

## 圖說

# 核電廠除役案例

-西班牙 José Cabrera 核電廠-

陳勝朗 編譯

[johnslchen@yahoo.com.tw](mailto:johnslchen@yahoo.com.tw)

0912 250 780

核能科技協進會 首席顧問

2021.10

西班牙 José Cabrera 核電廠全景

# 內 容

1. 前言	3
2. 除役專案作業階段及里程碑	10
2.1. 除役作業階段的劃分	11
2.2. 除役專案拆除工作里程碑	13
3. 拆除作業執行結果重要資料	14
3.1. 輻射防護及安全	14
3.2. 拆除物料管理	14
3.3. 綜合資訊	15
4. 除役作業程序	16
5. 拆除準備作業	18
5.1. 用過核燃料存貯設施設置	18
5.2. 除役的前置主要準備作業 與工程	20
5.3. 廠址設施輻射特性調查	23
5.4. 拆除作業準備	25
5.4.1. 掛卡作業	27
5.4.2. 電力系統的修改	27
5.4.3. 水源的連接和機械系統的 設置	27
5.4.4. 消防保護系統的強化	28
5.4.5. 通風系統的修改	28
5.4.6. 汽機廠房改建為除役輔助 設施	29
5.4.7. 放射性廢物貯存區域 功能升級	34
6. 常規及一般設施的拆除作業	35
6.1. 冷卻塔的拆除	35

6.2. 柴油發電廠房的拆除	35
6.3. 變壓器的拆除	35
6.4. 控制室的拆除	35
7. 高輻射設施拆除作業	36
7.1. 準備作業	36
7.2. 反應爐內組件及壓力槽的分割 和整備	38
7.3. 切割廢料整備	45
7.4. 除役輔助廠房(DAB)的運作	49
7.5. ILW (GTCC)類廢棄物的處理	50
7.6. 大型組件的拆除	52
7.7. 主泵的拆除	53
7.8. 調壓槽的拆解序列	54
7.9. 蒸汽產生器的切割	56
7.10. 其他系統和組件的拆卸	57
7.11. 污染金屬除污	59
7.12. 建築物的除污和拆除	60
8. 廠址復原作業	64
9. 拆除物料管理	67
10. 安全文化與品質保證	71
11. 輔助的政策措施	72
11.1. 監管機關的管制	72
11.2. 訓練	73
11.3. 宣導及溝通	74
11.4. 國際社會關注	75
12. 其他經驗回饋	76
13. 經費估算	78
<b>附錄</b> 陳勝朗 顧問 編撰有關除役技能 和核廢料管理參考報告清單	79

# 1. 前言

西班牙 José Cabrera NPP 為壓水式(PWR)核電廠，輸出功率160 Mwe.。廠址位於西班牙 Almonacid de Zorita (Guadalajara)。電廠自1968年開始運轉至38年(2006)後停止。在2010年，Enresa 公司成為核電廠的經營者。

Enresa 為負責這項除役工作的公司，在處理這一具挑戰性專案，其成熟程度，是基於利用之前在 Andújar 鈾鍊製廠除役期間獲得的專門知識以及拆除 Vandellós I 核電廠和若干其他CIEMAT核設施，包括實驗反應器廠和用過核燃料先導廠。這些專案累積經驗允許 Enresa 在西班牙發展和穩固拆除方法和技術的發揮應用。

Enresa 負責本核電廠的除役，包括對於放射性廢棄物的安全管理和廠址清理恢復工作。執行的工作包括反應槽內組件的分割，切割的操作方式，是使用完全自動化的機械鋸在水下進行。設施除役切割後產生的放射性廢棄物，先放置在四個大儲存箱，並運送到廠址旁的獨立用過燃料貯存設施內存放。該廠的完全除役工作，需待低中階放射性廢棄物未來運往在 Córdoba ElCabrill 最終處置中心的設置完成後。有關用過核燃料，以及部份反應爐高活度的切割物料，另外需要轉運到 Villar de Cañas (Cuenca) 的中央臨時存儲(CTS)設施。

本報告主要說明 José Cabrera NPP (也稱 Zorita NPP) 在除役專案中完成的主要拆除作業階段之活動和過程。報告內容上主要是以圖像描述方式，展現由 Enresa 在 2010年至2019年間的拆除工程情況。

## 參考資料

1. Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (enresa) S.A. , Report On the Jose Cabrera NPP Performed Activities ,2010-2015
2. Enresa , Experiences and lessons learned: Jose Cabrera NPP Decommissioning Project, Supporting European Expertise in Nuclear Decommissioning ,23 Jan. 2018
3. Emilio García, Jorge Borque, Adolfo Abreu ENRESA, Comparison of estimated and actual decommissioning cost of José Cabrera NPP, International Conference on the Financing of Decommissioning Stockholm, 20-21 September 2016
4. Cristina CORREA SÁINZ.Enresa, Decommissioning Licensing Process of Nuclear Installations in Spain, 2016

# 西班牙除役經驗

## 策略：西班牙 核能推動情景

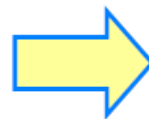
除役任務職責

財務考慮問題

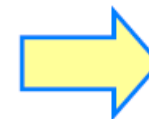
除役廠址最終樣貌需求

放廢最終處置場：

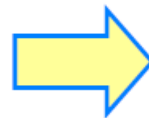
- LLW
- ILW
- VLLW
  
- HLW
- Graphite



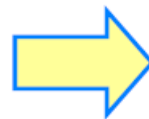
• Enresa  
放廢管理計畫



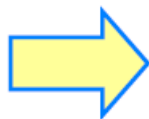
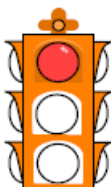
• Enresa's Fund



• 綠地



• El Cabril



• 選址中 /  
建設

- PWR (160 MW)
- 37 years in Operation.
- 2006: definitive shutdown.
- 2006-2009: Transition period.
- 2010: Start of execution of decommissioning project .

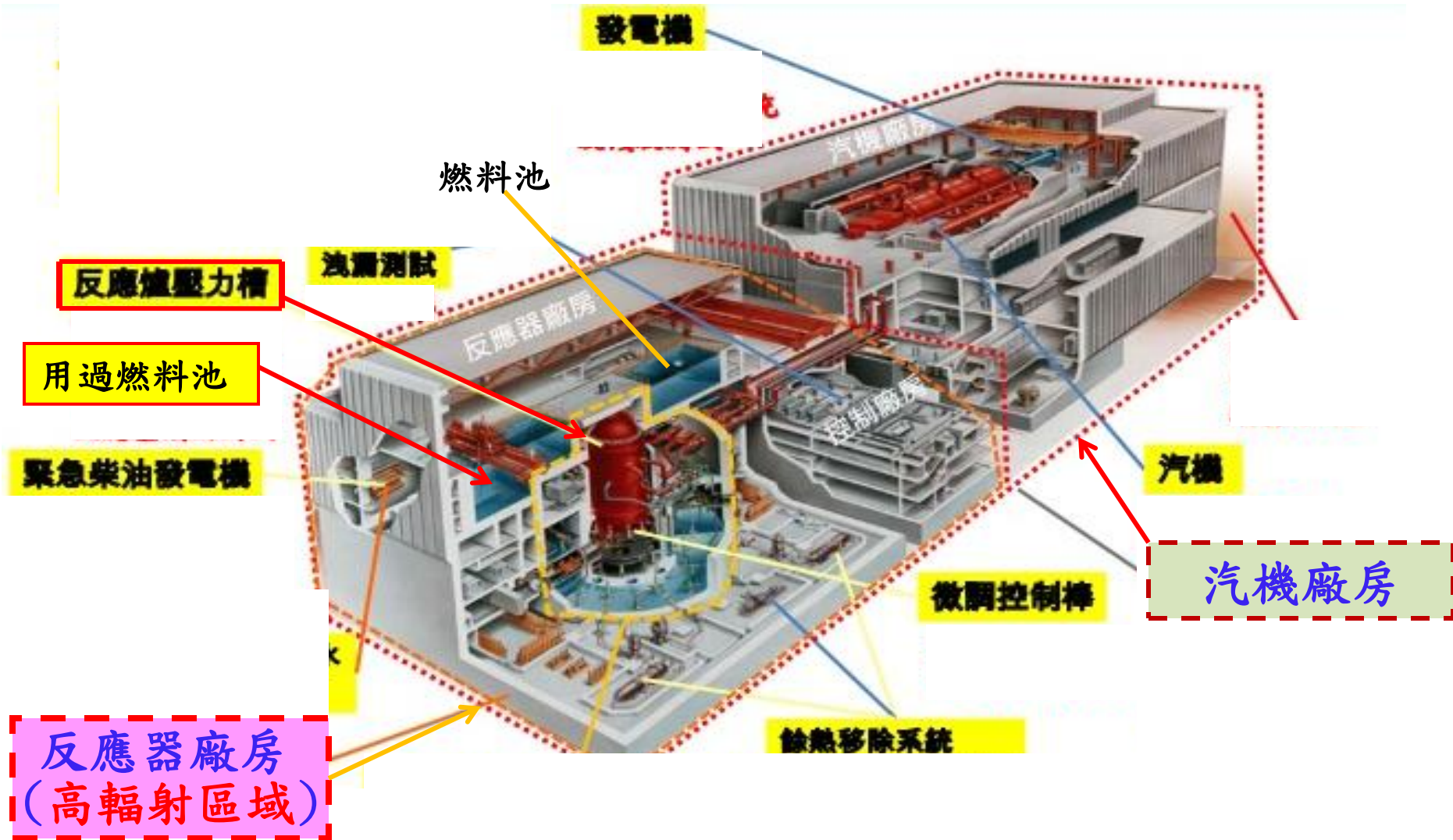


反應器廠房

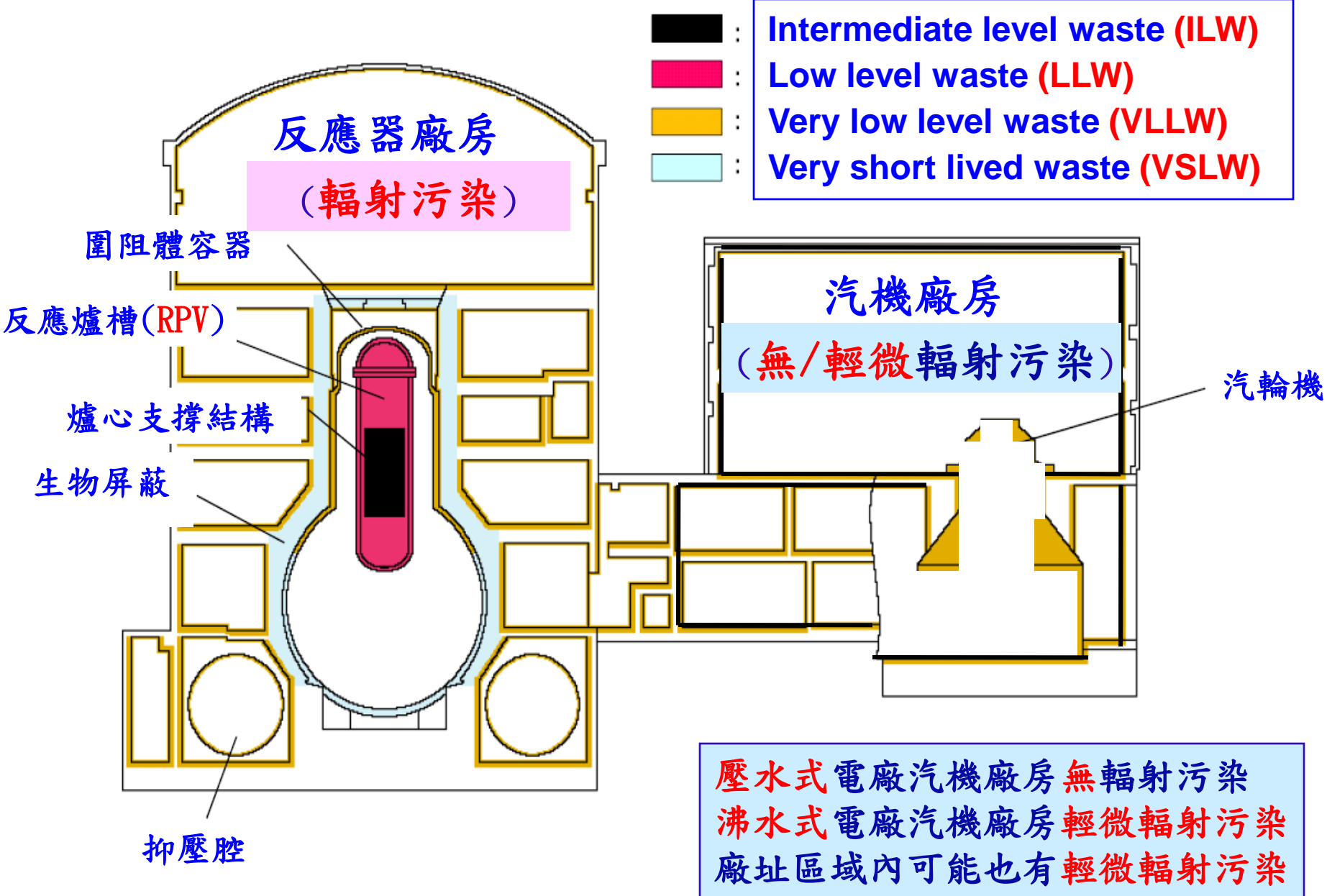
汽機廠房

Jose Cabrera 核電廠全景圖

# 壓水式核電廠(PWR)廠房剖面示意圖



# 廠房區域可能輻射污染特性範圍示意圖

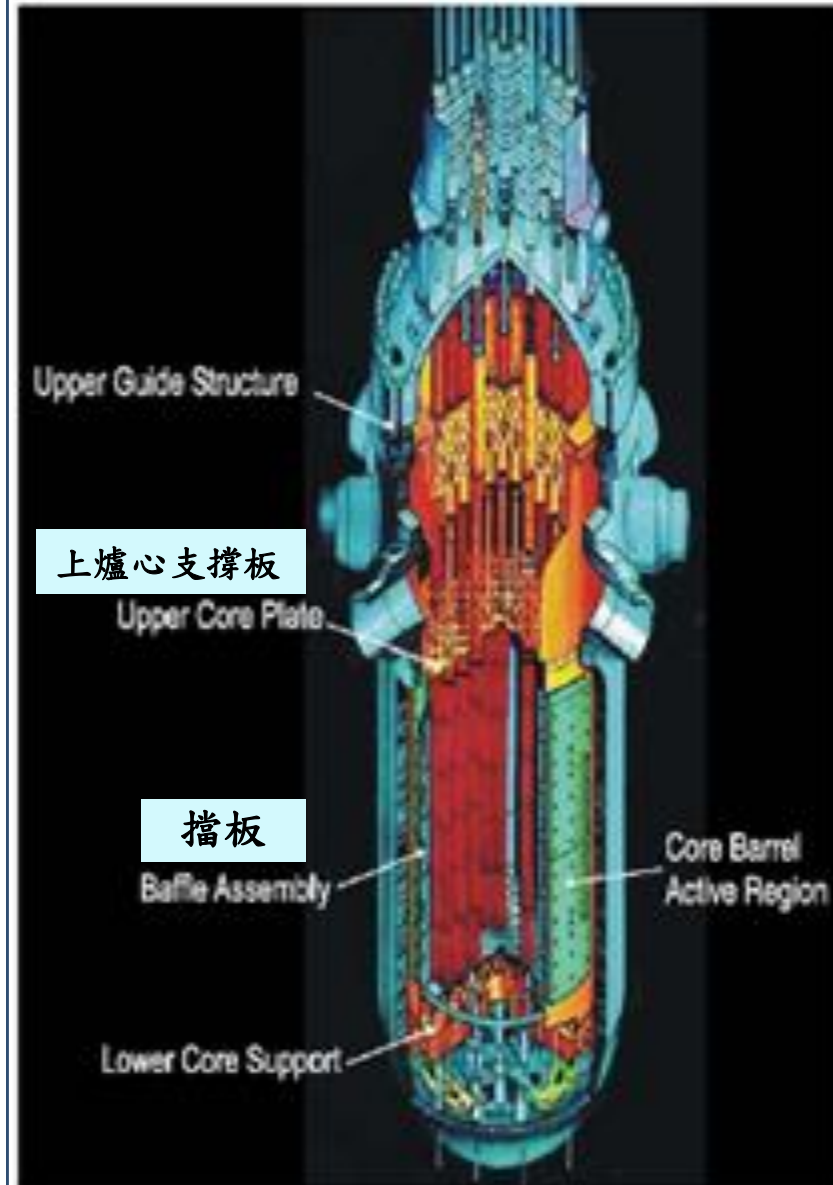


# PWR 核電廠 RPV 拆除組件 重量和放射性廢物活度特性

## Component Characterization Summary

Component Name	Total Weight (Pounds, lbs)	Activity (Curies, Ci)	Co-60 Activity (Curies, Ci)
<b>ILW (GTCC)類放射性廢棄物</b>			
Baffle Plates	8.88E+03	1.95E+05	1.16E+05
Core Formers	3.22E+03	7.95E+04	3.82E+04
Center Section of Core Support Barrel (78 inches)	1.57E+04	3.93E+04	2.33E+04
Lower Core Support Plate	9.00E+01	2.73E+03	1.62E+03
<b>GTCC Totals</b>	<b>3.15E+04</b>	<b>3.34E+05</b>	<b>1.88E+05</b>
LLRW Shipped Intact Within Reactor Vessel			
Upper Internals Region	5.69E+04	9.07E+02	5.82E+02
Core Region Internals	8.97E+04	3.81E+04	2.35E+04
Lower Internals Region	2.42E+04	3.44E+03	1.73E+03
<b>LLRW Internals Subtotal</b>	<b>1.71E+05</b>	<b>4.24E+04</b>	<b>2.58E+04</b>
Reactor Vessel Assembly			
Reactor Vessel	5.31+E05	1.40E+03	3.63E+02
Reactor Vessel Insulation	1.13E+04	5.20E+00	3.41E+00
Closure Head	1.31E+05	<<1	<<1
<b>Reactor Vessel Assembly Subtotal</b>	<b>6.74E+05</b>	<b>1.41E+03</b>	<b>3.66E+02</b>
<b>Total for Vessel Package</b>	<b>8.44E+05</b>	<b>4.38E+04</b>	<b>2.61E+04</b>
<b>Grand Totals</b>	<b>8.76E+05</b>	<b>3.77E+05</b>	<b>2.14E+05</b>
<b>Grand Totals (S.I. Units)</b>	<b>3.98E+05 kg</b>	<b>1.39E+16 Bq</b>	<b>7.92E+15 Bq</b>

**1 Ci = 3.7×10<sup>10</sup> Bq , 1 lb=0.45 Kg**





## 國際上放射性廢物分類

### 大陸 放射性廢物分類 (GB 9133-2018)

.....

極短壽命放射性廢物、  
 極低水平放射性廢物、  
 低水平放射性廢物、  
 中水平放射性廢物  
 和高水準放射性廢物等五類

### IAEA General Safety Guide No. GSG-1 Classification of Radioactive Waste

- .....
1. Very short lived waste (VSLW)
  2. Very low level waste (VLLW)
  3. Low level waste (LLW)
  4. Intermediate level waste (ILW)
  5. High level waste (HLW)
  6. Exempt waste (EW)

### 美國(台灣參照)固體放射性廢物分類(U.S. 10 CFR 61.55)

Waste type	Average conc. (Ci/Cubic foot)	Relative longevity Risk
Spent nuclear fuel	100,000	10 thousand years
High-level radioactive waste (HLW)	100	100 to few thousand years
Transuranic waste (TRU)	1	few to several thousand years
Greater Than Class C waste (GTCC)	2,500	100 to few thousand years
Low-level waste (LLW)	0.1	few 100 to 500 years
Class C		few 100 years
Class B		few 100 years
Class A		less than 100 years

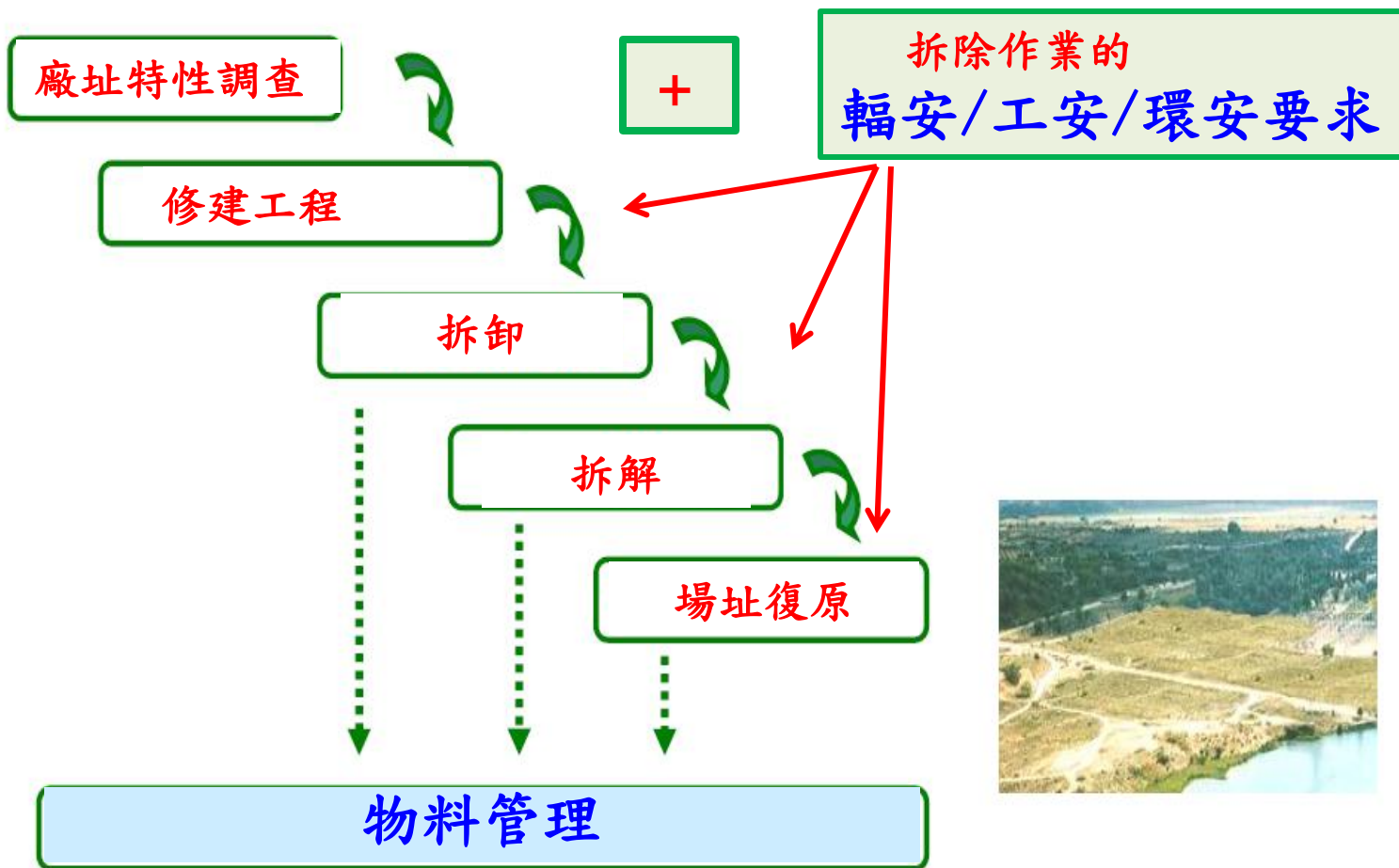
### 日本 核電廠除役放射性廢物分類

- .....
1. (L1) 放射性較高廢物(反應器內構造物)
  2. (L2) 放射性較低廢物(廢棄零元件及設備等)
  3. (L3) 放射性極低廢物(廢棄塑膠、瓦礫、混凝土等)
  4. (CL) 無需視為放射性物質之廢物(放行外釋制度之物件物)

While there is no universally agreed categorisation scheme, categories are generally based on the radioactivity content of the waste and its half-life (the time taken for the radioactivity content to decrease by half). Highly active radioactive waste generates significant levels of heat and this must to be taken into account in the management strategy.

## 2. 除役專案作業階段及里程碑

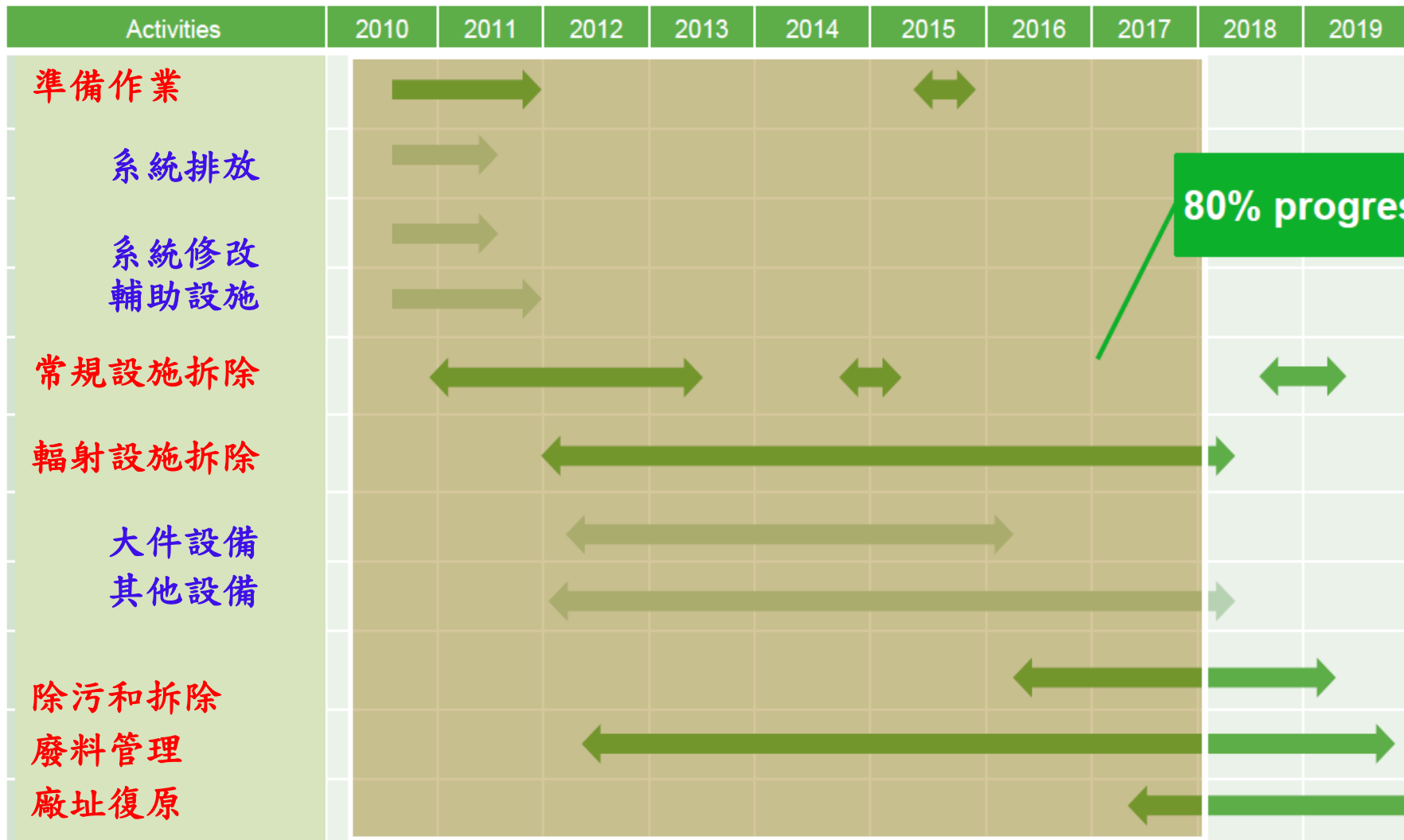
### 除役專案作業主要步驟



## 2.1 除役作業階段的劃分



# 除役作業預定時程(2010-2019)



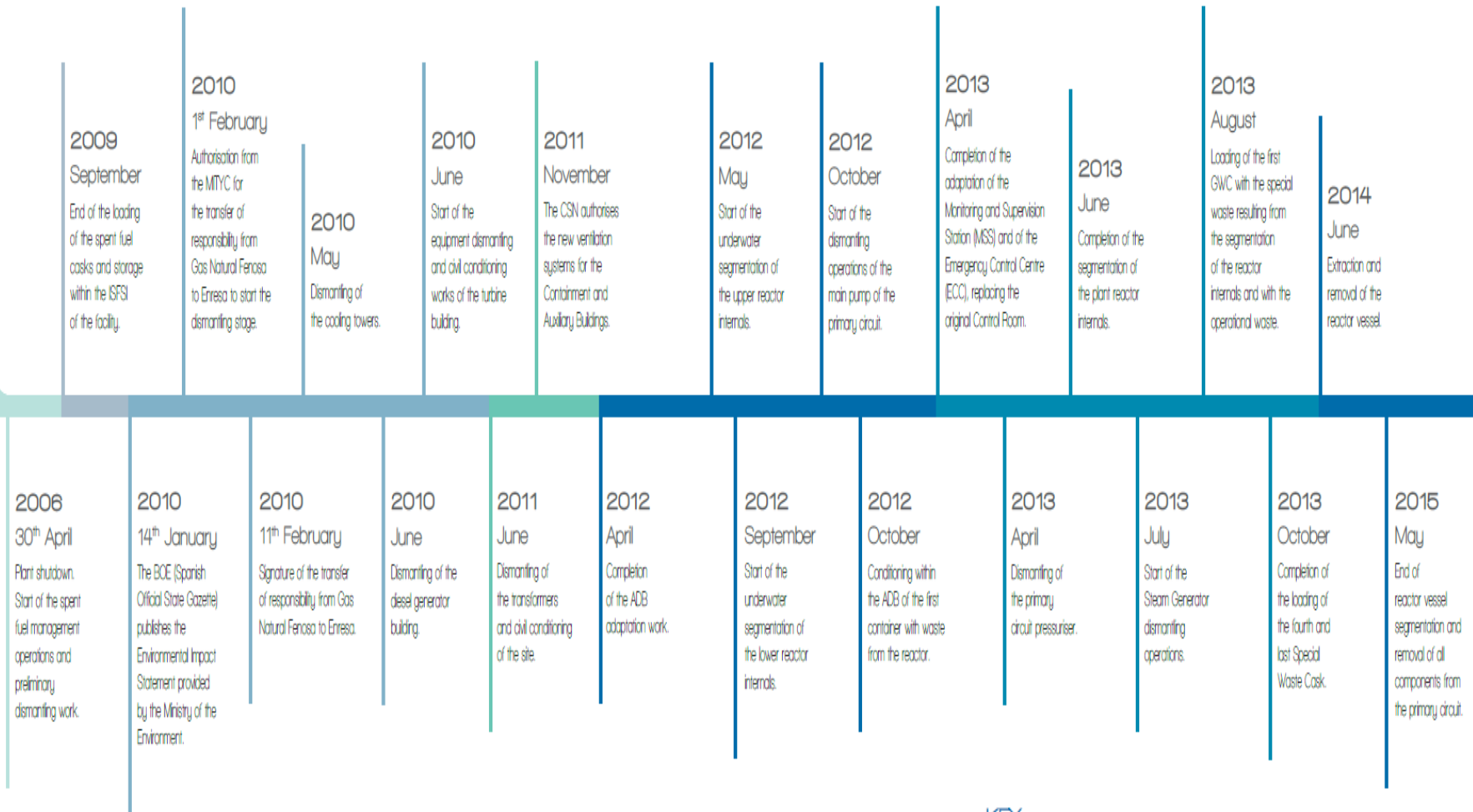
80% progress

核電廠除役時程規劃



# MILESTONES OF THE DECOMMISSIONING PROJECT

## 2.2. 除役專案拆除工作里程碑(2006-2015)



### KEY

MITYC Spanish Ministry of Industry, Energy and Tourism

CSN Spanish Nuclear Safety Council

# 3. 拆除作業執行結果重要資料

## 3.1. 輻射防護及安全

### 制度上管制

89 CSN 視察人次

14 EURATOM 視察人次

### 輻射防護

6,416 mSv.p 項目的估計  
集體劑量

2,050 mSv.p  
dreal 集體劑量  
(最高至31/2015)

### 品保

435 每年平均稽查次數

748 在全面改進系統中存  
檔的記錄 (CIS)

### 職業風險預防

851 風險分析報告  
(未發生工安事故)

## 3.2. 拆除物料管理

### 可外釋物料

1,081 tons 產生

### 放射性廢料

2,637 tons 產生

### 一般物料

5,958 tons 產生

### 運送處置數量


174 shipments to  
the El Cabril  
Disposal Centre

KEY  
FIGURES

2010

2015

### 3.3. 綜合資訊

		KEY FIGURES		 GENERAL INFORMATION	
2010	2015				
2010-2018 計畫時程		2,300,000 工作時數			
每天有250人 在拆除工作	平均有 <b>35家</b> 公司在現場工作		851 SAT (工作許可需求)	278 參訪團 3,392 參訪 人數	
	66%的工作人員 來自 Guadalajara省		訓練: 2,036 訓練活動 5,658 訓練時數 36,998 人 時		

## 4. 除役作業程序

Enresa 訂定本除役專案要求目標是需將廠址完全復原的工程，並充分管理所產生的物料。此作業程序始自設施初始輻射特性量測調查和各系統與組件在設施內的各類別廢料量估算。

專案內容也涉及到既有廠房系統和設施的修改與增建，以配合在除役期間作業的新功能需求。其中如拆卸，除污和拆解工程，尤其是對於反應器爐心及組件拆除過程，最後是廠址的恢復工作。



除役前 José Cabrera NPP  
(2010)廠址狀況



除役後 José Cabrera NPP  
(2018)廠址狀況



# 除役過程推想

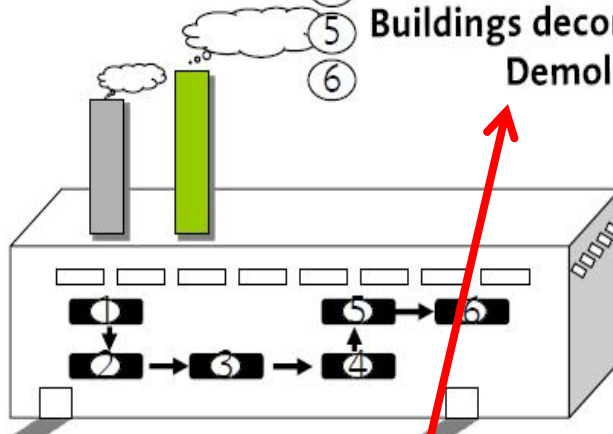
輸入端

轉變過程

輸出

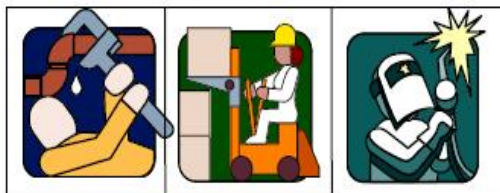


- ① Facility Characterization
- ② Equipment Retrieval
- ③ Materials declassification
- ④ Dispatching
- ⑤ Buildings decon and release
- ⑥ Demolition



+

資源



+

物料



拆解不僅是一種分解，  
而且是一種核技術程序

## 5. 除役準備作業一（2006-2011）

### 5.1. 用過核燃料存貯設施(ISFSI)設置（2006-2010）

在初始規劃階段, Enresa 完成了為獲得主管機關批准開始 José Cabrera NPP 的除役規劃和設計工作。

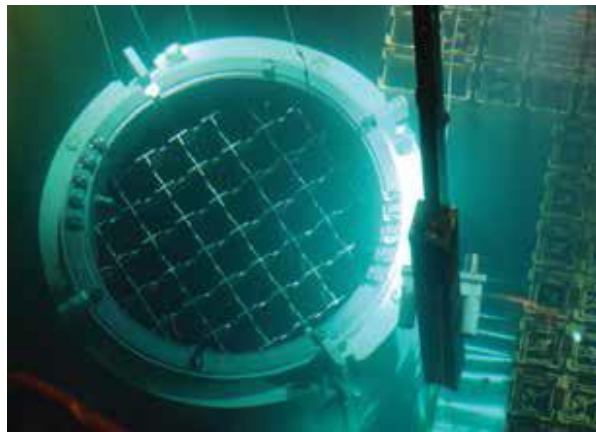
第一個行動, 在解決設施拆除前不可缺少的步驟, 是從電廠燃料池中移除用過核燃料到乾式貯存區域--獨立用過核燃料存貯設施(ISFSI)。

有十二座鋼和混凝土製作成的貯存桶垂直放置在ISFSI。這些容器總共容納377束燃料元件。



用過核燃料箱

獨立用過核燃料貯存設施(ISFSI)



用過核燃料池



用過核燃料轉移到 ISFSI 的操作



獨立用過核燃料貯存設施 (ISFSI)

## 5. 除役準備作業二 (2006-2008)

### 5.2. 除役的前置主要準備作業與工程

除役拆解作業開始之前，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，並配合除役作業功能需求

- 配合電廠系統除役作業的需要。可以是簡化、加強或改變配置，以儘量減少風險、干擾和不可用
- 使電廠的建築物和基礎設施更務實配合除役作業所需新用途

#### 系統配合方面：

- 消防
- 電氣和儀控系統
- 通風
- 水
- 環境監測和控制等

#### 輔助設施配合方面：

- 進入管制辦公室，通往控制區域的人行道
- 儲物區和廢物整備作業區域
- 解除管制區域
- 輻射防護設備和拆除物料管理區域

# 主要步驟:除役作業配合需要措施



污染衣服洗衣房



檢查站



輻防管制站



移動式  
絕對過濾裝置



燃料容器



電力線路改變配置



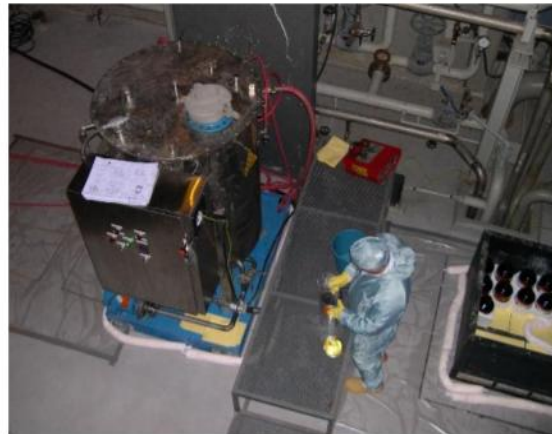
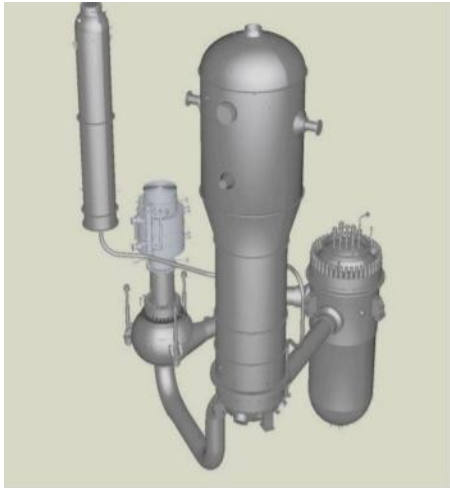
消防系統調節



通風系統裝置  
改變配置

## 5.2. 除役的前置主要準備作業與工程(續)

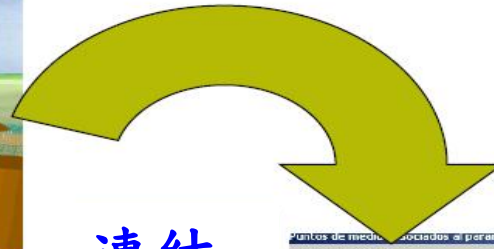
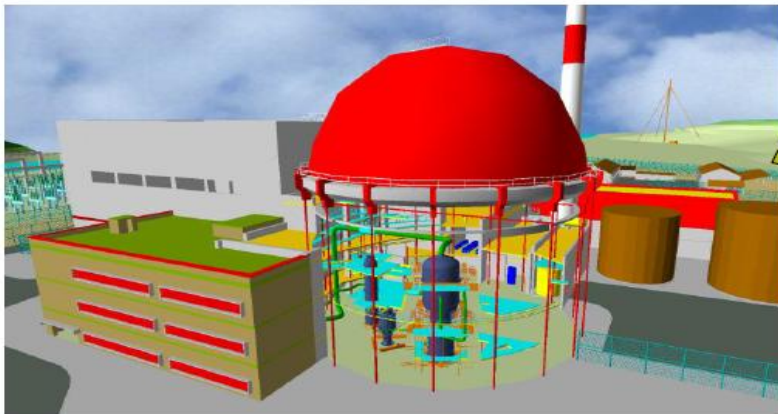
- 系統和設備組件內容物的排清與除污
- 排水系統配置裝設
- 拆除非放射性設備組件和危險性設備組件
- 除污系統的裝設
- 輔助系統/設施 (用於廢物儲存、除污)的結構配合拆除作業之修建



主環路系統的化學除污

## 5. 除役準備作業二 (2006-2008)(續)

### 5.3. 廠址設施輻射特性調查



連結

Puntos de medida asociados al parametro PE

Id	Nombre	Código UIC	Situación	Accesibilidad
87	CO4-01-1-PE-1			
88	CO4-01-1-PE-2			

Medidas y Resultados de CO4-01-1-PE-1

Id	LID AFe	Fecha Analisis	Cont. Beta	Unidades Cont. Beta	Sigma Cont. Beta	LID Beta	Fecha Analisis
87	6.25e-004	09/01/04 00:00	1.30e+000	Bq/cm2	2.61e-002	1.91e-003	09/01/04 00:00

Emisores Alfa muestra 67

Id	Emisor	Concentración	Unid.
3215	pu238	5.54e-004	Bq/K
3216	pu23240	3.69e-004	Bq/K
3217	uz234	2.46e-004	Bq/K

Emisores Beta muestra 97

Id	Emisor	Concentración	Unidad
3408	c14	3.92e-001	Bq/cm2
3409	fe55	-3.76e-001	Bq/cm2
3410	ni63	2.81e-001	Bq/cm2

Emisores Gamma muestra 97

Id	Emisor	Concentración	Unid.
32473	co60	5.25e-001	Bq/a
32474	rb94	9.05e-005	Bq/a
32475	ru106	1.70e-002	Bq/a

資料庫：José Cabrera NPP 除役專案的  
設施結構物件3D模型和輻射調查清單

#### 特性調查作業目標

- 查明將會產生的廢物類型（放射性廢物和一般性廢物）
- 每種廢物類別的數量
- 與現有放射性廢物相對應的同位素向量（經由所使用的伽馬發射器測量確定關鍵活度）

# José Cabrera NPP 輻射調查量測清單

MATERIAL	Activity (Bq)			Impacted Mass (kg)		
	Activation	Contamination	Total	Activation	Contamination	Total
Steel	1,9E+16	1,3E+12	1,9E+16	1,8E+05	2,5E+06	2,7E+06
Concrete	4,8E+13	4,5E+12	5,3E+13	3,3E+05	5,9E+07	5,9E+07
Scraps iron		1,1E+09	1,1E+09		5,2E+04	5,2E+04
Electric Cables		5,4E+09	5,4E+09		9,4E+04	9,4E+04
Isolations		2,6E+09	2,6E+09		8,2E+03	8,2E+03
PVC & others		9,7E+06	9,7E+06		1,4E+06	1,4E+06
<b>TOTAL</b>	<b>1,9E+16</b>	<b>5,8E+12</b>	<b>1,9E+16</b>	<b>5,1E+05</b>	<b>6,3E+07</b>	<b>6,4E+07</b>



輻射調查量測作業





## 5. 拆除準備作業三(2010-2011)

### 修改既有系統或設計以支援拆解作業

2010年和2011年期間，對既有系統進行了修改或設計了新系統，以支援拆解作業。這些活動是根據系統修改計劃進行的。

電氣系統的修改包括安裝配合除役過程需要的新電源。

供水系統（消防系統、一般服務和稀釋放流水系統）以及反應器廠房和輔助廠房的通風系統也修改了新的系統。



New electrical building



Electric supply system modifications

# 5. 拆除準備作業三(2010-2011)

## 5.4. 拆除作業準備

### 5.4.1. 掛卡



**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

### 5.4.2 電力系統的修改

Adaptation of the cooling tower electrical building



### 5.4.3 水源的連接和機械系統的设置



水源泵的安裝



### 5.4.4. 消防保護系統的強化

Main fire protection pump



加強新消防系統設置



主消防泵的設置

### 5.4.5. 通風系統的修改



新 VA-90N 風扇的安裝



通風系統  
管道的連接



## 5.4.6. 汽機廠房改建為除役輔助設施(DAB)

汽機廠房設渦輪發電機組和電力生產所需的輔助設備。在除役作業中拆除其設備組件後廠房改建為除役的輔助設施(DAB)。

除役輔助設施的目的是整備及處理從圍阻體廠房拆除產生的放射性廢物。

輔助設施內設置有除污裝備系統，放射性廢物整備及處理系統和預定運到 El Cabril 處置中心前的暫時貯存場所。

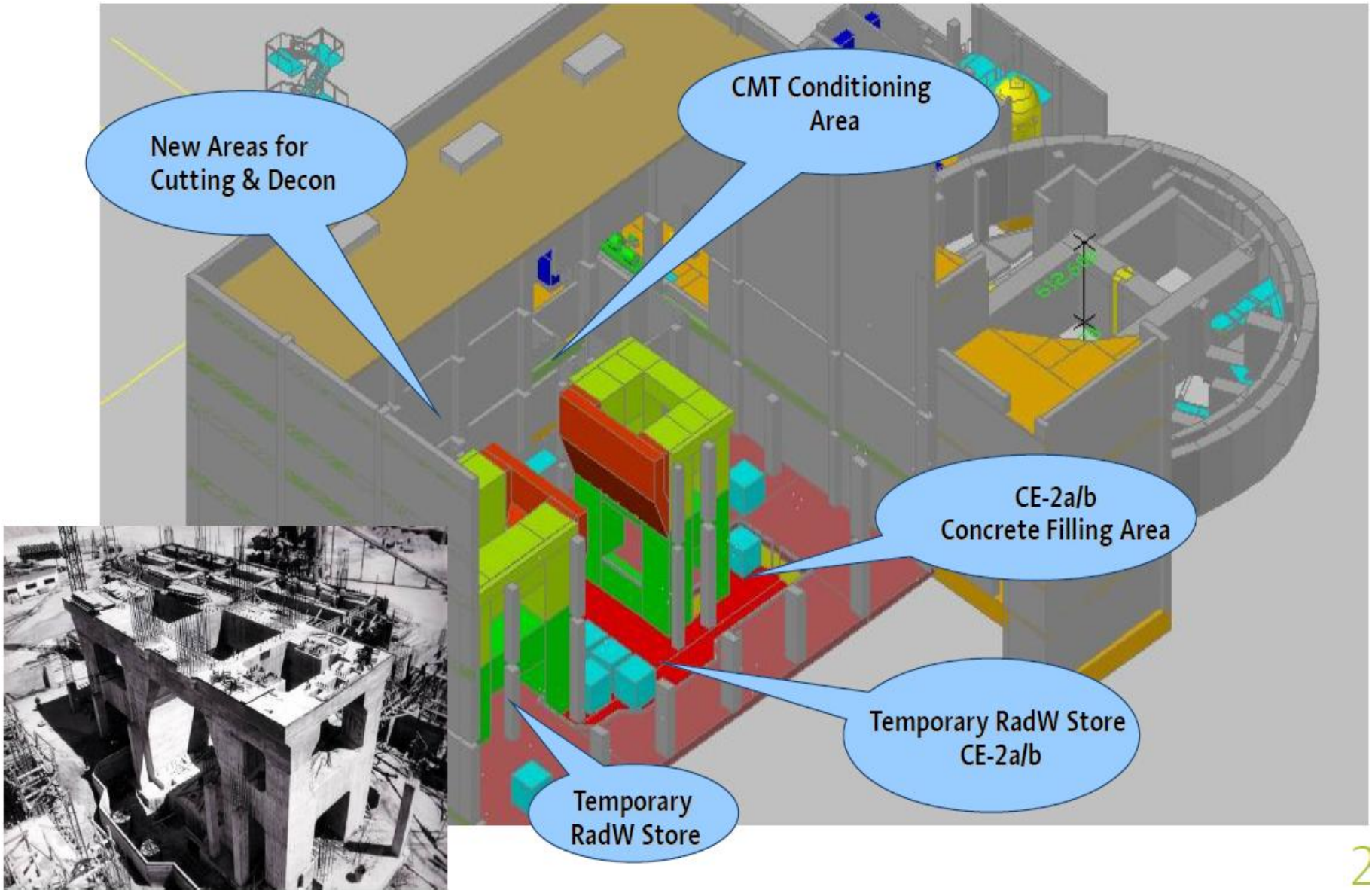


汽渦輪機組在運轉時的原始狀況



汽機廠房清理後的情形 (DAB)

# 汽機廠房廠房改造



## 污染大組件廢料管理策略

原汽機機廠房修改為  
退役輔助設施場地

- 切割作業中產生  
核廢料整備用
- 移送最終處置場  
臨時儲存廢料



汽機廠房

反應器廠房<sub>30</sub>

# 汽機廠房的拆除作業

拆除準備作業活動完成後，可以開始進行拆卸不同組件

- 拆除放射性系統和組件是除役專案的**核心活動**
- 產生的材料應就地分類和定性，以便依循其種類建立**適當的管理途徑**
- 儘量**減少**工人受到的**劑量**和放射性廢物的**產生量**是這一階段的主要工作目標



除役輔助廠房設施的**改建**



**冷凝器**拆除作業



渦輪發電機組的**拆除**



**運送通道**



柴油機  
拆除作業



主變壓器  
拆除作業







## 汽機廠房建築物拆卸作業

## 5.4.7. 放射性廢物貯存區域 功能升級

為最適化除役期間放射性廢物的管理，在廢物貯存區域I，II 和 III，以及在解除管制區已經過改裝。它們使用箱型輻射計數器，供為廢物分類的關鍵設備。



廢物貯存區域



清潔標準輻射量測裝置

# 6. 常規及一般設施的拆除作業

拆除系統結構和設備的第一個前題要求是均未含任何放射性物

## 6.1. 冷卻塔的拆除



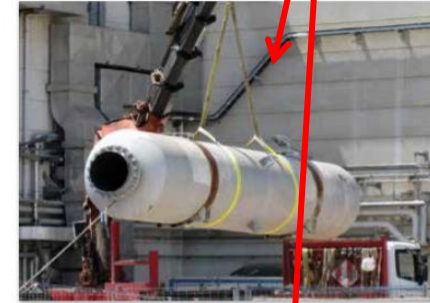
Demolition of the cooling towers



供為一般廢料放置區域



## 6.2. 柴油發電機的拆除



轉化為支援存儲區域



## 6.3. 變壓器的拆除



Dismantling of the main transformer

Final status



## 6.4. 控制室的拆除



Control room



控制室拆除廢料的儲存

# 7. 高輻射設施拆除作業

## 7.1. 準備作業

拆除一次側冷卻水系統組件（反應爐壓力槽內組件、容器、蒸汽發生器）是構成使設施徹底拆除的工作。

在 2011 年進行了反應爐壓力槽內組件的去處準備活動。

這些活動涉及仍然在用過燃料池內的各種物件的移除和從燃料裝填區牆中分離出來的部分切割工作

此外，溢水區的前置清理，並密封通道，以便進行反應爐及其內部組件在水下切割的作業。



反應爐壓力槽的上端

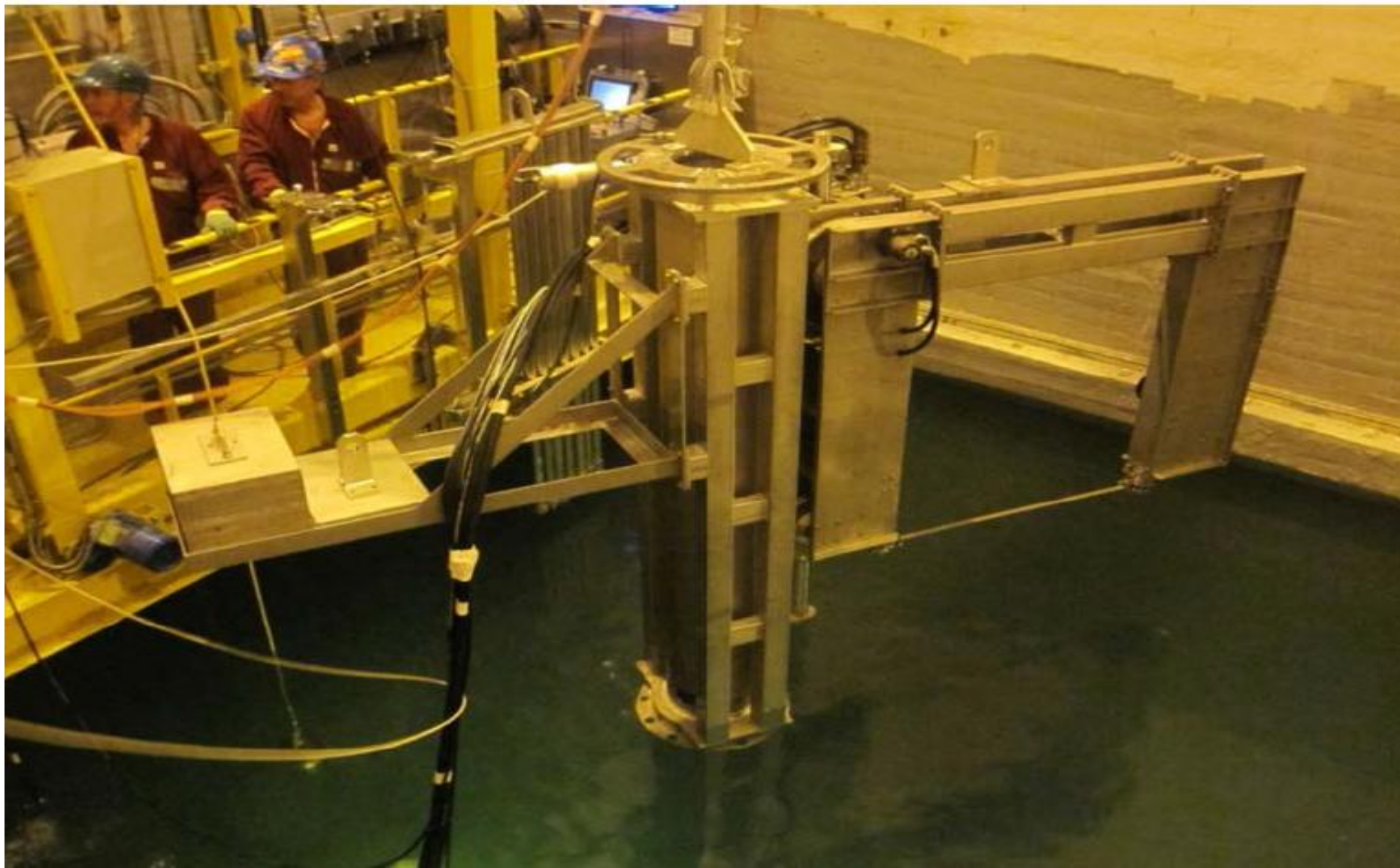
## 池中燃料架的去除



反應爐穴內新地板與爐穴間開口牆壁



水池和反應爐穴間的牆塊去除

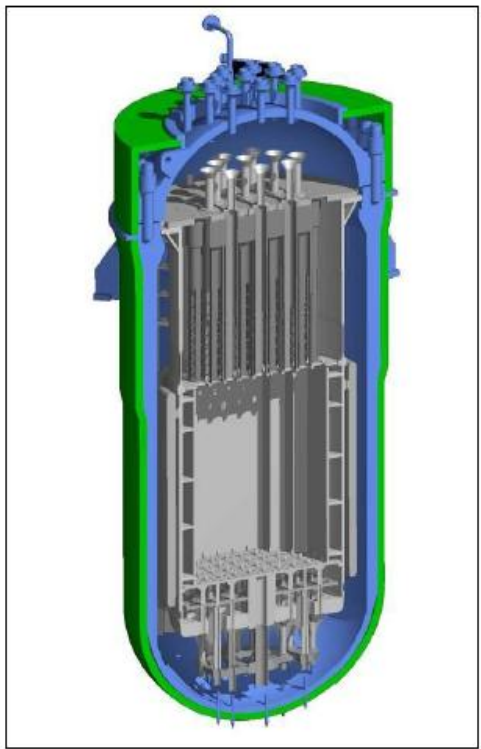


### 切割作業工作橋架設置

橋架上的操作人員使用遙控器將切割帶鋸放到用過核燃料池中反應器壓力槽的內部，切鋸將在預先設定切割位置的垂直或水準方向進行作業

# 7.2. 反應爐壓力槽內 組件及壓力槽的 分割和整備

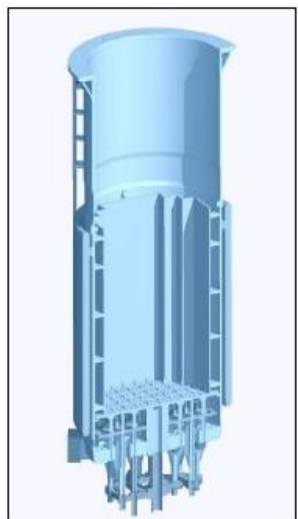
## 反應器容器和主要組件



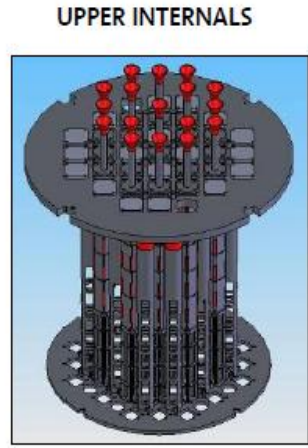
REACTOR VESSEL



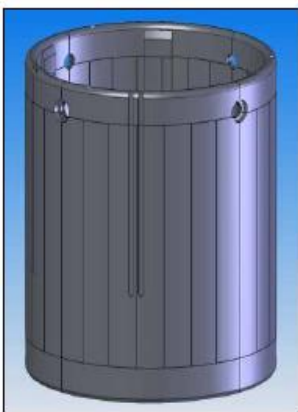
CORE BARREL



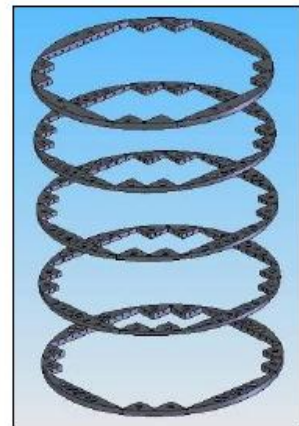
LOWER INTERNALS



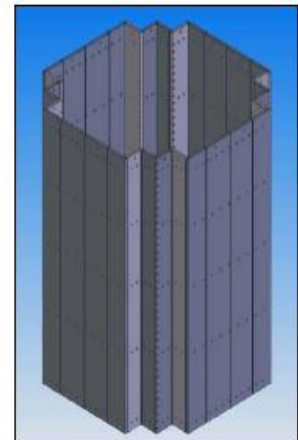
UPPER INTERNALS



THERMAL SHIELD



FORMERS



BAFFLE

反應爐壓力槽內組件的分割計產生  
432 件廢料，總重量為 59.5 噸

反應爐壓力槽內組件的分割係在水下進行，是利用水下電視攝影系統的輔助在用過核燃料池和反應爐穴中以可遠端操作的機械切割工具進行作業。

反應爐壓力槽上部控制棒構件的切割始自 2012 年 5 月，然後接著處理底部的構件分割。

這區域是含最高活度的放射性物料，因為它是放置核反應所需的核燃料的地方，也包含主冷卻水系統組件的部份。

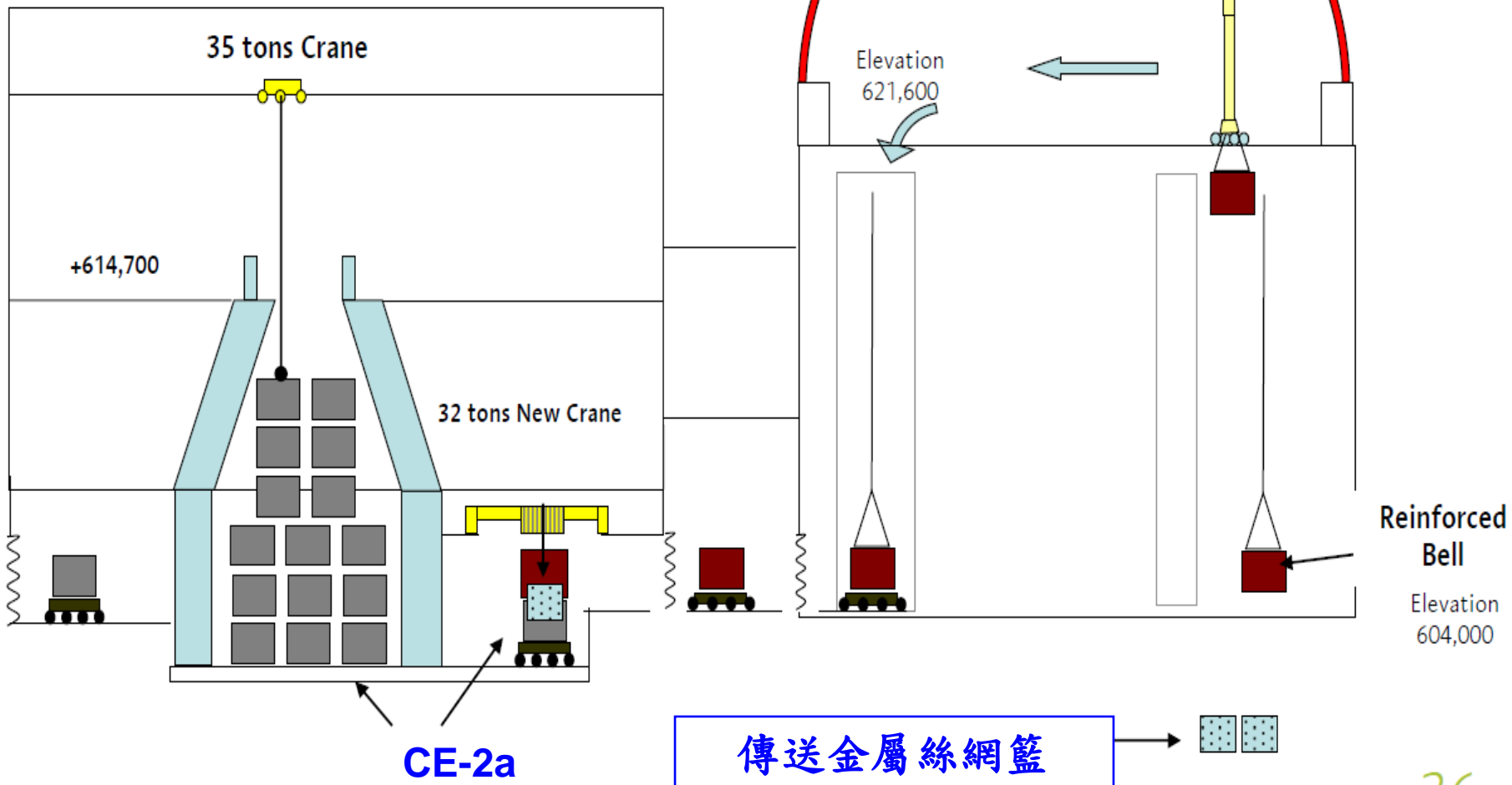


反應爐壓力槽內組件的分割係在水下進行

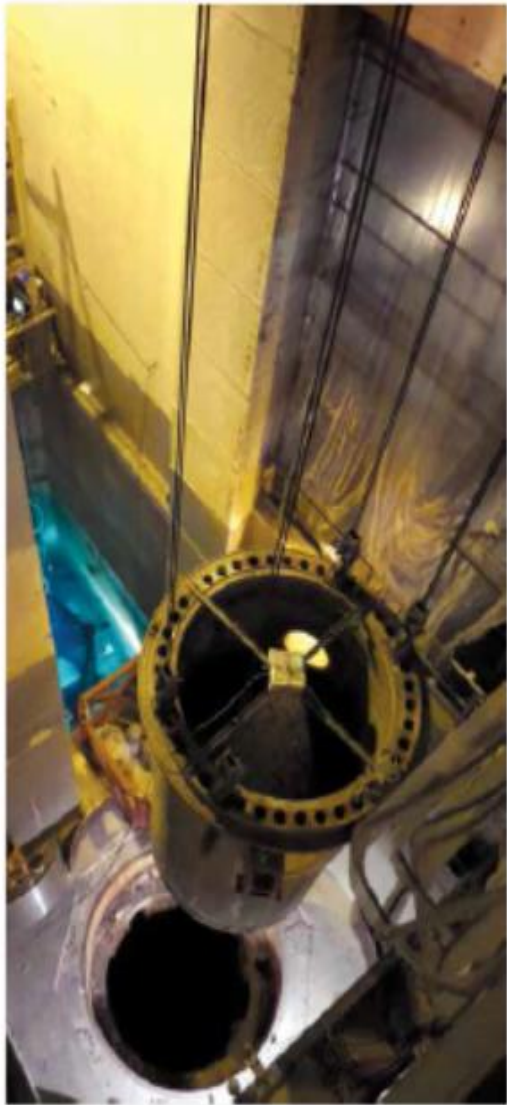
水中底部組件的分割作業



# 拆除放射性廢料運送和盛裝運作



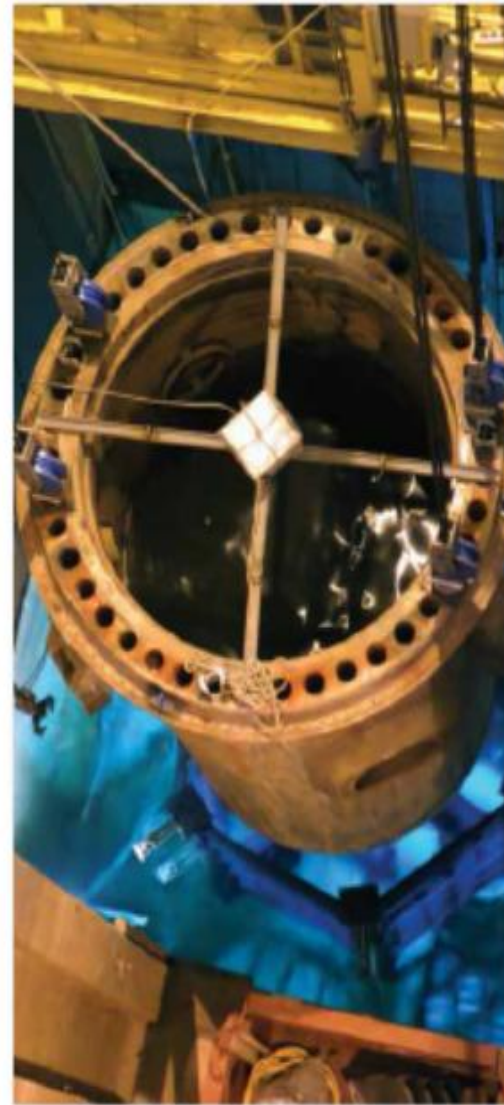




反應爐壓力槽從  
反應爐穴中移除



壓力槽從爐穴的  
牆間移除

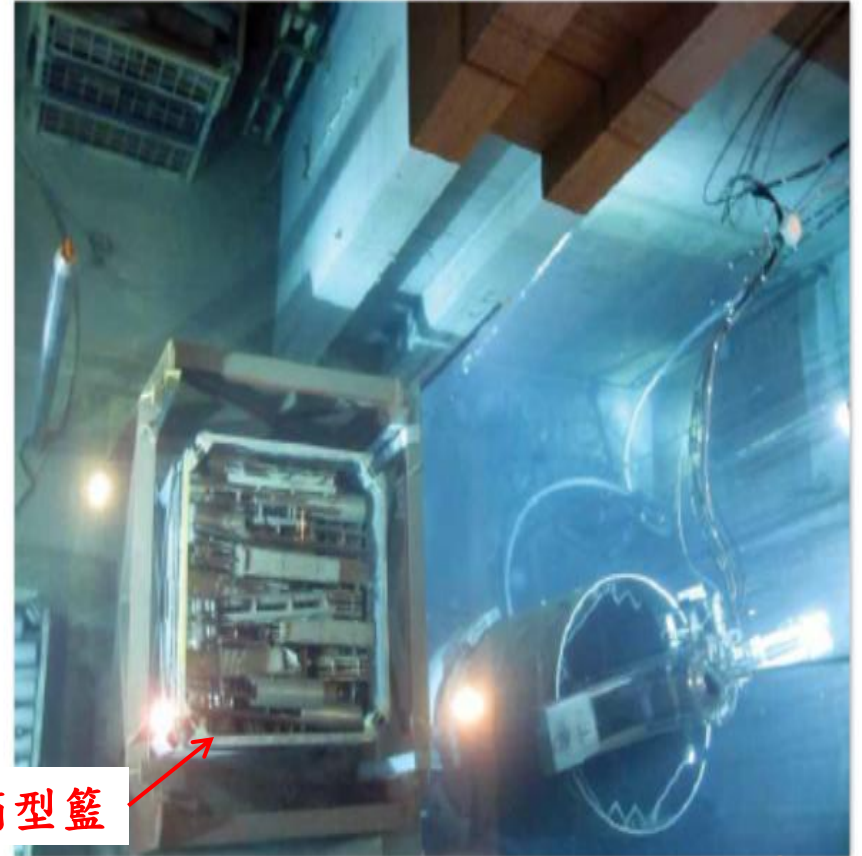


壓力槽架設在用過  
核燃料池內的支撐  
結構物上的位置



反應爐較低的內部組件在**用過核燃料池**內進行切割作業

反應爐壓力槽內組件在利用水下電視攝影機的輔助下切割操作已完成



箱型籃

箱型籃子裡裝滿分割產生的片塊**廢料**

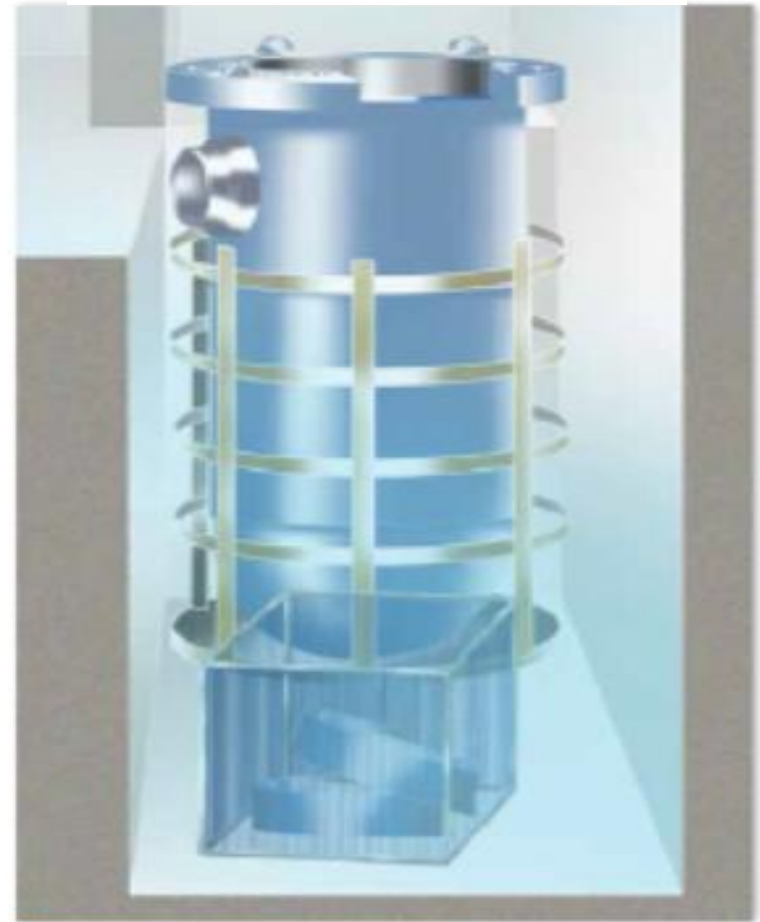
反應爐壓力槽是碳鋼製成重量約 100 噸, 具高放射性。要進行其提取和轉移的任務, 首先必須進行一系列的活動以確保正確執行操作。

在作業前, 它必須確實已移除與主冷卻水系統管道及儀控系統的所有連接處。

此外, 由於它的重量, 也需安裝補助的液壓升降裝備, 以便移送除到燃料池

水下管道的分割也是採用了反應爐內部組件相同的技術也需採用水下作業方式, 在歷經約十個月的作業, 共有 112 塊物料產出被放進 15 個混凝土容器運到 El Cabril 的低、中水準放射性廢物處置設施。

反應爐壓力槽被分割成  
112 塊



水下反應器分割的示意圖片



壓力槽頂蓋螺帽的拆除作業



使用機械工具方法進行水下反應器壓力槽切割作業

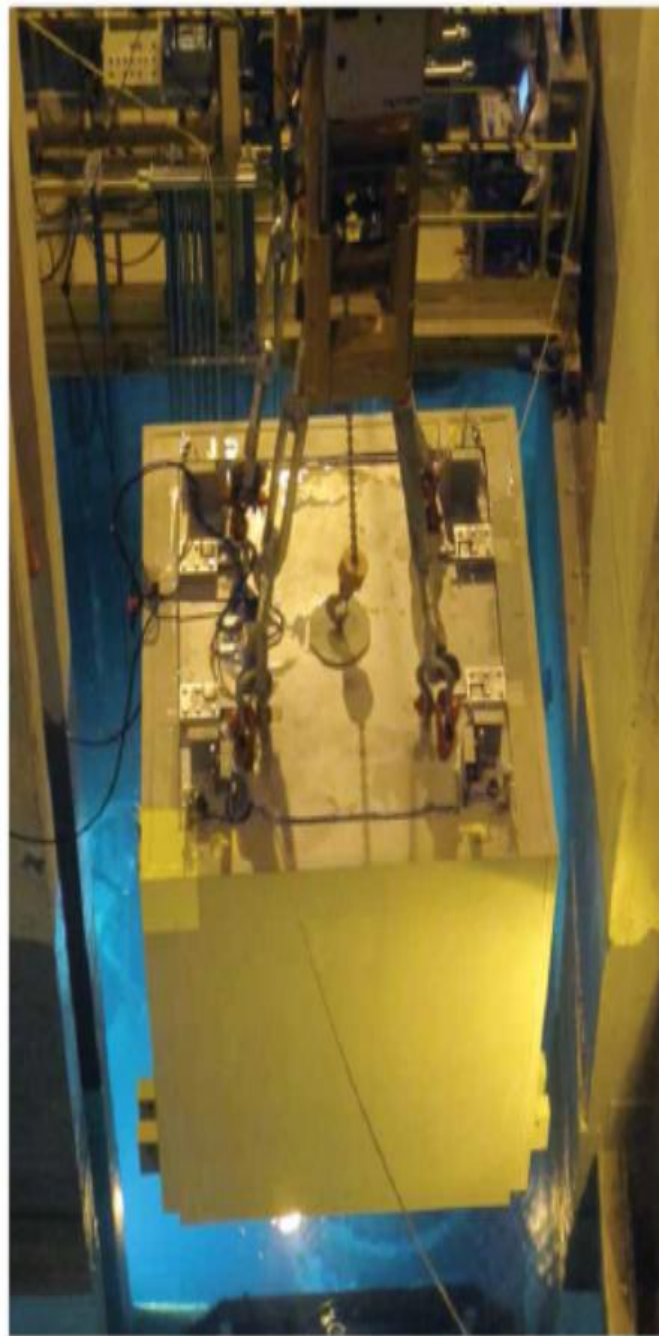


經驗回饋--對形狀複雜幾何組件的機械工具切割是十分有效方法：

1. 比其他切割方法慢,
2. 作業執行較容易
3. 作業受輻射影響較小
4. 產生二次廢料較少
5. 作業可見度較好

## 7.3. 切割廢料整備

反應爐壓力槽內組件完成分割後，所產生的片狀廢料需要分類盛裝送至除役輔助廠房(DAB)，其中一部分屬於超C類的廢物是需要在混凝土容器內以水泥固定處理



屏蔽箱將切割廢物從反應爐轉運到除污輔助廠房以進行後續處理

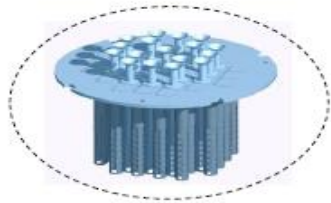
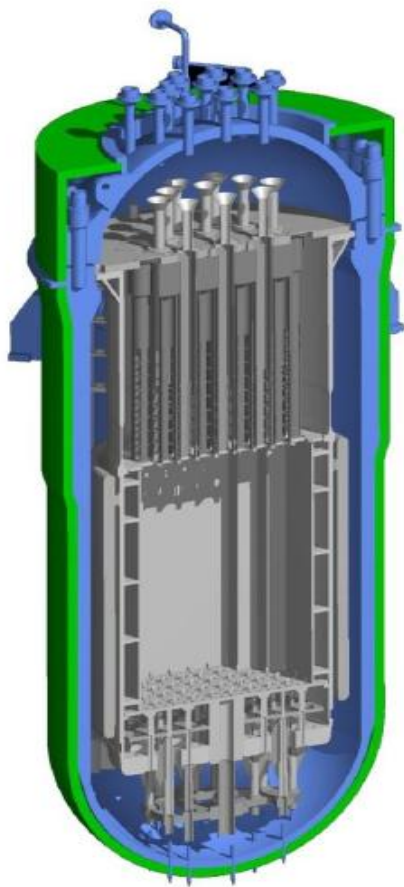


廢物箱型盛籃的定位與結構



控制室監視除役輔助廠房內操作情形

# 核廢料管理原則



## PRIMARY WASTES REPOSITORIES

RPV 內部組件：8個 CE-2b 盛籃  
爐體：21個 CE-2b 盛籃

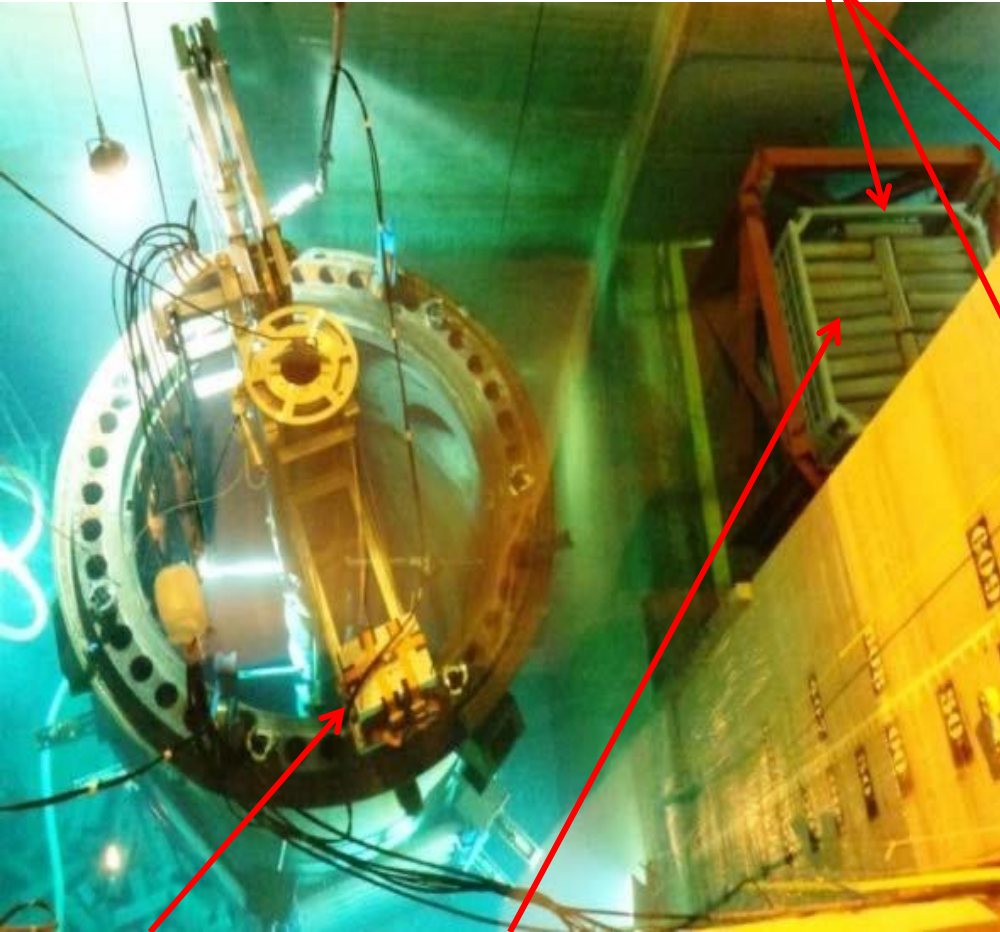


RPV 內部組件高活度廢料  
盛裝容器箱

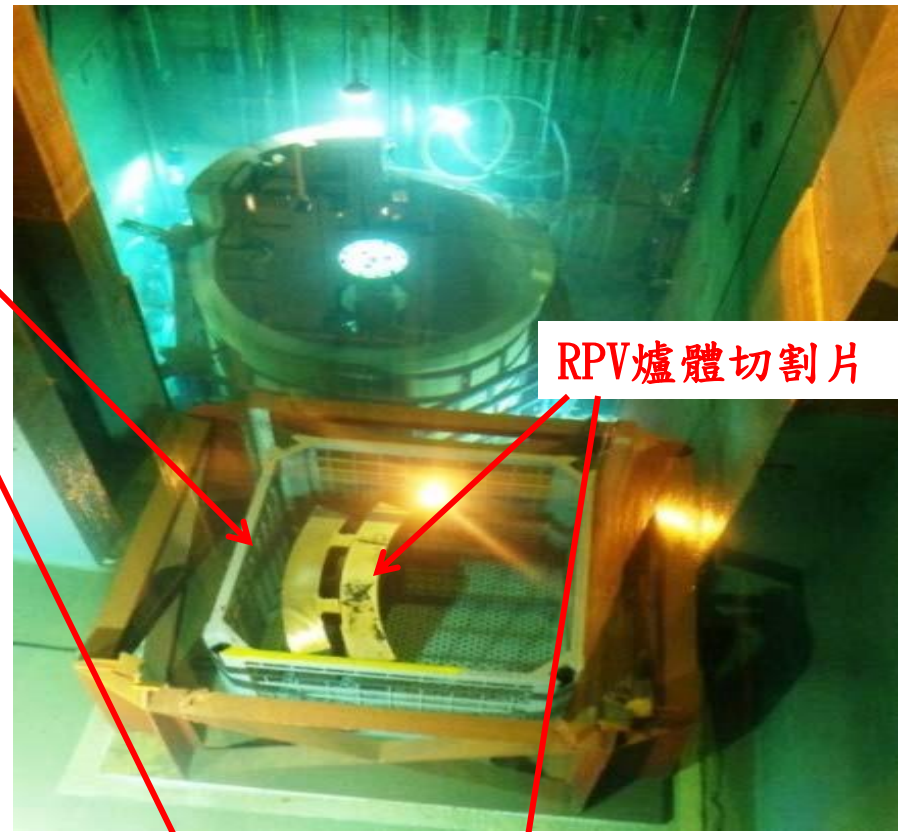
4 HI-SAFE casks



# 切割廢料盛裝提籃



RPV內部組件切割

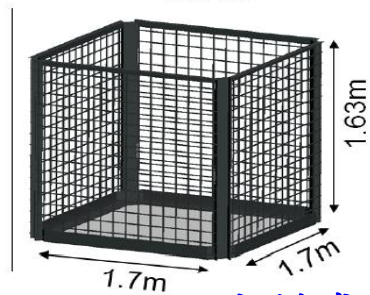


RPV爐體切割片

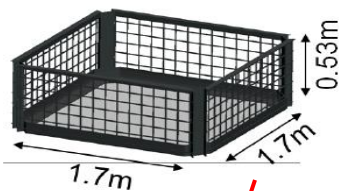




CE-2a 盛籃



CE-2b 盛籃



廢料盛裝提籃



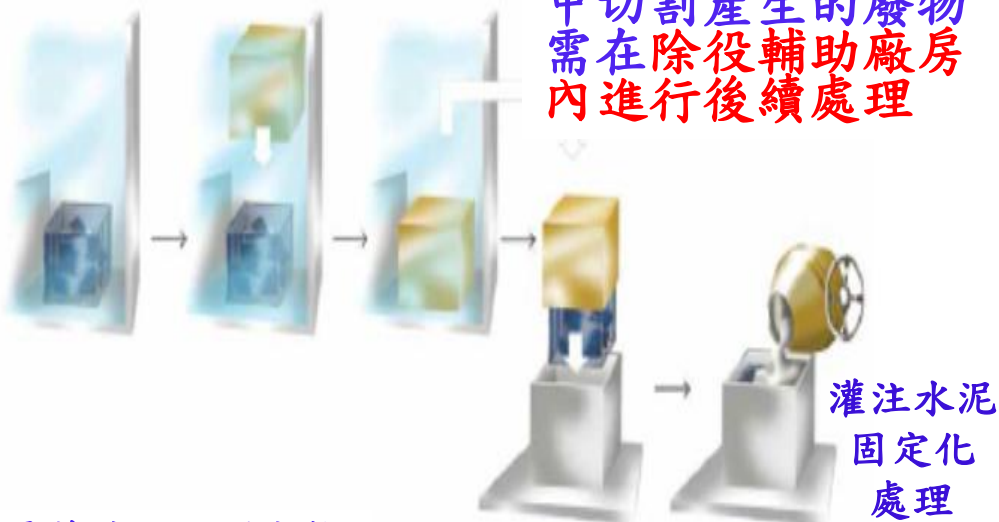
盛裝容器箱(HI-SAFE CASK)





## 7.4. 除役輔助廠房(DAB)的運作

在反應爐廠房  
中切割產生的廢物  
需在除役輔助廠房  
內進行後續處理



廢物盛裝籃裝入  
容器內

DAB內廢物臨時貯存區



注入砂漿進行  
廢物固定化



處置單元運送到到  
El Cabril



## 7.5. ILW (GTCC)類 廢物的處理

反應爐壓力槽底部拆除  
一部分物料屬於特殊廢物  
(GTCC)需放在四個特別安全桶  
(HI-SAFE casks)中,並送到  
ISFSI 存儲

這些特殊廢物,重達 40 噸,  
都不符合 Enresa El Cabril  
對於低中廢物處置設施的接收  
標準



特殊廢  
料的裝  
載



特殊廢物桶(HI-SAFE)  
安全運送到 ISFSI  
貯存場的作業



CE-2



低放處置場: EI CabnL

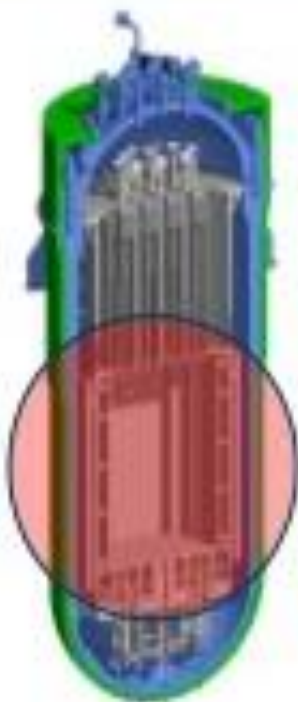


CE-2



獨立乾式貯存設施: ISFSI

最高活性  
區域



ILW (GTCC)類廢棄物  
盛裝容器



拆切作業 (2013-2015)

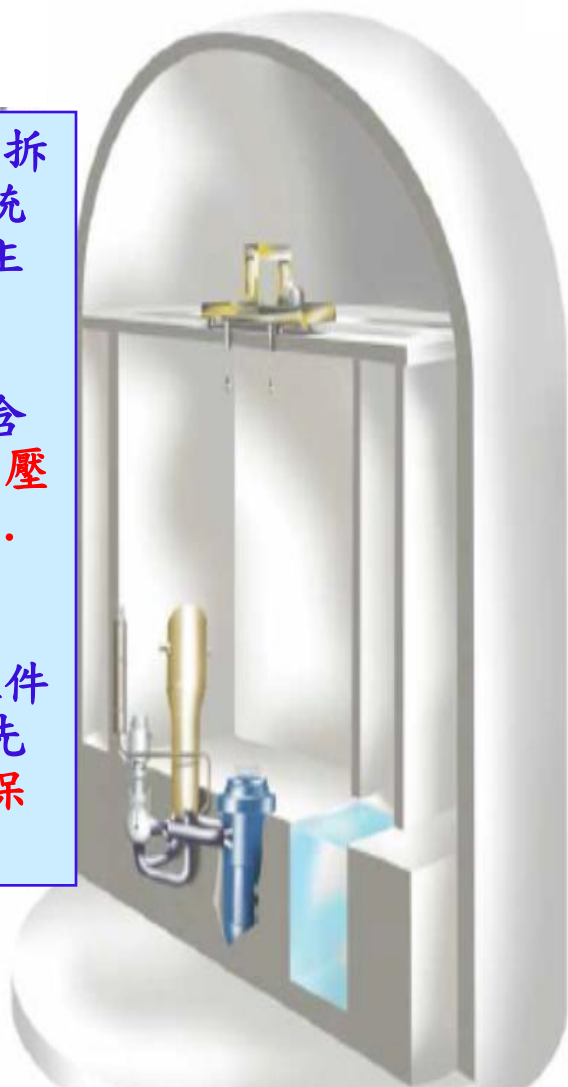
## 7.6. 大型組件的拆除

### 主冷卻水系統管道的切割

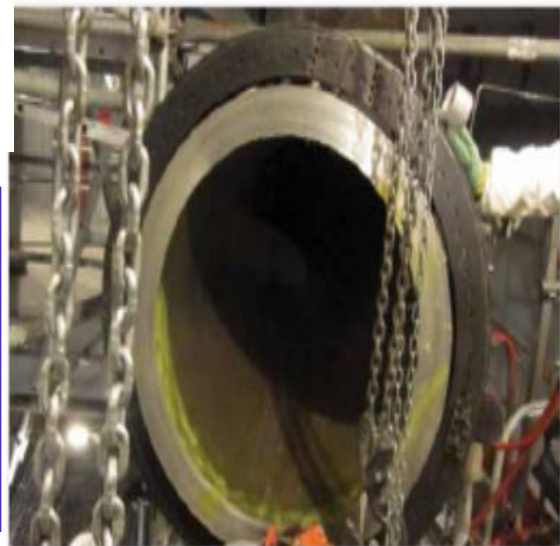
2012 年開始拆除主冷卻水系統的大型組件的主要作業。

拆除作業包含系統中的泵、調壓槽、蒸汽產生器和管道

分割這些組件和管道之前需先移除所有隔熱保溫物料



為進行主冷卻水系統設備桶槽的切割，必須先完成其相關管道組件的分割作業



### 管道間利用軌道式機械切割作業的情形



主冷卻系統的大組件組成示意圖

## 7.7. 主泵的拆除

主泵組成構造的有關  
連接組件部分(如馬達)  
需先拆除

相關組件的切割利  
用熱力機具或**鑽石索鋸**  
(**鏈鋸**)切割機方式，這  
取決於它們各自的物理  
輻射特性。

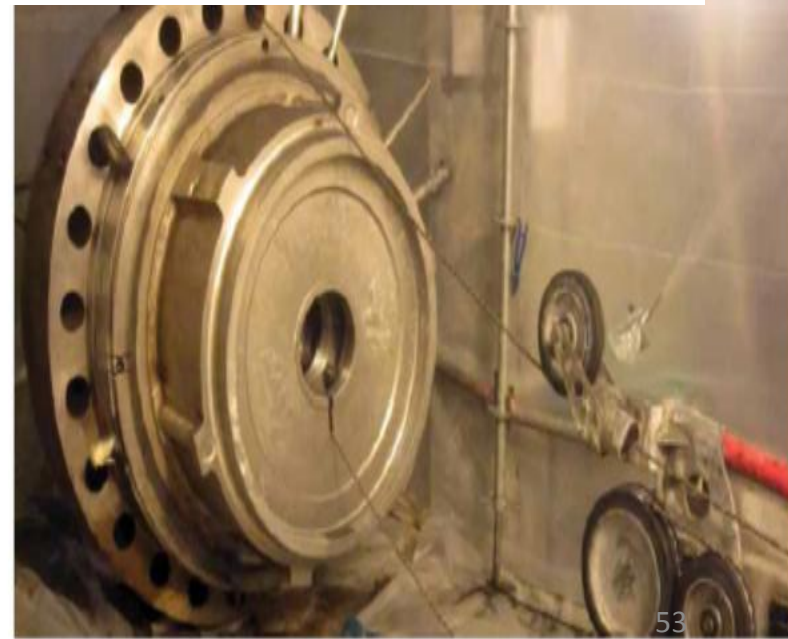


主泵初始狀態和組件拆除



拆除主泵  
部份配件

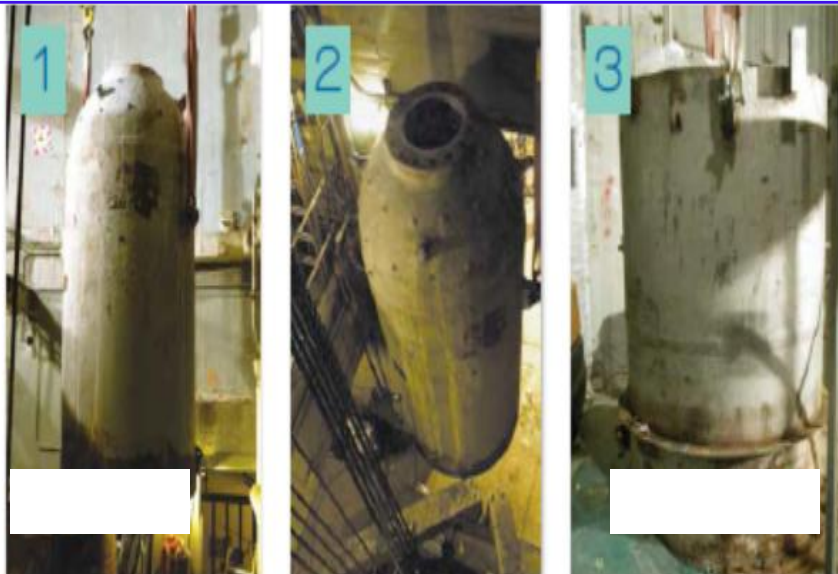
主泵組件的**鑽石索鋸**(**鏈鋸**)  
切割機作業



## 7.8. 調壓槽的拆解序列

調壓槽在它原始位置是先切為三個大段。各段移送到切割車間之後，切成小塊再放進貯存容器

切割車間安裝在裝有獨立通風系統的密閉室中，因此可以使用較快的熱切割技術。



調壓槽的吊移 (圖1, 2, 3)



移送到切割地區(圖4, 5)



槽殼的切割作業 (圖6, 7)



廢料板的裝箱作業 (圖8)



輔助調壓槽的拆除作業



現場用鑽石索鋸切割的工件

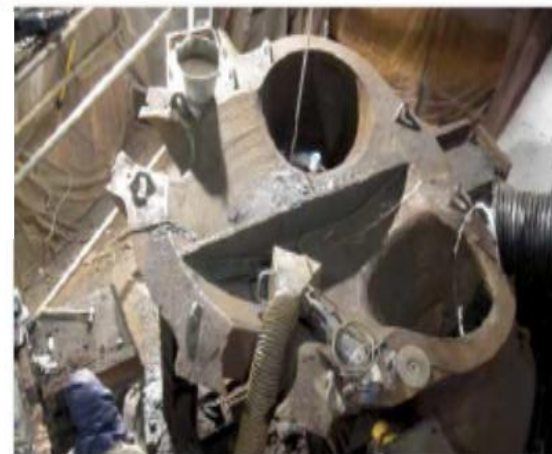
## 7.9. 蒸汽產生器的切割

蒸汽產生器體積很大，它需要被分割成幾塊

二次側環路系統可利用熱切割技術



蒸汽產生器底部部分的拆除



蒸汽產生器上半部的切割作業



熱交換器管束上視圖



## 7.10. 其他系統和組件的拆卸

在圍阻體和輔助廠房內各個區域的設備和系統的拆除作業時，同時也在拆除主冷卻系統的組件。這是另一項重大的拆解行動，因為這些廢料占整個除役處理過程產生的放射性廢物約 90%。



一般管線的切割作業



輻射管線的切割作業

# 反應爐壓力槽在水下切割的圖像

在籃子內的幾件切片可以看出預備轉送到除役輔助廠房



反應爐壓力槽

## 7.11. 污染金屬除污



化學除污  
設施



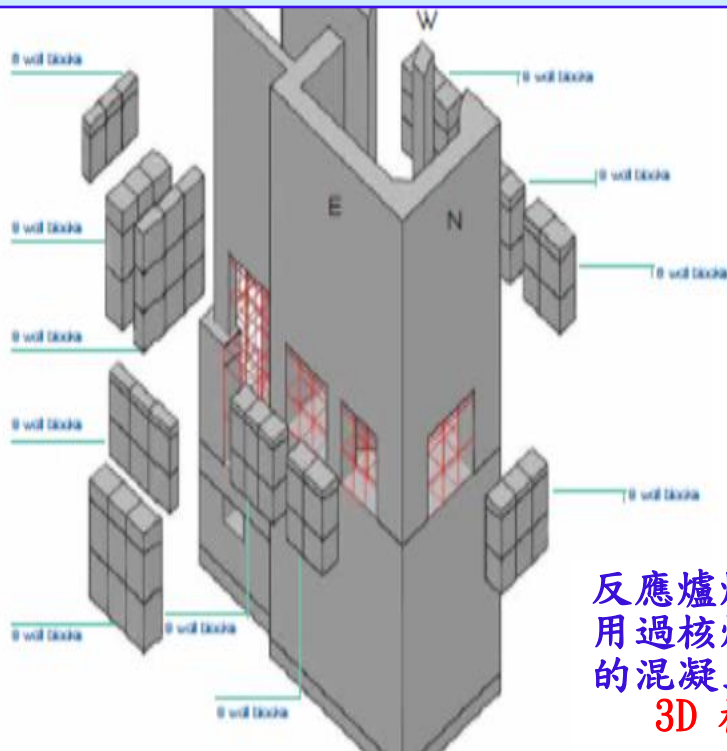
高壓水刀  
除污



## 7.12. 廠房建築物的除污和拆除

建築物內的設備和系統拆除後，拆除工程的作業進入一個新的階段。就是進行不同輻射污染建物的除污工作。之後，對於燃料裝填池，燃料池和生物屏蔽體的混凝土牆進行切塊作業。

這些切塊將外送到放射性廢物貯存場進行後續處理。此外，除這些工作外也需要進行輔助廠房和圍阻體廠房牆壁和地板表面的除污；除污方法是利用機械方式(如鏟除)進行的。



反應爐爐穴和  
用過核燃料池  
的混凝土切割  
3D 模型

反應爐爐穴和用過核燃料池經排空儲水及清除一些建築物處理後的情形



# 建築物污染調查量測作業

1. 廠房建築物在拆除放射性部件和系統後，必須對建築物的牆壁(牆壁、和天花板)進行淨化，以便隨後拆除。
2. 應用表面清除的分類方法，據之可確保建築物的牆壁沒有污染及後續再利用或便於拆除作業。
- 3 一旦淨化清理，建築物將被拆至地下1米深。

無污染或極低微污染混凝土碎屑通常被粉碎，以便作為後續填充材料或再利用



表面污染調查量測作業

# 建築物拆除作業

反應爐爐穴結構  
切出混凝土後的全景



混凝土塊移出的作業



爐穴內混凝土牆的  
切割塊吊移作業



反應爐爐穴牆的  
混凝土塊提取作業



地面除污作業





抽塵軟管

鑽石索鋸

### 建築物的清除作業防護和切割機具

## 8. 廠址輻射特性 調查和復原作業

專案在這一階段，工作重點是廠址的輻射特性調查作業，主要進行一些結構表層測量以及對於不同地區的地層污染深入調查，目的在知道他們輻射污染的情況。



煙囪污染量測



鑽探取樣作業



圍阻體廠房調查



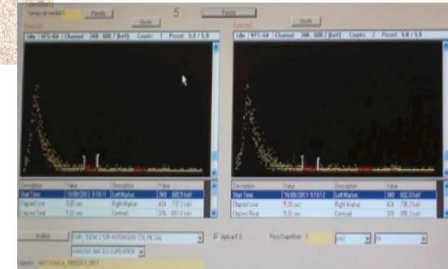
排水渠道  
污染調查



# 廠址復原特性調查作業

此作業的目的是證明廠址已達到放射性含量最終狀態符合法規標準。

如有必要，在最終特性調查(受影響區域的淨化)之前再配合進行補救工作。



廠址特性調查量測設備



廠房拆除所得材料粉碎可用於  
現場修復工程



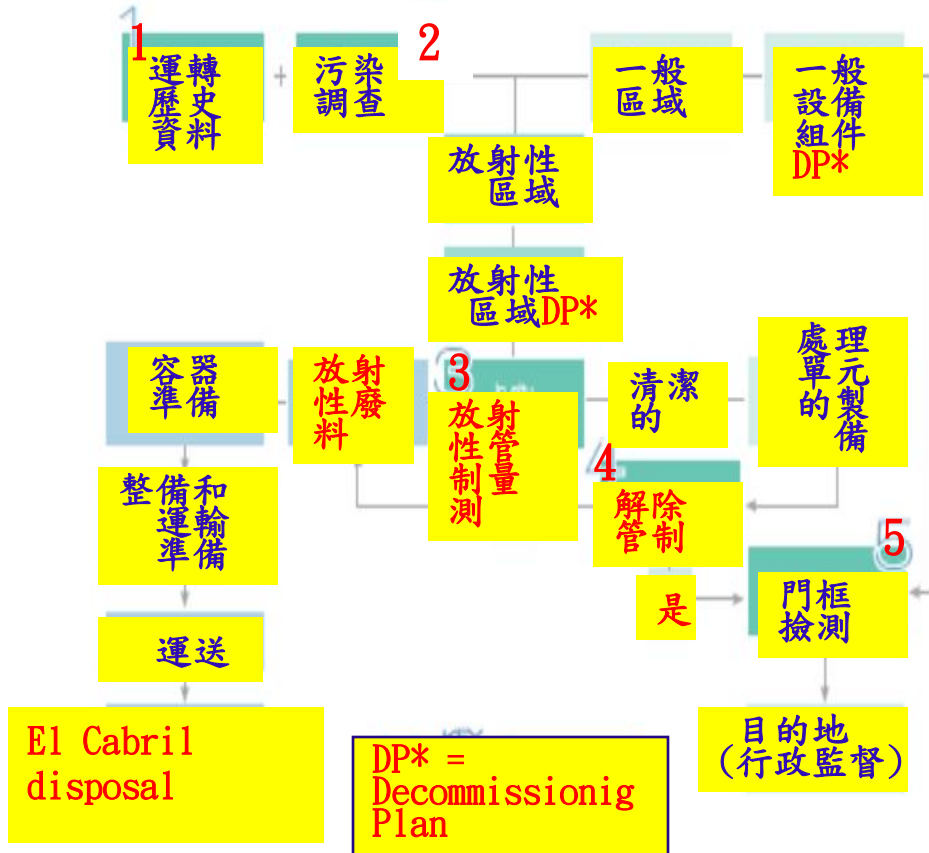
# 9. 拆除廢料管理

廢料管理是拆除專案的關鍵訴求之一。它的策略目標是對於拆除廢物的優化管理並力求其可再使用和回收。

拆除作業產生的廢料，在處理過程序列示如下圖，其顯示有五個重要的控制地方。

可解除管制的拆除廢料需經由嚴謹監測過程來證實其符合法規的清潔標準。

拆除工程產生物料總量約為 104,000 噸  
其中，只有 4% 為放射性廢物



放射性廢料的量測



## 拆除廢料管理



搬運裝置



盒式放射性特徵量測計數器



清潔材料裝載



發送清潔的材料的外運再檢查



金屬廢料運送容器



# 除役工程產生 物料總量

**104,000 tons**



拆除後  
情景



一般水泥  
碎片和砂土

**95,300 t**

用過核燃料  
和反應爐內  
組件物料  
**145 t**

**45 t**



**100 t**



獨立用過  
核燃料存  
儲場  
(ISFSI)

一般廢料  
**4,700 t**



回收利用

放射性廢料  
**4,000 t**



El Cabril  
disposal  
centre



毒性和  
有害物料  
**少量**



專業處理

## 清潔解除管制的箱型輻射計數器

從放射性地區切除產生的物料經利用gamma-ray spectrometry量測，證明符合法規清潔標準者可視為一般物料。

這種量測設備須獲得  
Spanish Nuclear Safety Council  
認可



Box Counter



## 10. 安全文化與品質保證

完成除役作業的**完全安全**和**確保其品質**是專案的兩個優先事項。只有在確保相關第三者人員的充分資格,在組織中實施嚴格的**安全文化**,並協調執行所有不同作業活動所需的所有專業工作,才能實現這些目標。

因此, José Cabrera NPP 須符合西班牙**核安全理事會**的指示**IS-19**,該指令規定了整合不同核設施管理系統的要求。

**它是保障人員和環境安全的關鍵因素**



**投入約有30% 的人力是負責監督作業的品質和安全**

## 11. 輔助的政策措施

### 11.1. 監管機關的管制

除役作業受到來自不同組織的嚴格監管，以監督各種活動的推展。  
**核安全理事會**是負責核安全和放射防護的西班牙機構，它不斷監督設施的運作和專案發展在不同作業要求（輻射防護，緊急應變、廢物管理等）

此外，**EURATOM** 和 **IAEA** 是西班牙參與的國際核能合作機構，它們也監測專案，並定期檢查設施的狀況及其內部的物料。



所有與**廢物管理**和**輻射防護**有關的系統和過程都必須通過由**監管機構**的正式測試程序。



廢料容器測試 在(DAB )控制室



## 11.2. 訓練

在傳統領域和對輻射有影響的領域，進行拆除作業所涉及工作的複雜性，必須制定人員培訓計畫，以確保所有相關工作人員都有充分的培訓，並保證所有活動的安全，以符合規定。



消防訓練

# 11.3. 宣導及溝通

Enresa 公司的除役溝通政策從一開始就宣告所有的活動都完全透明。同時也建立了幾個溝通管道，讓公眾輿論表達，以便發現特殊情況，並視為這一專案工作的一個重要部分。

期間有許多國家和國際組織（來自學術、團體和專業團體）來參訪獲得有關除役工作進展的第一手知識及資料。



(1.388 人)  
(220 個)  
(1.482 個)  
(172 個)  
(206)



## 11.4. 國際社會關注

在西班牙，**José Cabrera NPP** 完全除役是一個開創性的專案，也是世界上為數不多的幾項經驗活動之一，因為只有大約十個商用發電廠完成除役。

對大型核電廠設施的分割和由此產生的廢料的調理，所採用的創新方法一直是國際社會關注和關心的議題。許多公司和機構，無論是國家和國際，都訪問過該廠，以瞭解除役經驗。

此外，作為與國際合作的一部分，**Enresa** 正在參加 **OECD/NEA** 幾個工作組，目的是分享專門知識並優化拆除專案。



## 12. 其他經驗回饋

### 1). 遭遇困難事項

- 電廠的通風系統的情況比最初的預估差。這種情形是由於拆除作業需要更多的修改工作（如即有系統的修改任務、設計修改、詳盡的測試計劃等）以符合法規安全要求
- 一些承包商未曾有在核設施工作環境經驗。主要是他們在準備適當的文件方面遇到問題（如工程組織的品保作業補充及管制和支援等）
- 由於法規的變動公布而提出的新要求配合
- 某些設備交付延誤（如可攜式通風裝置、新的緊急消防泵等）

#### ---追加工作方面

- 增加廢物儲存區容量（新地基、板材厚度、鑽石索鋸的額外切割活動等）
- 修改建築屋頂上的防水設施
- 與工業安全要求相關的作業改進
- 承包商為排放電氣系統提供支援（電纜託盤偏差等）

#### ---設備和輔助系統方面

- 通風系統的加固（如法規要求），由於新設備（如通風裝置、絕對過濾器）而增加的額外費用。其中最主要的在輔助廠房和反應器廠房通風系統的改造
- 根據測試計劃檢測結果，需對設備進行修改（如控制室、混凝土噴射區域、屏蔽設備等）

#### ---施工作業協調管理組織的補強

- 不同承包商在同時工作時的介面作業協調

## 2). 反應器壓力槽內部組件切割

- 準備作業事項比預期的要複雜 (約延遲 6個月)

## 3). 技術規範中未考慮到的作業

- 用過燃料池襯墊需先進行維修
- 用過燃料池的水下檢測工作
- 從池中移除雜項物件 (如隔架、雜項組件)
- 製作置入池內切割廢棄物吊籃容器

## 4). 較預期更複雜的作業事項

- 拆除反應爐腔與燃料池之間的牆體
- 確保爐腔防水的任務
- 過濾淨化池水, 以掌握切割作業的最佳視覺條件

# 13. 經費估算

專案主要工作要項	Cost estimate	Cost estimate	COST (M€ 2014)	%
	2003 (M€ 2003)	2003 (M€ 2013)		
-Pre-decommissioning actions	4	5,2	12,8	5,9 %
-Facility shut down activities	1	1,3	4	1,8 %
-Procurement of general equipment and material	-	-	-	-
-Dismantling activities	42	54,2	42	19,3 %
-Material & Rad Waste Management	11	14	10	4,6 %
-Site security, surveillance and maintenance	13	17	66	30,3 %
-Conventional Dismantling, Demolition, site restoration landscaping	31	40	15	6,9 %
-Project management, engineering and site support	29	37,4	53	24,3 %
-Fuel and nuclear material	-	-	-	-
-Miscellaneous Expenditures	5	6,5	15	6,9 %
<b>TOTAL</b>	<b>136</b>	<b>175,6</b>	<b>217,8</b>	<b>100 %</b>

註：1 € =23~24 NTD

講義叢書 (欲購買者請洽核能科技協進會,  
楊經理 <02-2930-7278> )

1. 核電廠除役策略與技能自主化 (658頁)
2. 圖說西班牙 José Cabrera 核電廠除役案例 (80頁)
3. 工程項目計畫的經營規劃概要-淺釋除役計畫案 (96頁)
4. 国际上核电厂除役费用估算方法与基金编列及  
审查管制 (423頁)
5. 用過核燃料室內乾貯設施及再取系統設置 (80頁)
6. 除役廠址特性調查與污染檢測方法及儀器 (128頁)
7. 核電廠除役有害廢棄物的特性調查和處理處置  
方法 (48頁)
8. 核電廠除役低放射性廢棄物盛裝容器的技術剖析 (158頁)
9. 核電廠除役放射性廢棄物處理區域建置規劃與  
設計之探討 (91頁)
10. 除役作業遙控切割及除污技術與設備系統 (200頁)
11. 核電廠汽機廠房內設備拆除作業概要 (78頁)
12. 機器人在核電廠運維作業和除役作業的應用  
與設計 (127頁)
13. 核電廠除役放射性固體廢棄物外釋商業化的  
量測偵檢儀器與技術 (97頁)
14. 核电厂放射性废物管理及处置的实践与发展 (346頁)
15. 核电厂放射性废物管理与挑战 (46頁)

16. 核废料高效管理组织、减源管理和优化处理技术议题 (66頁)
17. 核電廠除役污染金屬除污減量技術與外釋量測 (62頁)
18. 核電廠除役有害廢棄物的特性調查和處理處置方法(33頁)

專題研究報告 (興趣者請逕與本人聯絡,  
[johnslchen@yahoo.com.tw](mailto:johnslchen@yahoo.com.tw))

1. 推展核电厂除役策略与技能自主化战略研究
2. 除役專案風險管理方法和可發揮的作用
3. 數位化技術已為經濟高效的核電廠除役作業做好準備
4. 利用3-D 模型和自動輻射劑量分布量測及VR 工具為技術  
基礎提供核電廠除役 廠區場景及環境輻射視覺化與輻射  
劑量和放射性廢棄物數量之資訊平台技能探討
5. ZionSolutions--Zion 核電廠除役專案推展過程概要
6. 機器人在核電廠除役作業的應用探討
7. 核能電廠除役的廠址特性調查方法與經驗回饋之研究
8. 國際上核電廠除役設施拆除切割使用的技術和機具
9. 核電廠除役反應器容器組件切割技術的應用問題改善  
探討
10. 核電廠除役的反應爐壓力槽內部元件切割和包裝計畫  
應用經驗研究
11. 这样解决核电的”后顾之忧“  
<<中国核工业>>杂志刊载 (2019. 第2期)
12. 核能一廠除役計畫環境影響評估報告與審議處理之探討
13. 用過核燃料乾式貯存設施設置選擇與設計指南