

实际大气中, γ 值随时间、空间而变化;即不同时间、不同地点、不同层次的 γ 值是不等的。

【气象小常识】

我国最冷和最热的地方分别在哪里?

我国最冷的地方是我国最北的黑龙江省的漠河,最低温度曾达到 $-52.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。最热的地方是我国新疆的吐鲁番盆地,最高温度曾达到 $48.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

第三节 气压

【本节内容】

熟悉气压的定义和单位;理解气压随高度变化的特点,掌握大气静力方程、单位气压高度差及船用压高公式的讨论及重要结论,熟悉并理解气压的日变化规律和年变化规律。

【案例导入】

马德堡半球实验

马德堡半球,是一对铜质空心半球,被用于 1654 年由德国物理学家、时任马德堡市长奥托·冯·格里克于神圣罗马帝国的雷根斯堡(今德国雷根斯堡)进行的一项物理学实验。在这项实验中,实验者先将两个完全密合的半球中的空气抽掉,然后驱马从两侧向外拉,以展示大气压力的作用。马德堡半球实验作为物理学中的经典实验,至今仍被广泛用于课堂教学。最初用于实验的两个半球现保存于位于慕尼黑的德意志博物馆中。

气压的高低及其变化趋势与天气状况及其未来的变化关系十分密切。众所周知,气压升高时,一般天气晴好;气压降低时,天气往往变坏,可能出现阴雨、大风等天气;气压开始升高,意味着天气转好。气压形势的分析和预报是制作天气预报的基础。

一、气压的概念及单位

大气是有重量的,地球表面大气的重量约为 $5.14 \times 10^{15}\text{ t}$ 。在重力方向上,单位截面上大气柱的重量称为大气压强(或大气压),简称气压。空间任意高度上的气压值等于从该高度起直至大气上界为止单位截面积上垂直空气柱的重量。

在标准情况下,即气温为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、纬度 45° 的海平面上,760 mm 水银柱高的大气压称为标准大气压,可表示为:



$$P_0 = 760 \text{ mmHg} \quad (1-5)$$

在国际单位制中,气象上规定采用“百帕(hPa)”作为气压的单位。经过计算,标准大气压的值为 1 013.25 hPa,即有:

$$P_0 = 760 \text{ mmHg} = 1\,013.25 \text{ hPa} \quad (1-6)$$

显然,hPa 和 mmHg 两单位之间有以下关系:

$$1 \text{ hPa} \approx \frac{3}{4} \text{ mmHg} \text{ 或 } 1 \text{ mmHg} \approx \frac{4}{3} \text{ hPa} \quad (1-7)$$

现在国际上有些国家仍然继续使用“毫巴(mbar)”作为气压的单位。

$$1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa} \quad (1-8)$$

※ 自我检测 1:利用不同气压单位间换算关系,780 mmHg、1 000 hPa 分别为_____。

A. 1 040 hPa、750 mmHg

B. 1 020 hPa、760 mmHg

C. 1 040 hPa、760 mmHg

D. 1 020 hPa、750 mmHg



微课视频
气压的定义和单位

二、气压随高度的变化

根据气压的定义可知,随着高度的增加,空气柱变短,且空气密度变小,因此,气压减小。地面上气压最大,到大气上界减小为零。表 1-2 中列出了气压随高度变化的一些典型数据。例如,大约在 5.5 km 高度处,气压值约为地面气压的 1/2;到 16.0 km 高度处,已减少到约为地面气压的 1/10;到 31.0 km 高空处,仅为地面气压的 1/100。

表 1-2 气压随高度的变化

高度/km	0.0	1.5	3.0	5.5	9.0	12.0	16.0	20.5	24.0	31.0	36.0	48.0
气压/hPa	1 000	850	700	500	300	200	100	50	30	10	5	1

因此,气压总是随着高度的升高而减小,又因空气密度随高度升高而迅速减小,造成气压随高度升高而减小的速度很快。下面介绍与气压随高度变化相关的几个公式。

1. 大气静力方程

假定大气处于静力平衡状态,即在垂直方向上所受到的力达到平衡。如图 1-13 所示,在截面积为 ΔS 的垂直大气柱中,取一高度为 ΔZ 的薄层,当 ΔZ 很小时,其中的大气密度 ρ 可视为不随高度改变。

因假定气柱处于静力平衡状态,故有该气层上下底面的压力差:

$$F_1 - F_2 = P_1 \cdot \Delta S - P_2 \cdot \Delta S \quad (1-9)$$

与气层重量 $W = \rho g \Delta Z \cdot \Delta S$ 相等,即:

$$(P_1 - P_2) \cdot \Delta S = \rho g (Z_2 - Z_1) \cdot \Delta S$$

$$-(P_2 - P_1) = \rho g (Z_2 - Z_1)$$

即:

$$\Delta P = -\rho g \Delta Z \quad (1-10)$$

或:



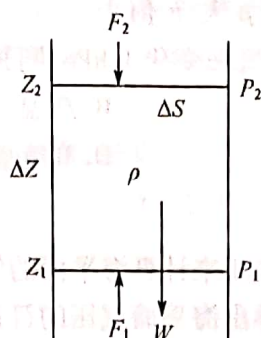


图 1-13 大气静力平衡

$$\frac{\Delta P}{\Delta Z} = -\rho g \quad (1-11)$$

式(1-10)或式(1-11)称为大气静力方程。式中右边“负号”表示当 $\Delta Z > 0$ 时,有 $\Delta P < 0$,即表示高度增加时,气压是下降的。

那么根据大气静力方程可得到以下结论:

(1) 当 $\Delta Z > 0$ 时, $\Delta P < 0$,即气压随高度的升高而递减。

(2) 随着高度的增加,气压递减的快慢取决于空气的密度。空气密度大的气层,随着高度的增加,气压递减得快;空气密度小的气层,随着高度的增加,气压递减得慢。由此得出结论:低层大气中气压随高度减小得快;干冷空气比暖湿空气中气压随高度减小得快。

(3) 经计算,在近地面层,高度每升高 10 m,气压的降低值约为 1.3 hPa;因此很容易算出,在近地面层,若要气压减小(或增加)1 hPa,则需要上升(或下降)约 8 m。

※ 自我检测 2:在同一气层中,高度每升高 100 m,气压变化量大小为_____。

- A. 高温处小于低温处
- B. 高温处大于低温处
- C. 高温处等于低温处
- D. 变化与温度无关

2. 单位气压高度差

在垂直气柱中,改变单位气压(1 hPa)时对应的高度改变量,称为单位气压高度差。可由前述大气静力方程得出单位气压高度差的表达式为:

$$h = \left| \frac{\Delta Z}{\Delta P} \right| = \left| -\frac{1}{\rho g} \right| = \frac{1}{\rho g} \quad (1-12)$$

式(1-12)表明,单位气压高度差 h 的大小主要随空气密度 ρ 的改变而改变,且与空气密度成反比。那么根据分析可以得到以下结论:

(1) 垂直方向

在低空,空气密度大,要使气压降低 1 hPa,只需上升较小的高度(h 值小);随着高度的升高,空气密度 ρ 减小,气压每降低 1 hPa,所需上升的高度也就越来越大(h 值增大)。

(2) 水平方向

在水平方向上,温度是影响空气密度的主要因素。在暖区,气温高,空气密度 ρ 小,



h 值大;在冷区,气温低,空气密度 ρ 大, h 值小。

※ 自我检测 3:在同一气层中,若气压变化 1 hPa,则其高度差为_____。

- A. 高温处等于低温处 B. 高温处小于低温处
C. 高温处大于低温处 D. 高度差与气温无关

3. 船用压高公式

在实际工作中,经常用船测气压来计算海平面的气压值。当要求的精度不太高时,利用单位气压高度差 h 值,可以导出海平面气压的订正公式:

$$P_0 = P' + \frac{H}{h} \quad (1-13)$$

式中: P_0 ——海平面气压;

P' ——船台高度上的气压(又称本站气压);

H ——船台距海面的高度。

由计算得知:当气压为 1 000 hPa,温度为 0 °C 时, h 值为 8 m/hPa,则公式可以简化为:

$$P_0 = P' + \frac{H}{8} \quad (1-14)$$

例:某船放置空盒气压表的驾驶台距离海平面高度为 20 m,测得本站气压为 1 002.5 hPa,经高度订正后,海平面气压 $P_0 = 1\ 002.5 + \frac{20}{8} = 1\ 005.0$ (hPa)。

三、气压随时间的变化

气压随时间的变化有周期性变化和非周期性变化两种,以下主要介绍地面气压的周期性变化,包括日变化和年变化。

1. 气压的日变化

地面气压一天中出现两个峰值和两个谷值,峰值分别在 1000 和 2200,其中 1000 最高,2200 次高;谷值分别在 0400 和 1600,其中 1600 最低,0400 次低(见图 1-14)。日变化呈现两个大致对称的半日波,每 12 h 为一个周期。

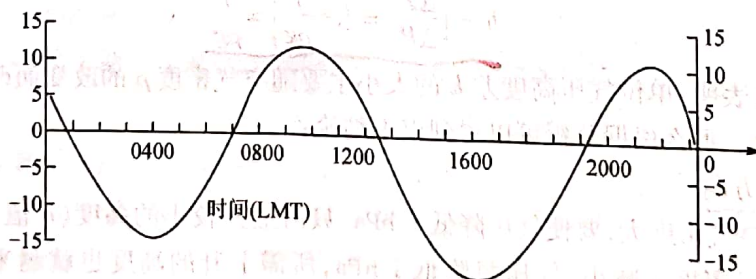


图 1-14 气压日变化曲线(纵坐标表示气压, hPa)

每天的最高值与最低值之差,称为气压日较差。气压日较差的大小主要随纬度变



化:低纬地区最大,可达3~5 hPa;中纬地区,日较差小于1 hPa,又因经常受到高低气压系统的影响,致使气压的日变化不甚明显。中高纬地区只有在稳定的天气形势下,才能记录到完整的日变化。

※ 自我检测 4:下列气压日较差最小的海域是_____。

A. 日本海

B. 黄海

C. 东海

D. 南海

2. 气压的年变化

根据气压的月平均值资料,发现气压具有年变化周期,而且随下垫面性质的不同,主要可分为两种类型(见图 1-15):

(1) 陆地型

一年中气压最高值出现在冬季,最低值出现在夏季,气压年较差大,如北京的气压年较差可达 26 hPa。

(2) 海洋型

一年中气压最高值出现在夏季,最低值出现在冬季,气压年较差比大陆小。

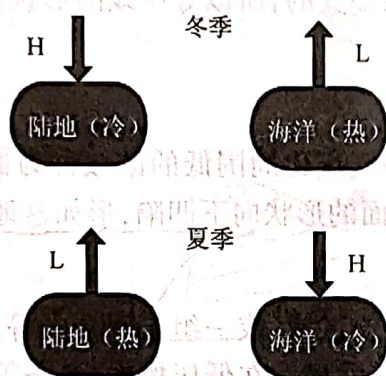


图 1-15 陆地和海洋冬夏气压变化

气压年变化出现上述两种类型主要是由海陆热力性质差异造成的。冬季同纬度地区相比,海洋的气温高于陆地,海洋上空气膨胀上升,陆地上空气冷却下沉,上空空气自海洋流向陆地,因而陆地上单位截面大气柱的质量增加,气压高,而海洋上单位截面大气柱质量减少,气压低。夏季则相反,同纬度地区相比,海洋的气温低于陆地,所以形成海洋气压高、陆地气压低的情况。

一年中最高月平均气压与最低月平均气压之差称为气压年较差。气压的年变化受气温的年变化影响很大,因而也与纬度、海陆性质、海拔等因素有关,由于太阳辐射的年变化在高纬地区比低纬地区大,因此,气压的年较差也随纬度的增加而增大,在中高纬度地区气压年较差最为显著。陆地的气压年较差大于海洋,平原地区的气压年较差大于高海拔地区。

另外,值得注意的是,在高山地区一年中气压最高值出现在夏季,是由空气受热膨胀上升、高山上空气质量增加而导致的;最低值出现在冬季,是由空气受冷收缩下沉、高山上空气质量减少而导致的。

气压还存在着非周期性变化。例如,冬季强冷空气南下时,它所经之地气压明显升



高;夏季有台风来临时,气压明显下降,等等。说明气压的非周期性变化与冷、暖空气及气压系统的活动直接相关。气压的非周期变化的幅度也远大于周期性日变化的幅度。一般在天气转坏时,正常的日变化规律便遭到破坏。

※ 自我检测 5: 在南半球大陆和海洋上气压最低的月份分别为_____。

A. 1 月和 2 月

B. 7 月和 8 月

C. 7 月和 1 月

D. 1 月和 7 月



微课视频
气压随时间的变化

四、海平面气压场的基本形式

某一时刻,气压的空间分布称为气压场。海平面上的气压分布称为海平面气压场,它反映了海平面附近的气压形势。船舶所接收的传真地面天气图,就是海平面的气压形势图,图上绘有等压线(海平面上气压相同点的连线),用等压线来反映海平面气压分布的特征。

由于气压场的分布是复杂多变的,所以等压线的形状及组合也是多样的,主要有以下几种型式。

1. 低气压

由闭合等压线构成的中心气压比周围低的区域称为低气压(Low Pressure; Depression),简称低压。其空间等压面的形状向下凹陷,形如盆地[见图 1-16(a)]。

2. 低压槽

由低压向外延伸出来的狭长区域,或一组未闭合的等压线向气压较高的一方凸出的部分称为低压槽(Trough),简称槽。在低压槽中,各条等压线曲率最大处的连线,称为槽线[见图 1-16(b)]。

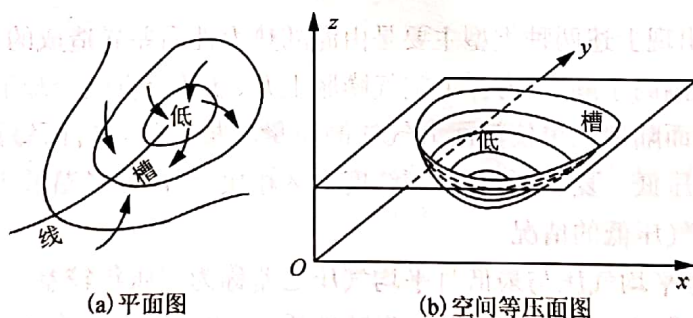


图 1-16 低压和低压槽示意图

3. 高气压

由闭合等压线构成的中心气压比周围高的区域称为高气压(High Pressure),简称高压。其空间等压面的形状向上凸起,形如山丘[见图 1-17(a)]。

4. 高压脊

由高压向外延伸出来的狭长区域,或一组未闭合的等压线向气压较低的一方凸起



的部分,称为高压脊(Ridge),简称脊。在高压脊中,各条等压线曲率最大处的连线,称为脊线[见图1-17(b)]。

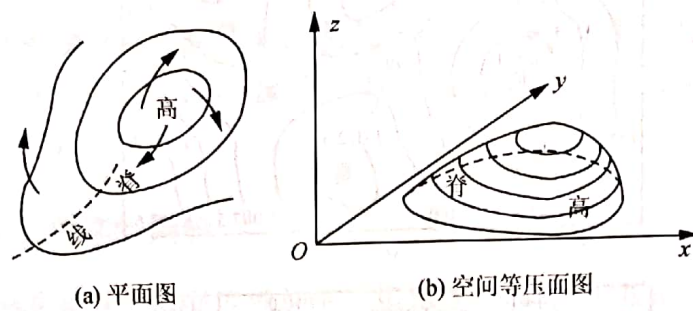


图1-17 高压和高压脊示意图

5. 鞍形区

相对并相邻的两高压和两低压组成的中间区域称为鞍形区(Col),简称鞍。其空间等压面的形状类似马鞍。鞍形区内气压分布较均匀,又有匀压区之称,其主要天气特征是风小(见图1-18)。

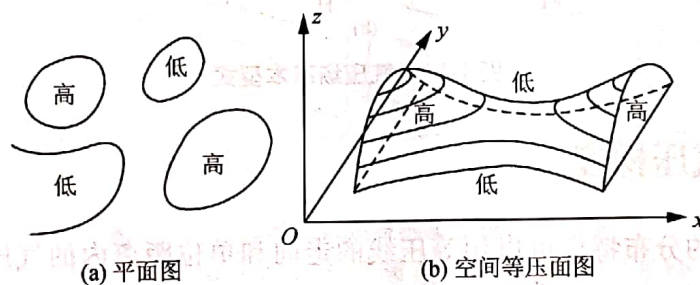


图1-18 鞍形区示意图

另外,通常将两个高压之间的狭长区域称为低压带,两个低压之间的狭长区域称为高压带。

上述几种气压场的基本型式,统称为气压系统(Pressure Systems)[见图1-19(a)]。各个气压系统都具有自己特有的结构和运动情况,因而所伴生的天气也不同。掌握气压场的分布和变化是制作天气预报的基础。

※ 自我检测6:图1-19(b)中给出了地面气压场分布,高压出现在_____。

- A. A区、N区、H区
- B. B区、C区、H区
- C. A区、C区、H区
- D. B区、C区、F区



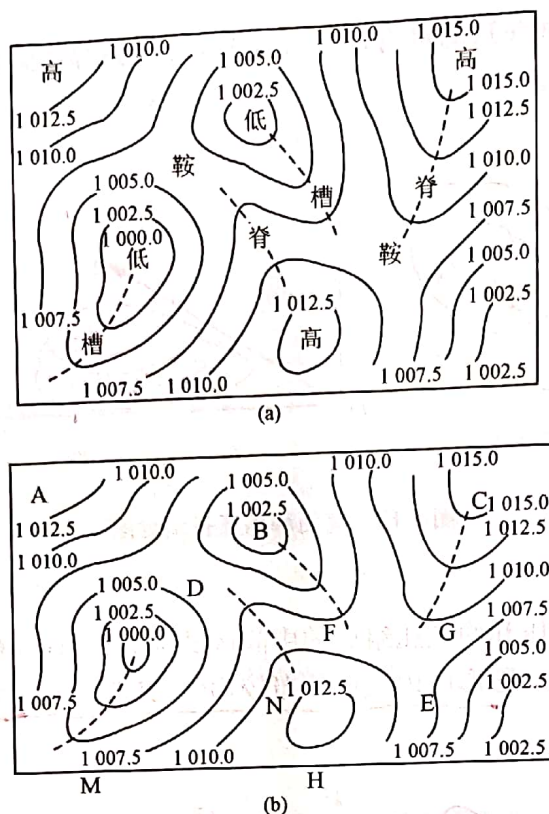


图 1-19 气压场基本型式

五、水平气压梯度

海平面气压的分布特征可以用等压线的走向和单位距离内的气压变化的数值来表示。

气象学中规定，垂直于等压线，沿气压减小的方向，单位距离内气压减小的数值称为水平气压梯度，用符号表示。其中， Δn 代表沿水平气压梯度方向前后两点间的距离， ΔP 代表这两点间的气压差，负号表示沿水平气压梯度的方向气压是减小的。

由此可见，水平气压梯度是一个矢量，其方向与等压线垂直，指向气压减小的一方。显然， $-\frac{\Delta P}{\Delta n}$ 恒大于零。水平气压梯度的单位是 $\text{hPa} \cdot \text{m}^{-1}$ ，在实际工作中常用“百帕/赤道度”来表示。1 个赤道度等于 60 n mile 或大约 111 km。

在地面天气图上任意相邻等压线间的气压差值 ΔP 是一定的，因此，在等压线稀疏的地方，水平气压梯度小；在等压线密集的地方，水平气压梯度大。因此从等压线分布的疏密情况，就可以直观地判断水平气压梯度的相对大小。

实际大气中水平气压梯度的值是很小的，平均约为 $1 \text{ hPa}/100 \text{ km}$ ，只有铅直气压梯度的万分之一。但它是风的起动力，对大气的运动具有非常重要的作用。

※ 自我检测 7: 在地面图上，水平气压梯度与等压线疏密程度的关系是_____。

- A. 等压线稀疏，水平气压梯度大
- B. 等压线稀疏，水平气压梯度小
- C. 等压线密集，水平气压梯度小
- D. 水平气压梯度与等压线疏密无关

