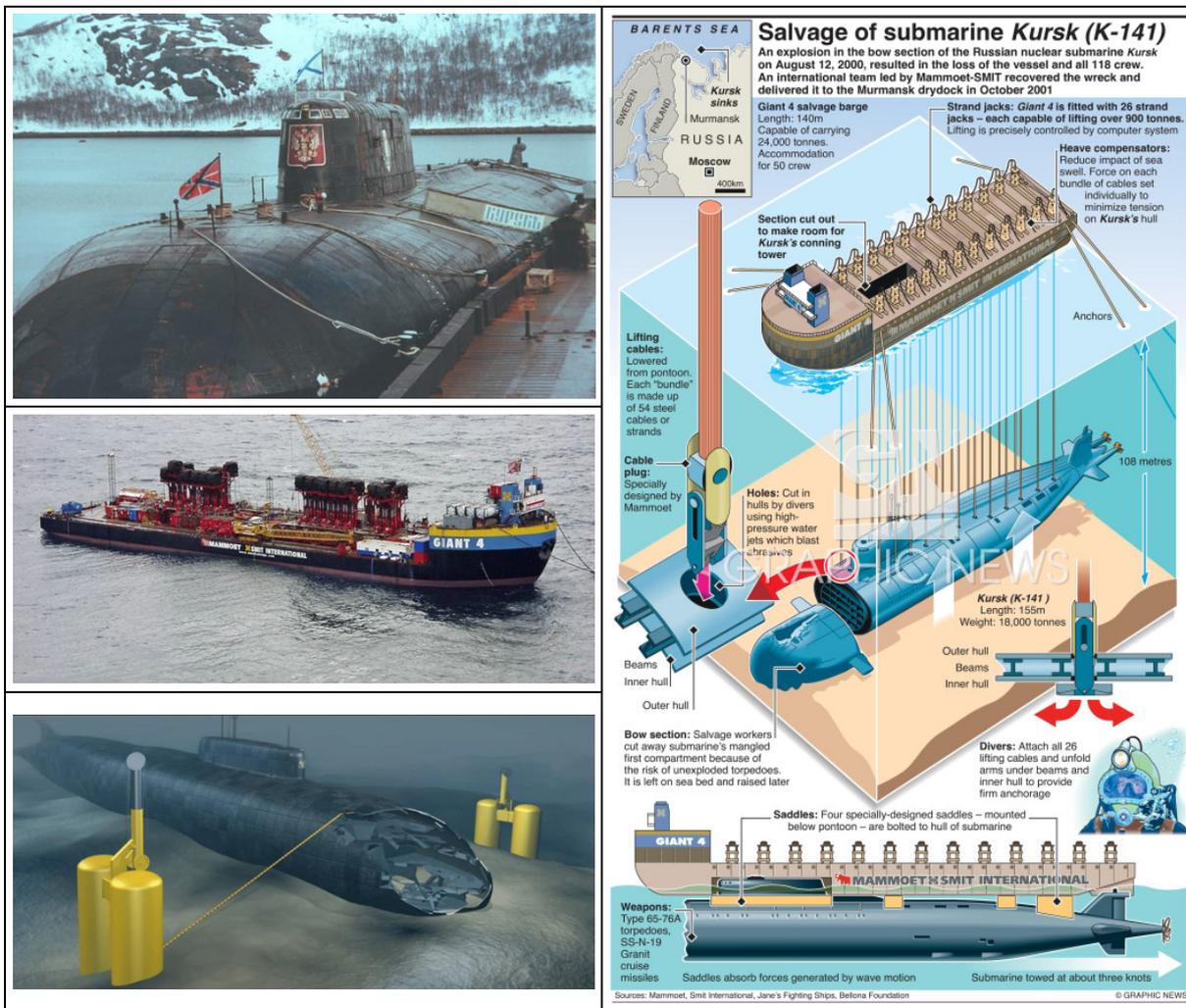


# Marine Salvage 記事 21 : K-141 Kursk (2000.08.12) and Mammoet × SMIT (2001.05-10)

陳彥宏\*



\* 陳彥宏 Solomon CHEN，英國威爾斯大學海洋事務與國際運輸學博士，台灣海事安全與保安研究會理事長，新台灣國策智庫諮詢委員，國家運輸安全調查委員會諮詢委員，海洋委員會海巡艦隊分署海損評議審查會委員，海事仲裁人。曾任教於臺灣海洋大學、澳大利亞海事學院國家港埠與航運中心、高雄海洋科技大學。曾客座於上海交通大學凱原法學院國際海事研究中心、廈門大學南海研究、澳大利亞海事學院。EMAIL: solomonyhchen@gmail.com。



## 一、事故背景與初期應變

- 位置與水深：Kursk 於 2000 年 8 月 12 日在巴倫支海演習時發生爆炸，下沉至約 116 公尺深，座標約 69°36.99'N, 37°34.50'E(距挪威約 250 公里，國際海域)。挪威輻射防護局(NRPA)於 8 月 14 日接獲莫斯科駐外館電報確認事故，並啟動核意外危機應變與海水取樣監測。
- 爆炸序列：挪威地震陣列(NORSAR)判定在格林威治時間 07:29:50 與 07:32:00 有兩次事件，第二次強度遠大於第一次；後續調查顯示艇艏插入海床、艉部落底，艇體向左傾約 1.5°。官方最後調查與權威綜述一致指向魚雷過氧化氫推進劑洩漏 ⇒ 初爆 ⇒ 二次彈藥連鎖爆炸，瞬間摧毀了潛艦的前艙，使其迅速沉入海底。
- 俄方初期行動：8 月 12 日晚間救難艦 Mikhail Rudnitskiy 抵達；13 日清晨定位殘骸，隨後數日嘗試使深潛救生艇(deep-submergence rescue vehicles, DSRV)對接第 IX 艙救生艙口，未果，不僅反映了設備的陳舊，更凸顯了操作人員在壓力下應變能力的不足。首週共動員 22 艘艦與約 3,000 人。儘管英國和挪威等國多次提出協助，但俄羅斯當局起初以主權和軍事機密為由拒絕。這種延誤導致了救援黃金時間的錯失，將最初可能存在的生還希望徹底斷絕。
- 國際援助啟用與「無放射性外逸」事證：俄方先自救，8 月 17 日俄羅斯總統同意外援。挪威 DSV Seaway Eagle(Stolt Offshore)17 - 22 日執行水下作業，動員 LR5 深潛救生艇與挪威飽和潛水隊，但抵達與接觸殘骸時，發現內部已完全灌水，證實艦上無人生還。從海難應變角度，早期「資訊不透明 + 遲延求援」被後續報告點名為政治決策與現場協調的關鍵缺失。英挪潛水員相繼開啟第 IX 艙上、下救生艙口；開口瞬間釋放艙內氣體並現場量測/採樣，未見放射性增高。

- 第二波行動(屍體搜尋與取回)：俄方委託 Halliburton Norge，選用北海飽和潛水支援船 MSV Regalia 於 10/20 - 11/7/2000 切割開孔進入多處艙段，這波行動最終取回 12 具遺體，並在第 IX 艙(尾段渦輪機艙)發現 Kolesnikov 中尉的手寫便條，證實爆炸後一度有 23 名官兵在最初爆炸後仍在第 IX 艙短暫存活，但終未獲救。

## 二、救撈決策與爭議

- 政治與技術折衝：由於俄羅斯缺乏救撈如此巨大潛艦的技術和設備，因此決定委託國際公司執行。最終，由荷蘭的 Mammoet 和 Smit International 組成的聯合公司，贏得了這項價值約 7000 萬美元的救撈合約。這個決定在當時引起了爭議，因為俄羅斯軍方對將戰略資產交給外國公司感到不滿，但最終為了技術上的可行性，俄羅斯政府還是選擇了與這些專業公司合作。這個合約證明了商業公司的專業技術與創新能力，有時甚至超越了國家的軍事力量，也讓全世界首次看到，由商業公司主導的深海戰略資產救撈是可行的，也為未來類似的高風險救撈行動樹立了範例。
- 在確認艦上官兵全部罹難後，救撈的決策從「救援」轉為「善後」，但技術難度並未降低。主要考量是公共安全與國家責任。艦上兩座核反應爐與多枚未爆導彈是巨大的潛在威脅，必須安全移除。2001 年春，俄方決定由 Mammoet - SMIT 聯合體承攬整艦救撈(不含艙段)，核心理由：
  - 尋找真相：救撈殘骸以釐清事故確切原因。
  - 核安與環境風險控管：艦上兩座核反應爐及部分核導彈構成潛在的輻射洩漏風險，須在受控環境去燃料化。
  - 家屬訴求：盡可能將罹難官兵的遺體帶回安葬。
  - 證據保全：利於事故調查與國家機密維護。
  - 作業窗期：巴倫支海氣候嚴苛，只能把握 2001 年夏末到秋初的短窗。
- 「先切艙再抬浮」的關鍵抉擇：艙段(魚雷艙)結構高度粉碎且含未爆彈風險，直接抬浮將顯著放大中途斷裂或二次爆炸的不可接受風險，因此決定水下切離艙段、僅抬浮艇後主體。切艙亦能降低總重量並改善受力路徑。這在救撈界屬於典型的風險分段策略：先移除最高不確定度構件，再處理大部件。這

不是單純工程偏好，而是 ALARP(風險降至合理可行的最低)的體現，把最高風險(武器艙)留底處理，降低整體提升時的「單點失效」。

- 爭議點：
  - 是否延宕外援、對家屬與輿論的溝通、以及是否應優先全力救生等，至今仍見不同敘事；但從救撈角度看，2001 年的方案在風險 - 可行性 - 時程三角中屬可執行且風險可控的路徑。

### 三、救撈與清理作業

- 救撈作業於 2001 年夏天正式展開，由 Mammoet 與 Smit 聯合執行。這是一項極其複雜的任務，Mammoet-Smit 團隊採用了一種創新的重型浮力起重(heavy lift salvage)方法，而非傳統的浮力袋或切割分解。主要分為幾個步驟：
  - 切割艦首：由於艦首部分在爆炸中嚴重損壞且不穩定，且可能殘存未爆魚雷，若硬性救撈會危及整個行動。救撈團隊決定將其與潛艦主體分離，並留在海底。他們採用了一套特殊設計的金剛石鋼絲鋸(diamond wire saw)將艦首在水下精準切割分離，精準地切斷了潛艦受損的艦首，將最危險的部分留在海底。
  - 吊掛潛艦：為了將潛艦主體吊起，Mammoet-Smit 將一艘名為 Giant 4 的半潛駁船改造為巨型浮式起重平台。工程師們設計了一套由 26 組獨立控制的液壓鋼纜絞盤(strand jacks)組成的系統，每套額定約 900 噸，並各配氣壓式升沉補償器以抵銷海況，這些鋼纜從一艘經過改造的巨型駁船 Giant 4 上垂下。潛水員在海底的潛艦上鑽出 26 個吊掛孔，安裝「內撐式抓握器(grippers)」作為受力節點，並將鋼纜固定在這些孔中。
  - 抬升與運輸：這項技術是成功的關鍵。潛水員在 Kursk 號的艦體上鑽出 26 個通孔，然後將鋼纜穿過並固定。在吊升過程中，每條鋼纜的拉力都由電腦精準控制，確保潛艦主體受力均勻，避免因單點受力過大而二次解體。這種多點同步抬升(multi-point synchronous lift)技術，讓重達 9,000 噸的潛艦主體在水下能被緩慢地從海底淤泥中拉起。抬升完成後，潛艦被固定在駁船下方，運往俄羅斯摩爾曼斯克附近的乾船塢。

- 這是將重載同步提升×海況補償×低火源切割×飽和潛水「一體化集成」的標竿案例；尤其 26 點同步載荷與 8 點錨纜定位對抑制偏載、抵消橫搖的作用，對保護殘艙完整性至關重要。
- 人員與作業制：採飽和潛水輪班、長時段水下作業；並以模擬訓練(Simulink)預演起吊同步控制、操作策略與異常情境，降低人為失誤。
- 遺骸搜返：除艙段外，救撈團隊尋回 115 具遺骸(其餘留於艙段或未能辨識)，後在俄國安葬。

### Kursk 救撈與清理作業時間軸

- 2000 年 8 月 12 日：
  - 事故發生。俄羅斯海軍核潛艦 Kursk 在巴倫支海軍事演習中發生兩次爆炸，隨後沉沒。
- 2000 年 8 月 12 日 - 8 月 20 日：
  - 俄方初期救援。俄羅斯海軍嘗試使用自己的深水潛水器進行救援，但多次對接失敗。
  - 拒絕國際援助。俄羅斯起初拒絕了包括挪威、英國等國提出的救援協助。
  - 接受援助。在國際壓力下，俄羅斯總統普丁於 8 月 20 日同意接受外國幫助。
- 2000 年 8 - 10 月：兩波海上進出艙與遺體搜返(為 2001 年整艦救撈做鋪墊)
  - 8/17 - 8/22：挪威 DSV Seaway Eagle 行動(Stolt Offshore)：挪威與英國潛水員抵達。挪威潛水員抵達現場，並由英挪飽和潛水員嘗試對接、開啟 IX 艙上、下救生艙口，現場以 GM 計測與採樣確認未見放射性升高。
  - 8 月 21 日打開潛艦艙口，發現潛艦內部已完全灌水，證實艦上 118 名官兵全部罹難。救援行動正式結束。

- 10/02 - 11/07：MSV Regalia(Halliburton Norge)行動：俄羅斯設計局 Rubin 與 Halliburton 簽約(10/2 左右)；10/20 - 11/7 Regalia 到場，切孔進入多個艙段、取回遺體與文件，為後續工法與風險基線蒐證。
- 以上兩波行動成果：確認艙段嚴重破壞、建立「無異常放射性」的現場量測基線、取得艙內證物與部分遺體。
- 2001 年 5 月 18 日：
  - 簽署救撈合約。俄羅斯政府正式把整艦救撈(不含艙段)發包給荷蘭的 Mammoet-Smit 聯合公司簽署價值約 7000 萬美元的救撈合約。
- 2001 年夏季(7 月開始)：
  - 救撈作業準備。Mammoet-Smit 團隊將巨型駁船 Giant 4 進行改造，安裝 26 套液壓絞盤系統，並準備特製的鋼絲鋸、裝設導向環與定製錨爪 (grippers)與其他設備。
  - 切割艦首。團隊使用遙控潛水器與特製金剛石鋼絲鋸，在水下 116 公尺深處將損壞嚴重的艦首與潛艦主體分離。這項作業將最危險的未爆彈藥留在海底，為後續抬升作業降低了風險。
  - 鑽孔與吊掛。專業潛水員在潛艦主體上鑽出 26 個通孔，並將鋼纜穿過，固定在特製的「抓握器」上，以確保吊掛時受力均勻。
- 2001 年 10 月 8 日：主提升開始
  - 關鍵抬升作業。Mammoet-Smit 團隊使用 Giant 4 駁船上的 26 組 strand jacks 液壓絞盤同步作業，成功克服海底泥土的吸力，歷時約 15 小時將重達 9,000 噸的 Kursk 潛艦主體從海底吊起，並固定在駁船 Giant 4 腹下支座下方。
- 2001 年 10 月 9 日 - 10 月 22 日：轉運至俄羅斯
  - 運輸與入塢。潛艦與駁船的組合體被緩慢拖曳至俄羅斯摩爾曼斯克附近的乾船塢。

- Giant 4 懸掛艇體返航，進入浮動船塢 PD-50，使用雙大型浮筒協助升降以進塢。
- 2001 年 10 月 23 - 24 日：乾塢內開艙取證與遺體辨識啟動
  - 開始清理與拆解。
  - 潛艦主體被安放進乾船塢，調查人員與專家團隊展開艙內排水、取證、遺體搜尋等作業並進行事故調查。
  - 艦上的兩座核反應爐與殘餘彈藥被安全移除。
- 2002 - 2003 年：艙段清除、去燃料化與末端處置
  - 2002 年：艙段海底爆破銷毀(此前僅回收部分魚雷/管段碎片)。
  - 2003-01/29 - 02/17：兩座反應爐完成卸料(defueling)；02/17 完成最後組件卸出。後續反應爐艙段轉運至塞達灣(Sayda Bay)長期存放。
  - 在完成所有調查與遺體、核反應爐的移除後，Kursk 號的殘骸被完全拆解報廢。

#### 四、殘骸拆解與後續處置

- 艙段處置：抬浮作業前已切離後暫置海底，俄方原評估日後再撈；但基於安全與保密，除部分零件事先救撈取證外，最終於 2002 年 9 月在海底爆破清除殘餘艙段(安全與保密雙考量)。
- 反應爐與艦體：Kursk 的殘骸被運抵羅斯利亞科沃(Roslyakovo)的第 82 修船廠乾船塢後完成去污、卸油、拆除敏感裝備與反應爐燃料卸載；反應爐艙後來轉運至賽達灣(Sayda Bay)長期存放。
- 對核潛艦的撈救管理，海上段與塢內段是兩套不同風險管理體系；前者對船體結構與海象敏感，後者對放射與軍品敏感，兩者的流程與考慮重點往往不同。

- **Kursk** 的拆解作業並非簡單的報廢，而是法醫學級別的調查與高風險物資處理。工程師們首先專注於：
  - 遺體尋回：這對罹難者家屬和俄羅斯政府意義重大。
  - 安全處理：移除艦體內的兩座核反應爐和殘留的未爆彈頭。這些操作均在嚴格的輻射監測和安全協議下進行。在這一階段，挪威輻射防護局 (NRPA) 的專家也參與其中，對輻射進行了嚴格的監控。
  - 事故調查：檢查殘骸上的爆炸痕跡，最終證實了是艦首魚雷燃料洩漏引起的連鎖爆炸導致了這場悲劇。

## 五、關鍵技術與挑戰

- **輻射與軍品安全**：事前危害鑑別將風險分為輻射/核燃料、爆炸品、重金屬與污染物等模塊，分級管制；現場監測與干預程序先行演練。兩座壓水式反應爐在事故時自動停堆，監測未見異常外洩；但在救撈與去燃料過程仍以最高規格防護。
- **核風險管理**：根據挪威輻射防護局的報告，他們參與了兩次勘探和救撈行動，主要目的就是評估現場的輻射狀況。他們實施了嚴格的輻射防護程序，包括使用個人劑量計 (personal dosimeters)、在遙控潛水器 (ROV) 和潛水員身上安裝劑量率儀 (dose rate meters)，並採集海水、沉積物和空氣樣本進行分析。報告顯示，在整個救撈過程中，沒有觀察到任何異常的輻射水平。
- **深水作業**：在 108 公尺以下的深度進行精確的切割和吊掛作業。
- **巨型重量**：潛艦主體淨重超過 9,000 噸，要將如此巨大的物體從海底吊起，需要前所未有的起重能力和技術。
- **結構風險**：雙壓力殼局部崩塌後的殘餘承載不均，耐壓殼與外殼之間有空隙，必須經載重試算校核起吊點；艙段大破壞導致不連續受力與未知裂縫，抬浮點佈置須避開脆弱區，泥沙吸附導致起始牽引峰值極高 (約 9,000t)，這促使採用「多點、低行程、同步上拉」的 strand jacks 同步控制算法 + 浪湧補償防止局部撕裂的 26 孔方案。

- 泥土吸力：潛艦埋在海底淤泥中，在拉起時會產生巨大的吸力(suction effect)，需要更強的初始拉力才能掙脫。
- 同步控制與海況補償：巴倫支海短浪多、季節窗極短；若無真時(real time)同步控制與升沉補償(heave compensation)，任一索段鬆弛或過載都可能誘發結構局部破壞。工程團隊為此編寫專用控制軟體，將各千斤頂行程、張力閉迴路控制。
- 低火源水下切割：在核與彈藥風險下，磨料水刀避免熱/火花，鋼纜/鑽石鏈鋸可在大型薄殼結構上穩定分段，不誘發熱變形與火災，是核艦救撈的首選工法。
- 水下切割與錨定：雙殼+高強鋼材+變形結構，使傳統鋸切容易「咬刀」或失準；磨料水刀與定製錨爪組合，提供低熱影響、低振動與可靠的剪力傳遞。
- 人因與訓練：起吊窗口短、工序長，採系統級模擬訓練(Simulink)以讓操作員熟悉同步控制、預案切換，這是把「工序風險 ⇨ 人因風險」降階的關鍵。
- 人員安全與輻射監測：兩階段潛水(含飽和潛水)均建立輻射風險基線與停工門檻；Seaway Eagle 開艙時「未見放射性升高」的實測結果，是後續擴大進入艙室與 2001 年整艦抬浮的重要安全前提。
- 遺體與證物處置鏈：Regalia 行動中，先 IX ⇨ VIII ⇨ III 等艙段依序切孔；10/25 起陸續發現與轉運遺體與文件，總計 12 具在該波行動送離(後續大規模救撈再尋獲其餘)。
- 團隊協作：在高度政治敏感的環境下，成功協調俄羅斯海軍、核能專家、荷蘭公司 Mammoet 和 Smit International 以及其他國際專家團隊之間的跨國合作與協調，這本身就是一項巨大的管理挑戰。

## 六、成果與影響

- 人道與紀念：大部分官兵遺骸得以尋回並安葬；事件也促成俄方對救生與搜救能力的檢討。
- 政治與社會震撼：延誤求援與資訊不透明引發國際與國內嚴厲批評；後續公開的調查綜述點出「紀律鬆弛、裝備老舊、管理失當」等系統性問題。

- 官方定論：國家檢察機關最終結論為 HTP 魚雷在管內自爆引發鏈爆，非外部撞擊；此結論與挪威輻射監管機構(DSA/NRPA)的公開資料相符。
- 工程與作業成果：
  - 主體抬浮成功(2001/10/8)，創下深水重物救撈里程碑；備抬重量約 9,000 噸。
  - 艙段風險隔離與後續原地銷毀(2002)，避免未爆彈與結構不穩定風險影響抬浮。
  - 遺體尋獲：2000 年秋先行取回 12 具；2001 年抬浮後在乾塢內持續搜尋，公開資料普遍記載最終尋獲大多數(約 115/118)，但不同來源敘述略有出入(以俄官方與當時媒體彙整為主)。
- 對救撈產業的提升：本案將同步多點 Strand Jack + 動態升沉補償、重載半潛駁平台改裝、水下切艙 + 定製錨爪等方案，打造成成熟可複製的「重件水下回收」體系，後續多起大型撈救(含非軍事船難)沿用或改良此技術包。
- 對核意外海域應變的示範：挪威在事故兩天內完成跨部會啟動、佈設海水與空氣監測網、建立輻射作業門檻與通報節點，並與俄方/北歐夥伴進行模型推估與長期監測，成為跨境海域核風險「監測 - 通報 - 決策支援」的案例。
- 此次事件暴露了蘇聯解體後俄羅斯海軍在應對危機方面的嚴重不足，救援延宕與資訊不透明引發持久爭議，促使俄羅斯此後在海軍演習和緊急應變能力上進行了重大改革，迫使俄羅斯當局在軍事事故處理上更加透明，也促使各國更重視跨境支援協議、軍事敏感裝備的救生介面與對外通報機制，也讓全球航運與海事行業更加重視應急回應與合作的重要性。
- 這次成功的救撈行動創造了深度救撈最大物體的世界紀錄，也鞏固了 Mammoet 和 Smit International 在全球重型吊掛與海事救助領域的領先地位，證明了私營商業公司在面對極端海事挑戰時，其專業性、靈活性和創新能力往往超越傳統政府或軍事機構。