

科學家  
探索故事



作為海洋裏的大國重器，海洋鑽井船、採油平台、風電塔樁等海洋裝備大都採用桁架式結構，鋼管對接、相貫線焊縫質量直接關係到結構安全。結構複雜，檢測亦難，據不完全統計，中國海上風電塔有4,300個，但能完成60米以下的專業檢測人員卻不到200人。1983年出生的王剛，現任哈爾濱工程大學（簡稱哈工程）船舶工程學院副教授、博士生導師，在哈爾濱工程大學水下機械人技術國家級重點實驗室牽頭下，他帶領學生在2018年開展了水下檢測特種機械人的研發，並於2022年通過了國家科技部驗收，能夠完成海洋結構物的水下無損檢測作業，填補了該領域的國內空白。「目前，我們的機械人探頭能做到5個自由度，不僅位置可達，還能實現在不同維度上的姿態可達。同時，也能像做『超聲』檢查一樣，密切貼合檢測物，實現精細化檢測的同時也要保證檢測結果的一致性。」

◆香港文匯報記者  
于海江、吳千 哈爾濱報道

王剛身材  
挺拔，長，短髮，五官  
柔和，氣質儒雅。  
2011年在哈爾濱工程  
大學博士畢業留校後一直  
從事水下特種機械人技術相  
關研究工作，2014年在美國訪學  
時接觸到了更多海洋結構物對於水下檢測  
的需求。

◆王剛的學生在戶外測試作業。  
香港文匯報哈爾濱傳真

「海洋採集平台的安全，不僅關乎能源安全，對生態、環境的影響重大，所以對海洋結構物的定期檢測，防患於未然非常重要。但這些水下結構有點類似『鳥巢』，結構複雜，在檢測方面存在困難，有時人工也很難做到。」王剛告訴香港文匯報記者，這就要求水下機械人不僅能夠從多個維度上實現目視，還要有類似醫院檢查用的「超聲」功能，看到檢測對象內部的情況，檢測從幾毫米到十幾毫米甚至是幾十毫米厚度鋼板的焊接質量、疲勞程度或者缺陷，排除潛在的安全隱患。

王剛說，前期調研時了解到國外特別是北歐國家也有類似的設備，但只能實現一兩種應用場景，兼容度不夠。實際中的海洋結構物形態是多種多樣的，類似「T、K、Y」等空間相貫的管道焊接情況很常見，像「K」的兩支側管道的角度不同都屬於兩種應用場景。

### 水下機械人可替代人工

2021年王剛團隊完成了第一代水下機械人的第一套樣機，並專門定製了一套測試「模擬題」，在測試管道內預埋了缺陷和問題，通過天津海工「大力號」工作船，在典型的試驗場地進行真實水域環境下的測試，讓對答案未知的儀器去「應試」，找到這些「得分點」。

「結果得到了令人鼓舞的數據，證明我們的水下機械人能夠達到人工的水平，因為至少要達到這一水平，機械人才能下到海裏進行實際作業。」王剛表示，海洋結構物水下機械人檢測不僅可以避免人工潛水檢測的安全風險，還能提高檢測效率降低運維成本，有利於海洋各類資源的高效開發。

### 下海測試窗口期寶貴

「水下機械人的出海測試是必不可少的，我們自己沒有船，而且船隻也不會專門為接送我們而來，要等到有船過來，還得有位置，我們才能搭上。有時試驗沒做完但船隻沒辦法繼續提供支持，我們就得回來，繼續準備，找機會再去。」王剛說，有一次學生們乘坐小艇前往海上作業的工程船，這一段路就在海上飄了20多個小時，因為小艇也有自己的任務可能要去其他平台，或者要躲避風浪等，總之各種情況都有。

可就算到了平台上，做試驗的窗口期也是非常短的。「每個平台或工程船都有自己的工程任務，我們只能等他們休息了，吊機不用了，或者海況不好，他們停止作業了，趁着這個空當，我們才能上。」王剛告訴香港文匯報記者，「在海上做各種項目和測試的團隊有很多，但是窗口期又非常有限，如果我們不上，機會就是別人的了。我們會在前期把準備和測試流程做足，等待窗口期，只要機會給到我們，不管白天黑夜，什麼條件我們都會衝上去。」

### 從海上平台回到陸地亦不易

參與項目研發的2019級博士生唐欽雲還記得，有一次半夜抵達海邊，前腳下車後腳知道有船能去平台，沒顧上休息，他們這群「早鴨子」一路跟着船就去了，凌晨時分剛登上平台就被告知臨時接到了海況等級預警，平台要撤回，只留給他們很短的時間。「那我們也下水了，雖然海況不佳，但我們也爭分奪秒把能做的測試都做了，對我們來說，只要能抓住每一次機會就是好的，因為對於機械人來說能有實際場景應用的機會是特別難得的。」

「不僅上平台難，想回到陸地也不容易。沒有船順路或船上沒有位置就得在海上等著。有一回同學們一天就做完試驗了，但等船回陸地用了七天。」2019級博士生李思岑說，偶爾還有返回城市跟我們出發城市不一樣，留在出發地的行李就要折返去取，「但這些困難跟我們的試驗數據相比，都是次要的。」

### 二代機械人體型小巧功能翻倍

王剛告訴香港文匯報記者，去年的第一代水下機械人採用磁吸附方式，通過調節磁鐵與管道表面距離來控制吸附力，而迭代完成的第二代水下機械人則採用流體吸附方式，通過速度和壓力的關係，創造出類似低壓的環境，「不僅重量減輕，對非鐵磁性材料也能實現吸附效果，將機械人潛在的應用場景維度擴展了一維，目前（如核電不銹鋼水池等）只要跟水下相關的場景我們現在都能實現檢測。」

王剛從實驗室抱出第二代水下機械人，一邊展示一邊告訴香港文匯報記者，二代的體型特別小巧，比第一代重量減輕了一半，外觀尺寸減少了一半，功能則是翻了一倍，同時又非常便攜，以前需要兩個同學才能搬動，現在一個人就能直接拎走。

「二代機械人的四個輪子每一個都可以獨立驅動和轉向，並且集成了流體吸附裝置，前方的探頭架還能搭載攝像頭以及照明設備。以前需要利用ROV（遙控無人潛水器）將檢測機械人帶去作業地點，而二代機械人能夠在水中游動，自己就能抵達指定區域。」王剛說，同時二代機械人對管徑的兼容度更高，基本覆蓋了海洋裏會涉及到的所有直徑的管道。

此外，王剛團隊還研發了人在環中的半自主檢測技術，機械人可以自主跟蹤焊縫，當檢測到疑似缺陷時，操作人員可以專注於對檢測效果影響最大的運動軸，其他的運動軸則由機械人自動解算，極大簡化了人員操作的複雜度。

作為海洋裏的大國重器，海洋鑽井船、採油平台、風電塔樁等海洋裝備大都採用桁架式結構，鋼管對接、相貫線焊縫質量直接關係到結構安全。結構複雜，檢測亦難，據不完全統計，中國海上風電塔有4,300個，但能完成60米以下的專業檢測人員卻不到200人。1983年出生的王剛，現任哈爾濱工程大學（簡稱哈工程）船舶工程學院副教授、博士生導師，在

哈爾濱工程大學水下機械人技術國家級重點實驗室牽頭下，他

帶領學生在2018年開展了水下檢測特種機械人的研發，並於2022年通過

了國家科技部驗收，能夠完成海洋結構物的水下無損檢測作業，填補了

該領域的國內空白。「目前，我們的機械人探頭能

做到5個自由度，不僅位置可達，還能實現在不

同維度上的姿態可達。同時，也能像做『超

聲』檢查一樣，密切貼合檢測物，實現精

細化檢測的同時也要保證檢測結果的一

致性。」

◆香港文匯報記者

于海江、吳千 哈爾濱報道



◆王剛研發的機械人探頭能做到5個自由度，不僅位置可達，還能實現在不同維度上的姿態可達。同時，也能像做『超聲』檢查一樣，密切貼合檢測物，實現精細化檢測的同時也要保證檢測結果的一致性。

香港文匯報記者于海江 攝

# 哈爾濱工程大學王剛： 讓水下機械人更敏捷

為海洋平台做「超聲波」體檢 二代機械人填補國內空白



◆哈爾濱工程大學博導王剛外場試驗。  
香港文匯報哈爾濱傳真



◆學生在海上測試作業。  
香港文匯報哈爾濱傳真

## 團隊平均年齡23歲 創新創業「挑戰盃」奪金

◆特稿

◆特稿

水下作業不同於陸地，不僅面臨水深的影響，而且存在複雜的擾流，保證檢測過程中機械人和探頭的穩定是極具挑戰性難題。但這些難題都被王剛團隊裏平均年齡不到23歲的學生們一一攻克了。

王剛告訴香港文匯報記者，他的團隊目前有近30人，包括9位博士，在項目研發的5年中，先後有多名本科生參與其中。「我們希望能夠通過實際調研、方案設計、了解項目的市場需求，來激發和提升同學們對科研以及創新創業的認識和興趣。這個項目吸收本科生更多的是把水下機械人從創業層面進行設計，將它產品化。」王剛說，參加該項目的不僅有海洋、機械專業，還有經濟管理系的同學，經過大家的共同努力，水下機械人項目創新創業的方案最終拿到了「互聯網+」和「挑戰盃」兩個國家級大學生創新創業總決賽的銀獎和金獎。

2019級機械設計製造及其自動化專業本科生孟令哲在大一時就報名加入了王剛老師的團隊，並通過對該項目的研究獲得了直升博士的機



◆王剛的學生在第十三屆「挑戰盃」中國大學生創業計劃競賽獲獎。  
香港文匯報哈爾濱傳真

會。「我感覺自己就是膽子大，啥都不會也敢報名，老師給我找了很多資料讓我自學，每周用PPT跟老師匯報自學進度，沒有課就在實驗室裏跟研究生、博士生學習，自學了兩個學期後真正進入到團隊中。」孟令哲告訴香港文匯報記者，開始很多想法特別

在實踐中發現問題。」王剛說，陳思文、李圓月等幾個同學自學了機械人技術中的設計、控制、感知等內容，並應用到水下機械人身上，通過水下焊縫輔助定位系統的研發，可以讓機械人在水下穩定精準操作，該技術亦獲得了軟件著作權。

不切實際，不考慮工程成本，甚至很多是離譜的，在老師和博士生的指導下，才能慢慢認清，雖然日常工作內容是比較基礎的，但在對項目設計的不斷細化和改進過程中，也逐漸找到了對科研的興趣和意義。

「哈工程特別注重培養學生的自主學習以及實踐能力，很多同學在參與項目的過程中一邊把專業知識運用到實踐當中，一邊

## 推動算法升級 為四足機械人做技術儲備

「目前與水下機械人項目對接的企業非常多，國內的新能源公司只要有海上風力發電的全跟我們接觸過，像中廣核新能源等都是密切合作方。」王剛說，相關性比較高的，像核電、海洋維修的工程單位等，對水下特種機械人也有很強的需求。

「根據市場的實際需求，我認為水下機械人還會再迭代一輪，讓它更適合於某種特定的場景，解決某一類共性问题。」王剛說，水下特種機械人的一大特點，就是解決一個問題存在多種方式方法，可如何從上千種裏找出現有技術和條件最佳平衡點，不僅需要豐富的實踐經驗，還要通過實際使用來不斷迭代。

「此外，我們整個團隊圍繞機械人技術還開展了多個研究方向，比如通過深度強化學習提升四足機械人運動能力，使其向愈加敏捷的目標靠近，為未來四足機械人在水下的應用做好技術儲備。」王剛表示，幾噸重的河馬在水裏非常靈活，很多魚類在海洋中的游動速度可以超過40米/秒，這些都是水下特種機械人未來可能的發展方向，為此我們將團隊的研究重點瞄準為：如何提升機械人的敏捷性。

王剛表示：「目前水下機械人的機動性比較強，但是敏捷性還不夠，所以提升空間還很大，我們也會在這方面持續探索。」