

編者按

全球氣候變化伴隨着的極端天氣，導致世界各地天災愈見頻仍，嚴重威脅每個人的財產以至生命。即使像香港這樣的現代化城市，2023年夏天接連受強烈颱風和世紀暴雨衝擊，也一度面臨莫大困境。

面對形形色色的災害，全人類都嚴陣以待。去年12月舉行的第二十八屆聯合國氣候變化大會（COP28）便通過歷史性協議，首度落實推動從化石燃料過渡其他類型能源，希望能更有效減碳減排。而同一時間，人類亦需要活用科技積極預防、緩減和應對災情，避免更多人陷於水深火熱的危難之中。香港文匯報推出系列報道，探討香港科研人員如何結合創新研發及先進科技工程，對抗火、風、水、土等相關災害，以科學力量守護大眾。

火的運用是人類文明的重要里程碑，然而一旦失控，後果不堪設想。香港每年平均發生逾三萬宗火警召喚，部分嚴重火災不但危及市民的生命，進入火場救援的消防人員亦要冒上巨大風險。香港理工大學消防安全工程研究中心副主任、建築環境及能源工程學系副教授黃鑫炎，深信科技救災是未來發展方向，故致力研發多項智能滅火方案和產品。其中，俗稱「空氣炮」的「環形渦流炮（Toroidal Vortex Cannon）」，可實現在不需要水的情況下遠距離滅火，再結合無須人工操作、可自主鎖定火源並進行滅火的智能機械人（又稱機器人），長遠可望應用於危險火場，專門應付不宜以水滅火，或人員無法靠近火場的特殊情況，以更好地保障市民和消防人員的生命安全。

◆香港文匯報記者 姜嘉軒、陸雅楠



◆黃鑫炎深信科技救災是未來發展方向，故致力研發多項智能滅火方案和產品。香港文匯報記者曾興偉攝

港理大學者：科技救災大勢所趨「以命換命」

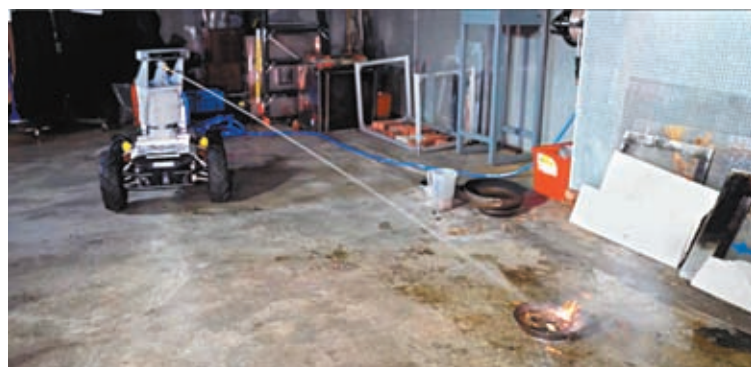
智能機械人闖火場 空氣炮可無水滅火

根據香港消防處2013年至2022年的數據顯示，全港每年約有300人因為火警而受傷，約20人更因此而喪生。部分嚴重火警會危及消防人員，個別特殊情況甚至無法派員到場滅火，其中一個經典案例發生在去年6月：元朗宏樂街電纜橋起火，導致天水圍元朗一帶大停電，數十萬市民受影響。由於火警現場為電纜橋，內藏高壓電纜，加上當時現場溫度甚高，電纜橋在高溫下發生倒塌。

考慮到進入橋底滅火風險較高，消防處遂決定首次出動以航天金屬製造的遙控滅火機械人，深入橋底滅火和降溫。

盼造更細更醒機械人自主鎖定火源

「這種需要人手遙控的（滅火機械人）已經有人在造，因此我們希望造出更智能、更細小，可以進入建築物內部，自主鎖定火源並進行滅火



◆理大研發的智能機械人無須人工操作，可自主鎖定火源並進行滅火。

智慧消防系統預測60秒火勢助逃生

除了研發機械人主動滅火救人外，黃鑫炎的團隊亦研究多項智慧消防監察和預測系統，既幫助市民有效逃生，亦可讓消防人員更全面地掌握火場形勢，提升滅火和救援效率。其中，利用人工智能和數字孿生（digital twin）技術開發的建築智慧消防系統，可以預測指定建築未來約60秒的火勢發展，提前向市民大眾和消防人員發出警告，並協助找出安全通道。

數字孿生技術能對指定對象的各種要素、數據進行模擬和仿真，在虛擬空間完成映



◆港理大團隊設計了一個數字孿生監測系統，在看不見隧道內實際狀況時亦能進行風險監測。

射，「我們為隧道造了一個數字孿生監測系統，很多時候隧道發生火警，其實看不見裏面什麼東西在燃燒，因為全都被煙遮蓋了」。黃鑫炎團隊通過在隧道安裝傳感器，再透過數字孿生系統就可有效監察，「實時知道火從何來，亦可評估風險多大。」

提醒消防員哪些區域不宜進入

研究人員曾於香港消防處的訓練場地測試，「那是一棟三層高的建築，然後我們模擬了1,000種不同可能性的火災狀況，用它來訓練人工智能的演算法」，再結合傳感器所提供的現場數據，系統可以預測約60秒的火勢發展，「知道那些區域將會變得危險，於是建議人們逃生該往哪裏走，亦可提醒消防員哪些區域不宜進入，可以在裏面逗留多久，並提前預警燃爆的風險。」

這套系統可應用到任何建築，「只要有圖紙，就可以將所有可能發生火災的情況全部模擬出來，然後用來訓練人工智能。」隨着技術成熟，人工智能可於一秒之內，預測未來1分鐘至3分鐘的火災場景。「這個人工智能已經造了大約七八成，項目預計明年年底結束，然後我們亦拿到一個跟港鐵合作的新項目，就是希望能夠應用到港鐵站」，最終目標是讓系統應用到全香港建築物。

樹林陰燃加劇全球變暖

當災害看不見時才是最危險的。在消防安全的世界，說的正是陰燃（Smoldering Combustion）現象。黃鑫炎解釋，陰燃是一種固體緩慢燃燒的現象，相比明火溫度較低，約為攝氏300度至600度間的範圍，也不會像明火那樣有明顯的火焰。不過，一旦在自然界和樹林環境發生，由於較難察覺，往往會長時間持續且規模很大，更會釋放大量溫室氣體甚至有毒煙霧，不單會導致大量動植物死亡破壞生態系統，更會進一步加劇全球變暖和氣候變化的問題。

黃鑫炎自2012年起致力於研究陰燃林火，涉及範疇包括多個學科，包括燃燒

學、火災安全、林學、生態學、地理測繪等。由於陰燃的維持關鍵在於燃燒過程中產生的黑炭和黑炭表面的氧化反應，所以通常發生在能夠炭化固體如紙張、塑料泡沫、煤炭、棉花、木材等上，而香煙和拜神的線香，就是典型的陰燃案例，相較之下，蠟燭、塑料等物質由於加熱不會生成炭，陰燃難以發生。

山林間的陰燃火災更是重大危機所在。他指出，陰燃是唯一足以影響全球氣候的火災現象，但由於缺乏明火，難被及早察覺，除樹木之外，更會燃燒地表的有機土壤，可持續數周甚至數月。大規模的陰燃林火主要出現在泥炭土

壤地區，例如東南亞熱帶雨林、北歐、北美和中國東北的林區，就不時發生地下陰燃火災。黃鑫炎直言，對當前全球氣候變遷，正加劇陰燃林火的嚴峻情況感到擔憂。隨着氣溫上升，土壤有機物等燃料變得更乾燥易燃，進而引發更多自然林火和碳排放現象，釋放出的有毒氣體和溫室氣體進一步影響氣候，形成惡性循環。

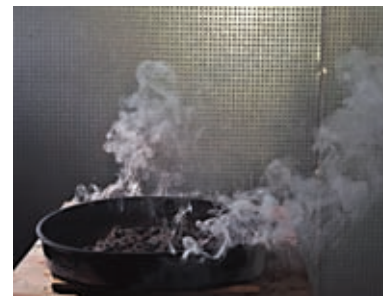
釋放大量毒霧 形成霧霾

他慨嘆道：「樹木被燒毀後幾年就能重新生長，但土壤需要數千年才能恢復，地下有機土壤可持續燃燒數周甚至數月。陰燃火災導致大量動植物死亡，破壞當地

生態系統，同時釋放出大量有毒煙霧，形成霧霾，繼續破壞環境。」

黃鑫炎舉1997年厄爾尼諾現象發生期間為例，指印尼的泥炭地陰燃大火災所帶來的霧霾災害，對整個東南亞和周邊地區的能見度造成嚴重影響，甚至導致航班撞山逾200人罹難，當時的霧霾事件影響了東南亞五國的1億人口，直接經濟損失超過45億美元。

傳感器鎖定陰燃範圍 代替手挖隔離帶



◆陰燃現象。香港文匯報記者曾興偉攝

陰燃林火威脅全球環境，如何更有效預防和控制，成為科研人員的重要課題，黃鑫炎亦是其中一員。他早前獲國家自然科學基金2023年「優秀青年科學基金項目」資助，圍繞陰燃林火開展全方位研究。團隊正計劃開發多種傳感器的智慧物聯網技術，用於探測和監測陰燃火災的起源、擴散和影響，以提供更準確的預警和應對措施。

在獲得國家自然科學基金資助後，團隊除了在實驗室作模擬研究外，還將前往大興安嶺林區和馬來西亞的泥炭地進行實地考察實驗，以量化陰燃林火與氣候變化之間的複雜關係，同時預測未來林火的趨勢和規律。

黃鑫炎指出，相比小火災可直接用水撲滅，在面對包括陰燃林火等規模較大的火災時，救火人員通常要挖掘一道至兩米寬、兩米深的戰壕或隔離帶，以阻止火勢擴散，在更大規模的火災中甚至要動員軍隊幫助挖掘，將燃燒區域圍起來，阻止陰燃蔓延。

他介紹，團隊研究中的特製傳感器，插到地下除可以檢測到泥土溫度，確認陰燃的範圍外，還具有散熱的功效，可以代替人手挖掘的隔離帶，譬如說當救災人員將感應器每20厘米插一根，插成一排，即使不去挖戰壕，也能有效阻隔火焰。

可量化陰燃林火碳排放量

黃鑫炎表示，這些感應器還可以量化陰燃林火的碳排放量和氣候變化的影響，讓當地政府根據這些研究結果來改變農業和土地政策，調整消防和火災应急管理策略。他並表示，希望推動未來將陰燃林火中的碳排放納入全球碳交易，以及金融方面如融資和保險等的考量，藉以激發各地對陰燃林火的防護，促進保護生態環境。