

中國之雹暴及其形成機制

任立渝

The Distribution of Hailstorms in Mainland China and Some Aspects of its Mechanisms
Ren Li-yu

Abstract

Hailstorms in Mainland China are described and analyzed on the basis of climatological data and the synoptic approach.

The possibility of hailstorm modification are also discussed in this paper.

一、前言

最激烈的對流性風暴中，水滴被上升氣流攜帶至溫度遠在 0°C 以下的高空結冰，即可產生雹。「雹」(hail)是指一種球狀或不規則狀冰塊的降水形式；個別單位即稱「雹塊」(hailstone)。在絕熱上升的空氣內，溫度在結冰點以下的懸浮水滴結冰過程，稱為「雹期」(hail-stage)。此一階段，水滴接觸冰晶而凍固，周圍粘附一層不透明的雪，使它體積增大，以致上升氣流無法再支持而下墮。到達低空時因溫度較高，所以周圍的雪一部份融解為冰。此時如再有一股上升氣流能把它衝到雷雨雲的頂部，周圍的水勢必再凍結，並且又裹一層雪。於是體積再增大下落。如此重複幾次，就可以使雹塊結得很大，將雹塊切開，可以看到透明和不透明冰相間的層次。

但據近世學者研究，認為這種過程並不需要重複很多次，通常只需要一兩次就可以結成相當大的雹塊。1964年6月25日在加拿大安大略州的基瓦汀(Keewatin)曾降落周圍有12吋，直徑3吋半，像棒球那樣大的雹塊。剖開後看到透明冰和乳白色冰各有三層，厚薄不等，最外面一層由相當大的冰粒粘附而成[1]。內部層次並非均勻發展，而是呈葉狀伸出。根據美國氣象學會1959年所出版的氣象辭彙中記載，美國所觀測得最大雹塊是1928年7月6日在內布拉斯加州的波德(Potter)降落，經測得周圍有17吋(合13.2公分)，重達一磅半(相當680.4克)。但最近報導，1970年9月3日在美國堪薩斯州的柯菲維爾(Coffeyville)降落最大的雹，重766克，周圍達44公分[2]。至於中國降落的最大雹塊究竟有多少大，却缺乏明確的記載。

大陸氣象學者1964年6至7月曾在甘肅岷縣地區不同地點，利用汽車和步行相配合的流動觀測法，取得6月21、22日及7月1日三次雹譜及雹切片資料

加以分析，發現以6月22日一次層次最多，竟達10層，而以3—5層者為最多，7月1日一次則最多為6層，以兩層佔絕大多數。足見層次多少要看當時對流雲的情形而定，未可一概而論。這兩次降雹風暴，在500毫巴圖上雖然都是等壓面西邊高東邊低，蘭州至岷縣在冷渦西側，有利於冷空氣南下；但冷渦後方 40°N 以南，7月1日僅為一淺槽，青藏高原為一高壓所控制；6月22日有一較深槽，青藏高原有一低壓，有利於暖濕的西南氣流北上。此外，6月22日高空的風向切變也比較明顯，所以兩次雹的層次和大小都有顯著的不同[3]。

二、雹暴的分佈

雹是一種中高緯度夏季發生的現象，蘇俄、美國，以及加拿大每年都有很多次雹災，對農作物損害很大。根據美國的報導[4]；僅南達科塔一州因雹災而農作物損失每年超過一百萬美元，最嚴重之年可達三、四百萬美元。我國雹災主要在西北的陝甘地區，東北的松遼地區，以及內蒙一帶，本部偶而也會發生，以初夏最多，冬季絕無僅有。甘肅東部出現最頻，顯然是受到隴山的影響。該處降雹時常伴有狂風，農作物盡遭摧毀，甚至還會傷人斃畜[5]。

雹的區域性分佈到現在還不能完全解釋。美國雹日最多是在洛磯山大陸劃分線以東約150公里處，該處平均而論，個別位置每年出現6—8天。但柯羅拉多州東北一塊50—75哩的長方形面積內却降雹多至20—30天。該處為一半乾旱區，平均年雨量約15吋，大都在春季及初夏，降水和下雹有很好的相關，使人不禁興「福無雙至」的感嘆！美國東部及南部雷雨很多，但很少降雹[6]。

雹暴在中國也是一樣，雷瓊區及南嶺山地雷雨最多却很少下雹，倒是雷雨不很多的北方，反而常有雹災。但究竟每年有多少次，各月分配如何，却

缺乏翔實的統計資料，因為我國西北和東北都很荒涼，測站又少，降雹又未必在測站附近，記錄自難週全。據朱炳海的報告〔7〕：春秋兩季東北的雹大都發生在強烈冷平流經過的時機，長春一年內平均有雹3.1天，綏芬河4.1天，主要在六月，遼東半島上平均不足2次，以秋季居多；黃河流域以春、夏兩季下雹較多，各地每年平均有1—2次，但合併計算就相當可觀。據盧遜之統計〔8〕，甘肅1932—1935年內全省各縣降雹達221次，4月佔1%、5月佔25%，6月28%，7月19%，8月19%，9月10%。

橫斷山區當春夏兩季冷平流南下時，也會有很多雹日，康定為全區雹日最為者，平均每年有5.3天；騰衝3.7天。曾有一年八月內即出現4天，該處因多濕度大而地形有利，本區其他地點平均每年有雹一天，見於3—4月〔7〕。另據李國文之報告〔9〕：春季四川及附近發展之熱低壓填充消失後，常使貴州產生冰雹天氣。抗戰初期在柳州曾有一次降雹天氣，雹塊不過大如彈丸，已使屋面千瘡百孔，幾乎完全變成露天（因無天花板）；如果雹塊大如雞蛋，其災情之慘自可想見。

一般而論，華南地區雖然經常有雷雨，却難得有雹。據廣州29年的記錄，平均每年有0.3次，福州22年記錄平均每年0.5次，海口平均每五年內出現一次。華南的雹，常見於3—4月，有時也可在1月、7月及10月，顯然和極鋒及噴射氣流的位置有關，台灣山區在極難得的機會下也偶而會下雹，但缺少可靠的資料，也未聞有災害情事。

三、雹暴的天氣形勢

降雹既在農業上可以造成慘重災害，威脅飛航安全更不用說。所以經常有雹災的國家如蘇俄，美國和加拿大等對於降雹的預測和防範都非常重視。先決問題顯然在於：那一種天氣形勢可以下雹？

據美國的研究〔4〕：當炎夏（主要在6—8月）日間地面迅速增暖，而高空則影響甚微，大氣乃產生不穩定，且有顯著的風切，向陽山坡受熱更烈，於是就有「熱力胞」（thermals）升起，倘雲頂能到達40000—60000呎（13—20公里）（即對流層頂附近），熱力胞即可在雲頂得到最大上升速度。如此激烈的對流，或因日射增暖，或因鋒面抬高，將大量暖濕空氣推進較冷氣團內。這種對流活動靠風切來維持，並且由它來控制雹的形狀和大小。此種風切主要因為中層風（20000—30000呎或7—10公

里）很強，極鋒隨同噴射氣流南下。

唐納特遜（Donaldson），陶格拉斯（Douglas）和希許菲特（Hitsenfeld）等〔10〕都認為：雷雨的頂到達愈高，尤其是要穿透對流層，那末降雹的可能性愈大，因為將空氣帶到比周圍冷的各高度，以及使雹塊持久懸浮或翻騰而不斷成長，都需要極強烈的上升氣流，根據美國德克薩斯州及新英格蘭等處的觀測，也顯示下雹機率和上升氣流的強度成正比，至少在500毫巴以下要很不穩定〔11〕。

美國西部高原經常有雹暴發生，該處下層很少能被海洋性熱帶空氣侵入，所以地面附近的相對濕度很低，但日射增暖一定要很強，才能啟發對流。丹佛的雹暴一般都發生在冷鋒經過之後，東北風使下層增加水汽，並且受地形抬高的影響，朗萊（Longley）和湯姆遜（Thompson）發現阿勃塔（Alberta）地方有雹日和無雹日的穩定度及下層水汽含量都很難加以劃分。但綜觀參數却顯示，對流層上部的低槽晨間如在不列顛哥倫比亞上空，地面有冷鋒進逼，前方低空則有一暖舌伸出時，午後大都會降雹。因為此種情況必然會有猛烈的上升氣流，高原上受熱所產生的舉升運動，只消5毫巴即可有雷雨。由此可見預測是否下雹，必須考慮綜觀系統所伴隨的各種動力因子和一定時間觀測得的氣團垂直結構〔10〕。

至於雹暴和高空的西風噴射氣流及垂直方向的強風切究竟有沒有關係，氣象學者們的意見到現在還不能一致，據洛威（Lowe）的觀測，雹暴蒞臨前，高空有強風切，850毫巴風向240度，風速30哩／時；500毫巴風向280度，風速55哩／時；300毫巴風向290度，風速90哩／時〔1〕。德生斯（Dessens）也認為600—12000公尺間的強風和劇烈雹暴具有密切的關聯，並且提出兩項原則：（1）高空有一噴射氣流是雷雨轉變為破壞性雹暴的一種預測因子；（2）垂直方面有強烈的風切是降雹的一種主要原因。但隨後賴脫納（Ratner）曾在1958年內將實際觀測資料加以驗證，却並未發現彼此有任何關聯〔12〕。

另一方面，根據佛里斯貝（Frisby）的研究，配合極鋒的噴射氣流位置可以決定何處將下雹。並且認為雹暴既然種因在不穩定和風切，所以雹暴勢必向北推進，因為夏季這兩個因子都自南向北。以美國而論，當3月至8月百慕達高壓北移，墨西哥灣上空氣向北穿越河谷及低地流入美國大陸的腹心地

帶，供給潛在不穩定。噴射氣流冬季一般在佛羅里達州，隨後逐漸向北，至夏季到達大湖區附近，提供必要的風切〔4〕。

假定噴射氣流的確和降雹發生關聯，那末我們可以推想：在東亞，當春季北太平洋副熱帶高壓逐漸增強，長江流域6—7月間梅雨結束後，此副高壓北跳越過25°N，並且向西伸入我國內陸，變性海洋熱帶氣團乃得入侵東北、內蒙、及陝甘一帶；加之本區此時地面已迅速增暖，產生不穩定現象，南支噴射氣流消失，在115—125°E的經度帶內，強西風北進至35°—40°N，供應必要的風切〔13〕。此時如有極鋒南下，冷平流作為觸發媒劑，加上日射增暖迅速，在上述地區最易發生降雹天氣。

根據大陸上利用雷達所作的研究〔14〕：1964年北平地區出現的冰雹次數比往年多，範圍和強度也大，全年降雹總共12次，其中六月6次，七月4次，八月2次，較嚴重4次都發生在六月。在此12次降雹中，一次在鋒前飈線上，一次在天氣圖上不明顯，自雷達回波上研判，可能和北方200公里處的一條冷鋒有關，其餘10次在天氣圖上都可以看出和冷鋒或高空槽的活動有關；並且大都在鋒或槽前的暖濕空氣內發生和發展。飈線經過北平的速度很大，常達每小時60—70公里，很少有降水，所以也很少能下雹。另據分析，冰雹雲有它常走的路徑，從山區移到平原之後，大都在幾條通路上發展，彷彿接力賽跑，具有一種跳躍現象。

四、雹塊大小的預測

將要下的雹塊大小能否加以預測？這是一個很有趣而值得研究的問題。美軍曾提供一種客觀預報方法〔15〕，非常簡單，茲介紹如下：

先在當地探空曲線上求得濕空氣層的平均混合比，根據此平均混合比求出對流凝結面（CCL）。如果濕空氣層很厚，已經超過6000呎，可直接取最低150毫巴的頂作為對流凝結高度，如圖1a所示。和探空曲線相交處為A。自此循濕絕熱線向上，並自探空曲線上—5°C處（即B）畫一條等壓面線，和剛纔所講的濕絕熱線相交於B'。如此即構成一ABB'之三角形，表示正區。用乾絕熱線的長度攝氏度數量出此三角形所佔氣層厚度，即自CCL起算至氣溫為—5°C的氣壓高度。圖中實例，三角形的底邊BB'約自+1°C至—5°C，得6°；三角形之高度即HH'乾絕熱線自—4°C至+12°C，相當於16°，

前者作為橫座標，後者作為縱座標，代入圖1b內，即可求得午後可能降雹直徑約 $\frac{1}{8}$ 吋（所據為當天晨間8時之探空）。

此法驗證的成績如何不得而知，台灣沒有冰雹，當然也無法加以校驗。但作者認為雹暴既然具有地域性，此種客觀方法不可能用在任何地方都會得到滿意的結果，所以每一地方都應該根據當地過去的資料發展一種客觀方法。以上所介紹的美軍客觀方法僅作參考而已！

五、消雹計劃的發展

降雹縱使能够預測，如果不能有效將它消除，也是於事無補。相反來說，假定我們發明了消雹技術，由於每次勢必要花很多錢，當然必須在預測確有下雹可能，才值得作此種投資。可見雹災的預測和消除必須相輔相成。美俄氣象學家對此都非常重視。蘇俄早在1958年就已從事消雹試驗，1961年起改用火箭作各種試驗，試驗面積充到80000公頃，據報導，在雹季中，此80000公頃的土地由於消雹的關係只出現過3次，鄰近地區却出現13次之多。1963年試驗區擴展為120000公頃，試驗區內只出現5次，附近地區却出現14次〔16〕。所以美國氣象學家認為蘇俄在這一方面比美國成功，建議派專家前往實地考察，但迄今尚無進一步的報導。

大陸共匪很想「東施效顰」，去（1972）年8月匪新華社報導，遼寧鳳城縣革會積極推廣人工防雹，該縣位於遼東山區，氣候多變，每當春末秋初，常遭冰雹襲擊，所以在縣氣象部門協助下，用土火箭進行人工防雹，連續幾年消除雹災的威脅，作者認為，此項報導很值得懷疑，可能性很少。因為在第二節內已經指出，一次雷雨釋出的能量極大，如果降雹則威力更強，發展更高。蘇俄用火箭消雹原則上仍不外乎將火箭射至降雹雲的適當部位，釋出某種化學劑，改變成雹的物理過程，而並非僅以火箭來破壞它的上升氣流。況且土火箭能否到達如此高度，大有問題；能量有限，實難產生擾亂功效。當然土火箭也不可能攜帶化學物在適當地位釋出。足見共匪上項報導，要非自欺欺人，便是愚民政策的具體表現。因為預測降雹的準確性如果不能到達百分之九十以上，那末實施消雹後沒有下雹，怎樣知道原來就不會下雹呢？

根據蘇俄所得到的經驗顯示：種雲可能會達到消雹的目的。蘇俄專家消雹作業在原理上是由蘇拉

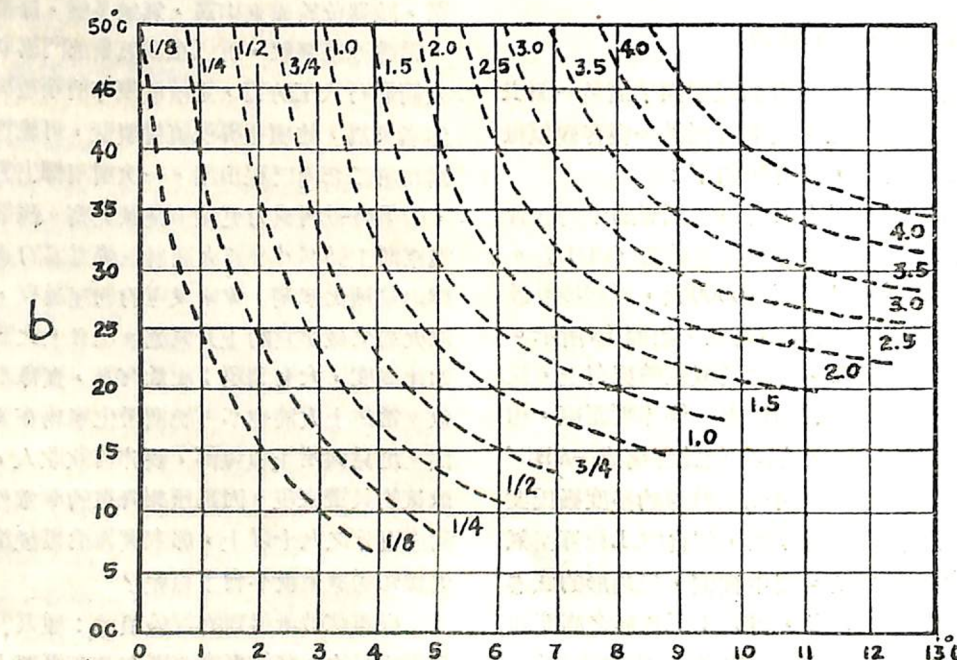
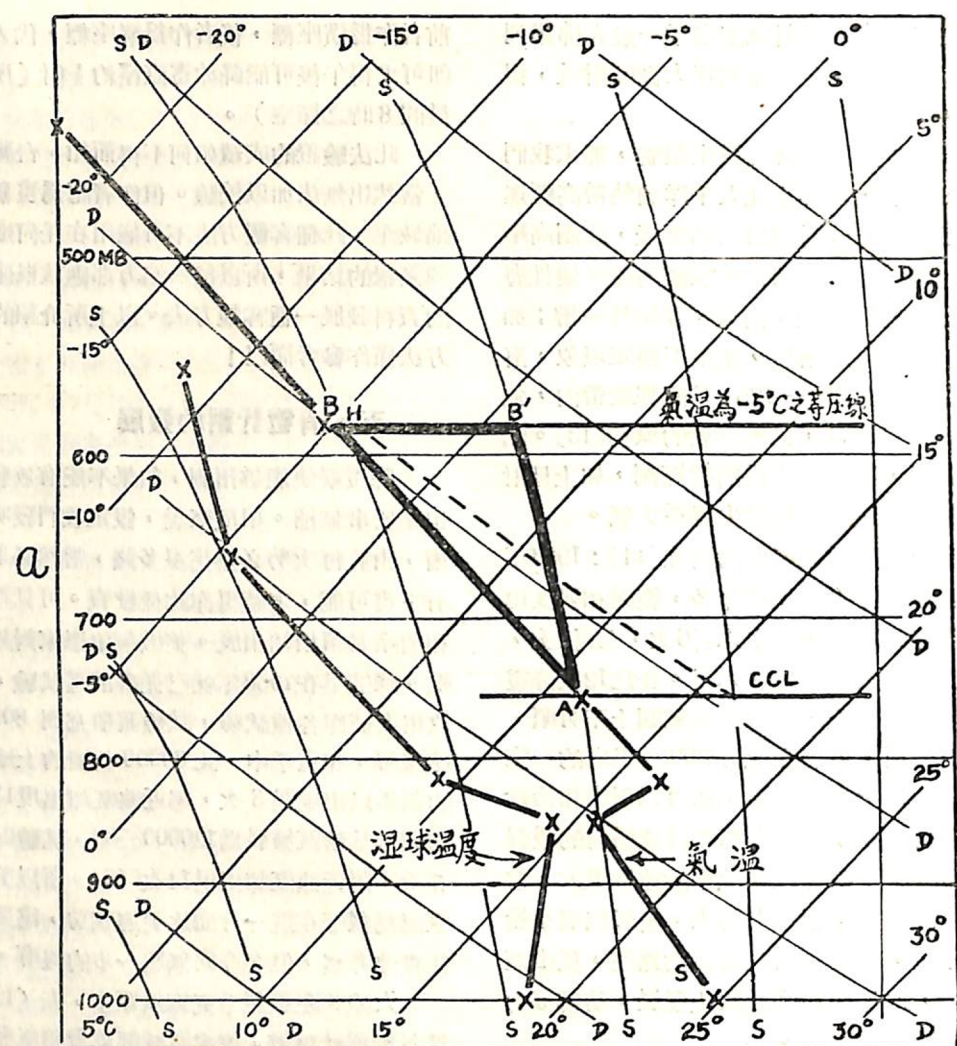


圖 1 預測雹塊大小之斜溫圖分析法

克維立支博士 (Dr. G. K. Sulakvelidze) 所發展，他認為：雹塊要在每小時大約65哩的猛烈上升氣流中浮起，從緩慢地穿過結冰層，才會使它成長。當冰的重量最後超過上升氣流的舉力時，才會降落到地面，離地兩哩以上，冰塊的直徑如果不及一时的四分之三，則到達地面將會完全被融解[17]。

根據此項學說，蘇俄專家才在高加索麥田內設置高射砲和火箭的陣地，當雷達指出冰雹開始形成的位置時，填裝碘化銀的爆炸物一齊發射，在極高的風暴雲內引燃。細小的碘化銀晶體作為結冰核，在冰雹長大之前先將水滴排除。據蘇俄專家自稱，若干地區減少雹災達85%；如果冰雹降在播雲區，

他們就找出各種理由加以辯解。

六、結 論

雹暴是農業上最大天然災害之一，因為它發生在夏季，正好是穀物最茁壯而要結穗的時期，較大雹塊且可傷及人畜。所以中高緯度一帶對它非常害怕，亟謀消雹的途徑。台灣因為緯度較低，雖然偶而也有發生，但却很少成災，話雖如此，作為一個氣象人員，對於中國的雹暴和它形成的機制，實有澈底研究的必要，因為雹暴最明顯的一種特徵，就是具有地域性。

參 考 文 獻

- [1] A. B. Lowe, Some Unusal Hailstones, Weatherwise, Vol. 18, No. 2 Apr. 1965
- [2] D. V. D. S. Roos, A giant hailstone from Kansas in free fall, J of Applied Meteorology, Sept. 1972
- [3] 徐家驊等：甘肅岷縣地區1964年6—7月兩次冰雹電譜切片的分析，1965年5月
- [4] E. M. Frisby, A study of hailstorms of the Upper Great Plains of the North American Continent, Weatherwise, Vol. 17, No. 2 Apr. 1964
- [5] G. T. Trewartha, Introduction to Climatology 1968, P. 225—232
- [6] H. Riehl, Introduction to the Atmosphere, 1965
- [7] U. S. Government Translation of "Climate of China" Chu Ping-hai, 1962
- [8] 正中書局：中國氣候總論, P. 109
- [9] 李國文，西南熱低壓及其預報之研究，1965年5月
- [10] E. Palmen, C. W. Newton, Atmospheric Circulation Systems, 1969 P. 390—422
- [11] J. H. Chang, Atmospheric Circulation Systems and Climate, 1972, p. 205
- [12] B. Ratner, Do high-speed winds aloft influence the occurrence of hail, Bulletin of AMS, Vol. 42, No. 7, Jul. 1961
- [13] 鄒浩等：長江流域中下游梅雨時期500mb環流形勢的分析，1964年5月。
- [14] 葛潤生等：1964年北京地區降雹過程的雷達分析，1966年6月。
- [15] 戚啓勳編：空軍高級氣象官在職訓練教材，1961。
- [16] Louis J. Battah, A view of cloud physics and weather modification in the Soviet Union, Bulletin of A. M. S. Vol. 46 No. 6 June 1965
- [17] Walter Orr Roberts, We're doing something about the Weather, National Geographic, Apr. 1972