

輻射防護簡訊 82

中華民國95年12月1日

■ 出版單位：財團法人中華民國輻射防護協會
■ 地 址：新竹市光復路二段295號15樓之1 ■ 電話：(03)5722224 電傳：(03)5722521
■ 編輯委員：王昭平、尹學禮、何 偉、李四海、施建樑、
翁寶山、張寶樹、董傳中、趙君行、蘇獻章 (依筆劃順序)
■ 發行人：翁寶山 ■ 主 編：劉代欽 ■ 文 編：李孝華
■ 印 刷 所：大洋實業社 地址：新竹市建功一路95號
行政院新聞局出版事業登記證局版北市誌字第柒伍零號

□輻防消息報導

▲針對一般人的放射線診療安全問答

(國泰綜合醫院 杜慶燾)

問 1：我前兩天照了 x 光，後來發現懷孕了，怎麼辦？

答：你照的 x 光，如果是胸部、腹部...等一般的 x 光檢查，(而非介入放射線檢查、多切片 CT 檢查)，那麼胎兒的劑量並不大，不會發生放射線效應。因此，不用擔心會對胎兒造成任何的影響，可以繼續懷孕。

說明：

1. 國際放射防護委員會(ICRP)於 1999 年 11 月出版的第 84 號出版物(簡稱 ICRP-84, 下同)的建議：當胎兒劑量低於 100 mGy 時，不應被視為終止妊娠的理由。
2. 放射線對胎兒效應的低限值如表 1 所示。接受放射線診療時胎兒的劑量如表 2 所示。由表 2 可知胎兒所接受的劑量很少，距低限值(100 mGy)還有很大的距離。因此，接受放射線診療對胎兒的影響可說是微乎其微，故可以放心繼續懷孕。
3. 為避免不知道自己懷孕而接受放射線診斷的情形發生，有些專家建議遵守「10 日規則」。10 日規則即為選擇不可能會懷孕的時期(最近月經開始的第 1 天到第 10 天之間)進行放射線診療。「10 日規則」可運用在：
(1)下腹部為照射範圍的 x 光檢查(腹部 CT、腰部 CT、IVP 等)
(2)非緊急性檢查。

註：CT=computed tomography 電腦斷層掃描

IVP=intravenous pyelography 靜脈注射腎盂照相術

表 1-1 胎兒效應的低限值

效應	低限值 (mGy)
胚胎死亡(流產)	100
畸形	100~200
嚴重心智遲緩	>100
發育遲緩	>100

(資料來源：ICRP-84)

表 1-2 放射線診斷時胎兒的劑量(懷孕初期)

檢查		平均 (mGy)	最大 (mGy)
傳統 x 光檢查	腹部	1.4	4.2
	胸部	<0.01	<0.01
	靜脈注射泌尿系攝影	1.7	10.0
	腰椎	1.7	10.0
	骨盤腔	1.1	4.0
	頭部	<0.01	<0.01
	胸椎	<0.01	<0.01
透視攝影檢查	上消化道對比劑檢查	1.1	5.8
	下消化道對比劑檢查	6.8	24.0
電腦斷層掃描	腹部	8.0	49.0
	胸部	0.06	0.96
	頭	<0.005	<0.005
	腰椎	2.4	8.6
	骨盤腔	25.0	79.0

(資料來源：ICRP-84)

問 2：照完 x 光後，須隔多久才可以懷孕？

答：這是關於受胎前的放射線照射問題。在受胎之前，父母親任何一方的生殖腺受到放射線照射，目前並無會造成小兒畸形，或小兒癌瘤增加的紀錄。(引用國際放射防護委員會第 84 號刊物第 41 項)故無須等待，隨時可以懷孕。

問 3：我這個月已經照了 8 張腹部 x 光片，對身體有傷害嗎？

答：x 光檢查對病患十分重要，醫師在要求檢查時，已評估過其利大於弊才會要求病人做 8 次 x 光檢查。腹部的 x 光檢查時會照到紅骨髓及生殖腺，但由於兩者的劑量均很低，因此引起白血球疾病的可能性微乎其微。關於遺傳效應的擔憂，目前仍然沒有關於人的報告，所以不需擔心。

說明：

1. 由多數流行病調查及廣島、長崎的原子彈爆發倖存者調查結果顯示，放射線會引起白血病有意義的增加，但這些調查也同樣顯示劑量在 50 ~ 200 mSv(含中子射線，因此改用有效劑量單位 Sv)以下時，白血病並無有意義地增加。
2. 表 3-1 顯示成人接受 x 光檢查時紅骨髓的劑量，由表 3-1 可知接受 8 張腰椎 x 光檢查時，紅骨髓劑量約為 11.2 mGy(1.4 mGy×8)，距引發白血病效應的低限值(50~200 mGy)尚有很大的距離，故沒有引起白血病的可能性。
3. 表 3-2 顯示成人接受 x 光檢查時的生殖腺劑量。接受 8 張腹部 x 光檢查男性的生殖腺劑量約為 1.28 mGy(0.16 mGy×8)，而女性約為 16.96 mGy(2.12 mGy×8)，兩者的劑量均很低。而且關於人的遺傳效應，到目前為止尚無關於人的報告，所以對於遺傳效應也不必擔心。

表 3-1 成人接受 x 光檢查時的紅骨髓劑量 (mGy)

檢查部位	紅骨髓	有效劑量(mSv)
胸部	0.04	0.04
頭部	0.2	0.1
腹部	0.4	1.2
胸椎	0.7	1.0
腰椎	1.4	2.1
骨盤	0.2	1.1
IVU	1.9	4.2
上消化道對比劑檢查	8.2	8.7
乳房檢查	<0.01	0.1

(資料來源：ICRP-62)

註：IVU=intravenous urography 靜脈注射泌尿系照相術

表 3-2 成人接受 x 光檢查時的生殖腺劑量(mGy)

檢查部位	成年男性	成年女性
胸部 x 光攝影	*	*
腹部 x 光攝影	0.16	2.12
胸椎 x 光攝影	*	0.006
腰椎 x 光攝影	0.07	4.06
上消化道對比劑檢查	0.004	0.45
下消化道對比劑檢查	0.58	7.87
IVP	0.49	6.36
骨盤攝影	0.57	1.48
骨髖節攝影	3.68	0.78

*無法探知的劑量

(資料來源：ICRP-64)

問 4：我的小孩才兩歲，這個月已經照了 4 張胸部 x 光，這對身體有害嗎？

答：小孩在接受 x 光檢查時，因為體型小，須考慮紅骨髓劑量和生殖腺劑量。但兩者均很低，故不會對身體造成傷害。

說明：

1. 5 歲以下的小孩，胸椎及肋骨的紅骨髓約各佔全身紅骨髓的 8.6%，照 1 張胸部 x 光的紅骨髓劑量約為 200 μGy 。而引發白血病的紅骨髓低限值為 50~200 mGy，兩者相比，劑量差異很大，故不可能引發白血病。
2. 成人的頭部、胸部與生殖腺的距離較遠，但五歲以下的小孩頭部、胸部與生殖腺的距離較近，因此小孩照射 x 光時，生殖腺會接受到劑量。表 4-1 顯示 6 個月大和 4 歲幼兒接受 x 光檢查時的生殖腺劑量。男孩接受 4 張 x 光胸部正面檢查的最高生殖腺劑量約為 192 μGy (48 μGy x4)，女孩則為 128 μGy (32 μGy x4)，兩者的劑量均很低。而關於人的遺傳效應，到目前為止尚無關於人的報告，所以對於遺傳效應也不必擔心。

表 4-1 幼兒接受 x 光檢查時的生殖腺劑量 (μGy)

檢查部位	6 月		4 歲	
	男生	女生	男生	女生
頭部	0.17~1.6	0.29~4	0.4~0.8	0.75~1.8
頸椎	0.49~6.1	0.78~17	0.35~1.6	0.71~6
胸部（正面攝影）	0.38~59	0.91~79	0.96~48	3.9~32
胸部（側面攝影）	6.3~87	1.7~120	0.97~47	6.4~43
腹部（正面攝影）	9.2~140	72~100	12~180	110~120
腹部（側面攝影）	11~120	160~180	66~230	730~920
腰椎	15~430	140~420	33~750	410~470
骨盤	230~350	240~270	550~620	330~350

[資料來源：美國國家輻射防護與度量委員會(NCRP)第 68 號報告,1981]

3. 白血病的引發是依出生開始累積的終身紅骨髓劑量而定，遺傳效應亦同，因此每次接受 x 光檢查時，放射師都會縮小照射範圍，實行輻射防護的最適化，以便降低紅骨髓和生殖腺的終身劑量，請家長放心。

問 5：我已經照過腹部電腦斷層檢查，須間隔多久才可以再接受電腦斷層檢查？

答：腹部 CT 的 x 光檢查劑量不需要擔心引起白血病或遺傳效應。若醫師需要你再作電腦斷層檢查，是為了解病情的變化，才再作檢查。電腦斷層檢查的利大於接受檢查之弊，所以醫師需要了解病情時立刻即可做檢查。

說明：

1. 接受 CT 檢查時，病人受曝露的劑量，依切片數、檢查部位以及所使用的 CT x 光裝置不同而有所不同。表 5-1 顯示成人接受 CT 檢查時的吸收劑量。病人身體表面的劑量（皮膚劑量）依機器不同而有所不同，大約

切片一張，所接受的劑量約 10 mGy，而器官的吸收劑量大部分比身體表面的劑量為低。

表 5-1 成人接受傳統 CT 檢查時的代表性劑量(mGy)

CT 檢查	眼	甲狀腺	乳房	子宮	紅骨髓	胚胎	卵巢	睪丸	有效劑量 (mSv)	單純 x 光攝影 (mSv) *
頭部	50.0	1.9	0.03	-			-	-	1.8	0.07
頸椎	0.62	44.0	0.09	-			-	-	2.6	
胸椎	0.04	0.46	28.0	0.02			0.02	-	4.9	0.7
胸部	0.14	2.3	21.0	0.06			0.08	-	7.8	0.02
腹部	-	0.05	0.72	8.0	5.6	8.0	8.0	0.7	7.6	1.0
腰椎	-	0.01	0.13	2.4			2.7	0.06	3.3	1.3
骨盤	-	-	0.03	26.0	5.6	25	23.0	1.7	7.1	0.7

-：未達 0.005 mGy

(資料來源：ICRP-62，-84，-87)

* 有效劑量

2. 腹部 CT 檢查的放射線效應：接受腹部 CT 檢查的病人會擔心的效應是白血病，遺傳效應和不孕。

①白血病：

白血病的發生需要考慮紅骨髓劑量。依流行病調查的結果，紅骨髓劑量要到達 50-200 mGy 以上才會引起白血病的效應。因此腹部 CT 檢查時的劑量不可能引發白血病。

紅骨髓(active bone marrow)的分布依年齡而異。大腿、長骨的紅骨髓因年齡增加會變成白色骨髓，而失去造血機能。體幹紅骨髓的造血機能比例則較大，表 5-2 顯示各年齡的紅骨髓百分比。放射線引發白血病機率(終生發生率)如表 5-3 所示。放射線引起白血病是依出生開始累積的終生骨髓劑量而定。終生劑量累積劑達到 1000 mGy(1Gy)的終生風險會增加 0.5%，這比自然發生的白血病風險還低(終身風險 0.66%)。

表 5-2 依年齡區分體幹部位的紅骨髓比例

	紅骨髓的比例(%:相對於全身紅骨髓比例)				
	0 歲	5 歲	10 歲	25 歲	40 歲
全身紅骨髓重量(g)	50	340	630	1170 / 900*	
胸椎(%)	8.3	8.9	10.9	15.3	16.1
腰椎(%)	2.4	6.8	8.4	11.7	12.3
薦骨(%)	0.1	5.5	6.7	9.4	9.9
髌骨(%)	9.2	13.1	15.6	19.5	17.5
大腿骨上部(%)	3.7	6.8	9.4	7.4	6.7

* 35 歲值 男性/女性

(資料來源：ICRP-70)

表 5-3 放射線引發白血病及遺傳性影響的機率

	終生機率(/Gy)
放射線引發白血病*	0.5×10^{-2}
放射線引發遺傳性疾病**	0.4~0.6%

* 低劑量、低劑量率曝露時的機率

** 對第一代（小孩）的遺傳風險

[資料來源：ICRP-60，聯合國原子輻射效應科學委員會(UNSCEAR) 2001]

表 5-4 接受放射線引起不孕的低限值(Gy)

	男性	女性
暫時不孕	0.15	0.65
永久不孕	3.5~6	2.5~6

(資料來源：ICRP-41，-60)

遺傳效應：

是發生在下一代以後的效應，這是有生殖能力年齡的人接受放射線曝露時，才有發生的可能性。所以過了生殖能力年齡的人，完全沒有擔心遺傳效應的必要。表 5-3 顯示，放射線引起遺傳效應的發生率，腹部 CT 檢查時，由表 5-1 得知卵巢及睪丸的劑量非常的低，因此不必擔心遺傳效應發生的可能性。

不孕：

表 5-4 顯示放射線引起不孕的低限值，由表得知男性暫時不孕的低限值為 150 mGy，女性暫時不孕的低限值為卵巢劑量 650 mGy 以上，CT 檢查的劑量是不可能達到暫時不孕的可能性，因此 CT 檢查不可能成為不孕的原因。

問 6：幾天前才照過 x 光，今天還可以再照嗎？相同的檢查幾次以內才算是安全呢？

答：每一個 x 光檢查都有其診斷的必要性，x 光檢查對病患來說都是很重要的，所以醫師才會要求做 x 光診斷。如果不是需要長時間透視的介入放射檢查或是多切片 CT 檢查時，一般的 x 光檢查多做幾次對身體不會有不良效應。

每次醫師開檢查單前先評估檢查的必要性(放射線使用的正當化)，當利大於弊時醫師才會開檢查單。而檢查醫師、放射師會應用最適當的輻射防護方法來實行檢查(輻射防護的最適化)。所以只要醫師認為必要時，就應放心接受檢查。

說明：

1. 短時間內接受多次 x 光檢查應考慮生殖腺劑量和紅骨髓劑量。引發白血病的紅骨髓低限劑量是 50~200 mGy，短時間內要達到 200 mGy 的低限值是不可能的，因此短時間內的放射線檢查要引起白血病的可能是微乎其微。
2. 生殖腺劑量，男生暫時不孕的低限值是 150 mGy 以上，短時間內的 x 光檢查要達到低限值是極不可能的，故不用擔心會發生暫時不孕的現象。女性的暫時不孕低限值是 650 mGy 以上，短時間內要達到低限值劑量是更不可能，故都不必擔心會發生暫時不孕的現象。成人接受 x 光檢查時生殖腺劑量均很低，而且關於人的遺傳效應，到目前為止尚無關於人的報告，所以對於遺傳效應也不必擔心。

問 7：早產兒在病房為了呼吸管理接受了多次胸部 x 光攝影，對將來是否會有不良效應？對隔壁床的新生兒是否也會有影響？

答：新生兒的骨髓全部都是紅骨髓，故紅骨髓的劑量特別高。胸部攝影時放射師一定會把照射範圍縮小到只有在胸部的部位上，因此生殖腺的劑量也會降到 1/2~1/3 的程度。新生兒的胸部 x 光檢查時的劑量如表 7-1，接受最大劑量的肺部也只在 1 mGy 以下，所以不會有影響。

使用移動式 x 光機攝影時，隔壁床的新生兒如距離照射範圍 1 公尺，接受到的散射劑量只有 1 μ Gy，且保育器也成為屏障，所以不用顧慮。

說明：

由表 7-1，新生兒接受胸部檢查時劑量比較高的部位是肺部、甲狀腺、紅骨髓。新生兒因放射線引起甲狀腺癌的敏感度比成人高 3 倍，但是依流行病調查的結果，小兒甲狀腺癌有意義增加的最少劑量為 60 mGy，因此即使做了多次 x 光檢查而引起甲狀腺癌的可能性被認為是微乎其微。

肺部的劑量也在 1 mGy 以下，這也不會引起肺癌、肺炎、肺纖維化這類病症的發生。

關於新生兒或早產兒接受 x 光檢查而引起白血病的流行病調查中，並沒有新生兒的造血器官對放射線敏感度調查結果的數據，因此將新生兒對放射線的敏感度和胎兒的敏感度假定為相同時，其相對風險約高 1.4/Gy 程度。

另外流行病調查結果顯示，胎兒期接受放射線而引起小兒白血病的統計，有意義的增加劑量是 10 mGy 的程度。(引用 R Doll, et al : Risk of child cancer from fetal irradiation. Brit J Radiol 70 : 130- 139, 1997)所以，新生兒的胸部檢查多做幾次，紅骨髓劑量也很難達到 10 mGy。

表 7-1 新生兒接受胸部 x 光攝影時各器官的劑量(μGy)*

檢查部位	正面攝影		側面攝影	
	身體** (13 cm×16 cm)	底片** (20 cm×25 cm)	身體** (13 cm×16 cm)	底片** (20 cm×25 cm)
睪丸	3.5	7	3	4
卵巢	3	25	2.5	30
甲狀腺	400	400	200	300
紅骨髓	56	85	70	110
肺	300	300	350	390

*假定入射皮膚劑量為 500μGy 來計算

**照射範圍縮小到符合胸部面積，及照射範圍符合底片面積。

(資料來源：草間朋子，放射線防護手冊，日本醫事報社第 2 版，東京，2004，依 NCRP-68 計算)

表 7-2 新生兒(體重：2,000g)接受 x 光攝影時的劑量*(μGy /攝影)

		胸部攝影	腹部攝影	胸腹部攝影	胸部透視	腹部透視	胸腹部 CT
皮膚劑量		32	33	33	720/分	1030/分	-
吸收劑量	右肺	21	1	22	520/分	100/分	17
	左肺	21	3	18	470/分	80/分	18
	上結腸	2	12	16	25/分	480/分	19
	橫結腸	2	16	18	30/分	580/分	19
	下結腸	2	17	13	30/分	480/分	20

(資料來源：K ono, et al : Radiation Protection Dosimetry 103 :155, 2003.)

問 8：什麼是吸收劑量？什麼是有效劑量？什麼是低限值？如低限值為 100 mGy 而吸收劑量為 99 mGy 以下時是否絕對不會發生輻射效應？100 mGy 以上就一定發生輻射效應？

答：(1)劑量：指物質吸收的輻射能量或其當量。

(2)吸收劑量：指單位質量物質吸收輻射之平均能量，其單位為戈雷，1000 克質量物質吸收 1 焦耳能量為 1 戈雷 (Gy)。

1 Gy=1000 mGy，1 mGy=1000 μGy，1 μGy=1000 nGy

(3)有效劑量：指人體中受曝露的各組織或器官的等價劑量與各該組織或器官之組織加權因數乘積之和，其單位為西弗 (Sv)。

1 Sv=1000 mSv，1 mSv=1000 μSv

(4)低限值：是輻射效應的安全目標參考值，定義是關鍵群體中使 1~5% 的人發生輻射效應時的吸收劑量，將之訂為低限值。換言之，當低限值為 100 mGy，表示關鍵人口中每人的吸收劑量達到 100 mGy 時有 1~5% 的人發生輻射效應，但是尚有 99~95% 的人沒發生輻射效應。

最後特此感謝前清華大學翁寶山教授於百忙之中給予指正。謝謝！

□會議訓練報導

▲95&96 年度各項訓練班預定開課時間表

(輻協訊)

班 別	組 別	期 別 及 日 期	地 點
放射性物質或 可發生游離輻射 設備操作人員 研習班	36 小時 許可類 設備	A11--12 月 6 日~ 13 日	(高雄) 輻射偵測中心
		A1-- 96 年 1 月 25 日~2 月 1 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A2-- 96 年 3 月 7 日~ 3 月 14 日	(高雄) 輻射偵測中心
		A3-- 96 年 3 月 13 日~ 3 月 20 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A4-- 96 年 5 月 22 日~ 5 月 29 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A5-- 96 年 6 月 6 日~ 6 月 13 日	(高雄) 輻射偵測中心
	18 小時 登記備 查類 設備	B21--- 12 月 20 日~ 22 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B 1— 96 年 1 月 22 日~ 24 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B 2— 96 年 2 月 7 日~ 9 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B 3— 96 年 3 月 28 日~ 30 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B 4— 96 年 4 月 25 日~ 27 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B 5— 96 年 5 月 16 日~ 18 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B 6— 96 年 6 月 27 日~ 29 日	(新竹) 帝國經貿大樓
輻射防護專業 人員訓練班	輻 防 師 (1 年 1 4 小 時) 輻 防 員 (1 0 8 小 時)	員 10 期 & 師 8 期 第一階段--12 月 12 日~ 15 日 第二階段-- 12 月 18 日~ 22 日 第三階段-- 96 年 1 月 8 日~ 12 日 第四階段-- 96 年 1 月 15 日~19 日 師 8 期& 進階 8 (36hr) 第五階段--96 年 2 月 6 日~ 13 日	(新竹) 帝國經貿大樓
鋼鐵建材輻射 偵檢人員訓練班		鋼 3--12 月 6 日~ 7 日	(高 雄)
九十五年度 輻射防護教育訓練 III		12 月 08 日 (五) 12 月 14 日 (四)	新竹(帝國經貿大樓) 高雄(偵測中心)

◎ 以上各項訓練班簡章備索詳細內容網址為 www.rpa.org.tw，電話：(03)5722224。◎

□專題報導

▲車諾比爾核災事實檔案

(核研所保物組 馬張明霞)

【接續 81 期】

八、環境問題

因反應爐燃燒毀壞排出放射分裂產物煙羽飄到大半歐洲。這次事故造成放射性污染 18,000 km² 的農地，其中 2,640 km² 不能再種植。在烏克蘭特別受影響的是森林。35,000 km² 的森林區域，全部的 40% 受到污染。在森林，針葉樹和

潤葉樹吸收放射性如一個過濾器，落塵開始濃聚，死掉的落葉傳輸污染到泥土，10年後又再回到樹木。銫-137核種是一個主要問題，它有30年半衰期，意思是直到2016年環境中仍含有一半的放射性。銫於化學性質上和鉀相似，所以很容易被動植物吸收進入食物鏈。當在食物鏈內增加，那它的濃度就增高。進入食物鏈的主要途徑是從污染的莓果、磨菇、獵物和魚，還有經過乳牛吃污染的草和禾糧。估計魚中放射性濃度，將會比另一個40年消耗量的最高限度還要高。在蘇俄污染的牛奶被認為是造成甲狀腺癌的原因。在波蘭、匈牙利、奧地利和瑞典牛奶品質也被破壞。歐洲許多國家燒毀污染的草木，和禁止許多農產品通過東歐，最受影響的是瑞典的馴鹿和羊。在1986和1987在基輔、Chemigov、Minsk和其它小城的市場是禁止牛乳、肉類和許多水果和青菜的交易。在英國農業部事故後幾個月是限制羊隻的買賣和屠宰。

在白俄羅斯、俄羅斯和烏克蘭土壤污染程度受一些因素影響，如放射性同位素自然衰變現象；地殼變動和土壤型式。例如1986年事故後，在白俄羅斯接受到70%落塵。約22%國家被銫-137污染，直到今天21%還是被污染。這白俄羅斯政府的車諾比爾委員會，估計到2016年仍有16%領土是被污染。核能單位經濟合作與發展組織核能署(OECD/NEA)稱自從發生災變以來，外部輻射的劑量率在某些區域已降低40倍，以及某些區域已小於原來值的1%。總之，農地土壤的銫-137活度有繼續減少現象但是很慢，這種狀況預料還會有相當漫長時間。

至於農產品主要問題是小的農戶，他們常依靠他們自己生產的農產品維生。白俄羅斯官方的車諾比爾委員會，和烏克蘭政府組織要求於車諾比爾救助計畫包括特別補助，加強對這些低收入農戶多方面協助。已有三個國家對國家農場生產的食物和在市場出售的食物特別設限。例如在白俄羅斯就有比德國規定嚴格3倍的限制。烏克蘭的例子還一直需要對食物偵測，單在2000年就超過一百萬食物樣本做分析。自從1993年依據車諾比爾的調查顯示，依官方規定保證在公有市場出售的國家農場產品是安全的。

事故後馬上關心的問題之一是Dnieper河和在Pripyat支流的水。雖然河流分佈是污染全部烏克蘭，但移動緩和以減輕效果是成功的，和大部分喝的水是不受影響。但是污染已聚集在其它河床，以及地下水受鋇和銻(Am)的污染風險。例外的是在管制區內的地區，污染區域的空氣已不再受影響。

九、輻射和動物

從1994年，Robert Baker博士、Ron Chesser教授以及烏克蘭與英國的同業一起檢視在車諾比爾周邊的輻射對動物的效應。他們的結論是：因人們在耕種、畜牧、狩獵、和伐木活動的減少，反而野生動物得到益處。所以Baker博士說：世界上最糟糕的核能電廠事故對野生動物的摧毀比對正常人來的輕。美國能源部官員問：Baker博士評估這核災對動物群的生態影響，雖然做定量評估很難，但淨生態影響應是正面的。Baker博士說還需要做詳細長期研究，以利瞭解控制組未受曝露動物群以及受慢性輻射曝露的動物群有沒有不同？關於長期

潛伏性曝露效應需要解決，才能瞭解此事件對人和對野生動物的全部影響。更多訊息可上網查關鍵字”Chernobyl”或www.nsr.ttu.edu搜尋。

十、核能安全

歷史上有兩個國家級核能電廠災變：美國的三哩島和車諾比爾，一個有圍阻體，另一個沒有圍阻體。從 32 個國家商業運轉累積約 12,000 反應器年發生了這兩個主要核災。從西方核能電廠風險，在發生意外事故或恐怖份子攻擊的可能性狀況下來看，和其它一般接受風險的狀況比較算是小的。核能電廠是堅固的。安全設備的目的是要保證就算所有可預料的狀況發生意外，公眾健康和安決不會受到輻射曝露傷害。

1979 年三哩島災變反應器嚴重受毀，但是放射性受到控制，沒有發生健康傷害效應和對環境後序影響。在 1957 年聯合國組織下設立 IAEA，其中一個功能是世界上核能安全的稽查員角色，它指定安全程序和甚至報告小事故。過去 10 年它的角色已增強，每個國家運轉核能電廠有一個核能安全檢查委員會，這些委員會和 IAEA 保持密切聯繫。人員安全是核電廠工作上最主要關心事務。許多方法管制輻射劑量，包含屏蔽阻擋，工作防護衣和其它相關設備，限制工作人員在高輻射劑量區工作時間，和使用遠距遙控技術，不斷地監測個人劑量和工作環境劑量，並和其它工業比較確定是在很安全範圍。一個欲減少核災的安全指標，是需要計算爐心毀壞或爐心熔解事件的頻率。美國核能管制委員會 (NRC) 對反應器設計必需符合壹萬年一次爐心毀壞的機率，新的設計甚至更嚴格。目前最好的運轉電廠約是百萬分之一機率，未來十年建造的電廠約是千萬分之一機率。三哩島災變是唯一的一個反應器事故（在 NRC 安全標準下），和設計上理應是安全的，也因此無人員受到輻射傷害。今天法規要求如果發生熔爐事件，必需控制在廠內，無需撤離附近居民。主要安全考量是放射性物質在無法控制下排出的可能性，導致當地污染和遠地也受污染。在車諾比爾就發生了並後果嚴重，最後在所有設計上費用增加以達到高安全標準。

核能發電可以認為是很安全。單在中國大陸 2004 年依官方消息約 6000 人死於煤礦。使用石油也造成顯著健康和環境效應。

1. 深度防禦

欲達到最適合的安全，核電廠今天使用”深度防禦”概念，應用在各種安全系統。主要概念是：（1）高品質設計和建造；（2）設備需防止因操作不順造成問題；（3）各種系統可充分偵測問題，控制燃料傷害和避免明顯放射性釋放；（4）嚴重的燃料傷害效應可控制在本身廠內。

安全系統包含一連串在反應爐心和環境之間做阻隔，準備多個安全系統，每個也都有備份和設計上遇人為錯誤可包容。安全系統花費是反應器全部預算約四分之一。安全系統包含控制棒，插入可吸收中子，和第二道關閉防線是加進吸收中子的物料。支援性冷卻系統去除剩熱。另外許多世界上運轉的反應器（那些在車諾比爾的應是例外）均應有負空泡係數（negative void coefficients）。反應器水流可當緩速劑和冷卻劑，過多蒸汽會減緩中子，需要

中子維持的核反應也就降低功率。其它加強安全的特點是最普通反應器，燃料是固體陶瓷小丸形和當燃料燃燒在小丸內充滿放射性分裂產物。小丸排在銻管內成為燃料棒，這些在一個大的不鏽鋼壓力槽壁約有 20 公分厚，再加上一個至少一公尺厚的水泥圍阻體內。新式核能電廠對抗地震有高標準設計，當地震發生可以安全快速地關閉反應器。三哩島災變證明這系統的重要性，圍阻體體避免放射性外釋，儘管約半個爐心已熔掉的事實，此事故因機械故障和作業員糊塗，本來爐心冷卻系統可避免發生核災但作業員把它關掉了。事故後調查認為核能安全上的人為因素是新重點。西方的反應器沒有主要設計的改變，但在控制和儀器是做了改進，和操作訓練是被徹底檢查。

2. 國際核災嚴重性分級標準

國際核災嚴重性分級：7 級是最主要核災（車諾比爾核災）；6 級是嚴重核災；5 級是遠距有核災的風險；4 級是不嚴重的核災；3 級是嚴重意外事件；2 級是發生事件；1 級是反常事件；0 級是安全上沒問題。由國際原子能總署和經濟合作與發展組織(OECD)在 1990 年發展出來，國際核災嚴重性分級（INES）使核子核災和事件標準化。分級由 0 級的無安全問題到 7 級的車諾比爾核災。三哩島災變是 5 級雖無人受傷但遠距有核災風險。在 1980 年法國發生 4 級是建造時有災變，另一個 4 級是在 1999 年 9 月日本核燃料製造廠的災變。

3. 國際上努力改進核能安全

車諾比爾核災不久，IAEA 馬上就升高核能電廠安全的重要性，特別是對仍然缺乏核能電廠安全的一些東歐區域。國際援助計畫加強對早期俄製反應器的安全性。用西方安全標準，或完成對核能電廠和它們的操作做顯著性改善。要克服在俄羅斯和立陶宛仍在運轉 RBMK 型反應器的缺陷，也已做修正。關於其它事項，是降低對正向無效系數反應的危險性。

4. 恐怖主義

自從 2001 年紐約世界貿易中心攻擊事件，大家開始關注於一架飛機被用來攻擊一個核子反應器，目的是釋出放射性物質。各方面從事研究關於這種對核電廠攻擊的可能性。這些研究顯示核子反應器對這攻擊比國家的其它設施具相當抗性。美國能源部顧專家透過美國電力研究中心做了詳細研究，結論是當大型商用飛機撞擊，美國反應器的構造夠堅固和燃料將可以受到保護。相同地，這些大型構造意思是就算在一個廠內（它們會保護好）受到任何恐怖攻擊，也不會造成任何嚴重的放射性外釋。

【附註資料來源從“Chernobyl Fact File” produced by NucNet in cooperation with the UK Dept. of Trade and Industry, Ed. By J. Shepherd, D. Dalton, L. Green, Peter Bucher. 24 April 2006。】

1. 歡迎賜稿，稿件請寄新竹市光復路二段 295 號 15 樓之 1 或電傳(03)5722521 輻防協會編輯組收。來稿一經刊登，略致薄酬(政令宣導文章，恕不給稿酬)。
2. 本刊因篇幅限制，新聞類每則請控制在 500 字以內，專題類每篇以 2000 字內為佳。
3. 歡迎訂閱(每年六期 180 元)。請洽：李孝華小姐 TEL：(03)5722224 轉 314。

