

台灣地區住宅氬氣活度量測與劑量評估研究
期末報告

受委託單位：義守大學 ISU105-GOV-11

研究主持人：陳清江

共同主持人：陳泰賓

協同主持人：

研究期程：中華民國 105 年 3 月至 105 年 10 月

研究經費：新台幣 30 萬元

行政院原子能委員會輻射偵測中心
105 年度委託研究計劃 1050207

中華民國 105 年 10 月

(本報告內容純係作者個人之觀點，不應引申為本機關之意見)

(本頁空白)

目錄

1	中文摘要	4
2	英文摘要	6
3	計畫目的	7
4	計畫緣起	8
5	執行方法與進度說明	9
6	執行成果	13
6.1	蒐集分析先進國家對於氡氣活度的調查研究與立法管制資訊。	13
6.1.1	WHO 2009 報告發表前的狀態	13
6.1.2	2009 WHO 氡氣手冊的重點	18
6.1.3	ICRP-126 的建議	22
6.1.4	目前參考基準的狀態	25
6.2	實際量測台灣地區室內住家氡氣	26
6.3	評估對國民造成的輻射劑量	29
7.	結論與建議	31
	期中報告審查意見	33
	期末報告審查意見	33
8.	參考文獻	37
9.	附錄一、2005 WHO 國際氡氣計畫問卷調查報告	42
10.	附錄二、ICRP-126 報告主要內容摘要	56

1 中文摘要

本研究採用主動式的儀器測量方式進行室內氡氣活度抽樣調查，本年預定測量 100 戶以上住宅的客廳與臥室或書房，每間房間分別度量日常生活狀況下之氡活度。一方面篩選氡活度是否可能超過 WHO 建議的參考基準 100 貝克每立方米，另一方面求取室內氡活度平均值，作為國民輻射劑量評估的依據。

本計畫開始於 105 年 3 月，依規畫進度 3 月底已經完成住宅室內氡抽樣與測量方法之建立，購買儀器並進行測試與校正。4 月開始進行住宅室內氡現場測量與數據判讀整理，結果截至 10 月初為止，已經完成 109 戶住宅室內氡活度的測量，在正常通風的環境下，客廳室內氡活度的平均值為 23.2 貝克/立方米，在臥房則為 22.7 貝克/立方米。其中有 6 戶大於 100 貝克/立方米，實測結果客廳與臥房差異不大。

以最新的 ICRP-126 號報告室內氡劑量評估參數每 100 貝克/立方米相當於 3.3 mSv/y，評估室內氡氣對台灣地區國民輻射劑量約為 0.70 毫西弗/年。比 25 年前的評估值 0.36 毫西弗/年高 93%，約為 UNSCEAR 公布世界平均值 1.2 毫西弗/年的 58%。

2009 年 WHO 氡氣指引和 2015 年 ICRP 第 126 號報告皆建議室內氡行動基準目標值為 100 貝克每立方米，最高不大於 300 貝克每立方米。目前各國室內氡行動基準新訂標準對既存建築多訂在 200 貝克每立方米

上下，對新建住宅多訂在 100 貝克每立方米上下。工作場所室內氡參考活度值 1000 貝克每立方米相當於 20 mSv/y 的工作人員有效劑量，這已經是各國公認的工作場所氡的參考基準。

2 英文摘要

Study on Indoor Radon Measurement and Dose Assessment in Taiwanese dwellings.

ABSTRACT

This study have selected more than 100 typical Taiwanese homes to measure average indoor Rn level in more than 2 rooms each by using an active instrument. We have got more than 200 effective radon level data since March 2016. The population dose in Taiwan will be reassessed by using the newest announced lung dose model and newly measured average indoor Rn level.

According to the planned schedule, we have completed indoor radon sampling and measurement methods including instrument calibration till March 31. The Rn levels in living room and bedroom were measured in each dwelling. We have measured 109 residential indoor radon data till October 5. In normal living environment, the mean indoor radon activity in the living room and bedroom are 23.2 and 22.7 Bq per cubic meter separately. The population dose is reassessed by applying the newly issued ICRP-126 lung dose model which is 3.3 mSv per 100 Bq/m³. The new result is 0.70 mSv/y which is 93% higher than old result assessed 25 years ago.

The indoor Rn reference levels in WHO(2009) and ICRP(2015) publications all recommended 100~300 Bq/m³. Most developed countries have set a reference level around 200 Bq/m³ for existed dwelling and 100 Bq/m³ for future dwelling. A reference level of 1000 Bq/m³ for workplace Rn which equivalent to 20 mSv/y is the universal criteria.

3 計畫目的

本計畫之目的在於重新評估住家氡氣對國民所造成的輻射劑量，並參考先進國家對於氡氣活度的調查研究與立法管制經驗，最終目標以調查結果加以統計與評估，判定國內所訂定的改善目標活度是否合宜，並提出最佳化的輻射防護與改善方法的建議。本研究擬採主動式的儀器測量方式進行室內氡氣活度抽樣調查，選擇 100 戶以上典型的台灣住宅為代表，以連續氡監測器記錄每小時氡濃度求得平均值。並採用最新的肺部劑量評估模式，重新評估住家氡氣對國民所造成的輻射劑量。

世界衛生組織(WHO)於 2009 年公佈建議參考基準為 100 貝克每立方米，比目前原能會所訂定的改善目標活度 150 貝克每立方米為低，法國核能安全署(ASN)邀請我方專家參加 2014 年 9 月 30 日至 10 月 2 日舉辦的「氡氣風險行動計畫專家研討會 workshop」，會議內容主要涵蓋 4 大議題：

1. 全球策略以及國家型的氡氣行動計畫
2. 降低住宅氡暴露的方法
3. 降低公共場所和工作場所氡暴露的方法
4. 宣導溝通的策略

本研究已經度量近 100 戶住家氡活度，為增加抽樣之代表性，105 年度擬增加 100 戶以上典型的台灣住宅為代表，以連續氡監測器記錄每小時氡濃度求得平均值。主要目的如下：

(一) 蒐集分析先進國家對於氡氣活度的調查研究與立法管制資訊。

(二) 實際量測台灣地區室內住家氡氣並評估對國民造成的輻射劑量。

4 計畫緣起

2011 年本人針對南部地區公共地下場所環境氡氣度量時，也測量部分住家氡活度，結果發現一般住家室內平均氡活度多在 10-45 貝克每立方米之間，在通風不良的狀況下最大氡活度達 180 貝克每立方米，遠比 25 年前本人使用硝酸纖維片度量結果平均 10 貝克每立方米為高。檢討先前的調查僅針對通風較好的客廳為之，其數據遠低於 UNSCEAR2009 年報告的平均值，很可能低估室內氡活度。近年來空調設備愈趨普遍，使得室內通風率下降；許多高級住宅引進國外建材如花崗石等，而且使用地下設施愈趨普遍，對於通風不良的室內住家氡氣活度有必要重新加以調查與評估。

5 執行方法與進度說明

目前室內氡氣量測常用的方法可分為主動式與被動式兩類。主動式需外加電源，可以連續監測並即時顯示記錄數據，可做為氡氣活度評估、預警、改善效果評估之用，設計形式以硫化鋅閃爍體魯卡斯腔及脈衝模式半導體偵檢器較為常見。被動式不需外加電源，以偵測累積活度為主，置於量測地點一段時間後取回量測，並透過校正程序換算為平均活度，設計上以活性炭、介電質、與徑跡法為主。一般而言主動式的偵測設備較為昂貴，但立即可以判讀結果，適合於特定量測點的確認與特性探討。被動式偵測方法所需價格較為便宜，適合做大範圍的篩選偵測與調查之用，1990年本人在原能會輻射偵測中心曾經對國內住家室內氡氣活度進行抽樣調查為期2年半，所使用的硝酸纖維片徑跡蝕刻法就是屬於被動式偵測方法。

現在的主動式儀器德國 SARAD 公司所生產的氡氣偵檢器

(RTM-1688-2) 是藉由靜電集塵原理收集氡子核在半導體偵檢器的表面，被收集的 Po-218 離子和計測腔內的氡氣濃度成正比例，可以連續監測器記錄每小時氡濃度、氣溫、氣壓等的變化狀況。最快每 30 分鐘可以取得一組數據，可連續記錄 511 組數據，可同時測量釷氣濃度 (Rn-220)，量測範圍： $0-10 \text{ MBq/m}^3$ ，經測試結果適合作為住宅氡活度之測量。由於 SARAD 公司所生產的氡氣偵檢器 (RTM-1688-2) 太過笨重，不方便郵

寄到各地住家作測量，因此本調查擬使用加拿大 Safety Siren Pro Series 3 Radon Gas Tester Detector，新型機器使用游離腔偵檢頭，110-240V 電源且以 Bq/m^3 為單位，體積輕巧，解析度達 1 Bq/m^3 ，適合大量住宅室內氡的測量。該儀器將先與 SARAD 氡氣偵檢器 (RTM-1688-2) 作比對，以求得校正因子後作修正，以維持一致的量測品質。

Safety Siren Pro Series 3 氡氣偵檢器(如圖 5.1)規格如下:

- 氡氣數值 LED 數字顯示範圍 1 到 9999 Bq/m^3 。
- 短期顯示過去七天的平均氡氣值。
- 長期顯示可以從開機或重新設定起到現在五年內的最大讀值。
- 在最初的通電後，短期和長期的數值將會在 48 小時後顯現。
- 若短期平均數值大於等於 200 Bq/m^3 或長期平均數值連續 30 天大於 200 Bq/m^3 將會有可聽見的警示鈴聲。
- 功能表上的按鈕控制了四種功能。
- 短期和長期的顯示，是由一個綠色 LED 指示燈旁邊的 S 或 L 切換表示之。
- 進行手動的偵檢器測試。
- 如果偵檢器在警報狀態，可按靜音或重新啟動警報器。

- 偵檢器數值清除和重新設定都可以開始一個新的讀值。
- 每小時都會更新讀數。
- 每 24 小時自動進行故障偵測，並會將結果顯示。
- 一年保固。
- 110 伏特-240 伏特電壓的電源，並使用該國的電源插座。



圖 5.1 Safety Siren Pro Series 3 氡氣偵檢器

由於氡氣是環境中鐳衰變產生的氣體，為了解一般住宅的平均氡活度，測量地點的選擇以典型的台灣主流住宅大樓、透天及公寓式住宅空間為主，室內房間選擇客廳、臥房或書房等分別測量。以 SARAD 公司所生產的氡氣偵檢器 (RTM-1688-2) 實測室內氡活度結果如(圖 5.2)，可以看出室內氡活度隨時間變動的最大值、最小值、平均值和溫度、氣壓，可以分析正常生活型態下的氡活度平均值，以便進行劑量評估用。

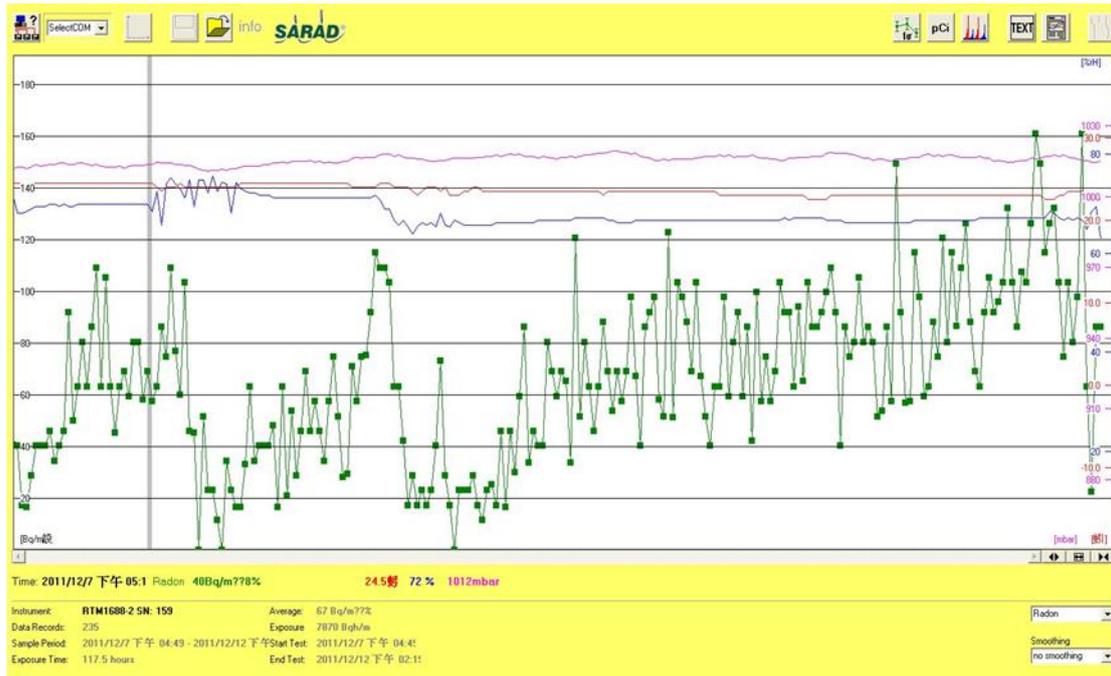


圖 5.2 以德國 SARAD 攜帶型氡/鈾氣體監測系統實測室內氡活度實例

Safety Siren Pro Series 3 氡氣偵檢器，會有高估的情況並容易受到電子用品的干擾，在調查期間有部分 Safety Siren Pro Series 3 機器出現錯誤造成測量期間機器不足，使測量進度有點延宕。已請台灣代理廠商協助反映問題，但是並沒有得到原廠有效的回應。

量測結果準確度的校正方法是與 SARAD 公司所生產的氡氣偵檢器（RTM-1688-2）作比較，選擇約 40 和 150 Bq/m³的室內氡活度作比較，求得相關方程式後作修正。

本計畫於 105 年 3 月 1 日開始，3 月底前已經完成住宅室內氡抽樣與測量方法之建立，添購儀器 4 部並進行測試與校正。4 月份開始進行住宅測量，至 10 月初已完成 109 戶住宅氡活度量。

6 執行成果

6.1 蒐集分析先進國家對於氡氣活度的調查研究與立法管制資訊。

6.1.1 WHO 2009 報告發表前的狀態

環境中氡的議題自 1980 年代就有很多調查研究報告，先進國家根據各國國情和氡的風險因子陸續訂有行動基準。近年來國際組織希望對於氡氣的防護，能夠建立一個共通的標準。因此，在世界衛生組織(WHO)支持下於 2004~2006 年展開大規模的調查計畫，並於 2005 年成立國際氡氣計畫，2009 年完成報告於 9 月公布「世界衛生組織室內氡氣手冊(WHO Indoor Radon Handbook)」，此後國際組織對於氡氣的防護原則皆以本指引為依據，建議的行動基準逐漸趨於一致。

在 WHO 國際氡氣計畫的架構下，2005 年 WHO 針對其會員國主導一項室內氡氣的問卷調查，這份報告包含 36 個國家回應這項問卷的細節。問卷內容為不同國家的平均氡含量，以及對氡氣的行動/參考基準，各國行動基準的數值顯示在一個很寬廣的範圍，不過，最常見的氡氣濃度行動基準介於 100 到 400Bq/m³。許多國家都對新建築選擇了比現有建築更低的行動基準。

此外，關於氡氣測量的問題以及減輕和預防方針也是本問卷的一部

分。許多有關氡氣風險溝通的活動和方案被參與國報導，但只有部分國家已評估此項活動。對於此問卷調查，192 個國家中有 75 個會員國答覆，且有 45 個國家回應指出在他們國內有一些相關氡氣活動。完整的調查問卷寄至 45 個積極回應迷你問卷的國家，36 個國家提供所有或部分問題細節資訊。

問卷調查主要針對國家現存的氡氣活動，這些國家有超過 3/4 訂有行動基準，現存住家的行動基準大多在 200 到 400 Bq/m³ 的範圍；只有少數回應國家訂定新建築的行動基準在 200 Bq/m³ 的範圍。對於既存建築，只有少數回應國家訂定自願的行動基準，對新建築有較多國家訂定義務的行動基準。至少有 4 個國家（丹麥、芬蘭、挪威、英國）對新建築訂有義務的行動基準。德國和美國的行動基準值最低，分別為 100 Bq/m³ 和 148 Bq/m³。現有建築的行動（參考）基準如圖 6.1.1.1，新建築的行動（參考）基準如圖 6.1.1.2。

Figure 2a: Radon action (reference) levels in existing buildings (Bq/m^3)

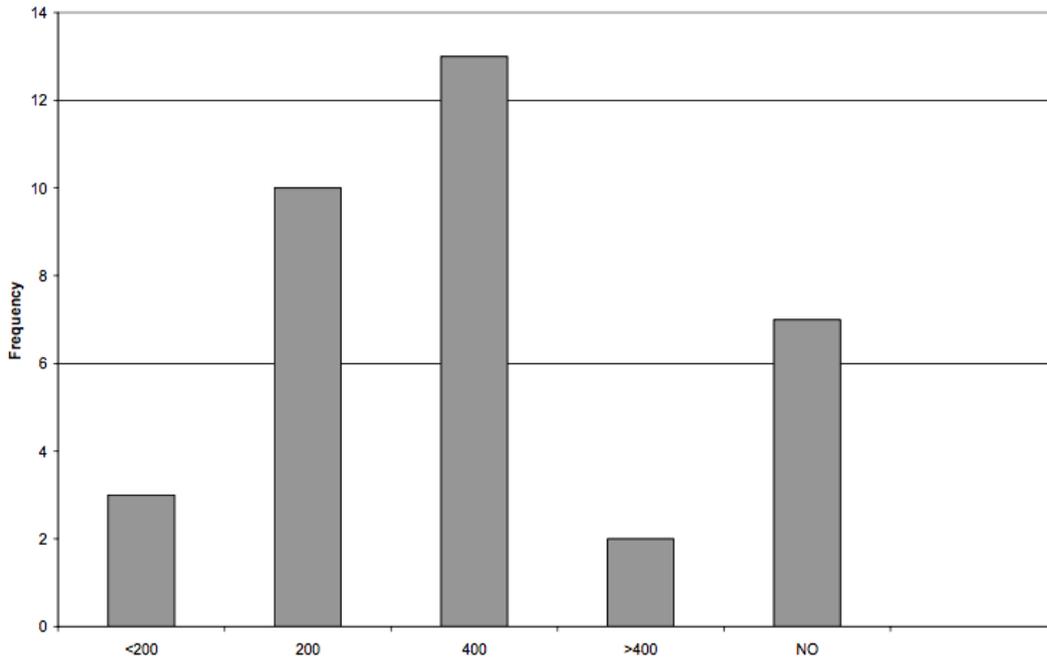
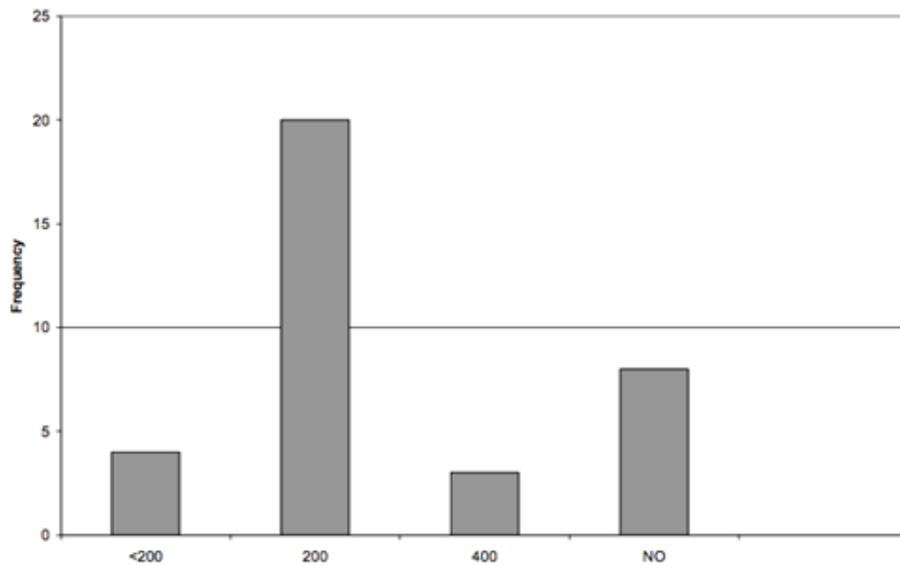


圖 6.1.1.1：現有建築物的行動（參考）基準

Figure 2b: Radon action (reference) levels for new buildings (Bq/m^3)



Note: < 200 Bq/m^3 includes Germany (new legislation planned)

圖 6.1.1.2：新建築物的行動（參考）基準

2005 年調查各國既有的行動基準彙整如下：

Q1 調查計劃 有(y) 無(n)，Q2 行動基準 有(y) 無(n)

Q2a 給已存在的建築物，Q2b 給未來的建築物

編號	國家	Q1	Q2	Q2a	Q2b
1	阿根廷	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
2	奧地利	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
3	巴西	y	n	-	-
4	比利時	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
5	保加利亞	y	y	500 Bq/m ³ (250 EEC) vol. 存在	200 Bq/m ³ (100 EEC) vol
6	加拿大	y	y	正在修訂 800 Bq/m ³ ; 新: 200 Bq/m ³ vol	800 (200) Bq/m ³ vol.
7	中國	y	y	住家：400 Bq/m ³ . 公司：1000 Bq/m ³	200 Bq/m ³ .
8	捷克共和國	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
9	丹麥	y	y	200 Bq/m ³ vol., (分類指導 < 400 Bq/m ³ vs. > 400 Bq/m ³)	200 Bq/m ³ vol., 強制氣密閉結構
10	厄瓜多爾	n	-	100 Bq/m ³ (min) 強制 400 Bq/m ³ (max)	強制
11	芬蘭	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ 強制
12	法國	y	(n)	選定的公共建築：400 Bq/m ³ 強制	
13	喬治亞	y	y	200 Bq/m ³ 強制	100 Bq/m ³
14	德國	y	y	100 Bq/ m ³ vol.	100 Bq/ m ³ vol.
15	希臘	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
16	愛爾蘭	y	y	200 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
17	義大利	y	n	-	-
18	日本	y	n	-	-

19	韓國		n	-	-
20	吉爾吉斯坦	y	y	<200 Bq/m ³	200 Bq/m ³
21	拉脫維亞	y	y	200 Bq/m ³ vol, 600 Bq/m ³ 強制	200 Bq/m ³ 強制
22	立陶宛	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
23	摩洛哥	y	y	(劑量限值如 IAEA-BSS 規定) vol.	(與現有的無差異 - 建構中)
24	荷蘭	y	y	-	30 Bq/m ³ (vol.) 一年內新建築平 均超標的話將會 有新規範
25	挪威	y	y	200 Bq/m ³	200 Bq/m ³ 強制 更高級別(建設、 規範)
26	巴拉圭	n	-	-	-
27	秘魯	n	y	住家：200-600 Bq/m ³ 公司：1000 Bq/m ³	-
28	羅馬尼亞	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
29	俄羅斯	y	y	現有房屋強制： 400 Bq/m ³ 新規：200 Bq/m ³ (100 Bq/m ³ Rn EEC)	200 Bq/m ³
30	斯洛伐尼亞	y	y	住宅：400 Bq/m ³ vol.；學校及幼 兒園：400 Bq/m ³ 強制； 企業：1000 Bq/m ³ 強制	同現有建築
31	西班牙	y	n	-	-
32	瑞典	y	y	200 Bq/m ³ 強制	200 Bq/m ³ 強制
33	瑞士	y	y	1000 Bq/m ³ 強制	400 Bq/m ³ 強制
34	英國	y	y	200 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ 強制
35	美國	y	y	148 Bq/m ³ vol.	148 Bq/m ³ vol.

詳細的問卷調查結果請參考本報告附錄一。

6.1.2 2009 WHO 氡氣手冊的重點

序言

氡氣是除了吸菸之外第二個可能造成肺癌的主要原因。根據流行病學的研究,即便是一般住宅中所產生極低濃度的氡氣,其室內氡氣暴露也有可能造成肺癌,但是依據這項流行病學的研究而致力於減少氡氣暴露所造成肺癌的國家卻很少。

1979 年世界衛生組織,於歐洲專門進行室內空氣品質的團隊,開始針對室內的氡氣暴露進行研究。

於 1988 年氡氣被世界衛生組織一個專門探討癌症的機構 IARC 歸類為人類致癌原因。在 1993 年由世界衛生組織在埃拉特(Eilat 以色列最南端的城市)舉辦了一場關於室內氡氣的國際研討會,與會的有歐洲、北美洲以及亞洲的科學家,讓控制氡氣暴露以及其相關健康風險,開啟看法比較一致的第一步。

2005 年世界衛生組織,啟動了一個國際性室內氡氣計畫,有超過 30 個國家的研究者參與其中,主要目的是為了要制訂降低氡氣對健康影響的策略,以及提高大眾對於長期接受氡氣暴露產生影響的警覺性。

這本手冊就是世界衛生組織國際性室內氡氣計畫的成果,針對住宅氡氣暴露所產生的健康影響進行探討。內容有包含如何減少氡氣對健康影響的詳細建議,避免氡氣暴露及其他政策。這本手冊適用於想要制定

或是擴大和氡氣相關計畫的建築業、建築專家及國家。

世界衛生組織建議在制定室內氡氣相關計畫或規範時，最好將吸菸也一併列入考量。這本手冊內所提到已經有室內氡氣相關計畫或規範一段時間的國家，其計畫或規範就有包含吸菸管控。世界衛生組織期待繼續的與這些國家合作，可以達到降低與氡氣相關的醫療負擔之目的。

2009 WHO 室內氡氣手冊內容摘要

氡氣是一種由岩石或是土壤所釋放具有放射性的氣體，容易聚積在封閉的空間中，例如地下礦坑還有建築物當中。從土壤中所釋放的氡氣是造成住宅氡氣暴露的最主要原因，其他的從建材與水井中所釋放出來的氡氣所佔的比例反而是比較少的。另外，氡氣是造成一般大眾接受到輻射劑量的最主要來源。

近年來歐洲、北美洲和亞洲關於室內氡氣與肺癌的研究顯示出，有許多肺癌是因為接受氡氣暴露而造成的。根據最近的一個調查顯示，隨著不同國家氡氣的濃度與計算方式的不同，大約會有 3~14% 的肺癌病人是因為接受氡氣暴露而造成的。這項分析顯示出，罹患肺癌的風險會隨著氡氣的濃度增加而上升。最主要造成肺癌的是低濃度和中濃度的氡氣暴露，氡氣是除了吸菸之外造成肺癌的第二個主要原因。大部分由氡氣造成的肺癌的患者，都有吸菸的習慣，由於吸菸與氡氣都會增加罹患肺

癌的風險，因此這一類的人罹患肺癌的風險就會更高。

住家氡氣濃度測量是比較容易執行而且對於氡氣的評估是相當重要的。室內的氡氣濃度會因為建築結構與通風而有所不同，甚至於每一個小時所測量出來的濃度都會不一樣。因此年平均氡氣濃度至少需要測量3個月甚至是更長的時間。短期的氡氣濃度測量，只能提供一個粗略的年平均濃度。在測量期間，為了確保測量出來的數據是正確的，建議執行偵檢器品質保證措施。

不管是預防新建築的氡氣暴露，或緩解及補救既有建築的氡氣暴露都是相當重要的。最主要的預防及緩解政策就是減少氡氣進入建築物，以阻絕法或反轉室內外的氣壓，都可以避免土壤所釋放的氡氣進入建築物中，同時執行這兩種方式，將有效的降低室內氡氣的濃度。

依據成本與效益的分析來選擇要如何避免或是緩解氡氣暴露。在這分析當中，健康照護成本與健康效益將作為政策制定的依據。

針對有5%新建物氡氣濃度超過 200 Bq/m^3 的住宅區，做預防性的測量是比較符合經濟效益的。另外針對新建築進行預防措施，會比對舊有建築進行緩解措施還要符合經濟效益。在一些低濃度的地區，對舊有建築物測量氡氣濃度的成本甚至會比緩解措施還要高，因為需要測量的建築物會比需要緩解的建築物還要多很多。

一般大眾對於室內氡氣的暴露比較沒有警覺性，因此需要加強宣導。

宣導時需要配合不同地區的居民提出適當降低室內氡氣的建議。這就需要技術層面及宣導兩方面的專家共同討論，設計出適合的標語，這標語希望可以簡單明瞭，例如肺癌與氡氣的關係或者是日常生活的風險等等。

一個降低氡氣暴露風險的公共衛生計畫，最理想的就是由國家來制定。例如降低全國的平均氡氣濃度對人民所造成的風險，以及降低居住在高氡氣濃度地區居民的個人風險

國家的氡氣政策應該針對氡氣暴露風險最高的地方，以及增加大眾對於氡氣所造成健康暴露的意識為主。成功的氡氣政策應該要配合其他與健康相關的政策一起執行，並且要求建築業履行預防或緩解氡氣暴露的措施，例如安裝預防氡氣累積的設施在建築物當中，以及制訂在氡氣濃度較高的地區，建物買賣的過程當中也要測量氡氣濃度的法規。

國家的參考氡氣濃度, 可以做為該地區住宅之最大氡氣濃度的參考值，也是制定相關政策相當重要的依據。當住家的氡氣濃度超過參考值的時候，就需要有一些補救的措施。在制定參考值的時候，氡氣的分布、有多少住家是在高氡氣濃度的地區、平均的室內氡氣濃度以及抽菸的狀況都要列入考量。根據世界衛生組織的資料顯示，當參考氡氣濃度設為 100 Bq/m^3 的時候，可以將室內氡氣暴露的健康危害降到最低。若參考濃度無法設定在 100 Bq/m^3 ，也不可以讓參考值超過 300 Bq/m^3 ，當參考值

為 300 Bq/m^3 的時候，根據 I C R P 的資料就相當於一年會接受到 10 mSv 的劑量。

這本手冊的主要目的，就是提供氡氣與健康相關的資料。雖然這本手冊非常強調政策與其相關計畫的制定，但並不是要改變現有的輻射防護安全標準。

6.1.3 ICRP-126 的建議

ICRP 第 126 號報告(2015-01-23)《氡暴露的輻射防護》簡介

國際放射防護委員會 (ICRP) 於 2014 年 4 月審核通過了第 126 號出版物《氡暴露的輻射防護》(ICRP, 2014)，以闡明和指導如何做好住家、工作場所以及其他類型場所中公眾和工作人員氡暴露的防護工作。

報告中，委員會提供了最新的氡暴露輻射防護相關導則。報告綜合考慮了 ICRP 最新的輻射防護體系建議、所有可用氡暴露風險的科學知識和有關組織、國家獲得的氡暴露控制方面的經驗。報告描述了氡暴露的特點、氡的來源和傳輸機制、健康風險和控制氡暴露的挑戰。

委員會建議一種綜合的氡暴露控制方法——盡量依靠建築物或場所的管理來控制氡暴露。這種方法是基於最優化的原則，並反映了關鍵利害關係者（尤其是工作場所中）的責任和管理部門控制氡暴露的目標。報告還提出了職業性氡暴露管制的相關建議和要求。

報告共提出了 12 條主要觀點如下：

1. 人們在家中、工作場所以及多功能建築物內均會受到氡的暴露。室內氡濃度的差異會導致氡暴露較大的不均勻分佈。通常室外氡暴露不會有問題。
2. 有充足的證據顯示，氡及其子核暴露會導致肺癌。氡是繼吸煙之後的第二大致肺癌因素。
3. 由於氡的母核種普遍存在地殼中且活度未受改變，因此氡的暴露為既存暴露情境，只有氡暴露的途徑能夠被控制。國家主管部門應該對氡暴露的類型進行分類，並建立全國性的防氡、控氡策略。由於大多數的氡暴露發生在居家室內，該策略應從公眾衛生的角度描述居家室內氡暴露，還應致力於降低群體的氡暴露劑量和個人最高暴露劑量。
4. 該策略應簡單且具有實用性，還應具有整體性，以適用於所有類型的建築；還應根據具體情況與責任進行等級劃分，不應進行吸煙者與非吸煙者的區分。該策略還應與其他公共衛生政策相結合，例如節省能源，控制吸煙，以及控制室內空氣品質等。

氡防護策略應包括：a. 對於新修建築應採取的預防措施；b. 對於現存建築應採取的減緩措施。

5. 氡暴露的控制主要基於適當參考基準的防護最優化原則。根據委員會的建議，這個基準對應於年劑量限值，可在 1~20 mSv 範圍內。委員會認

為，大約 10 mSv 左右的年劑量應作為制定氡暴露的參考基準。

6. 在氡防護策略的實施過程中，委員會建議室內氡濃度導出參考基準的最高值為 $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ （年平均濃度），該值同樣適用於其他類型建築和工作場所。

7. 委員會強烈建議國家主管部門應建立全國氡濃度導出參考基準。該基準應該是在綜合考慮當前經濟和社會情況等因素，合理可達成低至 $100\sim 300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

8. 在大多數工作場所，工作人員接受氡氣暴露是偶然的，未認定為職業性暴露。委員會建議通過以下步驟對工作場所進行等級劃分。對於所有建築和工作場所，根據普遍導出的參考基準，採取最優化的防護。

9. 根據具體的暴露情況，如居占時間以及年劑量 10 mSv 的參考基準，採取最優化的防護。

10. 當採取所有合理的措施後，氡暴露仍然高於參考基準，應對職業暴露採取相對應的防護措施。

11. 如經國家主管部門認定，工作人員所受氡暴露為職業暴露時，應從一開始就在相關工作場所採取對應的職業暴露防護措施。

12. 當國家主管部門認定氡暴露情境為計劃暴露情況時，應實施相對應的職業暴露劑量限值。

ICRP-126 報告主要內容摘要如本報告附錄二所示。

6.1.4 目前參考基準的狀態

從 2005 年 WHO 全球氡計畫開始執行以來，經多年的爭議與努力，到了 2009 年完成結果報告，並於 9 月公布世界衛生組織室內氡氣手冊(WHO Indoor Radon Handbook)，天然輻射最主要劑量來源氡氣的防護標準，在國際間逐漸達成共識。也就是一般住家目標值為 100 貝克每立方米，最高的參考基準不宜超過 300 貝克每立方米，約相當於 10 mSv/y 的有效劑量，此劑量約束值符合 2007 年 ICRP-103 號報告對既存輻射年劑量約束值 1 mSv~ 20 mSv 的建議。參考基準的建議值，應符合合理抑低原則。WHO 建議室內氡氣濃度參考基準 100 貝克每立方米，是符合輻射防護正當性與最適化原則的。由於各國社會、經濟與生活水準不同，因此可以基於各地區的差異加以調整，但是最高不宜超過 300 貝克每立方米。目前各國新訂標準對既存建築多訂在 200 貝克每立方米上下，對新建築多訂在 100 貝克每立方米上下。

至於工作場所的室內氡活度，IAEA 於 2010 年提出修訂輻射防護有關安全基準 BSS-115 的建議值 1000 貝克每立方米。ICRP-126 號報告已經依新的流行病學研究結果將工作場所室內氡參考活度值由 1500 貝克每立方米降為 1000 貝克每立方米。由於工作場所室內氡參考活度值 1000 貝克每立方米相當於 20 mSv/y 的工作人員有效劑量，此干預基準在技術上也合理可行，因此這已經是各國公認的工作場所氡的參考基準。

對於諸如學校、醫院、商店、電影院等工作場所，也是一般民眾可以自由進出的公共場所，ICRP-126 號報告建議的參考水平值仍為 300 貝克每立方米。

目前我國原子能委員會對於國內室內氡氣的建議改善濃度為 150 貝克每立方米，由過去氡氣量測的結果也顯示，國內一般住家氡濃度相當均勻，超過此建議改善濃度的比例也低於 5%。因此按照 WHO 建議並不需要做全國性普查，抽樣調查平均活度即可，對於一般室內氡氣建議改善濃度可以維持原建議值，若要進一步配合國際潮流將行動基準降為 100 貝克每立方米，也不至於要花費大量人力物力做改善措施。

6.2 實際量測台灣地區室內住家氡氣

本研究採用的 20 部 Safety Siren Pro Series 3 氡氣偵檢器，會有高估的情況並容易受到電子用品的干擾，其設計目的主要作篩選性度量。在調查期間有部分 Safety Siren Pro Series 3 機器出現錯誤造成測量期間機器不足，使測量進度有點延宕。量測結果高估的校正方法是與 SARAD 公司所生產的氡氣偵檢器 (RTM-1688-2) 作比較，每一儀器均需單獨做一校正曲線，且活度愈低，變動愈大，為一大困擾。選擇約 40 和 150 Bq/m³ 的室內氡活度作比較，求得相關方程式後作修正。有些外來干擾會造成數據顯著偏高，因此大於 100 貝克/立方米的住戶均經過覆

測確認。

本計畫於 105 年 3 月開始，依規畫進度，3 月份已經完成住宅室內氬抽樣與測量方法之建立，購買儀器並進行測試與校正，住宅室內氬抽樣規劃與現場測量與數據判讀整理，結果截至 10 月初為止，已經完成 109 戶住宅室內氬活度的測量，其中有 5 戶大於 200 貝克/立方米，研判為儀器受干擾所致故予以剔除，有 6 戶在 100 至 200 之間有高估之嫌均未納入平均值統計。在正常通風的環境下，客廳室內氬活度的平均值和中間值各為 23.2 及 18.2 貝克/立方米，在臥房則為 22.7 及 20.5 貝克/立方米。實測結果客廳與臥房差異不大。safety siren 氬偵檢器的校正因子如圖 6.2.1 所示。室內氬活度分布圖如圖 6.2.2

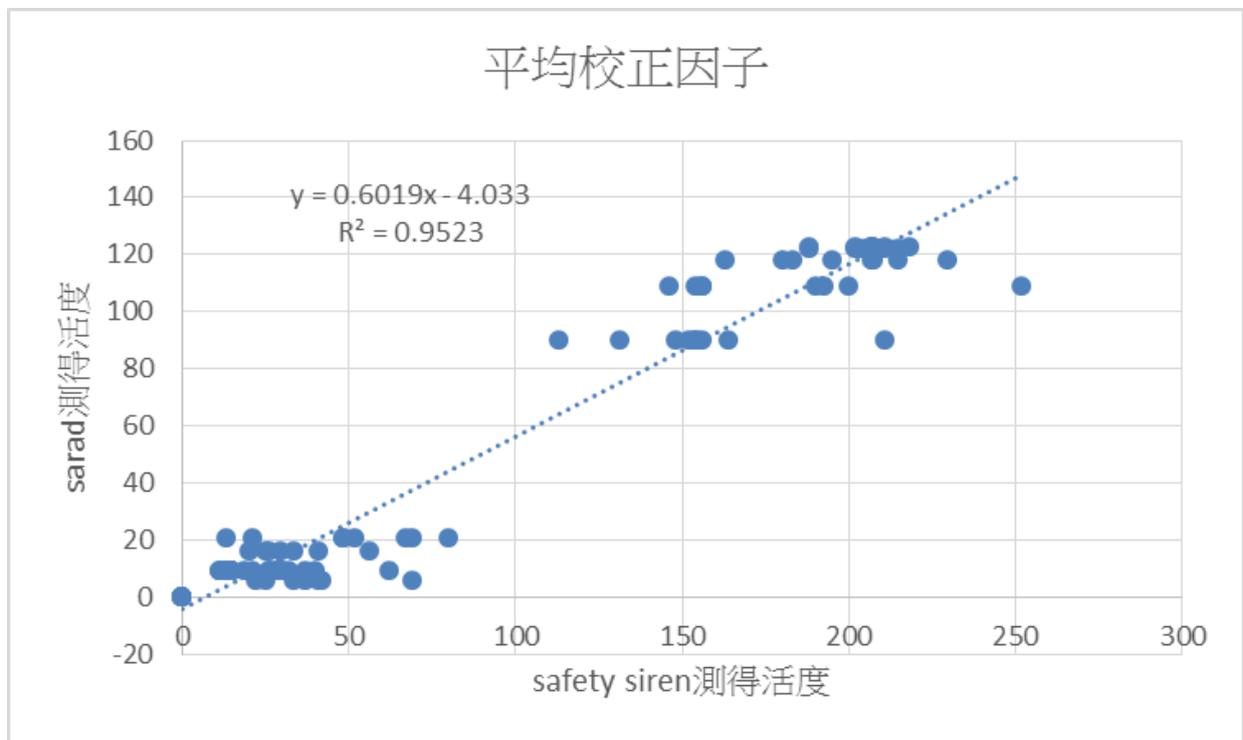


圖 6.2.1 safety siren 氬偵檢器的校正因子

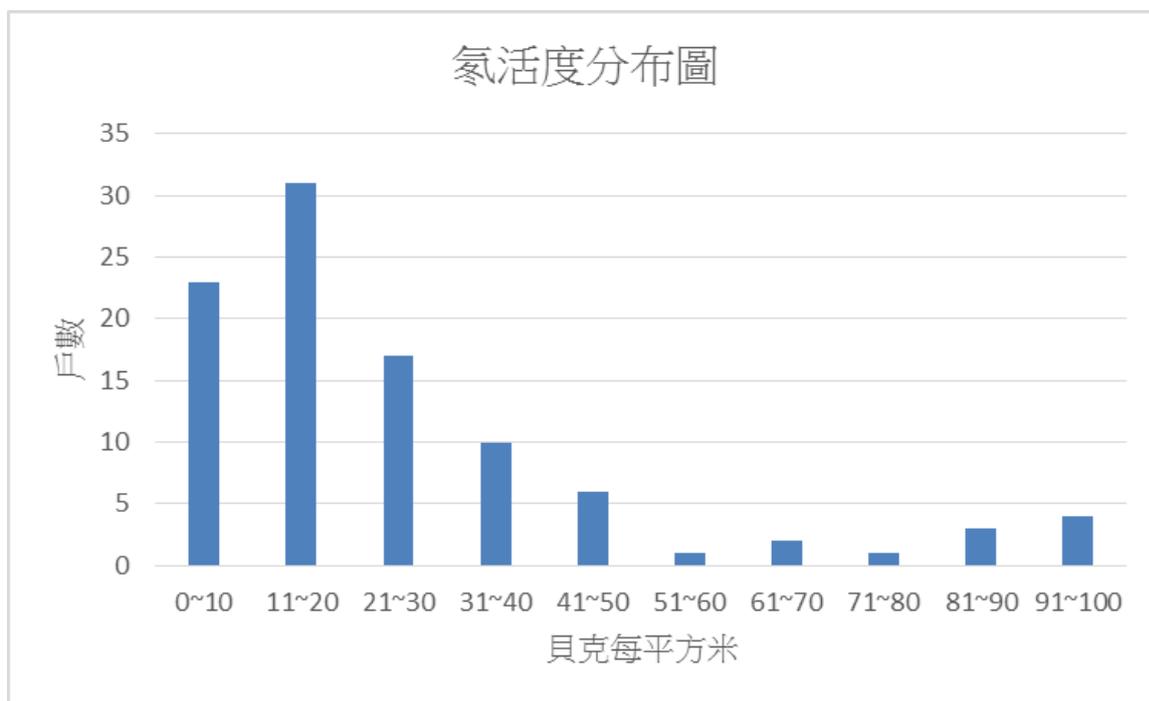


圖 6.2.2 台灣地區室內氬活度分布圖

104 年已經完成 63 戶住宅室內氬活度的測量，在正常通風的環境下，客廳室內氬活度的平均值為 18 貝克/立方米，在臥房則為 22 貝克/立方米。其中有 5 戶大於 100 貝克/立方米。室內氬活度加權平均值為 19.5 貝克/立方米。

103 年完成 32 戶住宅室內氬活度的測量，室內氬活度加權平均值為 18.3 貝克/立方米。

6.3 評估對國民造成的輻射劑量

依內政部的調查統計，台灣屬於高度工商業化社會，國民室內活動時間占 9 成以上，依此估計在臥房之占用因數以每天 8 小時計算，其他房間含辦公室以 14 小時計算，戶外活動每天 2 小時，則今年所測量室內氬活度加權平均值為 $(22.7 * 8 + 23.2 * 14) / 22 = 23.0$ 貝克/立方米。

若將前兩年測量結果納入統計，合計 193 戶住宅室內氬活度加權平均值為 21.1 貝克/立方米，共有 11 戶大於 100 貝克/立方米。

氬氣對呼吸系統造成的劑量評估模式相當複雜，各國權威組織所發表的評估結果整理如表 6.3.1。以最新的 ICRP-126 號報告劑量評估參數每 100 貝克/立方米相當於 3.3 mSv/y，評估氬氣對台灣地區國民輻射劑量約為 0.70 毫西弗/年。比 20 年前的評估值 0.36 毫西弗/年高 93%，約為 UNSCEAR 公布世界平均值 1.2 毫西弗/年的 58%。活度比 25 年前高的原因研判係空調與氣密窗普遍使用，通風率降低所致，溫室效應導致空調開啟時間拉長也是原因之一。

表 6.3.1、採用不同劑量模式評估於室內年佔有 7000 小時，平衡因

子為 0.4 時的劑量轉換因子

Radon concentration, Bq/m³	100	200	400
ICRP65 “risk equivalent” radon dose, mSv	1.7	3.4	6.9
UNSCEAR EP.recommended radon dose, mSv	2.5	5	10
UNSCEAR Radon effective dose (dosimetric), mSv	6	12	24
ICRP 126 Radon effective dose ,mSv	3.3	6.6	13.2

由於台灣地區天然背景輻射相當均勻，且各地區建築材料與形式雷同，可以預估室內氡活度不會有地域性差別，今年刻意將度量對象偏重在新竹以北住宅，結果顯示並沒有地域性差別，也未發現氡易發地區(Rn prone area)。

7. 結論與建議

1. 目前各國新訂標準對既存建築多訂在 200 貝克每立方米上下，對新建住宅多訂在 100 貝克每立方米上下。
2. 工作場所室內氡參考活度值 1000 貝克每立方米相當於 20 mSv/y 的工作人員有效劑量，這已經是各國公認的工作場所氡的參考基準。
3. 本研究 3 年來合計測量 204 戶住宅室內氡活度，其中有效戶數是 193 戶，加權平均值為 21.1 貝克/立方米，共有 11 戶大於 100 貝克/立方米。
4. 評估氡氣對台灣地區國民輻射劑量約為 0.70 毫西弗/年。比 25 年前的評估值 0.36 毫西弗/年高 93%，約為 UNSCEAR 公布世界平均值 1.2 毫西弗/年的 58%。活度升高原因研判係生活水準提高，空調與氣密窗普遍使用，通風率下降所致，溫室效應導致空調開啟時間拉長也是原因之一。
5. 今年刻意將度量對象偏重在新竹以北住宅，結果顯示並沒有地域性差別，台灣本島也未發現氡易發地區(Rn prone area)。
6. 國外木造建築室內氡氣主要來自其下土壤，台灣現代住家室內氡氣主要來自建材，針對台灣住家預防氡暴露之方法，建議增加通風率和阻絕建材表面氡氣逸出其效果最佳。其次選擇鈾系列天然放射性

較低的建材，也可預防氡的暴露。

7. 室內氡活度主要受通風率和建材影響，其活度基本上是不斷變動的。

目前使用 Safety Siren Pro Series 3 氡氣偵檢器主要用於篩選性度量，原廠建議每次測量一週以上再取平均值，但因時間的壓力，本研究對每戶僅測量 2-3 天，代表性略嫌不足。室內的氡氣濃度會因為建築結構與通風而有所不同，甚至於每一個小時所測量出來的濃度都會不一樣。因此 WHO 建議年平均氡氣濃度至少需要測量 3 個月甚至是更長的時間。短期的氡氣濃度測量，只能提供一個粗略的年平均濃度。展望未來，可以使用儀器做長時間測量，每月取平均值，數據比較可靠，且可以觀測整年隨季節的變化。

8. 金馬地區的花崗岩坑道眾多，有潛在的氡活度偏高問題，應予普查確認。至於金馬地區的住家與觀光景點可以進行抽樣測量，以研判有沒有氡活度偏高的問題。

9. 地下水中氡活度偏高，每升約 1000 貝克，抽取地下水的自來水廠之工作場所氡活度有必要加以了解。根據瑞士的經驗，有些抽取地下水的自來水廠之工作場所的氡活度偏高，台灣的狀況有必要加以了解。

10. 針對職業暴露，對於使用含較高鈾、鈾、鐳天然礦物(NORM)加工的工作場所應作室內氡活度調查。

期中報告審查意見

項次	審查意見	答覆說明
1	第 8 頁第 4 行”不方便計到...”更正為”不方便寄到...”	已改正，謝謝
2	p6(期中報告) 主要目的(一)蒐集資訊部分請說明進度	進度符合，謝謝
3	1. 主動式偵測設備如果放置在含鐳指南針附近時，其半導體偵檢器顯示數據是否會受鐳的加馬射線影響而升高? 2. Safety Siren Pro Series 3 偵檢器也是和 SARAD 一樣使用半導體偵測嗎?還是以其他原理，請解釋，若測阿伐核種半導體計測腔有抽真空嗎?	1. 會升高. 2. 不一樣. Pro-Siren 3 使用 Ion Chamber (便宜) 若半導體只測阿伐信號，不需要抽真空

期末報告審查意見

編號	審查意見	回覆
1	WHO 室內氬氣手冊中，建築業安裝預防氬氣累積的設施是否有具體名稱?	使用強制換氣或自然通風設備為主，阻絕方法為輔。
2	ICRP126 號報告中，建築物或場所管理來控制氬暴露，是否有具體管理方式?	具體管理方式以增加通風率和阻絕建材表面氬氣逸出為主要方法。

3	<p>本研究前兩年測量結果，共有 9 戶大於 100 貝克/立方米，是否有作原因分析？通風不良造成的比例有多少？若依 Safety Siren Pro Series 3 測量氡氣子核的原理推論，是否市售空氣清淨機(高效能)，可以有效降低密閉空間的氡氣測量值？可以實測一下嗎？</p>	<p>1. 研判主要因為通風不良，在通風不佳的狀態下，台灣的混凝土建築室內氡活度可達 200 貝克/立方米左右。</p> <p>2. 空氣清淨機只能減少附著在懸浮微粒的氡子核活度，對氡活度沒有影響。</p> <p>3. 目前無測量氡子核機器可以做測量。</p>
4	<p>以上 3 項設施、管理方式或空氣清淨機是否值得作為本計畫結論之推薦預防氡暴露之方法？本計畫是否有完整的預防方法推薦給住戶？</p>	<p>建議增加通風率，其效果最佳。其次，選擇鈾系列天然放射性較低的建材，也可預防氡暴露。空氣清淨機也可作為減緩氡暴露的設備。</p>
5	<p>本案為期末報告，p11 最後一段請確認。</p>	<p>已確認，謝謝。</p>
6	<p>校正值 40-150Bq/m³，量測平均值約 20 Bq/m³，應說明數據可靠性。</p>	<p>與校正結果呈線性關係，數據應屬可靠。</p>

7	<p>應提供 108 戶測量數據結果相關統計分析及說明。</p>	<p>已補充，謝謝。</p>
8	<p>第 22 頁第 3 點：由於大多數的氬暴露發生在居室內，該策略應從公眾衛生的角度描述居室內氬暴露請問居室內是什麼意思？</p>	<p>為”居家室內”之筆誤，已更正，謝謝</p>
9	<p>第 25 頁地 2 段第 3 行：ICRP-126 號報告已經依新的流形病學請更正流形病→流行病</p>	<p>已更正，謝謝</p>
10	<p>第 4 頁第 2 段：本計畫開始於 105 年 3 月，依規畫進度 3 月底已經完成住宅室內氬抽氧與測量方法之建立第 26 頁第 2 段：本計畫於 105 年 4 月開始，依規畫進度，4 月份已經完成住宅室內氬抽樣與測量方法之建立，請問何者日期正確？</p>	<p>已統一修改為 3 月，謝謝</p>

11	第 4 頁第 6 行敘述與第 11 頁第 9 行、第 26 頁第 11 行敘述有相異處，請確認更正。	已改正，謝謝
12	第 6 頁第 7 行“每小時”是否為“兩天或 48 小時”	機器為每小時做紀錄，48 小時後才會顯示平均數據。
13	第 6 頁第 10 行“原能會”是否為“美國”	原能會所訂與美國相同，故不需要更改，謝謝
14	第 26 頁第 11 行“截至 6 月”是否為“截至 10 月”，且內容須確認更正。	已更正，謝謝
15	建議提供 105 年 108 戶之資料表單及綜合 103-105 年資料表單以驗證、結論資料數據。	住戶資料因涉及個資，將另以電子檔提供參考，但請勿外流。

8. 參考文獻

AGIR (2009), Radon and Public Health, Report of the independent Advisory Group on Ionising Radiation, Doc HPA, RCE-11, 1 - 240. Available at www.hpa.org.uk

BRE (Building Research Establishment) (2007), Radon: guidance on protective measures for new buildings. Report BR211. London, CRC Ltd.

Ching-Jiang Chen, Pao-Shan Weng and Tiech-Chi Chu, 1992, Radon Concentration in Two Largest Cities in Semitropical Taiwan. J. Radiat. Res, Vol. 33, pp. 133-140, Japan. 著作編號: 091493-09283014-X04

Ching- Jiang Chen, Chi-Chang Liu, and Yu-Ming Lin, 1996, Diurnal Variation of Radon Progeny in Indoor and Outdoor Air of a Subtropical City", Environment International, Vol. 35, Supp. 1, pp. S723-S728 °

Ching-Jiang Chen, Chi-Chang Liu and Yu-Ming Lin, 1998, Measurement of Equilibrium Factor and Unattached Fraction of Radon Progeny in Kaohsiung, Taiwan, Appl. Radiat. Isot. pp. 1-6.

COMARE (Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment) (2007), COMARE recommendation regarding radon in homes, Letter to the Department of Health and the Department for Communities and Local Government, Reproduced in HPA Advice on Radon Protective Measures in New Buildings, Paper presented to HPA Board Meeting, May 2008. Radon in new buildings (B), Available at www.hpa.org.uk.

EC (1990), Commission Recommendation of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon, 90/143/Euratom, Off J Eur Commun, L080, 27/03/1990. Available at <http://eur-lex.europa.eu>.

GB Parliament (1999), The Ionising Radiations Regulations 1999, Statutory Instrument 1999 No. 3232. Available at www.opsi.gov.uk.

George, A. C., (2015), THE HISTORY DEVELOPMENT AND THE PRESENT STATUS OF THE RADON MEASUREMENT PROGRAMME IN THE UNITED STATES OF AMERICA.

HPA (2008a), HPA Advice on Radon Protective Measures in New Buildings, Paper presented to HPA Board Meeting, May 2008.

Radon in new buildings (B), Available at www.hpa.org.uk.

HPA (2008b), Application of the 2007 Recommendations of the ICRP to the UK, Advice from the HPA, Doc HPA, RCE-12, 1 - 68. Available at www.hpa.org.uk.

HPA (2009), HPA Advice on the Limitation of Human Exposure to Radon, Consultation Document, Available at www.hpa.org.uk.

HPA (2010), Limitation of Human Exposure to Radon, Advice from the HPA, Doc HPA, RCE-15, Available at www.hpa.org.uk.

IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Requirements, DS379, January 2014. Available : <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1651Web-62473672.pdf>

IAEA(2015), Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation , Jointly sponsored by the IAEA, WHO, Specific Safety Guide, No. SSG-32,

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

VIENNA.

ICRP (1993), Protection Against Radon-222 at Home and at Work.

ICRP Publication 65. Ann ICRP, 23(2).

ICRP (2007), Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103. Ann ICRP, 37(2 - 4).

ICRP (2009), International Commission on Radiological Protection Statement on Radon, ICRP Ref. 00/902/09, Available at www.icrp.org

ICRP (2014) Publication 126, Radiological Protection against Radon Exposure, Ann. ICRP 43(3). ICRP, Viena.

Available at

<http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20126>

Marsh, James W.*; Harrison, John D.*; Laurier, Dominique†; Blanchardon, Eric†; Paquet, François†; Tirmarche, Margot†, 2010, Dose Conversion Factors for Radon: Recent Developments , Health Physics: Volume 99 – Issue 4 – pp 511–516
UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) (2009), Effects of Ionizing Radiation, Volume II, Annex E: Sources-to-effects assessment of radon in

homes and workplaces. UNSCEAR 2006 Report, New York, United Nations. Available at www.unscear.org.

WHO (2009), WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. Geneva, World Health Organization. Available at www.who.int/en/.

陳清江，劉祺章，林友明，1994，台灣地區室內外氡活度之調查研究，核子科學，31 卷 (2)期，117-128，台北。著作編號：

051094-10023012-X04

劉祺章，黃富祈(2010)，國際氡氣防護標準共通化建立趨勢介紹，輻防簡訊，102 期，台北。

9. 附錄一、2005 WHO 國際氡氣計畫問卷調查報告

此為有關於氡氣指引、計畫、與活動的問卷

摘要

在 WHO 國際氡氣計畫的架構下，2005 年 WHO 針對其會員國主導一項室內氡氣的問卷調查，本報告包含 36 個國家回應這項問卷的細節。

問卷的資訊提供被設置在不同國家的平均氡含量，以及對氡氣行動/參考基準，行動基準的數值顯示在一個很寬的範圍，不過，最頻繁的氡氣濃度的行動基準介於 100 到 400Bq/m³。許多國家都對新建築選擇了比現有建築更低的行動基準。

此外，關於氡氣測量的問題以及減輕和預防方針也是本問卷的一部分。許多有關氡氣風險溝通的活動和方案被參與國報導，但只有部分國家已評估此項活動。

內容

簡介與背景

第一節 指引

第二節 氡氣水平

第三節 測量、減輕和預防

第四節 氡氣風險：溝通及認知提升

從問卷摘取的細節數據

附件：原始細節問卷

圖索引

圖 1：室內行動基準或參考基準的存在

圖 2a：現有建築的行動（參考）基準

圖 2b：新建築的行動（參考）基準

圖 3：新住宅的建築規範

圖 4：用於國家的偵測器類型

圖 5：風險溝通活動的評估

簡介與背景

氡氣計畫中問卷的細節觀點寄給全世界的國家及科學家，利用於國際氡氣計畫(International Radon Project (IRP))參與者的網絡和 192 個會員國，透過 WHO 回應的全球化迷你問卷。對於此問卷調查，192 個國家中有 75 個會員國答覆，且有 45 個國家回應指出在他們國內有一些相關氡氣活動。

完整的調查問卷寄至 45 個積極回應迷你問卷的國家，36 個國家提供所有或部分問題細節資訊，一個國家（賽普勒斯）指出他們沒有持續地

參與氡氣計畫，但是以前就評估過國家的氡氣情形。對於問卷中不同部分的簡短摘要伴隨有關的細節數據提供如下。

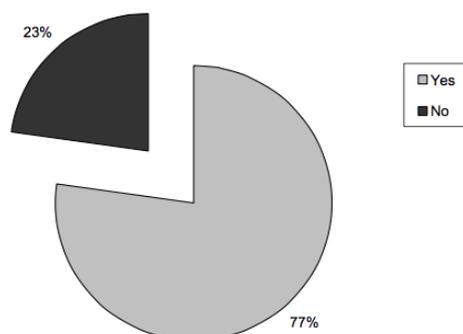
第一節 指引

氡氣的行動基準（35 個國家的回答）

問卷調查主要針對國家現存的氡氣活動，這些國家有超過3/4存在行動基準，現存住家的行動基準大多在 200 到 400Bq/m³的範圍；只有少數回應國家訂定新建築的行動基準在 200Bq/m³ 的範圍。對於既存建築，只有少數回應國家訂定自願的行動基準，對新建築有較多國家訂定義務的行動基準。至少有 4 個國家（丹麥、芬蘭、挪威、英國）對新建築訂有義務的行動基準。德國和美國的行動基準值最低，分別為 100Bq/m³和 148Bq/m³（來自厄瓜多爾的數據有些許矛盾），最低值為德國，但目前還不具法律效力。圖 1 顯示有室內行動或參考基準的國家占 77%。

圖 1：室內行動或參考基準的存在

Figure 1: Existence of action or reference levels for indoor radon



有訂定義務行動/參考基準的國家，當被發現有超過相關基準時，備有廣泛的對應活動，這出現在只有少數國家的特定活動要開展，那裡常有幾個公共機構包含建議屋主和指南/評估減輕行動。

緩解後指定的目標基準通常設置為低於國家有關的參考基準，不過有幾個國家並未指定如此的基準。一些國家，如挪威和瑞士為新建築物的減輕、裝修或預防措施定義相對較低的目標基準（分別為 50 和 $100\text{Bq}/\text{m}^3$ ）。表一、為 2005 年調查各國既有的行動基準，圖 2. 為新、舊建築的行動（參考）基準值。

圖 2a：現有建築的行動（參考）基準

Figure 2a: Radon action (reference) levels in existing buildings (Bq/m^3)

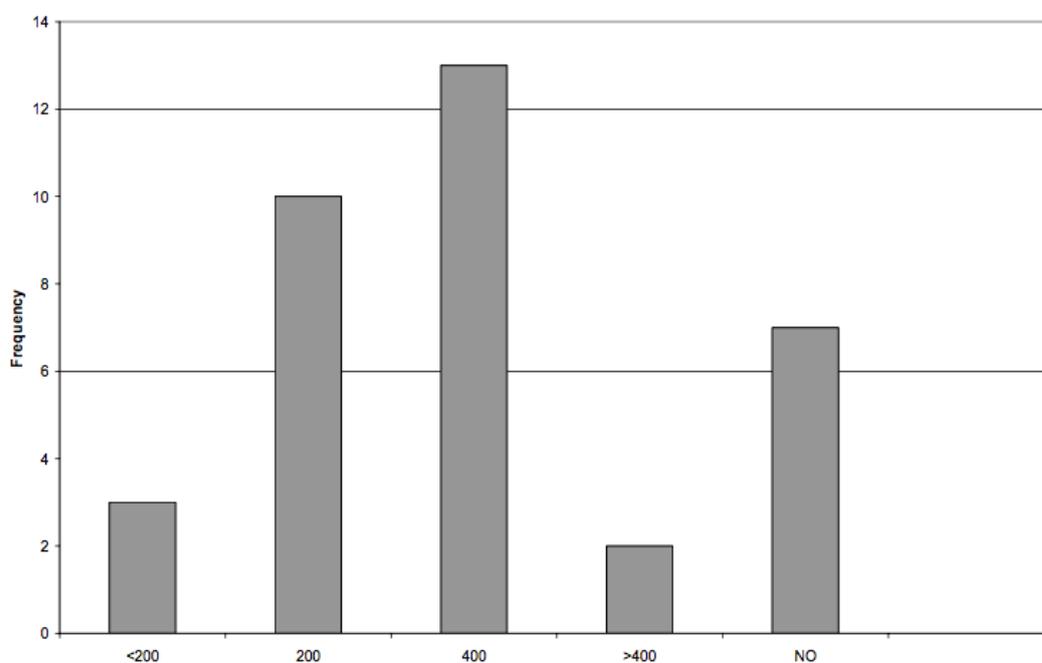
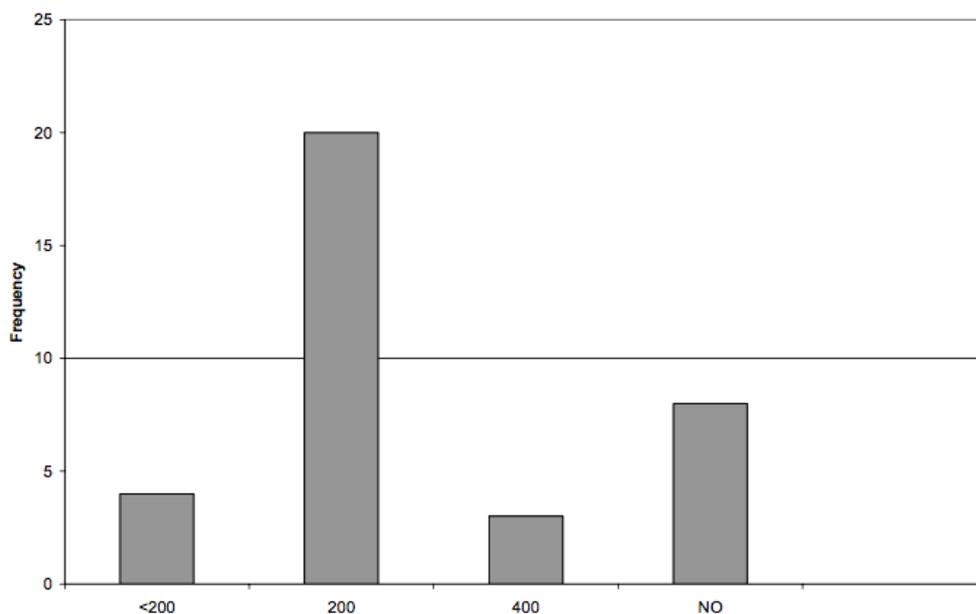


圖 2b：新建築的行動（參考）基準

Figure 2b: Radon action (reference) levels for new buildings (Bq/m³)



Note: < 200 Bq/m³ includes Germany (new legislation planned)

表一、2005年調查各國既有的行動基準

Q1調查計劃 有(y) 無(n)

Q2行動動基準 有(y) 無(n)

Q2a給已存在的建築物

Q2b給未來的建築物

編號	國家	Q1	Q2	Q2a	Q2b
1	阿根廷	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
2	奧地利	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
3	巴西	y	n	-	-
4	比利時	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
5	保加利亞	y	y	500 Bq/m ³ (250 EEC) vol. 存在	200 Bq/m ³ (100 EEC) vol
6	加拿大	y	y	正在修訂800 Bq/m ³ ; 新: 200 Bq/m ³ vol	800 (200) Bq/m ³ vol.

7	中國	y	y	住家：400 Bq/m ³ . 公司：1000 Bq/m ³	200 Bq/m ³ .
8	捷克共和國	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
9	丹麥	y	y	200 Bq/m ³ vol., (分類指導 < 400 Bq/m ³ vs. > 400 Bq/m ³)	200 Bq/m ³ vol., 強制密閉施工
10	厄瓜多爾	n	-	100 Bq/m ³ (min) 強制 400 Bq/m ³ (max)	強制
11	芬蘭	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ 強制
12	法國	y	(n)	選定的公共建 築：400 Bq/m ³ 強 制	
13	喬治亞	y	y	200 Bq/m ³ 強制	100 Bq/m ³
14	德國	y	y	100 Bq/ m ³ vol.	100 Bq/ m ³ vol.
15	希臘	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
16	愛爾蘭	y	y	200 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
17	義大利	y	n	-	-
18	日本	y	n	-	-
19	韓國		n	-	-
20	吉爾吉斯坦	y	y	<200 Bq/m ³	200 Bq/m ³
21	拉脫維亞	y	y	200 Bq/m ³ vol, 600 Bq/m ³ 強制	200 Bq/m ³ 強制
22	立陶宛	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
23	摩洛哥	y	y	(劑量限值如 IAEA-BSS 規定) vol.	(與現有的無差異 - 建構中)
24	荷蘭	y	y	-	30 Bq/m ³ (vol.) 一 年內新建築平均 超標的話將會有 新規範
25	挪威	y	y	200 Bq/m ³	200 Bq/m ³ 強制 更高級別(建設、 規範)
26	巴拉圭	n	-	-	-
27	祕魯	n	y	住家：200-600 Bq/m ³ 公司：1000	-

				Bq/m ³	
28	羅馬尼亞	y	y	400 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ vol.
29	俄羅斯	y	y	現有房屋補償： 400 Bq/m ³ 新規：200 Bq/m ³ (100 Bq/m ³ Rn EEC)	200 Bq/m ³
30	斯洛伐尼亞	y	y	住宅：400 Bq/m ³ vol.; 學校及幼兒 園：400 Bq/m ³ 強 制; 企業：1000 Bq/m ³ 強制	同現有建築
31	西班牙	y	n	-	-
32	瑞典	y	y	200 Bq/m ³ 強制	200 Bq/m ³ 強制
33	瑞士	y	y	1000 Bq/m ³ 強制	400 Bq/m ³ 強制
34	英國	y	y	200 Bq/m ³ vol.	200 Bq/m ³ 強制
35	美國	y	y	148 Bq/m ³ vol.	148 Bq/m ³ vol.

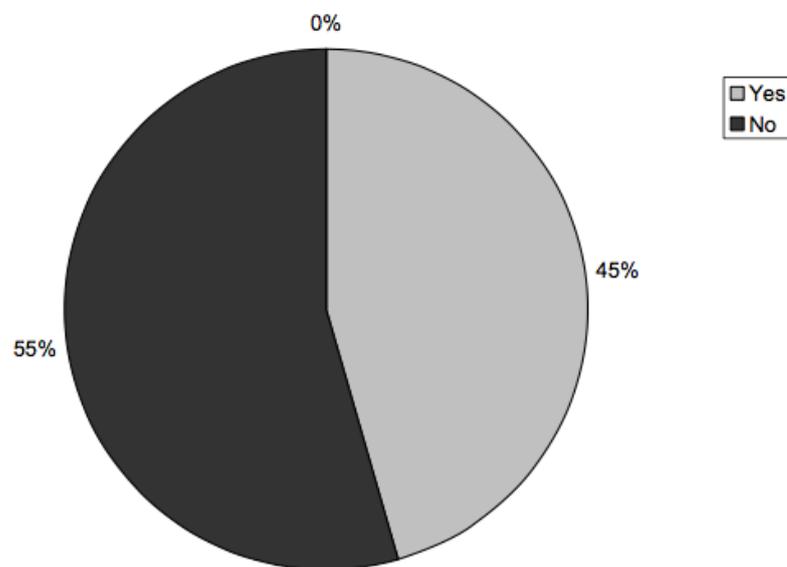
芬蘭、捷克共和國、吉爾吉斯斯坦、拉脫維亞、挪威、瑞典和瑞士是少數幾個認為存在行動基準和氡氣減緩措施是有道理的國家，限時完成補救措施的架構十分的少見，芬蘭規定當實際氡氣被發現大於 5000Bq/m³ 時，在短期內要進行修復。瑞士則一般允許擁有高氡氣濃度的現存建築在幾年內完成改善。

33 個國家中有 15 個國家回應指出他們有到位的新建築建築法規，極少的國家進行這些法規影響的科學評定，其原因指出對降低室內氡氣濃度的正面效果，有些國家（9%）對新建築氡的測量列為強制性檢測的一部分。

氬氣減緩和預防的工作的經費主要為屋主負擔，在極少數國家，特別是捷克共和國和比利時擁有國家補助計畫。

圖 3：有新住宅的建築規範比例為 55%

Figure 3: Building codes for new dwellings



同樣的議題，目前要求新建築的購買或銷售提供氬氣數據並不普遍。然而，在有關新建築氬氣交易提供氬氣測量資訊的國家的比例（ 6/29 ）比對於現存建築物的比例大（ 2/29 ）。

第二節 氬氣水平

32 個國家提供氬氣水平的資訊，不過有些國家的給定值可能不具代表性，因為他們以小研究或特定區域為基礎。氬氣基準的變化在全球是

眾所皆知的，且調查包含國家住宅平均氡氣濃度大約或高於 $100\text{Bq}/\text{m}^3$ (例如：捷克共和國、愛爾蘭) 和國家擁有偏低的氡氣水平 (例如：日本、英國)，也有主要國家變化值並未捕捉到好的單一平均值。數據中，26 個國家的室內平均氡氣濃度代表水平約為 $64.3\text{Bq}/\text{m}^3$ 。表 2、詳細彙整全球氡氣水平。

表 2、2005 年調查全球氡氣水平

Q9 平均室內氡氣水平

Q10 變異數

Q11i op. 超過 $100\text{Bq}/\text{m}^3$ 的比例

ii Pop. 超過 $150\text{Bq}/\text{m}^3$ 的比例

iii Pop. 超過 $200\text{Bq}/\text{m}^3$ 的比例

iv Pop. 超過上述國家行動基準的比例

編號	國家	Q9	Q10	Q11i	Q11ii	Q11iii	Q11iv
1	阿根廷	$40.5\text{Bq}/\text{m}^3$ (到今天為止的 2631 住宅) (參考文獻)	N/A	5%	2%	0.5%	0.2%
2	奧地利	$99\text{Bq}/\text{m}^3$ (參考文獻)	N/A	30%	18%	12%	4.4%
3	比利時	$53\text{Bq}/\text{m}^3$	N/A	11%		4%	1%
4	保加利亞	--; 高氡氣區域 $250\text{Bq}/\text{m}^3$	N/A	-	-	-	-
5	巴西	測試中。(de Janeiro and Pocos de Caldas 提供兩篇在里約的氡氣初步評估報告)	N/A	-	-	-	-
6	加拿大	$45\text{Bq}/\text{m}^3$	N/A	7.6%	4.4%	2.7%	0.12%
7	中國	$43.8\text{Bq}/\text{m}^3$ (1999-2005 年調查 3098 住宅)	(採樣率) $0.09/10^4$	6.4%	-	0.7%	0.7%
8	捷克	$118\text{Bq}/\text{m}^3$ (參考文獻)	36% (研究下的)	40%	20%	12%	2%

			結果)				
9	厄瓜多爾	(值需要再確認)	-	-	-	-	-
10	芬蘭	120 Bq/m ³ (參考文獻)	36 & 62%	-	-	12%	-
11	法國	90 Bq/m ³ (參考文獻)	N/A				
12	喬治亞	Est. 缺 (查看更多訊息)	N/A	-	-	-	-
13	德國	49 Bq/m ³ (參考文獻)	~30% (no ref.)	6.67%	2.88%	1.63%	-
14	希臘	55 Bq/m ³ (參考文獻)	N/A	-	-	3.1%	-
15	愛爾蘭	91 Bq/m ³ (參考文獻)	N/A	~26%	~14%	~7%	-
16	義大利	70 Bq/m ³	17% (來自病理研究)	17.5%	7.9%	4.1%	-
17	日本	15.5 Bq/m ³ (參考文獻)	N/A	-	-	-	-
18	韓國	54.3 Bq/m ³ (參考文獻)					
19	吉爾吉斯斯坦	Est. 缺	N/A	-	-	-	-
20	拉脫維亞	70 Bq/m ³ (不是年平均; 1993-94 年調查 300 建築物, 參考文獻)	N/A	-	-	4% (200- <400)	4%
21	立陶宛	32 Bq/m ³ (55 戶獨立屋 & 19 戶住宅)	8%	3%	-	-	-
22	荷蘭	25 Bq/m ³ , 無特定文獻	Est.缺	5%	2%	0%	-
23	挪威	89 Bq/m ³	N/A	-	-	9%	-
24	秘魯	Est. 沒有效用	N/A	-	-	-	-
25	羅馬尼亞	-50 Bq/m ³ (參考文獻) -特蘭希瓦尼亞~80-90 Bq/m ³ , 軌道探測器測量:~200 戶房子; Stei區(~24000 居民): ~280 Bq/m ³	冬天/夏天 =2 (ref given)	-	-	-	-
26	俄國	50-60 Bq/m ³ , 包括 Moscow, Sverdlovsk, Chelyabinsk 登區域更 詳細的數據	N/A	-		5%	1-1.5% (這裡 行動水 平為 400)
27	斯洛伐尼亞	87 Bq/m ³ (參考文獻)	N/A	-	-	5.7%	2%
28	西班牙	45 Bq/m ³ (參考文獻)	30%	-	-	4%	-

			(預備文章)				
29	瑞典	108 Bq/m ³ (參考文獻)	N/A	29%	19%	10-13%	-
30	瑞士	75 Bq/m ³	N/A 未來將會分析	14%	-	6%	0.25%
31	英國	20 Bq/m ³ (參考文獻)	41%	23%	0.9%	0.4%	-
32	美國	1.3 pCi/L = 48 Bq/m ³	-	-	-	-	-

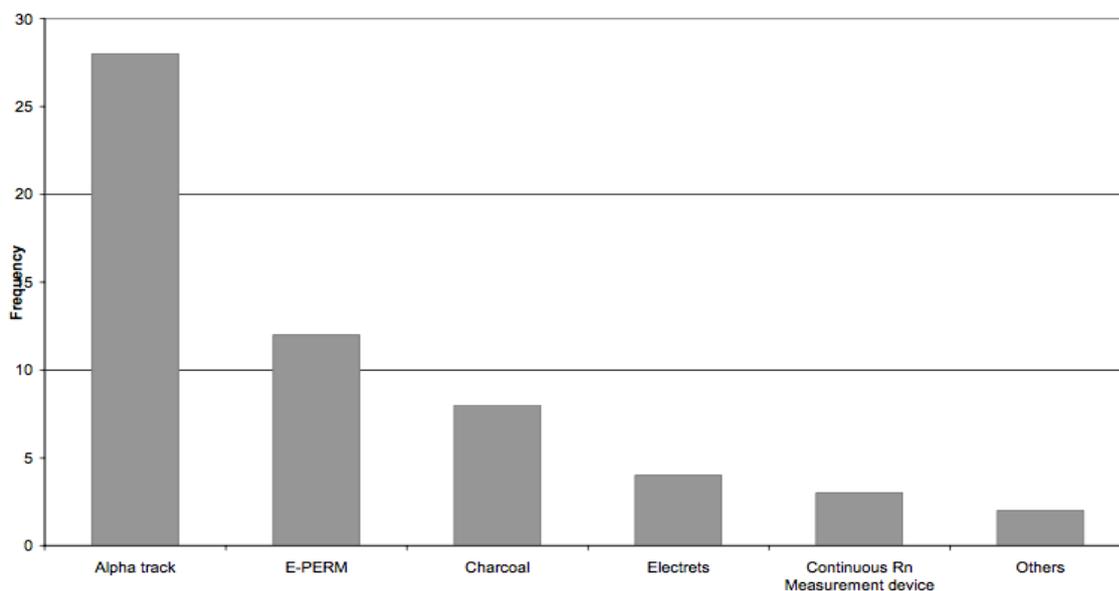
第三節 測量、減輕和預防

33 個國家，用於氡氣測量的偵測器主要類型是可取得有用的資訊，偵測器不只一種型態， α 徑跡法是被多數國家所廣泛使用的，少於一半的參與者報導在他們國家販賣的偵測器有正確性及準確性的需求。圖 4 彙整用於各國家的氡氣偵測器類型。

土壤氡氣是比井水、地下水流溢或建築材料的室內氡更重要的來源，十五分之十三的國家回答他們國家氡氣減緩的技術，指出他們運用混合的方式，利用主動的土壤氣體降壓是最廣泛使用的方式，有兩個國家，阿根廷和荷蘭報導他們使用 100% 的加強通風率。

圖 4：用於各國家的偵測器類型

Figure 4: Types of detectors used in countries



只有 12 個國家指出有氡氣減緩和預防的標準與指南，大部分的國家在新建築有特定的氡氣減緩指南/標準。來自 13 個國家報告指出，已經檢查了有關他們國家氡氣政策的成本效益，這項結果還有兩個國家尚未發佈。

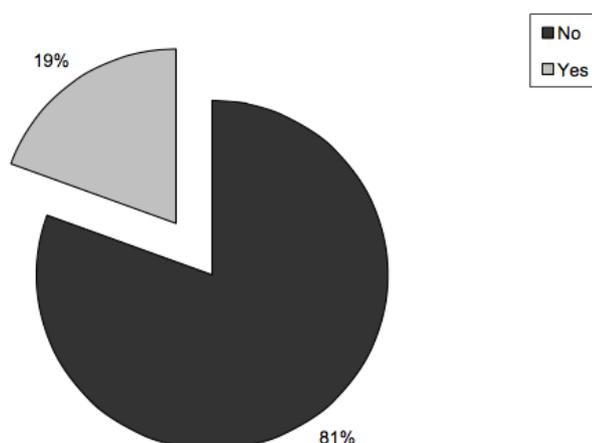
第四節 氡氣風險：溝通及認知提升

幾乎所有答覆問卷的國家報告已經有各種形式針對氡氣風險的溝通活動，例如大眾傳播媒體。在氡氣含量較高的住家地區、專業團體和政府機構，使用的方法從單張，小冊子，雜誌，視頻，電視到網際網路而

有所不同，有 6 個國家，報導評估特定氬氣的活動。風險溝通活動的評估如圖 5 所示。

圖 5：風險溝通活動的評估

Figure 5: Evaluation of risk communication activities



在瑞典，地方當局已說會增加氬氣測量活動。10 個國家評估了廣大市民對氬氣風險的看法和態度，報告顯示不同的結果。在捷克共和國，只有 25% 的並未聽說過氬氣，75% 的人確信它的風險，雖然有 10% 不確切知道為什麼。比利時的研究顯示，回應者一般了解氬氣風險，且將其列為次要風險，但有四分之三非常重視建立於氬氣之上的健康風險問題。在瑞士缺乏氬氣相關的報導，在荷蘭則是一個缺乏關注的議題，在挪威，將信件給屋主和來自當地報紙的資訊則是重要的管道。另一方面，英國

有一半的屋主並不瞭解氬氣，長者、退休民眾跟高薪團體對此可能比較有興趣，補救的成本被視為一個很大的障礙。

10. 附錄二、 ICRP-126 報告主要內容摘要

ICRP-126 報告內容摘要如下 29 項：

(a) 本出版物的目的是闡明和指導如何做好住家、工作場所以及其他類型場所中公眾和工作人員氡 222 和氡 220 暴露的防護工作。

(b) 氡 222 是鈾 238 的放射性衰變產物，它普遍存在於地殼，各地濃度不同。因為氡氣是一種氣體，它能夠從土壤移動到室內。這種移動是依建築物 and / 或位置的類型而異。氡 220 是釷 232 的放射性衰變產物也存在于地殼中。氡 222 和 220 也可能來自一些建築材料。氡在建築物的濃度變動可達幾個數量級。

(c) 因為氡是惰性氣體，幾乎所有被吸入的氣體隨後會被呼出。然而，當被吸入時，短半衰期的氡子核種可以在呼吸道內沉積。依附著顆粒的擴散性能（氣溶膠的粒度分佈），存在空氣中的衰變產物沉積於鼻腔、支氣管壁，以及肺部深處。其中兩個短半衰期的子核種，釷 218 和釷 214，發射 α 粒子存積的能量可能導致罹患肺癌之機率升高。

(d) 委員會分析工人（井下礦工）和一般人群（ICRP-103，2011）做了一個詳盡的審查和氡的流行病學的分析。現在有令人信服的證據顯示氡及其子核種會導致罹患肺癌。對於肺癌和白血病以外的實體腫瘤，目前沒有令人信服的或一致的證據證明與氡和氡子核過量暴露相關。基於輻

射防護目的，委員會現在建議針對成年人包含有抽菸與不抽菸者暴露於氡-222 的標稱風險係數為 8×10^{-10} 每小時貝克每立方米，(指氡與子核平衡的狀態下，即 5×10^{-4} 每 WLM)，這大約是兩倍於先前 ICRP 65 委員會使用的風險係數值。

(e) 氡暴露情境屬於既存暴露情境，因為來源為地殼中普遍存在的天然活度。與戶外的背景相比，人類的活動會創造或修改增加室內氡暴露的途徑。這些途徑可以透過預防和改善措施加以控制，但是來源本身不能被修改。然而，有些工作場所可能從一開始就被國家主管部門認為是歸屬為計劃暴露的情境。這樣的工作場所可能包括與核燃料循環有關的鈾礦開採與提煉。

(f) 氡不太可能引起緊急暴露情況，即使如此，當在一個地方發現非常高濃度時，可能需要迅速實施防護措施。

(g) 本報告秉承出版 103 號 (ICRP, 2007) 與出版 60 號 (ICRP, 1991 年) 報告的精神，推薦一個對所有暴露情境類型的管理一致的方法。這種方法是基於使用適當的個人劑量限制措施的優化原則：劑量約束或參考水平。優化涉及努力減少劑量在遠低於約束或參考水平是合理可行，而不論暴露的初始水平。

(h) 每天在住家和工作場所中的生活不可避免地導致一些氡氣的暴露。與許多其他既存的暴露情境比較，氡暴露可以很不均勻，暴露水平高度依

存於個人的行為，因此個人的自救防護措施是關鍵因素。暴露情境特性的前提條件是其管制。國家氬暴露管理應解決的一些問題（如環境，健康，經濟，建築，教育）涉及廣泛的利害關係人。

(i)室內氬暴露管制帶來很多挑戰。當個人在同一區域移動時，氬氣防護策略應該由國家相關部門制定，並在不同地點實施一致的和綜合的方式。一般情境下氬暴露大多發生在家裡，從公共健康的角度來看，氬氣防護策略應針對住宅的暴露。在許多建築物內，氬的水平可以是遠遠高於所顯示的潛在健康風險濃度，並承諾要降低一般人群體暴露和個人最高暴露。該策略應該是直截了當的、長期的支持和實施，用與其他健康危害因子的防範相較合理的規模，並涉及所有利害關係人。

(j)全國氬防護策略還必須解決這些挑戰的責任，這些責任包括個別屋主對居住者、建造者或銷售者對買者、房東對房客和雇主對員工，以及一般的建築物負責人對其用戶。所有這些因素都是對強制執行氬策略的潛在衝擊。

(k)職責範圍推動了一個基於有效性和真實性的氬策略。任何氬防護策略應著眼於維護或降低氬濃度的水平至可合理達成的低，記住，想要完全消除室內氬是不可行的。

(l)該委員會認為，在大多數情境下，一個國家氬氣防護策略是正當的，氬是普遍存在的；它代表輻射暴露的顯著來源，是僅次於吸煙的第二大致

肺癌原因；在大多數情境下，是可以控制的。氡氣的防護策略也可以與其他的公共衛生政策產生積極影響，例如吸煙控制和室內空氣品質管制。國家當局制訂和實施之氡防護策略需考量公共衛生的優先事項以及社會和經濟因素的考慮下，包括氡氣濃度普查和鑑定氡易發地區的評估情境。儘管來自氡暴露引起的肺癌絕對風險吸煙者是顯著大於不吸煙者，但是委員會為防護氡的建議並沒有區別吸煙者和非吸煙者。

(m) 暴露情境也是應用程序優化原則的前提條件。這一原則是維持或減少氡暴露水平低至合理可行的驅動力，以目前的經濟和社會環境考慮氡暴露水平。與其它輻射源的管制一樣，委員會建議使用射源關聯的個人劑量的限制並與防護的最優化連結。

(n) 與其他輻射源的防護一樣，應用最優化的過程，建立劑量和推導濃度之參考水平是有關國家當局的責任。其目的是基於公平化的原則，既減少總體風險也降低個人的最大風險因子。考慮在這兩種情境下，該過程主要是實現透過建築物的管理而不是個人暴露的管理，因此應考慮周圍室內氡濃度依循合理抑低原則並低於全國參考水平。

(o) 氡暴露只能透過暴露途徑的行動來管制。如此，個人可以獲得利益並應給予個人適當防護，以減少他們的劑量。鑑於這些考慮，適當的參考水平應相當於年劑量在 1-20 毫西弗的天然既存輻射劑量範圍內，此為委員會所建議對既存暴露之情境（ICRP，2007 年，表 5 如附註）。針對氡

暴露基準，委員會認為應該保持 65 號出版物（ICRP，1993）所建議的 10 毫西弗/年數量級。

附註：2007 年 ICRP-103 有關劑量約束值和參考基準的架構

劑量範圍 (mSv)	暴露狀況的特徵	輻射防護的要點	舉例說明
20-100	來自不可控輻射源的曝露或減小劑量的對策不平衡、難進行的狀況	<ul style="list-style-type: none"> • 要減小劑量 • 要提供降低個人危險度的措施的資訊 • 要做個人劑量評估 	緊急時的參考基準
1-20	對個人有直接利益，但不是對曝露本身。控制輻射源或控制曝露路徑	<ul style="list-style-type: none"> • 需要減小劑量時，給個人提供一般資訊 • 計畫暴露狀況 	<ul style="list-style-type: none"> • 計畫曝露狀況下的直接曝露的約束值 • 服用放射性

		<p>況下，實施個人監測</p>	<p>藥劑的患者或協助者和護理人的約束值</p> <ul style="list-style-type: none"> 室內氬的參考基準
1 以下	<p>對個人幾乎無益，但對社會全體有益。事前可有計畫地控制輻射源</p>	<ul style="list-style-type: none"> 提供曝露水準的資訊 按曝露水準，定期確認曝露路徑 	<ul style="list-style-type: none"> 計劃曝露狀況下的公眾曝露的約束值

(p)因為大部分氬的控制措施應用於建築物，因此應適當的建立空氣中氬的參考水平，這是一個可測量的濃度，表示為貝克每立方米。在 103 報告 (ICRP, 2007)，委員會建議住家氬的參考水平上限值為 600 貝克/立方米，工作場所為 1500 貝克/立方米。為了因應其 ICRP-115 號 (ICRP, 2010) 出版物依流行病學調查結果，標稱危險係數的增加大約 2 倍，委員會降低上述參考水平為住家 300 貝克/立方米。如果住家氬氣濃度為

300 貝克/立方米相當於年劑量大約為 10 毫西弗，這是根據修訂後的標稱危險係數修定 (ICRP, 2010)。在氡的聲明還提到了 1000 貝克/立方米的水平作為職業輻射防護的切入點，以取代原訂的 1500 貝克/立方米。

(q)在對氡的聲明中，該委員會還表示打算參考生物動力學和劑量學模型計算其氡及其子核攝入量，發佈的劑量係數將加倍。基於新的肺部劑量參數，300 貝克/立方米相當於 20 毫西弗/年，但還在 1-20 毫西弗/年的容許劑量範圍內。

(r)對於氡氣防護策略的實際執行情境，委員會繼續推薦 300 貝克/立方米為氡-222 在住宅參考水平的上限值。考慮目前的經濟和社會狀況，該委員會強烈建議國家相關部門建立全國合理可行的參考水平是在 100-300 貝克/立方米的範圍內。這與國際放射防護委員會 (ICRP, 2010) 和世界衛生組織室內氡手冊 (WHO, 2009) 的聲明一致。在評估是否符合參考水平時，測量結果應該是代表氡氣在建築物或場所內的年平均濃度。

(s)為簡單起見，考慮到個人在同一個區域來往的日常生活中，基於同樣的防護基礎上，委員會建議在公眾和工作人員混合用途的建築物中，同樣使用的 300 貝克/立方米的上限值。

(t)該委員會目前建議分級方案應適用於氡風險的控制。在這種方法中，氡防護策略應該鼓勵相關的決策者先擬訂一個計劃，以促進例如測量或

整治的自助防護措施，，這個過程可以通過資訊、諮詢、協助等，並在必要時，更正式的執行需求。這些執法的各種動作的使用和程度應取決於對國家氬防護策略的決心與法律責任的位階。

(u)具體的分級方案應為工作場所的防護措施，以 1000 貝克/立方米為職業暴露防護的基本要求。當工作人員暴露於氬氣不視為職業暴露時（如辦公大樓），第一步是降低氬的濃度水平為和住宅一致的合理抑低參考水平。相應的年劑量通常比住宅低，因為在工作場所花費的時間通常比在家花的時間更少。如果有困難而無法滿足第一步驟，一個更實際的方法，建議作為第二步驟，其中包括使用暴露情境的實際參數，例如佔用因數的優化，連同 10 毫西弗年劑量的參考水平。

(v)如果儘一切合理的努力，以減少工作場所的氬暴露，結果仍然超過上述的劑量參考水平，工人應被視為職業暴露。在這種情境下，委員會建議申請職業暴露（ICRP，2007 年，第 5.4.1 節）的有關要求。

(w)委員會還建議同樣的要求被應用在某些工作場所，其中，從一開始，工人暴露於氬氣被國家主管部門認為是職業暴露者。這樣的工作場所可能包括熱溫泉，岩洞，以及其他地下工作場所。

(x)不管是否把工人認定為職業暴露，他們的暴露應低於既存暴露情境範圍的上限值（20 毫西弗/年）。當國家主管部門認為，氬暴露的情境應該是以有計劃的暴露情境進行管理時，應該使用職業暴露劑量限值。

(y)為確保有效，國家氬防護策略應該建立一個長遠的眼光。顯著減少氬的風險的過程，一般人群通常需要幾十年的持續的努力，而不是幾年。該委員會特別澄清，應區分未來建築物和既存建築物進行不同的預防措施，目的是對未來建築物基於合理抑低原則保持暴露的水平是低的，在目前情境下可以合理實現。對於既存建築物則進行改善措施，旨在減少既存暴露水平至合理可達成的低。

(z)因此，氬氣防護策略應包括預防措施。無論在室內的位置，個人的佔用類別，及暴露情境的類型，有可能透過在建築物的規劃、設計和施工階段考慮氬暴露的問題，以解決氬暴露。預防措施是通過對新建築的土地規劃和建築規範實施，並包含翻新舊建築。這也意味著在與有關的建築，如室內空氣品質和節約能源等戰略，以發展協同作用，避免矛盾的氬防護策略的整合。

(aa)國家氬防護策略對解決既存建築和地點的改善部分。盡可能在這種情境下，暴露的控制應通過該建築物或位置以及其使用的條件下修正，不管個人的居佔因數。其主要步驟是先做測量和在需要時採取改善措施，以減輕風險。

(bb)全國氬防護策略應通過國家主管部門與利害關係人的參與下，建立全國氬行動計劃的實施。國家行動計劃應建立一個框架，具有明確的基礎設施，確定優先事項和責任，並說明後續處理氬氣的步驟。根據暴露

的條件，它應確定利害關係人，比如誰是受暴露者和誰應該提供支持或採取行動；解決道德問題，特別是那些與責任相關者；並提供資訊、指導、支持和永續的條件。

(cc)國家行動計劃還應當處理氬測量技術和協議；藉此執行氬活度調查，以確定氬易發地區；提供減少氬暴露量的方法及其在不同情境下的適用性；配套政策包括資訊、訓練和利害關係人的參與，並有效地進行評估。有公眾進出的工作場所建築物的問題也應得到解決，以能反映法律責任的特定分級方案加以解決。國家氬行動計劃應定期被評估和審查，包括推導出的參考水平值。