

我國的水汽輸送和水份平衡*

徐 淑 英

(中國科學院地球物理研究所)

提 要

本文利用 1956 年 1 月和 7 月探空和測風紀錄，計算了我國東部大陸的水汽輸送和 7 月的水份平衡。

隨着季風環流的轉變，我國水汽輸送冬夏有顯著的不同。但無論冬夏均以南方海洋輸入的水汽為最主要。在水汽的總輸送量中，渦流輸送一般只佔次要地位。最大渦流輸送位於我國中部，冬季它與高壓移動路徑一致，夏季與極鋒平均位置相合。

1956 年 7 月我國大陸是個水汽源地，蒸騰量大於降水量。

一. 引 言

地球表面錯綜地分佈着大陸和海洋，從大陸和海洋的表面時時蒸發出水汽，這些水汽隨着大氣環流的運行輸送到各個地區，隨着大氣中運行的水汽通過各種物理過程又以降水形式重新回到地球表面。水份循環過程是必須通過大氣環流來完成的，而水汽在運行過程中所放出的潛熱，在大氣能量的平衡中亦佔了重要地位，因此水汽輸送和大氣環流有着密切的內在聯系。最近 Sutcliffe 在文章^[1]中指出：對水份平衡的正確估計能進一步的了解大氣環流，水份輸送矢量的演變可以幫助研究天氣和氣候形成的過程。

大氣中水份循環方式到現在還沒有精確的概念，蘇聯氣象學家^[2,3]早已進行了一系列的關於自然界中水份循環問題的研究，它不但是水文氣象和氣候學中的一個主要問題，亦是改造乾旱地區氣候所必須了解的一環。近年來柏哥香^[4]、布底柯和特羅茲多夫^[5]曾相繼對大氣中水份循環方式和規律，予以詳細的研究，對某些較小地區的水份循環有一比較清楚的概念。以後在水份內循環方面又有人^[6,7]提出了新的討論，這些都給人們改造自然提供了很好的根據。然而由於高空資料的缺乏與測站的稀疏，計算仍有不嚴緊之處。過去歐美學者^[8,9]亦同樣以平均風速和空氣柱中平均水含量之積，估計一地區的水份輸送和水份平衡，1954 年 Benton 等^[10]和 1957 年 Hutching^[11]利用探空與測風資料，分層計算每一測站的水汽總輸送量，從而還得出渦流輸送在水汽輸送中的地位。Benton 並利用水汽的質量連續方程，計算某一地區的水份平衡，求出該地區的蒸騰量，它與 Thornthwaite 經驗公式計算的蒸騰量相當一致。

我國過去缺少高空資料，這方面工作尚未展開，1956 年開始我國高空測站大量增加，因此對這方面的研究提供了有利條件。本文利用 1956 年 1 月和 7 月高空資料，對我國大陸東部地區的水汽輸送以及該地區內水份平衡作一初步計算，藉以了解我國冬夏的水份

* 1957 年 11 月 4 日收到。

輸送特徵及其作用。

二. 計算方法

根據質量輸送方程對水汽輸送^[12]可以寫成下列方程式:

$$\frac{1}{g} \int_0^{P_0} \int_0^{t_1} \int_0^L qvdxdtdP \approx \frac{P_0 t_1 L}{g} ([\bar{q}\bar{v}]), \tag{1}$$

其中 P_0 ——地面氣壓, t_1 ——時間, L ——長度, g ——重力加速度, q ——比濕, v ——垂直於剖面的風速。“[]”表示對空間平均,“—”表示對時間的平均,“()”表示在垂直方向對氣壓的平均。式中右邊帶括號的項可展開如下:

$$([\bar{q}\bar{v}]) = ([\bar{q}])([\bar{v}]) + ([\bar{q}'])([\bar{v}']) + ([\bar{q}'])([\bar{v}']) + ([\bar{q}'v']), \tag{2}$$

第一項為平流輸送,它在某一地區和某一定月份是很重要的,第二、三項為因經向環流存在而引起的輸送,但對某一地區而言這兩項不很重要可以略而不計,第四項為水平交換而引起的渦流輸送,它在不同地區的重要性不一樣。在某一地區內 Benton 和 Hutching 認為:水汽總輸送量中除去平流輸送(第一項),餘下的即為渦流輸送,本文利用了這個概念求出渦流輸送。

在計算我國東部大陸上的水汽輸送時,共用了 33 個高空測站,一律取 15 點世界時的紀錄,分 950, 900, 850, 800, 700, 600, 500 毫巴七層計算,500 毫巴以上與 950 毫巴以下用外延法求出,輸送單位是克/厘米·毫巴·秒。近地面層(2000 或 1500 米以下)用實測風計算水汽輸送矢量,摩擦層以上則是用地轉風來計算的。

三. 我國東部大陸冬夏季的水汽輸送

計算範圍如圖 1 虛線所示,中間東西向的橫剖面主要是觀察水汽的南北輸送,進而了解冬夏因環流變化而引起的不同輸送情況。

(1) 1956 年 1 月和 7 月大陸東部的水汽輸送: 1 月東亞大陸冬季風盛行,我國各地幾乎絕大部分地區高低空一致地吹着強勁的北或西北風。雖然冬季風乾冷,但風力強,一般仍可將極地氣團中極少量的水汽送過長江流域,水汽自北而南所經過的地方輸送量都很小,如四川盆地、兩湖盆地和黃淮之間(圖 2)更為明顯。另外還有兩股較顯著的水汽輸送,一為西南一帶輸入的豐富水汽,從箭頭所指的方向

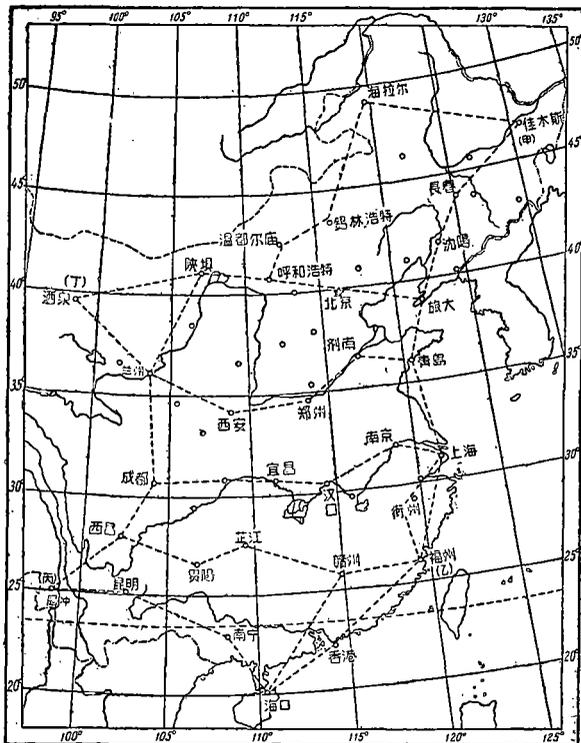


圖 1. 計算水汽輸送的測站分佈圖

來看，這股水汽一直供應到雲貴高原和廣西上空。另外在福州以南亦有一股比較大的水汽自海洋輸向大陸，但很難越過東南丘陵地區。從東北地區佳木斯向南到福州，幾乎全部都是自西往東的水汽輸出，僅有個別地區有時受到東北季風的影響，有極微小的輸入量。

如果將水汽總輸送量以 750 毫巴為界，分為上下兩部(圖未刊出)，從輸送矢量可以概括地看出從我國西南和東南向北輸送水汽的界限，冬季南方輸送來的水汽，高空(750 毫巴以上)比低空(750 毫巴以下)偏北，華西比華東到達的緯度要高(圖 2 中斷綫表示 750 毫巴以下，由西南或東南水汽輸入的範圍，點斷綫則表示 750 毫巴以上自南而北的輸送範圍)。我國冬季近地面層極大部分地方都是冬季風盛行，尤其是西北的一股水汽，雖然所含水汽量很少，但是風力較大而穩定，可以直接通過兩湖盆地而達珠江三角洲。僅西南地方無論自地面到高空仍維持着一支西南氣流，這部分的水汽輸送對我國的水汽來源和水分平衡起着重要的作用。

夏季，隨着季風環流的改變，水汽輸送量已顯然比冬季增大了幾倍，我國北部和東北雖然仍在西風影響之下，而黃河中下游以南輸送情況則顯然不同，這時來到我國大陸(圖 3)的水汽，主要是來自西南，南或東南沿海。這種南來氣流直往北進，可抵河套南部黃河下游、華北及松遼平原。但高空(750 毫巴以上)這時沿海大槽已向西移到大陸，我國西北沿着高空槽後則有一股比較乾的氣流直衝到四川盆地以南，它阻擋了西南來的水汽深入大陸內部。水汽輸送主要是在對流層的下半部，但我國西南如騰沖昆明各地拔海約兩公里，這樣輸送的空氣柱就可能因此而縮短了，這一年 7 月從西南方進來的水汽，單位面積輸送強度雖然很大(見圖 12)，但整個空氣柱的輸送量反較東南的少，當然這裏所指的西南與東南是以海口為界，西到騰沖，東到福州，實際在海口以東輸入的水汽亦包括了南方各個方向(西南、南和東南)輸入的水汽。7 月水汽輸送淨量最小是在四川盆地、山西高原和華北平原。

夏季大陸是個熱源，一般而言，高低空環流與冬季亦有質的不同，因此水汽輸送也起了變化。和冬季一樣，以 750 毫巴為界，由地面到 750 毫巴高度內，水汽輸送主要自南而北(圖未刊出，其界限在圖 3 以斷綫表示)，其北界西自西寧、蘭州，向東北行直達松遼平原西部，此綫所在可能與該年 7 月極鋒的最北界相符合。在這一層，東南沿岸輸入的水汽要

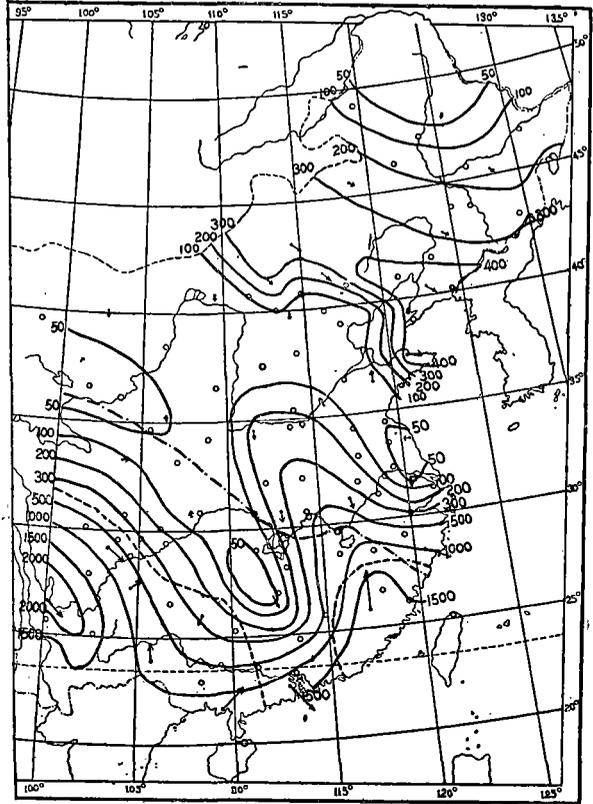


圖 2. 1956 年 1 月水汽總輸送量。箭頭指向表示水汽輸送方向，其長短代表大小。(單位：克/厘米·秒)

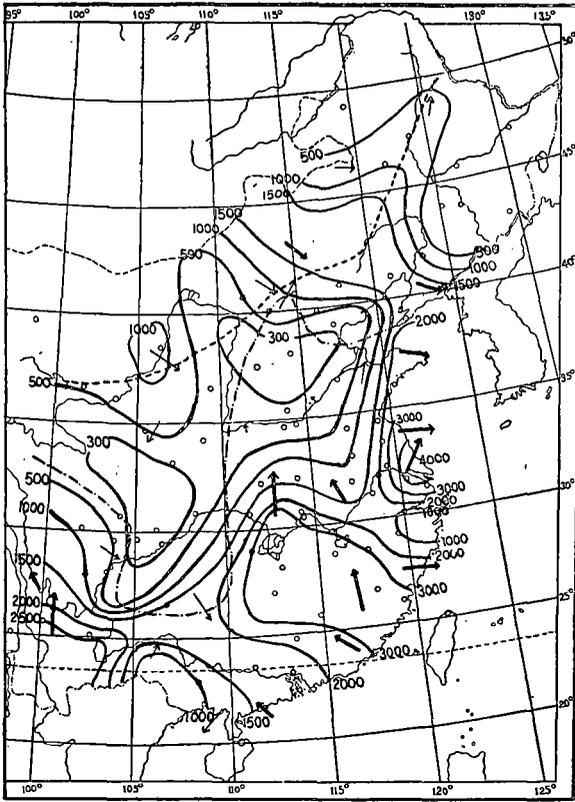


圖 3. 1956年7月水汽總輸送量。箭頭指向表示水汽輸送方向，其長短代表大小。（單位：克/厘米·秒）

比西南的多，750 毫巴以上，西南與東南輸入的水汽量幾乎是相等的，向北輸送的界限（圖 3 中點斷綫），在華西因被槽後西北氣流所阻，西南氣流的輸送偏於低緯，而東南一帶輸入的水汽，沿着高空低槽的前方一直送到華北平原。與圖 2 比較看出：冬季由於近地面層冬季風強大，自北而南的水汽輸送幾乎遍及全國，南方輸入的水汽要到 750 毫巴以上才見重要；夏季近地面層夏季風盛行，南方來的水汽可北達黃土高原和華北平原，而高空（750 毫巴以上）水汽輸送北界反而不及地面的偏北（冬季高空比地面偏北，夏季則近地面層偏北）。

總的來講，冬夏季的水汽輸送顯然不同，冬季北部輸入水汽遍及全國，但為量甚微。夏季北部輸入，雖然局限在內蒙古自治區南部邊緣，但輸送強度較冬季約大了數倍。同樣南方輸入的水汽，夏季比冬季向北推進得多，單位面積輸送強度夏季則僅比冬季大

了一倍，對我們所計算的範圍來說，無論冬夏水汽輸入以南方海洋輸入的水汽量為最主要。

(2) 水汽輸送的垂直分佈：過去許多工作^[4,10,11,12]指出：水汽輸送主要集中在對流層的下半部，最大輸送是在近地面層 850 或 900 毫巴左右，由此向上或向下輸送都迅速減少，到 500 或 400 毫巴以上水汽輸送量很小可略而不計。我國水汽輸送基本上是適合這個情況，圖 4 是 1956 年 7 月 4 個地帶水份輸送的垂直分佈曲綫，其中實綫表示用地轉風計算的輸送量，虛綫為實測風計算的輸送量，一般情況最大輸送都出現在近地面層，但有些地方亦不盡如此，其分佈狀況至少可分為兩種類型：第一類和其他國家一樣，在離地面 1000—1500 公里附近（圖 4a, c）輸送最大，由此向高處或地面迅速減少；另一類除近地面層有一最大輸送之外，在 600 毫巴附近又出現另一較大的輸送層（圖 4b, d）；在這兩種類型中，有些地方水汽輸送方向上下始終是一致的（圖 4a, b），又有些地方約以 700（或 750）毫巴為界，上下層的輸送方向相反。由此看出，我國某些地方高低空的相反結構是很明顯的，這亦顯示了我國季風氣候的複雜性。

以上是每兩測站之間平均總輸送量隨高度變化的情況。但是圍繞着我國東部大陸四周水汽輸送的垂直分佈，從各個剖面圖上看得很清楚。我們把圖 1 所示的範圍分為 4 個剖面，簡稱為東、南、西和北四個剖面，即圖 1 上的甲-乙、乙-丙、丙-丁和丁-甲剖面。實綫表示水汽輸送矢量垂直於各剖面進入到大陸內部，虛綫表示自大陸內部向四周剖面輸

出的水汽流量。

大陸西側冬季(圖 5)除成都和蘭州之間近地面層有極少量的水汽向西輸出外,主要都是輸入,但成都以北到酒泉輸入量極為微小,主要輸入在成都-騰冲之間,最大在騰冲-西昌之間的近地面層。夏季(圖 6)較冬季的輸送略為複雜,蘭州以北輸入量較 1 月大了好幾倍,原來西昌騰冲之間較強的輸入現轉為較強的輸出,西昌以北主要都是輸入。最大輸送約在 600 毫巴,比冬季高了一公里多。

東部沿海的輸送形式(圖 7, 8)冬夏頗為相似,都以輸出為主。對東部大陸來說,西邊的輸入和東邊的輸出都是在西風影響之下,但西邊剖面因恰在高原的東緣,流綫的分佈較為複雜,東邊剖面均在西風帶下,因此輸送較有規律,僅在上海附近 700 毫巴以下

冬夏均有較弱的輸入。夏季的輸送量比冬季大得多,最大輸送量的高度夏季比冬季低,夏季在 800—700 毫巴,冬季則在 600—700 毫巴的高度。水汽輸送量的冬夏變化與我國冬夏季風的屬性有密切關係。但最大輸出中心,冬季在上海以南,夏季則北移到上海與旅順之間,在福州與衢州之間維持着一個次大中心。

在南北兩個剖面上,基本上都以水汽輸入為主,我國北部內蒙地區無論冬夏都以偏北風盛行,整年都有水汽輸入,且輸送型式極為相似(圖 9, 10),最大中心都在錫林浩特與溫

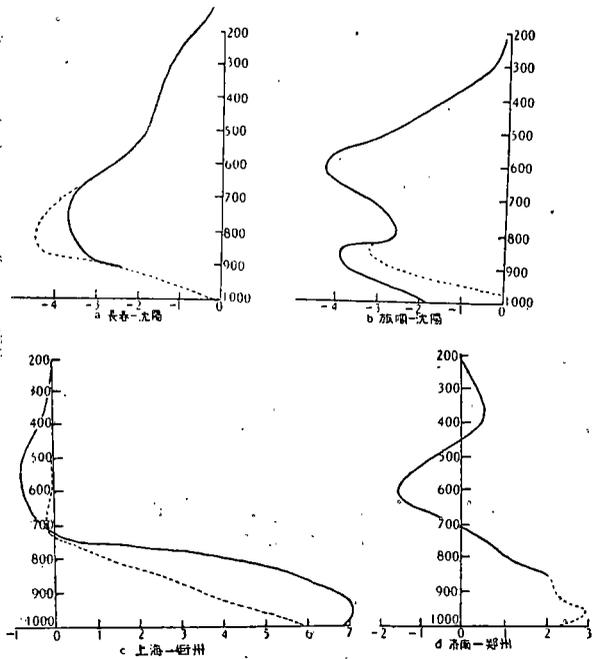


圖 4. 1956 年 7 月水汽輸送垂直分佈曲綫
(縱坐標為毫巴, 橫坐標為克/厘米·毫巴·秒)
a. 長春—沈陽, b. 旅順—沈陽, c. 上海—衢州,
d. 濟南—鄭州。

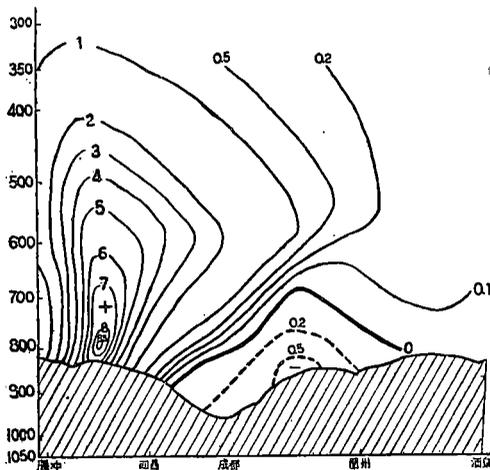


圖 5. 1956 年 1 月經過西邊剖面的水汽輸送
(單位: 克/厘米·毫巴·秒)

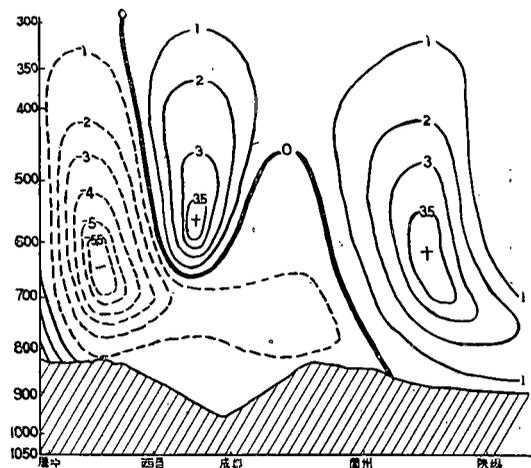


圖 6. 1956 年 7 月經過西邊剖面的水汽輸送
(單位: 克/厘米·毫巴·秒)

都爾廟之間的 700 毫巴的高度上，由此向東或西輸送量就很快減少，唯一不同的是夏季的輸送強度要比冬季大了四倍左右。雖然在這一帶全年幾乎都在極地大陸氣團影響之下，但夏季的極地大陸氣團比冬季要潮濕得多，因此輸送量亦就大了。

南邊的剖面在南寧以東，剖面基本上是沿海岸綫的，以西則逐漸進入高原。冬季南部的水汽輸送是比較錯綜的（圖 11），如騰冲與昆明之間，1 月有比較強的自北而南的輸送，但自昆明向東南到海口則有比較大地區的水汽輸入，最大輸送在 700 毫巴。海口以東水汽仍然有輸出輸入兩部，在東南沿海，近地面層為輸入，700 毫巴以上則以輸出為主。夏季南部的剖面（圖 12），除在南寧附近自下而上有微弱的輸出之外，主要都是輸入，西南部分輸入量較冬季增加一倍，東南部分不但強度增大，而且輸入範圍亦擴大了。

從上面東、南、西、北四個剖面的水汽輸送，可以看出我國東部大陸水汽可從西、北和南三個剖面輸入，雖然北邊剖面冬夏均為水汽輸入，但水汽輸送量則以從南邊剖面的輸入為最主要。東部則基本上是水汽的出口。

如果我們以福州和騰冲以南各剖面（圖 11, 12）上進來的水汽為來自南方海洋的，酒泉和佳木斯剖面進入（圖 9, 10）的水汽為極地氣團輸送來的。來看看 1 和 7 月這兩個不同方向輸送到大陸內部的水汽量的比例如何：以 1 和 7 月南北兩剖面總輸入量為 100，那末 1 月自極地氣團輸送來的水汽佔 20%，南方海洋輸送來的佔 80%；7 月份水汽輸送總量增大，北方輸入佔總量的 40%，南方則為 60%，由此看出，我國雖是季風氣候地區，冬季極地大陸氣團控制全國，夏季熱帶海洋氣團深入大陸，但是水汽的輸入量無論冬夏都以南方海洋的輸入為主。

(3) 水汽的渦流輸送：渦流輸送是指由於風的擾動而產生的水汽輸送，這擾動是因氣旋、反氣旋、低壓槽和高壓脊等移動所引起的。本文所謂的渦流輸送即 (2) 式中中等號右邊最後一項。在此假設第二、三項的值在計算中很小，可以略而不計，那末從總輸送量中減去平流輸送量即可得到渦流輸送量。

一般地說，在我國東部大陸上水汽的總輸送量中，平流輸送項是佔絕大部分，但是否渦流輸送在水汽輸送之中就認為不重要呢？不是的，渦流輸送項的重要性因時因地而有不同。我國位於歐亞大陸東南，近地面層在冬季經常有極地高壓來到，夏季不斷地有低壓由西南向東移動出海；在高空，槽脊的移動也是常見的。因此在這些氣壓系統通過的地區亦就引起水汽的渦流輸送。

從渦流輸送佔平流輸送的百分比來看，冬季（圖 13）我國東部有兩個渦流輸送比較大

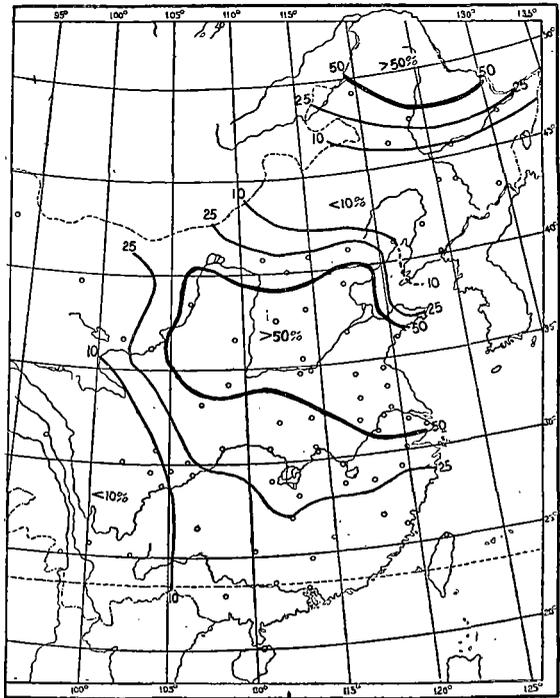


圖 13. 1956 年 1 月渦流輸送：平流輸送 (%)

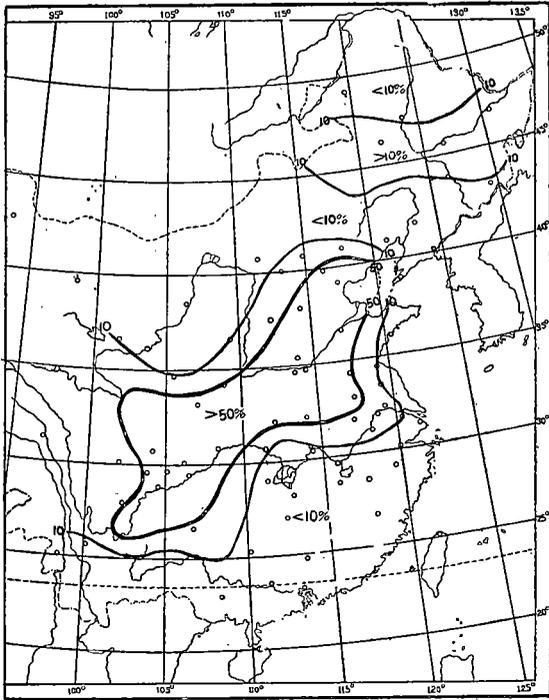


圖 14. 1956年 7 月渦流輸送:平流輸送(%)

的地方 (>50%): 一在東北的北部, 另一則在淮河與黃河中下游地區 (30°—40°N)。後者主要是從河套開始, 經過黃河中下游、淮河流域以及長江下游部分地區, 其中個別地區如山東丘陵地的東南部, 渦流量甚至超過平流輸送量, 這可能與冬季極地高壓中心經常通過此地向東入海有極大關係。最小渦流輸送是在我國西南和東北的松遼平原, 還不及平流輸送量的 10%, 其次為華南, 渦流輸送約為 10—25%。

夏季(7月)渦流輸送一般比冬季小, 最大的渦流輸送帶 (>50%) 已不像 1 月是西北—東南向的分佈, 而是西南—東北向的帶狀分佈, 從四川盆地向東或東北抵達黃河下游。7 月這一帶亦正是鋒區所在, 常有氣旋、反氣旋或其他小的擾動經過, 因而引起的渦流輸送量相當大。在它的南北側渦流輸送量很快減少僅為

10% 左右, 亦就是說這時候從秦嶺向東北到松遼平原的北邊有比較穩定的自西北向南的平流輸送, 南部從雲南南部向東經過珠江流域再向東北到長江中下游以南地區經常有西南或自南向北的平流輸送。由此看來我國東部水汽輸送中渦流輸送佔有一定的地位, 但其重要性在冬夏有地區性的不同。總的來說冬季渦流輸送最大是與該時高壓移動路徑有關, 因此是西北—東南向的分佈, 夏季則與鋒面活動有密切關係, 因此是西南—東北向的。

四. 我國東部大氣中的水份平衡

大氣中水汽輸送是受到大氣環流的影響, 由於大氣環流在一年內有季節變化, 特別在東亞季風氣候地區, 冬夏大氣環流有顯著的不同, 相應地亦發生了不同的水汽輸送, 因此從水汽輸送或水份循環, 亦可刻畫出一部分大氣環流的現象。

大氣中水份平衡的計算用一概要圖(圖15)來加以說明, 在某一特定地區內, 在計算的一段時間內, 進入該地區的總水汽含量為 W_i , 出去的水汽含量為 W_o , 在這一段時期內共下了 r 的雨量, 蒸騰了 E 的水份, 同時在計算開始時, 該地區上的空氣柱中原存的水汽含量為 W_1 , 結束時為 W_2 , 在這地區, 該段時間內大氣中水汽含量的變化為 $W_2 - W_1 = \pm \Delta W$, 長年平均 ΔW 可以略去, 在短時期中 ΔW 不能略去, 因此蒸騰量:

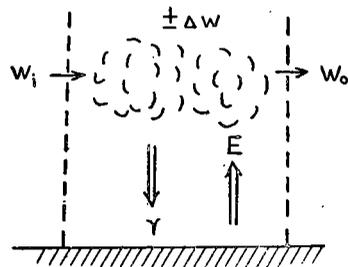


圖 15. 水份循環的示意圖

$$E = W_o + r - W_i \pm \Delta W, \tag{3}$$

可惜還沒有土壤濕度的觀測資料，不然亦可從大陸上水份平衡公式：

$$r - E \pm \Delta S = F \quad (4)$$

計算出該地區逕流量 F ，其中 ΔS 為土壤中水份含量的變化。

將上面水汽輸送的結果代入公式(3)，計算該地區的平均蒸騰量。我國冬季南北溫度差異較大，蒸發和降水亦很不均勻，計算這樣大地區的平均蒸騰量沒有什麼實際意義，因此只以 1956 年 7 月的水份平衡為例，求出 7 月份大氣中水汽平衡的各個項。

1956 年 7 月水汽的淨輸送量 ($W_i - W_o$) 為負 168 立方公里的水，從大陸平均狀態來說，該月水汽是輸出多於輸入，這說明該段時期裏大陸內一定有大量的蒸騰來彌補超額的輸出才足以維持平衡，也就是說這段時期裏大陸的蒸騰量應該超過降水，大陸是個水汽源地。

我們計算出 7 月 1 日和 31 日該地區大氣中水汽含量的變化 (ΔW) 為 -10 立方公里，用量積儀求出該地區內 7 月份總降水量約為 525 立方公里 (圖略)，由此得出該地區 7 月份蒸騰了 683 立方公里的水，即每平方厘米上的平均蒸騰量為 179 毫米。這數值比朱崗崑^[13]用 Penman 方法所計算出的該地區 7 月平均自然蒸發 (約為 130—140 毫米) 為大，同時比 Benton 計算美國大陸 1949 年 7 月的蒸騰量幾乎大了 3/4 倍。這時整個大陸每平方厘米平均約下了 135 毫米的雨，所以 7 月份的蒸騰量超過降水量約 44 毫米。這樣似乎給了我們一個異常的感覺，在季風氣候地區，一般夏季風帶來豐富的水汽，造成夏季降水集中的現象，本年 7 月雖然自海洋輸入了大量的水汽，但由於東部沿海輸出很強，因此水汽是出超的，但這種情況是否可能長期的維持着？當然不會，至少在我們計算的兩個月中 1 月的淨輸送量就是正的 (240 立方公里)，亦就是說一年之中各月淨輸送量不會都是負的。現在我們只計算了一個 7 月，亦不能說所有 7 月的水汽輸送淨量都是負的。我們知道東亞大氣環流的季節變化冬夏是有顯著的不同，而年與年間的變化有時亦有相當大的差異，因此這一年水汽循環的方式亦可能是很特殊的。

五. 總結和討論

從上面的討論，初步得到這樣一些概念：由於我們是季風氣候地區，不但冬夏環流有顯著的變化，高低空環流的季節變化亦不一致，因此水汽輸送隨着季風環流的改變，冬夏有顯著的不同。

(1) 以 1956 年而論，冬季北或西北風帶來的水汽幾乎遍及全國，但偏北風輸送的水汽量很少，故即使在冬季仍以南方輸入的水汽量為主；夏季來自南部海洋的水汽可以向北輸送到黃河中下游和松遼平原。

(2) 我國水汽輸送的垂直分佈比較複雜，水汽輸送最大一般在離地面 1000—1500 公尺左右，但有些地方又常在 700—600 毫巴出現一個輸送次大。又以東、南、西和北四個剖面而論，南、北、西三面無論冬夏水汽基本上都是輸入，其中以南邊剖面的水汽輸入對我國東部大陸氣候與水份平衡起主要作用。東邊的剖面幾乎終年都為水汽的輸出。

(3) 水汽的渦流輸送，在某些地區佔了相當重要的地位。由於我國是季風氣候地區，冬季不斷地有極地高壓從西北向東南運行，夏季西南低壓經常地向東部沿海移去，這樣就引起了我國冬夏季最大渦流輸送不同地帶的分佈。

(4) 1956年7月我國東部大陸是個水汽源地，因此大陸上必須蒸騰大量的水汽，才足以維持該地區的水份平衡。1月水汽的輸入超過輸出，我國冬季各地降水很少，1月長江流域以北平均氣溫又都在零度以下，蒸騰量必然是很小的。

此外在我們的計算中，還存在許多缺點是應該指出的，除了資料本身準確性有問題外，有

(1) 測站分佈稀疏，計算中相距幾百公里的兩個測站之間，無論大氣中水汽含量的比濕或兩站間的風速，我們都假設其中的變化是綫性的，取其平均值為代表，但實際情況一定是比較複雜，有些小的擾動可能略去，因而也可能低估了水汽的渦流輸送。

(2) 輸送矢量是垂直於兩個測站間的剖面，它表示實際進出這剖面的水汽流量，但不能就代表實際的輸送向量，這一點在我們以後的工作中應加以改正。

(3) 水份平衡的計算，適用於一比較小的範圍和測站比較多的地區，目前受測站位置分佈的限制，還不能按各河流域面積為單位，否則有了逕流量還可從大陸上水份平衡公式

(4) 計算蒸發，核對(3)式計算的準確性。

* * * * *

本文是在高由禧先生熱忱指導下完成的，特此深表謝意！在工作進行中承李志棟、張志英、張杰和黃雪英等同志協助統計，謹致謝意。

參 考 文 獻

- [1] Sutcliffe, R. C., Water balance and the general circulation of the atmosphere. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **82** (1956), 385—395.
- [2] Воейков, А. И., Круговращение воды в природе. Осадки и испарение. "Метео. вестник", **10** (1894), 12.
- [3] Каминский, А. А. и О. В. Ванеева, Перенос водяного пара на Европейскую территорию СССР в теплый сезон. *Записк Гос. Гидрод. ин-та*, т. 8. л. (1933).
- [4] Погосян, Х. П., 大氣中水份循環方式. 地理學報, **20** (1954), 27—44, 江愛良、潘怡航譯.
- [5] Будыко, М. И. и О. А. Дровдов, 論大氣中水份循環的規律性. 氣象學譯報, **1** (1954), 17—20, 楊繼初譯.
- [6] Шипчилинский, А. В., 論水分內循環問題. 氣象學譯報, **2** (1955), 129—137, 鄒進上譯.
- [7] Рутковский, В. И., 論內陸水份循環. 地理譯報, (1956), 168—173, 徐士珍、閻海觀、馮興祥譯.
- [8] Benton, G. S. and R. T. Blackbrum, The role of atmosphere in the hydrologic cycle. *Trans. Amer. Geophys. Union*, **31** (1950), 61—73.
- [9] Thornthwaite, C. W. and B. Holzman, A new interpretation of hydrologic cycle. *Trans. Amer. Geophys. Union*, **19** (1938), 595—598.
- [10] Benton, G. S. and M. A. Estoque, Water-vapour transfer over the North American Continent. *Jour. Met.*, **11** (1954), 462—477.
- [11] Hutching, J. W., Water vapour flux and flux divergence over southern England summer 1954. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **83** (1957), 30—48.
- [12] Starr, V. P. and R. M. White, Balance requirements of the general circulation. *Geophys. Res. Pap.* 35 (1954), Cambridge, Mass.
- [13] 朱崗崑、楊叔章, 中國各地蒸發量的初步研究. 氣象學報, **26** (1955), 1—24.

WATER-VAPOUR TRANSFER AND WATER BALANCE OVER THE EASTERN CHINA

Hsü SHU-YING

(Institute of Geophysics and Meteorology, Academia Sinica)

ABSTRACT

Using radio-soundings and pilot ballon wind observations of January and July 1956, the water vapour transfer and water balance over Eastern China are calculated.

Together with the seasonal variations of monsoon circulation, the transfer of water vapour in summer is quite different from that in winter. However, in both seasons the inflow of water vapour from the south are much more important than that either from west or from north. In comparison with the total transfer, the eddy transfer in general is less important, but it is relatively remarkable along the frequent paths of disturbances in the said season.

During month of July 1956, this continent is shown to be a water source. Evapotranspiration is larger than precipitation.