

1980—1994年台灣海峽兩邊的地熱渦與 降水季度預報初探

湯懋蒼¹ 柳中明² 高曉清¹ 衛捷¹ 馮松¹

¹中國科學院蘭州高原大氣物理研究所
²國立台灣大學大氣科學系

摘要

利用地溫資料以分析地熱渦與多雨區之相關，以作為降水季度預報的參考，這在中國大陸已行之多年，並已有相當之應用成效。本文採用海峽兩岸的地溫觀測資料，進行類似的分析，並提出正式作業時之參考流程。大致上，本文發現海峽兩邊的地熱渦之平均水平尺度為480km，這比中國大陸內部的地熱渦水平尺度平均580km為小；平均的留駐時間為4.0季(1年)，比中國大陸內部單個地熱渦的平均生命期5.8季為短。部份穩定的地熱渦，主要自北、西與南方進入本區，再移向東方進入太平洋，平均速移是215km/季，這比中國大陸內部的地熱渦平均速移200-400km/年要快得多。絕大多數地熱渦在同季的降水距平百分率分布圖上，總有一塊降水正距平區與其相匹配。而且大部份地熱渦中心與多雨中心的位置相距在100km以內，可見地熱渦的預報對降水預報的重要性。不過，當台灣出現六級以上強地震時，過去經驗指出會出現乾旱，則按上述方法所得的預報結果應進行修正。

一、前言

台灣的地溫測站相當密，觀測年代亦長，最深至5m，大陸自1980年以來地溫測站大為增多，最深至3.2m。本文採用1980-1994年各季平均的3.0m(對台灣)，或3.2m(對大陸)地溫資料，聯合起來分析海峽兩邊的地熱渦(湯與高，1995a)活動，以求對降水的季度預報有所幫助。

二、地熱渦的一般統計特徵

關於“地熱渦”的定義，詳見湯與高(1995a,b)。在本文所分析的地區範圍中(見圖1)，台灣海峽兩邊從1980-1994年的60張季平均3.0m(或3.2m)地溫距平圖上，共活動著64個“地熱渦”，其中在54張圖上只有一個地熱渦，其餘4張圖上各有兩個地熱渦。地熱渦的水平尺度譜列於表1。可見，其水平尺度變化於250-690km之間，多數位於400-600km之間，其平均水平尺度為480km，這比中國大陸內部的地熱渦水平尺度平均為580km(湯與高，1995a)要小。這是否與本區處在板塊邊緣有關？值得研究。

表1. 1980-1994年海峽兩邊地熱渦的水平尺度(單位：公里)統計。

| 水平尺度 | 250--290 | 300--390 | 400--490 | 500--590 | 600--690 | 合計 |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| 熱渦個數 | 4 | 11 | 20 | 18 | 11 | 64 |

少數地熱渦有如匆匆過客，剛進入本區，於下一季即移出本區；盤據在本區內時間最長者達15個季度。各地熱渦在本區的停留季數見表2。可見在本區停留時間≤4季(1年)者有12次，占3/4，長於4季者為4次，其平均的留駐時間等於4.0季(1年)，它比中國大陸內部單個地熱渦的平均生命期

5.8季(湯與高，1995a)要短一些。這與台灣以東的洋底尚無地溫資料，無法將本區地熱渦追蹤至更遠，不無關係。

表2. 1980-1994年地熱渦在本區的停留季數

| 季數 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 10 | 15 | 合計 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 渦數 | 5 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 16 |

進入本區地熱渦可分為3條路徑：(1)從浙江省往南(北路)計有4次；(2)從江西省往東區(西路)計有8次；(3)從廣東省(包括南海北部)往東北(西南路)計有4次。移出本區的地熱渦絕大多數(占94%)向東區(包括東北到東南)進入太平洋，只有一次(佔6%)，向南進入南海。

前後季之間地熱渦的移動方向和移動速率，是關係到降水預測的重要問題之一。根據統計，相鄰兩季的地熱渦中心相距小於100km的穩定性地熱渦，在15年中出現過19次，佔總數的19/48=40%。兩季之間地熱渦中心移動速度的統計結果見表3。可見從西、北兩象限向東南移行的地熱渦，佔移動性地熱渦的24/29(83%)，這與進入本區的地熱渦來向基本一致。從表3還可見自北向南的地熱渦移速特快，自南向北者移速則慢得多。所有移動性地熱渦的平均速移是215km/季，這比中國大陸內部的地熱渦平均速移200-400km/年(湯與高，1995a)要快得多。此乃海峽兩邊降水的季度預測更為困難的重要原因之一。

表3. 兩季地熱渦中心的移動速度統計

| 地熱渦來向 | 北* | 西 | 南 | 東 | 穩定 |
|------------|-----|-----|-----|---|------|
| 個數 | 10 | 14 | 5 | 0 | 19 |
| 平均速度(km/季) | 268 | 193 | 170 | - | <100 |

*「北」指315°-45°象限，餘類推。

三、與地熱渦相匹配的降水場統計特徵

絕大多數(60/64)地熱渦在同季的降水距平百分率分布圖上，總有一塊降水正距平區與其相匹配。而且大部份地熱渦中心與多雨中心的位置相距在 100km 以內。可見關於地熱渦的預報對降水預報的意義有多麼重要！

4 次無多雨區配合的地熱渦(以下稱為“乾地渦”)，其中 3 次於當季在台灣出現了 6.9 級以上地震(計 1990, 12 月~1991, 2 月, 1991 年 3~5 月和 1994 年 9~11 月)，這表明強地震容易與乾旱相配(所謂“旱震關係”，耿 (1985))。另一次“乾地渦”出現在 1984 年冬季(1983, 12 月~1984, 2 月)，該季在本區同時存在兩個地熱渦(圖略)，閩南地熱渦是已存在很久，現正減弱的一個老渦，且其水平尺度僅 270km，比台灣島上的地熱渦要小。根據大陸其他地區的統計結果，凡處於減弱階段且小於一定臨界尺度的地熱渦，一般都是“乾地渦”，本渦也不例外。

對其餘 60 個與地熱渦相應的多雨區，我們做了如下的統計。首先統計了多雨區的水平尺度，即雨量距平零線所圍面積的平方根；有相當多的多雨區在其旁邊另有多雨區，且他們之間沒有負距平區相隔開，遇此情況，則將兩塊多雨區之間的相對少雨軸線作為本多雨區的邊界；其次統計了多雨中心的強度(即實測最大一站的降水正距平百分率)和多雨中心偏離地熱渦中心的距離及方位角。得到了如下一些結果：

多雨區的水平尺度(L_R)變化於 110-840km 之間，平均是 430km(見表 4)，略小於地熱渦的平均水平尺度(L_h)。 L_R 與 L_h 之間有著很好的正相關，即是說凡地熱渦較大的季度，其多雨區亦較大，兩者的相關係數為 0.65，信度超過了 0.001($n=60$)。有意思的是 L_h 與後一季的 L_R ，甚至後兩季的 L_R 均具有較好正相關， L_h 與後兩季的 L_R 之間的相關係數為 0.37，信度亦達 0.01。此結果對預報後 1-2 季的多雨區面積有一定幫助。

表 4. 與地熱渦相應的多雨區水平尺度統計
(單位：km)

| 水平 尺度 | 110- 190 | 200- 290 | 300- 390 | 400- 490 | 500- 590 | 600- 690 | 700- 790 | 800- 840 | 合 計 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| 頻次 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 4 | 3 | 3 | 60 |

多雨區的水平尺度(L_R)與中心強度(S_R)之間亦有較好的正相關，相關係數為 0.42，達到 0.001 的信度。這可用於季降水的預報。

同季的多雨中心與地熱渦中心兩者相距的距離，見表 5 的統計結果。

表 5. 多雨中心與地熱渦中心距離統計表
(單位：km)

| 距 離 | 0-100 | 110-190 | 200-270 | 合 計 |
|--------|-------|---------|---------|--------|
| 頻次 | 41 | 13 | 6 | 60 |

可見有 68%(41/60)的多雨中心位於地熱渦中心 100km 以內；另有 32%(19/60)的多雨中心相距地熱渦中心達 100km 以上(以下稱其為“偏心多雨區”)，最大偏心達 270km，它們給利用地熱渦來預報多雨區的落點帶來了麻煩。

這 19 次偏心多雨區的季節分配是：春季 6 次，夏季 5 次，秋、冬各 4 次；其偏向象限是西 6 次，南 5 次，東、北各 4 次。可見在季節與方位的分配上相當分散，幾乎是均勻分布。但是在同一季節，其偏向象限似乎有一定的集中性，如冬季的 4 次為向西 2 次與向北 2 次，沒有偏向東或南方者，秋季的 4 次則是向西 2 次與向南 2 次，未出現向東、向北象限者，春夏兩季仍是分步均勻，這自然更增加了降水季度預報的困難。

四、實例分析

1980 年冬季(1979, 12 月~1980, 2 月)在山西省西部有一地熱渦，它是 1979 年從河北省南下而來的，因 1980 年以前大陸上地溫資料太少，其中心位置不好確定，此地熱渦以每年約 800km 的速度南下，1980 年夏移到長江下游與長江中游的另兩個地熱渦相連，造成長江中下游大澇。以後繼續南下(圖 1)於 1981 年春進入本文分析區，桃園本季 3.0m 的地溫距平達 +1.4°C，是近 15 年來之最大值，可見它是一個強地熱渦(圖 2)，與此地熱渦相應的多雨中心偏在渦中心的南偏東方約 200km，中心強度為 +59%(圖 3)。我們認為多雨中心之所以偏在地熱渦中心南面達 200km 之遙，也與本地熱渦快速向南移行有關(1981 年春至夏季向南偏西移動了約 300km，圖 1)。此渦在繼續南下的過程中，於 1981 年夏季與從廣東省東移的地熱渦相遇，再次加強(龍海 3.2m 地溫距平達 +1.0°C)相應的多雨中心強度達 +200%(出現在嘉義)。圖 4 是 1981 年夏季的地溫距平和雨量距平圖。可見地熱渦外圍的低溫軸線與多雨區外圍的少雨軸線兩者基本相合。此後該地熱渦繼續慢速南移，強度逐漸減弱，與其相伴的多雨區強度亦逐漸減弱。1983 年春季移出本區，進入南海。這是一次北路地熱渦的個例，下面再舉一次西路的地熱渦個例。

1986 年春季在新疆阿勒泰和蒙古國西部出現了一個地熱渦。它以每年近 2000km 的極快速度迅速東南下(圖 1)，沿途都激起了塊塊多雨區與之相伴，至 1988 年春季它自西偏北方向進入本文分析區，與其相應的多雨區中心偏在地熱渦移動的下游(東方)約 250km(圖略)。結合前述個例，似乎表明：與快速地熱渦相應的多雨區中心容易出現在熱渦移行的下游。1988 年夏季此地熱渦移至台灣島，與原在島上的地熱渦合併，3.0m 地溫距平達 +1.2°C。全台灣出現多雨，中心在花蓮達 +152%(圖 5)，這亦是近十多年來少有的紀錄。可見兩個地熱

渦的合併往往可以造成較大異常的降水。

五、一個降水季度預報的初步方案

據本文所述，以及中國大陸 20 多年的實際預報經驗可知，降水季度預報的核心是：地熱渦的中心位置、水平範圍及其強度變化的預報；對這三個問題做出預報後，即可根據地熱渦與多雨區的同時相關的統計結果勾劃出多雨區的位置、範圍和中心強度；最後再考慮地熱渦的可能合併以及地震場等情況，對初步預報圖進行必要的修訂，即成為正式預報意見。

依上所述，本預報方案可分為三個步驟：1. 預報地熱渦；2. 推算降水分布；3. 對某些特殊情況進行修訂。現對每個步驟予以簡要說明。

1. 預報地熱渦。其三要素的簡單預報方法如下：

- a. 渦中心位置：根據前三個季度的渦中心位置，按等加速度外推的方法進行預報。
- b. 渦的水平尺度：用上季度渦的尺度作為第一估計值，因為上下季渦尺度之間的相關係數達 +0.37，超過 0.01 的信度。
- c. 渦強度變化：渦強度是用渦中心附近的地溫距平值的水平梯度來度量的。一般而言，它是隨時間遞減的，但當有兩個（或更多）渦合併時，它會增強。因此其預報關鍵是看有否渦合併。

2. 推算降水分布。它也是三要素作預報。

- a. 多雨區中心位置：用預報的地熱渦中心作為其第一估計值；但當地熱渦的移速 $>200\text{km/季}$ 時，多雨中心將出現在地渦中心的前方 150-200km。
- b. 多雨區水平尺度 (L_R)：用本季已知的地熱渦水平尺度 (L_h)，根據統計得到的下列迴歸方程式，進行預報。
$$L_R = -73.2 + 1.05L_h \quad (\text{單位：公里})$$
- c. 雨區中心強度 (S_R)：根據雨區尺度 (L_R) 與 S_R 的統計迴歸方程，可算得雨區中心強度。

$$S_R(\%) = 16.7 + 0.136L_R(\text{km})$$

3. 必要的修訂。當台灣出現強地震或有地熱渦合併時，按上述方法所得的預報結果應進行修訂，分別敘述如下：

- a. 當台灣有 6 級以上強地震時，預報的多雨區面積要大大縮小，且震級愈大多雨區面積愈小。1980-1994 年台灣共有 25 個季度出現了 >6.0 級的地震。每季的多雨區尺度和地熱渦尺度之比 $R_s (=L_R/L_h)$ 與最大震級 (M_s) 呈明顯反相關，相關係數達 -0.44，信度超過 0.05。其迴歸方程為

$$R_s = 3.37 - 0.45 \times M_s$$

可見震級愈大， R_s 愈小。這是降水的季度預報必須考慮的一個訂正。但其難度很大，因為地震預報比降水季度預報更為困難。

- b. 當有兩個（或以上）地熱渦合併時，多雨區的面積，特別是其中中心強度，應比正常預報值大得多。這一點已在實測分析中敘及，不再贅言。

六、結語

從本文所述可知，地熱渦並不因為台灣海峽的阻隔而中止東移。它與降水場的配置關係與中國大陸的情況極為相似，本文所提出的降水季度預報方案，雖然尚未經過實踐檢驗，但根據大陸的經驗，我們相信，它在原則上是可行的。當然其中的很多具體參數將會逐步修改，使預報準確率越來越高。

參考文獻

- 湯懋蒼、高曉清，1995a：1980-1993 年我國“地熱渦”的若干統計。I. “熱渦”的時空分布。《中國科學(B 輯)》，1995 年 11 月，1186-1192 頁。
- 湯懋蒼、高曉清，1995b：1980-1993 年我國“地熱渦”的若干統計。II. “熱渦”與地震的統計相關。《中國科學(B 輯)》，1995 年 12 月，1313-1320 頁。
- 耿慶國，1985：《中國旱澇關係研究》，1985 年，海洋出版社，108 頁。

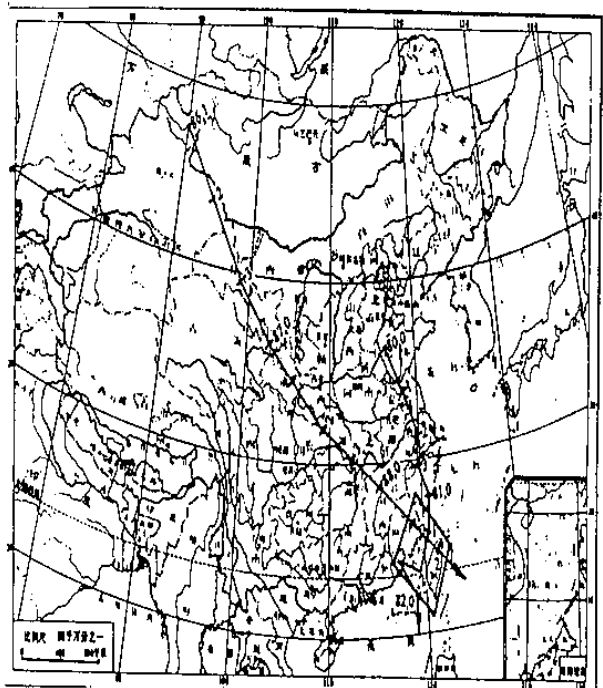


圖 1：本文分析區（實線框框）及所選兩次地熱渦路徑示意圖。圖中，(80,0) 表示 1980 年冬季，(1,2,3) 分別表示春、夏與秋季，餘類推。

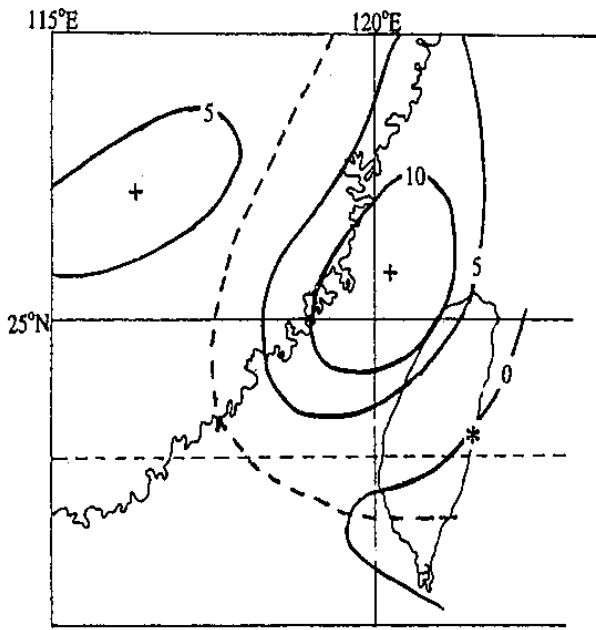


圖 2：1981 年春季（3-5 月）地溫分布圖（單位： 0.1°C ）。圖中，虛線為低溫軸線，* 為 3 月 6.4 級地震震央。

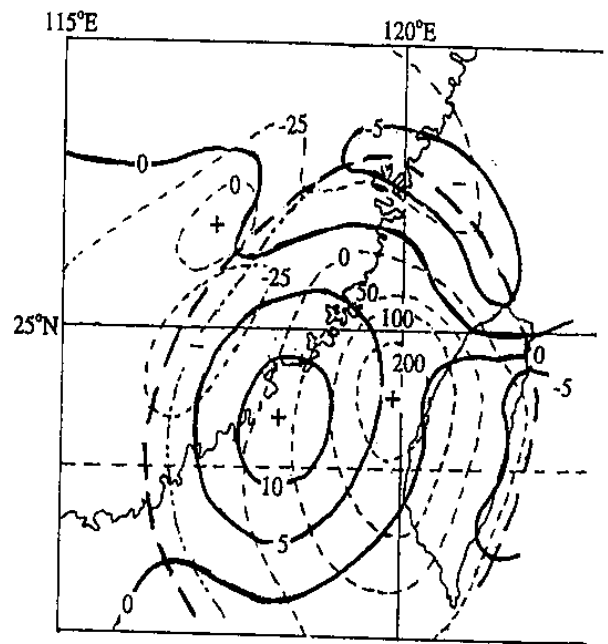


圖 4：1981 年夏季（6-8 月）地溫（單位： 0.1°C ）和降水距平百分率（單位：%）分布圖。圖中，寬實線為等溫線，寬虛線為低溫軸線；細虛線為等降水距平百分率線，細虛長短線為少雨軸線。在部份地區，低溫軸線與少雨軸線相重疊。

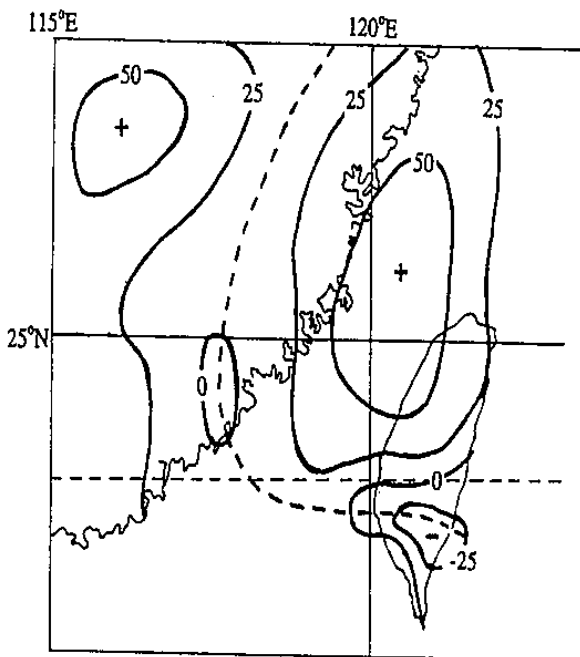


圖 3：1981 年春季（3-5 月）降水距平百分率分布圖（單位：%）。圖中，虛線為少雨軸線。

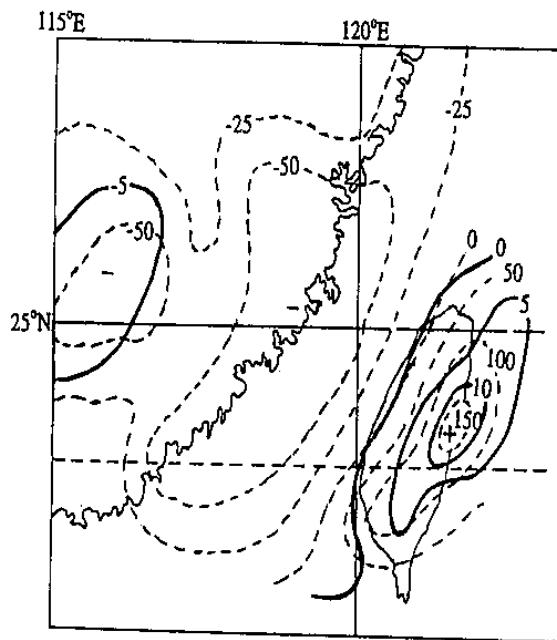


圖 5：1988 年夏季夏季（6-8 月）地溫（單位： 0.1°C ）和降水距平百分率（單位：%）分布圖。圖中，寬實線為等溫線，細虛線為等降水距平百分率線。