

天气学基本原理

寿绍文◎编著

FUNDAMENTAL OF
SYNOPTIC METEOROLOGY




 气象出版社
China Meteorological Press

国家级特色专业建设项目、国家级精品课程项目、江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)、2015年江苏省高等教育教改研究立项课题(2015JSJG032)、江苏高校品牌专业建设工程资助项目(TAPP)及南京信息工程大学教材建设基金项目资助

天气学基本原理

寿绍文 编著

 气象出版社
China Meteorological Press

内容简介

天气学原理课程是气象和其他相关专业学生最重要的基础和专业课程之一。本书是对天气学基本原理的概要介绍,主要内容包括气象变量场特征及其运动学、大气运动基本定律、风场和压温场的关系、气团与锋、气旋和反气旋、西风带波动和阻塞系统、大气环流、天气形势预报及天气预报、天气诊断分析等。本书可作为气象专业或相关专业本科课程的基本教材,也可作为科研及业务工作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

天气学基本原理 / 寿绍文编著. -- 北京 : 气象出版社, 2016. 7

ISBN 978-7-5029-6369-9

I. ①天… II. ①寿… III. ①天气学-高等学校-教材 IV. ①P44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 159705 号

Tianqixue Jiben Yuanli

天气学基本原理

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码: 100081

电 话: 010-68407112(总编室) 010-68409198(发行部)

网 址: <http://www.qxcbs.com>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑: 杨泽彬

终 审: 邵俊年

责任校对: 王丽梅

责任技编: 赵相宁

封面设计: 八度

印 刷: 北京京科印刷有限公司

开 本: 710 mm × 1000 mm 1/16

印 张: 22.5

字 数: 500 千字

版 次: 2016 年 7 月第 1 版

印 次: 2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 49.00 元

前 言

天气学是研究天气变化规律和天气分析与预报方法的科学,是气象学的重要分支。由于天气与人类生活和国计民生息息相关,而且天气变化规律十分复杂,所以天气学研究具有极为重要的应用价值和科学意义。

天气学课程是气象和其他相关专业学生最重要的基础和专业课程之一。最近几十年来国内外涌现了不少优秀的天气学教材和大量科研成果。在编写本教材时我们希望能尽可能地博采众长,广泛吸收前人的天气学研究和教学成果。由于天气学具有很强的理论性和实践性,是一个内容极为丰富的巨大的理论和技能体系,在教学中需要多门课程循序渐进地有机配合。因此,只有建立成套教材才能有效地适应其教学任务的需要。多年来,通过不断的科研和教学实践,我们根据不同的教学对象的不同需求对天气学的教学内容进行了适当的安排,已经逐步形成了天气学理论与实践的成套教材,本书即为其中的一种。

本书是对天气学基本原理的概要介绍,内容主要包括气象变量场、大气运动基本定律、风场和压温场的关系、气团与锋、气旋和反气旋、西风带波动和阻塞系统、大气环流、天气形势预报及天气预测、天气诊断分析等。本书可作为气象专业或相关专业本科天气学原理课程的基本教材,也可作为相应的科研及业务工作的参考书。

正如前面所说,天气学教学需要有成套教材配合进行。本书中未作详尽深入讨论的天气学其他内容,如重要天气过程、中尺度天气系统、甚短期和临近天气预报、天气学分析等我们已将它们另外分别安排在《中国天气概论》、《中尺度气象学》、《中尺度大气动力学》、《天气学分析》、《现代天气学方法》和《天气学》等书中加以专门介绍。这些书构成了目前我们已经初步形成的天气学理论与实践的成套教材体系。在实际实施教学过程中,教师可以根据不同教学对象不同的具体要求,来组织教学内容。

本书编写过程中得到校外著名专家的热情鼓励,以及学校领导、同事和气象出版社的领导及编辑的大力支持与帮助,并得到多方面资助。在此谨向他们表示最深切的谢意。同时也诚挚期望得到广大读者的批评指正。

编著者

2016年6月于南京

目 录

前 言

第 1 章 气象变量场	(1)
1.1 天气图	(1)
1.2 气象标量场的表征	(3)
1.3 气象矢量场的表征	(6)
1.4 气象场变量的时间变率	(16)
1.5 气压场的运动学	(16)
复习与思考	(23)
第 2 章 大气运动基本定律	(25)
2.1 大气运动方程	(25)
2.2 大气连续方程	(38)
2.3 大气热力学能量方程	(40)
2.4 大尺度大气运动方程组	(44)
2.5 “ p ”坐标系中的基本方程组	(49)
复习与思考	(57)
第 3 章 风场和温压场的关系	(58)
3.1 地转风	(58)
3.2 梯度风	(61)
3.3 惯性流和旋衡风	(70)
3.4 地转偏差	(72)
3.5 热成风	(81)
3.6 地转适应和准地转运动	(89)
复习与思考	(93)
第 4 章 气团与锋	(95)
4.1 气团的概念与类别	(95)
4.2 锋的概念与类别	(97)
4.3 锋面附近气象要素场的特征	(105)
4.4 锋生锋消的运动学特点	(119)
4.5 锋生锋消的动力学特点	(127)

复习与思考	(131)
第 5 章 气旋和反气旋	(133)
5.1 气旋和反气旋的一般特征	(133)
5.2 温带气旋与反气旋	(135)
5.3 气压倾向方程	(147)
5.4 涡度方程	(148)
5.5 位势倾向方程	(158)
5.6 准地转 ω 方程	(161)
5.7 温带气旋与反气旋的发生发展	(166)
5.8 应用位涡思想解释地面气旋的发展	(172)
复习与思考	(179)
第 6 章 西风带波动及阻塞系统	(182)
6.1 西风带波动的类别	(182)
6.2 长波的移动	(184)
6.3 长波的调整	(188)
6.4 阻塞高压	(193)
6.5 切断低压	(199)
复习与思考	(201)
第 7 章 大气环流	(203)
7.1 大气环流的模型及控制因子	(203)
7.2 大气平均水平环流流场的特征	(218)
7.3 极地和热带环流概况	(222)
7.4 西风环流指数循环	(234)
7.5 季风	(235)
7.6 副热带高压	(239)
7.7 急流	(240)
7.8 中小尺度环流系统	(246)
复习与思考	(249)
第 8 章 天气形势预报	(252)
8.1 天气系统的外推和运动学预报法	(252)
8.2 高空天气形势的预报	(256)
8.3 地面天气形势的预报	(263)
8.4 地形和摩擦对天气系统的影响	(268)
8.5 锋的移动预报	(277)

8.6	经验预报法	(281)
8.7	卫星云图在天气形势预报中的应用	(286)
8.8	用天气学方法做形势预报的一般程序	(289)
	复习与思考	(291)
第9章	天气预报	(294)
9.1	天气预报的基本方法	(294)
9.2	天气学概念模式	(295)
9.3	数值预报产品的释用	(295)
9.4	专家系统的应用	(297)
9.5	配料法的应用	(299)
9.6	甚短期预报和临近预报	(302)
	复习与思考	(303)
第10章	天气诊断分析	(304)
10.1	气象场的客观分析	(304)
10.2	水平流场分析	(311)
10.3	垂直运动的诊断	(320)
10.4	水汽通量、水汽通量散度及降水量的计算	(336)
	复习与思考	(343)
附表	常用数据	(345)
参考文献	(348)

第1章 气象变量场

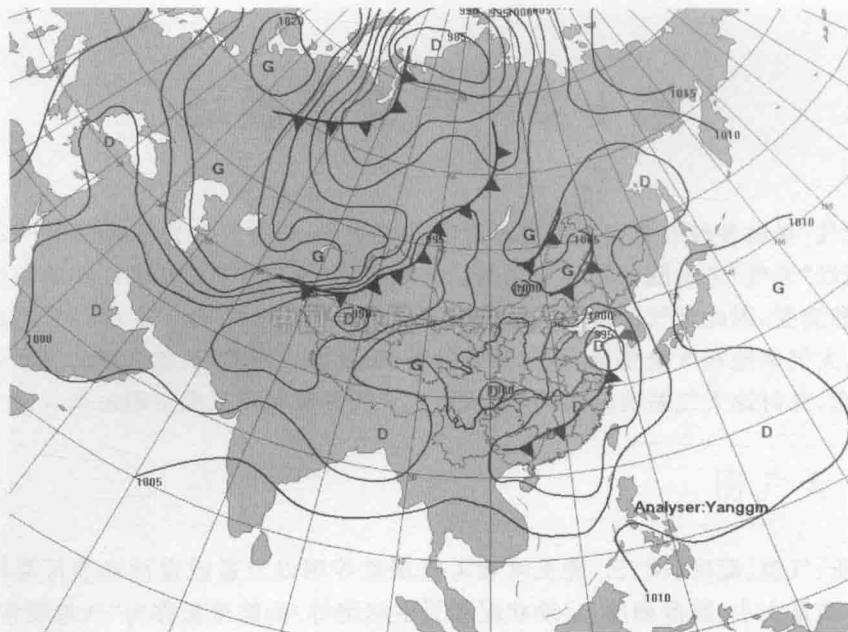
“天气”是由各种气象要素综合表现的大气状态,每种气象要素都随时间和地区变化,所以“天气”也是随时随地变化的。一般应用“天气图”来表现各种场变量的时空分布和演变,因此天气图是天气分析和预报的一种基本工具。本章将简要地介绍天气图、天气系统和气象变量场(包括标量场、矢量场)特征以及场变量的时间变率等重要概念,并讨论天气系统的运动学,从而为天气分析和预报奠定理论基础。

1.1 天气图

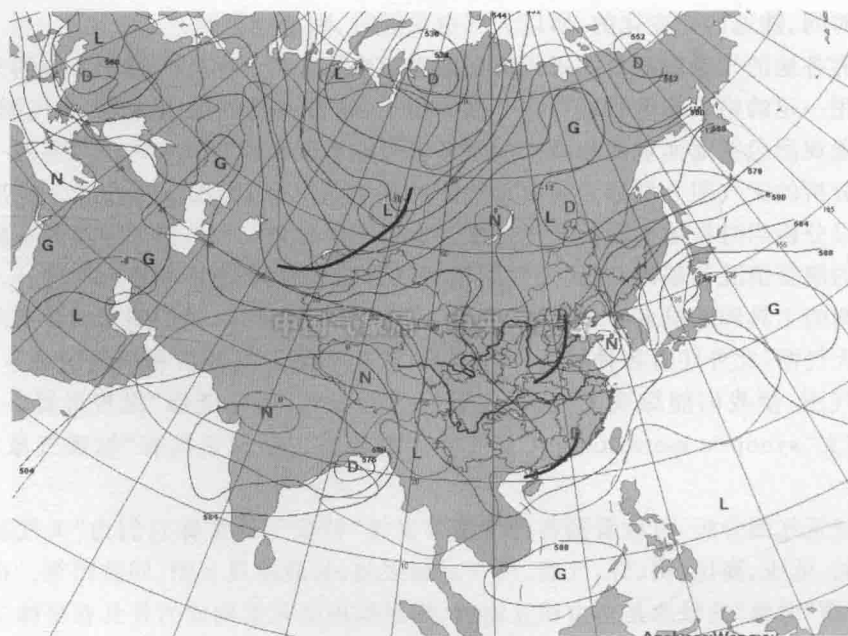
气压、气温、湿度、风、云、能见度和天气现象等用以定量或定性地表征某种大气状态(如质量大小、暖湿程度、运动状况和天空状况等)的物理量称为“气象要素”。由各种气象要素所共同表现的综合的大气状态就是一般所说的“天气”。每种气象要素都是随时间、随地区而变化的,所以天气也是随时、随地变化的。

世界各地的气象观测台站每天都在观测当地的天气。将同一时刻各地的天气观测记录用一定的格式和符号填写在一张地图上,这种特殊的地图称为“天气图”。常规的气象观测包括地面观测和高空观测。填写地面观测和高空观测记录并按一定规则进行分析的天气图分别称为地面天气图和高空天气图,如图 1.1 所示。应用天气图就可以分析当时各地不同的天气特征。根据不同时刻的天气图的连续分析就可了解天气的演变情况和规律,因此天气图是天气分析和预报最基本的工具之一。现代天气观测的工具和手段多种多样,如卫星、雷达、雷电探测等,其探测资料分布图也是广义的天气图,此外还有各种辅助天气图表,它们都是天气分析和预报的基本工具。有了天气图,使我们能综观天气,不仅看到当地天气,而且能够“纵观世界,一览天下”。英文“synoptic meteorology(天气学)”的希腊文原意正具有“综观气象学”的含义。

通过天气图分析,可以看到各种气象要素场“特征”,通常称它们为“天气系统”,常见的如:低压、高压、槽、脊,气旋、反气旋和短波、长波以及云团、回波团等。在控制论中,所谓“系统”的概念是指由相互制约、相互作用的元素构成的并具有整体功能和综合行为的统一体。类似地,天气系统就是指一团以某种规律联系或组织在一起的具有某种共同特征的空气。天气系统与天气有着紧密的联系,它们是天气现象的制造者和携带者(或载体)。



(a)



(b)

图 1.1 地面天气图(a)和高空天气图(b)(引自中国气象局网站)

各种天气系统的相互配置,称为“天气形势”。在一定的天气形势下,天气系统及天气都会不断地演变。某种天气系统和天气现象的发生、发展、演变、消亡的过程称为“天气过程”。天气过程持续的时间长度往往很不相同,有的可以持续数十天或更长,有的可以持续数天,但是有的持续时间很短,只有数十或数小时,甚至数十分钟或更短。

天气学是以天气图为基础工具专门研究各种天气系统和天气过程的发生、发展和演变的规律,并利用这些规律来预测预报未来天气的学科。

作为一门现代科学,天气学的各种概念和理论在一定程度上都可以用数学和物理方程式来表述。以下我们将引入标准坐标系、气象标量场、气象矢量场、气象场变量的特征量,梯度、拉普拉斯(梯度的梯度)、散度、涡度、形变度、速度矢、流函数以及天气系统的理论模型和场变量的时间变率等重要概念。

1.2 气象标量场的表征

由于每种气象要素都是随时随地变化的,所以称它们为气象变量。气象变量包括标量和矢量两类,前者只有数值大小,后者不仅有数值大小,而且还有方向。

气压、气温、湿度等很多气象要素只有数值大小、高低的不同,这类变量称为气象标量。对气象标量场可以用分析等值线的方法来进行分析。等值线是指具有相等数值的点的连线。例如,等压线就是具有相等气压的点的连线。等压线的一侧气压较高,另一侧气压较低。当两条相邻的等压线相互紧靠,表示气压的空间变率较大,相反当两条相邻的等压线间隔较大,表示气压的空间变率较小。当一条等压线围成闭合圈时,圈内的气压便高于或低于圈外的气压,等压面(即具有相等气压值的面)便呈现上凸或下凹的形状。标量的空间变率的这些特点常用梯度和拉普拉斯两个物理量来表征。

1.2.1 梯度

如上所述,由气象观测表明,气象要素随时随地而变化的。如果忽略大气离散的分子特性,则可以视其为连续的流体介质。在特定时刻气象要素在连续介质中的确定位置上具有单一的量值,也就是说气象要素是空间和时间的函数,或者说气象要素是一种场变量,即

$$A = A(x, y, z, t) \quad (1.2.1)$$

式中 A 为任意标量气象要素, t 为时间, (x, y, z) 为直角坐标系,其中 x, y 为水平坐标,它们位于地面上,分别与纬圈和经圈相切,以指向正东方和正北方为正; z 为垂直坐标,它垂直于地面,以指向上为正。这种坐标称为标准坐标系或 z 坐标系(图 1.2)。

对确定的时间而言,

$$A = A(x, y, z) \quad (1.2.2)$$

确定时间的气象要素的空间分布称为气象要素场或气象变量场。表示气象场变量的空间变率的物理量 ∇A 称为梯度 (gradient), 它是一个三维矢量。其中 ∇ 称为 Hamilton 或 grad 算子, 它是一个微分算子, 是一个表示空间微分的矢量。

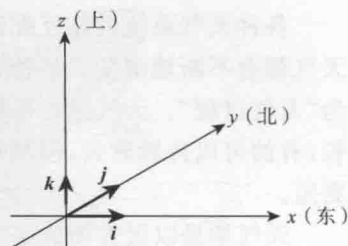


图 1.2 z 坐标系

$$\nabla = i \cdot \frac{\partial}{\partial x} + j \cdot \frac{\partial}{\partial y} + k \cdot \frac{\partial}{\partial z} \quad (1.2.3)$$

式中 i, j, k 分别为 x, y, z 方向的单位矢量, $\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}$ 分别为 x, y, z 方向的空间变率。 ∇A 的方向由低值指向高值, 气象上习惯称其为升度 (ascendent)。 $-\nabla A$ 表示由高值指向低值, 气象上习惯将 $-\nabla A$ 称为下降度 (descendent, 简称降度, 或反梯度, counter-gradient)。 $|\nabla A|$ 是矢量 ∇A 的“模”, 表示梯度的大小。

水平面上二维的 ∇A 可写作

$$\nabla_2 A = i \frac{\partial A}{\partial x} + j \frac{\partial A}{\partial y} \quad (1.2.4)$$

式中 $\nabla_2 A$ 表示变量 A 在水平方向上的空间变率, 它的大小反映了天气图上气象要素 A 的等值线的间距的大小, 即等值线的密集程度。也反映了要素 A 的连续性程度。当 $|\nabla_2 A|$ 很小时, 表示要素 A 的等值线很稀疏, 说明 A 要素的分布很均匀。相反, 当 $|\nabla_2 A|$ 很大时, 表示要素 A 的等值线很密集, 说明要素 A 的分布很不均匀, 要素 A 的水平不连续性较大。在第 4 章中要讲到的“气团”和“锋区”所在的地区, 就分别是气象要素的分布很均匀和很不均匀, 或者说是气象要素的连续性较好和不连续性较大的地区。

1.2.2 拉普拉斯

算子 ∇ 可以重复使用, 例如将 ∇ 和 ∇A 点乘, 便得

$$\nabla \cdot \nabla A = \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} \quad (1.2.5)$$

$\nabla \cdot \nabla A$ 表示 ∇A 的空间变率 (即梯度的梯度), 习惯上将 $\nabla \cdot \nabla A$ 写成 $\nabla^2 A$, 所以有

$$\nabla^2 A = \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} \quad (1.2.6)$$

∇^2 称为拉普拉斯算子, $\nabla^2 A$ 称为要素 A 场的拉普拉斯 (运算), 在水平面上的二维拉普拉斯可写为

$$\nabla_2^2 A = \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} \quad (1.2.7)$$

在 $\nabla_2 A=0$ 以及 $\nabla_2^2 A>0$ 处,表示 A 值出现低值中心(极小值),而在 $\nabla_2 A=0$ 以及 $\nabla_2^2 A<0$ 处,表示 A 值出现高值中心(极大值)。例如对一个等压面的高度(H)场而言,当 $\nabla_2^2 H>0$ 时,表示等压面下凹, $\nabla_2^2 H$ 的正值愈大表示下凹愈深;反之,当 $\nabla_2^2 H<0$ 时,表示等压面上凸, $\nabla_2^2 H$ 的负值愈大则表示上凸愈甚(图 1.3)。所以 $\nabla_2^2 H$ 也表示等压面的空间凹凸度。

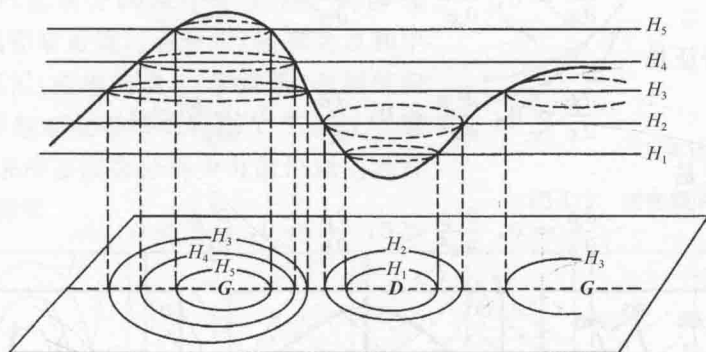


图 1.3 等压面(粗黑线)和等高线(虚线)

1.2.3 气压场的基本型式

根据在水平面上的等压线的分析,可以把气压场分为六种基本型式,即低压槽、高压脊、锋面槽、低压、高压和鞍形场(分别如图 1.4 中的 a, b, c, d, e, f 所示)。其中低压、高压分别指等压线围成闭合圈时,圈内的气压低于或高于圈外的气压场型式;低压槽和高压脊分别指气压比两侧气压较低或较高的气压场型式;锋面槽是指锋面所在的不对称的低压槽;鞍形场是指处于一对高压脊和一对低压槽之间的形似马鞍的气压场型式。一般把这些基本气压场型式称为气压系统。

对上述六种气压系统,可以根据气压场的梯度和拉普拉斯来分别表征。其中,低压槽一般以“槽线”表示,(槽线上每点的气压低于其两侧的气压)。一个南北向的对称的低压槽(也叫竖槽)的槽线的特征是

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} > 0 \quad (1.2.8)$$

高压脊以“脊线”表征,(脊线上每点的气压高于其两侧的气压)。一个南北向的高压脊的脊线的特征是

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} < 0 \quad (1.2.9)$$

锋面槽(也叫斜槽)为非南北向的和非对称的低压槽,它的槽线的特征是

$$p - p' = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial p'}{\partial x} \neq 0 \quad (1.2.10)$$

式中 p, p' 分别为槽线两侧的气压, $\frac{\partial p}{\partial x}, \frac{\partial p'}{\partial x}$ 分别为槽线两侧的气压梯度。

低压中心的特征是

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} > 0, \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} > 0 \quad (1.2.11)$$

高压中心的特征是

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} < 0, \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} < 0 \quad (1.2.12)$$

鞍形场的特征是

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} < 0, \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} > 0 \quad (1.2.13)$$

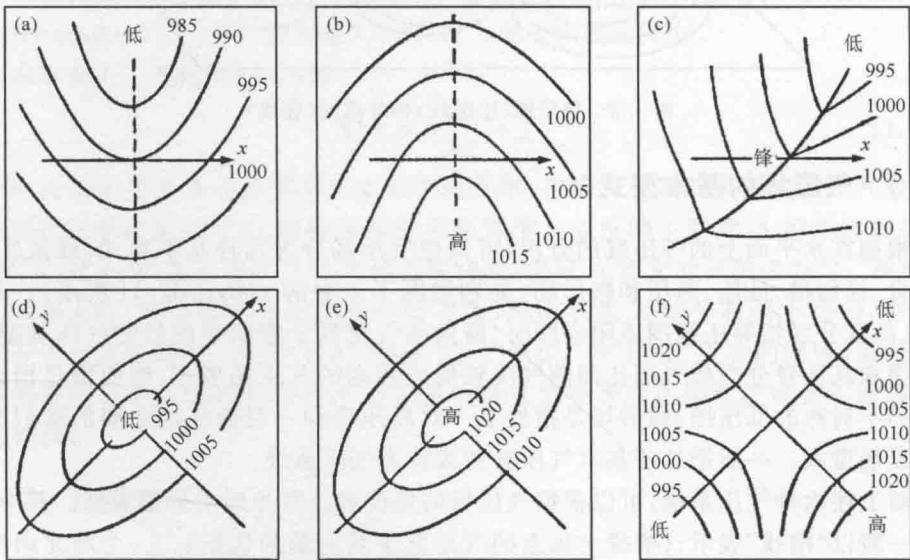


图 1.4 理想的气压场的基本型式(Petterssen, 1956)

(a) 低压槽; (b) 高压脊; (c) 锋面槽; (d) 低压; (e) 高压; (f) 鞍形场

1.3 气象矢量场的表征

“风”等场变量不但有大小,而且有方向,这类变量称为矢量。对矢量场的分析,不能像分析标量场一样简单地只用分析等值线(如等风速线)来进行分析,常常还需通过分析流线来表征矢量场的方向特点,以及用散度、涡度、形变度和速度势及流函

数等物理量来表示其特征。

1.3.1 基本的流场型式

流线是一种带箭头的线条。在流线上的每一点上的风向都与流线相切。根据流线分析，可以把常见的流场分成相对均匀气流、奇异线（包括间断线和渐近线）、奇异点（包括尖点和中性点）以及源汇（流出和流入）和涡旋（包括气旋和反气旋）等基本流场形式。图 1.5、图 1.6 和图 1.7 分别表示在流线分析中可能出现的各种基本流型和特征。

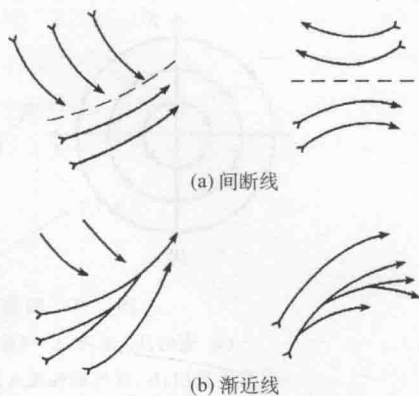


图 1.5 间断线和渐近线

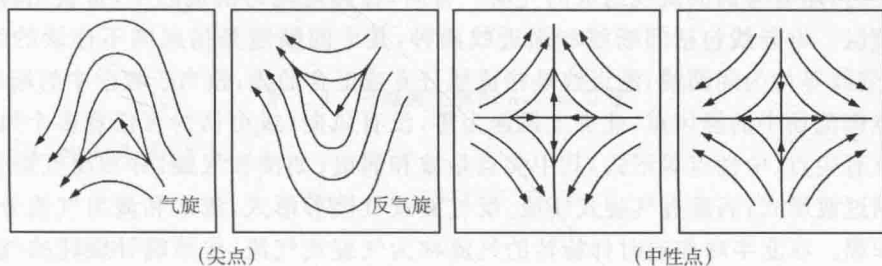
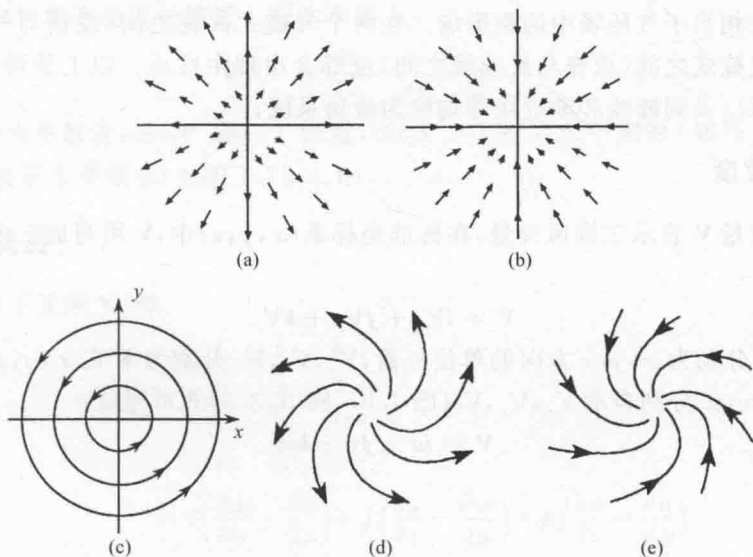


图 1.6 尖点和中性点



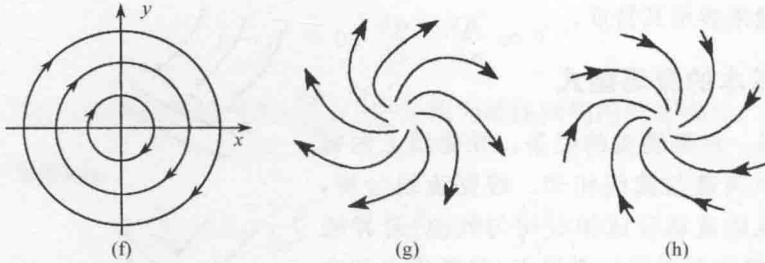


图 1.7 涡旋以及流入(汇)和流出(源)流型

(a. 流出; b. 流入; c. 气旋; d. 气旋性流出; e. 气旋性流入; f. 反气旋; g. 反气旋性流出; h. 反气旋性流入)

上述各种基本的流场形式中,相对均匀气流是指在相当宽广的范围内,由一束束近于平行,略有弯曲的流线组成的气流。有时,在相对均匀的流线中,常会出现风速的大值区。奇异线包括间断线和渐近线两种,其中间断线是指风向不连续的线,如锋、切变线等均为间断线;渐近线是指流线分支或汇合的线,相当于数学中的渐近线。奇异点即流场中的静风点,此点上风速为零,没有风向(或可认为有任意多个风向)。奇异点有尖点、中性点等形式,其中尖点是波和涡旋(如槽和气旋,脊和反气旋)之间发展的过渡形式;涡旋有气旋式气流、反气旋式气流等形式,流入和流出气流分别称为汇和源。在北半球作逆时针旋转的气流称为气旋式气流,作顺时针旋转的气流称为反气旋式气流。在南半球相反,作逆时针旋转的气流称为反气旋式气流,作顺时针旋转的气流称为气旋式气流。中性点即两条气流汇合渐近线与两条气流散开渐近线的交点。它相当于气压场中的鞍形场。在两个气旋式涡旋之间(或槽与气旋之间),或两个反气旋式之间(或脊与反气旋之间)也都会出现中性点。以上所说的气旋、反气旋、汇、源以及间断线和渐近线等均称为流场系统。

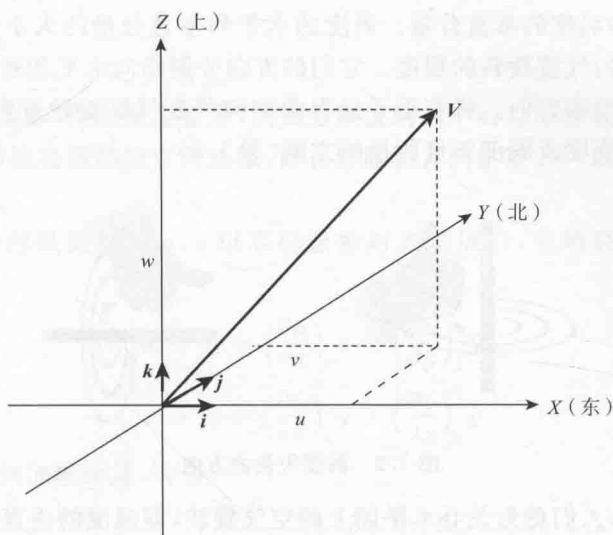
1.3.2 散度

设以矢量 \mathbf{V} 表示三维风矢量,在标准坐标系 (x, y, z) 中, \mathbf{V} 可写成三个分矢量之和。即

$$\mathbf{V} = iV_x + jV_y + kV_z \quad (1.3.1)$$

式中 i, j, k 分别为 x, y, z 方向的单位矢量, V_x, V_y, V_z 分别为 \mathbf{V} 在 x, y, z 方向的分量,若以 u, v, w 分别表示 V_x, V_y, V_z (图 1.8),则(1.3.1)式可写成

$$\mathbf{V} = iu + jv + kw \quad (1.3.2)$$

图 1.8 三维风矢量的 u, v, w 分量

风速矢 \mathbf{V} 的大小为 $|\mathbf{V}|$,

$$|\mathbf{V}| = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \quad (1.3.3)$$

将 ∇ 算子点乘 \mathbf{V} , 得

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \text{div} \mathbf{V} \quad (1.3.4)$$

$\nabla \cdot \mathbf{V}$ 或 $\text{div} \mathbf{V}$ 称为速度场散度。在水平面上,

$$\nabla_2 \cdot \mathbf{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = \text{div}_2 \mathbf{V} \quad (1.3.5)$$

$\text{div}_2 \mathbf{V}$ 称为水平散度, $\text{div}_2 \mathbf{V}$ 是一个标量, $\text{div}_2 \mathbf{V} > 0$ 表示水平辐散(如图 1.7a, d, g) $\text{div}_2 \mathbf{V} < 0$ 表示水平辐合(如图 1.7b, c, h)。

1.3.3 涡度

将 ∇ 算子叉乘 \mathbf{V} , 得

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{V} &= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ u & v & w \end{vmatrix} \\ &= \mathbf{i} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \mathbf{j} \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \mathbf{k} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (1.3.6)$$

$\nabla \times \mathbf{V}$ 称为速度场的旋度或涡度。(1.3.6)式右边的第一和第二项称为涡度的水平

分量,第三项称为涡度的垂直分量。涡度的水平和垂直分量的大小分别表示在垂直面和在水平面上的气流旋转的程度。它们的方向分别指向水平和垂直方向。一般可以用右手法则来判断它们。将右手手指卷曲方向代表气流旋转方向,则右手大拇指所指的方向即为旋度或涡度矢量的方向(图 1.9)。

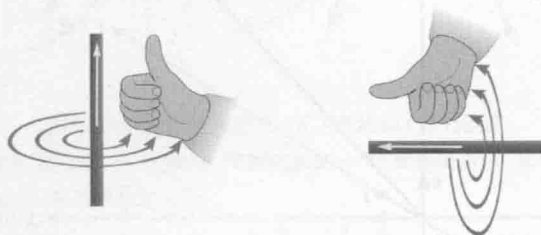


图 1.9 涡度矢量的方向

一般情况下,人们更为关心水平面上的空气旋转,即涡度的垂直分量,令

$$\zeta_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1.3.7)$$

ζ_z 即为涡度垂直分量的量值。当 $\zeta_z > 0$ 时,称为气旋性涡度或正涡度(图 1.10a), $\zeta_z < 0$ 时,称为反气旋性涡度或负涡度(图 1.10b)。气旋对应正涡度区,反气旋对应负涡度区,所以可以用涡度垂直分量方便地描述水平面上的流场系统。

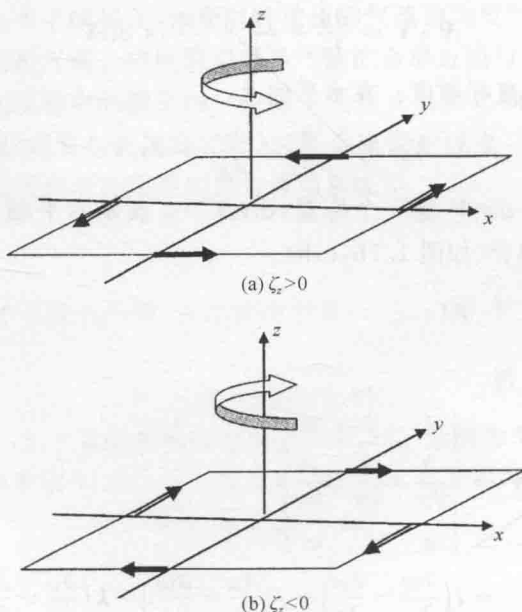


图 1.10 气旋性涡度或反气旋性涡度