSNI，目前 NEA 正與中國密切討論參與 WGRISK 以及幾個其他的工作小組。他也提到 NEA 的組織改變，包括 NEA 指導委員會正在考慮新增除役與遺產理委員會(Committee on Decommissioning and Legacy Management)、多國設計審核計畫(Multinational Design Evaluation Programme, MDEP)中有關數位儀控的部分交由 CNRA 下的 WGDIC (Working Group on Digital Instrumentation and Control, 數位儀控工作小組)負責、CNRA 下的進步型反應器安全任務小組提升為 WGSAR (Working Group on Safety of Advanced Reactors)、以及 CNRA 為提供監管機構間有關沸水式反應器議題合作之論壇，正在建立一個任務小組。局長最後以風險評估的重要性並支持創新技術的佈署為結語，談到 NEA 會員國正在考慮核子科學委員會(Nuclear Science Committee, NSC)提出的耐受事故核燃料，從小範圍的使用塗料以降低核燃料包覆層的氧化，到大範圍變化材料的選擇，並指出風險評估對支援監管決策的重要性，透過 PSA 分析結果可讓電廠降低成本，用以投資改善燃料安全。

2.1.1 WGRisk 秘書長報告

秘書長報告 2017 年 6 月及 12 月 CSNI/CNRA 會議的最新動態。為實現 2017-2022 CSNI 任務，已依據 2017-2022 年 NEA 策略計畫之主要目標與挑戰等相關議題，並納入 2011-2016 年 CSNI/CNRA 聯合策略計畫導則，調整相關文件架構，以供委員會及其工作小組使用。



在 2017-2022 年已將 CSNI/CNRA 聯合策略計畫分成 NEA 策略計畫和 CSNI 作業計畫和導則，工作小組綜合計畫將更名為工作小組工作計畫，並以圖表呈現，且和 CSNI 活動提案單(CSNI Activity Proposal Sheet, CAPS)一起放在附件。2017-2022 年 CSNI 作業計畫和導則基本上保持範圍、工作領域、技術目標等之連續性，內容包括 2011-2016 年作業計畫的更新與演進；與 CNRA 作業計畫和導則密切配合；確定未來五年核能安全面臨的主要挑戰以及重點領域，以妥善應對這些挑戰；確保 CNRA 和 CSNI 的目標、角色和職責能適當地保持一致性，使委員會資源的使用達到最佳化，以利策略目標之實現；促進兩個委員會之間的良好溝通與合作；制定指導方針和工作方法，增進兩個委員會與其他 NEA 委員會和外部機構的互動，提高內部工作小組追蹤報告之效率。

CNRA 和 CSNI 的作業計畫和導則，透過調整工作和精簡組織以強化效能，使委員會的運作能與 NEA 策略計畫一致。未來努力的方向有 5 點，1)強化核能技術與基礎設施；2)提高安全相關活動之有效性與效率；3)確保當前核能裝置之運轉安全；4)確保新核能裝置和進步型反應器設計的安全性；5)關注核能安全的人因議題。

最後秘書彙總了當前 WGRISK 的工作進度，指出各工作小組進度接大致符合預期，所有文件已修改並符合最新。

2.1.2 各國 PSA 發展與應用

本議程為由參與會議之國家代表簡要說明年度內該國有關 PSA 研發情況並進行討論，以下簡要整理各國 PSA 之發展與應用。

比利時：完成 Doel 1 號機和 2 號機水災 PSA 分析及電廠改善案；完成比利時所有核電廠的火災 PSA 分析，電廠正在進行火災偵測器、滅火設備、實體分隔與和人因的改善；廠內事件 PSA 模型採用比利時電廠運轉經驗回饋進行更新，一階和二階 PSA 模式正在升級以符合 ASME 標準。

加拿大：說明加拿大核電廠在一階和二階 PSA 模式定期更新的狀態與範圍，以及電廠 PSA 的一些發展，包括嚴重事故管理準則(Severe Accident Management Guideline, SAMG)和移動式設備的評估流程。最主要的發展是完成 Pickering 多機組電廠的全廠 PSA，並進行風險加總(Risk Aggregation)。在回答提問時，加拿大代表補充說明全廠 PSA 有考量廠外事件。

台灣：政府對於非核家園的態度沒有改變，國內三座運轉中核能電廠將於 2025 年全部除役。目前 6 部機組已有 3 部停止運轉，最近因缺電問題，核二廠二號機已提出申請再轉。持續進行的 PSA 工作方面，已完成地震 PSA 及火災 PSA 模式更新。火災 PSA 的結果顯示主要的風險貢獻來自於多重誤動作(Multiple Spurious Operation, MSO)。

捷克：新的原子能法納入對 PSA 的要求；目前 Dukovany 電廠已建立二階 PSA 模式，且納入 IAEA 技術安全審查的建議；Temelin 電廠的 PSA 模式也大幅更新；在 PSA 的應用方面，則包括核電廠風險監視器，以及捷克監管單位所需之事件分析。捷克代表也進一步說明未來 Dukovany 和 Temelin 電廠 PSA 的改善計畫。

芬蘭：隨著數位儀控和其他現代化建設以及新電廠的建造，大量的監管審查正在進行中，STUK 強調 PSA 的建立與審查將用以協助有關許可程序之風險告知應用。在研究方面，STUK 正在開發一套評估工具，協助重要區域的安全配置，其指標可提供風險告知之監管。此外，芬蘭 VTT 技術研究中心也有很多計畫，進行 PSA 各方面的審查與改善。

法國：概述法國 58 部機組的 PSA 之狀態，包括火災、廠內水災、廠內爆炸、地震和廠外危害。一般來說，隨著定期安全審查的執行，爐心熔損和大量早期輻射外釋的風險已經降低。PSA 主要用於定期安全評估與設計延伸條件的分析外，也支援技術規範、先兆事件、緊急操作程序的評估、以及新電廠設計等。正在進行的研究包括擴大廠外危害(如廠外水災和氣候危害)的範圍、考慮長期和多機組的議題、納入人因分析相關議題，以及支援鈉冷卻快滋生反應器(sodium-cooled fast breeder reactor)研究等。

德國：隨著國家逐步淘汰核電的決定，最後一套定期安全審查已提交給監管單位審查。德國目前之研究著重於水災分析、一階 PSA 危害的自動整合、以及貝氏信念網絡(Bayesian Belief Network)的診斷與預測。德國也持續強化方法論，包括廠址 PSA、系統性的檢視危害和危害的組合、動態 PSA 方法的發展與應用、不同危害下之人為可靠度評估、火災 PSA 事件樹等。

匈牙利：新建電廠的準備工作正在進行；新版核能安全法規(含 PSA 相關求)，預計將在今(2018)年公布。今年已更新現行電廠的 PSA 導則，包括一階 PSA 和部分二階 PSA。Paks 電廠的廠外危害 PSA 範圍擴大至極端氣候現象和多瑙河外溢所造成的廠外水災事件，除廠外事件 PSA 的持續改善外，亦發展多機組一階 PSA 模式。未來將進行 Paks 電廠火災 PSA 改善、用過燃料池二階 PSA 的精進，並將福島事件後電廠的改善項目納入 PSA 模式。

印度：簡報印度核電廠進行一階、二階、三階 PSA 的更新情況，一階 PSA 包括廠內事件功率運轉模式、地震、廠內水災、大修廠內事件，爐心熔損頻率與系統可靠度目標皆依法規要求逐一檢視。目前正積極研究擬改進的領域包括人為可靠度分析(Human Reliability Analysis, HRA)、數位系統可靠度、及多機組 PSA 等。

義大利：簡報 ENEA 所領導的研究，包括福島事件後的經驗教訓、廠外事件風險評估；對於進步型反應器的安全，他們關注被動系統的性能評估，參與 WGAMA 在被動系統上的各項討論。ENEA 參與一系列的國際活動，如 IAEA 在被動安全方面的議題、以及歐盟技術安全組織(the European Technical Safety Organizations Network, ETSON)、歐盟展望 2020(Horizon 2020)所舉辦的活動。此外他也概述了米蘭理工大學正在開展的研究。

日本：簡報 NRA 的活動，包括仙台和高浜核電廠 PSA 評估已按照 5 年要求進行更新。日本代表詳細介紹電廠廠內火災與水災 PSA 模式，應用美國 HRA 工具進行評估，以及 NRA 如何應用 PSA 支援視察計畫。此外他也說明 CRIEPI 下的原子力風險研究中心 (Nuclear Risk Research Centre, NRRC)正在開展的研究，以利 PSA 的改善與風險告知決策制定之應用。

韓國：政府在 2015 年批准修改“核能安全法”，以加強事故管理方面的要求。韓國原子能安全委員會(Nuclear Safety and Security Commission, NSSC)和 KINS 已協助制訂相關法規要求與導則。其中一項改變為要求利用 PSA 來支援事故管理計畫。KAERI 正在進行的 PSA 相關研究包括多機組風險、三階 PSA、天然災害、二階 HRA。在電廠方面，韓國水電與核電公司(Korea Hydro & Nuclear Power, KHNP)為了滿足事故管理計畫的要求，正在發展多機組 PSA、二階與三階 PSA 的先進技術、及數位儀控的 HRA。

波蘭：持續進行建造核電廠的計畫，並考慮建造一個高溫氣冷式反應器 (High-Temperature Gas-Cooled Reactor, HTR)提供化工廠的需求。在 PSA 方面，監管單位透過積極參與 PSA 研究並與國外機構接觸的方式來培育人才。為了 HTR 和 MARIA 研究用反應器，波蘭國家核能研究中心(National Centre for Nuclear Research, NCBJ)已經參與 ASAMPSA_E (Advanced Safety Assessment Methodologies: Extended PSA)計畫，並打算參加其他 PSA 相關研究。

羅馬尼亞：管制單位已公布新法規及相關導則，以利國家核子保防與安全策略局 (National Strategy on Nuclear Safety and Security, NSNSS)之執行。此外，簡報中也強調羅馬尼亞核能研究所的 PSA 活動主要是為 TRIGA 反應器的 PSA 模型進行重新評估，以及進步型鉛冷式快中子反應器歐洲示範廠(Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator, ALFRED)的先期研究。

俄羅斯：簡報聯邦政府管制規範對 PSA 的要求與安全導則，並簡述一階和二階 PSA 的評估流程與所考量的肇始事件類型。在俄羅斯，PSA 用於支援設計和建造，且為定期安全評估的一部分，以利電廠延役、修改評估、監管告知等活動。此外，目前也考慮將 PSA 技術應用在放射性廢棄物處理設施的安全評估。

斯洛伐克：目前正在為 Mochovce 電廠 3 號和 4 號機組發展地震 PSA 和非地震之廠外危害 PSA。斯洛伐克代表也介紹 RELKO 團隊在 IAEA 多機組 PSA 計畫的參與情形。

西班牙：西班牙的 PSA 沒有甚麼重大的發展。電廠的 PSA 模式在大修期間需要更新。CSN 採用 PSA 來支援整體監管與先兆事件分析之辨識，電廠則利用 PSA 來支援定期安全審查、技術規範、維護法規、大修操作指引等之風險洞見。目前 CSN 正在執行二階低功率和大修 PSA 模式審查，以及火災 PSA 模式審查。至於 PSA 在下次定期安全審查所扮演的角色也正在檢視中。

瑞典：指出目前部分的 SSM 正搬遷至首都斯德哥爾摩之外，此舉引起員工的緊張。新管制法規的頒布已經確定延遲，但是政府仍規劃於 2019 年生效。在 PSA 監管方面，計劃於 2018 年對 Oskarshamn 核電廠進行定期安全審查；SSM 派員支援 STUK 進行 Fennovoima Hanhikiwi 1 電廠建造許可的 PSA 審查。此外提到的相關計畫包括三階 PSA、HRA 中的執行錯誤(Errors of Commission, EOC)、廠址風險、簡化地震方法、控制棒共因失效、不準度分析等。

瑞士：已制定有關 PSA 的新法規指引 ENSI-A05，主要的修改包括 HRA、概率式地震危害分析、其他廠外危害、二階 PSA 等。目前執行的國家計畫，主要是針對低超越頻率的河流外溢危害進行重新評估。另外，Mühleberg 核電廠在大修期間所提交的 PSA 模式中許多寶貴的洞見。

英國：介紹新建和現有核電廠 PSA 的進展情況。重點包括下列幾項：ONR 正針對用來支持 Hinkley Point C 電廠建造的 PSA 技術進行評估；Hitachi-GE ABWR 的一般設計評估已經完成，採用 PSA 來支持他們提交的評估報告；中國 HPR1000 正在進行一般設計評估；英國所有的進步型氣冷式反應器(Advanced Gas-cooled Reactor, AGR)和 Sizewell B 壓水式反應器電廠都有活態 PSA 模式；ONR 的監管架構是以風險為中心，並在 ONR 網站上提供 PSA 適用的相關導則。

美國：NRC 的環境正在發生變化，如員工的高齡化、經費壓力、資訊與資訊科技的技術進步等。PSA 的導則也不斷更新，包括風險整合、風險告知決策制定之 PSA 使用、廠外危害、概率式水災危害評估等。在電廠執照許可與監管視察方面，已越來越多風險的

應用。持續進行的研究領域包括：SPAR(Standardized Plant Analysis Risk)模式、廠址 PSA 整合、火災研究、水災 PSA、HRA、風險告知決策制定等。

2.1.3 國際組織報告

IAEA:概述 IAEA 在 PSA 方面的活動,這些活動幾乎由原子能安全保安局進行。IAEA 成立一個 PSA 工作小組,負責協調與 PSA 相關的技術安全審查、教育和培訓計畫的安排,以及與 PSA 相關的文件出版。IAEA 目前正在發展新的 PSA 安全導則,TECDOC-1804 是最近出版的技術文件之一,內容為全範圍(Full Scope)一階 PSA;即將出版的 TECDOC 文件則探討整合的風險告知與決策制定(Integrated RIDM)。此外也介紹 IAEA 在 HRA 安全報告的發展與內容,以及建立多機組 PSA 的方法論,此份技術文件預計將於 2019 年更新。另外,IAEA 還有兩項任務,一項是有關多機組 PSA 案例研究與基準化分析(benchmark);另一項則是有關風險加總的議題。

VVER(Water-Water Energetic Reactor)管制單位論壇 PSA 工作小組:小組每年舉行兩次會議以促進資訊交流,其任務為針對下列議題持續進行比較,包括:廠外危害 PSA 方法和法規、以 PSA 檢視福島事件的教訓、監管風險告知與決策制定的框架、風險告知視察作業、年度大修風險評估、維護有效性監測、風險告知監管指標系統等。此外,PSA 工作小組也參與 ASAMPSA_E 計畫的活動。另外,提出下次會議建議的工作任務,共 7 項(前 5 項為新任務,後 2 項延續性任務),內容如下。任務 1:比較維護有效性監測方法與國內對應之作法在結構、系統、組件(Structures, System or Components, SSC)之性能評估結果,其資訊之可用度;任務 2:PSA 在電廠壽命管理所扮演的角色;任務 3:電重要的改善案;任務 4:PSA 應用於儲存設施之方法;任務 5:自 2007 年以來一階和二階 PSA 的現況與發展;任務 6:之前的建議與執行情況;任務 7:更新風險告知管制指標系統(Risk Informed Regulation Indicator System, RIRIS)。

2.1.4 WGRisk 工作小組報告

(1).廠外事件 PSA 之人為可靠度分析 [Task 2015(1)]

由瑞士代表簡報，說明 2017 年 5 月已發送問卷，調查有關 HRA 方法及目前廠外事件 PSA 之 HRA 的應用，並提供兩份問卷回覆的範例。已依據來自 9 個國家的 11 份問卷回覆完成一份報告草案，作為 2018 年 10 月舉行擴大任務小組研討會的起點，並將該報告納入研討會的結果。這項任務預計 2019 年 6 月完成，非常歡迎大家提供有關特定人為表現之事件的調查回覆與經驗。此外，對於 2019 年想以 WGRISK 的核准來取得 CSNI 的背書而言，今年 10 月擴大任務小組研討會的提名和貢獻將非常有用。

(2).全廠址 PSA(含多機組 PSA)的發展 [Task 2015(2)]

由加拿大代表簡報，說明第一階段的進展已依據該任務核心小組的意見選擇三個重點領域，分別是風險整合、多源項交互作用或相依性關係、風險矩陣與安全目標，並為每個重點領域設計問卷。調查結果已彙整成報告草案，並由加拿大代表總結。該任務的第二階段是由 GRS 於 2018 年 7 月在慕尼黑主辦的研討會，主要是針對第一階段的報告草案結果進行討論。該會議的論文摘要提交截止日期已延長至 2018 年 3 月底，大會主席鼓勵 WGRISK 成員踴躍參加。

(3).會員國與非會員國之 PSA 使用與發展 [Task 2015(4)]

由法國代表簡報 PSA 的新進展與成果，以利更新 2012 年的報告。該任務核心小組已修訂報告架構，減少議題的重複性，且在每個主題下提出福島事件後的見解，此外也針對國際活動增加一個章節。此項任務的問卷調查主要來自 21 個國家的貢獻，大部分是在 2016 年回覆的。調查結果已彙整成報告草案並送交任務小組與 WGRISK 主席團，且得到寶貴的意見。此外，自 2016 年發送問卷以來，PSA 也有一些進展，有助於整個報告的有用性與完整性。報告完成日將延遲至 2018 年 12 月的 CSNI 會議，以利 WGRISK 的一般回饋意見送交 CSNI 會議討論，確保評論的意見得到適當的處理，另外，各章作者也有足夠的時間更新 PSA 最近的重要發展。

(4).更新火災 PSA 之技術意見書(Technical Opinion Paper, TOP) [Task 2016(1)]

由德國代表簡報，說明火災 PSA 之技術意見書的更新情況。WGRISK 已於 2018 年 1 月發布一份最終草案徵詢大家的意見，許多會員國已發表廣泛的意見，由於任務小組需要額外時間來處理評論，可能無法於 2018 年 6 月送交 CSNI 會議。未來工作將透過電子郵件繼續處理意見的審查與修訂，以獲取 WGRISK 會員國的同意，希望 2018 年 12 月能得到 CSNI 的背書。

(5).數據庫聯合計畫研討會 [Task 2017(1)]

由德國代表簡報，該研討會目的是分享當前使用的數據庫資料與洞見，用以支持核能電廠的 PSA。研討會訂於 4 月 26-27 日在 NEA 總部舉行，截至 WGRISK 年會期間為止，已有約 20 名登記參加。預計進行八場研討論，會議報告將於研討會後撰寫，以利 2019 年 6 月提交 CSNI 批准。

(6).數位儀控 PSA [Task 2017(2)]

該項任務由芬蘭和韓國共同領導，將針對各種可能的數位儀控建模方法提供洞見，並交付成果報告。2017 年 11 月舉行過一次會議，討論簡化的電廠模型特徵可用於模型的比較，並於 2018 年 2 月發送參與國有關簡化的電廠模型修訂說明，接下來將在 2018 年 6 月和 10 月透過線上會議進行討論。

(7).更新地震 PSA 之技術意見書(Technical Opinion Paper, TOP) [Task 2017(3)]

由瑞士代表簡報，說明 TOP 包含概率式地震危害分析、電廠回應與脆弱度分析、風險告知與決策制定之地震 PSA 建模與使用，草案報告將於 2018 年 3 月底以前送交 WGRISK 主席團與任務小組徵詢意見。之後，修訂的草案則於 2018 年夏季送交工作小組審查。隨後，最終的版本將於 2018 年 12 月送交 WGRISK、WGIAGE、WGEV(Working Group on External Events)等工作小組審查，這意味著該項任務將於 2019 年 6 月完成。因此，WGRISK 成員建議將 WGIAGE 和 WGEV 納入 2018 年夏季的審查，以獲取更多的時間進行意見審查。

2.1.5 WGRISK 參與的國際會議與研討會

(1). Nordic PSA Castle meeting (April 26-27, 2017, Sweden)

北歐 PSA 城堡會議於 2017 年 4 月 26~27 日在瑞典舉辦，有來自各個北歐組織的 30 名代表與會，提供他們國家最新的 PSA 活動近況，主題包括 PSA 除役、用過燃料池 PSA、可靠度分析、福島後續行動、廠址 PSA、三階 PSA 等。

(2). Topical PSAM on HRA (June 7-9, 2017, Munich)

HRA 主題之定量安全評估與管理會議於 2017 年 6 月 7~9 日在慕尼黑舉辦，會議聯絡人是瑞士代表 Mr. Dang。該會議約 70~80 人參加，他們來自不同國家，有些甚至是核能以外的部門。會議議程整理好後會在 WGRISK 的網站建立連結。

(3). ESREL 2017 (June 17-22, 2017, Slovenia)

第二十七屆歐洲國家安全與可靠度會議於 2017 年 6 月 17~22 日在斯洛維尼亞舉辦，該會議提供一個論壇，以利討論有關風險、安全與可靠度領域的理論和方法及其應用。此外也提供研究人員、業界、學者、工程師面對面經驗交流的機會。

(4). ANS PSA (September 25-28, 2017, Pittsburgh)

美洲核能協會 PSA 會議於 2017 年 9 月 25~28 日在匹茲堡舉辦，該會議的規模比一般的會議小一點，WGRISK 投了幾篇論文。會議的主題有事故耐受燃料、廠外危害、多機組 PSA、動態 PSA 等。

(5). PSAEA – 20th Technical Meeting (October 19-20, 2017, Petten)

第二十屆 PSA 事件分析技術會議於 2017 年 10 月 19~20 日在荷蘭舉辦，會中有 15 場有關風險基準前兆分析之經驗討論與國家政策方針，以及一些特定的案例研究和 PSA 事件分析。

(6). Asian Symposium on Risk Assessment and Management (November 13-15, 2017, Yokohama)

亞洲風險評估與管理論壇於 2017 年 11 月 13~15 日在橫濱舉辦，有超過 150 人參加和 70 場技術專題報告，涵蓋的主題有廠外事件、一階、二階、三階 PSA、多機組 PSA。

(7). ETSON 1-day workshop on lessons learned by TSOs from PSA (November 8, 2017, Fontenay-aux-Roses, France)

歐盟技術安全組織於 2017 年 11 月 8 日在法國舉辦研討會，針對技術安全組織 (Technical Safety Organizations, TSOs) 在 PSA 領域的經驗與教訓進行交流。會中共有 14 場演講，並就 PSA 範圍、PSA 在決策制定的應用、PSA 改進建議、PSA 接受度的阻礙等問題進行簡短討論。目前 ETSON PSA 專家小組針對會議結果報告進行討論。

WGRISK 會員國所關注且即將召開的會議如下表，屆時將有會員國參加或發表論文。

會議名稱	日期	地點	備註
WGEV Riverine Flooding Workshop	3/21-23, 2018	法國 巴黎	WGRISK 瑞士代表參加
ESREL 2018	6/17-21, 2018	挪威 特隆赫姆	
PSAM14	9/16-21, 2018	美國 洛杉磯	WGRISK 成員參加並發表論文
Asian Symposium on Risk Assessment and Management	10 月, 2018		
ANS PSA 2019	4/28-5/3, 2019	美國 查爾斯頓	論文摘要截止日 8/13, 2018
ESREL 2019	9/22-26, 2019	德國 漢諾威	
NRRC Workshop on Risk Management Improvement	2018 年底或 2019 年初	日本 東京	

2.1.6 與其他 NEA 工作小組的合作

由 WGEV 秘書長介紹工作小組活動的最新情況，說明已完成惡劣天氣下風暴潮的探討，最終報告已獲得 CSNI 的批准。廠外危害篩濾方法已完成草案報告，WGRISK 主席團也就此提出建議，該報告預計 6 月提交 CSNI 會議批准。2018 年 3 月 21 - 23 日在巴黎舉辦有關河流外溢之水災 - 危害評估和核裝置保護研討會，其對廠外水災的防護措施的概念與定義，於 2017 年 12 月已通過 CSNI 的審查同意。就新工作而言，目前正在準備 CSNI 活動提案單(CAPS)，以提供廠外事件的危害頻率與模型規模之驗證進行基準化分析。

WGEV 已要求 WGRISK 針對 CAPS 及報告發表評論，WGRISK 秘書長於年會召開期間已將 CAPS 送交 WGRISK 成員，並於 3 月 13 日之前回覆。

2.1.7 技術討論

本屆年會技術討論的主題是「PSA 應用於風險告知決策制定與安全管理」，由捷克代表主持。本次共有 6 個專題演講，分別由英國、德國、比利時、瑞典、捷克、匈牙利等會員代表簡報，內容如下。

2.1.7.1 將風險告知設計流程應用於英國 ABWR

日立通用電氣(Hitachi-GE)公司將依據日本 ABWR 增強型設計的基礎，在英國建立 ABWR 電廠，目前英國 ABWR 的一般設計評估(Generic Design Assessment, GDA)已完成，PSA 評估結果顯示廠內事件的個廠風險已符合標準，社會風險之基準安全目標(Basic Safety Objective, BSO)目前些微超標，而廠內火災、水災和地震的評估受到現有設計細節的限制，將採用合理可行之最低風險原則(As Low As Reasonably Practical ,ALARP)進一步評估火災、水災和地震的挑戰。管制單位已於 2017 年 12 月核發設計驗收確認書(Design Acceptance Confirmations, DAC)。

目前 PSA 在電廠的應用如下：

- 增加特定管段厚度，降低介面系統爐水流失事件(Interfacing systems Loss of coolant accident, ISLOCA)的風險
- 改善大修排程，避免特定電廠運轉狀態(Plant Operational State, POS)產生不成比例的風險
- 燃料裝卸機與反應器廠房橋式起重機的單一失效保證設計，將重物掉落事件降到最低
- 透過程序書與訓練將風險顯著的人為誤失降到最低
- 聯鎖設計，避免發生風險顯著之肇始事件
- 聯鎖設計，減緩風險顯著之廠內水災情節

- 特定的分區內邊界以防火等級區隔，降低多隔間火災風險
- 確保風險顯著的電纜通道有足夠的位置或可供使用的電纜管道

此外，PSA 也用於支援設計選擇或基準設計合理性的決策制定，如：

- 靈敏度分析以供特定系統之詳細設計變更
- 提供變更的類別與等級之理由
- 提供特定系統之可靠度聲明
- 決定偵測試驗週期
- 提供反應器降壓之系統設計的選擇
- 提供嚴重事故對策之選擇
- 支援經驗淘汰法(Practical Elimination)的論證

2.1.7.2 定期安全審查之外的 PSA 應用

德國 PSA 專家工作小組的主要任務是修訂 PSA 技術文件；針對國內與國外之 PSA 方法、應用和重要結果提供技術與經驗交流資訊；就方法、數據和程序方面的新發展進行技術討論；確定與核能電廠 PSA 實施相關之技術一致性或意見分歧等問題。為確保 PSR 之外的 PSA 應用得到支持，專家工作小組於 2018 年 1 月公布新版報告，內容描述報告的方法架構，並提供在 PSR 範圍以外之情況下，逐案使用概率式考慮的例子，以解決具體的問題，這些問題主要是與運轉期間之電廠變更、操作變更、安全相關事件之評估有關。報告所述的方法是經由篩選過程決定每個問題對 PSA 結果的影響及影響的範圍，並考慮時間獨立性的因素，最後以五個實例進行驗證。簡報中提供一個有關消防系統潛在水災情節之風險評估案例，說明如下。

問題描述：核電廠電氣廠房內的滅火用水是由消防水主管路供應，進水端從建築物地下室進入，經過樓梯上的立管供應不同樓層的滅火系統。在地下室有一個開啟狀態的隔離閥，控制消防水主管路，當消防水主管路洩漏時，必須手動將隔離閥的位置調至關閉狀態。為解決問題，考慮將電氣廠房的消防水主管路與其他管路隔離，則消防水主管路必須分開並斷開連接，這種作法對電廠而言也有點困難。在無法解決問題的情況下，可能導致

樓梯內部淹水，或透過門下間隙進入比較高的房間，使電氣櫃和斷路器浸水的高度不斷增加。

解決方法：先針對該情節的損害頻率進行研究與分析，由於考慮管路被隔離後，水可能從較高的樓層流到機櫃，因此洩漏頻率依據線路長度與材質的假設進行保守估計，洩漏的大小也保守認為與管路破裂的大小相同。如果消防水主管壓力下降，則要求消防水泵供水給系統。在假設未直接偵測到洩漏的情況下，消防水泵將繼續運轉，使消防水泵的打水容量與洩漏流量相同。電氣廠房房間水位的增加是針對不同的情節進行模擬的，(例如在淹水期間由於水壓使地下室的門打開或關閉等情境)，並測量門下的間隙以模擬實際狀況。模擬的目標是估計洩漏補水必須停止的最晚時間，以免補水量的高度淹過電氣櫃，由於無法準確評估開關櫃所有機櫃的淹水後果，因此假設一旦水位到達機櫃底部就會造成損壞。另外，洩漏診斷、定位、洩漏隔離等人為動作也很重要，應考量列入評估。

評估結果：概率評估結果顯示，成功洩漏隔離的寬限時間很短，所分析的情節對危害的貢獻不可忽視；電氣廠房中消防水主管路洩漏所引起的危害頻率與洩漏發生頻率一樣高；為了減降低風險，建議用常閉型的電動閥取代電氣廠房地下室的開啟狀態的手動隔離閥，該電動閥在電氣廠房發生火災時會自動打開，此外，為防止閥門開啟時的消防水管壓力波動危及管道的完整性，閥門前的管路應通過小直徑的旁路閥和限流器連接到閥門後面的管路以維持壓力。考量上述建議後之再評估結果如下：

- 廠房進水口與常閉型電動閥門之間的管道長度，由於長時間被隔離在廠房外面，因此其危害頻率保持不變，但由於管道較短，臨界洩漏的發生頻率較低
- 對於常閉型電動閥之後的管道，洩漏發生頻率明顯低於修改前的頻率
- 每個管道長度皆處於常壓狀態，其危害頻率幾乎保持不變
- 旁路閥和限流器的流量明顯較低
- 這些對策可延後淹溢時序的成功概率較高
- 從消防安全的角度來看，由於火災發生時電動閥門會自動打開，確保滅火用水之供應，這種情況將使得淹水的情況更嚴重，因此防止廠內水災事件之強化作為應與消防安全之降低相比較，以決定適當的做法

- 評估結果顯示總體風險顯著降低

簡報最後提到，該案例之廠內水災情節有可能發生，因此需評估其風險貢獻，首先針對情節的潛在危害進行篩濾與分析，由於情節被評估為具有風險意義，所以改善建議也採用明確的 PSA 建模來評估，如調整火災 PSA 中的電氣廠房消防供水失效率來評估火災風險的變化。PSA 專家工作小組則須對模式修改進行全面評估，部分則針對修改前和修改後進行比較，而電廠 PSA 模型的修改也已在 PSR 中完成。

2.1.7.3 比利時 PSA 應用於風險告知決策制定與安全管理之情況

比利時有兩個核電廠(Doel 和 Tihange)，都是屬於壓水式電廠，其 PSA 是由 Tractebel 工程顧問公司負責執行，在廠內事件方面，已完成全部機組的一階 PSA，而二階 PSA 目前已完成四個機組；在廠內危害(火災，水災)方面，也完成全部機組的一階 PSA，而二階 PSA 目前只完成一個機組。

在比利時，PSA 應用是依據法令的要求，主要用於支援核電廠的修改案、可靠度為主的維護策略與系統安全報告、風險監測所需之風險矩陣、提供運轉員訓練與課程評估所需之 PSA 事件分析等，說明如下。

(1) 電廠改善案的建議

當電廠計畫提出改善案時，必須準備相關資料，如改善案對爐心熔損頻率(Core Damage Frequency, CDF)的影響，以及避免 CDF 增加的建議，送交管制單位審查。以舊機組的爐心冷卻系統為例，因主電路和系統之間只有一條連接線。擬提出電廠改善增加一條連接線，但要使用哪種閥門類型或安全機制的選擇？依據 PSA 的評估，建議使用常閉型電動閥，並採用失效安全位置(fail-safe position)的機制。另一個案例是有關蒸汽產生器水位過低時擬自動啟動緊急飼水泵的電廠改善案，透過 PSA 評估結果，藉以取代之前手動啟動的程序，防止主飼水(Main Feed Water, MFW)與輔助飼水(Auxiliary Feed Water, AFW)的損失，確保改善案的安全。

(2) 長期運轉

PSA 最近用於決策制定的案例是有關於電廠的執照更新，電廠必須先找出主要安全問題(Main Safety Issues, MSIs)，然後再從 PSA 風險增量的觀點，針對這些 MSIs 與相關電廠改善建議進行分析與量化，並完成評估報告。舉例來說，PSA 的分析用於：

- 提高通風系統（2 個相同風扇）的可靠性，以利圍阻體噴灑泵和低壓安全注水泵等機電室的冷卻。針對三種解決方案建立 PSA 模型：2 個不同的風扇（無共因失效）、3 個相同的風扇（考量共因失效）、添加與現有兩個風扇不同的第三個風扇，分析結果顯示，第三種方案 CDF 降低最多（約 1%）
- 針對主泵密封的冷卻，以 PSA 評估安裝一台新泵浦的效益
- 針對組件冷卻系統(Component Cooling System, CC)迴路，以 PSA 評估安裝互連自動化機制的效益
- 以 PSA 評估各種有關冷卻塔(cooling towers)可靠度的改善案
- 以 PSA 評估大修冷卻 (Shutdown Cooling, SC)系統被動失效之可靠度的改善案，如某些可能導致 SC 系統全部損失的管道，結果顯示 CDF 下降 2%

(3) PSA 洞見的建議

針對廠內事件 PSA 模式，PSA 洞見的建議如下：

- 在 EOP 新增有關主要的飼水與排水的人為操作。之前，因為新增相關的緊要系統，所以此項操作已從 EOP 中移除，其對應的人為誤失機率(Human Error Probability, HEP)很高(約 1E-01)，且用於很多序列中。經 PSA 評估，若將主要的飼水與排水人為操作列入考慮，則重新量化之 HEP 約 6E-03，且 CDF 也明顯下降。
- 針對壓縮空氣系統新增一些管路和閥門，以利保全系統失效時能使用正常的壓縮空氣系統。
- 針對廠內火災 PSA，提出相關建議，如目前的電纜佈線、防火對策、目前的 EOP、運轉員的認知等。

(4) PSA 事件分析

PSA 事件分析的目的是評估事件或事故的重要度；提供建議避免發生類似事件；針對其他電廠運轉狀態或失效進行假設(what-if)分析，通常 CCDP (Conditional Core Damage Probability)大於 $1E-06$ ，則為先兆事件，如果高於 $1E-04$ 則為重要先兆事件。以下以 Doel 雙機組之組件冷卻系統為例，進行 PSA 事件分析。

系統描述：組件冷卻系統共有四台生水泵供 Doel 一號機和二號機使用，一號機有 A 和 B 兩台，二號機有 C 和 D 兩台。由於管道連通的設計，一號機可使用二號機的生水泵，反之亦然。當所有的生水泵喪失功能時，會導致化學與容積控制系統(Chemical and Volume Control System, CVCS)和組件冷卻與高壓安全注水同時失效，此時緊急主泵密封注水系統是唯一可以避免爐心熔損的系統。

事件描述：生水泵初始狀態是 A 台和 C 台運轉，B 台因維護作業而停止使用，D 台則處於備用狀態。事件是發生在執行 D 台維護作業時，在未告知主控室的情況下就先將螺栓打開，然後又錯誤地啟動正在運轉的 A 台(正確操作應該啟動 B 台)，導致泵 A 發生漏水。主控室運轉員於是決定停止 A 台泵浦並啟動 D 台泵浦，並打開 Doel 1 和 Doel 2 之間的互連機制，但是泵 D 的螺栓已被打開，造成第二次的漏水。現場消防隊決定前往生水泵室查看情況，結果發現生水泵 C 台和 D 已幾乎被淹沒，因此立即連絡主控室運轉員並採取矯正措施。

評估結果：針對上述事件進行事件分析(包括評估生水泵 C 台過載的風險，以免 D 台跳機)，其 CCDP 為 $3.11E-03$ 。此外也進行假設分析，針對生水泵室淹水導致全部的生水泵都失效的 CCDP 為 $2.32E-02$ ，並得到下列結論。

- 消防隊的快速介入可避免重大情節的發生
- 經過這次事件後，生水泵及昇水閥已加貼標籤，避免誤操作，此外也安裝新的感應器與排水裝置，延遲泵室的淹水情況
- 已詳細研究有關緊急主泵密封注水系統的可靠度

2.1.7.4 Forsmark 電廠在福島事件後 PSA 與 HRA 之行動措施

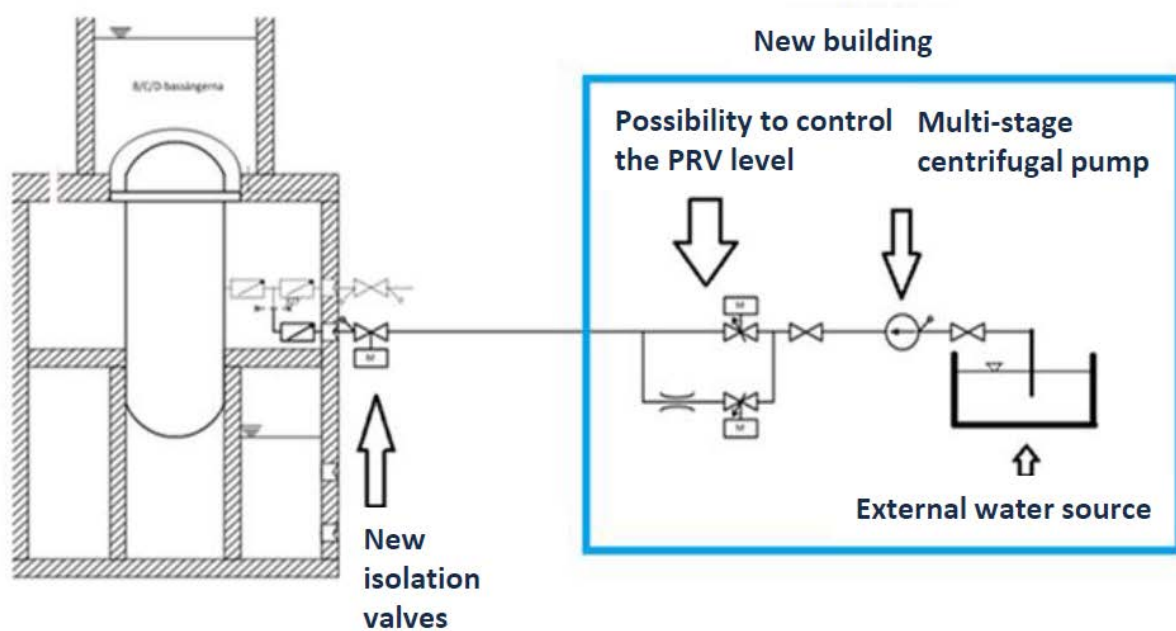
Forsmark 核電廠將進行一些福島事件後的電廠改善與程序更新，確保電廠能延後喪失交流電源及最終熱沉。執行的步驟以時間區分，2017 年先採用移動式設備的”過渡解決方案”；2019-2020 年建立各機組之獨立爐心冷卻功能，並以 PSA 進行分析，分別計算 2017 年之後以及 2019-2020 之後 CDF 降低的情況。目前增加的現場移動式設備如下，並與一家救援公司簽署協議書，以利事件發生時之人力支援。

- 移動式柴油發電機
- 室內加熱器
- 室內冷卻器
- 柴油驅動照明杆
- 各種手動工具

針對延後喪失交流電源及最終熱沉、低溫、高溫、暴風雪、強降雨、強風等事件發生，移動式設備是提高穩健性且降低成本的一種快速方法。在 2019-2020 年之前對於移動式設備的需求最為明顯，之後各機組之獨立爐心冷卻功能將取而代之。

引進新的移動設備意味著許多人為操作必須採用 HRA 進行評估，人因失誤率預測法 (Technique for Human Error-Rate Prediction, THERP) 是一種工程判斷的方法，用以分析運轉員操作所需時間、分析的時窗(time windows)、計算認知及手動操作的人為誤失機率(Human Error Probability, HEP)、通常認知的 HEP 採用工程判斷經驗值；手動操作 HEP 則參考 THERP 對照表。Forsmark 一、二、三號機已於 2016-2017 年期間，將人為操作和新技術的設備加入 PSA 模式，此外，除了針對福島事件後 PSA 更新，也進行強化 PSA 評估範圍的模式更新，預計 2018 年送交管制單位審查。

2019-2020 年的規劃與執行現況說明如下，目前正在興建 Forsmark 一號機和二號機所需的廠房；之後也會興建類似的廠房提供三號機使用，預計 2020 年 12 月 31 日以前啟用，以符合管制單位要求。新廠房的設計如下圖，目的是讓新泵浦和水槽能在事故情節中保持給水流量；控制反應器壓力槽(Reactor Pressure Vessel, RPV)的水位並保持燃料池水的水位；透過過濾排氣系統將餘熱移除。



除此之外，由於獨立核心冷卻功能還需要一些手動操作，因此需針對運轉員的操作進行分析，電廠人員進行訪談，決定分析的時窗(time windows)，以利 HEP 之計算。

2.1.7.5 捷克核能電廠在 PSA 應用的情況

主要介紹 PSA 用於捷克核電廠安全評估的情況，並提供 PSA 如何在維護和停機計劃期間提供風險監控的具體案例。另外也介紹 PSA 應用於改善案之決策與評估的案例，如提高最終熱沉的可靠度；決定柴油機維護的最佳操作模式。詳細說明如下。

(1) 強化電廠安全之 PSA 模式更新

執行活態 PSA 計畫，持續進行 PSA 模式更新，逐漸降低電廠風險，且為電廠的設計與運轉改善案把關，避免電廠的風險增加。PSA 的應用可創造電廠安全與效率提升的雙贏優勢，因此必須持續考量 PSA 模式更新的需求，以利 PSA 的實際應用。以下列出 PSA 模式更新應注意的事項，包括：

- 電廠設計之所有安全相關的變更，如有些可降低風險的新產品，但有些新變更也可能使風險提高
- 電廠運轉所採行的新事證與經驗回饋
- PSA 最新發展的精進方法

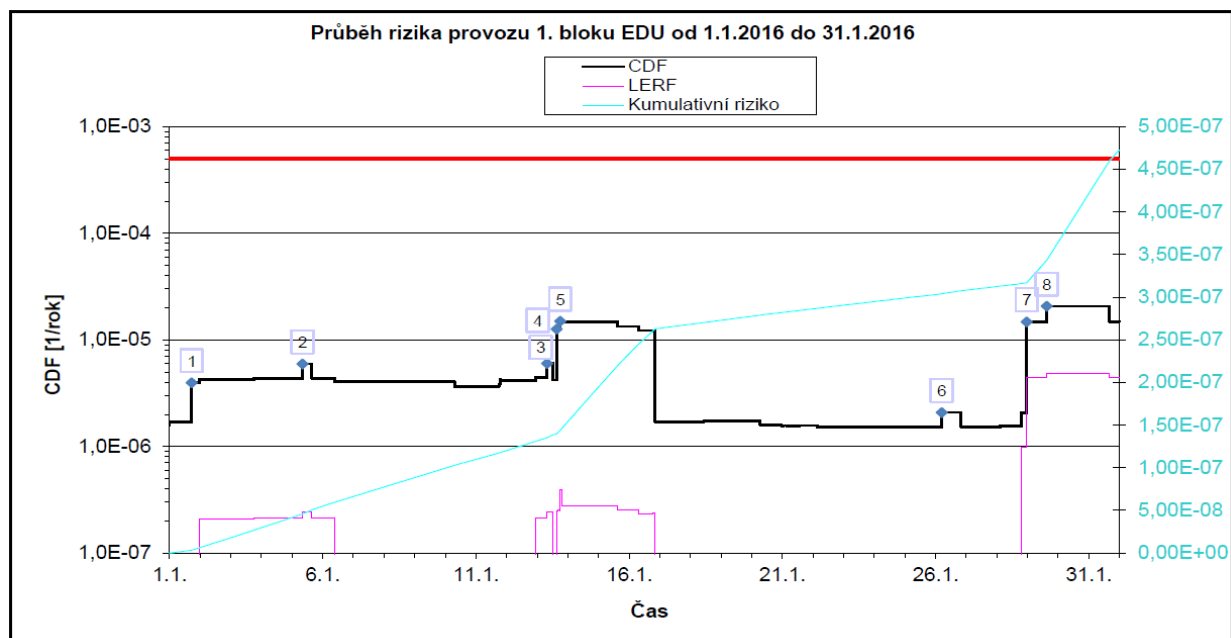
- 新分析結果之可用性

(2) PSA 應用於風險導向之決策制定

捷克電廠採用 PSA 技術提供風險導向之決策制定的案例很多，如廣泛應用於大修規劃和線上維修之風險監測；福島事件後的電廠設計與運轉改善案，以利電廠長期運轉，並進行功率提升，提高運轉效能；修改電廠技術規範；程序書建立；支援訓練；從影響安全的角度進行設備分類；事件分析等，茲詳述如下。

在電廠運轉期間之風險監測方面：定期針對過去一個月內的離線風險評估進行內部審查，且每三個月向管制單位提交風險概況。年累計風險評估需記錄於 PSA 摘要報告，並定期更新電廠安全報告。以下為瞬時風險之 CDF 風險等級準則，LERF 則下降一個量級，Dukovany 電廠一號機一個月的運轉風險輪廓圖如下圖所示。

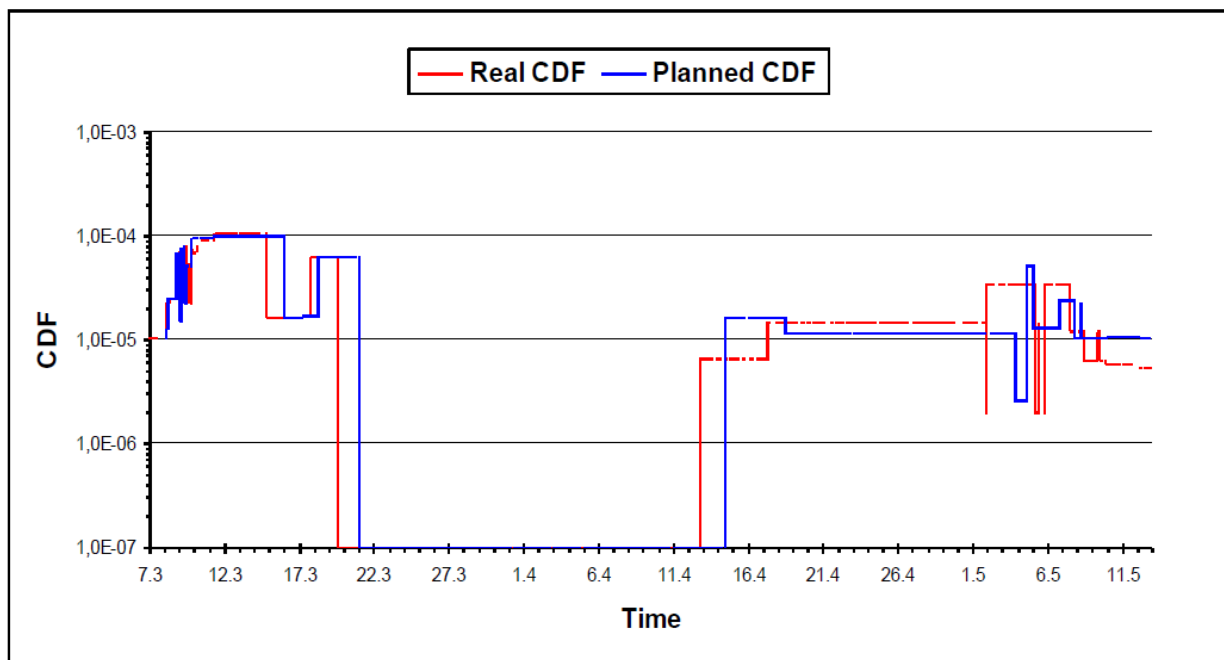
- 綠色：小於 $1\text{E-}5$ ，安全無虞
- 黃色：介於 $1\text{E-}5$ 與 $1\text{E-}4$ 之間，風險警示
- 橙色：介於 $1\text{E-}4$ 與 $1\text{E-}3$ 之間，須訂定管制措施
- 紅色：大於 $1\text{E-}3$ ，需立即執行電廠冷停機



在電廠線上維修之風險監測方面：以風險監視器進行事先評估，以利管制單位進行線上維修之審查，在線上維修期間，PSA 專家需全程配合且備置風險監視器，隨時

進行安全重要設備失效之風險計算，並比較新的風險等級與管制準則($ICCDP < 5E-7$, $ICLERP < 5E-8$)，決定是否採取措施。

在大修排程規劃之風險監測方面：在每次大修前兩個月須依據初始大修排程進行第一次評估，並視需要準備風險相關的意見與建議措施。第二次評估於大修前兩周進行大修排程加上工作單的風險評估，並視需要訂定改善措施，訂出修正後的最佳排程。大修之後的後續評估則進行大修規劃排程與實際風險概況加上風險意見之差異比較，風險輪廓圖如下所示。此外，大修期間需監測用過燃料池的風險。另外，當風險高峰值之 CDF 大於 $5E-4$ ，則建議更改大修排程。



(3) PSA 應用於電廠改善案之決策與評估

提出兩個案例，一個是高強度廠外事件引發最終熱沉的問題，另一個是特定機組運轉組態下有關用過燃料池的風險，並與大家分享 PSA 應用於電廠改善案之決策與評估的經驗。詳述如下。

案例一：高強度廠外事件引發最終熱沉的問題

在 2008 年以前就已經發現一些高強度廠外事件，尤其是極強風，這種廠外危害對風險的貢獻非常高。主動式冷卻塔(也就是所謂的風扇冷卻塔)是原始電廠的設計，卻以被動式冷卻塔代替，其阻力與操作程序並不理想。在福島事件之前的討論，PSA 提出

缺少廠外強風最終熱沉的重要結論令人質疑，但這個意見在福島事件之後卻明顯改變，反而支持 PSA 的結果，認為缺少最終熱沉是重大的發現。因此安裝新的主動式冷卻塔，讓廠外事件引發之電廠風險顯著降低，由於這是一個設計變更案，必須配合修改程序書，才能產生預期的效果。

在安裝通風機冷卻塔時，廠用海水需停止運轉一段時間，這部分的修改案是在全功率運轉期間進行，PSA 允許從電廠運轉規範中暫時豁免，而管制單位訂定的風險相關準則在執行上也大幅放寬。此外，風險監測也是改善案的一部分，其估計的瞬時和累積風險增量低於大修期間執行修改案之風險。整體來說，此項改善案每個機組在全功率運轉期間節省了 2,200 至 3,000 萬歐元。

案例二：regimes7 號機特定運轉組態下有關用過燃料池的風險

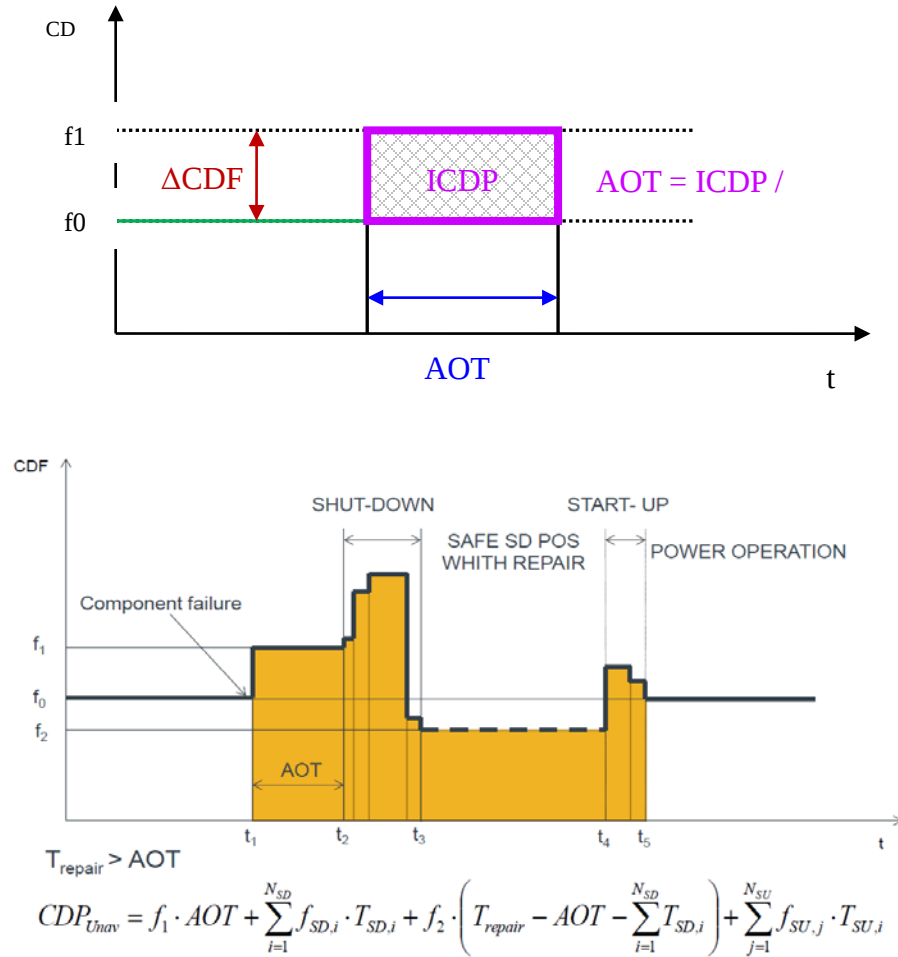
維護產生的特定組態為兩串柴油發電機不可用（一個 DG 直接維護，另一個 DG 的電源路徑上有一個匯流排也在維護），由於運轉的 regimes 6 號機和 7 號機同時允許維護兩台柴油發電機，相對提高潛在喪失用過燃料池冷卻功能的可能性。建議在運轉中的 regimes 6 號機和 7 號機不要同時維護兩台柴油發電機，應選擇在運轉的 regimes 1 號機進行線上維修較佳。依照此項建議，可在功率運轉和大修期間產生較低的風險，此法是一個雙贏的案例。

2.1.7.6 風險告知應用於不可用度管理

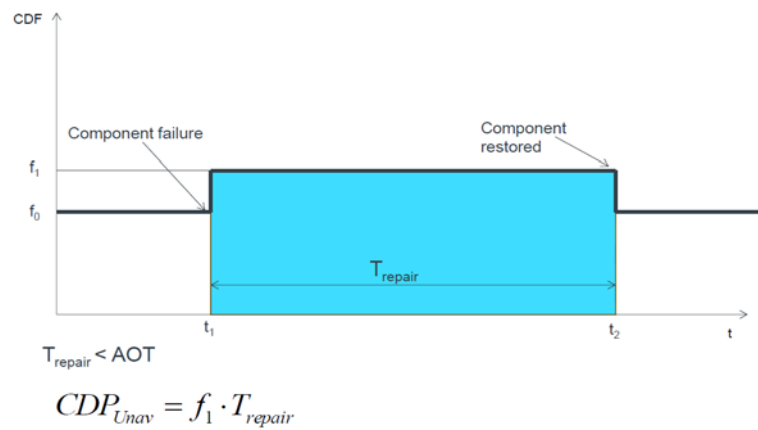
介紹 Paks 核電廠針對法規規定的不可用度所採用的平衡時間法(balance time methodology, BT)，該法依據停機和啟動期間爐心熔損風險變化的計算結果，取代允許停用時間(Allowed Outage Time, AOT)，以利評估能否安全地進行線上維修，並舉例說明平衡時間法可提供更長時間進行線上維修。

依據法規對實際不可用度的要求，電廠在技術規範規定了限制運轉狀態(Limiting Condition for Operation, LCO)，包括組件的不可用度，這些限制主要基於工程判斷，如設定 AOT 等於 24 小時(AOT = 24 h)。新版核能安全管制條例提出必須以較新的評估工具協助 AOT 的修改與建立，且決定 AOT 的方法必須考慮潛在的機組停機和啟動所造成的風

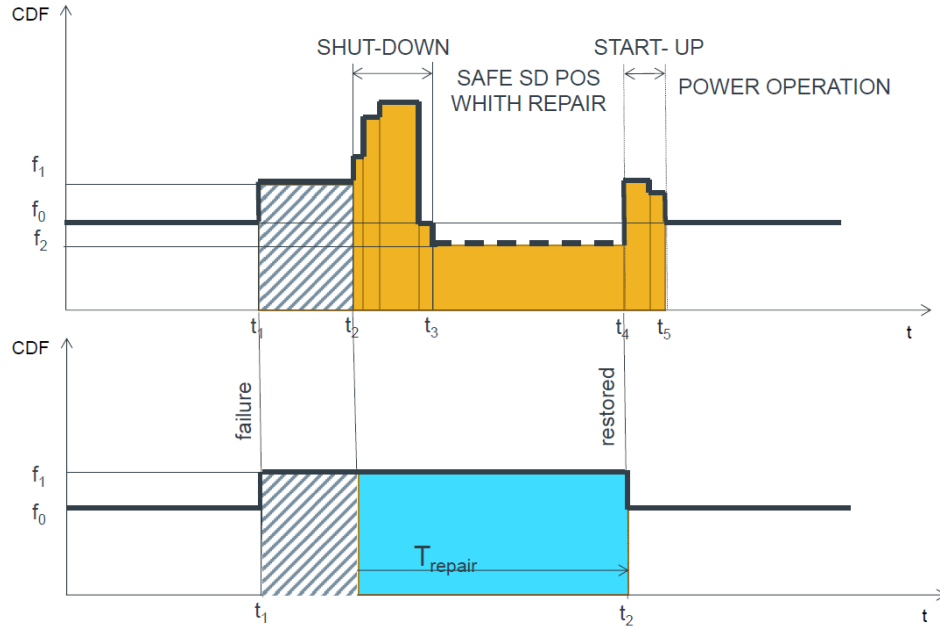
險。傳統 AOT 的計算是將 ICDP 除以 ΔCDF (如下圖)，此法遭到管制單位的駁斥，認為電廠並未考慮停機和啟動所產生的風險(如圖所示)，因此必須提出一個新方法以符合法規要求。



當組件維修時間比 AOT 短的時候，我們只需考慮上圖的 t_1 與 t_2 區間，則不可用度的計算如下圖所示。



平衡時間法目的是想找到一個平衡的時間長度($T_{balance}$)以取代 AOT 的作法，因此在上述兩圖形面積相等下，可得出組件的 $T_{balance}$ 值。各組件之 $T_{balance}$ 值須列入運轉規範。



$$f_1 \cdot T_{balance} = \sum_{i=1}^{N_{SD}} f_{SD,i} \cdot T_{SD,i} + f_2 \cdot \left(T_{balance} - \sum_{i=1}^{N_{SD}} T_{SD,i} \right) + \sum_{j=1}^{N_{SU}} f_{SU,j} \cdot T_{SU,j}$$

$$T_{balance} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{SD}} f_{SD,i} \cdot T_{SD,i} - f_2 \cdot \sum_{i=1}^{N_{SD}} T_{SD,i} + \sum_{j=1}^{N_{SU}} f_{SU,j} \cdot T_{SU,j}}{f_1 - f_2}$$

當組件失效時，維修人員依據檢測到的失效模式估算維修時間(T_{repair})，並與運轉規範所列組件的平衡時間($T_{balance}$)相比較，如果 T_{repair} 小於 $T_{balance}$ ，則進行線上維修，如果 T_{repair} 大於 $T_{balance}$ ，則立即停機進行維修，以降低風險。

使用 BT 法的要件有三，要件一：PSA 模式(包括：全功率運轉模式、各 POS 停機和啟動的模式、安全停機 POS 的模式；要件二：各 POS 的期長(參考以前的統計資料)；要件三：特定組件的不可用度。目前電廠已計算出三百多個組件的 BT 建議值，已列入運轉規範並提交管制單位審查。下表列出幾個組件的 BT，其值明顯高於 AOT，可提供電廠執行線上維修之排程規劃。

Component	Original AOT	Proposed Balance Time
High Pressure Pump, ECCS	24 h	344 h
Low Pressure Pump, ECCS	24 h	254 h
Diesel Generator	24 h	306 h

BT 法也可用於多重失效的情況，由於不同失效組合的複雜度很高，建議利用風險監視器進行分析，並事先定義事件序列以加速模式的建立與計算和決策的制定。Paks 電廠目前已採用 RiskWatcher 軟體，並要求軟體公司新增功能，使 BT 評估法更便利。

2.1.8 其他討論

(1). WGRISK 的工作規劃

配合 NEA 的規劃，更新 CSNI 營運計畫與指導方針，並調整一些挑戰與技術目標 (Challenges and Technical Goals)，如工作小組的綜合計劃不需提交 CSNI 審查，但其工作計畫的執行狀態仍需送交 CSNI 和計畫審查小組(Program Review Group, PRG)。此外，WGRISK 主席團成員也討論如何有效執行 WGRISK 的綜合計畫，決定將工作計畫進展報告從「工作小組任務和願景」與「工作方法導則」中獨立出來，秘書長將於 2018 年秋季主席團會議提出綜合計畫新格式初稿。另外，即將召開的會議時程如下。

- 下次主席團會議將於 2018 年 10 月 9-10 日在 NEA 總部舉行
- 明年主席團會議將於 2019 年 3 月 18-19 日在 NEA 總部舉行
- 明年年會將於 2019 年 3 月 20-22 日在 NEA 總部舉行
- 任務擴展小組會議將於 2019 年 10 月舉，討論有關 HRA 廠外事件

針對 2019 年技術討論的議題，主席團提出六個主題，1).移動式設備的建模；2).動態 PSA；3).運轉經驗與前兆分析；4).小型反應器 PSA；5).模式不準度；6).數據更新，經投票表決，主席團成員最感興趣的議題分別是 3、1、5。而工作小組成員也有類似的看法。因此決定 2019 年的技術討論議題為「運轉經驗與前兆分析」，2020 年的技術討論議題則為「移動式設備的建模」。

(2). WGRISK 的工作方法

主席肯定與其他工作小組的討論，可維持良好合作關係的價值。美國代表也建議改善 WGRISK 成員訪查的方式，能有效善用他們的時間與專業知識。加拿大代表則指出，有些文件已經過時，應隨時更新有關安全目標的報告，另外，各成員國實施 PSA 的最新情況雖然已在 PSA 應用與開發報告中提及，但對於一些其他報告的更新，建議採用 CSNI 活動提案單。

(3). 建議事項

主席和副主席的任期將於 2019 年屆滿，下屆年會將進行改選。Röwekamp 女士鼓勵有興趣的成員加入 WGRISK 主席團或擔任主席、副主席，繼續為推動會務努力。

2.2 拜訪巴黎-薩克雷大學

巴黎-薩克雷大學（Université Paris-Saclay）是法國巴黎一所巨型大學，逐步整併大巴黎地區三所大學（Université）、十所大學校（Grande École）及七個研究所，並於 2014 年 12 月 29 日宣布成立。該大學的辦學目標是世界大學學術排名前十，歐洲大陸第一。薩克雷校園面積達 1,350 英畝，未來將有約 60,000 名學生與 10,500 名科研人員。目前校區仍在緊鑼密鼓的建設之中，約有半數合併成員已移至新校區。此次訪問之工業工程實驗室原屬於中央理工-高等電力學院（CentraleSupélec），為巴黎-薩克雷大學的創始成員之一。該學院於 2013 年由法國兩所排名前五的大學校--巴黎中央理工及高等電力工程合併而成，現已移至薩克雷校區。

首先由工業工程實驗室系統科學與能源挑戰小組之負責人 Zio 教授介紹該小組之研究領域，包括可靠度/可用度/可維護度等分析、安全評估、脆弱度分析、系統韌度評估、最佳化評估，並專注於複雜能源系統失效模式分析，以及有關不準度計算模型/方法/演算法等議題之研發與應用，如再生能源系統、電力電網、智能電網、核電廠組件、石油和天然氣系統、汽車和鐵路運輸系統等工業系統，其研究成果獲得法國電力公司歐洲新能源基金會的支持。

隨後由本所徐員分享台灣 815 停電事件之經驗，包括事件起因、影響、台灣能源政策、大潭電廠的氣源供應與電力調度情況等，最後與 Zio 教授進行討論，內容如下。

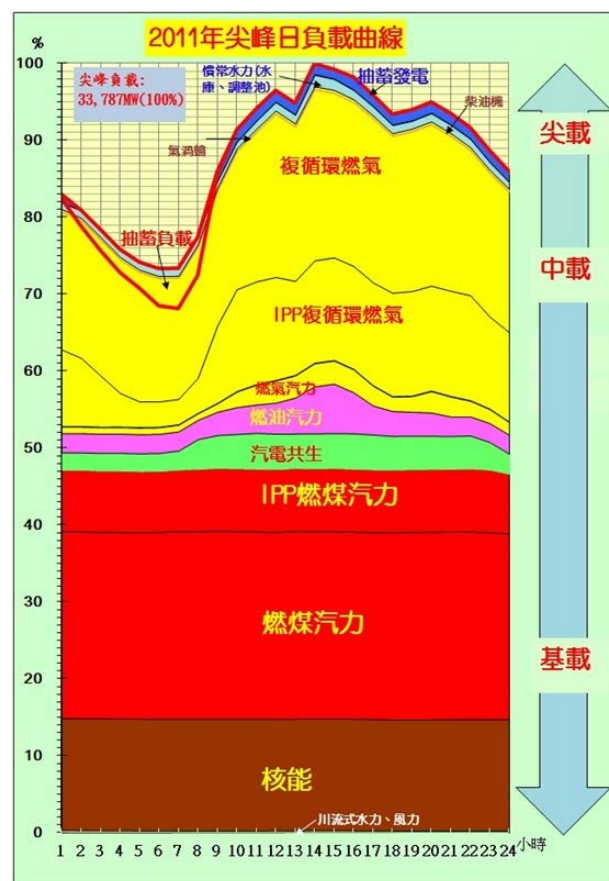
起因：2017 年 8 月 15 日台灣大停電，起因於中油從苗栗通霄接海管，輸送天然氣到大潭電廠，在下午 4 點 51 分因更換設備不慎，未先將電動閥門調為手動模式而直接施工，天然氣供氣管線的安全裝置偵測到異常而切斷天然氣供應 2 分鐘，造成台電大潭電廠 1 到 6 號機組跳機，瞬間減少 420 萬瓩供電量，供電系統因而自動啟動低頻電驛的安全保護措施，使全台 17 縣市受到停電的影響。中油在停電後第一時間調查事故原因，定調為「承攬商更換計量站控制系統的電源供應器時誤觸，導致氣閥關閉停止供氣」。台灣中油指控責任歸屬應由承包商巨路國際承擔，此言被承包商反駁指出：「僅義務從旁協助安裝，安裝時均由中油公司人員全程指揮監督，電動閥自動關閉責任尚待查明。」

影響：為恢復供電台電從下午 6 點到晚上 9 點 40 分實施分區供電，有 668 萬戶因此停電，從事故發生到全面恢復供電影響時間約 5 小時；受到影響的 17 個縣市包括：台北市、新竹市和嘉義市有 2/3 以上行政區停電；桃園市和苗栗縣有 1/2 以上行政區停電；新北市、基隆市、宜蘭縣、新竹縣、雲林縣、台南市和高雄市有 1/4 以上行政區停電；台中市、彰化縣、南投縣、嘉義縣和屏東縣則是有 1/4 以下行政區停電，只有花蓮縣和台東縣沒受到波及。發生的事故彙整說明如下：

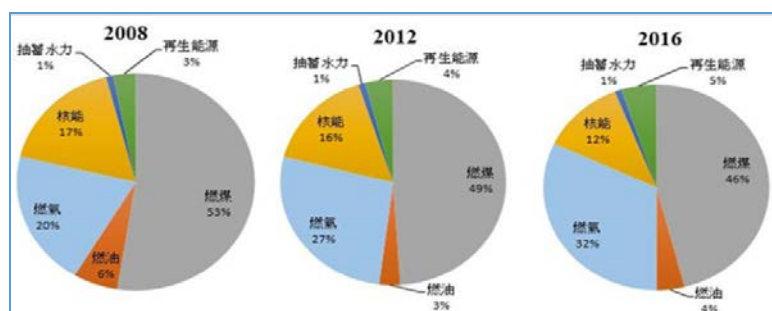
- 全國多處道路號誌受到影響，包括新北市 900 多處和高雄 630 處交通大打結
- 各縣市消防局統計，超過 600 件電梯受困報案，有上千人受困電梯
- 還有 64 件發電機冒煙起火，台北貓空纜車有 255 人因此受困
- 台鐵有 40 個車站停電，郵局也有 96 間受影響
- 鴻海、廣達、日月光、矽品、麥寮台塑以及中和遠東科技園區、苗栗竹南園區、台南科學園區等都受到跳電影響，產業損失數億元
- 台北新光三越、大葉高島屋、京華城、統一時代和中和環球影城等百貨公司都停電，高雄三多商圈、大遠百、新光三越多店等緊急疏散顧客，停電約 1 小時

- 南投大觀電廠更是 38 年來首次緊急抽取日月潭水庫的水進行水力發電，日月潭水位因此下降 3 公尺
- 總統蔡英文和行政院長林全出面道歉，經濟部長李世光也因此閃電下台，成為首位因跳電下台的部長，任期僅 1 年 3 個月

台灣能源政策：依據台電公司提供之 2011 年台電系統夏季日尖峰負載曲線圖，顯示各種發電能源之配比。基載電力係指 24 小時連續提供用電之發電能源，因此以燃料便宜為優先考量，如核能機組或部分燃



煤火力機組。中載電力係指可隨民眾生活或工商用電需求而變動之發電能源，如燃油或燃氣汽力機組，因為燃料成本高，所以採尖峰運轉；離峰停機之供電策略。尖載電力係指提供短時間電力需求且可快速解併聯之發電能源，如水力發電或複循環燃氣機組，但水力發電受限於水庫容量，無法保證提供尖載電力，因此必須依賴燃料最貴的複循環燃氣機組應付緊急用電。依據經濟部的資料顯示(如下圖)，台灣 2008 年至 2016 年的能源配比雖然還是以燃煤為主，但已從 53%降低至 46%，而燃氣電力則從 20%增加至 32%。2016 年政黨輪替後，新政府制定『非核家園』為國家首要能源政策，公布 2025 年能源配比為燃氣 50%，燃煤 30%，再生能源 20%，因此「以氣易核」已成趨勢，綠能發電也有待衝刺。



台灣為一海島型國家，天然氣完全倚賴進口，且無法像大陸型國家以管道輸入，而是必須以液化型態(Liquefied Natural Gas, LNG)從海運輸入。目前國內唯一供應天然氣的中油，已分別在台中港(有 3 座，接收站儲槽總量達 48 萬公秉)與高雄永安(有 6 座，接收站儲槽總量達 69 萬公秉)兩處設有天然氣接收站，合計儲量 117 萬公秉，最主要用途是公民營天然氣發電廠，按目前的使用狀況，上述儲量大約能使用 16 天，為穩定能源供應。政府目前正在加速第三天然氣接收站的建置(桃園觀塘工業區，每年規劃營運量 300 萬公噸，並將視需求擴建到每年 600 萬公噸，預計於 2023 年開始供氣)，第四、五天然氣接收站也在研擬中(基隆港、台中港)。

大潭電廠的氣源供應與電力調度：目前中油天然氣輸送管線分海底管線和陸上管線，其管線配置如圖所示。在海底管線的部分，永安至通霄長達 238 公里 36 吋的海底管線於



2001 年完工，2008 年底完成另一條台中-通霄-大潭 145 公里 36 吋海底管線。在陸上底管線的部分，往北的永安-南崁 420 公里 24 吋陸上管線；往南的永安-屏東 60 公里 24 吋、永安-阿蓮 40 公里 24 吋、永安-岡山 20 公里 30 吋陸上管線。在北部南崁配氣站另租用長生電廠所有 24 吋供應線及購買自東鼎公司之 30 吋幹線連結大潭。大潭電廠雖然有海底管線和陸上管線兩種，但是海底管線是高壓供應，陸上管線是低壓供應，兩者沒辦法馬上切換使用。平時只靠一條海底管線供應，若故障斷氣，全廠將可能全停不能發電。因此，目前正在加速第三天然氣接收站的建置時程。

大潭火力發電廠，是全球最大的燃氣渦輪發電廠，各機組建置及發電量如圖所示，總計大潭電廠年發電量大約 288 億度電，供電量就佔了北台灣的三分之一，新竹以北有 8 成的工業用電，包含台積電等國際科技大廠的供電也全靠它。在 2010~2011 年時，台電備用容量率 20% 以上，大潭電廠被定位為白天用電量上升時才滿載運轉的中、尖載機組；用電少時就降載或待機當備援機組，整年下來的容量因素只有 35%，是原先計畫設定的目標值。去年備用容量率實值已經跌破 10%，在遠低於 15% 目標值情況下，大潭電廠被迫變成白天晚上都要滿載發電的基載機組。815 停電事件發生前，全臺電力的備轉容量為 3.17%，屬於供電警戒橘燈狀態。大潭發電廠規劃增加機組以取代核電，成為供電重要管道，目前大潭 7 號機裝置容量 90 萬瓩，其中單循環有 60 萬瓩(7-1 號機在 2017 年 9 月 10 日發電併聯，10 月 16 日正式接受調度供電；7-2 號機在 2017 年 8 月 21 日發電併聯，9 月 29 日正式接受調度供電)，複循環機組有 30 萬瓩(正在施工中，預計於 2021 年 7 月完工發電)。大潭 8 號機裝置容量約 100 萬瓩，預定 2022 年 7 月完工發電。大潭 9 號機裝置容量約 100 萬瓩，預定 2024 年 7 月完工發電。

大潭電廠		機組數	單機容量	裝置容量	燃油商轉	燃氣商轉	備 註
組別	機組別	台	(瓩)	(瓩)	(年/月/日)	(年/月/日)	
第一組	GT1-1	1	153,500	742,700	94.12.16	95.12.26 2006 年	日本三菱重工製，雙燃料機組，燃輕油容量為 683.9MW，燃氣為 742.7MW。
	GT1-2	1	153,500		95.8.17		
	GT1-3	1	153,500		95.8.17		
	ST-1	1	282,200		95.8.17		
第二組	GT2-1	1	153,500	742,700	96.7.2	96.12.26 2007 年	日本三菱重工製，雙燃料機組，燃輕油容量為 683.9MW，燃氣為 742.7MW。96.7.6 由燃油改燃氣
	GT2-2	1	153,500				
	GT2-3	1	153,500				
	ST-2	1	282,200				
第三組	GT3-1	1	233,900	724,700		99.6.28 2010 年	日本三菱重工製，99.06.28 燃低壓氣改高壓氣(海管)
	GT3-2	1	233,900				
	ST-3	1	256,900				
第四組	GT4-1	1	233,900	724,700		98.12.31 2009 年	日本三菱重工製，98.12.31 燃低壓氣改高壓氣(海管)
	GT4-2	1	233,900				
	ST-4	1	256,900				
第五組	GT5-1	1	233,900	724,700		98.12.31 2009 年	日本三菱重工製，98.12.31 燃低壓氣改高壓氣(海管)
	GT5-2	1	233,900				
	ST-5	1	256,900				
第六組	GT6-1	1	233,900	724,700		99.5.26 2010 年	日本三菱重工製，99.5.26 燃低壓氣改高壓氣(海管)
	GT6-2	1	233,900				
	ST-6	1	256,900				
複循環 總計				4,384,200			第一、二組先燃輕油，再燃低壓氣(陸管)，最後才改燃高壓氣(海管)

在電力調度的情況，大潭電廠位於台灣北部，有一路兩回線 345KV 超高壓輸電線連接到龍潭超高壓變電所，將所發電力北送大台北負載中心或南送新竹科學園區；另有 6 回 161KV 輸電線連接到北邊的興國、中壢、松樹等一次變電所，可與頂湖、龍潭(北)超高壓變電所互聯，往南則接到楊梅、梅湖、新工等一次變電所，可與龍潭(南)、峨眉超高壓變電所互聯。由於電廠對外聯接 345KV 超高壓輸電線只有一路兩回線，若遇雷擊或其他事故兩回線跳脫，在尖峰出力高時 161KV 輸電線將無法承擔，必須跳脫部分機組。

Zio 教授針對上述問題提出下列幾點建議，並分享其團隊相關之經驗，如：複雜能源系統之安全、關鍵組件之維護策略、老化組件系統可靠度與風險評估等，提供雙方合作之參考。

- 為避免人員誤觸，建議加強人員訓練與管理，落實設備操作標準作業程序
- 加強設備操作警示與防呆機制
- 因應新政府能源政策，未來燃氣電廠將取代核能機組成為基載電力，因此必須強化燃氣電廠之系統穩定度
- 除了進行天然氣輸送管線脆弱度分析之外，也應針對天然氣供應來源變項(如：氣候、船班、供應國和國際關係情勢等)進行分析
- 進行電力調度脆弱度分析，並評估建立分散式電網之可行性
- 應維持合理穩定的電力備載容量

最後，與 Zio 教授討論參與歐洲短期相關訓練課程之可行性議題，教授提到有才華且有意願之年輕研究人員可申請歐洲個人獎學金，進入米蘭理工大學參與業界之合作計畫。此種培訓方式期程較長，培訓效果較佳，但申請難度較高。另一種比較可行的作法是配合本所研發工作，雙方簽訂合作計畫，定期派員至實驗室或邀請 Zio 教授團隊到本所舉辦短期訓練課程，以利本所專業人才之培育。

三、心得

此次赴法國參加 WGRISK 年會暨訪問巴黎-薩克雷大學之心得分述如下：

1. 我國以觀察員的身分參與 WGRISK 年會已有 10 年的時間，與各會員國建立良好的互動關係，藉此分享國內核能安全相關計畫執行經驗，並蒐集國外研發資訊與成果。雖然新政府秉持 2025 年非核家園的政策，但本所仍應瞭解國際間發展的重點，制定適切法規，確保運轉中的核能電廠能符合要求。持續參加 WGRISK 年會是一個以較少人力與經費取得各國資訊的好方法，近年來在大數據應用的環境下，透過 WGRISK 資訊平台能取得更多的資訊與數據庫，有助於研發工作之參考。
2. NEA 核能安全技術及管制局局長 Nieh 博士提到，將蓬勃發展核能的中國大陸納入國際研究合作的對象是非常值得積極推廣的工作，而中國對於 NEA 的活動也表示積極參與的態度，目前中國大陸已提名代表人員參與 WGRISK 以及幾個其他的工作小組。雖然未來我國參與 WGRISK 的討論是否受到衝擊尚未確定，但我國仍應秉持主動參與的態度。
3. 此次 WGRISK 年會中，羅員簡報我國 PSA 發展與應用情況強調新政府非核家園的政策不變，國內電廠將於 2025 年全面停止使用核電。會後韓國代表詢問我國除役相關之 PSA 分析，並希望日後我國有明確做法後能提供相關資料。面對 108 年核一廠即將除役，如何將 PSA 分析應用於實作之拆解，是未來重要的課題。
4. 雖然德國將於 2022 年廢除核能電廠，但對於 PSA 的研究仍持續發展。反觀國內，在新政府非核家園的政策下，6 部核能機組目前只剩 3 部運轉，管制單位對於 PSA 應用於風險告知與決策制定之態度也採保守作法。考量國內在 2025 年之前仍有核電機組，我們應以正向思考的態度面對，持續進行 PSA 之發展與應用，為國內核能安全把關。
5. 綜觀各國 PSA 模式的發展，國內電廠之 PSA 模式仍有很大的改善空間，如建立全廠址(full site)、全範圍(full scope)的完整 PSA 模式，並重視有關系統可靠度與人為可靠度的議題，以符實反映評估結果並擴大其應用。
6. 專業人才的培育是延續研發實力的關鍵因素，本組近年來指派資深專業人員帶領年

輕同仁撰寫關鍵技術報告，是一種經驗傳承的方式；另外本組也透過每年舉辦的專業訓練課累積研發能量，這些都是必須持續進行的人才培訓計畫。未來希望能適當利用國際間之訓練課程、國際交流、研討會與國外實習等機會，培養年輕人具有國際觀，厚實技術基礎。

7. 2016 年政黨輪替後，新政府公布 2025 年能源配比為燃氣 50%，燃煤 30%，再生能源 20%，未來燃氣電廠將取核能電廠成為基載電力。因此，強化燃氣電廠的系統穩定度是電力供應的關鍵因素。本組具有維持核能電廠系統穩定度之技術與經驗，可與國內燃氣電廠洽談合作計畫，階段性的將核安技術應用於非核產業。
8. 本組在 2011 年與 Zio 教授合作進行核電廠外電脆弱度評估與建模方法之計畫，採用網絡理論(Network Theory)進行輸配電力系統中各節點的相關評估，分析網絡系統中失效傳播的動態反應。網絡系統是由點和邊所構成，上述輸配電脆弱度分析是屬於邊失效的評估，去年 815 全台停電事件是屬於點失效後對邊失效的影響評估。本組可利用此一實例與 Zio 教授合作，進行更深入的探討。

四、建議事項

1. 積極參與國際合作研究計畫，加強國際交流

由於本所積極參與的態度，已連續十年獲邀以觀察員身分參與 WGRISK 年會與工作會議，並於部分工作小組的研究計畫中，負責分析與審查的實際研發工作。未來中國大陸將加入 NEA 會員國，參與 CSNI 與 CNRA 委員會各項活動，本所應關注其動向，妥善規劃國際合作模式，避免專業技術的國際交流受到政治因素的影響。

2. 持續關注各國核能安全技術與管理，確保核能安全

在新政府對於 2025 年非核家園之政策不變之下，雖然國內 6 部核能機組目前只剩 3 部運轉，但本所仍應持續關注各國管制單位、研究單位與核能業者在核能安全領域之相關研究與成果，並採取積極做法，協助國內管制單位制定適切之法規，提供國內電廠實務問題之參考作法，以及未來執行除役工作之風險管理，確保核能安全。

3. 建立有系統的跨組人才培訓計畫

本所是一個大型的國家研究單位，其專業領域為核能相關之研究與應用。近年來，由於資深研究人員的退休，專業技術已漸漸出現斷層，因此，人才培育是現階段重要的課題。雖然目前各組透過關鍵技術報告的撰寫與課程舉辦培養新人，但大多針對特定領域的培訓。為永續並提升本所的研發能量，可檢視過去對特定人員特定領域培訓的成效，重新考量以專案為導向之跨領域人才培育之可行性，以利建立有系統之跨組人才培訓計畫。

五、參考資料

1. WGRISK 年會會議資料，存核能研究所核子工程組。

NEA 專業委員會一覽表

簡稱	全名	中文譯名
CSNI	Committee on the Safety of Nuclear Installations	核設施安全委員會
CNRA	Committee on Nuclear Regulatory Activities	核能管制委員會
RWMC	Radioactive Waste Management Committee	輻射性廢棄物管理委員會
CRPPH	Committee on Radiation Protection and Public Health	輻射防護與公共健康委員會
NSC	Nuclear Science Committee	核子科學委員會
NDC	Committee for Technical and Economic Studies on Nuclear Energy Development and the Fuel Cycle	核能發展與燃料循環技術與經濟研究委員會
NLC	Nuclear Law Committee	核能法規委員會
MBDAV	Management Board for the Development, Application and Validation of Nuclear Data and Codes	發展、應用與驗證核能資料與程式管理委員會

CSNI 工作小組一覽表

簡稱	全名	中文譯名
PRG	Programme Review Group	方案審查小組
WGRISK	Working Group on Risk Assessment	風險評估工作小組
WGAMA	Working Group on Analysis and Management of Accidents	事故分析與管理工作小組
WGIAGE	Working Group on Integrity and Ageing of Components and Structure	組件與結構完整性與老化工作小組
WGHOF	Working Group on Human and Organizational Factor	人與組織因素工作小組
WGFS	Working Group on Fuel Safety	燃料安全工作小組
WGFCs	Working Group on Fuel Cycle Safety	燃料循環安全工作小組
WGEV	Working Group on External Events	外部事件工作小組
WGELEC	Working Group on Electrical Power System	電力系統工作小組

術語簡稱一覽表

簡稱	全名	中文譯名
CAPS	CSNI Activity Proposal Sheet	CSNI 活動提案單
DAC	Design Acceptance Confirmations	設計驗收確認書
DiD	Defense-in-depth	深度防禦
EH	External Hazard	廠外危害
GDA	Generic Design Assessment	一般設計評估
HF	Human Factor	人因
IH	Internal Hazard	廠內危害
IRIDM	Integrated Risk Informed Decision Making	整合的風險告知決策制定
MU	Multi-unit	多機組
PSR	Periodic Safety Review	定期安全審查
RIDM	Risk Informed Decision Making	風險告知決策制定
RIRIS	Risk Informed Regulation Indicator System	風險告知管制指標系統
RM	Risk Management	風險管理
SDA	Standard Design Approval	標準設計許可
SU	Single Unit	單機組
TG	Task Group	任務小組
TM	Technical Meeting	技術會議
TOP	Technical Opinion Paper	技術意見書
TSOs	Technical Safety Organizations	技術安全組織
TSR	Technical Safety Review	技術安全審查
WS	Workshop	研討論