

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

實習反應爐冷卻水泵機械軸封整修技術與經驗

服務機關：台電第三核能發電廠  
出國人職稱：八等機械工程師  
姓名：張益維  
出國地區：法國  
出國日期：91.9.20~91.9.29  
報告日期：91.11.28

G3/  
/C091047-6

## 行政院及所屬各機關出國報告提要 C 09104726

出國報告名稱：實習反應爐冷卻水泵機械軸封整修技術與經驗

頁數 18 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

張益維/台灣電力公司/核三廠/機械工程師/(08)8893470-2411

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：91.9.20~91.9.29 出國地區：法國

報告日期：91.11.28

分類號/目

關鍵詞：核能發電維護 反應爐冷卻水泵 機械軸封

內容摘要：(二百至三百字)

反應爐冷卻水泵是壓水式核能發電廠反應爐冷卻水系統之重要設備，若是沒有適當維護造成故障，將使機組無法運轉發電而釀成巨大的損失，以往核三廠便曾發生過反應爐冷卻水泵機械軸封故障導致停機檢修的事故。該泵之機械軸封構造複雜且組合精密，核三廠對其中需要承受高差壓之一號軸封尚無法自行檢修，目前只能依檢修週期定期於大修期間更換一號軸封新品，也因此累積了一些更換下來的一號軸封舊品。此次藉著與國外廠家互相交換維護技術並實際現場觀摩，對於此一號軸封舊品的再利用有了更深一層的認識，也讓本廠了解到除了購買一號軸封新品之外，另可利用舊品再行整修後重複使用，如此不但可減少廢料，在採購成本上和購買全新備品比較亦節省不少，讓本廠在備品的準備上又多了一個選擇的方向。

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

## 目 錄

	<u>頁數</u>
一、出國事由 .....	2
二、出國行程 .....	2
三、實習主要內容 .....	2
(一)前言 .....	2~3
(二)本廠設備簡介 .....	3~10
(三)運轉中機械軸封相關事項 .....	11~13
(四)法國法馬通公司 (FRAMATOME) 整修技術與經驗 ....	13~17
(五)本廠 RCP 一號軸封備品準備策略 .....	17~18
四、心得與建議 .....	18

## 一、出國事由

- (一)、電廠設備的有效維護，不但是機組運轉安全的基礎，同時也是營運績效的關鍵因素，故若要改善營運績效並確保機組安全，維護技術的提升與掌握是最立竿見影的做法。
- (二)、反應爐冷卻水泵是壓水式核能發電廠反應爐冷卻水系統之重要設備，若是沒有適當維護造成故障，將使機組無法運轉發電而釀成巨大的損失，而避免反應爐冷卻水泵機械軸封的故障則是確保反應爐冷卻水泵運轉與安全最恰當的維護方法。
- (三)、反應爐冷卻水泵之機械軸封構造複雜且組合精密，核三廠目前對其中需要承受高差壓之一號軸封仍無法自行檢修。為了維持電廠正常運轉及避免潛在的威脅，故派員前往實習反應爐冷卻水泵機械軸封整修技術與經驗，以確保機組運轉與安全。

## 二、出國行程

91年09月20日~09月21日 往程（台北→法國）

09月22日~09月27日 於法國實習反應爐冷卻水泵機械軸封整修技術與經驗

09月28日~09月29日 返程（法國→台北）

## 三、實習主要內容

### (一)、前言：

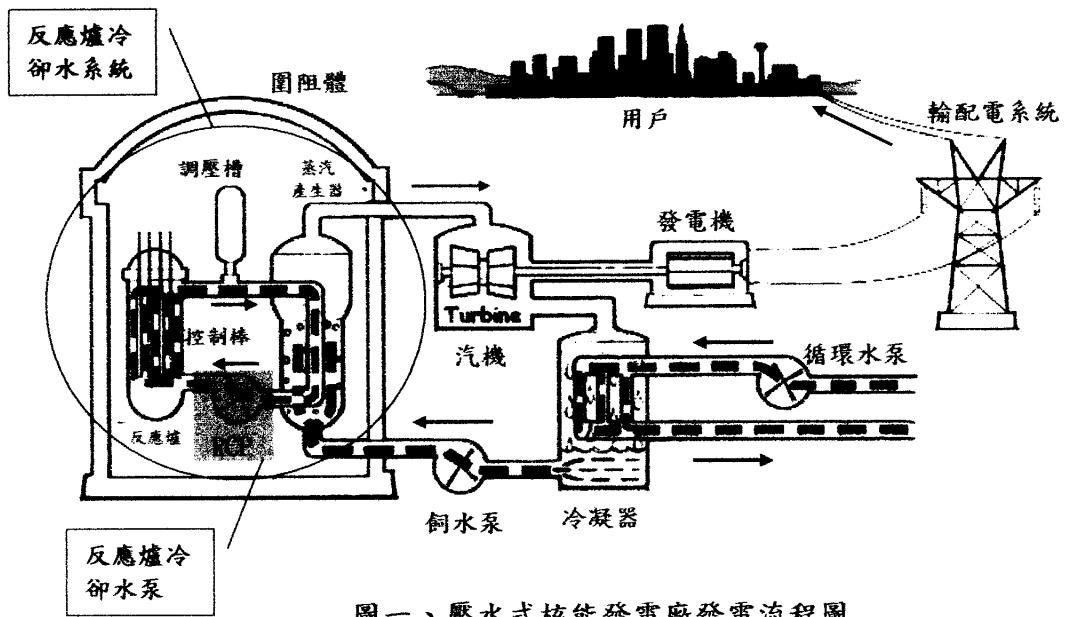
台電第三核能發電廠（以下簡稱本廠）屬於壓水式核能發電廠（Pressurized Water Reactor, PWR），其發電設備中之反應爐冷卻水泵（Reactor Coolant Pump, 以下簡稱RCP）為本廠反應爐冷卻水系統之重要組件，主要功用為強迫反應爐冷卻水循環及移走反應爐爐心熱量；也就是因為該泵在壓水式核能發電廠中扮演著重要的角色，故其能否正常運轉便

成為整座電廠是否可以順利發電的關鍵。而從原廠設計和以往運轉經驗顯示，RCP 機械軸封的表現又攸關著 RCP 性能的良窳。因此，要提高壓水式核能發電廠發電的可靠度，RCP 可用性的加強自然相當重要，而避免 RCP 機械軸封的故障則是確保該泵運轉與安全最恰當的維護方法。

目前本廠對於 RCP 的維護皆遵照製造廠家西屋公司的廠家說明書及各種技術文件執行保養，機械軸封方面則因其中一號軸封構造複雜、組合精密、本廠尚無法自行檢修等原因依檢修週期定期更換新品，故從本廠商業運轉之後至今已經累積了不少更換下來的一號軸封舊品。近年來，法國法馬通 (FRAMATOME) 公司曾到本廠介紹該公司所開發出之 RCP 一號軸封舊品整修後再利用的技術，基於本廠 RCP 一號軸封備品安全存量及減少廢料降低採購成本等考量，RCP 一號軸封整修技術是本廠可以努力的方向。

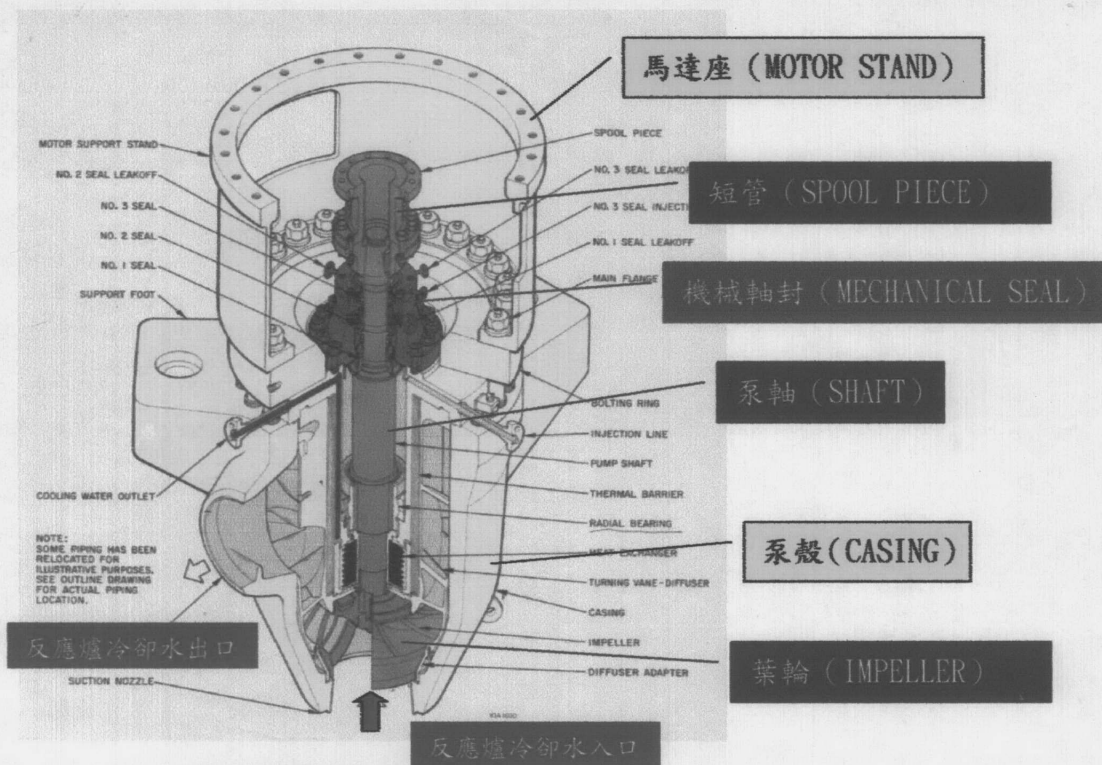
## (二)、本廠設備簡介：

1、本廠是目前國內唯一一座壓水式 (PWR) 核能發電廠，其反應爐冷卻水系統壓力維持在  $157 \text{ kg/c m}^2$  ( $2235\text{psig}$ )、溫度則維持在  $292$  至  $308^\circ\text{C}$  左右，使反應爐冷卻水保持在過壓狀態不致沸騰 (飽和壓力  $157 \text{ kg/c m}^2$  時，飽和溫度應為  $344^\circ\text{C}$ )。反應爐冷卻水流經反應爐爐心，將核分裂反應所產生的大量熱能帶走，流經熱端管路 (Hot Leg) 到蒸汽產生器管側，以加熱殼側飼水成為蒸汽 (約  $70 \text{ kg/c m}^2$ 、 $1000\text{psig}$  左右) 後用之推動汽機發電。反應爐冷卻水經過蒸汽產生器後，溫度降低，由反應爐冷卻水泵經冷端管路 (Cold Leg) 送回反應爐爐心重複循環。壓水式核能發電廠發電流程圖如圖一：



圖一、壓水式核能發電廠發電流程圖

2、反應爐冷卻水泵(Reactor Coolant Pump, RCP)構造，如圖二：



圖二、反應爐冷卻水泵構造

製造廠家：西屋公司 (WESTINGHOUSE)

廠家型號：93-A1

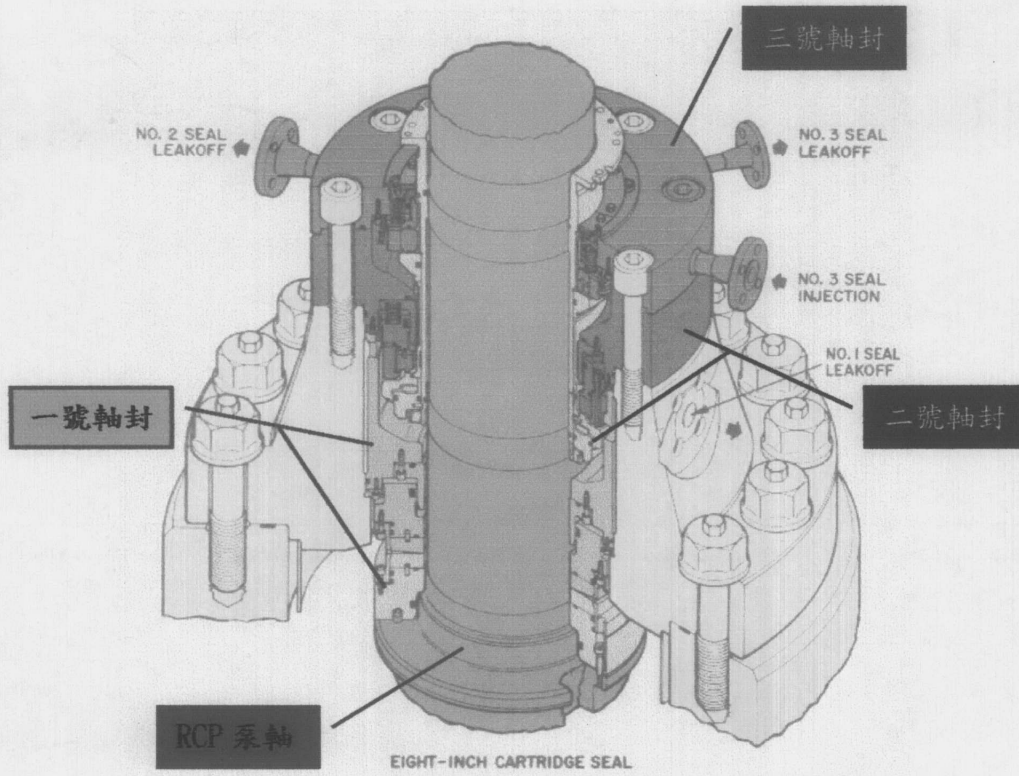
型式：單級直立式離心泵

馬達功率：7000HP

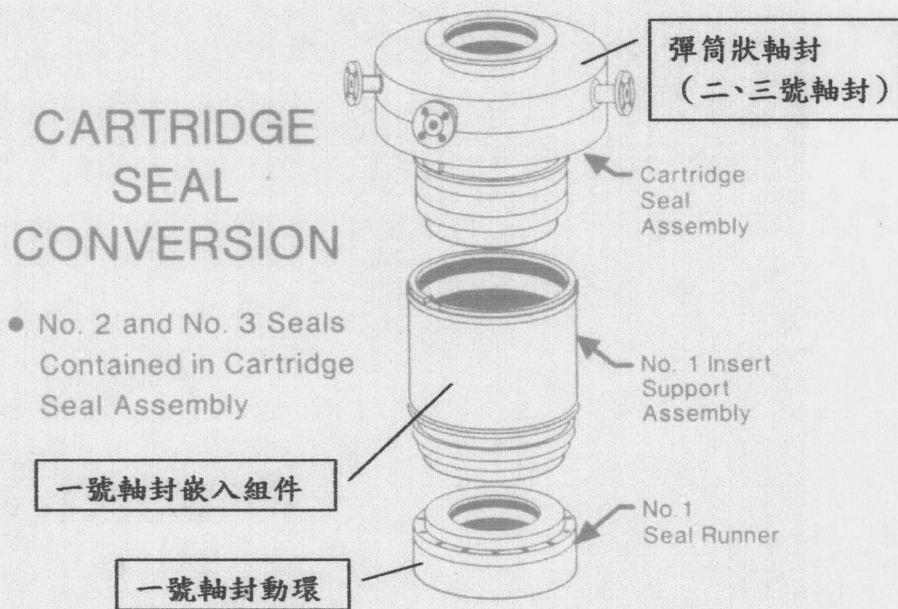
轉速：1186RPM

3、RCP 機械軸封構造：

(1)、本廠 RCP 機械軸封屬於控制洩漏式軸封，其主要構造可分為三大部分，分別為一號軸封、二號軸封及三號軸封，其中二、三號軸封因為考慮現場裝配的便利性及維修等因素而組合在一起，合稱為彈筒狀軸封 (CARTRIDGE SEAL)。此三道軸封構造詳如圖四、五：



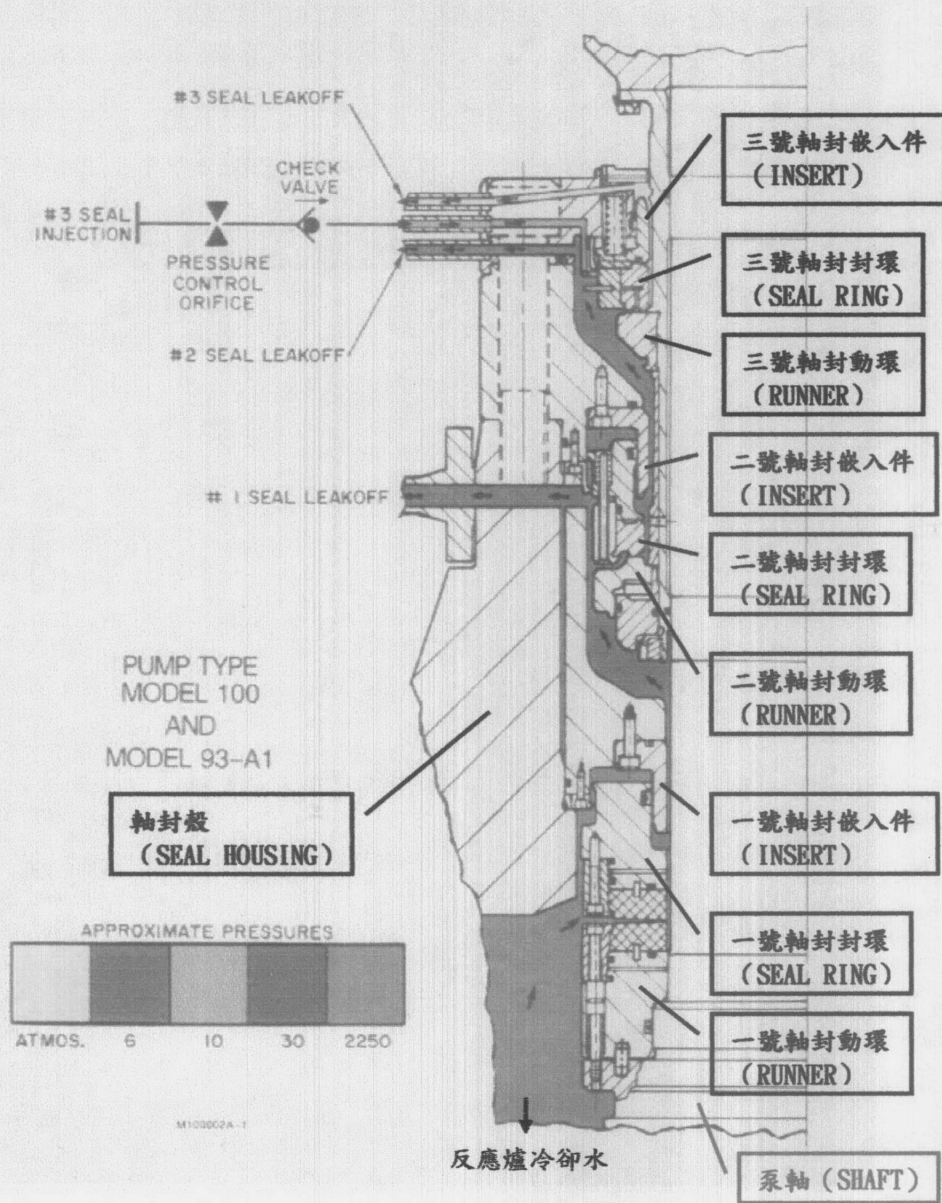
圖四、RCP 機械軸封構造圖



圖五、RCP 機械軸封構造圖

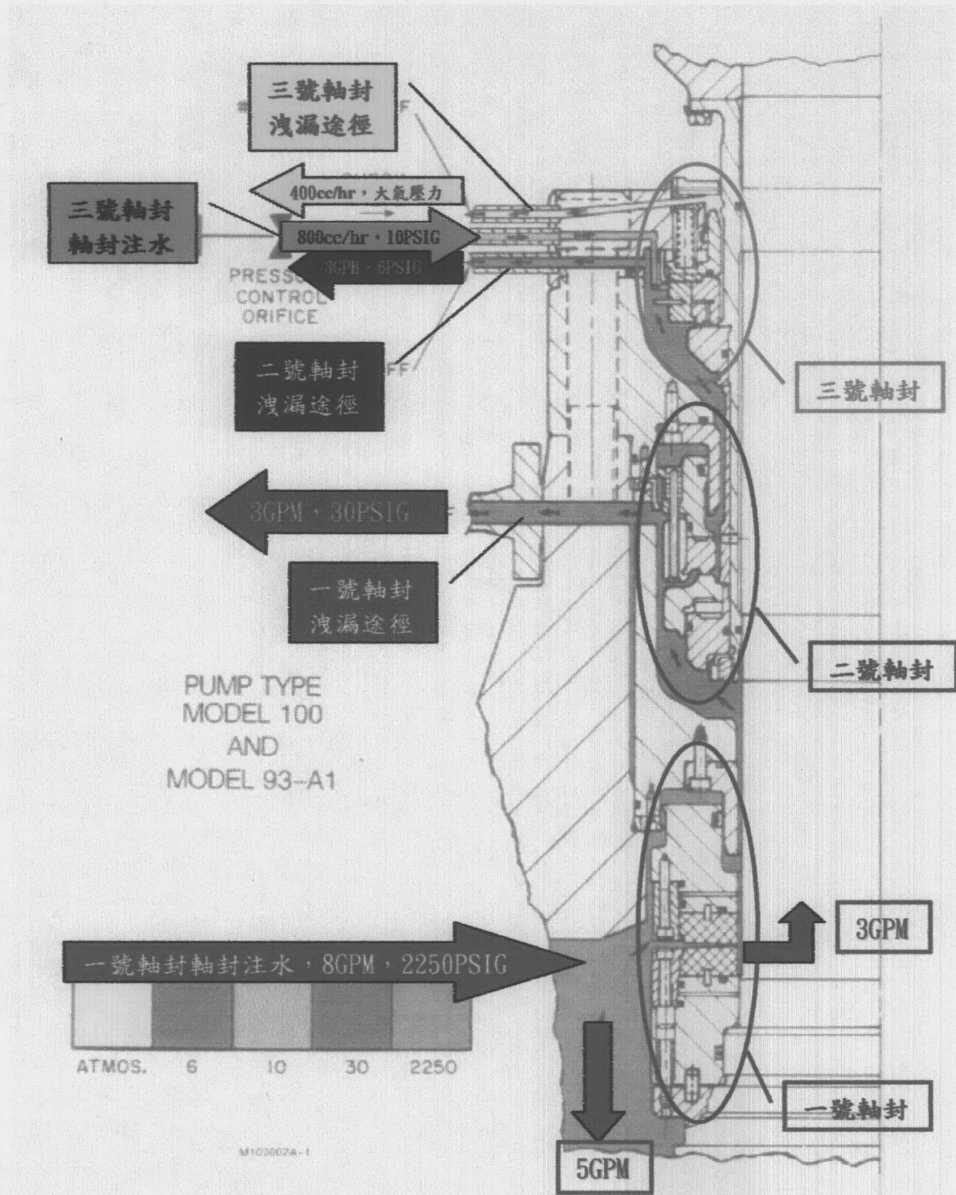


(2) RCP 機械軸封如上所述共分為三道軸封，其中一號軸封承受大部分的軸封注水差壓，其組成可大致分為動環 (RUNNER)、封環 (SEAL RING) 及嵌入件 (INSERT)；而二號軸封和三號軸封亦有動環、封環及嵌入件的設計。詳細剖面構造如圖六



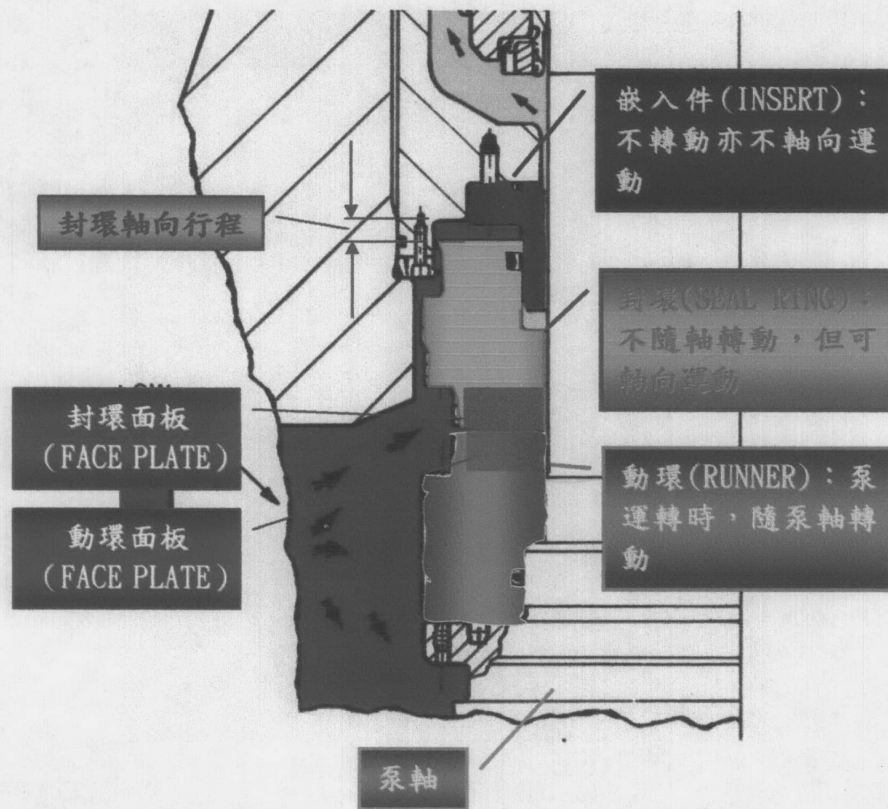
圖六、RCP 機械軸封詳細剖面構造圖

(3)、當 RCP 正常運轉時，一、二、三號軸封之動環隨泵軸轉動而轉動，而封環不隨泵軸轉動，但可配合嵌件上下移動。動環及封環間有軸封注水 (SEAL INJECTION) 注入，其功用除潤滑及冷卻軸封之外，並在動、封環間形成一層水膜將封環頂起。各道軸封注水流量及洩漏 (LEAK OFF) 流量如圖七。

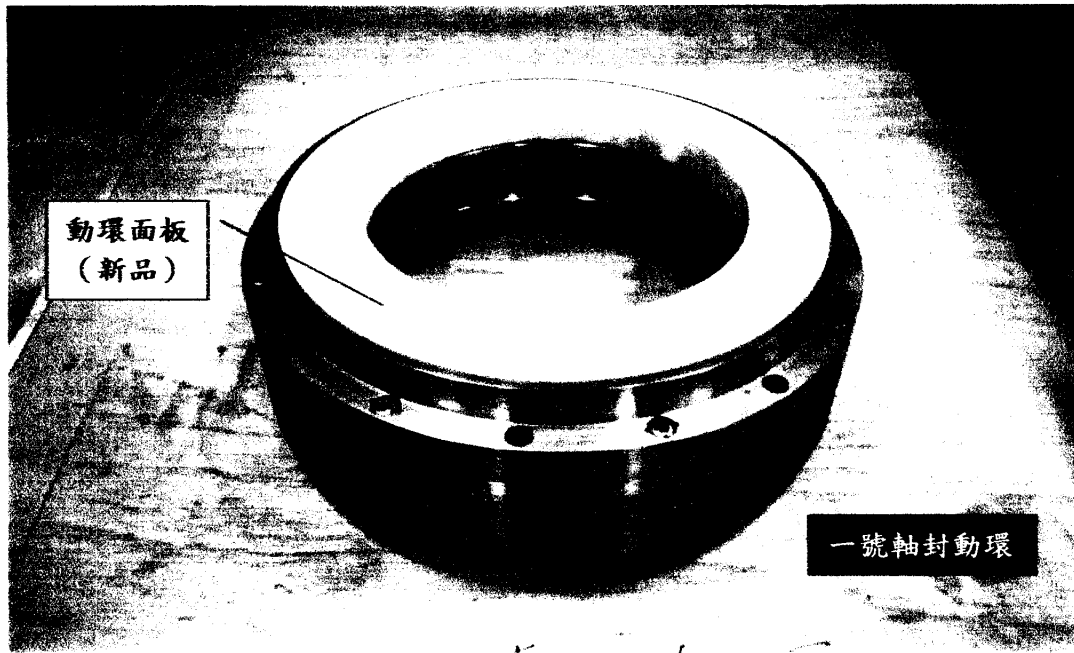


圖七、RCP 機械軸封軸封注水流量及洩漏流量圖

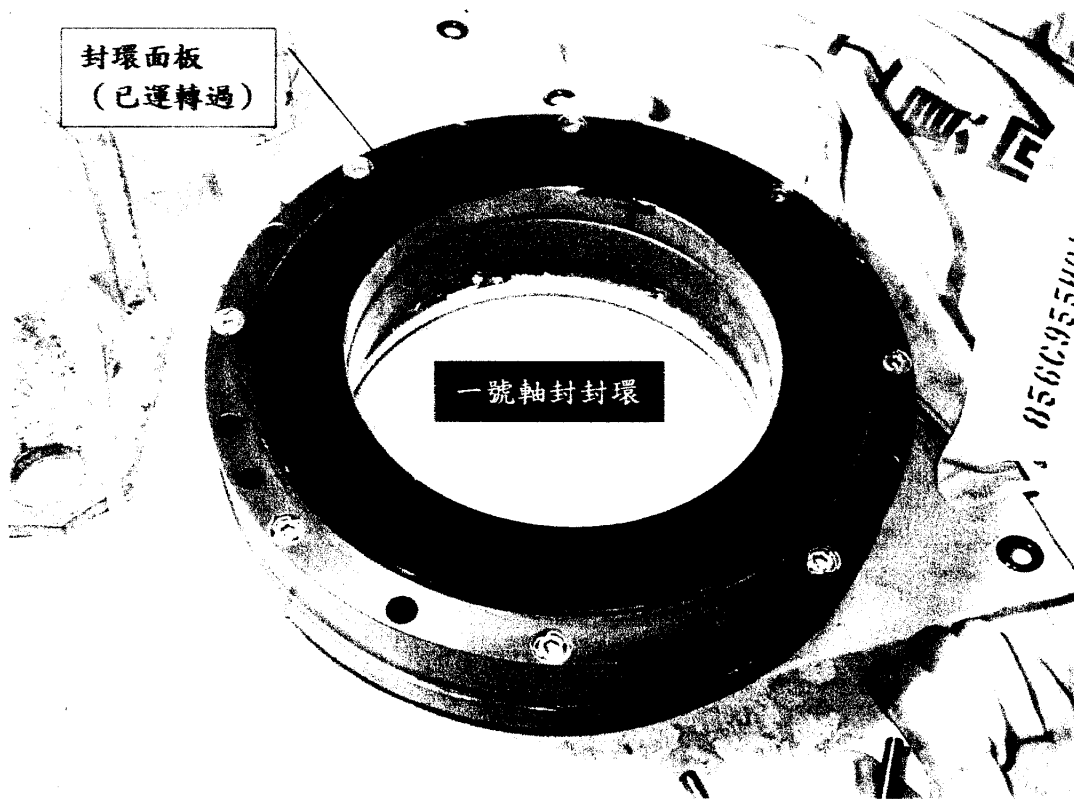
(4)、機組正常運轉時，因為一號軸封必須承受大部分的軸封注水差壓，故在整組 RCP 機械軸封中就屬一號軸封最為關鍵，也是整組 RCP 機械軸封維護的重點。目前本廠已具備檢修二、三號軸封的能力，但是尚無法自行檢修一號軸封，所以此次出國實習的重點便是針對如何檢修一號軸封，使之達到重複使用、降低廢料及採購成本的目的；此份報告亦是以一號軸封整修為主體。一號軸封的詳細構造及相片如圖八。



圖八、一號軸封詳細構造圖及相片 1/3



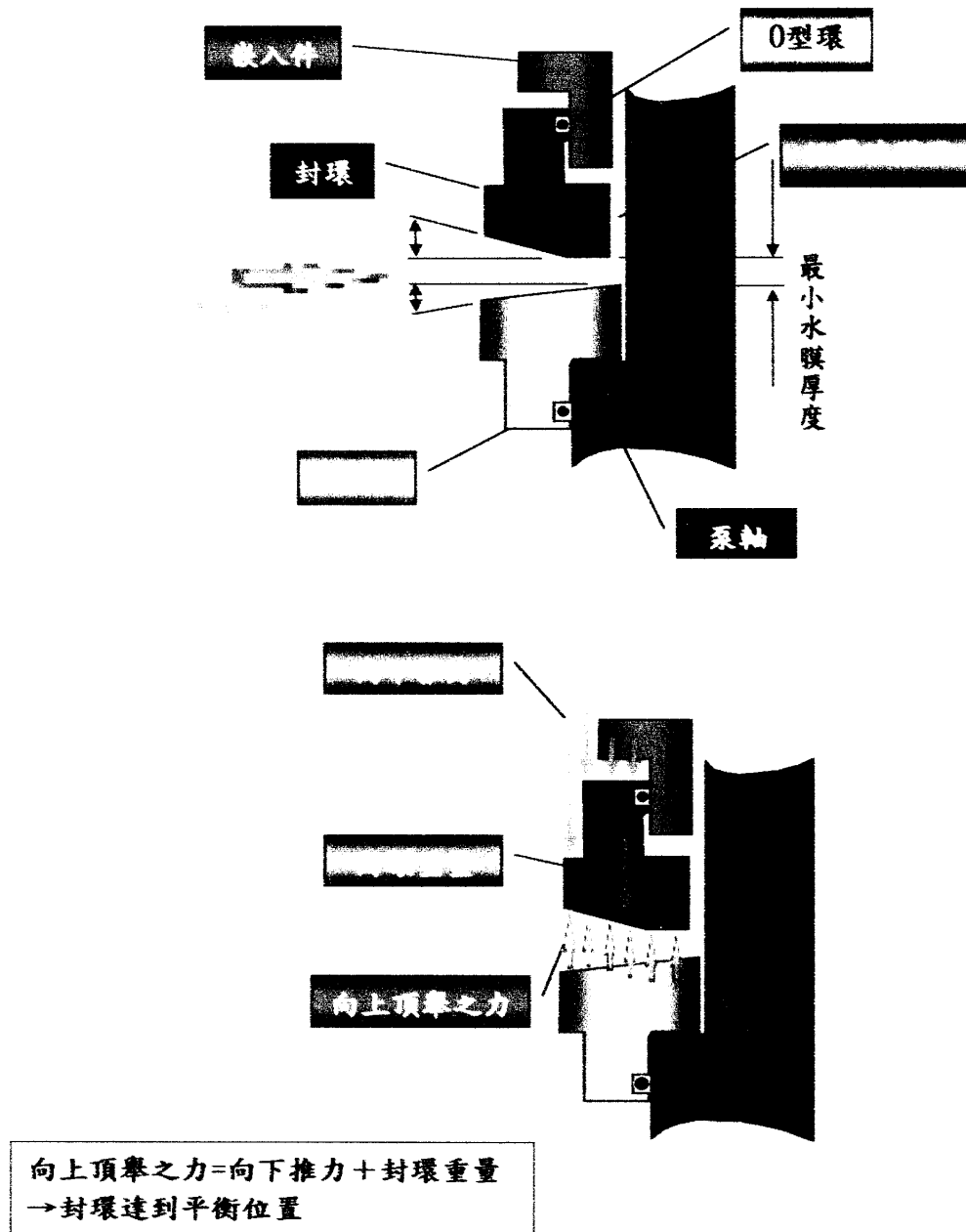
圖八、一號軸封詳細構造圖及相片 2/3



圖八、一號軸封詳細構造圖及相片 3/3

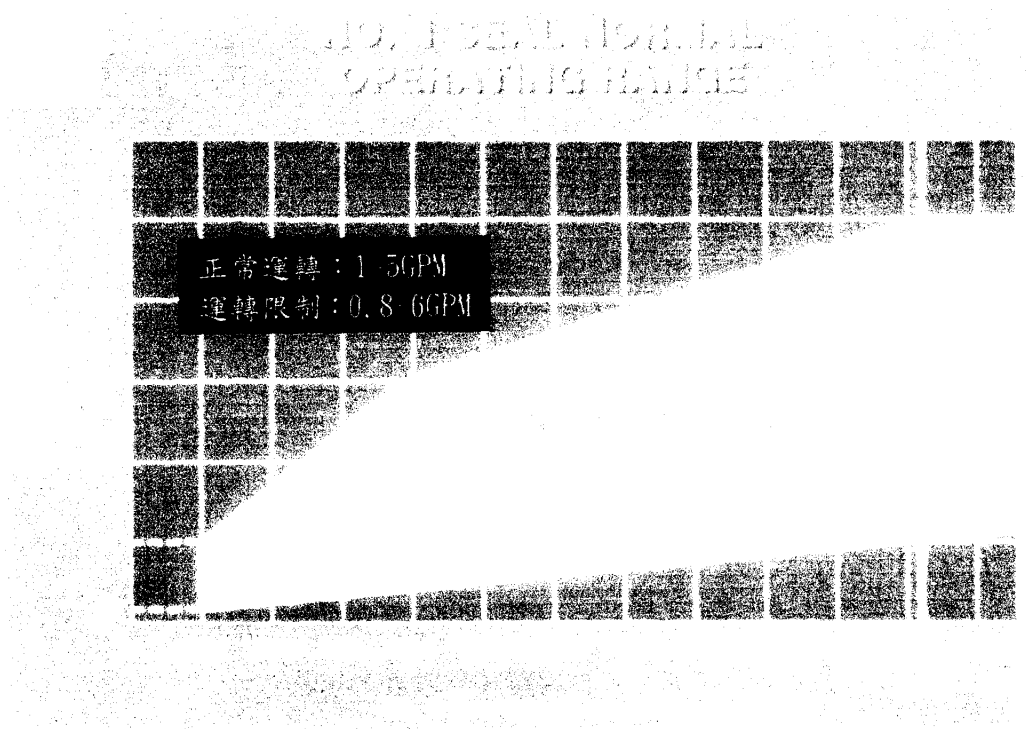
(三)運轉中機械軸封相關事項：

- 1、一號軸封於軸封注水建立後，其封環會被頂起使之不與動環接觸並允許洩漏流量通過，其壓力平衡圖如圖九。



圖九、一號軸封壓力平衡圖

2、正常運轉時，一號軸封洩漏流量會隨著一號軸封差壓而變化，若洩漏流量落在廠家所提供之運轉範圍內，則此洩漏流量為可接受值；反之，若洩漏流量落在廠家所提供之運轉範圍外，則代表 RCP 機械軸封性能並不符合接受標準，本廠必須依現場狀況採取因應措施。一號軸封洩漏流量運轉範圍如圖十：



圖十、一號軸封洩漏流量運轉範圍

### 3、一號軸封壽命：

- (1)、面板：因運轉時一號軸封動環與封環並未真正接觸（約有 0.01” 之間隙），所以在正常運轉狀況下，面板壽命可達到 17 年（無磨損壽命）。
- (2)、嵌入件：嵌入件於運轉時其外徑會和 O 型環相對軸向運動而磨耗，但因其外表有鍍一層碳化鉻以減少磨耗現象，故目前為止嵌入件的壽

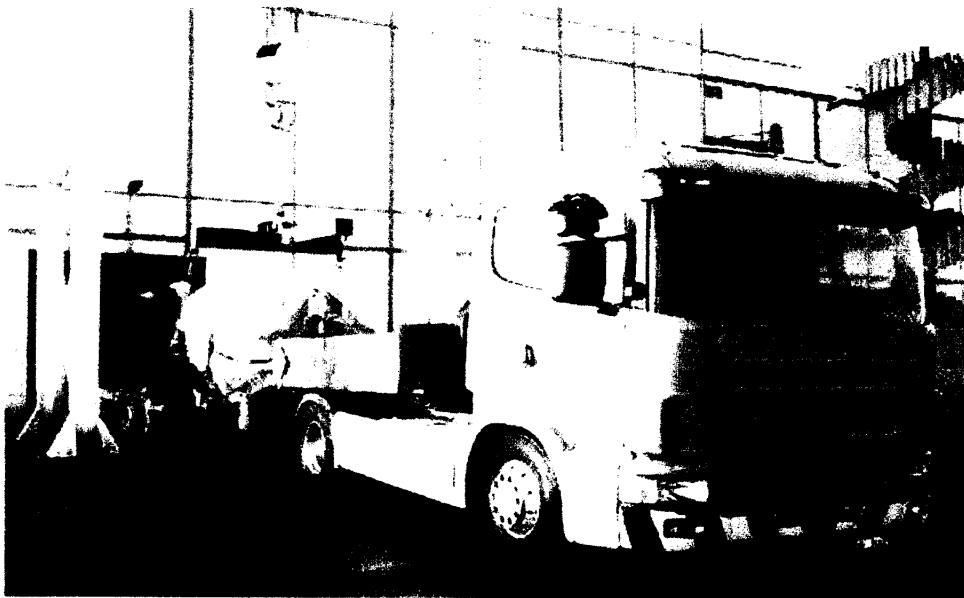
命大都大於六年。

(3)、O 型環：RCP 製造廠家西屋公司於 1991 年研發成功 RCP 機械軸封高溫 O 型環，目前本廠於一號軸封處皆已使用高溫 O 型環。依該公司技術文件指出，高溫 O 型環的使用壽命為六年，故與面板及嵌入件比較之下，高溫 O 型環的使用壽命為決定一號軸封使用壽命的主要因素。本廠目前依原廠建議將一號軸封更換週期訂為六年。

(四)、法國法馬通公司 (FRAMATOME) 整修技術與經驗：

法國法馬通公司為法國電力公司 (EDF) 旗下許多核能發電廠的製造廠家，目前法國電力公司許多核能發電廠的維修工作都委託該公司執行。雖然本廠 RCP 的製造廠家為美國西屋公司，但因法國境內核電廠使用之 RCP (型式：MODEL 100) 的機械軸封與本廠使用之 RCP 機械軸封在設計上完全相同，故其機械軸封整修技術亦可應用於本廠，以下便為該公司所能提供的技術及服務：

1、提供運輸工具將電廠設備運至檢修工廠，檢修完畢後再送回電廠。





2、提供污染設備暫時放置的場所（目前該公司之 SOMANU 熱修配廠為法國電力公司標準互換配件的儲存中心）：



3、提供污染設備除污服務（除污程序採用法國電力公司研發之專用程序）：

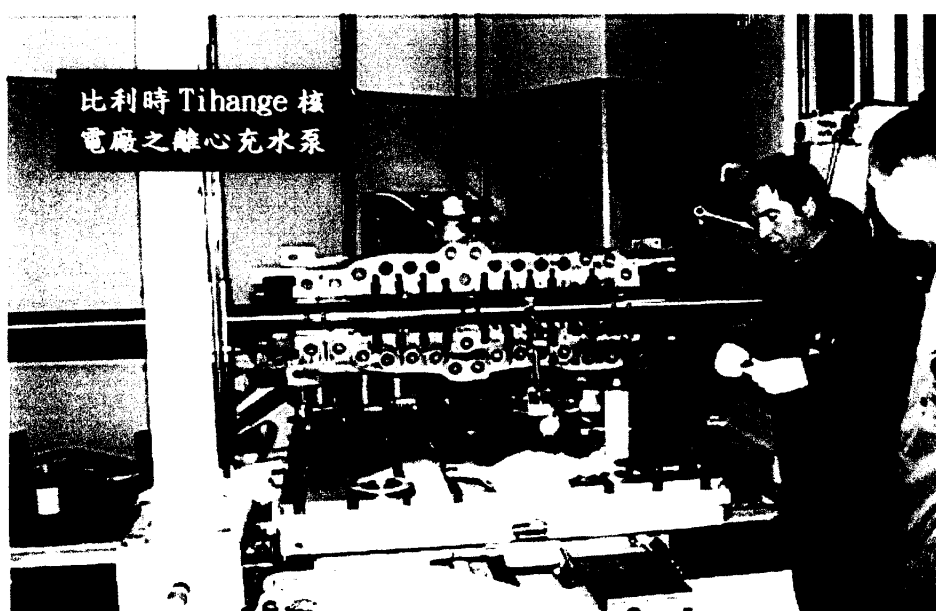




4、提供設備預防保養服務（電廠可向法馬通公司租借場地或工具以維修電廠設備）：



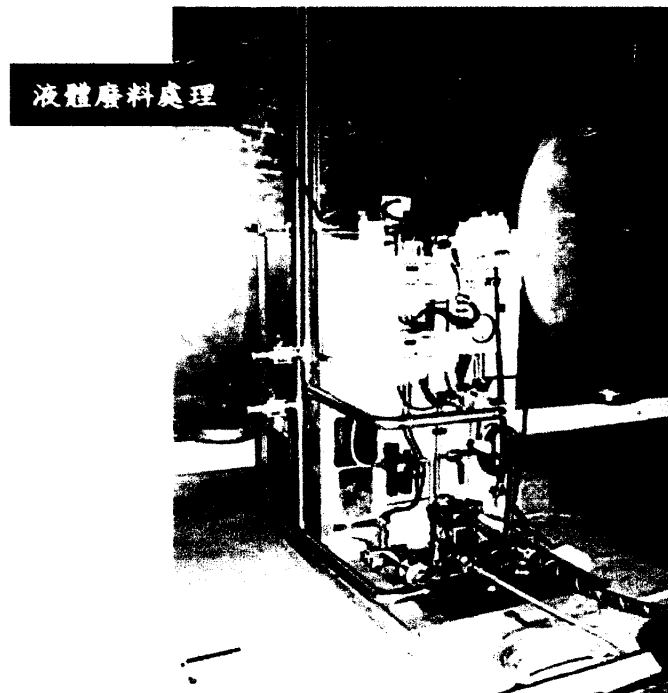
5、設備修復及改善（包括 RCP 內部組件）：



6、RCP 機械軸封整修後檢測及驗證：



7、RCP 機械軸封除污後之液體廢料處理：



- 8、RCP 一號軸封舊品整修過程會將動環及封環面板、全部高溫 O 型環及螺栓鎖緊裝置 (LOCK CUP) 更換為新品。
- 9、RCP 一號軸封舊品經由該公司整修完畢之後必須接受和新品完全相同之動態測試，能夠通過測試之整修品才能證實和新品具有相同之性能；若整修品無法通過動態測試，則必須調整或再更換軸封組件後繼續接受動態測試直到通過測試為止。
- 10、若 RCP 一號軸封舊品整修之後一直無法通過動態測試，則該公司會提供新品作為替代。
- 11、整修完成後之 RCP 一號軸封使用壽命為 6 年。
- 12、整修六只 RCP 一號軸封所需時間約為三個月 (不包含前置作業如投標、運送、品質文件審核...等)。
- 13、整修品之價格為新品價格之 6~7 成。
- 14、國際上其他核能發電廠委託法國法馬通公司整修 RCP 一號軸封之部分實績 (與本廠 RCP 機械軸封相同型式之電廠):
  - (1)、美國 Wolf Creek 電廠 (MODEL 93-A1)
  - (2)、中國大陸大亞灣電廠 (MODEL 100) ...等。
- 15、法國法馬通公司除提供 RCP 一號軸封舊品整修技術之外，亦可供應一號軸封新品。該公司稱其軸封新品除與原廠西屋公司在價格比較上較具競爭力之外，其交貨期亦相當快速。
- 16、若電廠有意願自行檢修 RCP 一號軸封舊品，法馬通公司亦可出售 RCP 機械軸封動態測試裝置。該公司稱韓國電力公司已向其購買一套 RCP 機械軸封動態測試裝置。

(五)、本廠 RCP 一號軸封備品準備策略：

目前本廠 RCP 一號軸封備品之存量已經不足，另一方面也堆積了十幾只以往依檢修週期而更換下來的舊品，經此次和法國法馬通公司交換 RCP

一號軸封整修技術及了解該公司在這方面之維修實績後，本廠體會除了向 RCP 製造廠家西屋公司購買一號軸封新品之外，重新利用舊品整修成和新品具有相同性能之修復品亦是一項備品準備的策略。今後本廠若要購買 RCP 一號軸封，將可在購買新品或是採用舊品再利用之二種方式中選擇對本廠較有利的方式進行採購。

#### 四、心得與建議

反應爐冷卻水泵是壓水式核能發電廠中十分重要的設備，任何一點運轉及維護上的小差錯都有可能對整座電廠造成衝擊，也因此國際上各壓水式核能發電廠對反應爐冷卻水泵的維護皆投注了相當大的心力，核能界對此亦有許多的研究發表及經驗回饋。由於台灣目前只有本廠這一座壓水式核能發電廠，所以本廠維護同仁在反應爐冷卻水泵機械軸封這個領域上除了廠家說明書及以往維護經驗之外，對於國外此方面的技術發展更是需要加以關心，時時留意友廠前進的腳步並汲取同業中優良的經驗以收互相砥礪之效。

目前社會上對於核能發電廠的要求相當嚴格，核電廠的運轉及維護完全不容許有任何一絲冒險的成分，所以現在在核電廠工作的同仁都是兢兢業業、小心謹慎，彼此皆希望電廠在所有成員的努力下一直能夠保持穩定運轉。此次非常榮幸有這個機會至國外觀摩其他廠家在反應爐冷卻水泵機械軸封這方面的維護技術，在實習過程之中也深刻地體會到唯有不斷的學習才能夠繼續生存。環境是現實的，台電公司核能發電廠面臨民營電廠急起直追及社會群眾對核能發電高標準要求的雙重壓力下，只有一直進步，隨時保持最佳狀態才能在發電業中繼續佔有一席之地。