

國際上核電廠除役設施拆除
切割使用的技術
和
機具經驗回饋之研究

陳勝朗 首席顧問

核能科技協進會

國際上核電廠除役設施拆除切割使用的技術和 機具經驗回饋之研究

台電核能月刊 436 期 108.4

陳勝朗 核能科技協進會

一. 前言

核電廠設施拆除作業是整個除役工作的重中之重，因為其所需技術面向、工作量和時程、以及投入成本是重大的，為有效推展工作規劃和作業，能借重國外寶貴實務經驗反饋，必然有十分助益。本報告主要是參考歐美國家的核電廠除役專案已經完成並經採用的經驗。尤其對於核電廠除役時，在輻射污染設施拆除分割完整性技術和採用機具的情形。

本報告主要內容包括：1. 反應器槽內部組件的各種切割技術和機具，以及在切割作業需要的配合輔助設備；2. 反應器壓力容器本體的各種切割技術和機具；3. 大口徑管道切割工程；4. 小口徑管道工作；5. 鋼構切割工作；6. 通風系統切割；7. 電纜切割工作；8. 混凝土表面去除工作；9. 散裝混凝土拆除等方面在國際上的技術經驗情形，分別提出說明與探討，以供參考。

本報告提供的資訊所採用的理念是，只使用經過驗證的現行技術。這期望國內在除役專案時可降低設備技術故障的風險，並從技術中獲得經驗和教訓，以符本人對於國內除役技能自主化的訴求。當然，任何科技和安全訴求的持續發展，核電廠除役技術會有更好而新穎的推出，例如遙控切割技術和機器人的應用等發展趨勢及實務情形，吾等也須加隨時掌握及採用。

二. 拆除技術和機具選擇的考量要素

由於在核設施除役期間將進行的拆除任務範圍環境條件是屬多樣性，預計會採用廣泛且不同的拆除技術與機具，每種拆除技術都需根據其是否適合有關要求特性而選擇。其中如對於組件結構的拆卸進行分割時，也會涉及廢棄物隨即盛裝進行運送最終處置或移送到再分割場所處理的不同作業方式考量。在選擇正確的拆除分割技術時需要記住的主要因素為：作業安全性、工具的效率、成本效益（工作人力密集型技術會有較高的集體劑量和成本等）、核廢棄物產生最小化等。技術的選擇需要以要拆除的物體為基礎和污染程度特性及條件，即在採用技術前，需要對施作地點進行徹底輻射污染調查以及前置除污處理。同時，對於機具的後續再使用性需求應該也是重要考量因素的。

三. 設施拆除作業前置準備作業和去污技術

1. 前置準備作業

拆除作業開始之前，許多廠房系統、設備和基礎設施需要加以修改，調整它們的大小，避免危害和干擾，並配合除役執行功能需求。前置準備作業主要事項為：1). 掛卡有關作業活動，如泄放設備系統元件內含氣液體，移除有害物質，避免火災，以及斷開或拆除各設備和系統的電源，使除役作業在安全的環境下工作；2). 電力系統的修改；3). 水源的連接和切割機械系統的設置；4). 消防保護系統的強化；5). 通風系統的修改以及預定切割作業區域的局部臨時隔離和通風系統裝設；6). 汽機廠房改建為除役輔助設施；7). 放射性廢棄物貯存區域功能升級等工作。

2. 前置去污技術

大多數除役專案在開始拆除活動之前，需對所有主要液體系統進行化學除污處理。其目的是減少這些系統區域的輻射劑量，從而遵照 ALARA 原則減少整個專案的人員劑量。當然也要避免造成污染擴散。

由於核電廠主環路系統輻射和污染活度甚高。在電廠的正常運轉期間對於主要流體系統進行化學除污，通常是使用 LOMI 或 CITROX 程序技術，進行的目的是降低環境中的輻射劑量率，產生的除污因數(Df)一般約為 10 左右。但對於電廠除役使用的程序方法是不同的，因為它們的除污因數需要高達 100 以上，才足以盡量去除設備和管路內部表面的輻射污染表層金屬核種。目前在商業上較多被採用的技術是美國 EPRI 發展的(DfD)方法和西門子發展的(CORD D

UV)方法。

表1所示 Big Rock Point 和 Barseback 1 兩個核電廠除役時,分別使用的不同化學除污方法,在其主要環路全系統除污主要結果的比較情形。

Plant	Method	Processing Time (days)	Time on Site (days)	Total DF	Spent ion exchange resin produced (m ³)
Big Rock Point	EPRi DfD	15	~ 63	27	16.4
Maine Yankee	EPRi DfD	20	~ 71	31.5	17.7
Connecticut Yankee	Siemens CORD	25	~ 122	15.9	13.2
Barseback 1	Siemens CORD	11	--	298	5
Barseback 2	Siemens CORD	11	--	93	4

從上表中可以看出, EPRi DfD 技術在較短的操作時間內獲得比 Siemens

上表中顯示 CORD 有較高的 DF 效果,但產生了較多的廢離子交換樹脂。因此,在選擇技術之前,還需要考慮其他因素的。還有 DF 值計算基準會與初始表面污染程度條件有關。

另外,在一般較低污染系統設備和管路進行拆除時,為避免或減低污染擴散,對於其內部污染清除,應是先將殘液排放到可處理設施系統,之後用水沖洗管道,並予乾燥使盡可能不再滯留液體物質。同時,先移除設備管道上所有閥門和其他儀器配件。

四. 拆除切割使用的技術和機具之國際經驗回饋

鑒於要拆除的輻射污染設備和材料性質範圍廣泛,是需要一系列技術。以下各節簡要介紹適用於每一任務或一組任務的國際經驗技術。

1. 反應器槽內組件切割(Reactor in Internals Segmentation)

由於反應器槽內部組件的複雜性及其預期的高放射性水準,一般在其分割過程中使用多種切割技術。每種切割技術最好根據以往的經驗和對成功拆卸所需的各種切割任務的適用性來選擇。基於反應器槽內部組件的高輻射環境,通常它們是在水下遙控分割。在選擇使用技術方法時,應考慮使切割作業環境方便的配置,並在機具故障發生時易於修復。

在反應槽內部組件拆卸作業前應先配合作業的主要安裝設備與措施包括:1). 用不銹鋼板覆蓋反應器池地板。其目的是使設備和材料能夠固定在池底,而不會損壞池底;2). 安裝遙控切割設備(機械手、工作平臺、工具配置桅杆等);3). 安裝及配置合適類別廢棄物容器和用於工具的存儲;4). 安裝切割過程中正確定位部件所需的任何臨時支架;5). 安裝任何對作業有用的固定位置攝影機和照明系統;6). 安裝備用真空設備、水洗和必要的機械方法對池內襯進行除污的設備等工作。

反應槽內部組件拆卸切割技術方法主要分為兩大類別,一類稱為:熱切割技術,如電漿弧切割、雷射射束切割、電弧金屬分解和磨料水刀切割等技術;另一類稱為:機械切割技術,如液壓剪和鋸切等技術。其中,熱切割方法在美國較普遍使用,但歐洲傾向於使用機械切割技術。以下各節將分別討論這兩類方法。

1.1. 熱切割技術和機具

在切割速度方面,熱技術通常比機械技術方法更快,因此一直是美國反應器內部組件切割的首選。它們也是非接觸式,此有助於它們機具使用的遠端部署,也不需要大量加強部署系統,再加上這些技術可以在任何方向切割(與刀片切割的方向),使他們高度機動,這非常適合切割複雜的幾何結構。同時絕大部熱切割技術可在水下或大氣中進行、遙控操作及使用於延長時間期間與

降低總費用，但是需控制空浮問題。然而，熱技術有其缺點，因為如果要控制空氣中的污染水準，就需要捕獲過程中的廢氣，更重要的是，在切割過程中產生的廢氣會使切割碎渣擾動到水面。由於後一種原因，瑞典通常使用機械切割技術方法對反應器內部組件進行分割。

1.1.1 電漿弧切割(plasma arc cutting)技術和機具

電漿弧切割刀具由於重量輕，可輕鬆固定在五軸搬運系統上。靈活的連接用於將工具連接到大功率電源（100 千瓦、500a c）、高壓氣源和冷卻水泵。因此，定位裝置可以很容易地沿著工件移動，引導刀具到選定的切割點。電漿弧切割是一種通過將局部區域與收縮電弧的熱量熔化來隔離金屬的過程，並通過從孔口發出的熱離子氣體的高速噴射去除熔融材料。

注水電漿弧切割(Water-injection plasma arc cutting)是一種新開發的高速切割技術，幾乎所有金屬的切割尺寸可高達 76 毫米厚。與傳統的電漿切割用水冷銅噴嘴收縮電弧不同，注水技術通過在電弧周圍均勻地徑向注水提供電弧收縮。與常規方法相比，弧線周圍水的徑向撞擊提供了更高的電弧收縮程度。最終的結果是一個非常熱，高速，電漿射流能夠產生優良的高切割速度。

電漿系統也可以在 75 至 153 毫米厚度範圍內的切割板運作。在這種操作方式下，注水僅用於噴嘴冷卻；電弧收縮完全是通過噴嘴來實現的。採用 65% 的 argon-35% 氬的氣體混合物代替氬氣，因為它形成了一種深度穿透電漿射流，是切割厚板的理想選擇。

電漿弧切割使用特性示如下表

作業環境	大氣和水下情況
水深度	通常可達 100 m
自動/遙控操作	是
切割速度	500 mm/min(10 mm sheet metal)
切割深度	Approx. 150 mm, 電漿火炬浸沒深度
切割物外形	是
二次廢料	氧化鐵 (渣); 氣體 (N ₂ , noble gases)
消耗品	氣體 (N ₂ , noble gases)
特性	精確, 迅速, 需傳導物質, 有限深度的切割

應用於 song-1 核電廠的電漿弧切割系統是一種專門為水下操作而配置的 Hypertherm TM Model PAC-500。該系統既能進行注水泵電漿弧切割，又能進行一般電漿弧切割。電漿弧切割系統是由兩個 750 安培的主電源、一個水上夾和主控台組成。該系統能夠切割 150 毫米厚的不銹鋼，水深 15.25 米。各種形狀和大小的火炬端效應，也可用於複雜的反應器內部幾何形狀。

1.1.2 雷射射束切割(Laser Beam Cutting)技術和機具

雷射射束是一個非常高強度的光，單一波長，或顏色的柱。在典型的 co₂ 雷射器的情況下，波長是在光譜的紅外線部分。當射束從鐳射諧振器（創建光束）穿過機器的光束路徑時，其直徑只有一英寸左右。它可能會被一些鏡子或"射束彎管器"反彈到不同的方向，然後才最終聚焦到板上。聚焦雷射射束在擊中噴嘴之前就穿過噴嘴的孔口。流經該噴嘴孔的還有一種壓縮氣體，如氧氣或氬氣。

聚焦雷射射束可以通過一個特殊的透鏡，或由一個彎曲的鏡子，這發生在鐳射切割頭。射束必須精確聚焦，以便焦點的形狀和該點的能量密度完全圓圈一致，並集中在噴嘴上。通過將大射束聚焦到一個精確定位，該點的熱密度是極端的。

高功率密度可使材料快速加熱、熔化和部分或完全汽化。切割低碳鋼時，雷射射束的熱量足以啟動典型的"氧燃料"燃燒過程，而鐳射切割氣體將是

純氧，就像氧燃料火炬一樣。切割不銹鋼或鋁時，雷射射束只需將材料熔化，高壓氮氣就可以將熔融的金屬吹出邊角。

雷射射束切割刀具，可輕鬆固定在五軸搬運系統上。因此，在水下定位裝置可以很容易地沿著工件移動，引導刀具到選定的切割點。

英國 TWI Ltd 公司已測試證實以 a snake-arm robot 配備強大的 5KW laser 能夠容易在水下以 50mm/min 的速度切割 35mm 厚的鋼板。

雷射射束切割使用特性示如下表。

Laser Type	Cutting Capability (thickness)	Speed (in mm / minute)	Power (in kW)	Condition	Source
CO Laser	30-150 mm (SUS-304)	10-260	21	UW	NUPEC
CO laser	200-310 mm (SUS-304)	20-30	21	In Air	NUPEC
YAG laser	281 mm (CS / insulator / Al)	100	7.5	In Air	NUPEC
YAG laser	40 mm (SUS)	100	7.5	UW	NUPEC
YAG laser	3 mm (SUS lining)	2500	0.5-1.0	In Air	NUPEC
Chemical Oxygen Iodine Laser (COIL)	23 mm (SUS-304)	0.5	1.0	UW	RANDEC

1.1.3 電弧金屬分解(EDM)技術和機具

電弧金屬分解技術非常適合螺栓的切除，除非螺栓在核電廠操作/維護期間中已例行拆卸過，在這種情況下，它們可能只需被拆下。因為不能扭轉的螺栓可以將頭帽燒穿，以便在不切割的情況下拆卸組件。EDM 是一種電弧熔蝕過程，主要將工件表面與一系列間歇性電弧熔化，該電弧是將帶電電極（負極）振動到工件（正）而產生的，從而自工件上去除金屬。每次接觸斷開時，都會產生高能弧。熔融材料從表面提升，形成微小的球體，用冷卻劑快速淬火，冷卻劑在電極和工件之間的縫隙中流動。重新凝結的材料被夾在冷卻液中，並被沖走。

EDM 切割端部執行器的製造較為簡單，可通過長柄工具（杆）送到工作位置，並通過與氣缸夾緊進行自裝。電極通常由石墨製成，其比工件消耗的速度要低得多。可以生產的電極形狀的種類幾乎是無限的，有簡單圓柱形或矩形形狀是最常見的。冷卻液通過電極的要求需納入設計中。高效沖洗是處理過程的關鍵參數之一。該技術產生的細顆粒碎片由冷卻劑（脫礦水）收集。充滿碎片的冷卻劑可以與其他液體廢物一起處理，也可以選擇過濾、冷卻和回收。在切割過程中，冷卻液每分鐘使用約 13 升。影響技術技術的其他參數包括電極進給速率、切割電流水準、電磁閥回應性、振動器頻率和振幅。EDM 處理過程緩慢，物料去除率約為每小時 65 毫升。

在 song-1 核電廠除役中使用的 EDM 切割設備電源是 Cammann Model C-45 金屬分解器。這些 200 安培系統可單獨使用，也可並行連接，用於高輸出應用。每個單元都包括一個整體控制吊墜和一個高壓增壓泵，為電極提供沖水。所有所需的佈線和地面夾具也包括在內。這些配件的設計需要模組化，以便可互換的，因此它們可以在幾種不同的配置中進行組裝。

1.1.4 磨料水刀切割(Abrasive Water Jet Cutting)技術和機具

磨料水刀切割作業不會將物料擾動到水表面,而且具有切割非常厚的金屬部分的優勢。然而,磨料水刀切割速度比熱技術慢,還需要引入切割磨料,如石榴石(garnet),這會導致額外的污染廢棄物。

磨料水刀技術是利用超高壓增壓泵,將水加壓至 3790 巴(bar),使其通過一直徑為 0.76 mm 的小噴嘴,以產生速度高達 900 m/ s 的高速水流。磨料水刀切割技術具有穿透厚材料的能力,無需鑽孔起動孔。水刀噴嘴使用單個藍寶石孔,經由混合室的中心聚焦高能水流。磨料顆粒被引到混合室,併入水射流,其中的顆粒加速到非常高。這種超音速漿料是通過定位於與工件的小隔開高度的出口噴嘴噴出。使用磨料水刀技術可以有效地切割厚度達 500 毫米的各種鋼鐵金屬和非鋼鐵金屬材料。使用的磨料種類,包括氧化鋁、石榴石、氧化鐵、碳化矽和鐵粉。

磨料水刀切割系統有美國 Minneapolis, MN, 的 Jet Edge, Inc. 公司生產的裝置。德國 würgassen 和 stade 核電廠的兩個反應器壓力容器內部組件的切割工程總承包商,是德國 Areva NP GmbH 公司提供的切割系統。

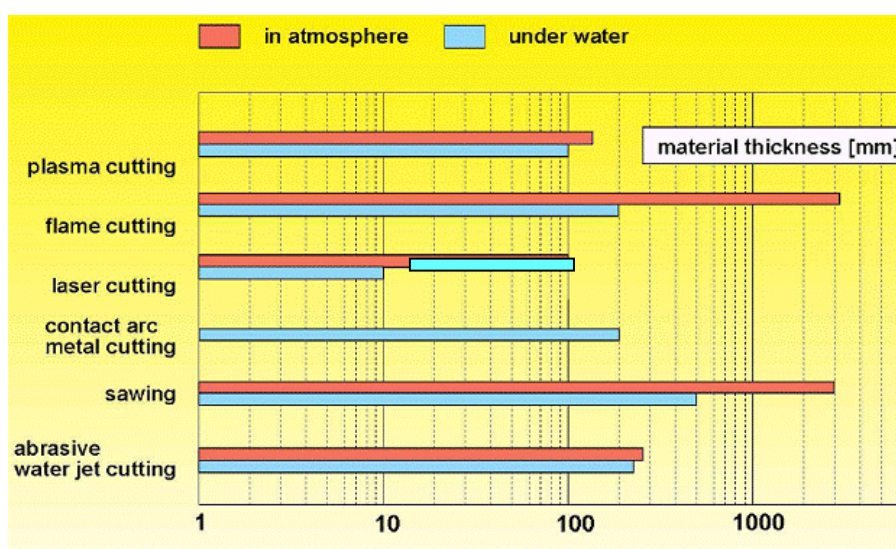
1.1.5 美國除役電廠 RPV 組件切割技術實務經驗反饋彙整表

下列各表是 EPRI 搜集美國各除役電廠 RPV 組件切割技術實務經驗情形。

電廠//切割方法	選擇基礎	整體評估
Yankee Rowe// 電漿	可靠度及速度的驗證	電漿切割高活性材料產生劑量及污染 較大的操作深度及近接能力
Big Rock Point// 電弧金屬分解 水下液壓銑削	工作區域受限	較低活性的 BWR 允許使用機械方法
Connecticut Yankee// 磨料水刀 電弧金屬分解	工作者劑量、空浮污染、 廢料形式及時程	整合測試/設備需要精確度,水質淨化設備不適當
Maine Yankee// 超高壓水刀	不執行熱切割	設備整合測試使得專案成功
SONGS Unit 1// 磨料水刀 電弧金屬分解	切割速度及空浮污染控制	其他電廠的經驗回饋使得項目成功
RanchoSeco // 機械式切割 液壓分離	可靠的設備機械技術	機械切割是可接受的,正確的工具有不可少的

電廠	RPV 組件活性 Ci (Bq)	切割長度 (m)	輻射暴露	廢料體積 (m ³)	過濾流量 (lpm)
Yankee Rowe	0.9 M Ci (3.4 E16 Bq)	爐內組件全部切除	100 rem (1 Sv)	無法比較,除 GTCC 外 所有爐內組件皆以廢料裝運	284
Conn Yankee	3.0 E16 Bq	550 m	2.05 Sv	35.4 m ³	Approx. 950
Maine Yankee	7.4 E16 Bq	355 m	0.5 Sv	48 m ³	3,785
Songs Unit 1	1.4 E16Bq	248 m	0.23 Sv	7.2 m ³	5,700
Rancho Seco	2.7 E15 Bq	切成大塊	0.2 Sv	1,130 ft ³	Approximately 930 - 280

各種切割技術在水下及空氣中可切割金屬厚度比較



1.2 機械方法切割技術和機具

作為上述熱技術的替代辦法，可以採用以機械方法為主的切割技術，如比利時 BR-3 壓水式反應器除役專案，和在瑞典與芬蘭的專案，以及在西班牙的 jose cabrera RPV 內部組件分割專案。

與熱技術相比，機械切割具有許多普遍的優勢。它不產生煙霧，不需要切割或燃氣，這兩者都會將放射性物質帶到水面，導致需要在水面上提供局部通風。產生的任何二次廢物都是以廢切割刀片的形式產生的，其中所需的刀片相對較少，切割刀片是相對較大的碎片，很容易收集，這些較大的切割碎片通過反應器池水分散的可能性較小，從而降低了污染擴散的可能性，更重要的是較不會降低了能見度。以下文分別討論兩種主要的機械分割技術問題。

1.2.1 液壓剪(Hydraulic Shears)

液壓剪是用於切割細長的物品，如金屬棒材或管材切割。液壓剪有能力削減高達 25 毫米厚直徑的鋼實心棒材或 65 毫米直徑的厚壁管。圓形或長方形橫截面可以切割。使用長處理工具進行部署時，剪刀的設計將適合嚴格受限的區域，並且易於操作。在可行的情況下，使用剪切機，因為它們的操作不會產生切割碎片。

剪切具有顯著的優點，即它不會產生切屑或其他切割碎片形式的二次廢物。唯一可能產生的二次廢物是廢刀片（儘管刀片磨損率通常很低，因此刀片不需要經常更換），可能是專案完成後的剪切工具本身（如果無法對其進行除污）。

液壓剪切機主要用於切割反應器內網格的 8 毫米厚的板截面而設計的。該工具由兩個人操作，用於在網格中進行切割，以消除網格結構本身只留下支撐網格的外圈，該支撐網格隨後使用帶鋸切割。

重量約為 40 公斤的輕型剪切工具是供應商 Nike Hydraulics 液壓系統的標準工具。頂部的連接是由 Westinghouse 公司設計的。該工具切割最大尺寸為 90x2.5 mm 的管道和尺寸為 100x8 mm 的扁條。三種不同類型的刀片可以很容易地更換。700 巴(bars)的切削力約為 314 kN。

重剪切工具用於尺寸較大的管材和扁條。重量約 210 公斤的工具已經過測試，並用於切割尺寸為 120x4 毫米的高中子輻射管道和尺寸為 130x10 mm 的平面條。由於切割刀片價格昂貴，刀具最大容量尚未經過充分測試。估計是，尺寸 130x5 毫米的管和 140x12 毫米的扁條，在材料 AISI 304（不銹鋼）可以使用這個工具切割。該工具已被用來切割兩個完整的反應器芯噴嘴上的扁平棒和管，而不需要更換切割刀片。

1.2.2 鋸(Saws)

對於更廣泛和複雜的切割操作，是使用鋸子。有兩種主要類型可供選擇；帶鋸

(用於瑞典的 forsmark 內部) 和圓形鋸 (在比利時 br-3 中使用; 垂直切割是用帶鋸進行的)。

在 Forsmark and BR-3 上使用的帶鋸的設計相似。兩鋸片由一個三面方鋼框架 (第四側是開放的) 與 4 個滾子, 一個在框架的每個角落。鋸片被送入這些滾子, 在這兩種設計中, 都要通過框架開口兩側的刀片導軌。刀片導軌可調節, 以提供鋸片的預張力, 也可以旋轉, 使刀片在切割位置旋轉 90°, 從而使鋸片能夠進行垂直切割和水平切割。切割速度會隨切割材料的厚度而變化。br-3 的切割的速度在 1.65 毫米截面上的速度也在 0.04 m/min 左右。這還不到使用電漿弧切割機在類似路段所能達到的速度的十分之一, 不過, 一旦考慮到製備和廢物管理的時間, 總體效果可能會顯示出較小的差異。

另外, 在比利時的 BR-3, 瑞典的 Forsmark and TVO 核電廠使用圓鋸進行水平切割。鋸子本身安裝在轉盤的固定延伸處。要切割的工件安裝在轉盤上, 並在切割過程中旋轉。鋸子本身可以向下移動, 以便能夠在正確的位置進行切割。它還可以向內移動, 以更深入地切入工件。西屋公司使用的刀具是以 Braun BTS 8 的設備為基礎的。2005 年, 西屋在 TVO 分割中使用了圓盤鋸切, 結果很好。自那時以來, 已經進行了大量的測試, 並在 Forsmark 在 2010-2012 年的分割, 一直是選擇的技術切割蒸汽乾燥器。圓盤鋸切也將用於核心護罩頭的一些切割和核心噴霧支撐架上的幾乎所有切割。

根據切割的要求, 可以使用各種尺寸的刀片。使用較大直徑 (660 毫米) 刀片可實現 230 mm 的最大切割深度, 但任何一次刀路的最大切割量均為 25-30 mm。對於較薄的截面, 切割速度與帶鋸相似, 但與較厚的截面相比速度較慢。還需注意到, 圓鋸產生的二次廢物比帶鋸多, 因為需要較厚的刀片 (6 毫米, 而不是 2 毫米)。瑞典電廠的分割經驗顯示, 圓鋸的切割速度對於 10 毫米板約為 10-200 mm/min 的和 1-200 mm/min 的 50 毫米板。

再者, 管式切割機是用於切割 core shroud head (CSH) 核心護罩頭上的蒸汽分離器管。管切割機插入管中, 並在 CSH 球面上方的特定水平面上從內部和外面切割。為了適應不同尺寸的管道, 可以更換一些零件。所有用於夾緊管、旋轉和強迫切割輪的動力都是液壓完成的。開發和設計是由西屋公司完成的。外徑 280 毫米的 CSH 管, 厚度為 5 毫米, 切割時間約為 20 分鐘。切割輪通常在 4-6 次切後更換。

1.3. 切割作業輔助設備與設施

1.3.1 工作控制中心 (Work Control Systems)

工作控制中心——工作控制中心是所有關鍵系統控制的所在地。預計位置在反應器操作地板或附近。該區域將存儲以下設施: 機械手橋架電腦控制、磨料水刀系統和控制或電漿弧切割系統和控制、電弧金屬分解系統和控制、水過濾系統控制、通風系統控制、廢物管理控制和水下視覺系統控制和監測等。

配電中心——配電中心是所有電源調節和故障發生的地方。它包括所有的電路盒; 變壓器和不斷電供應系統。該中心應盡可能靠近工作控制中心。

1.3.2 機械手橋架 (Manipulator Bridge)

機械手橋架是整個專案中使用的主要工具交付系統。橋架概念是基於西屋用於美國 Onofre SONGS-1 和 Yankee Rowe 核電廠的。橋架是安裝在核燃料池和反應器池兩側的鐵軌上。需要對服務橋架設置進行詳細審查, 以確定是否可以回收, 儘管即使可以, 但它需要在遠離反應池水的地方進行廣泛的改造和測試, 以避免可能會造成這種情況不切實際。設置的機械手有四個運動軸: Y 軸: 橋架沿鐵軌的運動; X 軸: 橫穿橋架的手推車運動; Z 軸: 桅杆的垂直運動; θ 軸: 桅杆在其中心線上的旋轉。機械手橋架提供磨料水刀切割頭或電漿弧形切割機或電弧金屬分解的組件分割。

這座橋架在整個水池跨度上都有一條人行道。人行道允許通過工件進入, 並協助視覺上發現或交付切割頭, 長柄工具或專業索具。事實證明, 這一特點非常方便, 最大限度地減少了在橋道上雜亂無章的電纜和軟管。該橋架選用了兩個電

纜管理載體，X 軸在池的一側與支撐導軌平行運行。Z 軸電纜管理由由 CNC 系統控制的自動軟管電纜捲筒系統提供。這將容納電力電纜、磨料水刀供應軟管、氣體軟管、去礦水線路、視覺系統電纜等。

為將切割器端提供到所需的深度，使用了伸縮桅杆。在全定位下，末端效應器比橋的地板高出約 420 毫米，以便快速更換耗材。在提升桅杆時，會自動操作桅杆周圍的整體沖洗環，防止熱顆粒遷移到橋上。

1.3.3 各種特殊的起重和輔助設備(Specialised Rigging, Material Handling Equipment and Storage Stands)

拆除作業是需要各種特殊的起重和輔助設備。通常，這些結構是由結構鋼或不銹鋼製成的焊接框架。所有設計和施工都按照適用的規範和標準完成。同時所有碳鋼結構都應塗上可接受的 alkyd enamel 漆，以防止腐蝕。

在整個作業中會需要各種階段性或固定臨時材料存放架設置，以便在切割過程中支援，或臨時固定，直到它們可以移動到最終的盛裝位置。

還需要必要的夾緊和夾緊裝置設備設置，以便將切割位置產生物品移動到廢棄物容器。該設備一般包括：標準的板夾、吊鉤、皮帶和電纜元件。此外，還需要設計獨特的工具，以處理標準夾緊裝置未涵蓋的形狀和尺寸獨特的任何物件。

長手柄工具也包含在輔助處理工具中。這些杆柄通常安裝各種夾持器和特殊的鉤子，以操作水下的組件。

此外，也需有電纜和吊索的提升設備設置。每個吊帶將有一個工作負載額定標籤附加。

1.3.4 污染水質淨度控制系統(Contamination Control Confinements)

主要目標是保持反應器和內部池的水暢通，少有放射性碎片。為實現這一目標，在可能的情況下儘量減少切割所影響的水量，並盡可能在接近產生來源的地方捕獲切割碎片。

分割隔間的設施是在大多數切割活動的工作處。該隔間需有基座，使能夠在 RPV 腔地板允許的範圍內分配地板負荷。隔間是連接在基座上的牆壁，並延伸到水面以上。這些牆體的設計將在需要時實現最大的可靠性和更換的便利性。隔間的一側有一個可遠端操作的門，以便輕鬆地將分段件轉移到廢棄物容器中。由於減少切割後要處理的水量，可以很容易地恢復水的淨度。

對於每個切割機具下可能時設置一個收集碎片盒。盒上設有軟管連接點，用於連接到水過濾系統。

1.3.5 水下視覺和照明系統(Video Monitoring System and Lighting)

水下視覺系統是由水下燈和攝影機組成，這些燈和攝像機是監測切割過程和切割設備定位所必需的。

一般區域燈將放置在水池周圍，以適應支援活動，如更換濾清器和內襯板轉移。所有燈具應使用壽命長，高流明型(lumen models)，以減少燈泡更換的頻率。關於相機系統的功能設置需採用可在水下作業及耐輻射的攝像機。其配置應安裝在輔助垂直桅杆元件上可平移和傾斜。攝像機應具有可遠端對焦和縮放(放大)功能，包括 slimline 和 90° 反射鏡，以便於進入低間隙區域。

另外，有遙控主控台的設置用於存放視頻監、攝影機控制、照明控制和錄影機，以利於監控和記錄切割和處理操作情形。

1.3.6 切割渣屑水淨度過濾系統(Water Filtration System)

在進行切割作業時，需將形成混濁水質加以處理以維持清晰度，期掌握切割環境和機具活動情形的可見度，此即需設置水過濾系統，同時，它必須保持低濃度的不溶性和可溶性核種在反應器水內，以保持劑量 ALARA 水準；最後，該系統產生的廢棄物必須符合最終處置可接受的形式和濃度。

水質清晰度保持的濾清系統是使用雙旋風分離器(dual cyclone separators)組成的固體分離系統，然後再經由三組 1 微米濾柱的反洗過濾器處理。濾清器中的液體是利用吸收劑/脫礦劑進行去除可溶性放射性核種的去除和化學控制。淨化後的水再導回反應器池內。

切割作業會產生的廢棄物可能包括；金屬渣屑、污染磨料、廢離子交換樹脂、顆

粒活性炭和濾芯。所有廢物需轉移到盛裝容器，並在運輸和處置前按照廢棄物接受標準脫水。

若切割作業採用磨料水刀切割技術，則對於磨料去除要求為連續式捕捉槽水中的耗用磨料，以消除清理停機時間並最大限度地提高作業效率。磨料去除系統的選擇是基於水中捕捉罐的面積和切割頭的數量。美國 Ebbco Inc. 公司磨料去除泵的保修期為 1 年或 2000 小時。經由使用磨料去除與閉環路過濾系統將減少耗材成本。

1.3.7 逸氣收集/過濾系統(Off-gas Collection/Filtration System)

逸氣收集系統的目的是確保與分割過程有關的潛在污染氣體不會從反應器腔逸入圍阻體。吸氣罩是懸掛在水面上方，並盡可能放置在被切割物件的上方，以捕獲上升的氣體。有了這樣的安排，空氣就會被拉到吸氣罩上。作業產生的煙霧經由吸氣罩被連接到兩個高效顆粒空氣 (HEPA) 過濾系統的管道中。每個過濾單元包括一個前置過濾和一個絕對 HEPA 過濾器和抽風機。

2. 反應器壓力容器槽體切割(Reactor Pressure Vessel Segmentation)

在美國，大多數大型反應器容器槽體(RPV)，如 Big Rock Point, Yankee Rowe, Maine Yankee and Trojan, 都直接移除放進運送箱，因此沒有進行分割和包裝處置。在歐洲核電廠進行分割的方法，有三種主要的技術：熱切割，機械切割和磨料水刀切割，分別說明如下。

2.1 熱切割技術

由於反應器壓力容器的厚度約達 200 mm 以上，使用的熱切割技術是氧燃料氣體切割(oxy-fuel cutting, OFC)。氧燃料氣體切割技術是利用氧氣在高溫下與金屬的化學反應來切斷或去除金屬。

氧燃料氣體切割機是一種多功能工具，可隨時帶到工作場所。它是用來切割板厚高達 500 毫米。由於切割氧火炬具有 360°切削刀，因此它提供了一種快速的方法，可將直邊和曲線形狀物品切割到所需尺寸，且無需昂貴的搬運設備。切割方向可在運行過程中不斷改變。英國的 WAGR 核電廠就是使用氧燃料切割對反應器容器進行分割。

預熱火焰被用來將金屬加熱到與切割氧氣發生反應的溫度。氧氣射流在狹窄的部分迅速氧化大部分金屬以進行切割。金屬氧化物和熔融金屬被氧氣流的動能從切割中排出。以適當的速度在工件上移動火炬會產生連續的切割動作。火炬可以手動移動，也可以由機械化車廂移動。下表是典型氧丙烷切削速度隨材料厚度的變化情形。

Plate thickness mm	Approximately cutting speed mm/min
430	6
360	13
280	25
250	50
200	75
150	100
130	150

熱切割的優點包括：1). 熱分割比機械切割要快得多；2). 機具移動組件的數量最小，從而減少了因磨損而需要更換的部件。切割頭的維護通常是從高輻射區域取出工具進行更換的；3). 切割方式靈活。切割設備或要分割的材料可以旋轉或遠端控制，以執行分割。但熱切割的缺點包括：1). 由於使用了氧燃料供應，熱切割火災風險較高，需要額外的監測和控制；2). 熱分割會產生空氣中的放射性，這就需要使用 HEPA 過濾通風和安全系統。在英國的 WAGR 氧燃料切割作業過程產生

的煙霧沒有造成重大問題。

2.2 機械切割技術

使用機械切割機切割反應器容器，是使用圓鋸和帶鋸。比利時的 BR-3 壓水式反應器容器進行的分割，在水平切割是用圓形鋸完成的，垂直切割是用帶鋸進行的。目前，西屋公司也用機械技術切割西班牙 Jose Cabrera RPV。法國 chooz a RPV 的切割作業也進行中。

在 BR-3 切割過程中發現從容器外切割的圓鋸，因為支撐框架太弱，無法處理產生的反作用力。因考量從容器內部進入比從外部進入更容易的事實，需建造一個框架，於 180° 的情況下相互支撐兩個鋸子。這在兩個地點一次切割，並使兩鋸能夠相互反應。使用水平圓鋸切的速度在每分鐘 21 至 41 毫米之間，帶鋸的垂直切割速度在每分鐘 4.7 至 22 毫米之間。就實際花費的時間而言，實際切割共採用了 154 個班次。

機械切割技術的主要優勢是沒有任何煙氣生產，這在空氣污染方面具有好處。而明顯的缺點是切割速度，如 BR -3 容器的大部分厚度為 114 毫米，法蘭是較厚的 356 毫米截面，底部圓頂有 63 毫米厚。在水下進行分段，這導致能見度問題。

2.3 磨料水刀切割技術

德國的 Wuergassen 核電廠的 RPV 槽體厚度為 137mm，約 500 cm 的長度切割技術是在大氣中採用 2000 bar 磨料水刀，速度為 20mm/min，總共重量 320 噸切割為 13 環帶成為 252 件。另外槽體法蘭厚度為 425mm 是使用帶鋸垂直切割為 56 塊。所有工作是以遙控方式操作。

3. 大型組件的拆除

大型組件的主要拆除作業包含：主環路中的泵、調壓槽、蒸汽產生器的分割。這些組件和管道之前需先移除所有隔熱保溫物料。西班牙的 José Cabrera NPP 的大型組件拆除作業，其中，對於主泵組成構造的不同部分需先拆除，相關元件的切割利用熱機具或金剛石索切割方式，取決於其輻射特性；對於調壓槽的拆解序列為調壓槽的吊移，移送到汽機廠房以熱方法進行其槽殼的切割作業等工作；至於蒸汽產生器因體積很大，它需要被分割成幾塊；而二次側環路是利用熱切割技術。

4 大口徑管道工作的分割(Large Diameter Pipe Work)

大口徑管道工作的分割一般會根據要切割的管道的輻射條件和周圍的工作區域來選擇首選技術。對於較高的劑量率區域，通常最好使用可在管道上快速設置機具的技術，然後由從較低劑量率區域的除役人員遠端操作。有兩種主要的切割機具使用：機械切割，氧燃料切割，分別說明如下。

4.1 卡氏軌道切割機(Clam Shell Pipe Cutter)

卡氏軌道切割機，是切割高放射性管道和反應器容器噴嘴的理想選擇。從輻射的角度而言，因為它們不會產生空輻或煙霧。它們也能迅速安裝，並允許操作人員在切割過程中離開工件，從而避免不必要的劑量。切割機需要有在管道周圍進行 180 毫米的徑向間隙，以便刀具有能在管道周圍移動並進行切割。

從安全的角度而言，切割機不會產生火焰，因此不需要消防人員。與熱切割設備相比，它們也便於使用，並能快速培訓操作人員使用。對於在較低劑量率區域的切割工作，卡氏軌道切割機並不太適合，而且切割速度不如電漿和氧燃料切割機快。

4.2 氧燃料切割

對於較大的管道工作尺寸，氧燃料切割往往比電漿切割機更有效率，儘管它產生更多的煙霧。據指稱，氧燃料切割的速度為每米管道工程需 0.65 小時。

5 小口徑管道工作的分割(Small Diameter Pipe Work)

5.1 機械切剪(Mechanical Shears)

機械液壓切剪機是一種適用於小口徑管道和其他類似尺寸鋼支架、零件等切割的工具。它們是作為一種替代更常見的往復式刀片切割機而開發的。有許多不同的設備可用。The Mega-Tech Services Inc. Blade Plunging Cutter BPC-4

在 Big Rock Point BWR 除役期間廣泛使用。它是一種液壓動力切割工具，能夠切割 75 毫米管材以上。它有一個 100 毫米的刀片，是一個活塞強迫俯衝切割機。該裝置的工作壓力在 344-413 巴 (5, 000-6, 000 psig) 之間。液壓動力裝置需要 3 相 440v ac/2 安培，重量為 159 公斤，可以遠端定位。切割機重約 13 公斤，長 710 毫米。它需要一位操作人員。

這種切割機的優點是，它提供了比往復式鋸等其他管道切割方法更高的速度。它也不會產生金屬切屑或其他切割碎片形式的二次廢物。它也比其他設備更安全、更安靜。

5.2 可攜式鋸刀 (Portable Saws)

可攜式往復式鋸使用硬化鋼鋸刀片來切割金屬。可提供將直徑不超過 300 毫米的管道切割。200 毫米管通常可以在 6-8 分鐘左右完成切割；據經驗，這種鋸每直徑 (2.54 釐米) 需要一分鐘。這種類型的工具的主要優點是沒有熱切割產生的煙霧。鋸刀通常用於切割軟金屬，如碳鋼、鋁或銅。鋸子可以將其夾緊在工件上並使用設備的重量將其推進到金屬中來操作。鋸可以是電動的，也可以是氣動的，可以設置在沒有操作人員的情況下運作。

6 其他鋼結構 (Other Steel Work)

其他鋼結構的分割，一般會使用上面討論的一種或多種熱或機械技術進行。最終的選擇一般取決於要切割的鋼結構的位置和大小。在表面有污染的鋼結構，可在拆卸前使用噴塗塗層來固定污染，以最大限度地減少空氣中的污染。據報告，除鋼速率約為每噸受污染鋼材 11 小時。

7 通風管道拆除 (Ventillation)

受污染的通風管道需先噴灑污染固定噴塗塗層，然後解除管道部分的螺栓進行拆除，之後將取出的部分壓扁，以進行包裝。屬於清潔或非常輕微污染的管道可以予以擦拭清潔，以符合外釋回收標準。

8 電纜拆除分割 (Cables etc.)

首先需將電纜與系統安全隔離，然後使用重型電纜切割器將其分割為適合根據需要進行處置的長度，從而將分段電纜和電纜託盤等移除。即使在污染相對較高的地區，塑膠護套電纜也提供了回收價值相對較高的廢料的機會，因為銅纜本身受到塑膠的保護。後續利用電纜外層和銅線自動分離機處理，充分回收銅線。

9 表面污染混凝土去除 (Surface Concrete Removal)

在發電廠房內的不同地方，被污染的混凝土表面需要清除。其需要各種移除技術。這主要包括兩個類別：1). 去除混凝土表層的技術；2). 清除大塊混凝土的技術，例如在污染滲透相當深的情況下，必須清除整個結構。據知，已有各種各樣的表面混凝土拆除技術，獲得相當程度的成功。在某些情況下，對這些技術進行了調整，以提供適合大面積區域的快速技術和適用於較小規模、較慢的技術。各種技術分別說明如下。

9.1 手動操作技術 (Manual Techniques)

對於表面污染混凝土去除的需求簡單的技術，如刷洗、洗滌和擦洗以及真空清洗，已被廣泛使用。這些技術一般是勞動密集型的，有可能增加工人的劑量，但它們的優點是用途廣泛，混凝土表面保持不變。它們可以有效地對非常輕微污染的混凝土清除。在某些情況下，它們可能會消除大部分污染，只留下一些較小的區域，需要使用簡單的磨料砂輪或手動操作的技術之一進行機械去污。

9.2 高壓水刀清洗 (High Pressure Water Washing)

這種技術設備是由泵提供的掌上型長矛，在壓力下輸送水；壓力取決於所使用的設備的確切類型，但通常在 3 500-350 千千帕 (35-3500 巴) 之間。該技術適用於去除表面或近表面污染，特別是在上述人工技術無法接觸到表面或表面太大，無法輕易或經濟地應用人工技術的情況下。

這項技術使用的水會產生二次廢物。這些水需要收集，控制處理，並分離出固體廢棄物。通常每使用 1 000 升水，會產生 1 升固體材料。為防止作業時產生污染水氣的擴散，作業區域應該與周圍區域隔離，並設置處理排放污染水汽裝備。

9.3 刮板剷除機(Scabbling)

刮板剷除機是很方便用於剷除混凝土表面。最常見的類型包括安裝在輪式底盤上的3到7個剷除片。剷除機鑽頭有碳化鎢機，在正常使用條件下，鑽頭的工作壽命約為8-100小時。提供電動和氣動驅動的機器。由於剷除作業可能會造成交叉污染，設備裝置中通常包括真空附件和輻射屏蔽配置，同時，也設置有空氣過濾系統。刮板最適合去除受污染混凝土(包括混凝土砌塊)和水泥的薄層(厚度不超過15或25毫米)。

實際上，在大面積地板的剷除機只能移動到距離牆面約50毫米的地方。因此，還需要其他可攜式工具，以去除牆邊最後50毫米的混凝土地板，並拆除牆壁的表面混凝土。下表顯示剷除深度與作業速度的相對情形。

Removal Depth (mm)	Production Rate (m2/h)
4.25	2.78 - 3.72
6.35	1.30 - 2.23
12.70	0.65 - 1.12
25.40	0.28 - 0.56

據稱典型的設備 Pentek Moose system 它可以在 2.5 毫米的混凝土去除深度下在 40 m2/h 之間進行剷除(在增加的清除深度下速度較慢，例如在美國 Argonne National Labs 的作業，於 3.2 毫米為 12.1 m2/h)。

9.4 針型剷除刀 (Needle Scaling)

針型剷除刀通常由氣動驅動，並使用 2-3 或 4 毫米針頭，以獲得所需的輪廓和性能。針套使用往復作用來切碎表面的污染。大多數工具都有專門的遮擋和真空附件，以收集針頭結垢過程中清除的灰塵和碎片，其結果是空氣中的灰塵濃度沒有明顯增加到高於正常水準。

針型剷除刀是一個很好的工具，在難以進入的區域(如管道穿透，角落等)，也可用於牆壁和天花板表面去汙。這種技術是一個乾燥的去汙過程，不會將水、化學品或磨料引入廢物流。只收集被清除的碎片進行處理和處置。使用 44.5 毫米寬切割頭 (Pentek Corner Cutter needle gun) 的 1.6 毫米去除深度速率在 1.8-2.8 m2/h 之間。

9.5 混凝土地板剷削刀(Concrete Shaving)

混凝土地板剷削刀在外觀上類似於輪式剃鬚刀。The Marcris Floor Shaver 它有一個快速更換鑽石傾斜的旋轉切割頭。實際剷削性能結果為:1). 與 scabbling 技術相比，地板去汙的平均工作率更高;2). 由於沒有機器振動，操作人員的物理負荷要小得多。地板剷削刀還可以安裝在液壓臂上，用於剷削牆面。

整個系統是由多個部分組成的，由一位操作人員進行運作。它以可控和無振動的方式去除混凝土層，去除深度可控制在每1至15毫米之間，從而產生平滑的表面光潔度。切割頭的設計有 300 和 150 毫米寬的剃鬚刀頭可用，大面積和困難角落都可以使用。

9.6 表面污染混凝土清除技術彙整表

下表提供了上述各種表面混凝土清除技術的彙總。

<u>Technique</u>	<u>% Contamination Removed or Layer Thickness removed (mm)</u>	<u>Production Rate (m²/h) (machine working time)</u>	<u>Operating Resources</u>	<u>Secondary Waste Produced</u>
Manual Techniques	~20% Nil layer	2.8	2 labourers	Cloths etc. 0.005 m ³ /h or 0.014 m ³ /m ²
High Pressure Water washing	~25% for hard to remove contamination. Higher for loose surface contamination.	Up to 34	1 operator 2 labourers	Water 0.05 m ³ /h or 0.0054 m ³ /m ²
Floor/Wall Scabblers – manually operated (1 head)	1.5 mm	1.13	1 operator	HEPA Filters for dust vacuum system, removed concrete dust
Floor Scabblers – Manually operated (5 Heads)	3 mm	2.5	1 operator	HEPA Filters for dust vacuum system, removed concrete dust
Floor Scabblers – Remote Controlled (7 heads)	3.1 mm	12.1 (plus 2.5 h set time per location)	2 operators	HEPA Filters for dust vacuum system, removed concrete dust
Wall Scabblers (3 heads)	3 mm	4.6	--	HEPA Filters for dust vacuum system, removed concrete dust
Needle Scaler	1.6 mm	1.8 – 2.8	1 operator	HEPA Filters for dust vacuum system, removed concrete dust
Floor/Wall Shaver	3 mm	11.9	1 operator	HEPA Filters for dust vacuum system, removed concrete dust

10 大塊混凝土的清除(Bulk Concrete Removal)

對於像生物屏蔽體或整個混凝土結構的拆除,有下列技術可使用,分別說明如下。

10.1 金剛石索鋸(Diamond Wire Saw)

金剛石索鋸切割是用來去除鋼筋混凝土塊。如果需要乾淨地拆除混凝土,或維持在空氣中最少污染的情況下,這種技術是特別合適的。安裝在車上的裝置驅動著一根帶鑽石浸漬珠子的電線。通常情況下,三個或四個珠子由安裝在較小的固定珠子之間的彈簧固定在適當的位置。每米索線大約有 11 毫米直徑的珠子。鋼絲鋸擅長用金屬嵌入混凝土切割,如鋼筋,前提是要切割的材料是實心的(在切割過程中沒有可以移動的空隙或截面)。

為了切割大塊結構,金屬索鑽入直徑約 50 毫米的結構孔中。對於較小的結構,可以在結構周圍完全傳遞索線。除了其他實際因素所確定的情況外,並沒有切割深度的限制。

切割作業時需要引入水,能有防塵的作用,也可以作為刀片的潤滑劑。由此產生的水/混凝土粉塵混合物是一種二次廢棄物,需要管理。在有活性污染的混凝土切割的情況下,需建立系統收集、過濾和回收切割過程中使用的大部分水。

下表提供有關金剛石索鋸切割機的資訊。

<u>Item</u>	<u>Diamond Wire Saw Cutter</u>
Capacity/ performance	<input type="checkbox"/> - No real limit other than that set by the practicality of Equipment positioning, wire routing etc.
<input type="checkbox"/>	- Drilling of 50 mm diameter holes for wire saw blade access = up to 1.0 m per hour per unit
<input type="checkbox"/>	- Approximately 2 hours to set up wire saw equipment for each cut
<input type="checkbox"/>	- Wire sawing up to 1.0 m ² per hour
Secondary Wastes	- Slurry consisting of cooling/lubricating water and concrete debris
<input type="checkbox"/>	- Water flow rate for wire sawing = 10-15 litre/min
<input type="checkbox"/>	- Spent saw blade consumed at approx. 1 m wire per 0.5 m ² of cut

10.2 撞擊和粉碎技術 (Impact/Crushing Techniques)

在不需要鑽石索鋸的情況下，也可以使用傳統的拆除技術，如撞擊和粉碎技術。這些技術使用擊錘（錘子或氣動鑽頭）和混凝土斷口的組合，通常安裝在 Brokk demolition machines 拆卸機的小型挖掘機上。

撞擊錘通常以每分鐘高達 600 次的速度撞擊表面，每次打擊可提供高達 2 700 nm 的力。該技術在許多除役應用中得到廣泛的應用，這主要是因為它的通用性和低成本。在使用這些技術時，有一些噪音污染和灰塵產生的問題，這些問題可能導致空氣中的污染。需使用合適的人員防護設備和使用水霧劑減少灰塵，以減輕對人員的影響。

11 切割方法機具的選擇與彙整

美國 EPRI 對於切割方法機具的選擇，提出幾點重要參考意見：

- 1). 在污染程度方面：-高污染的系統切割通常：低能量（冷）的方法如
 - 軌道式切割機
 - 手提帶鋸
 - 剪切機
 -固定管道內部污染方法如注漿或塗抹也可以用
- 2). 管道尺寸(一般方法):
 - 大管道(>30 cm 直徑)—氧燃燒切割機或軌道式切割機
 - 中型管道(10 to 30cm 直徑)--氧燃燒切割機或手提帶鋸
 - 小管道(< 10 cm 直徑)—剪切機

又，依據數位專家在報告” OECD, Dismantling Techniques, Decontamination Techniques, Dissemination of Best Practice, Experience and Know-how , 2009 “ 中，也提供了選擇除役拆除技術和機具的彙整資料如下圖所示：

拆除物件類別	HDCT	COBO	PLSM	OCHC	MSW	OACT	PLHC	MNOC	MAND	MAPL	GROC	GRPL
Piping (SS), diameter =< D25 mm												
Piping (SS), diameter over 25 mm												
Piping (CS), diameter =< D25 mm												
Piping (CS), diameter over 25 mm												
Tanks (SS)												
Tanks and containers (CS)												
Heat exchangers (SS)												
Heat exchangers (CS)												
Pumps (SS, CS), mass <= 50 kg												
Pumps (SS), mass over 50 kg												
Pumps (CS), mass > 50 kg												
Ventilators (SS, CS), mass <= 50 kg												
Ventilators (SS), mass > 50 kg												
Ventilators (CS), mass > 50 kg												
Valves (SS)												
Valves (CS)												
Electric motors, mass <= 50 kg												
Electric motors, mass > 50 kg												
Air conditioning components - piping (SS)												
Air conditioning systems others (SS)												
Air conditioning components - piping (CS)												
Air conditioning systems others (CS)												
Air conditioning systems, (AI)												
Electrical cables & conductors												
General electric equipment, (CS) mass <= 50 kg												
General electric equipment, (CS) mass > 50 kg												
Thermal insulations, non-metal covering												
Steel constructions, (CS)												
Small piece components, shielding (CS)												
Hoisting equipment (CS), electrical tackles												
Digestors, sampling boxes (CS)												
Piping throughputs, gulleys												
Hermetic and shielding doors (CS)												
Stainless steel linings, (SS)												
Carbon steel linings, (CS)												
Other general equipment												
Casing of technological equipment (CS)												
Casing of technological equipment (SS)												

Note:表中所示技術英文簡寫為:

- HDCT-- Hydraulic shears cutting (油壓剪切)
- COBO-- Core boring (爐心鑽孔)
- PLSM-- Plasma cutting (電漿切割)
- OCHC-- Oxygen cutting - hydraulic cutting(結合技術)
- MSAW-- Mechanical cutting by saw (機械鋸)
- OACT-- Oxygen cutting (oxygen - acetylene cutting) (氧乙炔)
- PLHC-- Plasma cutting - hydraulic cutting(結合技術)
- MNOC-- Manual dismantling - oxygen cutting(結合技術)
- MAND-- Manual dismantling (by tools) (手工)
- MAPL-- Manual dismantling - plasma cutting(結合技術)
- GROC-- Grinding(研磨) - oxygen cutting(結合技術)
- GRPL-- Grinding - plasma cutting(結合技術)

參考資料

1. 陳勝朗,核能科技協進會,核電廠除役技能和廢料管理叢書(計9冊),2018
2. 黃志中、任天熹、楊慶威,核能研究所,放射性物料管理局委託研究計畫研究報告,核設施拆除方式及技術發展之國際資訊研究,民國102年12月
3. Jan Jordin, Westinghouse Electric Swenden AB, Dismantling Techniques,2014
4. Gundremmingen KRB-A Dismantling Activated Components Remote Handling Techniques in Decommissioning, (2011)