

核能電廠緊急事故大氣擴散及劑量評估 決策支援系統之建立

The Development of Emergency Atmospheric Dispersion and Dose Assessment
Model for Nuclear Power Plants

張乃斌*
Chang, Ni-Bin

周榮華**
Chou, Jung-Hua

楊宏宇***
Yang, H. Y.

宋偉國***
Soong, Wei-Kuo

楊明仁****
Yang, Ming-Jen

黃金益*****
Huang, Chin-Yi

于蓓*****
Yu- Pei

(~九十年年度研究計畫論文~)

摘 要

在歷經蘇俄車諾比爾、及美國三哩島核電廠事件之影響後，世界各主要工業國均開始投入核災風險評估及決策支援方面之研究。台灣人口密度已居世界之冠，且南北共有三座核能電廠在運轉，因此核災事故一直是社會大眾所關注之焦點。本研究為考量核一、二、三廠附近複雜地形效應，建立了一套大氣擴散及劑量評估決策支援系統，配合運用最新之資訊科技，依不同緊急應變情況，整合所需之資料庫，進行大氣擴散及劑量評估展示，提供多層次之即時決策支援與風險分析。本系統在操作上主要包含四套子系統：廠周界劑量評估子系統、局部性劑量診斷子系統、區域性劑量預報子系統、及緊急應變查詢子系統。此套系統能在個人電腦為操作平台進行作業，整合各種射源情境（如 PCTRAN[®]），模式庫可運用綜觀天氣及局部環流分析之知識、進行不同尺度之大氣擴散及劑量評估，並以地理資訊系統中之 2D 及 3D 遙測影像作廠周界、局部性、及區域性污染擴散動畫之展示，各模式應用在各核電廠大氣擴散及劑量評估之準確性與可靠性則以風洞實驗加以驗證。此外，緊急應變查詢系統可查詢各類氣象、地形、核物質、應變組織、及救災行動相關資料，配合各種事故發生之情境與模擬展示之結果，以提供決策者研判鄰近地區民眾暴露劑量，並擬定各種可能降低災區居民風險之應變行動。

*國立成功大學環境工程學系

**國立成功大學工程科學系

***空軍航空技術學校

****中國文化大學大氣科學系

*****台灣電力公司核能發電處

Abstract

Lessons learned from Three Mile Island (TMI) accident in the U.S., and Chernobyl disaster in Russia have resulted in a long-term debate of the operational safety of nuclear power supply. Many industrialized countries have thus initialized a continuous effort to develop various types of emergency response systems for the nuclear power plants. Since the population density of Taiwan is the highest in the world, three existing nuclear power plants, located at the coastal areas of Northern and Southern Taiwan, have received wide attention in the public. They have also caused serious concerns on accidental release of radioactive nuclides to the atmosphere that could generate unexpected impacts to neighboring metropolitan regions via the interactions with the complex terrain. Such potential impact demonstrates a need of effective and immediate mitigation measures and control actions through a well-coordinated decision support system (DSS) for risk management and communication. With the aid of latest advanced information technologies, both long-term and short-term multi-scale predictions of the potential impacts from accidental release of various nuclides can be acquired easily for fulfilling the basic functions of real-time emergency preparedness and response as well as risk communication and control. This geographical information system (GIS) - based DSS is basically comprised of four subsystems responsible for forecasting and assessing the events via on-site scale, local scale, regional scale, and essential data queries. The simulation process starts from the beginning when the PCTRAN[®] and other source-term models have been fully incorporated into the DSS. Based on the knowledge of prognostic and diagnostic meteorological forecasting analysis, the model base uses two-dimensional and three-dimensional plume trajectory techniques associated with dose, health effects, and demographic models so that accident consequences in local population centers can be determined individually. This DSS owns the capability of 2D and 3D animation of the pollutant transport and transformation that must be performed based on the integration of remote sensing (RS) and digital terrain modeling (DTM) data, as well as the global positioning system (GPS) for the location identification. Finally, the database in the GIS may even support more essential queries through various spatial analyses to deploy available rescue resources in regional sense. With these estimates and observations, the decision makers can specify operating procedures that minimize the detrimental effects and permit protective response in the accidental event with confidence.

關鍵詞 (Keywords) : 決策支援系統 (Decision Support System (DSS))、地理資訊系統 (Geographical Information System (GIS))、全球衛星定位系統 (Global Position System (GPS))、遙測技術 (Remote Sensing (RS))、污染擴散 (Pollutant Diffusion and Dispersion)、劑量評估 (Dose Assessment)、風洞驗證 (Wind Tunnel Test)。

壹、前 言

在歷經蘇俄車諾比爾、及美國三哩島核電廠事件之影響後，世界各主要工業國均開始投入核災風險評估及決策支援方面之研究 (Yoshikawa et al., 1990; Bonelli et al., 1992; Verver and De Leeuw, 1992; Yeung and Ching, 1993; Maryon and Bucklan, 1994; Konoplev and Bulgakov, 1996; Saltbones et al., 1996; Kryshev and Sazykina, 1996; and Eder et al., 1997) (詳見表一)。台灣自民國六十八年美國三哩島核能電廠發生事故後，為加強核能電廠緊急應變計畫之準備工作，原子能委員會於民國七十年呈請行政院核准頒佈施行「核子事故緊急應變計畫」，並於民國八十三年呈報行政院進行修訂，該緊急應變計畫的執行單位為全國核子事故處理委員會，簡稱全委會。由於台灣人口密度已居世界之冠，又已有三座核能電廠，因此核災預防與應變是近年來社會大眾所關注之焦點。全國核子事故委員會早已在多年前委託核能研究所研發核災預防及應變模式，目前仍在進行中；然而台電 (Taiwan Power Company, TPC) 本身負責三座核能電廠之營運工作，亦有建立全套核災預防及應變系統之需求，台電目前所使用之緊急事故民眾劑量模式 (EMD) 係採高斯直線擴散 (即 A 級模式; Class A) 模式，未考慮任何地形效

應，而劑量轉換因子採用 WASH-1400 (舊值)，且結果係以表格方式呈現，由於台灣三座核能電廠皆位於複雜地形 (依山靠海)，附近風場受到山谷阻障、牽引及海陸風影響甚大，若以 A 級模式預估區域性民眾暴露劑量則精確度不足，易引起錯誤決策。為因應台電公司期能確切評估民眾劑量，並在應變過程中能以電腦展示，以符實際需要。因此，本系統由台電核能發電處負責開發，依美國核子委員會指南 (Nuclear Regulatory Guide) 0654 核災預防及應變評估 (Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency Response Plans and Preparedness in Support of Nuclear Power Plants) 之要求，採用 B 級模式 (Class B) 之狀況，根據各廠附近地形、污染擴散潛勢及劑量評估模式進行系統建構，其中劑量評估方式須根據 USEPA-400R (Manual of Protective Action Guides and Protective Actions for Nuclear Incidents) (USEPA, 1992) 中之建議值進行修正。然而考量核災緊急應變系統的時效性，仍宜保留 Class A 快速獲取模擬結果的優點，建立即時劑量評估系統。

本案因此考量了核一、二、三廠附近地形、地物效應 (Site Specific)，建立一套大氣擴散及劑量評估決策支援系統 (Decision Support System, DSS)，此系統包含四套子系統：廠周界劑量評估子系統、局部性劑量診斷子系統、區域性劑量預報子系統、及應

表一 各國核電廠緊急應變系統擴散模式

| 國家 | 模式特色 |
|-----------------------------------|---|
| 日本 (Yoshikawa et al., 1990) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 模式 SPEEDI 為尤拉型動力三維模式 2. 考慮地形效應，採地形隨動座標系統 (Terrain – following coordinates) 3. 直接求解流場統御方程式以模擬熱對流作用 4. 直接求解大氣擴散方程式 5. 為即時模式 (real time model) |
| 義大利 (Bonelli, 1992) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 模式 STRALE 為拉格朗日煙陣軌跡模式 (Puff Lagrangian trajectory model)。 2. 多煙陣 (multi-puff) 3. 三維模式 4. 考慮大氣傳輸、水平與垂直擴散 5. 考慮乾濕沉降效應 |
| 荷蘭 (Verver and De Leeuw, 1992) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 拉格朗日煙陣軌跡模式 2. 多煙陣 (multi-puff) 3. 多層(混合層以下、混合層以上) 4. 三維模式 5. 考慮大氣傳輸、水平與垂直擴散 6. 考慮乾濕沉降效應 |
| 香港 (Yeung and Ching, 1993) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 模式 RADIS 為拉格朗日擴散模式 2. 二維模式 3. 考慮乾濕沉降效應 |
| 英國 (Maryon and Bucklan, 1994) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 模式 NAME(Nuclear Accident Dispersion Model)為蒙地卡羅 (Monte Carlo) 型拉格朗日擴散模式 2. 多微粒 (multi-particle) 3. 多層(混合層以下、混合層以上) 4. 考慮地形效應，採地形隨動座標系統 (Terrain – following coordinates) 5. 三維模式 6. 考慮大氣傳輸、水平與垂直擴散 7. 考慮乾濕沉降效應 |
| 挪威 (Saltbones et al., 1996) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 模式 SNAP(Sever Nuclear Accident Program)為蒙地卡羅(Monte Carlo)型拉格朗日擴散模式。 |
| 德國 (Eder et al., 1997) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 模式為蒙地卡羅 (Monte Carlo) 型拉格朗日擴散模式。 2. 考慮地形效應 3. 為即時模式 (real time model) 4. 結合顯示系統，對於 5km、10km 與 50km 範圍內之氣體濃度或地面沈降量，乃至於暴露量，均可以圖形表示。 |

變查詢子系統。此套系統能在個人電腦為操作平台進行作業，整合各種射源情境（如 PCTRAN[®]），模式庫可運用綜觀天氣類型及局部環流分析之知識、進行不同尺度之大氣擴散及劑量評估，並以地理資訊系統中之 2D 及 3D 遙測影像進行廠周界、局部性、及區域性污染擴散動畫之展示，各模式應用在各核電廠大氣擴散及劑量評估之準確性與可靠性則以風洞實驗（Wind Tunnel）加以驗證。此外，緊急應變查詢系統可查詢各類氣象、地形、核物質、應變組織、及救災行動相關資料，配合各種事故發生之情境與模擬展示之結果，以提供決策者研判鄰近地區民眾暴露劑量，並擬定各種可能降低災區居民風險之應變行動。

貳、核災預防及應變決策支援系統之介紹

一、核災預防及應變決策支援系統之背景

歷經蘇俄車諾比爾核電廠事件及美國三哩島事件等嚴重之災變後，世界各國即積極投入核災應變及風險評估方面之研究（Fodor and Knoy, 1997）。歐盟早期發展之非現場式緊急事件管理決策支援系統為一線上即時決策支援系統（Real-time On-line Decision Support system, RODOS）（Fraser, 1997; Ehrhardt and Kelly, 1997），此系統可依不同情況提供不同決策支援，配合大氣擴散模式、曝露劑量及風險評估，提供多種層次之即時決策支援，可應用於事故早期至數年後及釋放源附近地區至大範圍區域。而歐盟輻射資料交換平台（European Union Radiation Data Exchange Platform, EURDEP），主要提供各國必要資訊，未來發展重點是能

整合不同國家不同資料庫之格式。在東歐及前蘇聯之各共和國間亦協力發展了一套非現場式緊急準備系統（Off-site Emergency Preparedness, OSEP），以提供跨國之資料交換平台，目前發展的重點是能把上述系統做一個整合，能讓資料能即時、自動的做資料轉換。美國國家海洋及大氣總署（NOAA）的核災應變行動也針對核災行動的責任進行分工，以便在事故發生時能即時編組行動梯隊，其中特別是強調使用衛星科技及擴散模式來監測災變時污染源之高度和擴散路徑（Hicks, 1997）。

在系統設計方面，Karlberg（1997）曾於瑞典輻射防護研究所發展核子事故緊急支援決策系統。其核災決策支援系統可在 Windows NT[®] 平台下執行，並使用 SQL 查詢程式與 GIS ArcView[®] 製作資料庫。Leung and Start（1997）於愛達荷國家工程實驗室（Idaho National Engineering Laboratory, INEL）開發一套系統'INELVIZ'，以一套地理資訊系統整合使用者界面之資料展示、大氣擴散模式、及輻射安全分析模式（Radiological Safety Analysis Computer Program, RSAC），能快速反應核災事件之情境，在不同情況下可採行的風險管理及和合適的行動，此外，系統並可依預先設計的不同釋放情境輸出模擬結果以訓練使用者。Gargett and Appelbaum（1997）等人亦指出一個完整之災害管理資訊系統應包含四個項目：資料管理、圖庫管理、模式庫、溝通交流。而廣泛應用視覺化系統及 GPS 之應用，也是未來可突破的新方向。

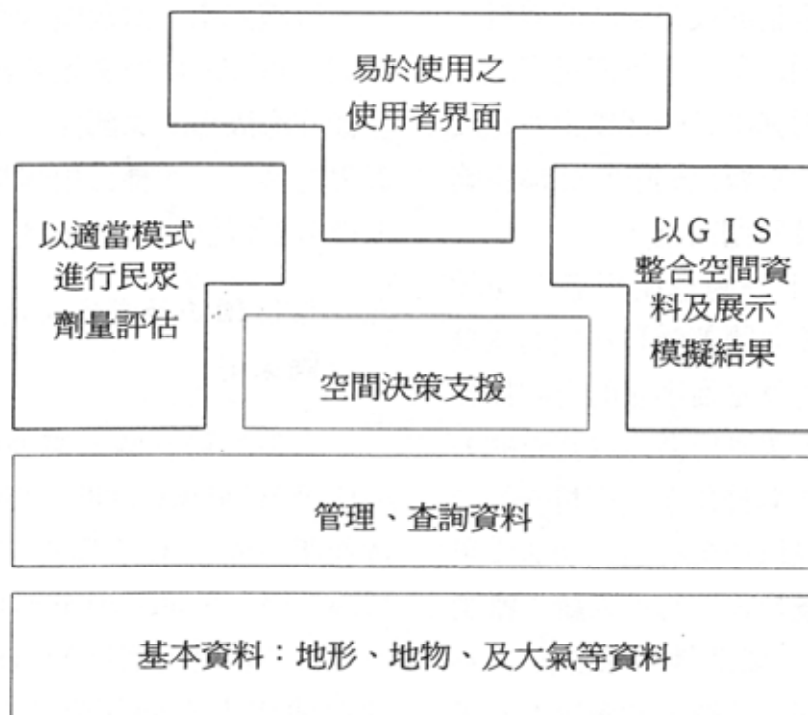
二、災預防及應變決策支援系統之規劃

決策支援系統於 1970 年代早期被提出，至今已有近三十年之發展歷史。Sprague

(1993) 對 DSS 之描述為 DSS 主要是處理半結構性 (Semi-structured) 或非結構性 (Unstructured) 問題之人機交談系統，提供決策者必要之資訊以作出最佳化之決策，而一個完整之決策支援系統應包含幾個部分：模式庫 (Model Base)、資料庫 (Data Base)、知識庫 (Knowledge Base)、以及具親和力之使用者界面 (User Interface)。

本系統之主要功能為評估核電廠緊急事故對周圍民眾的影響，並透過電腦動畫的視覺效果，來幫助決策者迅速下達適當的民眾輻射防護行動，以期減少傷害致最低程度。本系統所運用的技術是一種資訊系統整合技術，此項技術所強調的重點即是結合防災及資訊兩種專業，共同配合以發展一實用性高的「整合性資訊系統」，其整體架構的目標即是在整合資料庫管理系統、地理資訊系統、及相關的專業分析模式，以期有效地輔助相關管理機關進行決策。圖一展示了整合性資訊系統架構。

系統架構的最基層為基本資料，在核災應變系統中，資料庫可分為氣象資料庫、空間資料庫、及屬性資料庫。日益精進之資訊技術，包括遙測技術 (Remote Sensing, RS)、全球衛星定位系統 (Global Position System, GPS)、及地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 之 3S 技術，可充分提供系統基本資料整合之需要。本系統中之基本資料較複雜的部份應屬空間資料，建置方法主要來自於相關單位的 GIS 圖庫，小範圍地區則採自行數化，另外亦購買航照影像及經建版地圖影像，形成完整之影像及圖形資料庫。建置範圍包括了核電廠附近之相關平面主題圖 (如鄉鎮界、人口分佈、公路、學校等)，同時配合數值地形高程及遙測影像，建立起電廠周圍之三度空間立體圖，提供給動畫展示時使用。本研究使用法國 SPOT 衛星衛星影像，相關之地物將以 GPS 加以定位後放入 GIS 中，各設施之屬性資料則以關聯式資料庫連結。除了空間



圖一 整合性資訊系統架構

資料外，相關的氣象資料則由氣象局及空軍提供。資料的管理與查詢則在上一層，由資料庫管理系統來負責，由於在進行決策時常作假想式模擬，因而即興式的交叉查詢是資料庫管理系統不可或缺的功能。

系統架構再上一層則為輔助決策的必需工具，包括射源情境之訂定、風場模式之產生、污染擴散模式之使用、劑量評估模式之應用、以及各種結果之統計分析及動畫之展示，均在 GIS 設計架構中完成。決策分析時，空間資料和屬性資料透過鍵（Key），加上使用位向關係（Topology）來相連結，將模式資料庫和一般 GIS 關聯式資料庫分開處理，模式及氣象資料被存放在 ARC/VIEW[®] 軟體外，利用 AVENUE 巨集語言讀取一般 GIS 關聯式資料庫中的分析資料及外掛之氣象資料，放入模式庫中執行，再將運算結果傳回 ARC/VIEW[®]，系統可以啟動平面或立體動畫展示成果，完成決策支援。這些工具所需的資料及分析結果都可由系統中同一資料庫系統管理；無論是外掛的或 GIS 自行組織的資料，是新的或是過時的資料，皆可以隨著需要而加以引入，這即是模組化的觀念，如此，在對其中某一個模組作修改或更新時，所造成的影響只侷限在該模組範圍內，而不至於波及整個系統。

系統架構中最上一層為使用者介面軟體，新的人機介面觀念隨著資訊科技的突飛猛進而有所改變，也就是從字元的方式轉為 GIS 圖形化的方式，讓使用者能以直覺的方式去操作電腦。藉由對使用者介面特殊的設計，將各個指令組成以作業導向的功能模組來提供服務；此系統包含四套子系統：廠周界劑量評估子系統、局部性劑量診斷子系統、區域性劑量預報子系統、及應變查詢子系統。廠周界劑量評估子系統主要參考廠內

氣象塔資料，以簡易之煙陣模式進行小範圍（如數分鐘到數小時之擴散時間）之劑量評估；局部性劑量診斷子系統主要參考廠週界附近氣象塔資料，產生診斷風場，再以煙陣模式進行較大範圍（如數小時到 1 日之擴散時間）之劑量評估；區域性劑量預報子系統主要使用中尺度氣象模式（如 MM5）以產生預報風場資料，再以煙陣模式進行大範圍（如 1-4 日之擴散時間）之劑量評估；此外，緊急應變查詢系統可查詢各類氣象、地形、核物質、應變組織、及救災行動相關資料，配合各種事故發生之情境與模擬展示之結果，以提供決策者研判鄰近地區民眾暴露劑量，並擬定各種可能降低災區居民風險之應變行動。人機介面除了應考慮操作之方便性外，更應符合運作模式分析之需求，本系統介面建立以 GIS 為基礎，結合 GPS/GIS/RS 及有線或無線通訊技術以構成即時性決策支援系統，讓使用者能在最短時間內，對可能發生之核災事故進行模擬，並結合遙測影像及 DTM 資料，建立三維立體視圖，配合風場模式庫、擴散模擬模式庫、劑量評估模式，以 2D 地理資訊系統圖層及 3D 遙測影像作廠周界、局部性、及區域性污染擴散動畫之展示，並疊合相關圖層以及運用劑量統計分析以評估受災區域之影響。

三、核災預防及應變決策支援系統之軟體架構

本系統可於個人電腦中（Windows NT 4.0[®] 及 Windows 2000[®] 作業系統）中執行，操作環境係以 GIS 作為主體架構，以 ArcView 3.1[®]、Spatial Analysis[®] 及 3D Analysis[®] 作為核心軟體，輔以 Visual Basic[®] 5.0 作為圖形使用者介面開發工具，並透過 DDE（Dynamic Data Exchange）方式加以連結。

除了預報風場資料必須使用 MM5 模式在 DEC® 之 UNIX 工作站中執行，執行完畢後再將風場資料下載至個人電腦外，其餘診斷風場、污染擴散、及劑量評估之計算工作均在個人電腦上執行。表二列出了本系統軟硬體配置之需求。

根據系統需求分析後，應用軟體之架構可規劃如圖二所示，全系統可概分為十一大模組：主控模組、使用者管理模組、檔案作業模組、圖層管理模組、射源模組、廠周界劑量評估模組、局部性劑量診斷模組、區域性劑量預測模組、NCKU-PUFF 模式成果顯示模組、成果顯示模組、劑量評估模組、防

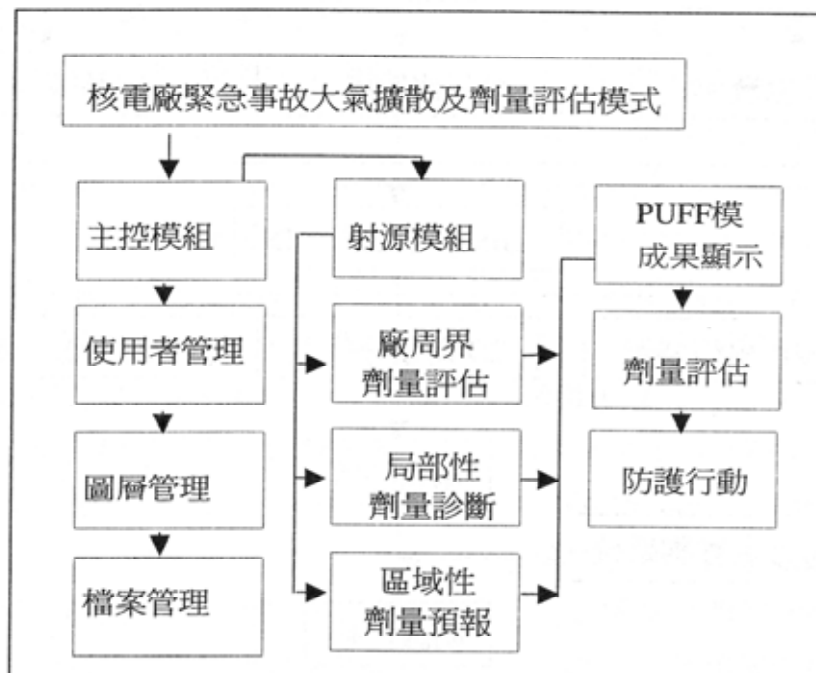
護行動模組。每個模組均有其專屬之 GIS 功能群組。而十一大模組又受到四個子系統之交叉控制，形成各種整合式之功能。

四、核災預防及應變決策支援系統之設計

核災預防及應變系統首重發生事故初期之決策精度，本研究中所設計之決策支援系統，對於初期反應需快速應變，可透過廠周界劑量評估系統的立即模擬解析，及時提供決策者充分資訊。到了中期階段，也就是污染性核種呈現衰變產生另一種核物質時，此時則利用局部性劑量診斷系統，透過較多之資訊以及相關支援後續之判斷（可參考 Fed-

表二 軟體配置

| 硬體項目 | 名稱 | 安裝軟體 | 備考 |
|------|------------------|--|----|
| HW1 | 專屬伺服器電腦 | Windows NT Workstation 4.x®以上 GIS ArcView® 3.1 Spatial Analysis Extension 1.1 3D Analysis Extension 1.0 | |
| HW2 | Digital UNIX 工作站 | DEC® UNIX MM5 Version 3 | |



圖二 應用軟體架構

種類與相對的排放率資料輸入，即可進行劑量評估；二為核能研究所分別針對核一、核二及核三廠所作核災事故情境之射源模組。三為 PCTRAN[®] 之射源模組，PCTRAN[®] 之軟體係濮勵志博士針對台灣三座電廠之特性所研發之射源模組，利用 PCTRAN[®] 作業分析之功能，使用者可以決定何種事故可能發生，以及嚴重程度，並利用圖形化之界面，得到各核種洩漏量，以進行劑量評估。

2. 透過廠內氣象塔之十五分鐘輸出之氣象資料，經過前置處理後，擷取煙陣擴散模式所需要之資料，進行擴散之模擬，模擬結果可以利用 GIS 展示平面（2D）或立體（3D）之擴散結果。
3. 在使用煙陣模式求得擴散結果後，進行劑量評估，考量核種濃度累積量以及劑量轉換因子，得到核子輻射量，進而可以擬出防護之行動，在選擇防護行動時，可以做劑量之統計分析及空間分佈之研判，讓使用者了解劑量之分佈情形，以提供決策者對於防護行動之選擇，最後可利用 GIS 展示整體防護行動之調度情形。

(二) 局部性劑量診斷系統分析（0Km~15Km）：此一系統與廠周界劑量評估系統不同之處，在於診斷風場之氣象資料取得，除了廠內氣象資料，也考慮鄰近氣象站的資料，其詳細之系統流程如下：

1. 射源模組之核種釋放量評估同廠周界劑量評估系統，同樣依三種方式擇一取得。
2. 氣象資料取得對於此系統具有關鍵之影響，此處我們利用核電廠附近之氣象塔觀測值，經過有線或無線傳輸及前置處

理後，將氣象資料輸入診斷風場模式中，所推估之資料如風速、風向均可以用 GIS 展示，隨後將所得之風場資料結合污染擴散模式，同樣可以將擴散結果在 GIS 環境中做靜態或動態展示。

3. 至於應變查詢部份則與廠周界劑量評估系統之應變查詢系統設計相同。

(三) 區域性劑量預報系統分析（0Km~50Km）：

1. 射源模組之核種釋放量評估與廠周界劑量評估系統相同，同樣依照三種方式擇一取得射源情境，提供擴散模式使用。
2. 由於此系統在時間上屬於長期性的預報，因此我們根據八種綜觀天氣類型（楊宏宇, 1993）及二十四種一般天氣類型進行設計，在事故發生時可依當時天氣形態選用各類預先完成 MM5 中尺度氣象預報模式之預報風場，使得預報風場模式能夠展現當時天氣類型所代表之特性，在我們採用後，並可將預報出來四日內之風場資料以 GIS 圖層展示，若需進行劑量評估則可執行煙陣擴散模式以模擬四日內劑量分佈情形。
3. 至於應變查詢部份則與廠周界劑量評估系統之應變查詢系統設計相同。
4. 本系統未來可以擴充為即時計算系統（Real-time Computation System），若以後台電若能設置 DEC[®] UNIX 工作站，於執行 MM5 預報風場模式時，可與中央氣象局以電腦連線，以讀取及時的氣象觀測資料，進行分散式計算（Distributed Computation），以獲得事故當時的長期氣象預報資料。目前本系統係採用西元 1998 年的氣象觀測資料檔，作為預報風場計算之依據。

參、模式庫建立與應用

一、射源模組

(一) PCTRAN[®] 射源模組

本套由美國 Micro-Simulation Technology 公司所發展的射源模式軟體系統可模擬核電廠事故時之二十種以上可能排放情境，且可由反應爐之運行狀態，配合廠區監測器進行洩漏模擬。該套軟體雖然也可接收電腦連線之氣象資料，並且擁有簡易的高斯擴散模式可以做污染傳輸及擴散之預測，但較不準確，故在開發此套軟體之初，即已考量預留空間以連結外掛之污染擴散資料庫。本系統已將 PCTRAN[®] 整合進來，使用者可以依其內定之事故情境進行單一事件或者是複合式事故模擬，模擬程式運轉時，使用者可以依需求訂定模擬之事故情境，並可以百分比方式設定事故嚴重程度，並可隨時更新核種釋放強度，這是與核研所事故情境表較為不同之處。

(二) 核研所射源模組 (核能研究所, 1993)

而核研所研發之射源模組，此乃是針對核一、核二以及核三廠的運作在不同事故情境下，計算其最嚴重之射源源強即發生機率。由於各核電廠的基本設計不同，其可能的事故狀況亦會有所不同，由於射源源強數據乃由保守性經驗式推估，其推估之排放強度可能非常高。

(三) 使用者自定核種

本系統之使用者亦可選取核種之種類與輸入排放率資料，並執行擴散模擬與劑量評估，此功能提供使用者有較大彈性的劑量評估空間，使用者可對單一核種或特定多核種的劑量評估，而且每個時段的各別核種之排

放率均可自由輸入。

二、風場模式

無論是網格式或軌跡式空氣品質模式，皆需要氣象資料以供其模擬之用。由於水平及垂直之傳輸，紊流混合及降水等大氣變化過程皆影響污染物的排放及空氣品質之連鎖反應，進而影響模式預測的準確性，因此氣象資料產生方式實影響模擬結果甚鉅。本系統風場模式包括風場診斷模式及風場預報模式，配合核電廠附近氣象測站之觀測數據，則可獲取污染擴散模擬必需之風場資料。

(一) 診斷模式

診斷模式採用客觀分析方法獲得三維風場，其目的即在將有限測站的觀測資料合理的內插或外插至三維空間，同時滿足一定的物理約束並力求消除原始數據的誤差 (Desiato et al., 1998)。模式以質量守恒原理的客觀分析方法，此法具相對較簡單、計算量小等特點，且其實用性較強。但實用上常遇到氣象監測的測站數目不足，風向、風速的觀測數據亦常有誤差，且地形複雜，故有時會有相當之推估誤差 (Sherman, 1977)。

(二) 預報模式

本研究使用的中尺度氣象預報模式 (The Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model Version3; MM5)，係由美國賓州州立大學 (Pennsylvania State University) 及 NCAR 共同發展 (Grell et al., 1997)，此版本目前已修改為三維非靜力方程模式，此模式相當具有彈性，在邊界層、水文循環等參數化過程及側邊界的處理上，可以有各種不同的選擇，且程式的編寫均為模組化，以方便模式的了解與維護。實際上，此模式的適用範圍相當廣泛，對於次綜觀的大氣環流變化、海洋旋生、鋒面、颱風線低層噴

流、海陸風、局部環流等現象的模擬研究，均曾得到很好的結果 (Hsie et al., 1984; Zhang and Fritsch, 1986; 1987; 1988; and Oncley and Dudhia, 1995; Kuo et al., 1995)。

三、擴散模式

煙陣 (Puff) 可視為瞬間點源排放的現象，煙陣進入空氣中有幾種的運動情況。第一，煙陣整體被氣流推移，我們視為整個煙陣質心的運動。如果沒有擴散作用，則煙陣保持其原來形狀、體積及濃度。如果周遭的氣流為紊流渦動狀態，則煙陣會被變形、沖淡稀釋，我們會發現煙陣的體積變大，顏色變淡，此即為擴散作用。核災事故排放的主要特點在於其突發性及非連續性。因此要求大氣擴散模式一方面能夠反映這種非連續源的特點，另一方面能夠適合於事故發生時的各種不同氣象條件。顯然在這種情況，煙流軌跡模式或煙陣模式是較為合適的。而因為煙陣模式不但可以較好地處理非連續源的情況，而且也可以較好反映小風氣象條件下縱向擴散的作用。如果配合以平均風場，則可以更準確地反映污染物的局部輸送擴散之現象。因此我們將採用拉格朗日軌跡煙陣模式 (NCKU-PUFF) 作為事故快速即時排放大氣擴散模式評估的基礎。NCKU-PUFF 是一個以三維診斷風場驅動的煙陣模式，適合於突發性事故排放和複雜地形條件下的實時大氣擴散模擬，可用診斷風場模式計算三維風場、污染物輸送的拉格朗日軌跡和地面濃度及劑量分佈，並圖形顯示計算結果。

拉格朗日煙陣模式將污染物分解為短時段內自源頭接續排放的煙團，各煙團沿當時自源頭出發的傳輸路徑向下風擴散，空間某點的污染物濃度是連續排放各煙團貢獻的總和，對於在 0 至 τ 時間的事故釋放條件， t

時刻地面一個接收點 $(x, y, 0)$ 處的濃度可記為

$$c(x, y, 0, t) = \int_{t_2}^{t_1} q(t-T)G(T)dT \quad (1)$$

其中 $q(t-T)dT = qp(t')$ 為排放時段 τ 內第 t' 時刻所排放煙團的質量； T 是煙團離開源頭後經歷的擴散時間； $t_1 = \max\{(t-\tau), 0\}$ ，即 t 時刻的濃度是擴散時間為零 (當時剛剛離開排放源) 至 t (事故開始時離開射源) 的各煙團造成的濃度之和；如果 t 時刻事故釋放已停止，則為擴散時間 $t-\tau$ (最後一團的擴散時間) 至 t 的各煙團之和，(2) 式中 $G(T)$ 為擴散核函數，若地面為全反射，則其表示式為

$$G(T) = \frac{2}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x(T)\sigma_y(T)\sigma_z(T)} \exp \left[-\frac{(x-x_p)^2}{2\sigma_x^2(T)} - \frac{(y-y_p)^2}{2\sigma_y^2(T)} - \frac{h_p^2}{2\sigma_z^2(T)} \right] \quad (2)$$

式中 x_p, y_p 和 h_p 是 t 時刻煙團中心位置。 x_p, y_p 可由輸送風速分量確定。 h_p 是煙團高度，設其為定量，即

$$h_p = h_s + \Delta h \quad (3)$$

這裡 h_s 是排放初始高度， Δh 是抬升或下沖高度。

(1)和(2)兩個方程構成了煙陣模式的核心，在模擬計算中(1)式則化為對應各煙團的有限求和。

從以上原則不難發現，除了適應源強隨時間的變化之外，煙團模式的第一個特點是考慮了縱向擴散的作用，第二個特點是可通過擴散參數的調整和實際風場的輸入體現氣象場時空變化對輸送擴散的作用，從而完成事故排放的合理模擬。

四、乾、濕沉降模式

對大氣污染物的傳輸及擴散過程中，沉降是主要的機制之一，沉降亦是大氣的自淨機制。沉降包括乾沉降及濕沉降。在沒有降水的條件下，由於重力、紊流、熱運動、慣性力及靜電力的作用，污染物隨時會被地面阻留，這就是乾沉降現象。由於其作用時間長、地域廣，效果較為顯著，沉降速度（ V_d ）是描述乾沉降過程的重要參數，定義為污染物沉降通量除以大氣污染物濃度（ c ）即

$$V_d = F / c \quad (4)$$

而乾沉降總量

$$D_d = V_d c \Delta t \quad (5)$$

沉降速度隨大氣穩定度、地表植被、風場等因素而變化。擴散模式中乾沉降速度的處理有許多方式，在一些模式中簡單的取為常數。在一些大尺度模式中以污染物質質量會有一部份 df 在時間 dt 內衰減，即

$$df = \frac{V_d}{\Delta Ze} dt \quad (6)$$

其中 ΔZe 為煙陣的垂直厚度。

針對乾沉降做機率分析，煙陣經沉降後的新質量可以下式計算（Zannetti and Al-Madani, 1983）

$$M^{(new)} = M^{(old)} \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_d}\right) \quad (7)$$

其中 $M^{(old)}$ ， $M^{(new)}$ 分別是煙陣舊和新的質量， $T_d = \Delta Ze / V_d$ 為乾沉降的時間尺度，與氣象條件、污染物的特性和地表特性有關。

濕沉降主要是處理雲下洗除過程，顆粒的大小是濕沉降率的主要控制因素，此外也與沖刷係數與降雨強度、雨滴譜分佈及各種污染物的濃度、氣溶膠的粒子譜有關。（Seinfeld, 1986）曾求出污染物至地表之濕沉降通量為

● 對氣體：

$$W_g = \int_0^{\infty} \Lambda(z, t) c(x, y, z, t) dz \quad (8)$$

● 對顆粒：

$$W_p = \int_0^{\infty} \Lambda(dp, z, t) c(x, y, z, t) dz \quad (9)$$

其中 Λ 為沖刷係數，（Kirsti, 1991）曾針對車諾比爾事故之核物質沉降現場研究，得出核物質之沖刷係數可參數化為

$$\Lambda = 10^{-4} R^{0.64} \quad (10)$$

式中 R 為降雨率。而由濕沉降通量（ W_g 或 W_p ）可以得到濕沉降速度

$$V_w = \frac{W}{c(x, y, 0, t)} \equiv \bar{\Lambda} H \quad (11)$$

後項假設污染物是常態分佈在 $z=0$ 至 $z=H$ 中間。在沖刷係數 $\bar{\Lambda}$ 得到之後，可進一步求出煙陣質量的變化，其中的乾沉降的時間尺度 T_w 可以來替換於濕沉降行為。

$$T_w = \frac{1}{\bar{\Lambda}} \quad (12)$$

本研究針對不同核種之乾濕沉降效應，由乾沉降速度（Dry Deposition Velocity）及沖刷係數（Scavenging Coefficient）來決定其行為。Kirsti（1991）曾以芬蘭為研究區域，針對車諾比爾核電廠事故影響進行採樣分析，求得主要核種之沉降特徵參數，本計劃引用其研究成果，對主要核種以其採樣所得之參數直接引用，而其他核種則取加權平均為其參數，表三為本研究中各核種之乾沉降速度，表四為本研究中沖刷係數之經驗值。其中評估方程已化為通式

$$\Lambda = a R^b, \quad R \text{ 為降雨率 (mm/hr)}。$$

本系統在擴散模式除了原有擴散（Diffusion）及延散（Dispersion）作用之考慮外，污染物受重力所引起之乾沉降及受降雨

表三 各核種乾沉降速度值 ()

| 核種 | V_d (m/s) |
|--------|-------------|
| Ru-103 | 0.0045 |
| Te-132 | 0.0046 |
| I-133 | 0.002 |
| Cs-137 | 0.0042 |
| Ba-140 | 0.0036 |
| 其他 | 0.00378 |

表四 各核種沖刷係數 A (s^{-1})

| 核種 | a (s^{-1}) | b |
|--------|----------------------|------|
| Ru-103 | 4×10^{-4} | 0.72 |
| Ru-106 | 2×10^{-4} | 1.2 |
| Te-129 | 1.3×10^{-4} | 0.4 |
| Te-132 | 1.8×10^{-4} | 0.71 |
| I-131 | 7×10^{-4} | 0.69 |
| I-133 | 1.6×10^{-4} | 0.5 |
| Cs-134 | 2.8×10^{-4} | 0.51 |
| Cs-136 | 2.4×10^{-4} | 0.43 |
| Cs-137 | 3.4×10^{-5} | 0.59 |
| Ba-140 | 3×10^{-5} | 0.3 |
| 其他 | 1.0×10^{-4} | 0.64 |

沖刷作用引發之濕沉降行為也納入模式中。一般而言，乾沉降與濕沉降之分別在於沉降行為是否受到降水之影響，在廠周界劑量評估系統及局部性劑量評估系統中，NCKU-PUFF 模式選項中可由使用者由模式執行選單中，依照使用者認定沉降條件，設定乾/濕沉降之狀況參數，透過與氣象資料庫之連結，讀取所需降雨參數（降雨量），代入模式進行計算。

肆、模式比對驗證之結果與討論

模式驗證包含風場模式驗證及污染擴散模式驗證。風場模式驗證主要採用風洞模擬實驗。並且風洞實驗配合核一、二、三各廠地形環境模型，模擬且觀察建築物附近風場

之變化及污染物傳輸情形。至於預報風場模式（MM5）之驗證則不同於傳統診斷風場模式之驗證，以 MM5 中尺度氣象分析方式配合局部環流解析進行驗證。

一、射源模組預測準確性之探討

目前系統使用之射源模組，除了可自定核種外，其他之來源有二，一為核研所之射源情境，另一個為 PCTRAN[®] 所計算之射源。在比較兩者在射源模擬計算上的差異，在相似模擬情境中，PCTRAN[®] 的模擬值遠低於核研所發展之射源模組之估計值。

二、模式之驗證

(一)診斷風場模式及污染擴散模式之驗證：

本計畫擬採用風洞實驗進行驗證，將以

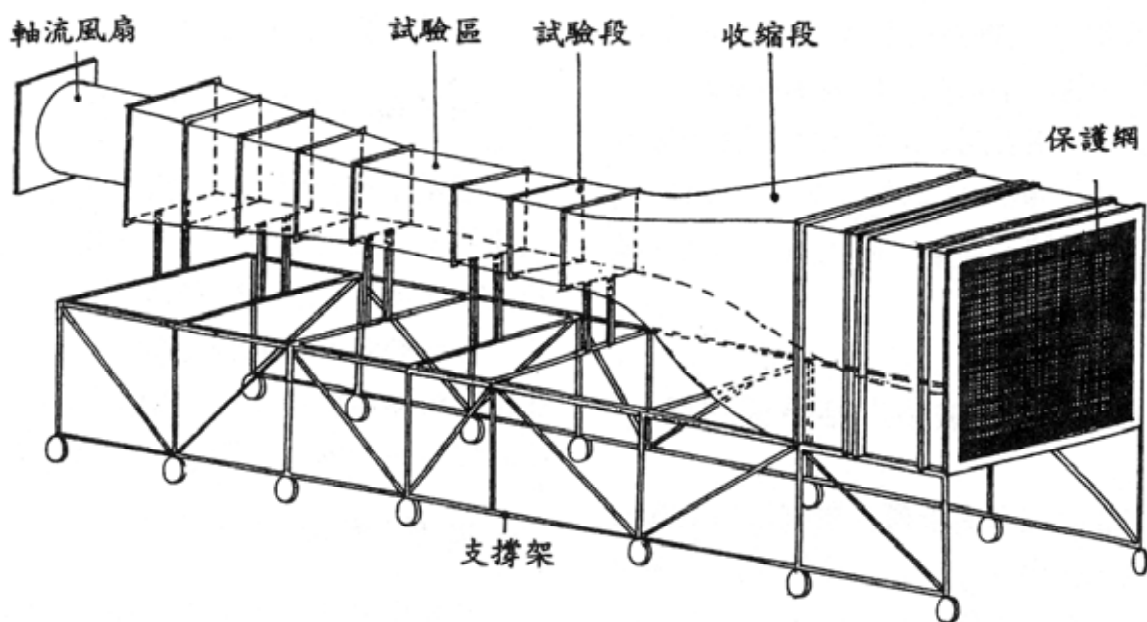
風洞實驗輔以氦氖雷射儀計算人工風場中之粒子傳輸、沈降情況，針對核一、二、三個別情況來證驗證 NCKU-PUFF 模式。大氣的擴散能力主要受到下列兩個因素的影響，一為污染源附近的微氣象，另一為污染源附近之地形與建築物。就第一項因素而言，大氣的穩定度是主要的角色，這部份較屬自然因素。第二項效應則為剪力流 (Shear-stress Flow) 的紊流特徵，在真實的環境中，若在穩定的大氣條件下，排放之核物種不易擴散，而且建築物的紊流場會造成廠區附近滯留高濃度之核物種，故可能嚴重影響廠內人員之安全與健康 (Hunt, 1984)。相對地，若在不穩定的大氣條件下，且主要由大氣主導的紊流場則可能將大部份得核物種快速帶至較遠的下風地區，可影響民眾輻射防護行動。

由於地形建築物及大氣風場之交互作用相當複雜，因此除了數值模擬分析外，亦進行實驗測試與比對。而實驗測試的目的，乃提供模擬分析結果之驗證，以及瞭解上述之交互作用對污染物擴散傳輸的影響。此實驗

包括有水桌視流觀測與風洞實驗模擬。而水桌試驗部分旨在藉水之易於可視化的特性，以視流方法定性探討流場之結構及交互作用的機制；而風洞則藉風場及濃度場之實際測量，求取風場及濃度場之分佈曲線。

本試驗所使用之風洞設備主體如圖四所示，為連續開放吸入式，工作流體為空氣，其流量由 15 馬力之無段變速馬達以吸入之方式加以控制，最高風速可達 30 m/sec。空氣經由多翼軸流式風機吸入穩流室整流，再流入收縮段 (收縮比為 9:1) 加速並減少自由流中之紊流強度後，進入截面為 60cm*60cm 之矩形測試區，作為工作流體。

風壓量測裝置係採用精度為 0.25% (Full Scale 有 0.008 及 0.125 psi 兩種) 之 diaphragm 來做壓力感測器。其原理主要是利用壓力變化產生磁阻 (magnetic reluctance) 的變化來偵測。另外，利用 48 孔 J-type 旋轉式壓力掃描閥配合 CTL 螺線管控制器 (Solenoid Controller) 來做壓力孔掃描，然後以 A/D 卡及電腦擷取風壓資料。流速量測儀器主要有三種，即皮托管、熱線測速儀



圖四 風洞設備主體

及薄膜儀 (Split film)。皮托管配合風壓轉換及 Bernoulli 原理可量取流場之平均風速，但因地形 (Liu, 1990; Buines, 1987) 與建築物 (Simiu and Scanlan, 1978; Hunt, 1984) 之影響，流場中常有分離的迴流區，導至無法用皮托管量取風速。就濃度量測而言，典型的量測方法有二，即取樣檢測法與即時量測法。前者是先將樣品由濃度場中取出再分析之，此種方法常需假設在取樣到分析中間，濃度場之特性不變。即時量測法則是直接在濃度場中量測濃度，通常用光學量測方法達成之。本計劃由於環境風場受地形與建築物之交互影響而變得複雜，動態反應顯得重要，因此擬用後者量測濃度在風場中之擴散行為，即為了瞭解及量化污染物在風場中之分佈情形，本研究發展了一套簡易的污染物濃度之光學量測方法，光源採用低功率的氦氖雷射，利用多個光源用數位信號擷取雷射光之強度，利用濃度與光強度的校驗曲線，量化濃度分佈。由於實驗中須考慮安全因素；因此，汙染物採用重於空氣且不含毒性之食用色素代替。

(二) 預報風場模式之驗證

本計劃亦針對核電廠附近氣流進行分析，以氣象條件觀點，建立綜觀天氣系統下局部環流對於核能電廠汙染物傳送過程之診斷。運用 1998 年氣象局及空軍各地面站之風場、溫度、露點、核電廠風場資料，分析各類天氣形態下核電廠附近之局部環流特徵，並建立局部環流資料庫。以日本天氣圖，將影響台灣地區之綜觀天氣系統做分類，探討各類天氣型態對核電廠環流的影響。於各類綜觀天氣系統中，選出八個典型個案：冬季冷高壓下的東北季風、強烈東北季風（寒潮）、春季的華南雨帶（短波槽）、初夏梅雨季的梅雨鋒系統接近、梅雨

鋒過境、夏天太平洋高壓、颱風外圍環流、秋季的冷鋒，分析此八個天氣系統所伴隨的環流強弱，並以數值模式 MM5 做模擬，評估模式模擬效果，以便將來用模式提供密集高空與地面逐時資料，作為擴散模式的上游資料，並配合擴散模式以模擬汙染源傳送過程（蔡清彥、周根泉，1979；蔡清彥、童雅卿，1987；楊宏宇，1993；王永壯，1996）。研究結果如下列幾點：

- 除去核三廠部份風場零亂資料外，核三廠風場冷季與氣象局恆春站資料一致。暖季則梅雨期與颱風期二者風向較不一致，其餘各階段風場仍均一致。
- 核一、二廠氣流穩定性比核三廠高，核一、二廠盛行風與局部環流特徵均較核三廠明顯，因此我們對於北台灣風場掌握度較高。

三、模式預測值之比對

由美國 EPA400-R-92-001 中提供的劑量計算方法，可與本研究使用之 NCKU-PUFF 模式在數值上相比較，以提供模式在使用上之精度參考。

(一) 同一射源情境下之模式預測值比對

本研究觀察到用 NCKU-PUFF 模式所得劑量較 U.S. EPA 400R 之方法所得劑量值為高，這可能是因 U.S. EPA 400R 是將排放過程假設為平均排放進行模擬計算，而 NCKU-PUFF 模式能夠針對排放源釋放情形，用一霧指數分佈模擬釋放過程，所以能反營不同之排放情形，故在事故初期會得到較高之預測值。

(二) NCKU-PUFF, X/Q 與風洞實驗三者預測值之比對

為了針對核一廠的單煙囪排放作深入的討論，特別將風洞實驗之量測值與模式預測

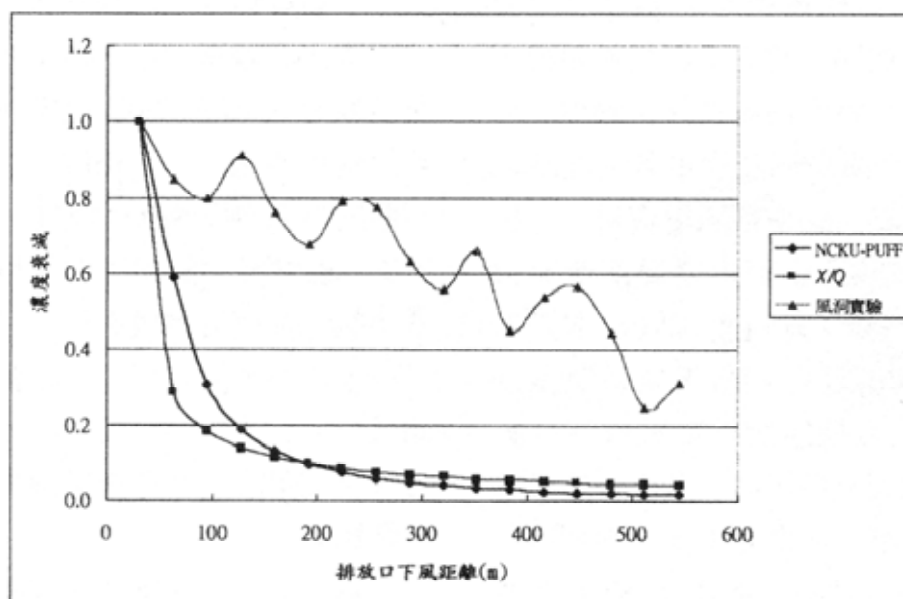
值進行比對，在高空紊流流場較一致性的條件下（相對於近地面而言其紊流特徵的分佈較平均），高架煙囪排放再均一風場中可同時用 NCKU-PUFF 和 X/Q 模擬，分析近流場（Near Field）紊流對污染物傳輸的影響。比對結果由圖五可以看出，NCKU-PUFF 與 X/Q 的濃度衰減比例隨下風處距離之增加而衰減的相當快，相對地，風洞實驗顯示在風洞環境中衰減的較為緩慢，此乃因風洞近流場之紊流特徵的大小渦旋（Eddy Vorticity）不均勻分佈所致，使其排放後之污染物質部份遲滯於近流場，然後變成遲滯性污染源產生排放效果（Reemission），故濃度衰減較為緩慢。

NCKU-PUFF 與 X/Q 擴散原理，均不考慮任何有關紊流流場的變化，其中 NCKU-PUFF 可採用平均風場，而 X/Q 則只限用於單一風場的參數設定。因此，透過風洞實驗與 NCKU-PUFF, X/Q 的比對，可以了解實際大氣在近流場的傳輸行為與變化現象，提供決策者應變實際狀況時，增加對於廠周界附近流場紊流的實質認知，了解模式預測之

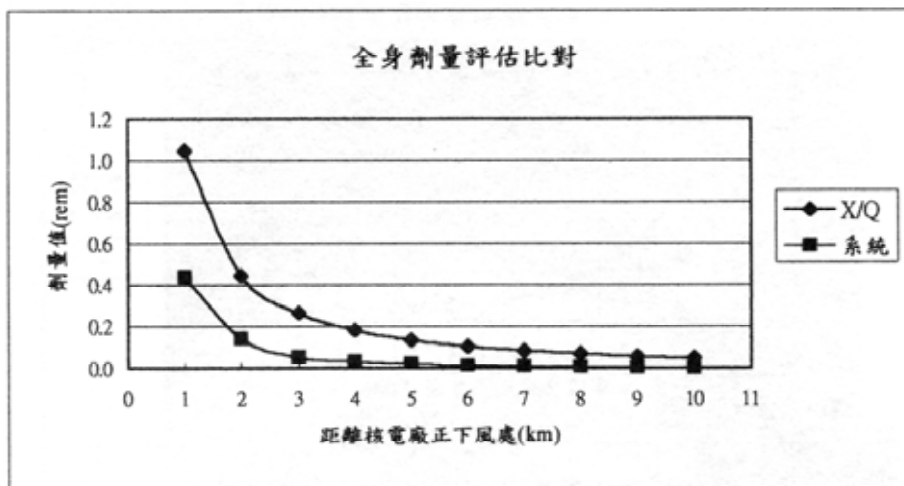
準確性及可靠性，有助於核災事故廠周界範圍的應變行動。

(三) X/Q 方法劑量計算值與本系統劑量評估值之比對

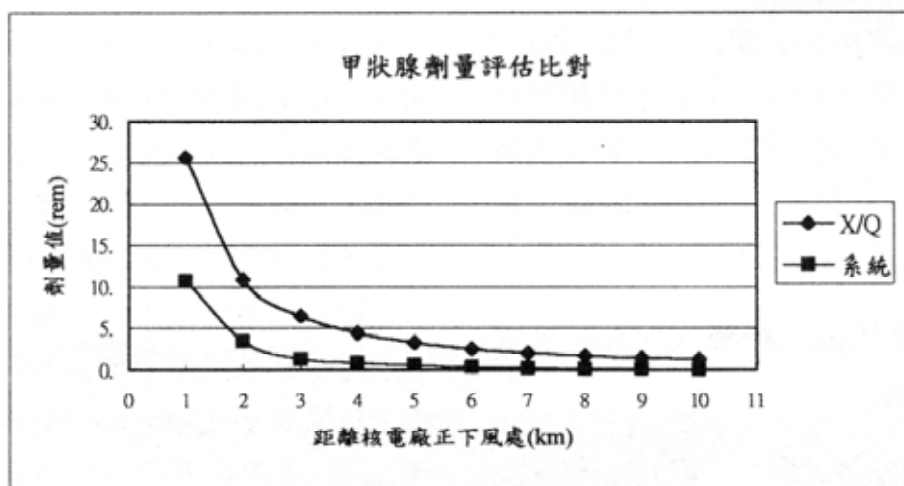
此比對的目的是確認本系統劑量評估的可信度，首先針對單一核種的劑量評估值進行比對，選定的核種為 I-131；然後再以多核種的劑量評估值進行比對，所選定核種有五種包括 Kr-85, Xe-133, Cs-137, Co-60, I-131, 及 I-135。比對結果顯示，單一核種的劑量評估值之比對過程中，採氣象穩定度為 D，風速為 4.0 m/s，其比對在下風處 1~10 公里內，在相同參數設定的基準之下，X/Q 方法的劑量計算值均高於本系統的劑量評估值，如圖六及圖七所示；而在多核種的劑量評估值之比對中，採氣象穩定度為 E，風速為 4.0 m/s，比對其在下風處 1~5 公里內，X/Q 的劑量計算值則低於本系統的劑量評估值，如圖八及圖九所示；其間差異性產生之原因主要為 X/Q 計算方法的沒有考慮地形效應（如地形高程，地形粗糙度等）及垂直方向之氣象因子變異性（如地轉風與混合層高



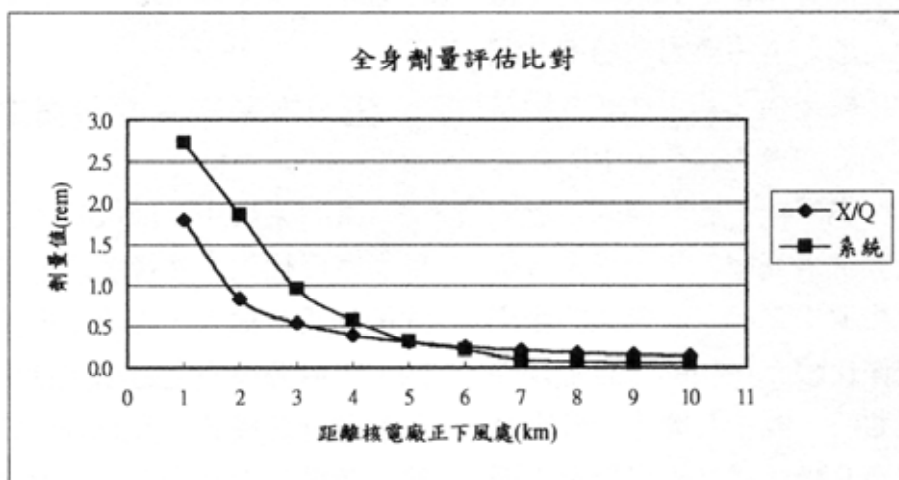
圖五 NCKU-PUFF, X/Q, 與風洞實驗三者模式預測值之比對圖



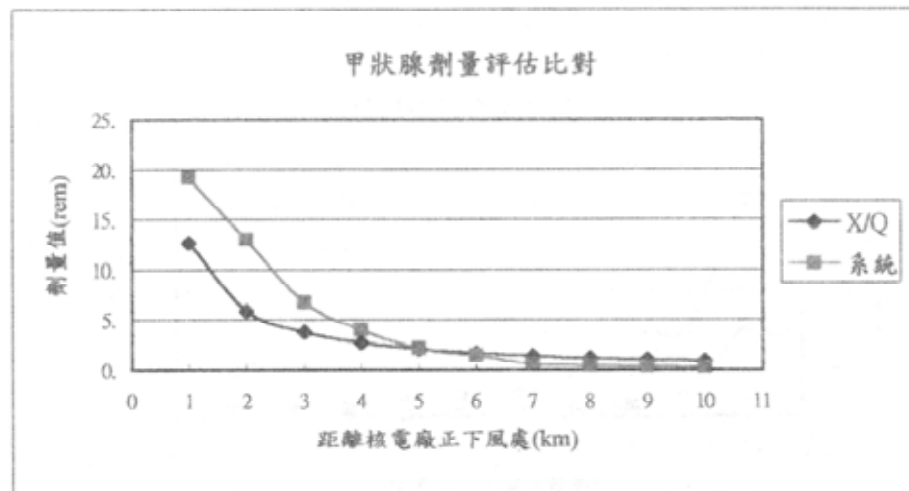
圖六 單一核種全身劑量評估值之比對圖



圖七 單一核種甲狀腺劑量評估值之比對圖



圖八 多核種全身劑量評估值之比對圖



圖九 多核種甲狀腺劑量評估值之比對圖

度的效應)；另外在高斯擴散模型方面，X/Q 計算方法中將其指數項簡化，而本系統的 NCKU-PUFF 數學擴散模式，除了應用數值計算上的差分與離散化之需求外，對於高斯擴散型態之函數沒有做任何方面的簡化動作，因此產生了推估上之差異性。

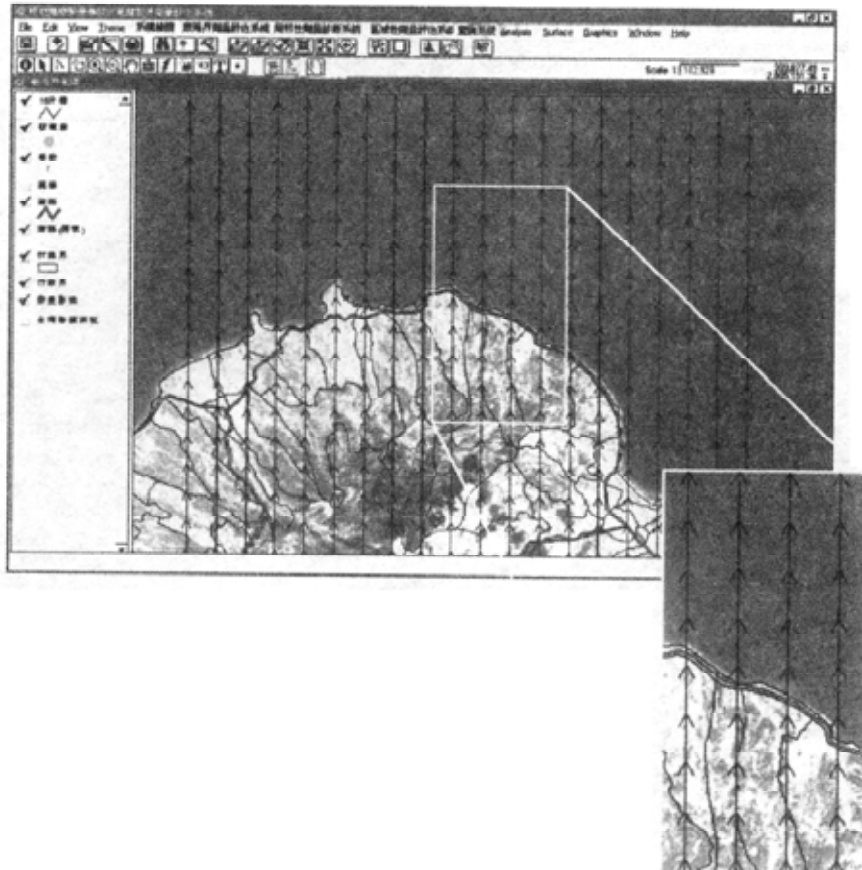
四、系統展示應用於 A 級模式與 B 級模式之比較討論

緊急事故民眾劑量模式 (EMD) 係採高斯直線擴散模式，未考慮任何地形因素的效應 (即 A 級模式)，因此，台電根據美國核子委員會指南之準則，需採用 B 級模式，根據各核電廠附近之地形、污染擴散潛勢及劑量評估模式進行系統建構。為了比較 A 級模式及 B 級模式劑量評估在本系統中的差異性，因此需要拿掉本系統中已考慮的地形效應 (地表粗糙度及地表高程)，已模擬 A 級模式之行為，然後與本系統 B 級模式的廠周界劑量評估系統作比較。在相同之設定條件下，風向若為正北時，圖十及圖十一分別為核一廠 A 級模式與 B 級模式之風場展示；而圖十二及圖十三分別為 A 級模式與 B 級模式之污染擴散結果展示。由模擬風場的結果顯

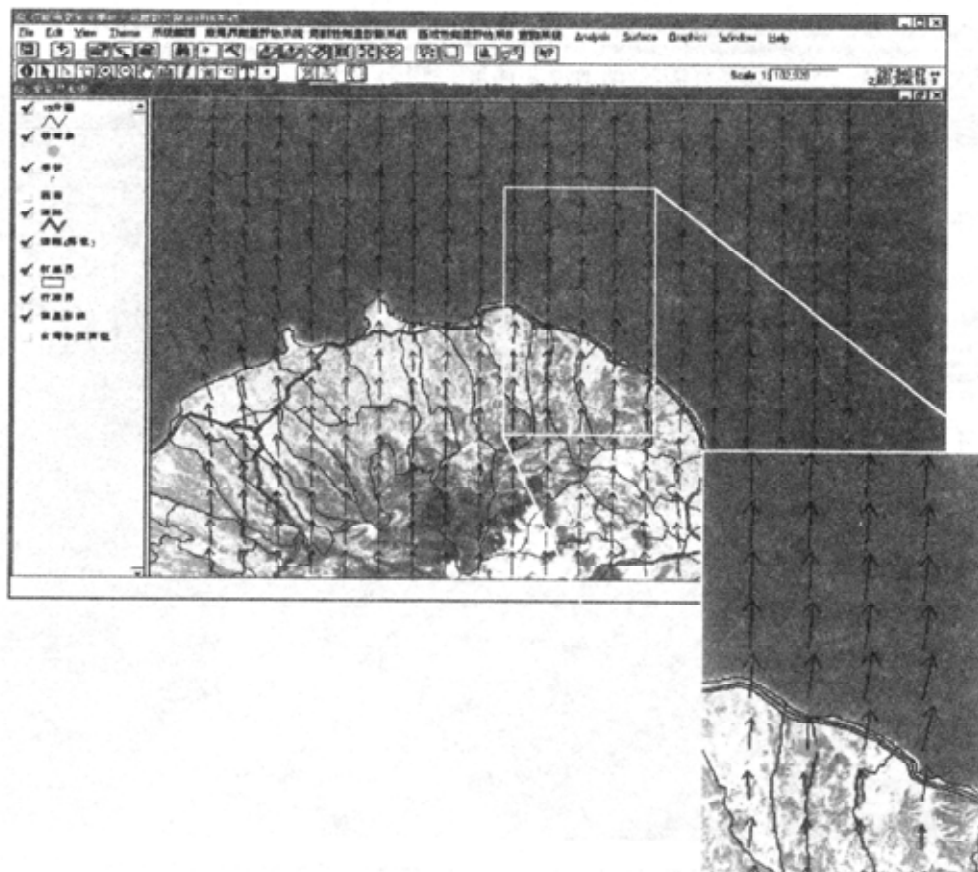
示，A 級模式下的風場風向均一旦為正北 (圖九)，而 B 級模式下，核一廠周遭的風向因受地形因素的影響，使得廠區附近下風處的風向往北北東偏離，而從放大的圖清晰地顯示 (圖十一)，核一廠位置之風向雖為正北，但其他地方可明顯地看出 B 級模式因考慮地形因素所產生之偏離效應，使得核一廠附近地區的風場分佈具有較高之變化性，與 A 級模式下之完全均一風場有所不同。因此在 A 級模式下的污染擴散方向亦為正北 (圖十二)；而在 B 級模式下的污染擴散方向系因受電廠附近風場分佈偏向北北東方向 (圖十三)。

伍、本系統介面視窗之功能展示

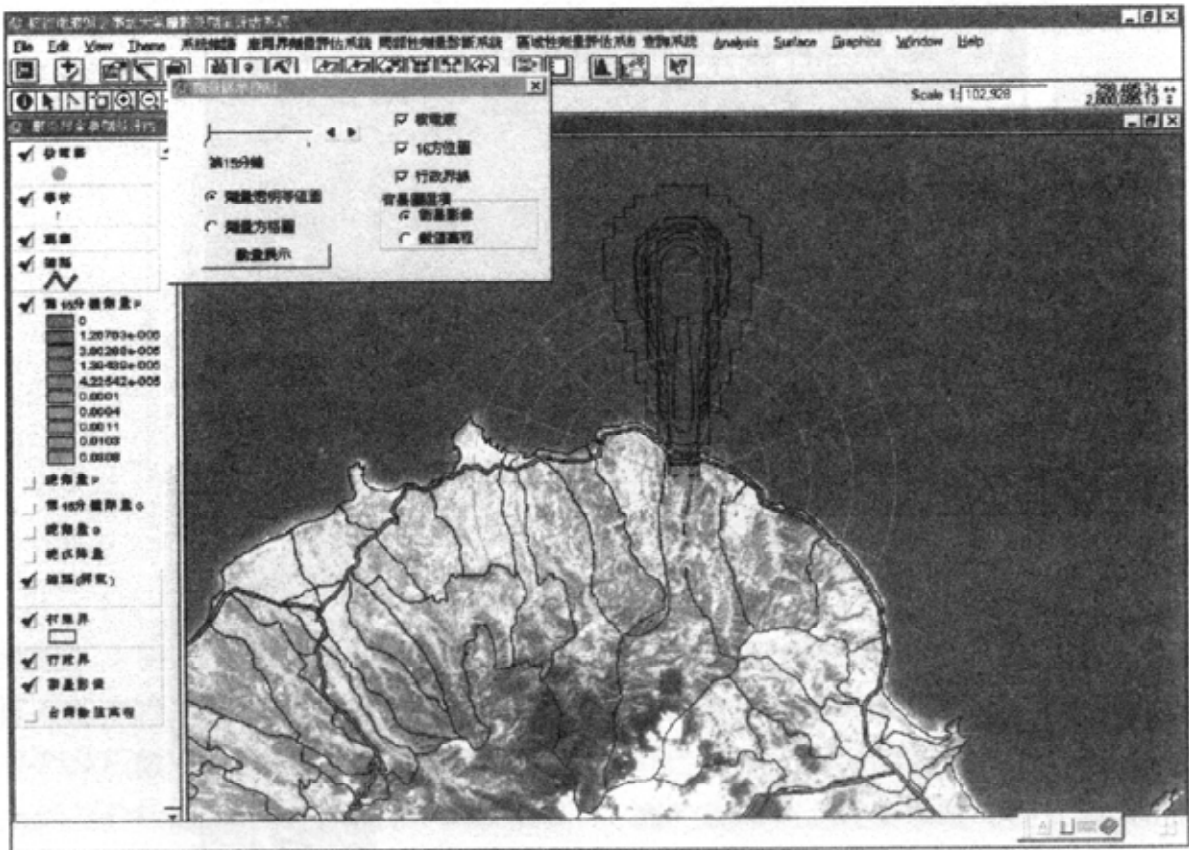
進入系統中，前段輸入包含有使用者名稱與密碼輸入，然後選取一子系統，進行模式範圍設定輸入，再決定射源模組 (如圖十四)，射源模組之選項包括自定核種、核研所射源計算模式、及 PCTTRAN® 射源模式計算，選擇三者其中之一為射源，即可進行污染擴散及劑量評估。(因篇幅因素，以下只舉核一廠局部性劑量診斷子系統為例)



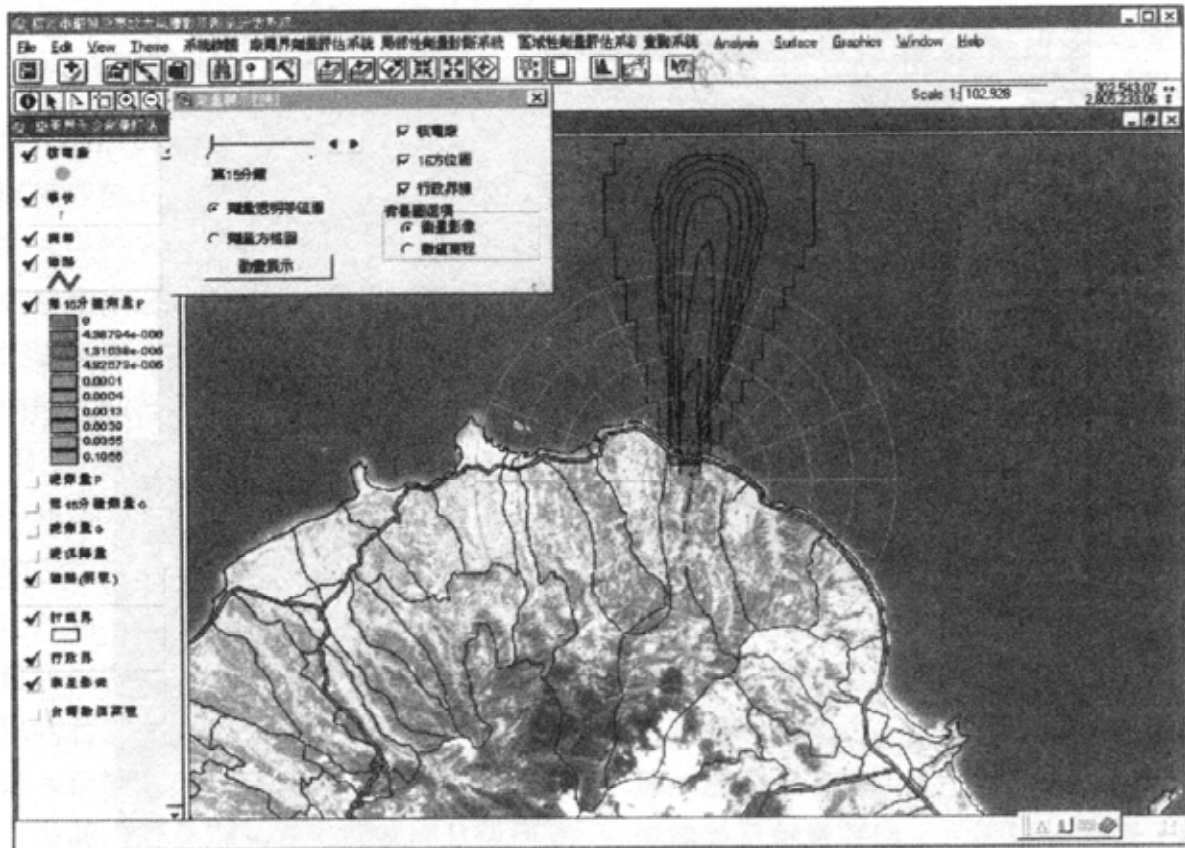
圖十 核一廠 A 級模式風場模擬結果



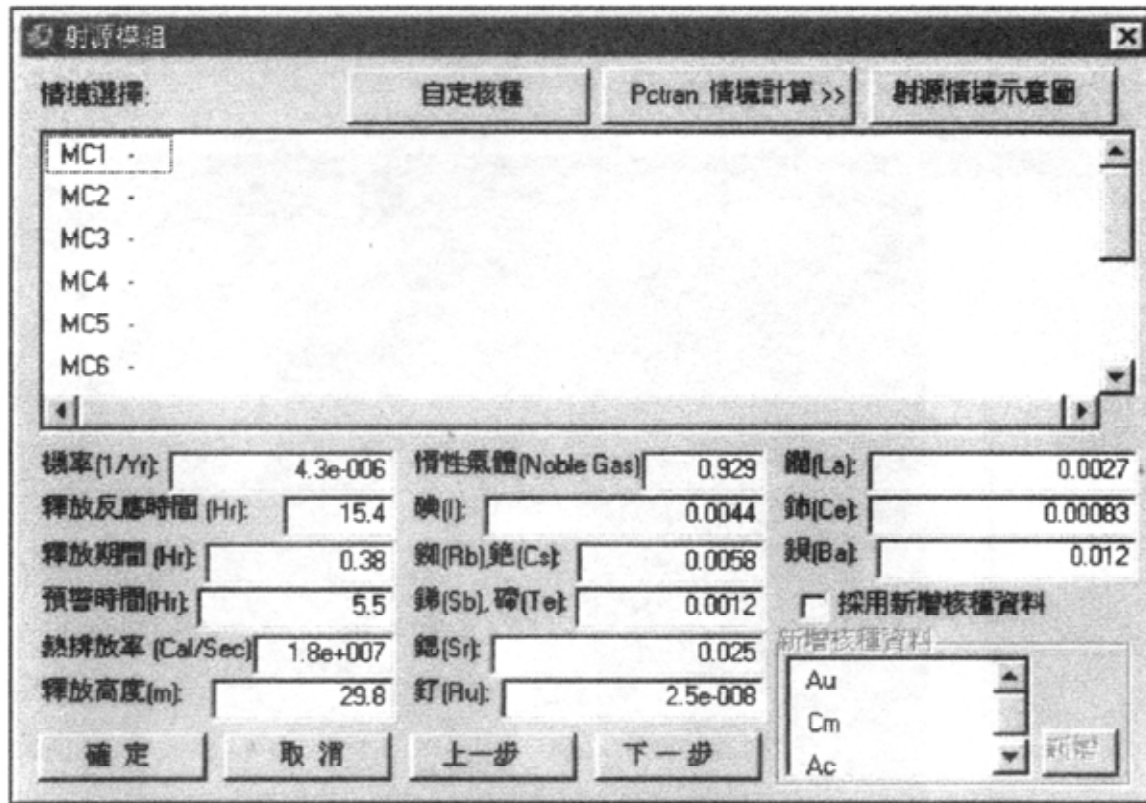
圖十一 核一廠 B 級模式風場模擬結果



圖十二 核一廠 A 級模式污染擴散模擬結果



圖十三 核一廠 B 級模式污染擴散模擬結果



圖十四 射源模組

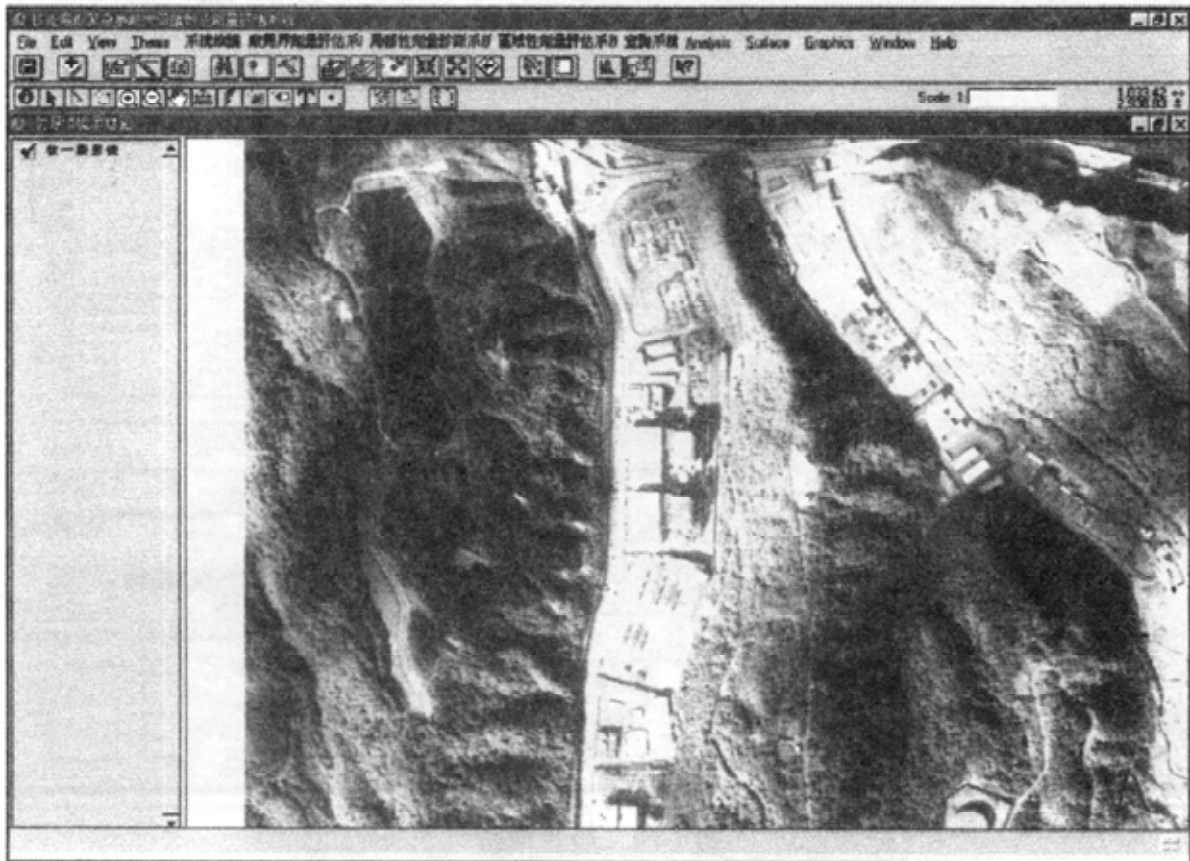
例如圖十四中可由使用者任意選取核研所事故之編號，或採自訂核種，當按入「自定核種」選項後，進入核種選單視窗，清單中提供 U.S.EPA 400R 中所列出核災中可能洩露之核種，使用者可由中間功能鍵新增或删除核種名單，另一方面在核研所射源計算模式為射源模組主畫面中，上部份為核研所之前研究歸納出十四種可能發生事故情境，使用者可依現場事故狀況加以選擇，包括事故釋放出之核種排放率、排放源高度、釋放時間等。另外，右下角附有採用新增核種資料的功能，可依據現場觀測資料，可隨時作修正使其更近於實際的模擬。另外，在圖十四右上角的「射源模組情境示意圖」中，儲存了農委會製作之高精度航照圖，經本研究將其影像轉換及校正，可非常清晰的顯示廠週界環境，此圖可支援現場指揮單位取得進一步的資訊，以供應變計畫行動之所需，如

圖十五所示。自圖十四中點選「PCTRAN 情境計算」即會自動開啟 PCTRAN[®] 程式並進入主畫面，如圖十六所示。

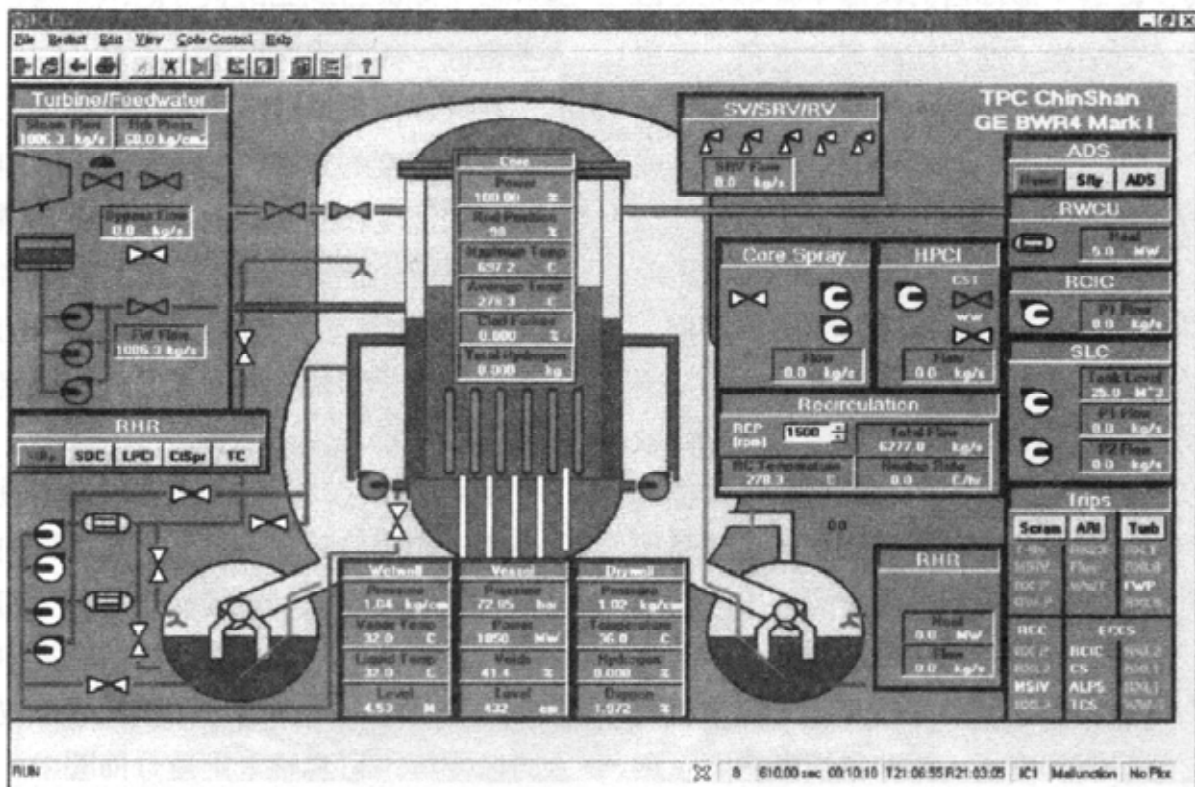
在計算污染擴散時，本系統提供三種選取氣象穩定度的方法，包括有取自廠內氣象站，或依溫度和高度變化，或依風向標準差法。但系統僅接受一種輸入值，使用者只要使用其中一種設定氣象穩定度即可。由上到下選擇皆可分別對應到 A 至 F 六種穩定度，如圖十七所示。

使用者可在執行煙陣模式視窗中設定各種參數（如排放時間、源高、風速風向、排放率、降雨率等），然後執行運算，如圖十八所示。在圖十九劑量展示控制視窗中，選取一些特別標記的圖層，如核電場位置、十六方位圖等，可套疊至劑量分佈圖中，以方便查詢。

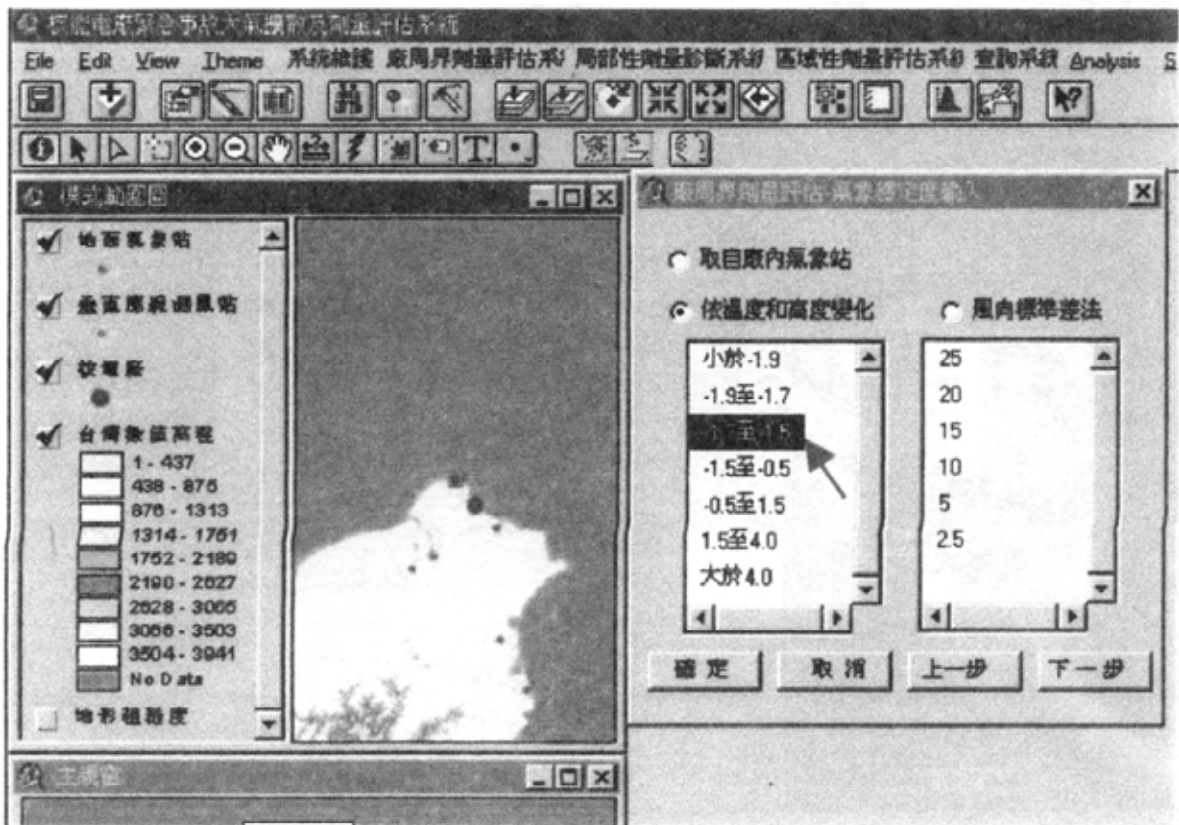
劑量顯示功能並可配合十六方位圖加以



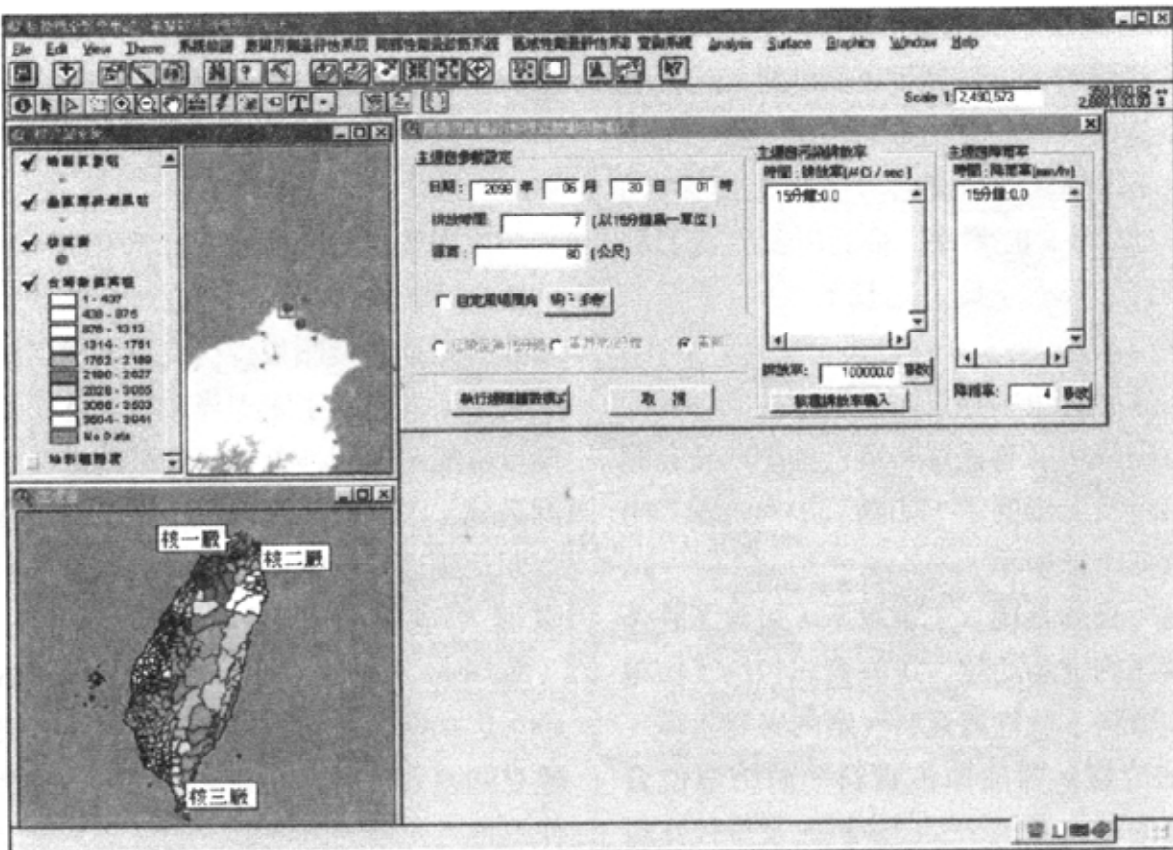
圖十五 核一廠空照圖



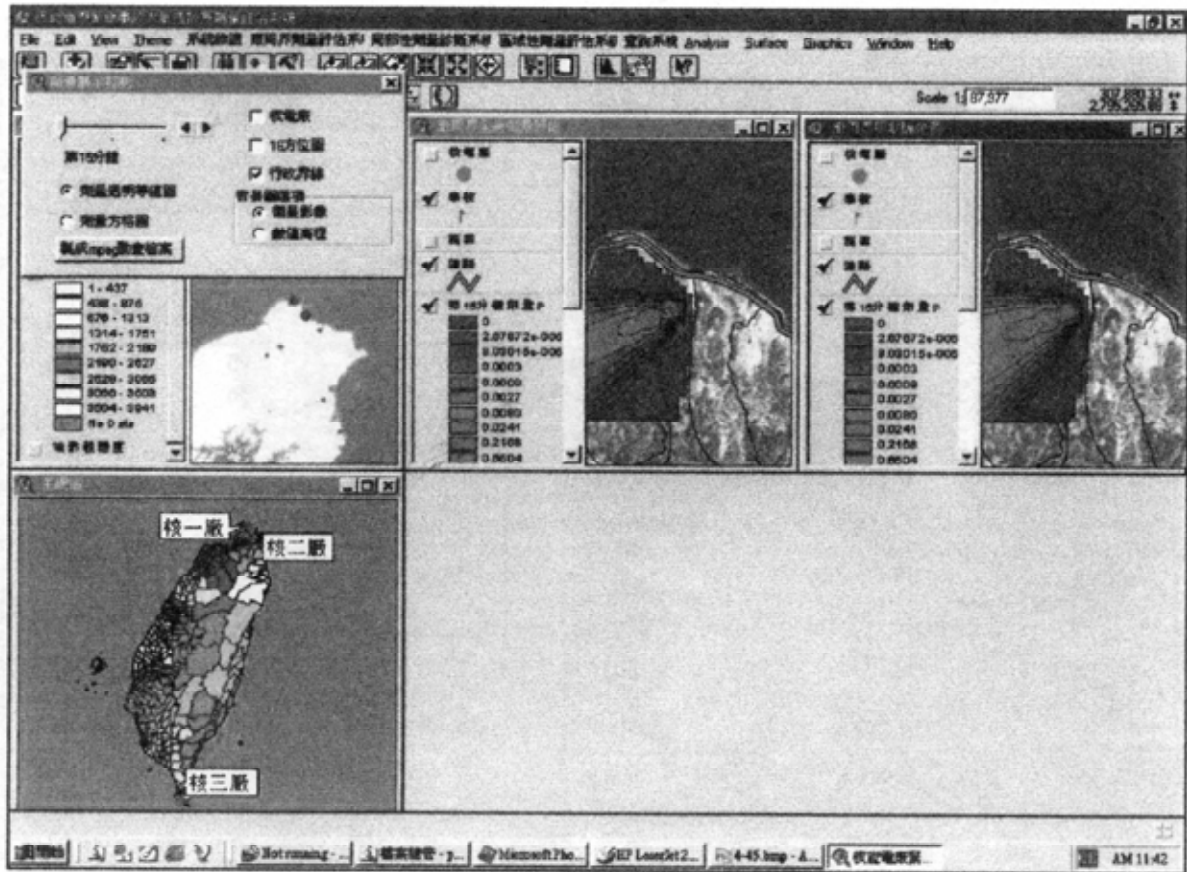
圖十六 核一廠 PCTAN®



圖十七 氣象穩定度輸入視窗



圖十八 執行煙陣擴散模式視窗



圖十九 2D 劑量分佈展示

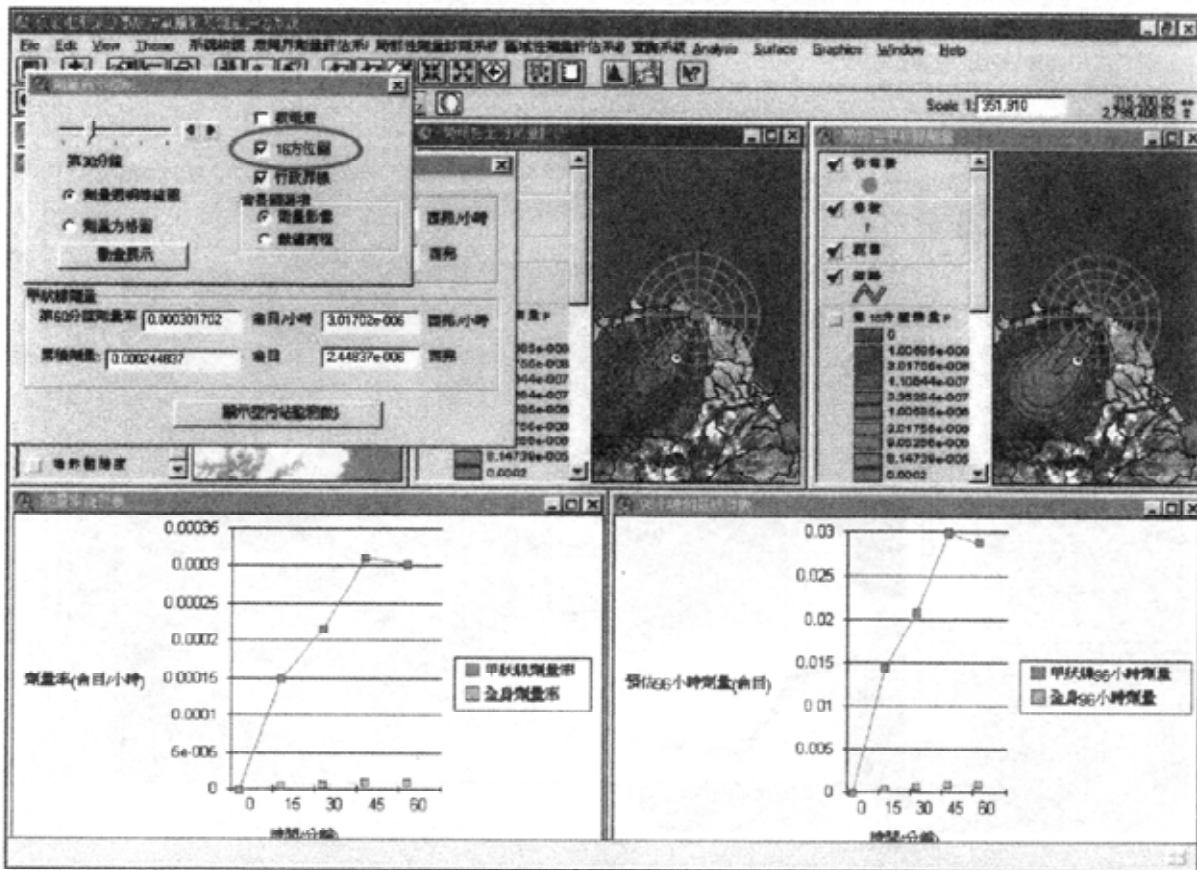
呈現，使用者可以任意對不同地點以滑鼠查詢其劑量值，例如圖二十為距核一廠西南南 4 公里處得出其劑量評估。在此圖形之下方呈現了此地點的劑量率（侖目/小時）或累積劑量隨時間（分鐘）之變化情形（圖二十）。

在展示選單中除了劑量展示控制，其他功能選項尚包括有民眾防護行動準則及立體動畫展示及風場展示，如圖二十一，圖二十二，圖二十三所示。

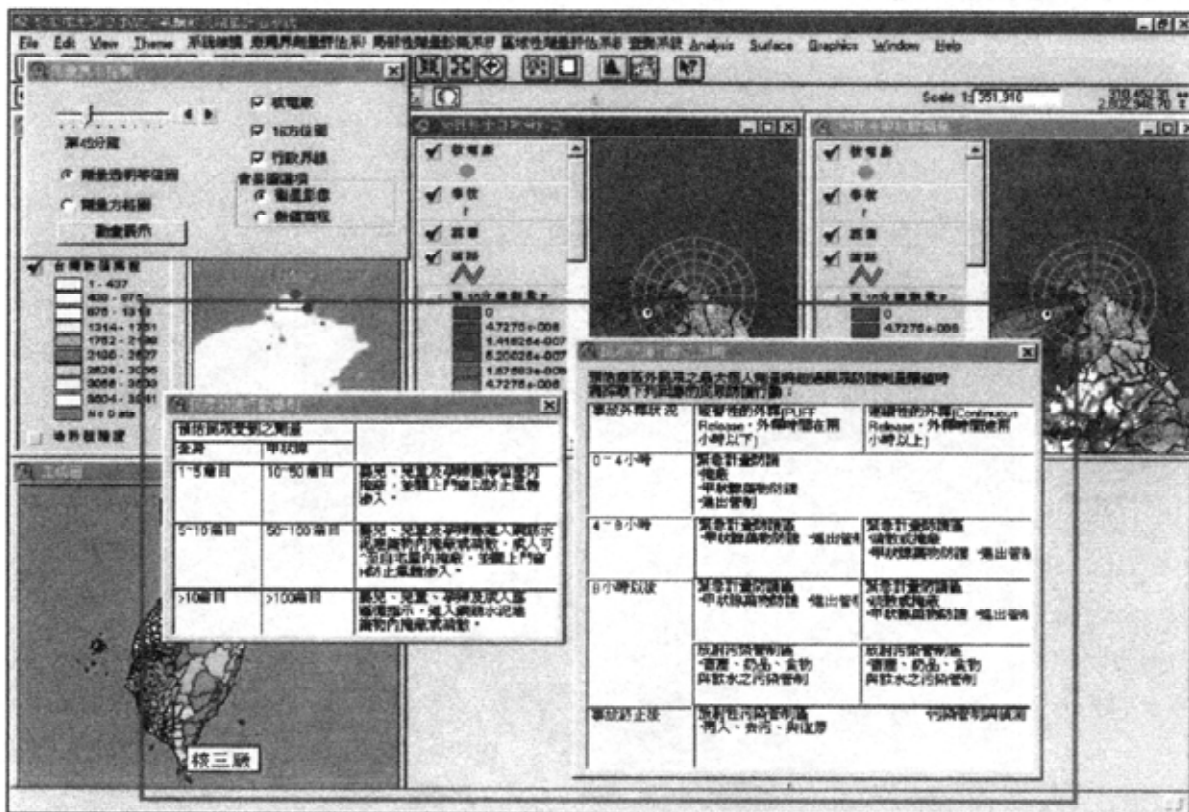
在「查詢系統」主選單下，包含了許多相關資訊的查詢功能，這些資訊包括了核電廠基本資料、核物質資料、廠內應變組織、監測站位置、醫療單位資料、消防單位資料、警察單位資料、人口資料、及學校資料等，圖二十四視窗右下角則顯示以人口資料之查詢。

陸、結 論

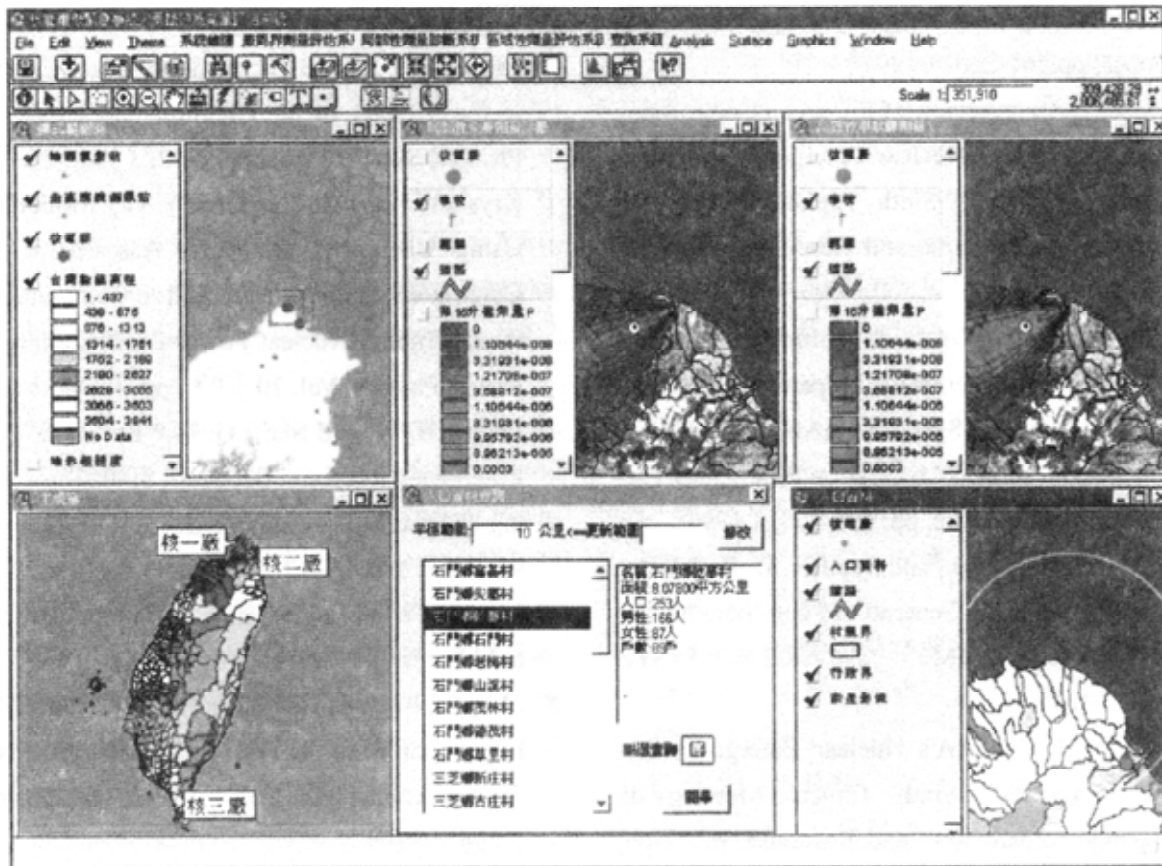
本研究以 GIS 軟體 ARC/VIEW® 為主要架構之系統操作平台，建立一即時核災緊急事故大氣擴散及劑量評估決策支援系統，其主要子系統包括了廠周界劑量評估、局部性劑量診斷、區域性劑量預報系統、及應變查詢系統。由於核災應變決策判斷需有強大之空間及屬性資料輔助支援，利用 GIS 對資訊處理及空間資料獲得 (Capture)、儲存 (Storage)、擷取 (Retrieval)、分析 (Analysis) 之功能，且可提供視覺化展示效果，並建立關連式資料庫系統。核災預防及應變工作的推行，需要眾多單位的資訊，所以單位間資料流通的能力為一重要考量，在災害實際發生時，救災資源調動及人員疏散均可透



圖二十 不同地點之劑量評估



圖二十一 民眾防護行動準則



圖二十四 查詢系統

過電腦網路及衛星通訊之科技完成，但依目前的科技仍必須考量相關單位之間的系統架構和資料格式的差異，若未事先整合規劃，則可能會面臨系統整合之問題。本系統經演習之實證後已可針對核電廠緊急事故，評估其洩漏之放射性核種可能對鄰近地區危害之影響，並且透過地理資訊系統的各種圖層資料與介面，展示簡易清晰美觀的視覺效果，以協助決策者迅速下達正確的民眾輻射防護行動，減少核災事故危害程度。

柒、參考文獻

1. Bonelli, P., Calori, G. and Frinzi, G., "A Fast Long-Range Transport Model for Operational Used in Episode Simulation. Application to the Chernobyl Accident", *Atmospheric Environment*, Vol. 26A, pp.252 3-2535, (1992).
2. Buines, P. G., "Upstream Blocking and Airflow OVER Mountains, *Annual Review of Fluid Mechanics*", Vol.19, pp.75-97, (1987).
3. Desiato, F., Finardi, S., Brusasca, G., Morselli, M. G., "Transalp 1989 Experimental Campaign-?. Simulation of 3D Flow with Diagnostic Wind Field Models", *Atmospheric Environment*, " Vol. 32, pp. 1141 -1156, (1998).
4. Eder, E., Dehos, R. and Schorling, M., "On-line Calculation of the Dispersion of Radioactive Substances in Air on the Basis of a Lagrangian Model", *KernTechnik*, Vol. 62, pp.227-231, (1997).
5. Ehrhardt, J. and Kelly, G. N., "The RODOS System : Decision Support for Off-Site Emergency Management in Europe", *Sixth Topical Meeting on Emergency Preparedness and Response*, pp.399-402, (1997).
6. Fodor, W. J. and Knoy J., "New Approaches in Integrated Planning for Responses to Accidental Releases of Highly Toxic or Radioactive Materials", *Sixth*

- Topical Meeting on Emergency Preparedness and Response, pp.261-266, (1997) .
7. Fraser, G., "An Overview of European Commission Projects Relating to Nuclear Emergency Preparedness and Response", Sixth Topical Meeting on Emergency Preparedness and Response, pp.49-52, (1997) .
 8. Gargett, J. and Appelbaum, J., "Information System for Radiological Emergency Preparedness - Comprehensive Software Systems Prove their Value in Action", Sixth Topical Meeting on Emergency Preparedness and Response, pp. 695-698, (1997) .
 9. Grell, G. A., Dudhia, J., and Stanffer, D. R., "A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5) ," NCAR/TN-398+STR , Dec., (1994) .
 10. Hicks, B. B., "NOAA's Nuclear Emergency Response Activities", Sixth Topical Meeting on Emergency Preparedness and Response, pp.61-66, (1997) .
 11. Hsie, E. Y., Anthes, R. A., and Keyser, D., "Numerical Simulation of Frontogenesis in a moist Atmosphere", Journal of Atmospheric Sciences, Vol. 41 (17) , pp. 2581-2594, (1984) .
 12. Hunt, J. C. R., Flow around Bluff Obstacles, In Flow around Bluff Bodies: Numerical and Experimental Approaches, Von Karman Institute for Fluid Dynamics, Lecture Series 1984-06, (1984) .
 13. Kuo, Y. H., Gyakum, J. R. and Guo, Z., "A Case of Rapid Continental Mesoscale Cyclogenesis. Part I: Model Sensitivity Experiments", Monthly Weather Review, Vol.123, pp. 970-997, (1995) .
 14. Karlberg, O., "Emergency Decision Support System in Sweden with Focus on Nuclear Accident", Sixth Topical Meeting on Emergency Preparedness and Response, pp. 591-594, (1997) .
 15. Kirsti, J., "Empirical Scavenging Coefficients of Radioactive Substances Released from Chernobyl". Atmospheric Environment, Vol. 25, pp. 263-270. (1991) .
 16. Konoplev, A. A., and Bulgakov, A. A., "Model Testing Using Chernobyl Data . (I) Wash-off of Sr-90 and Cs-137 from 3 Experimental Plots Established in the Vicinity of the Chernobyl Reactor", Health Physics, Vol. 70 (1) , pp. 8-12, (1996) .
 17. Kryshev, I. I. and Sazykina, T. G., 'Model Testing Using Chernobyl Data (II) Assessment of the Consequences of the Radioactive Contamination of the Chernobyl Nuclear Power Plant Cooling pond', Health Physics, Vol. 70 (1) , pp. 13-17, (1996) .
 18. Leung, S. W. and Start, G. E., "End-User Focused Emergency Response Support", Sixth Topical Meeting on Emergency Preparedness and Response, pp. 699-702, (1997) .
 19. Liu, H., "Wind Engineering: A Handbook for Structural Engineers," Prentice-Hall inc., (1990) .
 20. Maryon, R. H. and Buckland, A. T., " Diffusion in a Lagrangian Multiple Particle Model : A Sensitivity Study", Atmospheric Environment, Vol. 28, pp.2019-2038, (1994) .
 21. Oncley, S. P., and Dudhia, J. "Evaluation of Surface Fluxes from MM5 Using Observations", Monthly Weather Review, Vol. 123, pp. 3344-3357, (1995) .
 22. Saltbones, J., Foss, A. and Bartnicki, J., "Real-time Dispersion Model for Severe Nuclear Accidents, Tested in the European Tracer Experiment", Systems Analysis, Modeling, & Simulation, Vol. 25, pp.263-279, (1996) .
 23. Sherman, C. A., "A Mass-Consistent Model for Wind Fields over Complex Terrain", Journal of Applied Meteorology, Vol. 17, pp.312-319, (1977) .
 24. Sprague, R. H.Jr and Watson, H. J. (editors) , (1993) , "Decision Support Systems: Putting Theory into Practice", 3rd edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA.
 25. Seinfeld, J. H., (1986) , 'Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution', John Wiley, New York.
 26. Simiu, E. and Scanlan, R. H., "Wind Effects on Structures: An Introduction to Wind Engineering", John Wiley & Sons, New York, USA, (1978) .
 27. US Environmental Protection Agency, "USEPA Manual of Protective Action Guides and Protective

- Actions for Nuclear Incidents," USEPA/400R/9200 1. (1992) .
28. Verver, G. H. L. and De Leeuw, F. A. A. M., "An Operational Puff Dispersion Model", Atmospheric Environment, Vol. 26A, pp.3179-3193, (1992) .
29. Yeung, M. R. and Ching, E. M. K., "RADIS—A Regional Nuclear Accident Consequence Analysis Model for Hong Kong ", Nuclear Technology, Vol. 1 01, pp.123-1390, (1993) .
30. Yoshikawa, T. , Kimura, F., Koide, T. and Kurita, S., "An Emergency Computation Model for the Wind Field and Diffusion during Accident Nuclear Pollutants Releases", Atmospheric Environment, Vol. 24 A, pp.2739-2748, (1990) .
31. Zannetti, P., Al-Madani, N. "Simulation of Transformation, Buoyancy, and Removal Process by Lagrangian Particle Methods", Fourteenth ITM Meeting on Air Pollution Modeling and its Application", Copenhagen, Denmark. (1983) .
32. Zhang, D. L., and Fritsch, J.M. "A Case Study of the Sensitivity of Numerical Simulation of Mesoscale Convective Systems to Varying Initial Conditions", Monthly Weather Review, Vol. 114, pp. 2418-2431, (1986) .
33. Zhang, D. L., and Fritsch, J.M. "Numerical Simulation of the Meso-beta-scale Structure and Evolution of the 1977 Johnstown Flood. Part II: Inertially Stable Warm-core Vortex and the Mesoscale Convective complex", Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 44, pp. 2593-2612, (1987) .
34. Zhang, D. L., and Fritsch, J. M. "A Numerical Investigation of a Convectively Generated, Inertially Stable, Extratropical Warm-core Mesovortex Over Land. Part I: Structure and Evolution", Monthly Weather Review, Vol. 116, pp. 2660-2687, (1988) .
35. 王永壯，台灣北部海岸複雜地形下局部環流與大氣擴散之研究，台灣大學大氣科學研究所博士論文（1996）。
36. 楊宏宇，台灣地區空氣品質與天氣類型分類相關性研究，私立中國文化大學地學研究所博士論文（1993）。
37. 蔡清彥、童雅卿，1987：台灣南端地區局部環流之研究。大氣科學，15，1，69-88。
38. 蔡清彥、周根泉，1979：台灣北部地區局部環流及其北部核能電廠廢氣擴散之影響。國立台灣大學研究報告，35 頁。
39. 核能研究所，“核能電廠緊急計畫區評估”，民國八十二年七月。