



1966年，華裔物理學家高錕開創性地提出了用光導纖維傳輸信息的構想，開啟光纖通信元年。如今，光纖已進入千家萬戶，成為現代通信的主要傳輸介質。鮮為人知的是，光纖還能夠作為大地的「感知神經」，實現對滑坡災害的實時監測預警。這便是南京大學大地探測與感知研究院院長朱鴻鵠的主要科研目標。「我們的研究必須始終與國家需求緊密結合，以解決實際問題為導向，努力實現科技自立自強。」十餘年來，朱鴻鵠教授團隊圍繞滑坡光纖監測開展了深入研究，在感測光纖與滑坡體界面耦合力學建模、地下深部滑移面辨識、滑坡-管線相互作用等方面取得了一批重要成果。「這是一片藍海，只要能啃下硬骨頭，你就站在科學最前沿。」在香港讀博期間，導師的這句鼓勵，一直是朱鴻鵠前行的明燈。 ●香港文匯報記者 陳旻 南京報道

## 南京大學教授朱鴻鵠：啃下硬骨頭你就站在科學最前沿

# 光纖巧變大地神經 預警滑坡防止災害

### 朱鴻鵠 簡介

朱鴻鵠，1979年生，江蘇蘇州人。南京大學地球科學與工程學院教授、博導，南京大學大地探測與感知研究院院長，國家優秀青年科學基金獲得者。長期從事地質與岩土工程監測評價領域的研究工作，近年來主持了國家重點研發計劃、國家自然科學基金等30餘項科研項目。在國內外重要期刊發表學術論文120餘篇，出版專著2部，授權發明專利9項、軟件著作權3項，參編國家標準1部，榮獲國家科技進步獎一等獎等多項科技獎勵。  
2019年初，朱鴻鵠作為核心骨幹完成的成果「地質工程分布式光纖監測關鍵技術及其應用」榮獲國家科學技術進步獎一等獎，這是中國在地質災害監測領域取得的一項引領國際科技前沿的自主創新成果。



●2019年，朱鴻鵠在四川成都空港新城地下空間光纖綜合觀測示範站現場監測。受訪者供圖

滑坡是中國最為常見、危害最大的一類地質災害，具有規模大、隱蔽性強、跨越區域多、影響因素複雜等特點，常規的監測技術在覆蓋面、精準度、實時性等方面存在不足，難以實現災害的精準預測預報。而光纖傳感器的優勢在於體積小巧、靈敏度高、耐久性好、可實現分布式監測，在滑坡監測領域具有巨大的應用潛力。

### 汶川震區 初試身手

2008年5月12日，四川汶川發生8.0級大地震，造成了巨大的人員傷亡與財產損失，並誘發了數以萬計的滑坡。當時正在香港攻讀博士學位的朱鴻鵠聞訊後，當即與導師溝通如何將最新研發的光纖深部測斜技術運用於抗震救災前線。  
由於強震誘發了巨量的鬆散固體物質，在雨季極易出現滑坡、泥石流，其變形量遠遠超出常規監測設備的量程（測量範圍）。朱鴻鵠苦苦思考、反覆試驗，終於創建了一個全新的分段彎標元設計方案，徹底攻破了滑坡深部大變形的監測難題。  
朱鴻鵠和師弟們緊急趕赴受災最為嚴重的北川縣魏家溝布設光纖感測設備。「現場環境極其惡劣，山體十分鬆散，餘震隨時會發生。」朱鴻鵠說，「我們上山坡去布設光纖傳感器，每走一步都相當艱難。更重要的是，一旦發生滑坡、泥石流，將立刻危及災民安置點。」在中科院成都山地所崔鵬院士團隊的配合下，他們成功監測獲得了山體的變形模式和發展趨勢，保障了當地受災群眾的人身安全。  
經此一役，朱鴻鵠切身體會到將科研成果應用於實踐、造福於民所帶來的無限快樂。

### 三峽庫區 攻堅作戰

2010年，朱鴻鵠進入南京大學任教，在工程地質學科帶頭人、光電傳感監測專家施斌教授的指導下，繼續從事地質災害監測領域的研究。他接手的第一個科研任務就是長江三峽庫區的滑坡監測。  
三峽水庫於2003年開始蓄水，2008年啟動175米水位試驗性蓄水。在此後的長達數百年運行期內，三峽庫區水位將在145米-175米之間周周期性波動，由此可能會誘發大量的庫岸滑坡，監測預警任務緊急而繁重。  
在國家「973」計劃、「十二五」科技支撐計劃和國家重點研發計劃等多項課題的連續資助下，朱鴻鵠抓住該類滑坡的應力-滲流耦合特徵，馬不停蹄地投入到光纖多場感測系統的研發工作中。  
在野外考察時他發現，多數滑坡呈現長期蠕滑和多級滑面的特徵，能否準確預警的關鍵是要找到其中的臨界滑裂面，並對該處剪切帶位移的發展規律進行精細化監測。「這實際上是一個界面力學問題。」朱鴻鵠解釋道，「把應變感測光纖豎直埋入滑坡鑽孔中，只要開明光纖、回填料和周圍岩土體之間的協同變形機理，就可以實現高精度、低成本的滑面探測。」

在大量的室內標定試驗和原位實測的基礎上，朱鴻鵠建立了考慮剪滲力傳遞的光纖-岩土耦合感測界面力學模型，實現了從光纖應變到剪切位移的推算，並應用於三峽庫區馬家溝、新鋪和藕塘等庫岸滑坡監測中，為揭示此類滑坡的蠕滑機理、判識演化階段提供了重要的數據支撐，相關成果入選2017年度中國地質學會十大地質科技進展。  
與此同時，朱鴻鵠敏銳地發現，三峽庫區現存很多油氣和輸水管線，因管道損傷、破裂對滑坡具有災害放大效應，因此必須嚴密監控其變形。而分布式傳感光纖尤為適用於線狀工程的監測，將其沿管線長度方向布設方便可行，既可以在線監測長距離管線的變形、滲漏，又能對沿線的潛在滑坡點進行無盲區的監測和判識，可謂一舉兩得。

### 南水北調 成功應用

經過嚴謹論證，朱鴻鵠團隊提出了用於管道變形監測的改進共軛標算法，結合無網格物質點模擬技術，揭示了滑坡易發區地下管線的典型破壞模式，提出了基於光纖實測信息的管線安全性評價體系。經過朱鴻鵠的倡議和積極推廣，目前該技術已經在重慶奉節新鋪滑坡輸水管、重慶武陵山天然氣管道和南水北調輸水工程項目中得到了成功應用。



●2020年，朱鴻鵠團隊在做凍土水分分布式光纖綜合監測。受訪者供圖

### 特稿

## 在港求學五年 開創全新空間

今年42歲的朱鴻鵠出生於江蘇蘇州一個工薪家庭。「兩耳不聞窗外事，一心只讀聖賢書，是我從小學到大學的最好詮釋。」朱鴻鵠非常懷念在香港的5年光陰。「我碩士期間從事的是軟土力學研究，在香港讀博讓我走出舒適區，開創了一片全新的空間。」  
2005年，朱鴻鵠進入香港理工大學土木及結構

工程系攻讀博士學位，師從土力學學科帶頭人殷建華教授。當時殷教授了解到國際上正在探索研發一種光纖傳感技術，能夠在線監測被測物的形變和溫度等物理指標，尤其適用於長距離和大範圍的工程監測。彼時國際上光纖傳感應用最多的領域是結構工程和航空航天工程。朱鴻鵠說，「香港青馬大橋率先建立了一個光纖監測系統，一舉成為國際結構健康監測史上的經典案例。」「而光纖監測應用於滑坡防治，既有很大的發展潛力，也面臨巨大的挑戰。」

### 「科研是一個厚積薄發的過程」

「這是由於監測對象是天然岩土體，地質環境複雜多樣，因此脆弱的光纖傳感器幾乎一碰就會損壞，在國際上也幾乎查不到任何成功的案例。」朱鴻鵠解釋道，從事這個研究方向，意味著要實現「從零到一」的突破，必須從最基本的光電知識入手，不僅要深入了解各類光電設備的調製解調原理和工作特性，而且還要熟練掌握光纖傳感器的設計製作流程和安裝工藝。

「和光電專業出身的人相比，我們的優勢是最了解滑坡的失穩機理和監測需求，可以有針對性地開發新型的光纖監測系統。」說幹就幹，朱鴻鵠從連續36個小時加班加點刻製光纖布拉格光柵，到新填地街、鴨寮街市場購買幾十種膠水嘗試改進封裝工藝，再到梅窩、大埔、上水、大窩口、沙頭角、九龍塘、寶珊道等工程現場小心翼翼地布設光纖、調試設備，研究工作慢慢有了些許起色。

為了進行現場監測，朱鴻鵠曾在四川攀枝花在建的攀枝花一田房高速公路施工現場駐守3個月，每天清早背着幾十斤重的監測裝備及線纜爬山涉水，在罕有人煙的環境裏安裝傳感器、測試系統，經常一幹就是大半夜。

繁重的現場監測任務使得朱鴻鵠腳踝和腰部多次扭傷，每次出野外既是對身體的考驗，又是對意志的磨練。他說，只要想到自己所做的一切是為了山區老百姓不再擔憂受怕，再苦再累也值得。「科研是一個厚積薄發的過程，任何成果都是長期積累、長期努力的結果。」朱鴻鵠笑談，「千錘百煉將我從一塊鐵鑄成了鋼。」



●2010年，朱鴻鵠（中）在汶川震區魏家溝布設泥石流傳感器，進行泥石流監測。受訪者供圖



●2020年，新冠病毒疫情期間，朱鴻鵠（右五）團隊完成長江三峽庫區滑坡監測示範。受訪者供圖



●2020年新冠病毒疫情期間，朱鴻鵠在三峽庫區奉節縣安坪鎮新鋪滑坡現場考察。受訪者供圖

## 理工男文學心 讀莎翁品人生

作為本碩博一直就讀工科專業的理工男，朱鴻鵠的胸膛裏卻跳動着一顆文學心。他自幼喜愛莎士比亞的戲劇，這已成為支撐着他在科研中日復一日、不斷創新的動力源泉。

「因為文學，所有經歷都變得意味深長。」朱鴻鵠說：「莎翁的作品有一種魔力，能讓人很快安靜下來，啟發我們洞悉人性、思考人生，在科學研究的過程中不斷傳遞人文關懷。」

2014年，在國家留學基金委的資助下，朱鴻鵠赴英國劍橋大學工程系訪學一年。在旅英期間，他心無旁騖，連續提出了基於應變監測的滑坡穩定性評價方法、光纖測值可靠性的應變梯度判據等創新性成果。

「莎士比亞說過，在時間的大鐘

上，只有兩個字『現在』。我們要把握好當下，踏踏實實把小事做好。」隨着「一帶一路」建設的持續推進，朱鴻鵠又盯上了凍土滑坡的原位高精度監測這一全球性科學難題。為了捕捉季節性凍土的水分遷移和冰水相變過程，他提出了基於分布式溫度傳感的主動-被動聯合監測方法。通過在甘肅、河北等地的原位觀測和示範，驗證了該方法在凍土水分高精度、微擾動、全自動監測中的可行性。這一成果為揭示原位凍土的熱-水-力耦合機理及凍土滑移演化規律提供了技術支撐，未來將為保障川藏鐵路等工程建設安全保駕護航。  
「感謝這個偉大的時代，也感謝南大的支持，讓我們走出一條產學研相結合的道路。」朱鴻鵠說，「2009年，南京大學（蘇州）高新技術研究院成立了蘇州南智傳感產學研平台，課題組的研究成果得以順利轉化、應用，使得我們的科研工作能夠頂天立地，在工程實踐中真正創出成效。」

### QA小知識

問：什麼情況下會發生滑坡？

答：滑坡誘發因素包括自然因素和人為因素。滑坡的主要誘因是地震或者降雨，人類工程開發活動（如開挖、堆載等）也可能觸發滑坡。

問：滑坡有哪些先兆？

答：坡頂出現張拉裂縫，坡腳出現局部變形、隆起等現象，周圍岩土體出現鬆動和小型滑塌等現象。另外還有一些反常現象，如井水突然乾涸、湧水，動物出現驚恐異常等。

問：地質災害有哪些？

答：有多達30多類，但最常見的有6類：崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、地裂縫和地面塌陷。

問：光纖可以測什麼指標？

答：直接的監測量是應變（即微觀角度的變形）和溫度，但可間接測量位移、傾角、加速度、土壤含水量、含冰量、孔隙水壓力、土壓力等一系列物理參量。

問：光纖為什麼可以傳感？

答：因為光纖在傳輸光時會發生反射、散射等現象，從光譜的角度看，光纖傳輸的某些參數（如波長、相位等）會受到周圍環境的影響。人們利用這種相關關係研發了很多種光纖傳感技術。