

 National Tsing Hua University
國立清華大學核子工程與科學研究所

 臺灣醫用迴旋加速器學會
Taiwanese Society of Medical Cyclotron


 原子能 AEC

確保核安 低碳家園

**國內醫用迴旋加速器設施建造特性、
運轉歷程與國外設施除役經驗報告**

臺灣醫用迴旋加速器學會 理事
陳皇龍

2020.11.21



 National Tsing Hua University
國立清華大學核子工程與科學研究所


 臺灣醫用迴旋加速器學會
Taiwanese Society of Medical Cyclotron

 原子能 AEC

確保核安 低碳家園

**放射性物質生產設施除污及除役
規劃暨安全審查技術研究**

計畫主持人：許榮鈞教授、高潘福理事長
國立清華大學核子工程研究所、臺灣醫用迴旋加速器學會
109年11月21日



計畫背景



- 截至108年底，國內合計有12家設施經營者，共設有13部迴旋加速器生產設施，加速能量介在10-30 MeV之間，其中過半數設施自投入營運迄今已逾15年，最長逾25年。
- 隨著國內生產設施逐漸接近除役年限，放射活化殘存量評估技術及設施除役技術已在業界逐漸形成討論焦點。
- 原能會為國內輻射安全的主管機關，期使透過本研究計畫，引進先進國家之經驗，建立我國生產設施除役相關輻射安全管制技術建議，以確保日後設施除役管制之品質與輻射安全。
- 此外，亦可及早建立國內迴旋加速器生產設施除役專業人才資料庫，並且有機會跨機構網絡協調與技術整合，以利未來推動除役實務作業。

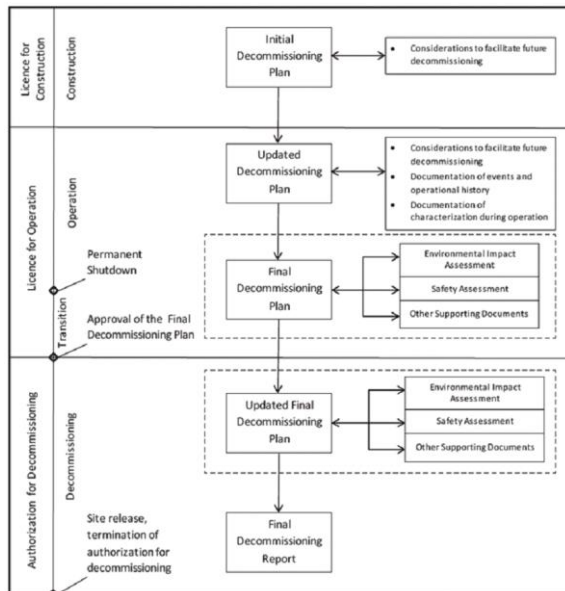


2

計畫目標



- 本計畫(二年期)目標對國內迴旋加速器放射性物質生產設施進行運轉歷程調查、放射性活化情形評估與量測驗證，據以提出除役計畫撰寫導則建議與除役輻射安全審查導則建議。
- IAEA-SSG-49號報告除役計劃建立導則→



研究團隊



臺灣醫用迴旋加速器學會
Taiwanese Society of Medical Cyclotron

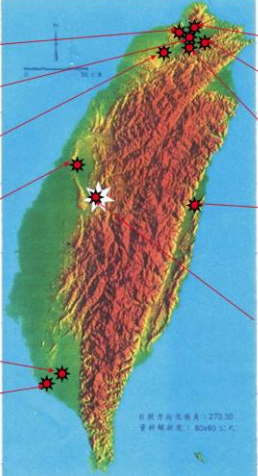


• 本計畫團隊人力包含學術單位實驗室(清大核工所、原料中心)與臺灣醫用迴旋加速器學會，本實驗室主要負責活化分析與測量技術評估，學會成員主要負責設施運轉歷程資料收集與應用。

10. 林口長庚
11. 林口長庚
12. 土宣
4. 新光

2. 核研所
3. 中山

7. 義大
8. 阮綜合



1. 台北榮總

5. 三總

9. 台大

6. 慈濟

13. 新吉美碩

| 設施 | 聯絡人 |
|------|-----|
| 北榮 | 張文儀 |
| 中山 | 高潘福 |
| 新光 | 羅欽堉 |
| 三總 | 周大凱 |
| 花蓮慈濟 | 林明琪 |
| 義大 | 許松瑩 |
| 阮綜合 | 吳淑華 |
| 台大 | 呂惠敏 |
| 林口長庚 | 姚正祥 |
| 土宣 | 陳耀光 |
| 新吉美碩 | 張碧芳 |

4

國內相關設施主要機型



臺灣醫用迴旋加速器學會
Taiwanese Society of Medical Cyclotron





MC17 cyclotron



Sumitomo HM-12S



GE MINI/PETtrace



IBA Cyclone 18/9



CTI RDS 111



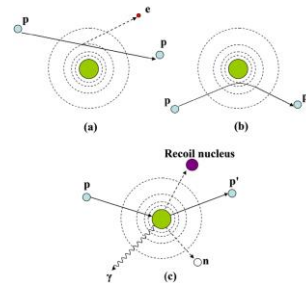
EBCO TR 30/15

5

研究方法與規劃



- 由於迴旋加速器生產設施在運轉過程中有機會因核反應誘發二次中子生成，二次中子輻射再造成迴旋加速器本體、屏蔽或建築物結構體等不同程度的活化。
- 隨著設施建物或加速器本身逐漸接近使用生命規劃週期，終將面臨永久停用問題，或因應設施場所利用目的變更而有拆遷變更場址的需求問題，關於放射活化殘存量評估技術及設施除役技術，已在業界逐漸形成討論焦點，因此在未來幾年，國內有必要逐步建置生產設施除役的相關處理導則與技術建議。
- 關鍵技術：**放射活化殘存量評估與測量**
- 研究架構：
 - 文獻蒐集與設施運轉資料調查→
 - 蒙地卡羅放射活化殘存量評估→
 - 測量與驗證→
 - 相關處理導則與技術建議





工作項目(109年)



1. **規劃與文獻收集**：針對迴旋加速器放射性物質生產設施，蒐集研析放射性活化分析影響或除役相關之國際學術文獻或技術報告。
2. **諸經驗國資料收集-法規要求、技術與處理實例**：針對迴旋加速器放射性物質生產設施，探討諸經驗國對除役之法規管制要求、技術措施與處理實例，擷取相關經驗回饋我國以利參考。
3. **國內設施資料收集**：蒐集並參考國內迴旋加速器放射性物質生產設施之建造特性與運轉歷史狀況，歸納建立模擬參數基礎資料庫。
4. **蒙地卡羅技術建立**：引入蒙地卡羅數值模擬運算分析方法，依前述模擬參數基礎資料庫，用以模擬評估加速器設施之放射活化污染潛勢情形，據以探討加速器組件、設施周遭介質與建物結構體等的活化影響。
5. **參數靈敏度分析**：對上述模擬參數基礎資料庫，進行參數靈敏度分析，歸納靈敏性參數類別及說明。
6. **辦理教育訓練**：彙整本研究的成果與經驗，辦理迴旋加速器放射性物質生產設施除役放射活化分析技術教育訓練。

工作項目(109年)

| 年月 | | | | | | | | | | | | | 備註 | |
|--------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 工作項目 | | | | | | | | | | | | | | |
| 文獻收集 | | | | * | | | | | | | | | | |
| 諸經驗圖資料收集 | | | | | | | | | | | | | | |
| 國內設施資料收集 | | | | | | | | * | | | | | | |
| 蒙地卡羅技術建立 | | | | | | | | | | | | | | |
| 參數靈敏度分析 | | | | | | | | | | | | * | | |
| 教育訓練 | | | | | | | | | | | | | | |
| 工作進度估計百分比 (累積數) | 5% | 10% | 15% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% | | |

8

文獻收集




| | | | | | |
|--------------------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|
| 1983-Nucl. Sci. Eng.-Neutron Producti... | 2020/5/15 下午 10:29 | Adobe Acrobat ... | Appendixes_-_Reference_Data_Jo_Par... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 1986_Residual Radioactivity in a Cyclo... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | European Commission_Report122_Pa... | 2020/6/4 下午 01:36 | Adobe Acrobat ... |
| 1994-Med Phys-RESIDUAL LONG-LIVE... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | IAEA_SSG-49_Decommissioning of Me... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2001-AIP Conference-Predicting long... | 2020/5/18 下午 02:46 | Adobe Acrobat ... | IAEA_TECDOC-855 clearance level IAEA | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2001-Radiochim. Acta-Excitation funct... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | IAEA_TECDOC-1211 | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2006_Health Phys_Decommissioning p... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | IAEA_TRS-414 : Decommissioning of S... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2008-Phys_Med_Biol-Monte Carlo si... | 2020/5/1 下午 01:33 | Adobe Acrobat ... | ICRP_Report74 | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2009-NIMPRB-Characteristics compari... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | IRPA : Radiological and Economic Im... | 2020/6/5 上午 01:52 | Adobe Acrobat ... |
| 2010_Med_Phys Prediction of neutron i... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | KEK_根本和善_part1_regulations | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2011-Rad.Measur.-Evaluation of neut... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | KEK_根本和善_part2_cyclotron decom... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2012_conference_Considerations Mea... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | KEK_根本和善_part3_measurement and... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2012_Considerations-Measurements-a... | 2020/4/23 下午 05:48 | Adobe Acrobat ... | Material table_Compendium of Materi... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2012-AIP Conference-Considerations, ... | 2020/5/18 下午 05:35 | Adobe Acrobat ... | NRC_UN2910 (包裝放射物管理值) | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2015-Rad. Phys. Chem.-Accurate Mont... | 2020/5/16 上午 12:26 | Adobe Acrobat ... | Textbook_Quality in Nuclear Medicine... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... |
| 2016-NIMPRB-Assessment of the prod... | 2020/5/16 上午 12:37 | Adobe Acrobat ... | | | |
| 2016-phys. Med.-Assessment of the ne... | 2020/5/18 下午 06:28 | Adobe Acrobat ... | | | |
| 2016-Physica Medica-Decommissioni... | 2020/5/18 下午 04:47 | Adobe Acrobat ... | | | |
| 2016-Reevaluation of Photon Activati... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | | | |
| 2017-Activation Reduction Method fo... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | | | |
| 2017-AIP Conference-Activation of air ... | 2020/5/18 下午 05:38 | Adobe Acrobat ... | | | |
| 2017-appli. Rad. Iso.-Characterisation ... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | | | |
| 2017-appli. Rad. Iso.-Evaluation of the... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | | | |
| 2017-Neutron transport calculation for... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | | | |
| 2018-appli. Rad. Iso.-Validating produ... | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | | | |
| 2020-NUCLEAR TECHNOLOGY_Devel... | 2020/6/3 下午 12:15 | Adobe Acrobat ... | | | |
| RPD113(2005)140-151 | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | | | |
| RPD115(2005)216-221 | 2020/5/1 下午 01:32 | Adobe Acrobat ... | | | |

相關文獻論文(含國內外)：27篇

相關文獻報告：12篇

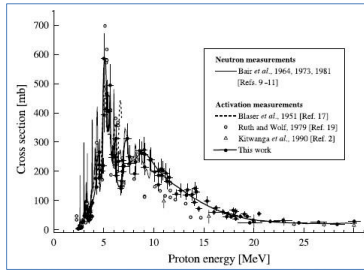
9

文獻收集



• 資料庫與驗證 (反應截面、中子/核種產率、劑量驗證)

| 文獻標題(英文) | 文獻標題(中文) | 作者 | 年代 | 國家 | 加速器 | | | | 活化 | | 除後 過程說明 有無 | 法規管制 要求/字樣 有無 | 資料庫與鏈條 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------|------|---------|-------------|-------------|----------|---------------------------------------------------|-----------|------------------|------------------|---------------------|--------|--------------------------------------------------------------------|
| | | | | | 機型 | 能量 (MeV) | 使用 年限 | 射束 損失 ($\mu\text{A}^{\circ}\text{hr}$)/yr | 自屏蔽 有無 | 活化 計算分析 有無 | | | | 活化 量測數據 有無 |
| Excitation function of the $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ nuclear reaction from threshold up to 30MeV | 從閾值能量到30MeV的 $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ 核反應的激發函數(反應截面) | E. Hess <i>et al.</i> | 2001 | Germany | CV28 | 4-21 | | | 無 | 無 | 有 | 無 | 無 | 臺灣所付的反應截面，也經IAEA組織所採用，可供日後驗證各Monte Carlo code內是否有正確或合理的反應截面資料或核模型。 |
| Assessment of the production of medical isotopes using the Monte Carlo code FLUKA: Simulations against experimental measurements | 使用Monte Carlo code FLUKA評估醫用同位素的產生：模擬與實驗量測比較 | Angelo Infantino <i>et al.</i> | 2016 | Italy | TR13 TRUIME | 13 | | | 有 | 有 | 有 | 無 | 無 | 證實FLUKA應用於13MeV 質子產生正子放射核種產生的可行性。 |
| Characterisation of the secondary neutron field generated by a compact PET cyclotron with MCNP6 and experimental measurements | 藉由MCNP6模擬計算與實驗量測Compact PET 迴旋加速器誘發的二次中子產率的特徵 | D. Albani <i>et al.</i> | 2017 | Italy | IBA | 18 | N/A | N/A | 無 | 有 | 有 | 無 | 無 | 比較在不同位置，經SAND II code處理過之實驗值與MCNP6模擬計算值所得之中子能譜 |



經由 neutron measurement 和 activation measurement 而得的 $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$ 反應截面。(E. Hess et al.,2001)

文獻收集



• 模擬計算方法

| 文獻標題(英文) | 文獻標題(中文) | 作者 | 年代 | 國家 | 加速器 | | | | 活化 | | 除後 過程說明 有無 | 法規管制 要求/字樣 有無 | 模擬計算方法 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|------|--------|-------------|-------------|----------|---------------------------------------------------|-----------|------------------|------------------|---------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | 機型 | 能量 (MeV) | 使用 年限 | 射束 損失 ($\mu\text{A}^{\circ}\text{hr}$)/yr | 自屏蔽 有無 | 活化 計算分析 有無 | | | | 活化 量測數據 有無 |
| Prediction of neutron induced radioactivity in the concrete walls of a PET cyclotron vault room with MCNPX | 利用MCNPX code模擬預測迴旋加速器設施中混凝土牆內因中子誘發產生的放射活性 | J. Javier <i>et al.</i> | 2010 | Spain | GE PET TRAC | 18 | 10 | 35000 | 有 | 有 | 有 | 無 | 有 | 利用MCNPX v2.6.0 code模擬計算長期轉運後混凝土牆內不同深度活化的長半衰期核種比活度。在10年的運行中估計的最高比活度受到豁免限制之下。因此迴旋加速器室可以作為放射核種貯藏室。 |
| Accurate Monte Carlo modeling of cyclotrons for optimization of shielding and activation calculations in the biomedical field | 對於迴旋加速器的精確Monte Carlo模型，用於優化生物醫學領域的屏蔽和活化計算 | Angelo Infantino <i>et al.</i> | 2015 | Italy | GE PETTrace | 16.5 | 19 | | 無 | 有 | 有 | 無 | 無 | 利用FLUKA version2011.2b.6分析迴旋加速器相關的核種產率、周圍等效劑量及活化上參數的最佳化分析。模擬計算與實驗量測分析，其周圍等效劑量結果兩者的比值均在0.99-1.01之間。提供我們將要在使用FLUKA模擬活化分析上信心及參考。 |
| Activation Reduction Method for a Concrete Wall in a Cyclotron Vault | 降低迴旋加速器設施內混凝土牆活化的方法 | Kazuyoshi Masumoto <i>et al.</i> | 2017 | Japan | no refer | 30 | | | 無 | 有 | 有 | 無 | 無 | 利用全分析及TLD分析中子通量率。在這之後則利用PHITS模擬計算中子能譜及其引發的活化。其模擬計算結果與實驗量測結果有不錯的吻合性 (CM比值在3倍以內) |
| Validating production of PET radionuclides in solid and liquid targets: Comparing Geant4 predictions with FLUKA and measurements | 驗證在固態或液態靶中PET正子放射核種產率：Geant4和 FLUKA MC code 間模擬預測比較、實驗量測 | T. Amin <i>et al.</i> | 2018 | Canada | TR13 TRUIME | 13 | | | 有 | 有 | 有 | 無 | 無 | 使用Geant4 code分析與其他文獻研究使用過的FLUKA 模擬計算值與文獻實驗值做比較，Geant4 仍在可接受的範圍內。整體而言，Geant4已經不但是用來評估低能量質子誘發放射核種產生之產率評估的工具。 |

文獻收集



• 設施活化計算(1/2)

| 文獻標題(英文) | 文獻標題(中文) | 作者 | 年代 | 國家 | 加速器 | | | | 活化 | | | 除役 過程說明 有無 | 法規管制 要求/等級 有無 | 設施活化計算 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------|-------|--------------------|-------------|----------|------------------------------------------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | 機型 | 能量 (MeV) | 使用 年限 | 射量 損失 ($\mu\text{A}\cdot\text{hr}$)/yr | 自屏蔽 有無 | 活化 計算分析 有無 | 活化 量測數據 有無 | | | |
| Residual Radioactivity in a Cyclotron and its Surroundings | 迴旋加速器的殘餘放射性活度及其環境 | A. B. Philips, et al | 1986 | USA | *For research | 1-43 25 | 21 | 250000 | 無 | 無 | 有 | 有 | 無 | 實驗量測時間均在迴旋加速器停機後的一年,不論是在迴旋加速器的機件或是混凝土牆壁,所有的殘餘放射性均低於法規之解除標準。 建議不需將可測得放射性的迴旋加速器機件拆到一般環境,大部分材料將視為低放射性廢棄物處理。 |
| Residual long-level radioactivity distribution in the inner concrete wall of a cyclotron vault | 迴旋加速器設施中內層混凝土牆壁的殘餘長半衰期放射性活度分布 | K. Kimura et al | 1994 | Japan | *For research | 1-40 | 11 | 150000 | 無 | 有 | 有 | 無 | 無 | 量測及根據計算顯示室內混凝土牆壁的放射性活化程度。 |
| Predicting long-lived, neutron-induced activation of concrete in a cyclotron vault | 預測迴旋加速器室混凝土中的中子誘發活化的長半衰期核種 | Carroll, L. R. | 2001 | USA | CP-42 | 17 42 | | 80000(17MeV) 100000(42MeV) 200uAfor -500 hours | 無 | 有 | 有 | 無 | 無 | 量測及根據計算顯示室內混凝土牆壁的放射性活化程度。 |
| Decommissioning procedures for an 11 MeV self-shielded medical cyclotron after 16 years of working time | 工作16年後11 MeV自屏蔽醫用迴旋加速器的退役程序 | R. Calandrio et al | 2006 | Italy | CTI RDS112 Eclipse | 11 | 16 | | 有 | 有 | 有 | 有 | 有 | 主要針對除設計中拆解加速器過程中,人員接受的人員劑量進行討論,其結果顯示工作人員有效劑量皆小於20 mSv,且攝入的體內有效劑量大小可忽略,表示幾乎沒有風險,但仍需在除役拆解的過程中持續監控及測量,來達到除役的安全程度。 ●意大利目前的限制和法律規定要求客戶將活化部件無限期地存放在授權區域以進行放射性廢物處理。 |

文獻收集



• 設施活化計算(2/2)

| 文獻標題(英文) | 文獻標題(中文) | 作者 | 年代 | 國家 | 加速器 | | | | 活化 | | | 除役 過程說明 有無 | 法規管制 要求/等級 有無 | 設施活化計算 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------|--------|---------------------------|-------------|----------|------------------------------------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | 機型 | 能量 (MeV) | 使用 年限 | 射量 損失 ($\mu\text{A}\cdot\text{hr}$)/yr | 自屏蔽 有無 | 活化 計算分析 有無 | 活化 量測數據 有無 | | | |
| Considerations, measurements and logistics associated with low-energy cyclotron decommissioning | 低能量迴旋加速器在除設計計畫中的注意事項、量測及廢物處理 | J. J. Sunderland, C. E. Erdahl, B. R. Bender, L. Seney, and G. L. Watkins | 2012 | USA | Scandromax | 17 | 20 | 300000 | 無 | 有 | 有 | 無 | 無 | 根據計算顯示室內混凝土牆壁的放射性活化程度,混凝土牆壁的活化程度與活化度將於設置15年後降至與背景相同;其迴旋加速器的活化度也降至37 MBq (1 mCi) 以下。 |
| Effectiveness of self-shielding type cyclotrons | 自屏蔽迴旋加速器的實效 | Kanoyoshi Masumoto et al | 2014 | Japan | five cyclotron facilities | 7-20 | | | 有 | 有 | 無 | 無 | 無 | 結果顯示對於有使用自屏蔽的機型而言,加速器材料與機型的活化活化皆可忽略。 |
| Decommissioning procedures for a 17MeV medical cyclotron | 一台17MeV的醫用迴旋加速器之退役程序 | L. D' Ambrosio et al | 2016 | Italy | MC17 | 17 | 10 | | 無 | 有 | 有 | 有 | 無 | 根據計算顯示室內混凝土牆壁的放射性活化程度及除設計量測中工作人員的人員劑量,對於工作人員而言,其體的體內有效劑量皆小於20 μSv ,而攝入的體內有效劑量大小可忽略。 |
| Neutron transport calculation for Activation Evaluation for Decommissioning of PET cyclotron Facility | 對於PET迴旋加速器設施之活化評估的中子運算計算 | Kazuyoshi Masumoto et al | 2017 | Japan | CYPRIS-HMIS | 18 | 20 | 10000 | 無 | 有 | 有 | 無 | 無 | 使用公分厚鉛的磁屏蔽加上銅包即可有效降低中子通量的78%,因此加上這種設計的屏蔽,可有效降低中子在混凝土牆上的活化程度。 |
| Activation of air and concrete in medical isotope production facilities | 醫用同位素產生設施中空氣與混凝土的活化 | Dodd, A. C., Shuckeborn, R. J., Carr, D. A., & Imani, A. | 2017 | Canada | no refer | | | | 無 | 有 | 無 | 無 | 無 | 其結果顯示旋轉磁鐵與磁極通有最大的活化程度,不同的放射核種在不同條件中產生,且部分很低的活化放射性核種可能低於背景。 |

諸經驗國資料收集



處理經驗與處理導則&法規管制要求

| 文獻種類 (原文) | 文獻種類 (中文) | 作者 | 年代 | 國家 | 加通量 | | | | 淨化 | | 除污 過程說明 有無 | 法規管制 要求-管理 有無 | 處理經驗與處理導則 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|------|-------------|-------------------------------|-------|-------------------------------|--------|-----------------|-----------------|----------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | 總量 (MeV) | 使用 年數 | 射入 劑量 (uA-hr/m ²) | 自身核 有無 | 淨化 時分佈 有無 | 淨化 處理過程 有無 | | | |
| IAEA_SMI-49: Decommissioning of Medical Industrial and Research Facilities | 國際原子能總署-安全中-醫學放射設施中-醫學工業研究設施之除污 | International Atomic Energy Agency (IAEA) | 2019 | Austria | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 有 (附錄2-3說明-線源的拆除計畫書及相關資料以及相關輔助文件) (附錄7-8說明-設計量及設計量限制之工作) | 有 (參見第3-6) | 除設計量之專業架構及目標 除設計量之相關輔助文件 |
| IAEA_TRS-414: Decommissioning of Small Medical Industrial and Research Facilities | 國際原子能總署-技術-報告系列414號報告-小型醫療工業研究設施之除污 | International Atomic Energy Agency (IAEA) | 2003 | Austria | 無 | 無 | 無 | 無 | 有 (參見附件各實施例) | 有 (參見附件各實施例) | 有 (附件分別有:醫院之放射源設施、電子研究設施、小型線源設施(反應器)、放射源標記物與實驗室等實施例。-(含附件)) | 有 (參見第3-5) | 除醫學管理與處置放射源之管理 -中低階廢棄物 -高階廢棄物 除設施物與放射源之廢棄物 除廢棄物處理分類 |
| Quality in Nuclear Medicine, ICRP, The Decommissioning of Cyclotron Facilities for the Production of Radionuclides in Nuclear Medicine | 核醫學品質管理-單元七-核醫學中用之主要核素-核素生產之設施之除污 | Janse M. J. Pans and John R. de Jong | 2016 | Switzerland | 有 低劑量 核素或 短半衰期 核素 | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 有 (附錄主要說明分重要討論: (1) 增加加速器室內的 vault (含內屏蔽設施)) | 有 | (1) 增加加速器設施的設施中,有兩個主要組成部分需要討論: 增加加速器本體及增加加速器室內的 vault (室內屏蔽設施) (2) 增加加速器室內的屏蔽設施的設施,如 4-10m 高。 (3) 增加加速器本體結構的長半衰期活化結構,如表 4.11 所示。 (4) 室內屏蔽設施(混凝土)塊體的長半衰期活化結構,如表 4.12 所示。 (5) 評估每一種增加加速器室的混凝土塊,應以適當處理,因為其混凝土的組成在現今都沒有統一定義。 (6) 增加屏蔽設施的混凝土活化劑大多為低量之鈾(238U) |

| 文獻種類 (原文) | 文獻種類 (中文) | 作者 | 年代 | 國家 | 加通量 | | | | 淨化 | | 除污 過程說明 有無 | 法規管制 要求-管理 有無 | 處理經驗與處理導則 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|------|---------|----------|-------|-------------------------------|--------|-----------|------------|------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | 總量 (MeV) | 使用 年數 | 射入 劑量 (uA-hr/m ²) | 自身核 有無 | 淨化 時分佈 有無 | 淨化 處理過程 有無 | | | |
| IAEA_TECDOC855_C2: IAEA TECDOC 855, Levels for radionuclides in solid materials | 國際原子能總署-技術-文件855號報告-在固態物質中放射核素的解除污染 | International Atomic Energy Agency (IAEA) | 1996 | Austria | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 有 | 含有放射核素的固態物質之解除污染- (包含concept) |
| European Commission, Radiation Protection 22, Guidelines on General Clearance Levels for Practices | 歐盟委員會-輻射防護 22號報告-實務導則上-解除污染標準與自發 | Directorate-General for Environment | 2000 | Belgium | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 無 | 有 | 有條件解除(conditional clearance) 無條件解除(unconditional clearance) 解除污染分佈: 工廠-直接釋放物、處理(無條件)- 設施(無條件)- 設施(無條件) 及處理利用(無條件)。 |

諸經驗國資料收集



澳洲國家醫用迴旋加速器

- 澳洲政府於2010年有一部用於核醫學同位素生產的迴旋加速器除役經驗並檢附詳細的相關文件, 足資參考, 其過程簡略描述如下:
- 澳大利亞核科學技術組織(ANSTO)所使用之澳大利亞國家醫用迴旋加速器生產用於核醫學同位素生產約20年後, 於2010年9月9日向澳大利亞輻射防護與核安全局ARPANSA(Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency)申請除役, 並於2009年10月停止運行。根據1999年《澳大利亞輻射防護與核安全條例》第40條 [註: 2018年修訂已改為第45-48條], ARPANSA的首席執行官必須在收到設施許可證申請後, 在切實可行的範圍內, 盡快在全國發行刊登的日報上和《公報》上發布一份公告, 打算對申請案做出決定。ARPANSA首席執行官於2010年11月10日在《澳大利亞人》報和《澳大利亞政府公報》上發布了一項通知, 於2010年11月11日發布了廣告宣傳公共論壇並於2010年11月23日於西部快速報發布相關消息。2010年11月30日ARPANSA首席執行官舉行了一次公開論壇, 以接收提出的申請許可。
- 在ARPANSA收到三份公開意見之後, 於2010年12月16日, ANSTO對公開意見中提出的實質性問題做出了回應。根據1998年《澳大利亞輻射防護與核安全法》(該法) 第32條的要求, ARPANSA的首席執行官在做出決定時需考慮:
 1. 在關閉坎珀當設施的情況下在輻射防護和核安全方面的國際最佳實務做法
 2. 公眾根據本申請書提交的公眾意見書的內容
 3. 申請書中包含的信息是否表明可以對Camperdown設施進行除役, 而又不會對人員的健康和安全以及對環境造成不適當的風險
 4. 申請人是否表明該行為有淨收益
 5. 申請人是否已經考慮到社會和經濟因素, 表明劑量的大小, 接觸的人數以及發生接觸的可能性是否合理抑低
 6. 申請人是否有能力遵守這些法規以及根據該法令第35條施加的許可條件
- 申請書是否已由申請人的持有人簽署。

諸經驗國資料收集



- 澳洲國家醫用迴旋加速器
- 現在可以獲取ANSTO和ARPANSA公開論壇的會議記錄和演講：
 - 2010年11月30日舉行的公共論壇會議記錄：
 - Minutes - Public forum - Decommissioning the National Medical Cyclotron
https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/minutes_forum_NMC.pdf
 - Minutes - Public forum - Decommissioning the National Medical Cyclotron
https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/minutes_forum_NMC.rtf
 - 演講-ANSTO重大專案交付辦公室（工程和資本項目）經理Andy Garcia先生
 - ANSTO Camperdown project public presentation
https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/NMCPublicForum_ANSTO.pdf
 - ARPANSA監管與政策部主管Rhonda Evans女士總結的要點
 - Key points - Public forum - Decommissioning of the National Medical Cyclotron
https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/NMCForum_keypoints.pdf
 - Key points - Public forum - Decommissioning of the National Medical Cyclotron
https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/NMCForum_keypoints.rtf

16

諸經驗國資料收集



- 澳洲國家醫用迴旋加速器
- 收到的意見書
- ARPANSA收到了三份提交的文件，其中一份在國家醫用迴旋加速器除役申請中被標記為機密。兩個公開可用的意見是：
 - Submission - City of Sydney - Decommissioning - National Medical Cyclotron
https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/NMC_CityOfSydney_sub.pdf
 - Submission - University of Sydney - Decommissioning - National Medical Cyclotron
https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/NMC_UniversityOfSydney_sub.pdf
- ANSTO申請書
 - ANSTO Camperdown - Application to decommission - Cover letter – 7 September 2010
<https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/LettertoARPANSA7September2010.pdf>
- ARPANSA 許可證申請文件
 - ANSTO Camperdown Facility License Application
<https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/ANSTOFacilityLicenceApplicationA0230.pdf>
 - ANSTO Camperdown Facility Decommissioning Effective Control Plan
<https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/EffectiveControl.pdf>
 - ANSTO Camperdown Facility decommissioning - Safety management plan
<https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/SafetyManagement.pdf>
 - ANSTO Camperdown - Decommissioning - Radiation protection plan
<https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/RadiationProtection.pdf>
 - ANSTO Camperdown Facility Waste Management Plan
<https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/WasteManagement.pdf>
 - Security plan
<https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/SecurityPlan.pdf>
 - ANSTO Camperdown Facility Decommissioning Emergency Plan
<https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/EmergencyPlan.pdf>
 - Decommissioning plan
<https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/SecurityPlan.pdf>

17

諸經驗國資料收集



• 澳洲國家醫用迴旋加速器

- 以下是ARPANSA首席執行官的決策信及其原因說明和設施許可證F0230：
 - ARPANSA CEO decision - Application to decommission the Camperdown Nuclear Medicine Cyclotron
 - <https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/CEOdecisionNMC.pdf>
 - Decommissioning licence - National Medical Cyclotron
 - <https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/regulatory/NMC/NMCLicence.pdf>

18

諸經驗國資料收集



• 日本國家精神病學與神經醫學研究中心小型醫用迴旋加速器拆卸工作報告

• 摘要

- [目的]在醫院中安裝小型醫用迴旋加速器以生產放射性同位素的設施的數量正在增加，但是關於其拆卸和處置的報導很少。這次，我們報告了我們醫院正在拆除用於製造PET藥品的小型醫用迴旋加速器。
- [方法]將拆卸工作計劃分為拆卸前調查，拆卸工作和拆卸後報告。放射性物質的處理主要根據“放射線發生裝置使用設施中的放射性化合物的處理”進行處理，這是科學技術廳科長的通知。
- [結果]劑量最高的部位是靶部位的真空箔，檢出的同位素為 ^{22}Na ， ^{57}Co ， ^{60}Co ， ^{65}Zn 等。包圍放射性物質的容器的總體積為200 L 13罐和50 L 1罐。該總數小於最初計劃的數量，並且認為這主要是由於迴旋加速器的冷卻期超過一年。
- [結論]將來，為了減少伴隨廢除加速器的放射性物質的量，認為須評估冷卻時間並持續改善處理方法。

19

國內設施資料收集



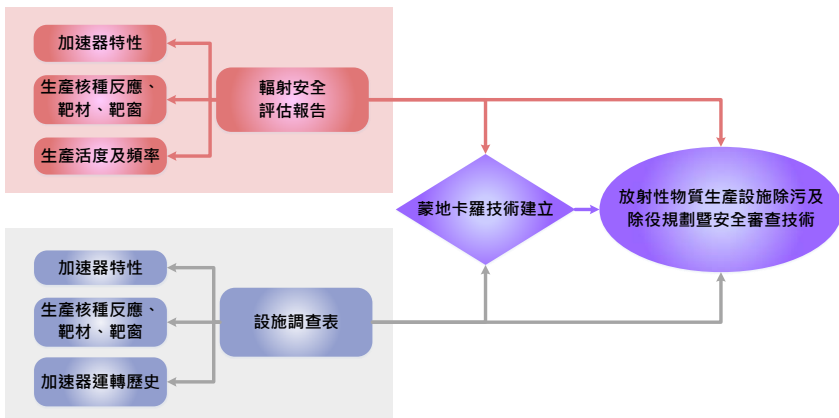
• 透過台灣醫用迴旋加速器學會來調查與蒐集，並參考國內現有13部迴旋加速器放射性物質生產設施之建造特性與運轉歷史狀況，歸納建立模擬參數基礎資料庫，收集資訊資料。

- 電話諮詢
- 問卷調查
- 訪視

| 2019年 | | | | |
|----------|------------|------------|----------------|---------------|
| 核種 | 平均靶電流 (μA) | 照射時間 (h/w) | 周射束損失 (μA-h/w) | 周生產活度 (mCi/w) |
| F-18 | 40 | 10 | 400 | 4500 |
| 2019-w1 | | | | |
| 2019-w2 | | | | |
| 2019-w3 | | | | |
| 2019-w4 | | | | |
| 2019-w5 | | | | |
| 2019-w6 | | | | |
| 2019-w7 | | | | |
| 2019-w8 | | | | |
| 2019-w9 | | | | |
| 2019-w10 | | | | |
| 2019-w11 | | | | |
| 2019-w12 | | | | |
| 2019-w13 | | | | |
| 2019-w14 | | | | |
| 2019-w15 | | | | |
| 2019-w16 | | | | |
| 2019-w17 | | | | |
| 2019-w18 | | | | |
| 2019-w19 | | | | |

| 加速器建造特性與運轉歷史調查表 | | | | |
|-----------------|-------------------------------------------------------|---------|---------|------------|
| 機台名稱 | GE | 型號 | | 調查者 |
| 加速器廠牌 | GE | 型號 | | 交表日期 |
| 加速核子 | 請勾加速種「H-18」或「H-18及O-15」 | | | |
| 加速器射束管線之有無 | 請勾加速種「有自屏蔽」或「無自屏蔽」 | | | |
| 標準最大加速電壓 | H | 0.6 MeV | | |
| | D | NA MeV | | |
| 加速器開始建造日(年/月/日) | | | | |
| 加速器正式運轉日(年/月/日) | | | | |
| 許可證字號 | | | | |
| 有效日(年/月/日) | | | | |
| 目前台務運轉人員數量 | 人 | | | |
| 靶材類型與使用狀況說明 | 生產核種 | 靶材 | 體積 (cc) | 最大靶電流 (μA) |
| 例 | F-18 | 鈾 | 2.2 | 2 |
| 1號靶 | F-18 | | | |
| 2號靶 | C-11 | | | |
| 3號靶 | N-13 | | | |
| 4號靶 | O-15 | | | |
| 5號靶 | NA | | | |
| 6號靶 | F-18 | | | |
| 7號靶 | C-11 | | | |
| 8號靶 | N-13 | | | |
| 靶-18束管度 | % | | | |
| 加速器本體資訊 | (請勾已加裝)或參考核射安全評估報告相關廠商文件輸入 | | | |
| 加速器本體材質(內外兩層) | 鋼板 | 鋁板 | | |
| 加速器本體材質厚度(mm) | 24 | 12 | | |
| 加速器自屏蔽層資訊 | (請勾已加裝,如無自屏蔽請填)或參考核射安全評估報告相關廠商文件輸入 | | | |
| 自屏蔽層圓筒材料 | 鉛 | 鋼 | 高密度水 | PE |
| 自屏蔽層圓筒材料厚度(mm) | | | | 含鋼水 |
| 最大電流說明 | 如:本設施於108年2月1日起靶電流由30μA提高至40μA,生產活度由3500mCi提高至5000mCi | | | |

國內設施資料收集



國內設施資料收集



• 設施文件收集狀況、設備特性

| 編號 | 設施 | 輻射安全評估報告年分 | 配置平面圖 | 射束生產條件 | 正式運轉年分 | 許可證字號 | 廠牌 | 型號 | 序號 | 能量 (MeV) | 加速粒子 | 有無自屏蔽 |
|----|---------|----------------|-------|--------|--------|--------------|--------------|---------------|----------|-----------|------|-------|
| 1 | 北榮 | V | PDF | 每季形式 | 81 | 醫物字第2100058號 | Scanditronix | MC-17F | 18013 | 17.2/17 | H- | X |
| 2 | 核研所 | 建議提供80 | PDF | X | 82 | 物字第2100058號 | ACSI | TR-30/15 | | 8.6/8 | D- | X |
| | | | | | | | | | | 15~30 | H- | |
| 3 | 中山 | V | CAD | V | 88 | 醫物字第2100060號 | CTI | RDS 111 | DV17 | 11 | H- | Y |
| | | | | | | | | | | 7.5~15 | D- | |
| 4 | 新光 | 建議提供 剛成立時報告 | CAD | V | 90 | 醫物字第2100067號 | GE | Minitrace | | 9.6 | H- | Y |
| 5 | 三總 | V | CAD | V | 92 | 醫物字第2100064號 | IBA | CYCLONE 18/9 | | 18 | H- | X |
| 6 | 花蓮慈濟 | V | PDF | V | 92 | 醫物字第2100065號 | GE | PETtrace | 335UP0 | 9 | D- | Y |
| | | | | | | | | | | 16.5/16 | H- | |
| 7 | 義大 | V | PDF | V | 94 | 醫物字第2100066號 | GE | PETtrace | | 8.4/8 | D- | Y |
| | | | | | | | | | | 16.5 | H- | |
| 8 | 阮綜合 | 建議提供新增C-11評估報告 | PDF | V | 94 | 醫物字第2100078號 | Sumitomo | HM-12S | 6 | 8.4 | D- | Y |
| | | | | | | | | | | 12 | H- | |
| 9 | 台大 | V | PDF | V | 94 | 醫物字第2100068號 | GE | PETtrace | 644UP5 | 6 | D- | Y |
| | | | | | | | | | | 16.5 | H- | |
| 10 | 林口長庚-S | V | CAD | V | 96 | 醫物字第2100070號 | Sumitomo | HM-12S | WWCF2200 | 8.4 | D- | Y |
| | | | | | | | | | | 12 | H- | |
| 11 | 林口長庚-GE | V | PDF | V | 104 | 醫物字第2100193號 | GE | PETTrace 880S | 2169UP1 | 6/NA | D- | Y |
| | | | | | | | | | | 16.5/16.4 | H- | |
| 12 | 士宜 | X | PDF | 建議修正格式 | 106 | | Sumitomo | HM-12S | | NA | D- | Y |
| | | | | | | | | | | 12 | H- | |
| 13 | 新吉美碩 | V | CAD | V | 107 | 物字210088號 | IBA | KIUBE 100 | | 18 | H- | X |
| | | | | | | | | | | | | |

國內設施資料收集



• 各設施對應靶號、生產核種、靶材、照射能量、靶電流、靶體與靶窗資訊(1/3)

| 設施代碼 | 安裝靶號 | 生產核種 | 生產核種反應 | 靶材 | 靶材型態 | 照射能量 (MeV) | 照射靶體積 (c.c.) | 最大靶電流 (uA) | 最大生產深度 EOB (mcCi) | 靶體材料 | 靶窗材質 | 靶窗厚度 (um) | 靶型號 | |
|------|------|----------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------|------------|--------------|------------|-------------------|------|------|-----------|-----|--|
| A | 1 | C-11 | 14N(p,n)11C | | gas | | 750 | 40 | 2000 | Al | | | | |
| | 3 | O-15 | | | gas | | 250 | 30 | 300 | Al | | | | |
| | 5 | F-18(F2) | 18O(p,n)18F | 18O+F2 | gas | | 300 | 40 | 200 | Ni | | | | |
| | 6 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | | 2.7 | 45 | 2000 | Nb | | | | |
| | 7 | N-13 | 16O(p,p)13N | | water | | 3.5 | 10 | 100 | Al | | | | |
| | 8 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | | 0.7 | 40 | 1000 | Nb | | | | |
| | B | 1 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 17 | 3 | 12 | 1000 | | | | |
| 2 | | Tl-201 | 203Tl(p,3n)201Tl | Tl-203 | solid | 30 | | 200 | 2000 | | | | | |
| 3 | | Ga-67 | 68Zn(p,2n)67Ga | Zn-68 | solid | 30 | | 160 | 2000 | | | | | |
| 4 | | In-111 | 112Cd(p,2n)111In | Cd-112 | solid | 30 | | 160 | 2000 | | | | | |
| 5 | | I-123 | 124Xe(p,2n)123Cs → 123Xe → 123I | Xe-124 | gas | 30 | | 120 | 1.2 | | | | | |
| 其他 | | Co-57 | 58Ni(p,2p)57Co | | solid | 30 | | | | | | | | |
| 其他 | | Ge-68 | 69Ga(p,2n)68Ge | | solid | 30 | | | | | | | | |
| 其他 | | Mo-99 | 100Mo(p,pn)99Mo | | solid | 30 | | | | | | | | |
| 其他 | | Tc-99m | 100Mo(p,2n)99mTc | | solid | 30 | | | | | | | | |
| 其他 | | Zr-89 | 89Y(p,n)89Zr | | solid | 26 | | | | | | | | |
| 其他 | | Cu-62 | | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Cu-64 | | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | I-124 | | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Pb-201 | | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Zn-62 | | | | | | | | | | | | |
| 研究用 | | neutron | | 一般研究用照射和製靶 (用於產生中子源 中子應用研究) 9Be(p,n)9B →8Be → 4He | 9Be | solid | 30 | | | | | | | |

國內設施資料收集



- 各設施對應靶號、生產核種、靶材、照射能量、靶電流、靶體與靶窗資訊(2/3)

| 設施代碼 | 靶號 | 生產核種 | 生產核種反應 | 靶材 | 靶材型態 | 照射能量 (MeV) | 照射靶體積 (cc) | 最大靶電流 (µA) | 最大生產深度 EOB (mCi) | 靶體材料 | 靶窗材料 | 靶窗厚度 (µm) | 靶型號 |
|------|-----|----------|---------------|----------------------|-------|------------|------------|------------|------------------|------|----------------|----------------|-----|
| C | 1-1 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 11 | 2.2 | 40 | 2400 | Ag | Havar | 25.4 | |
| | 2-1 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 11 | 2.2 | 40 | 2400 | Ag | Havar | 25.4 | |
| | - | N-13 | 16O(p,n)13N | H2O (5 mMol Ethanol) | water | 11 | | | | Al | Titanium | 25.4 | |
| | - | C-11 | 14N(p,n)11C | 14N-1% O2 | gas | 11 | | | | Al | Havar | 25.4 | |
| | - | O-15 | 15N(p,n)15O | 15N-1% O2 | gas | 11 | | | | Al | Havar | 25.4 | |
| D | 1 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 9.6 | 2.3 | 45 | 2500 | | | | |
| | 2 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 9.6 | 2.3 | 45 | 2500 | | | | |
| E | 1 | F-18(小靶) | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 18 | 1.1 | 30 | 1500 | Nb | Havar | 50 | |
| | - | F-18(F2) | 20Ne(d,n)18F2 | Ne-0.5%F2 | gas | 9 | | | | Nb | Havar | 18 | |
| | 3 | C-11 | 14N(p,n)11C | 14N-O2 | gas | 18 | 80 | 35 | 1200 | Al | Al | 500 | |
| | - | NA | | | | | | | | | | | |
| | 5 | F-18(大靶) | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 18 | 2.4 | 40 | 5000 | Nb | Havar | 50 | |
| | - | O-15 | 14N(d,n)15O | N2-O2及CO2 | gas | 9 | | | | Al | Havar | 25 | |
| | - | NA | | | | | | | | | | | |
| | - | N-13 | 16O(p,n)13N | H2O (5 mMol Ethanol) | water | 18 | 1.7 | 30 | 800 | Al | Havar | 25 | |
| F | 1 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 16 | 2.5 | 40 | 2500 | Nb | | | |
| | 2 | N-13 | 16O(p,n)13N | H2O (5 mMol Ethanol) | water | 16 | 0.8 | 30 | 700 | Ag | | | |
| | 3 | O-15 | 14N(d,n)15O | N2-O2及CO2 | gas | 8 | 35.5 | 40 | 2000 | Al | | | |
| | 5 | C-11 | 14N(p,n)11C | 14N-O2 | gas | 16 | 79.5 | 50 | 3000 | Al | | | |
| | 6 | F-18(F2) | 20Ne(d,n)18F2 | Ne-0.5%F2 | gas | 8 | 60 | 40 | 500 | Al | | | |
| | G | 1 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 16.5 | 2.7 | 30 | 5500 | Nb | Havar&Titanium | 25 |
| - | | N-13 | 16O(p,n)13N | H2O (5 mMol Ethanol) | water | 16.5 | | | | Ag | Havar&Titanium | 25 | |
| - | | O-15 | 14N(d,n)15O | N2+1%O2 | gas | 8.4 | | | | Al | Havar | 25 | |
| 4 | | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 16.5 | 2.7 | 30 | 5500 | Nb | Havar&Titanium | 25 | |
| - | | C-11 | 14N(p,n)11C | 14N-0.5%O2 | gas | 16.5 | | | | Al | Havar | 25 | |
| - | | F-18(F2) | 20Ne(d,n)18F2 | Ne-0.5%F2 | gas | 8.4 | | | | Al | Havar&Titanium | 25 | |

國內設施資料收集



- 各設施對應靶號、生產核種、靶材、照射能量、靶電流、靶體與靶窗資訊(3/3)

| 設施代碼 | 靶號 | 生產核種 | 生產核種反應 | 靶材 | 靶材型態 | 照射能量 (MeV) | 照射靶體積 (cc) | 最大靶電流 (µA) | 最大生產深度 EOB (mCi) | 靶體材料 | 靶窗材料 | 靶窗厚度 (µm) | 靶型號 |
|------|-----|----------|------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|------------|------------|------------|------------------|-------|----------------|-----------|------------|
| H | A-2 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 12 | 2.2 | 60 | 5000 | Nb | | | |
| | B-2 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 12 | 2.2 | 60 | 5000 | Nb | | | |
| | A-1 | C-11 | 14N(p,n)11C | 14N-O2 | gas | 12 | 88 | 40 | 1700 | Al | | | |
| I | 1 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 16.5 | 2.5 | 40 | 8000 | Nb | Havar | 25/50 | |
| | 2 | N-13 | 16O(p,n)13N | Deionated Water | water | 16.5 | 0.8 | 30 | 450 | Ag | Havar&Titanium | 25 | |
| | - | O-15 | 14N(d,n)15O | N2+1%O2 | gas | 8.4 | | | 40 | Al | Havar | 25 | |
| | 4 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 16.5 | 2.5 | 40 | 8000 | Nb | Havar | 25/50 | |
| | 5 | C-11 | 14N(p,n)11C | 14N-0.5%O2 | gas | 16.5 | 78 | 50 | 3000 | Al | Havar | 25 | |
| | 6 | F-18(F2) | 20Ne(d,n)18F2 | Ne-0.5%F2 | gas | 8.4 | 60 | 40 | 300 | Al | Havar | 25 | |
| J | A-1 | C-11 | 14N(p,n)11C | 14N2 Gas | gas | 15 | 30 | 1300 | Al | Havar | 25 | | |
| | A-2 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 2.4 | 45 | 6500 | Nb | Havar | 25 | | |
| | A-3 | N-13 | 16O(p,n)13N | H2O (5 mMol Ethanol) | water | 2.4 | 30 | 220 | Ag | Havar | 25 | | |
| | - | | | | | | | | | | | | |
| | B-1 | F-18(F2) | 20Ne(d,n)18F2 18O(p,n)18F | ●Ne-0.5%F2 ●18O enriched Gas with 0.5% Ar carrier | gas | 15 | 40 | 350 | Al | Havar | 25 | | |
| | B-2 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 2.4 | 45 | 6500 | Nb | Havar | 25 | | |
| | B-3 | O-15 | 14N(d,n)15O | N2+0.5%CO2 +2.5%CO2 | gas | 2.4 | 40 | 110 | Ag | Havar | 25 | | |
| | - | | | | | | | | | | | | |
| K | 1 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 16.5 | 2.4 | 65 | 13000 | Nb | Havar | 25/50 | |
| | - | N-13 | 16O(p,n)13N | 16O Water | water | 16.5 | | | | Ag | Havar&Titanium | 25 | |
| | - | O-15 | 14N(d,n)15O | N2+1%O2 | gas | 8.4 | | | | Al | Havar | 25 | |
| | 4 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 16.5 | 2.4 | 65 | 13000 | Nb | Havar | 25/50 | |
| | - | C-11 | 14N(p,n)11C | 14N+1%O2及10%ethanol | gas | 16.5 | | | | Al | Havar | 25/50 | |
| | - | F-18(F2) | 20Ne(d,n)18F2 18O(p,n)18F | Ne-0.5%F2 | gas | 8.4 | | | | Al | Havar | 25 | |
| | - | | | | | | | | | | | | |
| | - | | | | | | | | | | | | |
| L | 1 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 12 | 2.2 | 60 | 4500 | | | | |
| | 2 | F-18 | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 12 | 2.2 | 60 | 4500 | | | | |
| M | 1 | F-18(小靶) | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 18 | 2.5 | 45 | 4500 | Nb | Havar | 15 | Conical 5 |
| | 5 | F-18(小靶) | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 18 | 2.5 | 45 | 4500 | Nb | Havar | 15 | Conical 5 |
| | 7 | F-18(大靶) | 18O(p,n)18F | H2O18 | water | 18 | 5 | 85 | 10000 | Nb | Havar | 35 | Conical 12 |
| | 8 | Gas-08 | 60Zn(p,n)60mZn | 60Zn-N2O2 | solid | 18 | | | | Nb | Nb | 15 | Mini 08Zn |
| | - | | | | | | | | | | | | |

國內設施資料收集



- 各設施對應靶號、生產核種、歷年資料、靶電流、照射時間與生產活度(1/3)

| 設施代碼 | 安裝靶號 | 生產核種 | 歷年資料 起始年份 | 歷年資料 終尾年份 | 平均 靶電流 (μA) | 平均每週 照射時間 (h/w) | 平均每週 射束損失 ($\mu\text{A}\cdot\text{h/w}$) | 平均每週 生產活度 ($\text{mCi}\cdot\text{h/w}$) | 平均每年 總靶電流 ($\mu\text{A}/\text{年}$) | 平均每年 總照射時間 (h/年) | 平均每年 總射束損失 ($\mu\text{A}\cdot\text{h}/\text{年}$) | 平均每年 總生產活度 ($\text{mCi}/\text{年}$) | |
|------|------|----------|--------------|--------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------|
| A | 1 | C-11 | | | | | | | | | | | |
| | 3 | O-15 | 2001 | 2005/2019 | 31.2 | | | | 52.7 | | 30.2 | 7222.0 | |
| | 5 | F-18(F2) | 2001 | 2019 | 39.5 | | | | 256.0 | | 4888.2 | 2445.9 | |
| | 6 | F-18 | | | | | | | | | | | |
| | 7 | N-13 | 2001 | 2019 | 10.4 | | | | 59.8 | | 137.0 | 2937.4 | |
| | 8 | F-18 | | | | | | | | | | | |
| | B | 1 | F-18 | | | | | | | | | | |
| | | 2 | Tl-201 | | | | | | | | | | |
| 3 | | Ga-67 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | In-111 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | I-125 | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Co-57 | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Cr-51 | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Mn-56 | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Tc-99m | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Zn-69 | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Cs-132 | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Cs-134 | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | I-124 | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Pb-201 | | | | | | | | | | | |
| 其他 | | Zn-62 | | | | | | | | | | | |
| 研究用 | | incision | | | | | | | | | | | |
| C | | 1-1 | F-18 | 2010 | 2019 | 31.5 | 21.2 | 669.4 | 16148.8 | 1667.7 | 1121.8 | 35477.4 | 851219.5 |
| | 2-1 | F-18 | 2010 | 2019 | 31.0 | 21.1 | 661.0 | 10776.2 | 1645.6 | 1116.7 | 35034.8 | 564994.8 | |
| | - | N-13 | | | | | | | | | | | |
| | - | C-11 | | | | | | | | | | | |
| | - | O-15 | | | | | | | | | | | |

國內設施資料收集



- 各設施對應靶號、生產核種、歷年資料、靶電流、照射時間與生產活度(2/3)

| 設施代碼 | 安裝靶號 | 生產核種 | 歷年資料 起始年份 | 歷年資料 終尾年份 | 平均 靶電流 (μA) | 平均每週 照射時間 (h/w) | 平均每週 射束損失 ($\mu\text{A}\cdot\text{h/w}$) | 平均每週 生產活度 ($\text{mCi}\cdot\text{h/w}$) | 平均每年 總靶電流 ($\mu\text{A}/\text{年}$) | 平均每年 總照射時間 (h/年) | 平均每年 總射束損失 ($\mu\text{A}\cdot\text{h}/\text{年}$) | 平均每年 總生產活度 ($\text{mCi}/\text{年}$) |
|------|------|----------|--------------|--------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| D | 1 | F-18 | 2017 | 2018 | 45.0 | 11.8 | 530.2 | 14488.9 | 1980.0 | 511.1 | 23009.3 | 627746.0 |
| | 3 | F-18 | 2010 | 2020 | 40.4 | 10.2 | 407.6 | 61450.2 | 1942.0 | 449.6 | 17651.4 | 3150691.5 |
| E | 1 | F-18(小靶) | 2003 | 2019 | 20.7 | 3.0 | 69.5 | 3764.0 | 1090.1 | 156.0 | 3658.4 | 198264.3 |
| | - | F-18(F2) | | | | | | | | | | |
| | 3 | C-11 | 2003 | 2019 | 9.7 | 0.4 | 9.6 | 1241.8 | 511.9 | 18.8 | 510.4 | 65816.7 |
| | - | NA | | | | | | | | | | |
| | 5 | F-18(大靶) | 2003 | 2019 | 24.6 | 2.5 | 83.4 | 4456.4 | 1304.9 | 130.4 | 4420.9 | 236190.9 |
| | - | O-15 | | | | | | | | | | |
| F | 1 | F-18 | 2003 | 2019 | 35.7 | 1.2 | 44.1 | 2775.2 | 1890.4 | 64.4 | 2337.1 | 147083.5 |
| | 2 | N-13 | | | | | | | | | | |
| | 3 | O-15 | | | | | | | | | | |
| | 5 | C-11 | | | | | | | | | | |
| | 6 | F-18(F2) | | | | | | | | | | |
| G | 1 | F-18 | 2004 | 2019 | 57.8 | 4.8 | 285.4 | 13698.1 | 2354.3 | 187.7 | 11218.7 | 541417.4 |
| | - | N-13 | | | | | | | | | | |
| | - | O-15 | | | | | | | | | | |
| | 4 | F-18 | 2004 | 2019 | 57.9 | 4.6 | 275.3 | 13171.0 | 2392.9 | 183.6 | 11010.9 | 528458.1 |
| | - | C-11 | | | | | | | | | | |
| H | A-2 | F-18 | 2005 | 2017/2019 | 60.0 | 4.9 | 294.7 | 10855.1 | 3180.0 | 191.2 | 11470.7 | 421769.8 |
| | B-2 | F-18 | 2005 | 2017/2019 | 60.0 | 17.0 | 1018.9 | 9671.0 | 3180.0 | 677.9 | 40671.3 | 389194.1 |
| | A-1 | C-11 | 2008 | 2017/2019 | 40.0 | 0.8 | 32.8 | 1510.5 | 352.0 | 10.6 | 422.8 | 19368.6 |
| | - | F-18(F2) | | | | | | | | | | |

國內設施資料收集



- 各設施對應靶號、生產核種、歷年資料、靶電流、照射時間與生產活度(3/3)

| 設施代碼 | 靶號 | 生產核種 | 歷年資料 起始年份 | 歷年資料 終尾年份 | 平均 靶電流 (μA) | 平均每周 照射時間 (h/w) | 平均每周 劑量積大 (Gy/hw) | 平均每周 生產活度 (MBq/hw) | 平均每季 總靶電流 (μA/季) | 平均每季 總照射時間 (h/季) | 平均每季 總劑量積大 (Gy/季) | 平均每季 總生產活度 (MBq/季) |
|------|-----|----------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| I | 1 | F-18 | 2005 | 2019 | 57.9 | 7.0 | 465.4 | 5745.1 | 2935.1 | 356.4 | 23859.8 | 305726.9 |
| | 2 | N-13 | 2017 | 2019 | 10.0 | 0.3 | 2.6 | 153.3 | 464.5 | 5.6 | 55.6 | 3320.5 |
| | | O-15 | | | | | | | | | | |
| | 4 | F-18 | 2005 | 2006/2019 | 33.3 | 0.9 | 31.6 | 2275.6 | 724.0 | 20.6 | 761.0 | 56195.0 |
| | 5 | C-11 | 2013 | 2019 | 49.9 | 7.2 | 360.8 | 83.3 | 2159.1 | 137.0 | 6897.9 | 2509.5 |
| | 6 | F-18(F2) | | | | | | | | | | |
| J | A-1 | C-11 | 2007 | 2019 | 30.0 | 1.0 | 29.5 | 991.6 | 512.5 | 18.2 | 544.8 | 18394.9 |
| | A-2 | F-18 | 2007 | 2019 | 48.1 | 7.2 | 346.5 | 10015.6 | 2158.5 | 310.9 | 15045.2 | 436136.0 |
| | A-3 | N-13 | 2007 | 2008/2019 | 37.5 | 0.8 | 25.0 | 337.5 | 30.0 | 0.7 | 21.7 | 287.5 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | B-1 | F-18(F2) | 2007 | 2007/2019 | 15.0 | 1.0 | 30.0 | 400.0 | 45.0 | 3.0 | 90.0 | 1200.0 |
| | B-2 | F-18 | 2007 | 2019 | 47.5 | 6.2 | 295.8 | 8893.6 | 2445.6 | 323.7 | 15486.3 | 463726.2 |
| | B-3 | O-15 | | | | | | | | | | |
| K | 1 | F-18 | 2014 | 2019 | 53.1 | 6.4 | 338.6 | 16998.5 | 2481.3 | 327.3 | 17376.1 | 900886.0 |
| | | N-13 | | | | | | | | | | |
| | | O-15 | | | | | | | | | | |
| | 4 | F-18 | 2014 | 2019 | 53.2 | 6.5 | 345.8 | 17012.5 | 2406.7 | 334.3 | 17633.2 | 901620.2 |
| | | C-11 | | | | | | | | | | |
| | | F-18(F2) | | | | | | | | | | |
| L | 1 | F-18 | | | | | | | | | | |
| | 2 | F-18 | | | | | | | | | | |
| M | 1 | F-18(小靶) | 2019 | 2020/5 | 53.3 | 1.4 | 68.7 | 3101.6 | 239.0 | 7.8 | 362.8 | 15685.8 |
| | 5 | F-18(小靶) | 2019 | 2020/5 | 54.3 | 1.1 | 59.2 | 2438.2 | 218.4 | 6.3 | 294.3 | 11899.3 |
| | 7 | F-18(大靶) | 2019 | 2020/5 | 83.0 | 4.0 | 335.4 | 23115.3 | 1782.9 | 84.4 | 7055.9 | 491034.3 |
| | 8 | Gd-68 | | | | | | | | | | |



National Tsing Hua University
國立清華大學核子工程與科學研究所




確保核安 低碳家園

Thanks

