

Н. Л. 塔巴洛夫斯基著

斜壓大氣的流體力學理論 與天氣學的幾個主要問題

何傳志

財政經濟出版社

斜壓大氣的流體力學理論與 天氣學的幾個主要問題

H. Л. 塔巴洛夫斯基著
張 家 誠 譯



財政經濟出版社

一九五五年·北京

編號：0603

斜壓大氣的流體力學理論與天氣學的幾個主要問題

定價(8)九角六分

譯者：張家誠

原書名 Гидродинамическая теория бароклинной атмосферы и основные вопросы синоптической метеорологии

原作者 Н. Л. Таборовский

原出版處 Гидрометеониздат

原出版年份 1947年

出版者：財政經濟出版社

北京西總布胡同七號

印刷者：中華書局上海印刷廠

上海漢口路四七七號

總經售：新華書店

55.12月，京型，100頁，137千字；850×1168，1/32開，6—1/4印張
1955年12月第一版上海第一次印刷 印數(滬)1—1,000

(北京市書刊出版業營業許可證出〇六〇號)

目 錄

序言.....	5
第一章 大氣壓力變化的基本理論.....	20
1. 起始的狀況與條件、第一基本方程式.....	20
2. 第二基本方程式.....	22
3. 第二基本方程式的另一種求法.....	23
4. 導微函數 $\frac{\partial P}{\partial t}$ 與 $\frac{\partial T}{\partial t}$ 的推定.....	26
5. 溫度與氣壓平流變化的公式.....	29
6. 氣壓動力變化的公式.....	32
7. 距地面上空任意高度上氣壓變化的總公式,動力因素與平流 因素間的相互關係.....	35
8. 總公式在高空圖上的應用.....	37
9. 氣壓與氣溫計算的一般方式.....	39
10. 氣壓動力變化與溫度場和氣壓場幾何性質間的關係.....	40
11. 運動量的輻散對氣壓變化的影響.....	53
12. 氣壓動力變化的直接原因.....	58
第二章 對流層鋒帶與大氣壓力的變化.....	60
1. 鋒帶觀念的發展.....	60
2. 鋒帶的構造.....	62
3. 鋒帶的變形.....	68
4. 鋒帶與鋒生.....	77

5. 鋒帶與氣壓變化	85
6. 氣壓動力變化的演化	90
第三章 氣旋與反氣旋	100
引論	100
1. 氣旋的產生	111
2. 1943 年 11 月 15—16 日之間氣旋生成條件的質的分析	119
3. 反氣旋的生成	131
4. 1944 年 4 月 17—19 日之間反氣旋產生的實例	134
5. 在鋒帶能的轉化問題的說明	141
6. 溫壓場的構造與氣旋的演變	144
7. 1944 年 4 月 1—3 日氣旋的構造與演變	153
8. 演變的第四階段及高空氣旋的形成	156
9. 溫壓場的構造與反氣旋的演變	164
10. 1943 年 4 月 12—16 日反氣旋的構造與演變	169
11. 氣旋的移動	180
12. 反氣旋的移動	185
13. 氣旋與反氣旋的靜止	186
結語	187
參考文獻	192

斜壓大氣的流體力學理論與 天氣學的幾個主要問題

H. Л. 塔巴洛夫斯基著
張 家 誠 譯

財 政 經 濟 出 版 社

一九五五年·北京

編號：0603

斜壓大氣的流體力學理論與天氣學的幾個主要問題

定價(8)九角六分

譯者：張家誠

原書名 Гидродинамическая теория бароклинной атмосферы и основные вопросы синоптической метеорологии

原作者 Н. Л. Таборовский

原出版處 Гидрометеониздат

原出版年份 1947年

出版者：財政經濟出版社

北京西總布胡同七號

印刷者：中華書局上海印刷廠

上海漢口路四七七號

總經售：新華書店

55.12月，京型，100頁，137千字；850×1168，1/32開，6—1/4印張
1955年12月第一版上海第一次印刷 印數(滬)1—1,000

(北京市書刊出版業營業許可證出〇六〇號)

目 錄

序言.....	5
第一章 大氣壓力變化的基本理論.....	20
1. 起始的狀況與條件、第一基本方程式	20
2. 第二基本方程式.....	22
3. 第二基本方程式的另一種求法	23
4. 導微函數 $\frac{\partial P^{\circ}}{\partial t}$ 與 $\frac{\partial T^{\circ}}{\partial t}$ 的推定	26
5. 溫度與氣壓平流變化的公式.....	29
6. 氣壓動力變化的公式.....	32
7. 距地面上空任意高度上氣壓變化的總公式,動力因素與平流 因素間的相互關係	35
8. 總公式在高空圖上的應用	37
9. 氣壓與氣溫計算的一般方式.....	39
10. 氣壓動力變化與溫度場和氣壓場幾何性質間的關係.....	40
11. 運動量的輻散對氣壓變化的影響.....	53
12. 氣壓動力變化的直接原因.....	58
第二章 對流層鋒帶與大氣壓力的變化.....	60
1. 鋒帶觀念的發展.....	60
2. 鋒帶的構造	62
3. 鋒帶的變形	68
4. 鋒帶與鋒生	77

5. 鋒帶與氣壓變化.....	85
6. 氣壓動力變化的演化.....	90
第三章 氣旋與反氣旋.....	100
引論.....	100
1. 氣旋的產生.....	111
2. 1943 年 11 月 15—16 日之間氣旋生成條件的質的分析.....	119
3. 反氣旋的生成.....	131
4. 1944 年 4 月 17—19 日之間反氣旋產生的實例.....	134
5. 在鋒帶能的轉化問題的說明.....	141
6. 溫壓場的構造與氣旋的演變.....	144
7. 1944 年 4 月 1—3 日氣旋的構造與演變.....	153
8. 演變的第四階段及高空氣旋的形成.....	156
9. 溫壓場的構造與反氣旋的演變.....	164
10. 1943 年 4 月 12—16 日反氣旋的構造與演變.....	169
11. 氣旋的移動.....	180
12. 反氣旋的移動.....	185
13. 氣旋與反氣旋的靜止.....	186
結語.....	187
參考文獻.....	192

序 言

關於大氣壓力變化的原因問題，是與氣壓表的發明同時產生的。在這方面第一個研究者托里析里（Торичелли）即從事於設計能够指出空氣狀況變化的儀器的人。他曾經明確地提出空氣壓力與溫度變化間關係，並推想出造成風的原因[118]。

其後，從事關於氣壓變化的原因問題的研究的，有巴斯喀（Паскаль），馬里阿特（Мариотт），曼朗（Меран），白努里（Бернулли）等人。這些人的研究提出其它更複雜的氣壓變化原因。本質上，這些工作僅祇是一些推測，而且大部分是不成功的，因為他們並沒有充分的物理基礎來解決這些問題。

僅在基本氣體定律 $PV = \text{常數}$ 發現後[波義耳(Boyle 1669)]，伽里略（Э. Галлею）才能得出了氣壓與其距地面高度間的關係[59]。但溫度對氣壓變化的作用尚未明確，這是因為氣體膨脹的基本定律（給·呂薩克 Gay-Lussac 1802）發現更晚得多。

然而空氣壓力與容積對於溫度的關係，至少在質的形式上，早在給·呂薩克定律發現之前^①，就已開始為大家所知曉了。克洛得·列卡（Клод Лека 1700—1768）最早指出，暖空氣比冷空氣輕，因此南風能使氣壓表降低，北風使氣壓表升高[97]。里雅其爾（Лягир）在十八世紀之初也得出這樣的觀念，氣壓的變化產生於空氣在加

① 顯然，從伽里略關於信風的論文，就可以推知在那時候這定律已為伽里略所知（1686）。

熱與冷却時的膨脹與收縮[27]。

這些簡單的觀念，是建立在這樣的假設上面，即氣壓的變化是由於容積相等的空氣的交換所產生的，因為僅在這種條件下，氣壓才與其密度是成正比例的。

天氣學方法引用到氣象學之後(布蘭德斯 Brandes 1820)這便大大地豐富了關於大氣過程的經驗知識，而且人們開始把氣壓變化的問題，基本上歸結為氣旋與反氣旋產生的原因去研究。

因此，氣壓變化的問題是與空氣運動的問題相關聯的，但究竟其中那一個是原因，——是氣壓呢還是風，却成了一個矛盾的問題。布蘭德斯[31]與愛斯俾(Espy) [51]在解決這個問題時，是把氣壓變化看做原因的，他們認為在氣旋裏，空氣是流向低壓中心的，愛斯俾又認為氣旋中心空氣有上升運動，而氣旋的移動，却與比較高一些的氣層中的氣流有關。

另一方面在多凡(Dove)的一些重要著作[49]中，對於上述這個問題亦沒有給以解決，因為他並不能將他所發見的極地氣流及赤道氣流與渦旋運動的產生相聯繫起來。按多凡的意見，最低的氣壓應當存在赤道氣流帶的中央，而最高的氣壓在極地氣流帶的中央。同時，多凡解決上述的矛盾問題時，他假設氣壓的分佈是氣流分佈的結果。這個問題的解釋是屬於現代的，在萊馨的“氣象學裏的因和果”一文裏(1937年第54期德文氣象雜誌)以及在以後的關於這一方面問題的研究著作之中，亦曾提到過這個問題。

從後來在這方向上的研究工作以范列爾(Феррель)和莫恩(Мон)的工作最為主要。他們的研究得出了一個低壓是地方性受熱的結果的解釋。因此克洛特列卡與雅其爾的最初觀念已被新觀念——即動力要素起着較顯著作用的新觀念所代替了。在范列爾的觀念中，他認為增熱區中的氣壓的減低是由於其上空有氣流流

出所致，這種觀點是動力的。

所提出的熱力擾動的模型能用來解釋大範圍中空氣運動的生成，在這種運動中地轉偏向力有着重要的影響。范列爾研究了地轉偏向力，但假說在高空中向外流出的空氣裏，地轉偏向力開始超過了自空氣下層所取得的角速度[55]。

莫恩[13]詳盡的研究了氣壓變化發生的原因。他認為主要的原因是空氣垂直運動，空氣的垂直運動是與高空大氣中空氣的流入與流出相聯繫的。因而引起了空氣柱質量的改變。此外，他又認為使得氣壓降低的其它原因之一，是空氣的水平運動。他認為若是空氣在水平的方向上運動愈快，則地面上氣壓愈低^①。莫恩認為水汽的凝結過程在氣壓的變化裏有重大作用。然而，在莫恩所列舉的原因之中，並沒有提及由於冷暖氣團流過時所引起的簡單的靜力作用。

不論在范列爾與莫恩的動力的解釋裏，以及在靜力條件裏，同樣都要求氣旋是暖的，反氣旋是冷的。用這樣的觀點，莫恩分析為什麼在冬天氣旋與反氣旋較夏季為強的問題。在他的解釋中，他論證了冬季氣旋內雲量很大時，促使保持相當高的溫度，而在夏季雲量妨礙了加熱[78]，大約在同一個時候，亨恩(Hann)[60]發表了一篇著作，他指出在歐洲至少是從地面到3千米的高空反氣旋較氣旋為暖。在此以後，亨恩關於這方面的著作曾發表於1890年[61]。

這些結果使得在反氣旋區域中的高氣壓和氣旋區域中的低氣壓的原因問題更為複雜化，而應當將動力的原因作為前景。亨恩與對流凝結理論擁護者之間就這個题目的討論在許普龍格(Sprung)的“氣象學教程”中有說明[111]。

① 與此連帶可提到馬里阿特的意見，他假設風的方向是按切線方向離開地面的，則其上諸層的氣壓受其阻塞(“Essai Sur la nature de l'air” 1676)。

時時有較深刻觀念出現，這些觀念以近代觀點看來，其對氣旋生成的動力了解仍是正確的。法伊(Фай)在 1879 年發展了與上層氣流漩渦形成有關的龍卷風與氣旋形成的觀念。

他寫道：“在大氣不同的高度上形成了實際的空氣河流(即氣流——譯者)這對於空中飛行者是熟知的，在這個河流中，一支氣流與另一支氣流間微小的速度差異即可產生氣流的迴轉。這些渦流自高空穿過靜止的空氣而垂直下降至地面，而在整個時間內，受到產生渦流的上層的影響”[54]。

從近代觀點看來，這個觀點基本上是正確的。法伊的錯誤在於他的理論被其中具有矛盾的事實否定了，旋轉運動由上向下的傳遞，按其理論是藉下降空氣本身傳遞的，而事實上下層空氣所以得到旋轉的運動，僅是由於氣壓傳遞的結果。

希爾(Гирн)發現在大氣上層有高速度運行的氣流，這種高速度運行氣流是氣旋性運動能量的來源[111]。

在十九世紀 25 年中也開始研究在高空大氣層中的氣壓場與風。這裏僅提到希爾德布蘭德森(Hildebrandsson)的“高空大氣層中的運動圖”[67]，從其中已可得出在氣旋與反氣旋內地面氣流場與高空氣流場間關係的準確觀念。

曼列爾(Möller)就地面等壓線與等溫線劃出在氣旋上的高空等壓線，指出氣旋中心隨高度傾向西西北，並變為低壓槽。

上述這些結果，例如列伊(Ley)的推論說，所有在西歐產的氣旋之中有 70% 是在衰老低壓的西南沿產生[73]的。這個結論從近代觀點看來，可發展為關於氣旋生成過程的正確觀念。

柯里奧里斯(Corriolis)關於地轉偏向力的理論[45]，使大氣運動的問題有可能準確地當作為流體力學的問題，在這方向上除去范列爾與赫爾姆霍茲(Гельмгольц)關於大氣環流問題的工作

[65]外,在十九世紀的最後25年內,出現了不少研究簡單的氣旋性與反氣旋性運動的理論性論文。其中最有名的是古爾堡(Guldborg)與莫恩[58],奧別爾別克(Oberbeek)[82]與德·馬爾克(Marchi L, de) [76]諸人的研究。古爾堡與莫恩完成了很重要的一步,研究了地面與空氣間的摩擦力對風速與風向的影響。

流體力學與熱力學在氣象學上應用的發展,觀測的累積與完成,以及新近高空學方法的發展,使氣象學的問題增多了並分化了。關於大氣運動;氣壓變化,溫度變化等性質的各種結論相互之間還沒有密切地聯繫起來,因此還不能歸納成爲一個系統。

氣旋與反氣旋生成的問題,是有着其獨特的發展道路的;關於氣壓變化的問題,當人們把熱力學與流體力學應用於氣象學之後,就與一般氣旋生成的問題不同了。到目前爲止,這兩個問題在相當程度上是各別研究的,在其間缺乏必要的連系。二十世紀之初,關於氣旋與反氣旋生成的問題,還是在一種令人不能滿意的情況下,克洛索夫斯基(А. В. Клоссовский)曾激動地說過:“關於氣旋生成與其生成後的運動的原因尙待發現。在一些重要的地球物理課程裏,氣旋的運動的理論由於尙未完成而完全沒有說到”[11]。

從二十世紀開始以來,這問題有些改變。這個問題在某些程度上是帶有多凡的陳舊觀念的復活的性質。無論如何,但能作爲人們基礎的,不是這些舊的觀念,而是在過去時代裏所完成的一些研究成果。其中赫爾姆霍茲的工作無疑是起着重大作用的。

十九世紀氣象學者所爭執的氣旋有着是冷的還是暖的中心的問題,顯然首先爲皮蓋洛夫(Бигелов) [30]解決了。他指出冷暖兩種空氣同時存在於氣旋中心裏,因爲它是在冷暖兩種氣流間的界線上形成的。但關於氣旋發展(加深)的原因尙很少說明。

在後者的問題與方向上,在所謂流體旋轉理論名義下的,英國

著名的氣象學者們並沒有重要的成就 [91,107,32]。這個理論創作者之一，勃朗特 (Brunt) 說道：“理論所遇到的最大困難就是在於氣旋的中心氣壓降低”[33]。

氣旋生成的最完善的觀念是在挪威學派極鋒理論的基礎之上的。這個學派的經驗的研究，獲得了特別重大的成就[35]，而其理論上的研究並未得到任何完善的氣旋生成的理論 [36,37]。這在氣旋構造與演化的研究上是大進一步的，在挪威學派的觀念中對於氣壓場的注意是不及對流場與溫度場那麼注意。在皮葉克尼斯 (Бьеркнес) 關於環流的理論應用於鋒面擾動的模型裏，僅能將初期氣旋的加深一般性的與質的當作鋒面波來處理。

“挪威學派前後全部論文中，關於氣壓的問題是談得很少的。例如別喬汪 (Bergeron) 在其“三度空間天氣學分析”第二部分裏，僅可以找到兩個關於氣壓問題的註解：在第一個註解裏，他談到在氣旋渦旋裏純運動學的減壓時說道：“氣旋上空氣團不顯著的輻散的結果所產生”(第101頁)^①；在第二個註解裏“……暖鋒降壓區幾乎與降水區重合，因為這兩種動力學與熱力學現象可用冷空氣的流出而暖氣有規律的上升來說明的”(126頁)[1]。

在“天氣學”教程內，赫洛莫夫 (Хромов) 僅說過：“由於波峯附近產生氣旋性流線的結果，在有環流的正加速產生時，便出現空氣(在高層)反梯度的外溢；因而形成了低壓”(248頁)。

此外他又指出，這種空氣的外溢與冷暖氣團相互分佈的穩定性的破壞有關，又與這種氣團分佈的位能轉化為動能有關(第259頁)。但別喬汪(第97頁)寫道：“在擾動區域內位能轉為動能是如何產生與開始的，其純理論方面尚未確定”。

從這一些意見中可見關於氣旋加深的原因的問題，顯然還不

① 凡文中所列的頁數，均指本書所引文句出自何書的頁數。——譯文校者註

能認為已經解決了。關於這方面勃朗特寫道：“……可以說雖然低壓無疑是在界面上形成，其中的天氣現象可用冷暖氣流的相互作用來說明，但引起最初低壓加深的理由還是不明確的”[33]。

愛克斯勒爾 (Exner) [53] 所說氣旋與反氣旋生成“障礙”理論，由於在關於用其說明所要求的氣壓變化的可能性上有許多異議，並未得到任何普遍的承認[33]。在近代哈維茲 (Hauwitz) 也指出過，愛克斯勒爾理論的數學分析應當說明，在障礙之後的氣流輻散所引起的減壓，是否足以引起氣旋的生成[64]。

無論如何，應當提起注意的是挪威學派的理論也沒有諸如上面所述的類似的證據。挪威學派與愛克斯勒爾的兩種理論的出發原理是同樣的，即是從並排運動着的冷暖氣團的東西向緯向氣流的擾動出發的。關於氣壓變化的問題，則在兩個理論之間是不存在主要的差異的，因為它的歸結為擾動的原因。按挪威學派的理論，這種擾動就是冷暖氣團間界面上的波；按愛克斯勒爾的理論，擾動的原因是因冷空氣舌由於某種原因伸入暖氣流中的緣故。這兩種擾動在引起氣旋生成的運動的動力學上的說明應當是同樣的，但問題僅在於緯向氣流的擾動實際上是怎樣產生的。

挪威學派關於氣旋生成擾動即是界面上的波動的假設，是有利於最後地區別於愛克斯勒爾的假設的。無論如何，在氣旋生成的動力學方面，兩者都是相等的。

上述構造是有其過程對象的，它們主要是用對流層下部的過程，以解決在地面上所出現的低壓與反氣旋生成的急迫問題。若是我們注意到大氣的上層，並用統計的方法以確定氣旋與反氣旋內各層的氣壓、溫度與氣流之間的關係，則我們想將各種觀測所得的材料相互結合起來，便產生新的困難。這些困難的原因無疑地是對於大氣的過程缺乏一般的看法，缺乏將大氣機構當作整體

的看法。20—30 年之前就形成這樣一般的看法，我想幾乎是不可能的，但在現代由於研究大氣過程方法的發展，這就變為可以完成的了。

或許，主要的困難就在於怎樣將氣旋反氣旋生成的觀念，與冷氣漸漸流入氣旋，暖氣流入反氣旋的事實相符合起來（漢茲里克 [Hanzlik]）[62]。在亨·達因斯（Дайнс）[48]與赫姆福里斯（Humphreys）[68]之後，這方面就有了統計的證明。愛克斯勒爾（[53] 第 356 頁）引註說：第一個說明是純靜力學的，將其歸結為在冷氣旋內平流層位置低，並且具有高溫；而在暖反氣旋內則這些條件相反。從氣壓公式出發，愛克斯勒爾企圖純熱力學地說明高空氣旋與反氣旋 [52, 53]。假設在 20 仟米的高度上，各處氣壓相等並為常數，又假定予地面氣壓以一定的數值，愛克斯勒爾便求出了對流層和對流層內溫度的分佈問題。愛克斯勒爾所計算的結果與真實的情況是類似的，即在氣旋內，對流層較反氣旋冷，而平流層較反氣旋低和暖。無論如何需要注意，這些結果並沒有與氣壓公式更進一步結合起來，亦不能得出對氣壓變化說明的基礎。事實上，氣壓公式是將三個數值結合起來的一個關係式（在最簡單的情況下），這三個數值就是下層氣壓 P_0 ，上層氣壓 P 與兩層之間的平均溫度 T ——三值中知其二即可求出其三。但是因為按氣壓公式，在三值中存在着函數的關係而不是因果的關係，故在三值之中，任意一個值被另外二值決定，則是完全一樣的。在愛克斯勒爾問題裏，他是根據下層與上層的氣壓以決定溫度的分佈，又因為在上層的氣壓是常數，故可得出結論，地面的氣壓決定於溫度的分佈。

除此而外，20 仟米高的水平面上氣壓是常數的假設是可疑的。代替這個純人工的假設，則假設存在着氣壓為零或許密度無限減小的大氣自由面，且氣壓僅在無限高處為常數。