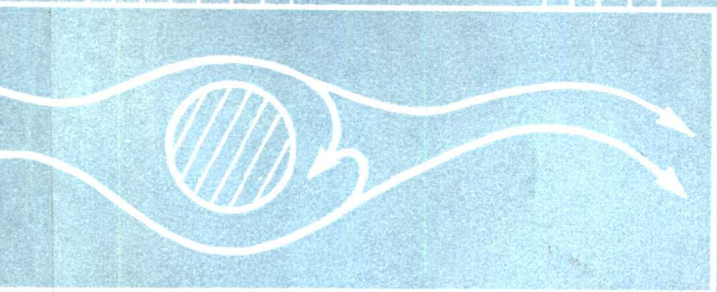
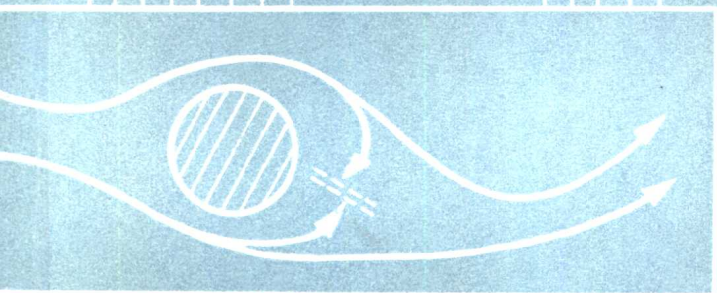
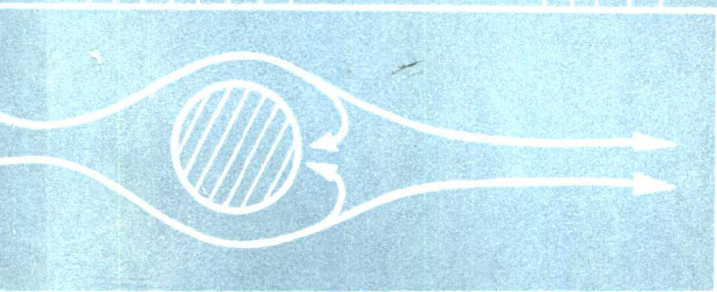


西南低渦概论

卢敬华



气象出版社

西南低涡概论

卢敬华

气象出版社

内 容 简 介

本书共六章三十节，比较全面系统地总结了我国几十年来有关西南低涡的研究工作，并对今后西南低涡的研究提出了初步设想。

本书可供气象部门从事预报和研究工作的科技人员、高等和中等学校师生参考。

西南低涡概论

卢敬华

责任编辑 康文骅

* * *

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

广益印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

* * *

开本：850×1168 1/32 印张：8.8125 字数：234千字

1986年8月第一版 1986年8月第一次印刷

印数：1—1,300 统一书号：13194·0253

定价：2.15元

序 言

本书是在“近三十年来，我国关于西南低涡研究情况”一文的基础上扩展、充实而成的。原目的在于为成都气象学院气象专业高年级学生开设“西南低涡概论”专题课提供一本供参考的讲义，现奉献给读者。

西南低涡是一个尺度为 300—500 公里的中尺度系统，它是在青藏高原特殊地形影响下，在一定的环流形势下产生的，在影响我国降水的天气系统中，占有相当重要的地位。如下表所列举的全国几次特大暴雨，主要影响天气系统中，西南低涡占有相当大的比重。因此，加强对西南低涡的研究不仅具有理论意义，而且对于国民经济有着相当重要的作用。

全国几次特大暴雨情况

地 域	时 间 (年.月.日)	总雨量 ≥ 200 毫米 的面积(公里 ²)	暴雨中心总 降雨量(毫米)	主要影响天气 系统
河 北	1963.8.1—10	100000	1329	三次西南低 涡
四 川	1981.7.9—14	63725	366	西南低涡、 冷锋、低空急 流
河 南	1975.8.4—8	43765	1631	台风停滞
黄河中游	1958.7.14—19	12700	500	西风槽、冷 锋、西南低涡 等
长江流域五峰	1935.7.上旬	大范围	≥ 1200	西南低涡
华 南	1973.5.24—30		1268	准静止锋

最初对于西南低涡的研究可以追溯到本世纪 40 年代前后。我国解放前，气象事业非常落后，虽有少数老一辈气象科学工作者

作过一些探讨和论述，但对它的研究是很不够的。

解放以后，随着我国气象科学事业的蓬勃发展，对西南低涡的研究也随之逐步深入。三十多年来，发表了数十篇专题论文、总结等，内容包括基本事实的统计、天气现象的披露、热力和动力机制的数理推求、模型和数值试验以及雷达、卫星云图等现代科学的应用。

今天，对于西南低涡的研究还只能是处于逐步深入阶段，其间还有若干未知领域未被我们认识，需要继续探求。尽管如此，但是，前人辛勤的开创性劳动已为我们提供了这样一种可能，将比较丰富的材料进行整理，为后来的工作提供一些方便。

本书共分六章三十节，其中第四章第二节为刘少依同志撰写。由于我们水平有限，尽管有良好的愿望，未必能得到好的结果，错误、缺点难免，欢迎批评、指正。

北京大学杨大升、张玉玲两位副教授对本书的编写过程给予极大的关心，并对编写提纲提出了宝贵的意见。四川省气象局的一些工程师，仔细审阅过本书的第二稿和第三稿的大部份，为了充实内容，他们无私地提供了部份资料和图片。成都气象学院的一些老师，给予了多种不同形式的帮助，郑克理工程师协助绘制本书附图。所有这些都为本书的顺利完成创造了良好的条件。借此机会衷心地向他们表示感谢！

编 者

1983 年除夕

目 录

序言

第一章 中尺度运动系统的动力学基础	(1)
§ 1.1 中尺度气象学方程的推导	(1)
§ 1.2 地形对气流的影响	(14)
§ 1.3 在地形影响下大气边界层三维稳定流动的解析解	(22)
§ 1.4 山脉形状对涡旋发生发展的作用	(31)
第二章 涡度和西南低涡	(41)
§ 2.1 涡度	(41)
§ 2.2 环流和涡度的天气学意义	(48)
§ 2.3 西南低涡的定义	(57)
§ 2.4 西南低涡的涡源	(62)
第三章 西南低涡的形成	(64)
§ 3.1 西南低涡出现的频率	(65)
§ 3.2 西南低涡形成的天气学分析	(74)
§ 3.3 西南低涡形成的判据和落点	(81)
§ 3.4 相似性原理	(88)
§ 3.5 西南低涡形成的模型试验	(94)
§ 3.6 西南低涡发生的动力学分析	(104)
第四章 西南低涡的结构与性质	(112)
§ 4.1 西南低涡的结构	(113)
§ 4.2 西南低涡的雷达回波特征	(129)
§ 4.3 西南低涡在卫星云图上的特征	(139)
§ 4.4 温带气旋的结构	(147)
§ 4.5 台风和 CISK 机制	(155)
§ 4.6 西南低涡的性质	(164)
第五章 西南低涡的发展和天气	(170)
§ 5.1 西南低涡与 300 毫巴副热带急流	(170)
§ 5.2 西南低涡的维持和发展	(178)

§ 5.3	西南低涡初期发展的一种机制	(190)
§ 5.4	大气中的不平衡态与西南低涡的发生发展	(197)
§ 5.5	西南低涡的天气	(207)
§ 5.6	行星边界层对低涡降水过程的作用	(218)
第六章	西南低涡的活动路径和预报	(231)
§ 6.1	西南低涡的移动	(231)
§ 6.2	西南低涡移动的天气学分析和预报	(236)
§ 6.3	西南低涡东移过程的数值试验	(254)
§ 6.4	不等距五层原始方程模式对西南低涡的降水预报 试验	(263)
后记		(275)
主要参考文献		(276)

第一章 中尺度运动系统的动力学基础

大、中、小运动系统的水平尺度划分,目前各书不尽相同,根据1983年10月陶诗言先生在全国黄山暴雨会上的发言,可这样划分:

2—20公里,属小尺度 γ 系统;20—200公里,属中尺度 β 系统;200—2000公里,属中尺度 α 系统;2000—10000公里,属大尺度 β 系统;10000公里以上,属大尺度 α 系统。西南低涡的水平距离尺度约为300—500公里,把它归属于大尺度系统进行求解,显然不行,而从中尺度运动系统动力学角度对它进行研究是适宜的。

中尺度气象过程的特征尺度不大,这使得许多中尺度过程的动力与热力学方程组的本质上是非线性的,也就是说,这些方程中的非线性项和其它各项具有相同的量级;现有的气象台站网,从中尺度气象学的观点看是太稀疏了,因此,中尺度气象观测资料通常只能靠常设的或野外的特殊观测来获得;中尺度气象过程十分复杂,在实验室条件下难于进行模拟。这些正是发展中尺度气象学所面临的困难。

从本世纪五十年代开始,大尺度天气系统的动力学和数值预报取得了很大的进展,这为开展中尺度运动系统的研究作了理论准备。同时高速度大内存电子计算机突飞猛进的发展,以及观测和探测技术的不断改进和完善,又为中尺度运动系统的分析和研究提供了技术条件和观测事实。而更为重要的是由于中尺度运动系统和灾害性天气有直接关系,严重地威胁着人民生命财产的安全,所以引起世界各国的重视。因此,中尺度运动系统的研究在当前已经成为气象学科重要发展方向之一。

§ 1.1 中尺度气象学方程的推导

由于中尺度过程的水平尺度较小,在方程组中,一般不需要使

用球坐标系或任何考虑地球曲率的坐标系；中尺度过程不满足静力平衡，不能采用 P 坐标系；湍流扩散和混合作用不能忽略。

以下我们引出 Z 坐标系的大气运动方程组。

动力学方程为

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + fv + \Delta_a u \\ \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - fu + \Delta_a v \\ \frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + \Delta_a w \end{cases} \quad (1.1)$$

连续方程为

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} \right) = 0 \quad (1.2)$$

状态方程为

$$p = \rho R T \quad (1.3)$$

热力学方程为

$$\frac{T}{Q} \frac{dQ}{dt} = \frac{L}{c_p} W + Q_r + \Delta_a \theta \quad (1.4)$$

水汽方程为

$$\frac{dq}{dt} = -\beta W + \Delta_a q \quad (1.5)$$

悬浮在空气中的液态水满足方程

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m}{\rho} \right) = W + \Delta_a \left(\frac{m}{\rho} \right) \quad (1.6)$$

饱和比湿 q_s

$$q_s = 0.622 \frac{E(T)}{p} \quad (1.7)$$

饱和水汽压 $E(T)$

$$E(T) = 6.11 \times 10^{\frac{7.45(T-273.2)}{(T-38)}} \quad (1.8)$$

这里, t 为时间; u, v, w 分别为风速沿 x, y, z 轴的分量; ρ, p, T 为空气的密度、压力和绝对温度; g 为重力加速度; f 为科里奥利参

数; Q_r 为单位质量空气由于吸收辐射而引起的增温率; R 为空气气体常数; L 为水气的相变潜热; c_p 为空气的定压比热; q 为比湿; W 为单位质量湿空气的水汽凝结率; θ 为位温; m 为单位体积湿空气中液态水的含量。

方程组中出现的两个算子为

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}$$

$$\Delta_a = \frac{\partial}{\partial x} \left(k' \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k' \frac{\partial}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

式中 k' 和 k 分别为水平和垂直方向的湍流系数。(1.5) 式中, W 前的因子 β 由以下关系决定:

$$\beta = \begin{cases} 1, & \text{当 } q \geq q_s \text{ 时} \\ 0, & \text{当 } q < q_s \text{ 时} \end{cases}$$

直接使用方程组(1.1)—(1.8)求解中尺度气象问题是不适宜的,这是因为:

方程组除描写中尺度现象外,还描写大尺度现象过程、声波以及其它中尺度的气象“噪音”等;这些方程中的所有各项并非都具有同一的量级,而其中的一些小项(例如 $\frac{dw}{dt}$)又在中尺度气象过程中起重要作用,显然不能忽略;方程组的非线性性,使之求解相当困难,其中某些非线性项,例如(1.4)和(1.5)左端表示位温和水汽对流输送的非线性项,对中尺度气象问题都是很重要的,全部或部分地舍弃这些项就等于不考虑气象要素场间的相互作用,这会产生很大的误差,因而常常会改变问题的物理意义。但是有的一些项,

例如

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$$

它们在形式上虽然是非线性的,可是由于 ρ 的水平变化很小,并且在垂直方向密度场和气压场基本上近于满足静力平衡,故这些项实质上是描写线性作用,因此可以对这些项线性化,而无损于解的物理意义和精确度。

根据中尺度气象学的特点,为了尽可能避免上述的不足,引入无量纲气压 π 代替 p ,

$$\pi = \left(\frac{p}{p_s} \right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (1.9)$$

p_s 为海平面标准气压,取作 1000 毫巴。

$$\begin{aligned} -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} [p_s \pi^{c_p/R}] = -\frac{1}{\rho} p_s \frac{c_p}{R} (\pi)^{\frac{c_p}{R}-1} \frac{\partial \pi}{\partial x} \\ &= -\frac{1}{\rho} p_s \cdot \frac{1}{\pi} \frac{c_p}{R} \pi^{c_p/R} \frac{\partial \pi}{\partial x} \\ &= -\frac{RT}{p} \cdot p_s \cdot \left(\frac{p_s}{p} \right)^{R/c_p} \frac{p}{p_s} \cdot \frac{c_p}{R} \frac{\partial \pi}{\partial x} \\ &= -c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial x} \end{aligned}$$

同理

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = -c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial y}, \quad -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = -c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial z},$$

气压梯度力项中引入位温 θ , 则(1.1)式变为

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = fv + \Delta_a u - c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial x} \\ \frac{dv}{dt} = -fu + \Delta_a v - c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial y} \\ \frac{dw}{dt} = -g + \Delta_a w - c_p \theta \frac{\partial \pi}{\partial z} \end{cases} \quad (1.10)$$

我们把气象要素场分为基本场和扰动场两部份,基本场指没有中尺度或小尺度扰动时的气象要素场。对于中尺度运动系统,天气尺度运动可以作为基本场;对于小尺度运动系统,中尺度运动可以作为基本场。扰动即叠加在基本场上的中尺度或小尺度运动系统。

令字母 $U, V, \bar{W}, \Pi, P, \bar{T}, \bar{\rho}$ 和 Q 分别表示 u, v, w, π, p, T, ρ 和 q 的基本场。并假设

(1) 基本场各气象要素满足上面方程组;

(2) 基本场垂直运动比扰动垂直运动小得多, 可以认为 $\bar{W} \approx 0$;

(3) 略去基本场中的水汽相变过程,
即令

$$m = W = 0$$

引入符号

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x} + V \frac{\partial}{\partial y}$$

$$\Delta'_a = \frac{\partial}{\partial x} \left(N' \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N' \frac{\partial}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

其中

$$\left. \begin{array}{l} N' \text{——水平} \\ N \text{——垂直} \end{array} \right\} \text{为基本场湍流系数}$$

得到基本场满足的方程组

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{DU}{Dt} = -c_p \Theta \frac{\partial \Pi}{\partial x} + fV + \Delta'_a U \\ \frac{DV}{Dt} = -c_p \Theta \frac{\partial \Pi}{\partial y} - fU + \Delta'_a V \\ 0 = -c_p \Theta \frac{\partial \Pi}{\partial z} - g \end{array} \right. \quad (1.11)$$

$$\frac{\bar{T}}{\Theta} \frac{D\Theta}{Dt} = \Delta'_a \Theta + Q_r \quad (1.12)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (1.13)$$

$$\bar{\rho} = \frac{P}{R\bar{T}} \quad (1.14)$$

$$\Theta = \bar{T} \left(\frac{P_s}{P} \right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (1.15)$$

$$\Pi = \left(\frac{P}{P_s} \right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (1.16)$$

$$\frac{DQ}{Dt} = \Delta'_a Q \quad (1.17)$$

注意在(1.13)式中,因为 $\frac{D}{Dt} \ln \bar{\rho}$ 很小,故已将此项略去。

实际气象要素应为

$$\left. \begin{aligned} T &= \bar{T} + T', p = P + p', \theta = \Theta + \theta', \\ \pi &= \bar{\Pi} + \pi', \rho = \bar{\rho} + \rho', q = Q + q', \text{等等} \end{aligned} \right\} \quad (1.18)$$

根据实际观测结果得知,下面关系式成立:

$$T' \ll \bar{T}, p' \ll P, \theta' \ll \Theta, \pi' \ll \bar{\Pi}.$$

将(1.18)式代入(1.10)式的第一式,然后减去(1.11)式第一式,略去二阶小量,

则得

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= -c_p \Theta \frac{\partial \pi'}{\partial x} - c_p \theta' \frac{\partial \bar{\Pi}}{\partial x} + f v + \Delta_a u \\ &\quad + \frac{DU}{Dt} - f V - \Delta'_a U \end{aligned}$$

虽然 $\pi' \ll \bar{\Pi}$,但 $\frac{\partial \pi'}{\partial x}$ 可能与 $\frac{\partial \bar{\Pi}}{\partial x}$ 有同样大小。因 $\Theta \gg \theta'$,故上式中

右端第二项可以略去。因 $u = U + u'$,

则

$$\begin{aligned} \Delta_a u - \Delta'_a u &= \Delta_a (U + u') - \Delta'_a U = \Delta_a u' \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial x} (k' - N') \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} (k' - N') \frac{\partial U}{\partial y} \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial z} (k - N) \frac{\partial U}{\partial z} \\ &= \Delta_a u' + \Delta''_a U \end{aligned}$$

其中

$$\Delta''_a = \frac{\partial}{\partial x} (k' - N') \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} (k' - N') \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} (k - N) \frac{\partial}{\partial z}$$

于是有

$$\frac{du}{dt} = -c_p \Theta \frac{\partial \pi'}{\partial x} + f(v - V) + \frac{DU}{Dt} + \Delta_a u' + \Delta''_a U \quad (1.19)$$

同法可得

$$\frac{dv}{dt} = -c_p \Theta \frac{\partial \pi'}{\partial y} - f(u - U) + \frac{DV}{Dt} + \Delta_a v' + \Delta_a'' V \quad (1.20)$$

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dt} &= -c_p \Theta \frac{\partial \pi'}{\partial z} - c_p \theta' \frac{\partial \Pi}{\partial z} + \Delta_a w \\ &= -c_p \Theta \frac{\partial \pi'}{\partial z} + \frac{g}{\Theta} \theta' + \Delta_a w \end{aligned} \quad (1.21)$$

连续方程(1.2)中的密度局地和平流变化很小,可以略去,然后将(1.18)式代入,

则得

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{w}{\bar{\rho} + \rho'} \left(\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z} + \frac{\partial \rho'}{\partial z} \right) = 0$$

因基本场密度随高度的变化很大, $\frac{\partial \rho'}{\partial z}$ 相对 $\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z}$ 可以略去, 又 $\rho' \ll \bar{\rho}$, 故可得近似关系

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{w}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z} \approx 0$$

对(1.14)式取对数微分,

$$\text{则} \quad \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial z} = \frac{1}{P} \frac{\partial P}{\partial z} - \frac{1}{T} \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}$$

$$= -\frac{g}{R\bar{T}} + \frac{\gamma}{\bar{T}}$$

最后得到

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{g - R\gamma}{R\bar{T}} w = 0 \quad (1.22)$$

其中 $\gamma = -\frac{\partial \bar{T}}{\partial z}$ 。

把(1.18)式代入(1.4)式, 然后和(1.12)式相减, 并考虑 $\frac{\theta}{T} \approx$

1,

则得
$$\frac{d\theta'}{dt} = \frac{L}{c_p} W + \Delta''_a \Theta + \Delta_a \theta' + (U-u) \frac{\partial \Theta}{\partial x} + (V-v) \frac{\partial \Theta}{\partial y} - w \frac{\partial \Theta}{\partial z} \quad (1.23)$$

把(1.18)式代入(1.5)式,然后减去(1.17)式,

则得
$$\frac{dq'}{dt} + w \frac{\partial Q}{\partial z} = -W + \Delta'_a Q + \Delta_a q' + (U-u) \frac{\partial Q}{\partial x} + (V-v) \frac{\partial Q}{\partial y} \quad (1.24)$$

此外,

$$\begin{aligned} \pi &= \left(\frac{p}{p_s} \right)^{\frac{R}{c_p}} = \pi' + \Pi = \Pi \left(\frac{\pi'}{\Pi} + 1 \right) \\ \frac{\pi'}{\Pi} &= \left[\left(\frac{P}{p_s} \right)^{\frac{R}{c_p}} / \left(\frac{P}{p_s} \right)^{\frac{R}{c_p}} \right] - 1 = \left[\frac{T}{\bar{\theta}} / \frac{\bar{T}}{\bar{\Theta}} \right] - 1 \\ &= \frac{(\bar{T} + T') \bar{\Theta}}{(\bar{\Theta} + \theta') \bar{T}} - 1 \approx \frac{T'}{\bar{T}} - \frac{\theta'}{\bar{\Theta}} \end{aligned}$$

看等式两端

$$\frac{\pi'}{\Pi} + \frac{\theta'}{\bar{\Theta}} = \frac{T'}{\bar{T}} \quad (1.25a)$$

又
$$\begin{aligned} \frac{\pi'}{\Pi} &= \left[\left(\frac{p}{p_s} \right)^{\frac{R}{c_p}} / \left(\frac{P}{p_s} \right)^{\frac{R}{c_p}} \right] - 1 = \left(\frac{p}{P} \right)^{\frac{R}{c_p}} - 1 \\ &= \left(1 + \frac{p'}{P} \right)^{\frac{R}{c_p}} - 1 \approx \frac{R}{c_p} \frac{p'}{P} \end{aligned}$$

得
$$\frac{p'}{P} = \frac{c_p}{R} \frac{\pi'}{\Pi} \quad (1.25b)$$

又
$$\begin{aligned} \frac{\rho'}{\bar{\rho}} &= \frac{\rho - \bar{\rho}}{\bar{\rho}} = \left(\frac{p}{RT} / \frac{P}{R\bar{T}} \right) - 1 = \frac{p\bar{T}}{P\bar{T}} - 1 \\ &= \frac{(P + p')\bar{T} - P\bar{T} - PT'}{P(\bar{T} + T')} \approx \frac{p'}{P} - \frac{T'}{\bar{T}} \end{aligned}$$

即
$$\frac{\rho'}{\bar{\rho}} = \frac{p'}{P} - \frac{T'}{\bar{T}} \quad (1.25c)$$

以上所得方程组包含了较大尺度运动对中尺度或小尺度运动系统的作用，也包含了中尺度或小尺度运动对较大尺度运动过程的反作用。这种把两种尺度运动放在一起的方程称为叠套方程。在研究中尺度或小尺度的气象过程中，我们一般假定基本场 $U, V, \bar{T}, P, \bar{p}, \Theta$ 和 Q 是时间和空间的已知函数，然后求解扰动场。

求解上面方程组需由具体问题的特点给出边界条件和初始条件。下面只作简单地讨论：

如果考虑湍流粘性的作用，则不论下垫面是平地或是有地形，边界条件都是相同的。假定地形是给定的函数 $z = \delta(x, y)$ ，则下垫面上边界条件可给定为

$$\text{当 } z = \delta(x, y), \begin{cases} u = v = w = 0 \\ T' = f(x, y, t) \\ q' = \varphi(x, y, t) \\ p' = g(x, y, t) \end{cases} \quad (1.26)$$

以上速度为零的条件称为粘附条件，表示湍流粘性使空气微团粘附在边界上静止不动。

当不考虑湍流时，则下垫面上速度的边界条件可以取成

当 $z = \delta(x, y)$ 时，

$$w = u \frac{\partial \delta}{\partial x} + v \frac{\partial \delta}{\partial y} \quad (1.27)$$

这一条件表示地形边界为一物质面。

最简单的上边界条件可以这样选取：假定在很高的高度上，中尺度气象扰动已消失，故

$$\text{当 } z \rightarrow \infty \text{ 时, } \begin{cases} u = U \\ v = V \\ w = 0 \\ T' = p' = q' = 0 \end{cases} \quad (1.28)$$

上边界条件有时也可取成更符合实际的条件，即取上边界为一活动的界面，界面以上为未受扰动的较暖空气团，下面为中尺度扰动影响区域，则

$$\text{当 } z=\eta(x, y, t) \text{ 时, } \begin{cases} w = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ p_t = P + p' \end{cases} \quad (1.29)$$

(1.29)式中的第一式是理想流体沿曲面绕流的条件, 第二式表示在活动界面上气压是连续的, 式中 p_t 表示界面上面(即暖空气一边)的静压力, 是已知函数, 并且满足静力平衡方程。

如果我们假定大气的基本温度场呈多元分布, 则(1.29)式第二个边界条件可变为更便于应用的形式

$$\bar{T}(z) = \begin{cases} \bar{T}(H) - (z-H)\gamma & (0 \leq z \leq \eta) \\ \bar{T}(H) + \Delta T - (z-H)\gamma_T & (z > \eta) \end{cases} \quad (1.30)$$

其中 γ 表示未扰动状态界面以下气层中的减温率, γ_T 为界面以上气层的减温率, H 表示未扰动大气状态中界面的高度, $\bar{T}(H)$ 为这一高度上的温度, ΔT 表示未扰动状态中的上、下气层的温度差。

图 1.1 是这个模型的示意图。利用多元大气的压高公式,

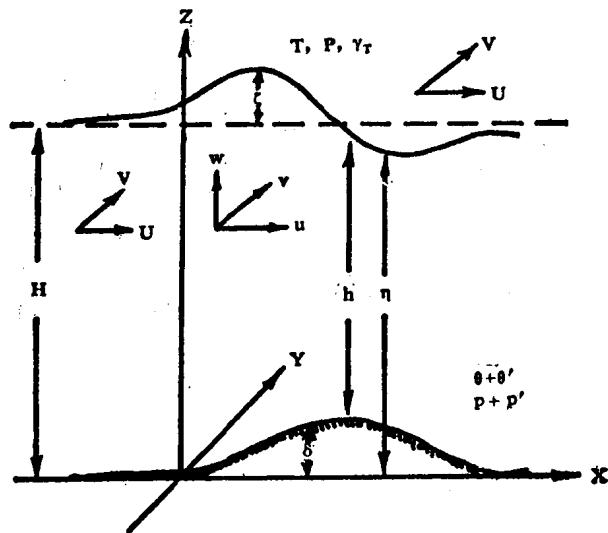


图 1.1 模型示意图

则 $z=\eta+0$ 时,