

複合災害鏈超傳統經驗

專家：深化國際防災合作 共護「亞洲水塔」

青藏高原冰川預警亟待升級

►中國科學院西北生態環境資源研究院的科考隊員在對冰川進行實時差分GPS定位。

編者按

尼泊爾北部與中國西藏交界處近期發生大規模泥石流災害，

截至9月2日，已造成逾千人遇難，數千人失聯，如今救援仍在進行中，這場令人痛心的跨境災難正以最慘烈的方式再次敲響氣候風險警鐘。香港文匯報今起推出「冰川失穩防災升級」系列專題，採訪相關專家，分析全球變暖背景下，青藏高原等地面臨的地質隱患及風險，梳理提升預警、應急、救援能力的防災救災之道。

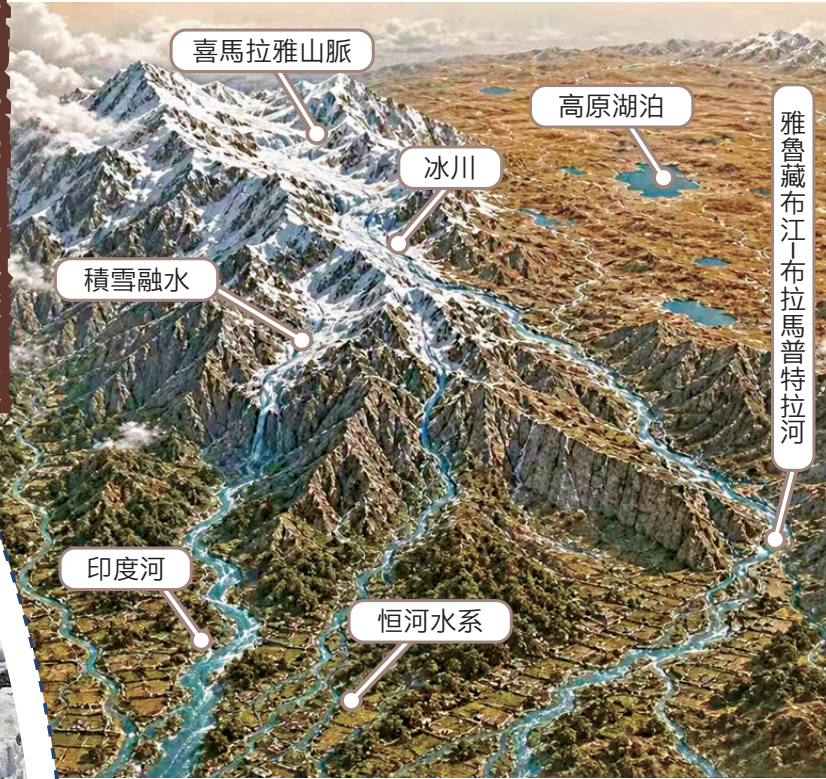


▲在全球變暖背景下，複合災害鏈超傳統經驗，高原監測預警須全面升級。圖為較早前在西藏珠穆朗瑪峰腳下的絨布冰川冰塔林。

►較早前在珠峰登大本營附近，中國科學院青藏高原研究所科考隊員在檢測絨布冰川末端水質。



氣候變化驅動 喜馬拉雅河型演變加速



全球升溫2°C 青藏高原會怎樣？

近60年升溫2度，速度為全球2倍：

冰川萎縮近1/4（南部高達40%）

持續變濕，濕季主要河流徑流總量增加：4.1%

其中恒河上游增加：約10.8%

印度河上游增加：約1.2%

高風險、極高風險冰湖1,499處，吉隆上游55處

來源：中國科學院青藏高原研究所、智谷趨勢



冰川失穩防災升級 上篇

在全球變暖背景下，青藏高原冰川消融、凍土退化加速，冰崩、冰湖潰決、山洪泥石流等災害鏈條更趨複雜，風險具備顯著跨境外溢特徵。傳統的防災減災體系顯得力不從心，多位專家一致認為，當前亟需進一步織密青藏高原立體化綜合監測預警網絡，同時深化跨境科研與防災減災國際合作，推動災害數據共享、預警協同，共同築牢青藏高原安全防線，守護好磅礴又脆弱的「亞洲水塔」。

●文：香港文匯報記者 馬靜 北京報道

圖：資料圖片

尼泊爾泥石流災害原因日前已經查明，官方指出，這次災害是氣候變暖長期作用下冰川失穩所致，這也是青藏高原及周邊地區冰凍圈災害呈現的全新顯著特徵。

潰決風險或增至3倍以上

四川大學-香港理工大學災後重建與管理學院院長助理、城市安全健康與管理系主任田兵偉接受香港文匯報採訪時表示，中國已完成三次青藏高原冰川編目，冰川面積從第一次編目的5.1萬平方公里降至最新的3.9萬平方公里，萎縮了將近四分之一；冰湖數量超1.4萬個、總面積超1,100平方公里，喜馬拉雅區域超100個冰湖處於高風險等級，整體風險持續上升。隨著氣候變暖加速（升溫速率達全球平均的2倍），冰川消融加劇將導致冰湖面積擴大、穩定性下降，未來潰決風險可能增長至當前的3倍以上。

冰川融化也將導致河流的變化，有「亞洲水塔」之稱的喜馬拉雅山脈，是亞洲十多條大江大河的發源地。2026年5月15日，中國地質大學王成善團隊發表的報告，統計了1980年到2020年間，雅魯藏布江上游近百萬次河道遷移過程發現：和1980-2000年相比，2000-2020年間，喜馬拉雅河道截彎取直的頻率增加了115%，改道事件的發生頻率增加了77%。更可怕的是，和在全球近80萬條河流對比後發現，喜馬拉雅高寒山區河流對氣溫變化的響應強度，是全球平均水平水平的8倍。

極端災害或從「黑天鵝」演變為「灰犀牛」

公眾環境研究中心主任馬軍接受香港文匯報記者採訪時表示，全球變暖確實導致滑坡、泥石流等地質災害變得越發頻繁和猛烈。一方面，全球變暖導致海溫顯著上升，更多水汽進入大氣，全球水循環發生改變，使得極端降水和暴雨事件顯著增多，強大的雨水冲刷極易誘發山體滑坡和泥石流。而這些山區又恰恰是災害監測的薄弱地區和應急救援的難點地區。他提到，喜馬拉雅地區升溫速度高於全球平均水平，導致冰川加速退縮、冰湖不斷擴張。凍土大

面積消融，山體岩層和冰川失去了原有的結構支撐，變得鬆動，加之這裏是地震帶，更易發生大規模崩塌。

「包括此次巨災在內，近年來喜馬拉雅地區的地質災害往往不再是單一的雪崩、滑坡或泥石流，而是形成了『冰崩—碎屑流—堰塞湖—潰決—泥石流』這樣的複合災害鏈，其規模和破壞力遠遠超出了傳統的歷史經驗。」這位專家分析，在喜馬拉雅地區，未來很有可能類似高位冰崩、冰湖潰決等極端冰凍圈災害，將從偶發的「黑天鵝」事件，向「灰犀牛」事件演化。

倡建「空天地一體化」+無人機巡查

中尼泥石流災害救援仍在進行，災害損失尚無定論，多位專家與經歷者在接受採訪時曾表示，這次災難發生時沒有收到預警消息。對於高原高寒邊境地區地質災害能否提前監測並及時預警？田兵偉表示，當前可實現部分監測，但是難以做到精準短臨預警。他說，監測層面已有成熟技術體系，但衛星遙感重訪周期通常為數天至數周，無法承擔分鐘級短臨預警；地面監測網絡地面設備在極高海拔、低溫缺氧、通信不暢條件下穩定性差，目前技術尚無法對冰岩崩潰災害做成熟可靠的預警，仍處於科研攻关與試點應用階段。

馬軍對香港文匯報表示，在全球變暖背景下，面對新的災害趨勢，傳統的防災減災體系顯得力不從心，有關部門在對青藏高原監測預警方面須在理念和體系上進行全面升級。首先要轉變應對理念。過去泥石流預警高度依賴降雨量監測，但此次巨災顯示，冰崩泥石流可以在無雨的晴天發生。預警理念必須從單純的「氣象監測預警」轉向「氣象+冰凍圈演變」的雙重監測預警。

馬軍建議，建立「空天地一體化」的監測網絡，利用高精度衛星雷達定期掃描冰川的位移和裂縫；同時利用無人機進行近距離重點巡查；在關鍵高危冰川和冰湖區域，有重點地部署地面位移傳感器和溫度計。通過空天地一體監測，實現對5,000米以上極高海拔區的「全天候盯梢」。

這次災害全程僅7分鐘，靠人工上報根本來不及。馬軍認為，必須建立基於物聯網的自動化秒級觸發警報系統。一旦上游傳感器探測到巨大的冰崩震動或水位瞬間暴漲，下游口岸、村莊的警報器應在幾秒內自動鳴響，為人員疏散提供撤離時間，平日須做好培訓和演練。

科技加持 強化動態監測能力

特稿

面對西藏日喀則市吉隆縣泥石流帶來的重大傷亡，如何重塑青藏高原的生態監測與災害預警體系，是接下來的重大研究課題，中國多個機構正加緊研發新裝備，適應高原氣候，加強高原動態監測預警能力。

近期，中國電信無人科技聯合中國科學院青藏高原研究所、天翼雲西藏分公司、中電信應急通信西藏分公司，在海拔5,525米的拉薩河源頭康環崗日冰川，搭建全自研空地一體化無人機AI智能監測系統並完成實戰驗證，為青藏高原生態保護、冰川動態監測及綜合科學考察提供了全新的「電信方案」。

全時段無人化值守

青藏高原冰川勘測長期面臨高寒缺氧、地形險峻、通信盲區多、人工巡測風險極高等世界性難題。中電信無人科技團隊充分發揮空天地一體化、雲網融合核心優勢，依託全自研雲飛行管理平台，融合

4G/5G多鏈路聚合通信、高通量數據傳輸及輕量化AI智算模型，構建起覆蓋「天—空—地」的一體化智能勘測系統。針對高海拔「斷路、斷電、斷網」的極端環境，團隊提前部署便攜式衛星通信站與車載應急儲能供電系統，實現無人機自動機場全時段無人化值守。在康環崗日冰川實測中，該系統成功實現自動化冰川勘測，單架次有效覆蓋面積達4平方公里，作業耗時縮短至傳統方式的五分之一。

在北京，國家青藏高原科學數據中心正在為「亞洲水塔」打造可靠的數字底座。青藏高原氧氣稀薄、溫度低、風雪大、輻射強，導致普通監測儀器故障率高、壽命短、維護也極為困難，面對「獲取難、傳輸難」的問題。中心自主研發了適應高寒極端環境的衛星物聯網觀測終端，還研製出無人機高空中繼系統、無人機載徑流監測系統、「智能鷹眼」等新裝備，未來有望在高原上織起一張「天—空—地」立體監測網。

災害監測需加強跨境合作 中尼高層已有對話機制

「面對冰川消融加劇帶來的災害風險，任何一個國家都無法獨善其身。跨境合作，勢在必行。在全球氣候變暖背景下，青藏高原及喜馬拉雅區域冰川加速消融，冰崩、冰湖潰決、泥石流等災害呈現多發態勢，災害具備顯著跨境傳導特徵，一次地質事件往往會對上下游多個國家同時帶來威脅。」專家指出，青藏高原生態與災害風險，不是單一國家可以獨立應對，亟需深化跨境監測預警信息共享合作，強化跨境協同防災減災體系。

事實上，中尼兩國早已就跨國防災達成合作共識，雙方在氣象、水利、防災減災等領域一直保持良好合作。中國科學院團隊已建立中尼邊境次仁瑪錯冰湖潰決災害監測預警平台，並成功實現多次預警，冰湖潰決防治專利也在開發利用之中，可為

風險評估提供技術支撐。但這些努力還需要進一步升級為覆蓋整個喜馬拉雅中尼段的跨境協同防災體系。

此次尼泊爾冰岩崩引發跨境泥石流災害，暴露出跨境信息互通、聯合預警方面的現實短板。國際山地綜合發展中心氣候與環境風險部門負責人張強弓接受採訪時指出，對跨境災害而言，如何構建穩定成熟的信息共享機制，是當前面臨的主要問題。他表示，目前中尼雙方正在嘗試推進相關機制。中國國內也建立了較為完善的災害應急體系，但到了跨境和基層層面，信息傳遞仍存在斷層。縣級政府沒有直接的外事權限，信息跨境傳遞往往需要逐級上報和批准；而在鄉村一級，兩國之間更缺少直接、快速的信息互通渠道。他們現在正在致力於推動解決這一問題，中尼兩

國高層之間已有對話機制。

倡冰川地震等監測數據實時同步

「冰川災害不分國界，有必要升級跨國合作體系。」公眾環境研究中心主任馬軍接受香港文匯報採訪時表示，建議建立並深化中尼等雙邊和多邊跨境災害聯合監測與預警機制，實現氣象、冰川、水文、地震監測數據的實時同步，建立跨境應急直聯通道，將有助於應對這一地區的地質災害。

一份來自國際山地綜合發展中心今年發布的報告強調，當前迫切需要強化區域跨境合作、擴大冰川監測覆蓋範圍、統一監測標準方法並保障長期資金投入。持續的區域協作、觀測網絡建設和共享數據體系搭建，是提升水文預報精度、降低災害風險、支撐氣候韌性發展路徑的核心關鍵。

喜馬拉雅跨境流域操作性對策

建立聯合遙感動態監測體系

利用高分衛星、無人機全年追蹤冰面湖面積、水位變化，搭建中尼共享冰湖風險數據庫，提前識別擴張加速的高危湖泊。

分段構建跨境多級預警鏈條

上游冰川區自動監測站—縣城前置預警—邊境口岸—尼泊爾下游村鎮，分級推送潰決預警，彌補極短預警時間短板。

簽署跨境冰川災害協同應急機制

統一洪水推演模型，聯合開展防災演練，同步規劃河道、橋樑、水電站防洪標準，上下游協同降低承災體暴露度。

持續推進冰凍圈氣候聯合研究

共享氣象、冰川、水文觀測數據，釐清變暖背景下冰面湖演化規律，為中長期國土、口岸規劃提供科學支撐。

來源：中國科學院王偉才團隊6月發表於《科學》雜誌