



大气锋的 高空天气学研究

叔 碧 恩 著

財政經濟出版社

大气层的 高空天气学研究

王德志 著

科学出版社出版

大气鋒的高空天气学研究

叔碧恩 著

鄒进上 紀乃晉 譯

陈 其 恭 校

財政經濟出版社

Г. Д. Зубян
СИНОПТИКО-АЭРОЛОГИЧЕСКОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ
АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТОВ

Гидрометеорологическое издательство
Ленинград 1955

根据苏联水文气象出版社
1955年列宁格勒俄文版本译出

大气锋的高空天气学研究

[苏]格·德·叔碧恩著
鄒进上 紀乃晉 译
陈 其 恭 校

*

財政經濟出版社出版

(北京西總布胡同7号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第60号

中華書局上海印刷厂印刷 新华書店总經售

*

850×1168 耗 1/32 · 4 $\frac{5}{16}$ 印張 · 98,000 字

1957年7月第1版

1957年7月上海第1次印刷

印數: 1—1,600 定價: (10) 0.65 元

統一書号: 13005.46 57.6, 京型

原書出版說明

在本書中敘述了作者所完成的大氣鋒的主要研究結果。本書由兩章組成。第一章前幾節是討論整個對流層和低層平流層中鋒區內氣壓與溫度的分布以及溫度的變異問題；並探討了低層平流層內鋒區存在的可能性問題。在本章的後幾節內敘述了大氣鋒的空間結構及其雲系的研究結果。在這裡特別注意研究冷暖鋒的雲系以及它們與冷暖鋒的溫壓結構之間的關係；錮囚鋒的熱力結構的研究也給予了很多的篇幅，並且還研究了它的形成條件。第二章論述了許多關於鋒的發展的動力學問題。這些問題是：鋒生（鋒消）與大氣垂直運動和變形場轉變間的關係；鋒面雲的發展與水平溫度梯度的依賴關係；錮囚鋒的形成過程等等。

作者創立了許多規則，這些規則在鋒面分析實際工作中可以直接地加以利用。

目 录

緒言	1
第一章 鋒的空間結構及其云系的研究	8
第一节 自由大气中鋒区内的温度分布及其变异。对流层鋒的 垂直伸展高度	8
第二节 平流层内的鋒区	22
第三节 自由大气中气压場内的鋒	27
第四节 对流层下部温度場随高度的一般分布的破坏、均温层	39
第五节 均温层与各种鋒的空間結構	43
第六节 关于鋒的空間結構的更进一步的意見	46
第七节 准静止鋒云系的某些特点	56
第八节 錮囚鋒	66
1. 錮囚鋒的空間結構問題	67
2. 关于錮囚鋒形成的理論	77
3. 气旋暖区中的錮囚鋒。关于气旋的热力結構	85
第二章 鋒发展的一些动力条件	89
第一节 鋒生理論	89
1. 垂直移动对自由大气中鋒生的影响	89
2. 論气流变形場内的鋒生	94
第二节 鋒發展的动力条件的进一步研究	101
1. 温度对比及其变化在鋒發展中的作用	102
2. 作为促进云与降水發展过程的錮囚鋒的形成	108
一般結論与实用規則	115
参考文献	124
附录 I	127
附录 II	133

緒 言

在大气环流系統内任一时刻，都有物理性質比較均匀的气团出現，这种气团占有巨大的空間，并移行于大气环流的某一主要气流之中。当存在有一定的动力学和运动学条件时，在不同的冷暖气流相遇的地方，便在重力場和地轉偏向力場中形成狹窄而傾斜的过渡帶，在这过渡帶内气象要素值在水平方向发生显著的变化，这种变化与比較均匀的气团内所出現的那些气象要素值的变化比較起来要大得多。大气内的这种过渡帶便称为大气的鋒。

在受着地面摩擦力的影响的对流層的最下層，沿鋒有非常强烈的风的輻合。在此層内鋒經常表現得这样剧烈，以致当它經過某一点时，在該地的自記仪器上几乎都能記錄出各种气象要素的跳跃性变化。在地面摩擦層之外的自由大气中，鋒就不明显了。在这里（即鋒区）它表現为一个各种气象要素（特别是温度和湿度）的水平梯度很大的地区，其寬度为数百千米。

在环流能量最为集中、并且常常有强烈的上升运动发生的鋒区内，云系与降水的形成和发展在頗大程度上是与这些鋒的活动相关联的；当鋒过境时，这个地区以及其他地区的天气变化也最为剧烈。因此，鋒的分析及其移动和发展的預告，是大气过程发展的一般天气分析方面及天气預告实践方面的中心問題之一。預报員对于鋒面了解得愈多，关于鋒的空間結構与云系及其发展与移行的規律性的概念了解得愈深入、愈广泛，則他对未来的天气发展

演变可以預报得更有把握，准确度也更大。因此，鋒的研究有着很大的实用价值。并且如同研究气旋和反气旋一样，鋒也是天气学中的一个基本問題。

在苏联和国外的許多研究者的研究著作中对于大气的鋒都有很多論述。这些著作的基本結論在 T. 白吉隆 (T. Bergeron) 的“三度空間天气分析”和1948年出版的 C. П. 赫罗莫夫 (Хромов) 的“天气学原理”(第3版)^[46]一書中(还参入了后来的研究)均有所叙述。因此，我們認為在本文中如果对以前的关于鋒的著作給予历史性的評述是多余的。况且，本書在叙述本人研究的問題的过程中，对各个方面都发表了批評性的意見。但在必要时，对近年来出版的一些著作，本文内仍当加以討論。

虽然在从有鋒面天气分析时候起的过去 30—35 年当中，关于鋒面的研究工作完成得很多，但是我們在这方面的知識以及对这方面的很多实际問題的解决的能力仍然是極其有限的。

在“鋒面分析及其三度空間結構”^[19]一文中，我們曾經指出，辨認和分析鋒的現有方法主要地是根据地面天气图，因此这在相当大的程度上便減小了我們辨認鋒面的可能性和容許了工作中的主觀主义。譬如說，在不同的天气局(甚至于在同一个天气局内)，不同的預报員所画的同一張天气图上，鋒的分析不仅互不相同，而且还会是矛盾的。另一方面，如众所知，即使是很有經驗的預报員，在分析鋒时常常也会遭受到很大的困难，而在这种情况下严重的錯誤是会发生的。

然而，十分明显，当分析大气过程和預报天气时，首先必須善于在天气图上找寻鋒面。在目前解决这一問題的有效方法几乎唯一地是决定于直接应用高空資料的完备性。由此可以直接看出，根据高空气象觀測資料的研究来改善辨認和分析鋒的方法，有进一

步研究的实际需要。这也是目前的研究任务之一。

鋒面发展的分析与預报是不可分割的整体,因而,鋒的空間結構及其云系的問題也就是天气預报問題。

关于研究这些問題的迫切性,無論从实际的或者理論的观点來說,都可以看得出来,因为关于鋒的大部分研究工作都是論述这些問題的。此外,作为一个值班預报員來說,多年来实际工作的經驗和許多的預报研究,都使我們确信鋒的空間結構及其云系的模型在应用上并不是普遍的,而是帶有局限性的。因为在很多情况下,它們与温度場、湿度場和云場的实际空間分布并不一致。由于这样,我們便进一步着手进行鋒的空間結構及其云系問題的研究工作,这个問題是属于本研究工作的主要問題之一。然而十分明显,这个問題是和研究改善辨認鋒的方法的可能性的問題紧密关联、并且相互交錯的。

在上面所提到的研究問題中,錮囚鋒占有很多的篇幅。这是因为过去对錮囚鋒的研究比冷暖鋒要少得多的緣故。实际上,在白吉隆和一些其他作者的研究工作里面,也只是給了关于錮囚鋒的最一般的概念,并且他們利用各种情况的垂直剖面图进行了高空分析,在他們之后,关于这方面的工作最近还是作得很少的。然而,从实际的观点来看,錮囚鋒对我們來說是有很大意义的,因为在我們的領土上常常遇到錮囚鋒,并且对天气狀況有很大的影响。

考察1946—1948年内中央天气預告研究所的天气图的結果表明,在这些图上,有很多副暖鋒和副冷鋒均被画成錮囚鋒,或者相反。显然,这就是說在辨認錮囚鋒的方法上存在的問題很大。因此,我們在着手研究时,首先提出关于探寻辨別錮囚鋒的可靠方法的問題。这个問題在一定程度上是解决了,此后又着手研究錮囚鋒的空間結構及其形成的可能性問題。

在研究鋒的空間結構方面，我們又插入了关于自由大气中(特别是上層对流層和低層平流層)气压、温度在鋒区内的分布及温度的变异問題。这些問題不仅直接关系到我們的論題，而且在其探討工作中，研究它們也是必經的阶段。这些研究問題的提出，也是由于新的要求所驅使，譬如与高空飞行相关联的航空天气服务方面的需要就是一个例子。

在第二章内研究了鋒生問題与鋒发展的某些其他动力学条件。

近代关于鋒生的数学理論的最大缺点，是在理論中沒有考虑垂直速度。有些作者^{[8][50]}在其研究中不考虑垂直速度对鋒生的影响，其所以这样，是因为他們在解决这个理論問題时只考虑地表面，在这里他們采用了附帶的条件。其他一些作者認為，鋒生的基本特点决定于空气的水平輸送，如果从我們的观点来看，这并不是很重要的。因此，我們的任务是要获得鋒生与垂直运动的关系的理論。这个問題根据V. 皮叶克納斯(V. Bjerkness)的环流定理已經得到了解决。所得到的結果表明：大气中的垂直运动在鋒生中具有很重要的作用，并且二者之間存在有紧密的物理联系。

气流变形場中的鋒生問題是近代鋒生理論的重要部分。在有关这方面的一些著作中有一个共同的缺点，就是在討論鋒生(鋒消)条件时，往往把它和这个变形場的发展割裂开来。因此，在气流变形場中，从鋒生轉变到鋒消或者从鋒消轉变到鋒生是怎样发生的，这个重要問題仍然是一个悬而未决的問題。在本著作中一方面注意到这点，同时研究了鋒生(鋒消)条件与气流变形場的轉变的关系，以及在整个对流層和低層平流層中这一轉变的某些特点。

在过去的一些著作中，只是研究了对流層下部和中部变形場轉变的一些特点。

本文研究鋒的主要方法，是採取逐層分析各層溫度場的方法，這些溫度場是地面天氣圖上的溫度場、900(850)、700、500、225毫巴絕對氣壓形勢圖上的溫度場和O T 500/1000、O T 225/500和O T 96/225相對氣壓形勢圖上的溫度場。在很多情況下，加用了垂直剖面圖，有時還將計算所得垂直速度圖也補充到這些研究里面。有些結論是根據觀測資料的統計分析得到的。顯然在目前為了解決研究中所討論的那些問題起見，我們所選擇的方法是極有成效的，實際上這方法也是最容易做的。

我們曾打算在上述研究中引入風和比濕圖。然而，在研究鋒的結構特點以及在辨認鋒的實際工作中，在比濕圖上並沒有任何新的發現。因為濕度場的基本特點是與溫度場的基本特點重複的，並且它的梯度表現得也不如溫度場那樣明顯。至於談到風，那末，關於風的資料在鋒區內是極其有限的，而且我們也不能根據風來闡明鋒的任何結構特點。所以我們利用等溫綫圖是比較容易做到的。

必須指出，因為自由大氣中的風和濕度在相當大的程度上決定於溫度，所以溫度是具有充分的特征性的量，即使是在發現鋒並且分析它的空間結構時也是如此。在這裡可以引証白吉隆的一段話，他說：“我們簡單地、粗略地把鋒看成是一個窄狹而傾斜的過渡帶，其垂直伸展範圍和氣團一樣，在這過渡帶內有兩種或兩種以上的變量(溫度、氣壓、風、濕度)的，在數值上的變化具有大範圍的動力學意義。因為在同一高度上的氣壓差總比通常所遇到的溫度的跳躍性變化要小得不可名言。因此溫度的跳躍性變化便決定了密度的跳躍性變化，密度的跳躍性變化和鋒的坡度一起又決定鋒的動力意義。”^[47]。白吉隆還指出鋒上的力管數目與溫度的跳躍性變化成比例。

在本研究中所考慮的溫度是等壓面上的溫度。因此，我們便有

足够的根据認為在鋒上温度的跳跃性变化決定密度的跳跃性变化。

本文所用的研究資料是：(1)地面天气图,900(850)、700、500 绝对气压形势图 OT-500/1000 相对气压形势图,1946—1952年内 温度对数压力图和1950—1951年内中央預告研究所的绝对气压形势图(300和200毫巴);(2)为了研究鋒起見,还引用了“1950—1952 年中央高空观象台”的實驗飞行資料; (3)1942—1943年内汉堡气象公报。

根据本研究的需要,特別繪制了900(850)、700、500和225毫巴等压面上的等温綫图、等变温綫图、垂直剖面图、計算所得的垂直速度图、比湿图和温度对数压力图。

本研究的結論是根据上述方法分析了欧洲上空 189 次不同类型的鋒而得到的,其中包括:

(1)1949—1953年内44条暖鋒;

(2)1949—1951年内(部分是在1942—1943年)40条冷鋒;

(3)1949—1951年内(部分是在1943年)38条暖性錮囚鋒;

(4)1949—1951年内(部分是在1943年)26条冷性錮囚鋒;

(5)1949—1950年内8条中性錮囚鋒;

(6)16个气旋,在这些气旋的暖区内沒有錮囚鋒(1950—1951年内,部分是在1942—1943年);

(7)在1949—1951年内(部分在1943年)有17次气旋暖区内的錮囚鋒;

(8)对流層中有均温層者共10次(1943年,1949—1954年内)。

將这些鋒及其出現的日期和地区編成一覽表,如附录 I 所示。关于它們的更詳細的知識,在本書的相应各节內均有說明。

为了研究鋒的垂直伸展高度起見,曾研究了1942—1943年内

100条对流層鋒(其中有54条冷鋒、46条暖鋒)(参看附录 I)。这些鋒并不包括在前面所講的鋒面之内。

为了研究錮囚鋒的形成过程对云系发展的影响, 还研究了1952—1953年内36次錮囚鋒的形成情况(参看附录 II)。

除此以外, 还研究了80条鋒, 这些鋒在中央預告研究所的天气图上都被画为“向后弯曲的”錮囚鋒(1946—1947年)。

因此, 在研究过程中, 从各种不同的观点研究了約 400 条大气的鋒。

本書所述的关于鋒的一些研究結果, 曾在中央預告研究所叢刊和“气象与水文”杂志(16—24)中刊载过。

第一章 鋒的空間結構及其云系的研究

本章敘述大气鋒的空間結構及云系的主要研究結果。

前三節是論述关于整个对流層及低層平流层内鋒的温压結構的一般特性。这里特別重要的并不是那些关于各个高度上温度的分布和变化的研究結果（在这一方面其他研究工作者已有比較詳細的統計研究），而是关于大气鋒面的天气学解釋。

在以后的諸节中，根据对流層下部冷暖气团的垂直分布的正常情形的破坏（最有代表性的）的研究，提出了許多新的关于鋒的空間結構及其云系的模型；发展了許多与鋒的温压結構相关联的冷暖鋒的云系的原理；并且还研究了錮囚鋒的結構特点及其形成的某些問題。

由于在一定範圍内有关大气鋒面問題的各方面的研究具有共同性，因此，本章各节都是彼此补充和相互关联的。

第一节 自由大气中鋒区内的温度分布及其变異。

对流層鋒的垂直伸展高度

自由大气中的温度分布及其变異問題是和天气过程相关联的。Э. 帕尔曼 (E. Paemén) [49] 于 1930—1933 年第一个詳細地研究了這個問題。他利用三度空間分析方法进行了許多特征情况的分析，并得到了一个重要的結論。結論說，在極鋒区内，大的水平温度差异通常保持到对流層的上層，甚至到 6—7 仟米都是向上

增加的。并且在整个大气中（到最高的高度），如果穿过锋区时，也可以看到非常强烈的温度变化。这些温度变化很清楚地表现出有两个最大：第一个是在4—7千米的高度上（中层对流层内），第二个（具有相反的符号）则在11—13千米的高度上（低层平流层内）。与此同时，对流层顶的高度也发生相当大的变化，而且它的日变化常常可以到达3—5千米。帕尔曼还得到了另外一个与上面直接有关的结论：即在一定条件下，强烈地侵入欧洲的极地气团和热带气团不仅占据着整个对流层，而且也伸入到平流层内，并且锋面（特别是极锋）也可以延伸到对流层的上部。

以上所提到的諸問題，將在以后进行討論。

然而到目前为止，很多气象学者认为延伸到对流层上部的锋是比较稀少的。一般认为大多数锋的界面的伸展高度不会超过5—6千米，例如在最近出版（1948年版）的“天气学原理”一书中〔40〕赫罗莫夫写道：“极地气团与北極气团可以伸展到几千米的高度，有时候（着重点是我加的——Г. Д. 叔碧恩）一直达到平流层，而锋面所到达的高度是决定于气团所伸展的高度的。”

显然，这等于说锋面环流以及和锋的移动相关联的温度和其他气象要素的变化，通常只限于对流层下半部。正如下面所表明的一样，这种关于大气过程发展的观点是与实际不符合的。这等于否定了对流层下部与上部之间的规律性，以及平流层与对流层之间的规律性。因此，我們所討論的問題便具有原則性的意义，而且对于实际工作也有直接关系。在锋的任何空間結構图上均把锋画到4—6千米的高度，这种关于锋的伸展高度的观点是比较占优势的。不但如此，不仅在一般的示意图上，而且在实际剖面图上，由于上述陈規的影响，因此在画锋面的垂直伸展高度时，却不顧各种气象要素（特别是温度）的实际空間分布，而故意地把它限于4—6千

米的高度以內。例如在著作^[25、46]中所引用的冷鋒垂直剖面图（作者为И. Г. 古切尔曼 [Гутерман]）上便把鋒面画到5.5千米的高度,而且在那里还画出一个逆温。可是在低層对流層中的鋒区内的温度对比,不仅保持到对流層上部,而且还随着高度显著地增大（例如,在剖面图上,高度为4千米的地方的水平温度差为 8° 左右,而在高度为8千米的地方的温度差为 $13-14^{\circ}$ ）。显然只根据温度場来画鋒不一定是具有物理基础的。当然,我們不能老是只根据温度場来获得足够的关于鋒的空間結構的概念,这一点也是可以同意的。然而既然在对流層下半部温度場中已經发现了鋒,而且它又表現得很清楚,那末,就没有任何物理依据認為在更高的对流層上層温度对比很大的地方（如果它保持到很高的高度）这一条鋒却反而可以不存在。我們認為下面的說法是比較有物理根据的,就是在低層对流層中发现与鋒相关联的巨大水平温度梯度一直保持到很高的高度,那末此鋒便伸展得很高,而且在鋒区内也仍然有很大的温度对比。

从这一个观点出发,我們进行了若干对流層鋒的研究,結果表明:絕大多数情况下,在对流層下半部所发现的鋒（地面鋒除外）均可以伸展到很高的高度,一直可以伸到对流層頂。無論是中緯度或高緯度,各种鋒面均有这样的特征。

上述結論是根据对流層各層内和低層平流層内温度場分布及其变化問題的研究而作出来的,并且在研究上述問題时,还利用了冷暖气团中和鋒区内温度随高度的分布曲綫、相对气压形势图 O T 500/1000、O T 225/500、O T 96/225 以及与之相对应的等变高綫图（見第11頁）。

我們在欧洲地区挑选了1942—1943年期間100条对流層鋒（其中有54条冷鋒,46条暖鋒）作为研究的对象。这些鋒面在对流層下

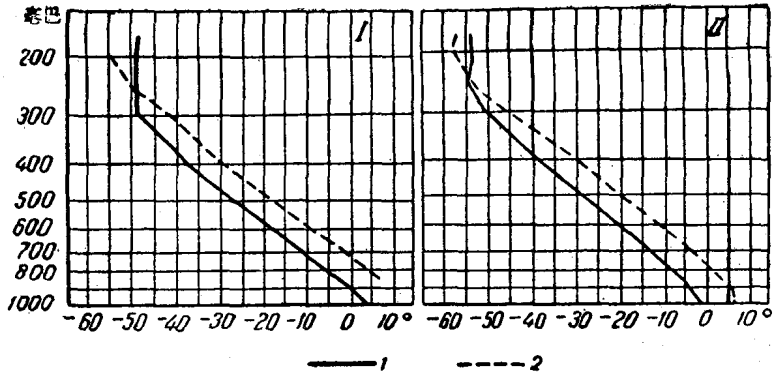


图1. I. 对流层冷锋锋区内冷气团(1)和暖气团(2)中温度随高度的平均分布。

II. 对流层暖锋锋区内冷气团(1)和暖气团(2)中温度随高度的平均分布。

半部平均温度场上(OT500/1000图上)均表现得非常清楚。由于地面摩擦层内风的辐合而形成的地面锋(并且垂直伸展高度不大)必须除外,因为直接参与这些锋的形成的只有地面附近的气团。而且这些锋从大规模的大气发展过程的动力学上看来并不起重大的作用。

在经过研究的100条锋中,其中包括有:1942年1月份3条,1943年1月份8条,1942年2月份2条,1943年2月份9条,1942年3月份6条,1943年3月份5条,1942年4月份8条,1943年4月份11条,1942年5月份9条,1943年5月份4条,1942年6月份8条,7月份7条,8月份7条,11月份11条,1943年8月份2条。

研究是以下列方式进行的。

将每条锋面两边冷暖气团内温度随高度的分布曲线画在温度对数压力图上。冷暖气团中各选择一个有代表性的地点。这两点之间的距离平均为650—700千米左右,而在个别情况下为500—1000千米。地点的选择必须合乎下列条件,亦即每一个点要能表征同一