

出國報告（出國類別：其他）

## 參加 2012 海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議

服務機關：核能研究所

姓名職稱：張中興 副研究員

派赴國家：中國大陸

出國期間：101 年 10 月 19 日~101 年 10 月 31 日

報告日期：101 年 11 月 22 日



## 摘 要

本次奉派中國大陸(西安)參加 2012 海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議(暨第九屆 MTS 材料試驗學術會議/第十一屆材料破壞科學)發表論文一篇；海峽兩岸材料破壞與材料試驗學術會議由海峽兩岸輪流主辦，此次會議(101 年 10 月 19 日~10 月 24 日)為第二屆，中國由中國力學學會 MTS 材料試驗協作專業委員會主辦，長安大學承辦，台灣由中國材料學會破壞科學委員會主辦，中華大學承辦。本次會議以"創新與安全"為主題，為從事材料破壞科學與材料測試相關學科的科研工作者、工程技術人員和科技企業提供交流平臺。會議結束後，10 月 25 日前往北京參訪北京航空航天大學材料失效分析及預測預防研究所(材料科學與工程學院)拜會吳素君教授，材料失效分析及預測預防研究所長期從事失效分析、結構完整性評估和安全評定、壽命預測及無損探傷等方面的研究工作，累積有深厚的知識和經驗。10 月 31 日搭機返台，結束此次為期 13 天之任務。此出國報告分段敘述出席上述學術會議之目的、過程、參訪心得與建議。

# 目 次

摘 要.....	i
一、目 的.....	1
二、過 程.....	2
三、心 得.....	8
四、建 議 事 項.....	28
五、附 錄	
附件一 第 2 屆海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議組織委員會名單	A1
附件二 第 2 屆海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議論文清單	A2
附件三 北航大材料失效分析及預測預防研究所 吳素君教授簡介	A6
附件四 北航大材料失效分析及預測預防研究所 鐘群鵬所長簡介	A7
附件五 北航大暨材料失效分析及預測預防研究所發展概況	A8

## 一、 目的

核能安全為核電廠運轉至高無上的要求，本所長期執行核電廠受損組件熱室檢驗暨受損機制分析及電廠整體安全評估工作，近年來受台電公司委託先後完成(較重要者)如：

- 1 核二廠 一號機第 22 週期反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂、
- 2 核二廠 二號機第 21 週期反應爐支撐裙板錨定螺栓斷裂、
- 3 核一廠 一、二號機第 24 週期末大修期間燃料匣鎖緊裝置螺栓斷裂、
- 4 核一廠 二號機反應爐壓力槽頂蓋金屬封圈洩漏、及
- 5 核一廠 二號機反應爐爐心噴灑 3"-CS-10AS 管路薄化

等受損組件熱室檢驗及肇因分析，獲至之結果與建議獲得台電公司高度之肯定與重視。為對材料老裂化行為、受損機制分析與電廠整體安全評估技術有更進一步之了解與掌握，因此參與此次以"創新與安全"為主題之破壞科學與材料試驗學術會議。此次出國公差行程亦包含參訪北京航空航天大學材料失效分析及預測預防研究所，藉由雙方實務經驗之交流分享，瞭解核能組件結構完整性及使用壽命預測評估、疲勞及斷裂失效分析與環境促進材料老/裂化現況。

基於精進本所材料及受損機制分析相關技術之發展、組件結構完整性及使用壽命預測評估，此行主要目的如下：

- (一) 出席 2012 海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議，進行研究成果發表，了解中國大陸材料(含核材料)相關議題發展現況、拓展視野；
- (二) 參訪北航大材料科學與工程學院暨材料失效分析及預測預防研究所，進行材料老(劣)化、失效分析及預測預防經驗分享與關鍵技術資訊蒐集；
- (三) 透過以上交流，瞭解材料(含核材料)研究當前遭遇問題與解決策略，掌握研究方向，以作為本所規劃相關研究計畫之參考。

## 二、 過程

本次奉派赴中國大陸參加2012海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議，及參訪北航大材料失效分析及預測預防研究所行程如下：

日期	地點	內容
10月19日	台北→西安	去程
10月20~24日	西安/洛陽/鄭州	• 2012海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議(西安) • 大會參觀行程(長安大學、洛陽船舶材料研究所* <sup>1</sup> 、鄭州大學)
10月25日	鄭州→北京	中繼旅程
10月26~30日	北京	參訪北航大材料失效分析及預測預防研究所* <sup>2</sup>
10月31日	北京→台北	返程

\*<sup>1</sup>: 洛陽船舶材料研究所為中國船舶重工集團第七二五研究所(簡稱七二五所)，是專業從事艦船材料研製和工程應用研究的軍工研究所。軍工科研方面，七二五所是中國海軍各型號的材料技術責任單位，目前全所擁有8個研究室，3個研製中心，1個國防科技重點實驗室，1個國防科技工業焊接工程中心，4個海洋試驗站，4個國家級檢測認證中心。擁有船體結構材料、有色金屬材料、非金屬材料、腐蝕與防護技術、特種材料、焊接工藝、自然環境試驗等多個重點研究領域。七二五研究所還擁有材料學材料加工工程碩士學位授權點、材料科學博士學位授權點和博士後工作站。參訪洛陽船舶材料研究所時試驗測試與計量技術研究中心高靈清主任百忙中之抽空接待，作者於此特別感謝(圖1為作者(右1)與高主任(左2)於試驗測試與計量技術研究中心疲勞研究實驗室之合影)。

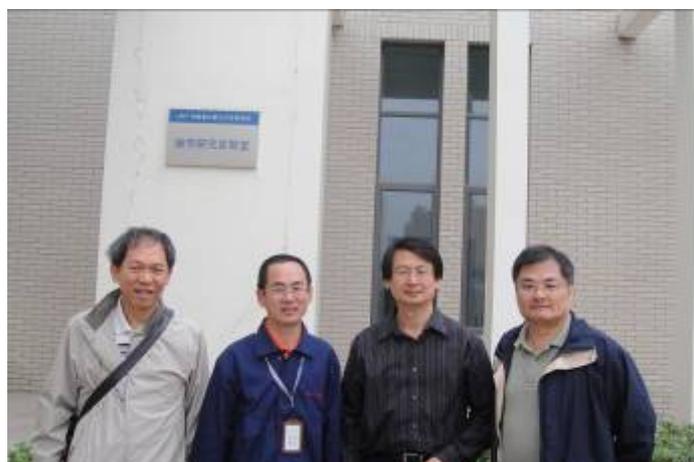


圖 1 作者(右 1)與高靈清主任(左 2)於試驗測試與計量技術研究中心疲勞研究實驗室合影

\*2: 參訪北京北航大材料失效分析及預測預防研究所期間，研究所吳素君教授亦安排拜訪北京首鋼技術研究院科研管理處處長羅家明博士，羅處長除介紹首鋼技術研究院組織及發展概況，同時熱誠引領參觀研究院下屬之研究所：鋼鐵研究所、薄板研究所、寬厚板研究所、特殊鋼研究所、用戶技術研究所、資訊研究所等6研究所與1檢測中心，作者於此特別感謝羅處長之熱情接待。北京首鋼四大鋼鐵產品：寬厚板、熱軋板捲、冷軋板捲、精品長材，實現了由長材向精品長材和高品質板材的轉型，高鋼級管線鋼研發生產水準達到世界先進水準，汽車板研發生產為標誌的高端產品實現了重大突破，寬厚板產品實現了整船、整橋等配套供應(強度級別達到960MPa，厚度規格達到200mm)。

### (一)、 2012海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議

2012海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議由海峽兩岸共同主辦，此次會議在中國古都西安(古稱洛陽)舉行，中國由中國力學學會MTS材料試驗協作專業委員會主辦/長安大學承辦，台灣由中國材料學會破壞科學委員會主辦/中華大學承辦(組織委員會名單如附件一)；會議主席為西安長安大學 沙愛民教授，共同主席為新竹中華大學 鄭常勝教授(圖2、3分別為會議主席沙愛民、鄭常勝教授於開幕式致詞)；海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議今年為第2屆，此次註冊與會者約有150人，參加人員主要來自海峽兩岸學術單位、研究機構等教職與專業人員(圖4為會議開幕式與會人員合影留念)。



圖 2 會議主席 沙愛民教授開幕式致詞



圖 3 會議主席 鄭常勝教授開幕式致詞



圖 4 開幕式與會者合影

會議進行前，大會特邀4位專家：臺灣大學材料系 薛承輝教授\*<sup>3</sup>、同濟大學 趙斌教授\*<sup>4</sup>、MTS公司 Erik Schwarzkopf工程師、西北工業大學 黃衛東教授\*<sup>5</sup>，依序進行下列4場跨領域專題演講：

- Controlled-Shear Tests and Some Stresses-Related Issues in Multilayer (薛承輝，圖5)
- 模擬地震振動臺試驗技術與應用進展 (趙斌)
- Advanced Systems for Material and Large Scale Component Testing (Erik Schwarzkopf)
- 金屬結構件的高性能雷射立體成形與修復 (黃衛東)



圖 5 臺灣大學材料系 薛承輝教授專題演講

**\*3:** 薛承輝教授1976年畢業于臺灣大學物理系、1978年清華大學材料碩士、1981加州柏克萊大學材料博士。在2010獲聘為臺灣大學特聘教授之前，他曾擔任Oak Ridge國家實驗室的傑出研究員。他主要研究領域是analytical modeling of thermo-mechanical properties of advanced ceramics, ceramic composites, structural materials, and multilayer systems，他著作200篇以上的期刊論文，獲得ISI材料科學領域的高度引用學者殊榮、並於2011榮獲傑出人才講座。薛教授現為American Ceramic Society及World Innovation Foundation的Fellow，他受邀擔任5個國際期刊的Associate Editor。

**\*4:** 趙斌 博士，教授，同濟大學土木工程防災國家重點實驗室振動臺試驗室執行主任。1992年7月在西安科技大學建築工程系獲工學碩士學位後留校任教。1994年9月進入西安建築科技大學攻讀博士學位。1995年10月得到日本國際教育協會短期留學基金資助，前往日本交流學習一年。1998年6月獲工學博士學位後進入同濟大學土木工程學院做博士後。2000年6月博士後出站，留校工作。2004年8月至2004年10月獲德國DAAD基金會資助，以高級訪問學者身份前往德國亞琛工業大學從事合作科學研究。2006年4月至2009年3月獲歐盟第六框架專案資助，以居里夫人高級訪問學者身份前往歐盟聯合研究中心從事合作科學研究。已獨立主持或以項目主要研究成員身份參研重大科研項目10餘項，完成科研論文80餘篇。目前主要從事工程結構抗震減災、新型可持續發展結構和現代結構試驗技術方面的教學和科研工作。

**\*5:** 黃衛東，凝固技術國家重點實驗室主任，中國教育部長江計畫特聘教授，國家傑出青年科學基金獲得者，國家"百千萬人才工程"第一、二層次人選。曾任美國伍斯特工學院鋁合金鑄造研究室客座教授，日本宇宙科學研究所客座教授。主要研究領域：凝固與晶體生長理論，高性能緻密金屬零件的鐳射立體成形與修復技術，大型複雜薄壁鑄件精密鑄造技術。主要學術兼職：國家自然科學基金委員會金屬學科評審組成員，中國鑄造學會副理事長，陝西省鑄造學會理事長，教育部本科教學指導委員會委員，中國光學學會鐳射加工專業委員會委員，中國塑性工程學會半固態加工學術委員會副主任，旅英中國材料協會顧問委員會委員，國際半固態會議科學委員會委員。

## (二)、 參訪北航大材料失效分析及預測預防研究所

北京航空航天大學(簡稱北航大)材料失效分析及預測預防研究所吳素君教授(附件三)介紹，北航大前身為北京航空學院，於1952年10月25日由清華大學、北洋大學等8所大學的航空、機械系合併而成，1988年改制為北京航空航天大學(圖6)，隸屬於國防科學技術工業委員會；建校以來一直是中國國家重點建設的高校，為首批進入“211工程”的前15所大學，“985工程”之重點建設高校。



圖 6 北京航空航天大學行政大樓前影



圖 7 新主樓外觀



圖 8 新主樓中庭一隅

材料科學與工程學院具有材料科學與工程一級學科博士授予權，擁有材料學國家重點學科；擁有以北京市聚合物基複合材料重點實驗室、特種功能材料與薄膜技術重點實驗室、民航安全技術重點實驗室、材料服役與失效重點實驗室等多個省部級重點實驗室。材料失效分析及預測預防研究所(位於新主樓F座，圖7、8)主要從事機械裝備失效分

析預測預防研究(圖9~11為實驗室、試驗機剪影);研究方向主要有:機械裝備失效分析、材料疲勞斷裂、材料在環境作用下的失效行為、安全評估和風險評估應用研究、資料庫和專家系統等,研究所現任所長為鐘群鵬院士(附件四)。



圖 9 作者與吳素君教授於材料失效分析診斷實驗室合影



圖 10 作者與吳素君教授於材料高溫動態服役行為實驗室合影



圖 11 材料高溫潛變-疲勞動態行為試驗機

吳教授進一步說明研究所在進行應用基礎研究的同時,致力於理論與實踐的結合,研究所承擔了國內(中國)外重大影響的事故分析若干項,例如“九三”三峽工程事故分析、“11.21”包頭空難事故分析、發動機葉片斷裂原因分析等。中心目前承擔的課題主要有:中國重點基礎研究發展規劃項目(國家“973”項目)、中國“十五”科技攻關項目、國防軍工環境試驗與觀測、“十五”計畫重點專案等縱向研究專案,以及為企業解決生產實際問題的橫向研究專案等。吳教授指出,材料失效分析及預測預防研究所長期從事失效分析、結構完整性評估和安全評定、壽命預測及無損探傷等方面的研究工作,累積有深厚的知識和經驗(研究所主要研究發展概況、支撐條件與工作展望,詳參附件五)。

### 三、心得

此次出席會議心得就(一)2012海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議及(二)拜訪北航大材料失效分析及預測預防研究所(吳素君教授)二方面，敘述如下。

#### (一)、 2012海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議

材料的發展拓寬了其應用範圍，進一步影響了材料的抗破壞與斷裂能力，對其試驗技術提出了更高的要求，於是2012海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議以"創新與安全"為主題，為從事材料破壞科學與材料測試相關學科的科研工作者、工程技術人員和科技企業提供交流平臺；針對材料破壞科學與試驗技術理論與工程應用，學術會議就以下議題：

- 材料的力學性能及其試驗技術
- 斷裂力學研究的新理論和新方法
- 材料試驗新技術及其應用
- 材料破壞特性試驗
- 公路工程材料的破壞與試驗
- 金屬材料的破壞與試驗
- 材料的破壞力學、疲勞及潛變(蠕變)
- 全尺寸零組件試驗
- 環境對材料力學性能的影響
- 材料試驗設備改造和維護、維修技術
- 損害防治
- 無損檢測
- 修補技術
- 損壞修護補強
- 壽命評估技術
- 破損分析技術及應用
- 監測技術
- 腐蝕防蝕技術
- 風險破壞機率統計分析
- 核能材料

進行實務經驗交流與研發成果分享。此次會議在以上議題範疇內，共收錄128篇論文(詳細清單見附件二，作者發表暨宣讀論文：A Case Study of SCC-induced Failure of AISI 4340 Studs)，會場分3組分別進行合計95篇論文之口頭發表，海報(Poster)展示8篇，議程簡介如下：

## Section I

### 會場 1 金屬材料-疲勞斷裂及測試技術

- 材料本構關係、疲勞損傷與斷裂性能相關性 (蔡力勛)
- High Temperature Fatigue, Fracture and High Rate Material Testing (Erik Schwarzkopf)
- 延性金屬材料的撕裂韌性 (張哲峰)
- CM400馬氏體時效鋼軸向高頻疲勞性能與斷裂韌性 (段啟強)
- A Prediction Model for Low Cycle Fatigue Crack Initiation under Axial Loading (張亞軍)
- Axial ultra high cycle fatigue behavior of warm compaction Fe-Cu-Ni-Mo-C sintered material (陸宇衡)
- 軸向載入疲勞試驗機動態力的校準 (高怡斐)

### 會場 2 金屬材料-安全評估與失效分析

- 管線鋼CTOA測試 (帥健)
- 蒸汽渦輪機葉片之振動破壞分析 (石漢正)
- 錫球陣列構裝疲勞壽命之快速可靠度評估技術 (鄭智元)
- 核能組件疲勞效應即時評估系統開發 (蔡曜隆)
- 大型熔融泵泵體開裂失效分析 (龔明)
- 轎車鋁合金輪轂斷裂失效分析 (倪向貴)
- A Case Study of SCC-induced Failure of AISI 4340 Studs (張中興)
- Calculation of Failure Function of Metals taking with Consideration of Deformation Path (黃西成)
- PBX裂紋癒合行為探索研究 (楊白風)
- 熱沖擊下無現大彈塑性體內的微孔增長 (尚新春)

### 會場 3 無機非金屬材料

- CAE技術再油氣工程中之應用 (關相禎)
- 四川泥巴山深埋特長隧道地應力Kaiser效應試驗研究 (付小敏)
- New Orthotropic Constitutive Model of Fractured Coal Rock Mass (趙斌)
- Theoretical model and experimental verification of anti-penetration problems of ceramic materials (吳立朋)
- The studies of two phase concrete model on meso-level and its applications (徐偉芳)
- Research on High-temperature Thermal Effect Laws and Thermodynamic Characteristics of Salt Rock (蔣凱樂)
- 大理岩直接拉伸迴圈載入試驗特性研究 (楊同)
- Healthy Monitoring of Concrete Bridges and Vehicle Loads Correlation Analysis Based on Acoustic Emission (王春生)

## **Section II**

### **會場 1 金屬材料-疲勞斷裂及測試技術**

- 扭轉預應變對35CrMo鋼低周疲勞性能的影響 (吳志煜)
- ADB610鋼疲勞裂紋擴展速率的可靠性研究 (韋龍)
- 橋樑複合鋼橋面板剪力釘焊縫疲勞斷裂損傷的動態監測 (張玉玲)
- The Fined COD Transform Formulas of Bending-Type Specimens for Material Fracture Toughness Testing (Yao Yao)
- Study on the Interaction Effect of Stress of LZ50 Steel under Variable Amplitude Conditions for Very High Cycles Fatigue (Zhou Mengjiao)
- 混凝土開裂前鋼筋非均勻銹漲的力學分析 (汪奔)

### **會場 2 金屬材料-材料製備-測試技術**

- 熱處理對於新型鈷基超合金磨耗與腐蝕性質的影響 (張士欽)

- 蛇形管道澆注法製備半固態TiB<sub>2</sub>/7050鋁基複合材料 (楊濱)
- 一種獲取材料單軸本構關係的壓入測試新方法 (陳輝)
- 應變循環損傷預測表面橢圓裂紋擴展行為 (石凱凱)
- 應用FFCT試樣獲取材料J阻力曲線 (石凱凱)
- 緊湊拉伸試件統一塑性因數研究 (石凱凱)

### 會場 3 工程結構

- 應用透地雷達法於老舊隧道襯砌混凝土完整性之研究 (任景城)
- 衝擊錘檢測於填土品質控制之應用 (吳淵洵)
- 透地雷達電磁波非破壞性檢測技術於工程結構之應用 (張奇偉)
- 考慮土壤結構互制作用之房屋結構動力分析 (李錫霖)
- 以合成訊號模擬科技廠房樓地板背景微振動之研究 (李錫霖)
- 被動質量減振器應用於高科技廠房設備基座微振動之研究 (李錫霖)

## Section III

### 會場 1 金屬材料-疲勞斷裂及測試技術

- 等通道轉角擠壓技術製備超細晶低碳鋼的疲勞性能 (龐建超)
- 民用飛機飛行譜與載荷譜的編制 (劉曉明)
- 典型金屬材料LD2CS和15CrMnMoVA的S-N曲線的試驗測定 (羅淋尹)
- 民用飛機金屬材料疲勞壽命標準差研究 (楊偉超)
- 航空金屬材料疲勞特性參數取值規律研究 (張亦波)
- Reliability Research of 50 axle steel on the Ultra-high Cycle Fatigue Fracture Behavior under Ultrasonic Loading (Tang Weiwei)
- Investigation on fatigue damage of the Al5Zn2Mg high strength Aluminum Alloy (楊尚磊)

### 會場 2 金屬材料-力學性能及測試技術

- 材料試驗機在工程中的應用 (林卓英)
- Microstructures and Mechanical Properties of Lead-free Solder Joints in Pin Through Hole Components (廖成偉)
- 鍍鋅鋼板電阻點銲之拉剪破壞模式研究 (林非錯)
- 中空特徵對於微創椎弓足螺釘的力學影響 (彭嘉肇)
- 數位反射式光彈法於長銲鋼軌殘留應力之量測 (張奇偉)
- 基於規則化法的SET試樣JR阻力曲線的測定 (包陳)

### 會場 3 工程結構 (台灣工程安全防災技術之探討)

- 非破壞性檢測技術於工程之應用-台灣案例探討 (張奇偉)
- 台灣岩土環境破壞與災害鍊之形成 (吳淵洵)
- 台灣現代高層建築之抗震策略-(李錫霖)

## **Section IV**

### 會場 1 金屬材料-數值模擬方法

- A modified optimal sensor placement method based on the effective independence method (楊佑發)
- 材料裂縫成長過程與ANSYS DIC預測模擬研析 (林良徽)
- 氫致內部疲勞裂紋萌生和擴展的有限元分析 (謝卿)
- Application of the fracture toughness visualized analysis software based on the load separation method (但晨)
- 工程結構疲勞裂紋擴展的二維邊界元模擬 (曲先強)
- 壓縮狀態下橡膠隔振器有限元分析 (周振凱)
- Explicit Finite Element Simulation for the Large Deformation Failure of the Soil Slope (黃鵬)

## 會場 2 金屬材料-力學性能及測試技術

- 力學性能試驗試樣斷口分層(離)開裂與使用安全性的關係 (李榮峰)
- Prediction of the Crack Growth Behavior of Elliptic Surface Crack (陳龍)
- Mg-Gd-Y-Sn-Zr高強耐熱鎂合金的微觀結構與力學性能 (張磊)
- 螺旋彈簧長時應力鬆弛性能試驗研究 (牛偉)
- 海水腐蝕介質中疲勞裂紋擴展速率測試方法研究 (曲先強)
- 高溫拉伸後V-5Cr-5Ti組織力學性能納米壓痕研究 (韋利明)
- 懸臂彎曲載入表面裂紋擴展長度與深度的關係研究 (張利娟)
- Excel VBA在岩石單軸壓縮變形試驗資料處理中的應用 (李建云)

## 會場 3 綜合技術

- 地下管線搭接問題探討 (許峰彰)
- Tension estimation for no infill HDPE sheathing stayed-cable at XinBei bridge cable by ambient vibration method and EM tension sensor (鞠志琨)
- Comparison of Stayed-Cable Tension of XinBei Bridge by FBG Strain Gauge installed using Adhesive and EM tension sensor (鞠志琨)
- 應用雷射都卜勒微流儀量測手部血液灌流以探討低溫損傷效應 (丁鯤)
- 雷射照射對生物組織熱損傷之實驗與熱傳模擬 (丁鯤)
- 發光二極體中金線鍵合強度最佳化之研究 (顏怡文)
- 管路薄化線上監測技術 (馮克林)

### 1. 會議論文

- (1) 氬對0Cr16Ni5Mo馬氏體不銹鋼疲勞裂紋擴展速率的影響 (查小琴, 劉軍, 羅利陽, 高靈清, 張欣耀, 張亞軍)

氬既影響鋼的靜態斷裂性能, 也影響鋼的動態斷裂性能。例如在持久靜態力和慢應

變速率下導致發生應力腐蝕開裂，在迴圈載荷下會降低材料的疲勞強度，且影響材料的斷裂韌性、屈服強度、延展性、彈性模量、剪切模量等。本文採用CT試樣對八種不同氫含量的0Cr16Ni5Mo馬氏體不銹鋼進行了室溫疲勞裂紋擴展速率實驗，並對斷裂後的試樣斷口進行了SEM分析。結果表明：

- 電化學充氫並沒有改變疲勞裂紋擴展規律，含氫試樣的穩態疲勞裂紋擴展速率仍符合Paris的幂率關係， $da/dN=c(\Delta K)^m$ ，其中c、m為Paris常數；
- 氫對疲勞裂紋擴展的影響與氫在鋼中的分佈形態有關，當氫含量較低( $\leq 1.7\text{ppm}$ )時，氫固溶在鋼基體中，在低 $\Delta K$ 處，由於產生誘導閉合效應，導致充氫試樣的疲勞裂紋擴展速率低於自然含氫試樣，但在更高 $\Delta K$ 處，這種效應變得不明顯；當氫含量較高( $\geq 2.1\text{ppm}$ )時，氫以氫化物形態分佈在鋼基體中，一方面由於氫化物在裂紋尖端的聚集，直接增加裂紋擴展速率，另一方面由於氫化物在晶界的聚集，將導致晶界局部脆化，產生沿晶斷裂，間接增加裂紋擴展速率，所以隨著氫含量的增加，疲勞裂紋擴展速率明顯增加。
- 氫含量較高試樣由於在疲勞裂紋擴展過程中，氫化物擴散聚集在裂紋尖端，使裂紋尖端局部塑性變形更容易進行，疲勞斷口二次裂紋較少，相比，自然含氫和含氫量較低試樣疲勞斷口二次裂紋較多。

## (2) 氫致內部疲勞裂紋萌生和擴展的有限元分析 (謝卿，王弘)

現今越來越多的工程材料被要求提供 $10^7\sim 10^{10}$ 周次的疲勞實驗資料，比如飛機發動機葉片材料和高速列車車軸材料等。隨著實驗技術發展，得到材料在 $10^7$ 周次以上的疲勞試驗資料已不是一件十分困難的事情，並且這些資料表明舊的對於材料在 $10^7$ 之後不會發生疲勞斷裂的共識已經被推翻。本文對氫導致鋼的內部產生疲勞裂紋和裂紋擴展進行了數值模擬。本文用有限元方法計算出在迴圈載荷作用下氫在鋼中的濃度分佈，並根據夾雜理論將鋼中缺陷和裂紋周圍濃度最高的單元視為彈性夾雜，將單元的平均濃度代入文獻公式計算出氫富集產生的應力強度因數，建立了氫致裂紋擴展的判據。最後根據判據，類比在迴圈應力很低的情況下材料內部裂紋萌生和擴展的過程，結果表明：

- 本文計算濃度分佈過程中發現文獻中時間離散的擴散公式在載入初期和載荷、濃度發生突變的時候會導致濃度結果出現較大的震盪，這不利於將濃度結果用於計算裂紋萌生和擴展的判據。所以本文用後退歐拉法對擴散方程進行時間離散化，結果表明與文獻公式相比後退歐拉法更適合計算迴圈載荷下的擴散問題。
- 本文根據夾雜理論將氫濃度最高的單元視為一個彈性夾雜，建立了內部裂紋萌生和擴展的判據。該判據可以很方便的用於有限元計算，並且結果表明該判據用於判斷氫致裂紋擴展是合理的。
- 本文計算出迴圈載荷作用下氫的擴散過程最終仍會達到一個准平衡狀態，即氫濃度會隨著迴圈載荷小幅震盪但總體維持在一個平衡的位置。這個准平衡狀態的濃度要小於靜載作用下的平衡濃度。
- 有限元計算結果表明降低載荷頻率、增加載荷幅值和增加初始濃度都會加快裂紋擴展的速度，這與現有的相關研究成果是相符的。說明本文建立的計算裂紋萌生和擴展的模型是有一定合理性的。但在這個模型中還存在較大的缺陷，因為在裂紋擴展一定次數之後會突然連續擴展，是不符合實際情況的。本文認為這是由於沒有考慮裂紋尖端塑性變形的結果。

### (3) 顯微組織對多層焊接接頭疲勞裂紋擴展速率的影響 (吳海利，賈國慶，朱月梅，喬尚飛，王俊)

在現代的汽輪機製造中，焊接轉子選材及結構形式靈活，生產成本低，採購週期短，具有優越的使用性能，已經成為大型汽輪機、燃氣輪機轉子最為理想的結構。轉子是汽輪機組中的最重要的部件之一，同時焊接接頭又是焊接缺陷、應力集中、顯微組織和力學性能改變以及焊接殘餘應力共存的部位，因此轉子焊接接頭的疲勞性能也是備受關注的重點問題。為此，對轉子焊接接頭進行疲勞裂紋擴展速率進行測試分析，對焊接接頭生產應用和壽命估測有重要參考意義。本文對CrNiMoV鋼多層焊接接頭模擬件進行疲勞裂紋擴展速率試驗，擬合得到該焊縫的 $da/dN-\Delta K$ 關係曲線，發現曲線存在階梯狀擴展型態。分別對焊道柱狀晶區和細晶區進行一系列不同放大倍數的掃描電鏡觀察，對多層

焊接接頭各組織(圖12為焊縫顯微組織及組織結構示意)的成因以及對材料疲勞性能的影響進行了分析和研究，可知多層焊接接頭中粗大柱狀晶、重結晶粗晶和重結晶細晶交替存在的複雜組織是導致焊縫裂紋擴展速率呈階梯狀變化的主要原因。結果表明：

- 對CrNiMoV鋼多層焊縫進行裂紋擴展速率試驗，其 $\Delta K$ - $da/dN$ 曲線形態呈階梯狀。擬合 $\Delta K$ - $da/dN$ 曲線，得出該焊縫Paris公式為：

$$da/dN=2.24 \times 10^{-8} (\Delta K)^{2.605} \quad \text{相關係數} R^2=0.978 \quad (\Delta K \text{單位：KN/mm}^{1.5})$$

- 由能譜分析可知柱狀晶區黑色條狀組織為鐵素體組織。
- 多層多道焊縫由於許多單層熱迴圈交替作用，在相鄰焊層之間彼此具有熱處理性質，焊縫焊層顯微組織可粗略分為粗大柱狀晶區、重結晶粗晶區和重結晶細晶區。
- 當裂紋擴展到粗大柱狀晶區或重結晶粗晶區時，由於殘餘柱狀晶組織和沿晶缺陷有利於裂紋擴展，導致裂紋擴展速率 $da/dN$ 較大。當裂紋擴展到在細晶區時，由於多位相晶界和細晶組織阻礙裂紋擴展，所以裂紋擴展速率 $da/dN$ 較小。由於多層焊縫中柱狀晶、粗晶區和細晶區交替存在，導致裂紋擴展快慢交替， $\Delta K$ - $da/dN$ 曲線呈現階梯形狀。

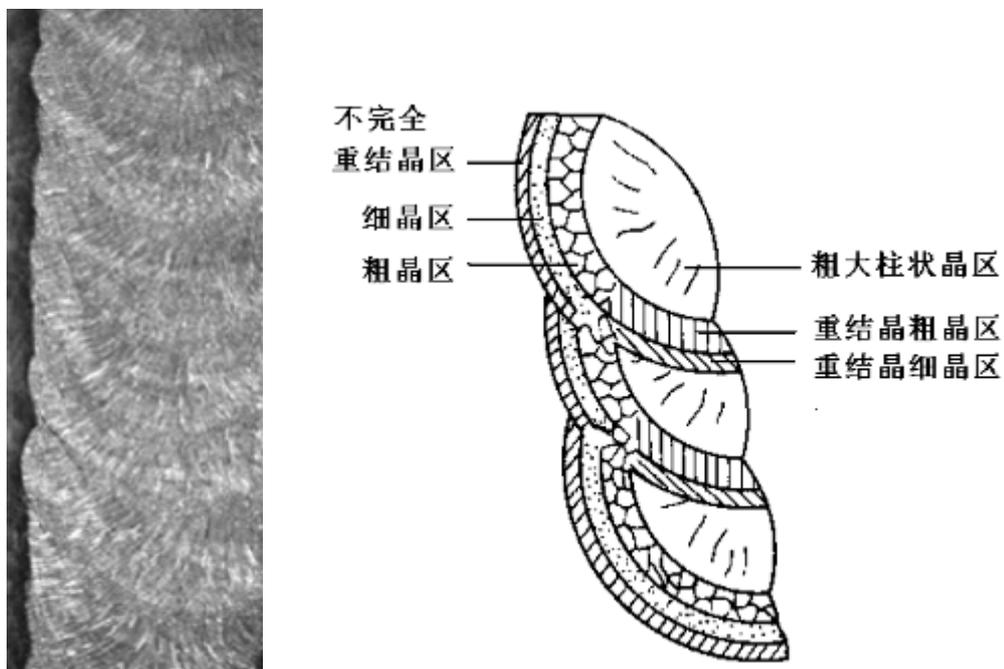


圖12 焊縫顯微組織及組織結構示意圖

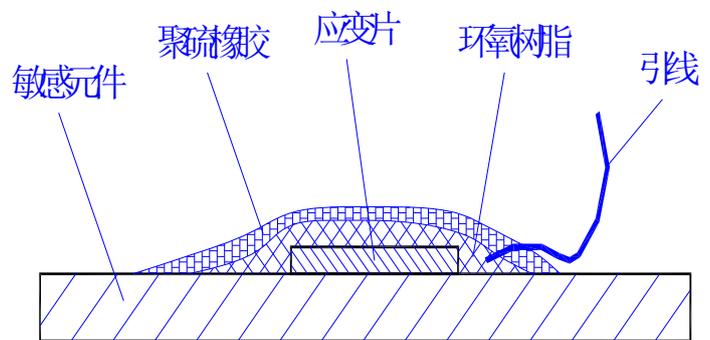
#### (4) 腐蝕環境下低周疲勞試驗技術研究 (葉序彬，胡本潤，譚衛東)

腐蝕介質下低周疲勞性能表徵迄今為止仍是一個相當複雜的問題。它不光要考慮迴圈載入的因素，還要考慮環境介質、載入頻率、甚至載入波形等影響因素。目前還未有一個統一考慮各種主要因素的腐蝕介質低周疲勞力學性能表徵方法。對腐蝕介質下低周疲勞性能目前仍採用與空氣條件下低周疲勞性能相同的表徵方法：主要通過迴圈應力—應變關係和應力—應變關係和應變—壽命關係來表徵。本文介紹了腐蝕環境下的低周疲勞測試技術(圖13)。重點闡述了腐蝕環境下低周疲勞試樣的設計、腐蝕應變規的設計以及腐蝕環境盒的設計。本文結論：

- 本次設計的等截面試樣很好的解決了一條曲線中因使用不同試樣而產生的資料躍變問題。
- 腐蝕應變規的設計合理，具有良好的防腐性能，可直接用於腐蝕環境下低周疲勞試驗測量。



(a)



(b)

圖 13 (a) 腐蝕應變規試驗裝置圖 (b) 敏感元件防護示意圖

#### (5) 海水腐蝕介質中疲勞裂紋擴展速率測試方法研究 (曲先強，馬永亮，崔洪斌，謝耀國)

疲勞裂紋擴展速率是進行損傷容限設計不可缺少的重要參數。根據已有的研究資料，高強度鋼在腐蝕性溶液中有產生腐蝕疲勞的傾向。針對這一現象，本文採用單邊缺

口三點彎曲試件(SEB)進行了空氣和ASTM人造海水環境中某高強鋼的疲勞裂紋擴展速率試驗(圖14)，經測試檢驗完全滿足GB/T6398中的規定。並對試驗結果進行了分析，得到了疲勞裂紋擴展速率公式。進行了人造海水環境中和空氣中兩種不同介質中的某高強鋼的疲勞裂紋擴展試驗，給出了隨時間變化的P-V曲線，通過自編程式可以直接計算出試件的裂紋擴展速率。可以得出以下結論：

- 採用單邊缺口三點彎曲(SEB)試件，設計了一套海水腐蝕環境中疲勞裂紋擴展速率測試方法，完全滿足國標中的規定；
- 人工海水中高強鋼的擴展速率，開始階段腐蝕疲勞起主要作用，加快了裂紋擴展；
- 本文採用的載入頻率為2Hz，人造海水中的裂紋擴展速率稍微大於空氣中的裂紋擴展速率，兩種環境中的裂紋擴展速率變化不明顯，導致這種情況的原因可能是載入頻率過大。

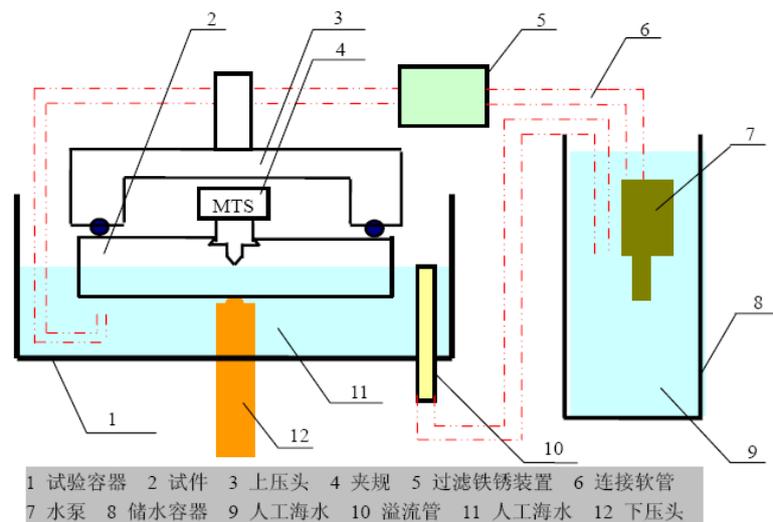


圖 14 容器和試驗載入裝置示意圖

#### (6) 基於聲發射技術的腐蝕結構疲勞裂紋萌生壽命測試 (馬永亮，曲先強，謝耀國，崔洪斌)

在海水腐蝕環境中，結構表面易形成腐蝕坑。蝕坑的底部和邊緣會產生應力集中，在交變載荷作用下蝕坑會發展成表面裂紋。為了定量分析腐蝕對疲勞裂紋萌生壽命的影響，需要知道不同腐蝕時間時的裂紋萌生壽命。在工程上，疲勞裂紋萌生壽命通常定義

為裂紋長度達到一定長度(0.1mm、0.25mm、0.5mm等)時對應的壽命。目前主要通過試驗方法來測定裂紋萌生壽命。試驗測試方法主要有兩類：直接觀測法和間接標定法。直接法包括顯微鏡觀察法、攝像監控法等；間接法包括電位法、柔度法等。這些規定和測試方法主要是針對貫穿裂紋提出的。對於二維擴展的表面裂紋，萌生壽命規定為裂紋深度達到0.25mm(0.01in.)，而現有的測試方法往往不能用於確定裂紋深度。為了定量分析腐蝕對疲勞裂紋萌生壽命的影響，採用聲發射技術進行了腐蝕結構的疲勞裂紋萌生壽命測試。首先採用電化學方法進行了試件的加速腐蝕實驗，然後採用聲發射技術結合MTS疲勞試驗系統對海水腐蝕結構疲勞裂紋進行全程監測(圖15)。給出了運用PCI-2聲發射裝置硬體和軟體抑制試驗雜訊的方法。從試驗得到的聲發射參數與試件斷口結果對比來看，聲發射參數的變化能夠反映材料疲勞裂紋萌生過程。得出以下結論：

- 聲發射儀和疲勞試驗機聯合使用時，存在多種雜訊，主要雜訊有液壓載入系統雜訊、夾具雜訊以及疲勞裂紋面之間的摩擦產生的雜訊；
- 使用幅度鑒別、頻率鑒別、前端濾波、主副感測器以及電壓門電路方法對試驗中出現的雜訊進行了過濾；
- 將MTS載荷信號作為聲發射儀的外接參數輸入，從而使載荷電壓門電路濾波方法得以實現，過濾了載荷下降階段裂紋面摩擦產生的雜訊；
- 對聲發射信號參數分析，以確定裂紋萌生壽命，裂紋萌生時聲發射的波擊發生率以及波擊幅值發生明顯變化。



(a)



(b)

圖 15 (a) 試驗載入裝置圖 (b) 聲發射感測器的安裝

## (7) 轎車鋁合金輪轂斷裂失效分析 (倪向貴, 俞斐)

一起交通事故中某轎車的鋁合金輪轂發生了周向貫穿性斷裂，從而造成了車毀人亡的交通事故。

### I 交通事故描述

駕駛員夜間以大約100公里時速在省道上行駛，前輪內側突遇石塊，鋁合金輪轂凹陷變形並發生周向貫穿型斷裂，整個輪轂一分為二變成兩個圈，轎車完全失控撞擊路邊大樹，造成車毀人亡的悲劇。

### II 事故原因分析

首先懷疑輪轂材料是否有問題，並利用MTS809對該輪轂材料進行了力學性能測試，看是否滿足材料的標準要求。測試結果顯示，雖然輪轂材料力學性能基本符合標準，但發現試樣斷口有一些異常發暗的不正常區域。借助環境掃描電鏡和能譜儀對斷口作了微區形貌觀察和成分分析，發現這些發暗區域的材料是氧化鋁夾雜(圖16)，而正是這些夾雜缺陷導致了鋁合金輪轂的貫穿性斷裂。

### III 結論

由於鋁合金輪轂上肉眼看不到的氧化鋁夾雜，在一些地方占整個輪轂厚度的一半還多，它們的強度很低，導致在外力猛烈衝擊作用下形成大裂紋，甚至導致整個輪轂的貫穿型斷裂，從而導致了嚴重的交通事故。

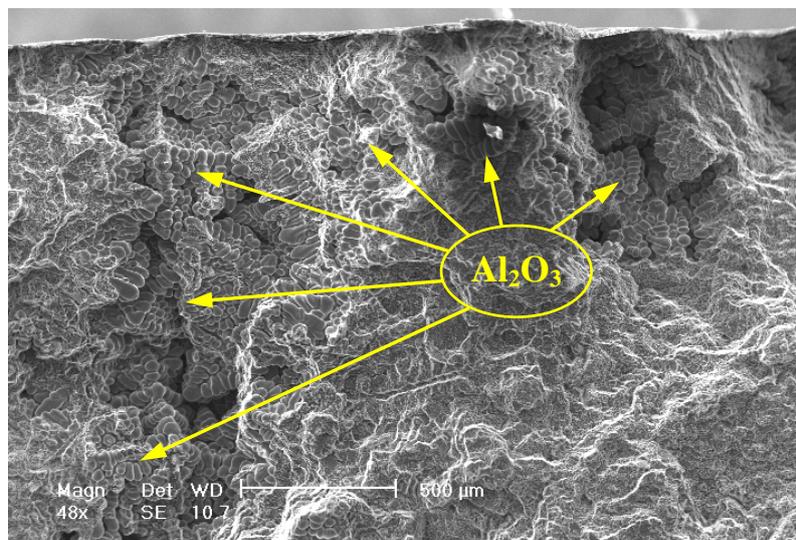


圖 16 試樣拉伸斷口的二次電子形貌圖像，顯示氧化鋁夾雜

## (二)、 北航大材料失效分析及預測預防研究所

失效分析與預測預防研究中心主要研究、支撐條件、工作展望說明如下：

### 1. 主要研究

#### (1) 在基礎研究方面—材料損傷—why

##### A 材料服役損傷模式、機理研究

- 國家(中國)973項目：材料的環境行為與失效機理
- 十五支撐項目：金屬長壽命超聲疲勞機理研究
- 國家973項目：核電關鍵材料的環境行為與失效機理
- 金屬材料疲勞早期損傷的無損檢測技術研究

#### (2) 在技術應用方面—關鍵零部件—how

##### A 重大事故分析與診斷技術

- 重大事故失效分析
  - 三峽建設工程(圖17)“九三”事故分析 (國務院三峽建設委員會委託)



圖 17 三峽建設工程“九三”事故現場

2000年9月3日，三峽工程工地3#塔帶機1#、2#皮帶機突然墜落，發生重大傷亡事故。為查清事故發生的原因，經國務院領導批准，國務院三峽工程建設委員會專門成立並派出“三峽工程”九·三”重大傷亡事故調查組”，下設事故調查專家組。

■ 秦嶺電廠重大事故 (圖18，國務院安全生產委員會委託)



圖 18 秦嶺太原火力電廠(20 萬千瓦)

秦嶺、太原2台20萬千瓦機組37米長主軸斷裂事故，54台主力機組在運行-國務院下任務；失效分析：歷時9個月，51項試驗，20個專家，事故原因診斷：油膜振盪 (世界第一次結構斷裂診斷原因)；提出12項防範措施。

■ “11.21”包頭空難事故分析 (圖19)



圖 19 “11.21”包頭空難事故現場飛機殘骸

■ 重大工程設備運行失效診斷

參與或負責1000多例機械失效和預防項目(其中100餘項為重大專案)

- 某型號發動機葉片斷裂原因分析 (圖20)



圖 20 某型號發動機斷裂葉片

1998年至2002年，某型發動機Ⅱ級渦輪葉片在使用中共有18台發動機21個葉片發生斷裂故障，其中直接導致二等飛行事故2起，嚴重飛行事故症候1起。該故障已成為近年來嚴重影響我軍飛行安全和裝備完好率及某重點型號飛機出廠交付和科研試飛的重大品質問題，並一度導致全軍配裝該系列發動機的飛機全部停飛而受到總部機關的高度關注。

- 催化裂化裝置軸流主風機葉片斷口和裂紋分析 (圖21)



圖 21 催化裂化裝置軸流主風機葉片斷裂

自1996年開始，該類型風機陸續發生了多起一級動葉片斷裂事故，斷裂的過程和原因基本類同，給各企業的安穩生產和經濟效益造成了嚴重的影響。

- 國內權威的失效仲裁基地
- 提出了失效學體系、綜合地研究和發展了災難(爆炸)事故模式和原因診斷技術和方法、深入系統的研究和發展了材料韌脆轉移和冷脆斷裂模式、原因和機理的分析診斷和預測技術和方法
- 起草國家標準"失效分析和預防" (由中國標準化委員會立項)

## **B 設備狀態可靠監檢測及分析理論與技術**

- 金屬材料疲勞早期損傷的無損檢測技術研究
- 運行設備缺陷線上遠端監測和評估技術與方法研究
- 石油管道損傷無線監測技術研究

## **C 基於斷裂力學和PSA的老化狀態評估理論和技術**

- 從"八五"到"十一五"主要開展壓力容器和壓力管道以及成套裝置等石油化工設備和裝置評估技術研究
- 蒸汽發生器傳熱管損傷速率評估技術研究
- 核壓力容器結構完整性評估 (A533B, A508-3, A508-4)
- 上海港大型港口機械安全檢測及概率評估技術研究
- 青島港煤炭裝卸系統鋼結構安全評定
- 地質災害下油氣管道的應力分析、安全評定及軟體研究
- 含缺陷奧氏體不銹鋼應力腐蝕擴展速率研究

## **D 不同失效模式下壽命預測理論與技術**

- 核電站蒸汽發生器傳熱管缺陷擴展速率及安全壽命研究

- 煉化加氫裂化反應器壽命分析
- 在役埋地管道的壽命分析
- 老齡飛機的日曆壽命分析

### (3) 應用方面—運行系統—control

#### A 可靠性及風險分析理論和技術

- 複雜環境下材料和構件失效診斷技術及長壽命、高可靠性保障技術(RCM)
- 大型高參數高危險性成套裝置長週期運行安全保障關鍵技術研究與工程示範 (國家科技支撐十一五課題)
- 汽車前軸疲勞可靠性研究

#### B 運行老化(失效)預測分析理論與技術

- 複雜環境下材料和構件失效診斷技術及長壽命、高可靠性保障技術 (十一五支撐專案)
- 核電站蒸汽發生器傳熱管缺陷擴展速率及安全壽命研究
- 在役埋地管道的壽命分析

#### C 模擬仿真及優化技術研究 (圖22 仿真及優化研究示意)

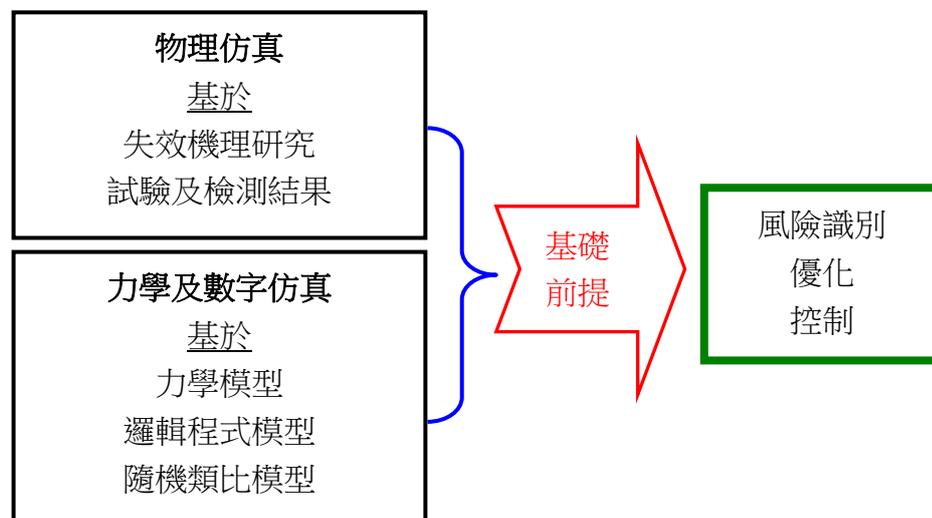


圖 22 仿真及優化研究示意

- 中子輻照下鋼顯微亞結構演變機理的實驗類比研究，國家自然科學基金項目，50471005
- 現代汽車構件強度分析技術開發及應用，20021220-2，吉林省計畫委員會資助
- 參與了AEAT, NII等英國(歐盟)原子能研究機構的多項研究，其中包括：
  - 核反應爐壓力容器鋼韌脆轉變溫度與組織性能退化的研究
  - 核壓力容器中子輻照對組織性能影響的模擬研究

## 2. 支撐條件

### (1) 實驗室及專業配置

#### A 航空科學與技術國家實驗室

##### — 結構與材料主要負責部門

- 核能科學與工程專業
- 民航安全技術分析和鑒定實驗室
- 空天材料與服役教育部重點實驗室

### (2) 國際合作：

- 與英國核管局(NII)，TWI等機構有長期的良好的合作關係，美國GE Corporate Research & Development
- 國際合作研究組 (Birmingham, Bristol, Berkeley)

### (3) 教育部設備支援：985與211

— 已獲得500萬 ~ 3000萬的設備支援

### 3. 工作展望 (圖23)

吳素君教授本人近期之研究：

- 核能组件結構完整性及使用壽命評估
- 中子輻照模擬
- Effect of Pre-Deformation Enhanced Thermal Aging on Precipitation and Micro-hardness of a Reactor Pressure Vessel Steel
- On the Cu precipitation behavior in thermo-mechanically embrittlement processed low copper reactor pressure vessel model steel
- Comparison of ductile-to-brittle transition curve fitting approaches

等核能專業及疲勞、斷裂、材料失效等科研。

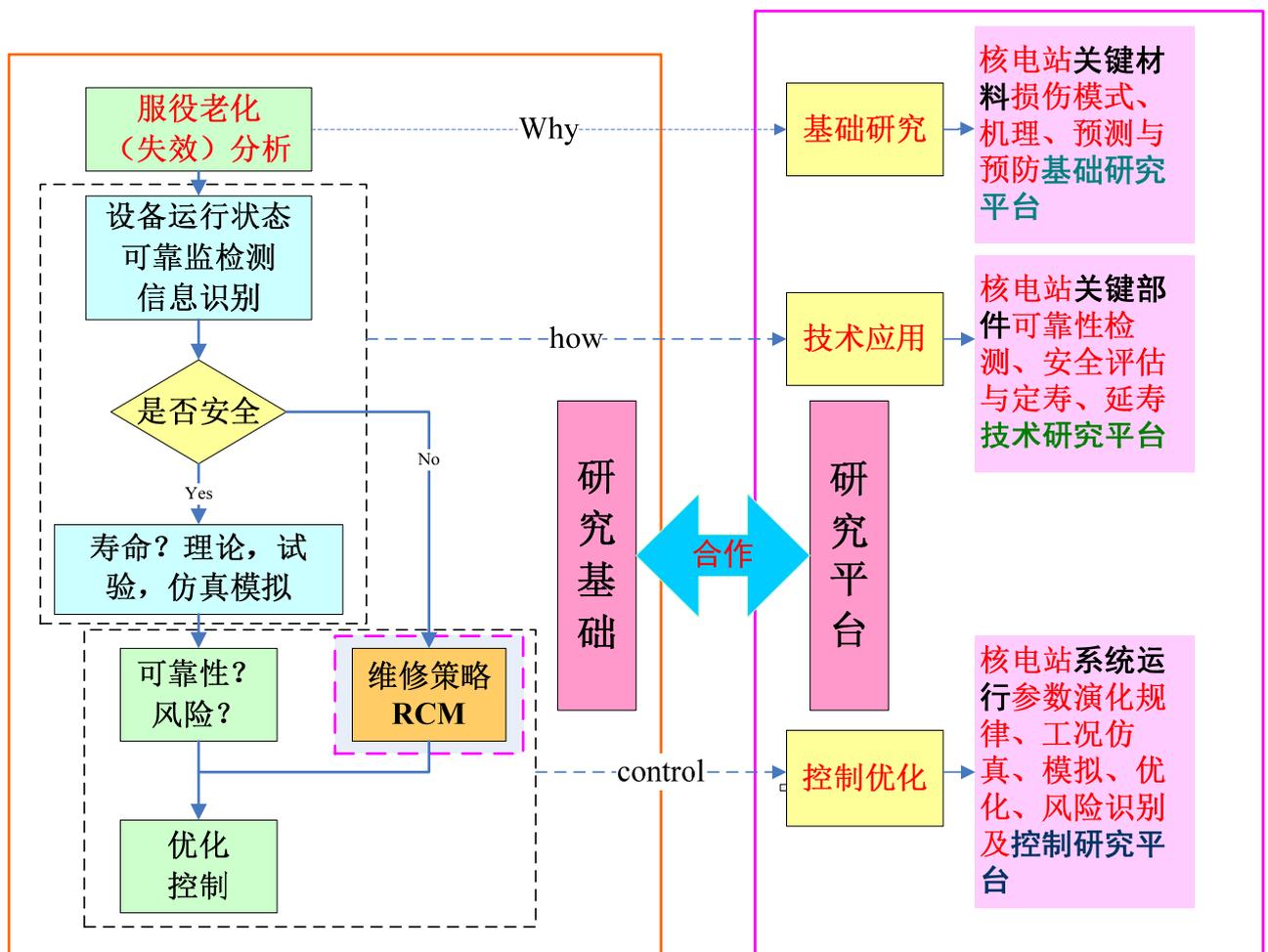


圖 25 工作展望—基於主要研究、支撐條件

#### 四、 建議事項

- (一)、 海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議為每年舉行之會議，除揭露組件材料效能劣化最新研究成果外，亦提供學術、產業及研究機構一溝通平台，使海峽兩岸相關之專家、學者有機會齊聚一堂，進行理論研發成果心得分享與實務經驗交流，以對材料(含核能材料)效能劣化的本質有更進一步的了解，值得本所定期派員參與該會議。
- (二)、 北京航空航天大學材料科學與工程學院材料失效分析及預測預防研究所長期從事失效分析、結構完整性評估和安全評定、壽命預測及無損探傷等方面研究工作，在材料的環境行為與失效機理、金屬長壽命超聲疲勞機理、核電關鍵材料環境行為與失效機理、金屬材料疲勞早期損傷無損檢測技術研究等方面，成效顯著，是本所值得建立交流合作之學術研究機構。
- (三)、 隨著電廠長期運轉，組件材料老化效應將愈發顯著，組件受損發生機率與頻率也隨之增加，此愈發顯現本所燃料組(熱室)角色之價值與重要；身為國內專業且唯一的高放實驗室，其責任不能拋棄，使命不能湮滅，熱室軟硬體之專業與能力，需與時俱進，不斷精進，不僵化過往的觀念與態度，用新的面貌，新的效能，提供一流的服務；因應可見之長期運轉材料老化議題，期許熱室能與國外熱室及/或研究機構合作，取得技術及長期運轉管理資源。

## 五、 附件

### 附件一 第 2 屆海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議組織委員會名單

主 席	沙愛民	長安大學·西安
	鄭常勝	中華大學·新竹
秘書長	王建國	北京科技大學·北京
	張奇偉	中華大學·新竹
主任委員	陳拴發	長安大學·西安
	翁榮洲	工業技術研究院·新竹
副主任委員	林卓英	上海交通大學·上海
	洪健龍	工業技術研究院·新竹
	鄒定強	中國鐵道科學研究院·北京
	彭嘉肇	天丞企業有限公司·桃園
委員	王連慶	北京科技大學·北京
	丁 鯤	龍華科技大學·桃園
	李煒光	長安大學·西安
	石漢正	中鋼公司·高雄
	趙衛東	南方醫科大學·廣州
	江世雄	臺北市結構技師公會·臺北
	徐永君	中國科學院力學研究所·北京
	許峰彰	臺灣中油·嘉義
	王梅英	哈爾濱汽輪機公司·哈爾濱
	黃俊仁	中央大學·桃園
	張利民	華山機械公司·西安
	顏怡文	臺灣科技大學·臺北
	吳月梅	上海汽輪機公司·上海
	方 健	寶山鋼鐵公司·上海
	龔 明	中國科技大學·合肥
	張亞軍	洛陽船舶材料研究所·洛陽
	常小曉	中科院寒區旱區環境與工程所·蘭州
	周金枝	湖北工業大學·武漢
	唐林潮	漣源鋼鐵公司·湖南
	郭萬江	長安大學·西安

## 附件二 第 2 屆海峽兩岸破壞科學與材料試驗學術會議論文清單

- 1 A modified optimal sensor placement method based on the effective independence method
- 2 [A Prediction Model for Low Cycle Fatigue Crack Initiation under Axial Loading](#)
- 3 An Approach for Full-Range True Stress-Strain Curves of 304 Stainless Steel Using Funnel-Type Specimens
- 4 Axial ultra high cycle fatigue behavior of warm compaction Fe-Cu-Ni-Mo-C sintered material
- 5 Calculation of Failure Function of Metals taking with Consideration of Deformation Path
- 6 Double-hardness indentation method to estimate uni-axial constitutive relationships of materials
- 7 Dynamic Response Analysis of Suspended Submarine Pipeline Based on Soil Triaxial Test
- 8 Experimental investigation on fracture character of 921 steel
- 9 Experimental Study on Mechanics Property of Austenitic Stainless Steel at Room and Ultra-low Temperature
- 10 Experimental study on the Influence of Water Content in Concrete Dynamic Elastic modulus Test
- 11 Experiments on stress relaxation of the casing used in thermal recovery well
- 12 Experiments on the Parameters of Casing in Thermal Recovery Well and Its Applications
- 13 Explicit Finite Element Simulation for the Large Deformation Failure of the Soil Slope
- 14 Failure probability analysis of coal crushing and its engineering application
- 15 Gas sealing performance test analysis of non-API casing connection with radial cone sealing structure
- 16 Healthy Monitoring of Concrete Bridges and Vehicle Loads Correlation Analysis Based on Acoustic Emission
- 17 Mechanical Properties and Impermeability of High Performance Cementitious Composite Prepared with Polyethylene Fibers
- 18 Mechanical Properties Test of Bedded Rock Salt and Its Applications
- 19 New Orthotropic Constitutive Model of Fractured Coal Rock Mass
- 20 Plastic factor of front face compact tension specimens
- 21 Prediction of hot deformation behavior of biomedical materials Ti-Ni-Nb alloy
- 22 Research on Appointing Diversified Subjects for Evaluating Performances of Energy-saving and Emission-reducing of Local Party and Government Leaders
- 23 Research on High-temperature Thermal Effect Laws and Thermodynamic Characteristics of Salt Rock
- 24 Residual Stress Field and Toughening Mechanism for Composite Ceramic with Eutectic Inter-phases
- 25 Reasonable range of internal pressure of natural gas storage in rock salt mass
- 26 Stability analysis of the oil surrounding rock in oil storage cavern by Modified Hoek-Brown strength reduction method
- 27 Statistical analysis of the failure modes and causes of the failure blades of the aviation engine
- 28 Studies on Rock mechanical characteristics testing and drill Bit's rock-breaking efficiency in deep wells
- 29 Study on C/C composites Ablated in Plasma jet
- 30 Study on mechanical properties test of coal rock and fracturing stimulation methods
- 31 Study on the appropriateness of hardness test methods of cold-rolled sheet

- 32 Splitting Strength Analyses of Cement Asphalt Emulsion Mixtures with Different Aggregate Gradations Using Discrete Element Method
- 33 Uni-axial and multi-axial Electromechanical Couple behavior of PZT53
- 34 Small Sampling Fatigue Test and Damage Modeling by Using Genetic Algorithm for FRP Composite Materials
- 35 The Fracture Strength of Eutectic Composite Ceramic Containing lamellar inclusion
- 36 The influence of mode III static loading on mode I fatigue crack propagation
- 37 The measurement and analysis of rock fracture toughness under mode I and mode II
- 38 The studies of two phase concrete model on meso-level and its applications
- 39 Theoretical model and experimental verification of anti-penetration problems of ceramic materials
- 40 Time-temperature Characteristic of Epoxy Asphalt
- 41 Tensile behavior and constitutive model of 35CrMoA steel
- 42 The Accuracy in Prediction of Elastic Modulus of Elasto-plastic Materials by Spherical Indentation
- 43 The effect of temperature on the segregation and deformation mechanism of  $\alpha$ -Ti<sub>2</sub>Cu alloy during semi-solid forging
- 44 The Fined COD Transform Formulas of Bending-Type Specimens for Material Fracture Toughness Testing
- 45 Warm deformation behavior of Ti-6Al-4V alloy at strain rate of 100s<sup>-1</sup>
- 46 Determination of Marble Elastoplastic Parameters based on Mohr-Coulomb Criterion and its Significance
- 47 Tension estimation for no infill HDPE sheathing stayed-cable at XinBei bridge cable by ambient vibration method and EM tension sensor
- 48 A Case Study of SCC-induced Failure of AISI 4340 Studs
- 49 Comparison of Stayed-Cable Tension of XinBei Bridge by FBG Strain Gauge installed using Adhesive and EM tension sensor
- 50 Microstructures and Mechanical Properties of Lead-free Solder Joints in Pin Through Hole Components
- 51 ECOMeter-管路薄化線上監測系統
- 52 地下管線搭接問題探討
- 53 鍍鋅鋼板電阻點鐸之拉剪破壞模式研究
- 54 核能組件疲勞效應即時評估系統開發
- 55 中空特徵對於微創椎弓足螺釘的力學影響
- 56 熱處理對於新型鈷基超合金磨耗與腐蝕性質的影響
- 57 數位反射式光彈法於長鐸鋼軌殘留應力之量測
- 58 碳鋼衝擊斷裂之裂縫成長預測模擬研析
- 59 數位化透地雷達健康檢測與診斷系統
- 60 錫球陣列構裝疲勞壽命之快速可靠度評估技術
- 61 發光二極體中金線鍵合強度最佳化之研究
- 62 以合成訊號模擬科技廠房樓地板背景微振動之研究
- 63 應用雷射都卜勒微流儀量測手部血液灌流以探討低溫損傷效應
- 64 應用透地雷達法於老舊隧道襯砌混凝土完整性之研究
- 65 蒸汽渦輪機葉片之振動破壞分析

- 66 被動質量減振器應用於高科技廠房設備基座微振動之研究
- 67 衝擊錘檢測於填土品質控制之應用
- 68 雷射照射對生物組織熱損傷之實驗與熱傳模擬
- 69 考慮土壤結構互製作用之房屋結構動力分析
- 70 NIMS 持久蠕變試驗技術簡介
- 71 SENT 試樣用於管道斷裂韌性評定的研究
- 72 X80 管線鋼微孔洞演化三維有限元分析
- 73 閉孔泡沫鋁材料的壓縮和剪切性能實驗
- 74 材料斷裂韌性測試規範中確定臨界載荷的割線法
- 75 大型熔融泵泵體開裂失效分析
- 76 典型金屬材料 LD2CS 和 15CrMnMoVA 的 S-N 曲線的試驗測定
- 77 高溫拉伸後 V-5Cr-5Ti 組織力學性能納米壓痕研究
- 78 管線鋼焊接接頭斷裂韌度試驗研究
- 79 航空金屬材料疲勞特性參數取值規律研究
- 80 轎車鋁合金輪轂斷裂失效分析
- 81 力學性能試驗試樣斷口分層(離)開裂與使用安全性的關係
- 82 螺旋彈簧長時應力鬆弛性能試驗研究
- 83 鋁合金板材恒 K 與增 K 疲勞裂紋擴展速率特性
- 84 鋁合金焊件疲勞巨集微觀性能的研究
- 85 鋁鎂合金平面應力斷裂韌性的測試研究
- 86 民用飛機金屬材料疲勞壽命標準差研究
- 87 扭轉預應變對 35CrMo 鋼低周疲勞性能的影響
- 88 氫對 0Cr16Ni5Mo 馬氏體不銹鋼疲勞裂紋擴展速率的影響
- 89 氫致內部疲勞裂紋萌生和擴展的有限元分析
- 90 少齒數齒輪軸扭轉變形及破壞分析
- 91 溫度對鈮合金 V-5Cr-5Ti 力學性能的影響
- 92 五種 400 系不銹鋼薄板壓延性能對比分析
- 93 物理類比系統在材料熱加工類比中的應用
- 94 顯微組織對多層焊接接頭疲勞裂紋擴展速率的影響
- 95 懸臂彎曲載入表面裂紋擴展長度與深度的關係研究
- 96 引入電化學參量研究鋁合金材料腐蝕疲勞壽命
- 97 應變迴圈損傷預測表面橢圓裂紋擴展行為
- 98 ADB610 鋼疲勞裂紋擴展速率的可靠性研究
- 99 HSM770 疲勞試驗及可靠度研究
- 100 Mg-Gd-Y-Sn-Zr 高強耐熱鎂合金的微觀結構與力學性能
- 101 變形量對鈦基複合材料微觀結構以及力學性能的影響
- 102 水工混凝土抗硫酸鹽侵蝕性能改善試驗研究
- 103 基於 MTS 系統 CG 漿液加固破碎岩體實驗研究
- 104 微孔二氧化鈦光催化陶瓷的製備及力學性能研究

- 105 大理岩直接拉伸迴圈載入試驗特性研究
- 106 單一裂隙三維應力—滲流耦合特性實驗研究
- 107 腐蝕環境下低周疲勞試驗技術研究
- 108 工程結構疲勞裂紋擴展的二維邊界元模擬
- 109 海水腐蝕介質中疲勞裂紋擴展速率測試方法研究
- 110 灰岩單軸壓縮實驗室尺度效應研究
- 111 基於 Mohr-Coulumb 準則的複合型岩石裂紋斷裂判據研究
- 112 基於聲發射技術的腐蝕結構疲勞裂紋萌生壽命測試
- 113 結構性軟土動剪切模量試驗對比研究
- 114 緊湊拉伸試件統一塑性因數研究
- 115 民用飛機飛行譜與載荷譜的編制
- 116 軸向載入疲勞試驗機動態力的校準
- 117 疲勞試驗機冷卻系統 ZBL-10T 型封閉空冷式換熱設備
- 118 橋樑複合鋼橋面板剪力釘焊縫疲勞斷裂損傷的動態監測
- 119 三軸壓縮條件下煤樣聲發射特徵試驗研究
- 120 蛇形管道澆注法製備半固態 TiB<sub>2</sub>/7050 鋁基複合材料
- 121 四川泥巴山深埋特長隧道地應力 Kaiser 效應試驗研究
- 122 壓縮狀態下橡膠隔振器有限元分析
- 123 岩石人字形切口巴西圓盤試驗研究
- 124 鹽岩高溫剪切強度參數試驗研究
- 125 長江口細砂路堤適宜結構體系研究
- 126 Excel VBA 在岩石單軸壓縮變形試驗資料處理中的應用
- 127 PBX 裂紋癒合行為探索研究
- 128 基於莫爾-庫倫準則的大理岩彈塑性參數的確定及其意義

## 附件三 北京航空航天大學材料失效分析及預測預防研究所

### 吳素君教授簡介

1960年11月，河南省鄭州市人。

教育學歷和工作經歷:

1979-1983：學士，西安交通大學機械工程系

1983-1986：碩士，西安交通大學材料科學與工程系

1986-1988：西安交通大學材料系國家開放實驗室

1988-1992：研究工程師，機械部鄭州機械研究所

1992-1997：博士，英國伯明罕大學冶金與材料科學系。由 ORS Award 和伯明罕大學獎學金資助，導師：John F. Knott 教授（英國皇家學會會員，英國皇家工程院院士）

1997-1998：研究助理，英國伯明罕大學冶金與材料科學系

1998-2003：研究員，英國伯明罕大學冶金與材料科學系

2003-現在：

教授、博士生導師，北京航空航天大學材料科學與工程學院

客座高級研究員，英國伯明罕大學冶金與材料科學系

高級研究員，首鋼技術研究院

中國機械工程學會材料分會理事會理事

英國結構完整性論壇(FESI)理事會理事

主講課程：

材料力學性能；斷裂力學應用實例；Failure Analysis

研究方向：

核能組件結構完整性及使用壽命評估

核能材料韌脆轉移模型、冷脆斷裂機理與控制

材料加工處理、微觀組織及強韌化

材料疲勞、斷裂、磨損及脆化

失效分析



## 附件四 北京航空航天大學材料失效分析及預測預防研究所

### 鐘群鵬所長簡介



鐘群鵬，失效分析及預防、預測專家；中國工程院院士。

教育學歷和工作經歷：

1934 年 10 月生，浙江省上虞市人

1952 年北京清華大學航空系本科

1957 年北京航空學院研究院(航空材料熱加工系金相熱處理專業)畢業，並留校任教至今

1999 年 11 月當選中國工程機械與運載工程學部院士

現任：

- 北京航空航太大學教授、博士生導師
- 失效分析預測預防研究所所長
- 中國-加拿大失效分析和預防培訓中心主任，兼任國家安全生產專家組綜合組組長
- 中國機械工程學會常務理事
- 失效分析分會主任委員(理事長)
- 中國科學技術協會工程學會聯合會失效分析和預防中心主任
- 中國國家技術品質監督局鍋爐壓力容器檢測研究中心高級技術顧問
- 《機械工程材料》雜誌編委
- 《國際材料檢測和評價協會》常務委員
- 中國工程機械與運載工程學部常務委員

鐘群鵬院士創建了中國第一個失效分析學術組織與中國科協工程失效分析和預防中心，是中國失效分析研究和重大事故仲裁的重要基地。30 多年來一直他在機械裝備分析預測預防、材料環境行為及其控制領域進行了系統的有開創性的研究，在材料韌脆轉移的數學模型和冷脆斷裂機理與控制、壓力容器與管道的失效分析及彈塑性安全評估技術、巨集微觀斷口物理數學模型和斷口的定量反推分析方法等方面獲有重大成果。鐘群鵬院士所從事的研究方向奠定和發展了中國失效分析預測預防分支學科體系。

鐘群鵬院士主持或參加 500 多次包括航空裝備在內的機械裝備重大失效事故的分析、診斷和預防決策，其中 60 餘項為重大專案，取得重大社會、軍事和經濟效益。近年來在航空結構材料的環境行為失效機理和結構完整性壽命預測等方面，承擔有中國國家“973 計畫”、國防預研，中國國家科委科技攻關專案等重大課題，培養出博士生和碩士生 40 餘名，獲得國家、省部(市)級獎勵 10 餘項，主編 26 部專著和教材，發表論文百餘篇。2000 年獲中國國家經貿委安全科學技術進步一等獎；2001 年獲中國機械工程學會科技成就獎；2002 年獲中國高校科技進步一等獎。

## 附件五 北航大暨材料失效分析及預測預防研究所發展概況

北京航空航天大学  
失效分析与预测预防研究中心

研究情况汇报

- 1、北京航空航天大学简介
- 2、材料科学与工程学院情况简介
- 3、失效分析与预测预防研究中心

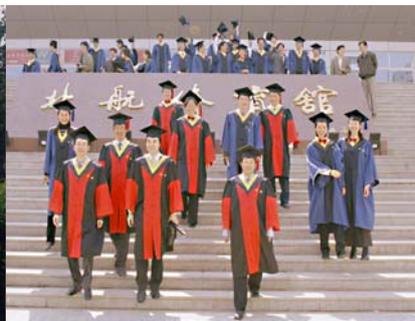
# 发展历程

- 北京航空学院：1952年10月25日
  - 由清华大学、北洋大学等8所大学的航空、机械系合并而成
- 北京航空航天大学：1988年



# 发展历程

- 建校以来，一直是国家重点建设的高校
- “九五”：首批进入“211工程”的前15所大学
- “十五”：“985工程”重点建设高校



## 学校概况

- 隶属于国防科工委（目前归工业与信息化部），与教育部、北京市共建
- 现有
  - 学院：22个
  - 本科专业：46个
  - 硕士学位授权点：144个
  - 博士学位授权点：49个
  - 一级博士学位授权点：14个

## 在校生规模

类别	1997年	2007年	增长率
全日制在校生	9989	23172	132%
本科生	6856	12746	86%
研究生	1913	9695	407%
留学生	68	731	168%
专科生	1152	0	-

## 师资队伍

项 目	1997年	2007年	增长率
教职工总数	3481	3261	-6%
专任教师	1090	1831	68%
教授	183	403	120%
副教授	449	711	58%
讲师	357	633	77%
其他	101	84	-17%

- 教师中具有博士学位的比例达到**52.7%**

## 办学条件

- 总建筑面积**108.1**万平方米
  - 1952—2001年：总建筑面积**52.5**万平方米
  - 2002—2007年：**新增**建筑面积**55.6**万平方米
    - 新主楼建筑面积**22.6**万平方米
    - 回购大运村学生公寓**12**万平方米
- 每位教授、副教授都有独立的办公室



# 科研基地

- 1个国家实验室（筹）
- 6个国家级重点实验室
- 20个省部级重点实验室
- 2个国家级工程中心
- 3个省部级工程中心



## 2007年高水平大学一级国家重点学科排名

排名	学校名称	一级重点学科数	排名	学校名称	一级重点学科数
1	<b>清华大学</b>	<b>21</b>	10	华中科技大学	7
2	北京大学	18	10	天津大学	7
3	浙江大学	14	14	中国农业大学	6
4	复旦大学	11	14	南开大学	6
5	哈尔滨工业大学	9	14	中南大学	6
5	上海交通大学	9	17	东南大学	5
7	<b>北京航空航天大学</b>	<b>8</b>	17	厦门大学	5
7	中国人民大学	8	17	武汉大学	5
7	西安交通大学	8	17	四川大学	5
10	南京大学	7	17	国防科学技术大学	5
10	中国科学技术大学	7	22	北京理工大学	4

# 教育部一级学科评估结果

学科名称	2003年	2006年
航空宇航科学与技术	1	1
力学	2	2
交通运输工程	2	2
计算机科学与技术	6	3
仪器科学与技术	4	3
控制科学与工程	10	5
管理科学与工程	6	6
机械工程	8	7
材料科学与工程		8

## 科研成果

	成果名称	完成人	获奖名称和等级	年度
1	卫星新型姿控/储能两用飞轮技术	房建成等	国家技术发明一等奖	2007
2	新一代空中交通服务平台关键技术及应用	张 军等	国家科技进步一等奖	2004
3	分布交互仿真应用程序开发与运行平台	赵沁平等	国家科技进步二等奖	2006
4	燃气涡轮发动机叶片热障涂层技术研究	徐惠彬等	国家技术发明二等奖	2006

•“十五”以来，国家级科技奖一等奖**2**项，  
• 二等奖**21**项，省部级科技奖**230**项

9	集成化质量管理体系平台与国防企业应用实施	唐晓青等	国家科技进步二等奖	2005
10	网络安全协议技术研究及其系统	怀进鹏等	国家科技进步二等奖	2004
11	复杂非线性系统的某些动力学理论与应用	陆启韶等	国家自然科学基金二等奖	2003
	... ..			
23	飞行器余度控制技术	王占林等	国家科技进步二等奖	2001

# 招生就业

- 2007年录取高考排名省市区理科前1000名学生有2116人，占招生总数的68.6%
  - 全国1010万考生，前3万名，即千分之三
- 一次就业率
  - 本科生连续五年98%以上
  - 研究生连续五年99.5%以上

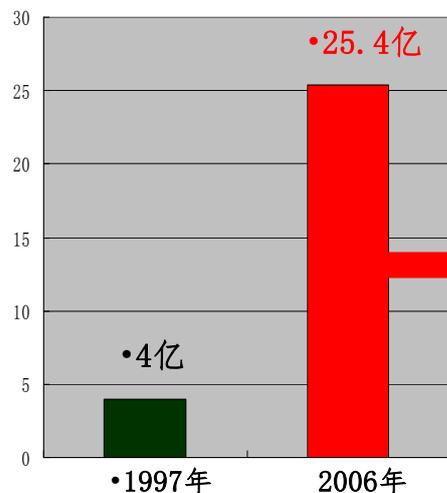
## 50年来培养高层次工程技术人才最多的前5所高校或科研机构

名次	航天	石化	信息	船舶	煤炭	农林	临床医学
1	哈工大	石油大学	北航	上交大	中国矿大	中国农大	协和医科大
2	北航	中科院	东北大学	哈船舶	煤科总院 煤化所	北林大	上海第一医科大学
3	北大	北化	哈工大	华中理工	西安矿大	中国农科院	北大医学院
4	哈军工	石油化工 科学院	中科院	西工大	煤科总院 西安分院	华中农大	上海医科大
5	西工大	浙江大学	—	哈工程	重庆大学	南京农大	南京医学院

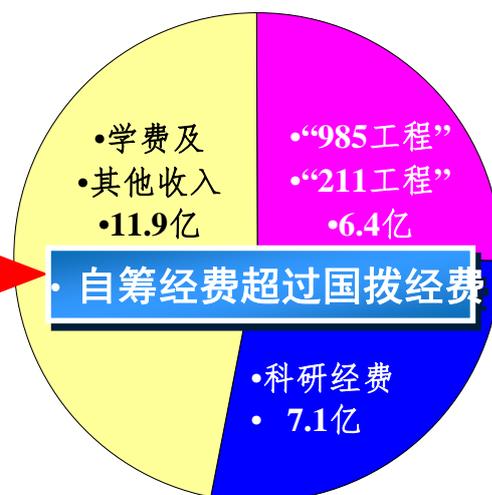
•沈国航、杜祥琬：中国工程院“高层次工程技术人才成长规律研究”课题

# 办学经费

•单位：亿元



•10年来学校总经费增长情况



•2006年学校总经费：**25.4亿**

❖2006年人均总经费：**63万**

## 航空科学与技术国家实验室（筹）

- 2006年12月获批筹建
- 规模：
  - 研究人员：450人
  - 研究生：4000人
  - 管理人员：50人
- 总面积：**15.8万平方米**
  - 主校区（新主楼C座、D座，无人机实验室，为民楼）：**5.83万平方米**
  - 沙河校区：**10万平方米**（在建）





## 航空科学与技术国家实验室（筹）

- 中科院知识创新工程模式，建设四个特区

- 主任负责制
- 职务聘任制
- 协议年薪制
- 学术评价制
- 专兼结合制



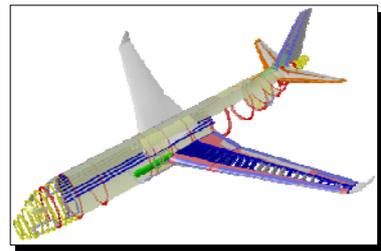
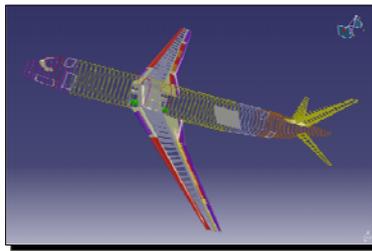
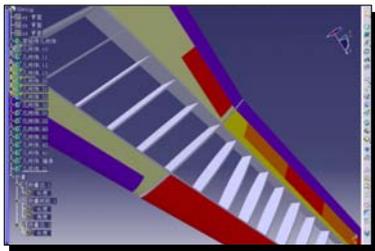
- 重大科技工程
- 科技成果转化

- 例：中英空间科学与技术合作中心

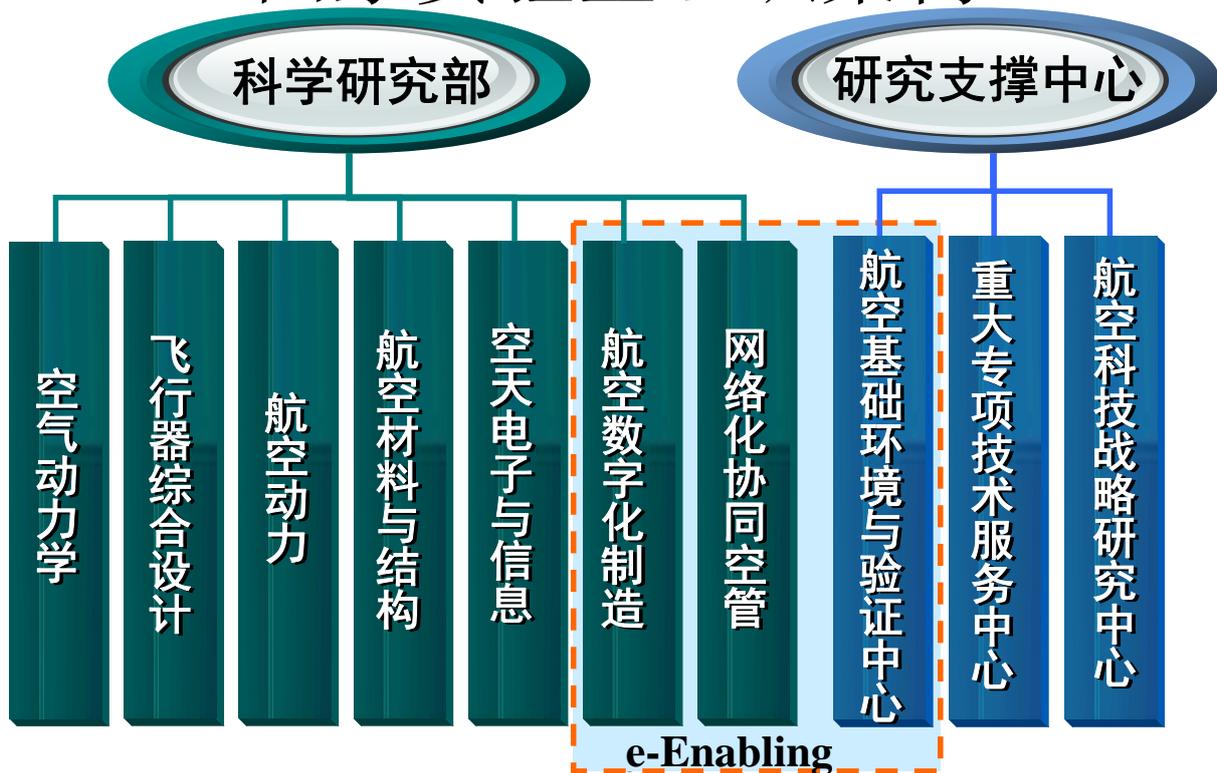
- 下一阶段985经费重点投入

## 大型飞机高级人才培训班

- 第一期：2006年11月—2007年6月
- 从在校博士和应届硕士生中选拔53人强化培训
- 完成150座级客机——CJ818的总体设计



## 国家实验室组织架构



# 1、北京航空航天大学简介

## 2、材料科学与工程学院情况简介

### 3、失效分析与预测预防研究中心

#### 材料科学与工程学院简介

- 材料学院现有教授**35**人，副教授**56**人，具有博士学位的有**84**人，占教授总人数的**92%**。
- 材料学院有长江学者**3**人，杰出青年基金获得者**4**人，中国工程院院士**2**人。

## 材料科学与工程学院简介

- 现设**3**个本科专业（材料科学与工程、应用化学、环境工程）
- **4**个硕士一级学科（化学、材料科学与工程、化学工程与技术、环境科学与工程）
- **7**个博士二级学科（材料物理与化学、材料学、材料加工工程、信息功能材料、微纳米技术、环境材料、材料结构失效与安全工程）
- **1**个博士后流动站（材料科学与工程）。

## 材料科学与工程学院简介

- **一级重点学科：**  
材料科学与工程
- **二级重点学科：**  
材料物理与化学、材料学、材料加工工程

## 材料科学与工程学院简介

- 本科生人数：692
- 学历硕士研究生人数：392
- 博士研究生数：216

## 材料科学与工程学院简介

- 4个部级重点实验室：  
空天先进材料与服役教育部重点实验室  
北京聚合物基复合材料技术重点实验室  
北京特种功能材料与薄膜技术重点实验室  
**民航安全技术分析和鉴定实验室**
- 1个国家实验室研究部：  
航空科学与技术国家实验室（筹）航空材料与结构研究部<sub>A21</sub>

## 材料科学与工程学院简介

- 2006年发表论文情况（2007年尚未统计）：  
SCI论文 **72**篇 全校排名第一  
SCIE论文 **117**篇 全校排名第一  
EI论文 **134**篇 全校排名第二
- 2007年度新批准专利近**20**项，其中**95%**以上是发明专利。

## 材料科学与工程学院简介

- 2007年获国防科学技术奖**2**项：  
宽温域耐腐蚀巨磁致伸缩材料及应用  
国防技术发明一等奖 徐惠彬  
先进树脂基复合材料制造模拟与优化技术  
国防科技进步一等奖 张佐光
- 2007年获其它部委级科学技术奖**4**项：  
装甲车辆橡胶材料（零件）寿命评估系统研究  
**军队科技进步三等奖 朱立群**  
港口大型机械装备缺陷综合检测及安全评估  
**中国机械工业科学技术二等奖 骆红云**

## 材料科学与工程学院简介

- 学院正在承担的“973”项目有4项
- “863”项目9项
- 2007年获批国家科技攻关项目2项
- 2007年度国家自然科学基金项目获批13项，其中重点基金1项，杰出青年基金1项
- 2007年获批XX基金5项，其中1项为重点基金
- 2007年获批航空基金7项
- 2007年获批航天基金6项

1、北京航空航天大学简介

2、材料科学与工程学院情况简介

3、失效分析与预测预防研究中心

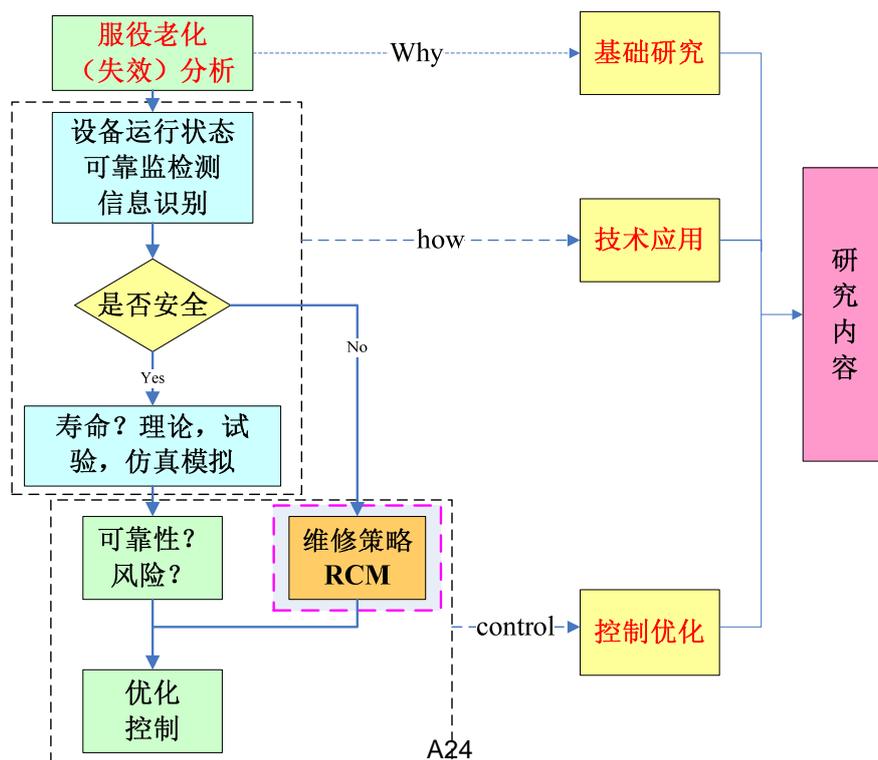
# 汇报内容

## 1、失效分析与预测预防研究中心 (主要研究情况)

## 2、主要支撑条件

## 3、工作展望

# 设备运行老化管理技术问题



# 研究内容汇报

- 在基础研究方面——材料损伤—why

- 材料服役损伤模式、机理研究



- 在技术应用方面——关键零部件—how

- 重大事故分析与诊断技术
- 设备状态可靠检测及分析理论与技术
- 基于断裂力学和PSA的老化状态评估理论与技术
- 不同失效模式下寿命预测理论与技术



- 应用方面——运行系统—control

- 可靠性及风险分析理论与技术
- 运行老化（失效）预测分析理论与技术
- 模拟仿真及优化技术研究



## 材料服役损伤模式、机理研究

- 主要的相关研究项目

- 主要的相关研究成果

# 主要的相关研究项目

- 国家973项目：材料的环境行为与失效机理
- 十五支撑项目：金属长寿命超声疲劳机理研究
- 国家973项目：核电关键材料的环境行为与失效机理
- 金属材料疲劳早期损伤的无损检测技术研究

## 主要的相关研究成果 (1)

### 力学化学联合作用下的损伤机理

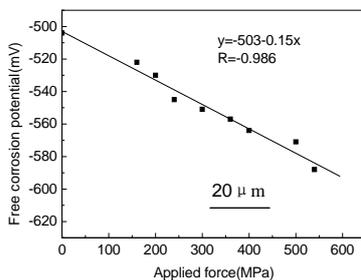
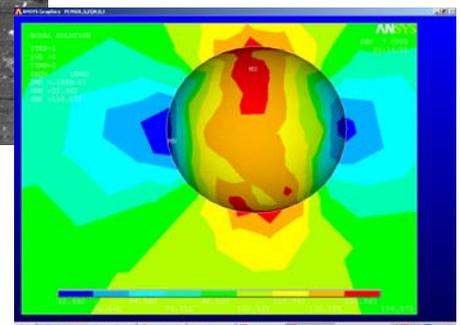
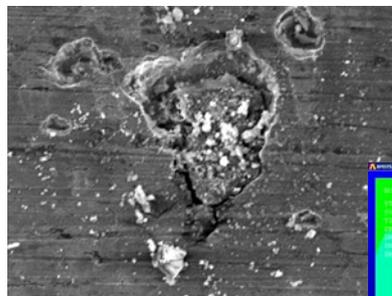


图3 30CrMnSiA自腐蚀电位随外力的变化

$$\tilde{\mu} = \mu_0 + RT \ln a + \Delta PV + zF\phi$$



(a)试样在扫描电镜下的点蚀形貌 (b)有限元模拟0.05mm点蚀坑在100Mpa均匀外载下的应力分布  
图外力为100MPa时极化一次的试样表面点蚀坑边缘应力分布的模拟

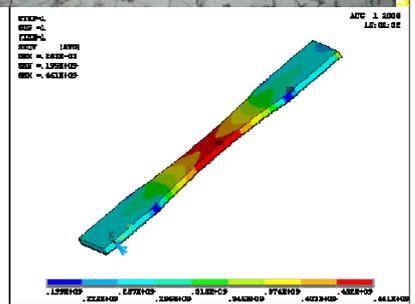
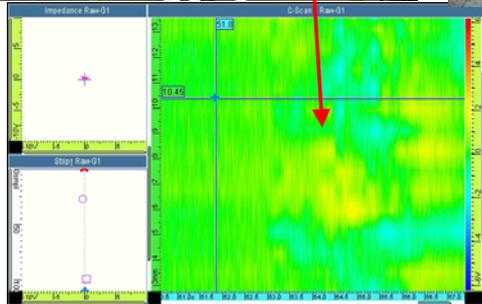
# 主要的相关研究成果 (2)

## 疲劳早期损伤研究

• 疲劳早期损伤 80% 疲劳寿命阶段  
—— 寿命预测与分析的基础



• 滑移线密度



涡流阵列检测图像

# 主要的相关研究成果 (3)

## 超高周疲劳机理 (长寿命疲劳)

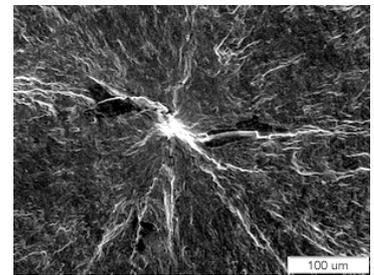
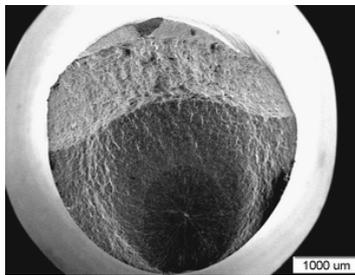
• 高速转动部件的高频疲劳与超声疲劳研究

• 高频疲劳和超声疲劳损伤机理的研究 —— 寿命预测与分析的基础

• 高频疲劳和超声疲劳损伤的对比研究 —— 采用先进手段进行超高周寿命预测与分析的基础

• 超高周疲劳材料性能研究 —— 超高周寿命预测与分析的另一个基础

超高周疲劳寿命预测



(a) 断口低倍形貌

(b) 疲劳裂纹源

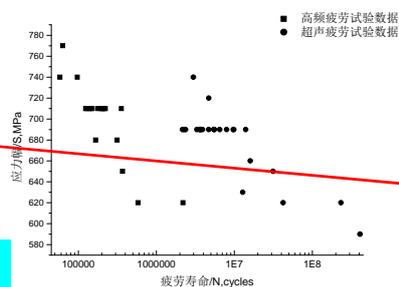


图1 超声疲劳试验结果与高频疲劳试验结果对比

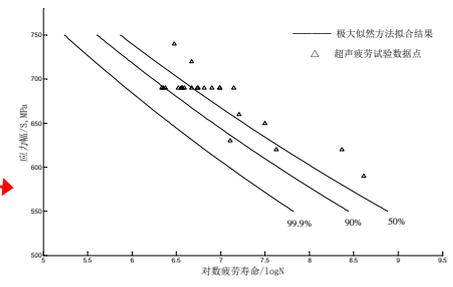
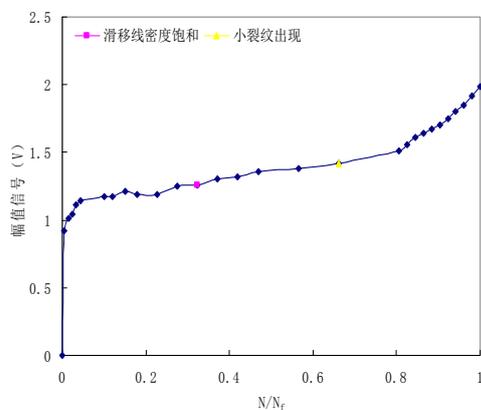


图2 极大似然方法确定的两参数P-S-N曲线

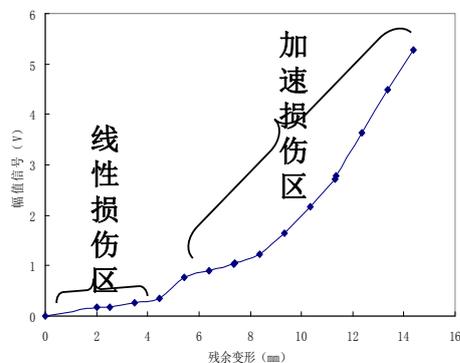
# 主要的相关研究成果 (4)

## (阵列涡流) 疲劳早期损伤规律

### 高周疲劳损伤检测



### 低周疲劳损伤检测



- 完善了高低周疲劳损伤的规律研究，为疲劳构件寿命预测奠定基础



## 重大事故分析与诊断技术

- 重大事故的失效分析
- 主要的相关研究成果

## 三峡建设工程“九三”重大伤亡事故分析 (受国务院三峡建设委员会委托)

### 泄洪坝段“9.3”事故现场影像图



中国长江三峡工程总公司信息中心  
2004年9月13日拍摄

图 9-3-1

## 秦岭电厂重大事故 (受国务院安全生产委员会委托)

- 2台(秦岭、太原)20万千瓦机组37米长主轴断裂事故-事隔8个月
- 54台主力机组在运行-国务院下任务
- 失效分析: 历时9个月, 51项试验, 20个专家
- 事故原因诊断——油膜振荡——世界第一次结构断裂诊断原因
- 提出12项防范措施-未发生类似事故
- 国内电厂影响重大



秦电远景

完整的失效分析、预测、预防过程：  
事故诊断——试验验证——预防措施——事故的避免

## 重大工程设备运行失效诊断方面：

- 参与或负责1000多例机械失效和预防项目（其中100余项为重大项目）；
- 获国家安全生产监督管理局安全生产科技成果奖一等奖一项、国家经贸委首届安全科技技术一等奖一项、中国高校科技一等奖一项，军队二等奖一项以及其他部级三等奖二项。
- **国内权威的失效仲裁基地。**

## 主要的相关研究成果

### 1、提出了失效学体系

1986年钟群鹏在北航科研报告提出“失效学”倡议，比日本饭田提出的“失败学”要早2—3年

### 2、综合地研究和开发了灾难（爆炸）事故模式和原因诊断技术和方法

### 3、深入系统的研究和开发了材料韧脆转移和冷脆断裂模式、原因和机理的分析诊断和预测技术和方法

### 4、正在起草国家标准“失效分析和预防”（由中国标准化委员会立项）

研究总结了一整套各种失效模式（耦合）下失效原因分析和诊断理论和技术



# 设备状态可靠检测及分析理论与技术

- 设备情况介绍
- 主要的相关研究项目
- 主要的相关研究成果

## 设备情况(1)



电化学工作站



超声波探伤仪



声发射检测仪



视频显微镜

## 无损检测技术和设备情况(2)



体视显微镜



裂纹探伤仪



数据采集器（应力，振动）



测厚仪

47

## 无损检测技术和设备情况(3)



便携式硬度计



便携式金相显微镜



涡流探伤仪



表面粗糙度仪

A32

48

## 无损检测技术和设备情况(4)



声发射系统



内窥镜



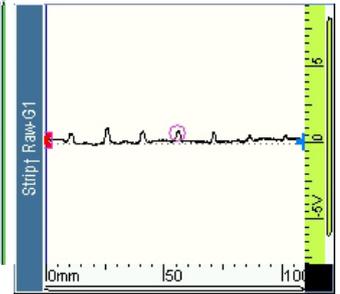
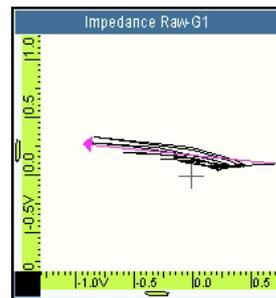
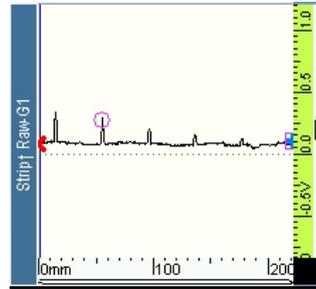
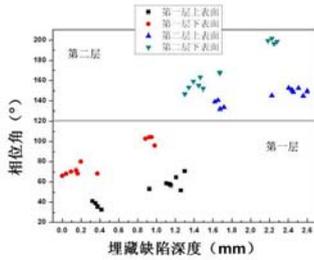
## 主要的相关研究项目

- 金属材料疲劳早期损伤的无损检测技术研究
- 运行设备缺陷在线远程监测和评估技术与方法研究
- 石油管道损伤无线监测技术研究

# 主要的相关研究成果 (1)

## 阵列涡流探伤规律研究

确定埋藏缺陷的深度（Z方向）：**缺陷——检测信息**



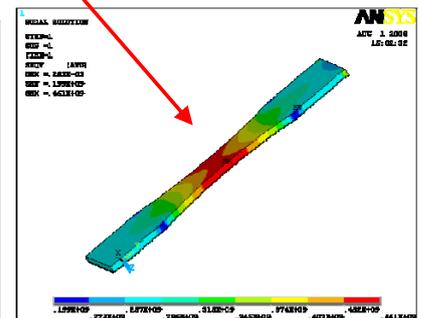
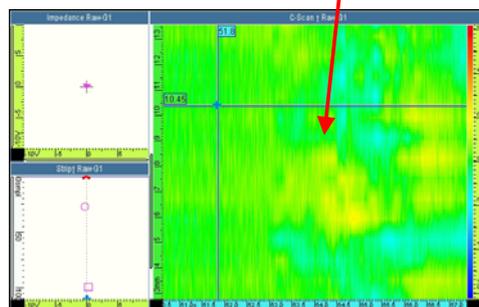
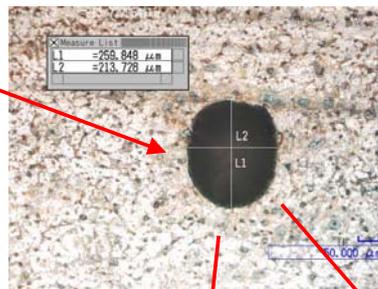
**增强缺陷检测的可靠性和准确性!**

不同长度裂纹的条带图

# 主要的相关研究成果 (2)

## 阵列涡流小缺陷检测技术研究

- **0.26mm小缺陷检测**
- **omniscan**涡流阵列检测仪
- **Hirox**光学视频显微镜

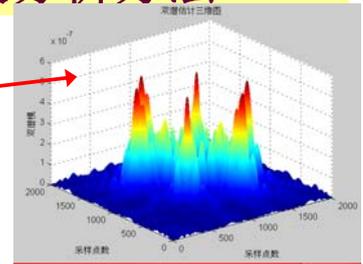
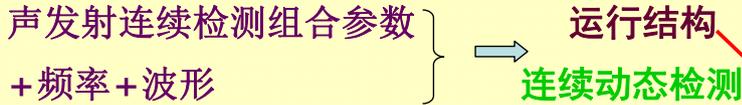


涡流阵列检测图像

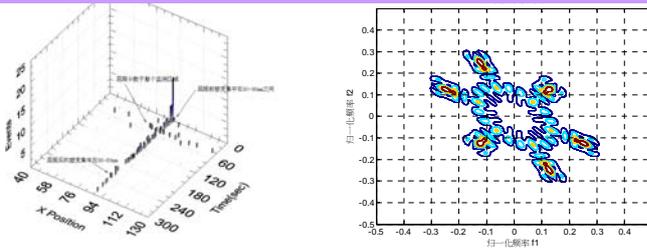
# 主要的相关研究成果 (4)

## 运行装备缺陷连续动态检测技术及分析方法

- ◆缺陷超声间隔检测
- ◆缺陷声发射连续监测及损伤表征:



- 取得了运行装备缺陷连续动态检测技术及分析方法的突破
- 已经成功应用于大型港口设备的缺陷监测!

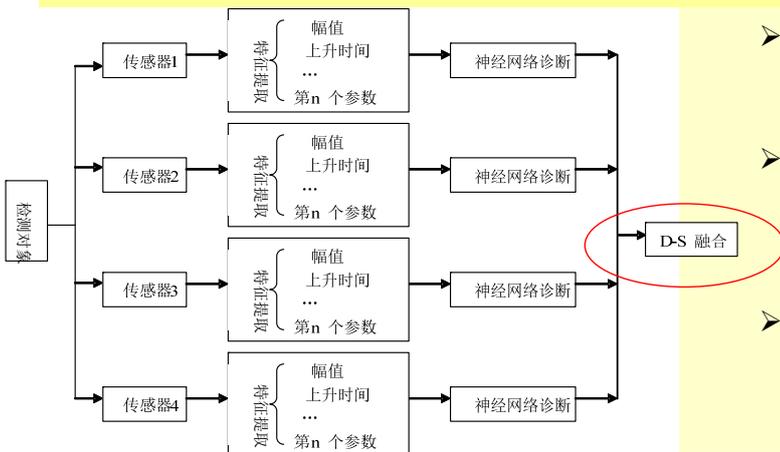


### 理论与应用的结合

省部级三等奖1项, 申报了国家发明专利1项, 获批了2项软件著作权

# 主要的相关研究成果 (5)

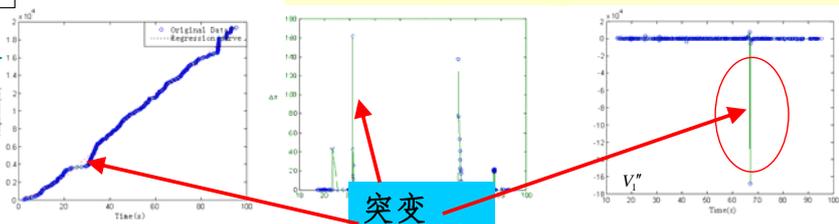
## 运行构件损伤连续检测信息的D-S信息融合突变理论与技术



- 构建了钢承力件的损伤度标志模型  $D_g = \{I_{ID,s}, M_{ID,s}, O_{ID,s}\}$  提出了奇偶耦合迭代法;
- 构建了对多个换能器、多组信息进行耦合迭代及误差分析, 得到信息融合后的基本概率值, 实现对材料的损伤过程的连续型判别模型;
- 提出了二次突变判断模型  $\Delta x = x_1 - x_0 = 3 \times 3 \sqrt{v}$ , 实现了对损伤模式阶段突变的理论分析与判别。

### 理论与应用的结合

申请国家发明专利2项

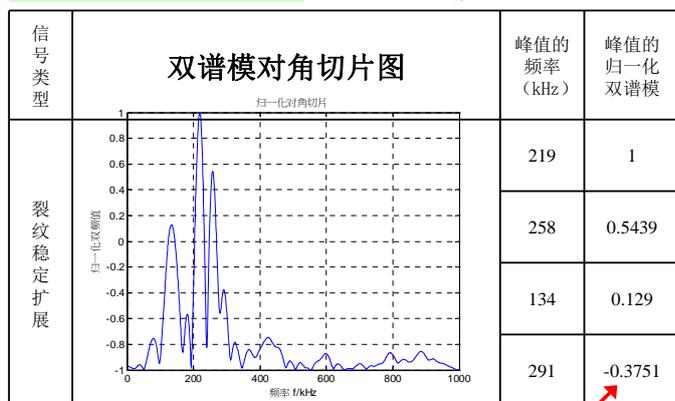


- 可广泛应用于运行状态监测信息的突变分析及安全预警!

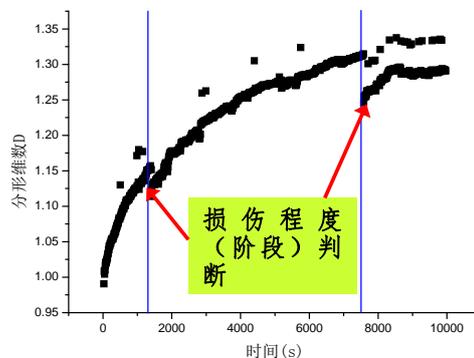
# 主要的相关研究成果 (6)

## 基于双谱和分形估计的损伤状态定量表征方法—连续动态监测

提出损伤度频率F：
$$F = \frac{f_1 w_1 + f_2 w_2 + \dots + f_n w_n}{n}$$



F的盒维数：
$$Dim_b F = \lim_{d \rightarrow 0} \frac{\log N_d(F)}{-\log d}$$



• 基于声发射检测分形估计的疲劳损伤分析

损伤的定量表征

实现了连续动态监测过程中运行损伤信息的实时定量表征及损伤程度判断！

正在申请国家发明专利2项

## 小结

- 静态缺陷参数分析
- 小缺陷检测技术
- 多传感器信息融合

科学、可靠监测检测的**基础**

- 运行设备缺陷检测技术和分析方法的突破
- D-S信息融合突变
- 双谱、分形等损伤状态定量表征

安全状态评估、寿命预测、风险评估、安全优化与控制的基础

# 基于结构完整性和PSA的老化状态 评估理论和技术

- 主要的相关研究项目
- 主要研究成果

## 主要的相关研究项目

- 从“八五”到“十一五”主要开展压力容器和压力管道以及成套装置等石油化工设备和装置评估技术研究。
- 蒸汽发生器传热管损伤速率评估技术研究
- 上海港大型港口机械安全检测及概率评估技术研究
- 地质灾害下油气管道的应力分析、安全评定及软件研究
- 含缺陷奥氏体不锈钢应力腐蚀扩展速率研究

## 相关的研究成果

- 课题组二十多年来一直承担国家科技攻关任务研究，主要开展压力容器和压力管道安全评估和风险评估技术研究。（从“七五”到“十一五”）——**获得国家科技进步二等奖**
- 负责了国标“含缺陷压力容器安全评定（GB/T19634-2004）”研究和编写工作，已于2005年出版。——**获首届国家标准委员会标准创新贡献奖**
- 撰写并出版了相关的专著：  
《断口学》、《材料工程大典》、  
《断裂失效的概率分析和评估基础》

59

## 主要的相关研究成果 (1)

### 基于可靠性和随机过程的概率完整性评估

- 断裂可靠性评估理论和方法

$$\beta = \min_{p^*(L_r, K_r) = (1 - 0.14L_r^2)[0.3 + 0.7 \exp(-0.65L_r^6)] - K_r = 0} \left\{ \left[ \frac{L_r - u_{L_r}}{K_r - u_{K_r}} \right] C_{L_r, K_r}^{-1} \left[ L_r - u_{L_r}, K_r - u_{K_r} \right] \right\}^{1/2}$$
$$p_f^* = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta)$$

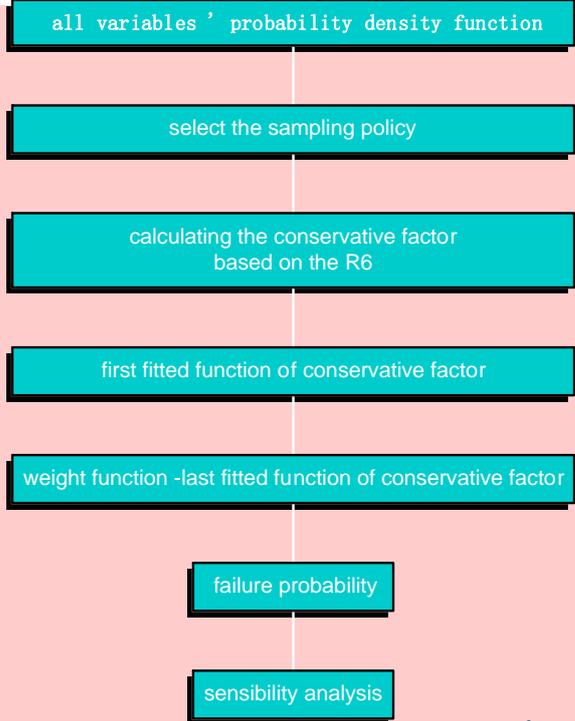
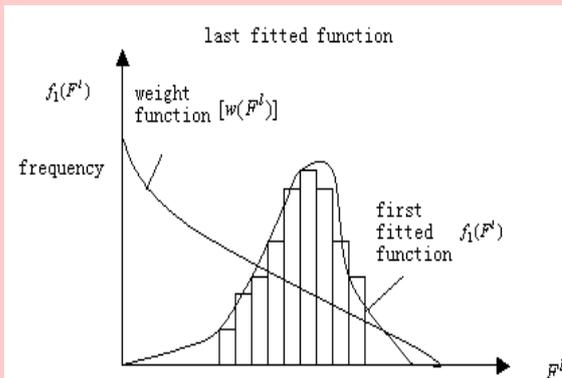
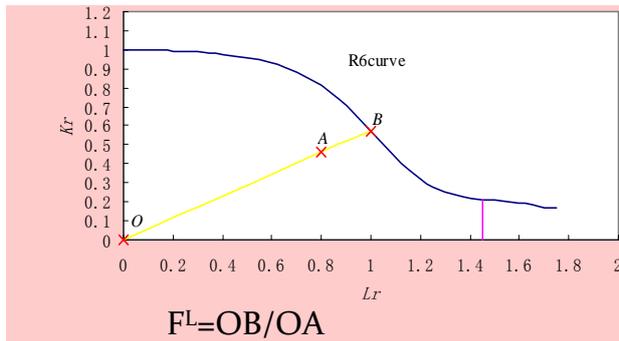
- 基于双随机过程的疲劳概率安全评估理论和技术

$$\frac{da}{dN} = AX(N)(\Delta K)^m$$

$$[\ln X(N)]_{ij} = \left( \ln \frac{da}{dN} \right)_{ij} - \ln C_i - n_i \ln(\Delta K)_{ij} (j = 1, 2, \dots, n_i)$$

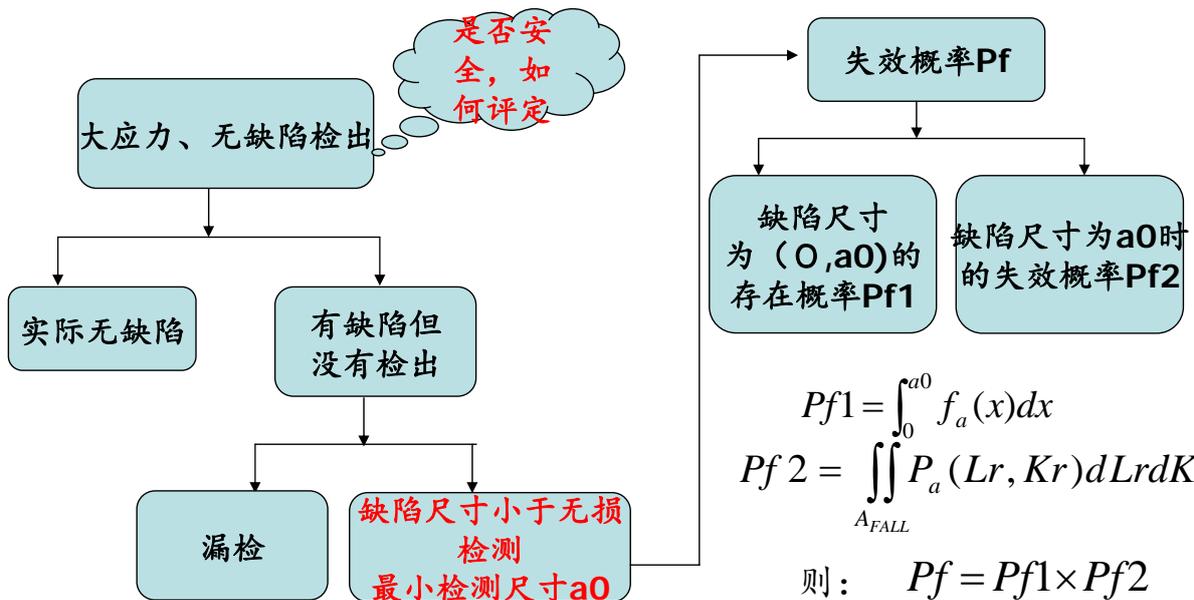
# 主要的相关研究成果 (2)

## 结构完整性概率R6评定方法 (保留系数法)



# 主要的相关研究成果 (3)

## 考虑检测可靠性的失效概率分析方法研究

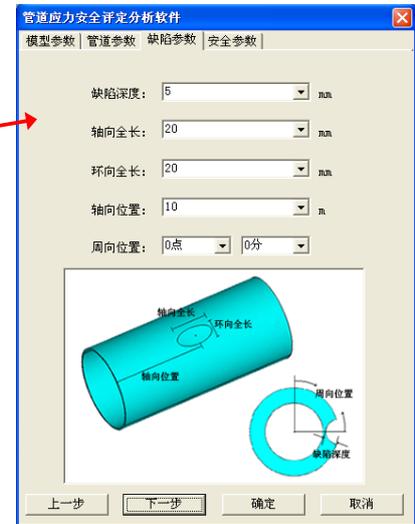
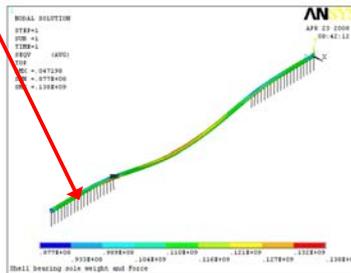
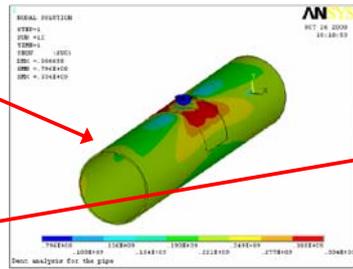


综合考虑了 (检测可靠性+概率安全评定)  
——提高概率安全评估的准确性

# 主要的相关研究成果 (4)

## 地质灾害下油气管道的实时应力分析、完整性评定及软件

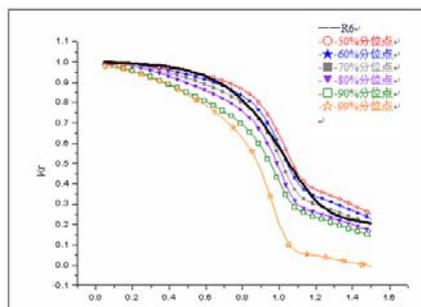
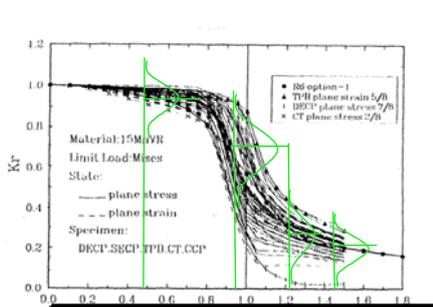
- 集成实时应力分析功能
- 实际不同地质灾害及土地建模
- 集成管道安全评估功能
- 可进行模拟仿真预测



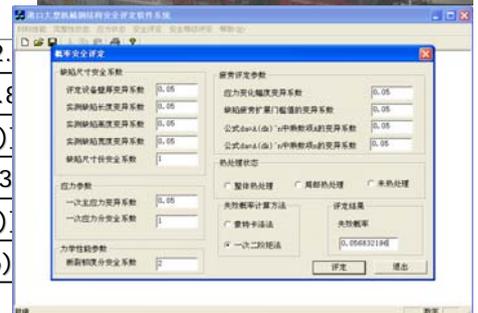
已经成功应用于中石油管道的运行监测及安全评估!

# 主要的相关研究成果 (5)

## 概率完整性评定曲线的研究

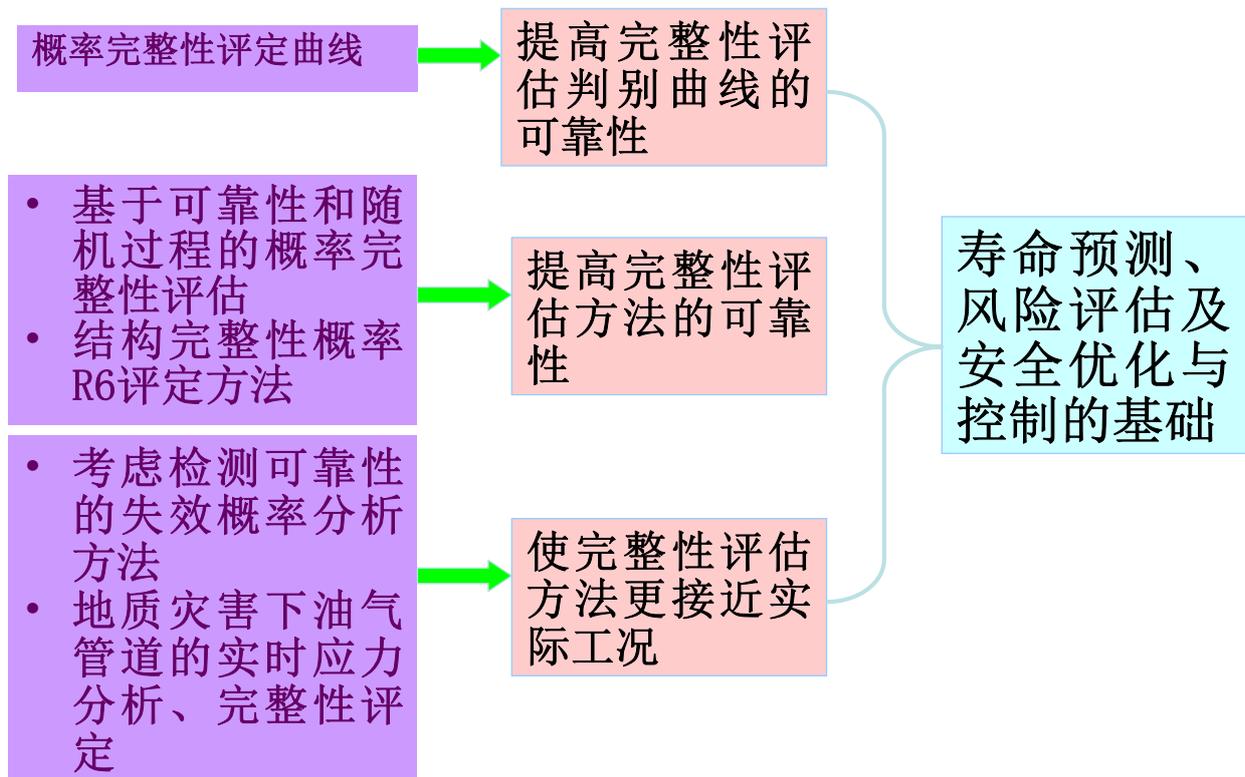


Fractile	$L_r$
50%	$Kr=(1-0.19Lr^{2.47})[0.53+0.46exp(-0.566Lr^{12.2})]$
60%	$Kr=(1-0.24Lr^{2.05})[0.52+0.47exp(-0.63Lr^{12.8})]$
70%	$Kr=(1-0.28Lr^{1.8})[0.5+0.5exp(-0.74Lr^{13.5})]$
80%	$Kr=(1-0.33Lr^{1.6})[0.47+0.54exp(-0.86Lr^{13.3})]$
90%	$Kr=(1-0.4Lr^{1.4})[0.41+0.6exp(-1.08Lr^{13.6})]$
99%	$Kr=(1-0.5Lr^{1.8})[0.15+0.83exp(-1.2Lr^{14.6})]$
R6	$Kr=(1-0.14Lr^2)(0.3+0.7^{exp(0.65Lr^6)})$



提出了适于我国钢种的概率安全评估判别曲线族!

# 小 结



## 不同失效模式下寿命预测理论与技术

- 主要的相关研究项目
- 主要的相关研究成果

# 主要的相关研究项目

- 1、老龄飞机的日历寿命分析
- 2、核电站蒸汽发生器传热管缺陷扩展速率及安全寿命研究
- 3、在役埋地管道的寿命分析
- 4、炼化加氢裂化反应器寿命分析

## 主要的相关研究成果 (1)

### 基于应力监检测的完整性寿命分析技术



准静载:

- 应力实时监检测
  - 完整性评估
- 寿命分析、预测!

# 主要的相关研究成果 (2)

## 汽车前轴疲劳可靠性寿命分析技术

- 疲劳寿命、疲劳强度和存活率在疲劳寿命服从对数正态分布时，他们之间的关系可以用下式表述：

$$u_p = \frac{\lg N + 0.003331S - 6.921155}{0.196401 - 0.000198S}$$

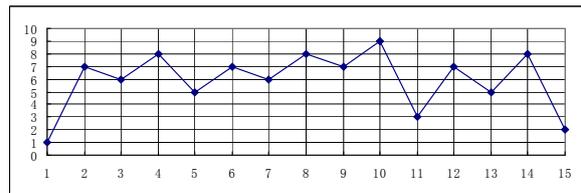
- 提出三点雨流计数（简易、准确）方法

- 根据Miner线性累积疲劳损伤理论，得到与雨流矩阵所对应的总损伤度D和前轴的疲劳寿命：

$$D = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D_{ij} \quad T = \frac{1}{D}$$



MTS部件试验台及前

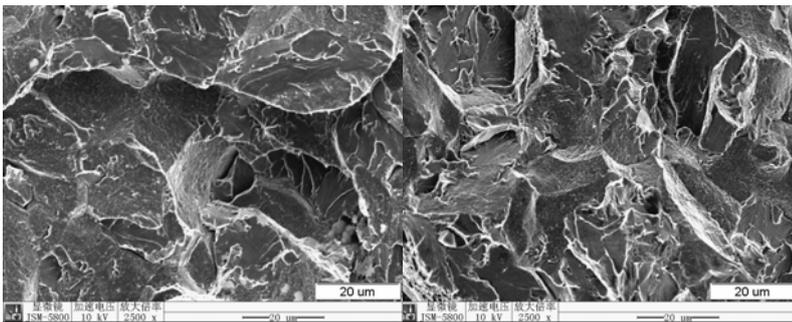


三点雨流计数

在实验测得构件P-S-N曲线及路面实际载荷试验的基础上，运用雨流矩阵及Mineral损伤理论得到了汽车前轴的**疲劳可靠性寿命——可服务于寿命分析和设计优化**

# 主要的相关研究成果 (3)

## 炼化加氢裂化反应器寿命分析



冲击试样Y7（母材，2ppm，-40℃） Y67（母材，4ppm，-20℃）



挂块金属的拉伸性能测试

- 根据挂块的冲击性能对加氢反应器的最低升温温度推算表明，现在规定的最低升温温度是合适的。

- 根据该反应器两次试块解剖分析数据看，操作使用得当，运行状态良好，使得材料的劣化趋势较缓，因此，第三块挂块的解剖工作至少可以在**两个周期（12年）后进行**。



冲击实验与挂块脆化状况评定

# 可靠性及风险分析理论和技术

- 主要的相关研究项目
- 主要研究成果

## 主要的相关研究项目

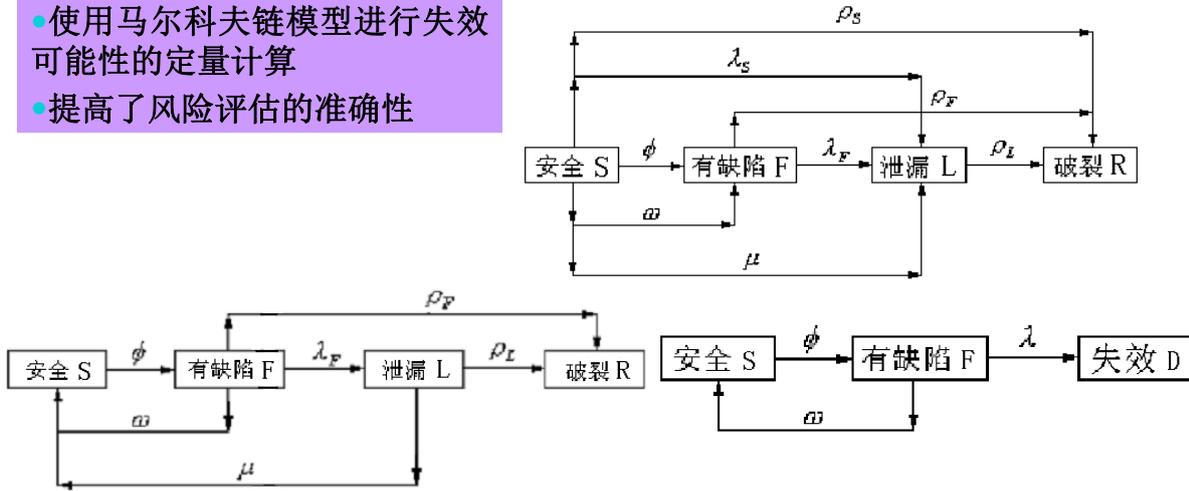
- 复杂环境下材料和构件失效诊断技术及长寿命、高可靠性保障技术(RCM)
- 大型高参数高危险性成套装置长周期运行安全保障关键技术研究工程示范
  - (国家科技支撑十一五课题)
- 汽车前轴疲劳可靠性研究

# 主要的相关研究成果 (2)

## 建立了四态马尔科夫链模型

- 使用马尔科夫链模型进行失效可能性的定量计算
- 提高了风险评估的准确性

四态马尔科夫链模型

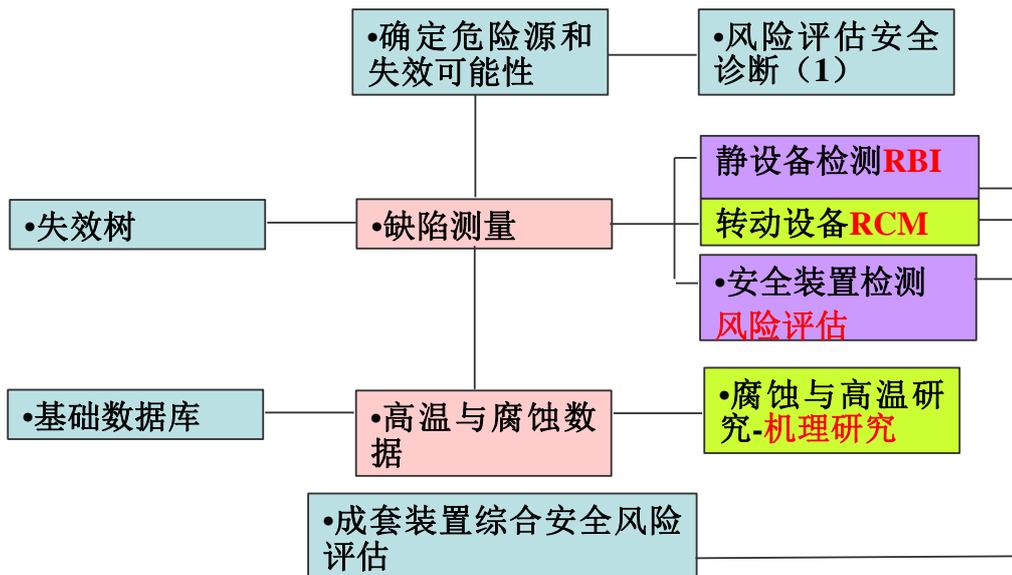


简化的四态马尔科夫链模型：管道失效由裂纹扩展机制控制，只能由存在缺陷发展而来。

三态马尔科夫链模型：管道失效由壁厚减薄机制控制

# 主要的相关研究成果 (3)

## 十一. 五-安全状况综合评价方法的提出



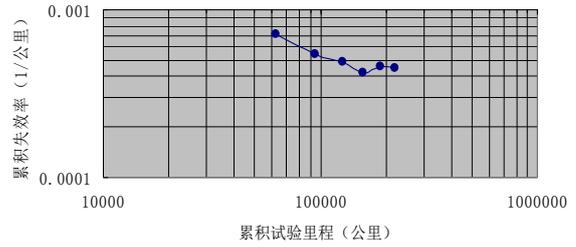
理论与应用的结合：省部级一等奖1项

提出了一整套适用于静设备（RBI）、动设备（RCM）及整个装置的综合评价方法体系已应用于大型石化机电设备及系统的可靠性及风险管理！

# 主要的相关研究成果 (4)

## Duane可靠性增长模型的改进

- 引入新变量:  $\alpha = e^a$
- $\beta = 1 - b$
- 可导出: 瞬时失效率  $\lambda(t)$  和平均故障间隔时间  $M(t)$  分别为:
  - $\lambda(t) = dN(t) / dt = e^a (1 - b) t^{-b}$
  - $M(t) = \lambda^{-1}(t) = t^b / e^{a(1-b)}$
  - $\beta C(t) = \alpha \beta t^{\beta-1}$
  - $M(t) = \lambda^{-1}(t) = t^{1-\beta} / \alpha \beta$



### 对模型参数的直观解释

模型参数是  $a$ 、 $b$  (或  $\alpha$ 、 $\beta$ )。  $b$  称为可靠性增长率。根据  $b$  (或  $\beta$ ) 值的大小可判断产品失效的类型。它们的工程意义可用可靠性浴盆曲线来直观地予以解释 (见图 1)。

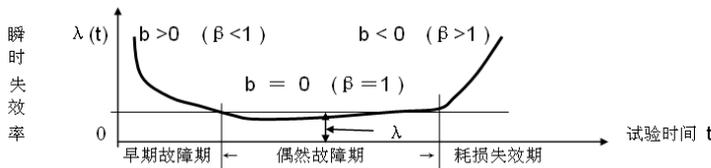


图 1. 可靠性监控曲线

• 可实现设备及系统的可靠性增长 (或变化情况) 分析!

## 小 结

安全状况综合评价  
方法的提出  
四态马尔科夫链模型

静设备RBI  
动设备RCM  
整个装置

综合风险评估  
理论与技术

• Duane 可靠性增长模型的改进  
• 系统可靠性变化规律研究

提高设备可靠性

为设备优化设计奠定基础

# 运行老化（失效）预测分析理论与技术

- 主要的相关研究项目
- 主要研究成果

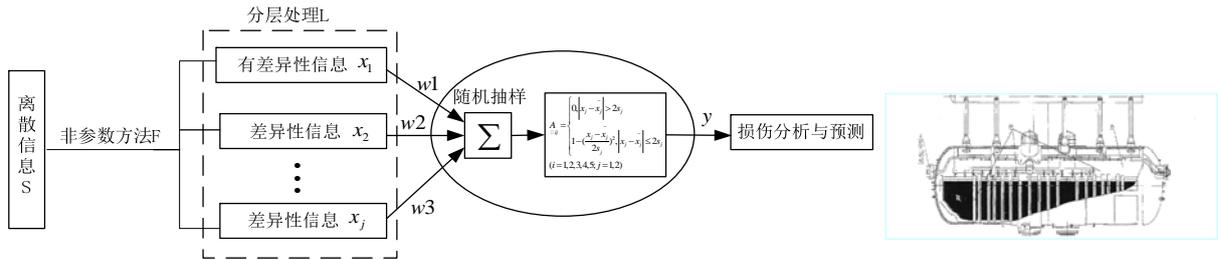
## 主要的相关研究项目

- 复杂环境下材料和构件失效诊断技术及长寿命、高可靠性保障技术（十一五支撑项目）
- 核电站蒸汽发生器传热管缺陷扩展速率及安全寿命研究
- 在役埋地管道的寿命分析

# 主要的相关研究成果 (1)

## 提出了离散检测信息的分层抽样预测模型

- 首先应用非参数方法对离散信息进行了分离；
- 采用模糊层次分析理论对各层赋予了一定的权值，采用分层随机抽样法提取损伤信息；
- 运用层次分析、统计或突变等分析理论对含有多个缺陷离散信息的构件的损伤规律进行了分析和研究。

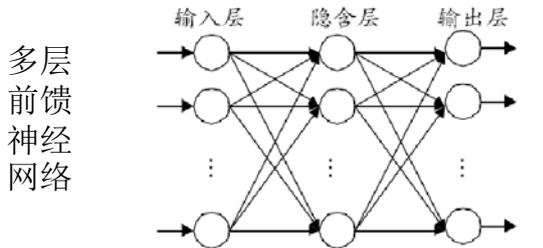


可实现基于离散运行信息的状态预测及寿命预测！

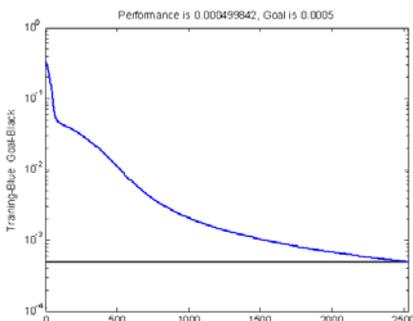
# 主要的相关研究成果 (4)

## 服役及运行信息的非线性预测技术

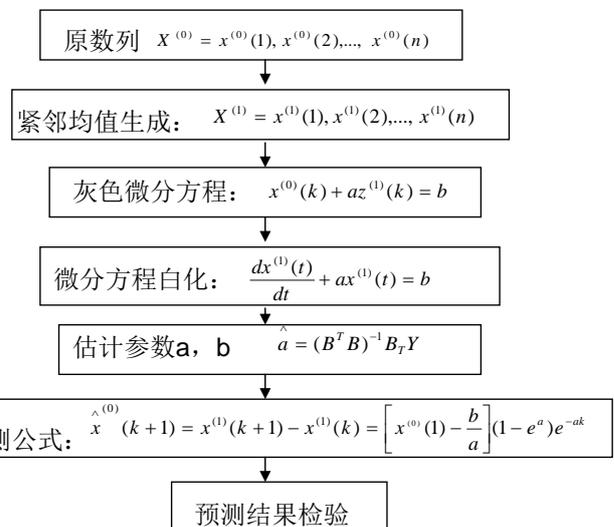
- 实际预测过程BP神经网络训练误差及结果



多层前馈神经网络



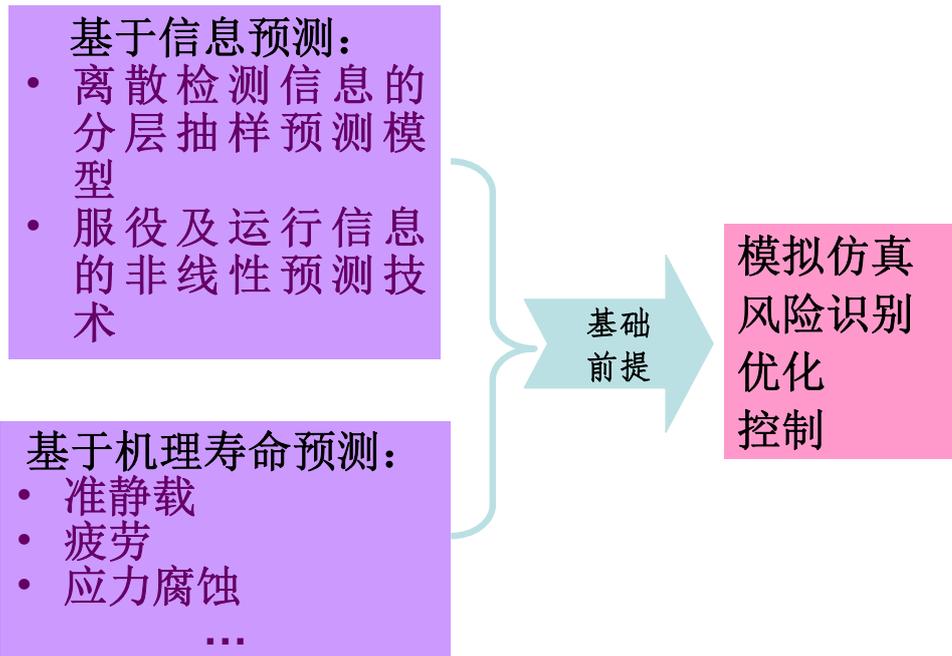
网络训练误差



可实现基于非线性信息的状态、寿命等预测。

该技术已用于某核电站蒸汽发生器传热管的缺陷扩展及寿命预测

# 小 结



## 模拟仿真及优化技术研究

- 主要的相关研究项目
- 主要研究成果

## 主要的相关研究项目

- 中子辐照下钢显微亚结构演变机理的实验模拟研究”，国家自然科学基金项目，**50471005**
- 现代汽车构件强度分析技术开发及应用，**20021220-2**，吉林省计划委员会资助

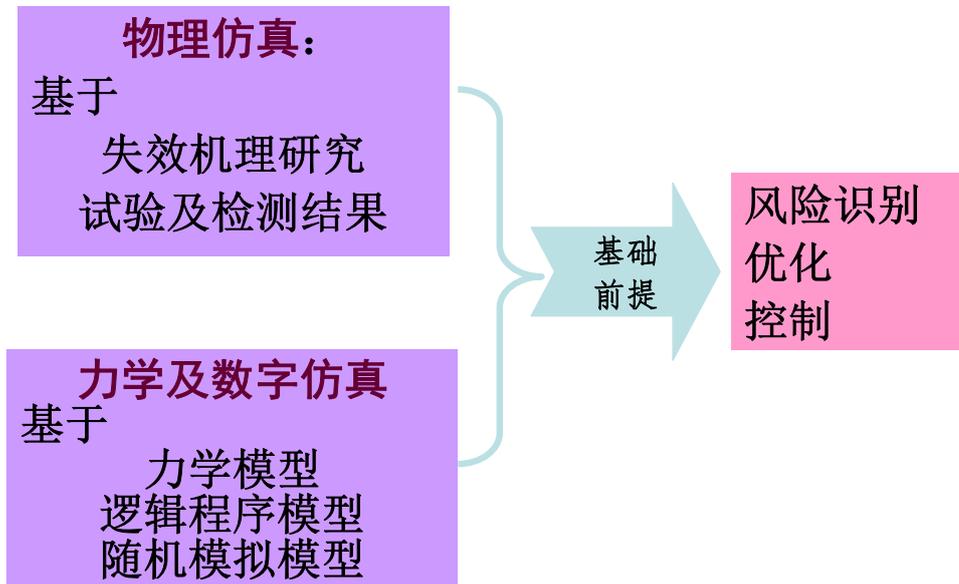
## 主要的相关研究成果<sup>(1)</sup>

服役及运行的物理及机理模拟仿真技术研究

### 物理仿真：

- 参与了AEAT, NII等英国（欧盟）原子能研究机构的多项研究，其中包括：
  - 核反应堆压力容器钢韧脆转变温度与组织性能退化的研究
  - 核压力容器 neutron 辐照对组织性能影响的模拟研究

# 小 结



# 汇报内容

- 1、材料科学与工程学院情况简介
- 2、失效分析与预测预防研究中心  
(主要研究情况)
- 3、主要支撑条件
- 4、工作展望

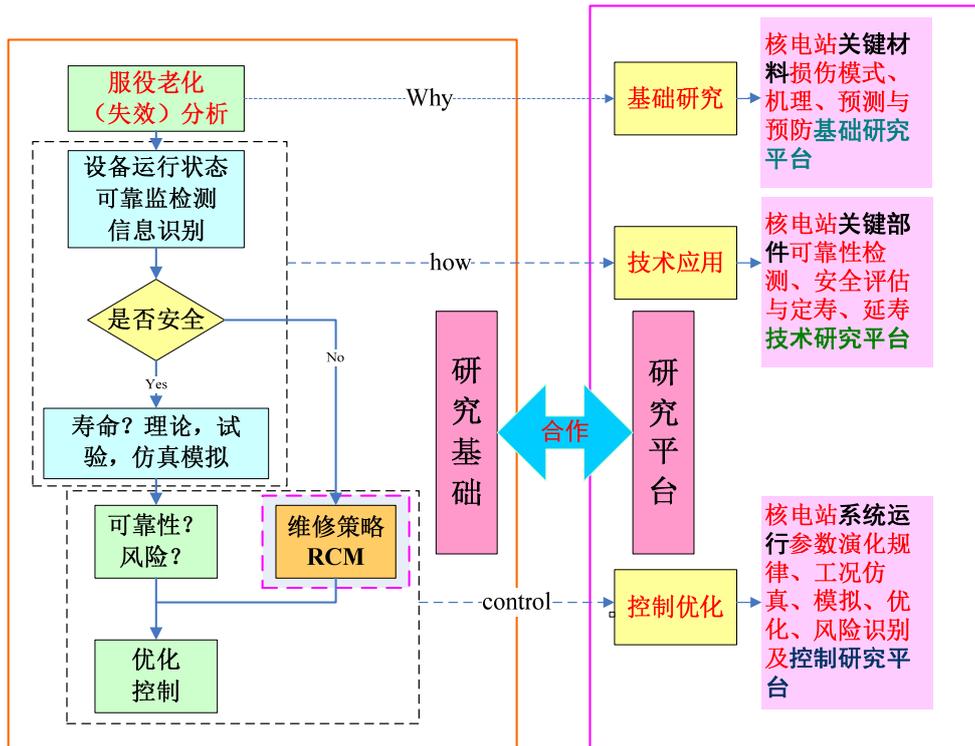
## 主要支撑条件

- 实验室及专业配置：
  - 航空科学与技术国家实验室——结构与材料主要负责部门
  - 核能科学与工程专业
  - 民航安全技术分析和鉴定实验室
  - 空天材料与服役教育部重点实验室
- 国际合作：
  - 与英国核管局（NII），TWI等机构有长期的良好的合作关系，美国GECorporateResearch&Development,
  - 国际合作研究组（Birmingham, Bristol, Berkeley）
- 教育部设备支持：985与211  
已获得500万——3000万的设备支持

## 汇报内容

- 1、材料科学与工程学院情况简介
- 2、失效分析与预测预防研究中心  
(主要研究情况)
- 3、主要支撑条件
- 4、工作展望

# 在核电运行方面:



謝謝

敬請指教