

核一、二廠飼水加氫工程改善案管制報告

一、緣起

我國核能一廠與核能二廠均為沸水式核能電廠，其反應爐水質控制在純水狀態，但自 1991 年瑞士 KKM 電廠在爐心側板發現有裂縫出現，隨後在美國與日本的 BWR 電廠也相繼發生類似的問題，經追查肇因發現 BWR 反應爐爐水經中子射線照射後，會分解產生氧氣(O_2)與過氧化氫(H_2O_2)，因此沸水式反應爐內部組件及再循環管路其材質為不銹鋼 (SS304)，容易發生晶間應力腐蝕龜裂(IGSCC)，且隨著運轉時間的增長，其產生晶間應力腐蝕龜裂的機率將升高，進而直接影響機組的運轉安全。

1997 年日本東京電力公司因為爐心材料龜裂問題，決定對福島三號機實施爐內重要組件更換，作業工期長達一年，耗費數十億元的工程費用，並產生了大量的放射性廢料，因此，世界各國擁有沸水式核能機組之業者開始進行許多的研究與發展解決之道，其中，飼水加氫為現行眾多解決方法中較為可行的方式之一，目前，各國沸水式核能機組大部分已經實施或正計畫實施飼水加氫的技術，以改善反應爐內部組件及再循環管路發生晶間應力腐蝕龜裂劣化問題。

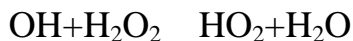
二、飼水加氫之原理

我國沸水式核能電廠為預防發生類似狀況，因此台電公司於民國 83 年 9 月亦開始著手進行飼水加氫可行性評估，並於 84 年 12 月提出總結報告。85 年 5 月台電公司核一、二廠分別成立 DCR-850、DCR-2405(飼水加氫改善工程)著手進行改善，以防止與抑制晶間應力腐蝕龜裂的生成及擴展，以維護反應爐結構的完整及運轉安全。

而飼水加氫技術之所以能抑制反應爐材料晶間應力腐蝕的發生，可由不銹鋼在 BWR 爐心環境下的氧化反應來說明：



再經二次反應形成：



其中 O_2 是產生晶間應力腐蝕機制中的必要元素，因此若能降低爐水中氧的含量，便可以抑制晶間應力腐蝕的發生，而飼水加氫的目的便在於增加爐水中氫的含量，然後藉由氫氧的再結合（主要發生在反應爐的降流區），以達到減少爐水含氧量的目的。

三、核一廠與核二廠實施飼水加氫後之影響

核一廠與核二廠實施飼水加氫後，現行的反應爐水化學控制方式將由純水狀態(NWC)改變為低中量飼水加氫水化學狀態(HWC)。其好處是可以延遲反應爐內部組件與再循環管路晶間應力腐蝕龜裂的萌生及減緩其成長速率，使電廠除役前仍能維持反應爐內部組件結構完整之安全餘裕，省下反應爐內部組件或再循環管路因晶間應力腐蝕龜裂問題，所可能產生的鉅額維修費用及大量放射性廢料。但是，由國外已實施飼水加氫的機組經驗，顯示有下列兩項負面影響：

1. 運轉中反應爐水之氧原子經中子照射後會形成 $N-16[O(n,p)^{16}N]$ ，飼水加氫後由於氫氣量增多，爐水化學環境會隨之改變，原本正常的 BWR 爐水中絕大多數的 N^{16} 是以硝酸根 (NO_3^-) 形存在，飼水加氫後爐水中的 N^{16} 主要存在方式將轉為揮發性較高的氨根型式 (NH_4OH)，因此飼水加氫後所產生的 $N-16$ 會隨著蒸汽騰帶(carry over)進入主蒸汽管，根據國外沸水式核電廠實施 HWC 後之實例，主蒸汽管輻射劑量有可能會升高達 5 倍之多，但確實的增加量則因每部機組的型式與狀態而異。

而主蒸汽管附近的輻射場強度的增強可分為廠內與廠外兩部分，核一廠與核二廠對於廠內可能之輻射場增強，已擬定對策，對於維修或檢測所必須使用的空間，均已加裝輻射屏蔽以保護工作人員，而劑量較高的區域亦透過行政管制限制人員的通行，以減少人員劑量。而廠外的輻射場增強部分，主要來源是 N^{16} 所放出的高能加馬粒子，經空氣散射而折返所產生的向天輻射效應（sky-shine），雖然此效應對於廠外劑量影響並不大，但本會仍要求核一廠與核二廠實施飼水加氫後之向天輻射效應，不得高於背景值 5 倍的行政要求，此行政管制值與日本已實施飼水加氫之核電廠管制值相同。

2. 沸水式機組其位於乾井內之再循環管路，其管路內部氧化鐵原本會吸附 $Co-60$ ，但飼水加氫後原吸附之 $Co-60$ 可能會被還原出來，並釋放於管路內，造成機組停機大修時乾井內輻射背景值增加。為預防 $Co-60$ 被釋放於管路，核一廠與核二廠已計畫於今年(90)機組大修時，執行再循環管路與爐水淨化系統管路化學去污的工作，事先將管路內之 $Co-60$ 利用化學方法予以移除，以減少日後可能之輻射背景值增加。

四、綜合結論：

為了保護沸水式核反應器反應爐本體及其內部爐心組件，避免因晶間應力腐蝕龜裂而產生之核能安全問題，以及因此而產生的鉅額修理費用與其衍生之大量放射性廢料，所以我國沸水式核能機組，已規劃實施飼水加氫計畫。而原子能委員會除顧及核能安全外，亦將嚴格規範核電廠工作人員與廠外民眾因此而接受的輻射劑量不得大於法規限值，同時本會為求更進一步管制，已訂定較法規限值更嚴格的廠外輻射劑量行政管制值，要求核電廠遵循，此外由於每部機組之設計與運轉狀況不同，其飼水加氫後輻射劑量增加亦會有所不同，因此核一廠與核二廠實施飼水加氫後，對於廠內員工與廠外民眾輻射劑量可能產生之影響，原能會將持續密切注意，並採取必要的後續安全管制措施，使核電廠實施飼水加氫後之負面影響能降至最低。