氣 象 學 報
第22卷，第1期，19—22頁，1951年6月

近代動力氣象學的進展*

顧震潮

（中國科學地球物理研究所）

如果我們回顧一下近代動力氣象學的進展我們可以看出動力氣象學在經歷悠長的道路之後是慢慢走近成熟的階段了。的確近代動力象氣學上的成就(1)，特別是近15年來動力氣象學上的成就是輝煌的。產生這種成就的主要原因可以說有兩個：

一、氣象觀測技術的突飛猛進。在過去我們只限一些有限的地面觀測紀錄，對天氣的了解不但只限於地面，並且也是限於局部的，小範圍的。氣象觀測技術特別是高空氣象觀測技術的充分發展，使人們對大氣的結構得到更清楚的了解，顯示了大範圍大氣運動的實際情況。因而動力氣象學上能夠創造更現實的模型。這一點是比較明顯的。

二、明確地現實化的基本哲學。在過去動力氣象學家有着濃厚的唯心觀念。他們把動力氣象學看做數學，所以往往不看天氣圖，深深地脫離實踐，因而不想也不能從實踐裏創造現實的模型來進行研究。研究出來的結果自然也就難於結合實際，也說不上什麽成就了。挪威 Godske 對大氣波動的研究便是典型的例子。相反的，近代動力氣象學家的觀點是現實的。像 Heisenberg 在量子力學裏引入方陣力學(2) 的想法一樣，近代動力氣象學家指出動力氣象所研究的對象首先應該是可以觀察到的物理量。特別是預報員可能觀察到的物理量。因爲根據這些可以觀察到的物理量，預報員的確已經做出了成績。因此不能觀察到的物理量，不但無法直接證實，並且至少也不是首先要注意的東西。所以在天氣形勢的發展裏，非梯度風、輻合、輻散，以及垂直運動的詳細情形等等便不是主要的問題。人們因此可以暫先不管這些東西，而從實踐中創造一些比較簡單而實際的模型，從而獲得更切實的結果(3)。在這方面 Rossby 和 Charney 的看法是典型的例子。

在這樣的基礎上，近代動力氣象學的主流有着下列兩部分的發展：

一、行星波理論的建立和發展：行星波理論是動力氣象學上一個重要貢獻。在以前，動力學和天氣預報是脫節的。預報上用的不是靜力學關係，運動學關係，便是平衡

*中國科學院地球物理研究所論第著 210 號

關係。動力學的研究對預報幾乎是沒有什麽幫助的，至少是用不上的。這種現象正如 Koschmieder [4] 在 1933 年所說："實在是值得驚訝的事"。它充分表明了動力氣象的不成熟性。在這方面看來行星波理論的建立是有基本的重要性的。因爲行星波是第一個可用的動力模型。行星波理論是第一個用來幫助日常預報的動力理論。牠和以前的理論本質上是不同的[5]。

行星波理論的另一個重要性在於牠使小規模的天氣組織和大氣環流密切地溝通了，聯繫了起來。因爲行星波是牠們之間的一個中間組織。

從歷史上看行星波的理論是 1939 年 Rossby 所建立的。J. Bjerknes 和 Holmboe 後來雖然也在不同的假定下求出了簡單行星波的波動公式，但是後者不但只是一個特殊情形，並且牠的基本哲學也是不同的。J. Bjerknes 和 Holmboe 先假定了大氣壓力場的變化，然後產生運動。相反地，Rossby 先假定大氣有了運動然後產生壓力場[6]。以後研究的人和研究結果愈來愈多，例如 Rossby 的等渦度路徑，行星波能量傳播和"色散現象"，Haurwitz 對有限寬度行星波和球體上行星波的研究，趙九章，Charney, Eady, Berson, 等對於斜壓大氣行星波的研究(見後節)，Machta和Hassanein 對傾斜行星波的研究……不勝枚舉。因此我們只能提出兩個比較重要的方向：一個是强迫波動的研究。由此人們解釋了高原擾動的流型，並且對平均水平環流作了動力性的解釋，使人們對大氣環流的了解得到新的刺激。這方面的工作有 Queney, Steward, Charney, Bolin, Colson……等。另一個從行星波所引出的一種現實性的天氣形勢數值預報方法[7]，這種方法使天氣形勢的客觀預報有了新的希望，是值得我們研究下去的。在這方面主要是 Charney 以及 Eliassen, Fjørtoft, Neumann, Forsyth, 等的工作。

二、動力不穩定性的研究：動力不穩定性的研究也是一個重要的部門，因爲不穩定性不僅容許了高低脊槽的發展，並且也容許了整個形勢的突變。牠是很基本的問題。在這方面的研究大致也可以分做兩部門：

1. 西風波不穩定性的研究：西風波不穩定性的研究可以說是從解釋鋒面氣旋開始的。不過到今天，當然大家早已明白鋒面不穩定性並不是氣旋產生的必要條件，從方法上來看，西風波不穩定性的研究可以分做兩個範疇：

A. 氣塊法（Parcel method）：牠着眼於一個氣塊離開平衡位置後所可能有的運動情況。穩定性是由氣塊附近的局部情況，例如 $\frac{\partial u}{\partial y}$，$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$ 等來決定的。主要的出發點是假定擾動不大，氣塊移動後氣壓場可以保持不變的角動量不變原則。對於這些研究現在大家已經了解大致只能解釋一些小波動，並不能夠解決大波動（如行星波之類）的不穩定性問題。在這方面的研究主要是 Solberg, Hφilond, Fjφrtoft,

Holmboe，郭曉嵐等對惰性不穩定的研究，以及郭曉嵐最近由（1949）從 $\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$ 解釋不穩定性的研究[8]。

B. 波動法：在這方法下研究的不是一個氣塊在位移中的不穩定性而是一個波動的不穩定性。着眼的是整個大氣區域的性質，邊界情況是一個主要的因子。出發點是渦度不變原則。結果人們發現西風垂直切變或者南北溫度梯度可以造成西風波的不穩定性。（這些研究後來發現並沒達到原來的目的，即是並不能夠解釋大氣行星波等的發展，因爲依照這些研究一般大氣情況下的行星波全是不穩定的了，然而它們說明了斜壓性對行星波的義意。因此對整個理解上是有貢獻的）。這方面主要便是上面所說的趙九章等等所做的研究。

2. 西風本身的不穩定性：除了西風中波動的不穩定以外，西風本身也有不穩定性。這指的是西風底崩潰現象，特別是阻塞流型發生時西風急流的急速崩潰和分裂。這種現象是重要的，但到最近才引起大家的注意。這方面的研究有 Rossby，Freeman（尚未發表）等等。Rossby 等的研究不但對西風本身的穩定性給了一種初步的解釋，並且在分析技術上也有基本的重要性。因爲他們用了大氣運動的非線性來解釋這些現象，而明顯地指出西風運動的非線性這還是第一次。雖然如此，Rossby 的解釋卻並不圓滿，因爲在 Rossby 的理論裏大氣界的西風幾乎永遠是不穩定的。此外也許 $\frac{\partial u}{\partial x}$ 對西風的崩潰應該起一定作用，這是值得研究的。

另一方面，郭曉嵐（1950）對這問題另有一種看法，他把西風本身的不穩定性和西風波動的不穩定性連繫了起來，而形成了完整的一環。即是西風不穩定性造成了西風波動的生長，從而使西風能量減少，變爲穩定。而西風的穩定造成了西風波動的穩定，從而使西風能量增加而又使西風變爲不穩定。這是一個合理的辨證過程，是值得特別提出來的。

除了上面兩大部門以外，動力氣象學方面還有許多進展因爲還沒有發展到一定的階段，我們還不能系統地給予批判性的介紹。在這方面特別明顯的是西風生滅循環的問題。（前段裏郭曉嵐的看法雖然提出了一種循環，但並沒有包括西風崩潰的大循環在裏面，因此不能算是基本的循環）。的確在這方面不論西風的生長或是西風的崩潰我們都還不十分清楚。在這裏我們應該指出西風生成和西風崩潰的理論必須連繫成一個循環來解決。任何單獨的解決必然是片面的，不完全的東西。我們需要這樣一種西風生滅的理論，在這種理論裏西風在生成的過程中必需蘊含了西風崩潰的因子，而西風崩潰的過程裏也必需蘊含有西風生成的因子。任何違反這種要求的孤立的西風生成理論或是西風崩潰理論是不能自圓其說，不能受到實踐的放驗的。在這方面，我們的前面是一片荒地，需要我們大家來開荒。不但要從動力氣象方面出發，並且，和

Palmén 的見解相反(9)，目前還可以，並且需要對整個北半球的西風循環做天氣學的分析，保證理論與實踐的密切結合來解決問題。

一九五一・五・十七

註：

㊀ 由於篇幅的限制，我們這裏不得集中討論動力氣象學的主流。因此譬如像大氣亂流方面蘇聯 Kolmogoroff，德國 Weisssacker，Heisenberg，英國 Batchelor，Townsend 等的精彩的統計理論等都只能不談了。

㊁ Heisenberg，反對以原子模型裏的軌道半徑等無法觀察到物理量作研究運算的對象。而主張用可以觀察到的物理量來做研究運算的對象，他的方陣力學裏便是用能量差來作運算對象對的。因爲能量差可以化爲光譜線而觀察到。

㊂ 行星波理論（見後）便是這樣創造出來的。像他在天氣圖分析上用了五天平均圖而把短的氣旋波"濾掉"一樣，Rossby(1939) 在理論分析上引入地轉平衡的假定來處理渦度方程而數學地"濾掉"了氣旋波。

㊃ Koschmieder，H.,1933: Dynamische Meteorologie，Leipzig.

㊄ 當然行星波理論並沒有也不能够完全解決預報問題，但牠是一個正確的良好的開頭。

㊅ 自然運動和壓力場的因果問題不是我們要談的題目。不過我們可以在這裏順便提及"風是氣壓梯度造成的"那種古老想法是片面的，容易發生嚴重誤會的說法。Rossby 不斷地明確指出：運動也可以產生壓力場，即運動並不一定是氣壓場的結果，而也可以是氣壓場的原因。

㊆ 應該指出在這工作裏 Charney 所引出的"信號速度"的概念是重要的。"信號速度"不但規定了影響傳播的速度，並且由影響的大小決定信號傳播速度的關係，即是從質的討論達到量的固定。

㊇ 我們得指出 $\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$ 不是一個可以觀察到物理量，並且也不能够比較精確地（從紀錄）算出，所以離開實際是有一個距離的。

㊈ Palmén，E.，1950: Bull. Amer. Met. Soc.，31(9).