

行政院原子能委員會放射性物料管理局

委託研究計畫研究報告

一定活度或比活度以下放射性廢棄物
之活度濃度推導

計畫編號： 932004FCMA012

受委託機關(構)：行政院原子能委員會核能研究所

計畫主持人：武及蘭

報告日期：中華民國九十三年十二月

一定活度或比活度以下放射性廢棄物之活度濃度推導

摘 要

配合「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」相關規定，並依據 2004 年 5 月 4 日出版之 Draft Safety Report 「Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance」之評估情節、曝露途徑及環境參數等，進行一定活度或比活度以下放射性廢棄物之活度或比活度限值之推導計算，以驗證各核種之活度或比活度限值之適切性。

關鍵字：解除管制、評估情節、曝露途徑。

The Derivation and Calculation of Clearance Levels for Solid Radioactive Wastes

Abstract

This paper describes the derivation and calculation of clearance levels for solid radioactive wastes which were conducted by following related regulations of “ Management Rules of Clearance Level for Solid Radioactive Waste” and evaluation scenarios, exposure pathways and environmental parameters in the Draft Safety Report of “Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance” published on May 4 2004 to verify the suitability of clearance levels of various radionuclides.

Keywords: exemption, scenarios, exposure pathway.

目 錄

1.計畫目的	1
2.計畫緣起	2
3.執行方法與步驟	3
3.1 活度濃度推導基準	3
3.2 活度濃度推導程序	3
3.2.1 核種選擇與劑量係數	3
3.2.2 人造核種	4
3.3 活度濃度推導	6
3.4 各情節使用的時間參數	7
3.4.1 曝露時間	7
3.4.2 衰減時間	8
3.5 曝露途徑	9
3.5.1 體外曝露	9
3.5.2 吸入	14
3.5.3 嚥入	17
3.5.4 水循環途徑	19
3.5.4.1 地下水評估方程式	20
3.5.4.2 場址的條件設定	27
3.5.4.3 核種	30
4.結果與討論	32
5.結論	45
6.參考文獻	47

表 目 錄

表 1. 曝露情節與相關曝露途徑	6
表 2. 曝露情節使用的時間參數	9
表 3. 體外曝露情節參數	10
表 4. 吸入情節參數	15
表 5. 嚥入情節參數	18
表 6. IAEA RS-G-1.7 號安全報告提供的核種分佈係數	22
表 7. 本文採用的核種分佈係數	23
表 8. 攝入參數	28
表 9. 地下水情節之場址參數	29
表 10. 活度濃度分類	32
表 11. 體外曝露之劑量係數	33
表 12. 體內曝露之劑量係數	34
表 13. 各核種於八種情節中最大劑量及導出濃度	35
表 14. RH (六面牆) 情節增加屏蔽的結果	38
表 15. 體內曝露之劑量係數(ICRP-60)	40
表 16. 採用 ICRP 60 號與 ICRP 26 號報告數據的計算結果	41
表 17. 最大情節改變的核種及其劑量、導出濃度	43

圖 目 錄

圖 1. WF 以及 RP 的幾何條件	12
圖 2. WF 以及 WO 的幾何條件	12
圖 3. 一般核種的 RH 幾何條件	13
圖 4. 特定核種的 RH 幾何條件	14
圖 5. 水循環途徑	20
圖 6. 不同 f_c 的 Cf-252 導出濃度圖	39

附 錄

附錄 1	48
表 A. ^3H 之輻射劑量及導出濃度	48
表 B. ^{51}Cr 之輻射劑量及導出濃度	49
表 C. ^{54}Mn 之輻射劑量及導出濃度	50
表 D. ^{55}Fe 之輻射劑量及導出濃度	51
表 E. ^{59}Fe 之輻射劑量及導出濃度	52
表 F. ^{58}Co 之輻射劑量及導出濃度	53
表 G. ^{60}Co 之輻射劑量及導出濃度	54
表 H. ^{59}Ni 之輻射劑量及導出濃度	55
表 I. ^{63}Ni 之輻射劑量及導出濃度	56
表 J. ^{71}Ge 之輻射劑量及導出濃度	57
表 K. ^{89}Sr 之輻射劑量及導出濃度	58
表 L. ^{90}Sr 之輻射劑量及導出濃度	59
表 M. ^{99}Tc 之輻射劑量及導出濃度	60
表 N. $^{103\text{m}}\text{Rh}$ 之輻射劑量及導出濃度	61
表 O. $^{114\text{m}}\text{In}$ 之輻射劑量及導出濃度	62
表 P. $^{127\text{m}}\text{Te}$ 之輻射劑量及導出濃度	63
表 Q. $^{129\text{m}}\text{Te}$ 之輻射劑量及導出濃度	64
表 R. ^{129}I 之輻射劑量及導出濃度	65
表 S. ^{137}Cs 之輻射劑量及導出濃度	66
表 T. ^{141}Ce 之輻射劑量及導出濃度	67
表 U. ^{192}Ir 之輻射劑量及導出濃度	68
表 V. ^{239}Pu 之輻射劑量及導出濃度	69

表 W. ^{241}Pu 之輻射劑量及導出濃度.....	70
表 X. ^{241}Am 之輻射劑量及導出濃度.....	71
表 Y. ^{252}Cf 之輻射劑量及導出濃度.....	72
附錄 2	73
表 A1. ^3H 之輻射劑量及導出濃度.....	73
表 B1. ^{51}Cr 之輻射劑量及導出濃度.....	74
表 C1. ^{54}Mn 之輻射劑量及導出濃度.....	75
表 D1. ^{55}Fe 之輻射劑量及導出濃度.....	76
表 E1. ^{59}Fe 之輻射劑量及導出濃度.....	77
表 F1. ^{58}Co 之輻射劑量及導出濃度.....	78
表 G1. ^{60}Co 之輻射劑量及導出濃度.....	79
表 H1. ^{59}Ni 之輻射劑量及導出濃度.....	80
表 I1. ^{63}Ni 之輻射劑量及導出濃度.....	81
表 J1. ^{71}Ge 之輻射劑量及導出濃度.....	82
表 K1. ^{89}Sr 之輻射劑量及導出濃度.....	83
表 L1. ^{90}Sr 之輻射劑量及導出濃度.....	84
表 M1. ^{99}Tc 之輻射劑量及導出濃度.....	85
表 N1. $^{103\text{m}}\text{Rh}$ 之輻射劑量及導出濃度.....	86
表 O1. $^{114\text{m}}\text{In}$ 之輻射劑量及導出濃度.....	87
表 P1. $^{127\text{m}}\text{Te}$ 之輻射劑量及導出濃度.....	88
表 Q1. $^{129\text{m}}\text{Te}$ 之輻射劑量及導出濃度.....	89
表 R1. ^{129}I 之輻射劑量及導出濃度.....	90
表 S1. ^{137}Cs 之輻射劑量及導出濃度.....	91
表 T1. ^{141}Ce 之輻射劑量及導出濃度.....	92

表 U1. ^{192}Ir 之輻射劑量及導出濃度	93
表 V1. ^{239}Pu 之輻射劑量及導出濃度	94
表 W1. ^{241}Pu 之輻射劑量及導出濃度.....	95
表 X1. ^{241}Am 之輻射劑量及導出濃度.....	96
表 Y1. ^{252}Cf 之輻射劑量及導出濃度.....	97

1.計畫目的

行政院原子能委員會放射性物料管理局(以下簡稱物管局)擬訂「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」，該辦法係以原子能委員會 86 年研訂之可忽略微量放射性固體廢棄物及廢金屬暫行管制規範為基礎，並參考 IAEA RS-G-1.7⁽¹⁾號安全導則研擬訂定。IAEA RS-G-1.7 安全導則之活度濃度限值係依據 2004 年 5 月 4 日出版之 Draft Safety Report 「Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance」⁽²⁾之評估情節、曝露途徑及環境參數等，進行一定活度或比活度以下放射性廢棄物之活度或比活度限值之推導計算而得。

本計畫即依據前述 Draft Safety Report 的評估模式進行重要核種(例如 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{129}I ...等)活度濃度推導，以驗證各核種之活度或比活度限值的適切性。同時考量國人飲食情況、環境條件等，儘可能採用本土參數以使評估結果能符合國內現況。

2.計畫緣起

放射性廢棄物的活度或濃度極低微時，基於抑低輻射劑量及健康風險的法規管制已發揮不了作用，只會造成社會成本與經濟資源的浪費，目前國際輻射防護相關組織及國家已有共識，認為某些放射性物質之使用或廢棄，對民眾之輻射影響若每年小於 0.01 毫西弗或集體劑量小於 1 人西弗者，其輻射影響是可忽略的。可忽略的放射性物質或廢棄物的管制分為排除管制(exclusion)、豁免管制(exemption)及解除管制(clearance)三種概念。

排除管制係針對含有天然放射性核種(如 ^{40}K 、 ^{235}U ..等)放射性物質或廢棄物未經人為因素濃縮，因其早已長期存在於自然環境中，應排除於游離輻射防護的管制。豁免管制是針對某些人工放射性物質的使用或廢棄，經劑量評估對民眾之輻射影響低於 0.01 毫西弗/年，因無輻射安全的顧慮也無管制的必要，一開始即豁免於管制。解除管制係針對被管制之輻射源或廢棄物，因自然衰變或經處理而降低輻射強度至無輻射安全顧慮時，得解除管制。

近年來面對核能設施陸續除役產生大量的放射性廢棄物，為免社會成本與經濟資源的浪費，國際原子能總署及各核能先進國家均致力於固體放射性廢棄物之解除管制標準，以解除不必要之管制；國際原子能總署(IAEA)於 2004 年 8 月發布 RS-G-1.7 號安全導則，提供天然及人造核種之活度濃度，供管制機關及核設施營運者應用於大量放射性物質之排除、豁免及解除管制。本報告係依據 Draft Safety Report 的評估模式，並以核電廠重要核種為例，進行核種活度濃度推導計算，以驗證其適切性。

3.執行方法與步驟

3.1 活度濃度推導基準

IAEA RS-G-1.7 安全導則中認為大量放射性物質之豁免值及解除管制限值，其輻射安全基準為個人年有效劑量為 0.01 毫西弗及集體劑量為 1 人西弗(稱為一般狀況)，並考量低發生率(機率小於 1%)之事件，其個人年有效劑量不得超過 1 毫西弗，皮膚劑量標準為每年 50 毫西弗。

推導人造核種放射性活度濃度基準：

- 針對所有物質，選定一系列典型之曝露情節，
- 曝露途徑包括體外曝露、吸入、嚥入(直接與間接)，
- 使用一般狀況之參數進行 10 $\mu\text{Sv/y}$ 有效劑量關鍵群體計算，
- 使用低機率參數進行 1 mSv/y 有效劑量關鍵群體計算，以及皮膚等效劑量 50 mSv/y ，如潛在接受曝露的工作人員(非輻射工作者)。

由此基準推導之結果可滿足職業與社會大眾之防護要求。

3.2 活度濃度推導程序

3.2.1 核種選擇與劑量係數

(1)需要計算活度濃度值的核種為在 BSS⁽³⁾中有列出豁免管制值的核種。

(2)劑量係數(dose coefficient)需根據不同的曝露途徑而加以計算，包括：

- 體外曝露：係指由光子或貝他粒子之體外照射造成人體劑量，其單位為($\mu\text{Sv/h}$)/(Bq/g)，是射源單位活度(Bq/g)

所造成的劑量率($\mu\text{Sv/h}$)。

體外曝露之劑量係數根據核種的特性、活度與幾何條件(如位置、屏蔽、自體吸收、距離與方向)的不同而異。

- 吸入：係指吸入放射性物質，每單位活度(Bq)所造成的個人有效劑量(Sv)，其單位為 Sv/Bq，其計算模式採用 ICRP 建議的肺隔室模式。
- 嚥入：係指經由口攝入放射性物質，每單位活度(Bq)所造成的個人有效劑量(Sv)，其單位為 Sv/Bq。

3.2.2 人造核種

除食物、飲用水外，針對人造核種的活度濃度的推導計算可採取以下步驟：

- (1)選擇核種；
- (2)選擇適當情節與相關參數；
- (3)針對核種計算單位比活度(B/g)所造成年劑量；
- (4)決定限制性的情節(即造成最高劑量者)；
- (5)選擇適當的參考劑量水平($10 \mu\text{Sv/a}$ 、 1 mSv/a 、 50 mSv/a ，a 代表年)，計算活度濃度值，即將選定之參考水平值除以由步驟 4 所決定之限制性情節的數值。
- (6)針對步驟 5 計算結果採取近似值(rounding procedures)決定適當的活度濃度值。

經由檢視各國所採用的劑量評估情節，採取一定的保守程度，可採用下列評估情節來推導各核種的活度濃度。

- (1)WL 情節：工作人員曝露在污染的掩埋廠，其曝露途徑為體外曝露、吸入或經由手、口嚥入污染塵土。
- (2)WF 情節：工作人員曝露於鑄造廠，為停留在污染的廢金屬堆附近或運送、熔煉過程中產生的飛灰所造成體外曝露，以及吸入或因怠忽嚥入飛灰等曝露途徑。
- (3)WO 情節：指工作人員常態性與污染物質接觸，例如運送廢棄物的司機，去污後大型設備再使用造成工作人員的體外曝露。
- (4)RL-C 與 RL-A 情節：指個人居住掩埋廠或其他設施附近，分別針對成人與小孩進行評估，曝露途徑有吸入灰塵及嚥入由污染土地生長的農作物。
- (5)RF 情節：指個人住在鑄造廠附近，鑄造廠熔煉廢金屬所產生的污染的飛灰與掩埋廠不同，故對居住於鑄造廠附近的小孩進行評估。
- (6)RH 情節：利用污染物質當作建材，對居住於其間的個人造成體外曝露。
- (7)RP 情節：用污染物質覆蓋公共場合，其曝露途徑有體外曝露、吸入及嚥入飛灰等方式。
- (8)RW 情節：污染物質可能污染地下水，其曝露途徑有飲用受污染的地下水，食用受污染的地下水灌溉的農作物或污染河水生長的魚類等。

3.3 活度濃度推導

表 1 列出與推導人造核種活度濃度限值有關的曝露情節與曝露途徑。以下將介紹曝露情節、劑量估算、一般狀況及低發生率情形所需要的相關參數，包括 3.4 節說明各情節的相關參數，包含曝露時間、衰減時間以及稀釋因子，3.5 節則討論模擬相關曝露途徑的詳細方法。

表 1. 曝露情節與相關曝露途徑

情節	描述	受曝者	曝露途徑
WL	掩埋場或其他設施的工作人員	工作人員	體外曝露於掩埋場 吸入懸浮粒子或灰塵 直接嚥入污染物質
WF	鑄造廠的工作人員	工作人員	體外曝露於鑄造廠的設備或廢金屬堆 吸入懸浮粒子或灰塵 直接嚥入污染物質
WO	其他工作人員 (如司機)	工作人員	體外曝露於設備或卡車載物
RL-C	掩埋場或其他設施附近的居民	小孩(1-2 歲)	吸入懸浮粒子或灰塵 嚥入由污染土地生長的農作物
RL-A		成人(> 17 歲)	吸入懸浮粒子或灰塵 嚥入由污染土地生長的農作物
RF	鑄造廠附近的居民	小孩(1-2 歲)	吸入懸浮粒子或灰塵
RH	居住在以污染物質建築的房子	成人(> 17 歲)	體外曝露於室內
RP	居住在以污染物質建築的公眾場所附近的居民	小孩(1-2 歲)	體外曝露於公共場所 吸入污染的灰塵 直接嚥入污染物質
RW-C	居民使用私人井水或食用來自受污染河水中的魚等	小孩(1-2 歲)	嚥入受污染的飲用水、農作物、魚
RW-A		成人(> 17 歲)	

3.4 各情節使用的時間參數

時間參數是用來描述每個情節曝露情況的特性，主要有下列三種參數：

- (1)曝露時間；
- (2)情節開始前的衰減時間；
- (3)情節進行中的衰減時間。

情節開始前的衰減時間表示物質活度濃度開始測量時間到實際開始曝露之間的時段；情節進行中的衰減時間則表示物質被帶入處置場所或是用於建築的時間，如果只考慮單一年份內的各種曝露，則情節進行中的最大衰減時間為 365 天，即使物質的儲存只是單一事件、或者是建築物完成後完全沒有新的物質加入的事件也是如此。

正在成長中的農作物若生長於受污染的土地上，其衰減時間的計算比較特別，因為早在植物開始生長前，放射性物質就存在於土地當中。以下將說明一般狀況所需的參數以及低發生機率情形所需的參數。

3.4.1 曝露時間

- (1)針對所有工作場所(除了 WO 情節以外)，使用的時間由四分之一個工作年度(一般狀況的假設，realistic assumption)到一整個工作年度(低發生率情形的假設，low probability assumption)。而針對 WO 曝露情節，工作人員的曝露時間為 900 個小時，約半個工作年度，其包含的時間大約為核設施或設備從除污到能再使用所需的時間。
- (2)核設施附近居民的曝露時間設定為 1000 小時。但由於建築物內灰塵非常接近核設施，也會受其影響，對低發生機率情形假設一整年的連續性曝露是需要的。

- (3)與上述論點相同，居住在含放射性物質的住宅內，也採用低機率假設並為連續性的曝露，每年的曝露時間 8760 小時。如為一般狀況，則假設曝露時間為 4500 小時。
- (4)孩童在覆蓋放射性物質的空地上玩耍的案例，曝露時間約每年 400~1000 小時。

3.4.2 衰減時間

- (1)只要是放射性物質被帶到處置場所處理或儲存的所有情節，一律設定相同的時間。

①一般狀況的假設

假設 1：核設施接收放射性物質的次數很少，或者只有一次；

設定 1：情節前的衰減時間為 30 天，情節進行中的衰減時間為 365 天。

②低機率情形的假設

假設 2：核設施接收放射性物質的次數頻繁，為例行工作；

設定 2：情節前的衰減時間為 1 天，情節進行中的衰減時間為 0。

- (2)放射性物質被帶入建物中的情節，考量建材的準備時間以及建築工程實施階段，訂定情節前的衰減時間為 100 天，情節進行中的衰減時間為 365 天。
- (3)假設沒有新物質加入情節當中，農作物生長於受污染的地區，情節前的衰減時間為 365 天，情節進行中的衰減時間為 365 天。
- (4)對於水循環途徑，衰減時間已被使用的模式所考慮，所以不需要時間參數。

表 2.為各曝露情節使用的時間參數彙整表。

表 2. 曝露情節使用的時間參數

參數	單位	案例	情 節						
			WL	WF	WO	RL	RF	RH	RP
			掩埋場 工作人員	鑄造廠 工作人員	其 他 工作人員	掩埋場 附近居民	鑄造廠 附近居民	室內 居民	公眾場所 居民
曝露時間	小時/年	一般狀況	450	450	900	1000	1000	4500	400
		低機率	1800	1800	1800	8760	8760	8760	1000
情節前之衰 變時間	天	一般狀況	30	30	30	30	30	100	100
		低機率	1	1	1	1	1		
情節進行之 衰變時間	天	一般狀況	365	365	365	365	365	365	365
		低機率	0	0	0	0	0		
食物情節前 的衰變時間	天	一般狀況	N/A	N/A	N/A	365	N/A	N/A	N/A
食物情節中 的衰變時間	天	一般狀況	N/A	N/A	N/A	365	N/A	N/A	N/A

3.5 曝露途徑

3.5.1 體外曝露

體外曝露的曝露情形變化很大，以下舉兩個體外曝露的例子：

- (1)由放射性廢棄物填埋地或公園對在上方活動的人造成的曝露；
- (2)放射性廢棄物經解除管制外釋後組成的聚合體，再以混凝土或是水泥的型式應用於建築物中，則建物會對在周遭的人員造成曝露。

體外曝露造成的劑量可由下式計算：

$$E_{ext,C} = e_{ext} \cdot t_e \cdot f_d \cdot e^{-\lambda t_1} \frac{1 - e^{-\lambda t_2}}{\lambda \cdot t_2} \quad (1)$$

$E_{ext,C}$ ：是每年每單位活度濃度放射性物質造成體外曝露而導致的有效劑量，單位為 $[(\mu\text{Sv/a})/(\text{Bq/g})]$ ；

e_{ext} ：單位活度濃度放射性物質造成的平均有效劑量率，與物質的幾何形狀、距離、屏蔽有關，單位為 $[(\mu\text{Sv/h})/(\text{Bq/g})]$ ；

t_e ：曝露時間，單位為(h/a)；

f_d ：稀釋因子；

λ ：衰減常數，單位為(1/a)；

t_1 ：情節開始前的衰減時間，單位為(a)；

t_2 ：情節進行中的衰減時間，單位為(a)。

體外曝露分成五種曝露情節(參見表 1)來評估，所需的參數有(1)稀釋因子，(2)放射性物質的密度，(3)幾何條件，(4)劑量係數等，五種情節的參數值列於表 3。

表 3. 體外曝露情節參數

參數	單位	案例 Case	WL	WF/WO	RH	RP
			掩埋場 工作人員	鑄鐵廠或其 他工作人員	室內居住	常駐地區
稀釋因子(f_d)	[-]	一般狀況	1	0.1	0.1	0.1
		低機率	1	1	0.5	0.5
物質密度	g/cm^3		1.5	1.5	1.5	1.5
幾何條件			離地表 1 米， 半無限大射 源(semi-infinte)	距貨車載具 1 米或 $5 \times 2 \times 1$ m^3 廢棄物， 無屏蔽	天花板，2 面 牆， $3 \times 4 \text{ m}^2$ ， 2.5 m 高，牆 厚 20 cm	離地表 1 米， 半無限大射 源(semi-infinte)
劑量係數(e_{ext})	$\mu\text{Sv/h}/(\text{Bq/g})$		成人	成人	成人	小孩(1-2 歲)
			視核種與幾何條件而定			

以下將描述五種涉及體外曝露之情節用到的參數。

(1)稀釋因子：

- ①基於放射性核種各具不同的性質，以及便於公眾對於核種的認知，所以在一般狀況中的稀釋因子採用保守值，其值為一。也就是保守地假設存在於掩埋場(WL)或在工作人員附近的廢棄物，其活度濃度皆不被稀釋。同樣地，採用的保守值也適用於鑄鐵廠工作人員以及搬運廢棄物的卡車司機。
- ②在 RH 的一般狀況中，假設放射性廢棄物在混凝土中，會與其他物質以 1：10 的混合比例來建造房屋。考量其他技術條件，稀釋因子上限值為 0.5，適用於低發生機率情形。
- ③在 RP 的情節中，由於公園等公共區域，地表大多僅覆蓋一層相當薄的放射性廢棄物(如飛灰或熔渣)，且廢棄物也會和其他物質混合而稀釋。因此在一般狀況中的稀釋因子為 0.1；低發生機率情形則採用保守值的上限，為 0.5。

(2)物質密度：

物質密度對劑量計算的影響相對較小。因為高密度物質，其單位體積所含的活度雖然較高(已知比活度下)，但本身對發射出的 γ 光子，自吸收(self-absorption)的情況也較明顯，因此存有補償現象。根據上述理由，在所有的情節中，皆假設射源均勻分佈於物質中，且物質密度設為 1.5 g/cm^3 。

(3)幾何條件：

①WF 以及 RP：

模擬採用的幾何條件為半無限大射源。如圖一，假設射源均勻分佈於體積 $5 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 的廢棄物(密度 1.5 g/cm^3)中。

考量一般的掩埋情形，上覆一層厚度 0.5 m 的混凝土(密度 1.5 g/cm^3)，劑量計算點位於廢棄物中心點距地表上方 1 m 處。

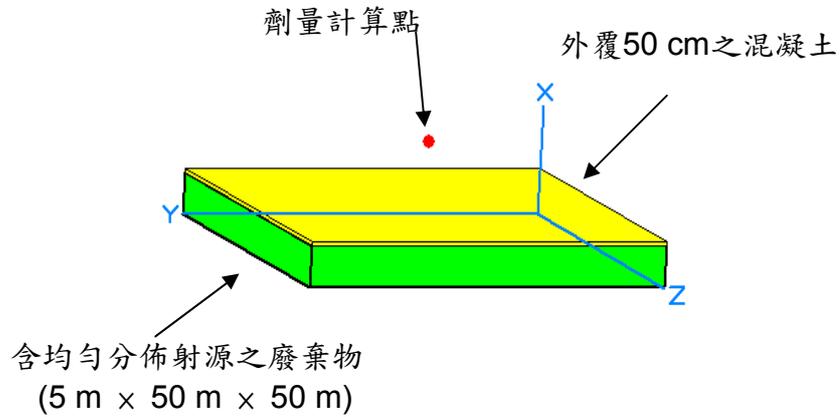


圖 1. WF 以及 RP 的幾何條件

②WF 以及 WO：

模擬採用的幾何條件為無屏蔽的狀況下，距離貨車載具或 $5 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的廢棄物 1 m 處。如圖二，假設射源均勻分佈於體積 $5 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的廢棄物(密度 1.5 g/cm^3)中。劑量計算點距離表面上方 1 m 處。

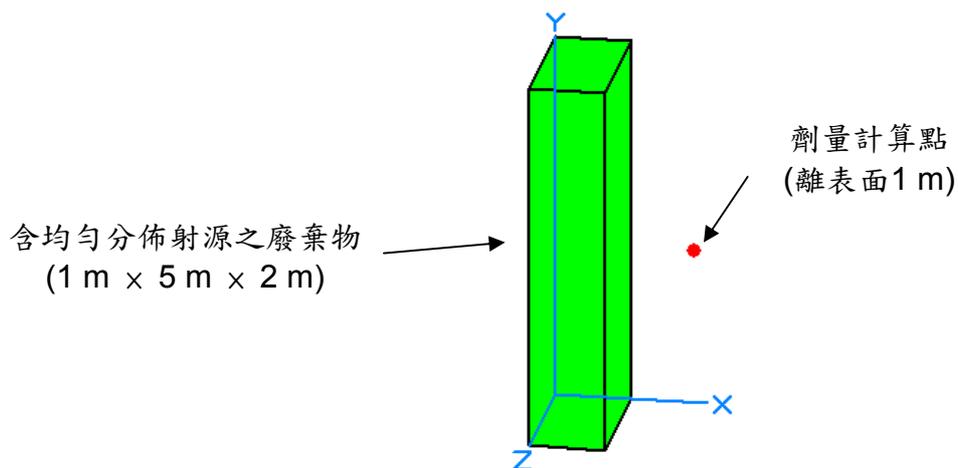


圖 2. WF 以及 WO 的幾何條件

③RH：

計算劑量率時，會受到核種與幾何條件的影響。在 RH 的情節中，我們將其分成兩部分來討論。

- (a) 對一般核種而言，模擬採用的幾何條件為 $3\text{ m} \times 4\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 之房間，每面牆厚度為 20 cm ，劑量計算點於房間中心且離地板 1 m 處。如圖三，以左右牆(相距 3 m)之單牆造成的劑量貢獻為例，假設射源均勻分佈於體積 $0.2\text{ m} \times 4\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 的混凝土(密度 1.5 g/cm^3)中，劑量計算點位於房間中心距地板 1 m 處。

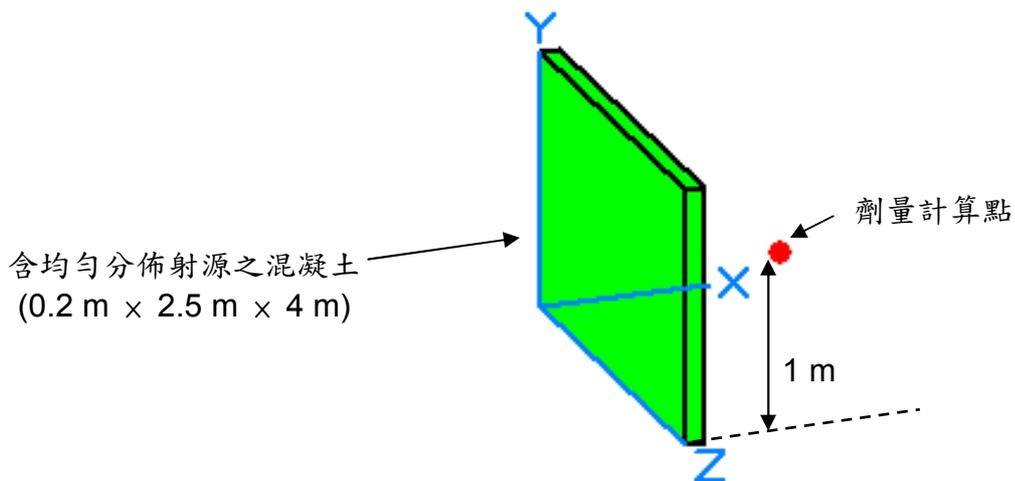


圖 3. 一般核種的 RH 幾何條件

- (b) 對特定核種(例如 Co-60)而言，恐有汙染鋼筋建材之虞，因此幾何條件必須考量實際建屋情況。模擬採用的幾何條件為 $3\text{ m} \times 4\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 之房間，劑量計算點位於房間中心且離地板 1 m 處。假設射源均勻分佈於常用規格(直徑約 1 吋)的鋼筋中。因為只需考慮單向往屋內的光子劑量貢獻，因此幾何條件為

厚度 0.5 吋(約 1.2 cm)的鐵(密度 7.8 g/cm³)平板，外覆一層由混凝土(密度 1.5 g/cm³)組成的保護層。由於實際建屋時，鋼筋大多採用格柵狀構造而非平板狀，因此模擬時鐵的密度必須加以稀釋(dilution)，估計約等於 1.5 g/cm³；而保護層的厚度一般為 3.5 cm。圖四是以左右牆(相距 3 m)之單牆造成的劑量貢獻為例。

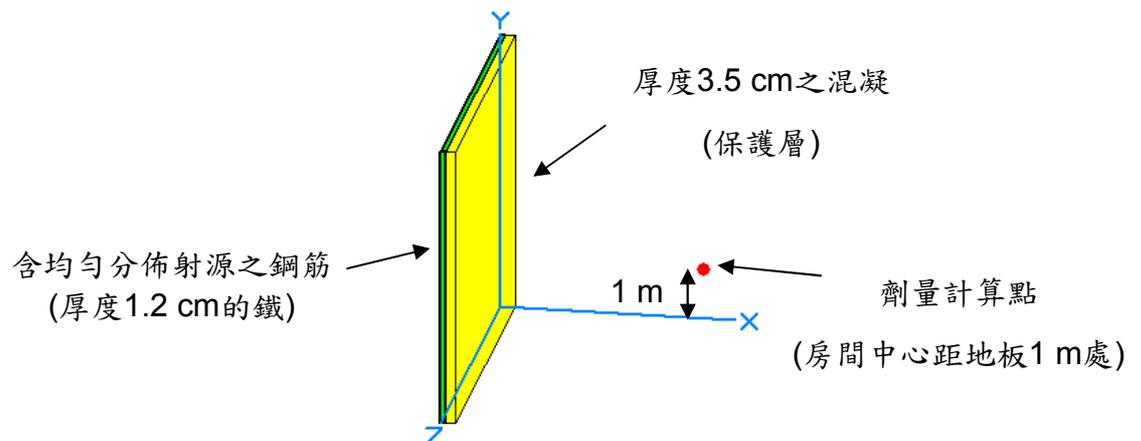


圖 4. 特定核種的 RH 幾何條件

(4)劑量係數：

對工作場所以及居住的情節是考慮成人的情況。而公園等公共區域則是考慮 1~2 歲的小孩。

3.5.2 吸入

吸入情節則考量工作場所與一般民眾，小孩(1-2 歲)亦選為參考群組，吸入放射性灰塵造成的劑量可由下式計算：

$$E_{inh,C} = e_{inh} \cdot t_e \cdot f_d \cdot f_c \cdot C_{dust} \cdot \dot{V} \cdot e^{-\lambda t_1} \frac{1 - e^{-\lambda t_2}}{\lambda \cdot t_2} \quad (2)$$

$E_{inh,C}$ ：每年每單位活度濃度放射性物質導致的約定有效劑量，單位為 $[(\mu\text{Sv/a})/(\text{Bq/g})]$ ；

e_{inh} ：吸入途徑的有效劑量係數，單位為 $(\mu\text{Sv/Bq})$ ；

t_e ：曝露時間，單位為 (h/a) ；

f_d ：稀釋因子；

f_c ：濃縮因子；

C_{dust} ：空氣中有效塵埃濃度，單位為 (g/m^3) ；

V ：呼吸率，單位為 (m^3/h) ；

λ ：衰減常數；

t_1 ：情節開始前的衰減時間，單位為 (a) ；

t_2 ：情節進行中的衰減時間，單位為 (a) 。

式中提及五種係數：稀釋因子、空氣中有效塵埃濃度、濃縮因子、呼吸率、有效劑量係數，五種係數於五種情節中的設定值列於表 4。

表 4. 吸入情節參數

參數	單位	案例 Case	WL	WF	RL-A	RL-C	RF	RP
			掩埋場 工作人員	鑄造廠 工作人員	常駐掩埋場		常駐 鑄鐵廠	常駐 地區
稀釋因子(f_d)	[-]	一般狀況	0.1	0.02	0.01	0.01	0.002	0.1
		低機率	1	0.1	0.1	0.1	0.01	1
空氣中塵埃 濃度(C_{dust})	g/cm^3	一般狀況	5×10^{-4}	5×10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
		低機率	10^{-3}	10^{-3}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-4}
濃縮因子(f_c)	[-]		4	1-70	4	4	1-70	4
呼吸率(V)	m^3/h		1.2	1.2	1.2	0.22	0.22	0.22
劑量係數 (e_{inh})	$\mu\text{Sv/Bq}$		工作人員 參見 3.2.1.	工作人員 參見 3.2.1	成人 參見 3.2.1	小孩 參見 3.2.1	小孩 參見 3.2.1	小孩 參見 3.2.1

以下將描述涉及吸入情節所用到的參數。

(1)稀釋因子：

- ①在掩埋場工作人員的吸入情節中，所採用的稀釋因子範圍和體外曝露相同(0.1~1)。
- ②在鑄鐵廠的一般狀況中，考量鑄鐵廠有大量處理廢金屬物質的業務，所以稀釋比例多，其值採用 0.02。低機率案例則為 0.1。
- ③在掩埋場或核設施附近居民的情節中，考量場址外的空氣中會有其他來源的懸浮粒子加以混合稀釋，所以稀釋因子之值比場址內小 10 倍。
- ④在公園等公共區域的情節中，一般狀況的稀釋因子和體外曝露相同。而在低發生機率情形中，必須考量灰塵完全由覆蓋在地表上的薄層產生的情況，因此假設不被稀釋，其值為 1。

(2)空氣中有效塵埃濃度：

在工作場所的塵埃濃度，一般狀況是假設 $5 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ ，低機率情形則是 10^{-3} g/cm^3 。而在核設施場址外的空氣塵埃濃度，一般狀況是假設 10^{-4} g/cm^3 ，低機率情形則是 $5 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ 。

(3)濃縮因子：

一般而言，活度濃度是指物質中的平均活度濃度，然而當物質中的細微(fine)粒子越多時，其活度濃度會有增加的現象，必須用濃縮因子加以修正。在吸入金屬物質(熔渣或煙團)的過程中，依據核種的化性和熔鐵技術，濃縮因子的範圍一般評估為 1~70；而吸入其他物質(非熔化金屬情節)則為 4。

(4)呼吸率：

工作人員和其他成人的呼吸率為 $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ；1~2 歲小孩則為 0.22

m³/h。

(5)有效劑量係數

參考 Federal Guidance Report 11⁽⁷⁾。

3.5.3 嚥入

此處考慮兩種途徑：

- 1.不小心嚥入含放射性物質的灰塵（例如手沾到灰塵，再經手、口接觸而攝入）。
- 2.農作物生長時吸收了放射性物質，人類食用農作物而間接嚥入放射性物質。

嚥入放射性物質造成的劑量可由下式計算：

$$E_{ing,C} = e_{ing} \cdot q \cdot f_d \cdot f_c \cdot f_t \cdot e^{-\lambda t_1} \frac{1 - e^{-\lambda t_2}}{\lambda \cdot t_2} \quad (3)$$

$E_{ing,C}$ ：每年每單位活度濃度放射性物質導致的約定有效劑量，單位為 $[(\mu\text{Sv/a})/(\text{Bq/g})]$ ，

e_{ing} ：嚥入之有效劑量係數，單位為 $(\mu\text{Sv/Bq})$ ；

q ：每年攝入灰塵或食物的量，單位為 (g/a) 或 (kg/a) ；

f_d ：稀釋因子；

f_c ：濃縮因子；

f_t ：根轉移因子

λ ：衰減常數；

t_1 ：情節開始前的衰減時間，單位為 (a) ；

t_2 ：情節進行中的衰減時間，單位為 (a) 。

式中提及五種係數：稀釋因子、濃縮因子、根轉移因子、每年攝入灰塵或食物的量、有效劑量係數，五種係數於四種情節中的設定值列於表 5。

表 5. 吸入情節參數

參數	單位	案例 Case	WL/WF	RP	RL-A	RL-C
			掩埋場或鑄鐵廠的工作人員	居住地區	常駐掩埋場	
稀釋因子(f_d)	[-]	一般狀況	0.1	0.1	0.01	0.01
		低機率	1	1	0.1	0.1
濃縮因子(f_c)	[-]		2	2	N/A	N/A
根轉移因子(f_t)	[-]		N/A	N/A	[12]	[12]
每年攝入灰塵或食物的量(q)	g/a or kg/a	一般狀況	10 g/a	25 g/a	88 kg/a	68 kg/a
		低機率	50 g/a	50 g/a	264 kg/a	204 kg/a
劑量率係數(e_{ing})	$\mu\text{Sv/Bq}$		工作人員 參見 3.2.1	小孩 (1-2 歲) 參見 3.2.1	成人 參見 3.2.1	小孩 (1-2 歲) 參見 3.2.1

以下將描述吸入情節所用到的參數。

(1)稀釋因子：

掩埋場附近的居民，在不小心吸入含放射性灰塵的情節中，所採用的稀釋因子和吸入途徑相同。而在農作物生長情節中，考量僅部份土壤受污染，且污染農作物僅佔年食入量的一部分，因此假設在一般狀況時的稀釋因子為 0.01，低機率情形則為 0.1。

(2)濃縮因子：

在吸入情節中的濃縮因子僅和直接吸入放射性物質途徑相關。吸入物質的粒子對吸入情節而言，粒徑顯得較大，因此濃縮因

子較小，其值假設為 2。

(3)根轉移因子：

在嚥入情節中的根轉移因子僅和嚥入污染農作物途徑相關。根轉移因子是指放射性核種從污染土壤中被植物吸收的比例，其大小與核種種類有關。

(4)每年的嚥入量：

- ①對直接嚥入放射性物質的工作人員而言，一般狀況評估為 10 g/a，低機率情形則為 50 g/a。
- ②在公園等公共設施遊玩的小孩，不小心嚥入放射性灰塵的量，一般狀況評估為 25 g/a，低機率情形則為 50 g/a。
- ③在嚥入污染農作物的途徑中，蔬菜和水果的年消費量對一般狀況而言，成人與小孩分別為 88 kg/a 以及 68 kg/a；低機率情形則分別為 264 kg/a 以及 204 kg/a。這些年消費量已經考慮了其他來源的農作物所造成的稀釋因子。

(5)有效劑量係數：

參考 Federal Guidance Report 11⁽⁷⁾。

3.5.4 水循環途徑

水循環途徑在某些情況下需要做放射性評估，例如廢水流經的區域或是廢棄物儲存位置附近的地下水或地表水。如圖五，這些放射性物質會進入人類的食物鏈當中，造成體外曝露或是經由攝入造成體內曝露。

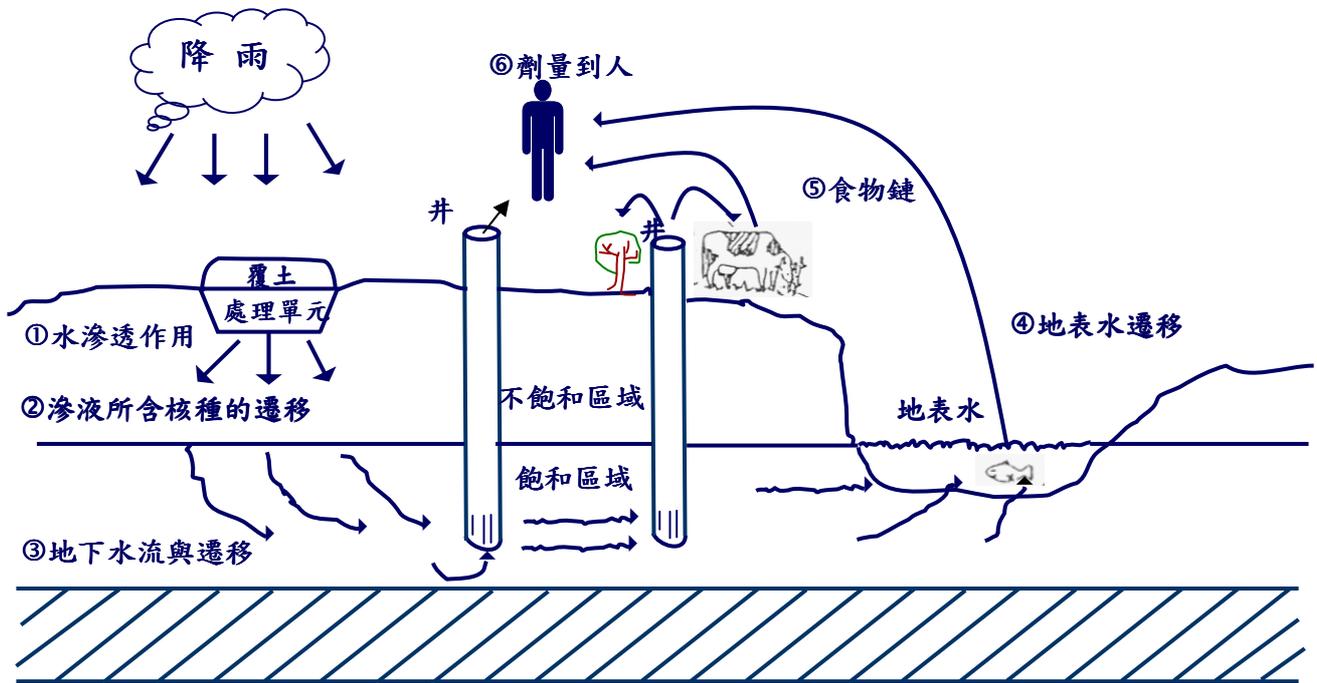


圖 5. 水循環途徑

3.5.4.1 地下水評估方程式

假設射源廣泛分布於地下水蓄水層的流域，並保守地認為所有核種都可以遷移。核種釋放速率由 K_d 模式決定，在此模式中，核種 i 的滲濾速率 L_i 可由公式(4)計算而得，

$$L_i = \frac{I}{\theta^{cz} \cdot z^{cz} \cdot R_i^{cz}} \quad (4)$$

I ：滲透速率，單位為(m/a)；

θ^{cz} ：污染區域的水體容量；

z^{cz} ：污染區域的厚度；

R_i^{cz} ：核種 i 的遲滯因子，可由公式(5)計算而得

$$R_i^{cz} = 1 + \frac{\rho^{cz} \cdot K_{di}}{\theta^{cz}} \quad (5)$$

ρ^{cz} ：污染區的密度，單位為(g/cm³)；

K_{di} ：核種 i 的分佈係數，單位為(cm³/g)。

分佈係數是決定不同核種由污染區瀝濾出來的速度，其數值的大小與核種的化學特性及土壤的地球化學(geochemical)性質有關。某些元素無法量測得到分佈係數，可用公式(6)估算之。

$$\ln K_{di} = a + b \cdot \ln f_{t,i} \quad (6)$$

a = 2.11(砂質土壤)，b = -0.56

表 6 則為 IAEA RS-G-1.7 號安全報告⁽¹⁾提供的核種分佈係數。

表 6. IAEA RS-G-1.7 號安全報告提供的核種分佈係數

核種	一般狀況	低機率	核種	一般狀況	低機率
Ag	0	0	Nb	0	0
Am	20	20	Ni	1000	300
Ba	50	44*	Np	50*	5
Bi	0	0	Pd	30*	30
Bk	213*	213*	Pm	268*	240
C	0	0	Pt	12*	12*
Ca	50	5	Pu	2000	550
Cd	0	0	Rb	20*	20*
Ce	1000	500	Rh	44*	44*
Cf	109*	109*	Ru	0	0
Cl	3*	3*	Sb	0	0
Cm	395*	395*	Se	0	0
Co	1000	60	Sm	182*	182*
Cs	1000	270	Sn	0	0
Es	213*	213*	Sr	30	15
Eu	268*	240	Tb	182*	182*
Fe	1000	160	Tc	0	0
Gd	182*	182*	Te	0	0
H	0	0	Th	60000	1378
Ho	182*	182*	Tl	0	0
I	0.1	0.1	Tm	213*	213*
La	213*	213*	U	50	15
Mn	200	50	Zn	0	0
Mo	20*	10	Zr	395*	280
Na	10	10			

*：該核種的分佈係數是由公式(6)計算而得。

而在本文所評估的核種(*i*)中，可以參考 RESRAD 程式(第 6 版)使用手冊⁽⁴⁾表 D.3 的根轉移因子($f_{i,i}$)，再利用公式(6)來計算分佈係數(K_{di})。本文所採用的分佈係數如表 7。

表 7. 本文採用的核種分佈係數

核種	K_{di} :核種 <i>i</i> 的分布係數 (cm ³ /g)		$f_{i,i}$
	一般狀況	低機率	
H-3	3*	3*	4.8E+00
Cr-51	858*	858*	2.5E-04
Mn-54	200	50	3.0E-01
Fe-55	1000	160	1.0E-03
Fe-59	1000	160	1.0E-03
Co-58	1000	60	8.0E-02
Co-60	1000	60	8.0E-02
Ni-59	1000	300	5.0E-02
Ni-63	1000	300	5.0E-02
Ge-71	14*	14*	4.0E-01
Sr-89	30	15	3.0E-01
Sr-90	30	15	3.0E-01
Tc-99	3*	3*	5.0E+00
Rh-103m	44	44	1.3E-01
In-114m	213*	213*	3.0E-03
Te-127m	11*	11*	6.0E-01
Te-129m	11*	11*	6.0E-01
I-129	0.1	0.1	2.0E-02
Cs-137	1000	270	4.0E-02
Ce-141	1000	500	2.0E-03
Ir-192	59*	59*	3.0E-02
Pu-239	2000	550	1.0E-03
Pu-241	2000	550	1.0E-03
Am-241	20	20	1.0E-03
Cf-252	109	109	1.0E-03

*：採用 RESRAD 程式(第 6 版)使用手冊⁽⁴⁾表 D.3 的 f_i 值計算所得，其餘為 IAEA RS-G-1.7 號安全報告的值。

滲流(seepage)中核種 i 的濃度(C_i^s)，可以由滲濾速率(L_i)計算求得，

$$C_i^s = \frac{M \cdot c_i \cdot L_i}{U^s} \quad (7)$$

M ：污染物質總質量，單位為(g)；

c_i ：污染物質中核種 i 的比活度，單位為(Bq/g)；

L_i ：核種 i 的滲濾速率，單位為(1/a)；

U^s ：通過污染區域的滲流體積，單位為(m^3/a)，可由下式計算而得，

$$U^s = I \cdot A^{cz} \quad (8)$$

I ：滲透速率，單位為(m/a)；

A^{cz} ：污染區域的表面積，單位為(m^2)。

假設滲流由污染物質處釋放而進入地下蓄水層。在一般狀況(realistic scenario)中，假設有一個未飽和區域位於污染物質與地下蓄水層之間。滲流的核種在未飽和區遷移時會進行放射性衰變，所以此區的存在對於滲流的污染濃度有影響。滲流穿過未飽和區的傳輸時間 t_i 可由公式(9)計算。

$$t_i = \frac{z^{uz} \cdot R_i^{uz} \cdot p^{uz} \cdot R_s^{uz}}{I} \quad (9)$$

I ：滲透速率，單位為(m/a)；

z^{uz} ：未飽和區的厚度，單位為(m)；

p^{uz} ：未飽和區域的有效多孔性(effective porosity)；

R_s^{uz} ：未飽和區的飽和率(saturation ratio)；

R_i^{uz} ：未飽和區中，核種 i 的遲滯因子，可由下式計算而得，

$$R_i^{uz} = 1 + \frac{\rho^{uz} \cdot K_{di}}{\theta^{uz}} \quad (10)$$

ρ^{uz} ：未飽和區的密度，單位為(g/cm³)；

K_{di} ：核種 i 的分佈係數 (cm³/g)，數值與污染區的分佈係數相同；

θ^{uz} ：未飽和區域的水體容量。

此數學式僅用於當滲流的傳輸可描述為流體經過多孔性介質且可適用於分佈係數概念。但並非適用於所有狀況，例如若有裂縫流(fracture flow)或是膠體傳輸(colloidal transport)的情形，會導致滲流傳輸通過未飽和區的速率加快許多。所以低發生機率情形中不考慮未飽和區的存在。

假設有一口私人用井在輻射源的下游，保守地假設井非常接近輻射源，因此不會被其他來自不同處的地下水稀釋。地下蓄水層中核種的傳輸不考慮分散(dispersion)與擴散(diffusion)。井水中的核種會被污染區域下方的地下水稀釋。地下水體積(U^{gw})可由公式(11)計算而得。

$$U^{gw} = z^{gw} \cdot w^{gw} \cdot v^{gw} \cdot p^{gw} \quad (11)$$

z^{gw} ：地下蓄水層厚度，單位為(m)；

w^{gw} ：垂直於地下水流的方向，污染區域的寬度，單位為(m/a)；

v^{gw} ：地下水的流速(指多孔性水)，單位為(m/a)；

p^{gw} ：地下蓄水層的有效多孔性。

由公式(7)、(8)、(9)及(11)，可求出井水中核種 i 的濃度(c_i^w)：

$$c_i^w = \frac{U^s}{U^{gw} + U^s} \cdot C_i^s \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_i} \quad (12)$$

評估井水用於灌溉後對生長中農作物的影響，需要瞭解核種由水中傳輸到植物中的情形，傳輸因子(f_i)：

$$f_i = \frac{I_{rr} \cdot f_r \cdot T_f \cdot (1 - e^{-\lambda_w \cdot t_e})}{Y_w \cdot \lambda_w} + \frac{I_{rr} \cdot (1 - f_r) \cdot f_{t,i} \cdot (1 - e^{-L_i \cdot t_e})}{\rho^e \cdot L_i} \quad (13)$$

I_{rr} ：灌溉率，單位為(m/a)；

f_r ：核種留存於蔬菜中的比例(0.25)；

T_f ：葉子-食用部分的傳輸因子，水果及非葉菜類為 0.1，葉菜類為 1；

λ_w ：蔬菜的風化移除常數(20/a)；

t_e ：農作物成長中受曝露的時間，水果及非葉菜類為 0.17 年，葉菜類為 0.25 年；

Y_w ：單位面積之農作物的產量(鮮重)，水果及非葉菜類為 0.7 kg/m²，葉菜類為 1.5 kg/m²；

$f_{t,i}$ ：核種 i 的根傳輸因子；

L_i ：核種瀝濾速率，可由公式(4)計算求得，單位為(1/a)；

ρ^e ：土壤的有效面密度(225 kg/m²)。

地下水排出成為地表水後，若被用來飲用或是灌溉農作物，會增加曝露量。因為稀釋作用，所以造成的劑量比井水劑量小，不需考慮地表水的使用情節。然而，地表水中的魚類被人食用，則是需要考慮的曝露途徑。地表水中核種濃度 c_i^r 由河水水流速率 U^r 決定：

$$c_i^r = \frac{U^s}{U^r + U^s} \cdot C_i^s \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_i} \quad (14)$$

只要使用轉移因子以及地表水中核種濃度，即可算出轉移到魚身上的核種量。轉移因子可由 RESRAD 程式(第 6 版)使用手冊⁽⁴⁾中表 D.5 查得。

3.5.4.2 場址的條件設定

場址含放射性物質的例子，都使用下列假設：

- (1)一般狀況：污染物質的體積為 25000 m³，
- (2)低機率情形：污染物質的體積為 100000 m³，
- (3)一般狀況與低機率情形，污染區域的厚度都是 5 m。

類似農作物的情節，情節開始前的衰減時間設定為一年，情節進行中的衰減時間則取決於污染物質的遷徙時間。當水到達井或河流時，因為主要曝露途徑為個人因飲用水造成的劑量，其代謝只需一天，所以不考慮核種衰減。滲透率的設定為 0.2 m/a，這個數值適用於一般的天氣狀況。較潮濕的區域以及適當的土壤狀態，則可能有更高的滲透率，但由於這些區域的地下水或地表水的流速相對較快，因此整體而言，稀釋程度是保持一定的。

一般狀況假設未飽和區域的厚度設定為 2 m，位置介於污染區域與地下蓄水層之間。低機率情形則假設污染區域直接連接地下蓄水層。地下蓄水層的流速(指多孔性水)對一般狀況假設為每年 1000 m，低機率情形則為每年 500 m。假設私人所鑿的井，井水僅用於私人莊園中的飲用水以及灌溉水，灌溉率為每年 0.2 m。河流的流速設定為 5 m³/s。

考慮大人與小孩的計算模式與攝入的情節一致，飲食方面的參數也一致。此種模式需要輸入消耗量相關的參數：飲水、葉菜類、非葉菜類蔬菜、水果、魚貨等相關參數參見表 8。在表 8 中，小孩、成人消耗量為 IAEA 提供的數據，本土資料來源則參考行政院農業委員會統計室 92 年農業統計年報⁽⁹⁾，取 82 至 91 年的平均值。表 9 為場址參數。

表 8. 攝入參數

種類	小孩消耗量 (1-2 歲)		成人消耗量 (>17 歲)		本土資料 [kg/a]
	[kg/a]		[kg/a]		
	一般狀況	低機率.	一般狀況	低機率.	
飲用水	100	200	350	700	
葉菜類	6	18	13	39	34.11
非葉菜	17	51	40	120	74.67
水果	45	135	35	105	140.87
蔬果總量	68	204	88	264	249.65
魚	0.6	3	1.5	7.5	25.05

表 9. 地下水情節之場址參數

參數	單位	一般狀況	低機率
污染區域			
情節開始前的衰變時間	年(a)	1	1
面積大小	m ²	5000	20000
污染層厚度	m	5.00	5.00
密度	g/cm ³	1.80	1.80
滲透率	m/a	0.20	0.20
灌溉率	m/a	0.20	0.20
滲流 (穿過污染區) (calculated)	m ³ /a	1000	4000
總多孔性		0.40	0.40
飽和液體傳導性	m/a	5000	5000
水體容量		0.16	0.16
不飽和區			
不飽和層厚度	m	2.00	0.00
密度	g/cm ³	1.80	1.80
多孔性		0.40	0.40
有效多孔性		0.20	0.20
水體容量		0.16	0.16
地下水蓄水層			
蓄水層厚度	m	5.00	5.00
污染區寬度 (垂直於蓄水層)	m	100	100
地下水氣孔水速率	m/a	1000	500
有效多孔性		0.25	0.25
流體速度(calculated)	m ³ /a	1.25E+05	6.25E+04
滲流與地下水之間的稀釋因子 (calculated)		7.94E-03	6.02E-02
地表水			
河流流速	m ³ /s	5.00	5.00
滲流與河流間的稀釋因子(calculated)		6.34E-06	2.54E-05
灌溉			
非葉菜類蔬菜生長季節長度	a	0.17	0.17

表 9. 地下水情節之場址參數(續)

參數	單位	一般狀況	低機率
葉菜類蔬菜生長季節長度	a	0.25	0.25
風化常數 (葉菜類)	1/a	20	20
留在蔬菜內的核種比例		0.25	0.25
葉子-食用部分轉移因子 (非葉菜類蔬菜)		0.1	0.1
葉子-食用部分轉移因子 (葉菜類蔬菜)		1	1
土壤有效面密度	kg/m ²	225	225
穀物產量 (未經乾燥處理, 非葉菜類蔬菜)	kg/m ²	0.7	0.7
穀物產量 (未經乾燥處理, 葉菜類蔬菜)	kg/m ²	1.5	1.5
攝入			
飲水消耗量(一至二歲孩童)	kg/a	100	200
飲水消耗量 (17 歲以上的成人)	kg/a	350	700
非葉菜類蔬菜消耗量(一至二歲孩童)	kg/a	17	51
非葉菜類蔬菜消耗量 (17 歲以上的成人)	kg/a	40	120
葉菜類蔬菜消耗量(一至二歲孩童)	kg/a	6	18
葉菜類蔬菜消耗量 (17 歲以上的成人)	kg/a	13	39
魚貨消耗量(1~2 歲孩童)	kg/a	0.6	3
魚貨消耗量 (17 歲以上的成人)	kg/a	1.5	7.5
受污染飲用水的消耗比例		0.25	1
受污染蔬菜的消耗比例		0.25	1
受污染魚貨的消耗比例		0.25	1

3.5.4.3 核種

各模式使用的核種僅限於半衰期大於 0.5 年的核種，因為短半衰期核種在水循環的曝露途徑中造成的劑量微乎其微。在水循環的途徑中，子核種在水中的流動性可能大於母核種，利用下列兩種方法描述此效應：

- (1)子核種半衰期小於 0.05 年者，在水與糧食當中當作母核與子核的活度達到平衡。
- (2)若子核種為長半衰期核種，則需另外獨立出來進行模擬。其造成的劑量加總至母核種的劑量。

4.結果與討論

根據 IAEA RS-G-1.7 號安全報告當中，核種活度濃度限值有七種，在七個範圍內各選數個核種進行活度濃度推導，活度濃度限值與選用核種如下表(表 10)：

表 10. 活度濃度分類

IAEA 限值 (單位：Bq/g)	0.01	0.1	1	10	100	1000	10000
核種	I-129	Mn-54	Fe-59	In-114m	H-3	Fe-55	Ge-71
		Co-60	Co-58	Te-127m	Cr-51	Sr-89	Rh-103m
		Cs-137	Sr-90	Te-129m	Ni-59		
		Pu-239	Tc-99	Pu-241	Ni-63		
		Am-241	Ir-192		Ce-141		
			Cf-252				

體外曝露依據表 3 所列 WL、WO、WF、RH 及 RP 五個情節所列之幾何條件，以 QAD-CG⁽⁶⁾ 程式模擬計算體外曝露之劑量係數，計算結果如下表(表 11)所示，其中 N/A 表示此核種非 γ 光子發射體，故程式不予計算劑量結果。吸入及嚥入途徑之劑量轉換係數則參考 Federal Guidance Report 11⁽⁷⁾，其數值參見表 12。

表 11. 體外曝露之劑量係數

核種	T _{1/2}	體外曝露劑量係數[(μ Sv/a)/(Bq/g)]			
		WL/RP ⁽¹⁾	WF/WO	RH(六面牆) ⁽²⁾	RH(四面牆) ⁽³⁾
H-3	12.33 ± 0.06 y	N/A	N/A	N/A	N/A
Cr-51	27.702 ± 0.004 d	4.436E-06	3.013E-03	1.182E-02	9.508E-03
Mn-54	312.3 ± 0.4 d	1.115E-03	9.213E-02	3.219E-01	2.600E-01
Fe-55	2.73 ± 0.03 y	3.781E-30	1.555E-31	1.730E-13	1.592E-13
Fe-59	70.82 ± 0.006 d	2.998E-03	1.323E-01	4.385E-01	3.547E-01
Co-58	70.82 ± 0.03 d	1.140E-03	1.067E-01	3.773E-01	3.047E-01
Co-60	5.2714 ± 0.0005 y	7.108E-03	2.801E-01	7.394E-02	6.032E-02
Ni-59	7.6 ± 0.5E04 y	4.219E-30	6.428E-30	9.809E-10	8.410E-10
Ni-63	100.1 ± 2.0 y	N/A	N/A	N/A	N/A
Ge-71	11.43 ± 0.03 d	4.473E-30	4.311E-15	4.630E-06	3.669E-06
Sr-89	50.53 ± 0.07 d	2.139E-07	1.507E-05	5.200E-05	4.202E-05
Sr-90	28.78 ± 0.04 y	N/A	N/A	N/A	N/A
Tc-99	2.111 ± 0.012E05 y	3.819E-14	2.257E-08	1.402E+00	7.800E-01
Rh-103m	56.12 ± 0.01 m	5.001E-31	1.783E-07	8.335E-05	6.614E-05
In-114m	49.51 ± 0.01 d	4.587E-05	8.723E-03	3.331E-02	2.683E-02
Te-127m	109 ± 2 d	5.849E-08	1.428E-04	1.035E-03	8.274E-04
Te-129m	33.6 ± 0.1 d	2.940E-05	3.515E-03	1.296E-02	1.046E-02
I-129	1.57 ± 0.04E07 y	1.605E-30	4.007E-04	2.178E-03	1.740E-03
Cs-137	30.07 ± 0.03 y	4.687E-04	6.105E-02	2.203E-01	1.778E-01
Ce-141	32.501 ± 0.005 d	3.985E-07	4.848E-03	2.050E-02	1.642E-02
Ir-192	73.831 ± 0.008 d	2.239E-04	8.068E-02	3.100E-01	2.496E-01
Pu-239	24110 ± 30 y	4.740E-11	2.976E-06	3.740E-05	2.970E-05
Pu-241	14.35 ± 0.10 y	1.859E-17	2.484E-13	1.066E-12	8.532E-13
Am-241	432.2 ± 0.7 y	1.622E-30	5.488E-04	2.561E-03	2.045E-03
Cf-252	2.645 ± 0.008 y	2.740E-31	2.278E-07	4.590E-01	3.678E-01

註：(1)廢棄物上覆土 50 cm。

(2)以天花板、地板及四面牆共六面牆評估輻射劑量。

(3)以天花板、地板及二面對稱的牆共四面牆評估輻射劑量。

表 12. 體內曝露之劑量係數

核種	T _{1/2}	體內曝露劑量係數(μSv/Bq)	
		吸入	嚥入
H-3	12.33 ± 0.06 y	1.73E-05	1.73E-05
Cr-51	27.702 ± 0.004 d	9.03E-05	3.98E-05
Mn-54	312.3 ± 0.4 d	1.81E-03	7.48E-04
Fe-55	2.73 ± 0.03 y	7.26E-04	1.64E-04
Fe-59	70.82 ± 0.006 d	4.00E-03	1.81E-03
Co-58	70.82 ± 0.03 d	2.94E-03	9.68E-04
Co-60	5.2714 ± 0.0005 y	5.91E-02	7.28E-03
Ni-59	7.6 ± 0.5E04 y	7.31E-04	5.67E-05
Ni-63	100.1 ± 2.0 y	1.70E-03	1.56E-04
Ge-71	11.43 ± 0.03 d	3.31E-05	2.60E-06
Sr-89	50.53 ± 0.07 d	1.12E-02	2.50E-03
Sr-90	28.78 ± 0.04 y	3.51E-01	3.85E-02
Tc-99	2.111 ± 0.012E05 y	2.25E-03	3.95E-04
Rh-103m	56.12 ± 0.01 m	1.38E-06	3.14E-06
In-114m	49.51 ± 0.01 d	2.40E-02	4.61E-03
Te-127m	109 ± 2 d	5.81E-03	2.23E-03
Te-129m	33.6 ± 0.1 d	6.47E-03	2.89E-03
I-129	1.57 ± 0.04E07 y	4.69E-02	7.46E-02
Cs-137	30.07 ± 0.03 y	8.63E-03	1.35E-02
Ce-141	32.501 ± 0.005 d	2.42E-03	7.83E-04
Ir-192	73.831 ± 0.008 d	7.61E-03	1.55E-03
Pu-239	24110 ± 30 y	1.16E+02	9.56E-01
Pu-241	14.35 ± 0.10 y	2.23E+00	1.85E-02
Am-241	432.2 ± 0.7 y	1.20E+02	9.84E-01
Cf-252	2.645 ± 0.008 y	4.24E+01	2.93E-01

利用前述之劑量轉換係數及第 3 節所述之曝露途徑、情節與各參數值，計算每一情節之輻射劑量及導出濃度；在 WL 及 RP 情節中考量廢棄物上覆土 50 cm，而 RH 情節為考量國內住宅現況以四面牆的結構計算，並計算最保守的情形-六面牆(天花板、地板及四牆)。各核種、各情節之輻射劑量及導出濃度計算結果參見附錄 1 及 2 中的表 A 至表 Y。針對各核種、八個情節當中，選出劑量最高者及其導出濃度，數值列於表 13。

表 13. 各核種於八種情節中最大劑量及導出濃度

核種	情節	劑量($\mu\text{Sv/a}$)	導出濃度(Bq/g)
H-3	一般狀況 RL (成人)	6.717E-02	1.489E+02
	低機率 RL (成人)	2.192E+00	4.562E+02
Cr-51	一般狀況 RH (六面牆)	4.770E-02	2.097E+02
	低機率 WF	5.295E+00	1.889E+02
Mn-54	一般狀況 RH (六面牆)	7.951E+01	1.258E-01
	低機率 RH (六面牆)	7.739E+02	1.292E+00
Fe-55	一般狀況 RP	6.776E-04	1.476E+04
	低機率 WF	2.736E-02	3.655E+04
Fe-59	一般狀況 RH (六面牆)	7.287E+00	1.372E+00
	低機率 WF	2.347E+02	4.261E+00
Co-58	一般狀況 RH (六面牆)	1.736E+01	5.761E-01
	低機率 WF	1.903E+02	5.255E+00
Co-60	一般狀況 RH (六面牆)	3.007E+01	3.325E-01
	低機率 WF	5.056E+02	1.978E+00
Ni-59	一般狀況 RL (成人)	2.498E-03	4.003E+03
	低機率 RL (成人)	7.638E-02	1.309E+04
Ni-63	一般狀況 RL (成人)	6.801E-03	1.470E+03
	低機率 RL (成人)	2.095E-01	4.773E+03
Ge-71	一般狀況 RH (六面牆)	2.188E-07	4.570E+07
	低機率 RL (成人)	2.591E-02	3.860E+04

表 13. 各核種於八種情節中最大劑量及導出濃度(續)

核種	情節	劑量($\mu\text{Sv/a}$)	導出濃度(Bq/g)
Sr-89	一般狀況 WF	1.303E-03	7.675E+03
	低機率 RL (成人)	1.955E+01	5.114E+01
Sr-90	一般狀況 RL (成人)	9.805E+00	1.020E+00
	低機率 RL (成人)	3.056E+02	3.272E+00
Tc-99	一般狀況 RL (成人)	1.738E+00	5.754E+00
	低機率 RL (成人)	5.214E+01	1.918E+01
Rh-103m	一般狀況 WO	4.638E-241	2.156E+241
	低機率 RL (成人)	2.034E-10	4.916E+12
In-114m	一般狀況 RH (六面牆)	7.189E-01	1.391E+01
	低機率 WF	1.629E+01	6.137E+01
Te-127m	一般狀況 RH (六面牆)	9.578E-02	1.044E+02
	低機率 RL (成人)	3.511E+01	2.848E+01
Te-129m	一般狀況 RH (六面牆)	9.841E-02	1.016E+02
	低機率 RL (成人)	4.486E+01	2.229E+01
I-129	一般狀況 RL (成人)	1.313E+00	7.615E+00
	低機率 RL (成人)	3.949E+01	2.532E+01
Cs-137	一般狀況 RH (六面牆)	9.740E+01	1.027E-01
	低機率 RH (六面牆)	9.480E+02	1.055E+00
Ce-141	一般狀況 RH (六面牆)	1.404E-01	7.122E+01
	低機率 WF	8.655E+00	1.155E+02
Ir-192	一般狀況 RH (六面牆)	1.540E+01	6.493E-01
	低機率 RH (六面牆)	1.499E+02	6.670E+00
Pu-239	一般狀況 WF	4.576E+01	2.185E-01
	低機率 WF	1.850E+03	5.407E-01
Pu-241	一般狀況 WF	8.556E-01	1.169E+01
	低機率 WF	3.556E+01	2.812E+01
Am-241	一般狀況 WF	4.731E+01	2.114E-01
	低機率 WF	1.914E+03	5.225E-01
Cf-252	一般狀況 WF	1.430E+01	6.991E-01
	低機率 WF	6.699E+02	1.493E+00

由上表(表 13)之結果顯示，不同核種因其特性不同，所以最高劑量的情節不同，例如： ^3H 為純貝他(β)射源，對於體內劑量有所貢獻，所以最高劑量情節為 RL(成人)，因為此情節中的曝露途徑為吸入、食入。所有最大劑量情節為 RH(六面牆)情節的核種，若 RH 情節不使用最保守假設，採 IAEA 建議僅有四面牆的狀況，則最大劑量情節變更為 RH (四面牆)。

大部分核種於最大劑量情節的核種導出濃度大於 IAEA RS-G-1.7 號安全導則建議值，有五個核種例外： ^{58}Co 、 ^{89}Sr 、 ^{141}Ce 、 ^{192}Ir 與 ^{252}Cf 。

^{58}Co 、 ^{141}Ce 與 ^{192}Ir 最高劑量情節為一般狀況的 RH(六面牆)情節，IAEA 在 RH 的情節係採用天花板、地板及二面牆來評估輻射劑量，在本報告中採用最保守的設定，使用天花板、地板及四面牆來評估輻射劑量(假設核種均勻存在於牆面的混凝土中，不考慮鋼筋的存在)，故評估的推導活度濃度值較 IAEA 建議值為低；IAEA 建議值皆採取近似值法則(rounding procedures)，建議值數值為 10^{-1} 、 10^0 、 10^1等等，事實上核種的推導活度濃度介於 0.3 與 3 之間，都歸屬於 10^0 (Bq/g)的類別，推導活度濃度介於 3~30 之間則歸類為 10^1 (Bq/g)類別，其餘以此類推，而 ^{58}Co 與 ^{192}Ir 的推導活度濃度分別為 0.5761 與 0.6493，都介於 0.3~3 之間，歸屬於 IAEA 建議值 1 (Bq/g)， ^{141}Ce 的推導活度濃度為 71.22，落在 30~300 的範圍內，歸屬於 IAEA 建議值 100 (Bq/g)，所以這三個核種的推導活度濃度可說與 IAEA 建議的狀況一致；若假設 ^{58}Co 、 ^{141}Ce 與 ^{192}Ir 三個核種可能出現於鋼筋當中，鋼筋外覆蓋乾淨的混凝土，則推導活度濃度數值如表 14，數值皆大於 IAEA 建議值。另外，RH 增加屏蔽的結果，使得三個核種的最大劑量情節變為 WO 情節，其推導活度濃度都大於 IAEA 建議值。

表 14. RH (六面牆) 情節增加屏蔽的結果

核種	⁵⁸ Co	¹⁴¹ Ce	¹⁹² Ir
RH(六面牆)情節的劑量 (μSv/a)	1.460E+00	1.472E-02	1.396E+00
RH(六面牆)情節的推導活度濃度 (Bq/g)	6.851E+00	6.795E+02	7.164E+00
增加屏蔽後的最大劑量情節 及推導活度濃度(Bq/g)	WO 5.135E+00	WO 3.384E+2	WO 6.465E+00

⁸⁹Sr 的衰變形式主要為 β 衰變，容易造成體內劑量，最高劑量情節為 RL (成人)，因為此情節的曝露途徑包含吸入、嚥入兩種形式，且設定曝露時間長達一整年，因此推得的推導活度濃度僅為 IAEA RS-G-1.7 號安全導則建議值的 5 %，歐盟 RP-122 報告⁽⁸⁾建議的推導活度濃度為 10 Bq/g，與本報告的計算值較接近。

²⁵²Cf 會發射 α 粒子(96.91 %)，主要經由吸入途徑造成人體劑量，WF 情節含吸入途徑，且濃縮因子採最保守的數值 70，所以造成最大劑量；將濃縮因子與導出濃度的關係繪圖如圖 6。由圖可知，當濃縮因子降至 48 以下時，推導活度濃度會高於 RS-G-1.7 號安全導則建議值。

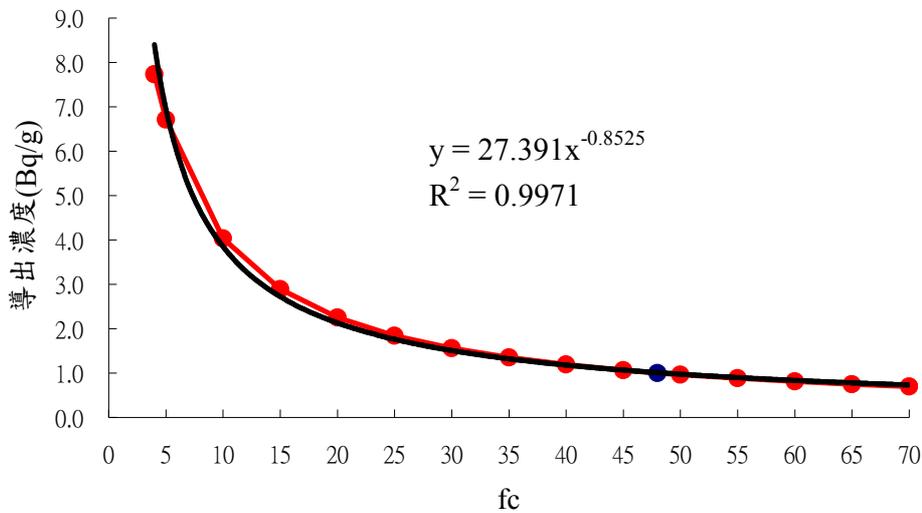


圖 6. 不同 f_c 的 Cf-252 導出濃度圖

IAEA Draft Safety Report 「Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance」報告並未詳細說明劑量係數、各情節或各核種之劑量計算的特殊考量；本報告僅依據前述報告所列之評估情節及曝露途徑及環境參數等資料，以及體外曝露情節幾何條件模擬計算劑量係數，並採用 Federal Guidance Report 11⁽⁷⁾的吸入與嚥入途徑之劑量係數，進行 25 個核種之解除管制之活度濃度推導，計算結果大多數核種的活度濃度小於 IAEA 建議值，由此可初步驗證 IAEA 建議值的適切性。

Federal Guidance Report 11 的吸入與嚥入途徑之劑量係數是參考 ICRP 26 號報告提供的數據(表 12)。為因應我國未來游離輻射防護安全標準將採用 ICRP 60 號報告數據的趨勢，本報告亦採用 ICRP 60 號數據(表 15)計算各情節劑量。計算結果大部分核種的最大劑量情節不變，數據比較如表 16，最大情節改變的核種及其劑量、導出濃度列於表 17。

表 15. 體內曝露之劑量係數(ICRP-60)

核種	T _{1/2}	體內曝露劑量係數(μSv/Bq)	
		吸入	嚥入
H-3	12.33 ± 0.06 y	-	4.20E-05
Cr-51	27.702 ± 0.004 d	3.60E-05	3.80E-05
Mn-54	312.3 ± 0.4 d	1.20E-03	7.10E-04
Fe-55	2.73 ± 0.03 y	9.20E-04	3.30E-04
Fe-59	70.82 ± 0.006 d	3.20E-03	1.80E-03
Co-58	70.82 ± 0.03 d	1.70E-03	7.40E-04
Co-60	5.2714 ± 0.0005 y	1.70E-02	3.40E-03
Ni-59	7.6 ± 0.5E04 y	2.20E-04	6.30E-05
Ni-63	100.1 ± 2.0 y	5.20E-04	1.50E-04
Ge-71	11.43 ± 0.03 d	1.10E-05	1.20E-05
Sr-89	50.53 ± 0.07 d	5.60E-03	2.60E-03
Sr-90	28.78 ± 0.04 y	7.70E-02	2.80E-02
Tc-99	2.111 ± 0.012E05 y	3.20E-03	7.80E-04
Rh-103m	56.12 ± 0.01 m	2.50E-06	3.80E-06
In-114m	49.51 ± 0.01 d	1.10E-02	4.10E-03
Te-127m	109 ± 2 d	6.20E-03	2.30E-03
Te-129m	33.6 ± 0.1 d	5.40E-03	3.00E-03
I-129	1.57 ± 0.04E07 y	5.10E-02	1.10E-01
Cs-137	30.07 ± 0.03 y	6.70E-03	1.30E-02
Ce-141	32.501 ± 0.005 d	3.10E-03	7.10E-04
Ir-192	73.831 ± 0.008 d	4.90E-03	1.40E-03
Pu-239	24110 ± 30 y	3.20E+01	2.50E-01
Pu-241	14.35 ± 0.10 y	5.80E-01	4.70E-03
Am-241	432.2 ± 0.7 y	2.70E+01	2.00E-01
Cf-252	2.645 ± 0.008 y	1.30E+01	9.00E-02

表 16. 採用 ICRP 60 號與 ICRP 26 號報告數據的計算結果

核種		ICRP-60		ICRP-26	
		劑量	導出濃度	劑量	導出濃度
H-3	一般狀況	1.631E-01	6.132E+01	6.717E-02	1.489E+02
	低機率	5.322E+00	1.879E+02	2.192E+00	4.562E+02
Cr-51	一般狀況	4.770E-02	2.097E+02	4.770E-02	2.097E+02
	低機率	5.294E+00	1.889E+02	5.295E+00	1.889E+02
Mn-54	一般狀況	7.951E+01	1.258E-01	7.951E+01	1.258E-01
	低機率	7.739E+02	1.292E+00	7.739E+02	1.292E+00
Fe-55	一般狀況	1.362E-03	7.342E+03	6.776E-04	1.476E+04
	低機率	4.688E-02	2.133E+04	2.736E-02	3.655E+04
Fe-59	一般狀況	7.287E+00	1.372E+00	7.287E+00	1.372E+00
	低機率	2.347E+02	4.261E+00	2.347E+02	4.261E+00
Co-58	一般狀況	1.736E+01	5.761E-01	1.736E+01	5.761E-01
	低機率	1.902E+02	5.257E+00	1.903E+02	5.255E+00
Co-60	一般狀況	3.007E+01	3.325E-01	3.007E+01	3.325E-01
	低機率	5.045E+02	1.982E+00	5.056E+02	1.978E+00
Ni-59	一般狀況	2.773E-03	3.606E+03	2.498E-03	4.003E+03
	低機率	8.362E-02	1.196E+04	7.638E-02	1.309E+04
Ni-63	一般狀況	6.534E-03	1.530E+03	6.801E-03	1.470E+03
	低機率	1.991E-01	5.023E+03	2.095E-01	4.773E+03
Ge-71	一般狀況	2.188E-07	4.570E+07	2.188E-07	4.570E+07
	低機率	1.193E-01	8.383E+03	2.591E-02	3.860E+04
Sr-90	一般狀況	7.130E+00	1.402E+00	9.805E+00	1.020E+00
	低機率	2.219E+02	4.506E+00	3.056E+02	3.272E+00
Tc-99	一般狀況	3.432E+00	2.914E+00	1.738E+00	5.754E+00
	低機率	1.030E+02	9.712E+00	5.214E+01	1.918E+01
In-114m	一般狀況	7.189E-01	1.391E+01	7.189E-01	1.391E+01
	低機率	1.605E+01	6.230E+01	1.629E+01	6.137E+01
Te-127m	一般狀況	9.578E-02	1.044E+02	9.578E-02	1.044E+02
	低機率	3.621E+01	2.761E+01	3.511E+01	2.848E+01
Te-129m	一般狀況	9.841E-02	1.016E+02	9.841E-02	1.016E+02

表 16. 採用 ICRP 60 號與 ICRP 26 號報告數據的計算結果(續)

核種		ICRP-60		ICRP-26	
		劑量	導出濃度	劑量	導出濃度
Te-129m	一般狀況	9.841E-02	1.016E+02	9.841E-02	1.016E+02
	低機率	4.656E+01	2.148E+01	4.486E+01	2.229E+01
I-129	一般狀況	1.936E+00	5.165E+00	1.313E+00	7.615E+00
	低機率	5.819E+01	1.719E+01	3.949E+01	2.532E+01
Cs-137	一般狀況	9.740E+01	1.027E-01	9.740E+01	1.027E-01
	低機率	9.480E+02	1.055E+00	9.480E+02	1.055E+00
Ce-141	一般狀況	1.404E-01	7.122E+01	1.404E-01	7.122E+01
	低機率	8.658E+00	1.155E+02	8.655E+00	1.155E+02
Ir-192	一般狀況	1.540E+01	6.493E-01	1.540E+01	6.493E-01
	低機率	1.499E+02	6.670E+00	1.499E+02	6.670E+00
Pu-239	一般狀況	1.260E+01	7.939E-01	4.576E+01	2.185E-01
	低機率	5.088E+02	1.965E+00	1.850E+03	5.407E-01
Pu-241	一般狀況	2.223E-01	4.498E+01	8.556E-01	1.169E+01
	低機率	9.238E+00	1.082E+02	3.556E+01	2.812E+01
Am-241	一般狀況	1.062E+01	9.416E-01	4.731E+01	2.114E-01
	低機率	4.292E+02	2.330E+00	1.914E+03	5.225E-01
Cf-252	一般狀況	4.386E+00	2.280E+00	1.430E+01	6.991E-01
	低機率	2.054E+02	4.868E+00	6.699E+02	1.493E+00

表 17. 最大情節改變的核種及其劑量、導出濃度

Sr-89	ICRP-26-QAD		
	最大劑量情節	劑量	導出濃度
	一般狀況 WF	1.303E-03	7.675E+03
	低機率 RL (成人)	1.955E+01	5.114E+01
	ICRP-60-QAD		
	最大劑量情節	劑量	導出濃度
Rh-103m	一般狀況 RH (六面牆)	1.178E-03	8.492E+03
	低機率 RL (成人)	2.032E+01	4.921E+01
	ICRP-26-QAD		
	最大劑量情節	劑量	導出濃度
	一般狀況 WF	4.638E-241	2.156E+241
	低機率 RL (成人)	2.034E-10	4.916E+12
Rh-103m	ICRP-60-QAD		
	最大劑量情節	劑量	導出濃度
	一般狀況 WO	4.790E-241	2.088E+241
	低機率 RL (成人)	2.462E-10	4.062E+12

採用 ICRP 60 號報告吸入、嚥入係數的計算結果，有六個核種的最大劑量情節核種導出濃度小於 IAEA RS-G-1.7 號安全導則建議值，其中，⁵⁸Co、¹⁴¹Ce 與 ¹⁹²Ir 三個核種的情形與使用 ICRP 26 號報告係數的情形相同；核種 ³H 的劑量，由於嚥入參數由 1.75E-5 (ICRP 26) 改變為 4.2E-5 (ICRP 60)，導致劑量升高 2.4 倍，雖然數值低於 IAEA RS-G-1.7 號安全導則建議值 100，但推導濃度仍介於 30~300 之間，所以可說推導濃度仍與 IAEA 建議值一致。

^{71}Ge 的吸入係數雖由 $3.31\text{E}-5$ (ICRP 26) 降為 $1.10\text{E}-5$ (ICRP 60)，但吸入係數由 $2.60\text{E}-6$ (ICRP 26) 升為 $1.20\text{E}-5$ (ICRP 60)，導致劑量增加，使得導出活度濃度低於 IAEA 建議值，因數值介於 3000~30000 之間，所以仍與 IAEA 建議值一致；第六個核種為表 16 中的核種 ^{89}Sr ，由於 ICRP 60 號報告提供的吸入係數較低，低機率 RL(成人)情節的劑量降低，但推導活度仍然低於 IAEA 建議值，也因為此關係造成一般狀況的最高劑量情節變更為 RH (六面牆)。另外，核種 ^{252}Cf 由於 ICRP 60 號報告提供的吸入與吸入係數皆降低，分別由 $4.24\text{E}+1$ 降為 $1.30\text{E}+1$ (吸入)、 $2.93\text{E}-1$ 降為 $9.0\text{E}-2$ (吸入)，所以整體劑量降低，使得導出活度濃度高於 IAEA 建議值 1。

此外，在地下水情節中計算吸入劑量時，除了使用 IAEA 提供的食物消耗量外，我們也採用國內飲食量計算之。如表 8 所示，因為 IAEA 提供的飲食量數據與國內飲食量差距在兩倍之內，所以劑量也相差兩倍之內，惟推導濃度計算結果(如附錄)仍遠大於 IAEA 推導濃度建議值。所以在地下水情節中，飲食量微小差異對推導活度濃度限值的影響不大。

5. 結論

本報告係依據 IAEA RS-G-1.7 安全導則的評估模式，並以核電廠重要核種為例，進行核種活度濃度推導計算，以驗證其適切性。在安全導則中認為大量放射性物質之豁免值及解除管制限值，在一般狀況的情節下，其輻射安全基準為個人年有效劑量為 0.01 毫西弗及集體劑量為 1 人西弗；而在低發生率(機率小於 1 %)的情節下，其個人年有效劑量不得超過 1 毫西弗，皮膚劑量標準為每年 50 毫西弗。

本報告利用 QAD-CG⁽⁶⁾程式計算體外曝露之劑量係數，吸入及嚥入途徑之劑量轉換係數則參考 Federal Guidance Report 11⁽⁷⁾，然後再配合安全導則所描述的曝露途徑、情節與各參數值，以計算每一情節之輻射劑量及導出濃度。

在 WL 及 RP 情節中考量廢棄物上覆土 50 cm，而 RH 情節為考量國內住宅現況以四面牆的結構計算，並計算最保守的情形-六面牆(天花板、地板及四牆)，結論如下：

(1) 大部分核種於最大劑量情節的核種導出濃度大於 IAEA RS-G-1.7 號安全導則建議值，有五個核種例外。

① ⁵⁸Co、¹⁴¹Ce 與 ¹⁹²Ir：由於本報告在 RH 情節中採用最保守的牆數設定，故評估的推導活度濃度值較 IAEA 建議值為低。若採用近似值法則，這三個核種的推導濃度與 IAEA 建議的狀況一致。本報告也根據實際建屋幾何情況加以模擬計算，其推導活度濃度都大於 IAEA 建議值。

② ⁸⁹Sr：本報告推得的推導活度濃度僅為 IAEA RS-G-1.7 號安全導則建議值的 5 %，但接近歐盟 RP-122 報告⁽⁸⁾的建議值。

③ ^{252}Cf ：本報告使用的濃縮因子採最保守的數值 70，所以造成推導活度濃度大於安全導則的建議值。

(2) Federal Guidance Report 11⁽⁷⁾的吸入與嚥入途徑之劑量係數是參考 ICRP 26 號報告提供的數據。為因應我國未來游離輻射防護安全標準將採用 ICRP 60 號報告數據的趨勢，本報告亦採用 ICRP 60 號數據計算各情節劑量，有六個核種的最大劑量情節核種導出濃度小於 IAEA RS-G-1.7 號安全導則建議值。

① ^{58}Co 、 ^{141}Ce 與 ^{192}Ir ：與使用 ICRP 26 號報告係數的情形相同。

② ^3H 、 ^{71}Ge ：數值低於 IAEA RS-G-1.7 號安全導則建議值。若採用近似值法則，則推導濃度與 IAEA 建議的狀況一致。

③ ^{89}Sr ：由於 ICRP 60 號報告提供的吸入係數較低，低機率 RL(成人)情節的劑量降低，但推導活度仍然低於 IAEA 建議值。也因為此關係造成一般狀況的最高劑量情節變更為 RH (六面牆)。

未來配合物管局「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」的規定，國內核能作業單位現有符合解除管制之廢棄物即可申請外釋，為使劑量評估結果符合國內廢棄物處置現況，進行本土曝露情節的篩選及環境參數調查，進而發展本土之劑量評估程式實為刻不容緩的。

6. 參考文獻

1. International Atomic Energy Agency, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance Safety Guide, Safety Standards Series No. RS-G-1.7, IAEA, Vienna (2004).
2. International Atomic Energy Agency, Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, Draft Safety Report, IAEA, Vienna (2004).
3. International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No.115, IAEA, Vienna (1996).
4. YU, C., ZIELEN, A.J., CHENG, J.-J., et. al., User's Manual for RESRAD Version 6, Argonne National Laboratory, Argonne (2001).
5. The MicroShield Team, Microshield User's Manual, Version 5, Grove Engineering Inc., Rockville, Maryland (1996).
6. QAD-CGGP-A, Point Kernel Code System for Neutron and Gamma-Ray Shielding Calculations Using the GP Buildup Factor, RSCI CCC-645, 1994.
7. Environmental Protection Agency, Limiting Values of Radionuclide Intake and Air Concentration and Dose Conversion Factors for Inhalation, Submersion, And Ingestion, EPA Federal Guidance Report No.11(1989).
8. EUROPEAN COMMISSION, Practical use of the Concepts of Clearance and Exemption, Parts I and II, Radiation Protection 122. EC, Brussels(2001).
9. 行政院農業委員會統計室, 92年農業統計年報, 2003.

附錄 1

ICRP 26 號數據結果

表 A. ³H 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.530E-05	2.833E+05
WF	3.982E-05	2.511E+05
WO	0.000E+00	
RL(成人)	6.717E-02	1.489E+02
RL(小孩)	6.229E-02	1.605E+02
RF	5.158E-08	1.939E+08
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	8.289E-05	1.206E+05
地下水(成人)	9.685E-09	1.032E+09
地下水(小孩)	3.667E-09	2.727E+09
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL ⁽¹⁾	1.879E-03	5.321E+05
WF	1.991E-03	5.022E+05
WO	0.000E+00	#DIV/0!
RL(成人)	2.192E+00	4.562E+02
RL(小孩)	2.033E+00	4.920E+02
RF	1.167E-05	8.571E+07
RH(六面牆)	0.000E+00	#DIV/0!
RH(四面牆)	0.000E+00	#DIV/0!
RP	1.664E-03	6.010E+05
地下水(成人)	1.505E-05	6.643E+07
地下水(小孩)	6.191E-06	1.615E+08

表 B. ⁵¹Cr 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.078E-04	9.278E+04
WF	7.013E-03	1.426E+03
WO	1.401E-02	7.135E+02
RL(成人)	2.250E-08	4.443E+08
RL(小孩)	5.024E-09	1.990E+09
RF	1.437E-08	6.957E+08
RH(六面牆)	4.770E-02	2.097E+02
RH(四面牆)	3.837E-02	2.606E+02
RP	3.378E-06	2.960E+06
地下水(成人)	0.000E+00	#DIV/0!
地下水(小孩)	0.000E+00	#DIV/0!
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.243E-02	8.045E+04
WF	5.295E+00	1.889E+02
WO	5.289E+00	1.891E+02
RL(成人)	4.413E-04	2.266E+06
RL(小孩)	2.783E-04	3.593E+06
RF	5.940E-05	1.683E+07
RH(六面牆)	4.642E-01	2.154E+03
RH(四面牆)	3.735E-01	2.678E+03
RP	5.594E-05	1.788E+07
地下水(成人)	1.544E-12	6.476E+14
地下水(小孩)	5.391E-13	1.855E+15

表 C. ⁵⁴Mn 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.229E-01	3.097E+01
WF	2.660E+00	3.760E+00
WO	5.317E+00	1.881E+00
RL(成人)	6.020E-02	1.661E+02
RL(小孩)	5.582E-02	1.791E+02
RF	3.574E-06	2.798E+06
RH(六面牆)	7.951E+01	1.258E-01
RH(四面牆)	6.423E+01	1.557E-01
RP	2.654E-02	3.767E+02
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.093E+00	4.777E+02
WF	1.656E+02	6.040E+00
WO	1.655E+02	6.043E+00
RL(成人)	5.915E+00	1.691E+02
RL(小孩)	5.482E+00	1.824E+02
RF	1.218E-03	8.209E+05
RH(六面牆)	7.739E+02	1.292E+00
RH(四面牆)	6.251E+02	1.600E+00
RP	3.476E-01	2.877E+03
地下水(成人)	1.296E-05	7.717E+07
地下水(小孩)	4.582E-06	2.182E+08

表 D. ⁵⁵Fe 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.515E-04	2.845E+04
WF	5.210E-04	1.919E+04
WO	1.211E-29	8.259E+29
RL(成人)	1.019E-04	9.814E+04
RL(小孩)	9.235E-05	1.083E+05
RF	1.934E-06	5.171E+06
RH(六面牆)	6.413E-11	1.559E+11
RH(四面牆)	5.900E-11	1.695E+11
RP	6.776E-04	1.476E+04
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.266E-02	4.414E+04
WF	2.736E-02	3.655E+04
WO	2.798E-28	3.574E+30
RL(成人)	5.852E-03	1.709E+05
RL(小孩)	4.347E-03	2.300E+05
RF	4.894E-04	2.043E+06
RH(六面牆)	6.242E-10	1.602E+12
RH(四面牆)	5.743E-10	1.741E+12
RP	1.377E-02	7.260E+04
地下水(成人)	1.975E-06	5.062E+08
地下水(小孩)	6.896E-07	1.450E+09

表 E. ⁵⁹Fe 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.487E-01	6.727E+01
WF	6.546E-01	1.528E+01
WO	1.308E+00	7.645E+00
RL(成人)	3.058E-06	3.270E+06
RL(小孩)	1.344E-06	7.443E+06
RF	1.354E-06	7.388E+06
RH(六面牆)	7.287E+00	1.372E+00
RH(四面牆)	5.894E+00	1.697E+00
RP	4.763E-03	2.099E+03
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	5.525E+00	1.810E+02
WF	2.347E+02	4.261E+00
WO	2.344E+02	4.265E+00
RL(成人)	5.533E-02	1.807E+04
RL(小孩)	4.545E-02	2.200E+04
RF	2.656E-03	3.765E+05
RH(六面牆)	7.092E+01	1.410E+01
RH(四面牆)	5.737E+01	1.743E+01
RP	6.210E-02	1.610E+04
地下水(成人)	1.895E-08	5.278E+10
地下水(小孩)	6.615E-09	1.512E+11

表 F. ^{58}Co 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.045E-01	9.568E+01
WF	9.743E-01	1.026E+01
WO	1.947E+00	5.135E+00
RL(成人)	5.236E-04	1.910E+04
RL(小孩)	4.835E-04	2.068E+04
RF	1.837E-06	5.444E+06
RH(六面牆)	1.736E+01	5.761E-01
RH(四面牆)	1.402E+01	7.134E-01
RP	5.158E-03	1.939E+03
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.153E+00	4.644E+02
WF	1.903E+02	5.255E+00
WO	1.901E+02	5.259E+00
RL(成人)	2.031E+00	4.925E+02
RL(小孩)	1.879E+00	5.323E+02
RF	1.964E-03	5.092E+05
RH(六面牆)	1.690E+02	5.918E+00
RH(四面牆)	1.364E+02	7.330E+00
RP	6.831E-02	1.464E+04
地下水(成人)	3.475E-07	2.878E+09
地下水(小孩)	1.217E-07	8.214E+09

表 G. ^{60}Co 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.984E+00	3.351E+00
WF	1.172E+01	8.535E-01
WO	2.337E+01	4.280E-01
RL(成人)	4.213E-01	2.373E+01
RL(小孩)	3.905E-01	2.561E+01
RF	1.687E-04	5.926E+04
RH(六面牆)	3.007E+01	3.325E-01
RH(四面牆)	2.454E+01	4.075E-01
RP	2.901E-01	3.447E+01
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.403E+01	7.129E+01
WF	5.056E+02	1.978E+00
WO	5.039E+02	1.984E+00
RL(成人)	1.549E+01	6.454E+01
RL(小孩)	1.428E+01	7.003E+01
RF	3.985E-02	2.509E+04
RH(六面牆)	2.927E+02	3.416E+00
RH(四面牆)	2.388E+02	4.187E+00
RP	3.894E+00	2.568E+02
地下水(成人)	2.810E-04	3.559E+06
地下水(小孩)	9.844E-05	1.016E+07

表 H. ⁵⁹Ni 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.923E-04	5.199E+04
WF	3.897E-04	2.566E+04
WO	5.785E-28	1.729E+28
RL(成人)	2.498E-03	4.003E+03
RL(小孩)	2.314E-03	4.321E+03
RF	2.251E-06	4.442E+06
RH(六面牆)	4.414E-07	2.265E+07
RH(四面牆)	3.785E-07	2.642E+07
RP	2.861E-04	3.496E+04
地下水(成人)	8.977E-10	1.114E+10
地下水(小孩)	2.972E-10	3.365E+10
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.199E-02	8.343E+04
WF	1.672E-02	5.980E+04
WO	1.157E-26	8.643E+28
RL(成人)	7.638E-02	1.309E+04
RL(小孩)	6.974E-02	1.434E+04
RF	4.931E-04	2.028E+06
RH(六面牆)	4.297E-06	2.327E+08
RH(四面牆)	3.684E-06	2.715E+08
RP	5.992E-03	1.669E+05
地下水(成人)	5.328E-07	1.877E+09
地下水(小孩)	1.864E-07	5.365E+09

表 I. ^{63}Ni 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	4.936E-04	2.026E+04
WF	9.508E-04	1.052E+04
WO	0.000E+00	
RL(成人)	6.801E-03	1.470E+03
RL(小孩)	6.301E-03	1.587E+03
RF	5.215E-06	1.918E+06
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	7.818E-04	1.279E+04
地下水(成人)	3.960E-43	2.525E+43
地下水(小孩)	1.311E-43	7.628E+43
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.029E-02	3.302E+04
WF	4.130E-02	2.421E+04
WO	0.000E+00	
RL(成人)	2.095E-01	4.773E+03
RL(小孩)	1.917E-01	5.216E+03
RF	1.147E-03	8.721E+05
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	1.626E-02	6.150E+04
地下水(成人)	1.451E-06	6.893E+08
地下水(小孩)	5.075E-07	1.970E+09

表 J. ^{71}Ge 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	6.428E-08	1.556E+08
WF	1.297E-07	7.708E+07
WO	2.842E-15	3.518E+15
RL(成人)	1.164E-09	8.592E+09
RL(小孩)	2.561E-10	3.905E+10
RF	7.468E-10	1.339E+10
RH(六面牆)	2.188E-07	4.570E+07
RH(四面牆)	1.734E-07	5.767E+07
RP	1.377E-09	7.260E+09
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	5.139E-04	1.946E+06
WF	7.157E-04	1.397E+06
WO	7.304E-12	1.369E+14
RL(成人)	2.591E-02	3.860E+04
RL(小孩)	2.398E-02	4.171E+04
RF	2.101E-05	4.759E+07
RH(六面牆)	2.130E-06	4.695E+08
RH(四面牆)	1.688E-06	5.925E+08
RP	2.883E-08	3.468E+10
地下水(成人)	5.901E-18	1.695E+20
地下水(小孩)	2.095E-18	4.772E+20

表 K. ^{89}Sr 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	8.290E-04	1.206E+04
WF	1.303E-03	7.675E+03
WO	1.783E-04	5.609E+04
RL(成人)	8.832E-04	1.132E+04
RL(小孩)	8.140E-04	1.228E+04
RF	4.535E-06	2.205E+06
RH(六面牆)	1.178E-03	8.492E+03
RH(四面牆)	9.515E-04	1.051E+04
RP	6.315E-04	1.584E+04
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.424E-01	2.920E+03
WF	4.404E-01	2.271E+03
WO	2.676E-02	3.737E+04
RL(成人)	1.955E+01	5.114E+01
RL(小孩)	1.811E+01	5.520E+01
RF	7.452E-03	1.342E+05
RH(六面牆)	1.146E-02	8.725E+04
RH(四面牆)	9.262E-03	1.080E+05
RP	1.283E-02	7.792E+04
地下水(成人)	6.261E-07	1.597E+09
地下水(小孩)	2.214E-07	4.517E+09

表 L. ⁹⁰Sr 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.133E-01	8.825E+01
WF	2.068E-01	4.836E+01
WO	0.000E+00	
RL(成人)	9.805E+00	1.020E+00
RL(小孩)	9.091E+00	1.100E+00
RF	1.066E-03	9.380E+03
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	1.902E-01	5.259E+01
地下水(成人)	6.278E-09	1.593E+09
地下水(小孩)	2.096E-09	4.771E+09
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	6.882E+00	1.453E+02
WF	9.157E+00	1.092E+02
WO	0.000E+00	
RL(成人)	3.056E+02	3.272E+00
RL(小孩)	2.829E+02	3.535E+00
RF	2.367E-01	4.224E+03
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	3.931E+00	2.544E+02
地下水(成人)	7.006E-03	1.427E+05
地下水(小孩)	2.477E-03	4.037E+05

表 M. ⁹⁹Tc 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.033E-03	9.681E+03
WF	1.642E-03	6.092E+03
WO	2.031E-06	4.923E+06
RL(成人)	1.738E+00	5.754E+00
RL(小孩)	1.612E+00	6.205E+00
RF	6.930E-06	1.443E+06
RH(六面牆)	4.400E-05	2.273E+05
RH(四面牆)	3.510E-05	2.849E+05
RP	1.983E-03	5.043E+03
地下水(成人)	2.233E-06	4.479E+06
地下水(小孩)	8.493E-07	1.178E+07
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	5.894E-02	1.697E+04
WF	7.356E-02	1.359E+04
WO	4.062E-05	2.462E+07
RL(成人)	5.214E+01	1.918E+01
RL(小孩)	4.835E+01	2.068E+01
RF	1.518E-03	6.589E+05
RH(六面牆)	4.282E-04	2.335E+06
RH(四面牆)	3.416E-04	2.927E+06
RP	4.049E-02	2.470E+04
地下水(成人)	3.763E-04	2.658E+06
地下水(小孩)	1.556E-04	6.428E+06

表 N. ^{103m}Rh 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.859E-241	5.380E+241
WF	4.286E-241	2.333E+241
WO	4.638E-241	2.156E+241
RL(成人)	1.915E-244	5.222E+244
RL(小孩)	4.213E-245	2.374E+245
RF	1.229E-244	8.138E+244
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	0.000E+00	
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	6.150E-12	1.626E+14
WF	1.237E-11	8.081E+13
WO	6.055E-12	1.651E+14
RL(成人)	2.034E-10	4.916E+12
RL(小孩)	1.886E-10	5.303E+12
RF	1.757E-14	5.693E+16
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	0.000E+00	
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	

表 O. ^{114m}In 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	4.148E-03	2.411E+03
WF	5.250E-02	1.905E+02
WO	1.003E-01	9.967E+01
RL(成人)	2.901E-05	3.447E+05
RL(小孩)	1.649E-05	6.065E+05
RF	9.447E-06	1.059E+06
RH(六面牆)	7.189E-01	1.391E+01
RH(四面牆)	5.790E-01	1.727E+01
RP	1.198E-03	8.350E+03
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	7.405E-01	1.350E+03
WF	1.629E+01	6.137E+01
WO	1.548E+01	6.459E+01
RL(成人)	4.098E-01	2.440E+03
RL(小孩)	3.448E-01	2.900E+03
RF	1.596E-02	6.264E+04
RH(六面牆)	6.998E+00	1.429E+02
RH(四面牆)	5.636E+00	1.774E+02
RP	2.372E-02	4.216E+04
地下水(成人)	7.136E-08	1.401E+10
地下水(小孩)	2.491E-08	4.014E+10

表 P. ^{127m}Te 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.642E-03	6.091E+03
WF	4.200E-03	2.381E+03
WO	4.126E-03	2.423E+03
RL(成人)	4.492E-02	2.226E+02
RL(小孩)	4.165E-02	2.401E+02
RF	5.745E-06	1.741E+06
RH(六面牆)	9.578E-02	1.044E+02
RH(四面牆)	7.659E-02	1.306E+02
RP	2.298E-03	4.351E+03
地下水(成人)	4.093E-133	2.443E+133
地下水(小孩)	1.380E-133	7.246E+133
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.716E-01	3.682E+03
WF	5.643E-01	1.772E+03
WO	2.554E-01	3.915E+03
RL(成人)	3.511E+01	2.848E+01
RL(小孩)	3.255E+01	3.072E+01
RF	3.894E-03	2.568E+05
RH(六面牆)	9.323E-01	1.073E+03
RH(四面牆)	7.455E-01	1.341E+03
RP	4.641E-02	2.155E+04
地下水(成人)	2.212E-05	4.521E+07
地下水(小孩)	7.921E-06	1.263E+08

表 Q. ^{129m}Te 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.409E-03	7.098E+03
WF	1.190E-02	8.406E+02
WO	2.262E-02	4.422E+02
RL(成人)	1.110E-04	9.012E+04
RL(小孩)	1.013E-04	9.869E+04
RF	1.425E-06	7.020E+06
RH(六面牆)	9.841E-02	1.016E+02
RH(四面牆)	7.939E-02	1.260E+02
RP	2.640E-04	3.788E+04
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.897E-01	2.566E+03
WF	6.577E+00	1.520E+02
WO	6.199E+00	1.613E+02
RL(成人)	4.486E+01	2.229E+01
RL(小孩)	4.158E+01	2.405E+01
RF	4.275E-03	2.339E+05
RH(六面牆)	9.578E-01	1.044E+03
RH(四面牆)	7.727E-01	1.294E+03
RP	5.171E-03	1.934E+05
地下水(成人)	5.356E-08	1.867E+10
地下水(小孩)	1.918E-08	5.214E+10

表 R. ^{129}I 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.543E-01	6.482E+01
WF	1.850E-01	5.407E+01
WO	3.607E-02	2.773E+02
RL(成人)	1.313E+00	7.615E+00
RL(小孩)	1.218E+00	8.213E+00
RF	1.445E-04	6.923E+04
RH(六面牆)	9.799E-01	1.020E+01
RH(四面牆)	7.830E-01	1.277E+01
RP	3.732E-01	2.680E+01
地下水(成人)	6.924E-03	1.444E+03
地下水(小孩)	2.290E-03	4.367E+03
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	7.865E+00	1.271E+02
WF	8.890E+00	1.125E+02
WO	7.213E-01	1.386E+03
RL(成人)	3.949E+01	2.532E+01
RL(小孩)	3.655E+01	2.736E+01
RF	3.163E-02	3.161E+04
RH(六面牆)	9.538E+00	1.048E+02
RH(四面牆)	7.621E+00	1.312E+02
RP	7.481E+00	1.337E+02
地下水(成人)	1.112E+00	8.990E+02
地下水(小孩)	3.887E-01	2.573E+03

表 S. ^{137}Cs 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.357E-01	4.243E+01
WF	2.741E+00	3.649E+00
WO	5.422E+00	1.844E+00
RL(成人)	4.591E-01	2.178E+01
RL(小孩)	4.257E-01	2.349E+01
RF	2.623E-05	3.813E+05
RH(六面牆)	9.740E+01	1.027E-01
RH(四面牆)	7.860E+01	1.272E-01
RP	8.475E-02	1.180E+02
地下水(成人)	5.320E-120	1.880E+120
地下水(小孩)	1.760E-120	5.680E+120
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.268E+00	4.409E+02
WF	1.114E+02	8.979E+00
WO	1.099E+02	9.100E+00
RL(成人)	1.427E+01	7.006E+01
RL(小孩)	1.322E+01	7.563E+01
RF	5.821E-03	1.718E+05
RH(六面牆)	9.480E+02	1.055E+00
RH(四面牆)	7.651E+02	1.307E+00
RP	1.560E+00	6.410E+02
地下水(成人)	1.361E-04	7.347E+06
地下水(小孩)	4.760E-05	2.101E+07

表 T. ^{141}Ce 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.359E-04	7.359E+04
WF	1.494E-02	6.692E+02
WO	2.955E-02	3.384E+02
RL(成人)	8.603E-07	1.162E+07
RL(小孩)	2.414E-07	4.143E+07
RF	5.048E-07	1.981E+07
RH(六面牆)	1.404E-01	7.122E+01
RH(四面牆)	1.125E-01	8.892E+01
RP	5.995E-05	1.668E+05
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	9.782E-02	1.022E+04
WF	8.655E+00	1.155E+02
WO	8.543E+00	1.171E+02
RL(成人)	4.545E-02	2.200E+04
RL(小孩)	3.862E-02	2.589E+04
RF	1.598E-03	6.258E+05
RH(六面牆)	1.367E+00	7.317E+02
RH(四面牆)	1.095E+00	9.135E+02
RP	1.211E-03	8.259E+05
地下水(成人)	2.355E-10	4.246E+12
地下水(小孩)	8.223E-11	1.216E+13

表 U. ^{192}Ir 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.230E-02	4.485E+02
WF	7.747E-01	1.291E+01
WO	1.547E+00	6.465E+00
RL(成人)	3.832E-04	2.610E+04
RL(小孩)	3.498E-04	2.859E+04
RF	4.993E-06	2.003E+06
RH(六面牆)	1.540E+01	6.493E-01
RH(四面牆)	1.240E+01	8.064E-01
RP	1.847E-03	5.413E+03
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	6.179E-01	1.619E+03
WF	1.441E+02	6.938E+00
WO	1.439E+02	6.951E+00
RL(成人)	1.232E+00	8.117E+02
RL(小孩)	1.131E+00	8.840E+02
RF	5.085E-03	1.967E+05
RH(六面牆)	1.499E+02	6.670E+00
RH(四面牆)	1.207E+02	8.285E+00
RP	2.984E-02	3.351E+04
地下水(成人)	6.807E-07	1.469E+09
地下水(小孩)	2.379E-07	4.203E+09

表 V. ^{239}Pu 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.444E+01	6.925E-01
WF	4.576E+01	2.185E-01
WO	2.679E-04	3.733E+04
RL(成人)	1.398E+00	7.153E+00
RL(小孩)	9.026E-01	1.108E+01
RF	3.573E-01	2.799E+01
RH(六面牆)	1.683E-02	5.942E+02
RH(四面牆)	1.336E-02	7.483E+02
RP	5.188E+00	1.927E+00
地下水(成人)	4.386E-06	2.280E+06
地下水(小孩)	1.450E-06	6.899E+06
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.098E+03	9.109E-01
WF	1.850E+03	5.407E-01
WO	5.358E-03	1.866E+05
RL(成人)	2.691E+02	3.716E+00
RL(小孩)	7.706E+01	1.298E+01
RF	7.824E+01	1.278E+01
RH(六面牆)	1.638E-01	6.105E+03
RH(四面牆)	1.301E-01	7.688E+03
RP	1.466E+02	6.820E+00
地下水(成人)	4.891E-03	2.044E+05
地下水(小孩)	1.708E-03	5.856E+05

表 W. ^{241}Pu 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.702E-01	3.701E+01
WF	8.556E-01	1.169E+01
WO	2.174E-11	4.601E+11
RL(成人)	2.555E-02	3.914E+02
RL(小孩)	1.633E-02	6.123E+02
RF	6.679E-03	1.497E+03
RH(六面牆)	4.621E-10	2.164E+10
RH(四面牆)	3.699E-10	2.704E+10
RP	9.668E-02	1.034E+02
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.111E+01	4.736E+01
WF	3.556E+01	2.812E+01
WO	4.470E-10	2.237E+12
RL(成人)	5.176E+00	1.932E+02
RL(小孩)	1.484E+00	6.738E+02
RF	1.504E+00	6.649E+02
RH(六面牆)	4.498E-09	2.223E+11
RH(四面牆)	3.600E-09	2.778E+11
RP	2.728E+00	3.666E+02
地下水(成人)	8.805E-05	1.136E+07
地下水(小孩)	3.074E-05	3.253E+07

表 X. ²⁴¹Am 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.491E+01	6.705E-01
WF	4.731E+01	2.114E-01
WO	4.935E-02	2.027E+02
RL(成人)	1.439E+00	6.948E+00
RL(小孩)	9.276E-01	1.078E+01
RF	3.693E-01	2.708E+01
RH(六面牆)	1.151E+00	8.688E+00
RH(四面牆)	9.191E-01	1.088E+01
RP	5.336E+00	1.874E+00
地下水(成人)	5.959E-04	1.678E+04
地下水(小孩)	1.969E-04	5.077E+04
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.135E+03	8.809E-01
WF	1.914E+03	5.225E-01
WO	9.878E-01	1.012E+03
RL(成人)	2.783E+02	3.594E+00
RL(小孩)	7.959E+01	1.256E+01
RF	8.094E+01	1.235E+01
RH(六面牆)	1.120E+01	8.926E+01
RH(四面牆)	8.946E+00	1.118E+02
RP	1.510E+02	6.622E+00
地下水(成人)	1.375E-01	7.271E+03
地下水(小孩)	4.801E-02	2.083E+04

表 Y. ^{252}Cf 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	4.447E+00	2.249E+00
WF	1.430E+01	6.991E-01
WO	1.765E-05	5.664E+05
RL(成人)	3.498E-01	2.859E+01
RL(小孩)	2.004E-01	4.990E+01
RF	1.124E-01	8.894E+01
RH(六面牆)	2.119E-02	4.719E+02
RH(四面牆)	1.684E-02	5.937E+02
RP	1.322E+00	7.566E+00
地下水(成人)	6.741E-145	1.483E+145
地下水(小孩)	2.228E-145	4.489E+145
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.954E+02	2.529E+00
WF	6.699E+02	1.493E+00
WO	4.098E-04	2.440E+06
RL(成人)	9.681E+01	1.033E+01
RL(小孩)	2.676E+01	3.736E+01
RF	2.858E+01	3.499E+01
RH(六面牆)	2.063E-01	4.848E+03
RH(四面牆)	1.639E-01	6.100E+03
RP	3.926E+01	2.547E+01
地下水(成人)	5.117E-03	1.954E+05
地下水(小孩)	1.786E-03	5.598E+05

附錄 2

ICRP 60 號數據結果

表 A1. ^3H 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	8.570E-05	1.167E+05
WF	9.667E-05	1.034E+05
WO	0.000E+00	
RL(成人)	1.631E-01	6.132E+01
RL(小孩)	1.512E-01	6.613E+01
RF	1.252E-07	7.987E+07
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	2.012E-04	4.970E+04
地下水(成人)	2.351E-08	4.253E+08
地下水(小孩)	8.903E-09	1.123E+09
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	4.562E-03	2.192E+05
WF	4.834E-03	2.069E+05
WO	0.000E+00	
RL(成人)	5.322E+00	1.879E+02
RL(小孩)	4.934E+00	2.027E+02
RF	2.833E-05	3.530E+07
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	4.039E-03	2.476E+05
地下水(成人)	3.654E-05	2.736E+07
地下水(小孩)	1.503E-05	6.654E+07

表 B1. ⁵¹Cr 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.073E-04	9.320E+04
WF	7.012E-03	1.426E+03
WO	1.401E-02	7.135E+02
RL(成人)	9.030E-09	1.107E+09
RL(小孩)	2.056E-09	4.863E+09
RF	5.731E-09	1.745E+09
RH(六面牆)	4.770E-02	2.097E+02
RH(四面牆)	3.837E-02	2.606E+02
RP	3.296E-06	3.034E+06
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.180E-02	8.477E+04
WF	5.294E+00	1.889E+02
WO	5.289E+00	1.891E+02
RL(成人)	3.184E-04	3.141E+06
RL(小孩)	2.431E-04	4.114E+06
RF	2.368E-05	4.222E+07
RH(六面牆)	4.642E-01	2.154E+03
RH(四面牆)	3.735E-01	2.678E+03
RP	5.411E-05	1.848E+07
地下水(成人)	1.474E-12	6.782E+14
地下水(小孩)	5.147E-13	1.943E+15

表 C1. ⁵⁴Mn 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.228E-01	3.098E+01
WF	2.659E+00	3.760E+00
WO	5.317E+00	1.881E+00
RL(成人)	5.714E-02	1.750E+02
RL(小孩)	5.298E-02	1.887E+02
RF	2.370E-06	4.220E+06
RH(六面牆)	7.951E+01	1.258E-01
RH(四面牆)	6.423E+01	1.557E-01
RP	2.644E-02	3.782E+02
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.084E+00	4.798E+02
WF	1.656E+02	6.040E+00
WO	1.655E+02	6.043E+00
RL(成人)	5.613E+00	1.781E+02
RL(小孩)	5.203E+00	1.922E+02
RF	8.076E-04	1.238E+06
RH(六面牆)	7.739E+02	1.292E+00
RH(四面牆)	6.251E+02	1.600E+00
RP	3.454E-01	2.896E+03
地下水(成人)	1.230E-05	8.130E+07
地下水(小孩)	4.350E-06	2.299E+08

表 D1. ⁵⁵Fe 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	6.568E-04	1.523E+04
WF	8.716E-04	1.147E+04
WO	1.211E-29	8.259E+29
RL(成人)	2.028E-04	4.932E+04
RL(小孩)	1.853E-04	5.396E+04
RF	2.451E-06	4.080E+06
RH(六面牆)	6.413E-11	1.559E+11
RH(四面牆)	5.900E-11	1.695E+11
RP	1.362E-03	7.342E+03
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	4.092E-02	2.444E+04
WF	4.688E-02	2.133E+04
WO	2.798E-28	3.574E+30
RL(成人)	1.064E-02	9.400E+04
RL(小孩)	8.498E-03	1.177E+05
RF	6.201E-04	1.613E+06
RH(六面牆)	6.242E-10	1.602E+12
RH(四面牆)	5.743E-10	1.741E+12
RP	2.752E-02	3.634E+04
地下水(成人)	3.975E-06	2.516E+08
地下水(小孩)	1.388E-06	7.206E+08

表 E1. ⁵⁹Fe 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.487E-01	6.727E+01
WF	6.546E-01	1.528E+01
WO	1.308E+00	7.645E+00
RL(成人)	2.631E-06	3.801E+06
RL(小孩)	1.246E-06	8.027E+06
RF	1.083E-06	9.235E+06
RH(六面牆)	7.287E+00	1.372E+00
RH(四面牆)	5.894E+00	1.697E+00
RP	4.761E-03	2.100E+03
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	5.517E+00	1.812E+02
WF	2.347E+02	4.261E+00
WO	2.344E+02	4.265E+00
RL(成人)	5.341E-02	1.872E+04
RL(小孩)	4.484E-02	2.230E+04
RF	2.125E-03	4.706E+05
RH(六面牆)	7.092E+01	1.410E+01
RH(四面牆)	5.737E+01	1.743E+01
RP	6.205E-02	1.611E+04
地下水(成人)	1.884E-08	5.307E+10
地下水(小孩)	6.578E-09	1.520E+11

表 F1. ⁵⁸Co 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.044E-01	9.579E+01
WF	9.741E-01	1.027E+01
WO	1.947E+00	5.135E+00
RL(成人)	3.998E-04	2.502E+04
RL(小孩)	3.695E-04	2.706E+04
RF	1.062E-06	9.416E+06
RH(六面牆)	1.736E+01	5.761E-01
RH(四面牆)	1.402E+01	7.134E-01
RP	5.041E-03	1.984E+03
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.120E+00	4.717E+02
WF	1.902E+02	5.257E+00
WO	1.901E+02	5.259E+00
RL(成人)	1.551E+00	6.447E+02
RL(小孩)	1.436E+00	6.964E+02
RF	1.136E-03	8.807E+05
RH(六面牆)	1.690E+02	5.918E+00
RH(四面牆)	1.364E+02	7.330E+00
RP	6.592E-02	1.517E+04
地下水(成人)	2.657E-07	3.764E+09
地下水(小孩)	9.306E-08	1.075E+10

表 G1. ^{60}Co 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.973E+00	3.364E+00
WF	1.169E+01	8.551E-01
WO	2.337E+01	4.280E-01
RL(成人)	1.967E-01	5.083E+01
RL(小孩)	1.824E-01	5.483E+01
RF	4.854E-05	2.060E+05
RH(六面牆)	3.007E+01	3.325E-01
RH(四面牆)	2.454E+01	4.075E-01
RP	2.724E-01	3.671E+01
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.328E+01	7.532E+01
WF	5.045E+02	1.982E+00
WO	5.039E+02	1.984E+00
RL(成人)	7.214E+00	1.386E+02
RL(小孩)	6.664E+00	1.501E+02
RF	1.146E-02	8.724E+04
RH(六面牆)	2.927E+02	3.416E+00
RH(四面牆)	2.388E+02	4.187E+00
RP	3.527E+00	2.836E+02
地下水(成人)	1.312E-04	7.620E+06
地下水(小孩)	4.597E-05	2.175E+07

表 H1. ⁵⁹Ni 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.498E-04	6.677E+04
WF	2.092E-04	4.781E+04
WO	5.785E-28	1.729E+28
RL(成人)	2.773E-03	3.606E+03
RL(小孩)	2.571E-03	3.890E+03
RF	6.776E-07	1.476E+07
RH(六面牆)	4.414E-07	2.265E+07
RH(四面牆)	3.785E-07	2.642E+07
RP	3.158E-04	3.167E+04
地下水(成人)	9.975E-10	1.003E+10
地下水(小孩)	3.302E-10	3.028E+10
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	8.201E-03	1.219E+05
WF	9.626E-03	1.039E+05
WO	1.157E-26	8.643E+28
RL(成人)	8.362E-02	1.196E+04
RL(小孩)	7.721E-02	1.295E+04
RF	1.484E-04	6.739E+06
RH(六面牆)	4.297E-06	2.327E+08
RH(四面牆)	3.684E-06	2.715E+08
RP	6.397E-03	1.563E+05
地下水(成人)	5.920E-07	1.689E+09
地下水(小孩)	2.071E-07	4.829E+09

表 II. ^{63}Ni 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.547E-04	2.819E+04
WF	4.946E-04	2.022E+04
WO	0.000E+00	
RL(成人)	6.534E-03	1.530E+03
RL(小孩)	6.057E-03	1.651E+03
RF	1.595E-06	6.269E+06
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	7.478E-04	1.337E+04
地下水(成人)	3.808E-43	2.626E+43
地下水(小孩)	1.261E-43	7.933E+43
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.949E-02	5.130E+04
WF	2.286E-02	4.374E+04
WO	0.000E+00	
RL(成人)	1.991E-01	5.023E+03
RL(小孩)	1.838E-01	5.440E+03
RF	3.507E-04	2.851E+06
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	1.515E-02	6.602E+04
地下水(成人)	1.395E-06	7.169E+08
地下水(小孩)	4.880E-07	2.049E+09

表 J1. ^{71}Ge 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.845E-07	5.420E+07
WF	2.063E-07	4.848E+07
WO	2.842E-15	3.518E+15
RL(成人)	3.868E-10	2.585E+10
RL(小孩)	8.513E-11	1.175E+11
RF	2.482E-10	4.029E+10
RH(六面牆)	2.188E-07	4.570E+07
RH(四面牆)	1.734E-07	5.767E+07
RP	6.305E-09	1.586E+09
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.219E-03	8.205E+05
WF	1.286E-03	7.777E+05
WO	7.304E-12	1.369E+14
RL(成人)	1.193E-01	8.383E+03
RL(小孩)	1.106E-01	9.042E+03
RF	6.983E-06	1.432E+08
RH(六面牆)	2.130E-06	4.695E+08
RH(四面牆)	1.688E-06	5.925E+08
RP	1.265E-07	7.904E+09
地下水(成人)	2.723E-17	3.672E+19
地下水(小孩)	9.671E-18	1.034E+20

表 K1. ⁸⁹Sr 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	7.757E-04	1.289E+04
WF	1.051E-03	9.515E+03
WO	1.783E-04	5.609E+04
RL(成人)	9.148E-04	1.093E+04
RL(小孩)	8.457E-04	1.182E+04
RF	2.267E-06	4.410E+06
RH(六面牆)	1.178E-03	8.492E+03
RH(四面牆)	9.515E-04	1.051E+04
RP	6.556E-04	1.525E+04
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.046E-01	3.283E+03
WF	3.667E-01	2.727E+03
WO	2.676E-02	3.737E+04
RL(成人)	2.032E+01	4.921E+01
RL(小孩)	1.884E+01	5.309E+01
RF	3.726E-03	2.684E+05
RH(六面牆)	1.146E-02	8.725E+04
RH(四面牆)	9.262E-03	1.080E+05
RP	1.321E-02	7.568E+04
地下水(成人)	6.512E-07	1.536E+09
地下水(小孩)	2.303E-07	4.343E+09

表 L1. ⁹⁰Sr 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	6.342E-02	1.577E+02
WF	8.392E-02	1.192E+02
WO	0.000E+00	
RL(成人)	7.130E+00	1.402E+00
RL(小孩)	6.611E+00	1.513E+00
RF	2.339E-04	4.276E+04
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	1.377E-01	7.263E+01
地下水(成人)	4.566E-09	2.190E+09
地下水(小孩)	1.524E-09	6.560E+09
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.465E+00	2.886E+02
WF	3.964E+00	2.523E+02
WO	0.000E+00	
RL(成人)	2.219E+02	4.506E+00
RL(小孩)	2.057E+02	4.863E+00
RF	5.193E-02	1.925E+04
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	2.782E+00	3.595E+02
地下水(成人)	5.095E-03	1.963E+05
地下水(小孩)	1.802E-03	5.550E+05

表 M1. ⁹⁹Tc 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.906E-03	5.248E+03
WF	2.771E-03	3.609E+03
WO	2.031E-06	4.923E+06
RL(成人)	3.432E+00	2.914E+00
RL(小孩)	3.182E+00	3.142E+00
RF	9.856E-06	1.015E+06
RH(六面牆)	4.400E-05	2.273E+05
RH(四面牆)	3.510E-05	2.849E+05
RP	3.911E-03	2.557E+03
地下水(成人)	4.409E-06	2.268E+06
地下水(小孩)	1.677E-06	5.963E+06
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.056E-01	9.465E+03
WF	1.264E-01	7.910E+03
WO	4.062E-05	2.462E+07
RL(成人)	1.030E+02	9.712E+00
RL(小孩)	9.547E+01	1.047E+01
RF	2.158E-03	4.633E+05
RH(六面牆)	4.282E-04	2.335E+06
RH(四面牆)	3.416E-04	2.927E+06
RP	7.941E-02	1.259E+04
地下水(成人)	7.430E-04	1.346E+06
地下水(小孩)	3.072E-04	3.255E+06

表 N1. ^{103m}Rh 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.275E-241	4.395E+241
WF	4.790E-241	2.088E+241
WO	4.638E-241	2.156E+241
RL(成人)	3.469E-244	2.882E+244
RL(小孩)	7.632E-245	1.310E+245
RF	2.226E-244	4.492E+244
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	0.000E+00	
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	7.578E-12	1.320E+14
WF	1.394E-11	7.174E+13
WO	6.055E-12	1.651E+14
RL(成人)	2.462E-10	4.062E+12
RL(小孩)	2.282E-10	4.382E+12
RF	3.182E-14	3.143E+16
RH(六面牆)	0.000E+00	
RH(四面牆)	0.000E+00	
RP	0.000E+00	
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	

表 O1. ^{114m}In 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.838E-03	2.605E+03
WF	5.174E-02	1.933E+02
WO	1.003E-01	9.967E+01
RL(成人)	1.946E-05	5.140E+05
RL(小孩)	1.327E-05	7.537E+05
RF	4.330E-06	2.309E+06
RH(六面牆)	7.189E-01	1.391E+01
RH(四面牆)	5.790E-01	1.727E+01
RP	1.073E-03	9.318E+03
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	5.794E-01	1.726E+03
WF	1.605E+01	6.230E+01
WO	1.548E+01	6.459E+01
RL(成人)	3.430E-01	2.915E+03
RL(小孩)	3.019E-01	3.312E+03
RF	7.317E-03	1.367E+05
RH(六面牆)	6.998E+00	1.429E+02
RH(四面牆)	5.636E+00	1.774E+02
RP	2.100E-02	4.762E+04
地下水(成人)	6.347E-08	1.576E+10
地下水(小孩)	2.216E-08	4.513E+10

表 P1. ^{127m}Te 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.700E-03	5.881E+03
WF	4.292E-03	2.330E+03
WO	4.126E-03	2.423E+03
RL(成人)	4.633E-02	2.158E+02
RL(小孩)	4.295E-02	2.328E+02
RF	6.131E-06	1.631E+06
RH(六面牆)	9.578E-02	1.044E+02
RH(四面牆)	7.659E-02	1.306E+02
RP	2.371E-03	4.218E+03
地下水(成人)	4.222E-133	2.369E+133
地下水(小孩)	1.423E-133	7.025E+133
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.819E-01	3.548E+03
WF	5.771E-01	1.733E+03
WO	2.554E-01	3.915E+03
RL(成人)	3.621E+01	2.761E+01
RL(小孩)	3.357E+01	2.979E+01
RF	4.156E-03	2.406E+05
RH(六面牆)	9.323E-01	1.073E+03
RH(四面牆)	7.455E-01	1.341E+03
RP	4.788E-02	2.089E+04
地下水(成人)	2.281E-05	4.383E+07
地下水(小孩)	8.169E-06	1.224E+08

表 Q1. ^{129m}Te 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.416E-03	7.061E+03
WF	1.188E-02	8.415E+02
WO	2.262E-02	4.422E+02
RL(成人)	1.147E-04	8.716E+04
RL(小孩)	1.051E-04	9.517E+04
RF	1.189E-06	8.411E+06
RH(六面牆)	9.841E-02	1.016E+02
RH(四面牆)	7.939E-02	1.260E+02
RP	2.732E-04	3.661E+04
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.914E-01	2.555E+03
WF	6.572E+00	1.522E+02
WO	6.199E+00	1.613E+02
RL(成人)	4.656E+01	2.148E+01
RL(小孩)	4.317E+01	2.317E+01
RF	3.568E-03	2.803E+05
RH(六面牆)	9.578E-01	1.044E+03
RH(四面牆)	7.727E-01	1.294E+03
RP	5.348E-03	1.870E+05
地下水(成人)	5.560E-08	1.799E+10
地下水(小孩)	1.991E-08	5.023E+10

表 R1. ¹²⁹I 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.255E-01	4.434E+01
WF	2.573E-01	3.886E+01
WO	3.607E-02	2.773E+02
RL(成人)	1.936E+00	5.165E+00
RL(小孩)	1.795E+00	5.570E+00
RF	1.571E-04	6.366E+04
RH(六面牆)	9.799E-01	1.020E+01
RH(四面牆)	7.830E-01	1.277E+01
RP	5.502E-01	1.818E+01
地下水(成人)	1.021E-02	9.795E+02
地下水(小孩)	3.376E-03	2.962E+03
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.144E+01	8.741E+01
WF	1.249E+01	8.005E+01
WO	7.213E-01	1.386E+03
RL(成人)	5.819E+01	1.719E+01
RL(小孩)	5.388E+01	1.856E+01
RF	3.440E-02	2.907E+04
RH(六面牆)	9.538E+00	1.048E+02
RH(四面牆)	7.621E+00	1.312E+02
RP	1.102E+01	9.072E+01
地下水(成人)	1.640E+00	6.097E+02
地下水(小孩)	5.731E-01	1.745E+03

表 S1. ^{137}Cs 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.345E-01	4.265E+01
WF	2.739E+00	3.651E+00
WO	5.422E+00	1.844E+00
RL(成人)	4.421E-01	2.262E+01
RL(小孩)	4.099E-01	2.440E+01
RF	2.036E-05	4.911E+05
RH(六面牆)	9.740E+01	1.027E-01
RH(四面牆)	7.860E+01	1.272E-01
RP	8.229E-02	1.215E+02
地下水(成人)	5.123E-120	1.952E+120
地下水(小孩)	1.695E-120	5.899E+120
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.201E+00	4.543E+02
WF	1.113E+02	8.985E+00
WO	1.099E+02	9.100E+00
RL(成人)	1.374E+01	7.277E+01
RL(小孩)	1.273E+01	7.854E+01
RF	4.519E-03	2.213E+05
RH(六面牆)	9.480E+02	1.055E+00
RH(四面牆)	7.651E+02	1.307E+00
RP	1.510E+00	6.622E+02
地下水(成人)	1.311E-04	7.630E+06
地下水(小孩)	4.583E-05	2.182E+07

表 T1. ^{141}Ce 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.310E-04	7.635E+04
WF	1.495E-02	6.689E+02
WO	2.955E-02	3.384E+02
RL(成人)	1.074E-06	9.307E+06
RL(小孩)	2.836E-07	3.526E+07
RF	6.466E-07	1.547E+07
RH(六面牆)	1.404E-01	7.122E+01
RH(四面牆)	1.125E-01	8.892E+01
RP	5.444E-05	1.837E+05
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	9.642E-02	1.037E+04
WF	8.658E+00	1.155E+02
WO	8.543E+00	1.171E+02
RL(成人)	4.308E-02	2.321E+04
RL(小孩)	3.543E-02	2.822E+04
RF	2.047E-03	4.885E+05
RH(六面牆)	1.367E+00	7.317E+02
RH(四面牆)	1.095E+00	9.135E+02
RP	1.104E-03	9.055E+05
地下水(成人)	2.136E-10	4.682E+12
地下水(小孩)	7.456E-11	1.341E+13

表 U1. ^{192}Ir 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.217E-02	4.511E+02
WF	7.744E-01	1.291E+01
WO	1.547E+00	6.465E+00
RL(成人)	3.441E-04	2.906E+04
RL(小孩)	3.155E-04	3.169E+04
RF	3.215E-06	3.110E+06
RH(六面牆)	1.540E+01	6.493E-01
RH(四面牆)	1.240E+01	8.064E-01
RP	1.764E-03	5.670E+03
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	5.798E-01	1.725E+03
WF	1.441E+02	6.941E+00
WO	1.439E+02	6.951E+00
RL(成人)	1.109E+00	9.020E+02
RL(小孩)	1.021E+00	9.796E+02
RF	3.274E-03	3.054E+05
RH(六面牆)	1.499E+02	6.670E+00
RH(四面牆)	1.207E+02	8.285E+00
RP	2.806E-02	3.564E+04
地下水(成人)	6.148E-07	1.626E+09
地下水(小孩)	2.149E-07	4.653E+09

表 V1. ²³⁹Pu 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.956E+00	2.528E+00
WF	1.260E+01	7.939E-01
WO	2.679E-04	3.733E+04
RL(成人)	3.736E-01	2.677E+01
RL(小孩)	2.378E-01	4.206E+01
RF	9.856E-02	1.015E+02
RH(六面牆)	1.683E-02	5.942E+02
RH(四面牆)	1.336E-02	7.483E+02
RP	1.363E+00	7.339E+00
地下水(成人)	1.147E-06	8.719E+06
地下水(小孩)	3.791E-07	2.638E+07
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.015E+02	3.317E+00
WF	5.088E+02	1.965E+00
WO	5.358E-03	1.866E+05
RL(成人)	7.388E+01	1.354E+01
RL(小孩)	2.092E+01	4.780E+01
RF	2.158E+01	4.633E+01
RH(六面牆)	1.638E-01	6.105E+03
RH(四面牆)	1.301E-01	7.688E+03
RP	3.908E+01	2.559E+01
地下水(成人)	1.279E-03	7.818E+05
地下水(小孩)	4.465E-04	2.239E+06

表 W1. ²⁴¹Pu 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	7.005E-02	1.428E+02
WF	2.223E-01	4.498E+01
WO	2.174E-11	4.601E+11
RL(成人)	6.554E-03	1.526E+03
RL(小孩)	4.163E-03	2.402E+03
RF	1.737E-03	5.757E+03
RH(六面牆)	4.621E-10	2.164E+10
RH(四面牆)	3.699E-10	2.704E+10
RP	2.461E-02	4.064E+02
地下水(成人)	0.000E+00	
地下水(小孩)	0.000E+00	
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	5.480E+00	1.825E+02
WF	9.238E+00	1.082E+02
WO	4.470E-10	2.237E+12
RL(成人)	1.343E+00	7.444E+02
RL(小孩)	3.833E-01	2.609E+03
RF	3.912E-01	2.556E+03
RH(六面牆)	4.498E-09	2.223E+11
RH(四面牆)	3.600E-09	2.778E+11
RP	6.987E-01	1.431E+03
地下水(成人)	2.237E-05	4.470E+07
地下水(小孩)	7.809E-06	1.281E+08

表 X1. ²⁴¹Am 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	3.313E+00	3.018E+00
WF	1.062E+01	9.416E-01
WO	4.935E-02	2.027E+02
RL(成人)	3.051E-01	3.278E+01
RL(小孩)	1.913E-01	5.228E+01
RF	8.308E-02	1.204E+02
RH(六面牆)	1.151E+00	8.688E+00
RH(四面牆)	9.191E-01	1.088E+01
RP	1.094E+00	9.143E+00
地下水(成人)	1.211E-04	8.256E+04
地下水(小孩)	4.003E-05	2.498E+05
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	2.533E+02	3.948E+00
WF	4.292E+02	2.330E+00
WO	9.878E-01	1.012E+03
RL(成人)	6.204E+01	1.612E+01
RL(小孩)	1.738E+01	5.752E+01
RF	1.821E+01	5.491E+01
RH(六面牆)	1.120E+01	8.926E+01
RH(四面牆)	8.946E+00	1.118E+02
RP	3.184E+01	3.141E+01
地下水(成人)	2.795E-02	3.577E+04
地下水(小孩)	9.759E-03	1.025E+05

表 Y1. ²⁵²Cf 之輻射劑量及導出濃度

一 般 狀 況		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.364E+00	7.333E+00
WF	4.386E+00	2.280E+00
WO	1.765E-05	5.664E+05
RL(成人)	1.073E-01	9.317E+01
RL(小孩)	6.153E-02	1.625E+02
RF	3.447E-02	2.901E+02
RH(六面牆)	2.119E-02	4.719E+02
RH(四面牆)	1.684E-02	5.937E+02
RP	4.059E-01	2.464E+01
地下水(成人)	2.071E-145	4.830E+145
地下水(小孩)	6.843E-146	1.461E+146
低 機 率		
情節	劑量	導出濃度
WL	1.212E+02	8.249E+00
WF	2.054E+02	4.868E+00
WO	4.098E-04	2.440E+06
RL(成人)	2.969E+01	3.369E+01
RL(小孩)	8.210E+00	1.218E+02
RF	8.762E+00	1.141E+02
RH(六面牆)	2.063E-01	4.848E+03
RH(四面牆)	1.639E-01	6.100E+03
RP	1.205E+01	8.297E+01
地下水(成人)	1.572E-03	6.362E+05
地下水(小孩)	5.487E-04	1.822E+06