

行政院及所屬各機關赴大陸報告

(赴大陸類別：開會、考察)

參加「2003 第六屆海峽兩岸空間資訊與防災科技  
研討會及考察」暨參訪中國科技大學報告

服務機關：內政部建築研究所

人 員：陳建忠 組長

張尚文 助理研究員

地 點：中國大陸

期 間：92年10月13日至10月22日

報告日期：中華民國九十二年十一月

I0 / 009205550

行政院及所屬各機關赴大陸報告摘要

赴大陸報告名稱：參加「2003 第六屆海峽兩岸空間資訊與防災科技  
研討會及考察」並參訪中國科技大學報告

頁數 124 含附件： 是  否

赴大陸計畫主辦機關：內政部建築研究所/聯絡人：陳蘅如/

電話：02-27362389 轉 341

赴大陸人員姓名：(1)陳建忠(2)張尚文

/服務機關：內政部建築研究所

/單位：(1)(2)安全防災組

/職稱：(1) 組長(2)助理研究員

/電話：06-2392755 轉 1203

赴大陸類別：1.考察2.進修3.研究4.實習5.其他（開會）

分類號/目：

關鍵詞：建築防火、防災科技

內容摘要：

本次係赴中國大陸安徽省參加「2003 第六屆海峽兩岸空間資訊與防災科技研討會及考察」以及參訪中國科技大學內的「火災科學重點實驗室」。本會議約 300 位相關人士參加，內容涵蓋衛星遙感領域應用及防災、減災等議題，本所代表在大會報告有關「都市空間地震

後火災及避難防制策略之研究」專題。此外並參訪中國科技大學「火災科學重點實驗室」，蒐集大陸地區建築消防領域火災實驗及設計規範最新動態，除積極宣揚台灣經驗外並與大陸專家學者進行交流。綜合本次參加會議及參訪歷程提出心得與建議。

## 目次

報告提要.....	2
壹、目的.....	5
貳、過程.....	6
一、計劃行程表.....	6
二、2003 第六屆海峽兩岸空間資訊與防災科技研討會內容.....	7
三、參訪中國科技大學—火災科學重點實驗室.....	8
四、大陸最新的建築防火與消防法規制度—性能法規的推動.....	42
參、心得與建議.....	59
一、參加 2003 年第六屆海峽兩岸空間資訊與防災科技研討會....	59
二、參訪中國科技大學—火災科學重點實驗室.....	59
附錄	
一、研討會會議日程表、發表論文摘要	
二、研討會論文摘錄	
三、活動紀錄	
四、中國科技大學火災科學重點實驗室簡介	



## 壹、目的

本計畫係依本所九十二年度派員赴大陸計畫預算，奉准派遣人員二名赴大陸地區參加「2003 第六屆海峽兩岸空間資訊與防災科技研討會及考察」並參訪中國科技大學，於九十二年十月執行。

本次計畫工作內容有二：(1) 參加「2003 第六屆海峽兩岸空間資訊與防災科技研討會」論文發表會。(2) 拜訪安徽省之大陸防火科技重鎮中國科技大學火災科學重點實驗室收集大陸最新火災實驗研究及設計規範等資料。預期達成目的有以下二項：

- (一) 就我近年防火研究成果與大陸地區相關專家交流，並建立未來兩岸防火安全及防災研究交流聯繫管道。
- (二) 蒐集瞭解大陸地區火災實驗及設計規範最新動態及實地考察，供未來有關法令研訂之參考。

## 貳、過程

### 一、計畫行程表

日 期	活 動 內 容	備 註
10月13日(一)	路程 參加 2003 第六屆海峽兩岸空間 資訊與防災科技研討會報到	台灣→香港→ 安徽
10月14日(二)	參加 2003 第六屆海峽兩岸空間 資訊與防災科技研討會及考察 行程	
10月15日(三)		
10月16日(四)		
10月17日(五)		
10月20日(一)	參訪中國科技大學	
10月21日(二)		
10月22日(三)	路程	安徽→廈門→ 香港→台灣

## 二、2003 第六屆海峽兩岸空間資訊與防災科技研討會內容

本次會議由「中國遙感應用協會」主辦，邀請海峽兩岸專家約 300 餘人與會，針對衛星遙感領域應用及防災等議題徵文並召開本次研討會議進行學術交流，於 2003 年 3 月發出徵文通知，截至 2003 年 7 月底，共收到論文 47 篇，其中：綜述 7 篇，遙感應用 14 篇，防災遙感應用與環境與城市遙感應用 16 篇，技術方法 10 篇，並自論文中擇優選取 14 篇進行三個場次的發表與討論，其第二場次由本部建研所陳建忠組長擔任主持人，本部奉派人員張尚文助理研究員並於第三場次發表「都市空間地震後火災及避難防制策略之研究」一文，會議議程表及發表論文如附錄一。

空間科技包含了衛星遙感、衛星通信定位等等。衛星遙感科技可以從太空中觀測到地球的各种數據，隨著科技的進步，它的應用也越來越廣，從天氣觀測預報、國土利用與資源調查、到災害監測與救援等等。

藉由這次會議，我們瞭解到了目前二岸衛星遙感產業化的發展與應用的情形、利用衛星熱紅外遙感與地震預報有關研究、震害遙感快速識別與損失評估以及震害分析有關研究、衛星動態監測有關研究等等。

有關「都市防災」與「建築火災」的防制研究，一向為本部建築

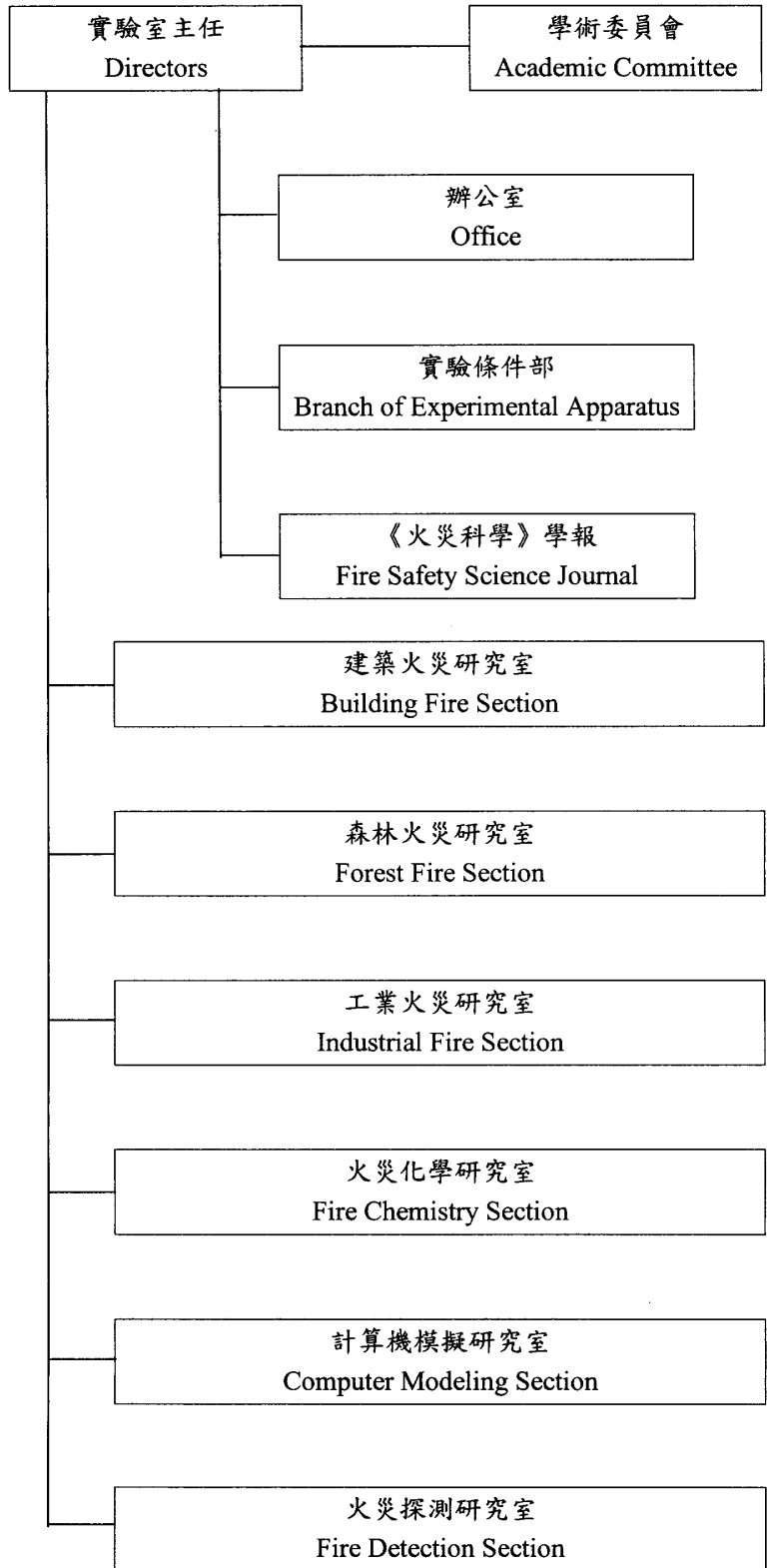
研究所安全防災組的工作重點，關於地震的預測技術、地震後都市火災的救助、地震後損壞情形與人員避難救助的即時研判、山坡地災害的觀測等等議題，如何應用空間科技的技術於災害前提供輔助預測的工具並在災害發生後能夠提供即時的資訊以利救災來提升防災救災的效能，確實有值得思考研究的空間。僅選錄衛星熱紅外遙感與地震預報研究、震害遙感快速識別與損失評估系統的開發研究、滑坡大比例尺寸紅外航空遙感綜合調查、中國航太技術的發展與應用等四篇論文於附錄二，可作為有關研究之參考。

### 三、參訪中國科技大學—火災科學重點實驗室

#### (一)、實驗室介紹

##### 1-1、概況

火災科學重點實驗室范維澄教授為亞澳火災科學技術學會主席、國際火災安全科學學會常務理事、曾任中國科技大學副校長；火災科學重點實驗室是利用世界銀行貸款和國內配套投資興建的，為大陸火災科學基礎研究領域唯一的國家級研究機構。1989年通過認證，1992年獲准邊建設邊開放，1995年通過驗收。實驗室現有固定人員33人，其中研究人員28人，技術人員3人，管理人員2人。實驗室學術委員會由14名專家學者組成。包含六個研究室，其組織圖如下：



## 1-2、主要研究方向與目標

### 1.實驗室宗旨

為火災安全重大需求和世界火災學科前途，研究火災動力學演化規律和火災防治關鍵技術，培養優秀人才，攀登世界火災科學高峰，為火災安全不斷做出基礎性、戰略性和前瞻性的創新貢獻。

### 2.研究方向

針對危害人類社會、自然資源和生態環境的火災問題，集中深入研究其共性基礎，即火災發生、發展的機理和規律以及防治工程技術基礎。

火災科學是自 1985 年以來國際上興起的一門新興交叉學科，火災的孕育、發生和蔓延過程包含流體流動、相變、傳熱傳質和化學反應，是涉及物質、動量、能量和化學組分在複雜多變的環境條件下相互作用的三維、多相、多尺度、非定常、非線性、非平衡態的動力學過程；災害的規律涵蓋確定性和隨機性；火災防治的基礎研究涉及火災因素與人、材料、環境、以及干預因素的相互影響。火災科學是一個科學問題集中、創新與經濟建設、社會發展及科技進步密切相關的有長期生命力的研究方向。其領域方向整理如下：

#### (1) 火災動力學演化

※ 可燃物表面及空間火災的發生與蔓延

※ 火災煙氣及其有毒物質的生成與傳輸

(2) 火災防治關鍵技術

※ 綜合性能優化的清潔高效阻燃技術

※ 火災早期的多信號感知與智慧識別

※ 物理化學複合作用下的清潔高效滅火原理

(3) 火災安全工程理論及方法學

※ 基於火災動力學與統計理論耦合的火災風險評估方法學

※ 火災安全性能化設計方法學

### 3.研究目標

建立體現火災複燃性與雙重性（確定性和隨機性）規律的理論模型，實現阻燃、探測與滅火等火災防治關鍵技術的持續創新；發展火災安全工程理論及方法學；成為具有國際水平的火災安全基礎研究和技術創新基地、火災和安全生產科技工作的重要思想庫，為火災防治工程共創“技術先進、設計安全合理、管理和應急預案科學化”的局面提供可靠的科學支撐。

(1) 深刻認識火災

主要包括：著火、火災蔓延和煙氣傳播；火災與環境或系統的相互作用；建立和發展火災過程的三維、多相、非定常、非線性、湍流、傳熱傳質和燃燒相互耦合的數學物理模型、電腦類比軟體和實驗裝

置。

## (2) 科學防治火災

將火災科學的理論與現代高新技術相結合，依據傳感技術獲得的火災資訊，運用體現火災規律性的智慧識別手段，判斷火災類型、規律和發展趨勢，做出火災防治技術實施的相應決策，實現無污染的智慧滅火。

通過研究火災發生、發展及防治機理和規律，建立起中國“火災科學”的學科體系，火災防治的新思想、理論、方法和系統，同時培養和造就一批從事火災科學研究的高水準人才，與中國火災防治部門攜手，使中國的火災防治工作達到有效性、合理性和經濟性的統一，抑制火災代價。

## 4. 主要研究成果

實驗室著力將火災動力學演化理論和防治技術的研究服務於國家火災安全的科技創新，已有豐厚的研究成果。

實驗室在大陸獲得多項科研成果獎勵，如：《大空間早期火災智慧監測與電氣火災隱患檢測系統》獲國家科技進步二等獎；《火災與燃燒的計算機模擬》和《林火行為規律的實驗模擬和計算機模擬研究》獲中科院自然科學二等獎；《二維拋物和橢圓形燃燒的理論模型》獲中科院科技進步二等獎；《油罐揚沸火災機理及其預測的研究》和《常



規和微重力條件下火災過程的計算機模擬》獲中科院自然科學三等獎；《計算燃燒學通用程式》獲中科院科技進步三等獎。此外，還有多項成果獲得省部級科技進步獎。近6年來，在國際重要刊物上發表論文405篇，其中SCI收錄132篇，EI收錄29篇，申請發明專利29項，其中授權3項，申請實用新型專利16項，其中授權10項。實驗室在火災科學基礎研究方面步入世界前列，近5年發表的SCI收錄論文數在世界火災科研機構中排名第二。

## 5. 實驗室的靈魂人物

### (1) 范維澄 教授

博士生導師，中國工程院院士，實驗室主任

研究方向：火災與燃燒的理論模型和數值模擬；火災科學的雙重性模型；非線性火災動力學；火災風險評估；火災安全性能化設計方法學；火災的阻燃與探測。



### (2) 廖光煊 教授

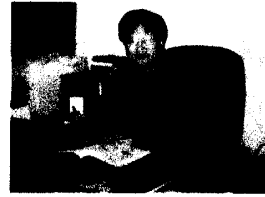
博士生導師，實驗室副主任

研究方向：工業火災動力學演化機理及預防控制方法；清潔高效滅火原理與技術；計算機輔助熱安全設計。



### (3) 袁宏永 教授

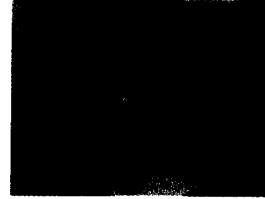
博士生導師，實驗室副主任



研究方向：大空間火災探測警報技術；圖像感煙技術和電氣線路與設備故障隱患在診斷技術等新型探測控制技術。

### (4) 霍然 教授

博士生導師，建築火災研究室負責人



研究方向：建築火災的發展與防治規律；煙氣的流動與控制；性能化建築防火設計。

## (二)、各研究室介紹

根據災害發生的場所、起因及災害防治的環節，實驗室分設建築火災、森林火災、工業火災、火災化學、計算機模擬、火災探測等六個研究室。

### 2-1、建築火災研究室 Building Fire

#### 1. 實驗室的規劃研究內容

研究建築物內表面及空間火災的發生及蔓延，包含可燃物的熱解及著火、火災增長與煙氣流動規律、閃燃、回燃等特殊火行為、火災煙氣毒性及對人員疏散影響、性能化設計方法。

另外，大空間火災綜合實驗平臺為中國科學技術大學與香港理工

大學共同投資建造，實驗平臺目前有煙氣控制系統、火災探測系統、噴水滅火系統、實驗量測系統以及小實驗室系統五大部分。其主要功能如下：

- (1) 研究方面：提供火災安全工程研究的基礎設施；進行大型排煙、通風、火災探測、自動噴水滅火系統的研究。
- (2) 教學方面：提高學生的實驗水平及科研能力；進行實驗教學。
- (3) 社會技術服務方面：評估大空間建築火災安全工程設計和技術的有效性；發展大空間建築的通風及排煙設計。

## 2. 研究方向

建築火災研究室主要針對與室內火災相關的應用基礎研究和技術開發。目前本室的主要研究方向包括：建築火災安全評估方法的研究、大空間建築火災規律與防治技術的研究、特殊火災現象的機理研究、火災蔓延的隨機性分析、可燃材料火災危險性評估、火災煙氣成分及毒性的研究、火與結構的相互作用以及火災早期特性研究等。

## 3. 研究領域

建築火災研究室以實驗研究為主，電腦類比分析為輔。從本研究室主要從事的研究方向來看，需要解決的主要科學問題涉及的研究領域比較廣泛。其中主要包括工程熱物理、電腦科學、安全工程、自動

控制、應用化學等。

#### 4.近幾年來本研究室研究的課題

(1) 北京隆福大廈火災安全分析

提供了分析報告，並編制火災危險分析軟體。

(2) 中國火災趨勢的若干分析

中國人民保險公司委託課題，提供了完成的分析報告。

(3) 火災煙氣流動水力模擬研究

為公安部科研課題，本研究室與上海消防研究所共同承擔，建立實驗台，開展若干典型試驗，提供了研究報告。

(4) 賓館式高層建築火災過程類比軟體

為中國人民武警學院委託課題，參考火災類比計算的結果，編制了該建築的火災過程類比軟體。

(5) 火災過程和防治中的熱物理問題研究

國家自然科學基金重點專案

(6) 火災中若干特殊火行為的研究

國家自然科學基金重點專案

(7) 大空間公用建築消防工程新技術綜合應用

國家“九五”科技攻關專案

(8) 中庭煙氣充填規律研究

香港理工大學委託專案

(9) 中庭內小室火災特性研究

香港理工大學委託專案

(10) 熱安全工程技術中心建設

香港理工大學合作專案

(11) 在空間火災煙氣控制研究

臺灣中山大學委託專案

(12) 城市火災演化機理與防治高技術

中科院高水準大學建設專案

(13) 火災煙氣運動及有害組分遷移規律

國家重點基礎研究專項經費資助專案

(14) 中庭式建築性能化防火設計方法及其應用的研究

國家“十五”科技攻關專案

(15) 奧運體育場館防火系統設計技術研究

科技部科技奧運專案

#### 5.技術優勢與特色：

(1) 建立一套完整的建築火災安全評估方法，擁有若干較為成熟的

計算程式，獨立編制大空間火災過程的計算與動態顯示軟體、

建築火災過程常用計算軟體和建築物火災中物品釋熱速率資料

庫。

- (2) 研究室負責的大空間火災實驗廳已建立了機械排煙、噴水滅火及火災探測系統，可開展大空間內火災燃燒特性和煙氣流動與控制的研究。
- (3) 研究室具有標準房間實驗台、五層建築模型樓、走廊模型、小室等多種建築形式的實驗裝置，可進行單室、多室、側室、走廊等多種不同建築結構內的火災蔓延和煙氣運動特點的研究。
- (4) 可進行火災早期特性研究：由本研究室完全自行設計研製的“火災早期特性實驗台”特色鮮明。整套實驗裝置包括：輻射加熱器、煙氣收集系統、測試系統、試樣盒等。其中輻射加熱裝置爐體均分為兩半，在加熱完畢後，爐體能向上對開，功率在 0~45 千瓦範圍連續可調。實驗操作期間，所有步驟均可遙控完成。與國際上同類型的實驗台相比較，具有實驗測試樣品量大、測試參數多等特點，更加接近於真實火災的情況，因而對早期火災的特徵描述更為準確。

研究室所採用的測試手段也很先進。包括有惠普高速資料獲取儀、高速圖形採集卡、熱像儀等。獨特的實驗裝置加上先進的測試手段，保證了研究室研究高水平。

6. 可提供的技術服務及感興趣的研究開發方向

- (1) 可為企事業單位進行火災安全狀況諮詢，提供專項分析報告。
- (2) 可與建築防火和消防等部門配合，對火災事故進行調查分析。
- (3) 可承擔有關研究單位的建築火災試驗專案。
- (4) 可為有關部門提供火災安全方面的教育、培訓及基礎試驗方法的指導。
- (5) 目前比較感興趣的研究開發方向包括：
  - ◆ 大空間內及超規建築物的火災發展規律的研究以及此類建築中的性能化防火安全設計。
  - ◆ 建築物所用可燃材料的早期火災特性研究。在建築物中，要廣泛的使用各種高分子材料。因此在考慮減少其火災危險性的時候，必須要對這些材料的火災早期特徵進行大量的研究。本研究室可以利用火災早期特性實驗台，測試諸如火焰面積、燃料失重、火焰溫度、煙氣溫度以及煙氣流量等，從而獲得早期火災特性的表徵參數，建立相應的資料庫，為建築物火災安全性能設計提供參考依據。
  - ◆ 煙氣毒物隨空間變化規律的研究，為火災人員的逃生提供科學的依據。

## 2-2、森林火災研究室 Forest Fire

### 1.實驗室的規劃研究內容

生物質材料熱解動力學、森林火行為動力學模型、森林火災中阻  
燃現象及其向明火轉化的機理、森林火災系統的自組織臨界性和複燃  
性、森林火災中特殊火現象的非線性動力學機理、基於地理資訊系統  
的森林火災撲救決策支援系統。

## 2. 主要研究方向、目標和內容

森林火災研究室的研究方向為研究森林火災發生和蔓延的動力  
學演化機理與規律，以及森林火災撲救輔助決策關鍵技術基礎。  
研究目標為：建立和發展中國森林火災大尺度預報、火行為預測和撲  
救決策支援的理論體系和技術基礎，為森林火災防治高新技術的研究  
開發提供可靠的科學支撐。主要研究內容為：

- (1) 森林火行為及動力學模型。重點研究不同燃料條件、來流條件  
和坡度條件下火蔓延動力學行為及熱量輸運過程的物理作用機  
制，建立火行為預測模型。
- (2) 森林可燃物熱解動力學。主要研究森林可燃物熱解動力學類比  
和熱解尺度效應，以及相關熱解動力學分析方法。
- (3) 森林火災的自組織臨界性。重點研究森林火災與環境因素、森  
林特徵和人為因素的相互耦合作用而產生自組織臨界性的機  
制。
- (4) 森林火災中陰燃現象的規律，重點解決陰燃向明火轉化過程的



條件和機理。

- (5) 森林火災中特殊火現象的非線性動力學機理。重點是火旋風的非線性動力學機理的初步揭示。
- (6) 森林火災撲救輔助決策支援系統。在上述理論模型的基礎上，以地理資訊系統為平臺，建立林火撲救決策支援模型和方法。

### 3. 承擔課題情況

在研專案：

- (1) 森林草原火災辨識、預測與火行爲，973 火災課題
- (2) 火災中若干特殊火行爲的研究，國家自然科學重點基金
- (3) 森林火災中地下火的陰燃特性研究，國家自然科學基金
- (4) 山地林火蔓延的複雜性研究，國家自然科學基金
- (5) 森林可燃物燃燒性與火燒技術實驗研究，十五攻關
- (6) 生物質熱解過程實驗研究，安徽省優秀青年科技基金

(2002-2004)

已完成專案：

- (1) 林火行爲規律的實驗類比和電腦類比研究，國家森林防火滅火基金
- (2) 火災過程和防治中的熱物理問題研究，國家自然科學重點基金
- (3) 生物防火林帶的防火機理研究，九五攻關

- (4) 森林火災早期特性與控制技術的研究，科技部中國-希臘政府合作專案（2000-2002）
- (5) 森林火災撲救決策支援系統，安徽省自然科學基金
- (6) 高山林火行為規律的研究，教育部
- (7) 平原丘陵林火行為與撲救輔助決策系統，林業部重點課題
- (8) 森林防火的投資效益分析，林業部委託橫向專案
- (9) 水陸兩棲飛機滅火的經濟效益分析，林業部委託橫向專案
- (10) 齊雲山風景區森林火災預測預報系統，橫向專案

#### 4. 技術優勢與特色

- (1) 森林火災研究室共有教授 2 人，博士後 2 人，具有博士學位的青年研究骨幹 5 人，擁有一支年富力強、具有開拓創新精神的科研與教學隊伍。
- (2) 在林火行為規律與預測預報研究方面已有相當的積累，取得了豐碩的成果。其中代表性成果有：
  - ◆ 針對生物質燃燒的先導過程—生物質熱解失重過程進行動力學類比，建立了描述恒升溫速率下森林可燃物熱解過程的“雙組分分階段一級反應模型”，並研究了可靠的熱解分析方法，在國際上首次證明近幾十年來廣泛應用的 Freeman-Carroll 熱解失重動

力學分析方法在確定反應級數參數方面不穩定性的根源，並給出了改進模型。

- ◆ 研究林火宏觀規律的自組織臨界性森林火災模型，綜合了真實森林火災系統的外界因素，構造出具有一般性的森林火災模型；對中國森林火災資料進行分析，首次證實了中國真實森林火災系統滿足自組織臨界性，並獲得了臨界性參數；發展了利用自組織臨界性森林火災模型類比防火隔離帶阻隔效果的數值方法，量化得到了防火隔離帶引起的有限尺度效應及其對火災分佈的影響規律。
- ◆ 實驗得出了森林地表火行爲與各種參數（包括可燃物的體積密度、來流風速、火焰高度、傾角以及火災焰溫度）之間的定量關係，建立了涉及流動、傳熱、傳質及化學反應的林火蔓延模型；創新構建“綜合點源模型”，發展出一整套估算森林地表火行爲特徵量的數值預測模型。

### (3) 所取得的省部級科研成果

- ◆ 林火行爲規律的實驗類比和電腦類比研究，中科院自然科學二等獎
- ◆ 林火行爲預測預報電腦圖形顯示、專家系統和專用計算器
- ◆ 木荷防火林帶的防火性能

◆ 安徽省生物防火工程體系建設及綜合效益研究

◆ 森林火災撲救決策支援系統

(4) 擁有一批自行研製的先進的實驗設備與配套測試儀器，包括大

型燃燒風洞、多坡段變坡度火蔓延實驗台、峽穀類比實驗台、陰

燃實驗台等。利用這些設備可以在實驗室內全面類比林區地形的

坡度變化、風速的變化等因素對森林林火行為的影響，還可對一

些特殊火行為如火旋風、地表火向樹冠火轉化進行類比研究。

(5) 擁有世界最先進的 GIS 系統平臺 Arc GIS 和國內最優秀的 GIS

開發平臺 Super Map 等多套地理資訊系統軟體，可建立森林火災

的預測預報系統。同時還可以利用 GIS 強大的空間資料處理功

能，進行森林防火管理規劃，包括生物防火帶規劃、林火監測規

劃、資源優化配置、火災撲救調度指揮等決策支援模組的開發。

研究成果可望從宏觀尺度對中國森林火災發生的頻率與面積進

行早期預報。

5. 可提供的技術服務

在 Internet 環境中建立以 Web GIS 為平臺的森林防火地理資訊管理系統，在資料庫的支援下實現林火資訊及其森林防火的各類事物的空間屬性和特徵屬性的結合，將極大的提高森林防火管理各環節的資訊查詢、檢索，製圖、標圖工作的速度和質量，進而實現電腦輔助

決策，提高森林防火的管理水平。

地理資訊系統不僅為森林防火的日常管理提供服務，而且當一旦發生森林火災，能夠實現森林火災的快速定位，及時瞭解詳實的火場及其周圍的地理和資源環境。在輔助決策系統的支援下，對火災發展趨勢、速度、強度進行準確預測預報，由此制定合理的撲火方案，實現撲火力量的最優配置，縮短撲火出動時間，提高撲火效率，把森林火災造成的損失盡可能地減少到最低限度。

系統的建立和使用將使得森林防火工作從傳統的經驗型的定性管理轉化為自動化、標準化、規範化的定量管理，極大的提高森林防火管理的效率和現代化水平，進一步提高森林防火決策的科學性、合理性。

## 2-3、工業火災研究室 Industrial Fire

### 1. 實驗室的規劃研究方向

研究工業火災動力學演化機理，構建重大危險源辨識模型，發展具有創新特色的熱災害控制技術，實現工業熱安全系統的優化設計。包括典型工業火災現象的模擬、熱災害診斷方法、清潔高效滅火原理與技術、計算機輔助熱安全設計。

### 2. 研究方向

工業火災研究室主要從事工業熱災害(工業火災及有害氣體洩漏

等) 機理及預防控制技術的基礎與應用研究, 包括: 工業熱災害事故過程類比仿真、電腦輔助工業熱安全性能設計、熱災害實驗診斷技術以及熱災害預防控制關鍵技術的研究與工程應用。

### 3. 承擔的課題

- (1) 油罐揚沸火災預防對策
- (2) 新型快裝防火水幕技術
- (3) 工業現場高溫油品洩漏火災早期預警系統研製
- (4) 可燃氣體洩漏安全預警技術
- (5) 大型儲油罐區消防安全工程及系統技術論證
- (6) 作業場所火災過程類比仿真技術及管理軟體設計
- (7) 細水霧與氣體滅火技術的研究
- (8) 工業作業場所火災防治的類比研究
- (9) 自動定位水系滅火系統的研究
- (10) 粒子圖像全場資訊診斷系統的研究
- (11) 反應性化學物質熱自燃危險性評價
- (12) BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions)災害的動力演化機理和防治技術

### 4. 技術特色和技術優勢

近十年來連續得到來自國家科技部、國家自然科學基金、中科院

以及石油、石油化工、有色冶金等重要工業部門支援的科研專案，取得了一系列重要的科研成果，諸如：研究和發展了具有創新特色的油罐揚沸火災預測方法及早期診斷預報系統，可燃氣體洩漏安全預警技術、新型防火水幕技術、清潔高效細水霧滅火技術以及自動定位水系滅火技術與系統等，對推動中國工業熱災害防治技術的進步有重要作用。同時，在工業事故的危險性評估方面也做了大量的科學研究工作，諸如危險隱患的辯識、事故發生的可能性分析以及事故後果分析，反應性化學物質在生產、運輸、儲存等過程的熱自燃危險性評估等。並且已建立了一套完整、直觀的常見可燃混合物火災爆炸事故後果的類比分析系統（包括毒物洩漏、可燃爆氣體洩漏等），其對工業過程的安全生產具有指導作用。

三維粒子動態分析儀（PDA-phase\_Doppler analysis）系統，該系統基於多普勒頻移和多普勒相位差原理，可以自適應地進行微粒大小的測量及三維流場速度的測量。

數位粒子圖像測速系統（DPIV-Digital Particle Image velocimetry），該系統利用自相關和互相關理論，可以即時獲取流場的全場速度資訊。

#### 5. 可提供的技術服務及感興趣的研究開發方向

面向國家重大需求開展應用基礎及應用技術研究；可為有關工業

部門提供相應技術服務，諸如，可應用於工業熱災害機理及預防控制技術的研究（工業熱災害事故過程類比仿真、工業熱安全性能設計、細水霧滅火技術、清潔高效氣體滅火技術、工業熱災害預警技術、反應性化學物質的熱危險性參數的確定、危險化學品火災爆炸事故後果評價及應急預案、化學工業重大危險源 GIS 管理系統、熱災害實驗診斷技術的研究與工程應用）。此外，PDA 技術及 DPIV 技術也可廣泛應用於能源、石油化工、交通、航空、航太、環保等領域的應用研究。

## 2-4、火災化學研究室 Chemistry Fire

### 1. 實驗室的規劃研究內容

本研究室致力於研究新型、綠色、高效阻燃劑和阻燃納米複合材料。主要研究方向包括：阻燃聚合物/無機物納米複合材料以及新型無鹵阻燃劑的分子設計、制備方法、結構控制、阻燃機理和綜合性能優化的研究；滅火技術及滅火機理的研究等。

### 2. 研究方向

火災化學主要研究火災過程中的化學問題。研究：納米複合材料、無鹵阻燃材料的製備、機理及性能；從納米尺度和分子水平上進行材料設計，建立阻燃納米複合材料分子設計模型和結構控制方法；綜合性能優化的清潔阻燃聚合物納米複合材料。

### 3. 承擔過的課題



- (1) 清潔聚合物/層狀無機物納米複合材料阻燃機理的研究。
- (2) 阻燃聚合物(工程塑料)/層狀無機物納米複合材料的研究。
- (3) 電纜防火材料(電纜防火塗料、防火堵料和防火包)的研製。
- (4) 超薄型鋼結構防火塗料、透明防火塗料的研製。
- (5) 阻燃中密度纖維板的研製。
- (6) 阻燃刨花板的研製。
- (7) 蛋白質泡沫滅火劑的研製。

#### 4. 技術特色及優勢

火災化學研究室針對現有聚合物材料易燃燒的特性，研究開發複合阻燃劑(基料)，其主要特點在於：

- (1) 利用化學方法將磷、氮、矽等元素有機結合起來，形成一種無機和有機相結合的高效阻燃劑，以及有良好的理化性能的複合阻燃基料；可以應用於聚合物材料的阻燃處理和防火塗料中。
- (2) 以水為溶劑，減少環境污染和降低產品價格。
- (3) 非鹵體系，減少材料燃燒過程的“二次危害”。

目前實驗室擁有根據國家標準設計的各類阻燃材料燃燒性能測試的儀器(如：氧指數、垂直水平測試儀器、點著溫度、防火塗料測試儀等)、德國 Netzsch 公司的 STA490 綜合熱分析儀、德國西門子公司的在線氣體分析儀、美國惠普公司的 HP5890A 氣相色譜儀、英國

Rhenometric 的熱釋放速率儀（錐形量熱計）。同時實驗室擁有常規的合成儀器及分析儀器。

5. 可以提供技術服務領域及感興趣的研究開發方向

- (1) 阻燃塑膠、阻燃橡膠、阻燃纖維。
- (2) 阻燃木材、刨花板、中密度纖維板。
- (3) 含磷、氮等元素阻燃劑的研製，阻燃劑的超細化及微膠囊化包裹。
- (4) 無鹵阻燃材料（如：電纜等）。
- (5) 各類防火塗料（如：鋼結構、透明、木結構等）。
- (6) 阻燃劑納米聚合物/無機複合材料的研製。
- (7) 阻燃材料的阻燃性能測試（如：防火塗料的防火性能、氧指數的測定、垂直和水平燃燒性能的測定、材料的熱分析、熱釋放速率的測定、氣體成分的分析等）。
- (8) 相關防火材料的研製及毒性分析。
- (9) 耐溫塗料及功能性塗料的研製。
- (10) 滅火劑的研製。

## 2-5、計算機模擬研究室 Simulation and Modeling

### 1. 實驗室的規劃研究內容

研究火災與燃燒過程計算基本方程、理論模型、數值方法、化學反應動力學、計算程式和仿真技術及其在科學、工程、環境和災害研

究等方面的應用。包括：先進的湍流反應流數值預測技術；建築防火數值預報專家系統；火災的場模擬、區域模擬和場、區、網複合模擬；體現火災確定性和隨機性規律相結合的非線性複合系統分析；可視化仿真及虛擬現實技術。

## 2. 研究方向

建立典型場所火災環境下人群疏散的理論模型及數值方法，探討疏導技術和疏導方式等因素對人員疏散規律的影響；研究小樣本火災事件的統計理論和典型場所火災動力學，發展基於火災動力學和統計理論耦合的風險評估方法和應用技術。火災與燃燒過程電腦類比是火災和燃燒科學研究的重要內容之一。

## 3. 研究領域

本研究室強調學科的系統性和完整性、基礎研究和應用研究相結合。側重研究有較大通用性的方程、模型、方法和程式。在火災和燃燒研究領域中，主要研究：建築防火專家系統；火災的場類比、區域類比、場區類比和場區網類比；林火和油火的多維數值類比；體現火災規律確定性和隨機性相結合的火災危險度評估及火災防治的經濟性分析，數值計算的視覺化仿真及虛擬現實技術。

## 4. 承擔課題情況

目前正在承擔的課題有：國家重點基礎研究專項經費資助專案子

課題：

- (1) 火災動力學演化與防治基礎—煙氣運動和燃燒毒物遷移規律研究。
- (2) 火災中聯合條件/標量與條件矩封閉類比。
- (3) 建築火災煙氣剪切流運動過程的研究。
- (4) 城市建築室內火災過程數值預測技術。
- (5) 奧運體育場館防火系統設計技術研究。
- (6) 濟南姚牆國際機場候機室煙氣蔓延場類比。

近年來已完成的研究課題主要有：高等學校博士學科點專項科研基金：建築火災煙氣剪切流運動過程的機理研究；江蘇省汽車工程重點實驗室開放基金：低碳烷烴湍流燃燒仿真技術；電站鍋爐燃燒過程的數值分析；0.5 大氣壓衛星對流流場分析比較，化學組分濃度分佈分析，航太飛行器座艙火災過程及其抑制的類比研究，空間站防火技術概念論證。

#### 5. 技術特色和核心技術優勢

在火災與燃燒過程的電腦類比方面，實驗室自行編制了具有國際先進水平的能體現三維數值計算的場類比程式 FAC3 和場區類比程式 LFZN，其程式功能較強，通用性較好。目前，該程式能類比定常或非定常、二維或三維、直角或圓柱坐標系、層流或湍流的，並能體現流

體流動、傳熱傳質、化學反應及其相互作用的火災與燃燒過程，其應用範圍較廣。同時，並擁有一批國際著名的計算流體 PHOENICS 等大型通用程式和虛擬現實建模工具軟體。在長期的科研工作中積累了豐富的經驗，具有一支高水準的科研隊伍。

#### 6. 可為企業提供的技術服務

在火災與燃燒過程的數值計算方面，可為企事業單位提供計算分析、教育培訓，以及相關的諮詢服務。在能源利用等領域的燃燒器設計和研究方面提供諮詢服務。提供火災安全性能設計的諮詢服務以及虛擬現實的建模和軟體環境方面提供技術支援。

#### 7. 近年來已完成的主要研究成果

火災與燃燒過程的電腦類比	中科院自然科學二等獎
二維燃燒過程的理論模型與數值計算	中科院自然科學二等獎
計算燃燒學通用計算和繪圖程式	中科院自然科學三等獎
常規和微重力條件下火災過程的電腦類比	中科院自然科學三等獎

## 2-6、火災探測研究室 Fire Detection

### 1. 實驗室的規劃研究方向

火災探測基礎理論研究、火災自動報警系統傳感技術研究、過程安全監控傳輸技術研究、自動滅火控制技術、消防通訊指揮系統、大尺度遙感火災監控技術。

火災探測研究室瞄準國內外火災探測研究的前沿，發揮國家重點實驗室先進的儀器裝置和技術優勢，結合多項國家級、省部級和企業單位的科研專案，致力於早期火災探測基礎研究和工程技術產品的開發與應用，將基礎研究和工程應用有機結合，形成富有朝氣、充滿活力的火災探測技術研究與高層次人才培養基地。

## 2. 研究方向

本研究室根據國民經濟和社會發展的需要，針對國家經濟發展中的重大關鍵性、先進性和共性的熱安全工程技術問題，著重研究火災早期各種特徵參量的變化規律和探測機理，積極開發新型探測控制技術並進行系統化、配套化和工程化創新性研究和系統集成，努力探索火災探測基礎研究上的創新和突破，為相關行業、領域發展中的重大關鍵技術問題尋求解決措施。研究室自成立以來一直致力於火災探測中的高新技術研究，包括火災探測技術及火災信號處理，火災科學多媒體仿真系統、CCD 圖像探測報警技術、圖像感煙技術、鐳射探測技術、紅外在線診斷技術、大型遠端複雜監控網的硬軟體的研究、水利系統大壩的安全反饋分析系統、科學視覺化在大壩等複雜大型建設系統中的應用。研究領域涉及火災探測技術、火災信號處理技術以及多媒體仿真技術、圖像型火災智慧探測報警技術、電氣線路及設備安全檢測技術、鐳射探測技術、紅外在線診斷技術、現代智慧控制原理、

方法及其在火災安全中的應用，從事單片機開發系統設計，遠端分散式控制系統，大型水壩安全監控系統研究。

### 3. 技術優勢與特色

本研究室以大空間建築火災的早期智慧探測和電氣線路及熱設備故障隱患在線診斷為主攻方向，以現代高新技術為研究手段，在 CCD 圖像探測報警技術、圖像感煙技術、熱安全診斷技術和智慧監測技術等領域均取得了可喜的成果，其中大空間火災探測報警技術、圖像感煙技術和電氣線路和設備故障隱患在線診斷技術均達到了國際先進水平，大型水壩安全分析系統也具有國際先進水平，在現場匯流排的大型遠端監控網研究和實踐中有一定的技術優勢。

### 4. 承擔課題情況

- (1) 二灘高拱壩安全監控及反饋分析系統
- (2) 新拓撲結構監控網可行性機理及可靠性和安全性研究
- (3) IDL 科學視覺化應用
- (4) 長沙五強溪水電站有線和無線的通訊系統、複費率電錶系統和單片機應用
- (5) 生產廠火災安全評估與防治技術
- (6) 高層建築火災類比較體
- (7) 森林資源及防火規劃資訊系統

- (8) 鐳射型圖像早期火災探測特性研究
- (9) Windows 版火災安全監控系統軟主控制項開發
- (10) 光電探測器燃燒特性分析
- (11) 大型聲、光、電監控仿真培訓系統
- (12) 智慧型火災圖像監控系統
- (13) 多通道火災圖像監控報警切換器
- (14) 自動定向滅火的複合式探測器
- (15) 基於燃燒學的煙草特性評價和炭化過程識別
- (16) 火災探測原理研究與實驗平臺
- (17) 智慧煙霧識別型火災探測新技術的研究與開發
- (18) 光聲火災氣體探測技術研究
- (19) 奧運體育場館防火系統設計技術研究
- (20) 吸氣式煙霧探測及工業 CCD 高溫測溫新技術研究
- (21) 火災早期的多信號感知與智慧識別

## 5. 研究成果

火災探測技術研究室自成立以來，積極履行實驗室制定的“立足基礎，注意應用，加強轉化”研究宗旨，先後承擔了國家科技攻關、國家部委委託專案、973 高技術專案以及知識創新及奧運體育場館等科研專案近 20 項。近幾年以來，申請專利 9 項，已獲授權證書 5 項；



鑒定成果 5 項，發表了研究論文 50 多篇，完成 2 項安徽省地方標準，編寫教材 1 本，國家科技進步二等獎 1 項，中國科學院科技進步三等獎 1 項，其他國內獎勵十餘項。其中“大空間內早期火災的智慧監測與聯動撲救系統”專案於 1995 年通過了安徽省科委組織的成果鑒定，鑒定委員會一致認為“該系統的設計思想和多項高新技術的集成方面屬國際首創，整體水平處於國際先進水平”，得到了公安部門的認可，並發文推廣該項技術。2001 年度“大空間早期火災智慧監測與電氣火災隱患檢測系統”通過多位元院士在內的專家組鑒定，該成果實現了大空間火災早期快速可靠報警和防火防盜監控一體化，對現行接觸式和強度型大空間火災探測技術產生重大創新，有效解決了大空間火災探測中嚴重誤報、遲報和漏報這一世界性難題，“整個系統在設計思想和多項高新技術集成方面屬國內首創，整體上處於國際先進水平”並榮獲 2001 年度國家科技進步二等獎。研究室在成果轉化上作出積極的努力，多項研究技術被應用於工程實踐中，致力於高大空間和特種場所的火災自動報警及防火滅火技術、熱安全診斷與防範技術等多個方面的研究開發和工程應用，成功地解決了包括中央電視臺和人民大會堂在內的許多國家級企事業單位的早期火災探測和自動監控問題，取得了良好的社會效益和經濟效益。

#### 6. 可提供的技術服務及感興趣的研究開發方向

- (1) 大空間及惡劣環境場所的火災探測報警技術。
- (2) 安全防範(防盜、監控)報警技術。
- (3) 電氣線路及設備安全檢測技術或檢測服務。
- (4) 火災及安全防範、熱安全診斷的軟體發展。
- (5) 現場匯流排大型控制系統的理論和實際應用研究。
- (6) 在複雜即時多工作業系統平臺基礎的 16 位元嵌入式微處理器應用的研究。
- (7) 大型水壩及遠端供水系統控制的研究。
- (8) 火災探測技術的研究及各種火災探測器性能的檢測。
- (9) 多媒體系統的研製開發。
- (10) 智慧煙霧識別型火災探測新技術的研究與開發。

## 7. 技術支援

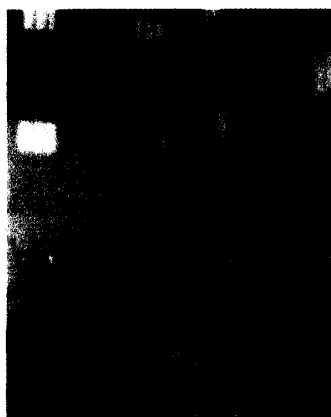
研究室現有研究人員 19 人，其中教授 2 人，副教授 2 人，博士研究生 5 名，碩士研究生 7 名。除了實驗室的實驗設備，如大型的五層模型樓、火災早期特性實驗台、3 MW 釋熱速率實驗台、80 W 輻射引燃實驗台、全尺寸典型客房火災實驗台、利用世行貸款和“211 工程”專案建設經費購置的三維鐳射粒子動態分析儀、340S 單色儀系統、錐型量熱計、紅外熱像儀、熱分析儀、熱通量計和燃燒成分分析系統等儀器設備之外，光電研究室的科研人員還自行研製多套火災探

測實驗儀器，如火災探測實驗台為火災探測的機理研究提供實驗平臺，FE/DE 火災探測綜合類比實驗台為火災探測器的性能測試與評價提供實驗條件，高溫實驗爐是研究輻射測溫和燃燒火焰流場測試的必備實驗工具，與香港理工大學合作共建的全尺寸七層樓大空間火災實驗廳是大空間火災探測與滅火技術的重要實驗基地，此外超級小型機及電腦工作站使所有電腦都可以快速聯通國際通訊網絡，通訊設施非常便利。

### (三)、主要儀器設備

火災科學是新興交叉研究領域，缺乏標準實驗研究設備。實驗室自行構思、設計和建造了火災模擬實驗設備和實體實驗系統，滿足了研究工作的基本需要，成為在國際上具有特色、能夠深入開展火災實驗的實驗室之一。

#### ● 大空間火災綜合實驗室

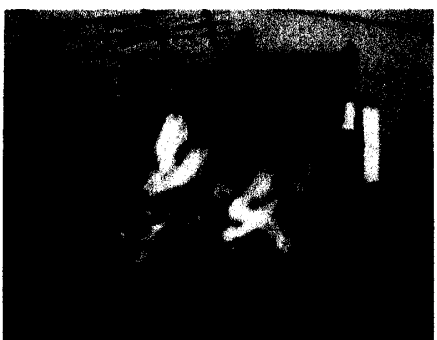


可以進行全尺寸的燃燒實驗，左圖為利用油盤點火燃燒，觀察在大空間中，煙霧沉降的速率。

● 大型燃燒風洞



利用大型風洞來模擬都市大火以及森林大火的情況，主要觀察火焰延燒與風的關係。左圖則為模擬山坡地火災，其坡地角度對於火焰延燒的影響。



● 全尺寸多功能熱釋放速率實驗屋



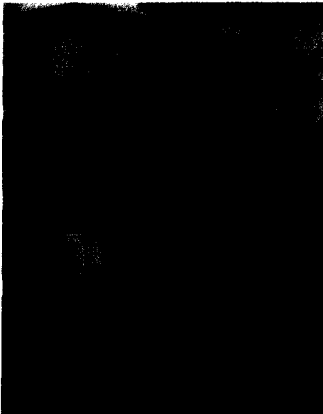
本實驗裝備主要進行 ISO-9705 房間實驗，可以模擬全尺寸房間燃燒時熱釋放的情形。

### ● 火災探測綜合模擬實驗平臺



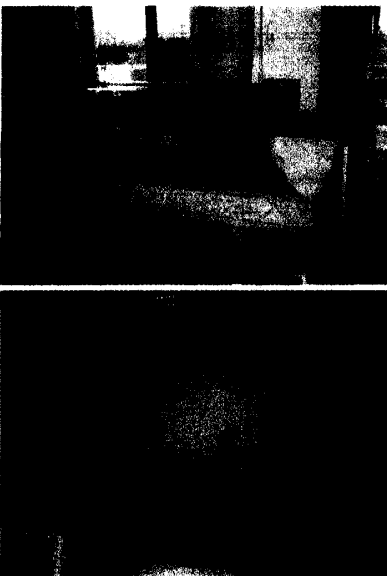
前端為控制設備。後方為火災探測器靈敏度的實驗裝置，在U型的風管內可以通過設定的熱氣流模擬火場的火源；於風管內的各種角度安裝探測器，來模擬安裝於建築物中的各種角度之探測器，觀察其作動的情形。

### ● 五層模型樓



圖為縮小尺度1/2的五層樓模型，其內有各種建築物的隔間，也可以使用不同的材料加以隔間，可以觀察隔間對於火焰延燒的影響。另一方面也可以觀察隔間與煙霧蔓延的影響。以及隔間對於探測器作動的影響。

### ● 細水霧滅火模擬實驗平臺（噴頭特性）



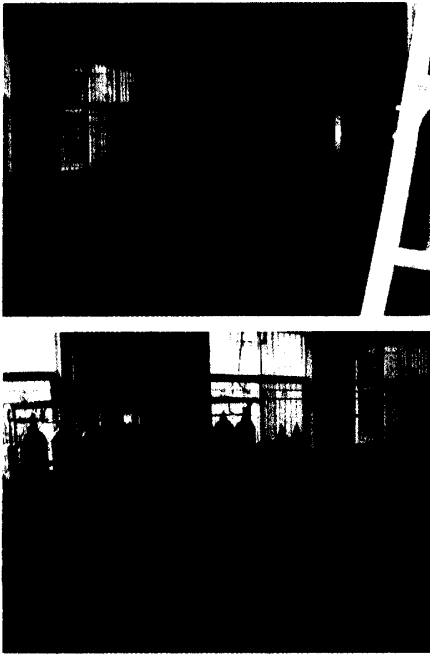
海龍因會破壞臭氧曾遭到禁用之後，大量人力投入海龍替代品的研究，其中細水霧被稱為最有潛力的產品，許多國家紛紛投入相關研究。細水霧量測系統最重要的三個部分為加壓系統、噴頭、量測儀器。

本部建築研究所於本（九十二）年開始採購設備準備進行該領域研究，因此細水霧設備為本次考察重點。

左圖為PDPA量測細水霧噴頭噴灑粒徑以及速度的設備。

實驗架鋪設海綿墊可以防止水霧回濺影響實驗結果。鐳射量測頭前端以投影片捲成桶狀可以防止噴灑中的水霧顆粒沾在鏡頭上而影響了量測結果，都是很好的經驗。

● 細水霧滅火模擬實驗平臺（滅火效能）



左圖為細水霧功能量測的實驗屋，約3M\*5M用玻璃罩隔開，可以進行密閉空間的水霧效能實驗。

針對低壓噴頭所採用的加壓系統為BUMP，對於高壓系統（基於經費穩定性考量）採用高壓氮氣加壓方式。

其他諸如排水、設備防潮、過濾（水霧噴頭極小易於堵塞）等等，都是長期經驗累積，逐步修改設備的成果。

火災科學重點實驗室還擁有如紅外熱像儀、三維鐳射粒子動態分析儀、錐型量熱計、單色儀、綜合熱分析儀、在線氣體分析儀、加速量熱儀、C80 微量量熱儀等科學儀器。

#### 四、大陸最新的建築防火與消防法規制度—性能法規的推動

（自中國科技大學霍然教授談大陸性能法規之推動整理）

在大陸開展性能化防火設計並制訂相應的防火設計規範是必然的趨勢，尤其是加入WTO之後，在建築防火設計方面，推行性能化設計方法也面臨著激烈的挑戰。但在實際開展這項工作的過程中，還應當採取積極而謹慎的態度，避免出現因兩種規範銜接不當或某些操作不當而出現影響建築消防工程質量的問題。性能化防火設計方法具

有相當大的靈活性，掌握恰當的尺度是一項科學性和合理性都很強的事情，為此應當認真研究適用於具體情況的切實可行的操作規程，且應建立強有力的監督機制。制訂大陸的性能化防火設計規範也應當是一個循序漸進的過程，為此在防火設計的工程工具、技術法規、監督管理及廣大設計人員的設計思想和理論知識等方面都需要進行大的革新，需要開展大量的基礎性研究。以下對在大陸發展性能化防火設計規範的進程做了初步分析，對如何建立性能化防火分析與設計的規程提出了一些建議。

### （一）大陸性能化防火設計的研究現狀

國際上對性能化建築防火設計方法的研究與討論，對大陸的消防安全管理部門、建築設計部門和火災科研機構已產生了重大影響。在火災安全工程學和性能化設計方法提出的初期，大陸的一些火災科研工作便給予了密切關注。他們一方面對火災過程的計算機模擬、火災風險分析及性能化設計方法本身的研究進展及時地進行了介紹；另一方面也認真研究與探索如何在大陸發展性能化設計方法及制訂相應的規範。

1986年，公安部天津消防科學研究所編寫了“火災模擬方法的發展”譯文集，較全面地介紹了當時國際上幾種有影響的火災計算機程式，並對美國建築與火災研究所編制的FAST程式在中國的應用作

了一些探討。在大陸的“九五”期間，天津消防科學研究所在分析國外有關程式的基礎上，開發了主要針對大型地下商場人員疏散的模型FEgress，該模型在考慮人流方面具有一些突出的特點。

中國科學技術大學火災科學重點實驗室充分發揮了高校的特點，在火災科學的基礎理論和防治原理方面開展了深入研究，將計算燃燒學的思想應用於火災過程的模擬研究，在建築火災的計算機模擬方面，率先提出了場、區、網綜合模擬新方法，並成功編制出場、區模擬方法相結合的綜合模型。該實驗室還與國際上多個著名的火災研究機構進行了廣泛溝通聯系，在1987~1993年連續召開了多次火災科學與消防技術的國際(或多邊)研討會，大大推進了大陸關於火災過程計算模擬和火災危險評估方面的研究。

在過去的十幾年間，曾多次召開關於消防新技術的國際討論會和報告會，這些會議的重要主題之一就是性能化防火設計，尤其是近幾年，北京、上海、合肥等地也舉辦了有關建築火災危險分析和性能化防火設計的專題研討會，並邀請了多名外國專家來華進行學術交流。

大陸的一些學術刊物在宣傳性能化設計方法方面也做了大量工作，例如《消防科學與技術》、《火災科學》、《消防技術與產品信息》、《中國安全科學》其他一些相關刊物也對性能化防火設計方法做了不少介紹。



公安部消防局和中國消防協會在組織領導消防科研與法規建設方面做了大量工作。1996年，“重大工業事故和特殊建築火災預防與控制技術研究”列入“九五”科技攻關項目計劃，對於其中的火災防治部分，公安部消防局組織了天津、瀋陽、四川、上海等四個消防科學研究所、中國科學技術大學火災科學重點實驗室和中國建築科學研究院防火研究所等單位參加，圍繞地下建築與大空間建築火災特性與控制技術研究、消防工程新產品新技術的開發及其在實際工程中的綜合應用等課題進行聯合攻關。這種合作研究的形式有力地推進了大陸性能化防火設計方法的發展。

近幾年，大陸內部不少專家對“超規”建築的消防設計問題開展了大量討論，大家普遍希望國家有關部門能夠對如何處理此類問題給出一定的說法。為適應這種要求，1997年公安部發布了《建築工程消防監督審核管理規定》(公安部第30號令)。其中第十七條指出：“對於大陸消防技術標準尚未規定的消防設計內容和新材料、新技術帶來的有關消防安全問題，應當由省一級消防監督機構或者公安消防局會同同級建設主管部門組織設計、施工、科研等部門的專家論證提出意見，作為消防設計審核的依據。”這實際上也為在目前情況下採用性能化分析與設計方法創造了條件。

為了跟踪該領域的國際發展動態、及時制定大陸的對策，在2000

年，根據第三屆全國消防標準化技術委員會的決定，成立了全國性的“消防安全工程學”工作組，並下設若干任務組。該工作組的主要任務是：

- (1) 收集、整理、分析國外相關資料。
- (2) 研究、提出中國消防安全工程標準的發展規劃。
- (3) 推進相關的火災基礎科學研究，開發建築物消防安全性能評估方法，建立基礎數據庫。
- (4) 研究制度性能化設計方法及相關標準。

這種協調機制使大陸性能化防火設計方法的研究又大大前進一步。

大陸“十五”科技攻關項目亦對大型複雜建築性能化設計方法的研究給予了更加有力的支援，與此相關的基礎研究工作必將得到較大的加強，有望提出一套初步適應中國國情的性能化防火分析與設計的規程。

大陸加入 WTO 後，火災防治事業也將面臨巨大的挑戰。大陸將在加入 WTO 的 3 年後，將向外商開放建築設計的部分領域；5 年後，將允許外資在大陸獨資開辦建築師事務所。屆時，國外的一些大型建築設計和火災安全諮詢公司勢必會大量湧進大陸，他們也必然會採用性能化防火設計方法來進行大型複雜建築的防火設計。北京成功申辦

2008年奧運會也對中國經濟和科技的發展起了巨大的推動作用，其中最明顯的是對大陸建築業發展具有重要的直接影響。一批新興的體育場館正在籌建之中，性能化防火設計肯定要在奧運場館的建設中發揮作用。大陸的火災科研與消防工程方面的人員，應當積極參與到這些大型建築工程項目的競爭中去，並在其中盡量發揮更大的作用。

總之，在大陸性能化防火設計方法已受到越來越多人的重視，發展與採用性能化防火設計已成為人們的共識，制定性能化防火設計規範也成為許多人談論的重要話題。現在已經到了認真研究在中國如何組織實施性能化防火設計與怎樣著手制定性能化防火設計規範的時候了。

## （二）發展大陸性能化防火設計規範的幾個問題

作為一種新的保證建築物防火安全的設計方法，性能化設計已經被很多國家廣泛使用，在大陸採用性能化設計方法也已經成為大勢所趨。不過推行性能化防火設計是一項龐大而複雜的系統工程，涉及的面很寬，影響的因素很多，應當採取積極而又慎重、穩妥的態度。在充分肯定這種新設計方法的優點的同時，還應仔細分析當前建築防火設計中出現問題的類型、性質以及性能化防火設計方法的適用條件，避免盲目追隨、倉促鋪開應用。在這一過程中，應當注意以下一些問題：

## 1. 正確認識現行規範的地位

大陸建築防火設計規範的研究起步比許多發達國家晚，不少國家級的規範是最近二十年間才制定出來的，這些規範對改進大陸建築物的防火安全發揮了巨大的作用。大陸幅員廣大，不同地區的經濟發展水平差別很大，而且不少區域的建築業又是從較低的水平起步的，絕大部分建築設計涉及的是普通民用建築和一般性的工業建築物，而對於這些建築來說，規格式防火設計方法仍然是適用的。

此外，還應注意到大陸的建築防火設計規範工作走上正軌的時間並不長，廣大建築防火設計人員，瞭解這種規範體系的時間尚短。因此目前對於大部分建築防火設計來說，重要的是應當強調嚴格執行現行規範，而不是急於用目前尚不夠完備的性能化設計方法全面取代規格式設計規範。輕易削弱現行規範的權威性和降低防火安全要求的做法都是不可取的。即使今後在大陸制訂出了性能化防火設計規範；但在一段相當長的時間內，規格式防火設計方法，還將存下去。

## 2. 客觀地認識兩種規範的優缺點

不可否認，規格式防火設計規範存在著不少缺點，主要表現在：

(1) 規範中有些規定過於死板，難以適應不同地區的具體要求。

大陸地域遼闊，東西南北差別較大，要求某些條文在各地都非

常適用顯然不切實際。

- (2) 這種規範不利於及時運用先進的消防技術。由於任何新技術的運用均需要經嚴格的論證和鑑定後才可投入市場，故而在規範上反映出這些技術的優點不可避免會有較長時間的滯後。
- (3) 規格式規範中不少規定不適用於許多特殊建築，有些矛盾還相當明顯。

此外，建築物是多種多樣的，不同的建設單位對所建項目均有其特殊的要求，不同的工程項目亦有自己特定的內部使用功能。按照規格式設計規範的條文要求，某些差別較大的建築可能採取幾乎一模一樣的防火要求，顯然這不符合火災防治的科學性、有效性和投資合理的統一。

但規格式設計規範也有許多突出的優點，規範的很多條文是根據大量經驗教訓或試驗數據總結出來的，在其規定的範圍內具有很強的可靠性，而且具有設計簡單、便於操作的優點。從某些方面來說，“照方抓藥”的方式是一種缺點，但從另一方面來說也不見得就完全是壞事，它可使設計過程相對簡化，而實際上在防火設計過程中很多細節問題是不需要逐一考慮的。這種設計方式的確限制了一些設計人員的創意自由，但也有效地約束了某些設計人員和承險人降低建築物消防要求的隨意性，尤其是制約了某些人擅自降低防火安全設計標準的傾

向。

事實上，現行的性能化防火設計規範也存在一定的缺點和不足，例如由於要求進行大量的定量計算，設計者必須具備相當堅實的關於火災安全的基礎知識，有些設計部分的計算所需要的時間較長，工作量大，設計方法不夠方便。因此，不能片面突出性能化設計的優點而忽略其存在的問題。

### 3.進一步分析消化國外的性能化防火設計方法和規範

火災安全工程學是當前國際火災科研領域的一個十分活躍的方面，每年都有許多新的論文或專著發表。同時，隨著大量新的建築工程項目的實施，性能化防火設計方法和步驟也日趨完善。因此，應當密切關注國外性能化防火設計的發展，系統收集與分析相關資料。對於某些國家頒布的性能化防火設計指南或規範，可組織有關專家翻譯出版，以供人們學習參考。此外，還應當有針對性地分析消化國外一些比較成熟的程式，以便更詳細、更全面地瞭解與吸取他們的經驗和教訓，探索在大陸實行性能化防火設計方法與制定規範過程中應選擇的最合適的途徑。

### 4.積極而慎重地支援性能化防火設計方法的應用

在大陸建築業的發展過程中，已經暴露出大量的使用規格式防火設計規範無法解決的問題。有的是正在設計的新型或特殊建築中

出現的問題，有的是對已有建築的防火安全檢查中發現的問題，也有的是建築物改造或重修過程中發生的問題。而這些超規範的防火設計均需要盡快解決，否則便會對工程的實施產生廣大的影響。

對於這類暴露出來的問題，可以根據情況分別列案處理。目前各地普遍採取的方法是召開專家論證會解決。的確，這是一種切實可行的解決方式，不過這種形式也要不斷改進。由於參加論證的專家的經驗和知識面均有一定的局限性，並且他們的知識還有一個不斷提高的過程，也就是說，進行火災危險評估時，不能單靠以往的經驗作判據(毫無疑問，他們的經驗是非常寶貴的)，還需要運用定量分析的手段，以求提高火災危險評估的科學性和準確性。

如何對待新建“超規”建築的防火設計是應用性能化防火設計方法的重要方面。實際上很多這類建築已經按規格式方法進行了設計，只是在建築防火審查過程中發現了問題或提出了問題。對此應當根據建築物的特點，選用合適的火災危險分析方法，採用典型示例論証的方式，建立工程設計要點，同時選用一些比較成熟的火災危險分析方法進行定量評估，並按嚴格的程式進行設計和審核以取得一些有益的運作經驗。

##### 5. 制定適應現階段需要的性能化防火設計指南

性能化防火設計具有很大的靈活性，其設計質量無法用一些明確

的條文來檢查和衡量，處理不好就可能使消防系統的質量難以控制。因此在大力支持採用性能化防火設計的同時，行政主管部門還應當制定一些適用的監督、檢查和管理辦法，或稱之為“性能化防火設計指南”，作為現階段開展性能化設計的技術指導。採用性能化防火設計的問題是無法迴避的，對其採取積極引導的方式一定會更有利於這一工作的開展。

#### 6. 為制定大陸的性能化設計規範做好準備

在大陸發展性能化設計規範需要相當長的時間，有關專家估計需要10年左右。從現在開始的過渡時期的各項準備工作便顯得十分重要。隨著火災科學和火災安全工程學研究的深入，以及大量實際建築工程經驗的積累，火災危險分析方法和性能化設計程式將會越來越完善、越來越實用，將這些工作認真組織好、規劃好，將有助於把中國的建築物火災危險評估工作提高到一個新階段，性能化設計方法也會很快為廣大，建築防火設計人員和火災安全管理人員所熟悉。在此基礎上，編制性能化防火設計規範便是水到渠成的事。

### （三）性能化防火設計體系的基本模型

在發展性能化防火設計時，一個非常重要的問題是需要研究適應大陸國情的性能化規範模型框架和基礎數據庫。

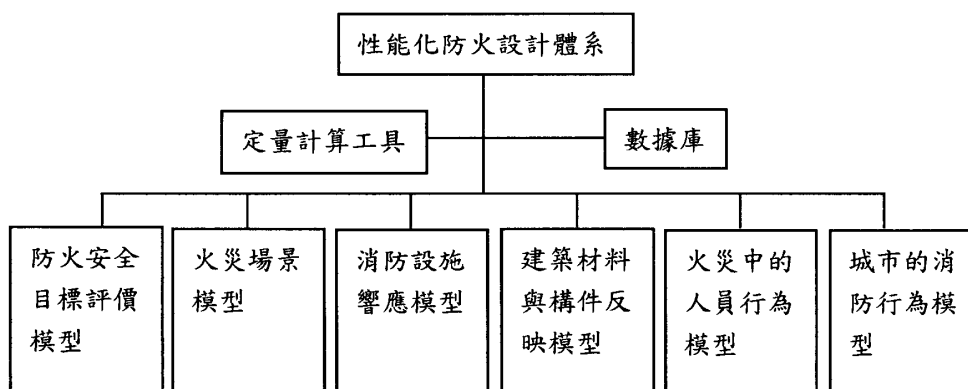
進行性能化防火設計離不開準確可靠的定量分析數據，而火災過



程的計算機模擬是一種主要的定量分析手段。性能化防火設計應當建立一個以計算機模擬分析為核心的綜合性的軟件體系，主要包括適用的定量計算工具及進行定量分析所需的數據庫，並且應當包括若干子模型(如下圖)。下面對各個子模型所涉及的内容分別做些討論。

### 1.防火安全目標評價模型

在不同國家及不同歷史時期中，建築物的防火安全目標是有較大差別的。應當在借鏡國外的性能化防火設計工程經驗的基礎上，設定適合本土化的防火安全目標，包括確定性能化設計的工程目標和性能判據、確定可接受火災風險水平、評估可能火災中的人員傷亡和財產損失，並對火災的發生概率和危害性、消防安全措施的有效性和經濟性評價(財產、人員、間接損失、火災代價)及依靠科技進步防災減災的效益做出分析。



性能化防火設計體系的基本模型

### 2.火災場景模型

設置合理的火災場景是開展定量分析的基礎，需要系統研究火

災孕育、發生和發展過程的理論模型，並將其與計算機模擬仿真技術(即虛擬現實技術)密切結合起來，以便人們能夠更直觀地瞭解火災的發展過程與特點。對於重要火災危險源的辨識應當進行更深入的研究，以便恰當地設定火災的熱釋放速率。此外還需客觀分析建築物的各種因素(如防火分隔、煙氣控制和滅火方式等)對火災發展過程的影響。

### 3.消防設施響應模型

為了確保各種消防設施能夠及時發揮應有的作用，還應分別研究火災監控系統(包括火災探測和報警系統、安全監控系統)、滅火系統(包括撒水或特殊滅火系統)和煙氣控制系統(包括送風、排煙、隔離等)的響應特性及作用，以及相關消防新技術的特殊響應模式等。

### 4.建築材料與構件反映模型

研究常用建築材料、建築構件及室內常用物體的火災安全性能，包括易燃易爆與有毒的物質、阻燃劑與滅火劑的性能，以及樑、柱、等建築構件的力學特性，尤其要仔細研究它們在火災環境中的性能變化。

### 5.火災中的人員行為模型

目前大陸在火災中人員行為的研究方面比較薄弱，需要大力加強。主要包括：研究不同群體的人對火災報警信號的響應模式、火災

過程中個人及人群的疏散規律、不同疏散誘導技術(聲、光)、不同疏  
導方式對人員疏散速度的影響以及人體的中毒極限和耐熱極限等。

#### 6.城市的消防行為模型

增強城市對火災等突發事件的反應能力是降低災害損失的重要  
保證。現在應重點研究基於計算機網絡技術、圖像傳輸技術、地理信  
息系統(GIS)和全球定位系統(CH)等現代化的消防通信指揮系統，並  
將其與消防隊在火災過程中的響應、滅火和救援行為的研究相結合，  
以大大提高城市預防火災與滅火救援的水平。

#### (四) 編制性能化防火設計規範的一些基礎工作

性能化防火設計是全新的建築防火設計方法。要使這項工作正常  
開展，需要許多的技術支援，尤其是在火災數據和計算工具方面需要  
有足夠堅實的基礎，否則難以進行深入的火災危險分析。綜合目前的  
研究進展，當前我們應當重點做好以下一些基礎性的工作。

##### 1.建立基礎數據庫

數據庫的作用是為風險分析與計算軟件提供必要的基礎數據。對  
於火災危險分析和性能化設計來說，尤其需要建築物內各類可燃物的  
燃燒特性和火災過程的數據庫。例如設定火災的熱釋放速率是進行模  
擬計算的主要輸入數據，只有當這一參數設定得合理時，才可能得到  
可信的結果。雖然現在已有不少試驗數據，但它們比較零散，而且如

何結合建築物的情況進行應用也有待研究。又如新型火災探測和滅火裝置或系統的功能參數、建築使用者的特徵參數等。與模擬軟件本身相比，數據庫有較大的動態性和實效性，因此應當注意隨時收錄新的設計參數和統計數據，而不必去改變整個數據庫的結構。

## 2. 研究方便適用的火災過程模擬程式

性能化設計的關鍵步驟是對建築物的防火安全目標進行量化的工程分析和計算，因此所選用的工程分析方法和用來進行分析計算的設計工具是性能化設計規範體系的重要組成部分。圍繞建築物的火災危險分析，國外已開發出相當數量的以計算機模擬和工程計算軟件為代表的分析設計工具，例如美國的 FPETOOL、ASET、CFAST、FDS 程式，英國的 JASMINE 程式和日本的 BRI 程式等；此外還有一些與性能化設計配套使用的綜合程式，如加拿大的 FIRECAM 程式、澳大利亞的 CESARE-RISK 程式及美國的 HAZARDI 程式等。這些程式為定量計算火災過程創造了條件。ASET 程式和 CFAST 程式等都是區域型模擬程式，計算功能主要局限在煙氣的蔓延方面，應用範圍也有一定限制，例如在計算大空間、大面積的建築火災時存在較大的誤差，而這類建築恰恰是需要根據火災性能進行設計的重點建築工程。

雖然大陸的一些科研部門對火災模擬進行了不少研究，在模擬思想的某些方面也有突破，但總的來說還沒有發展出完整的可供工程應

用的程式。這種情況勢必會影響中國性能化設計的發展，今後需要加強這方面的研究。

### 3. 建立適用的火災危險分析方法數據庫

性能化防火分析實際上是一種類型的危險分析，需要發展適用的分析方法。在航空、軍工、化工等行業，危險分析的研究工作開展得較早，並發展出多種分析方法，例如事故數、事件數、原因結果分析、危險與可操作分析、危險度分析等。這些方法對於辨識重點危險區域的分佈、瞭解危險源的特點及確定危險程度很有幫助。有的方法已在火災危險分析中得到了較好的應用，不過有些現成的方法對火災問題的針對性不夠強。因此應吸取其他行業的那些比較成熟的危險分析方法，並結合火災問題的特點，發展出更實用、更方便的火災危險分析方法，並建立相應的配套文件和使用說明資料。

### 4. 組建重點研究組及專家指導委員會

現在大陸很多人已認識到發展性能化防火設計的必要性，有些單位已投入一定力量開展有關研究，也有的單位開始在一些實際工程中應用這種方法。但應當注意到，目前相當一部分研究尚處於初期階段。這種情況長期存在下去顯然不利於性能化分析與設計研究的深入。主管部門宜有選擇地重點支援一些實力較強的研究組開展持續深入的研究。可以以重大科研項目為主軸，將有關力量組織調動起來，

協同發展，以便在一些關鍵技術上盡快取得突破性進展。

同時主管部門還應組建權威的專家組或專家委員會對性能化防火設計的研究和應用加以指導和監督，以推進性能化設計研究和應用的順利開展。

## 參、心得與建議

### 一、參加 2003 年第六屆海峽兩岸空間資訊與防災科技研討會

透過本次會議的交流討論，讓雙方對於衛星遙感技術與防災科學的應用有進一步的認識，衛星熱紅外線的技術可以應用於地震的預報、衛星也可以用來連續監測山坡地層移動情形、利用衛星照相可以於地震後立即評估交通狀況以及建築物受損的情形、利用衛星即時監測也可以在發生森林火災或者是地震後都市火災時提供最新的情報資料。這些技術都是以往比較少接觸到的，雖然說這些技術有些仍在發展中尚未十分成熟，然而相信未來這個領域的研究對於災害預防、災害救助會有很大的潛力。乃摘錄「衛星熱紅外遙感與地震預報研究」、「震害遙感快速識別與損失評估系統的發展研究」、「SAR 圖像在震害變化檢測中的應用」、「滑坡大比例尺彩紅外航空遙感綜合調查」等四篇論文摘要於附錄二，供作後續發展研究之參考。

### 二、參訪中國科技大學—火災科學重點實驗室

(一)科大近六年來在國際重要刊物上發表論文 405 篇，SCI 收錄 132

篇論文數在世界火災科研機構中排名第二。就科大與本部建築研究所台南防火實驗室（以下簡稱本實驗室）比較：

(1) 研究領域方面，本實驗室於 2002 年 11 月開幕，主要包含建築防火領域及消防領域研究。科大自 1995 年驗收，其研

究的領域較廣包含了森林、工業、化學等火災及電腦模擬研發等等。

(2) 設備方面，在建築防火領域而言，本實驗室的設備較科大新且齊全，如全尺寸耐火複合爐、門牆爐、10MW CONE 等等，充分顯示本實驗室的潛力。

(3) 人力方面，本實驗室正式編制人力不到科大 1/5，科大尚有博、碩、學士數百人投入研究。相較之下顯示雙方研究人力有相當大的落差，嚴重影響我們研究能量。除了希望擴編人力外，已積極整合國內各學校機構團體之建築防火消防研究能量

(4) 科大目前與英、美、法、德、加、日等十餘國均有合作協定，邁向國際化的腳步比我方積極，顯示我們亦須積極加強與國際間的交流，派員赴先進國家考察交流及邀請國外著名專家來台指導，爭取國際合作及實驗室相互認證的機制。

(二) 科大對於我們本次的參訪表示友善，並建議加強學術上的交流，近年來大陸與歐美先進國家交流密切甚於我方，投入之人力亦數十倍於我方，如能與大陸科學研究單位建立良好關係，對於雙方研究工作自能有所助益。考量海峽兩岸加入 WTO 後



貿易開放，亦應著手研究大陸消防防火建材規範與標準，進行

調和，俾未來雙方產品可以相互認證互相流通。

- (三) 大陸目前正積極推動建築防火性能式法規，大體而言，兩岸推動性能式法規的進度相當，應可加強雙方互動，相互交流推行的經驗。

# 附錄一

研討會會議日程表  
發表論文摘要

## 第六届海峡两岸空间资讯与防灾科技研讨会会议日程

2003年10月14日			
9:00~10:00	开幕式		胡如忠 朱子豪
10:00~10:30	合影		杨则东
时间	作者	论文题目	主持人
10:30~10:50	朱子豪	台湾地区资源卫星影像应用与推广	李瑞阳 刘侠
10:50~11:10	董超华	沙尖暴监测与预报试验	
11:10~11:30	王晓清、 吕金霞、丁香	卫星热红外遥感与地震预报研究	
11:30~11:50	朱子豪、王纯莹	运用热红外卫星影像于台湾浅层强震预报方法之研究	
11:50~14:00	午餐、休息		
14:00~14:15	李军	我国遥感信息产业化的探讨	蒋兴伟 陈建忠
14:15~14:30	李瑞阳、李正弘	实时淹水灾情 GIS 决策支持系统之研究	
14:30~14:45	李才兴、唐伶俐、 姜小光、胡坚	防洪减灾卫星遥感技术供需分析	
14:45~15:00	杨明德、王瑞德、 杨晔芬	河川数字化管理信息系统	
15:00~15:15	杨金中、聂洪峰、 李景华	浙江东部穿山半岛地区活动断裂遥感地质调查	
15:15~15:30	休息		
15:30~16:00	陈建忠、张尚文	都市空间地震后火灾防制与人员避难之研究	杨明德 杨则东
16:00~16:15	李瑞阳、郭秀玲	纹理分析于农地利用判释之研究	
16:15~16:30	朱子豪、李瑞阳、 张国桢、张家豪、 姜如忆	利用高解像遥测卫星影像辅助农作物耕作清查	
16:30~16:45	李瑞阳、庄佳文	应用遥测影像于水稻田判释研究	
16:45~17:00	李瑞阳、庄佳文	运用影像分割方法于高分辨率卫星影像土地类别判释精度之研究	
17:00~18:00	闭幕致词、签署合作备忘录		庄逢甘 朱子豪

# 都市空間地震後火災防制與人員避難之研究

A study on the urban fire protection and evacuation  
Behavior following the earthquake

陳建忠(Chen Cheng-Jung)\*<sup>1</sup> 張尚文(Chang Shang-Wen)\*<sup>2</sup>

## 摘 要

1999年9月21日台灣發生芮氏規模7.3級的集集大地震，二千四百餘人死亡，一萬餘人受傷，數以萬計的房屋損毀、倒塌，地震後24小時內共發生了66件火災，瓦斯外洩上百件。1995年日本阪神大地震，亦造成約7,000戶的房屋燒燬，都顯示出震後同時引發多起火災之發生率相當高，加上多起的瓦斯外洩事故，若不幸接觸火源，必定發生火災甚或爆炸而擴大延燒及造成重大傷亡。本文將對高度密集開發之都會區進行地震火災對策與規劃。另外，地震後災區有大量的居民如何在下一次餘震或二次災害降臨前移動到安全的處所避難也是本文的重點。

關鍵詞：地震火災、避難行為

## Abstract

On September 21, 1999, the Chi-Chi earthquake for rated 7.3 based upon Richter Magnitude Scale shook Taiwan. Within 24 hours after the Chi-Chi earthquake, there were 66 fire events and over one hundred gas-leakage events. 1995 Kobe earthquakes demonstrate the destruction potential. while Hanshin resulted in the loss of 7,000 buildings. Upon above reports, the problem of the large number of simultaneous ignitions exists. The suggestions and recommendations for the post-earthquake fire protection strategic plan of cities will be concluded in this study. And the planning of people's evacuation to a safe place after an earthquake will be studied also.

Keywords: earthquake fire, evacuation behavior.

---

\*<sup>1</sup> 陳建忠 政治大學地政系博士 內政部 建築研究所 組長

\*<sup>2</sup> 張尚文 成功大學建築系碩士 內政部 建築研究所 助理研究員

## 一、前言

### 1.1 緣起

1999年9月21日，芮氏規模7.2級921集集大地震使台灣遭受極大的創傷，根據消防署88年10月14日統計結果共造成2,412人死亡，一萬餘人受傷，房屋全倒26,831棟，半倒24,495棟，災害期間約有十萬人採取避難行動。

本次地震後陸續發生高達70餘件的震後火災以及上百起瓦斯外洩事故，對震災災情之擴大、人民生命、財產損失之增加均造成無比之衝擊。國外的案例方面，例如1994年發生在加州洛杉磯北嶺(Northridge)規模6.7級地震，從當天凌晨4時31分主震發生後到當日午夜為止，共發生約110起地震有關火災，且事後調查在地震後造成151,000起瓦斯外洩事件。1995年日本阪神地區規模7.2級之地震，從地震發生三日內共發生148起火災事件，造成燒毀面積達660,000平方公尺，受火災波及之建築物多達6,900棟並使350人死於火災。由上述相關資料發現，地震震後火災為最常見之地震發生後之二次災害，倘若同時發生瓦斯爆炸或都市大火，後果更不堪設想，因此本文首先探討地震後火災防制策略。

通常地震之後除了民眾心情的恐懼混亂以外，外在環境往往還伴隨著停電、火災、建築結構受損等不利逃生因素，都市高樓複雜化更造成逃生不易。因此地震災害發生後，民眾避難的行為，亦為本文探討的重點。

### 1.2 研究範圍與目標

本文是以台灣集集大地震為主要調查對象，並整理本研究所之研究研究成果及國內外有關文獻，預期目標為提出對於地震後火災防制以及人員避難之有關建議提供有關單位參考。

## 二、集集大地震調查結果之分析（節錄）

### 2.1 地震後火災調查分析：

比較日本阪神地震與台灣集集地震之調查結果，我們可以得到以下的結論：

- (一) 地震後72小時內的火災而言，阪神地震的統計有50.3%的震後火災在震後的1小時內發生，與集集地震的41%震後火災在震後1小時內發生，有其一致性。因此建議消防單位必須在震後1小時內，迅速擬定火災搶救計劃，將可減少震後火災延燒形成都市大火的可能。
- (二) 有關起火原因，電氣引起的火災在阪神地震佔起火原因的23.8%，集集地震也有27%，都是佔所有原因最高的比例，但是阪神淡路地震發生的背景為冬天，電氣起火率高應可理解，而921集集地震發生背景為夏秋交替之際，顯示台灣在電氣的不燃化設計上，有加強的空間。
- (三) 有關引火物的調查，阪神地震著火物最高的是都市瓦斯，佔27.5%，而集集地震瓦斯引火僅佔9%，應與台電的復電時間較晚及一般鄉村地區都市瓦斯管路並不普遍有關。因此，在都市瓦斯使用普遍的都會區，更應特別防範震後瓦斯洩漏所造成的火災。

## 2.2 地震後居民避難模式調查分析

在集集大地震一個月後，針對災區居民進行為期五天的訪談及問卷調查，調查結論整理如下：

- (一) 選擇避難所方面依次為，其他場所(41%)，學校(13%)及政府相關設施(12%)。設施完善之學校及政府設施並非民眾的第一選擇，值得政府相關規劃人員注意。
- (二) 民眾選擇避難所之傾向均為自家面前之道路、附近之空地進行第一階段的就地避難，待集合家人後，則找尋附近學校、停車場作為第二階段避難。
- (三) 民眾選擇避難所之理由依次為靠自宅較近、較安全、附近的人皆往該處避難。可供規劃者參考。
- (四) 民眾從屋內逃至屋外之時間為1-3鐘(40%)，10分鐘以上(24%)為高樓或房屋有受損或因恐懼不知如何是好者。
- (五) 六成以上的民眾於一日內即進入避難場所，可供避難處所規劃者參考。

## 三、都市空間地震後火災防制之研究

都市空間地震後火災防制策略其主要課題架構可分為「起火防制對策」、「初期滅火對策」、「火災擴大防止對策」與「預防防制規劃」等四個層次。

### 3.1 起火防制對策

地震時使用複雜機器及燃氣設備，危險物品及化學藥品等等，隱藏許多潛在的火災危險。即使平時感覺安全性高的東西，有時會因地震時的搖晃進而產生危險的案件很多。在這樣的現狀，仔細分析檢討發生火災的原因，隨著技術安全的提升加上加強法規建立安全對策，尋求提升居民之防災知識及防災行動力是必要的，地震後起火防制對策之要點如下：

#### 3.1.1 使用燃氣設備器具之安全化

目前在全國使用燃氣設備器具的數量極為龐大，若當地震發生時屆時這些燃氣設備器具發生火災的危險比率是相當高的。天然氣與液化石油氣普遍用於民生與工業用途，但由於易燃、易爆之特性，因此預防對策極為重要，例如：瓦斯輸氣管應留有餘裕值，以避免瓦斯桶因地震傾倒時，造成拉扯導致瓦斯外洩；又如瓦斯管線裝設自動監測感應遮斷器；或者宣導國人平時使用後隨手熄滅火種關閉瓦斯總開關…等等。

由本次集集大地震的調查發現地震時，多數之天然氣公司並未即刻停止輸送，造成多起瓦斯外洩事故，倘若不幸引燃火源，其後果將不堪設想。因此，對於此類場所，應加強要求其設置自動斷氣裝置，於地震規模達一定強度時，即自動斷氣停止輸送或罐裝，以確保安全。在震後欲供氣時，應先行巡視檢查輸送管路，並配合末端住戶及使用戶確認開關，確定無誤後，方可逐區開放供氣，以避免危險。

#### 3.1.2 危險物設施之安全化

危險物品設施不僅有發生火災的危險性更是造成延燒擴大的主因，隨著促進，強化耐震性、自主防災體制的整備、防災器材之整頓，加強出入檢查措施，有利改善防止火災發生及危險品流出。危險物品設施的種類例如加油站、化學工廠、煉油、瓦斯或天然氣等作業場所之保安對策尤應注意。例如最近(2003年9月)在日本北海道地震引發煉油廠大火，讓地震時危險物品設施安全化引發廣泛討論。

對於化學工廠等危險事業場所，因發生地震而伴隨而來之停電、停水等異常現象或設備本身損毀可能導致反應系的溫度及壓力急遽上升，急速反應而發生火災、爆炸危險。對於此類化學工廠，有必要加強其結構安全等級及強化內部設備之耐震性能。裝設地震及時通報系統，對於其他地方所發生地震規模達一定強度時，在地震波未到達之前，先行停止運轉或做好應變措施。至於貯藏大量危險物品之設施，則應做好各項設備之耐震設施、遮斷危險易燃物品洩漏裝置、平時並應做好安全管理訓練。

### 3.1.3 電器之安全化

除了使用安檢合格之電器設備外，要宣導民眾地震時隨手關閉使用中的發熱電器及火源。

### 3.1.4 共同管溝之安全化

一般共同管道係指設於地面上、下，容納兩種以上公共設施管線之構造物及其排水、通風、照明、通訊、電力或有關安全監視(測)系統等之各種設施。一些地震災例顯示，由於維生管線的損害造成極為嚴重的災情，並且日後的修復工作亦困難重重，因此世界先進國家均提倡共同管溝的概念。重要建議例如：使用耐震性管及耐震性接頭以提升管線設備的耐震性、共同管溝之內容物應使用不燃或難燃材料。另可建置電腦管路地圖系統，供相關事業使用道路時之工程設計、規範、施工、維護、安全管理及緊急事故處理之資訊檢索應用。

### 3.1.5 其他

- (一) 防範化學物品之起火對策，應注意化學藥品之管理、化學藥品容器傾倒摔落之預防措施、危險物品之混觸對策等等。
- (二) 超高層建築物及地下街之安全化。
- (三) 以安全檢查手段排除起火危險。
- (四) 民眾消防意識的提高，透過教育、宣導、演習等手段來達成。

## 3.2 初期滅火對策

為了防止地震時的延燒，確立防止火災及初期滅火對策是重要的。近年來在都市化的進展中，隨著密集市街地的構成及地震災害為主要的火災原因，即使徹底由此找出火災防止對策，仍預測出相當數量的火災發生。而且，依地震災害時的消防活動困難等原因，目前僅現有的消防體制是無法應付的，為了侷限防止延燒火災的發生次數，我們必須充實強化家庭、工廠及地區自衛防災體制，藉由防災教育、防災訓練來提高居民的防災行動力來確立初期消防體制。換言之，初期消防對策之制定必須是由硬體及軟體兩方面同時來進行。

### 3.2.1 消防安全設備之適用性

依據消防法關於防火對象所應設置的消防用設備，即使在地震時也必須充分能發揮機能，因此可朝防災設備功能之確保與提高設備可靠度及替代方案二方面進行。

- (一) 防災設備功能之確保：地震之發生可能破壞建築物結構及防災設備，因此附屬於建築物之防災設備如火警自動警報設備、自動撒水設備、緊急電源及等，皆可能因地震損毀而喪失設備原有之機能。
- (二) 提高設備可靠度及替代方案，則有採用耐震力高的設備、採用自立性高的設備、採用備份機器及雙回路配管、採用移動裝置及可搬機器之應急對策等。

### 3.2.2 初期滅火之器材開發與普及

在地震災害時為防止同時發生多處火災，不論是家庭或公司行號的第一時間滅火動作不可欠缺。一旦發生大規模地震必定造成建築物嚴重毀損，其附著於建築物本身之消防設備系統，可能無法發揮其原本應有之滅火功能。此時只能依靠人員，以手動的方式操作滅火設備去撲滅火勢，因此輕便之初期滅火設備器材的開發顯得格外重要，如何開發產品降低價格使普及化亦是當務之急。

### 3.2.3 民眾防災行動能力的提升以及事業單位自衛消防編組的強化

透過防災教育、訓練、指導的強化來提高民眾、工商業團體、自治會及民眾防災組織等的防災行動力，定期舉辦防災宣導活動及實施防救災演習供民眾觀摩。

## 3.3 火災擴大防止對策

都市的硬體構造逐漸大型化、複雜化以及燃氣使用設備之普及，為潛伏著災害發生及擴大的原因。像這樣的都市環境，即使預防火災及徹底實行第一時間滅火動作，仍可推測有相當數量的延燒火災之發生。

### 3.3.1 地區綜合防災體系的建立

- (一) 害防救組織(政府): 包含地方災害應變中心、緊急應變小組、地區災害防救計畫、政府與民間合作體制等等。
- (二) 志工組織(民間): 公益團體、義勇組織、睦鄰救援隊等等。

### 3.3.2 消防水源之整備

既存消防水源的機能維護，並考慮都市發展之地域火災危險，整備及開發震災消防活動時合巨大水量的消防水源設施。活用他用途水源和推動都市多元化消防水源確保對策。

### 3.3.3 災情資訊與通訊體系之整備與強化

在地震火災時可以推測所有通信線路會斷絕，在這樣的情形下，為了將同時多處火災、救助、救急事件所造成的傷害減至最低，確保通信暢通，確實掌握災害情報。透過聯結鄉鎮(市)、消防局、警察局、警察分局、相關公共機關之「災害應變綜合情報網路系統」之開發與運用，達成快速、確實之緊急應變，有關系統之內容及情報網路技術之發展，另外應充實強化各縣市鄉鎮間災害時無線電通訊體制。

### 3.3.4 其他

其他例如消防搶救災道路之確保、危險物品及液化石油氣之安全對策等等。

## 3.4 預防防制規劃

都市防災規劃仍應重視防制都市大火，設置延燒防止帶並確保災害時緊急道路及消防單位、消防用水救災功能的整備。

### 3.4.1 延燒遮斷與防阻

所謂延燒遮斷帶是指為了遮斷火災的延燒而構成帶狀的領域。該構成方法則是以河川、道路、鐵路、公園等的公共設施為主軸。對於延燒火災的對策，以小型分區來遏阻火災，與鄰接的分區來構成不曾擴大延燒的區域。

另外不燃化及難燃化也是重點之一，當地震發生引發同時多處火災時，在消防能力不足情況產生，就會造成餘火之延燒擴大，最可能變成大規模之都市街道火災之主因。都



市防火對策基本看法，是「杜絕燃燒的根源」；首要對策就是排除可燃物採用難燃材料、結構、設計空間等來阻止延燒擴大。

#### 3.4.2 防救災路線的整備

為防止都市因災害發生而引起的破壞，如看板倒塌、電線桿斷落等，形成道路的障礙，因而無法進行救援、輸送活動，因此規劃緊急道路網絡系統時，應考慮緊急交通路線得以連接主要交通動線、物資輸送網路、避難場所與主要公共設施(如醫院、防救災據點警察局及消防局)等之路線，道路寬度在15m以上為佳。另外排除道路障礙之設施平時亦應整備完妥。

至於避難路線設置原則，則以避難道路之配置狀況以2km格子狀之型態為最理想，避難道路為聯結各避難地，及連結臨時避難用之中繼基地或安全空地之路網結構。另外，防災公園綠地之規劃原則，應針對不同層級之防災公園作為串連避難路線之據點、發揮防止都市大火延燒阻斷之功能、提供不同層次避難場所，並可最為提供固定大量滅火水源之規劃，依規模大小可分為：

- (一) 廣域防災公園(中長期收容場所)：位置多位於市郊或市區邊緣，面積廣大，必需考量周邊主要道路可及性，面臨主要避難人潮方向設置一個以上之出入口。
- (二) 地區防災公園(臨時收容場所)：因位於市區中，為確保安全性之避難空間，公園周遭與潛在災害發生率較高之市街地間應有緩衝林帶，以形成延燒阻隔斷帶或阻擋落下物可能帶來的傷害。
- (三) 社區、鄰里防災公園(臨時避難場所)：位居社區中但面積不大。
- (四) 一般鄰里公園及道路(緊急集合場所)。

### 四、地震後人員避難

地震後有大量活著的居民因房屋倒塌、擔心餘震、維生管線破裂，需要就地或移往安全處所避難及安置，調查結果顯示許多災民在驚恐的情緒下不知所措。地震災後僅靠政府的人力來救災及引導避難力有未逮，因此預先做好避難規劃教育民眾，讓民眾於災後自動投入救災與避難實為重要。

依地震災害的時序為主軸來討論，可分為地震初期、緊急應變期、應變救災期、清理期、及復舊期等五個階段。

- (一) 地震初期：應震災發生的數分鐘內，人員尋求緊急躲避的場所，屬於個人自發性避難行為，建築物的人員則逃往建築物外。可於基地內開方空間、鄰里公園、面前道路緊急集合。
- (二) 緊急應變期：引導民眾往鄰里公園、廣場、大型空地，主要收容暫時無法直接進入收容場所之避難人員，其以等待救援方式，經由引導進入層級較高之收容場所。
- (三) 應變救災期：主要提供大面積(1公頃)以上之開放空間作為安全停留的場所，提供簡易醫療站簡易防風雨設施，待災害穩定後進行必要之避難生活或返回自己的房屋。
- (四) 清理期及復舊期：此階段提供學校、社教機構、醫療衛生機構為中期(3天到一週左右)的避難場所，對於房屋全倒需要較長時間重建的民眾，以臨時組合屋之方式提供簡易一般居家生活機能，可考慮安排在廣域防災公園或其他大型廣場集中管理。

## 五、結論

### 5.1 地震火災方面

從相關震災文獻顯示，震後火災的發生似乎無法避免，主要的差別只在於範圍大小及件數多寡而已，因此震後火災的防治對策與規劃就顯得格外重要。除應結合「地區防災計畫」及「都市計畫」統籌規劃外，在執行作法上的硬體方面，應注意消防設施，消防水利的充實整備、延燒遮斷及防阻相關設置的建設、避難生活區及避難地的規劃、防救災路線的確保。在軟體方面應實施防災教育、訓練，提高市民防災意識及防災行動力、自主防災相關措施的推動、制定防止起火之相關規則、健全確認防救災體系等等。其要點整理如附表 6.2。

### 5.2 地震後避難行為方面

基地內的避難行為有關火災避難評估法所考慮的要素可作為地震避難行為研究之參考。基地外的避難與引導，政府單位宜將規劃成果透過各種管道教育民眾，以期地震之後，政府與民眾的救援與避難行動得以密切配合，讓傷亡及損失減到最低，規劃建議如表 6.1。



6.2 都會地區地震後火災防制策略規劃範圍與目標整理表

課題	項目	計畫期程
起火防制對策	使用燃氣設備器具之安全化	短期
	危險物設施之安全化	短期
	防範化學物品之起火	短期
	電器之安全化	中期
	共同管溝之安全化	長期
	超高層建築物及地下街之安全化	短期
	以安全檢查手段排除起火危險	短期
	消防民力運用	長期
	民眾防災意識的提高	長期
初期滅火對策	消防安全設備的適用性	中期
	初期滅火之器材開發與普及	中期
	民眾防災行動能力之提昇	短期
	事業單位自衛消防組織的強化	中期
火災擴大防止對策	地區綜合防災體系的建立	短期
	消防水源之整備	短期
	災情資訊與通訊體系之整備與強化	短期
	消防搶救工作體系之整備與強化	短期
	消防搶救救災道路之確保	長期
	危險物品及液化瓦斯之安全對策	短期
預防防制規劃	延燒遮斷與防阻	中期
	防救災路線的整備	短期
	消防救災功能的維持	中期
	避難規劃	中期

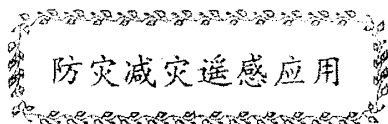
計畫期程以 0-3 年為短期、3-5 年為中期、5 年以上為長期

#### 6.4 主要參考文獻

- \*1. 何明錦、簡賢文，2000。都市空間大量人員避難行為模式之建構，本所研究報告。
- \*2. 簡賢文、江崇誠、曾平毅，2001。都市空間大量人員避難行為模式之建構（三）-以大型商業設施為對象，本所研究報告。
- \*3. 熊光華，2001。都會地區地震後火災防治策略規劃之研究，本所研究報告。
- \*4. 蕭江碧等十三人，2002。建築防火有關性能式設計法建議草案與案例解說，本所研究報告。

## 附錄二

### 研討會論文摘錄



# 卫星热红外遥感与地震预报研究

王晓青 吕金霞 丁香

(中国地震局分析预报中心, 北京 100036)

**摘要:** 卫星热红外遥感预报地震在过去 10 多年逐渐引起国内外的广泛关注。红外遥感预报地震将卫星技术、地震分析预报方法以及地面地震综合观测技术、遥感岩石力学实验等多种技术手段相结合, 对地震成因、地震前兆机理研究提供了新的思路, 对地震观测系统的构建组织及其预报方法的研究, 必将产生积极的影响。本文综述了该领域的研究历史、现状、存在问题及发展方向。

**关键词:** 卫星热红外 地震预报 前兆机理

## 1. 引言

我国地震工作者经过 30 多年的地震监测预报实践, 已经认识到地震在孕育过程会引起地球介质中一系列物理和化学变化(即地震前兆), 并在一定程度上掌握了地震前兆的规律, 实现了 1975 年辽宁海城 7.2 级大地震等的成功预报。同时, 人们也认识到地震前兆的复杂性, 需要开展大范围、长期连续的、尽可能密集的前兆观测和深入的理论研究与实验工作。我国虽然已经建成了 400 余个专业地震前兆台站和近 500 个地方地震前兆台点, 但离国家和人民对地震预报和防震减灾工作的需求相比, 还有很大的差距。

空间对地观测技术具有大范围空间连续观测、高空间分辨率、高时间分辨率、高精度、多观测手段等明显优点。空间对地观测技术包含了从可见光到超红外的各个电磁波监测波段, 能够给出地表乃至一定深度地下的电磁波辐射、红外热辐射、温度场、地形变场等的变化信息, 而这些物理量的微动态变化极有可能构成大地震孕育的前兆信息场。卫星热红外技术应用于地震预报的研究与实践, 正是在这样的社会需求和技术发展背景下逐步开展起来的。本文着重叙述了红外遥感预报地震的研究进展。

## 2. 热红外遥感与地震预报

强震震前和震时出现电磁辐射的现象, 被许多国家的科学家观测到, 并引起广泛的重视。其中, 电磁辐射的波长或频率范围覆盖了很宽的范围, 地震观测与研究较多的频段包括: 热红外(8~14 $\mu\text{m}$ )、微波(8mm~10cm)、超低频、低频电磁波(ULF, ELF, VLF)等。既表现了震前电磁波辐射的普遍性, 又由于不同频率电磁波特性的差异, 表现出不同的地震前

兆特征,从而可能蕴含了不同环境与不同类型的地震在孕震过程不同阶段的特点。因此,研究电磁辐射与地震的关系,具有非常重大的理论和实践意义。

国际上利用卫星热红外图像进行地震短临预报和利用微波辐射计进行地震短临预报的工作以往开展较少,通常是利用电磁波监测预报地震。如法国计划在2004年4月发射的用于监测地震电磁信号的卫星(DEMETER),将重点研究电离层扰动与地震活动的关系及其成因机理。俄罗斯的普列维斯特-e号卫星(即地震预测卫星)以监测震源区上空200~450 km处电离层电子浓度、电磁波反射频率及电磁辐射参数异常为主,用于在地震发生前的2~48小时内发布地震预警。

在卫星热红外方面,以Горный(Gorny, 1988)等人为代表的前苏联科学家发现,中亚地震区中大多数4级以上地震之前都伴有近地表热红外辐射的异常图像。Tronin(1996)用10000景NOAA卫星热红外影像,对中亚地震活动带进行了研究,得出了热红外异常与中亚地震活动带之间具有统计相关性的结论。在活动断层表面存在着稳定和 non-稳定的热红外辐射异常。异常的空间分布具有局部性,一般为几万 $\text{km}^2$ 、异常时间可持续2~10天,而异常的总体特征可与大区域气象因素造成的大气层热辐射变化特征相区别。

卫星热红外遥感研究表明,1988云南澜沧7.6级地震(徐秀登等,1991)、1989年大同5.7和6.1级地震(强祖基等,1990)、1990年青海共和7.0级地震(强祖基等,1992)、1990年江苏常熟东部5.1级地震(强祖基等,2000)、1996年云南丽江7.0级强震(强祖基等,2000)、1997年新疆伽师 $M_s$ 5.4级地震(李玲芝等,1998)、1998年张北6.2级地震(吕琪琦等,1998,2000)、1999年台湾南投7.6级地震(孔令昌等,1997;徐秀登,2000)等地震震前均出现了增温异常。一些学者依据增温异常,对部分地震进行了成功的预报。

罗灼礼、刘德富等采用AVHRR观测的地-气系统射出长波辐射(OLR)进行地震预报研究。通过研究分析1975~1985年我国区域长波辐射数据资料发现有64%的中强以上地震发生前1个月,震中处于长波辐射的增强区,特别是其间的1976年云南龙陵7.4级地震、1976年唐山7.8级地震、1976年四川松潘7.2级地震、1985年新疆乌恰7.4级地震等大地震前1个月,震中及其附近的长波辐射强度都达到历史同期的最高值。1989年美国旧金山7.1级地震、1995年日本阪神7.2级地震、1997、1998年伊朗7.1级和7.4级地震等强震前同样出现热辐射增温异常特征(李宣璐,1998)。冯蜀青(2002)应用AVHRR资料研究表明,2001年11月14日昆仑山口西8.1级地震前1个多月,震源区周围( $10^\circ \times 10^\circ$ )出现OLR异常。因此,采用多年月平均OLR值作为背景值,计算出各年逐月的OLR月平均距平值空间分布及其时间变化图像,判断OLR异常,成为一种预报地震的方法(刘德富,1997;康春丽,2001)。

我国一些省级地震部门已开展了卫星热红外遥感预报地震的研究与实践,并取得了一些成果。

1999年台湾南投7.6级地震后,我国台湾地区的科学家(如朱子豪等)也开展了卫星热红外遥感预报地震的研究与实践,并取得了初步的成果。

### 3. 热红外遥感与地震预报

在卫星热红外波段遥感中,所观测的电磁波的辐射源是地表目标物。地表目标物的光谱辐射亮度依赖于目标物的反射率、发射率、温度以及大气吸收影响。常温的地表物体辐射的电磁波的最高值在  $10\mu\text{m}$  左右。热红外波段( $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ )范围内,主要观测的是目标物的热辐射。因此,震前热红外异常与地表目标物的温度异常具有密切关系。地表进行的大量地温观测表明,很多地震震前都存在地温异常。而且大部分是增温异常,如 1966 年 3 月 8~22 日河北邢台 7.2 级强震活动前的 2 月 22 日至 3 月 2 日,以邢台-邯郸为中心,出现典型震前热异常事例(马宗晋等, 1983; 刘德富等, 1999)。1976 年唐山 7.8 级地震等大地震前也出现不同程度的地温异常(徐秀登等, 1991, 1992)。罗灼礼等对我国近 200 个气象站 1974~1985 的地面温度资料进行系统分析后发现,在此期间 62% 的地震震前 1 个月,震中区处于地面增温热场中,震级愈大,比例也愈高,6 级以上强震的增温场比例可达 73%,新疆地区可高达 90%,这表明地震前地面增温是比较普遍的事实(李宜瑚等, 1998)。

张治洮(1994)以地表下 0.8m 浅层地温较月平均值增高  $>1.0$  度为异常研究得到,在 1955~1985 年间,我国大陆内  $M_s > 6.0$  地震有 53 例在震前出现浅层地温异常。王勤彩(1995)指出了邢台、唐山等地震震前短临浅层增温异常的存在;华昌才等(1995)、叶保均等(1998)、陈沅俊等(1999)指出了震前深层(60~200m)地温增温异常的现象。由于太阳辐射和大气温度对地下岩石的温度影响随深度急剧减小,因此,上述学者的发现表明了确实存在震前地温异常。

### 4. 震前卫星热红外异常成因机理的初步实验研究

在探讨地震活动与震前地表(地下)增温异常、地震与震前卫星遥感热红外异常、卫星遥感热红外反演地表温度与地表实测温度的关系的同时,许多研究者通过实验研究和理论分析,试图探讨卫星遥感热红外增温的物理机制。

强祖基(1990)认为地面增温可能是由于“地球放气”作用所致。在孕震区由于地应力的不断集中和加强,使岩石产生微破裂,并使新老裂隙互相沟通,原封存在岩石中的气体,主要是  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{Rn}$ 、 $\text{He}$  等,沿着沟通的裂隙、孔隙和活动的断层等逸出地表,滞留低空缓慢扩散。当地壳发生大破裂时,释放的气体含量达到顶峰。放出的气体,特别是  $\text{CO}_2$ ,会吸收地面的红外辐射,产生局部温室效应,使孕震区地面—低空大气增温。徐秀登等(1994)进一步通过物理模拟试验证明:近地表大气电场,对大气增温效应具有推波助浪的作用。

耿乃光等(1992, 1998)、崔承禹等(1993)、邓明德等(1993)对完整岩石破裂前和既存断层粘滑失稳前的红外辐射温度场进行了遥感观测研究。通过一系列的岩石力学实验,观测到了岩石应力增加引起红外辐射能量增高的物理现象和红外辐射岩石破裂前兆信息。实验结果表明:在岩石加载过程中,红外辐射温度随应力增加而增加,岩石破裂前有升温加速的前兆现象;岩石的红外辐射光谱的幅值随应力增加而增加,岩石临破裂前辐射光谱形态发生变



化；岩石红外热像随着应力的增长，低温区减小，高温区增大，岩石破裂前在断层处显示出条带状热像；岩石破裂时记录到相应于可见光频率范围的脉冲辐射信号；岩石微波辐射随应力增加而变化，岩石破裂前变化加速；声发射测量表明，岩石破裂前已有大量微破裂产生。耿乃光等(1992, 1998)认为，地壳中的既存断层和大震前的微小破裂均可能为震前地壳中的热能转移提供通道，从而导致地面热红外震兆的出现。

吴立新等(1997)使用 ER-2007 SAI 红外辐射温度计监测煤岩单轴循环压缩过程中 8~14 $\mu\text{m}$  波段范围内的红外辐射变化，发现辐射低温前兆、辐射高温前兆和持续辐射高温前兆 3 类屈服前兆信息，基于熵和能量守恒原理进行了初步的物理解释。吴立新(2001)还进行了热红外成像用于固体撞击瞬态过程监测的实验，发现瞬间撞击可产生明显的 TIR 辐射升温现象，升温幅度与撞击力量、材料性质及其表面光洁度有关；脆性材料撞击后 TIR 辐射逐渐衰减，而塑性材料撞击后有滞后增强现象。该实验对构造地震的前兆机理学研究及其卫星遥感预报有重要科学意义。

尹京苑等(2000)在等温过程加载的条件下，得到岩石红外辐射能量随压力变化显著变化的结果，表明机械能直接激发岩石分子振动态能级之间的跃迁，不需要经历岩石生热的中间物理过程。这一物理现象的发现，为用红外遥感观测地球表层应力场分布和预测地震奠定了理论基础，提供了实验依据。尹京苑等认为由温度异常引起的红外辐射能量变化和由应力引起的红外辐射能量变化是红外遥感预测地震的两种物理机理。

最近，马瑾通过实验记录到岩石受压发生破裂瞬间的动态遥感图像，表明岩石破裂可以激发电磁波信号。

注意到仍有一些地震在震前并不是明显的增温现象，表明地震前兆的复杂性。为此，徐秀登(1991)专门讨论了非增温背景下的热红外异常及其物理机制。

总之，地面增温的成因和机制既是一个理论问题，也涉及遥感预报地震的方法问题。目前对成因和机制可归纳为如下几种推测：

(1) 地球放气说。在震前，孕震区由于应力的不断集中和加强，岩层受力导致释放出大量地下温室气体，如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  等以及带电离子，当这些气体逸出地表受到电子轰击可产生地球界面(地面和水面)上的大面积、低空大气升温；

(2) 动能转换说。认为震源区应力集中，在受力过程中断层错动，岩石摩擦将动能转换为热能；

(3) 震热同源说。震前热异常是地下热异常的地表显示，二者为同源；

(4) 流体携带说。有资料表明地震与地幔或深部高热的物质所携带的流体以及被加热的浅部流体在孕震某一阶段沿着扩大的裂隙着扩大的裂隙、小断层等通道上升而使温度增加。

上述(2)~(4)又可归纳为热能激发机理。

(5) 机械能激发机理，即直接由岩石应力变化激发的电磁波辐射。

上述成因设想都有一定的资料支持，但都没有被完全确认。由于震前卫星红外异常的成因和机制的研究需要大量的实验和实际观测资料，因而还有待进一步的探索。

## 5. 已有研究存在的问题

综上所述，我国在卫星热红外图像预报地震方面的成就是举世瞩目的。但同时，由于科学的实际发展水平和地震现象的复杂性，仍有许多等待探索的问题。主要包括：

(1)地震前兆的复杂性，利用卫星热红外图像预报地震也不例外。由于地震有多种成因类型，地震孕育与发生受许多因素制约，孕震因素与地震之间有时表现很强的非线性性，因此，仅靠单一的前兆观测，很难取得准确的预报效果。倡导和研究多种空间观测方法和建立星-空-地的立体综合预报系统，是地震监测预报的发展方向；

(2)就卫星红外增温本身而言，其机理仍不十分明确。依据现有有限的理论、实验和实践工作虽然对卫星红外增温提出了许多有价值的观点，但多种机理解释模型，有相互不一致的地方。因此，依据不同的模型，其前兆出现的时间与空间将在很大的范围内变化，这显然不利于指导明确的地震预报实践。实际上，地震在孕育过程中，在不同阶段和不同空间部位激发特征不同的电磁波信号，将形成多种成因机制的前兆异常的综合作用，综合观测和判别各种前兆异常，将是提高预报效能的有效途径；

(3)从红外遥感中提取与地震孕育、发生可能有关的地温信息，需要排除地形、天气等因素的影响。目前剔除干扰的方法还比较简单，缺乏对干扰影响的定量研究结果，有许多研究需要进行；

(4)与地震孕育有关的地温异常的判别有待规范化。需要借助一定的模型，特别是综合其他相关的资料，提高地震孕育相关地温异常区的解读能力，从而提高地震预测三要素的准确度。

综上所述，利用卫星热红外预报地震，还需要开展许多工作。我国计划发射的“环境与减灾小卫星星座”中将包括红外遥感等多种可用于地震预报实践的手段；我国地震部门也开展了利用卫星进行地震预报的预研究工作，这将推动相关研究工作的开展，有助于上述问题的解决。

# 震害遥感快速识别与损失评估 系统的开发研究<sup>①</sup>

王晓青<sup>1</sup> 张景发<sup>1</sup> 单新建<sup>3</sup> 丁香<sup>1</sup> 田云峰<sup>3</sup> 窦爱霞<sup>1</sup> 柳稼航<sup>3</sup>

(1. 中国地震局分析预报中心, 北京 100036; 2. 中国地震局地壳应力  
研究所, 北京 100085; 3. 中国地震局地质研究所; 北京 100029)

**摘 要:** 基于遥感提取地震灾情信息, 对遥感信息的空间分辨率与获取时效性具有极高的要求。以往的实践主要基于航空摄影的模拟信息源与目视判读, 高分辨率商业遥感卫星的不断发射为震害遥感信息快速获取提供了可能。如何提高震害信息的处理速度和精度成为遥感应用的关键技术问题之一。作者提出了通过发展自动/半自动图像处理技术、综合 GIS 等多种技术手段, 通过特征增强、分类方法研究与软件研制, 初步建立了地震应急震害遥感快速评估系统。本文主要介绍了该系统的设计目标、系统功能及其初步应用。

**关键词:** 震害 遥感 评估系统

## 1. 引言

严重的地震灾害造成人民生命财产的重大损失, 我国是世界上地震灾害最为严重的国家之一; 国内各种自然灾害中, 地震造成的死亡人数最多。同时, 我国作为世界上十分特殊的大陆地震活跃的国家, 破坏性地震的分布十分广泛, 在目前地震预报, 特别是临震预报没有过关的情况下, 应对突发地震灾害的能力显得尤为重要。震后应急抢险救灾工作离不开对震情灾情信息的正确掌握。目前, 灾情上报和现场地震灾情调查工作是灾后获取确切灾情的主要渠道, 而破坏性地震往往造成灾区电力、通信、交通系统等的破坏和瘫痪; 某些破坏性地震还发生在山区和边远地区, 对灾情的迅速了解比较困难, 影响了灾情的及时上报, 延误了对灾情信息的了解, 错过抢险救灾的最佳时机。地震现场灾害损失评估往往需要数天甚至 1~2 周的时间。显然采用传统的震害调查手段难以满足抗震救灾应急指挥的需要。

遥感信息具有获取速度快、分辨率高的特点, 对灾害具有很强的宏观把握能力。我国曾对 1966 年邢台地震、1975 年海城地震、1976 年唐山地震、1988 年澜沧-耿马地震和 1989 年大同地震等大震进行了震后灾区航空摄影, 并积累了丰富的震害遥感影像判读经验。以往的工作受当时客观条件的限制, 多采用光学处理和目视判读完成。随着卫星遥感、计算机技术、图像处理技术等快速发展, 采用计算机软件对遥感资料进行震害提取前期处理、后期制图, 甚至自动提取地震灾害的研究得到了很大的发展, 并且取得了一定

<sup>①</sup> 本工作得到国家“863”计划课题(20011A A136040)与中国地震局的资助。

的成果。国内外的学者们在这方面也作了大量的探讨和试验性研究。我们在上述工作基础上,通过震害遥感特征提取模型的设计,初步研制完成了基于 RS 和 GIS 的遥感地震灾情信息自动/半自动快速提取与损失评估系统。本文着重对该系统进行了介绍。

## 2. 系统设计目标

系统总体设计目标为:

研究并建立基于多源遥感影像的图像匹配技术、震害信息识别模型与快速提取模型,解决多尺度遥感图像应用于地震灾情获取的关键技术;通过软件开发与集成,初步建立基于遥感信息源的震害识别与损失评估软件系统(RSEDLES)。为政府部门制定救灾措施提供快速、宏观、定量和客观的地震灾情信息,最大限度地减少地震损失。

系统的具体设计目标为:

1)建立图像预处理子系统,包括图像的输入/输出、图像几何纠正、图像匹配等基本功能;

2)建立多种基于图像波谱特征与结构特征的震害提取特征模型,用于震害信息的提取。建立相应的模型数据库及其维护子系统;

3)建立基于变化检测的震害识别模型和 GIS 支持下的震害模式识别模型;

4)建立震害遥感提取基础上的损失评估模型;

5)建立震害遥感提取支持数据库及其维护子系统;

6)开展震害遥感快速提取与损失评估,为地震应急指挥决策提供辅助依据。

由于震害遥感特征的复杂性,依据防震减灾的工作实际需要,在现阶段突破重点,以实现快速、自动/半自动震害提取作为系统设计与软件开发的总体原则。

## 3. 系统设计思路

我国 1966 年以来发生的几次大地震后,都进行了地震灾区的航空摄影,为灾区的抗震救灾和灾区重建发挥了积极的作用。过去基于航空影像的震害判读主要基于模拟相片和目视解译,判读过程复杂、时间较长。目前卫星遥感可大大缩短后处理的工作量,但大面积高分辨率(1m 以内)的图像信息源仍很难及时获取。利用相对低分辨率(如 SPOT5)的卫星影像进行震害提取需要进行数字图像处理,以便通过特征提取增强震害影像信息。从处理手段上,由于计算机震害识别要比特征较明显的指纹识别、面孔识别、农田识别等复杂许多,现阶段尚不能完全自动识别震害信息。因此,在提高自动化处理水平的同时,恰当地结合目视识别,以便实现快速与准确地识别灾情。

图 1 为基于遥感的震害识别总体流程。对不同来源的灾区遥感图像经过图像预处理、特征增强、震害分类,在此基础上实现震害损失评估。由于震害影像表现的复杂性,通过 GIS 辅助提高地物的识别率,通过数字图像处理与识别和人工目视判读相结合提高震害识别的准确率,通过典型震害影像数据库的建立提高对震害影像特征的认识和获取特征的经验统计参数,通过有效的程序组织提高整个工作的自动化处理水平,从而提高数据处理的速度。通过

模式识别、震害分类分级、损失评估和矢量与栅格数据的融合、地图制图与显示浏览等功能与集成管理，使系统初步达到实用化的程度。

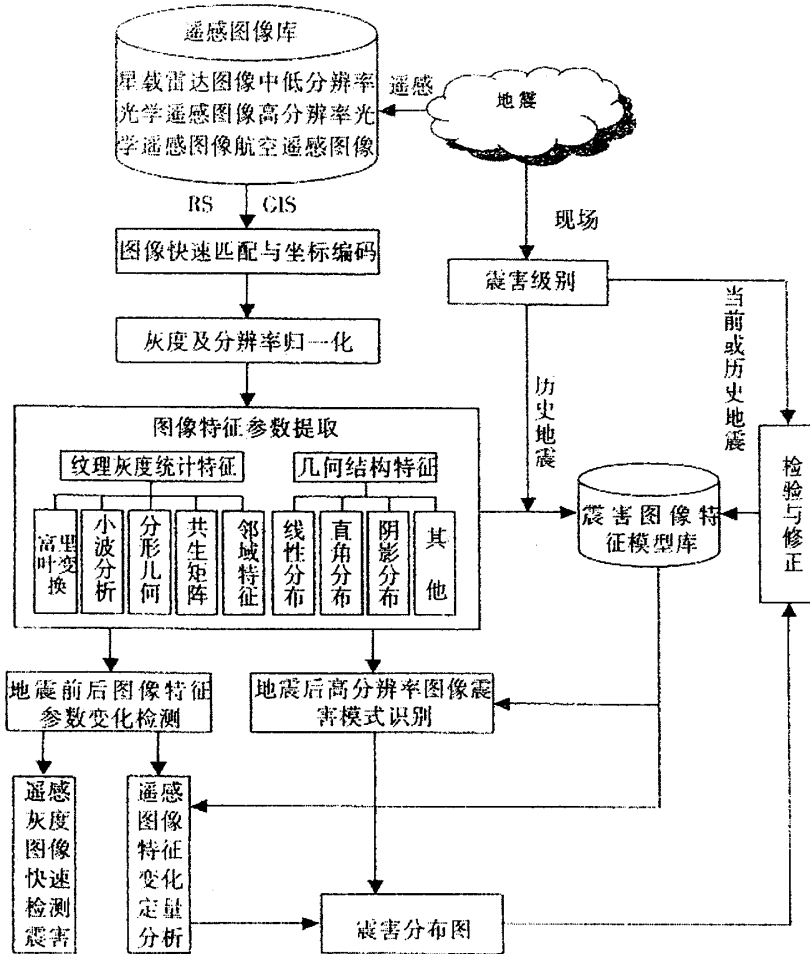


图1. 遥感震害识别技术方案

#### 4. 系统功能概述

遥感震害识别与损失评估系统(RSEDLFS)的总体结构见图2。系统主要由数据库管理子系统、图像预处理子系统、特征提取子系统、震害分类子系统、地图处理子系统、损失评估子系统等组成，系统数据库包括特征模型库、图像数据库、典型震害影像数据库、GIS数据库和震例数据库等。系统已具备如下功能：

##### (1) 集成控制环境

系统菜单的总集成，实现系统数据库管理、各功能模块、桌面管理、系统文档的统一管理。

##### (2) 数据库管理子系统的功能

实现图像数据、典型震害影像数据、GIS数据、特征模型库数据、震例数据等系统所需

要的各类主要数据的数据库管理；各类数据的输入、查询、维护、图表显示、输出等；矢量数据、栅格数据的格式转换等。

### (3) 图像预处理子系统的主要功能

主要功能包括：图像修补、图像校正、图像匹配、图像镶嵌、数据融合、图像重采样、图像格式转换、图像增强、感兴趣区、掩膜等。

### (4) 图像特征提取子系统的主要功能

主要功能包括：特征的控制参数输入、特征增强、特征计算、训练样本分类特征统计、特征模型的管理。特征计算可针对具体图像，也可针对典型震害影像样本。

### (5) 震害提取子系统的主要功能

采用震前震后图像变化检测法或震后单时相图像分类方法提取震害。主要功能包括模式识别方法选择、特征参数及其分类阈值选择、模式识别、分类后整理、分类精度统计、结果显示等。

### (6) 损失评估子系统的主要功能

利用震害提取结果，结合以往地震震害经验与灾区人口、社会经济信息等，进行地震灾害损失的评估。主要功能包括：评估区划分、损失评估计算、评估结果地图制图、评估结果统计报表、评估结果输出等。有关损失评估子系统的详细情况请参考文献<sup>[1, 2]</sup>。

### (7) 地图处理子系统

主要功能包括：地图数据输入/输出、地图查询、地图浏览、专题地图制作、矢量数据与栅格数据叠加显示、地图图层管理等。

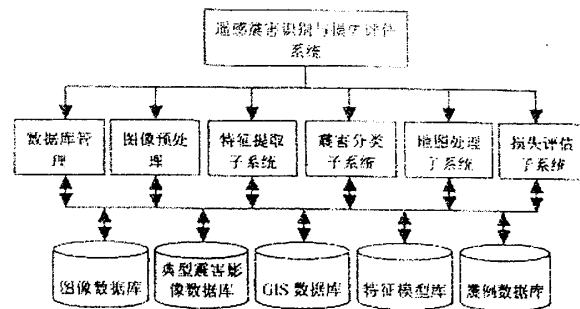


图 2. 系统总体结构图

## 5. 系统运行环境

系统硬件环境：P4 微机/512MB 以上内存/120GB 硬盘/32MB 显存/1024 × 768 × 24bit 显示器/CD-RW/网卡等。系统可在网络环境下采用多台微机进行处理，解决大数据量存储与处理的问题。

系统软件平台：Windows 2000/XP 或 Windows NT 4.0 以上；ENVI/DIL 图像处理软件；系统可选择一种或几种 GIS 软件（如 ArcView 3.x/8.x、MapInfo 5.0 以上、MapGIS 等）、Adobe Photoshop 等辅助软件。

## 6. 系统应用

2003 年 2 月 24 日巴楚-伽师发生 6.8 级地震，造成 268 人死亡、4853 人受伤，其中 2058 人重伤。受灾地区包括巴楚县、伽师县、岳普湖县、麦盖提县、阿图什市、莎车县、兵团农 3 师部分团场。灾区面积(6 度区范围)为 21498km<sup>2</sup>，灾区波及人数 659392 人。根据地震现场灾害调查与损失评估工作，此次地震造成的直接经济损失为 13.7 亿元。

巴楚-伽师地震后,中国地震局迅速决定对灾区进行航空摄影。笔者承担了利用航空遥感遥感照片与卫星遥感图像(SPOT5)快速判读地震灾害的工作。工作中部分运用了本系统的一些研究成果与开发的程序,完成了极震区的建筑物倒塌率的提取、部分地质灾害(喷砂冒水、沙土液化、地裂缝、震陷等)等的信息的提取,快速制作灾区震害遥感影像图集,依据震害分级分类划分标准,获取了基于遥感的地震烈度分布图<sup>[1]</sup>,取得了比较满意的结果。

除了巴楚-伽师地震外,利用本系统对1998年张北6.2级地震(地震前后的SAR图像)、2001年印度西部古吉拉特(GUJRAT)邦普吉(Bhuj)7.9级地震(1m分辨率的Ikonos图像)、1976年唐山7.8级地震(航空影像)、1999年台湾集集7.6级地震(地震前后IRS-1C图像、分辨率约为30m的SAR图像)等地震进行了震害计算机识别。识别结果精度评价如表1所示。试验结果表明,震害检测确定的建筑物倒塌率与地面调查或目视解释结果基本一致。总的来说,识别精度基本能满足地震应急评估工作的需要。

表1. 震害检测试验精度

震例	传感器类型	处理方法	地面实际破坏情况			识别震害指数	实际识别精度		备注
			烈度	震害指数	破坏情况		按面积(%)	按倒塌率(%)	
张北	雷达	多特征相关系数	VIII		多数倒塌为主		72	58	
			VII		少数倒塌为主		53	53	
			VI		基本完好为主		63	57	
唐山	航空像片	多特征动态等混合距离法		0.6		0.6-0.7			与实际基本一致
					完全倒塌		99		与目视结果相比
					部分倒塌		89		
印度	Ikonos (1m)	基于形态学区域增长震害提取方法			完全倒塌		91		与目视结果相比
					部分倒塌		91		

## 7. 结语

REEDLES作为解决震害遥感信息提取的关键技术问题的软件系统,仍处于试验与开发阶段。它将与即将建设的震后遥感信息获取软硬件系统和正在运行的地震应急指挥的其他系统有机结合,使我国利用遥感技术获取地震灾情信息进入实质性应用阶段。

## 参考文献

- [1] 王晓青, 魏成阶, 苗崇刚等. 震害遥感快速提取研究——以 2003 年 2 月 24 日巴楚 - 伽师 6.8 级地震为例. 地学前缘, 2002, 10(增刊).
- [2] 王晓青, 丁香. 地震现场灾害损失评估地理信息系统. 北京: 地震出版社, 2003



# SAR 图像在震害变化检测中的应用<sup>①②</sup>

窦爱霞<sup>1</sup> 张景发<sup>2</sup> 王晓青<sup>1</sup> 魏久传<sup>3</sup> 孟庆强<sup>3</sup>

(1. 中国地震局分析预报中心, 北京 100036; 2. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085; 3. 山东科技大学地球科学信息与工程学院, 山东泰安 271019)

**摘要:** 本文主要探讨了利用 SAR 图像和变化检测技术在震害评估中的作用, 提出采用单个相关系数空间分布检测地震破坏区域和利用多个相关系数检测建筑物破坏程度的变化检测方法, 并以张北地震前后 SAR 图像进行实验, 得到满意效果。

**关键词:** SAR 图像 变化检测 震害

## 1. 引言

遥感图像震害变化检测技术是利用地震前后的两幅图像确定地震造成的地物是否被破坏的技术, 常用的方法有假彩色合成法、图像差值法、图像比值法、相关系数法等<sup>[1]</sup>。以往使用差值、比值法对中低分辨率的遥感图像效果不是很理想; 相关系数法仅仅统计图像灰度值的相关性, 并且只是对统计值进行简单的密度分割, 结果误差浮动较大。而随着合成孔径雷达(SAR)技术的逐步成熟和 SAR 图像分辨率不断提高, SAR 图像逐渐为人们所重视。同光学图像相比, SAR 图像不受天气、云层等因素的影响, 可以全天候、全天时获得遥感数据, 是较好的震害检测数据源。

利用 SAR 图像对强震中建筑物等的受灾情况进行检测, 国内外学者进行了大量的研究。Ronald T. Eguchi 等利用 ERS-1/2 雷达数据调查了 1999 年 Marmara 地震的受损情况<sup>[2]</sup>。Masashi Matsuoka 等利用 ERS-1 的 SAR 图像, 识别地震破坏区域<sup>[3]</sup>。杨喆等利用 3m 和 6m 分辨率的机载 SAR 震害影像, 获取高烈度区域的房屋毁坏率, 并以此为特征参量, 快速确定了极震区<sup>[4]</sup>。

总之, 机载和星载 SAR 图像对检测形变和受灾建筑物都有重要意义。但是, 由于 SAR 图像在成像机理上与光学图像的差异, 常规的变化检测方法直接应用于 SAR 图像会存在一些问题。本文研究了基于 SAR 图像单特征相关空间分布和多特征相关进行震害变化检测的方法, 并用 1998 年 1 月 10 日发生在河北省张北县附近的 6.8 级地震前后 SAR 图像进行实验分析, 结果证实了特征相关检测震害的有效性。

<sup>①</sup> 本文是“十五”国家“863”课题(编号 2001AA136040)的研究成果。

<sup>②</sup> 本文是第一作者硕士论文的部分研究内容。

## 2. SAR 图像震害变化检测方法

常用变化检测方法，如比值法、差值法，考虑的仅仅是单个像素包含的信息。然而，相邻像元的灰度值相互之间有很明显的相关性，因此，考虑相邻区域而不是孤立的像元时，会更可能检测出图像发生的变化。由此，本文使用了更加准确的基于邻域的变化检测算法——相关系数。

利用地震前后中低分辨率的 SAR 图像的相关系数，可从整体上检测地震破坏的区域及其空间分布，也可基于少量先验知识评估地物破坏程度与类型。

### 2.1 相关系数

相关系数反映两个函数在不同的相应位置上互相匹配的程度，它不随灰度的线性变化而变化，可以消除地震前后由于图像接收条件、接收时间的不同造成的影像之间灰度与对比度的差异。图像差异越大，相关性越小；反之越大。变化检测使用的两图像可以是原灰度图像，也可以是增强后的纹理图像。

以点  $(i, s)$  为中心的影像窗口之间地震前后两幅图像的相关系数的算法如下：

$$r = \frac{\sum_{i,s}^{m,n} (x_{i,s} - \bar{x})(y_{i,s} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i,s}^{m,n} (x_{i,s} - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i,s}^{m,n} (y_{i,s} - \bar{y})^2}}$$

式中  $m, n$ ——窗口大小；

$\bar{x}, \bar{y}$ ——分别表示主影像和从影像的窗口内灰度平均值。

窗口选择可以是规则窗口，也可以是以村镇、居民区等边界为边的不规则多边形窗口。相关运算后的图像灰度值小于 1，为了便于统计分析，可将结果乘以某常数  $K$ 。

### 2.2 震害区域的检测

基于相关系数检测地震破坏区域，其方法如下：首先建立居民区边界 GIS 矢量，计算每个居民区窗口地震前后 SAR 图像的相关系数，统计出相关系数文件；最后通过分析相关系数的空间分布来确定地震破坏情况。流程如图 1。

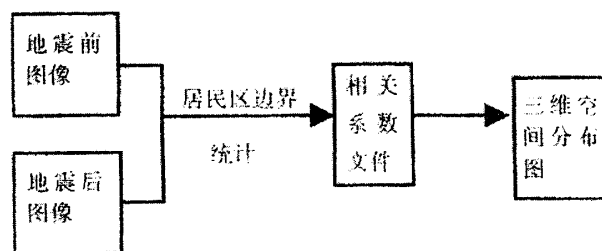


图 1 震害区域检测流程

### 2.3 震害程度与类型的检测

使用相关系数获取震害信息，首先建立居民区感兴趣区 (ROI)，然后选择合适窗口进行

特征运算，再对居民区特征图像进行相关运算，训练不同破坏等级下少量分类样本，基于多特征相关系数进行分类。操作流程如图 2。

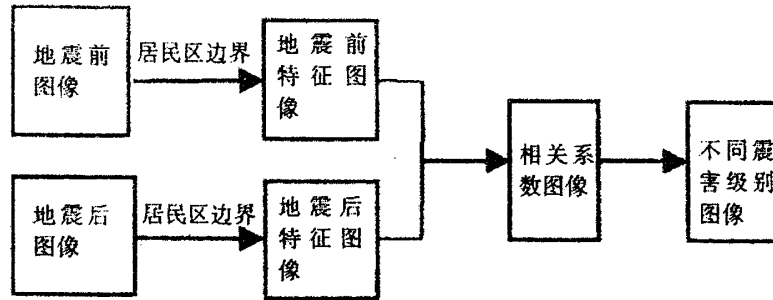


图 2. 震害程度检测流程

为提高分类的精度，我们使用了基于多个二次特征相关的分类方法。二次特征可用邻域统计、共生矩阵等方法得到，主要二次特征有：

方差 
$$D(i, j) = \sum_{i=i_0}^{i_0+N/2} \sum_{j=j_0}^{j_0+N/2} f(i, j) - X)^2 / N^2$$

偏斜度 
$$SKD(i, j) = \sum_{i=i_0}^{i_0+N/2} \sum_{j=j_0}^{j_0+N/2} f\left(\frac{f(i, j) - x}{STD}\right)^3 / N^2$$

峰值 
$$K(i, j) = \sum_{i=i_0}^{i_0+N/2} \sum_{j=j_0}^{j_0+N/2} f\left(\frac{f(i, j) - x}{STD}\right)^4 / N^2 - 3$$

信息熵 
$$D(i, j) = \sum_{i=i_0}^{i_0+N/2} \sum_{j=j_0}^{j_0+N/2} f(i, j)$$

式中  $f(i, j)$ ——原始图像在  $i, j$  点的灰度值；

$N$ ——统计窗口大小(以下各式中相同)；

$X = N \times N$ ——窗口内的灰度平均值；

标准差  $SID(i, j)$ ——方差的  $D(i, j)$ 平方根；

$$P_{i, j} = f(i, j) / \sum_{i=i_0}^{i_0+N/2} \sum_{j=j_0}^{j_0+N/2} f(i, j);$$

常数  $K = 1 / \log(N^2 + 1)$ 。

这些图像纹理测度，能反映出图像纹理的分布和变化情况。

### 3. 实验结果及分析

实验数据为 1998 年 1 月 10 日发生在张北地区 6.2 级地震前后的雷达图像，图像接收时

间分别为 1997 年 10 和 1998 年 1 月。特征选取了窗口为  $3 \times 3$  邻域统计的方差、峰值、偏斜度、信息熵四特征参量，统计这些参数的相关系数大小，运算窗口选为以村镇边界为边的不规则多边形，分别获得了相关系数统计文件和相关系数图像。

一般情况下，相关系数越小，地面破坏越严重；但也有少量的异常现象。利用统计得到的相关系数文件，以村庄的中心点坐标作为  $X$ 、 $Y$ ，以相关系数为  $Z$  轴得到一三维曲面图，从曲面的分布趋势能直观地看出地震极震区的位置及粗略范围。如彩图 3 所示：图中相关系数较小的地区为破坏比较严重的极震区，它的中心地理位置约为东经  $114.46^\circ$ 、北纬  $41.05^\circ$ ；仪器记录确定的震中位置为东经  $114.45^\circ$ 、北纬  $41.01^\circ$ ；该地区的震后房屋建筑物约 90% 倒塌，吻合情况比较好。

三维曲面仅能获得粗略的地震破坏空间分布信息，不能对地物的破坏程度及类型作出详细的评估。为得到地物破坏的准确信息，首先要分别对极震区内多数倒塌、少数倒塌、基本完好三类倒塌级别的建筑物进行训练；以这些训练样本为先验知识，基于上述得到的 4 个特征以及原灰度 5 个相关系数图像，对地震区内的全部居民区建筑物进行监督分类，分类结果图像即为提取的不同破坏程度下的建筑物图像。如彩图 4 所示，图中分别为多数倒塌、少数倒塌、基本完好的村庄。

#### 4. 结语

综上所述，对于中低分辨率的 SAR 图像，分析提取的特征相关系数的空间分布，可以划分地震破坏范围，快速、直观地找出地震破坏严重区。训练地震区内部分不同破坏等级的样本，利用多特征相关系数法可确定地震破坏程度。在未来地震救灾应急工作中，可以根据应急要求的不同，选择不同的变化检测方法，为地震应急提供及时准确的信息。

#### 参考文献

1. 张景发, 谢礼立, 陶夏新. 建筑物震害遥感图像的变化检测与震害评估[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(1): 59 - 64
2. Ronald T. Egechi, et al, Using Advanced Technologies to Conduct Earthquake Reconnaissance After the 1999 Marmara Earthquake[J]. *The 2nd Workshop on Advanced Technologies in Urban Earthquake Disaster Mitigation*, DPRI, Kyoto University, Uji, Kyoto, Japan, July 11 - 13, 2000
3. Miguel Estrada, Masashi Matsuoka, and Fumio Yamazaki. Use of Optical Satellite Images for the Recognition of Areas Damaged by Earthquakes[J]
4. 杨喆, 任德凤, 利用机载 SAR 震害影像特征快速圈定极震区[M]. 地震地质, 1999, 21(4): 452 - 458

# 吨托滑坡大比例尺彩红外航空遥感综合调查

黄金宝 方国华 樊建利 高路 袁佩新 秦敬礼

(四川省地矿局成都水文地质工程地质中心,  
四川省遥感中心, 成都 610081)

**摘要:** 介绍吨托滑坡的彩红外航片解译及发现和彩红外正射影像地形图遥感综合调查, 叙述吨托滑坡区域环境地质条件、滑坡基本特征; 进行滑坡成因与发展趋势分析, 提出滑坡防治方案建议。

**关键词:** 滑坡 彩红外

## 1. 滑坡的解译发现和遥感综合调查工作

吨托滑坡位于西藏自治区八宿县嘎同南, 嘎玛沟支沟吨托沟之沟头上, 国道 318 线 K3718+950 处。2002 年我们在开展《西藏区公路遥感工程地质及地质灾害调查研究》项目, 应用 1:4 万彩红外航空照片进行藏区 318 线全线地质灾害调查时, 解译发现该处存在滑坡影像特征; 同年 6 月在路线路况调查中证实该滑坡客观存在, 且较严重危害该段 318 线公路运行, 滑坡区尚缺 1:1 万地形图, 建议并获得项目主管单位提供 1:1 万彩红外正射影像地形图, 应用 1:1 万彩红外正射影像地形图(图 1)室内解译, 进一步认为该处存在 2 个滑坡群, 经过室内的解译获得滑坡区地形地貌、主要断层和裂隙、滑坡基本特征(见图 1)。其中 1 号滑坡目前对公路的危害甚大。同年 9 月, 在解译基础上, 对吨托 1 号滑坡进行野外调查, 快速完成吨托滑坡工点的遥感解译的综合调查。



图 1. 吨托滑坡彩红外正射影像地形图(1:10000)  
(滑坡边界清晰, 侧沟、后壁呈带状地形, 前缘坡陡, 成三面临空状态; 滑坡表面成凸形坡; 滑坡表面呈深浅不一的斑块或线条状纹形, 反映表面凸凹不平)

## 2. 滑坡区地质环境条件

### 2.1 气象、水文

该区属青藏高原三江流域半干旱气候区, 区域内多年平均降水量为 208mm, 每年的 5-10 月份为雨季, 降水量主要集中在 6-9 月份, 约占全年降水量的 70%, 年蒸发量为

2637mm；年平均气温 10.5℃，七月平均气温 12℃，一月份平均气温 -6.5℃；相对湿度 55%；年日照时数约 2300h；年降雪日数约 12 天。

吨托沟在滑坡体的前缘，比降平均约 20‰，沟面宽约 20m，沟缘发育，沟水直接冲刷滑坡脚。该区段自然冲沟发育，多数冲沟为泥石流沟，在滑坡体两侧发育有泥石流冲沟，该沟切割较深，除该泥石流沟下切较深外，其他沟谷下切深度不大，冲刷力强。由于沟浅且短，故排泄坡体地下水能力较差。整个地区山坡植被茂密，但斜坡变形和沟岸坍塌处，植被破坏。

## 2.2 地形地貌

吨托滑坡处为横断山区的高山峡谷地貌，总体地势是北高南低。滑坡区位于嘎玛沟支沟左侧的山梁——业拉山的小山梁上。业拉山的小山梁为北西—南东向延伸。嘎玛沟支沟位于滑坡前缘，呈 V 字型；沟的上游延伸方向为北西—南东向，与小山梁的展示方向基本一致；因吨托沟的切割，在滑坡前缘形成陡峭的峡谷。该滑坡处的斜坡坡向南西，斜坡坡脚即为吨托沟的沟底，高程 4100~4400m；坡顶高程 4400~4700 m，相对高差 300 m，总体坡度约 35°，为凸型坡。滑坡体边界清晰可见，在滑坡两侧发育有小冲沟，滑体则以该小冲沟为界，冲沟切割深度有 10 余米，使整个滑坡体处于三面临空状态的布局。

## 2.3 地层岩性

(1)基岩：滑坡所在地区出露的地层为二叠系上统嘉玉桥群(P<sub>2</sub>J)，属滇藏大区班公湖—怒江匹嘉玉桥小区。岩性为变质结晶基底岩石，其变质相为绿片岩岩相。岩石极破碎，揉皱极发育，风化强烈，呈碎石砂土状。

### (2)第四系地层

该区除以上的基岩外，其余均为第四纪堆积物，堆积物块碎石含量达到 40%~65%，粘土颗粒含量少，粘土以粉质粘土为主，孔隙度大、松散、透水性强。这些岩土体以骨架支撑结构为主，在干燥的状态下，力学性质较高；在水的作用下，易崩解和溃散；在外力的作用下可变形。

该地段的第四系地层主体为一套冲—洪积物组成。此外，还发育厚度不大的残坡积物、土壤层和局部的泥石流堆积物以及在第四纪松散堆积物基础上发育起来的滑坡堆积物。

## 2.4 地质构造及地震

该区地处欧亚板块与印度板块的缝合线上，受印度板块的强烈挤压插入作用，新构造运动极其强烈，从区域地貌分析，该期构造影响巨大，高山的山峰呈串珠状分布。滑坡所在区域褶皱以及断层非常发育。滑坡区所发育的断层基本上都是压扭性断层。滑坡区有一逆断层，该断层从滑坡前部经过。滑坡体处在逆断层的上升盘。

滑坡区地震基本烈度为八度。

## 2.5 水文地质条件

滑坡区内地下水类型为松散岩类孔隙水和裂隙水。裂隙水：主要分布于 P<sub>2</sub>J 地层的基岩中，即节理和裂隙较发育的地带。该类地下水一般不发育泉眼，多经活动后转入松散体中，形成空隙水。孔隙水：主要分布于老冲洪积(Q<sub>3</sub>-<sub>4</sub>、<sub>5</sub>)的松散层中。孔隙水的主要来源有裂隙水转化水、地表径流水以及冰雪融水的渗入等。在滑坡体中的孔隙水以及下部基岩裂隙水未在滑体上出露，通过下渗排泄进入嘎玛沟中。

在雨季，整个吨托滑坡区普遍发育地下水，但出露位置与流量大小均变化很大。雨季期

间,大量降雨和冰雪融水,产生坡面径流,在径流平台缓坡时,流速减小,加之地表植被的拦挡作用(表层的松散结构),渗透作用强烈,造成地下水活动频繁。地下水的频繁活动是造成斜坡变形及形成滑坡的主要因素。

### 2.6 人类工程活动概况

现在的人类工程活动主要体现在国道 318 线公路的开挖。由于公路的开挖,在滑坡体的前缘形成高陡边坡,破坏了原有的坡体平衡状态,使滑坡体物质更容易向下滑落堵塞公路。

## 3. 滑坡基本特征

吨托滑坡为一大型堆积层土质滑坡,边界呈围椅形;后壁呈弧形展布,后壁坡度  $45^{\circ} \sim 70^{\circ}$ (图 1)。前缘宽 150~170m,中部公路段宽 120m,斜长 180m,平均厚度 15~20m。滑坡区面积大约  $1.5 \times 10^4 \text{m}^2$ ,体积约  $15 \times 10^4 \text{m}^3$ 。滑坡前缘最低海拔 4250m,后缘最高海拔 4400 m,相对高差达 150m 以上。堆积体表面平均坡度约  $35^{\circ}$ ,公路下方  $45^{\circ}$ 。坡体表面呈阶梯状,发育有平台,宽 1~3 m。滑坡主滑方向  $210^{\circ}$ (图 2、3、4)。

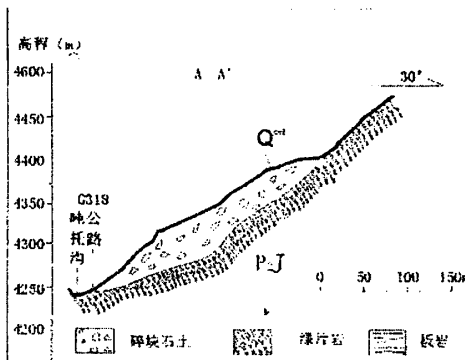


图 2. 吨托滑坡纵剖面图

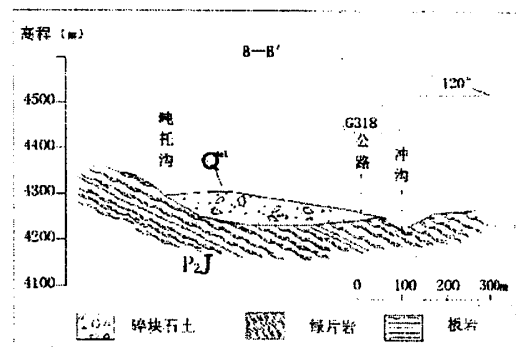


图 3. 吨托滑坡横剖面图

吨托滑坡的滑体物质主要由崩坡积和残坡积层等松散堆积物组成,成分为浅灰、深灰、浅黄、黄褐色的块石和砂土,结构松散。块石粒径 2~50cm,最大粒径 2.5m,呈棱角状~次棱角状,成分为浅灰色的绿泥石片岩、变质长石石英砂岩等,中~强风化,含量约 40%。碎石含量约为 20%,砂含量较少,粉土占 20%,浅黄色。

目前在滑坡体的中前部出现了大量的拉裂缝。国道 318 线在滑坡体段的路基产生下沉形变。滑体物质经常下滑堵塞公路。特别在雨季,吨托沟的冲刷,滑坡前缘产生部分复活,形成的泥石流冲毁国道 318 线在吨托沟沟底段的公路路基,严重影响了交通。

## 4. 滑坡成因与发展趋势分析

滑坡成因:从该滑坡的外表特征、滑体的物质结构特征和其上植被的生长发育状况来

看，该滑坡是一个形成年代比较久远的滑坡。这一滑坡的形成与其所处的地质环境条件密切相关，由于该地区是一个强烈上升区，在地壳的长期上升过程中，在当地河水和沟水产生快速的下切作用，从而形成了高陡的斜坡，特别是滑坡区，在新构造运动的强烈作用下，在滑坡所在的地层范围内形成密集的构造节理和裂隙；同时因坡面处于临空状态，地应力的释放而产生走向与坡面大致平行的一陡一缓的卸荷裂隙。构造节理及卸荷节理为地下水的运动提供了良好的通道。每逢雨季，大气降雨时

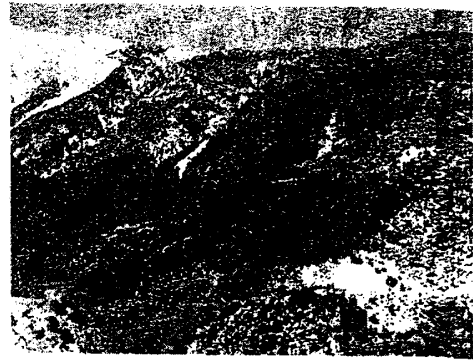


图 4. 吨托滑坡景观

雨水沿着斜坡上部的陡倾角节理渗入地下，并顺着缓倾角的节理裂隙从坡上往坡下方向流动，在坡面上与松散堆积层的分界面上容易形成地下水的汇集带，地下水对基岩与松散堆积层之间的界面上的长期作用，原土体结构遭受破坏，致使界面上的土体受水软化强度降低；由于公路边坡的开挖，滑坡体的前缘物质被削减，同时由于车辆的碾压，加强了滑坡向下滑动的力量。在滑坡体两侧形成冲沟，再加上滑坡体前缘有吨托沟深切形成的小 V 字形峡谷，使得滑坡体形成三面凌空。综合以上原因，斜坡最终演化形成牵引式滑坡。

发展趋势分析：目前在滑坡体的中前部出现了大量的拉裂缝，近吨托沟的滑体出现部分复活，导致 318 线在滑坡体段的路基产生下沉形变。由于路基的下沉，公路旁的滑体物质向下滑落，从而阻塞公路。从活动的历史来看，该处的滑坡每年都在活动，尤其在每年 6 月份左右，随着降雨的加强，降雨沿滑坡裂缝下渗，引起滑坡体内地下水的强烈活动，促使滑坡的变形更加强烈。在大气降水使大量雨水渗入地下，引起的地下水的动、静水迅速增大、人类的工程活动以及运输车对该段公路的碾压等影响因素下，滑坡将来会发展成为大规模的复活。

## 5. 滑坡防治方案建议

目前，该滑坡的变形有逐渐加剧之势，为了确保国道 318 公路正常运营和交通安全，必须采取一系列的防治措施。根据该滑坡发生发展变化趋势以及目前对滑坡的治理情况，建议采用下列防治措施：

- 1) 从以上的分析可以看出，降水引起地下水的活动而促进滑坡的强烈变形。首先要解决降水向滑坡体内的人渗。在滑坡体后缘修建排水沟；
- 2) 可在滑坡前缘修建挡墙以及抗滑桩；
- 3) 在条件许可的情况下，可从滑坡体前缘左侧的稳定坡体上开始，修建高架桥吨跨过托沟；
- 4) 加强滑坡区监测。



## 6. 结语

该滑坡为一基岩强风化层、崩残坡积层的松散层滑坡，存在不稳定因素。在雨季或地震等情况下，将产生较大的滑动。建议尽快对该滑坡实施治理，同时加强监测，以确保公路的畅通。

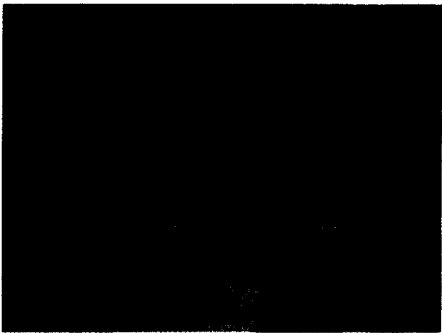
# 附錄三

## 活動紀錄



(左起)陳組長、胡副理事長、張助理研究員於會議會場留影

本次「2003年第六屆海峽兩岸空間資訊與防災科技研討會」主辦單位為中國遙感應用協會，胡如忠為該協會副理事長。



陳組長擔任第二場次主持人的情形。



(左起)姚博士、廖副主任、張助理研究員於中國科大火災科學重點實驗室圖騰雕塑前留影。

圖中央廖光煊教授為實驗室副主任。



本所陳組長與張助理研究員於訪問結束後，於中國科技大學門口留影。

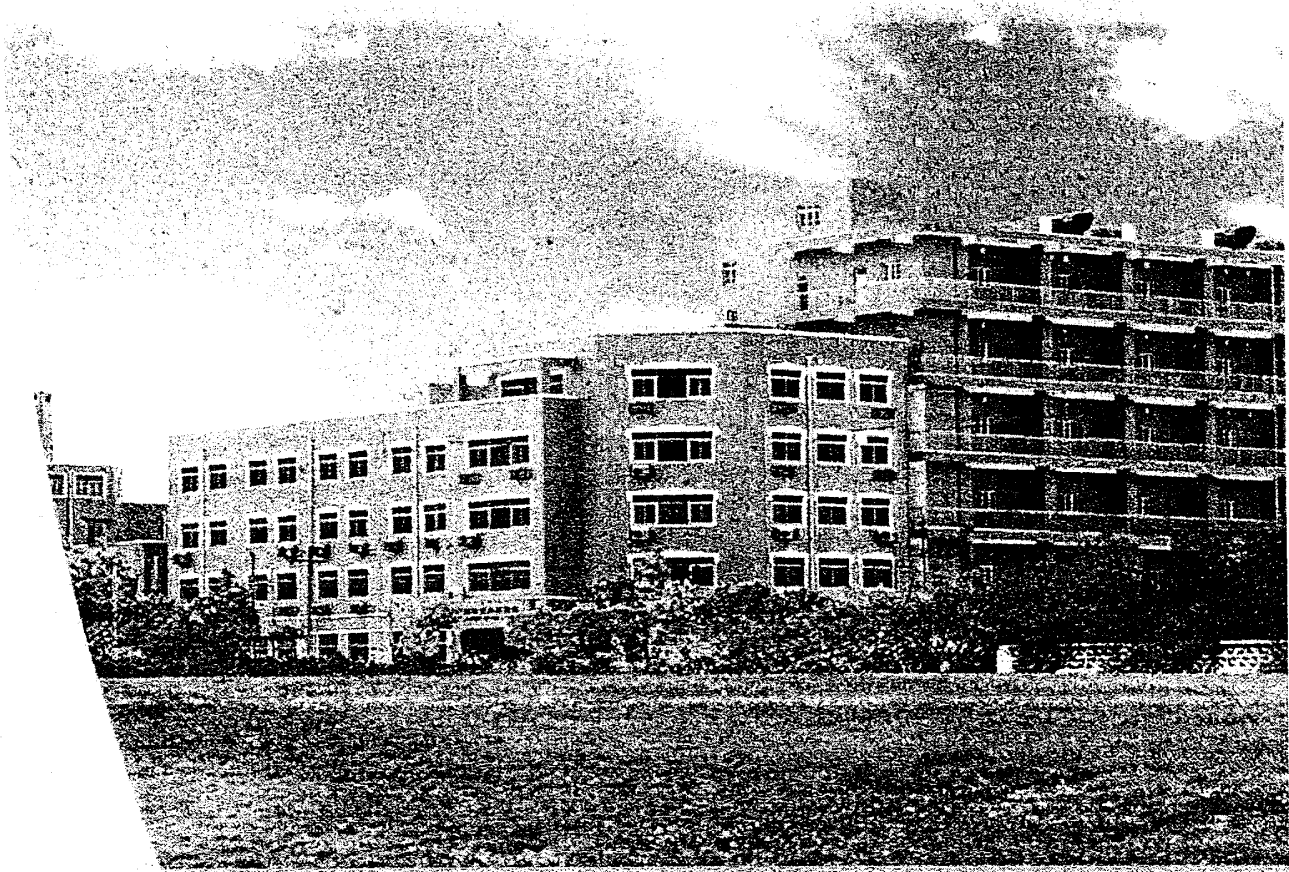
## 附錄四

# 中國科技大學 火災科學重點實驗室簡介



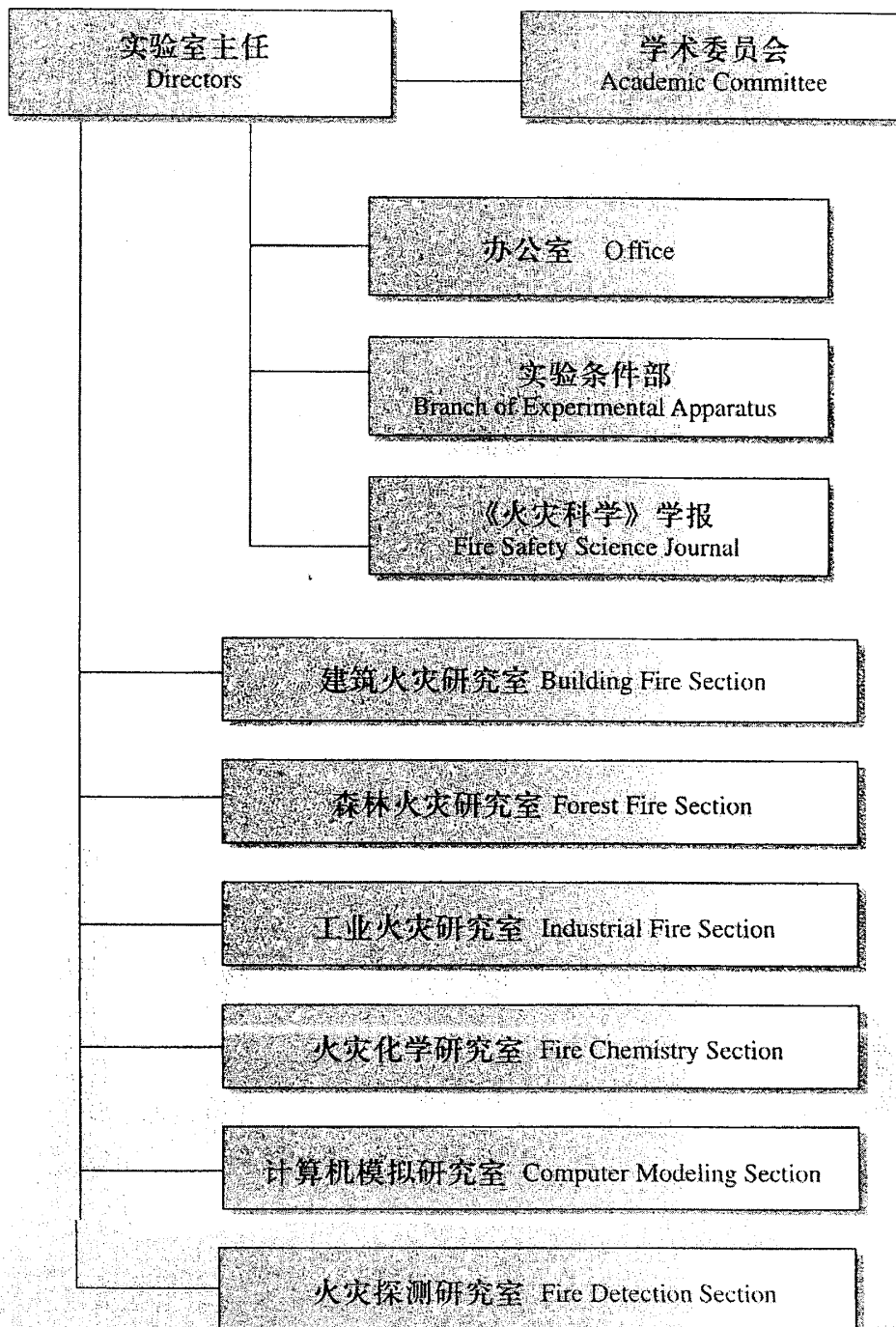
# 火灾科学 国家重点实验室

State Key Laboratory of  
Fire Science, USTC, CAS



中国科学院中国科学技术大学  
二〇〇五年五月

附录 4-1

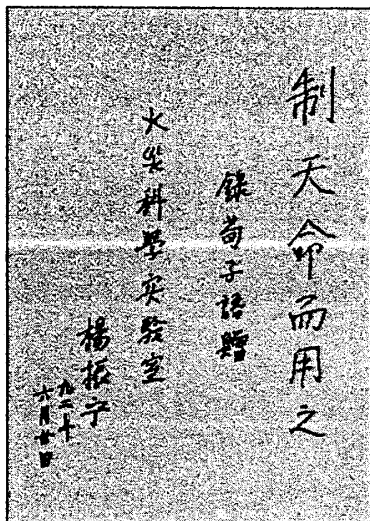
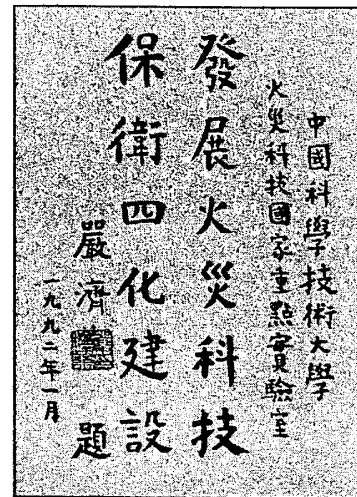
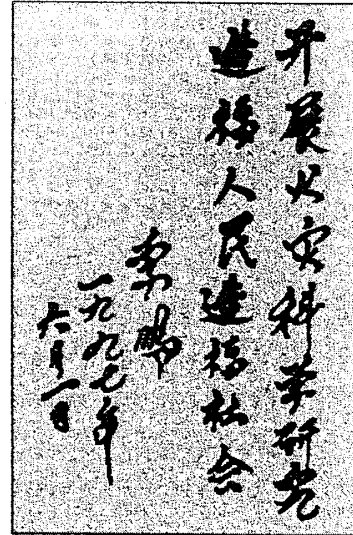


附录 4-2

# Content

## 目 录

简介.....	2
Introduction	
研究方向与目标.....	6
Research Areas and Goals	
主要研究成果.....	8
Main Achievements	
队伍建设与人才培养.....	10
Personnel Development	
研究室简介.....	16
Research sections	
主要仪器设备.....	20
Facilities	
开放与交流.....	22
Opening and Exchanges	
运行与管理.....	26
Operation and Management	
决策咨询与成果转化.....	28
Consulting & Technology Transfer	



CONTENT



火灾科学国家重点实验室是利用世界银行贷款和国内配套投资兴建的我国火灾科学基础研究领域唯一的国家级研究机构。1989年通过论证，1992年获准边建设边开放，1995年通过国家验收。

实验室现有固定人员33人，其中研究人员28人，技术人员3人，管理人员2人。实验室学术委员会由14名专家学者组成。

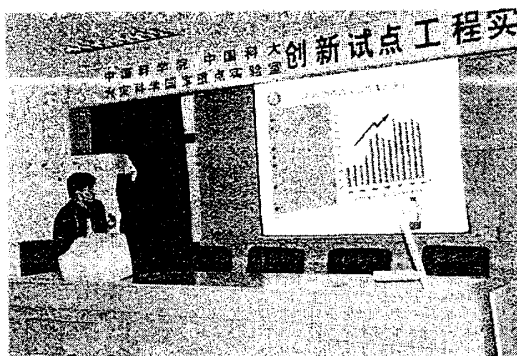
- ※ 1987年：提出筹建国家火灾研究中心的建议
- ※ 1989年：“火灾科学国家重点实验室”批准立项
- ※ 1990年：实验室奠基，李鹏总理题词
- ※ 1992年：中科院批准“边建设、边开放”
- ※ 1995年：通过国家验收
- ※ 1996年：入选“九五-211工程”国家重点建设学科
- ※ 1997年：与香港共建的大空间火灾实验厅落成，李鹏总理题词
- ※ 1999年：进入中科院知识创新工程试点  
进入教育部“985”重点大学建设计划
- ※ 2001年：973火灾项目批准立项，范维澄院士担任首席科学家  
国家科技奥运火灾安全项目立项
- ※ 2002年：入选“十五-211工程”国家重点建设学科



1990 奠基 Founding ceremony



1995 验收 Project checked and accepted



1999 创新 Knowledge Innovation Program



2000 外景 Exterior of lab





The State Key Laboratory of Fire Science (SKLFS) is the only state research institution in the field of fire science in China.

Financially assisted by the loan from the World Bank and necessary domestic investments, SKLFS passed the feasibility argumentation of the National Planning Committee in 1989 and was granted the right to open to the public while under construction in 1992. The completed project was checked and accepted by the government in November 1995.

Now SKLFS has a staff of 33 persons, including 28 researchers, 3 technicians and 2 executive managers. Currently, the academic committee of SKLFS is composed of 14 scientists.

※ 1987, Proposing that a state research center of fire science be built

※ 1989, The project "State Key Laboratory of Fire Science" ratified by the government

※ 1990, The founding ceremony of the State Key Laboratory of Fire Science, Premier Li Peng sent his inscription

※ 1992, Granted the right to open to the public while

under construction by CAS

※ 1995, The completed project checked and accepted by the government

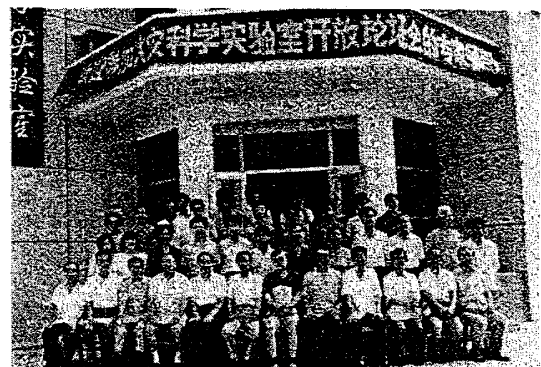
※ 1996, Granted as the key disciplinary construction item of the "Project 211" under the Ninth National Five-Year Plan

※ 1997, Completing the construction work of PolyU/USTC Atrium (in collaboration with HongKong), Premier Li Peng sent his inscription for the building

※ 1999, Sponsored by KIP (Knowledge Innovation Program) of CAS; Becoming part of the construction plan for national key universities, "Project 985 of the Ministry of Education"

※ 2001, "Fire Dynamics and Fundamentals of Fire Protection", one of the projects of the "Programme 973", approved, Prof. FAN Weicheng assumed the position of leading scientist. The state project "Fire Safety for Hi-tech Olympics" ratified

※ 2002, Granted as the key disciplinary construction item of the "Project 211" under the Tenth National Five-Year Plan





**实验室宗旨:**

面向国家火灾安全重大需求和世界火灾科学前沿, 研究火灾动力学演化规律和火灾防治关键技术, 培养优秀人才, 攀登世界火灾科学高峰, 为实现国家火灾安全不断做出基础性、战略性和前瞻性的创新贡献。

**Mission:**

Aiming at world fire science frontiers, the mission of SKLFS is to study fire dynamics & key technologies of fire safety, train qualified personnel and endeavor to cater for the growing national demand in fire safety so as to make breakthroughs in world fire science research and make fundamental, strategic and forward-looking contributions to the national fire safety.





名誉主任：吴承康 中国科学院教授、中科院院士

Honorary Chairman: Prof. WU Chengkang, Chinese Academy of Science, Member of CAS

主任：闵桂荣 中国空间技术研究院教授、两院院士

Chairman: Prof. MIN Guirong, Chinese Academy of Space Technology, Member of CAS and CAE

副主任：黄兆祥 中国科学院教授

范维澄 中国科学技术大学教授、中国工程院院士

Vice Chairman: Prof. HUANG Zhaoxiang, Chinese Academy of Science

Prof. FAN Weicheng, University of Science and Technology of China, Member of CAE

委员（按姓氏笔划排序）：

王应时 中国科学院教授 Prof. WANG Yingshi, Chinese Academy of Science

王清安 中国科学技术大学教授 Prof. WANG Qingan, University of Science and Technology of China

李引擎 中国建筑科学研究院研究员 Prof. LI Yinqing, China Academy of Building Research

杜兰萍 公安部消防局研究员 Prof. DU Lanping, Fire Bureau of the Ministry of Public Security

吴宗之 国家安全生产监督管理局研究员 Prof. WU Zongzhi, State Administration of Work Safety

周允基 香港理工大学讲座教授 Chair Prof. CHOW Wanki, Hong Kong Polytechnic University

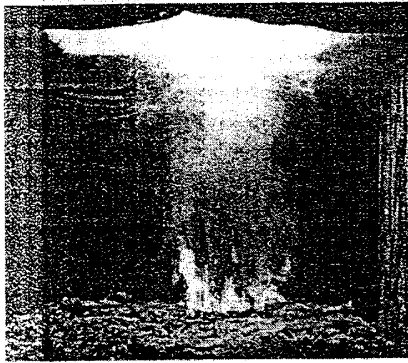
章明川 上海交通大学教授 Prof. ZHANG Mingchuan, Shanghai Jiao Tong University

符松 清华大学教授 Prof. FU Song, Tsinghua University

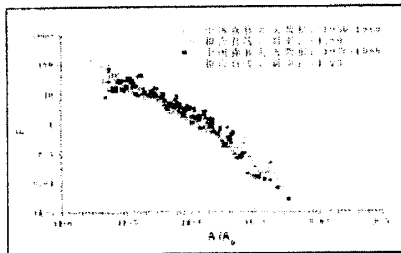
舒立福 中国林业科学研究院研究员 Prof. SHU Lifu, Chinese Academy of Forestry

葛新石 中国科学技术大学教授 Prof. GE Xinshi, University of Science & Technology of China

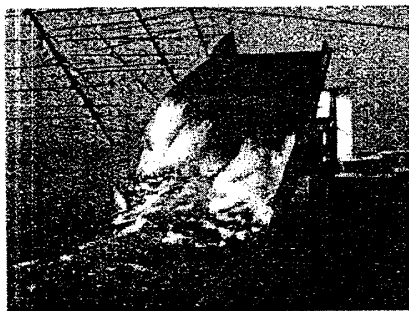




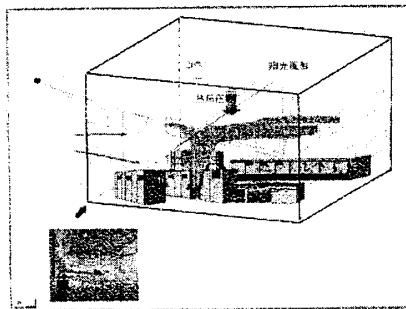
火灾早期特性  
Fire characteristic at early stage



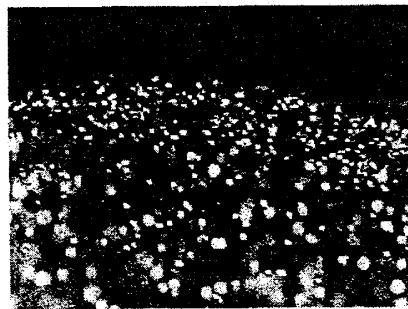
森林火灾的自组织临界性  
Self-organization critical of forest fire



林火蔓延模拟实验  
Forest fire spread experiment



火灾探测示意图  
Sketch map of fire detection



铁粉云中传播火焰微观结构  
Photomicrograph of combustion zone propagating through an iron particle cloud



大空间烟气填充实验  
Smoke filling experiment of large space

研究方向:

- ◆ 火灾动力学演化
  - ※ 可燃物表面及空间火灾的发生与蔓延
  - ※ 火灾烟气及其毒害物质的生成与传输
- ◆ 火灾防治关键技术
  - ※ 综合性能优化的清洁高效阻燃新技术
  - ※ 火灾早期的多信号感知与智能识别
  - ※ 物理化学复合作用下的清洁高效灭火原理
- ◆ 火灾安全工程理论及方法学
  - ※ 基于火灾动力学与统计理论耦合的火灾风险评估方法学
  - ※ 火灾安全性能化设计方法学

研究目标:

建立体现火灾复杂性和双重性(确定性和随机性)规律的理论模型,实现阻燃、探测与灭火等火灾防治关键技术的持续创新;发展火灾安全工程理论及方法学;成为具有国际水平的火灾安全基础研究和技术创新基地。国家火灾和安全生产科技工作的重要思想库,为我国火灾防治工程开创“技术先进、设计安全合理、管理和应急预案科学化”的局面提供可靠的科学支撑。

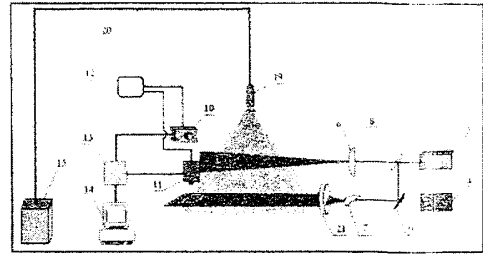


Areas:

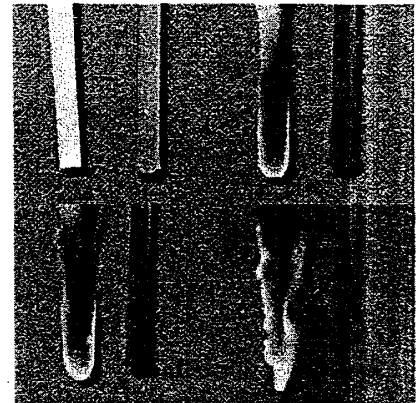
- ◆ Fire dynamics
  - ※ The occurrence and spread of fire on the surface of the combustibles and in compartments
  - ※ The production and transfer mechanism of fire smoke and toxics
- ◆ Key technology of fire protection
  - ※ Clear and performance-optimized fire retardant techniques
  - ※ Multi-signal sensing and intelligent recognition of early-stage fires
  - ※ The theory and technology of multi-component water mist fire suppression
- ◆ Theory and methodology of fire safety engineering
  - ※ Fire risk assessment based on fire dynamics and statistical theories
  - ※ Performance-based designs

Goals:

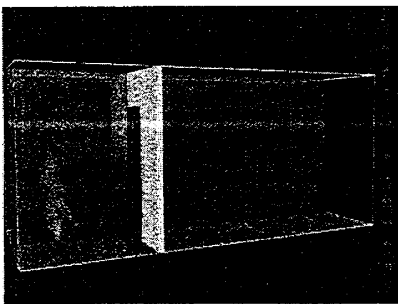
To establish the theoretical model to reflect the complexity and dual-nature (deterministic and probabilistic) of fire, to realize innovations in key fire protection technologies such as fire retardant, fire detection, fire suppression, etc and to progress in the theory and methodology of fire safety engineering. SKLFS strives to build itself into a fundamental research innovation base of fire safety at advanced international level and an innovation base for national fire safety and safety in production and to provide reliable and scientific support for the initiating period (advanced technology, safe and rational design, scientific management and emergency pre-scheme) of fire protection engineering in China.



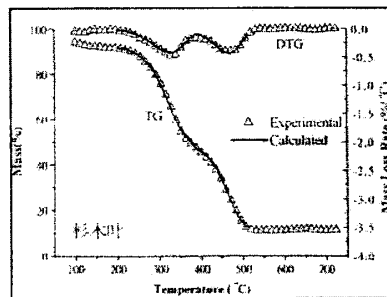
DPIVS 系统原理示意图  
Principle sketch map of  
DPIVS



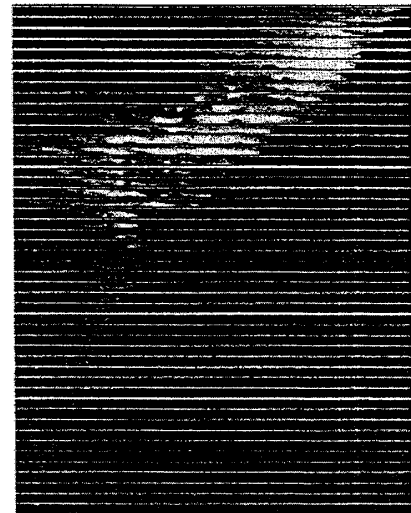
常规聚合物材料（左）和阻燃纳米复合材料（右）燃烧过程对比图  
Parallel combustion picture of conventional polymers (left) and retardant nanocomposites(right).



场-区-网复合模型的大涡模拟验证  
Verification using LES for field-zone-network hybrid modeling



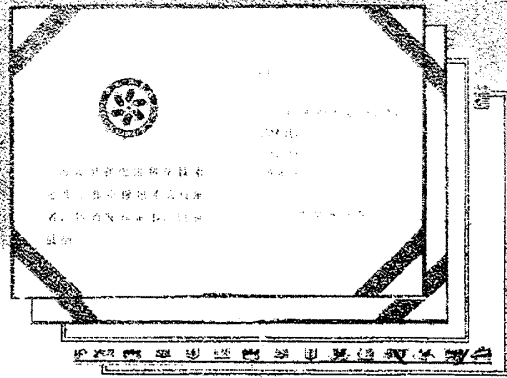
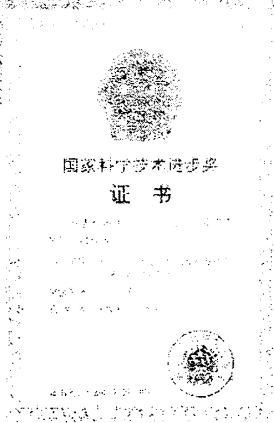
生物质热解模型  
Biologic decomposition kinetics model



气体-粉尘复合火焰结构  
Multiple flame structure of gas mill dust

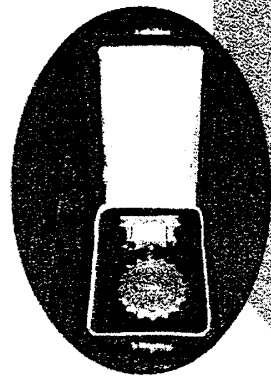




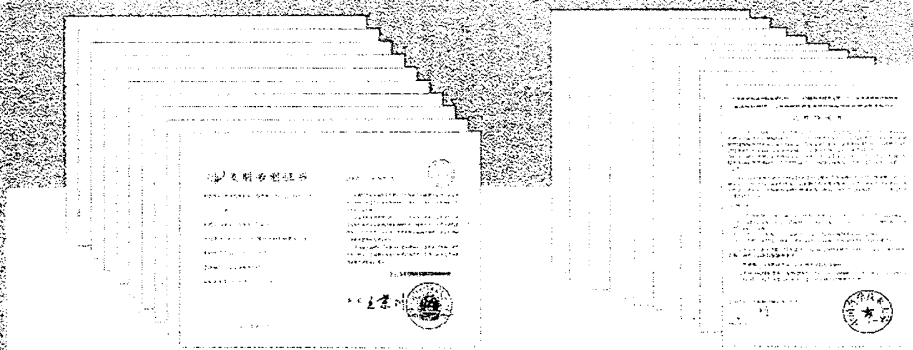


实验室着力将火灾动力学演化理论和防治技术的研究服务于国家火灾安全的科技创新，已经和正在为国家火灾安全做出实质性的创新贡献。

实验室主持和承担了包括973、863、国家科技攻关、国家自然科学基金、省部委重点等一批重要科研项目和课题，获得多项科研成果奖励，如：《大型高层建筑火灾智能监测与电气火灾隐患检测系统》获国家科技进步二等奖；《火灾与燃烧的计算机模拟》和《林火行为规律的实验模拟和计算机模拟研究》获中科院自然科学二等奖；《二维抛物和椭圆型燃烧的理论模型》获中科院科技进步二等奖；《油罐扬沸火灾机理及其预测的研究》和《常规和微重力条件下火灾过程的计算机模拟》获中科院自然科学三等奖；《计算燃烧学通用程序》获中科院科技进步三等奖。此外，还有多项成果获得省部级科技进步奖。近6年来，在国内外重要刊物上发表论文405篇，其中SCI收录132篇，EI收录29篇，申请发明专利29项，其中授权3项，申请实用新型专利16项，其中授权10项。实验室在火灾科学基础研究方面步入世界前列，近5年发表的SCI收录论文数在世界火灾科研机构中排名第二。



中国科学院火灾科学国家重点实验室，是在中国科学院1995年12月25日批准成立的中国科学院首批重点实验室之一，也是中国科学院火灾科学领域唯一的国家重点实验室。

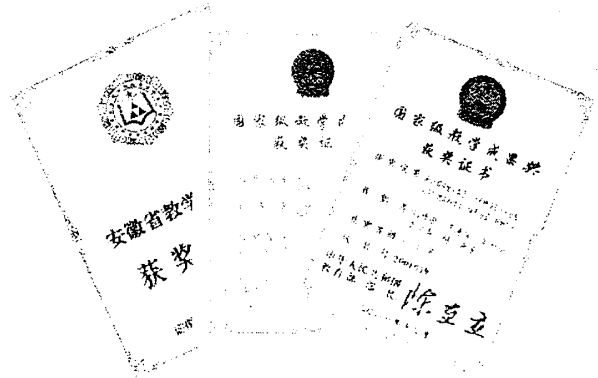


SKLFS has been contributing to the national scientific and technological innovation of fire safety in the fields of fire dynamics theory and protection technology, and has already made essential innovative contributions to fire safety in China.

The laboratory has so far undertaken many important scientific research projects under Programme 973, Programme 863, programmes assisted by the National Natural Science Foundation of China, Key Technologies R&D Programme and many other key programmes at ministerial or provincial levels. Many achievements have received the recognition of the government. Research on "Intelligent Detection of Large Space Early-stage Fire and Monitoring System of Electric Fire" won the 2nd class State Award for Scientific and Technological Progress; Research on "Computer Modeling of Fire and Combustion" and "Experimental and Computational Modeling Research of Forest Fire Behavior" obtained the 2nd class Award for Natural Science by the Chinese Academy of science (CAS); Research on "Theoretical Model of 2-Dimension Parabolic and Elliptic Type Combustion" was honored with the 2nd class Award for Sci-

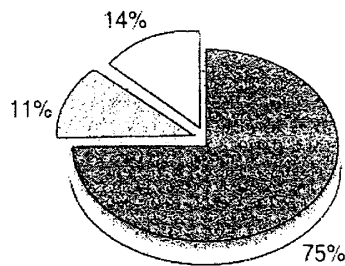
entific and Technological Progress by the CAS; Research on "Study of Boilover Mechanism and Predication" and "Computer Modeling of Fire Under Normal and Micro-Gravity Conditions" was given the 3rd class Award for Natural Scientific and Technological Progress by the CAS; Research on "General Program for Computational Combustion" was achieved the 3rd class Award for Scientific and Technological Progress by the CAS. In addition, the laboratory has received a number of other awards for progress in science and technology from state and provincial departments. During the past five years, 405 papers written by researchers at SKLFS have been published, of which 132 papers were included by SCI and 29 by EI. 24 inventions made at the lab have applied for patent right and 3 of them have been authorized. The lab has applied for 16 China Utility Models and 10 have been granted. In respect of the fundamental research in fire science, the laboratory is among the best in the world. According to the statistics provided by SCI, the number of included papers written by staff at SKLFS in the past 5 years ranks the second among fire research institutions in the world.



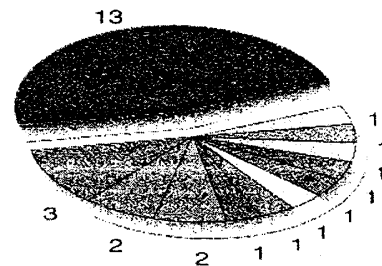


实验室非常重视队伍建设与人才培养，现有固定研究人员28人，其中工程院院士1人，中国科学院“百人计划”1名，教授12人、副教授8人，高级职称人员占71.4%；具有博士学位的21人，占75%；平均年龄39.7岁，来自12个不同的学科。

实验室创建了以火灾机理/安全事故和防治技术为主干和特色的“安全技术及工程”硕士点与博士点。累计在读硕士生85人，博士生41人，在站博士后19人。实验室在研究生培养方面的《火灾安全学科建设和研究生培养的探索与实践》获1997年国家教学成果二等奖；《面向国家重大需求，产学研与火灾安全交叉学科建设相结合，培养高层次创新人才》获2001年国家教学成果一等奖。研究生获中国科学院院长特别奖1人次，院长优秀奖3人次，中国科学技术大学郭沫若奖学金1人次，求是奖4人次等。



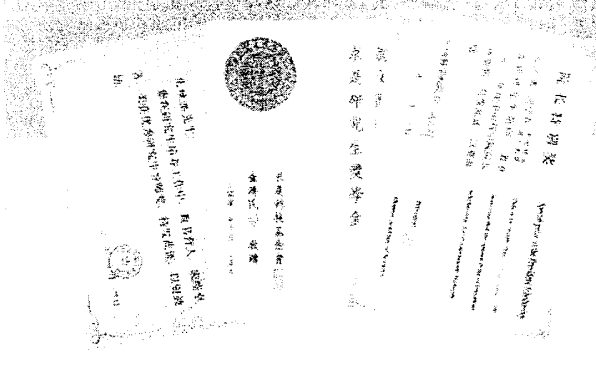
□ 博士 Doctor degree  
 ■ 硕士 Master degree  
 ▨ 其它 Others



■ 工程热物理 Thermal Physics Engineer  
 ■ 材料科学 Materials Science  
 ▨ 安全工程 Safety Engineering  
 ▨ 内燃机 Internal Combustion Engineer  
 ▨ 高分子材料 Polymer Materials  
 ▨ 计算机 Computer Science  
 ▨ 流体力学 Fluid Mechanics  
 ▨ 生物工程 Biology Engineering  
 ▨ 光学 Optics  
 ▨ 遥感 Remote Sensing  
 ▨ 含能材料 Energetic Materials  
 ▨ 分析化学 Analytical Chemistry



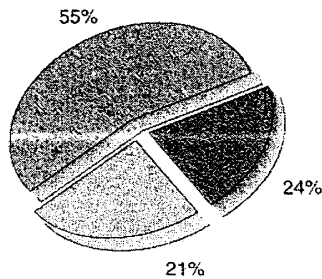




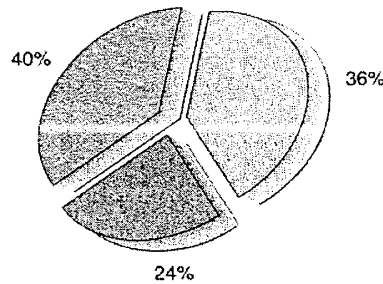
SKLFS pays great attention to its personnel development. Now the laboratory has a research staff of 28 persons, including one member of CAE, one of the members engaged in the "One-Hundred-Talent Program", 12 professors and 8 associate professors. 71.4% of them have senior academic titles and 75% (21 persons) have doctoral degrees. The average age is 39.7 and the staff come from 12 different disciplines.

The laboratory has the right to enroll graduate students for Masters and Ph.D. degrees in safety technology and engineering, which focuses on fire mechanism, safety engineering and fire prevention technology. There are 85 master's candidates, 41 Ph. D. candidates and 19 postdoctoral researchers. The "Exploration and Experience of Disciplinary Construction and

Postgraduate Education in Fire Science" won the 2nd class National Award for Educational Achievements in 1997, and the "Catering for Key National Demand, Combining Production, Education and Research with the Interdisciplinary Construction of Fire science and Developing High-Level Innovative Personnel" was awarded the 1st class National Award for Educational Achievements in 2001. One person-time won the special award by the president of the CAS, three person-times were given excellent awards by the president of the CAS, one person-time was awarded GUO Moruo Scholarship of USTC and four person-times were honored with Qiu-Shi Scholarships at USTC.



30岁以下 Under 30 years old  
 31至45岁 31-45 years old  
 46至60岁 46-60 years old



教授 Professor  
 副教授 Assoc. Professor  
 讲师 Lecture

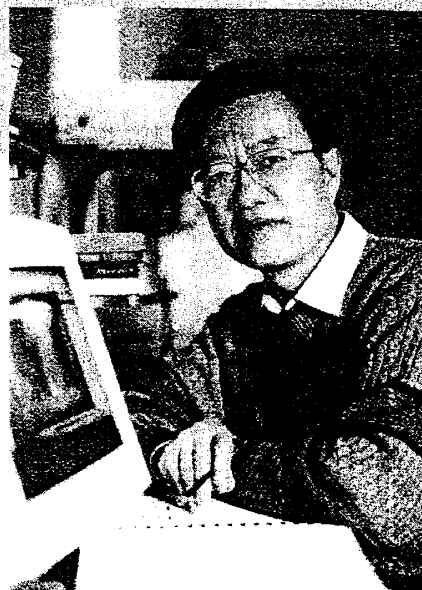


**范维澄 教授**

博士生导师，中国工程院院士，实验室主任  
Prof. & Director FAN Weicheng  
Ph.D. Supervisor, Member of CAE  
wcfan@ustc.edu.cn

研究方向：火灾与燃烧的理论模型和数值模拟；火灾科学的双重性模型；非线性火灾动力学；火灾风险评估；火灾安全性能化设计方法学；火灾的阻燃与探测。

Research Interests: Computer modeling of fire and combustion; dual-nature (deterministic and probabilistic) model of fire science; nonlinear fire dynamics; fire risk assessment; methodology of fire safety performance-based design; fire retardancy and detection.



**廖光焯 教授**

博士生导师，实验室副主任  
Prof. LIAO Guangxuan  
Ph.D. Supervisor, Deputy Directors  
gxliao@ustc.edu.cn

研究方向：工业火灾动力学演化机理及预防控制方法；清洁高效灭火原理与技术；计算机辅助热安全设计。

Research Interests: Dynamics of industrial fire and prevention methods; theory and technology of clear fire suppression; CAD for thermal safety.



**袁宏永 博士，教授**

博士生导师，实验室副主任  
Prof. Dr. YUAN Hongyong  
Ph.D. Supervisor, Deputy Directors  
yuanhy@ustc.edu.cn

研究方向：大空间火灾探测报警技术；图像感烟技术和电气线路与设备故障隐患在线诊断技术等新型探测控制技术。

Research Interests: Fire detection and alarm technology in large space; image smoke sensing technology; on-line monitoring of electric wires and facilities, etc.



孙金华 博士, 教授, 博士生导师

Prof. Dr. SUN Jinhua, Ph.D. Supervisor

[sunjh@ustc.edu.cn](mailto:sunjh@ustc.edu.cn)

研究方向: 工业火灾孕育及发展的动力学演化机理; 工业热灾害风险评估及防治技术。

Research Interests: Dynamics of industrial fire; risk assessment of industrial thermal hazards and prevention technology.



霍 然 教授, 博士生导师

Prof. HUO Ran, Ph.D. Supervisor

[huoran@ustc.edu.cn](mailto:huoran@ustc.edu.cn)

研究方向: 建筑火灾的发展与防治规律; 烟气的流动与控制; 性能化建筑防火设计。

Research Interests: Fire growth and protection mechanism in buildings; smoke flow and control; performance-based design in buildings.



胡 源 博士, 教授, 博士生导师

Prof. Dr. HU Yuan, Ph.D. Supervisor

[yuanhu@ustc.edu.cn](mailto:yuanhu@ustc.edu.cn)

研究方向: 纳米复合材料、无卤阻燃材料的制备、机理及性能优化的研究。

Research Interests: Study on the synthesis, mechanism and property optimization of nanocomposites and halogen-free flame retardant materials.



瞿保钧 博士, 教授, 博士生导师

Prof. Dr. QU Baojun, Ph.D. Supervisor

[qubj@ustc.edu.cn](mailto:qubj@ustc.edu.cn)

研究方向: 低烟无卤和无机纳米阻燃高分子材料、聚烯烃和橡胶弹性体光交联及其应用。

Research Interests: Halogen-free flame-retardant and inorganic nanosized flame-retardant polymeric composites; photoinitiated crosslinking of polyolefins and PP/EPDM thermoplastic elastomers and their industrial applications.



施文芳 博士, 教授, 博士生导师

Prof. Dr. SHI Wenfang, Ph.D. Supervisor

[wfshi@ustc.edu.cn](mailto:wfshi@ustc.edu.cn)

研究方向: 辐射固化无卤阻燃涂层以及反应性超支化聚合物的制备及其应用。

Research Interests: Preparation of radiation curable halogen-free flame-retardant coatings and reactive hyperbranched polymers and their applications.



陆守香 博士, 教授

Prof. Dr. LU Shouxiang

[sxlu@ustc.edu.cn](mailto:sxlu@ustc.edu.cn)

研究方向: 火灾风险评估方法、船舶火灾安全、可燃气体火灾爆燃动力学。

Research Interests: Fire risk assessment; fire safety of shipping; explosion dynamics of combustible gas.



周建军 教授

Prof. ZHOU Jianjun

[zjj@ustc.edu.cn](mailto:zjj@ustc.edu.cn)

研究方向: 森林火灾; 火蔓延特性; 火与旋涡的相互作用。

Research Interests: Forest fire; the characteristics of fire spread; the interaction of fire and vortex.





张和平 博士，副教授

Assoc. Prof. Dr. ZHANG Heping

[zhanghp@ustc.edu.cn](mailto:zhanghp@ustc.edu.cn)

研究方向：建筑火灾烟气运动实验模拟；建筑装饰材料火灾特性；火灾风险性评估。  
Research Interests: Building fire experimental simulation of smoke movement; fire dynamics of lining materials; fire risk assessment.



杨立中 博士，副教授

Assoc. Prof. Dr. YANG Lizhong

[zxd@ustc.edu.cn](mailto:zxd@ustc.edu.cn)

研究方向：建筑火灾特殊火行为；烟气毒性及对人员疏散的影响；事故灾害评估及预测。

Research Interests: Special building fire behaviors; fire smoke toxicity and its harm to evacuation; early characteristics of fire.



王正洲 博士，副教授

Assoc. Prof. Dr. WANG Zhengzhou

[ZWang@ustc.edu.cn](mailto:ZWang@ustc.edu.cn)

研究方向：聚合物改性；聚合物材料阻燃；灭火技术等。

Research Interests: Polymer modification; flame retardation of polymers; fire extinguishing technology, etc.



赵建华 博士，副教授

Assoc. Prof. Dr. ZHAO Jianhua

[zhaojh@ustc.edu.cn](mailto:zhaojh@ustc.edu.cn)

研究方向：火灾烟雾识别；智能火灾探测和烟气成分在线监测。

Research Interests: Fire smoke recognition; intelligent fire detection and on-line monitoring of smoke component.



蒋 勇 博士，副教授

Assoc. Prof. Dr. JIANG Yong

[yjjiang@ustc.edu.cn](mailto:yjjiang@ustc.edu.cn)

研究方向：火灾与燃烧过程的计算机模拟。

Research Interests: Computer simulation of fire and combustion.



邱 榕 博士，副教授

Assoc. Prof. Dr. QIU Rong

[rqh@ustc.edu.cn](mailto:rqh@ustc.edu.cn)

研究方向：火灾烟气有害物质的生成及其对生物体的损伤。

Research Interests: Producing mechanism of toxicant in fire smoke and its harm to organisms.



刘乃安 博士

Dr. LIU Naian

[liunai@ustc.edu.cn](mailto:liunai@ustc.edu.cn)

研究方向：森林可燃物热解动力学；森林火蔓延动力学。

Research Interests: Decomposition kinetics of forest combustibles; spread behaviour and mechanism of forest fire.





姚斌 博士  
Dr. YAO Bin [bin Yao@ustc.edu.cn](mailto:bin Yao@ustc.edu.cn)  
研究方向: 建筑火灾安全与灭火新技术原理。  
Research Interests: Building fire safety and new fire suppression technology.



翁文国 博士  
Dr. WENG Wenguo [wgweng@ustc.edu.cn](mailto:wgweng@ustc.edu.cn)  
研究方向: 建筑火灾中回燃与轰燃; 火灾突变现象的非线性动力学; 燃烧诊断方法。  
Research Interests: Backdraft and flashover; nonlinear dynamics of fire catastrophe phenomena; combustion diagnosis methods.



王喜世 博士  
Dr. WANG Xishi [wxs@ustc.edu.cn](mailto:wxs@ustc.edu.cn)  
研究方向: 热灾害实验诊断方法; 清洁高效细水雾灭火原理与技术。  
Research Interests: Diagnosis method of thermal hazards; theory and technology of clear and high-performance fire suppression.



李元洲 博士  
Dr. LI Yuanzhou [yzli@ustc.edu.cn](mailto:yzli@ustc.edu.cn)  
研究方向: 大空间建筑内火灾烟气的流动与控制; 大型复杂建筑的火灾安全评估。  
Research Interests: Smoke movement and control in large space buildings; fire risk assessment for big and complex buildings.



秦俊 高级工程师  
Senior Engineer QIN Jun [qinjun@ustc.edu.cn](mailto:qinjun@ustc.edu.cn)  
研究方向: 火灾流场诊断; 清洁高效灭火原理与技术。  
Research Interests: Measurement of fire-induced flow field; theory & technology of clear and high-performance fire suppression.



宗若雯 高级工程师  
Senior Engineer ZONG Ruowen [zongrw@ustc.edu.cn](mailto:zongrw@ustc.edu.cn)  
研究方向: 阻燃材料的热分析动力学研究。  
Research Interests: Thermal analysis kinetics of flame-retardant materials.



房培德 工程师  
Engineer LI Peide  
[pdl@ustc.edu.cn](mailto:pdl@ustc.edu.cn)



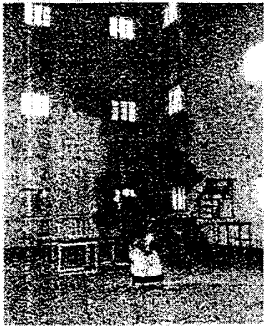
陈军 工程师, 行政秘书  
Engineer CHEN Jun  
[junchen@ustc.edu.cn](mailto:junchen@ustc.edu.cn)



杨萍玥 工程师, 学术秘书  
Engineer YANG Pingyue  
[yangpy@ustc.edu.cn](mailto:yangpy@ustc.edu.cn)



## 建筑火灾研究室 Building Fire



研究内容:

研究建筑物内表面及空间火灾的发生及蔓延。

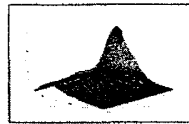
- 可燃物的热解及着火
- 火灾增长与烟气流动规律
- 轰燃、回燃等特殊火行为
- 火灾烟气毒性及对人员疏散影响
- 性能化设计方法

### Research Areas:

- Pyrolysis and ignition of combustibles
- Fire growth and smoke movement
- Special building fire behaviors
- Fire smoke toxicity and its effect on human evacuation
- Performance-based design



轰然 Flashover



CO 浓度-距离-时间  
CO density-distance-time

大空间火灾综合实验平台为中国科学技术大学与香港理工大学共同投资建造，实验平台目前设有烟气控制系统、火灾探测系统、喷水灭火系统、实验测量系统以及小室实验系统五大部分。

主要功能:

(1)研究方面: 提供火灾安全工程研究的基础设施, 进行大型排烟、通风、火灾探测、自动喷水灭火系统的研究;

(2)教学方面: 提高学生的实验水平及科研能力, 进行实验教学;

(3)社会技术服务方面: 评估大空间建筑火灾安全工程设计和技术的有效期; 发展大空间建筑的通风及排烟设计。

Fire test atrium is constructed by USTC and PolyU, consisted of Smoke Management, Fire Detection, Fire Suppression, Data collection Systems and Cabin Experimental.

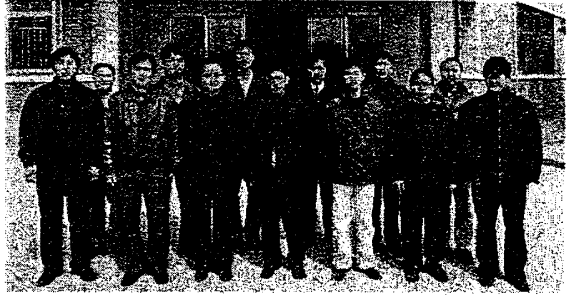
Main Functions:

(1)Applying basic equipment for fire safety engineering research.

(2)Promoting research and experimental level of student, carrying out experimental training.

(3)Evaluating validity of atrium fire safety design, developing ventilation and smoke management design of atrium building.

研究队伍 Staff



霍然教授, 研究室主任 (前排左四) Prof. HUO Ran  
杨立中副教授 (前排左三) Dr. YANG Lizhong  
李元洲博士 (前排左二) Dr. LI Yuanzhou



陈晓军, 主要研究特殊火灾行为  
CHEN Xiaojun, studies on special building fires



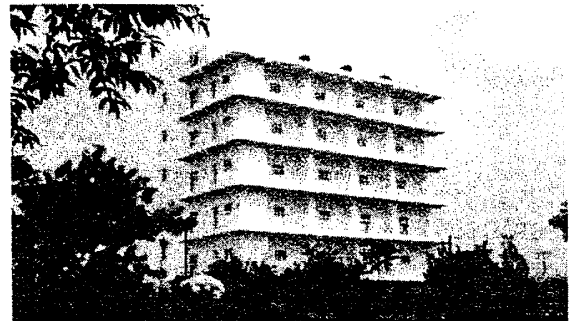
邓志华, 主要研究火灾早期特性  
DENG Zhihua, studies on characteristic of fire



朱东杰, 主要研究智能(机器人)扑救  
ZHU Dongjie, studies on intelligent fire suppression



王浩波, 主要研究建筑内烟气的流动特性以及性能化防火安全设计方法  
WANG Haobo, studies on performance-based fire safety design



大空间火灾实验厅 (97.7)  
USTC/PolyU fire test atrium



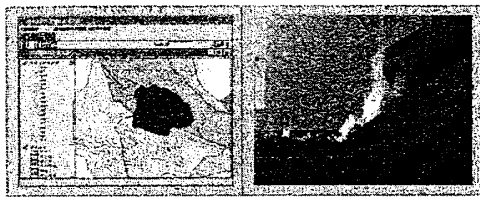
# 森林火灾研究室 Forest Fire

### 研究内容 Research Areas

生物质材料热解动力学。  
Kinetic model of thermal decomposition of biomass  
森林火行为动力学模型。  
Modeling of forest fire behaviors  
森林火灾中阴燃现象及其向明火转化的机理。  
Smolder propagation and the transition to flame  
森林火灾系统的自组织临界性和复杂性。  
Self-organized criticality of forest fires  
森林火灾中特殊火现象的非线性动力学机理。  
Nonlinear dynamic model of special forest fire  
基于地理信息系统的森林火灾扑救决策支持系统。  
Forest fire decision-making system based on GIS

### 研究队伍 Staff

王清安教授(右四)  
Prof. WANG Qing-an  
周建军教授(左四)  
Prof. ZHOU Jianjun  
刘乃安博士(左三)  
Dr. Liu Nai-an  
朱霁平博士(右二)  
研究室副主任, 主要方向为基于地理信息系统的火灾计算机仿真。  
Dr. & deputy director ZHU Jiping, studies on fire computer simulation based on GIS.  
宋卫国博士后(中), 主要方向为火灾系统的自组织临界性和复杂性。  
Dr. SONG Weigu, studies on self-organized criticality of fires.  
邹祥辉博士后(左二), 主要研究方向为材料表面火蔓延过程实验和计算机模拟。  
Dr. ZOU Yanghui, studies on emulation of fire spread on surface of materials.  
路长(左一), 主要方向为阴燃过程动力学演化和森林地下火蔓延。  
Lu Chang, studies on smolder in forest ground fire.  
夏云春博士(右三), 主要方向为森林火灾中火旋风现象的实验模拟。  
Dr. XIA Yunchun, experimental study on forest fire whirl wind.  
张林鹤(右一) ZHANG Linhe



森林地表火蔓延的实验模拟和计算机模拟  
Experimental and computer simulation of surface fire

# 计算机模拟研究室 Simulation and Modeling

### 研究内容 Research Areas

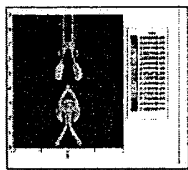
研究火灾与燃烧过程计算基本方程、理论模型、数值方法、化学反应动力学、计算程序和仿真技术及其在科学、工程、环境和灾害研究等方面的应用。包括: 先进的湍流反应流数值预测技术; 建筑防火数值预报专家系统; 火灾的场模拟、区域模拟和场-区-网复合模拟; 体现火灾确定性和随机性规律相结合的非线性复杂系统分析; 可视化仿真及虚拟现实技术。

### 研究队伍 Staff

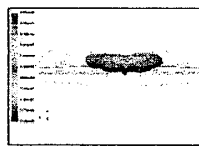
本研究室目前有研究人员13人, 其中固定人员6人, 包括范维澄院士, 副主任副教授蒋勇博士, 副教授汪箭博士, 副教授邱榕博士, 讲师翁文国博士, 助教刘晓平; 客座研究人员2人, 博士后1人, 博士生1人, 硕士生3人。  
This section has 13 researchers. There are 6 staffs, including Academician FAN Weicheng, Dr. & deputy director JIANG Yong, Dr. WANG Jian, Dr. QIU Rong, Dr. WENG Wenguo, Asst. LIU Xiaoping, 2 visiting researchers, 1 post doctor and 4 graduate students which include 1 master.



部分研究人员合影  
Part of the researchers

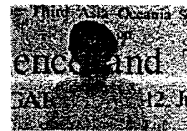


反应羽流直接模拟 DNS  
Direct Numerical Simulation of the reactive plume



济南国际机场烟气蔓延  
Smoke movement in the Yaoqiang international airport

Studies on numerical simulation of fire and combustion including governing equations, models, numerical methods, chemical dynamics, computer program and their applications in scientific research, engineering field, environmental science and disaster research. We are interested in advanced methods for numerical simulation of reactive turbulence, numerical prediction of building fire, simulation for fire by field, zone and network as well as their hybrid numerical methods, studies on complicated non-linearity in fire with dual-nature (deterministic and probabilistic) and virtual reality.



副教授 汪箭 博士  
Assoc. Prof. Dr. WANG Jian



廖干力 博士  
Dr. LIAO Ganli



博士后 汪继文  
Dr. WANG Jiwen



姜曦 博士  
Dr. JIANG Xi



刘晓平  
LIU Xiaoping



## 火灾探测研究室 Fire Detection

### 研究方向 Research Areas

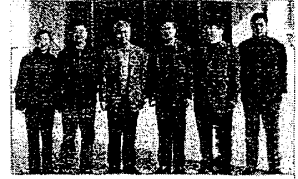
- 火灾探测基础理论研究  
Fire Detection Theory
- 火灾自动报警系统传感技术研究  
Sensor Technologies for Fire Detection and Alarm
- 远程安全监控传输技术研究  
Long Distance Communication and Monitoring for Fire Safety
- 自动灭火控制技术  
Automatic Fire Suppression and Control
- 消防通讯指挥系统  
Communication and Command System for Fire
- 大尺度遥感火灾监控技术  
Remote Sensing for Large Scale Fire Monitoring



大空间火灾探测扑救实验  
fire detection and suppression in large space

### 研究队伍 Staff

- 袁宏永教授(右一), 研究室主任。  
Prof. & director YUAN Hongyong
- 吴龙标教授(左三), 火灾探测与信号处理及多媒体技术。  
Prof. WU Longbiao, studies on fire detection and signal processing.
- 刘申友副教授(右二), 自动控制与智能楼宇。  
Ass. Prof. LIU Shenyou, studies on automation and intelligent building.
- 马云高级实验员(左一), 研究现场总线 and 自动控制。  
Adv. Lab Ass. MA Yun, studies on automation.
- 苏国锋博士后, 研究火灾早期探测机理。  
Post Dr. SU Guofeng, studies on early fire detection.
- 刘炳海讲师(左二), 研究远程通讯和信号处理。  
Lecture LIU Binghai, studies on long distance communication and signal processing.
- 王进军(右一), 研究特种空间、场所的火灾安全系统设计。  
WANG Jinjun, studies on fire safety design in special space.



## 工业火灾研究室 Industrial Fire

### 研究方向 Research Areas

研究工业火灾动力学演化机理, 构建重大危险源辨识模型, 发展具有创新特色的热灾害控制技术, 实现工业热安全系统的优化设计。包括典型工业火灾现象的模拟、热灾害诊断方法、清洁高效灭火原理与技术、计算机辅助热安全设计。

To study the industrial fire dynamics, develop discriminating model on fateful industrial hazards and innovative techniques for thermal disasters controlling, optimize design of industrial thermal safety systems. Researches focus on: simulation of typical industrial fires, diagnostic methods for thermal disasters, mechanisms and techniques on clean and super-effective fire suppression, CAD for thermal safety, etc.



### 研究队伍 Staff

本研究室目前有研究人员18人, 其中固定人员4人、客座研究人员1人、博士后2人、博士研究生7人、硕士研究生4人, 研究室主任为廖光焯教授。

The section has 18 researchers till March, 2003. There are 4 staffs, 1 visiting researcher, 2 post doctors and 11 graduate students. The director of this section is Prof. LIAO Guangxuan.



- 前排左三: 廖光焯教授 Prof. LIAO Guangxuan
- 前排右三: 秦俊高级工程师 Senior Engineer QIN Jun
- 前排右一: 王喜世博士 Dr. WANG Xishi
- 前排左二: 厉培德工程师 Engineer Li Peide
- 前排右二: 刘江虹博士后 Post Dr. LIU Jianghong
- 前排右一: 卢平博士后 Post Dr. LU Ping
- 后排: 博士和硕士研究生 Graduate student

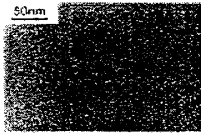




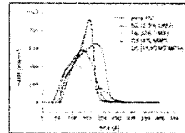
## 火灾化学研究室 Chemistry Fire

### 研究内容 Research Areas

本研究室致力于研究新型、绿色、高效阻燃剂和阻燃纳米复合材料。主要研究方向包括：阻燃聚合物/无机物纳米复合材料以及新型无卤阻燃剂的分子设计、制备方法、结构控制、阻燃机理和综合性能优化的研究；灭火技术及灭火机理的研究等。



ABS/粘土纳米复合材料TEM照片  
Figure of TEM of ABS/clay nano composites



ABS/粘土纳米复合材料TEM照片  
Figure of TEM of ABS/clay nano composites

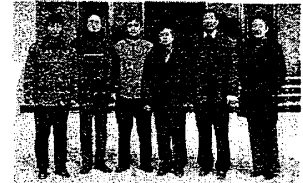
Studies on polymer modification, fire retardancy of polymers, fire extinguishing technology, polymer nanocomposites, etc. Main research interests include: 1) synthesis of novel flame retardants, flame retardant polymer materials, polymer nanocomposites; 2) studies on effect of flame retardant additives on the properties of various polymers; 3) investigation of flame retardant mechanism and structure of flame retardant polymer materials; 4) analysis of toxicity of combustion products of the materials; 5) studies on photoinitiated crosslinking of polyolefins and PP/EPDM thermoplastic elastomers; 6) preparation of radiation curable halogen-free flame-retardant coatings and reactive hyperbranched polymers, etc.

### 研究队伍 Staff

本研究室共有教授3人，副教授1人，高工1人，博士12人，硕士18人，研究室主任为胡源教授。

There are three professors, one associate professor, one senior engineer, 12 PhD students and 18 Post graduate students in this section. The director of this section is Prof. HU Yuan.

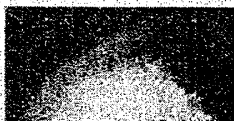
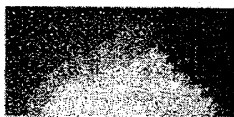
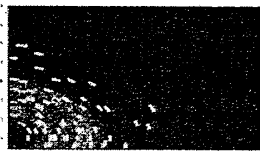
- 胡源教授(右三) Prof. HU Yuan
- 瞿保钧教授 Prof. QU Baojun
- 施文芳教授 Prof. SHI Wenfang
- 王正洲副教授(右二) Assoc. Prof. WANG Zhengzhou
- 宗若雯高级工程师(右一) Senior Engineer ZONG Ruowen
- 桂宙博士(左三)，纳米复合材料 Dr. GUI Zhou, studies on nanocomposites
- 宋磊博士后(左一)，纳米复合材料 Post Dr. SONG Lei, studies on nanocomposites
- 尤飞(左二) 纳米复合材料 YOU Fei, studies on nanocomposites



## 火灾风险评估方法及其应用 Fire Risk Assessment Approaches and Applications

### 研究方向 Research Areas

建立典型场所火灾环境下人群疏散的理论模型及数值方法，探讨疏导技术和疏导方式等因素对人员疏散规律的影响，研究小样本火灾事件的统计理论和典型场所火灾动力学，发展基于火灾动力学和统计理论耦合的风险评估方法和应用技术。



To develop theoretical models and numerical methods on human evacuation in typical fire cases and to analyze the evacuation rules; To study the statistic theory on small sample fire events and to develop an approach of fire risk assessment based on coupling Fire Dynamics and Small Sample Statistics Theory.

### 研究队伍 Staff



本研究方向目前有研究人员7人，其中固定人员2人，博士后2人，博士研究生3人。

This section includes 7

researchers, 2 staffs, 2 post doctors and 3 Ph.D. candidates.

- 孙金华教授(前排右二) Prof. SUN Jinhua
- 陆守香教授(前排左二) Prof. LU Shouxiang



博士后 孙强  
Post Dr. SUN Qiang  
火灾情况下的建筑物结构稳定性  
Stability of architecture structure in fire

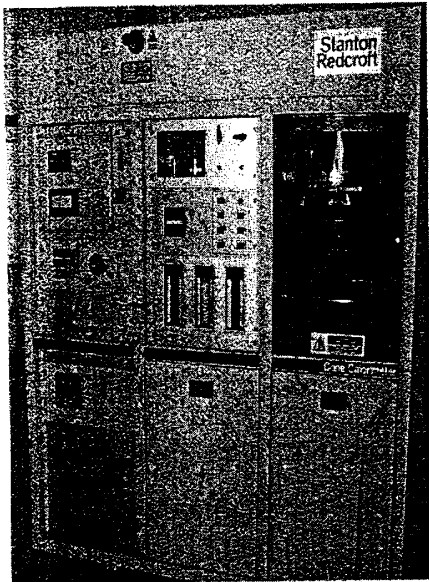


博士后 姜传胜  
Post Dr. JIANG Chuansheng  
高层建筑火灾烟气流动模拟  
Simulation on smoke movement in high-rise

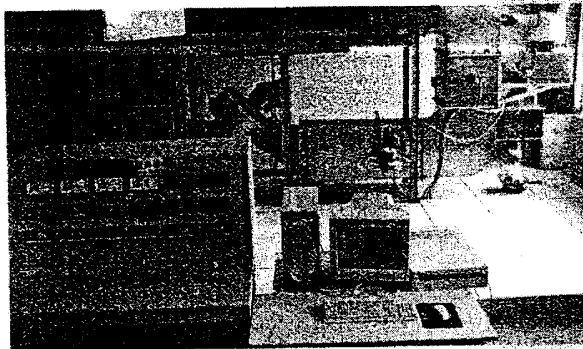




大空间火灾综合实验平台  
USTC/PolyU fire test atrium



热释放速率仪  
Apparatus of heat release rate



火灾探测综合模拟实验台  
Fire emulator/detector evaluator system



细水雾灭火模拟实验平台  
Experimental system of water mist fire suppression

火灾科学是新兴交叉研究领域，缺乏标准实验研究设备。实验室自行构思、设计和建造了8台火灾模拟实验设备和实体实验系统，满足了研究工作的基本需要，成为在国际上具有特色、能够深入开展火灾实验的实验室之一。

- 大空间火灾综合实验平台
- 大型燃烧风洞
- 全尺寸多功能热释放速率实验台
- 火灾探测综合模拟实验平台
- 火灾早期特性实验台
- 回燃模拟实验台
- 细水雾灭火模拟实验平台
- 五层模型楼

火灾科学国家重点实验室还拥有如红外热像仪、三维激光粒子动态分析仪、锥型量热计、单色仪、综合热分析仪、在线气体分析仪、加速量热仪、C80微量量热仪等先进科学仪器。

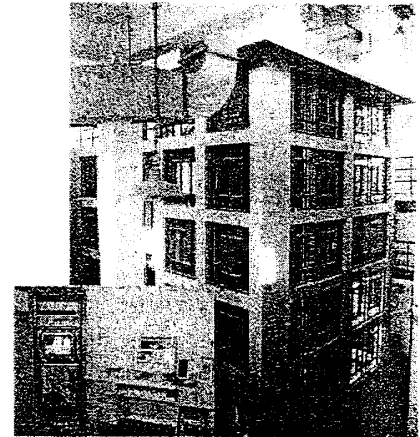


Fire science is a new and interdisciplinary research field which is short of standard experimental and research equipment. To satisfy the research demand, the laboratory designed and built 8 experimental systems, with which the laboratory carries out in-depth fire experiments and becomes one of the well-known laboratories in the world.

- USTC/PolyU fire test atrium
- Combustion wind tunnel
- Platform of full-scale HRR (heat release rate) testing
- Fire emulator/detector evaluator system
- Experimental system for characteristics at an early stage of fire
- Backdraft apparatus
- Experimental apparatus of water mist fire suppression
- Five-floor model building

The laboratory has also been equipped with the following advanced measurement instruments:

- ▲ Infrared thermal image
- ▲ Three dimensional laser particle dynamic analyzer
- ▲ Cone calorimeter
- ▲ Monochromator
- ▲ Simultaneous thermal analysis system
- ▲ On-line gas analyzer
- ▲ Accelerating rate calorimeter
- ▲ C80 CALVET calorimeter
- ▲ etc.



五层模型楼  
Five-floor model building



火灾早期特性实验台  
Experimental system for characteristics at an early stage of fire



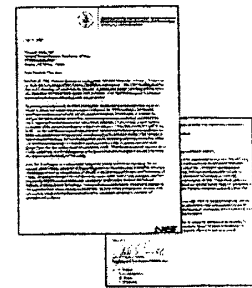
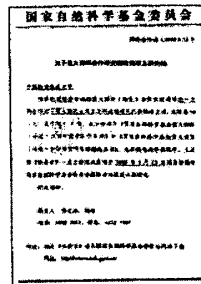
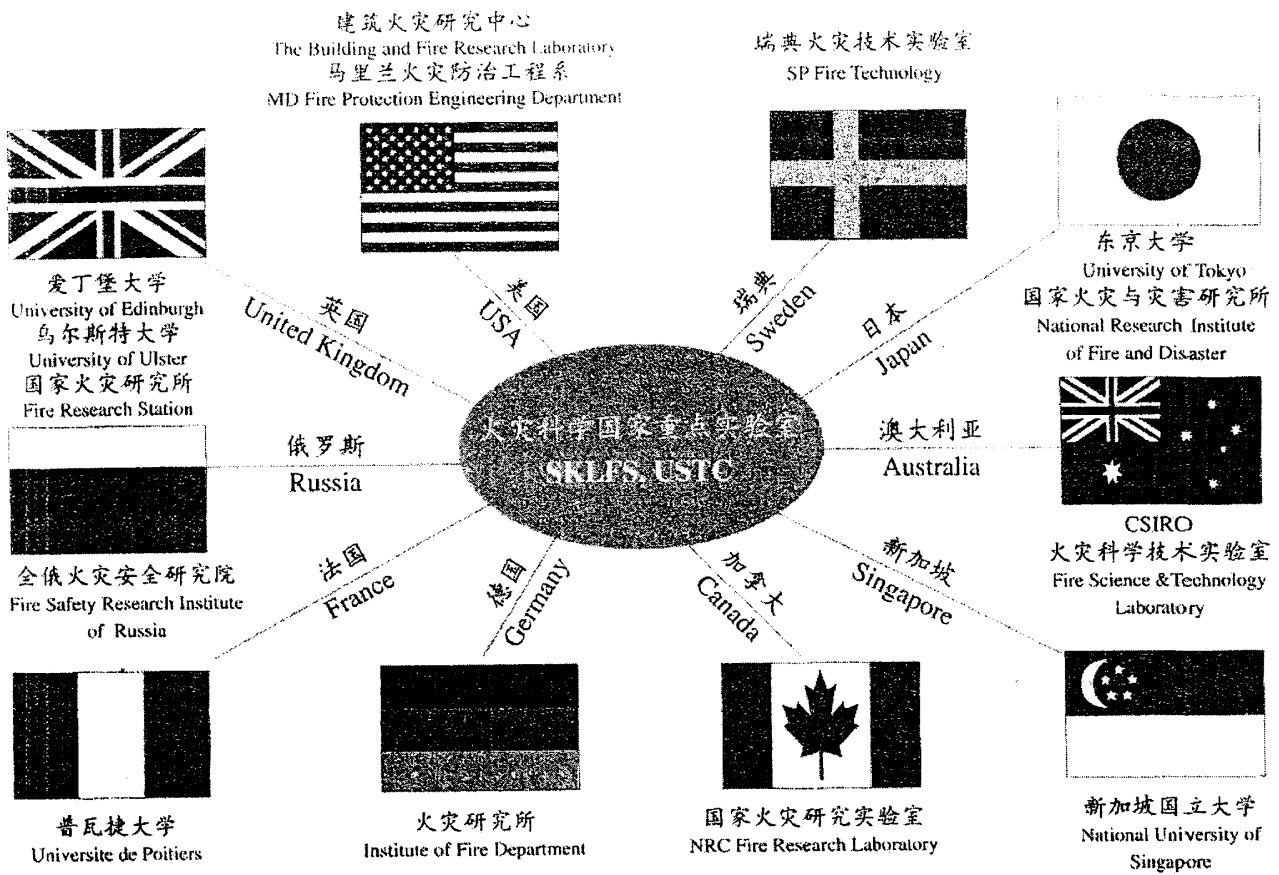
全尺寸多功能热释放速率实验台  
Platform of full-scale HRR (heat release rate) testing



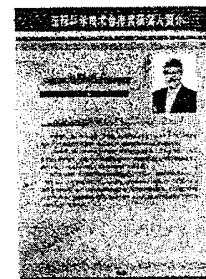
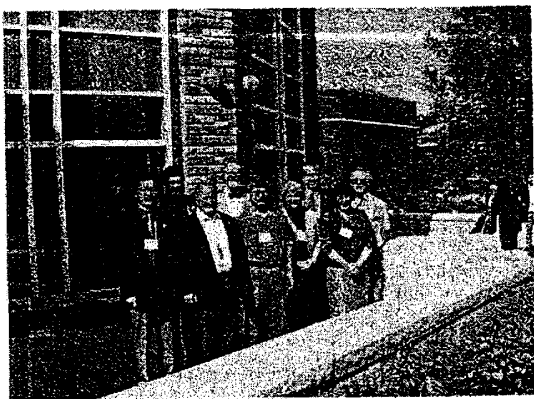
回燃模拟实验台  
Backdraft apparatus



大型燃烧风洞  
Combustion wind tunnel



中美就911事件的科学问题展开合作研究  
China and USA cooperate in solving scientific problems of the 911 event



与实验室密切合作的日本平野敏右教授因其突出贡献获2002年中华人民共和国国际科学技术合作奖  
Prof. Hirano won China International Science and Technology Cooperation Award in 2002 for his cooperation with SKLFS.

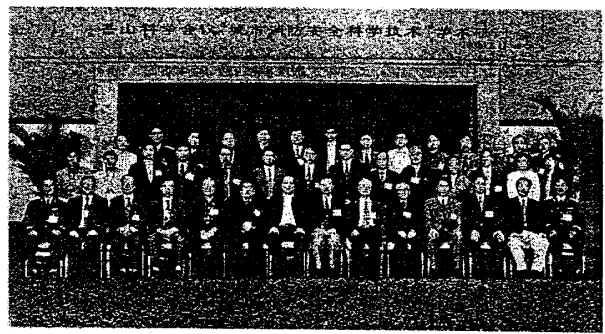


国内部分合作单位 (排名不分先后):

北京科学技术研究院	Beijing Academy of Science and Technology
中国空间技术研究院	Chinese Academy of Space Technology
中国林业科学研究院	Chinese Academy of Forestry
安全科学技术研究中心	National Center of Safety Science and Technology
沈阳消防研究所	Shenyang Fire Research Institute
四川消防研究所	Sichuan Fire Research Institute
天津消防研究所	Tianjin Fire Research Institute
上海消防研究所	Shanghai Fire Research Institute
清华大学	Tsinghua University
浙江大学	Zhejiang University
中国矿业大学	China University of Mining and Technology
南京理工大学	Nanjing University of Science and Technology
香港理工大学	Hong Kong Polytechnic University
西南林业大学	Southwest Forestry University
台湾中山大学	National Sun Yat-sen University (Taiwan)
青岛建筑工程学院	Qingdao Institute of Architecture and Engineering
青岛科技大学	Qingdao University of Science and Technology



公安部消防局局长陈家强  
Director CHEN Jiaqiang of Fire Bureau  
of the Ministry of Public Security



“城市消防安全”香山科学会议  
Mt. Xiangshan conference on  
“City Fire Safety”



中国科大—香港理工火灾安全学术交流  
USTC/PolyU Education Symposium on  
Advanced Fire Research

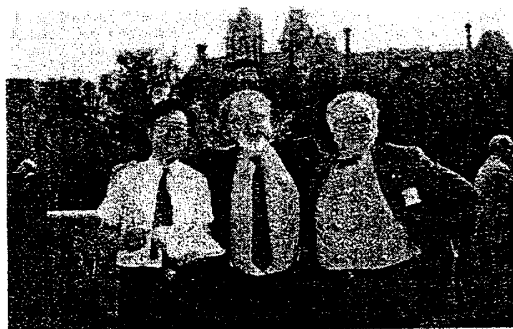


与上海消防研究所全面合作  
Cooperate with Shanghai Fire  
Research Institute





计算燃烧学创始人 Spalding 教授 (左一)



国际火灾安全科学学会首任主席  
Thomas 教授 (右一)



国际火灾安全科学学会第三任主席  
平野敏右教授 (左一)



燃烧学与火灾科学界的著名学者  
Lauder 教授 (左)



美国建筑与火灾研究实验室主任 Snell 教授 (右二)

1997 年以来, 国际火灾安全科学协会前 4 任主席中的 3 位, 分别来访实验室 1 次、5 次和 2 次; 计算燃烧学的奠基人、英国皇家学会会员 Spalding 教授为代表的多位杰出科学家也应邀来我实验室讲学。实验室争取得到国家外国专家局专项支持经费 126.15 万元, 共邀请了美国、日本、英国、法国、瑞典、希腊、澳大利亚、芬兰、加拿大、俄罗斯以及台湾、香港等国家和地区的学者 42 人次来实验室学术访问、合作研究。实验室先后有 71 人次出国讲学、合作研究和参加重要国际会议。15 位国内外高级访问学者来室进行了卓有成效的合作研究。实验室批准 18 项国家重点实验室基金课题, 在一些国际前沿研究领域取得了较大进展。

实验室主持召开国内外学术会议 7 次; 53 人次在国际学术会议上宣读论文, 其中特邀报告 4 人次, 分组报告 50 人次; 参加国内会议 23 人次, 大会主题报告 4 人次, 分组报告 19 人次; 5 位学者荣获国际学术会议优秀论文奖。负责中日双方政府支持的中日重点大学群科技合作项目中的火灾研究项目; 作为国内唯一受到美国建筑与火灾研究室 (BFRL) 正式邀请的研究机构, 参与了 911 事件后美国开展的高层建筑火灾安全研究国际合作计划。



Since 1997, SKLFS ties up with international scientists of fire safety. Altogether a special fund of RMB 1261,500 yuan has been won over from the State Administration of Foreign Experts Affairs to invite 42 expert-times to visit SKLFS, give lectures or do cooperative research. These experts come from USA, Japan, UK, France, Sweden, Greece, Australia, Finland, Canada and Russia. Experts from Hong Kong and Taiwan have also been invited for cooperation and academic exchanges. Among them, there are many famous scientists, including 3 former chairmen (altogether 4) of IAFSS (The International Association for Fire Safety Science) and Prof. Spalding (founder of the discipline of numerical combustion). SKLFS has sent 71 persons-times to lecture, cooperate or attend international conferences abroad. 15 international and domestic senior researchers came to the laboratory and progressed highly effective cooperation and study. 18 research subjects have been supported by funds from the State Key Labs, and great advance has been achieved in some world research frontiers.

The laboratory has hosted seven international and domestic conferences. 53 person-times have been invited to present their papers at international conferences. 4 person-times presented their papers at the conferences and 50 person-times in group discussions. 23 person-times attended the domestic conference. 4 person-times presented their papers at the conferences and 19 person-times in group discussions. 5 papers won the awards for excellent papers at international conferences. The laboratory is held responsible for the fire research project of the Sino-Japanese Core Universities Exchanges Program, which is supported by the Chinese and Japanese governments. As one and the only research institution invited by BFRL, the laboratory participated in the cooperative research on Fire Safety of Tall Buildings after 911.



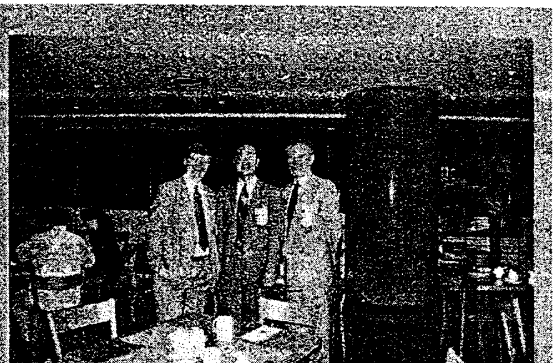
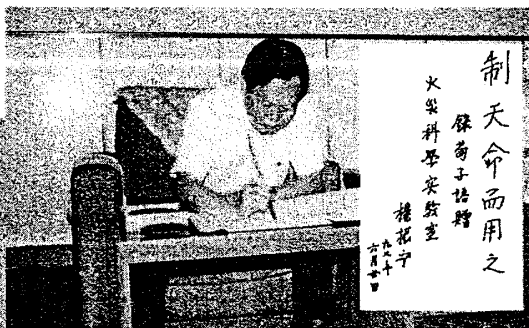
国际火灾科学之父 Emmons 教授 (中)



国际火灾安全科学学会第二任主席  
Quintiere 教授 (左)

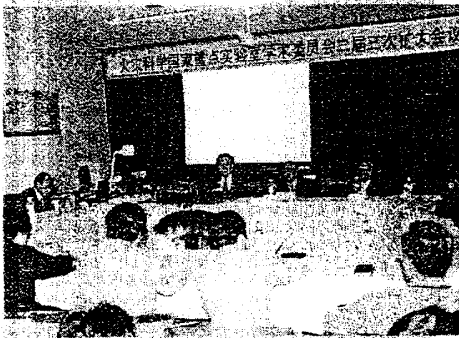


Quintiere 教授、平野敏右教授、  
川越邦雄教授和 Cox 教授



国际火灾安全科学学会现任主席 Drysdale 教授 (右)  
燃烧学与火灾科学界的著名学者 Cox 教授 (左)





学术委员会会议  
Academic Committee



室务会议  
Committee of the laboratory



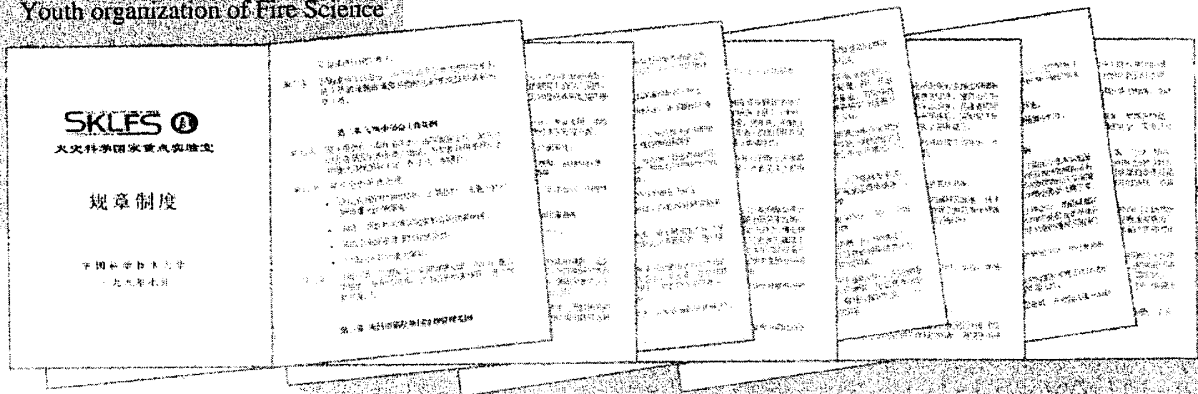
火灾科学青年之家执委  
Youth organization of Fire Science

服务于加强原始科学创新和突破性技术创新,实验室充分发挥学术委员会的作用,引入现代管理理念、方法与工具,构建数字实验室(D-Fire),建设鼓励创新的机制和文化,提升实验室的核心竞争力和持续创新能力。

- ★ 凝练科学目标,把握机遇,谋划发展
- ★ 学术委员会正确把握研究方向
- ★ 建立创新机制
- ★ 建设创新文化
  - ▲ 增强凝聚力和竞争力
  - ▲ 健全管理规章制度
  - ▲ 建设数字实验室(D-Fire)
  - ▲ 支持“火灾科学青年之家”

To promote scientific innovation and technological breakthroughs, the laboratory has made full use of academic committee and introduced modern management systems and necessary equipment to construct a digital laboratory (D-Fire), in which the laboratory strives to build up the innovative mechanism and culture, and enhance its core competitive power and innovative capability.

- ★ Set up goals for research excellence and seize opportunities for further development
- ★ Academic committee directing research areas
- ★ Establish innovative mechanisms.
- ★ Build up innovative culture
  - ▲ Enhance teamwork and competitive power
  - ▲ Strengthen management
  - ▲ Build up a digital laboratory (D-Fire)
  - ▲ Back up the “Youth Organization of Fire Science”



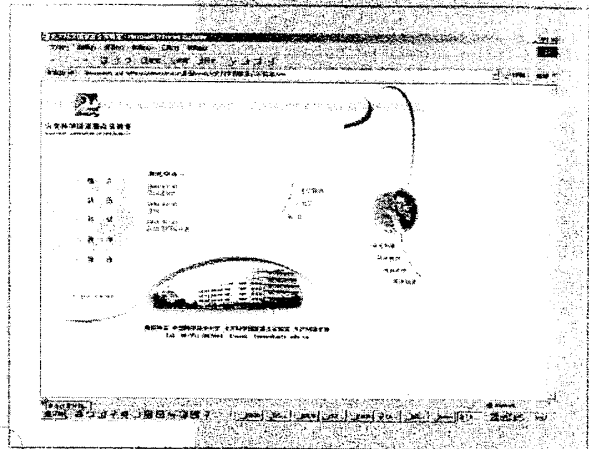


## 数字实验室 (D-Fire)

### 实验室网站 Web-Fire

全面介绍火灾科学国家重点实验室, 提供外界了解实验室的窗口; 实验室管理的电子平台。

Fully introducing SKLFS to the outside; realizing E-management of SKLFS



### 学术资料中心 Info-Fire

通过互联网汇集火灾科学学术资源, 为实验室提供科学研究的文献保障。

Collecting resources of fire science & technology through the Internet for use in research at SKLFS

### 火灾科学及安全工程论坛 Forum-Fire

在学术、技术、新闻、生活、教学等方面进行讨论, 并根据火灾科学的前沿课题设置了相应版面。

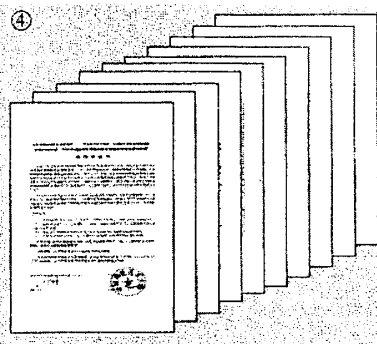
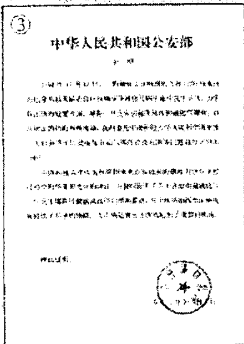
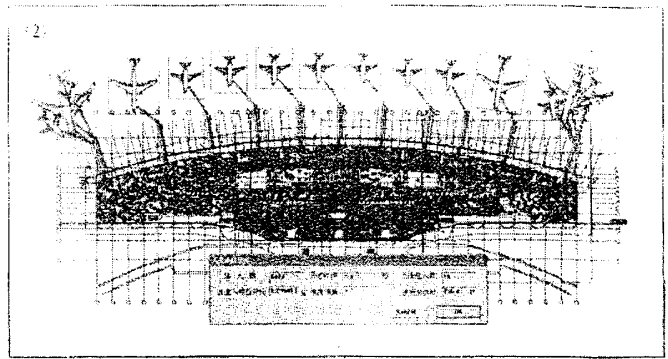
Discussing science, technology, news, life, teaching, etc. in the Forum; setting up corresponding boards for cutting-edge research in fire science



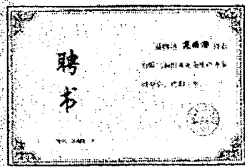
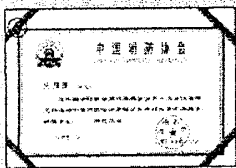
以互联网为工具, 建立规范的网站, 实现管理数字化、网络化, 提升实验室的科学管理水平, 汇集充足的学术电子资源, 为火灾科学工作者提供科学研究的信息保障。

Based on the Internet, we have established a canonical website to realize the digitalized and network management and advance the scientific management of our laboratory. Collecting plentiful learned electronic resources, we ensure the scientific information for the fire science researchers.

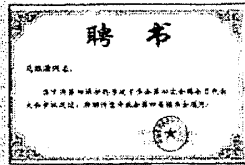
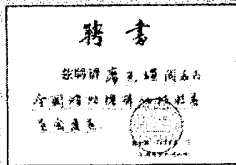




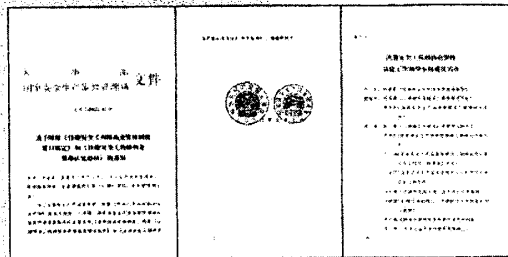
① 实施成果转化，促进消防行业技术进步。转化产品应用于人民大会堂、中央电视台、国家直属棉花库等 100 多个重要场所。  
Put technologies transfer into effect and progress fire profession technology. The production has found extensive engineering applications in more than one hundred important places which include the Great Hall of the People and CCTV.



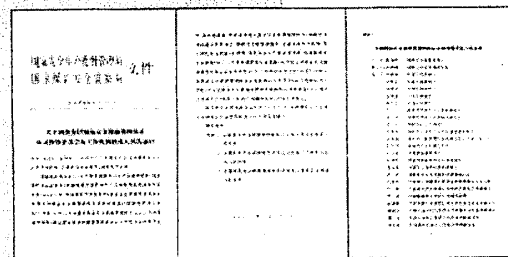
② 发挥推动火灾风险评估和性能化设计的先导作用。图为济南遥墙机场疏散评估图。  
Promote fire risk assessment and performance-based design as forerunner. The picture shows the evacuation assessment about the waiting hall of Yaoqiang international airport in Jinan.



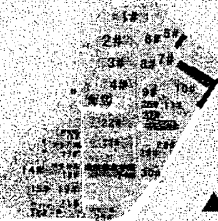
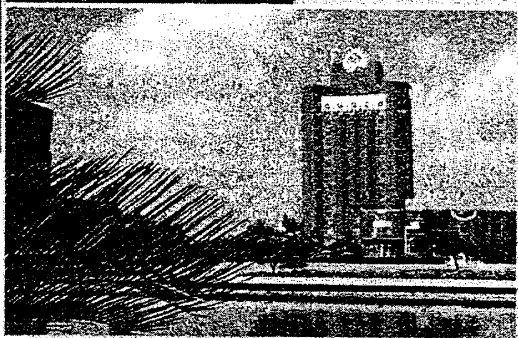
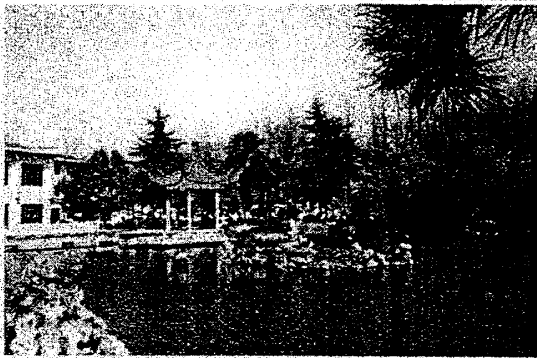
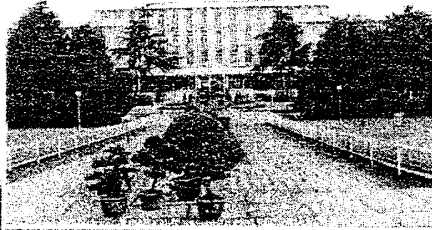
③ 为油轮火灾处置的现场指挥提供科学依据。  
Provide scientific basis for spot direct of ship fire.



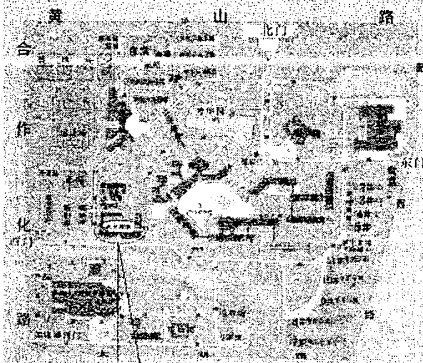
④ 与国内相关行业部门在科学研究、技术开发、人才培养等方面开展合作。  
All-round cooperate with domestic correlative trade and department in the aspects of scientific research, technology exploitation, personnel development, etc.



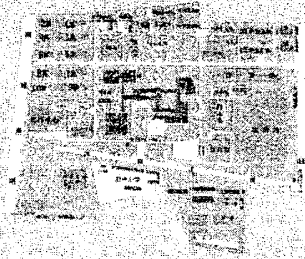
⑤ 在科技部、公安部和国家安全生产监督管理局等部门多项涉及国家火灾安全和安全生产科技工作的宏观决策中，发挥了科技创新思想库的作用。  
As an scientific and technological innovation base, the lab has contributed to the macro-decisions in fire safety and safe production made by the Ministry of Science and Technology, the Ministry of Public Security and the State Administration of Work Safety, etc.



▲ 北校区



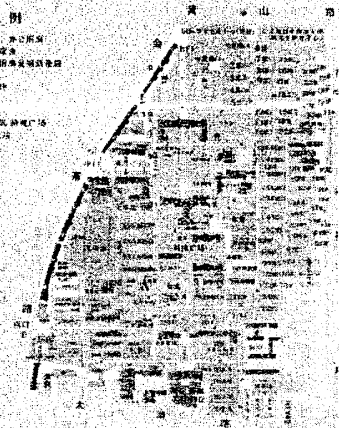
▲ 西校区



▲ 南校区

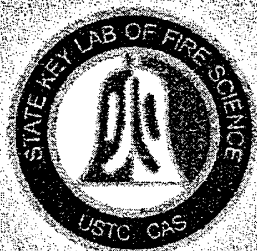
图例

- 图书馆
- 教学楼
- 实验楼
- 宿舍楼
- 食堂
- 操场
- 体育馆
- 学生活动中心
- 教工活动中心
- 校门
- 围墙
- 道路
- 绿地
- 水体
- 其他



▲ 东校区

火灾科学国家重点实验室  
Location of SKLFS



地址：中国安徽省合肥市中国科学技术大学

电话：86-551-3601651

传真：86-551-3601669

邮编：230026

网址：<http://fire.ustc.edu.cn>

Add: University of Science & Technology of China, Hefei, China

Tel: 86-551-3601651

Fax: 86-551-3601669

<http://fire.ustc.edu.cn>

E-mail: [chenjun@ustc.edu.cn](mailto:chenjun@ustc.edu.cn)