



數位儀控系統人因工程技術發展  
與應用先期研究  
期末報告

台灣電力股份有限公司  
中華民國 95 年 12 月

數位儀控系統人因工程技術發展  
與應用先期研究  
期末報告

研究方式：委託研究

執行期間：94年12月23日 至 95年12月22日

計劃主持人：許尚華教授

研究人員：李俊佳、邱曉萍

戴守國、梁逸青、陳淑萍、王聖銓

執行單位：國立交通大學

委託單位：台電核能技術處

# 目錄

第一章 緒論.....	1
1.1. 計畫背景.....	1
1.2. 計畫目標.....	4
1.3. 工作項目.....	4
第二章 數位控制室人因工程驗證技術的回顧與案例的彙整.....	5
2.1. 人因工程驗證程序之規範.....	6
2.1.1. 人因工程計劃審查模型 (NUREG-0711) .....	6
2.1.2. 整合的系統驗證之方法與審查準則 (CR-6393 Integrated System Validation: Methodology and Review Criteria) .....	8
2.1.3. 先進型資訊系統設計：技術基礎與人因工程審查指引 (CR-6633 Advanced Information Systems Design : Technical Basis and Human Factors Review Guidance) .....	17
2.2. 主控制室人因議題之案例分析.....	20
2.2.1. 電腦化系統之介面管理作業對人員作業績效與電廠安全之影響.....	20
研究案例：The Effects of Interface Management –Tasks on Crew Performance and Safety in Complex Computer-based Systems (NUREG/CR-6690) .....	20
2.2.2 先進型反應器的控制室之人員配置.....	22
研究案例：A Study of Control Room Staffing Levels for Advanced Reactors (NUREG/IA-0137) .....	22
2.2.3 數位與傳統人機介面之整合對於主控制室運轉作業的影響.....	27
研究案例：Integrating Digital and Conventional Human-System Interfaces : Lessons Learned from a Control Room Modernization Program (NUREG/CR-6749) .....	27
2.2.4. 警報的顯示、處理以及可利用性在人員績效上的影響.....	30
研究案例：The effects of alarm display, processing, and availability on crew performance (NUREG/CR-6691) .....	30
2.3 結論.....	34
第三章 主控制室人因工程驗證計畫.....	36
3.1. V&V-2 與 CR-6393 之比較.....	36
3.2. 主控制室人因工程驗證技術.....	38
3.2.1. 測試情節的選取.....	38
3.2.2. 測試情節腳本 (Operational Condition Scenario Script) 的發展.....	39
3.2.3. 整合性系統驗證的人員績效評估量表的發展.....	41
3.2.4. 現有的人員績效評估方式的回顧與整理.....	41

第四章 人因工程驗證工具之發展.....	54
4.1. 作業分析.....	54
4.1.1. 正常作業.....	54
4.1.2. 異常作業.....	60
4.1.3. 最佳作業流程.....	62
4.2. 發展績效評估工具.....	65
4.2.1. 先進型控制室人為疏失檢核表.....	65
4.2.2. 介面管理作業評估表.....	69
4.2.3. 先進型控制室狀況察覺評估表.....	70
4.2.4. 控制室團隊互動行為評估工具的發展.....	71
第五章 人因工程驗證分析.....	74
5.1. 先進型控制室狀況察覺.....	74
5.1.1. <i>Start-up to Rated Power</i> .....	74
5.1.2. <i>LOCA with LOOP</i> .....	76
5.1.3. <i>LOCA with LOOP</i> 與 <i>Start-up to Rated Power</i> 的比較.....	78
5.1.4. 小結.....	80
5.2. 團隊互動行為.....	81
5.2.1. <i>Start-up to Rated Power</i> .....	81
5.2.2. <i>LOCA with LOOP</i> .....	85
5.2.3. 小結.....	88
5.3. 介面管理策略之評估.....	89
第六章 結論與建議.....	90
6.1 結論.....	90
6.2 未來研究的方向.....	91
參考文獻.....	93
附件	
附錄	

# 表目錄

---

表一	Meister(1985)發展之作業績效量化.....	12
表二	IA-0137 之實驗設計.....	23
表三	IA-0137 績效評估結果(1).....	26
表四	IA-0137 績效評估結果(2).....	27
表五	疏失檢核表－觀察系統狀態.....	66
表六	疏失檢核表－假說產生.....	66
表七	疏失檢核表－假說測試.....	67
表八	疏失檢核表－目標選擇.....	67
表九	疏失檢核表－程序選擇.....	67
表十	疏失檢核表－程序執行.....	68
表十一	團隊互動行為疏失檢核表－溝通.....	68
表十二	團隊互動行為疏失檢核表－協調.....	69
表十三	團隊互動行為疏失檢核表－支援.....	69
表十四	Start-up 使用 HSI 的次數統計表.....	74
表十五	抽棒作業使用 HSI 的次數統計表.....	75
表十六	並聯使用 HSI 的次數統計表.....	75
表十七	LOCA with LOOP 使用 HSI 的次數統計表.....	76
表十八	爐心補水使用 HSI 的次數統計表.....	77
表十九	抑壓池冷卻使用 HSI 的次數統計表.....	78
表二十	LOCA 與 Start-up 使用 HSI 的次數統計表.....	79
表二十一	A 組與 B 組抽棒作業時間.....	82
表二十二	A 組與 B 組並聯作業時間.....	83
表二十三	A 組與 B 組爐心補水作業時間.....	85
表二十四	A 組與 B 組抑壓池冷卻作業時間.....	86
表二十五	頁面點閱次數統計表－抽棒.....	89
表二十六	頁面點閱次數統計表－並聯.....	89

# 圖目錄

圖一	文獻回顧參考架構.....	6
圖二	確認與驗證之活動.....	7
圖三	主觀工作負荷評估技術.....	14
圖四	美國 NASA 工作負荷評估技術.....	15
圖五	正常作業程序圖.....	55
圖六	RO 執行 IOP 201.1 程序 9 操作程序圖.....	56
圖七	RO 執行 IOP 201.1 程序 10 操作程序圖.....	57
圖八	ARO 執行 IOP 201.1 程序 9 操作程序圖.....	58
圖九	ARO 執行 IOP 201.1 程序 10 操作程序圖.....	59
圖十	異常作業程序圖.....	60
圖十一	EOP-581.1 反應爐水位操作程序圖.....	61
圖十二	EOP-582 抑壓池降溫操作程序圖.....	62
圖十三	警報處理最佳作業流程.....	63
圖十四	EOP 最佳作業流程.....	64
圖十五	運轉作業處理概念模型.....	65
圖十六	抽棒作業使用 HSI 的次數統計圖.....	75
圖十七	並聯使用 HSI 的次數統計圖.....	76
圖十八	爐心補水使用 HSI 的次數統計圖.....	77
圖十九	抑壓池冷卻使用 HSI 的次數統計圖.....	78
圖二十	A 組 LOCA 與 Start-up 使用 HSI 的次數統計圖.....	79
圖二十一	B 組 LOCA 與 Start-up 使用 HSI 的次數統計圖.....	80
圖二十二	A 組與 B 組抽棒作業共享顯示器的使用次數統計圖.....	82
圖二十三	A 組與 B 組抽棒作業溝通型態次數統計圖.....	83
圖二十四	A 組與 B 組並聯作業共享顯示器使用次數統計圖.....	84
圖二十五	A 組與 B 組並聯作業溝通型態次數統計圖.....	84
圖二十六	A 組與 B 組爐心補水作業共享顯示器使用次數統計圖.....	85
圖二十七	A 組與 B 組爐心補水作業溝通型態次數統計圖.....	86
圖二十八	A 組與 B 組抑壓池冷卻作業共享顯示器使用次數統計圖.....	87
圖二十九	A 組與 B 組抑壓池冷卻作業溝通型態次數統計圖.....	87

# 第一章 緒論

## 1.1. 計畫背景

主控制室是核能電廠的樞紐，主控制室人機介面的設計影響運轉人員的狀況察覺與決策，對於核能營運的安全影響甚鉅。以往的核電廠事件與主要事故多與人機介面的設計有關。過去，核能電廠主控制室之顯示與控制方式主要採用傳統類比式儀控系統技術，有上千儀控設備設置在整個控制盤的固定位置，造成運轉員在擷取資訊、整合資訊與預測重要參數趨勢時，心智負荷過重，容易造成決策偏差，進而影響電廠安全。而最近開發的儀控系統，或稱之為先進型(Advanced)儀控系統，其顯示與控制方式則採用數位儀控技術，整個控制盤大多數是由電腦化(Computer-based)之人機介面所組成，所謂的電腦化包含軟體程序控制(Software-based Process Controls)、電腦化程序書(Computer-based Procedure System)、以及大型螢幕顯示全廠概況(Large Screen, Overview Displays)、重要安全參數及其趨勢、警報資訊和個別顯示器顯示系統細部資訊。希望利用電腦技術，提供運轉員介面互動的彈性與所需的資訊。透過自動化，協助運轉員操作，以減輕手動的負荷、疲勞及例行性作業。寄望透過該技術，不僅能夠縮小控制室的空間，且能夠減輕運轉員的負荷、減少運轉人力以及增加可靠度。但由於數位化之關係，不僅是人機介面的設計對人員作業的影響需做探討、人員對電腦化的操作方式需要進一步學習與適應之外，對於運轉員在控制室團隊中所扮演的角色及其作業模式、控制室的運轉策略也需要隨之調整，以免產生人為疏失，影響系統安全。

雖然數位化主控制室的設計有諸多優點，但同時也可能衍生另一型態的人因及人機介面議題，例如，運轉員無法使用過去已經熟悉對類比顯示的掃瞄形式，來進行對資訊的搜尋。同時增加了若干自動化程序控制，運轉員可能無法及時瞭解系統的運作方式而造成自動化驚訝，導致降低人員對系統的熟悉度及技能水準。高度的自動化也可能造成人員對運轉產生枯燥感、喪失警戒心與狀況察覺，對系統過度地依賴或自滿。當自動化系統失效時，可能造成人員的工作負荷轉變過大。而數位化的彈性介面設計，則可能增加介面管理的負荷，尋找資訊之導航困難。在團隊互動上，由於個人作業型態的變革，再加上自動化的系統，造成互動機制的改變，而可能改變組員間溝通與合作的機能。

為了避免人機介面設計所產生的人因議題，NRC 提出人機系統介面設計審查指引(NUREG-0700)，對各項設計變項提出一般性原則，然而此規範之人機互動的設計過於片段且太籠統，不足以作為人因工程驗證之準繩，以確保顯示與控制能適當的支援運轉員的作業需求以及運轉安全。另外，人機介面設計需做整

體之考量，在設計變項間作權衡。但該文獻缺乏較高階的、認知性之設計準則，例如工作負荷、適當資訊是否可得、任務配置是否平衡、運轉員之技術及其能力限制是否被考慮，使得在設計開發先進型控制室時往往面臨很大的挑戰。因此在設計主控制室人機互動系統時，單靠原則之審查是不足的，必須透過嚴謹的現場操作性驗證，才能確保其操作性與安全性。

為了防範人因問題所帶來對核電廠安全之影響，美國核管會頒佈 NUREG-0711，「人因工程工作計劃審查模型 (Human Factors Engineering Program Review Model, HFEP RM)」，作為審查數位化核能電廠開發執照之指引，要求廠商在電廠開發期間必須將人因工程程序確實納入系統開發過程。NEURG-0711 將系統開發過程分成四個階段，包含：計畫、分析、設計、確認與驗證。

核四廠的主控制室設計便是遵循 NUREG-0711 所規範的人因工程程序來建置。目前核四廠主控制室人機介面系統的開發正進入人因工程確認與驗證 (Verification and Validation, V&V) 階段。此階段的工作包含：人機介面支援作業的確認 (HSI Task Support Verification)、人因工程設計確認 (HFE Design Verification)、整合的系統驗證 (Integrated System Validation) 與人因問題的解決 (Human Engineering Discrepancies Resolution) 等部分。然而 NUREG-0711 在人因工程確認與驗證階段，只提出一般性的程序原則，到底如何將合適的人因工程驗證技術納入 V&V 的程序，這些程序如何能有效地在龍門計畫被落實執行，攸關驗證計畫的成敗，進而會影響未來運轉上的安全。

在發展及建置先進型主控制室的過程中，除了人因工程的審核計劃程序需要被探討外，有關先進型主控制室中可能發生的潛在人因議題也需要同時被考量。由於目前有關先進型控制室人因議題的文獻並不多，因此，我們可以借用其他複雜系統 (如飛航系統、程序控制系統) 的數位儀控人機介面設計的經驗來探討先進型主控制室設計的潛在人因的議題，可能的議題包含人與電腦互動、數位介面對團隊作業的支援、和潛在人為疏失等。

對於人與電腦互動的議題，O'Hara 等人 (2001) 曾就介面操作管理對於運轉員作業績效與系統安全進行研究，研究結果發現介面操作管理對於運轉作業績效有兩項負面效果：(1) 運轉作業績效會因運轉員將注意力移轉到介面操作管理而下降，(2) 運轉員在高負荷的情境下會減少介面操作，而錯失了運轉作業所需的資訊，使得其決策品質變差，進而影響到運轉安全。因此，在設計人機介面時應考量如何增強尋找與瀏覽資訊的功能，使它符合運轉員的心智模型，以降低運轉員作業時的工作負荷。

另一方面，數位儀控系統通常較類比系統能夠提供更多的訊息，然而每次資訊呈現的數量受限於顯示畫面之空間，為了能在有限空間中存取資訊，資訊通常



需要被安排至階層式的顯示頁面中。然而，新的顯示系統可能包含上千個顯示頁面，要找尋所需的資訊，易造成額外之工作負荷，也容易增加操作人員反應時間及分心，進而降低人員之主要作業績效。因此，如何在數位儀控系統中設計資訊瀏覽的方式，顯得相當重要。其中的議題包含：顯示畫面中資訊的密度及資訊顯示之數目、顯示順序的安排、直接提取資訊的線索、能夠允許用不同形式及位置的彈性資訊顯示設計等，皆是需要考量的重要因素。

關於數位介面對團隊作業支援的部分，最常被探討的議題便是電腦支援協同作業（Computer Supported Cooperative Work, CSCW）。在核能電廠主控制室數位化之後，人員之間如何互動及溝通所產生的問題包含：較不容易維持整個電廠現況之察覺、透過電腦控制器及顯示器存取資訊的困難度及時間差、較不容易維持對團隊成員動作之察覺、以及較不容易溝通等。

當運轉員的作業方式改變時，不管他們的角色、知識、技巧、工作特性及處理行為亦須隨之調整及改變，這部份更須謹慎以對。關於數位化後，人員間如何協調及合作，是我們另一個關心的議題。主控制室之數位化及自動化之目的，原本希望能降低人員作業負荷，並提昇人員作業績效。雖然，這些新技術會降低運轉員在某些情況的負荷，然而在其他方面卻又會增加負荷，因此我們需要針對數位化後，人員間如何互動、溝通、以及協調活動再做進一步的分析及研究。

有關潛在人為疏失方面，依以往複雜系統的經驗，可能包括有運轉作業疏失與介面操作疏失。運轉作業疏失可能包含狀況察覺疏失、決策疏失、溝通疏失、程序疏失。而介面操作疏失，可能包含資料輸入疏失、導覽疏失、資訊讀取疏失。核電廠數位儀控系統的疏失有待探討與評估，並提出因應對策。

總結上述，龍門計畫的人因工程有兩大議題亟需探討：(1)發展適用於龍門計畫數位儀控系統人因工程確認與驗證之人因工程技術，(2)探討潛在之人因問題並擬定因應對策。本研究將針對此二議題進行探討，並協助台電龍門計畫數位儀控系統人因工程確認與驗證工作，同時也協助台電向國內人因學界溝通，以增進學界對龍門計畫人因工程的了解，減少對核能安全的疑慮。

## 1.2. 計畫目標

1. 落實龍門計畫人因工程確認與驗證程序，以確保數位儀控系統的操作性與安全性。
2. 透過數位化人機介面互動潛在人因問題的探討、分析，提早因應人機介面之潛在人因問題，確保運轉安全。
3. 協助舉辦人因工程研討會，以提升國內學術界對龍門計畫儀控系統的了解與接受度。

## 1.3. 工作項目

本計畫的工作項目有以下五點：

1. 調查數位儀控系統人機介面測試與評估技術，進行案例彙整與分析。
2. 評估數位儀控系統現場人因工程確認與驗證執行規劃，使其符合 NUREG-0711 的要求，落實龍門計畫儀控系統的操作性與安全性。
3. 探討、分析數位化人機介面互動潛在人因問題，並建議因應方案。
4. 進行 NUREG-0711 審查準則之分析，以推導適用於新建機組現階段以及未來現場裝機測試所需人因工程技術、程序與方法。
5. 協助舉辦人因工程研討會，邀集產、官、學界相關專家研討數位儀控系統人因工程技術發展與應用議題。

## 第二章 數位控制室人因工程驗證技術的回顧與案例的彙整

本項研究回顧 NUREG 有關人因工程驗證的規範文獻中所建議之人因測試技術與方法，並評估有關數位控制室研究所採用之人因工程評估技術，以作為龍門計畫主控制室人因工程驗證技術之參考，關於本章文獻回顧之架構如圖一。

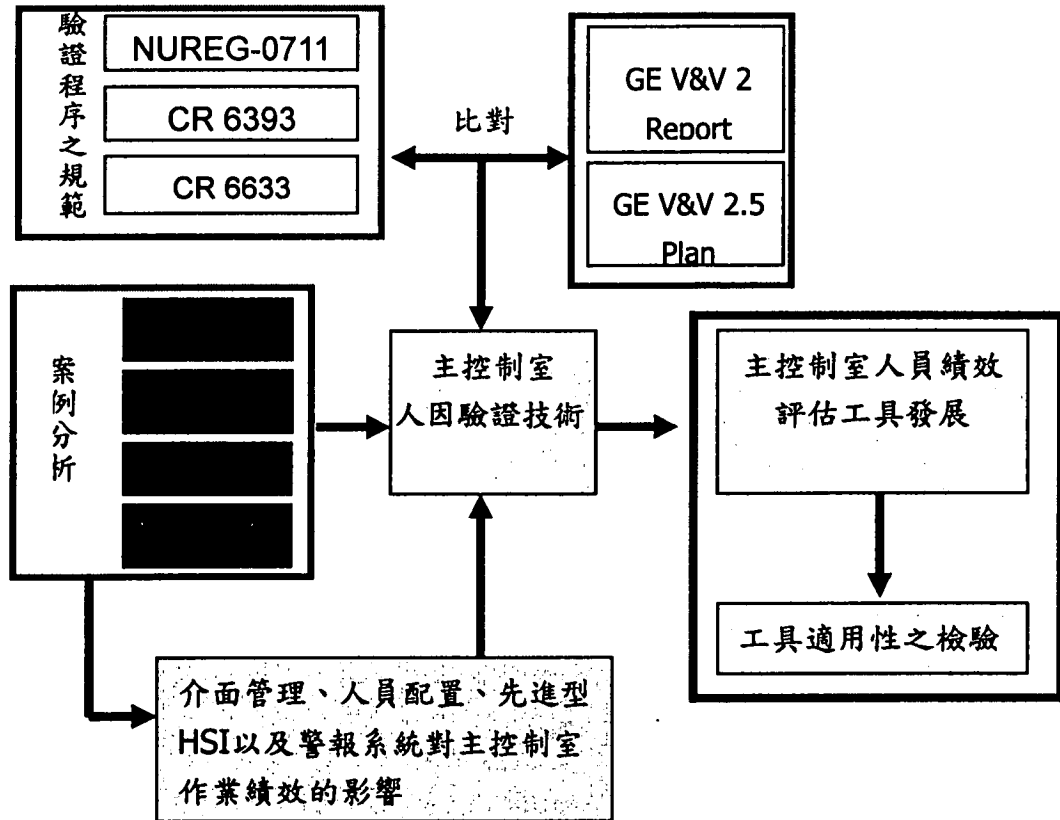
首先根據 NUREG-0711 來瞭解在整個系統的開發過程中，人因工程在確認與驗證中所扮演的角色。目前龍門計畫已進入人因工程確認與驗證階段中之整合系統驗證作業，以進一步地確認維持電廠運轉的所有要素間，包含人員的功能與配置，人機介面之功能與配置，以及人員與系統間的協調統合等設計與運作，是否能夠符合人因工程設計之原則。

由於 NUREG-0711 對於整合的系統驗證方法只提出通則性的規範，因此我們另外參閱了 NUREG/CR-6393 整合系統驗證之方法與審查準則 (Integrated System Validation: Methodology and Review Criteria)。NUREG/CR-6393 詳述了落實整合系統驗證之詳細方法與步驟。在整合系統驗證階段之評估，主要依據績效的量測 (Performance-based Test)，透過對電廠績效、人員績效、認知因素績效、人體計測與人員生理因素的評核，以確認電廠是否能夠正常、安全的運轉。在 CR-6393 中也詳細說明驗證時模擬器的使用，績效測量工具及準則的適當選取。透過 CR-6393 與 NEURG-0711，我們可以清楚地瞭解整個驗證計畫的執行步驟與審查之原則。

目前核四廠主控制室之設計乃是以電腦化介面為基礎的先進型主控制室，與過去傳統電廠之類比介面差異甚大。數位化介面的使用大幅縮減了主控制室之空間，且透過採用自動化系統，也減少了主控制室運轉員的作業負荷。然而在數位化的儀控系統中，上千頁的資訊隱藏於顯示螢幕之中，資訊的擷取增加了人員介面管理的作業。因此我們針對先進型主控制室的人員配置、介面管理作業、先進型 HSI 以及警報系統四個議題，分別回顧了 NUREG/IA-0137 「先進型反應器的控制室人員配置研究」 (A Study of Control Room Staffing Levels for Advanced Reactors)、CR-6690 「電腦化系統之介面管理作業對人員作業績效與電廠安全之影響」 (The Effects of Interface Management Tasks on Crew Performance and Safety in Complex Computer-based Systems)、CR-6749 「數位與傳統人機介面之整合對於主控制室運轉作業的影響」 (Integrating Digital and Conventional Human-System Interfaces: Lessons Learned from a Control Room Modernization Program)，與 CR-6691 「警報的顯示、處理以及可利用性在人員績效上的影響」 (The Effects of Alarm Display, Processing, and

Availability on Crew Performance) ，這四個實際的案例來進行探討。

以下章節敘述人因工程驗證程序的回顧與數位化主控制室人因議題案例的探討。



圖一 文獻回顧參考架構

## 2.1. 人因工程驗證程序之規範

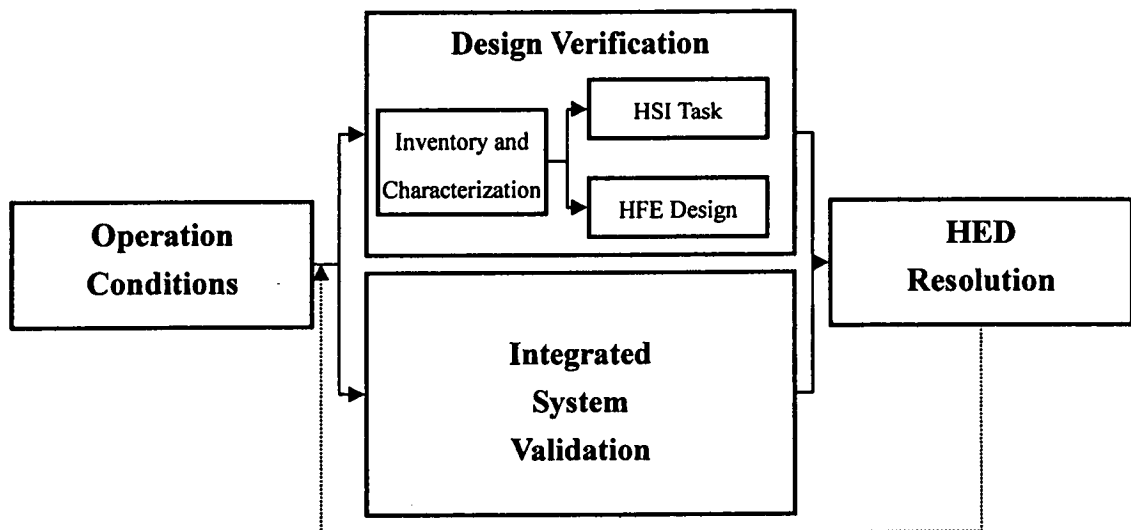
### 2.1.1. 人因工程計劃審查模型 (NUREG-0711)

NUREG-0711 主要是根據系統化發展與設計理論所發展而來，目的是希望所有的系統組件在設計的過程中皆須經過詳細人因考量，並有效地將人因工程技術與原則融入系統發展的過程之中。NUREG-0711 可以分成四個發展階段：計畫、分析、設計、確認與驗證。

其中計畫與分析包括了：在系統開始設計建置之前，即必須納入人因工程計畫的管理，透過過去的運轉經驗，系統的功能需求分析，作業分析及人員可靠度分析等步驟，作為後續系統設計的基礎架構與考量。

設計階段包含了：人機介面的設計，程序書以及訓練計畫的發展。根據計畫與分析階段所獲得的資訊，將之進一步設計成符合人員期望、並有效、安全地執行電廠運轉之人機介面；發展於正常或緊急狀態下可供運轉員遵循、查閱之清楚、明瞭的程序書；同時配合電廠的系統、人機介面等設計，規劃適當的訓練，使之降低可能產生的人為疏失。

在系統設計完成之後，需透過嚴謹的驗證過程，來確保系統的設計能夠符合人因工程設計的原則，以達成有效、安全地支援電廠運轉的目標。驗證工作之進行又可細分成如圖二的四個階段：



圖二 確認與驗證之活動

## 1. 運轉情境抽樣

首先由於電廠的系統與組件不下上千個，我們不可能對於所有的系統或組件來進行確認與驗證。因此首先我們必須抽選出重要的、具有代表性的運轉操作情境來進行評估。而我們所要進行確認與驗證的部分包含了系統設計上的確認 (Design Verification) 及整合的系統驗證 (Integrated System Validation)。

## 2. 設計之確認

在設計之確認中我們主要針對兩個部分：人機介面作業支援確認及人因工程設計確認。在人機介面作業支援的確認中，我們必須評估系統人機介面的設計是否能夠支援人員作業的需求，從評估中我們可以得知，人員作業的需求是否被滿足，亦或部分人機介面組件的設計根本是不必要的干擾。而在設計之確認中，我們必須確認人機介面的設計，能夠符合人員的能力與限制，以避免在運轉時人員的錯誤與疏失。

### 3. 整合的系統驗證

在個別介面組件的確認後，便必須進行整合的系統（包含軟體、硬體、人員等）驗證，以評估所有的系統與組件，在實際運轉的情況下，是否能夠達到安全、有效地運轉。而在整合的系統驗證中，主要是透過模擬器來進行包含電廠及人員的績效評估。在整合的系統驗證中可分成以下的幾個階段：測試目標的確定，測試的平台，受測及施測人員資格，測試的情節劇情，績效的測量，測試的設計。透過針對在所選取的運轉情境下，電廠與人員績效評估的結果，來瞭解整合的系統是否能夠符合人因工程規範的原則，且透過此測試來瞭解在未來的實際運轉下可能的人員運轉模型，並針對可能產生的錯誤或疏失，藉由設計的改善或訓練等防範措施來加以預防。

### 4. 人因問題的解決策略

在驗證過程中所發現與人因工程原則不符的部分，需做進一步的改進或提供解決的方案。而在完成改進之後，仍須再一次地進行驗證，透過如此不斷地循環，將所有可能造成電廠不安全事件或行為的潛在影響降到最低。在通過確認與驗證的程序之後，電廠才能正式地運轉。但在運轉之後，仍須持續不斷地進行維護、審查與訓練，以確保電廠持續、安全地運轉。

在 NUREG-0711 中只列出了在進行確認與驗證時需審查的效標與原則，但該如何落實執行的步驟，並無詳細的說明。因此我們進一步地參閱 CR-6393 來瞭解驗證計畫的執行。

#### 2.1.2. 整合的系統驗證之方法與審查準則（CR-6393 Integrated System Validation: Methodology and Review Criteria）

在 CR-6393 中詳細陳述了整合的系統驗證的方法論，以及在進行績效測量時效標的選取使用。首先在整合的系統驗證中，我們必須逐步考量下列事項：驗證的團隊（Validation Team）、測試的目標（Test Objectives）、測試的平台（Validation Testbeds）、電廠的人員（Plant Personnel）、運轉的情境（Operational Conditions）、績效的測量（Performance Measurement）、測試設計（Test Design）、資料的分析與解釋（Data Analysis and Interpretation）、驗證的結果（Validation Conclusions）。

##### 2.1.2.1 驗證的團隊（Validation Team）

在進行整合系統的驗證時，我們必須組織一獨立的團隊來執行驗證的過程。首先驗證團隊中的成員必須獨立於電廠的設計人員，以避免在進行測量時產生施測者預期心理上的偏誤。而團隊中的成員除了電廠設計、運轉的專家，還應包括

有專業的施測及資料分析的人員。同時確認團隊有權參閱所有人因工程計畫的文件，如設計的檔案、評估、分析等，並與人因工程設計的團隊有所交流。

### 2.1.2.2 測試的目標 (Test Objectives)

整合系統的驗證是對於維持電廠正常、安全的運轉的所有相關人員、系統、介面、其他硬體設備及整體的配置進行驗證。但事實上，整合系統的範圍相當複雜，可能必須進行多次的驗證，因此必須在每一次的驗證中，詳細定義出該次驗證所欲測量的目標。在驗證的目標上應包含下列的要素：

1. 電廠人員角色的確認。例如，分配給人員的功能與系統的自動化的分配是否適當，是否考量到人員的長處及能力限制。
2. 確認人員的配置，小組人員中作業的分配，及小組的統合協調，包括控制室內的團隊，以及控制室與現場工作站之間團隊的統合協調，是否可被接受。
3. 確認每一個分派給人員的功能，在正常的電廠運轉、暫態、異常，及緊急的狀態下，都提供有足夠的警報、資訊、控制及回饋。
4. 確認特定的人員作業可以準時完成並達到目標水準。同時在作業時，運轉人員可以維持高度的狀態察覺且該作業的工作負荷是可被接受的，以保持人們在警戒及負荷間的平衡。確認操作的介面可以減少人員的錯誤，以及提供人員偵檢錯誤並在發生錯誤時，得以回復的能力。
5. 確認功能的需求與主要的人機介面要素相契合。例如，群組 (Group-view) 的顯示、警報系統、一般顯示系統、程序書、控制、溝通系統等儀控系統的設計是否符合人員的期望及人因工程的設計原則。
6. 確認運轉人員可以有有效的轉換於執行作業的介面與介面管理作業之間，並不會造成分心或過度的負擔。例如，顯示的配置，導航等作業的轉換。
7. 確認整合系統績效在個別的人機介面要素的容錯力。
8. 確認出會對整合系統績效有負面影響的各種面向，包括人員配置、溝通、訓練等。

### 2.1.2.3 測試的平台 (Validation Testbeds)

在人因工程審查計畫模型中說明，應使用適當的工具來評估整合系統的動態作業績效，以進行整合系統的驗證確認。當所使用的程序、電廠模型，人機介面等與真實電廠的差異愈大時，則確認的結果也愈不可靠。因此用來進行測試的平台必須具有其真實性與完整性。同時應考量包括下列要素：

1. 人機介面的完整性：測試平台所呈現的設備是否完整。
2. 介面的實體真實性：測試平台所具有的實體特徵與實際電廠相一致的程度。包括形式、外觀、所配置等特徵。

3. 介面功能的真實性：在功能特性上與真實電廠相一致的程度。
4. 資料完整的真實性：人機介面中所呈現的資訊及資料是否包含完整的電廠程序、系統及元件。
5. 資料動態的真實性：測試平台是否能表現出真實電廠資料改變的狀態。
6. 環境的真實性：測試平台執行作業時的環境特徵與真實狀況相一致的程度。例如噪音、光線、溫度、濕度、通風等因素。

#### 2.1.2.4 電廠的人員 (Plant Personnel)

電廠運轉人員，如同運轉的情境，是造成整合系統績效變異的向度之一。由於驗證的結果是用來推論未來的可能情境，因此在測試當中的受測者，其行為模式需與未來進行實際操作的人員相似。我們透過下列因素的考量來確認受測人員的代表性：

1. 證照及資格：根據人員資格的特性而有不同的選擇標準，人員的角色應與實際的電廠人員配置需求一致。
2. 技巧及經驗：用來測試的人員應包括不同技巧熟練度及經驗的等級。
3. 年齡：受試者群體的年齡分佈要呈現出實際使用者群體的年齡分佈。
4. 一般人口統計的特徵：包括身材，動作以及知覺認知等能力的特徵要具有代表性。
5. 人員的結構：所選擇的人員應具有完整的團隊結構。例如，應包括有監督者、運轉員、技術人員等。
6. 人員樣本應該避免下列的特徵：
  - 受試人員應避免為設計團隊的一部份。
  - 受試者應避免參與過先前的評估。
  - 應避免不符合限制的自願者。
  - 避免選擇特定特徵的人員，例如能力較好或經驗豐富的人員。

#### 2.1.2.5 運轉的情境 (Operational Conditions)

整合系統的確認應包括對於一個範圍內的情境間動態的評估。但我們無法對所有的運轉情況進行驗證，如此既費時也不經濟。因此我們必需挑選適當的情境來進行測試。在挑選情境時我們需考量測試平台的真實性，以及在運轉情境中納入那些會造成整合系統績效變異的特徵。同時我們需針對電廠情況 (Plant Conditions)、人員作業 (Personnel Tasks)、其他影響人員績效的情境因素 (Situational Factors) 來分別考量：

##### 1. 電廠情況 (Plant Conditions)



我們必須考量所挑選的測試情境應包括正常的運轉事件、異常事件、暫態事件、緊急事件及具有重要風險且在設計基準之外的 (Beyond-Design-Based) 事件。同時這些事件在整個電廠的運轉中具有其代表性。

## 2. 人員作業 (Personnel Tasks)

在所挑選的人員作業中應包含具有重要風險的行動，程序指引的作業，人員決策活動，HSI 元件的使用及人員之間的互動等不同的作業。

## 3. 情境狀態的因素 (Situational Factors)

包含根據過去的運轉經驗所指出的較為困難的電廠作業，那些容易造成人員認知錯誤機制的情境特徵，具有高度工作負荷及多重作業處理需求的作業、工作負荷間的轉換、疲勞、時間及環境條件等因素。

### 2.1.2.6 績效的測量 (Performance Measurement)

在整合系統的驗證中，主要是以績效測量的結果來進行評估，我們需分別針對電廠績效、人員績效、認知因素績效、人體計測及生理因素來進行測量。

在電廠績效方面包括了不同的層級，如功能、系統、儀控介面等，測量系統的介面是否能正確、迅速地反應當時的狀態，以及人員是否能夠偵察到其改變。在電廠績效量化方面可利用如，溫度、流速、壓力等參數值來表徵其狀態。

人員績效測量，根據 Meister (1985) 所發展的作業績效量化的方法，如表一。我們可測量時間、正確率、頻率、完成數量、消耗資源等資訊來量化人員的績效。另外還可透過受試者自己主觀的報告及觀察員的判斷來進行評估。

認知因素的測量，除了上述的績效測量外，我們還需評估人員的狀況察覺 (Situation Awareness) 及認知工作負荷 (Cognitive Workload)，來判斷儀控系統的設計是否符合人因工程的標準。

#### 1. 狀況察覺 (Situation Awareness)

我們主要可以透過三種技術來測量人員的狀況察覺：績效測量技術 (Performance-based Technique)，主觀評比技術 (Subjective Rating Technique)，以及直接詢問技術 (Direct Query Technique)。

##### (1) 績效測量技術

在績效測量的技術中我們可以透過藉由作業的績效來判斷其狀況察覺的程度。但人員的績效無法表現出人員在進行狀況察覺的所有面向，且藉由改變人員正在進行的作業來觀察其狀況察覺，人員可能因為從事其他的假設判斷，使得人員不一定會立即地回應此一改變，而產生觀察結果上的偏誤。

表一 Meister (1985) 發展之作業績效量化

作業績效量化方法	
●	時間—反應時間
	—完成時間
	—作業的時間長度
	—多個事件間時間的分配
●	正確率—正確地觀察到所發生的刺激
	—正確的反應
	—錯誤的特徵：如震幅或頻率的測量。
●	頻率—在每單位時間、活動內反應的次數
	—績效結果的數量，如錯誤率
	—所觀察的或資料收集的次數
●	達到或完成的數量—成功的程度
	—活動完成的百分比
	—所達成績效的測量(如極限的或穩定狀態的數值)
●	所消耗使用的數量—所消耗的總資源
	—在不同的時間所消耗的資源
●	受試者主觀的報告
●	觀察員所觀察的行為—績效的判斷
	—達到指定的數值

## (2) 主觀評比技術

另外我們可以透過主觀的評比技術衡量狀況察覺，如 Taylor (1989) 提出的多向度主觀評比技術 (Situation Awareness Rating Technique, SART)，此技術根據人員對於注意力資源的需求(狀況的不安定性、複雜性、變異性)、注意資源的提供(激發、專心、注意力的分割、剩餘心智能力)、及狀況的瞭解(資訊的品質、數量、相似性)三方面來進行評估。但主觀的評量技術都包括了對於工作負荷因子的測量，而非特定針對狀況察覺來進行，同時人員是主觀地評量自己，並非客觀的資訊。

## (3) 直接詢問技術

另一方法我們可透過事前設計好的問題或問卷，在測試進行中或結束後，直接詢問受測人員來評估其狀況察覺。但若在測試結束之後進行詢問則可能因為記憶的限制而影響評估的結果，而如果在測試中進行則有可能干擾到其它作業的進行。因此，我們或許可設計一階段性的作業，當部分階段完成時，先暫停測試來進行狀況察覺的評估。例如狀況察覺整體評估技術 (The Situation Awareness Global Assessment Technique, SAGAT)，該方法利用在一隨機的時間點暫停模擬器的作業，並詢問運轉員一系列的問題，來評估人員對目前狀態的狀況察覺。因此可在單一的情節中，進行多次的資料收集來評估狀況察覺動態的改變。但應避免讓受試者可以預測暫停的時間點，或是避免加入其他與狀況察覺無關的問題使得受試者可以從問題中獲得情節的線索。

## 2. 認知工作負荷 (Cognitive Workload)

在認知的工作負荷測量上我們主要可以利用心智負荷餘差技術 (Spare Mental Capacity Techniques) 及主觀的評比進行來評估。

### (1) 心智負荷餘差技術

在心智負荷餘差的技術中主要是根據人員資訊處理的資源有限，當主要作業 (如抽插控制棒的作業) 的資源需求愈高時，則次要作業 (如介面管理作業) 的績效便愈差，則表示主要作業的認知工作負荷愈高。

### (2) 主觀評比技術

在認知工作負荷的測量上，另外還可透過人員主觀的評比，如主觀工作負荷評估技術 (Subjective Workload Assessment Technique, SWAT)、美國 NASA 工作負荷評估技術 (NASA Task Load Index, TLX)、主觀工作負荷判斷 (The Subjective Workload Dominance, SWORD) 等技術來進行評估。

#### (a) 主觀工作負荷評估技術 (SWAT)

在 SWAT 中是根據時間壓力、作業複雜度、心理壓力 (如疲勞、不確定) 三方面來進行認知工作負荷的評估 (圖三)。

Table A4: SWAT Scales

<p>Time Load</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Often have spare time. Interruptions or overlap among activities occur infrequently or not at all.</li><li>2. Occasionally have spare time. Interruptions or overlap among activities occur frequently.</li><li>3. Almost never have spare time. Interruptions or overlap among activities are frequent or occur all the time.</li></ol> <p>Mental Effort Load</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Very little conscious mental effort or concentration required. Activity is almost automatic, requiring little or no attention.</li><li>2. Moderate conscious mental effort or concentration required. Complexity of activity is moderately high due to uncertainty, unpredictability, or unfamiliarity. Considerable attention required.</li><li>3. Extensive mental effort and concentration are necessary. Very complex activity requiring total attention.</li></ol> <p>Psychological Stress Load</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Little confusion, risk, frustration, or anxiety exists and can be easily accommodated.</li><li>2. Moderate stress due to confusion, frustration, or anxiety noticeably adds to workload. Significant compensation is required to maintain adequate performance.</li><li>3. High to very intense stress due to confusion, frustration, or anxiety. High to extreme determination and self-control required (Potter and Bressler, 1989, pp. 12-14).</li></ol>
---

圖三 主觀工作負荷評估技術

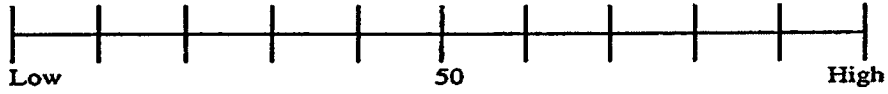
(b) 美國 NASA 工作負荷評估技術 (NASA TLX)

在 NASA TLX 中則是根據心智需求、生理需求、暫時需求、績效、努力與挫折六個面向來進行認知工作負荷的評比 (圖四)。

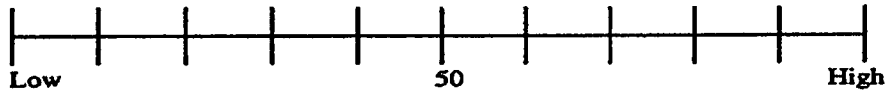
Job Title in Scenario: \_\_\_\_\_  
Date: \_\_\_\_\_  
Name of examiner: \_\_\_\_\_

Scenario Number: \_\_\_\_\_  
Pause Number: \_\_\_\_\_

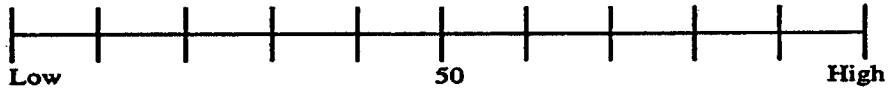
**Mental Demand**



**Physical Demand**



**Temporal Demand**



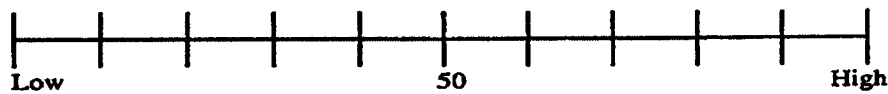
**Performance**



**Effort**



**Frustration Level**



圖四 美國 NASA 工作負荷評估技術

### (c) 主觀工作負荷判斷 (SWORD)

SWORD 則是人員透過在其他系統中所經驗的工作負荷，來對目前的作業做相對的判斷評估。

人體計測與生理因素的測量應包括了對於顯示或圖示的可視性或可聽性，對於控制裝置的可接近性，及設備的配置等面向，測量系統的設計是否符合運轉員生理上的需求及限制。

#### 2.1.2.7 測試設計 (Test Design)

在整合系統的評估中所感興趣的是整合系統的績效是否達到目標，因此人員是以團隊的方式來進行配置，同時在測試的程序上應注意下列事項：

1. 詳細呈現實驗設計的資訊：例如情節的順序，或是人員與情節的配置。
2. 詳細且標準化的測試前指引。
3. 清楚定義情節中特定的規定：何時開始，何時結束，事件的發生。
4. 清楚定義何時以及如何幫助受試者在測試中所遭遇的問題。
5. 告知受試者何時及如何被收集資料。
6. 測試的程序書應詳細包含上述事項。

而參與測試的受測者及施測者，在測試前應分別接受訓練，以使得測試的結果具有其信度、效度。另外在在整合系統的驗證前，須進行前測來評估測試的設計、績效的測量、及資料收集的方法是否適當。且參與前測的人員不能參與整合系統的驗證。

#### 2.1.2.8 資料的分析與解釋 (Data Analysis and Interpretation)

在前述驗證的團隊中已提及，應具有專業的資料蒐集與分析人員，對於從績效測量中所得到的績效結果與所設定的效標，來進行統計上的分析與推論。包含對於測試的結果、程序等進行信度、效度的評估。而在進行統計的推論時，應考慮潛在的可能型一錯誤，如統計推論結果為該設計是可被接受的，但事實上卻是不適當地設計；及型二錯誤，如統計推論該設計是不可被接受的，但事實上卻不然。另外對於在驗證中所進行的多元的績效測量，應考量其彼此間的相關與交互作用的可能，分析的結果是否彼此衝突，則必須考量是實驗的設計，如樣本數太少、程序錯誤等所造成，抑或整合系統的設計不良。因此透過統計的分析與推論，我們可以確認出績效測量的結果以及測量的可靠度。

#### 2.1.2.9 驗證的結果 (Validation Conclusions)

整合系統驗證時，為使驗證的結果具有其效度，測試的程序應該由一個獨立

且完善的團隊所負責。且要考慮驗證時所使用的平台、人員、情節、程序等，具有其代表性與真實性，並需要詳細說明在進行績效的測量時，所使用的測量方法，設定的測試水準以及所用以評估的效標。在進行施測時，應避免施測者預期心理，受試者的反應、測試環境、受試者作業分配等偏誤所可能產生的影響或干擾。以期最後驗證的結果得以類推到未來實際運轉的狀況。

### 2.1.3. 先進型資訊系統設計：技術基礎與人因工程審查指引 (CR-6633 Advanced Information Systems Design: Technical Basis and Human Factors Review Guidance)

隨著時代與科技的進步，早期所發展的人機系統介面設計審查指引 (NUREG-0700) 已無法滿足因技術的進步而衍生的議題，如先進型警報系統、數位顯示、數位控制等人機介面對於人員績效的影響。因此 NRC 委託 Brookhaven National Laboratory (BNL) 的研究在於瞭解使用數位化技術，也就是 HSI 的改變對於人員績效以及電廠安全的影響，以及發展充分的人因工程指引，並整合到 NUREG-0700 以提供更充足的技術基礎以便發展指引。

BNL 基於文獻、訪談、現場訪視、HSI 技術的趨勢以及其對於人員績效的潛在效果等的研究發現 (O'Hara, Stubler, Higgins, 1996)，其中一項趨勢是資訊的設計與組織 (Information Design and Organization)。

資訊系統設計的相關研究相當廣泛。CR-6633 的研究鎖定在核能電廠的領域，回顧相關的資訊系統設計的研究，包括了資訊的需求、呈現、組織等議題。這篇研究的目的是為發展出核能電廠資訊系統的人因工程審查指引。包括在資訊需求的分析、資訊的呈現、資訊的組織。

#### 1. 資訊系統的特徵 (Characterization of The Information System)

電廠資訊系統為提供資訊讓運轉員瞭解電廠狀態的各個 HSI 面向。一資訊系統的組成包含了資訊需求 (Information Requirement)、表徵系統 (Representation System)、管理功能 (Management Functions) 及顯示裝置 (Display Devices)。此篇研究主要是針對資訊需求以及表徵系統，而管理功能會在另外的 NRC 研究中被探討。

##### (1) 資訊的需求

指的是運轉員在監督與控制電廠時所需要的資訊。運轉員的資訊需求必須是針對資訊系統設計的需求，由資訊需求分析 (Information Requirement Analysis) 獲得。

## (2) 系統表徵

指的是資訊應該如何呈現給運轉員。系統表徵作為資訊與運轉員間的溝通，包含下列組成：元件 (Elements)、格式 (Format)、頁面 (Pages)、網路 (Networks)。顯示的元件指的是用來形成顯示格式的基本組成，包含縮寫、符號、圖示、編碼與強調 (Highlighting)。顯示的格式為資訊呈現的基本類別，如連續的文字 (程序書的呈現)、Mimics、P&ID、趨勢圖以及流程圖等。而顯示器的設計，重點是讓每個顯示組成 (Display Form) 能表現單一的意義。若顯示組成有意義含糊不清的地方，會讓人產生誤解。典型的電廠顯示頁面可能包括連結不同的格式在單一 VDU 上，如長條圖與數字組合起來的顯示資訊，並以不同顯示頁面間的關係構成資訊系統顯示的網路。在這裡有一個議題是當顯示的頁面多時，想知道資訊在那個頁面並不容易，所以網路的組織結構在資訊系統中是相當重要的。

## 2. 技術基礎的發展 (Development of Technical Basis)

此節主要目的是建立一個技術基礎用來發展資訊系統的審查指引，並確認系統設計不足之處。發展一個複雜系統首先要確定出此系統的目的為何，之後確定出這些目的有哪些需求。有效的 HFE 考量必須整合到設計，如提供結構化的 Top-down 系統發展方法，此方法是可以被重複測試的、具整合性的、以及在各領域皆可適用的；及具備管理結構，用來提供給每一個過程中詳細的 HFE 考量。資訊系統的發展包括六個重要的面向：運轉經驗的審查 (Operating Experience Review)、功能需求分析 (Functional Requirement Analysis)、作業分析 (Task Analysis)、人員可靠度分析 (Human Reliability Analysis)、人機介面設計 (HSI Design)、確認與驗證 (Verification and Validation)。

### (1) 運轉經驗的審查 (Operating Experience Review)

目的在確定以往類似設計曾發生過的人因工程相關議題都已經找出，以及正確的被分析，以避免再有此種問題產生，並且保留以往良好的設計特徵。

### (2) 功能需求分析以及功能配置 (Functional Requirement Analysis and Function Allocation)

功能需求分析找出哪些是必須執行以確保電廠安全目標的功能，也就是可以預防或緩和可能引發公眾安全及健康危害的功能。功能配置，分析電廠的控制需求，即將控制功能配置給人員、系統元件以及人員及系統元件的組合。功能需求分析被用來確定設計的目標、績效需求以及限制，確定在此目標內的高層級功能以及需要的績效，確定高層級功能與電廠之間的關係，如



電廠配置，提供一個架構來瞭解電廠人員以及系統元件的角色。

### (3) 作業分析 (Task Analysis)

功能需求分析將功能分解成好幾個層級，作業分析必須在各層級中敘述詳細的人員作業，包括資訊蒐集、決策的需求、反應的需求、回饋需求。作業分析必須在設計中不斷的重複，才會得到更詳細的 HSI 需求，如對於警報、顯示器、資料處理以及控制的需求等。

### (4) 人員可靠度分析 (Human Reliability Analysis, HRA)

確定那些對於電廠安全以及可靠度有影響的人為疏失都已經被分析，並找出對於電廠具有風險的重要性人員行動。人為疏失的機制必須針對 HSI 的設計，以減少人為疏失的概率以及提供錯誤偵測以及錯誤復原的能力。NUREG-0711 的 HRA 元件中，和資訊發展特別有關的為對於電廠具有風險的重要性人員行動，這些人員行動通常發生在低概率與嚴重結果的事件中，未被納入作業分析，因此對於額外的控制、顯示以及警報，需做更多的考量。

### (5) 人機介面設計 (HSI Design)

將功能以及作業需求轉換成詳細的 HSI 設計，也就是將已被確定的 HSI 資源整合到控制室中或工作站中。轉換的方式是採取一個結構性的方法，可以指引設計者找出需要的資訊與控制、合適的 HSI 選擇方法以及詳細的 HSI 設計。在此，資訊系統的需求必需被確定以及資訊系統的表徵面向也開始會被發展，如顯示器格式必須能符合設計的功能性需求，這可以透過以往的運轉經驗、HFE 的指引以及原型的測試及評估的方式來進行。

### (6) 確認與驗證 (Verification and Validation)

HFE V&V 目的在進行 HSI 最終設計的可接受性的測試，並且要涵蓋未解決的設計議題。V&V 作業要項包括 (1) HSI 作業支援確認 (HSI Task Support Verification)，將功能與作業分析需求中確定的事項和 HSI 設計組件做比對，確認人員作業需求的組件均已齊備。(2) HFE 設計確認 (HFE Design Verification)，將詳細的 HSI 設計來和 HFE 指引做比對，確定每個 HSI 組件的設計都已考慮人員的能力與限制。(3) 整合系統的驗證 (Integrated System Validation)，透過由作業、風險以及工程分析來界定績效標準，確認整合的 HSI 設計可以讓人員進行安全的運轉而不會有過高的工作負荷。

## 2.2. 主控制室人因議題之案例分析

### 2.2.1. 電腦化系統之介面管理作業對人員作業績效與電廠安全之影響

- ◆ 研究案例：The Effects of Interface Management—Tasks on Crew Performance and Safety in Complex Computer-based Systems (NUREG/CR-6690)

#### 2.2.1.1 目的

核能電廠的運轉員的主要作業為監測和控制，但在以電腦為基礎的系統下執行這些作業，操作員必須執行次要作業，像是資訊的檢索和更改工作站電腦顯示的設定。我們稱這些為「介面管理作業」。介面管理作業的需求在某些情況下，可能會太過度進而會危害電廠的安全。此研究的目標是以文獻探討、小組討論和專家審查、以及模擬學習的方式評定介面管理作業對人員績效和電廠安全的影響。我們發現兩個負面影響：(1) 當運轉員將注意力放在介面管理作業時，主要作業績效便會下降，(2) 在高度工作負荷下，運轉員會將次要作業的績效最小化，因常會發生錯誤的檢索或遺漏重要的資訊。我們可以透過人因工程設計原則為基礎，幫助確認次要作業是否會有潛在的安全影響。

#### 2.2.1.2 研究方法

文獻中透過評估儀控系統的介面管理作業，來探討其對作業績效和電廠安全可能產生的影響。以人員需求的認知分析為基礎找出介面管理對於主要作業績效的可能影響，並建構出人為疏失相關的模型。在文獻中其針對電腦化系統的介面管理及人機介面設計特徵來探討其適當性及對電廠安全的可能影響。

在本篇研究中，藉由文獻分析提供了瞭解人員績效和複雜人機系統間關係的理論基礎去，並提供人機互動的相關介面設計、人員失誤以及使用性的基本理論。這些文獻包括從核電系統、舊有電力系統、醫學系統、航太以及一般的人因工程研究文獻等範圍，來獲得相關技術敘述、實證研究以及運轉經驗等資訊。

另外透過針對三間具有代表性的電腦化人機介面及介面管理作業的主控制室，進行現場的訪談，觀察實際的運轉，以及模擬器訓練的情況。其中訪談的人員包括了介面設計人員、運轉員及訓練人員。透過訪談，來瞭解在主要作業的人員績效中，介面管理作業的影響。在介面管理上所使用的人機介面技術與特徵。運轉員對於介面管理作業所使用的策略，以及不同運轉經驗在績效上的影響。藉由演練 (Walk-through) 來顯示人機介面元件的使用，確認運轉員在完成介面管

理作業所使用的策略，以對於運轉員及電廠績效作更好的瞭解。

### 2.2.1.3 研究結果

#### 1. 介面管理對主要作業的影響

主要作業和介面管理作業，會使用相同的認知資源，因此當兩作業同時進行時會彼此競爭、干擾。當介面管理作業較為複雜時，便會佔掉較多的認知資源而使得主要作業的績效下降；抑或當主要作業的認知負荷較高時，則只剩下少許的資源可供進行介面管理作業，而導致導覽的錯誤或遺漏。

#### 2. 人機介面的設計對於介面管理的影響

在人機介面設計的特徵中，資訊的數量、用來陳列資訊的顯示形式、顯示器結構、視覺顯示器區域和介面的彈性，與介面管理需求有最大的關聯。以電腦為基礎的控制室提供比典型控制室更多即時的資訊。但當資訊增加時，運轉員只能從有限的顯示畫面中擷取資訊，而可能產生鑰匙孔效應 (Keyhole Effect)。運轉員必須知道在虛擬資訊空間內什麼資訊和控制是可利用的，且這些資訊在哪裡及如何導引與獲得。如果運轉員執行作業時的觀看區域不足夠，他們也許必須重複導覽的作業，而花費更多的時間與資源在介面管理上。

控制室的設計伴隨著龐大的資料，可用的有數以百計，甚至數以千計的系統，在數位化的主控制室中運轉員必須經由有限數量顯示器來獲取所需的資訊。電腦化的人機介面設計提供相當的彈性，使其可以在各種運轉模式中配置及運作。設計者期望運轉員使用有彈性的電腦化介面來配置顯示的介面使其夠理想地合適不同的情況。然而運轉員卻不常這麼做。在執行作業時，他們傾向配置介面在一固定空間，這是他們工作負荷管理的一種策略。因此，當設計者對顯示器的數量看起來似乎合理時，但對運轉員是不理想的。運轉員會試圖去最小化次要作業的工作負荷，以為執行主要作業的時間最大化。運轉員寧願有更多的顯示器，在最初的建立就可以顯示全部他們所需的資訊。

另外也發現彈性介面的設計可能使運轉員錯誤的使用顯示器，且可能使他們錯誤的取得情況或操作錯誤的設備。彈性化設計使得介面管理作業增加，且會對運轉員制定決策產生影響。因此彈性化設計的介面管理作業比普通固定的人機介面有更多認知地需求，且要求運轉員有更多的知識和技能來使用此一介面。

#### 3. 介面管理在電廠安全方面的影響

當運轉員必須執行介面管理時可能耽擱高風險動作的完成，或當從重要資訊需求中執行高風險動作時，彼此會互相干擾而困擾運轉員的動作，導致對電廠安全產生重大的影響。因此當人機介面系統的設計和應用不適切時，會導致介面管理作業不正確的執行，而導致誤解和錯誤，並進而會增加意外或重要設備故障的機率與結果。

#### 2.2.1.4 研究建議

因此在人機介面的設計上，應該將降低介面管理需求，特別是在高度工作負荷下時。透過增加 HSI 的可預測性，增加導引功能，自動化的介面管理，以及加強人員的介面管理訓練來降低在介面管理上所需的認知需求，使介面管理的作業降低對主要作業的干擾，進而提升主要作業的績效。

### 2.2.2 先進型反應器的控制室之人員配置

#### ◆ 研究案例：A Study of Control Room Staffing Levels for Advanced Reactors (NUREG/IA-0137)

##### 2.2.2.1 目的

相對於傳統電廠主控制室的類比式儀控系統以及較寬廣的實體空間，先進型電廠的主控制室因為採取電腦化的儀控系統，也由於系統自動化的緣故使得實體空間在設計上相較於以往傳統的主控制室來的小，在人員配置上也會有所改變。為了探討系統改變所帶來的影響，Halden Human-Machine Laboratory (簡稱 HAMMLAB) (2000) 探討了控制室的人員配置與運轉設備本身特徵 (傳統或先進) 對電廠績效的影響。此研究利用 Loviisa Nuclear Power Station 作為傳統電廠的模擬模型，HAMMLAB 作為先進型電廠的模擬模型來進行實驗，並且分別透過客觀績效的測量、觀察員對人員績效的評比、狀態察覺、工作負荷、團隊互動的五個面向的績效測量來評估在不同的環境中人員的績效，進而瞭解先進型電廠設計所帶來的影響，控制室人員配置、團隊績效間的關係，並瞭解潛在的安全議題及建議的人員配置。

##### 2.2.2.2 研究方法

在本研究中，將人員數量及電廠形式設定為兩獨立變項，進行 2x2 的實驗設計。共有八組的具有核電廠運轉執照的運轉人員參與此研究，根據實驗設計，四組在傳統的人員配置，另四組在最少化的人員配置；四組人員參與傳統電廠的情境，四組人員參與先進型電廠的情境，如下表所示。分別以 Loviisa Nuclear Power Station 提供傳統電廠的模擬情境，而 HAMMLAB 的模擬器提供先進型電廠的模擬情境來進行實驗 (表二)。

表二 IA-0137 之實驗設計

電廠型式	人員數量	
	傳統人員配置	最少化人員配置
傳統電廠	4 人	3 人
先進型電廠	4 人	2 人

研究中分別透過客觀績效的測量，觀察員對人員績效的評比，狀態察覺、工作負荷、團隊互動的測量來評估在不同的環境中人員的績效。

### 2.2.2.3 測量指標、工具與程序

#### 1. 客觀績效

其針對三種類型的作業：佈告與通知 (Announcement and Notifications)、關鍵作業的完成 (Critical Task Completion)、系統穩定與冷卻 (Stabilization and Cooldown)，進行觀察及評量。藉由確認人員是否完成作業 (客觀的評估) 以及利用權重量表 (5 點量表) 來表示人員控制各種關鍵電廠參數的品質 (主觀的評估)。

#### 2. 觀察員對人員績效的評比

由三位專家來評估在以下四個向度的人員績效：

- (1) 解決路徑 (Solution Path): 人員在辨別事件與選取正確解決程序所需的時間。
- (2) 電廠控制 (Control of Plant): 人員對於暫態分析以及他們對安全設備的瞭解程度。
- (3) 溝通 (Communication): 人員之間彼此交換資訊的程度。
- (4) 信心 (Confidence): 人員可完成暫態的解除 (Transient Mitigation) 且不猶豫。

研究中來評比的人員為兩個 SRO 以及具有電廠運轉和電廠安全經驗的工程師，評比量表為 10 點量表，1 是最差的績效，10 是最好的績效。

#### 3. 狀態察覺

該研究中是採用 SACRI (Situation Awareness Control Room Inventory) 來進行評估。其中包含 18 個與電廠控制室相關的問題，各有不同的參數趨勢變化。分別詢問關於過去、目前的和未來的電廠狀態。依據問題的形式而呈現三到六個選項，要求受試者去圈選最適合的答案。若問題中只有單一參數，則選項為：增加 (Increase)、減少 (Decrease)、相同 (Same)；若問題中具有多項參數，則選項為只有單一參數增加 (Increase in One)、超過一個參數增加 (Increase in More than One)、相同 (Same)、只有單一參數減少 (Decrease in One)、超過單一參數減少 (Decrease in More than One)、參數有增加也有減少 (Drift in Both Direction)。而受試者的答案去和最適當的電廠參數趨勢作比較來計分。則有四種可能的結果：命中 (Hit)、正確的接受 (Correct Acceptance)、遺漏 (Miss)、假警報 (False Alarm)。

#### 4. 工作負荷

以 NASA TLX (Task Load Index) 來進行工作負荷的評估。NASA TLX 是一主觀的工作負荷測量技術，利用評比量表來作為運轉員工作負荷的測量。其測量了工作負荷的六個成分：心智需求、生理需求、暫時需求、績效、努力、挫折。此評比量表的範圍是 0 到 100，0 表示沒有工作負荷，100 表示具有較高的工作負荷。然而分析的方式是將此六個工作負荷的成分加以取平均。

#### 5. 團隊互動

以 BARS (Behaviorally Anchored Rating Scale) ，分別評估五項的行為類別，來評估團隊的互動，包括溝通、公開 (Openness)、人員協調、團隊精神、作業焦點及決策。此為七點量表，1 表示最低，7 表示最高。然而受試者是被當成一個團隊來評比而非個人。分析的方式是將此五個互動量表加以取平均，分數愈高代表愈令人滿意的團隊績效。

### 2.2.2.4 研究結果

#### 1. 客觀績效

該研究利用客觀的標準來分析人員的績效。藉由確認人員是否完成作業 (客觀的評估) 以及利用權重量表 (5 點量表) 來表示人員控制各種關鍵電廠參數的品質 (主觀的評估)。結果顯示在客觀的績效上，只有人員的數量及電廠的形式有顯著的差異。且以正常的人員配置及先進型電廠有較好的績效。但兩變項間沒有顯著的交互作用存在。請參考表三。

#### 2. 人員績效的評比

三位訓練過的觀察員使用行為量表的來做為人員績效的評比。其結果顯示，在先進型電廠中最少化的人員配置有較好的績效。請參考表三。

### 3. 狀態察覺

整體來說，規則型 (Rule-based) 的情節比知識型 (Knowledge-based) 的情節具有較高的狀況察覺。但不同的人員數量、電廠形式、情節型式會對其產生不同的影響。基本上在傳統型電廠中以正常的人員配置會有最好的狀況察覺；另外，情節型式與電廠型式有交互作用，亦即，在傳統電廠進行規則型情節的狀況察覺比在先進型電廠進行規則型情節的狀況察覺來的好。而知識型情節在先進型中最少化人員配置的狀況察覺會比傳統電廠最少化人員配置的狀況察覺來的好。請參考表三。

### 4. 團隊互動

透過兩位訓練過的觀察員來評比人員之間的互動。其結果顯示只有在不同的電廠型式之間有顯著的差異。在先進型電廠下會有較好的團隊互動。請參考表三。

### 5. 工作負荷

根據分析的結果顯示以最少的人員配置或在先進型電廠中的運轉員的工作負荷顯著較高。而當先進型電廠用最少的人員配置時，會有最高的工作負荷。請參考表四。

表三 IA-0137 績效評估結果 (1)

獨變項       績效	人員數量  (最少化 vs. 傳統人員配置)	電廠型式  (先進型  vs.  傳統型電廠形式)	情節  (規則型  vs.  知識型)	人員與  電廠  交互作用	人員與  情節  交互作用	電廠與  情節  交互作用
客觀績效  (人員績效)	傳統人員配置(4人)的客觀績效比最少化人員配置(2人)好	先進型電廠的客觀績效比傳統型電廠好	--	--	--	--
觀察員對人員績效的評比(人員績效)	--	先進型的主觀評比績效比傳統型好	--	先進型電廠用最少化人員配置(2人)其主觀評比的績效最好	--	--
狀態察覺  (狀態察覺績效)	--	--	規則型情節的狀況察覺比知識型好	以傳統型一般人員配置(4人)的狀況察覺最好	--	傳統型中知識型情節的狀況察覺較好
團隊的互動  (團對互動績效)	--	先進型的團隊互動績效比傳統型好	--	以先進型最少化人員配置(2人)有最好的團隊互動績效	--	--



表四 IA-0137 績效評估結果 (2)

獨立變項    績效	人員數量  (最少化 vs.  傳統人員配  置)	電廠型式  (先進  vs.  傳統)	情節  (規則型  vs.  知識型)	人員  、  電廠  交互作用	人員  、  情節	電廠  、  情節
工作負荷  (人員工作負荷程  度)	最少化人員配  置(2)的工作  負荷比傳統(4  人)來的高	先進型的工作  負荷比傳統型  高	--	以先進型最少  化人員配置(2  人)的工作負  荷最高	--	--

### 2.2.3 數位與傳統人機介面之整合對於主控制室運轉作業的影響

#### ◆ 研究案例：Integrating Digital and Conventional Human-System Interfaces : Lessons Learned from a Control Room Modernization Program (NUREG/CR-6749)

##### 2.2.3.1 目的

BNL (2002) 探討先進型電腦化人機介面對於人員的認知功能以及團隊成員間互動所造成的影響。此研究利用西屋公司 (Westinghouse) 所設計的模擬器，在此控制室中導入先進型的電腦化人機介面，包括電腦化程序書系統 (Computer-based Procedures, CBPs)、先進型警報系統 (Advanced Alarm System, AAS) 以及圖形化的資訊顯示系統 (Graphic Display System)，透過模擬器所記錄的客觀績效數值以及與運轉人員的訪談所得到的結果，來檢視這些先進型人機介面對於運轉團隊的績效、團隊成員結構的影響以及其結果在先進型控制室運轉員訓練上的含意。

##### 2.2.3.2 研究方法

此研究使用了五組來自 NOK 電廠的運轉人員，每組的人員配置從四位到六位。然而每組的人員包括有一個值班主任 (Shift Supervisor)、一個反應爐運轉員 (Reactor Operator)、一個負責汽機 (Turbine Operator) 或是電廠其他系統的運轉員 (Balance-of-Plant Operator) 以及一個值班工程師 (Shift Engineer)。這些運轉員在接受了一個星期的模擬器訓練後，參與演練四種電廠的情節，包括 Steam Line Break Outside Containment、Steam Generator Tube Rupture、

Small Break Loss of Coolant Accident 以及 Loss of All Feedwater Event，並藉由客觀績效數值的紀錄分析、運轉專家的觀察以及對於運轉人員的事後訪談來瞭解這些先進型人機介面所帶來的影響。

### 2.2.3.3 研究結果

#### 1. 電腦化人機介面的影響

電腦化人機介面總體來說，可以提高人員績效，可以有彈性的提供較多、較廣的資訊給運轉員，並減少以往運轉員在蒐集與整合電廠參數資訊所產生的工作負荷，也可以更自由的去運用自己的注意力資源來監測更廣的電廠狀態。因此，運轉員對電腦化的人機介面抱持著正向的態度。

#### 2. 先進型警報系統 (AAS) 的影響

AAS 主要是在提升運轉員對電廠狀態的察覺以增進其績效，但是在此研究中發現，雖然與以往傳統電廠相比，警報的數量已經明顯減少，但對於運轉員來而言，在電廠嚴重暫態情況下，警報的數量還是太多了。另一個重點為，警報的訊息與電廠狀態的訊息必須很明確的被區分開來，這樣才不會使運轉員產生混淆。此外也發現在事件中，運轉員也沒有足夠的時間去閱讀警報的訊息以及通常沒有時間去顧及過量的警告（優先權較低的警告）。

最後一項發現，AAS 的需求在正常的運轉情境與在緊急的運轉情境下是不相同的。在正常運轉情境下，運轉員所仰賴的是依時間順序表列式 (Chronological-list) 警報系統；在緊急情況下，AAS 會將警報先組織、分類，然後再平行的將這些警報呈現出來。

#### 3. 電腦化程序書 (CBPs) 的影響

CBPs 可以減少值班主任的認知工作負荷以減少值班主任從各運轉員獲得電廠參數資料的需求，並且加快作業速度、以及減少失誤的發生。

然而 CBPs 也有一些的問題，包括 CBPs 會造成視野的狹隘化、CBPs 提供了較小的視窗，所以必須反覆的翻頁來找尋相關的資訊以及 CBPs 偶爾會提供讓運轉員誤解的資訊或是引導運轉員執行錯誤的程序，可能是因為運轉員比較容易去接受 CBPs 評估而沒有詳細檢查以及雙重確認 CBPs 所評估的程序是否適當。

另一個議題為當 CBPs 系統失效對於運轉員做紙本程序書上切換的問題，此研究顯示運轉員能夠很順利的轉換至紙本程序書，並且有效的找出目前作業程序以及接管原先的自動化處理作業。

#### 4. 圖形顯示系統 (Graphic Display System) 的影響

在電廠正常與緊急運轉的情境下都顯示出趨勢顯示 (Trend Displays) 對於運轉員進行監測作業有重要的作用—趨勢顯示使得運轉員眼睛一瞥就能夠瞭解電廠參數的變化、在有距離的區域也能夠看見趨勢顯示，還有，藉由形狀的改變，人們可以很容易知覺到趨勢輪廓的改變，以及運轉員能夠建立適合他們自己的圖形顯示，方便其監視。

#### 5. 先進型人機介面對於運轉以及團隊結構 (Crew Structure) 的影響

研究發現，先進型的人機介面會影響運轉團隊成員的認知績效以及人員的功能，也會影響成員的責任分配、成員間的溝通以及成員的狀況察覺。

先進型的人機介面使得值班主任與運轉員的責任分工更加明確，值班主任著重在程序書作業，運轉員著重在警報系統、圖形顯示以及人機介面的控制上。這會帶來兩個結果。第一、值班主任與運轉員可以增加狀況察覺能力以及對於它們的職責更具有信心、績效更好，第二、必須比以往需要更多的注意力來維持狀況察覺。然而值班主任與運轉員明確的責任分工使得運轉員不用再提供詳細的電廠參數資訊給值班主任，他們有更多的注意力資源用在警報系統、圖示顯示器等的監測上。

總結以上，新的人機介面導致團隊人員在資訊獲得的改變以及人員間溝通的改變。由於值班主任與運轉員所使用的是分開的資訊來源 (值班主任著重程序書作業、運轉員著重人機介面的控制)，所以保持彼此間的溝通是很重要的。

#### 6. 訓練上的涵義 (Implications for Training)

研究指出兩個關於訓練的議題，第一、對於 HSI 系統使用的訓練，運轉員沒有辦法瞭解在不同情境，如正常、異常與緊急等狀況下，如何最有效的利用 HSI 系統，這是由於個人面對不同情況時使用人機介面的風格以及習慣不同所致。因此應該施予一個標準化的訓練以提升運轉員能夠最有效的來使用先進型人機介面。第二、對於團隊狀況察覺的訓練，包括訓練值班主任除了負責程序書的作業外還能保持和運轉員的溝通、將運轉員訓練成一個具有凝聚力的成員，發展團隊成員間特定溝通方式以及必須對運轉員做交叉的訓練，讓他們瞭解彼此溝通的需求以及其他人的負擔為何，藉此來提高團隊的狀況察覺。

##### 2.2.3.4 研究結論與建議

先進型人機介面系統會顯著的影響團隊結構以及人員的溝通方式。這些改變為人員績效以及可靠度帶來某些涵義，運轉組員使用了多重獨立的資訊來源以及

多重獨立的觀點，增加了偵測狀況評估的機率以及減少潛在的人員失誤，這些都可以增加人員的可靠度。然而，績效與可靠度的改進也需依賴人員有效溝通的能力以及維持共享的狀況察覺，所以必須對於團隊結構、溝通的改變以及團隊的狀況察覺做更深入的瞭解，然而此研究的發現也有助於未來在這些面向上的探討以及發展。

#### 2.2.4. 警報的顯示、處理以及可利用性在人員績效上的影響

- ◆ 研究案例：The effects of alarm display, processing, and availability on crew performance (NUREG/CR-6691)

##### 2.2.4.1 研究目的

核電廠運轉員的作業包括：電廠狀況的監視、異常的偵測、狀況評估、反應計畫以及反應執行，而監視與偵測的作業可能會因為大量的參數以及多變的情境而有所疏失、負荷過重，故希望可以透過警報系統提供協助。運轉員處理警報系統有兩個階段：第一：電廠的系統參數和其設定點來作比對。第二：運轉員必須去偵測、分析以及解釋這些警報是假警報還是真實的異常狀況。

警報系統對於電廠的運轉扮演一個重要的角色時，不良的人因工程設計會產生一些共同的缺失，包括：太多的警報、太多的假警報、警報與正常狀態指示的區辨上是很模糊的、不良的警報組織、不良的位置、不充足或不突顯的編碼、不適當的訊息設計以及不良的警報聲設計。

自從三哩島事件以後，許多電廠已經對於傳統警報系統的設計特徵作了改善，但是這些警報特徵的改善在電廠發生警報狀況時，使用上還是有些困難，因此，先進的警報設計方法主要目的在改善警報的有效性。

因此，NRC 檢視了控制室的人因工程設計原則，包括 NUREG-0700、NUREG/CR-6105 用以確保這些設計原則是在可以接受的範圍，此篇文獻主要去針對高度優先 (High-priority) 人員績效議題，以及確認 NUREG/CR-6105 所發展的指引是否可被接受。

##### 2.2.4.2 研究方法

12 位來自 Loviisa 電廠的專業運轉員，受測者分為 6 個團隊，每個團隊有兩名成員，團隊中至少有一人擁有值班主任的資格。使用 Halden Man-Machine Laboratory (HAMMLAB) 所提供的測試平台。

實驗中使用電腦化警報系統，包含下列三種型式的顯示：1. 概觀顯示

(Overview Display)，包括傳統警報視窗以及訊息列表顯示、2. 詳細流程 Mimic 顯示 (Detailed Process Mimic Display)、3. 運轉員可自選之顯示 (Operator-selectable Display)。

在實驗中所操弄的自變項有警報的顯示型式 (Display Type)、警報的處理方法 (Processing Method)、警報的可利用性 (Alarm Availability) 和情節的複雜度 (Scenario Complexity)。於測試時自動記錄相關電廠績效，如壓力、飼水流量等績效，利用這些電廠績效指標評估電廠狀態，也用於判斷運轉員對警報的反應、反應運轉員操控後的結果以及反應有效的資訊。

最後使用 OPAS (Operator Performance Assessment System) 運轉員作業績效量測，且在情節結束後，透過問卷 (Operator Opinion Questionnaire) 收集運轉員主觀的評比資訊。

### 2.2.4.3 研究結果

整體來說，所有的運轉員在偵測到干擾並去處理時都有效率。警報的特徵在電廠、作業以及認知測量上並沒有相當的顯著效果，警報系統的特徵發生顯著的影響多在和情節複雜度有交互作用的時候，即警報的效果依賴於情節的複雜度。12 位運轉員對三種顯示的類型作喜好度的評比，結果顯示運轉員偏好使用傳統警報窗搭配訊息列表的顯示。

#### 1. 警報顯示 (Display)

運轉員偏好傳統警報窗的原因為：重要的警報不會被隱藏、藉由功能與系統性來將這些傳統警報窗作空間的群組、可以由位置來辨認警報，可以很容易的就注意到這些警報。

所以當警報數量多的時候，傳統警報窗顯示是比較好的，在許多警報發生時，運轉員只會注視傳統警報窗。因為運轉員有時會很難注意到新產生的警報。為了避免此問題，傳統警報窗可使用顏色或圖示 (Icon) 使得運轉員容易偵測並解讀警報資訊。運轉員也喜歡將組件與警報連結的設計，這種設計讓他們很快速的得以確認出那個組件跟那個警報有關連。然而，傳統警報窗也有問題：沒有提供運轉員所需的所有資訊，如時間、警報的順序、警報設定點以及參數值，來幫助他們瞭解干擾的情況。

運轉員偏好警報訊息列表顯示的原因為：警報列表對於取得詳細的警報資訊上是最有用的，警報的順序是很重要的，藉此有助於狀況診斷、瞭解事件的發生以及評估未來的影響，訊息列表具有排序的顯示是很有用的。

在此研究中，運轉員評論對於此研究與 Loviisa 電廠的差異：Loviisa 電廠的新警報訊息是閃爍的，但是當運轉員在忙或是只是很快速的瞥見警報列表時，警報訊息很可能就會被遺漏。然而此研究的設計：新的警報訊息並不是閃爍的，而是在訊息旁邊加上星狀閃爍的符號，運轉員認為這是個很好的設計特徵。

訊息列表顯示的最主要問題：必須花很多時間去閱讀，在警報數量很多的時候，很難使用，警報超過一頁時，運轉員幾乎不願做頁面的切換，尤其在工作負荷很高的時候。

### (1) 流程顯示 (Alarms in Process Formats Displays)

運轉員認為整合警報的資訊到一般顯示畫面中是非常有用的，因為這會幫助他們對於作業以及狀況的瞭解。當警報數量很多的時候，他們會放棄使用訊息列表而會去使用流程顯示 (Process Display) 的警報，運轉員不喜歡有些警報會被隱藏在較低層級的處理格式。他們沒有辦法去判定警報參數為高或低，以及他們也不知道警報運行的方向。

### (2) 警報系統顯示器之間的協調 (Coordination Between Alarm Systems Displays)

在任何一個警報系統的情境下，運轉員有超過一個以上的顯示器類型可以供作業時做轉換。運轉員發現，在很多警報發生時，這種轉換是有困難的。

### (3) 其他警報系統特徵以及其他因子的交互作用 (Interaction with Other Alarm System Characteristics and Other Factors)

當電廠的異常狀況單純，警報數量很少的時候，訊息列表的顯示是很好的。當警報數量很多時，警報窗顯示會比較好。

另外，異常階段的確認是很重要的。異常剛開始發生的時候，辨別那個警報的產生是很重要的。因此，傳統警報窗可以提供最好的視野。異常狀況的後期，警報的順序變的很重要，然而這些詳細的資訊可自警告訊息列表獲知。

## 2. 警報處理 (Alarm Processing)

運轉員喜歡層級較高的警報，因為較高層級較少有不需要的資訊，因此重要的資訊很容易偵測到。動態排序時，運轉員不會分心於列在較低優先權的重要警報，運轉員對警報處理的複雜度感到憂心，他們認為在不了解到底警報處理是依功能性及邏輯性來處理之前，不應改為先進型的。運轉員也不希望由他們選擇警

報處理層級。

### 3. 可利用性的方法 (Availability Method)

運轉員較喜歡隱藏勝於動態排序，因為可能會分心於資訊列表上的無用的資訊或是讀取錯誤。運轉員喜歡所有的警報資訊呈現在動態資訊排序上，運轉員不希望警報完全的移除，導致不易驗證。

#### 2.2.4.4 研究結論

整體來說，所有的運轉員不論在警報狀況偵測或是處理都很有效率。相關結論整理如下：

##### 1. 警報的可利用性

警報抑制 (Alarm Suppression) 的效果會比動態地優先權排序 (Dynamic Prioritization) 來的好。運轉員指出雖然動態地優先權排序可以幫助他們立即地獲得資訊，但在低優先權的列表中有用的資訊較少，並可能因而使得運轉員分心，或讀取錯誤。第三種警報可利用性的技術為警報的過濾 (Alarm Filtering)。透過警報處理的技術將不重要、不相關、不需要的警報排除掉，而這些訊息並沒有呈現給運轉員。但在我們的研究中並沒有包括此一技術的使用。運轉員表示他們不希望完全地排除掉那些警報，因為：警報處理技術的邏輯不一定完全地正確，可能在某些情況下移除掉重要的警報。運轉員有時會利用這些警報來做為其他的用途，例如確認預期的事件是否有發生。

##### 2. 警報顯示以及與警報處理的交互作用

運轉員表示固定位置 (Spatially Dedicated) 的顯示可以幫助他們輕易地找到重要的訊息並瞭解，但有運轉員指出這樣的顯示方式可能難以發現新警報的產生。傳統警報視窗的主要問題為沒有提供詳細的資訊讓運轉員瞭解異常的狀態。因此另外透過訊息列表來呈現這些詳細的資訊。訊息列表的主要問題是必須花費時間來閱讀，因此若發生的警報數量很大時，則難以使用。另外運轉員不喜歡去轉動頁面來獲取資訊，尤其在工作負荷高的時候。

將警報整合進概觀的流程顯示 (Process Overview Display) 以及詳細的流程模擬顯示 (Process Mimic) 是相當有效益的，它可以很快地評估出異常的狀態，且當警報數量很多時，運轉員偏好使用此種顯示。幫助運轉員瞭解警報與電廠系統及元件間的關係。整合顯示的問題在於部分警報會被隱藏。

警報顯示的價值端賴於異常事件的種類，當警報數量很少或較簡單的異常事件時，較適於使用訊息列表，警報窗則適於當警報數量多時，進一步歸納如下：

- 異常發生的時段，在異常發生的較早時期，主要的是有哪些警報產生，這些警報屬於電廠的那些地方—使用傳統警報視窗
- 在異常發生的較晚時期，警報發生的順序以及詳細的資訊—使用警報訊息列表。

結果建議最有效的警報顯示方式可能包括下列三種：

(1) 傳統警報視窗：提供主要警告、整體性功能且可以保留小部份的重要警報，優點為可以永久的呈現，並具有固定的位置。

(2) 訊息列表的警報顯示：提供更詳細的資訊（時間、順序、設定點、參數值）。

(3) 整合電廠資訊的警報顯示。

因此，要如何協調上述三種警報顯示，致使運轉員在它們之間轉換時更快、更容易，是個重要的議題。

## 2.3 結論

首先我們從驗證程序的規範中瞭解到，整合的系統驗證必須透過包含人員、電廠的績效測量，來進行驗證之評估。在績效的測量中，特別是針對認知因素的績效測量，如狀況察覺與工作負荷等，具有多種不同的測量技術與方法，而不同的方法其評估的效標也有所差異，並各有其優缺點及適用的情境。因此我們透過分析實際的案例所使用的測量技術，考量其適當性與可用性，以試圖發展出適用於核四廠主控制室驗證計畫之測量技術與程序。

而根據案例分析，我們也可以清楚地瞭解先進型數位控制室中的四個重要議題—人與系統互動的整合、介面設計與管理、團隊作業、與人員配置—對於人員績效、電廠績效和安全的影響。在介面管理研究的案例中，我們可以發現，完全彈性化的介面設計並不適用於系統複雜、資訊量大的控制室中。若要使用彈性化之介面，則介面管理作業之型態與方式便顯得相當重要，根據該篇研究的結果，應致力於降低介面管理作業的的認知負荷，使其不會干擾到主要作業的進行。另外，在人員配置的議題上，先進型主控制室的趨勢為精簡化的人員配置，希望透過較少的人力即可進行運轉的操作。但運轉人員的減少，相對地增加了每一個人員的工作負荷及所需監控負責的區域範圍。因此當以團隊的方式來進行工作時，該如何分配彼此的工作，如何協助進行狀況察覺，如何彼此溝通、分享資訊，都必須加以探討與評估。



另外，透過實際案例中所使用的測量方法與程序與驗證程序的規範相比較，我們得以瞭解如何將績效測量技術落實於龍門計畫主控制室之驗證程序與執行。透過文獻的回顧與實際案例的分析，我們應該為龍門計畫主控制室之驗證計畫，發展出較為完整、可行的人員績效測量技術。為了評估測量工具與驗證程序之可用性與適當性，我們發展出一核四廠主控制室人因工程驗證計畫，並透過此驗證計畫，進一步探討研究其他人因工程相關議題。

# 第三章 主控制室人因工程驗證計畫

龍門計畫主控制室人因工程確認與驗證計畫 (V&V) 目前已經完成 V&V-2。V&V-2 在美國奇異公司 (GE) 進行，使用電廠模擬器，受測者也大多是 GE 的人員，驗證的人機介面系統包含主控制室盤 (MCRP)、電廠運轉圖形顯示 (OGD)、遙控停機盤 (RSD)、警報系統 (AAS)、安全參數顯示系統 (SPDS) 等系統。V&V-2 包含二十一個測試情節，驗證期間為期九天，主要評估方式為觀察員觀察受測者在情節中的反應與動作並加以紀錄，且受測者在情節結束後也會做主觀問卷的評量。

從 V&V-2 的執行計畫與結果報告中，我們發現不論在驗證情節的選取、績效量測、績效效標與測試程序等方面，與 CR-6393 的建議相比較仍有改善的空間。因此，本章將以參考文件 CR-6393 建議的程序做為基準，比較 V&V-2 與 CR-6393 的差異，其次，針對上述的差異分析以及相關人因工程技術的回顧，我們提出完整的主控制室人因工程驗證程序，期能提供後續的確認及驗證的參考建議。

## 3.1. V&V-2與CR-6393之比較

CR-6393 將 V&V 的驗證過程中，必須遵守、注意的事項做了詳細的說明。因此，我們將 V&V-2 與 CR-6393 所描述的確認與驗證過程作比較後，從情節選取、績效測量、績效測量指標以及測試程序四個面向來加以說明。

### 1. 情節選取

人因工程 V&V-2 確認工作 (Verification) 的主要目標是確認所有人機介面的設計已符合人因原則。而驗證工作 (Validation) 的目標是確認人機介面的設計已被評估可符合人因工程可接受的標準，包括運用模擬器解決未結案的人因工程議題。而在 CR-6393 規範中所提到人因工程 V&V 測試目標應包含人員角色、人員配置、是否有足夠的警報、資訊、控制及回饋功能、以及作業目標的達成等八項目標。

V&V-2 測試目標中對於人員角色與配置等均有擬定欲達成的目標，但對人員作業介面轉換和介面管理，卻未有明確或有關的待測目標，由於在數位化、高度彈性化的人機系統下，人員在作業中需要的介面轉換與管理份量相對增加，因此應列為 V&V 中目標的重要項目之一。

我們必須要能確認所選取的情節能夠達成預定的目標，且每一個情節選取

過程要清楚、嚴謹。在 V&V-2 中對於情節選取過程以及定義，程序書中並未提供詳細的描述。CR-6393 規範對情節中的初始狀況、任務描述以及團隊人員的行為需求等，都要有明確的定義，並且施測情節的數量是否過多或不足，情節特性是否重複，亦均予說明。這些是在人因工程 V&V 中必須加強以及改進的部份。

## 2. 績效測量

人因工程 V&V-2 在模擬器測試中主要是利用問卷來蒐集可用性 (Usability)、監視和偵檢 (Monitoring & Detection)、狀況評估與察覺 (Situation assessment and awareness)、工作負荷 (Workload)、溝通和團隊作業 (Communication & Teamwork) 的主觀資料。共計 11 份的問卷 (170 個問題) 請每個參與模擬器接收測試的人員填寫，問卷中大多數的問題係以 "Yes" 或 "No" 選擇作答。而客觀資料的蒐集主要是針對受試者演練二十一個情節的反應，由觀察員利用觀察法紀錄受試者全程的反應和所採取的動作與策略。

績效測量必須要有建構效度、診斷力、公平性、客觀性、可靠度、敏感度、簡明性等特徵，但在 V&V-2 中的客觀資料搜集比較偏重觀察員對受測者觀察的紀錄，可靠度、客觀性、公平性相關項目較未突顯。至於問卷施測時間是否恰當以及問卷的效度，均需要另行評估。

## 3. 績效測量指標

CR-6393 訂定多種績效測量的指標 (包含電廠績效測量以及人員績效測量)，每種測量中應有一定義明確的指標，如時間、正確率、頻率等來評估受測者所有應該產生的反應動作的正確性與適當性，以避免不同觀察員的誤差而產生偏誤。在人因工程 V&V-2 中主要是仰賴觀察員的紀錄與說明，極可能因為觀察員本身的差異而造成結果的差異，而不是受測者對於介面操作間的差異。因此，在驗證過程必須先將每一種績效的標準、指標清楚的定義出來，供觀察員遵循。

## 4. 測試程序

人因工程 V&V-2 的測試時間為每天三個小時，共進行九天的測試。每一個情節被執行到一個穩定的情境或是開始作復歸的運轉為止。在測試中，觀察者會在受測者附近做記錄與觀察。

在 CR-6393 中說明測試程序中必須提供實驗設計的相關資訊，並且有詳細、標準化的測試前指引，對於受測者在實驗中遭遇問題，應該如何給予幫助

都需要定義清楚。但在人因工程 V&V-2 執行計畫書中對整個實驗的說明卻只對施測時間有較完整的說明，對於程序的始末沒有書面說明，例如整體性的介紹等資訊。

## 3.2. 主控制室人因工程驗證技術

詳細比較 V&V-2 與 CR-6393 的確認與驗證過程後，可以發現在 V&V-2 證過程中的情節選擇、績度量測、績度量測指標與測試程序的確有改善空間。因此我們發展了主控制室人因工程技術，以期 V&V 驗證過程能夠更符合國際規範，而驗證的技術主要包含以下幾個步驟：情節檢核表的發展、情節腳本的發展以及整合性系統驗證的人員績效評估量表的發展。

首先，我們以人因工程規範 CR-6393 為依據發展出情節檢核表 (Scenario Checklist) 來選取測試情節。接下來，我們再針對特定測試情節進行作業分析發展情節腳本 (Script)，情節腳本描述該情節的最佳作業流程 (Optimal Task Path)，最佳作業流程列出每一作業步驟，運轉員應該擷取的資訊、應了解的電廠狀況，要做的決策、進行的團隊溝通等動作、與反應。最佳作業流程作為驗證測試實際作業流程的比較基準 (Benchmarks)。最後，我們依據作業所要求的認知歷程 (Cognitive Processes)、團隊互動 (Team Interaction) 與作業的結果 (Outcomes)，發展出績度量測的評估技術，如，工作負荷、狀況察覺與團隊績效等評估工具，以協助在執行人因工程驗證時效標的評估。

### 3.2.1. 測試情節的選取

情節選取的目的是為了確保驗證的情節能夠合乎 CR-6393 所要求的驗證情節標準，避免類似的情節被重複驗證或是具有代表性的情節沒有被考量、驗證，因此，我們使用 CR-6393 的要求做為情節選取的標準，發展出情節評估表 (Scenario Checklist)，用以評估情節的代表性。評估之標準包括：每一個情節對核能安全的重要性、人員作業的代表性、電廠作業的困難度、以及發生疏失的可能性。經四位豐富經驗的運轉員去評比 V&V 2.5 所提供的十一個不同狀況的情節，確認出情節的相對重要性。

#### 1. 情節定義

V&V 2.5 共有十一個情節，而十一個情節可分為正常、意外、錯誤、暫態四種類型。四種不同類型的情節分別如下列：

##### (1) 正常

(a) Startup

(2) 緊急

(a) Reactor Shutdown and Cool-down from Remote Shutdown Panel

(b) Loss of All Feed-water

(c) Loss-of-Coolant Accident

(3) 錯誤

(a) Instrument Failures

(b) HSI Equipment Failures

(c) Turbine Trip

(4) 暫態

(a) Safety/Relief Valve Transients

(b) Anticipated Transients Without Scram

## 2. 情節選取標準的檢核表的發展

根據 CR-6393 的規範，可以發現部分待測情節內容與重要性有許多相似或是重複之處，故我們以 CR-6393 為基礎發展出檢核表（附件一），用以檢核每一個情節為什麼樣的電廠狀態，屬於何種人員作業。運用此檢核表確認出每一個情節的重要性以及作業性質，以做為情節刪減的根據。

### 3.2.2. 測試情節腳本（Operational Condition Scenario Script）的發展

測試情節腳本是描述該情節的最佳作業流程（Optimal Task Path），在最佳作業流程中列出運轉員需執行的作業步驟、需要擷取與整合的資訊、決策與團隊互動。測試情節腳本的目的是為了能夠提供在確認與驗證時的評估標準，以確切瞭解到運轉員實際在驗證過程中執行作業的步驟與程序，以及與系統或人員間互動與最佳作業流程之間有何差異，以確認出運轉員作業的績效與疏失。

在發展測試情境情節腳本時，我們考量系統隨時間的變化，運轉如何監視、偵測、評估與因應系統的變化，因此在測試情節的腳本中應包含系統的演變，運轉員所需因應的作業步驟、需要擷取與整合的資訊、決策與團隊互動。接下來，我們依據以下的項目來發展與建構出我們的情節腳本格式：

## 1. 情節腳本所包含的項目

- 時間 (Time)：記錄執行目前作業的時間。
- 事件 (Event)：在執行作業時所伴隨發生的其他事件。
- 系統狀態 (System State)：執行作業當時電廠系統的狀態為何，是屬於停機或是正常啟動等狀態。
- 運轉員的作業 (Operator task)：運轉員所需要執行的作業為何，包括次作業 (Sub-task) 與詳細的作業步驟 (Task-step)。
- 自動化 (Automation)：在此作業中，系統目前是屬於自動化的狀態還是屬於手動控制狀態。
- 運轉員負責作業：RO、ARO 在執行此作業時所接受到的資訊來源、利用這些資訊該進行的決策以及所要操作的機器設備為何，值班主任在此作業所接受到的資訊來源、利用這些資訊該進行的決策以及與如何與其他組員協調、溝通。
- 主控制室外人員的作業 (Personnel Outside of Control Room)：在此作業中主控制室外人員的作業為何，該如何與控制室的運轉員溝通與協調。
- 可能的失誤 (Possible Error)：在此作業可能發生的一些潛在安全相關失誤。
- 工作負荷層級 (Workload Level)：在此作業中工作負荷的情況，也就是運轉員對於同時處理多事件的狀態，包括生理 (Physical)、與認知的 (Cognitive) 工作負荷，而認知的工作負荷又包括工作記憶 (Working memory) 與注意力的分配 (Attention allocation)。
- 狀況察覺 (Situation Awareness)：運轉員對此作業的狀況之掌握程度如何，如是否能夠隨時察覺狀態的變化等。
- 備註 (Note)：用來記載此作業中其餘需注意事項。

## 2. 情節腳本的發展

情節腳本的發展過程首先對每一測試情節的作業進行作業分析，作業分析解構程序書的作業流程，並透過與運轉員的訪談來擷取作業知識，以瞭解運轉員在作業時的認知歷程，如運轉員需執行的作業步驟、需要擷取與整合的資訊、決策與溝通等，進而確定出作業中關鍵的認知歷程。接下來我們會依照情節腳本的格式，發展出「驗證觀察員的作業評估工具」。

附件三以一個實例的應用來說明情節腳本發展的過程－依據核四廠運轉員所提供的建議，選取 Startup to Rated Power 以下章節

### 1、Turbine and Generator Startup

## 2、Generator Synchronization and Initial Loading

## 3、Primary Containment Inserting

並藉由與運轉員的訪談所獲得的作業知識，整理出我們所發展的情節。

### 3.2.3. 整合性系統驗證的人員績效評估量表的發展

在電廠的運轉作業中，人員的績效端賴於人員對於系統狀況的察覺、介面的使用與管理、團隊間的互動。為了確認控制室人員是否能夠成功、有效地完成作業，我們必須評估主控制室中介面設計對於運轉員狀況察覺、介面管理及團隊互動的影響，因此四個人因績效測量的範疇將會被運用在人因工程整合系統的確認上，分別為狀況察覺評估、介面管理策略評估、團隊互動行為評估、人為疏失的分類架構。

1. 狀況察覺評估表 (Situation Awareness Assessment Form)：用來評估在主控制室中，運轉員的狀況察覺程度。
2. 介面管理作業評估 (Interface Management Task Evaluation)：用來確認每位運轉員必須去執行的人機介面互動與人員間互動的需求。
3. 控制室團隊互動行為評估表 (Control Room Team Interaction Evaluation Form)：用來評估控制室中人員間互動的需求。
4. 人為疏失分類架構 (Human Error Framework)：用來確認運轉員在先進型控制室所可能犯的人為疏失類型。

### 3.2.4. 現有的人員績效評估方式的回顧與整理

#### 3.2.4.1 人員狀況察覺的評估

在人員狀況察覺的評估上，一般可以分成客觀的績效評量以及主觀的評估技術。在客觀的績效評量有 Performance-based Techniques；在主觀的評估技術中，有多向度的主觀評比技術 SART (Taylor, 1989)、SA-SWORD (Vidulich and Hughes, 1991)、Situation Awareness Control Room Inventory (SACRI) (Hogg et al., 1994)、The Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT)。

#### 1. 客觀績效評量

Performance-based Techniques 主要是透過人員績效或電廠績效的測量來判斷人員狀況察覺的好壞。但包含了幾項缺點：(1) 人員的績效無法

表現出人員在進行狀況察覺的所有面向。因為人員在進行作業時，包括了心智模型的使用與決策的制定與執行，而最後人員的績效則是綜合了所有因素的結果。(2) 人員對於狀況察覺的反應不一定會明顯地表現在行為上。(3) 在進行績效測量的同時，可能干擾到人員對於作業的進行。

## 2. 主觀評比技術

與客觀績效評量不同的是主觀評比技術通常在作業完成後，由人員主觀地評比自己的狀況察覺的程度。如此則不會產生多餘的干擾。

- (1) 多向度的主觀評比技術 SART (Taylor, 1989)，是從三個向度來評比狀況察覺的程度。包含對於注意力資源的需求(狀況的不安定性、複雜性、變異性)，對於注意力資源的提供(激發、專心、注意力的分割、剩餘心智能力)，以及對於狀況的瞭解(資訊的品質、數量、相似性)。綜合三個面向的結果來評估人員的狀況察覺。
- (2) SA-SWORD (Vidulich and Hughes, 1991)，要求受試者在測試結束後，回憶所有的情境來進行相對的評比，再根據 Analytic Hierarchy Process 來分析所有情境間的差異性。

主觀評比的技術仍包含的幾項問題，(1) 主觀的評量技術都包括了對於工作負荷因子的測量，而非特定針對狀況察覺的測量。(2) 評量時必須依靠受試者的回憶來進行。因此可能受到人員短期記憶限制的影響。(3) 人員是主觀地評量自己，因此所得的結果並非客觀的資訊。

## 3. 直接詢問技術

透過所設計的問題或問卷，以詢問運轉員關於在某一情境的某些特定面向的知識。

- (1) Situation Awareness Control Room Inventory (SACRI) (Hogg et al., 1994)，發展出與控制室有相關的問題，六個面向包含 18 個問題，有關於過去的、目前的和未來的電廠狀態，分別在核蒸汽供應系統以及其他電廠系統 (Balance of Plant) 的參數間，每一群包括了三個問題。依據問題的型式而呈現三個到六個的選項，受試者圈選最適合的答案。
- (2) The Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) - [NUREG/CR-6691]：利用模擬器在任一隨機的時間點暫停模擬器的作業，並詢問運轉員一系列的問題，來評估人員對目前狀態的狀況察覺。因此可以在單一的情節中，進行多次的資料收集來評估狀況察覺動態的改變。但應在問題中應加入其他與狀況



察覺無關的問題，避免讓受試者可以預測暫停的時間點。

### 3.2.4.2 團隊作業

本研究探討團隊作業，包括團隊的定義、團隊績效測量的種類以及影響團隊績效測量的關鍵因素，然後將結果應用到績效評估工具的發展。

#### 1. 團隊的定義與特性

Salas et al. (1992) 對於團隊的定義：「兩個或兩個以上的人為了去達成特定的目標而共同的工作、互動著，然而彼此間從事著特定的作業，專司其職」。而 Dickinson & McIntyre (1997) 指出團隊的一個重要關鍵為在共享的資訊中來協調彼此之間的決策與活動以達成共同的目標，而此種的協調工作就是團隊作業 (Teamwork)。然而團隊作業應用在許多的領域，包括軍事、飛航以及核能電廠主控制室等。

#### 2. 團隊績效測量

Brannick & Prince (1997) 認為團隊績效的測量分成兩種，一種是團隊過程 (Team Process) 的測量，另一種是團隊結果 (Team Outcome) 的測量。團隊過程的測量可以提供有關團隊功能性的描述 (如，團隊成員的互動型態以及策略等)；而團隊結果測量可以很直接的突顯出整個團隊作業的績效 (如，是否完成此作業)。因此為了要發展出適當的團隊作業評估量表，所以必須同時包含團隊過程以及團隊結果的測量。

然而團隊過程並沒有一個標準化的分類，如 Morgan et al. (1986) 建議重要的團隊過程應該包括溝通 (Communication)、互助 (Cooperation)、團隊精神 (Team Spirit)、提供建議 (Giving Suggestions)、接受建議 (Acceptance of Suggestions)、協調 (Coordination) 與適應性 (Adaptability)。Prince & Salas (1989) 提出飛航組員的團隊過程應包括溝通、領導能力 (Leadership)、決策 (Decision Making)、適應性、自信 (Assertiveness)、狀況察覺和任務分析 (Mission Analysis)。Helmreich & Foushee (1993) 建議主要的團體過程應包括溝通與決策、團隊建立 (Team Building)、工作負荷管理 (Workload Management) 與狀況察覺。Cannon-Bowers et al. (1995) 發展團隊過程中的技能分類，包括適應性、共有的狀況察覺 (Shared Situation Awareness)、績效的監控 (Performance Monitoring) 以及回饋 (Feedback)。

由以上的團隊過程分類，我們將著重在狀況察覺、溝通以及支援行為的因素探討來協助我們發展控制室團隊作業績效評估工具。

### 3. 狀況察覺的定義與特性

Hartel、Smith & Prince (1991) 指出飛航事故的原因是由於狀況察覺的缺乏，而 Endsley (1988) 認為狀況察覺影響飛航績效是最重要的因子。由此可知狀況察覺在航空與複雜環境中扮演著重要的角色。核能電廠主控制室的運轉員藉由先進型的人機介面擷取資訊、瞭解資訊所代表的意義，再經由團隊成員的互動將這些資訊分享給其它成員以建立團隊狀況察覺，因此，對於這資訊的掌握程度就稱做狀況察覺的能力。

Endsley (1995) 將狀況察覺定義為「在一段時間與空間內對環境中元素的知覺、對於這些元素的瞭解以及對於不久將來的狀態的預測」。狀況察覺主要分成三階段：

- (1) 對環境中元素的知覺：個體必須從環境中知覺到相關元素的狀態。
- (2) 對元素的瞭解：整合階段一所知覺到的元素，並瞭解其所代表的意義。
- (3) 對未來狀態的預測：經由階段二的理解來推測未來的可能發生的狀況。

Endsley (1995) 也指出，有時候狀況察覺並非即時可以獲得的，有時也需團隊成員所組合而成，這種稱做共享的狀況察覺 (Shared Situation Awareness)。Endsley & Jones (1997) 將共享的狀況察覺定義為「團隊成員對於自己以應該應該分享什麼樣的資訊給其他成員的瞭解程度」，是團隊狀況察覺的一個重要面向。

因此，團隊狀況察覺並非只有個人狀況察覺的總和，還得包含共享的狀況察覺，這是由於團隊的特性的緣故，如協調與資訊共享等。Endsley (1995) 將團隊狀況察覺定義為「團隊成員擁有屬於自己職責的狀況察覺的程度」，有效率的團隊績效必須靠良好的團隊狀況察覺來維持。然而，團隊狀況察覺的模式包含四個重要的組成 (Endsley & Jones, 1997)：

- (1) 共享狀況察覺的需求 (Requirement)：團隊成員知道什麼樣的資訊應該被分有的程度，也就是瞭解其他成員所需求的資訊的程度。
- (2) 共享狀況察覺的設備、裝置 (Device)：可以使團員間資訊得以

分享的裝置，包括共享顯示的使用、團隊成員間的溝通與一個共有的環境。

(3) 共享狀況察覺的機制 (Mechanism)：如，共享的心智模型，幫助團隊成員以相同的方式來解釋資訊的能力，也可以幫助對人的行動作精確預測。

(4) 共享狀況察覺的過程 (Process)：團隊成員對於共享相關資訊的有效團隊互動的程度。如，建立一致性的計畫等。

接下來，我們將著重在探討共享顯示的使用以及團隊成員間的溝通對於團隊狀況察覺以及團隊作業績效的影響，進一步建構出控制室團隊作業評估工具。

#### 4. 共享顯示裝置對於團隊狀況察覺的影響

共享顯示可以將欲分享的資訊直接傳達給團隊成員，包括有視覺、聽覺以及其他感覺形式的顯示類型。Bolstad & Endsley (1999) 探討了兩種類型的共享顯示 (Shared Displays) 在不同的工作負荷層級下 (工作負荷低與工作負荷高的情況) 對於團隊狀況察覺的影響，此兩種共享顯示包括摘要型的共享顯示 (Abstract Shared Display) 以及全共享顯示 (Full Shared Display)，前者只顯示最重要的資訊給團隊成員瞭解而後者則是將所有的資訊顯示給團隊成員。此項研究的結果顯示在工作負荷逐漸增加的時候，摘要型的共享顯示會明顯的提供助益，改進團隊的團隊狀況察覺。

#### 5. 溝通的定義與特性

溝通 (Communication) 為團隊互動過程中最主要的組成，McIntyre et al. (1989) 將溝通定義為「團隊內兩個或兩個以上成員間主動的資訊交換」。藉由溝通可以幫助團隊成員對於狀況的掌握與瞭解，有些研究也指出團隊內溝通的頻率以及溝通的型態 (Patterns of Communication) 會影響作業的績效，如溝通較頻繁的團隊其作業績效會優於較不常溝通的團隊。然而，溝通的型態也會影響團隊的績效 (Foushee、Lauber、Baetge & Acomb, 1986)。Foushee et al. (1986) 發現機艙組員的溝通型態若包含較多的命令 (Commands)、建議、確認 (Acknowledgements) 以及對於目的的陳述 (Statements of intent)，其人員作業績效會較高。相似的，Foushee & Manos (1981) 指出如果團隊成員的溝通型態包含較多的無關作業的溝通 (安撫情緒、挫折語氣等) 會造成較差的人員作業績效。Gregorich & Chidester (1990) 也指

出當機艙組員的若更常從事有關於詢問 (Inquiry)、協助 (Advocacy)、決策以及和團隊有關的溝通，會使得人員作業績效達到最好。

關於核能電廠的溝通型態研究，Toquam et al. 探討團隊過程對於人員績效變異性的影響，其將溝通分成詢問、回報 (Report)、資訊提供 (Information Supply)、行動的指示 (Instruction for Control Actions)、建議、確認、情緒放鬆 (Tension Release)、挫折 (Frustration)、自言自語 (Talking to Self) 以及無法辨識 (Non-codable) 的溝通類型，並且利用影帶分析的方式來探討溝通型態對於運轉員作業績效的影響。其結果顯示，當團隊成員提供較多有關確認此種類型的溝通會得到較好的作業績效，然而，若提供較多有關於建議以及非作業相關的溝通時 (情緒放鬆、挫折、自言自語以及無法辨識) 會得到較差的作業績效。

## 6. 支援的定義

支援行為為協助其他成員完成他們的作業的行為，亦指團隊成員間作業的可交換性 (Interchangeability) 以及有意願去協助其他成員的程度 (Denson, 1981; Dyer, 1984; Nieva et al., 1978)。

## 7. 協調的定義與特性

協調可以反映出團隊活動的執行結果，如成員對於另一成員行為的反應。成功的協調可以歸因於有效的團隊過程，包括有效溝通、支援等。然而，協調並不只等於這些有效過程行為的加總 (Zalesny, Salas and Prince, 1995)。Zalesny et al. (1995) 將協調敘述為團隊成員對於作業的時序性型態 (Temporal Patterning) 或是對於作業順序性 (Sequencing) 的安排。基於 Zalesny et al. (1995) 與 Bernstein (1996) 的研究，將協調定義為「團隊在執行所瞭解的計畫或是腳本 (Script) 時，為了要達成共同的目標而讓團隊中的多元素 (Multiple Entities) 達成一致 (Act in Concert) 的企圖」。而 NUREG/CR-6751 也將協調定義為「在工作活動中，對於資源的確認、計畫與分配的過程」。

基於上述的定義我們可以瞭解：協調著重在團隊中元素的一致性，此表示團隊成員彼此互相依賴，並透過時序性型態以及順序性安排 (資源確認、使用以時分配的時機或順序安排或互動行為等) 得團隊中的元素 (如團隊成員、成員彼此的作業等) 來維持一致性以達成共同的目標。

### 3.2.4.3 人為疏失

人為疏失在許多意外事件中扮演相當重要的角色。根據許多研究報告指出，在大型複雜系統，如核電廠、航空界的意外事故中，有 60%~90% 的比例是人為疏失所造成的 (Rouse & Rouse, 1983; Reason, 1997)。由於大型複雜系統間每個組件環環相扣，在每一個步驟中若產生疏失，就有可能造成相當大的損失與事故的發生。因此，對於大型複雜系統中所可能發生的人為疏失，我們必須進行深入的探討與分析，了解產生人為疏失的原因，以便日後在系統設計或是訓練課程設計時，能夠有效的達到人為疏失的預防工作。

人為疏失的分類架構在探討人為疏失時，分類是相當重要的一個課題。但在不同的領域中所產生的人為疏失與後果必有相當大的差異，因此我們在對人為疏失做分類的探討時，就必須針對所研究的對象與領域而有所分別。

#### 1. 一般作業的人為疏失分類架構

(1) Swain and Guttman (1983) 將人為疏失分為下列兩種：

(a) 遺漏的錯誤 (Error of Omission)：指遺漏了工作中的一個步驟，或遺漏了整個工作。

(b) 做錯的錯誤 (Error of Commission)：指做錯了工作中的某個或某些步驟，它們可能是選擇錯誤意指選擇錯誤的控制，控制器未調到適當位置或下錯命令、順序錯誤指進行作業時未按照一定的次序進行、時間上的錯誤指太早或太晚進行某一步驟或工作以及質量上的錯誤指操作的過多或太少

(2) Kirwan (1994) 則將人為疏失分為下列四種：

(a) 做錯的錯誤 (Errors of Commission) 指做了不正確的動作

(b) 遺漏的錯誤 (Errors of Omission) 指沒做該做的動作

(c) 無關的動作 (Extraneous Acts) 指做了不需要的動作

(d) 漏失錯誤回覆的機會 (Missed Error-recovery opportunities)

指可以矯正先前錯誤的動作。

(3) Norman and Reason (1998) 從訊息的知覺、解讀、判斷到動作和執行各階段可能發生的人為失誤區分為下列三種：

(a) 錯誤 (Mistake): 對情境訊息之知覺解讀或決策判斷之失誤，這類失誤來自知覺、記憶、認知上之限制形成。

(b) 疏失 (Slips): 指動作執行之失誤。知覺判斷正確、決策亦無誤，然動作卻做錯了。當動作程序簡單不需太多注意力時，很容易發生這類失誤。有時欲執行的動作與經常性習慣動作很接近時，也會做出習慣性動作，而非欲執行的正確動作。「疏失」相當於操作失誤中的「做錯」。

(c) 模式錯誤 (Mode Error): 發生在記憶提取之誤差。在自動飛航控制或人與電腦互動時最容易發生這類型失誤，尤其當現代化的飛機設計，有多重層次的顯示和按鈕時，則很容易產生層次的混淆。

(4) Rasmussen (1982) 將人員失效分為下列兩種：

(a) 人員失效的外在模式 (External Mode of Human Malfunction): 指由於人員動作導致系統組件的非預期狀態，此類別裡包含漏做、操作錯誤的組件、執行順序錯誤與錯誤的時機。

(b) 人員失效的內在模式 (Internal Mode of Human Malfunction): 指人員認知作業，此類別裡包含偵測、鑑別、決策與行動。

(5) Reason 結合 Norman 的錯誤與疏忽的分類以及 Rasmussen

(1983) 人員作業行為層次—技巧行為、規則行為、以及知識行為的三個層次—的觀念，將人為疏失區分為下列三種：

(a) 技巧行為的疏忽：技巧行為的疏忽（或遺忘）可分為：注意力疏忽（Attention Slips）、記憶遺忘（Memory Lapses）以及知覺錯誤（Perceptual Errors）。所謂注意力疏忽（Attention slips）意指在緊要決定點沒有監督我們例行行動的進行；記憶遺忘（Memory Lapses）意指遺漏或忘記我們想作的；而知覺錯誤（Perceptual Errors）意指錯認某個物體或情境。

(b) 規則行為的錯誤：在規則行為的錯誤可分為：「錯用了好的規則」與「應用了壞的規則」，「錯用了好的規則」通常發生在類似但忽視了相異跡象的情境；「應用了壞的規則」指在學習過程中，常學到一些「壞」的法則。

(c) 知識行為的錯誤：知識行為的錯誤起因於工作記憶的限制與應用不完整的心智模型，而導致牽強附會（Confirmation Bias）、過度自信（Overconfidence）、大一統（Similarity Bias），和祇考慮到常發生者（Frequency Bias）。

(6) Reason 將人為疏失從線上工作人員在個人作業層面的疏失延伸到組織與管理的疏失。線上工作人員在個人作業層面的疏失稱為顯性疏失；組織與管理的疏失稱為隱性疏失。Reason 認為人為疏失的防範應從組織著手，發現並消除隱性疏失所造成的潛在情境，進而改善工作情境，減少顯性疏失。

(7) Wiegmann(2003) 以 Reason 顯性失效及隱性失效模型為基礎，以四種人員失效的層次來探討疏失。進而發展人為因素分析與分類系統（Human Factors Analysis and Classification System,

HFACS)。

- (a) 組織影響：資源管理、組織氣候、組織過程。
- (b) 不安全的管理：不適合的管理、計畫不適合的操作、未矯正問題、管理行為違反規範。
- (c) 構成不安全動作的條件包含兩個面向—不合標準的運轉員條件與不合標準的運轉員習慣，則不合標準的運轉員條件分為：不利的心智狀態、不利的生理狀態與生理/心理限制；不合標準的運轉員習慣分為：團隊資源管理與個人意願。
- (d) 不安全的動作包含兩個面向—疏失和違反行為，疏失分為：決策疏失、技巧行為的錯誤和知覺錯誤，而違反行為分為：一般作業和異常作業。

## 2. 特定作業的分類架構

### (1) Rouse (1981) (附錄一表一)

#### (a) 觀察系統狀態：

- i. 過度 (Excessive)：重覆確認與之前所觀察相同的系統參數，在某些控制作業中，重複的確認是有意義的。但在其他的作業中，重覆確認可能是浪費時間的，也許可以表示運轉員不足夠的理解力和對此部分作業過於自信。至於量化是否過度則必須由人員作業決定。
- ii. 誤釋 (Misinterpreted)：錯誤解讀系統在正確情況下所產生的正確數值。例如：當正確的閱讀了一個參數值並將此數值解讀為可接受範圍內，但事實上此數值已經過高。或是當正確的閱讀了一個參數值，但是將此參數值應用在不相關的次系統上。
- iii. 不正確 (Incorrect)：讀錯系統顯示出來的正確參數；例如：抑壓池溫度為 60.3 度卻讀做 603 度。
- iv. 不完整 (Incomplete)：未觀察充分的系統參數。例如：進入 EOP 必須觀察水位、溫度、壓力等參數，但運轉員



卻只蒐集了水位及壓力資訊。

- v. 不配適 (Inappropriate): 觀察了不適用於該徵狀的系統參數。例如: 進入 EOP 所需要的溫度資訊為反應爐溫度, 運轉員卻蒐集了抑壓池溫度資訊。
- vi. 缺乏 (Lack): 未觀察到任何的系統參數。例如: 進入 EOP 必須觀察水位、溫度、壓力等參數, 但運轉員卻沒有蒐集任何相關資訊。

(b) 假說產生:

- i. 不一致 (Inconsistent): 所產生的假說無法導致所觀測系統變數的詳細數值。例如: 運轉員觀察到水位下降, 於是假設目前狀況為 LOCA, 但是水位只降到 Level 4 就沒有再下降了。
- ii. 不太可能的 (Unlikely): 所產生的假說也許能夠導致觀測值, 但有更多其他可能的起因更應該被優先考慮。例如: 運轉員觀察到水位下降, 即產生 LOCA 的假說, 但是可能是某個閥門故障或未關閉所造成。
- iii. 代價高的 (Costly): 所產生的假說也許能夠解釋觀測值, 但一旦此假說開始後代價 (時間、金錢) 相當昂貴。例如: 某個次系統故障, 而將整組機組停機檢修, 停機期間無法運轉發電。
- iv. 沒有相關 (Irrelevant): 所產生的假說無法作用在發現的系統參數上。例如: 運轉員觀察到水位降低, 但卻假設目前狀況是喪失外電。

(c) 假說測試:

- i. 不完整 (Incomplete): 在得到一個結論前即停止測試假說。例如: 假設要進入 EOP-581 必須要有 Reactor Scram、乾井高壓力、MSL 隔離和 EDG 啟動的條件, 但運轉員卻只蒐集了 Reactor Scram 和乾井高壓力後即停止蒐集進入 EOP-581 的相關條件。
- ii. 接受 (Acceptance): 接受錯誤的結論。例如: 假設要進入 EOP-581 必須要有 Reactor Scram、乾井高壓力、MSL 隔離和 EDG 啟動的條件, 但運轉員在蒐集了所有資料後雖不符合進入 EOP-581 的條件, 但卻還是執行該份程序書。
- iii. 拒絕 (Rejection): 對正確的推論產生猶豫或是拒絕正確

的推論。例如：假設要進入 EOP-581 必須要有 Reactor Scram、乾井高壓力、MSL 隔離和 EDG 啟動的條件，但運轉員於蒐集了所有資料後符合進入 EOP-581 的條件，但卻還沒有執行 EOP-581。

- iv. 缺乏 (Lack)：沒有對產生的假說做測試。例如：假設要進入 EOP-581 必須要有 Reactor Scram、乾井高壓力、MSL 隔離和 EDG 啟動的條件，但運轉員卻未蒐集進入 EOP-581 的相關條件。

(d) 目標選擇：

- i. 不完整 (Incomplete)：不足夠的目標選擇，執行所選擇的目標無法解除欲解決的徵狀。例如：發生了 LOCA，卻只選擇了補水一項策略來穩定水位。
- ii. 不正確 (Incorrect)：執行所選擇的目標可能會產生不良的後果。例如：在發生 LOCA，運轉員要隔離破管時，沒有注意到乾井溫度過高，而選擇請現場 EO 前往乾井隔離的目標。
- iii. 不需要 (Unnecessary)：選擇沒有貢獻的目標，所選擇的目標對目前的徵狀消除沒有幫助。例如：喪失外電情況下，EDG C 台無法正常啟動，以致 HPCF C 台也無法正常啟動，但卻在外電未恢復的情況下選擇去啟動 HPCF C 台。
- iv. 缺乏 (Lack)：未對徵狀選擇任何解決的目標。例如：觀察到水位降低，卻未對此一症狀採取任何目標消除徵狀。

(e) 程序選擇：

- i. 不完整 (Incomplete)：所選擇的程序無法完全地達到目標。例如：產生 LOCA 要穩定水位，但卻只選擇補水這項程序，未採取隔離管路或其他相關程序來穩定水位。
- ii. 不正確 (Incorrect)：所選擇的程序無法達到正確的目標。例如：選擇了錯誤的程序書。
- iii. 不需要 (Unnecessary)：所選擇的程序是達到目標中不需要的程序。例如：目標是要穩定反應爐壓力，但卻選擇了降溫的程序。
- iv. 缺乏 (Lack)：未選擇程序。例如：沒有針對目標選擇任何執行程序。
- v. 順序 (Sequence)：所選擇的程序順序錯誤。例如：在

達到 EOP 進入條件時，未先進入 EOP，卻先執行 AOP 或 SOP。

(f) 程序執行：

- i. 遺漏 (Omitted)：執行程序時遺漏掉程序中需要的步驟。例如：應該打開某控制閥卻沒打開。
- ii. 重複 (Repeated)：執行程序時重複程序中的動作。例如：重複的去開啟某個已打開的控制閥。
- iii. 增加 (Add)：執行程序時增加程序中不需要的動作。例如：去檢查一個不相關次系統的參數。
- iv. 做錯順序 (Sequence)：執行程序時將程序中的動作順序執行錯誤。例如：應該先開啟 A valve 在開啟 B valve，但執行時卻先開啟 B valve 才開啟 A valve。
- v. 時間錯誤 (Timing)：太早或太晚執行程序中的動作。例如：在確認抑壓池溫度異常 (高於 35 度) 時即應該執行相關程序，但卻在溫度已經高過正常值很多之後才開始執行程序。
- vi. 不正確的分離位置 (Discrete)：在錯誤的位置做不連續的控制動作。例如：按錯按鈕。
- vii. 不正確的連續範圍 (Continuous)：在非預期的範圍作連續的控制。例如：超出範圍的調整數值 (過多或過少)。
- viii. 不完整 (Incomplete)：未執行完整的程序書。例如：在症狀解除以前，未將程序書執行完畢。
- ix. 不相關的步驟 (Unrelated)：在程序中執行了與程序不相關的步驟。例如：在執行降溫降壓的程序時，又執行了補水的步驟。

## 第四章 人因工程驗證工具之發展

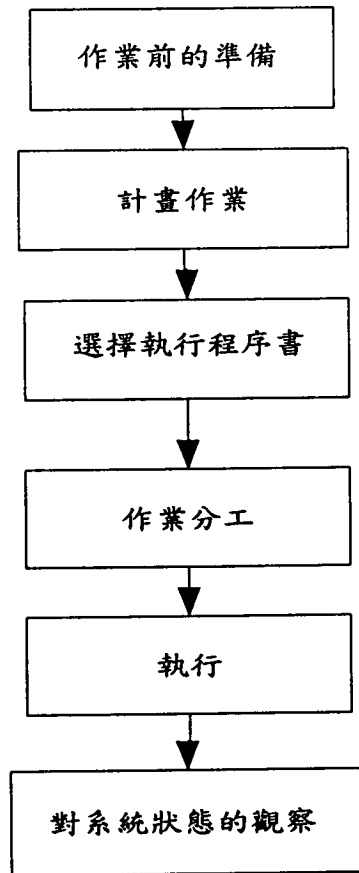
在選取適當情節後，我們針對正常與異常狀況的情節，依照運轉員的作業流程進行作業分析，了解每一個流程的作業目標以及作業內容，然後將其抽象化，建構出運轉員在作業時的績效模型。從績效模型中可以看出運轉員在進行運轉作業時，所應該執行的作業步驟及作業規範。

電廠運轉作業需要控制室團隊能夠掌握電廠狀況、作出正確決策、無誤地執行因應計畫，因此在人因工程驗證時，我們需要評估運轉員是否無誤地完成作業，維持正確的狀況察覺，以及整個團隊是否進行無礙的溝通和協調。在回顧了現有的人員績效評估方式後，我們綜合了各種評估方式和人員績效模型，發展出適合評估先進型電廠人員績效的量測工具。

### 4.1. 作業分析

#### 4.1.1. 正常作業

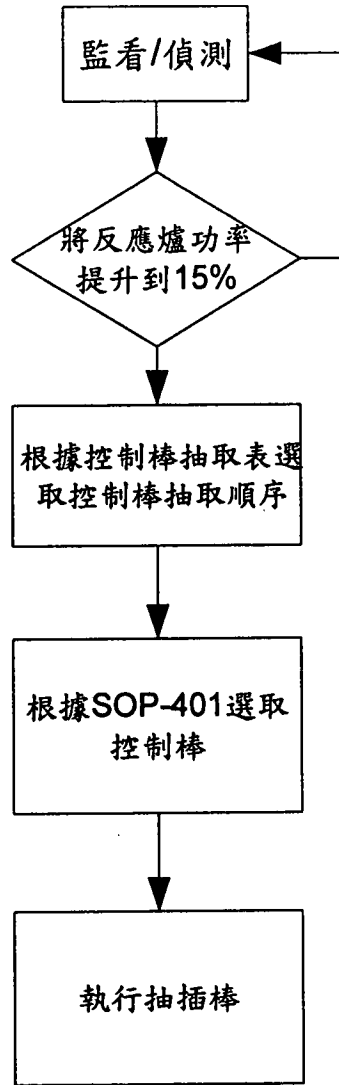
正常 (Normal) 的運轉事件，包括電廠的起動，停機，或是更換燃料，以及運轉能量的顯著改變。電廠在正常的運轉狀態下時，運轉員主要的工作為該情境下所需執行作業要如何妥善計畫與如何分配作業內容，然後執行作業中的步驟。在這些執行過程中，運轉員必須不停的搜集所需要的參數資訊，並且對執行步驟後系統所回饋的資訊做推論及解釋，以掌握系統狀況。在作業執行過程中，運轉員必須維持良好的狀況察覺、評估作業目標，並且就需要做相關的改善與修正 (圖五)。



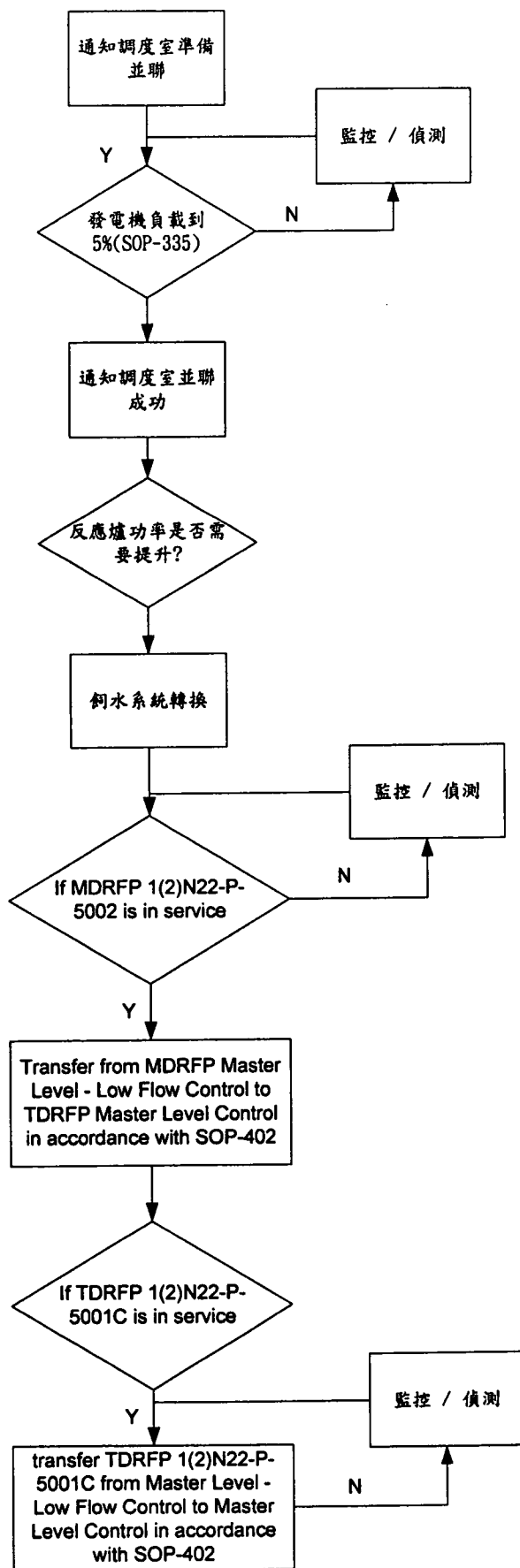
圖五 正常作業程序圖

#### 4.1.1.1 正常作業範例-以抽插棒及併聯為例

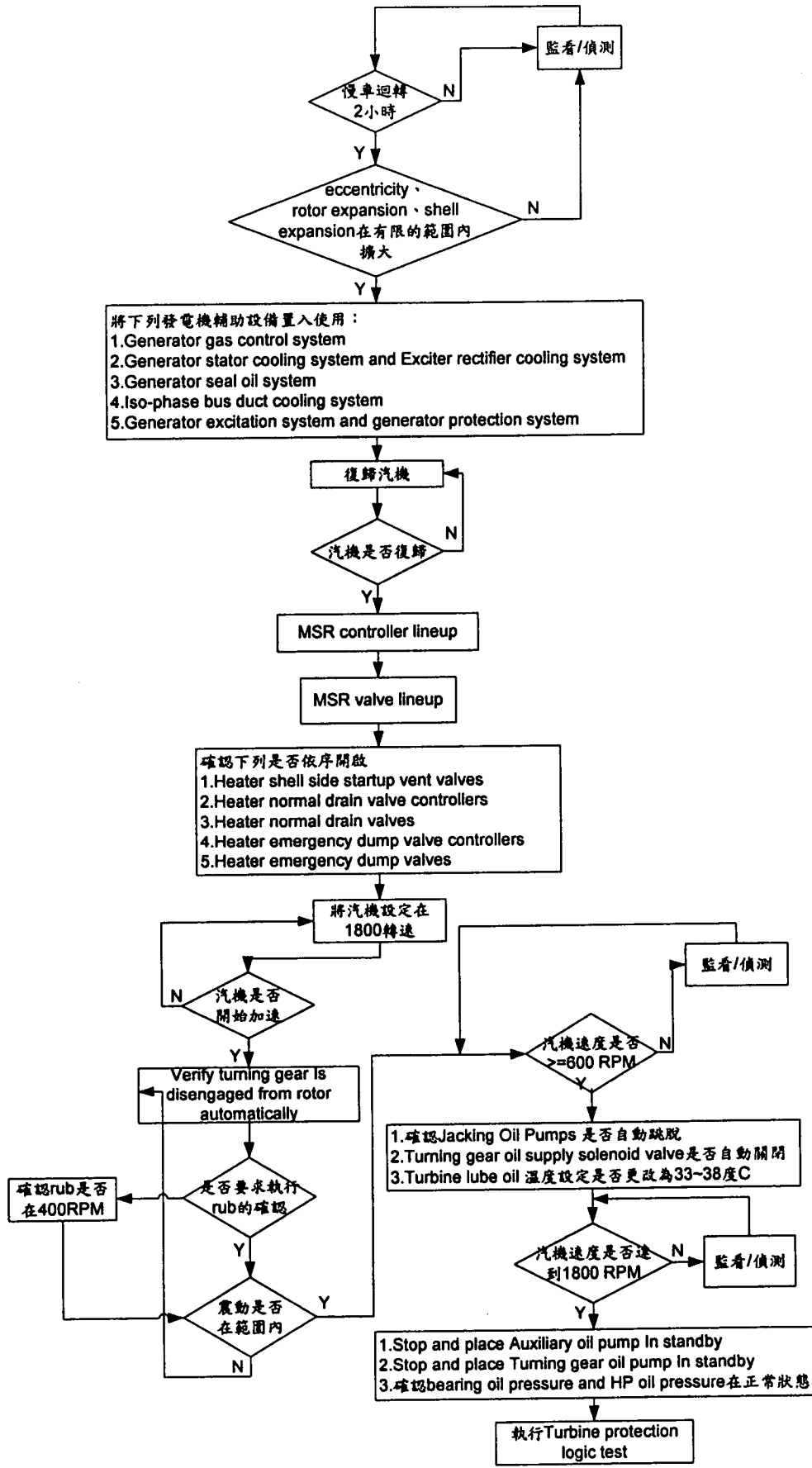
於執行 Startup 此一正常作業時以抽插棒及併聯作業為範例，在執行作業時又因運轉員職別及責任分工之不同而有不同的執行程序；RO (Reactor Operator) 主要執行與反應爐相關的作業 (圖六及圖七)，ARO (Assistant Reactor Operator) 執行的作業與汽機、發電機等相關 (圖八及圖九)。



圖六 RO 執行 IOP 201.1 程序 9 操作程序圖

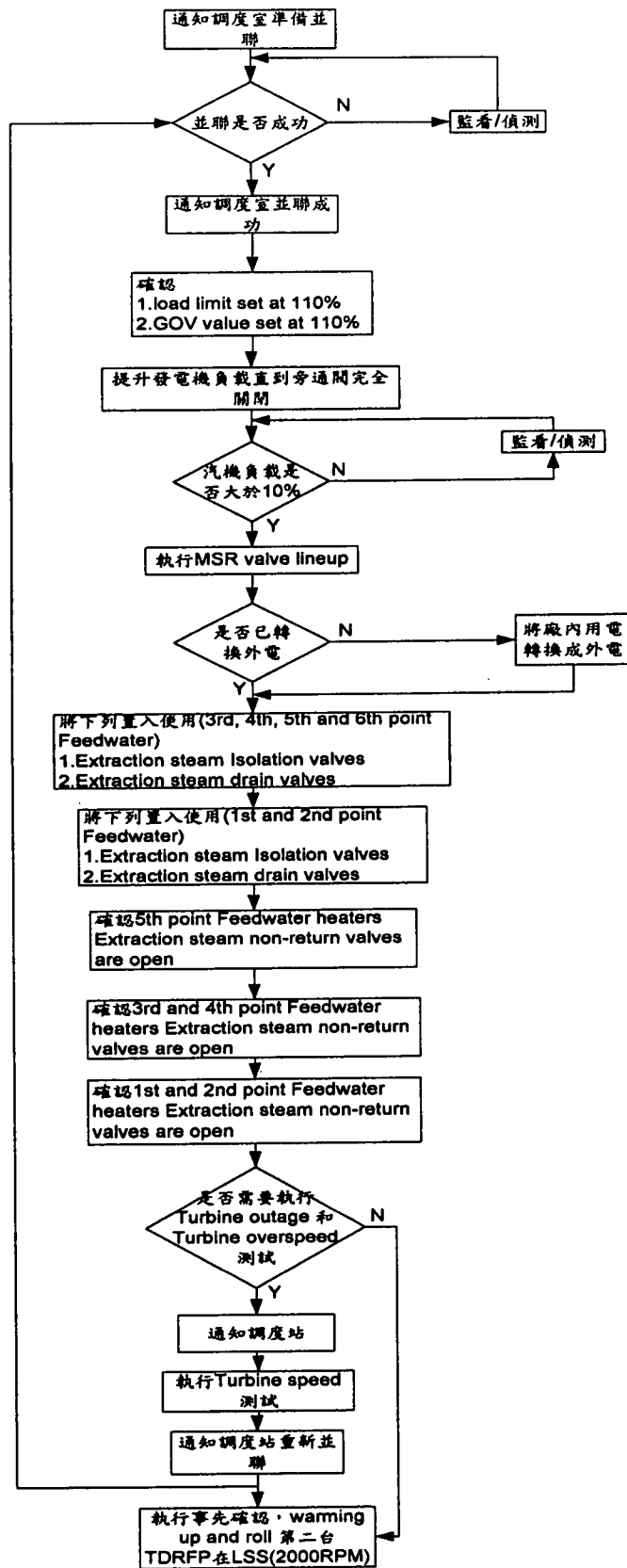


圖七 RO 執行 IOP 201.1 程序 10 操作程序圖



圖八 ARO 執行 IOP 201.1 程序 9 操作程序圖





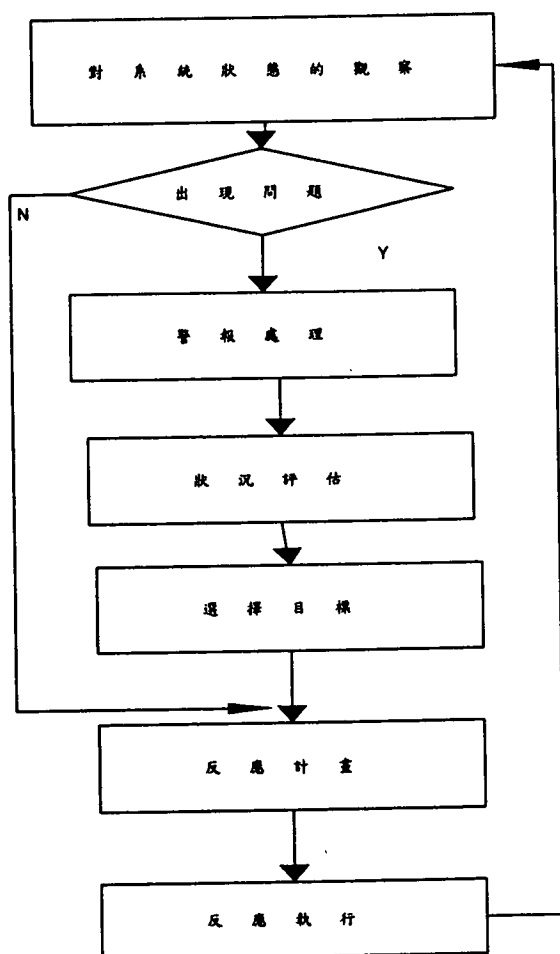
圖九 ARO 執行 IOP 201.1 程序 10 操作程序圖

## 4.1.2. 異常作業

電廠的異常事件包括：

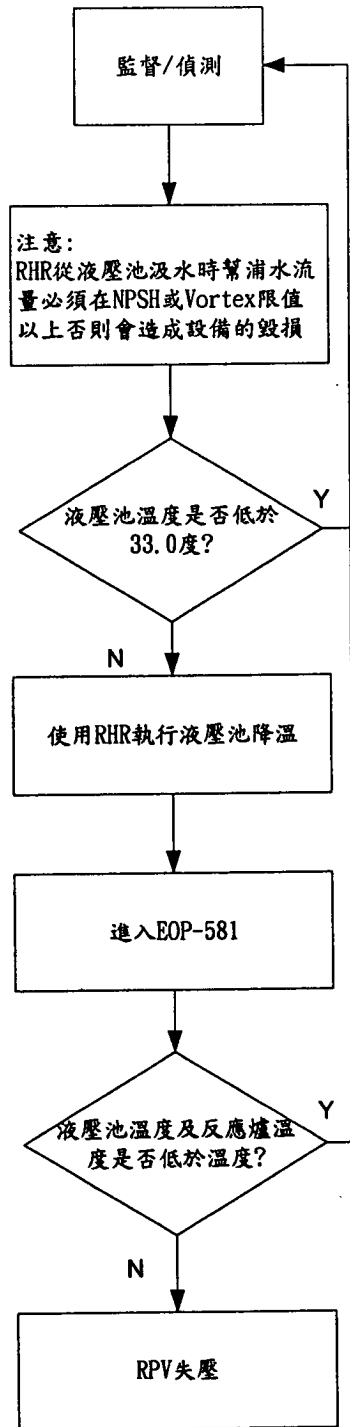
- 儀控系統的故障：例如在意外發生時，一般模式下的儀控系統無法處理。
- 人機介面的故障：例如處理程序的遺漏，或是警報、控制、程序書等顯示的遺漏。
- 暫態：例如喪失外電。
- 緊急：例如主要蒸汽管破裂。
- 合理的、具重要風險而在設計基準之外的事件，而此類是根據電廠特定的安全度評估決定。

而在處理異常作業時，運轉員首先偵測到故障或是超出設定值的警報訊號，針對所偵測到的警報做資訊的搜集與狀況評估，然後做出處理的規劃，並且由SRO下令給RO/ARO執行計畫，運轉員也必須注意執行後所回饋的資訊，解釋與整合資訊，以規畫下一次的行動（圖十）。



圖十 異常作業程序圖





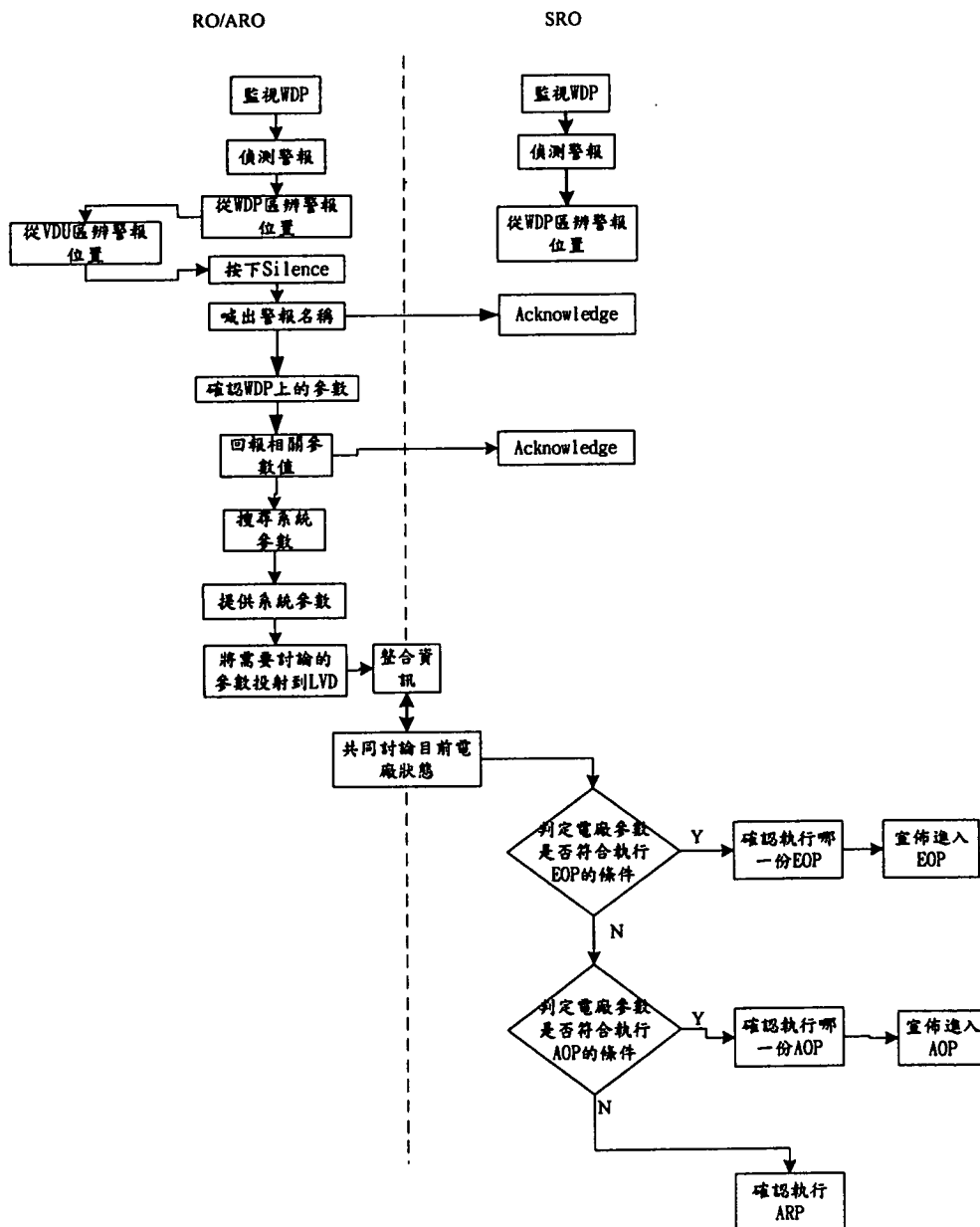
圖十二 EOP-582 抑壓池冷卻操作程序圖

#### 4.1.3. 最佳作業流程

本研究根據運轉員訪談紀錄與程序書擬出運轉員在處理癱狀時的標準作業處理流程，在運轉作業的處理上，不同的運轉職務所執行的作業也會有其差異性。SRO 主要的工作為掌握整個電廠狀況以及下達執行命令等，而 RO 與 ARO

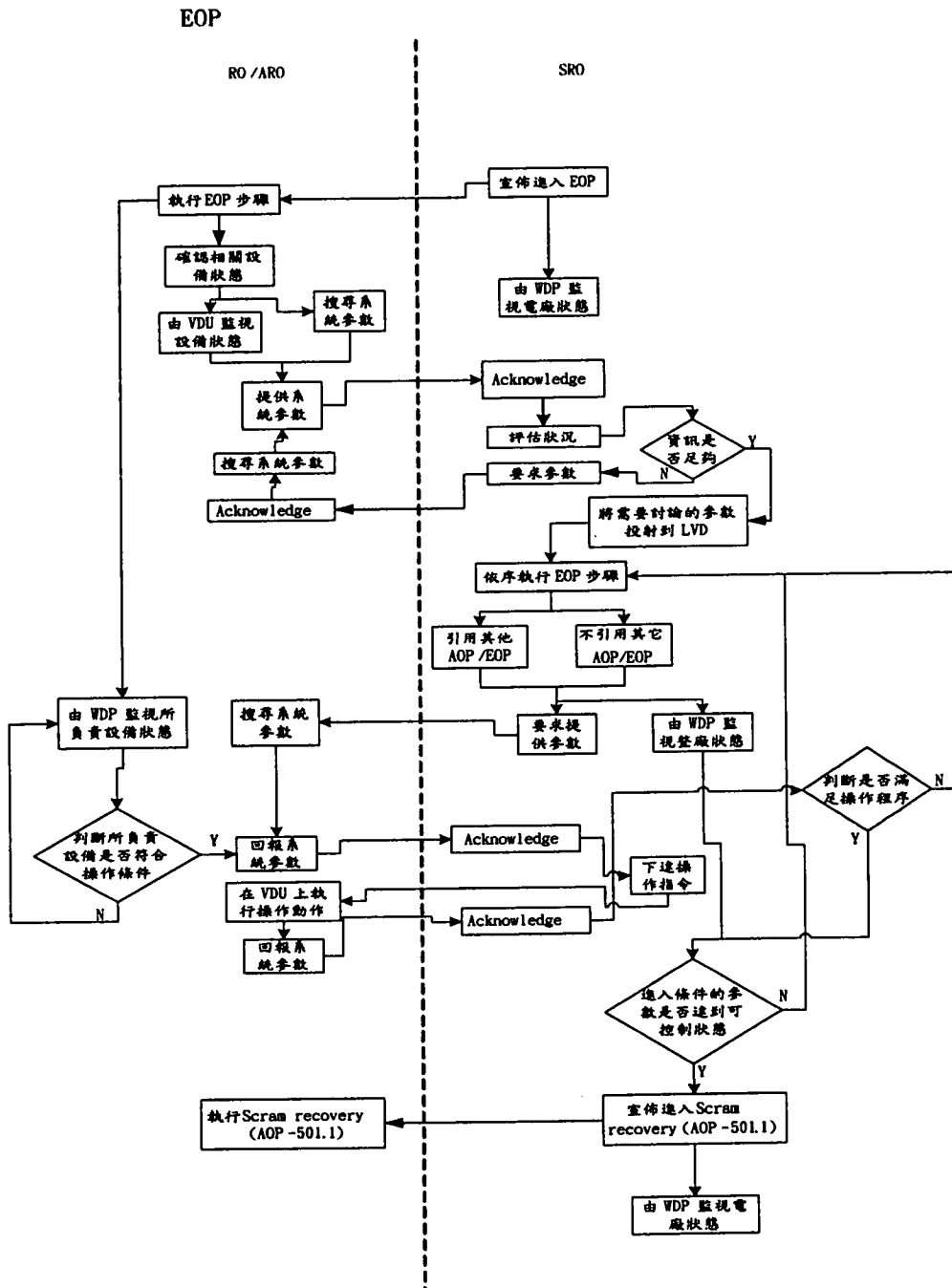
主要作業即為監視所屬區域參數的變化值以及接收命令並且執行等。

本項作業分析分為兩個階段，第一階段是從警報發生直到執行相關的程序書為止（圖十三）。從圖十三可以看出，在警報尚未發生時，運轉員大都是經由 WDP 監測電廠狀況，當警報產生後，RO/ARO 利用警報位置區辨警報，並且呼喚警報名稱讓 SRO 了解與掌握狀況。而後 RO/ARO 開始就產生異常的系統或組件去搜尋相關的參數並且回報，在蒐集了足夠的資訊後，運轉員針對目前資訊做整合與討論，並且由 SRO 判斷異常參數值與評估整體電廠狀況後，宣佈進入哪一份程序書（EOP/AOP/SOP）。



圖十三 警報處理最佳作業流程

第二部份則是由進入程序書到離開程序書後為止(圖十四)。承接第一部份，運轉員在偵測到電廠異常，蒐集參數和判斷後，進入相關的程序書。SRO 依判斷下令執程序書步驟，並且在執行時也必須同步監視電廠變化和執行後的回饋，而 SRO 也由 RO/ARO 的執行回報結果自行評估，或者以討論方式共同評估程序書作業是否執行完成，癥狀是否可以被控制、掌握，亦或是需要再參照其他的程序書步驟。若是徵狀已被控制，則離開程序書，繼續監控電廠狀態或是處理其他的警報。



圖十四 EOP 最佳作業流程

## 4.2. 發展績效評估工具

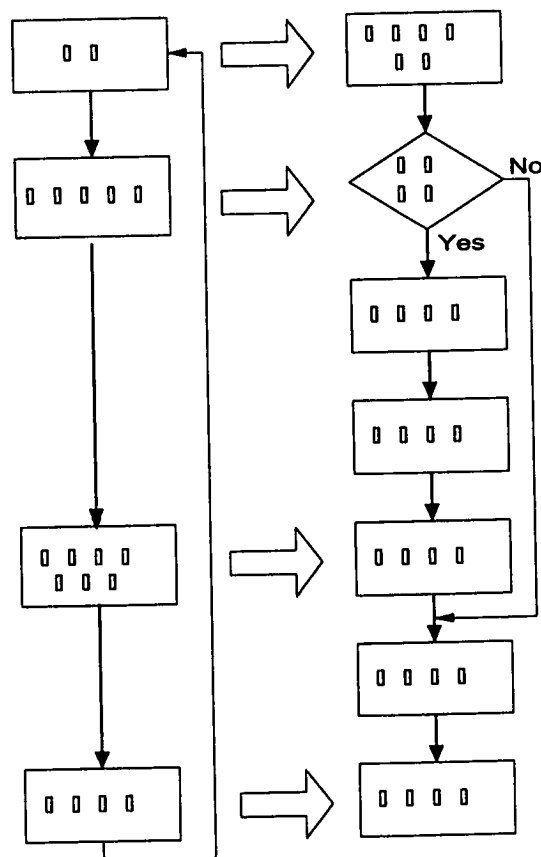
### 4.2.1. 先進型控制室人為疏失檢核表

運轉員在電廠運轉的期間必須不斷的從各種人機介面 (WDP、VDU、警報系統) 獲得資訊，然後利用所得的資訊對電廠狀態作診斷、評估，以規劃處置計劃及執行。然而要判斷人員在這些過程中所可能產生的疏失，必須先透過作業分析來了解運轉員在實際作業的流程、作業的內容，經由瞭解運轉作業來分析每個作業中所可能產生的疏失。

我們首先針對運轉員在先進型控制室的作業方式與流程進行作業分析，藉由影帶來觀察運轉員動作，然後透過訪談了解實際的作業情形與動機。

在了解運轉作業流程之後，再根據人員資訊處理流程以及 Rouse (1983) 所提出的運轉作業處理的概念模式建構出人為疏失的分類架構。

#### 1. 運轉作業處理概念模型



圖十五 運轉作業處理概念模型

## 2. 先進型主控制室人為疏失分類架構之建立

了解運轉員的作業內容後，我們針對作業的內容做出分類架構，將每一個步驟中可能產生的人為疏失列出（附錄一表二）。

首先由認知作業歷程將人員作業類別分為下列六項：

- 監視—（1）觀察系統狀態
- 偵測和診斷—（2）假說產生、（3）假說測試
- 反應規劃與決策—（4）目標選擇、（5）程序選擇
- 反應執行—（6）執行程序

在歸納作業類別後，再針對每項作業類別中所可能產生的疏失一一列出（表五、表六、表七、表八、表九、及表十）：

- 誤釋（misinterpreted）：例如：當正確的閱讀了一個參數值並將此數值解讀為可接受範圍內，但事實上此數值已經過高。或是當正確的閱讀了一個參數值，但是將此參數值應用在不相關的次系統上。
- 不正確（Incorrect）：例如：抑壓池溫度為 60.3 度卻讀做 603 度。
- 不完整（Incomplete）：例如：進入 EOP 必須觀察水位、溫度、壓力等參數，但運轉員卻只蒐集了水位及壓力資訊。

表五 疏失檢核表—觀察系統狀態

a. 觀察系統狀態
<input type="checkbox"/> 誤釋
<input type="checkbox"/> 不正確
<input type="checkbox"/> 不完整

- 不一致（Inconsistent）：例如：運轉員觀察到水位下降，於是假設目前狀況為 LOCA，但是水位只降到 Level 4 就沒有再下降了。
- 不太可能的（Unlikely）：例如：運轉員觀察到水位下降，即產生 LOCA 的假說，但是可能是某個閘門故障或未關閉所造成。

表六 疏失檢核表—假說產生

b. 假說產生
<input type="checkbox"/> 不一致
<input type="checkbox"/> 不太可能的



- 接受 (Acceptance): 例如: 假設要進入 EOP-581 必須要有 Reactor Scram、乾井高壓力、MSL 隔離和 EDG 啟動的條件, 但運轉員在蒐集了所有資料後, 雖不符合進入 EOP-581 的條件, 但卻還是執行 EOP-581。
- 拒絕 (Rejection): 例如: 假設要進入 EOP-581 必須要有 Reactor Scram、乾井高壓力、MSL 隔離和 EDG 啟動的條件, 但運轉員於蒐集了所有資料後, 雖符合進入 EOP-581 的條件, 但卻還沒有執行 EOP-581。

表七 疏失檢核表—假說測試

c. 假說測試
<input type="checkbox"/> 接受
<input type="checkbox"/> 拒絕

- 不正確 (Incorrect): 例如: 在發生 LOCA, 運轉員要隔離破管時, 沒有注意到乾井溫度過高, 而選擇請現場 EO 前往乾井隔離的目標。
- 不需要 (Unnecessary): 例如: 喪失外電情況下, EDG C 台無法正常啟動, 以致 HPCF C 台也無法正常啟動, 但卻在外電未恢復的情況下選擇去啟動 HPCF C 台。

表八 疏失檢核表—目標選擇

d. 目標選擇
<input type="checkbox"/> 不正確
<input type="checkbox"/> 不需要

- 不正確 (Incorrect): 例如: 選擇了錯誤的程序書。
- 順序 (Sequence): 例如: 在達到 EOP 進入條件時, 未先進入 EOP, 卻先執行 AOP 或 SOP。

表九 疏失檢核表—程序選擇

e. 程序選擇
<input type="checkbox"/> 不正確
<input type="checkbox"/> 順序

- 遺漏 (Omitted): 例如: 應該打開某控制閥卻沒打開。
- 重複 (Repeated): 例如: 重複的去開啟某個已打開的控制閥。
- 做錯順序 (Sequence): 例如: 應該先開啟 A valve 在開啟 B valve , 但執行時卻先開啟 B valve 才開啟 A valve 。
- 時間錯誤 (Timing): 例如: 在確認抑壓池溫度異常 (高於 35 度) 時即應該執行相關程序, 但卻在溫度已經高過正常值很多之後才開始執行程序。
- 不正確的分離位置 (Discrete): 例如: 按錯按鈕。
- 不正確的連續範圍 (Continuous): 例如: 超出範圍的調整數值 (過多或過少)。

表十 疏失檢核表—程序執行

f. 程序執行
<input type="checkbox"/> 遺漏
<input type="checkbox"/> 重複
<input type="checkbox"/> 做錯順序
<input type="checkbox"/> 時間錯誤
<input type="checkbox"/> 不正確的分離位置
<input type="checkbox"/> 不正確的連續範圍

### 3. 團隊互動疏失

在歸納作業類別後, 再針對每項作業類別中所可能產生的團隊互動行為疏失一一列出 (表十一、表十二、及表十三):

- 資訊傳送錯誤: 例如: 沒有傳送作業中所需要的資訊。
- 資訊接收錯誤: 例如: 運轉員不瞭解所接收到的資訊。

表十一 團隊互動行為疏失檢核表—溝通

g. 溝通
<input type="checkbox"/> 資訊傳送錯誤
<input type="checkbox"/> 資訊接收錯誤

- 作業未分派：例如：兩個使用同一組件的工作同時被排進排程裡。
- 同時作業不被預期：例如：排程裡同時工作是不被預期的。
- 無法確認可利用的資源：例如：在某個工作中使用的設備和工具在另一工作中也需要使用。
- 作業未準時完成：例如：所指派的工作無法順利完成。

表十二 團隊互動行為疏失檢核表－協調

h. 協調
<input type="checkbox"/> 作業未分派 <input type="checkbox"/> 同時作業不被預期 <input type="checkbox"/> 無法確認可利用的資源 <input type="checkbox"/> 作業未準時完成

- 時機不適當：例如：在需要的時間無法給予支援
- 不適當的協助（錯誤）：例如：支援了錯誤的工作
- 不足夠的協助：例如：無法給予足夠的資源

表十三 團隊互動行為疏失檢核表－支援

i. 支援
<input type="checkbox"/> 時機不適當 <input type="checkbox"/> 不適當的協助（錯誤） <input type="checkbox"/> 不足夠的協助

#### 4.2.2. 介面管理作業評估表

顯示系統可能包含上千個顯示頁面，要找尋所需的資訊，會產生介面管理作業的工作負荷，也容易增加操作人員反應時間及分心，而降低人員之主要作業績效。CR-6690 將介面管理被定義為：

- 配置（Configuring）：在電腦工作站裡依需求的佈置建立 HSI，它可發生在數個層級上，如工作站、個體顯示器、個體功能。
- 導航（Navigating）：在一個電腦工作站裡存取和檢索一個特殊方向的 HSI，像是一個顯示器或控制器。
- 排列（Arranging）：資訊在運轉員視野的調整，像是佈置項目在顯示頁面或視窗。
- 質詢（Interrogating）：指的是詢問 HSI 有關的作業去決定這些資訊的狀態，如目前的顯示和其他顯示網路的關係或是最新的檔案資

料。

- 自動化 (Automating)：去設定捷徑讓介面管理更為方便。舉例來說，運轉員可能會在一個特定的顯示器上設立一個功能鍵去最小化顯示提取時間。

介面管理作業評估表乃依據人機互動 GOMS 模型中的 Keystroke 模型來發展。Keystroke 模型計算介面管理作業中需要和介面互動的導覽以及互動動作，藉以評估介面管理對運轉作業的影響。依照不同的運轉情境，來作介面管理作業的評估，目的讓運轉員能在運轉中，能夠更有計畫、有效率、有規則的選擇其需要的系統、資訊畫面，執行監控與操作。

#### 4.2.3. 先進型控制室狀況察覺評估表

根據所發展出的人員績效模型，我們可以得知在不同的運轉情境下，運轉員具有不同的資訊需求。在正常的運轉情境下，如機組的起動、抽插棒的控制等，運轉員的主要作業為運轉作業的執行以及監控是否發生潛在的異常訊息。而在緊急的運轉情境時（發生嚴重的暫態），運轉員的主要作業為監控電廠的狀態並維持電廠狀態的穩定。

根據 Endsley 狀況察覺的理論，人員的狀況察覺可以分為三個階段。階段一：知覺，即人員注意到外在刺激的訊息，並產生一初步的理解。如聽到警報的聲響，運轉員知覺到有警報的發生。階段二：理解，將所知覺接收到的訊息儲存、理解，並整合成有意義且與目標相關的資訊。例如運轉員可以透過警報窗上的文字及顏色，瞭解到目前發生問題的系統以及對於目前情境的嚴重性。階段三：預測，利用目前所得到的資訊，以及所理解的意義來預測未來可能產生的狀態的變化。如運轉員可以透過警報訊息列表得知詳細的警報訊息，除了根據該訊息瞭解警報發生的原因，運轉員藉由過去的經驗及知識可以判斷出未來可能引動運轉狀況並進一步及早做因應。

在主控制室中，運轉員主要可以從三類資訊顯示介面來獲取電廠狀態的訊息，WDP、VDU 及警報系統。WDP 上提供了電廠整體的概觀顯示，各系統重要的參數值。警報系統則包括 WDP 上的警報窗、電廠狀態顯示窗以及位於 VDU 上的警報訊息列表。VDU 系統則提供了資訊的顯示與運轉的控制。運轉員可以透過 VDU 來進一步擷取各個電廠系統的細部資訊，參數的趨勢變化等。因此運轉員主要是透過 VDU 來擷取元件層級 (Component Level) 的資訊，WDP 來瞭解系統層級 (System Level) 及電廠層級 (Plant Level) 的狀態，

為評估此三種介面是否能夠有效地支援運轉員建立良好的狀況察覺，我們依據時間序列，根據如附錄一表二的格式，分別建立 SRO、RO、ARO 三位運轉

員對於此三種介面的使用情況，包括運轉員所執行的作業，所擷取的參數，以及對於目前及未來狀況的判斷。以瞭解運轉員在狀況察覺的三個不同階段中，是利用何種資訊顯示介面、擷取何種層級的資訊來幫助其知覺、理解並預測電廠狀態的變化。

#### 4.2.4. 控制室團隊互動行為評估工具的發展

核能電廠主控制室的運轉團隊的成員必須從動態的環境中，不斷的透過先進型人機介面來擷取資訊、瞭解資訊所代表的意義，以形成對於電廠的狀況察覺 (Situation Awareness)，並且透過團隊成員間的互動 (Team Process Behaviors)，將各自所察覺到的狀況分享給其他成員，建立起掌握整體電廠狀況的團隊狀況察覺 (Team Situation Awareness)，以維持電廠的安全運轉。

團隊狀況察覺是影響團隊作業績效的關鍵因素，團隊狀況察覺除了是團隊成員個人的狀況察覺加總外，還包括了共享的狀況察覺，也就是團隊成員分享資訊的程度。其中共享的裝置 (資訊顯示)，以及團隊成員的互動 (溝通、支援以及協調等) 為團隊狀況察覺的重要元素。因此，本研究探討核能電廠團隊成員如何使用資訊顯示以及溝通為主要媒介來發展團隊狀況察覺。以團隊結果績效作為客觀的評估，以發展出合適的核能電廠控制室團隊的作業績效評估工具。

##### 1. 核電廠團隊成員的角色與任務：

核能電廠主控制室的團隊人員配置以三人一組，包括值班主任 (Senior Operator, SRO)、反應爐運轉員 (Reactor Operator, RO) 以及輔助的反應爐運轉員 (Assistant Reactor Operator, ARO)。SRO 的主要職責在掌握監控全廠的狀況、指揮及決策，RO 的主要職責在於掌握反應爐相關控制，包括功率、溫度、水位以及壓力等，而 ARO 的主要職責在於掌握主汽機、發電機、冷凝器等控制。團隊成員的責任分工明確，彼此間透過溝通、支援以及協調等互動來維持核電廠的安全運轉。

##### 2. 資訊顯示：

核能電廠主控制室運轉員主要藉由先進型的人機介面來建立其狀況察覺，這些顯示可以分成：

- (1) 個人的資訊顯示 (Non-shared Display): 包括 WDP (Wide Display Panel) 前盤、MCC (Main Control Console)、SSC (Shift Supervisor Console) 的 VDU，此種類型的顯示有助於個人狀況察覺的形成。
- (2) 摘要型的共享資訊顯示：包括 WDP 以及 LVD (Large Variable

Display) 所呈現的趨勢顯示 (Trend Graph), 幫助三位運轉員瞭解電廠的重要資訊, 此種類型的顯示有助於共享狀況察覺的形成。

- (3) 全共享顯示 (Full Shared Display): 包括 LVD (除了趨勢圖外的資訊), 主要的目的在於將有必要的電廠資訊分享給其他團員, 如 SRO 需監視 RO 或 ARO 的操作流程資訊、未於 WDP 沒有呈現的運轉資訊以及團隊成員認為該讓其他成員也瞭解的資訊等, 此種類型的顯示亦助於共享狀況察覺的形成。

### 3. 團隊互動行為

核能電廠主控制室運轉員主要藉由互動行為來分享所擁有的電廠狀況知識以形成共享的狀況察覺, 主要的互動行為包括溝通、支援以及協調。以下分別介紹這些行為:

#### (1) 溝通型態

核能電廠主控制室的團隊主要的互動以溝通為主, 根據文獻回顧我們可以對溝通的型態做更明確的定義, 這些溝通型態包括:

- (a) 要求資訊: SRO 向 RO 或 ARO 要求電廠相關的參數, 如「現在反應爐水位如何、現在反應爐水位還是持續降低...」。
- (b) 回報: RO 或 ARO 對於 SRO 要求的資訊的回報, 如「現在反應爐水位 level 3、現在反應爐水位仍繼續下降...」。
- (c) 提供資訊: RO 或 ARO 主動向 SRO 提供電廠的資訊, 如「報告值班主任, 現在水位 level 3...」。
- (d) 確認: 運轉員對於接收到資訊之後的回覆, 如 RO:「報告值班主任, 現在水位 level 3 了」; SRO:「水位 level 3 了, 好」...。
- (e) 行動的指示: SRO 提供執行策略給 RO 與 ARO, 如「RO, 去執行飼水管路 A 線路的關閉...」。
- (f) 建議: RO 或 ARO 建議 SRO 對於目前狀況的處理, 如「報告值班主任, 我建議現在要先穩定爐心...」。

#### (1) 支援行為

主控制室團隊作業是在一個複雜的系統中運作, 支援行為也列為探討的探討重要因素。在此我們將支援行為定義為 RO 或 ARO 請求支援協助時的行為或是 SRO 要求一運轉員去協助另一運轉員的行為。如「RO, 請 ARO 幫忙記錄水位的變化...」。

#### (2) 協調

好的協調可以增加團隊的績效，在此將協調定義為：運轉員執行作業的一致性，運轉員是否在適當的時機作適當的事。如在暫態時，SRO 負責瞭解整電廠動態，RO 負責有關反應爐的作業而 ARO 負責汽機、發電機的作業。

### (3) 其餘互動類型

包括上述未提及的互動型態，如情緒安撫、自言自語、無法辨識的溝通、討論等。

由上述的定義之後，我們發展出了控制室團隊作業績效評估表，此表藉由共享顯示、人員互動（包括溝通、支援與協調）的團隊過程記錄以及團隊結果績效的紀錄（最終系統績效以及作業是否完成等）來幫助我們瞭解運轉員在團隊作業上的現象，以提供進一步的建議。

## 第五章 人因工程驗證分析

### 5.1. 先進型控制室狀況察覺

利用所發展狀況察覺評估工具來分析 V&V 2.5 驗證計畫測試情節演練中的兩個具代表性的情節：Start-up to Rated Power 以及 LOCA with LOOP，前者代表在正常狀態下程序基礎 (Procedure-based) 的運轉情境，而後者代表在緊急狀態下知識基礎 (Knowledge-based) 的運轉情境。我們透過 V&V 2.5 驗證計畫測試情節演練的影帶紀錄來分析運轉員使用各種介面的次數以及所擷取的資訊，根據所蒐集的資料來探討資訊介面的使用對於人員狀況察覺的影響。

#### 5.1.1. Start-up to Rated Power

表十四為 A 組與 B 組於執行 Start-up to Rated Power 作業時使用 HSI 的次數統計表，在正常的運轉情境中，我們可以明顯地發現到 A、B 兩組運轉員使用 VDU 來進行資訊擷取的次數較多。而 B 組運轉員在三種介面的使用率上皆高於 A 組運轉員，這是由於 B 組對於介面的使用較為熟悉，使其較為頻繁地在三種介面中轉換，以整合、驗證資訊，因此對於介面的使用次數較高。

表十四 Start-up 使用 HSI 的次數統計表

Start-up	WDP (使用次數)	VDU 資訊 (使用次數)	Alarm System(使用次數)	
			Alarm Tiles	Alarm Lists
A 組	94 次	124 次	2 次	1 次
B 組	157 次	168 次	6 次	6 次

我們更進一步地分析抽棒及併聯兩項作業中運轉員對於介面的使用情況。

#### ■ 作業一：抽棒

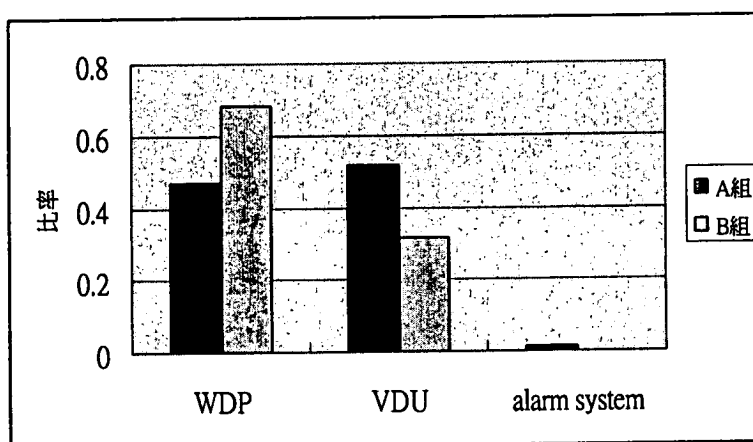
我們將 SRO 宣布開始抽棒到宣布準備進行併聯之間作為抽棒作業，A、B 兩組運轉員使用 HSI 的情形如表十五：



表十五 抽棒作業使用 HSI 的次數統計表

Startup	作業時間	WDP (使用次數)	VDU (使用次數)	Alarm system(使用次數)	
				tiles	list
A	33 分 32 秒	39	43	0	1
B	13 分 38 秒	26	12	0	0

同樣地由於作業時間的差異，我們將其轉換成比例來加以分析（圖十六）：



圖十六 抽棒作業使用 HSI 的次數統計圖

雖然在整個情節的演練中，運轉員使用 VDU 介面的頻率較高，但在此抽棒作業中我們發現 B 組運轉員也會使用 WDP 所提供的系統層級的資訊來幫助其建立狀況察覺。

■ 作業二：併聯

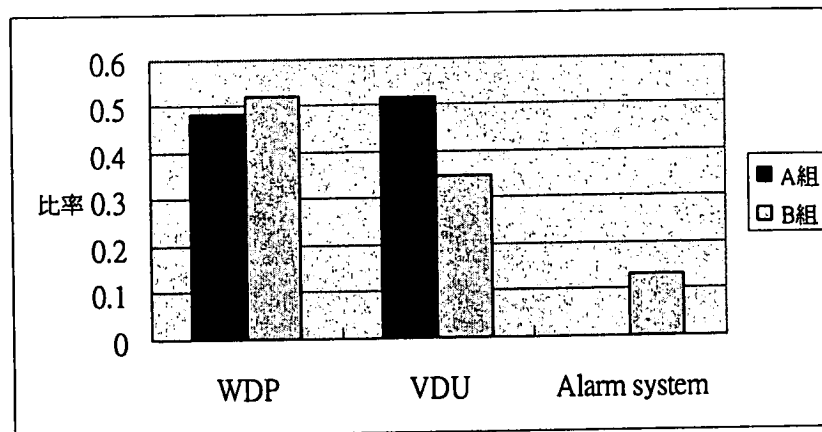
從 SRO 宣布開始併聯到 SRO 宣布併聯成功作為併聯的作業，A、B 兩組運轉員使用 HSI 的情形如表十六：

表十六 併聯使用 HSI 的次數統計表

Startup	作業時間	WDP (使用次數)	VDU (使用次數)	Alarm System(使用次數)	
				Tiles	List
A	14 分 04 秒	15	16	0	0
B	8 分 36 秒	12	8	0	3

在此作業中，A 組運轉員在第一次併聯時失敗，因此耗費了相當多的時間來

找尋原因，以及切換成手動併聯，但最後仍以失敗告終。由於作業時間的差異，我們將其轉換成比例來加以分析（圖十七）：



圖十七 併聯使用 HSI 的次數統計圖

在此作業中我們可以發現與 Start-up to Rated Power 作業有相同的情況，不同於整個情節運轉員對於介面的使用情況，B 組運轉員還會使用 WDP 上系統層級的資訊來幫助在此作業情境中狀態的判斷。

由於抽棒作業以及併聯作業是電廠起機運轉到能夠供電的兩項最為重要的作業，與其作業相比較為繁複，且必須隨時監控水位的變化以及其他可能的運轉狀況，因此對於運轉員的注意力需求較高，而導致運轉員盡量減少介面管理的作業，而大多依賴 WDP 以及現有的 VDU 資訊來進行電廠狀況的察覺。

### 5.1.2. LOCA with LOOP

在此情節中，根據上述表格，我們將運轉員使用三種介面的次數整理如表十七：

表十七 LOCA with LOOP 使用 HSI 的次數統計表

LOCA	WDP (使用次數)	VDU (使用次數)	Alarm System(使用次數)	
			Alarm Tiles	Alarm Lists
A 組	88 次	47 次	7 次	4 次
B 組	86 次	68 次	8 次	9 次

根據表十七，我們可以明顯地看出 A、B 兩組運轉員較常用 WDP 上的系統及電廠層級的資訊來支援對於電廠狀態的判斷，且兩組運轉員皆很少透過警報系

統來輔助對於電廠狀態的診斷。而 B 組比 A 組更常利用 VDU 來獲得所需的資訊，而 A 組則多根據 WDP 上的資訊來進行診斷與分析。

我們更進一步分析在此一情節中的兩個作業：爐心補水及抑壓池冷卻作業，來分別比較兩組運轉員如何建立其狀況察覺。

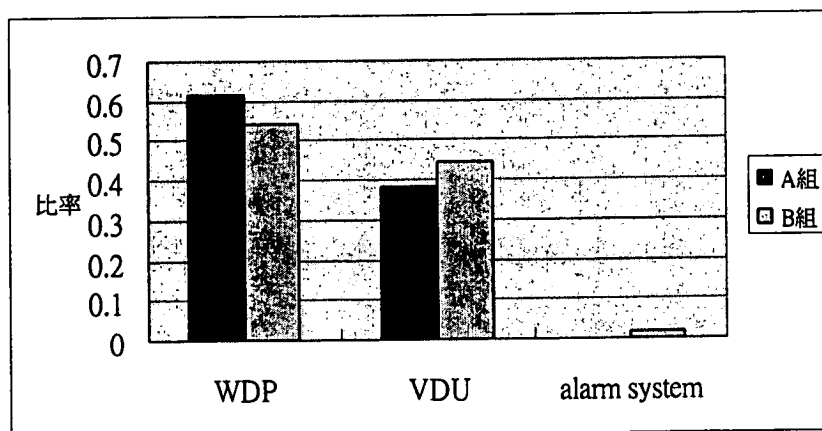
■ 作業一：爐心補水

我們將情節從一開始到第一次爐心滿水位（爐心水位 Level 8）的時間作為第一次的爐心補水作業，A、B 兩組運轉員使用 HSI 的情形建立如表十八：

表十八 爐心補水使用 HSI 的次數統計表

爐心補水	作業時間	WDP (使用次數)	VDU (使用次數)	Alarm System(使用次數)	
				Tiles	List
A	10 分 48 秒	37	23	0	0
B	9 分 52 秒	33	27	0	1

由於兩組運轉員在作業上所花的時間不同，因此我們將次數換算成比例來加以比較（圖十八）：



圖十八 爐心補水使用 HSI 的次數統計圖

在此作業中，同樣可以發現 B 組運轉使用了較多的 VDU 系統來幫助其對於電廠狀態的判斷，而在作業的時間上，B 組也比 A 組較早達到水位高度 level 8 的狀態。

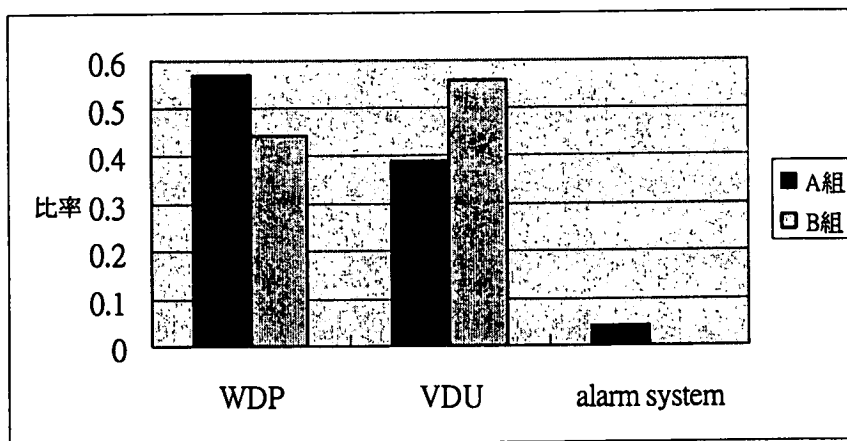
■ 作業二：抑壓池冷卻

我們將運轉員第一次發覺到抑壓池的溫度過高而必須將 RHR 的補水模式轉換成抑壓池冷卻模式以降低抑壓池的溫度，到其完成 RHR 模式的轉換完成，作為第一次的抑壓池冷卻作業。A、B 兩組運轉員使用 HSI 的情形如表十九：

表十九 抑壓池冷卻使用 HSI 的次數統計表

抑壓池冷卻	作業時間	WDP (使用次數)	VDU (使用次數)	Alarm System(使用次數)	
				Tiles	List
A	20 分 47 秒	53	36	0	4
B	2 分 49 秒	11	14	0	0

在抑壓池冷卻作業中，B 組運轉員在滿水位時即進行 RHR 模式的轉換來執行抑壓池的冷卻。而 A 組運轉員則是在水位下降後，才進行 RHR 的轉換，但由於必須考慮到爐心的補水，因此必須先將 HPCF 啟動以維持水位的平衡後，才能進行 RHR 的轉換以執行抑壓池的溫度冷卻。因此 A 組比 B 組多耗費相當多的時間，且最後 A 組仍無法順利的啟動 HPCF 並轉換 RHR。同樣將其次數轉換成比例來加以比較（圖十九）：



圖十九 抑壓池冷卻使用 HSI 的次數統計圖

同樣在此作業中我們更為明顯地發現 B 組運轉員使用較多的 VDU 資訊來建立對於電廠狀態的察覺。

### 5.1.3. LOCA with LOOP 與 Start-up to Rated Power 的比較

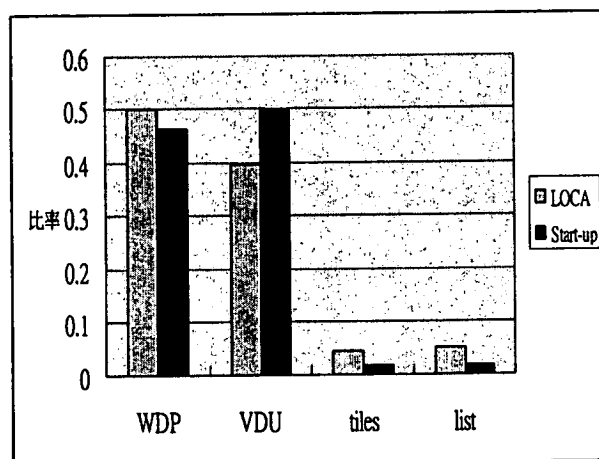
我們分別比較 A 組在 LOCA with LOOP 與 Start-up to Rated Power 兩個情

節中以及 B 組在此兩情節中使用 HSI 的情況。如表二十：

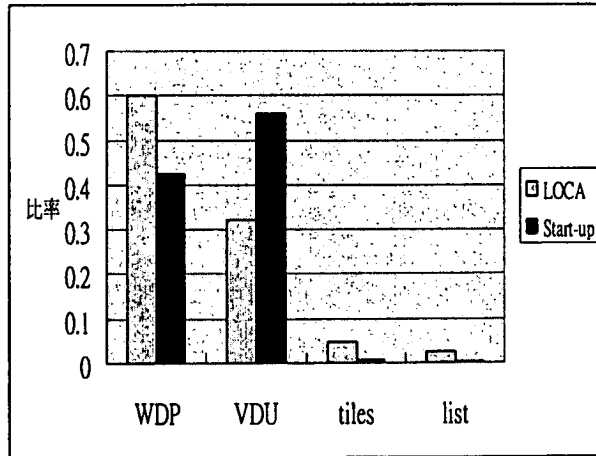
表二十 LOCA 與 Start-up 使用 HSI 的次數統計表

A 組	WDP (使用次數)	VDU (使用次數)	Alarm System(使用次數)	
			Alarm Tiles	Alarm List
LOCA	88 次	47 次	7 次	4 次
Start-up	94 次	124 次	2 次	1 次
B 組	WDP	VDU	Alarm System	
			Tiles	List
LOCA	86 次	68 次	8 次	9 次
Start-up	157 次	168 次	6 次	6 次

由於兩個情節在演練時間上的不同，將其轉換成比例來加以比較（圖二十、圖二十一）：



圖二十 A 組 LOCA 與 Start-up 使用 HSI 的次數統計圖



圖二十一 B組 LOCA 與 Start-up 使用 HSI 的次數統計圖

根據上圖，我們發現 A、B 兩組運轉員對於在 LOCA with LOOP 與 Start-up to Rated Power 兩個不同的情節中，在 HSI 的使用上具有相似的情形。兩組運轉員在正常的運轉情境下，對於 VDU 介面皆有較高的使用頻率，而在異常的運轉情境下，運轉員則依賴於 WDP 的使用。再一次驗證了過去文獻研究的結果，運轉員在不同情境下，對於資訊需求的不同，以及不同情境、作業的工作負荷會影響到運轉員對於不同介面使用的意願。

#### 5.1.4. 小結

從前述分析的結果我們發現，在先進型主控制室中，WDP 系統層級資訊的擷取對於運轉員判斷電廠狀態扮演了相當重要的地位，尤其是在嚴重的暫態及高度工作負荷的情境下，而 WDP 雖能提供運轉員大部分的電廠及系統資訊需求，但透過 VDU 可以更進一步地理解電廠細部元件的資訊及更完善的預測未來的狀態，以建立正確、完整的狀況察覺。

除了影帶記錄中客觀資料的蒐集與觀察，我們也透過與運轉員進行訪談，以了解運轉員在實際模擬演練上的情形。依據影帶之記錄，運轉員與受測者模擬演練測試後的會議以及實際的訪談的過程中，運轉員提出下列幾項關於介面設計上較為關切的議題：

##### 1. WDP 的顯示：

###### (1) 部分顯示的字體太小：

在 WDP 參數的讀取上，對於具有小數點的數值，容易延緩運轉員辨識所需時間。另外在 LVD 的使用上，若投射的畫面為詳細的 P&ID 圖加上參數

的顯示時（如 1N22NS-02），對於參數的閱讀上，同樣造成運轉員讀取的困難。

### (2) WDP 少數參數的排列過於近似：

運轉員指出在 WDP 1704 盤上的乾井、濕井的壓力、溫度以及抑壓池的水位、溫度，6 個參數排列位置過於近似，運轉員容易產生回報上的錯誤。由於此 6 個參數在提供運轉員對於狀態的判斷時，常具有很大的相關性，因此運轉員經常必須同時回報並整合，而在具有時間壓力的運轉情境下時，發生回報錯誤的機會將會增加。

### (3) 水位顯示與運轉員的認知不一致：

由於目前 WDP 上水位的顯示是四種水位顯示的整合，而事實上運轉員在個別系統的控制時，則必須根據情況來選擇適當的水位顯示作為運轉的依據。運轉員如果沒有正確的認知，則容易被 WDP 上的水位顯示誤導，造成誤判水位的狀況。

## 2. VDU 的顯示：

### (1) 趨勢圖時間單位的不適恰：

在 LOCA 的情節中運轉員指出，目前升溫率或降溫率的趨勢圖的時間單位太長了，而在 Start-up 的情節中，我們同樣發現在抽插棒週期的計算上，其同樣不符合運轉員的需求。導致在以上的情況時，運轉員必須另外透過紙筆的紀錄運算或是其他參數的整合，才能精確地判斷目前電廠的狀態。

### (2) 模擬器的真實性：

運轉員指出由於在模擬演練中所使用的模擬器部份模擬情節無法完全符合實際的電廠狀況，容易造成運轉員在使用上的不信任，導致運轉員發現運轉的結果與預期不同時，會懷疑是否因為模擬器的運轉邏輯錯誤所造成而非因為自己在操作上的疏失。

### (3) 運轉模式顯示的方式過於相近：

從影帶的紀錄中我們發現運轉員在做 RHR 模式轉換的作業時，所耗費的時間較多，而運轉員也指出由於在 VDU 上不同 RHR 模式所呈現的位置與顯示的形式皆相當接近與類似，因此造成運轉員在模式的選取上耗費較多的時間。

以上運轉員所指出的缺點是否只是造成運轉員資訊擷取的不便，或者會影響到運轉員的狀況察覺，還尚待進一步有系統的探討以釐清其效應。

## 5.2. 團隊互動行為

### 5.2.1 Start-up to Rated Power

由於兩組在作業執行時間上的不一致，所以我們轉換成比例來探討兩組在共享顯示以及互動型態的現象：

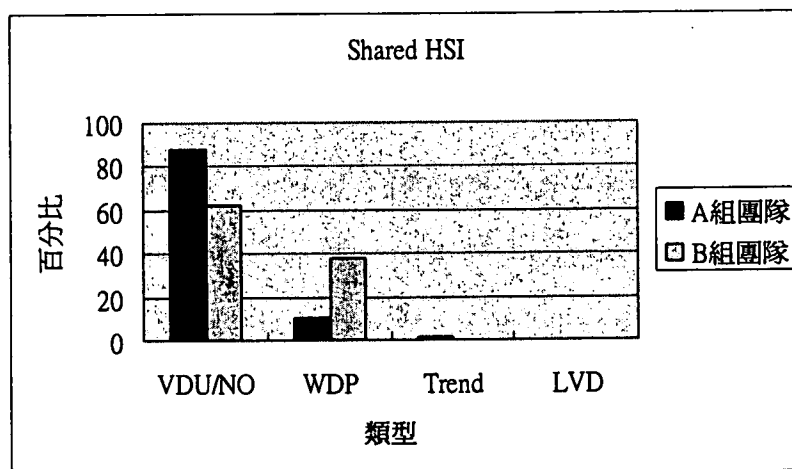
#### ■ 作業一：抽棒

##### 1. 作業時間（表二十一）：

表二十一 A 組與 B 組抽棒作業時間

抽棒	作業時間
A	33 分 32 秒
B	13 分 38 秒

##### 2. 資訊顯示（圖二十二）：

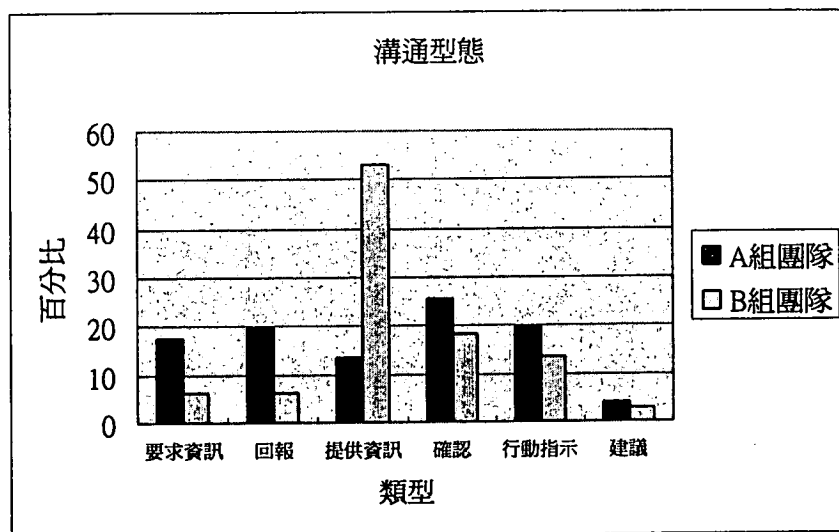


圖二十二 A 組與 B 組抽棒作業使用資訊顯示的次數統計圖

在此作業中，我們可以明顯的看出兩組主要是運用個人的顯示來執行作業的操作。不過 B 組在 WDP 的使用上比 A 組來的多，表示 B 組在執行作業操作後，較常利用 WDP 監視系統的狀況。



3. 作業中的溝通型態 (圖二十三):



圖二十三 A組與B組抽棒作業溝通型態次數統計圖

由溝通型態可以看到兩組在要求資訊、回報資訊的比例是差不多的，也就是在此作業中，運轉員對於所要求的資訊都能有效的回報並且能有效的接收到彼此所提供的資訊，以掌握整個電廠狀況。然而，B組在提供資訊上佔最大的比例，也明顯的比A組來的大。結合上面共享顯示的分析可以得知在此作業中，B組在提供資訊中，有部分利用WDP來監視系統的狀況。

4. 其餘互動類型：

- (1) 支援行為：此作業中，我們發現A組都有兩次的支援行為，B組有四次的支援行為。A組主要是協助雙重確認，而B組主要是做水溫記錄的協助。
- (2) 其餘類型：此作業中，我們發現兩組有其餘類型的行為，兩組皆以討論居多數。

■ 作業二：併聯

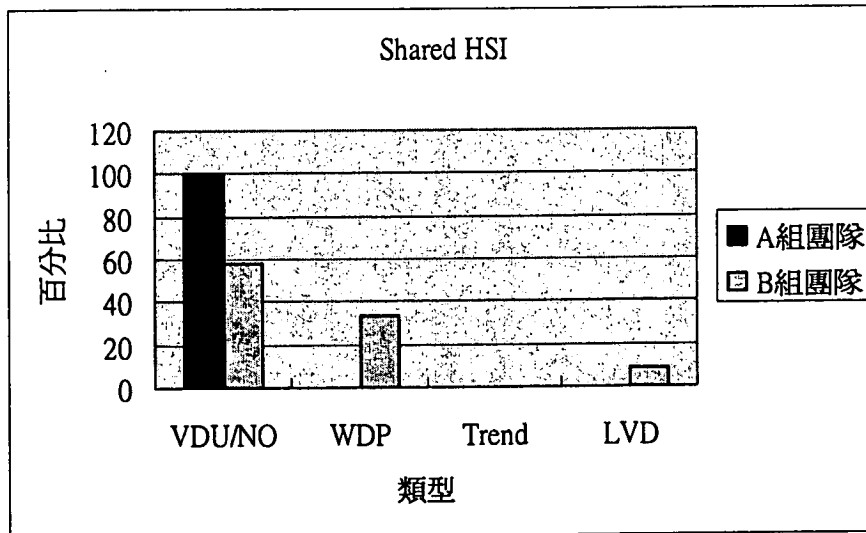
1. 作業時間 (表二十二):

表二十二 A組與B組併聯作業時間

併聯	作業時間
A	14分04秒
B	8分36秒

由於兩組在作業執行時間上的不一致，所以我們轉換成比例來探討兩組在資訊顯示以及互動型態的現象：

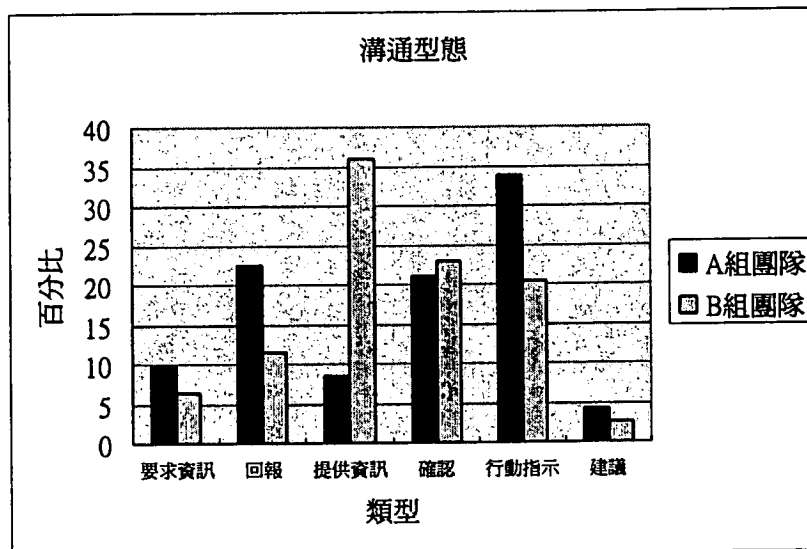
2. 資訊顯示 (圖二十四)：



圖二十四 A組與B組併聯作業使用資訊顯示的次數統計圖

在此作業中，我們也是明顯的看出兩組主要是運用個人的顯示來執行作業的操作。不過B組在WDP的使用上比A組來的多，表示B組在執行作業操作後，較常利用WDP監視系統的狀況。

3. 作業中的溝通型態 (圖二十五)：



圖二十五 A組與B組併聯作業溝通型態次數統計圖

我們可以看出 A 組在併聯作業中，在要求資訊、回報以及行動指示來的比 B 組多，這可能是因為 A 組需要多的溝通來瞭解無法順利併聯的原因。然而，B 組在提供資訊上佔最大的比例，比 A 組來的大。結合上面共享顯示的分析可以得知在此作業中，B 組在提供資訊中，有部分是利用 WDP 來監視系統的狀況。

#### 4. 其餘互動類型：

- (1) 支援行為：此作業中，我們發現兩組都有一次的支援行為。A 組主要是協助雙重確認，而 B 組主要是做協助注意併聯相關資訊。
- (2) 其餘類型：此作業中，我們發現兩組都有其餘類型的行為，A 組大多數是狀況的討論，而 B 組則是運轉員對自我的步驟確認。

## 5. 2. 2LOCA with LOOP

### ■ 作業一：爐心補水

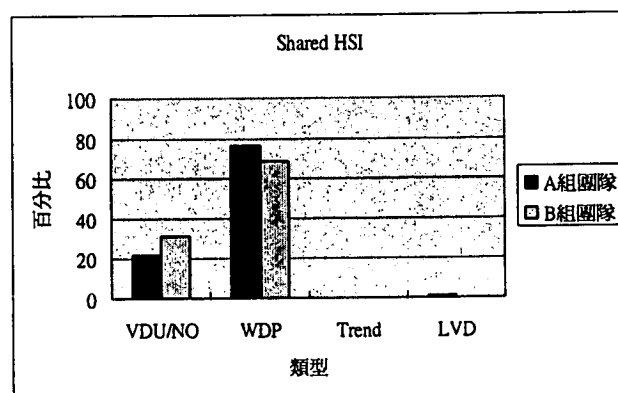
#### 1. 作業時間（表二十三）

表二十三 A 組與 B 組爐心補水作業時間

	作業時間
LOCA A	10 分 48 秒
LOCA B	9 分 52 秒

由於兩組在作業執行時間上的不一致，所以我們轉換成比例來探討兩組在資訊顯示以及互動型態的現象：

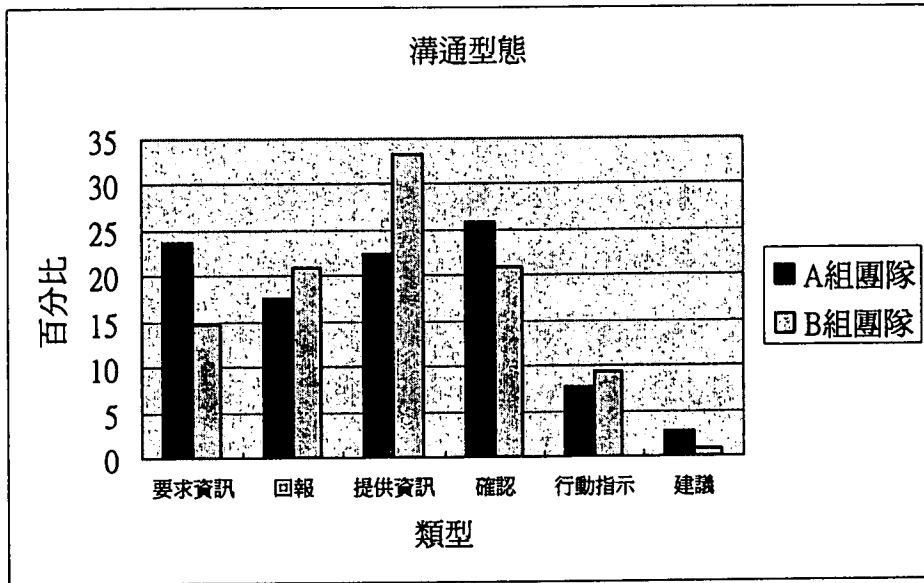
#### 2. 資訊顯示（圖二十六）



圖二十六 A 組與 B 組爐心補水作業使用資訊顯示的次數統計圖

在此作業中，我們可以明顯的看出兩組主要是運用 WDP 來建立對目前狀況的察覺。

### 3. 作業中的溝通型態 (圖二十七)



圖二十七 A組與B組爐心補水作業溝通型態次數統計圖

在此作業中，我們可以看出兩組在要求資訊、回報、提供資訊以及確認所佔的比例都比行動指示以及建議來的高，此表示在此異常情境的作業中，兩組必須透過大量的資訊交換來建立對目前電廠狀況的瞭解。

### 4. 其餘互動類型：

- (1) 支援行為：此作業中，我們發現兩組都沒有支援行為。
- (2) 其餘類型：此作業中，我們發現兩組都有其餘類型的行為，並以對狀況的討論居多數。而B組則是運轉員對自我的步驟之確認。

## ■ 作業二：抑壓池冷卻

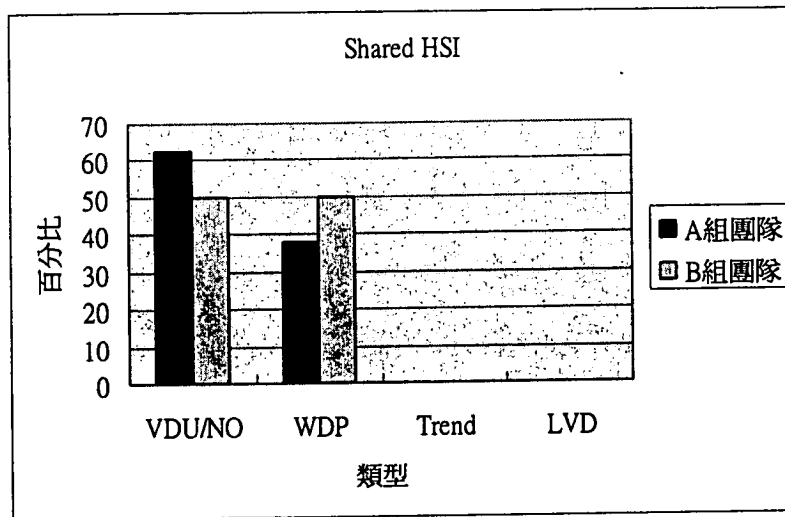
### 1. 作業時間 (表二十四)

表二十四 A組與B組抑壓池冷卻作業時間

	作業時間
LOCA A	20分47秒
LOCA B	2分49秒

由於兩組在作業執行時間上的不一致，所以我們轉換成比例來探討兩組在資訊顯示以及互動型態的現象：

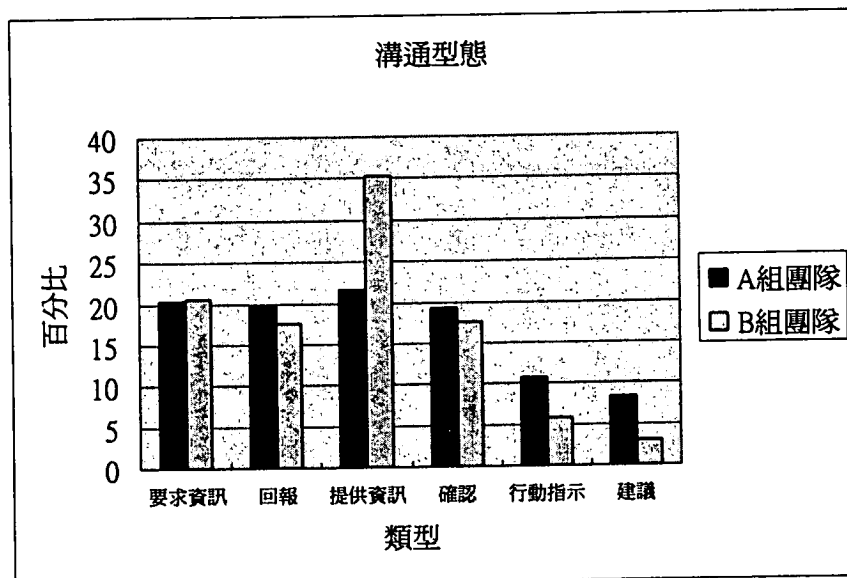
## 2. 資訊顯示 (圖二十八)



圖二十八 A 組與 B 組抑壓池冷卻作業使用資訊顯示的次數統計圖

在此作業中，我們可以明顯的看出 A 組主要是運用個人的顯示器來建立對目前狀況的察覺，而兩組也常利用 WDP 來監視系統的資訊。

## 3. 作業中的溝通型態 (圖二十九)



圖二十九 A 組與 B 組抑壓池冷卻作業溝通型態次數統計圖

在此作業中，我們可以看出兩組在要求資訊、回報、提供資訊以及確認所佔的比例都比行動指示以及建議來的高，此表示在此異常情境的作業中，兩組必須透過大量的資訊交換來建立對目前電廠狀況的瞭解。然而，B組比較常主動的提供電廠資訊來建立共享的狀況察覺。

#### 4. 其餘互動類型：

- (1) 支援行為：此作業中，我們發現兩組都沒有支援行為。
- (2) 其餘類型：此作業中，我們發現A組有其餘類型的行為，並以對於狀況的討論居多數。

### 5.2.3 小結

由以上的分析結果，我們可以得到一些現象並與運轉員進行訪談之後我們整理出一些結論：

#### 1. 資訊顯示的使用：

- (1) 在正常運轉情境中，兩組主要都是藉由 VDU 上的操作，透過口語的溝通，來瞭解狀況。而 B 組較常利用 WDP 提供電廠資訊，來建立團隊的狀況察覺。
- (2) 在異常運轉的情況下，分析結果顯示兩組使用 WDP 的使用比例都很高，這表示摘要型的顯示器能夠在異常、具時間壓力的情境下，提供很大的助益幫助運轉員瞭解整個電廠的狀況。
- (3) 兩組在 LVD 以及趨勢顯示上使用率都很低，研判可能因 LVD 所提供的是運轉員操作的全部資訊；另外，運轉員尚未熟練運用 LVD 亦是其原因。而由於目前的趨勢顯示無法自訂群組，以及時間間隔的紀錄過大，使得運轉員無法掌握到精確的趨勢變化。

#### 2. 團隊互動：

- (1) B 組較常主動提供電廠資訊，來建立團隊的狀況察覺。而 A 組在遇到狀況時則是比較常以討論的形式來達成共識。
- (2) 在正常情境中的行動指示來的比異常情境多，這可以說明在有程序書的正常作業，運轉員在作業的執行上有明確的依循方向。
- (3) 兩組異常情境中沒有支援行為的發生，而在正常情境中的支援行為也很少，這可以說明由於異常暫態中的時間壓力，讓運轉員無法有多餘的資源來協助對方，以及核電廠運轉團隊的責任分工很明確所以會少有支援行為的互動。

- (4) 在異常情境中的溝通明顯比正常情境來的多，這表示異常情境中，由於使用知識基礎處置狀況之頻度多於程序基礎之作業，所以必須持續的溝通、互動來瞭解整個電廠狀況，建立團隊的狀況察覺。

### 5.3. 介面管理策略之評估

#### ■ 作業一:抽棒

表二十五為作業導向配置 VDU 與系統導向配置 VDU 於執行 IOP 201.1 F.9 Turbine and Generator 時使用次數統計表，在此我們可以發現到作業導向配置 VDU 在總使用次數上，不管是螢幕切換頁面次數或是點選螢幕次數，都比隨意配置 VDU 來的低。

表二十五 頁面點閱次數統計表—抽棒

F.9 總共使用次數			
作業導向配置 VDU		隨意配置 VDU	
螢幕切換頁面次數	點選螢幕次數	螢幕切換頁面次數	點選螢幕次數
13	20	31	48

#### ■ 作業二：併聯

表二十六為作業導向配置 VDU 與隨意配置 VDU 於執行 IOP 201.1 F.10 Generator Synchronization and Initial Loading 時使用次數統計表，在此我們可以發現到作業導向配置 VDU 在總使用次數上，不管是螢幕切換頁面次數或是點選螢幕次數，都比隨意配置 VDU 來的低。

表二十六 頁面點閱次數統計表—併聯

F.10 總共使用次數			
作業導向配置 VDU		隨意配置 VDU	
螢幕切換頁面次數	點選螢幕次數	螢幕切換頁面次數	點選螢幕次數
12	21	22	36

根據二個情節的 VDU 使用次數，可以看出 VDU 使用依作業導向配置比隨意配置能夠減少翻頁及點選次數，但是頁面點閱次數並非唯一評估介面管理作業績效的指標，尚需進一步探討介面管理的負荷如何影響到人員狀況察覺及資訊擷取等面向。

# 第六章 結論與建議

## 6.1 結論

先進型數位化儀控系統已成為未來核電廠主控制室發展的趨勢，對於首次導入數位化儀控系統的龍門計畫主控制室人因工程計畫而言，特別在進入人因工程確認與驗證 (V&V) 階段，是一項的挑戰。如何讓確認與驗證 (V&V) 的工作符合國際核管的規範，確保核能安全，乃為重要的議題。

本研究的目的是在於探討先進型控制室人因工程驗證技術。研究的進行首先回顧美國相關的規範 (NUREG-0711、6393)，整理關於整合系統驗證的相關技術之程序、方法及步驟，以提出完整的主控制室人因工程驗證計畫的架構。為能夠有效地執行主控制室的人因工程驗證，必須透過各種客觀的量測技術，來評估主控制室中人機介面的設計是否能夠有效地支援運轉員以安全地運轉電廠，並發現可能的潛在人因議題。因此，我們也回顧國外相關研究經驗，針對主控制室中人機介面的設計、介面管理作業、團隊互動以及人為疏失等議題加以探討。另外，我們根據程序書，分析運轉員的作業流程，針對先進型主控制室中人員的狀況察覺、介面管理、團隊作業以及人為疏失，發展出先進型控制室狀況察覺評估表、介面管理作業檢核表、人為疏失檢核表以及團隊作業績效評估工具，以期透過這些評估工具來客觀地量測人員的狀況察覺、介面管理作業以及團隊作業的績效，並透過人為疏失檢核表來發現潛在的可能人為疏失以防範未然。

先進型控制室裡，運轉員執行監控作業方式與傳統控制室迥異，因此我們將各個運轉作業階段中可能產生的人為疏失加以分類，發展出先進型控制室「人為疏失檢核表」，利用該檢核表，比對 V&V 2.5 錄影帶中運轉員實際作業所產生的疏失，以利於未來在設計與訓練課程上的改善與建議。

為驗證所發展評估工具之有效性，我們根據所發展的情節選取技術，選取一知識基礎的情節 (LOCA with LOOP) 與一程序規則基礎的情節 (Start-up to Rated Power)，透過 V&V 2.5 人因工程驗證計畫測試情節演練的影帶記錄來進行分析與評估，我們再次印證這些評估工具的使用可以發現潛在的主控制室人因工程議題，此表示評估工具非常實用。因此，這些評估工具發現的潛在主控制室人因工程議題可以作為將來 V&V 3 人因工程驗證計畫測試的項目，並透過這些工具進一步評估所發現的人因工程議題是否獲得改善。

在人機介面使用的實證分析中，我們發現在具有時間壓力的嚴重暫態的情境下，運轉員會較常使用 WDP 來建立對於電廠狀態的察覺。此外，在執行具有高



度工作負荷的作業時，運轉員較少執行介面管理的作業來擷取資訊，而是利用目前現有的 VDU 頁面及 WDP 建立其狀況察覺。而即使在先進型控制室中警報的數量已儘量抑減，一旦發生重大暫態時，瞬間發生的警報數量，仍使得運轉員負荷增高。

關於介面對於團隊互動的影響方面，運轉員習於利用摘要型的共享顯示 (WDP) 來建立其團隊的狀況察覺。在團隊作業的實證分析中，我們發現在異常情境中運轉員比較依賴 WDP 來建立對電廠狀況的瞭解。因此，摘要型的共享顯示在提供運轉員在具時間壓力以及緊急的情況下很大的助益。

## 6.2 未來研究的方向

本項研究觀察的 V&V 2.5 運轉情節模擬演練，參與的運轉員並未受過完整、詳盡的先進型控制室運轉訓練，因此在未來的主控制室確認與驗證計畫中，可以更進一步地比較訓練前、訓練後的人員績效以及行為模式，也可再一次地驗證這些評估工具在訓練後的人員績效評估的可行性與有效性。

另外，未來值得進一步探討的議題包括：

### 1. 警報系統對異常狀態的察覺與辨識

在目前主控制室中警報系統的設計透過警報窗與警報訊息列表的顯示，已使得警報顯示與管理比以往更有效率。在正常作業中，運轉員可以有效的利用警報訊息列表。但處於重大暫態時，同時發生的警報造成運轉員負荷過高，使得運轉員只能處理少數警報資訊，並無法利用警報訊息列表來瞭解詳細的警報資訊。因此應該進一步地評估警報系統設計中的各個元件，如警報的顯示方式、編碼、處理的層級等各項因素，對於人員在異常狀態資訊的擷取與理解上的影響。

### 2. 介面管理策略的評估

關於介面管理作業的績效，除了分析螢幕的換頁與點擊次數，尚需進一步探討依不同狀況處置階段之分析；另外，介面管理的策略如何影響到人員狀況察覺、資訊擷取及作業負荷。目前有二種介面管理策略，一種為作業導向配置 VDU，一種是系統導向 VDU。作業導向配置是依照情節演練的不同而分配 VDU 畫面，而隨意配置 VDU 則是依照系統的架構來操作。未來應對不同的介面管理策略種類進行實證研究以確定何種介面管理策略為佳。

### 3. 團隊互動模式的探討

在團隊互動上我們發現，主動提供電廠資訊的重要性。然而過多的主動提供資訊恐會干擾到運轉員的監控作業，所以如何適當的互動是個重要的議題。另外，我們也發現支援行為的互動是很少的，所以如何發展一個適用於先進型主控制室的團隊互動模式也是未來可以再進一步探討的議題。另外，LVD 可以幫助團隊瞭解組員彼此的操作動態與共同關切的資訊，而趨勢顯示有助於將整合過的資訊呈現。因此，如何加強團隊互動時利用 LVD 與趨勢顯示來建立共享的狀況察覺也是重要的議題。

## 參考文獻

1. Brannick, M.T., Salas, E., and Prince, C. (Eds.) (1997). Team performance assessment and measurement: Theory, methods, and applications. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
2. Card, S. K., Moran, T.P., Newell, A. (1980) The keystroke-level model for user performance time with interactive systems, *Communications of the ACM*, v.23 n.7, p.396-410.
3. Dix, A., Finlay, J., Abowd, G., & Beale, R. (1998). *Human-Computer Interaction*. London, UK: Prentice Hall Europe.
4. Endsley, M.R., Bolte, B., and Jones, D. G. (2003). *Designing for situation awareness: An approach to human-centered design*. London, UK: Taylor & Francis.
5. Grudin, J. (1994) Computer-supported cooperative work: History and focus, *Computer*, Vol.27 (5), pp.19-26.
6. Helmreich, R.L., Wilhelm, J.A., Klinec, J.R., & Merritt, A.C. (2001). Culture, error and Crew Resource Management. In E. Salas, C.A. Bowers, & E. Edens (Eds.), *Improving Teamwork in Organizations: Applications of Resource Management Training* (pp. 305-331). Hillsdale, NJ: Erlbaum
7. Jones, P. M. (2001). Computer support for cooperative supervisory control. In M. McNeese, E. Salas, and M. Endsley (Eds.) (2001). *New trends in cooperative activities: Understanding system dynamics in complex environments*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
8. McNeese, M., Salas, E., and Endsley, M. (Eds.) (2001). *New trends in cooperative activities: Understanding system dynamics in complex environments*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
9. Norman, D. (1981). Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88, 1-15.
10. NRC (2002). *Human-system interface design review guideline* (NUREG-0700, revision 2). Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission.
11. NRC (2004). *Human factors engineering review model* (NUREG-0711, revision 2). Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission.
12. O'Hara, J. M. and Brown, W. S. (2001). *The effects of interface management tasks on crew performance and safety in complex*.

- Computer-based systems: Overview and main findings*. Washington, DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission. (NUREG/CR-6690, Vol.1 & 2)
13. U.S. Nuclear Regulatory Commission, (2000) NUREG/IA-0137, *International Agreement Report, A Study of Control Room Staffing Levels for Advanced Reactors*.
  14. Rasmussen, J. (1986) . *Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering*. New York, NY: North-Holland.
  15. Reason, J. (1990) . *Human error*. New York, NY: Cambridge University Press.
  16. Roth, E., and O'Hara, J. (1998) . *Integrating digital and conventional human-system interface technology: Lessons learned from a control room modernization program*. (BNL Report J6012-3-4-7/98). Upton, New York: Brookhaven National Laboratory.
  17. Roth, E., Lin, L., Thomas, S., Kerch, S., Kenney, S., and Sugibayashi, N. (1998) . Supporting situation awareness of individual displays and teams using group view displays. In *Proceedings of the Human Factors Society-42nd Annual Meeting*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
  18. Salas, E. and Fiore, S. M. (Eds.) (2004). *Team Cognition*. Washington, DC: American Psychological Association.
  19. Vicente, K., Mumaw, R., and Roth, E. (1997) . Cognitive functioning of control room operators. Toronto, Canada: University of Toronto.
  20. Woods, D., Johannessen, L., Cook, R., and Sarter, N. (1994) . *Behind human error: Cognitive systems, computers, and hindsight* (CSERIAC SOAR 94-01) . Wright Patterson Air Force Base: Ohio: Crew Systems Ergonomics Information Analysis Center.
  21. Woods, D., Roth, E., Stubler, W., and Mumaw, R. (1990) . Navigating through large display networks in dynamic control applications. In *Proceedings of the Human Factors Society- 34<sup>th</sup> Annual Meeting*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society

## 附件一：情節檢核表

V&V 2.5 Test scenario					
此驗證情節對核能安全的重要性：	1	2	3	4	5
	非常不重要	不重要	普通	重要	非常重要
1. Plant condition	如屬該狀況，請打勾				
1.1 正常的運轉事件：包括機組的啟動，停機，或是更換燃料，以及發電功率的顯著改變。					
1.2 失效的事件： —儀器的失效(instrument failures)。包括超過設計基準的儀控系統失效，例如在事件中，儀控系統共模失效。 —人機介面的失效。例如資訊處理的能力喪失，或是警報、操作控制與顯示的能力喪失。					
1.3 暫態及事故事件： —暫態：例如 loss of off-site power, loss of all feedwater 等 —事故：例如主要蒸汽管破裂，positive reactivity addition, control rod insertion at power —使用遙控停機系統來停止及冷卻反應爐。					
1.4 有重要風險意義且在設計基準之外的事件(多重失效)					

2 人員作業	如屬於該作業 請打勾
2.1 具有重要風險的動作，系統及事故的順序：在情節中應檢測在作業分析、PRA、HRA 中所分析出的所有具有重要風險的人員行為。人員監測自動化系統的情境。	N/A
2.2 有程序書引導的作業：評估所選取的作業行為是否符合程序書的指引。	
2.3 知識基礎的作業(無程序書)：不被程序書清楚定義的作業。需要對安全與運轉目標和方法作較多的推理，在此狀況下，並無針對此問題的現成法則，或者法則的選取並不清楚。	
2.4 涉及到人員決策活動： 包括監控(monitring)、偵測(detection)、解釋(interpretation)、診斷(diagnosis)、計畫(planning)、執行(execution)、獲取回饋(obtaining feedback)等活動。	
2.5 涉及到 HSI 元件的使用： 如警報系統、顯示系統、控制系統、介面管理、程序書、通訊設備等。	
2.6 涉及到人員之間的互動： 電廠人員不管是獨立執行或是團隊執行作業時，成員之間的互動。應包括有： <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 主控制室運轉員間(如運轉、交接班)</li> <li>(2) 主控制室運轉員與設備操作員間</li> <li>(3) 主控制室運轉員與技術支援中心間</li> <li>(4) 主控制室運轉員與電廠管理階層間</li> </ul>	
2.7 例行性、計畫中的工作： 例如定期測試、機組啟動。	

3. 情境因素	如含有該因素，請打勾				
3.1 困難的電廠作業 (difficult NPP tasks)： 應包含以下會對電廠的運轉產生問題的作業類別					
1. 運轉中的定期測試(IST/ISI)					
2. 作業程序書與目前狀況評估不一致					
3. 警報處理及後續的問題控制					
4. 對故障的檢測、分析、診斷及緩和					
5. 電廠系統的 in-the-loop control(需要專注的控制)					
6. 自動化系統的失效及手動介入控制					
3.2 Error-forcing 的情境： 那些容易造成人員認知錯誤機制的情境特徵	N/A				
3.3 高度工作負荷及多重作業處理	複雜度				
	低	→			高
	1	2	3	4	5
3.4 不同工作負荷(由低轉換至高)的轉換					
3.5 疲勞及作業的時間(早晨或是半夜)因素	N/A				
3.6 環境的條件—燈光、噪音、溫度等環境因素	N/A				

## 附件二：情節檢核結果

Scenarios	此驗證情節對核能安全的重要性
M22- Process instrumentation, alarms, and control system failure	5
LOCA with loss of off-site power	5
ATWS (Control rod groups failure to scram and fails to initiate SCRR1) followed by RPV flooding	5
Shutdown from outside of main control room	4
M10 - Loss of normal and emergency feedwater	4
Main turbine trip	4
Inadvertent SRV opening	4
Pressure regulator failure - open	4
Pressure regulator failure - closed	4
ECCS inoperative	4
M4-Trip of all R1Ps	3.5
Startup to rated power	3



# 附件三、情節腳本範例-Startup to rated power

Scenario	Task	Sub-task	Task step	Task	Procedure	Control	Communication	Integration	Sub-task
1	Scenario 1 : Startup to rated power								
2	9. Turbine and generator startup								
3	9.a From RCSI DOI, conditions the following to raise Reactor power to approximately 15% RTP.								
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11					<p>9.a.1 Select Control Rods in accordance with the withdrawal sequence of Control Rod Pull Sheet.</p>				
12					<p>9.a.1.1 Select Control Rods in accordance with the withdrawal sequence of Control Rod Pull Sheet.</p>				
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12	9.a.1. The unit is on Turning Gear for a minimum of 2 hours.	11:20:55.1	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足	判斷 b.1 是否滿足
13	9.b.2 Excitancy, rotor expansion, and shaft expansion are within applicable limits	13:26:52.1	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足	判斷 b.2 是否滿足
14	9.c.1 Generator Gas Control System in accordance with ROP-336, "Generator Gas Control System" Subsection 1, System Startup		判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足	判斷 c.1 是否滿足
15	9.c.2 Generator Stator Cooling System in accordance with ROP-337, "Generator Stator Cooling System" Subsection 1, System Startup		判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足	判斷 c.2 是否滿足
16	9.c.3 Generator Hydrogen Seal Oil System in accordance with ROP-338, "Generator Hydrogen Seal Oil System" Subsection 2, System Startup		判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足	判斷 c.3 是否滿足
17	9.c.4 In-Phase Bus Duct Cooling System in accordance with ROP-335.1, "Generator" Subsection 2, System Startup		判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足	判斷 c.4 是否滿足
18	9.c.5 Generator Excitation System and Generator Protection System in accordance with ROP-339, "Excitation System"		判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足	判斷 c.5 是否滿足
19																				
20																				
21																				

序號 SRO 應由 SRO 統一下令執行 SOP 步驟。RO/ABO 則應拉動 SOP 程序及 SOP 程序執行操作。

2. 任何作業之執行，MCC 必須保持一持照人員負責監視操作。

1. LVD 可操作設備時，必須大聲提醒呼喚。

2. 嚴重錯誤一非安全有關層面操作時，可能操作重組以爲 LVD 大響顯示























# 附錄

表一 特定作業分類

特定作業分類	可能產生的錯誤
1. 觀察系統狀態	a. 過度
	b. 誤釋
	c. 不正確
	d. 不完整
	e. 不配適
	f. 不足
2. 假說選擇	a. 與觀測資料不一致
	b. 一致但不可能達到
	c. 一致但昂貴
	d. 功能不恰當
3. 假說測試	a. 不完整
	b. 接受錯誤的假說
	c. 拒絕正確的假說
	d. 不足
4. 目標選擇	a. 不完整
	b. 不正確
	c. 不需要
	d. 不足夠
5. 程序選擇	a. 不完整
	b. 不正確
	c. 不需要
	d. 不足
6. 程序執行	a. 步驟遺漏
	b. 步驟重複
	c. 步驟增加
	d. 做錯順序
	e. 時間錯誤
	f. 不正確的分離位置
	g. 不正確的連續範圍
	h. 不完整
	i. 不相關的錯誤動作

表二 HSI 使用分析表

時間(分鐘)		SRO	HSI	次數	RO	HSI	次數	ARO	HSI	次數
0-1	0' 11				偵測到反應爐 scram	WDP		偵測到電廠發生異常	WDP	
	0' 13				將電廠運轉模式轉為 shutdown	Hard switch				
	0' 15				偵測到控制棒全入	WDP				
	0' 18				再試驗控制棒位置	VDU				
	0' 24				偵測到反應爐水位 179，水位偏低	VDU				
	0' 25							偵測到 TDRFP 全下	WDP	
	0' 27				偵測到 RCIC 啟動，開始補水進入反應爐	VDU				

表三 認知歷程與人為疏失關係表

認知歷程	行為模式	人為疏失
監督	觀察系統狀態	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 錯誤解讀系統參數</li> <li>● 讀錯系統參數</li> <li>● 未觀察足夠的系統參數</li> </ul>
狀況評估	假說產生	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 與系統變數無關</li> <li>● 不是導致系統變數的直接因素</li> </ul>
	假說測試	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 接受錯誤的推論</li> <li>● 拒絕正確的推論</li> </ul>
	目標選擇	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 選擇錯誤的目標</li> <li>● 選擇沒有意義的目標</li> </ul>
反應計畫	程序選擇	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 選擇錯誤的程序書</li> <li>● 選擇的程序步驟錯誤</li> </ul>
反應執行	程序執行	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 遺漏掉程序中需要的步驟</li> <li>● 重複程序中的動作</li> <li>● 將程序中的動作順序執行錯誤</li> <li>● 太早或太晚執行程序中的動作</li> <li>● 在錯誤的位置做不連續的控制動作</li> <li>● 在非預期的範圍作連續的控制</li> </ul>

表四 團隊互動行為評估量表

時間 (分)	作業	HSI 種類		次數	評估指標	團隊過程 (團隊成員的互動)		團隊結果 (系統參數值)	
		個人	摘要型			詳細內容	次數	系統	參數值
		個人	VDU/ NO		要求資訊	溝通			
	回報								
	提供資訊								
	確認								
	行動的指示								
	建議								
		摘要型	WDP		要求資訊	溝通			
	回報								
	提供資訊								
	確認								
	行動的指示								
	建議								
		摘要型	Trend Graph		要求資訊	溝通			
	回報								
	提供資訊								
	確認								
	行動的指示								
	建議								
		全共享	LVD		要求資訊	溝通			
	回報								
	提供資訊								
	確認								
	行動的指示								
	建議								
		其餘			支援行為				
					其餘				