

指向核能復興之羅盤(三十八)

瑞士與瑞典建構獨自的檢查制度

由硬體檢查改為人、技術、組織之檢查

作者：IAEA, NEA ISOE 委員會主席 水町涉

譯者：行政院原子能委員會技正 石門環

日文原文刊載於 2007 年 4 月 ENERGY 雜誌

瑞士經常改善管制

去年 (2006 年) 1 月，日本機械學會「核能安全管制最適化研究會」第 1 次海外調查團赴芬蘭、法國，訪問管制當局與電力公司，第 2 次海外調查團接著在 7 月赴美國，訪問核能管制委員會 (NRC) 與 Brown Ferry、Hatch 核電廠，獲得豐碩的成果。此次為第 3 次海外調查團，訪問瑞士與瑞典的管制當局與核電廠，調查團有電力公司、廠家、大學、管制單位視察員等共約 20 人，此次也由本人擔任團長。

首先訪問瑞士的管制單位核子安全檢查署 (HSK)，HSK 位於瑞士物理學研究最大的保羅薛雷國立研究所 (Paul Scherrer Institute) 內，在蘇黎世郊外，由 HSK 的 Schmocker 署長親自簡報，其概要如下。

瑞士共有 Beznau 1、2 號機 (36.5 萬瓩 PWR)、Mühleberg (35.5 萬瓩 BWR)、Goesgen (97 萬瓩 PWR) 以及 Leibstadt (116.5 萬瓩 BWR) 共 5 部核電機組運轉中，占總發電量的 38.6%，另外為水力 27.5%，抽蓄 28.5%，其他電力 5.5%。夏天氣候良好，電力需求較少，而且積雪融化，水量充沛，電力輸出到鄰國，冬天則相反，因為使用暖氣，電力需求最大，故供不應求，由法國等輸入電力。水力已開發殆盡，風力發電有損優美的的景觀，而且效率不佳，今後除了仰賴核能以外別無他途。

在管制制度方面，Schmocker 署長強調「應該致力於持續的改善」，其誠摯的態度令人印象深刻。參考圖 1、2、3，很抱歉使用英文，若譯成日文則無法傳達真正意涵。圖 1 為 HSK 內部每半年執行一次的管制改善流程，以 PDCA (Plan-Do-Check-Action) 方式循環，圖 2 則是綜合監督年度計畫，每年執行 PDCA 循環，針對檢查、補修、輻射量測、核照、事故解析、緊急應變等作成年度的監督報告，並向事業者提出問題所在。

特別要強調的是，對於包括法律修改在內的管制作為，每 10 年進行一次 PDCA 循環 (圖 3)。技術經常在進步，對整體檢查制度而言，也納入法律的修改，每 10 年修訂一次，檢討 10 年來的經驗回饋，依據此一方針，2003 年曾大幅修訂法律。

圖 1 瑞士每年半的管制改善

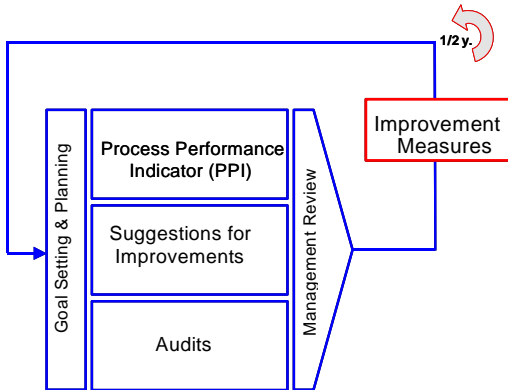


圖 2 瑞士管制年報的修訂

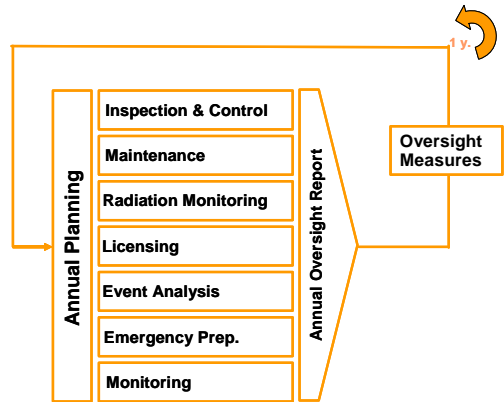
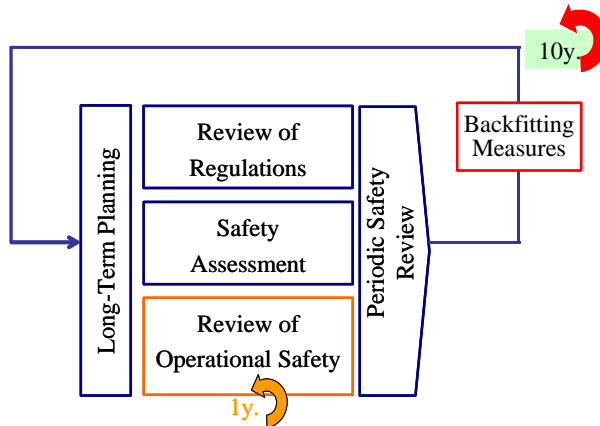


圖 3 瑞士每 10 年的管制、法律改善



瑞士管制當局的新方針

瑞士檢查的基本方針為綜合監督 (Integrated Oversight)，具體而言，所有與安全有關的資訊整理成縱、橫的矩陣，成為資料庫 (Data Base)，可以很容易看到何處有弱點，如表 1 所示，橫軸為管制單位及事業者以書面訂定的要項，共分為 4 大項目，也就是設計上要項、運轉上要項、機組狀態與舉動 (Behavior)、人員狀態與組織的運作狀態，其中後 2 項也就是實際的運轉狀況。另外，縱軸則依據輻射防護、深層防禦、壓力邊界完整性、以及包括人為因素在內的整體安全性觀點，訂定目標項目。在安全性方面，設定臨界之控制、燃料冷卻性、輻射物質之封閉、曝露劑量之限制等多個安全目標。

檢查的架構大致採用美國的 ROP (Reactor Oversight Program)，但此一矩陣與美國以爐心損壞率 (CDF) 為考慮觀點並不相同，瑞士的心理學者以人與組織問題為主，開發出瑞士獨特的管制方式，令人頗感興趣。

表 1 瑞士管制納入人與組織的實績性能評估

課題		管制要項		運轉經驗		
		設計要項	運轉要項	機組狀態舉動	人員狀態與組織運用狀態	
輻射防護	釋出廠外輻射最適化	I	I	I	I	
		A	A	A	A	
		V ■	V	V ■	V	
		N ■	N ■■	N ■■■	N ■■	
	人員輻射曝露最適化	G	G	G	G	
		I	I	I	I	
		A	A	A	A ■	
		V ■	V ■	V ■	V ■	
深層防禦	1 級 防止運轉異常與故障	N ■■	N ■■■	N ■■■	N ■■	
		G	G	G	G	
		2 級 運轉異常之控制	I	I	I	I
			A	A	A	A
	V ■		V ■	V ■	V ■■	
	N ■■		N ■■■	N ■■	N ■■	
	3 級 設計基準以內事故之控制	G ■	G	G	G ■	
		I	I	I	I	
		A	A	A	A	
		V ■	V	V ■	V ■	
	4 級 機組嚴重狀態之控制	N ■■	N ■■■	N ■■■	N ■■	
		G	G	G	G	
		I	I	I	I	
		A	A	A	A ■■	
	5 級 放射性物質釋出廠外、輻射傷害之抑制	V ■	V ■	V ■	V ■	
		N ■	N ■	N ■	N ■	
		G	G	G	G	
		I	I	I	I	
	多重屏蔽之完整性	燃料完整性	A	A	A	A
			V ■	V	V ■	V
N ■			N ■■■	N ■■	N ■■■	
G			G	G	G	
一次側冷卻系統壓力邊界完整性		I	I	I	I	
		A	A	A	A	
		V ■	V	V	V ■	
		N ■	N ■■	N ■■■	N ■■■	
圍阻體完整性		G	G	G	G	
		I	I	I	I	
		A	A	A	A	
		V ■	V ■	V	V	
綜合安全性	綜合安全性觀點	N ■■	N ■■	N ■■■	N ■■	
		G	G	G	G	
		I	I	I	I	
		A	A	A	A	

國際核能事件分級制度與顏色區分			
7.最嚴重意外事故	3.嚴重事件	0 級以下	A 非正常運轉
6.嚴重意外事故	2.偶發事件		V 有改善空間
5.廠外意外事故	1.異常警示		N 普通狀態
4.廠區意外事故			G 良好實績

瑞士 Leibstadt 核電廠展示館為世界第一

從蘇黎世湖經過 Baden 溫泉鄉，不到 1 小時就到達瑞士與德國的邊界，Leibstadt 核電廠就位在萊因河畔，這是瑞士最新的核電廠，1984 年開始運轉，為 GE 公司 122 萬瓩的 BWR。據說防災訓練與對岸的德國一起舉行，令人感覺和我們一般的常識有所不同，調查團在冷卻水塔前攝影留念（照片一），老鷹在此塔築巢，展示館內放映著老鷹的卵孵化成雛鷹飛走的影片，地方民眾原以為從此巨大冷卻塔冒出的蒸汽為輻射線，展示館人員說明此一影片可以消除民眾的誤解，我們這些參訪者也都能心領神會。

世界上運轉中的 442 部核電機組中，筆者參訪過半數以上，也看過不少展示館，感覺這個是世界上最好的，所有的東西都相當具體，從小孩到一般外行人都很容易理解。

其中一例如照片 2 所示，與 Leibstadt 核電廠相同規模的最新 100 萬瓩級燒煤火力電廠每年會排放 25244 噸的二氧化碳、25 噸的二氧化硫、15 噸的氮化物（NO_x）以及 1194 噸的飛灰，火力與核能所產生的廢料數量也以需要多少輛卡車載運來比較，也是相差懸殊。



照片 1 瑞士 Leibstadt 核電廠冷卻水塔前



照片 2 Leibstadt 核電廠展示館
（燃煤火力與核能之比較）

其次是有關核能所特有的放射性廢料的貯存，想像乘著電梯下降到地下 600 公尺，讓人以實際感覺來體驗隧道內的貯存景象。另就實際的廢料貯存而言，據說與 HSK 相鄰的廢料處分場具有充份的貯存空間，貯存的模型也非常容易了解。另外也對輻射線距離愈遠衰減愈大、使用鉛作為屏蔽、水也可以作為屏蔽等、以實驗的方式讓人理解。

瑞典管制當局的新方針

隨後赴瑞典訪問，斯德哥爾摩市政府官舍外觀雖然樸素，但內部相當豪華，這也是前年國際原子能總署 (IAEA) 秘書長獲頒諾貝爾和平獎的地方。除了可容納 1300 人出席典禮的宴會廳以外，還有諾貝爾獎獲獎者夫婦翩翩起舞的黃金廳，甚至還有廚房，而且建在上部高處，這是為了讓廚房裡的味道不會飄散到會場，聽說宴席上菜時相當轟動。

在斯德哥爾摩中央車站的前面矗立著核能發電檢查署 (SKI)，與筆者為舊識的 Hoegberg 署長也出席，簡報則由現任署長 Carlsson 親自說明。

瑞典只有 10 部核能機組在運轉，管制單位的檢查以美國的反應爐監管方案 (ROP) 為基本，同時也納入瑞典獨自的觀點，稱為綜合安全評估 (Comprehensive Integrated Safety Assessment)。

SKI 的核能管制檢查共區分為 15 個項目，如表 2 所示。核能安全為理所當然，其他重點項目則有核能相關作業的管控、組織、人力與配備等，這些內容頗富啟發性，相當值得參考。

表 2 瑞典管制檢查的 15 項重點領域

1. 設施之設計與興建 (含改善)
2. 核能作業之管理、控制及組織
3. 核能作業有關人力與配備
4. 運轉，包括與屏蔽、深層防禦有關缺陷之處理
5. 爐心、燃料、及臨界有關事項
6. 緊急時之準備
7. 維護保養、材料、以及 ISI 相關事項
8. 第 1 次及獨立安全審查
9. 事件評估、經驗回饋、以及對外界報告
10. 實體保護
11. 安全解析與安全報告
12. 安全方案 (提升安全性的實施方案)
13. 設施相關文件之保存
14. 核物資及廢料之處理
15. 禁止核子擴散之管理、輸出管理、以及輸送安全

Ringhals 核電廠等獨自的事故對應

瑞典曾在去年 (2006 年) 發生重大事故，調查團因此向管制單位的 SKI 和電力事業者詢問詳情。

此次前去訪問的 Ringhals 核電廠在去年 11 月發生廠內變壓器大火災，雖然這對核能安全並沒有直接影響，但事業者的兩個獨立安全檢討委員會判斷「並非廠內變壓器一般性的火災」，乃調用 Forsmark 核電廠的備品變壓器安裝，並於 3 個星期後起動，我們到現場查看，汽機廠房外牆上仍殘留火災後黑色的痕跡。

Forsmark 核電廠在去年 7 月曾發生兩台緊急柴油發電機同時無法起動的事件，這是屬於安全系統，在世界上引起相當大的風波，SKI 也介入，進行肇因分析作業，在查出原因後，也在事件 3 個月後核准再起動運轉。當我們談到「日本不能像這樣這麼快就再起動」時，答以：「瑞典每年要持續進行 1 次 2 星期的短期計畫性停機及 1 次 3 星期的計畫性停機，10 年後則包括較大的改善作業在內，再進行 1 個月的計畫性停機，執行詳細的檢查，所以 3 個月的強制停機是很重的處罰」。但是，當時有 5 位承包商員工喝醉酒欲進入電廠內工作，此一新聞報導再加上發生這種事件，SKI 也和電力事業者一樣，遭到相當大的批判。

在參訪 Forsmark 核電廠時，各建築物均寫上好像是名稱的標識，令人印象深刻，聽說是該處原來擁有土地的農家名字，農民前來參觀時，據說也因此對電廠產生親近感而非常高興，瑞典的敦親睦鄰對策非常成功，令人相當佩服。

瑞典最近發生的一些事件大部份並非硬體（結構物）問題，反而是人與組織所引起的問題較多，因此在肇因分析中以人、技術、組織為重點，進行所謂的 MOT (Man, Technology, Organization) 分析。

Ringhals 核電廠雖然進行以可靠度為主的維護保養 (RCM)，但是作業量龐大而沒有效率，因此現在正在開發美國最近發展的簡易型 RCM，也就是所謂的 SRCM (Streamlined Reliability Centered Maintenance)，預定在 2007 年底提出結論，這是以表 3 所示的 8 個項目為評估基準，是科學而合理的手法，值得注意其後續的措施與發展。

表 3 Ringhals 核電廠獨自的簡易 RCM 評估基準

- 是否影響反應爐停機功能？
- 是否會造成出力或效率降低？
- 是否會造成超出環境限制值？
- 是否會造成反應爐安全的負面影響（超出運轉規範限值）
- 是否會造成人員的傷害？
- 是否會造成重大的損傷？
- 在遵守 ALARA 或降低第 3 者輻射劑量有關的要項方面，是否會對廠內的輻射環境造成負面的影響？
- 是否會引起火災？

在核能國際化之中保存獨自的文化

擔任日本機械學會第 3 次海外調查團的團長，特別針對檢查制度方面，管制者與電力公司實際的作法，同時也考察狀態監視保養的實態，並就其最新的制度彙整如上所述。

在此一羅盤系列文章中曾敘述法國核能的文化大革命，而瑞士與瑞典的管制單位與電力事業者也一起採行其獨自的文化，進行大改革，世界上核能界已有長足進步，也持續在變革中，所謂核能復興的時代已經來臨。

日本是非常保守的國家，當然這也有好處，我國已成為 GDP(國內總生產) 大國，且已登上頂峰，問題是當初號稱 Japan As No.1，卻因而自大自滿。另一方面，保守的元祖，也是老大國的英國除了改革各種制度以外，也致力於自由化，2005 年平均每位國民的 GDP 已超越日本。不只如此，我們也被只有 40 萬人口的盧森堡和芬蘭超過，那種感覺就像是坐在車內一下子就被超車一樣。兒童的數學學力從第 1 名跌落到第 16 名，企業的競爭力也從第 1 名降到第 12 名。海外各國採用最新技術、下定決心將情報技術化、進行自由化，終於凌駕日本。

在日本從山頂跌落之際，就如本羅盤系列文章中所述，世界正進行大變革，如果看一看日本的基礎建設，不但不是先進國家，可以說還算和落後國家一樣。國際金融 IT 化的程度、飛機場、醫療制度、保險制度等，即使各自的技術不錯，但是系統化的制度則屬落後。

電力是社會的基石 (Fundamental)，美國已經轉舵，重新興建核電廠，陸續接受 32 部新建核電機組，法國也在核能大革命中，還有這一次考察的瑞士與瑞典，一方面遵守世界標準，一方面也納入其獨自的哲學，致力於新的安全管制，事業者也如上所述，致力於新的安全運轉方式。

日本也應好好檢討世界上的技術動向，納入科學而合理的東西，把日本良好的傳統和文化保存下來，以追求世界上最高的技術為目標。