

國家科技進步獎推薦專案公示

一、項目名稱

多雲多雨環境遙感監測關鍵技術與應用

二、推薦單位

香港特別行政區政府創新科技署

三、提名意見

此專案建立了多雲多雨地區量化遙感監測的理論框架，研發了一套應用於複雜大氣和地表監測的綜合遙感資訊提取系統，為多雲多雨地區的高精密、多領域、大範圍遙感監測奠定了技術基礎。

傳統的遙感監測技術無法穿透雲、雨和霧，難以持續觀測陰雨天氣地區的情況。此項目在解決上述的關鍵問題上取得了重大的技術突破，開發了一套可在陰雨天氣下運作的陸地和海洋遙感監測系統，為香港、華南及周邊地區的政府和地方組織提供衛星遙感資料及相關服務，在城市規劃、遺跡保護、防災減災及國土資源管理等方面提供重要的技術支援。

由於合成孔徑雷達 (SAR) 感測器發展困難，而且成本高昂，它們在中國發射的衛星中所占的比例很小。目前，中國只有一顆衛星在軌道上運行，當自然災害發生在陰雨天氣地區時無法進行即時監測。因此，專案研究的 SAR 衛星技術對這方面的發展相當關鍵。

除了技術上的貢獻外，此項目對 11 個工業、8 個區域或省級商業應用系統的建設和營運提供了重要的支援，亦發起及舉辦 6 個關於多雲多雨地區遙感監測的地區及國際學術會議。

專案成果在粵港澳大灣區全面實施，持續監測該地區在自然災害、農業和生態環境方面的變化。項目亦培育了大批專業技術人員，其中包括 973 首席科學家 1 名，長江學者 1 名及中科院百人計畫 2 名。發表論文 288 篇，出版著作 4 本，獲省部級獎勵 2 項。

四、項目簡介

多雲多雨地區指的是年平均降水量不小於 800mm、氣候濕潤、降水豐沛、年晴天數小於 50 天、常年雲雨覆蓋的包括陸地與海洋的廣大濕潤地區，也是自然災害頻發和環境演變最快的地區。衛星遙感是全球和區域性地表環境監測的重要技術，普通光學衛星受到多雲多雨天氣條件的制約無法連續觀測，而具有全天時、全天候觀測能力的雷達遙感技術成為了多雲多雨環境遙感監測的核心技術。受衛星資料匱乏和微波散射機理不明、大氣和地表複雜多變以及工程化應用技術發展滯後等因素影響，多雲多雨環境下遙感監測是長期困擾遙感屆的一個重大難題，尤其是我國雷達遙感技術的發展長期落後于美歐等先進國家。自 2000 年開始，該項目團隊積極參與國家重點研發計畫，開展多雲多雨環境遙感關鍵技術研究，在 863 計畫等 12 個國家與省部級科研項目的支持下，聯合國內 3 家產學研用單位，圍繞“多雲多雨地區的遙感資料融合和雷達散射機理分析技術、複雜多變環境下綜合遙感資訊提取技術與多學科交叉的工程應用技術”主線開展技術攻關，構建了針對多雲多

兩地區綜合遙感監測理論、方法和應用體系，實現了多雲多雨地區遙感監測水準跨越式的提升。主要創新成果包括：

(1) 創建多雲多雨地區的遙感資料融合和雷達散射機理分析技術

依託中國華南地區第一個雷達遙感地面站，構建了雷達和光學影像一體化融合的理論框架，揭示了典型雷達目標散射機理和性質，為多雲多雨地區遙感監測提供資料支撐和理論基礎。

(2) 研發複雜多變環境下綜合遙感資訊提取技術

發展了 SAR 和光學遙感大氣矯正理論，創建了複雜多變環境下陸地和海洋綜合遙感資訊提取技術，建立以潮流和海浪數值預報為支撐的海洋環境保障服務系統。為遙感監測技術高精度、多領域、大範圍的應用奠定了基礎。

(3) 研建了集地質學、生態學、冰川學、湖泊學等多學科協同分析的遙感應用平臺

研建了面向工程化應用的遙感資訊提取平臺，研發了遙感監測資訊與地質學、生態學、冰川學和湖泊學協同解譯和分析技術，構建了遙感與區域地球系統科學交叉研究理論體系，在行業、區域的業務應用系統建設運行以及國家重大任務和國際事務中發揮了重要作用。

項目培育了大批專業技術人才，包括 973 首席科學家 1 名，長江學者 1 名，中科院百人計畫 2 名。發表論文 288 篇（SCI 論文 162 篇），其中包括 Science Advances、Scientific Report、Remote Sensing of Environment 等行業頂級期刊，出版專著 4 本，獲省部級獎勵 2 項。構建了多雲多雨地區遙感監測理論、方法和應用體系，為香港和中國南方及周邊地區政府與民間機構提供衛星遙感資料與資訊增值服務，取得了巨大的社會效益和國際影響力，同行專家組鑒定一致認為該項目多項技術達到國際領先、總體達到國際先進水準。

五、客觀評價

1、鑒定評價：

2017 年 11 月 12 日，由科技部國家遙感中心在深圳組織的關於《多雲多雨環境遙感監測關鍵技術與應用》研究成果鑒定會，以郭仁忠院士為組長的鑒定專家小組一致認為，本研究成果整體達到國際先進水準，其中光學與雷達資料“時-空-譜-角”一體化融合模型與方法、大型線狀地物形變 InSAR 穩健估計的研究達到國際領先水準，在粵港澳大灣區建設和“一帶一路”等國家重大發展戰略中具有廣泛應用前景。^[2-3]

2、學術評價：

中國科學院院士陳俊勇在《雷達干涉測量-原理與信號處理基礎》專著中評價：“結合作者從事雷達遙感和雷達干涉測量技術研究工作積累的研究成果和實際經驗，將這樣一個應用前景廣闊的前沿技術從幾個基本方面系統的介紹給讀者，對於 INSAR 技術的研究和應用發展定會起到積極作用，該書不僅適合遙感領域教育和科研工作者，而且值得推薦給空間大地測量、地球物理等諸多領域的教育和科技工作者閱讀。”

中國科學院院士、中國工程院院士李德仁在《雷達干涉測量-原理與信號處理基礎》專著中評價：“在國外同領域理論研究相對成熟，應用拓展迅速的背景下，期望本書的出

版能夠起到推波助瀾的作用，在推動 InSAR 技術在我國的理論研究和應用研究推廣方面發揮應有的作用，並且為我國自主開發的雷達觀測衛星的計畫和發展相關的高新產業打下一定的基礎”。

中國工程院院士孫九林在《微波遙感農業應用研究-水稻生長監測》專著中評價：“本書作者結合多年從事微波遙感應用研究的經驗，基於大量第一手實驗資料，圍繞用微波遙感監測水稻生長這一主題，介紹了微波遙感對水稻生長監測的原理、資料獲取、處理方法和系統設計，並有預見性地提出了微波遙感在農業領域應用的前景。值此書出版之際，我願意將其推薦給廣大讀者，希望該書將為推動我國微波遙感事業的發展，特別是在現代農業中的應用起到積極作用。”

中國科學院院士郭華東在《星載雷達干涉測量及時間序列分析的原理、方法與應用》專著中評價：“在當前多時相干涉雷達技術研究不斷深入和產業化的今天，概述所展示的理論研究和相關技術方法無疑將對我國干涉雷達理論、技術和應用的發展起到有益的促進和帶動作用。”

美國科學院院士、亞利桑那州立大學 Fotheringham 教授及其團隊多次引用專案成果，他們發表在國際期刊《Ann Regional Science》(2015) 的論文認為針對資料融合問題不管是在全域模型還是在局部模型中引入時間資訊都是讓人非常感興趣的思路，並在時空頻寬構造方面對時空統計模型進行改進。

3、重要科技獎勵：

“南海及鄰近海域藻花形成演變過程機制與遙感監測方法”獲 2013 年度“廣東省科技進步獎”一等獎，授獎單位：廣東省人民政府，證書號：A02-0-1-02-R03

“遙感考古與數位遺產保護前沿技術及應用”獲 2017 年度“測繪科技進步獎”二等獎，授獎單位：中國測繪地理資訊學會

六、推廣應用、經濟效益和社會效益

1、推廣應用

應用單位名稱	應用技術	應用起止時間 (由月/年至月/年)	應用單位 聯絡人及電話	應用情況
北京東方致遠科技股份有限公司	InSAR 監測太原市地表形變	5/2017 至 7/2017	葛春青 /18612535022	對目的地區域進行全覆蓋、長時間、連續的形變監測，資料處理效率高，精度達毫米級
香港漁農自然護理署	香港近岸潮流預測結果	6/2015 至 5/2016	Joanne Lee/2150 6808	用於漁農署進行香港近岸漁業承載力的分析

澳門特別行政區政府地圖繪製及地籍	填海區地面沉降監測與評估	4/2008 至 12/2008	餘家敏/+853 87991601	通過 InSAR 技術普遍能獲得本澳的土地形變資訊，並有助於對全澳地區進行長期監測
廣東測繪地理資訊產業技術創新聯盟	珠三角土地變化遙感動態監測業務化	1/2013 至今	胡勝華 /13609732501	整體上提高了珠三角區域遙感資料的土地覆蓋分類精度，為城市規劃、土地管理、生態資源優化配置等提供了重要的資料基礎
新疆神華礦業有限公司	煤田火區地面塌陷雷達探測與預警技術	1/2006 至 11/2011	郭衍遊 /18511305605	已在神華烏達礦區的煤火監測和綜合治理中得到推廣應用並取得了良好的經濟效益和社會效益
江西省基礎地理資訊中心	InSAR 滑坡災害監測技術	1/2012 至今	顧華奇 /18970073860	Skysense 軟體提取的高精度 DEM 資料和形變資訊已經應用於南昌市地面沉降、滑坡、地鐵沿線沉降等地質災害的普查

2、社會效益

項目成果引領了熱帶與亞熱帶多雲多雨環境下遙感基礎研究的發展和空間對地觀測技術的進步，推動了區域特色遙感監測技術的業務化和產業化應用，為國家空間基礎設施支撐粵港澳大灣區和“一帶一路”國家重大戰略的實施提供了技術支援。

專案成果已經在中國南方多雲多雨地區 11 個行業，8 個省、市、特別行政區廣泛使用，並推廣到青藏高原對全球變化下的區域回應進行研究。

專案成果在粵港澳大灣區得到了全面應用，雷達與光學相互融合的遙感技術對自然災害、農業、生態環境等領域實現了全面的監測，發起了珠江三角洲區域環境遙感會議，提高了粵港澳大灣區對自然災害和環境惡化的應對能力，產生巨大的社會效益。

專案成果在 InSAR 形變地質災害監測領域得到了充分應用，揭示了大型線狀地物、填海區、凍土區、重大基礎設施動態變化特性，首次提出了城市基礎設施健康診斷（城市 CT）的先進理念，受到各大媒體的爭相報導，將 InSAR 遙感技術帶向產業化、工程化應用。

作為中國科技對外交流的視窗，專案成果得到了國際同行的高度認可，支援了聯合國亞太經社會第三世界國家的防災減災，開展聯合國教科文組織行動計畫下的第三世界國家雷達干涉遺產保護研究，提升了國家形象和國際影響力。

七、主要智慧財產權

智慧財產類別	智慧財產權具體名稱	國家(地區)	授權號	授權日期	證書編號	權利人	發明人	專利有效狀態
電腦軟件著作權	天順遙感軟體	中國	2017SR079503	2017年03月15日	1664787	洪都天順(深圳)科技有限公司; 林琿; 馬培峰; 楊僑聰; 葉關根; 嚴偉	洪都天順(深圳)科技有限公司; 林琿; 馬培峰; 楊僑聰; 葉關根; 嚴偉	其他有效的知識產權
電腦軟件著作權	天順遙感變化檢測軟體	中國	2017SR107916	2017年04月10日	1693200	洪都天順(深圳)科技有限公司; 林琿; 馬培峰; 楊僑聰; 葉關根; 嚴偉	洪都天順(深圳)科技有限公司; 林琿; 馬培峰; 楊僑聰; 葉關根; 嚴偉	其他有效的知識產權
電腦軟件著作權	星載 SAR 考古資訊增強與監測系統 V1.0	中國	2015SR260102	2015年12月15日	1147188	中國科學院遙感與數字地球研究所	中國科學院遙感與數字地球研究所	其他有效的知識產權

八、主要完成人及完成人關係說明

該項目是由香港中文大學、中國科學院測量與地球物理研究所、中國科學院遙感與數字地球研究所、洪都天順(深圳)科技有限公司合作完成。本項目主要完成人共9人，其中林琿、黃波、潘家禕、馬培峰、張鴻生、李剛都來自香港中文大學，江利明來自中國科學院測量與地球物理研究所，陳富龍來自中國科學院遙感與數字地球研究所，江利明是林琿教授指導的博士生，他和陳富龍都曾經在香港中文大學太空與地球資訊科學研究所由林

琿教授指導從事過博士後研究工作，嚴偉來自洪都天順（深圳）科技有限公司，與林琿教授合作申請香港特區政府研究基金，共同開發天順遙感軟體系統。

項目負責人自 2000 年開始，在 863 計畫等 12 個國家與省部級科研項目的支持下，聯合國內 3 家產學研用單位，圍繞“多雲多雨地區的遙感資料融合和雷達散射機理分析技術、複雜多變環境下綜合遙感資訊提取技術與多學科交叉的工程應用技術”主線開展技術攻關，構建了針對多雲多雨地區綜合遙感監測理論、方法和應用體系，實現了多雲多雨地區遙感監測水準跨越式的提升，引領了粵港澳大灣區高校、企業、研究機構、政府之間的合作交流。

姓名	行政職務	技術職稱	工作單位	完成單位	對本專案貢獻	排名
林琿	所長	教授	香港中文大學	香港中文大學	作為專案負責人，全面負責了總體研究方案設計、制定技術路線和實施方案。從多雲多雨環境遙感概念的提出，到負責開展專案技術攻關、演算法創新、產品研製和區域應用示範，再到推動區域特色遙感監測技術的業務化和產業化應用，構建了針對我國典型多雲多雨環境的自然災害、農業、生態環境監測技術體系。為表彰其在多雲多雨遙感領域研究中做出的貢獻，2009 獲頒年亞洲遙感協會傑出貢獻獎；為表彰其在地理學和遙感學領域的傑出貢獻，2017 年獲頒美國地理學家協會（The American Association of Geographers，簡稱 AAG）米勒獎，是首位來自亞洲院校與科研機構的遙感學家獲此殊榮。為本項目投入的工作量占本人工作量的 90%。	1
黃波	副所長	教授	香港中文大學	香港中文大學	提出了雷達和光學遙感資料時空表達和融合的理論與方法，突破了傳統多源遙感面向單屬性融合的局限，建立了遙感影像全屬性一體化融合的理論框架與技	2

					術體系，建立了面向一體化影像融合的遙感影像特徵提取與選擇的通用框架，為解決多源高維資料本征維數的快速識別、特徵提取與選擇提供一種有效的參考方法。為本項目投入的工作量占本人工作量的 80%。	
潘家禕		副教授	香港中文大學	香港中文大學	研發出了風暴潮、海浪、潮汐與潮流多參數一體化數值預報系統，可即時對公眾發佈香港近岸的 72 小時的風暴潮水位，潮流、海浪預測資訊，協助漁農署進行香港近岸漁業承載能力分析，有效地提供公眾海洋資訊服務。為本項目投入的工作量占本人工作量的 80%。	3
江利明		研究員	中國科學院測量與地球物理研究所	中國科學院測量與地球物理研究所	在深入研究城市典型地物雷達後向散射特性、雷達遙感城市不透水層估算和變化檢測以及小基線集 PSI 地形形變反演算法基礎上，完成了香港城市地表形變、城區變化以及城市不透水層監測等城市環境遙感監測和分析研究工作，研究成果對城市規劃、環境管理以及災害預警和防治具有十分重要的意義，已被香港和澳門多個政府部門和工業界採用。為本項目投入的工作量占本人工作量的 60%。	4
陳富龍		研究員	中國科學院遙感與數字地球	中國科學院遙感與數字地球	提出了多極化 SAR 反演城市地表沉降及城市群 PS-InSAR 監測理念，分析並攻克了衛星軌道誤差、大氣延遲效應和單一控制點聯合反演等關鍵技術；宣導並提出了適應於大型線狀人工地物、城市文化遺產病害監測與健康診斷的 PS-	5

			研究所	研究所	InSAR 模型；發展了凍土環境大型基礎微形變多基線雷達干涉監測技術。成果獲 2011 年度亞洲遙感協會 Shunji Murai Award，2017 年度測繪科技進步二等獎。為本項目投入的工作量占本人工作量的 60%。	
馬培峰		副研究員	香港中文大學	香港中文大學	研究了高解析度 SAR 影像中 InSAR 大氣延遲由高層建築引起的空間異質特性問題，針對多雲多雨地區大氣誤差嚴重的問題，構建了集混合構網、M 估計和嶺估計為一體的時間序列 InSAR 形變反演技術，解決了形變測量精度低和穩定性差的問題，形成了多雲多雨環境形變監測的穩健估計方法，並作為技術負責人研發了國內第一套 InSAR 軟體，並成功商業化。為本項目投入的工作量占本人工作量的 70%。	6
張鴻生		副教授	香港中文大學	香港中文大學	已建立基於 SAR 遙感和光學遙感資料提取多雲多雨地區城市不透水層的遙感融合技術框架。該技術通過資料層、特徵層和決策層三個不同層次綜合融合單極化、雙極化和全極化的 SAR 資料與多光譜資料，並通過極化特徵、光譜特徵和空間特徵的提取與融合，進行不同尺度的城市不透水層的特徵分析與提取。為本項目投入的工作量占本人工作量的 70%。	7
嚴偉	董事長		洪都天順（深	洪都天順（深	針對目前國內商用 InSAR 軟體完全依賴進口的問題，研建了具有高精度、高效	8

			圳) 科技 有限 公司	圳) 科技 有限 公司	率、高靈活性的天順遙感軟體，通過版本樹對資料資源、計算資源和處理方法模組的動態均衡與優化，實現了資料、任務單、模型演算法的靈活、高效組織，實現了全部在軌 SAR 衛星處理支持，。為本項目投入的工作量占本人工作量的 60%。	
李剛		副研 究員	香 港 中 文 大 學	香 港 中 文 大 學	使用高解析度影像雷達干涉測量方法獲取青藏高原內部，喜馬拉雅山，西昆侖山，喀喇昆侖及帕米爾高原等地區的高解析度冰川物質平衡資訊。從科學意義上驗證了學界提出的喀喇昆侖異常並指出異常中心位於西昆侖山，對多雲多雨地區冰凍圈觀測提供了新觀測方案，也為該地區水資源管理，災害評估等提供了重要支撐資料。為本項目投入的工作量占本人工作量的 70%。	9

九、主要完成單位及創新推廣貢獻

1、香港中文大學

本單位是本專案的主持單位及主要完成單位。負責多雲多雨環境遙感監測項目技術創新的總體規劃和研究策略，在專案研究中，對關鍵技術進行決策、審查、把關工作，提出並負責該專案的研究方向；負責該項目多雲多雨環境遙感監測應用技術路線、關鍵技術、示範應用等的資料分析研究；協調各完成單位之間分工，在人、財、物方面確保了本研究項目順利實施，並取得預期效果。

圍繞“多雲多雨地區的遙感資料融合和雷達散射機理分析技術、複雜多變環境下綜合遙感資訊提取技術與多學科交叉的工程應用技術”主線開展技術攻關，建立多雲多雨地區星載雷達信號傳輸中大氣延遲特性分析模型，揭示了中解析度和高解析度 SAR 影像中大氣延遲的時空分佈特性和地物後向散射特性的空間分異特徵和時相變化規律，突破了傳統多源遙感面向單屬性融合的局限，建立了遙感影像全屬性一體化融合的理論框架與技術體系，發展了 SAR 和光學遙感大氣矯正理論，創建了複雜多變環境下陸地和海洋綜合遙感資訊提取技術以及高清晰度近岸動力環境預測系統，研發了遙感監測資訊與地質學、生態學、冰川學、湖泊學的協同解譯和分析技術，構建了遙感與區域地球系統科學交叉研究理論體系，

實現了針對多雲多雨地區綜合遙感監測理論、方法和應用體系，使得多雲多雨地區遙感監測水準跨越式的提升，並將技術服務於國際社會，產生了巨大的社會效益和國際影響力。

2、中國科學院測量與地球物理研究所

中國科學院測量與地球物理研究所作為專案主要完成單位，在本專案城市雷達遙感、地面沉降 SAR 干涉測量等研究方面投入了充足力量，為項目的實施提供了良好的軟硬體環境，並積極推廣科研成果的應用，實現了專案提出的工作目標。

(1) 在干涉雷達圖像高精度配准、複空間去噪處理、海氣作用大氣相位延遲改正等關鍵技術取得突破的基礎上，建立了面向多雲多雨地區複雜地理環境下的星載 InSAR 高精度資料處理與分析技術體系，為本專案 InSAR 軟體研發和行業應用提供了技術方法支撐；

(2) 深入研究和分析了城市典型地物的雷達回波強度和相干特性，歸納總結地物後向散射特性的空間分異特徵和時相變化規律，為基於多維 SAR 影像的城市雷達遙感研究奠定了理論基礎；

(3) 在國際上首次提出了基於雷達遙感資料的城市不透水層亞象元自動估算方法，並發展了融合兩類雷達後向散射特徵的城區非監督變化檢測新方法，這些系統性研究拓展了雷達遙感領域的研究方向，在多雲多雨地區城市環境監測與評估方面具有突出的應用推廣前景。

3、中國科學院遙感與數字地球研究所

中國科學院遙感與數位地球研究所作為專案主要完成單位，在城市地質災害、大型基礎設施以及文化遺產病害等雷達遙感動態監測與評估領域保持國際前沿，並與國際一流團隊建立了雙邊或多邊合作。以此為基礎，該研究所投入了充足研究力量，結合我國“一帶一路”設施聯通與民心相通戰略，針對國內外城市地表沉降、城市經濟圈大型基礎設施異常形變、以及大型文化遺產地可持續發展評估等應用，依照專案任務開展了專題組織、研究和實施；通過吸收國內外先進技術，關鍵、前沿技術攻關與理論研究，實現了專案提出的工作目標。

4、洪都天順（深圳）科技有限公司

洪都天順（深圳）科技有限公司作為專案的主要完成單位，與香港中文大學一起合作研發了國內第一款商用 InSAR 處理軟體-Skysense，並負責商業推廣應用，Skysense 通過版本樹對資料資源、計算資源和處理方法模組的動態均衡與優化，實現了資料、任務單、模型演算法的靈活、高效組織，核心元件 MT-InSAR 模組採用 OpenMP 和 GPU 並行加速技術對海量大資料的快速處理，實現了全部在軌 SAR 衛星處理支持。通過對與香港中文大學合作模式的探索，建立了粵港澳大灣區產學研用合作共贏新模式，也為其它產學研科技公司發展起到了典範作用。