

原子塵降落地區之預測 徐寶箴

How to Predict the Covered Area of Radioactive Fallout after Nuclear Detonation

Pao-chin Hsu

Abstract

After a nuclear detonation, the radioactive fallout generally spread to a considerable distance through down wind to reach the ground surface. This article gave an illustration in making a forecasting of where the radioactive particles will be found and of the time when the radioactive particles will reach the ground.

一、引言

近數年來美英俄各國在各地不斷作核子武器之試驗，由於放射性原子塵之災害，曾引起鄰近國家人民之驚恐與抗議。自今年開始，美國一連串之核子武器試驗，均已改在其國內之內華達州舉行，是美國科學家已對原子塵有萬全之控制方法，觀乎歷次試驗，常因天時之不宜，一再延緩試驗日期，可知天氣將是控制放射性原子塵降落之重要因素之一。本文將介紹核子武器爆炸後，短時內有災害性原子塵可能降落地區之預測方法。由氣象人員根據最近之高空風資料，繪製放射性降落塵圖(Radioactive fallout plot)，以供給防衛部隊及有關機關應用。

二、放射性降落塵之來源

核子武器爆炸時，除爆炸碎片具有放射性外，附近之塵土、生物及水份等均可受感染而具有放射性，此等具有放射性之物質，因核子武器爆炸飛躍入空中，因高熱而熔化，待其凝結成微細之粒點而降落時，即為放射性降落塵(Radioactive fallout)，亦稱為降出原子塵。

同性質之一顆原子彈或氫彈，爆炸時所生原子塵之多寡，須視爆炸之高度而定，爆炸高度可分為三類：

⊙空中爆炸——炸彈在空中爆炸，其所生之火球不與地面接觸，所有之放射性原子塵，係由炸彈碎片及投射炸彈之設備等物質因受高熱蒸發及凝結而成，因此而成之塵點，數量少而體積微細，其降落速度極慢，可隨風飄揚遠達全球各地，因其在空中停留之時間長，當其降落地面時，主要之放射性已消失，故其對於人類生物之災害已微不足道，本年美國在內華達州試驗之核子武器似屬這一類。

⊙地面或近地面爆炸——爆炸點在地面或近地面之空中，其爆炸火球能接觸地面者，此種爆炸時，能有大量之土壤或水份被衝擊飛躍入空中成原子雲，雲中之塵點均有放射性，降落地面可造成廣大區域原子塵之災害。

⊙地下爆炸——此種爆炸時，飛躍入空中之塵土水份更多，被感染之程度更強，其為害亦最甚。

以上所述地面、地面附近或地下爆炸所生之原子塵，據經驗其大部份均可於六小時至十二小時內降落於地面，此等降出之原子塵，其分佈之地區，亦即本文將介紹之放射性降落塵圖所表示之地區。

三、影響塵點降落之因素

(一) 原子塵之高度——原子塵之高度，須視原子雲所達之高度而定，原子雲之高度又須視爆炸品高度及炸彈之能力而定。如其他之條件相同，原子塵所在高度愈高，所需降落之時間愈長，受風飄揚之影響愈大。通常之核子爆炸，其所生之放射性原子雲可升達八萬呎以上，其壘狀雲之直徑約有四十哩。惟據一般假定在六萬呎以上，塵點已甚少存在。

(二) 塵點降落之速率——按 Stokes Law，塵點之密度及體積一定，其降落之速率為一定值。塵點直徑在1—100 μ (μ 為百萬分之一公尺)之間時，Stokes之塵點降落速度公式如下：

$$V_t = \frac{2rg}{9} \frac{\rho - \rho'}{\eta} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

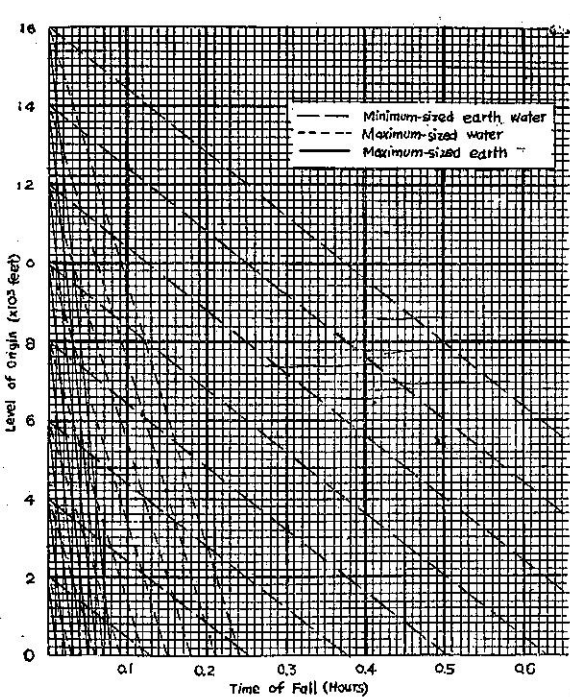
上式中之 V_t 為降落速度 (cm/sec)， r 為塵點半徑 (cm)， g 為地球引力加速度 (cm/sec²)， ρ 為塵點密度 (gm/cm³)， ρ' 為空氣密度 (gm/cm³)， η 為空氣膠度 (Poise)。以上公式簡化後可改寫如下：

$$V_t = 3.00 \pm \times 10^5 pr \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

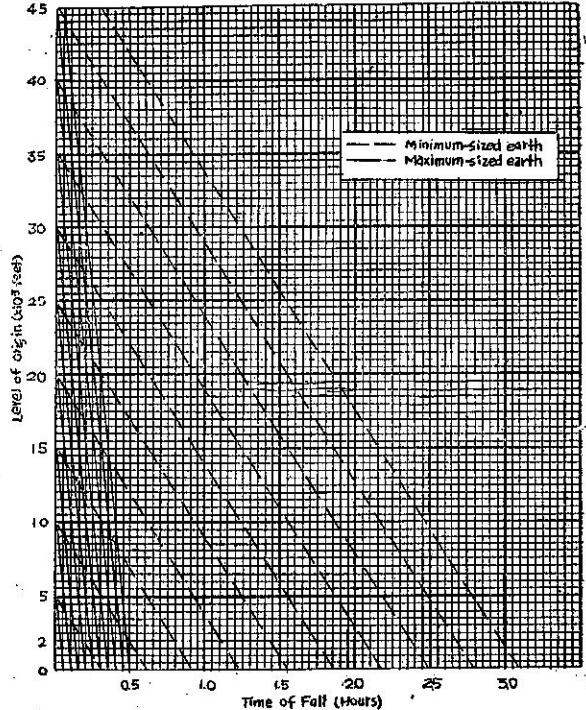
如塵點直徑在一百 μ 以上，因摩擦力增加， $\textcircled{2}$ 式應改為如下 $\textcircled{3}$ 式：

$$V_t = 24.9 \sqrt{\gamma \rho} \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

由以上公式表示塵點之降落速率係視其體積而定，(設密度相同)。惟按實際塵點降落係大氣力學問題，其降落速率隨高度而有不同。惟為實際作降落塵圖之應用，以上公式仍可應用。第一圖表示各種體積水點沙土降落之時



第一圖：各種大小水點沙土降落時間



第二圖：最大與最小體積沙土塵點降落時間

間，圖中之實線代表1800—2000 μ 直徑之沙土質點降落時間，虛線係指直徑200—800 μ 之水點降落時間，段線係代表最小體積之水或沙土質點降落時間，其直徑約在100—200 μ 之間。第二圖中之實線代表最大體積沙土塵點降落時間，段線代表最小沙土塵點之降落時間。由以上二圖可推知塵點降落之速率。

(三) 天氣

①雪或雨——降雨或雪可使塵點下降速率增加，有些細微之塵點，原可以停留於空中飄揚於世界者，可附于雨點或雪片之上降落於地面，通常於觀測原子塵時，下雨天數量增多，其原因在此。

②風——風可以將塵點攜帶至遠處，風速愈大，塵點可飄揚愈遠。上升下降氣流可以影響塵點降落之時間。美國之若干氣象台每日除供給各種氣象上應用之高空風資料外，尚準備有計算原子塵降落圖之高空風紀錄，專供給民防及有關機關應用。

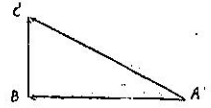
以上三種影響原子塵降落之因素，最後一項天氣是氣象人員所須了解及研究之工作。

四、降落塵圖之理論依據

塵點自高空下降，一方面受地心引力作用向下降落，一方面受風力作用向水平方向飄揚，下降速率愈小，風

力愈大，塵點降落距源點愈遠。如塵點降落之速率為一定值，即塵點降落之水平距離視各層之風向風速而定。

設一萬呎高空為東風，風速為每時20哩，地面為南風，風速為每時10哩，自地面向上至一萬呎，風向由南漸變為東，風速由每時10哩漸變為每時20哩，如有塵點自一萬呎高空降至地面，塵點之水平向飄行當必先受一萬呎高空風之影響，後再受下層風之影響，最後再受地面風之影響。如以向量圖表示，第三圖中 AB 代表一萬呎之風向量，BC 代表地面風向量，AC 代表二層風之合成向量，如塵點自一萬呎之A點降落，其降落之速率為每時一萬呎，即一小時後，塵點必降落在 C 點處，AC 是為塵點自一萬呎降落之水平距離，以上係假設風之垂直向變化有規則及風隨時間無變化之情況而言。



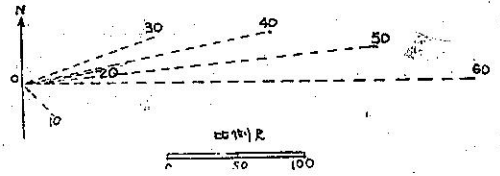
第三圖：風之向量圖

在合於以上假設之情況時，以上所述 AC 向量，實近似5000呎之風向量，故可用5000呎之風代表地面至一萬呎空氣層之合成風向量，或可稱此5000呎之風為地面至一萬呎空氣層之平均風。以空氣層之平均風計算塵點在空

第一表：各高度之風向風速 氣層中之水平位移，甚為簡便。

高度	風向	風速
5000呎	320度	26哩/時
15000〃	230〃	35〃
25000〃	240〃	48〃
35000〃	270〃	72〃
45000〃	280〃	68〃
55000〃	290〃	69〃

假設有塵點自六萬呎高空下降，其下降之速率為每小時一萬呎，此時，塵點降落地面之位置，可先求每一萬呎空氣層之平均風，然後再按各空氣層之平均風，作向量圖求其合成向量，即可求出塵點降落地面之位置，由各層塵點之降落位置，即可繪製降落塵點圖。



第四圖：平均風向量圖

五、降落塵圖之繪製方法

由高空風紀錄中選擇每萬呎

空氣層之平均風，即取5000呎、15000呎、25000呎、35000呎、45000呎、55000呎等高度之風，如第一表所示，再按表中平均風之數值，自下而上之次序連接繪成平均風向量圖，表中之風向度數是指風之來向，繪向量圖時用風之去向，如第四圖所示。圖中0→10是為5000呎風之向量，「10」表示一萬呎之意義。圖中10→20表示15000呎風之向量，「20」表示二萬呎高度，以此類推20→30，30→40，40→50，50→60表25000、35000、45000、55000呎之風向量，30、40、50、60等數字表示30000、40000、50000、60000呎高度。

如塵點降落之速率為每時一萬呎，即一萬呎之塵點於一小時內降落於「10」點處，塵點於一小時內水平向飄行之距離為 0—10。二萬呎之塵點將於二小時內降落於「20」點處，其水平向之飄行距離為 0—20，該二萬呎高空塵點之一小時飄行水平距離是為 0—20 長度之 1/2。同樣可求出三、四、五、六各萬呎高空之塵點，於三、四、五、六等小時內降落之水平飄行距離為 0-30、0-40、0-50、0-60，及各該高度塵點降落每一小時之水平向飄行距離為 1/3(0-30)、1/4(0-40)、1/5(0-50)、1/6(0-60)。以下第二表是為各高度之塵點各小時之水平向飄行距離。

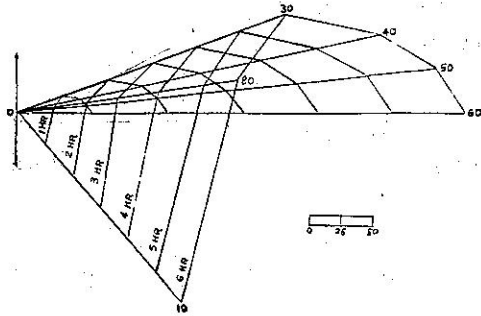
第二表：塵點各小時之水平飄行距離

塵點高度	一小時之水平距離	二小時之水平距離	三小時之水平距離	四小時之水平距離	五小時之水平距離	六小時之水平距離
10000 呎	0-10	$2 \times (0-10)$	$3 \times (0-10)$	$4 \times (0-10)$	$5 \times (0-10)$	$6 \times (0-10)$
20000 〃	$1/2 \times (0-20)$	0-20	$1 1/2 \times (0-20)$	$2 \times (0-20)$	$2 1/2 \times (0-20)$	$3 \times (0-20)$
30000 〃	$1/3 \times (0-30)$	$2/3 \times (0-30)$	0-30	$1 1/3 \times (0-30)$	$1 2/3 \times (0-30)$	2
40000 〃	$1/4 \times (0-40)$	$3/4 \times (0-40)$	$3/4 \times (0-40)$	0-40	$1 1/4 \times (0-40)$	$1 1/2 \times (0-40)$
50000 〃	$1/5 \times (0-50)$	$2/5 \times (0-50)$	$3/5 \times (0-50)$	$4/5 \times (0-50)$	1	$1 1/5 \times (0-50)$
60000 〃	$1/6 \times (0-60)$	$1/3 \times (0-60)$	$1/2 \times (0-60)$	$2/3 \times (0-60)$	$5/6 \times (0-60)$	1

按照第二表中各高度各小時塵點降落之距離連成線，即成為第五圖中之時間線，由此圖中之時間線及0-10、0-20、0-30、0-40、0-50、0-60等各高度塵點降落之方位線，即可知炸彈爆炸後各小時塵點降落之地區。

以上假設塵點降落每小時一萬呎，並不一定與事實相符，惟稍經修正後即可應用，例如四萬呎塵點降落之速

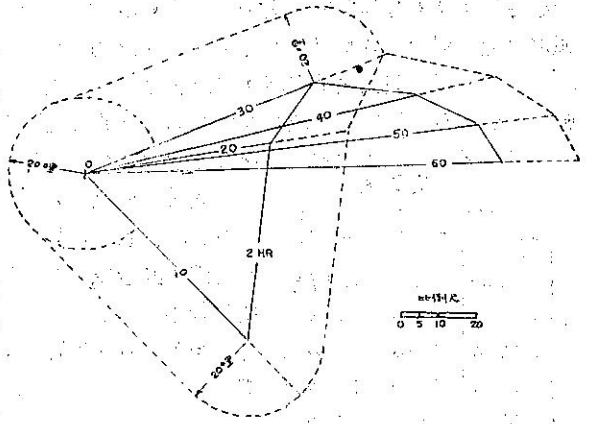
率為每小時八千呎，其降落地面之時間為五小時，即其落地距零點 0 之水平距離應為原假設降落需四小時距離之 5/4，一小時之水平飄行距離為 0—40 距離之 1/5。同樣可推算出其他高度塵點降落地面之水平飄行距離及每一小時之水平距離，至各高度塵點落地之方向，當與第五圖所示者相同。



第五圖：爆炸上空各高度原子塵降落情形

降落之情形，惟通常核子炸彈爆炸時，其所生雲

狀雲之直徑約有 40 哩，即以上繪製之降落塵圖之零點應為 40 哩直徑之圓圈，因之以上繪製之第五圖須加以修正，修正方法甚為簡單，只須將第五圖之零點為中心，以 20 哩長為半徑作一圓，其他圖中外圍各線均向外加寬 20 哩，即可得修正之降落塵圖。第六圖之實線是為源點為一點之爆炸後二小時之降落塵圖，虛線所示是為原子雲之半徑為 20 哩時，爆炸後二小時之降落塵圖。如將第六圖之零點繪於地圖上之炸彈爆炸地點，塵點之水平飄行距離亦按地圖上比例尺繪於地圖上，即所成之降落塵圖，供給有關單位應用，頗為便利。



第六圖：降落塵圖

六、結 論

繪製降落塵圖是氣象人員之新工作，以供給民防及有關單位應用者，至於圖中所示區域內是否有放射性之原子塵存在，或已有該項塵點存在至何時消失，須有賴克格 (Geiger) 式測輻器或其他儀器測知之。

以上所繪之降落塵圖尚未計及雨雪與上升下降氣流之影響，氣象人員可視當時天氣情形加以說明。爆炸後短時間內，高空風如有顯著之改變，應另作圖修正之。

本文所指之降落塵圖，係指爆炸後數小時內可降落地面而具有危害性之塵點而言，至其他極細微之塵點，可飄流空中數日或數月始能降落者，其飄行及降落之情形更形複雜，迄尚在研究發展之階段，未有確切之預測方法。(完)

參 考 書 籍：

1. Radiological Defense for Weather Forecaster, Air Weather Service Manual 1, August, 1950
2. Radioactivity Fallout Plots, Air Weather Service Manual June 1956.
3. 如何在原子攻擊下求生存 四十五年九月陸軍總司令部譯印

(上接第36頁)

繁重的工作。計算在一條航線及一個航速之風助需要整天的工夫。在有許多地點與許多航線需要計算時，應用電子計算機乃屬必要的。但在只需要少數點之風助時，則公式⑦中之大多工作可以省去不做。

各種風圖，尤其是可能性風圖及標準向量偏差風助圖如本文所述者，提供了一種簡便的方法以求得風助。

簡要的資料可以製作可能性風圖，標準向量偏差風助圖可以從向量平均風及變更後之標準向量偏差來製成，在代替標準向量偏差時，可以使用沿向量平均及與其成直角之分風的標準偏差。

雖然可能由逐次風之觀測以計算所需之參數，但不再需要為一次航路而計算其風助。只約需三分鐘來求出一條航線之風助資料，另外三分鐘又可求得選定之其他航線之風助。這與需要一天工夫來用公式⑦計算一條航線之風助不大相同。另一個與後者不同之點是在使用可能性風圖時，只需二十分鐘便可做畢一條所需之航線。

應用標準向量偏差風助圖以求風助，曾經在北太平洋、美國、及北大西洋四十處以上地點作試驗，其所得結果會和用實際計算而得之風助相比較，發現與後者至為近似。此可見風圖確曾提供了一種節省時間的統計路徑以達到風助頻率分佈之決定。(完)

原文題目：Wind Aid From Wind Roses

原文刊載：Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 37, No. 8, Oct. 1956, p. 391.