

# 天气学原理复习题

1、站在转动的地球上观测单位质量空气所受到力有哪些？各作用力定义、表达式及意义如何？

答：气压梯度力、地心引力、惯性离心力、重力、地转偏向力及摩擦力的分析

1、气压梯度力：当气压分布不均匀时，单位质量气块上受到的净压力称为气压梯度力。表达式：

设气块密度为  $\rho$ ，则气块质量为  $m = \rho \delta x \delta y \delta z$ ，那么，单位质量空气块

所受到的净压力即气压梯度力为：

$$\vec{G} = \frac{\vec{F}}{m} = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial p}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial p}{\partial z} \vec{k} \right) = -\frac{1}{\rho} \nabla p, \quad \perp$$

拉普拉斯算子：

$-\nabla p$  为气压梯度，由气压分布不均匀造成。 $G$  的大小与  $\rho$  成反比，与  $\nabla p$  的大小成正比  
 $G$  的方向垂直等压线，由高压指向低压

2、地心引力：地球对单位质量的空气块所施加的万有引力。表达式：  
其中： $K$ ：万有引力常量， $M$ ：地球质量， $a$ ：空气块到地心的距离  
大小：不变，常数方向：指向地心。

(3) 摩擦力：单位质量空气所受到的净粘滞力。

表达式：

其中： $\mu$  为粘滞系数 大气为低粘性流体，一般只在行星边界层（摩擦层）考虑摩擦作用，自由大气中则忽略摩擦作用。

(4)、视示力：由旋转坐标系的加速作用而假想的力（惯性离心力、地转偏向力）

1. 惯性离心力：观测者站在旋转地球外观测单位质量空气块所受到一个向心力的作用，但站在转动地球上（ ）观测它的运动，发现它是静止的（ ），这必然引入一个与向心力大小相同，方向相反的力，此力称为惯性离心力。

表达式：

大小：与纬圈半径成正比，即：与纬度成反比；方向：在纬圈平面内，垂直地轴指向外

2.地转偏向力(科氏力)

观测者站在旋转地球上观测单位质量空气块运动（ ），发现在北半球有一个向右偏的力，在南半球向左偏的力。称此力为地转偏向力，又名科氏力。

$$\vec{A} = -2 \vec{\Omega} \times \vec{V} \rho$$

表达式：

地转偏向力的大小：(1) 与相对速度 $|V|$ 大小成正比（因角速度为常数）；当 $|V|=0$ 时， $A=0$ ，只有在做相对运动时， $A$ 才存在。(2) 与速度夹角也成正比。

水平地转偏向力：大气中垂直运动一般也较小，气块主要受  $x$  方向和  $y$  方向地转偏向力，即：水平地转偏向力的影响。

地转偏向力方向：与垂直地轴和速度方向垂直，只能改变气块的运动方向，不能改变其大小。在不考虑  $w$  和  $A_z$  的情况下，在北半球，地转偏向力指向运动方向右侧，在南半球，地转偏向力指向运动方向左侧。

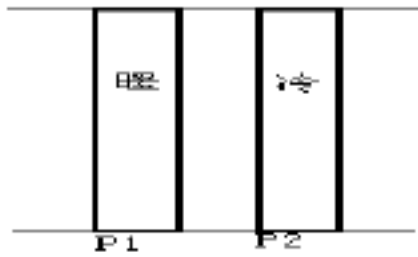
3.重力：地心引力与惯性离心力的合力。表达式：

大小：随纬度增大而增大，因为惯性离心力大小与纬度成反比，重力大小与惯性力离心

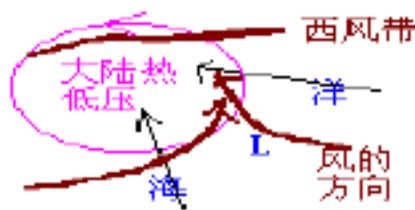
力成反比。

方向：垂直地球表面指向内，原因是如果重力不与地球表面垂直，则在地表有分量，使气块移动至分量为零。所以重力垂直于地表。

因地球为椭球体，重力与地面垂直，无指向赤道的分量。重力在赤道最小，极地最大。纬度 45 度海平面的重力加速度为： $g=9.806\text{m/s}^2$  重力是垂直方向上的，而大气运动是准水平的；科氏力始终垂直于速度方向，故只改变方向，不作功；所以，引起大气运动的最重要作用是：由于压力分布不均匀而产生的压力梯度力（热力作用引起的）。



由于暖气柱与冷气柱相比较，冷气柱重，所以  $P_1 > P_2$ 。故夏季（大陆为热低压，海洋为冷高压）时，压力梯度力的方向是由海洋指向大陆的，风由海洋吹向大陆。



由于科氏力的作用，风向不是直的（黑细线），而是如图粗线所示。

## 2、地转偏向力与水平地转偏向力有何相同与不同？

地转偏向力的大小：（1）与相对速度  $|V|$  大小成正比（因角速度为常数）；当  $|V|=0$  时， $A=0$ ，只有在做相对运动时， $A$  才存在。（2）与速度夹角也成正比。

水平地转偏向力：大气中垂直运动一般也较小，气块主要受  $x$  方向和  $y$  方向地转偏向力，即：水平地转偏向力的影响。

地转偏向力方向：与垂直地轴和速度方向垂直，只能改变气块的运动方向，不能改变其大小。在不考虑  $w$  和  $A_z$  的情况下，在北半球，地转偏向力指向运动方向右侧，在南半球，地转偏向力指向运动方向左侧。

## 2、科氏力是怎样产生的，与速度的关系如何，南北半球有何区别？

观测者站在旋转地球上观测单位质量空气块运动（ $\rho$ ），发现在北半球有一个向右偏的力，在南半球向左偏的力。称此力为地转偏向力，又名科氏力。

$$A = -2\Omega \times V$$

表达式：

（1）与相对速度  $|V|$  大小成正比（因角速度为常数）；当  $|V|=0$  时， $A=0$ ，只有在做相对运动时， $A$  才存在。（2）与速度夹角也成正比。

在不考虑  $w$  和  $A_z$  的情况下，在北半球，地转偏向力指向运动方向右侧，在南半球，地转偏向力指向运动方向左侧。

## 3、大尺度系统运动遵循什么规律？

#### 4、质量通量散度和速度散度定义。

质量散度形式的连续方程：

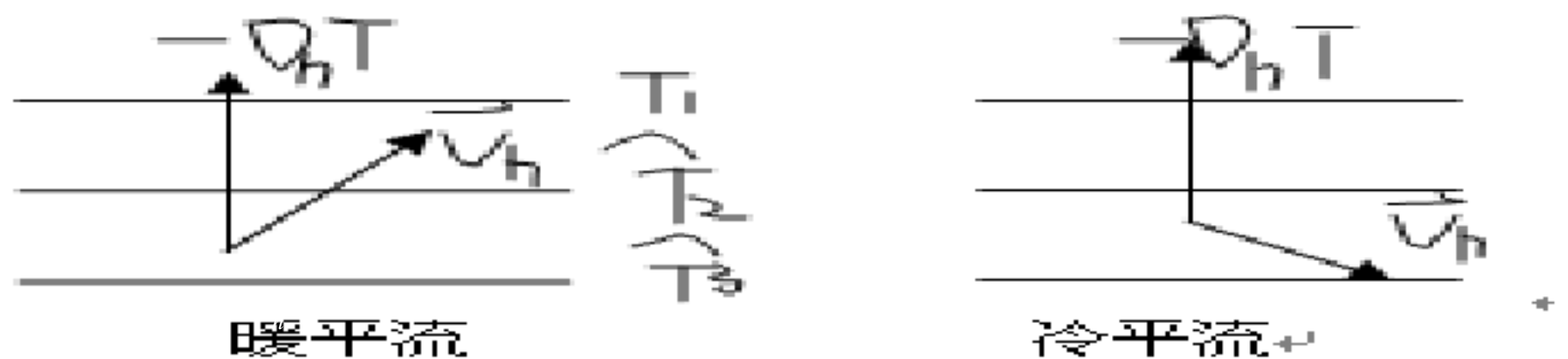
速度散度形式的连续方程：

不可压缩流体的连续方程：

单位时间通过固定的单位体积的质量改变量，称为质量通量散度。  
大于零，表示净流出，质量减少；小于零，表示净流入，质量增加。

称为速度散度，表示流体在单位时间内体积的相对膨胀率。  
大于零，体积膨胀，称为辐散，表示流出；小于零，体积缩小，称为辐合，表示流入。

#### 5、温度平流（冷平流、暖平流）示意图



当

时，称为暖平流，夹角为锐角，风从高温吹向低温；

当

时，称为冷平流，夹角为钝角，风从低温吹向高温。

#### 6、地转风、梯度风、热成风定义和性质（方向）

空气块直线运动，在水平气压梯度力和水平地转偏向力平衡的作用下，风沿等压线或等位势线吹，背风而立气压高的在右。

地转风的物理本质：水平气压梯度力和柯氏力平衡，  
风沿等压线（等高线、等位势线）吹，背风而立气压高在右。

地转风性质

1)地转风是在不考虑摩擦力、加速度以及垂直速度的条件下，水平方向上气压梯度力与地转偏向力相平衡(地转平衡)时的大气运动(即自由大气水平匀速直线运动)

地转风是对中纬度自由大气中大尺度系统中水平气流的一种近似（一般两者相差30%以下）

(2)地转风的大小与水平气压梯度力大小成正比,即与水平气压(位势)梯度大小成正比

例：等压面图上气压梯度力与等高线和风速的关系

(3)地转风的大小与地转参数 $f$ 的大小成反比,即与纬度高低成反比。但在赤道上 $\varphi=0$ 地转平衡不成立。无科氏力存在，所以低纬度不能用地转风近似。

(4)地转风的水平散度为零，即：

(5)地转风方向与等压(高)线相平行,在北半球,背风而立高压在右,低压在左;南半球相反,背风而立高压在左,低压在右。

**梯度风定义：**

空气块作曲线运动，风沿等压线或等位势线吹，在三个力，即水平气压梯度力、水平地转偏向力、惯性离心力的作用下风呈气旋性弯曲（逆时针旋转）或反气旋性弯曲（顺时针旋转），这种风称为梯度风。

(1) 适用范围：北半球中高纬地区，大尺度系统运动，曲线运动，三力平衡。

(2) 气压场风场高压周围的风场是顺时针旋转，低压周围的风场是逆时针旋转。

证明：高压中心存在，水平气压梯度力由内向外，惯性离心力由内向外，为使三力平衡，水平地转偏向力必定由外向内，因为水平地转偏向力垂直速度右偏，所以风顺时针旋转；

低压中心存在，水平气压梯度力由外向内，惯性离心力由内向外，惯性离心力为小量，为使三力平衡，水平地转偏向力必定由内向外，因为水平地转偏向力垂直速度右偏，所以风逆时针旋转。

3) 风场                      气压场

**顺时针旋转对应高压中心，逆时针旋转对应低压中心。**

证明：风顺时针旋转，水平地转偏向力指向速度的右侧，惯性离心力也指向速度的左侧，惯性离心力为小量，为使三力平衡，水平气压梯度力必定指向速度的左侧，因为水平气压梯度力有高压指向低压，所以中心气压最高，为高压；

风逆时针旋转，水平地转偏向力指向速度的右侧，惯性离心力也指向速度的右侧，为使三力平衡，水平气压梯度力必定指向速度的左侧，因为水平气压梯度力有高压指向低压，所以中心气压最低，为低压。

流线 & 轨迹 (1) 定义流线：是指在某一固定时刻，处处与风向相切并指向气流方向的曲线。

轨迹：是指在某一段时间内个别空气块运动的路径。

(2) 流线能表现在某一时刻的天气图上，而轨迹却不能。所以日常中，等压线、等高线近似为流线，不能当作轨迹线。

**热成风：a.上下两层地转风的矢量差，称为这两层之间的热成风。b.地转风随高度的变化，称为热成风。**

(1) 适用范围：北半球中高纬度地区，自由大气中大尺度系统。

(2) 大小：**a.** 与纬度成反比，与等厚度线的疏密成正比 **b.** 与纬度、等压面差距、温度有关 (3) 方向热成风沿气层的等厚度线（等平均温度线）吹，背风而立，厚度（平均温度）高的在右。

**7、在北半球大尺度系统运动中，做逆（顺）时针旋转，为什么对应是低（高）压中心？（梯度风三力平衡）**

**顺时针旋转对应高压中心，逆时针旋转对应低压中心。**

证明：风顺时针旋转，水平地转偏向力指向速度的右侧，惯性离心力也指向速度的左侧，惯性离心力为小量，为使三力平衡，水平气压梯度力必定指向速度的左侧，因为水平气压梯度力有高压指向低压，所以中心气压最高，为高压；

风逆时针旋转，水平地转偏向力指向速度的右侧，惯性离心力也指向速度的右侧，为使三力平衡，水平气压梯度力必定指向速度的左侧，因为水平气压梯度力有高压指向低压，所以中心气压最低，为低压。

**8、在北半球大尺度系统运动中，气压场有低（高）中心存在，周围风为什么是逆（顺）时针旋转？**

高压周围的风场是顺时针旋转，低压周围的风场是逆时针旋转。

证明：高压中心存在，水平气压梯度力由内向外，惯性离心力由内向外，为使三力平衡，水

平地转偏向力必定由外向内，因为水平地转偏向力垂直速度右偏，所以风顺时针旋转；

低压中心存在，水平气压梯度力由外向内，惯性离心力由内向外，惯性离心力为小量，为使三力平衡，水平地转偏向力必定由内向外，因为水平地转偏向力垂直速度右偏，所以风逆时针旋转。

**9、为什么可以看到有很强的低压发展（如台风和气旋），而高压不能发展很强？（书上 41-43）**

**10、正压大气、斜压大气含义是什么？热成风为什么会发生在斜压大气中？**

正压大气：密度仅为气压的函数， $\rho = \rho(p)$ 。等压面、等密度面和等温面重合在一起，

等压面上温度梯度为零，地转风不随高度变化  $\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial p} \mathbf{g} = 0$ ，无热成风。

斜压大气：密度是气压和温度的函数  $\rho = \rho(p, T)$  等压面与等密度面或等温面相交，等

压面上温度梯度不为零 地转风随高度变化  $\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial p} \mathbf{g} \neq 0$ ，有热成风

热成风存在于斜压大气中

**11、画图说明在自由大气中某个气层中，当风随高度增加呈逆时针旋转，该气层有冷平流，当风随高度增加呈顺时针旋转，该气层有暖平流？**

风随高度顺时针变化 ---暖平流

风随高度逆时针变化 ---冷平流

根据P0、P1层上地转风的方向定出热成风方向，根据背风而立高温在右，画出等温度线。根据地转风方向和等温度配置情况可知气层间温度平流是冷是暖。

**12、上层风逆转，下层风顺转，气层是稳定还是不稳定？上层风顺转，下层风逆转，气层是稳定还是不稳定？为什么？**

上层风逆转，下层风顺转，气层不稳定，因为上层风逆转有冷平流，上层温度降低，而下层风顺转有暖平流，下层温度升高，下暖上冷，暖空气上升，冷空气下沉，所以不稳定。

上层风顺转，下层风逆转，气层稳定，因为上层风顺转有暖平流，上层温度升高，下层风逆转有冷平流，下层温度降低，下冷上热，所以稳定。

**13、地转偏差对水平速度散度及垂直运动有何作用**

**14、地转偏差重要性表现在何处？解释摩擦层和自由大气中地转偏差物理意义**

地转偏差定义：实际风与地转风的矢量差称为地转偏差，地转偏差很小，但很重要：

(1) 引起  $\frac{\partial V_h}{\partial t}$  的变化

地转偏差对大气运动的演变有极为重要的作用。地转偏差使空气微团穿越等压线引起质量的新分布，造成风压场的变化，是天气系统演变的一个动力因子。

(2) 可以引起辐散和辐合

$$V_h = D + V_g \Rightarrow \nabla_h \cdot V_h = \nabla_h \cdot D + \nabla_h \cdot V_g \xrightarrow{\nabla_h \cdot V_g = 0} \nabla_h \cdot V_h = \nabla_h \cdot D$$

地转偏差的辐散或辐合实际是水平风的辐散或辐合。

$$D^p = V^p - V_g^p = -\frac{1}{f} k^p \times F^p$$

摩擦层中的地转偏差

地转偏差指向摩擦力方向右侧。摩擦层中由于摩擦作用，低压辐合上升，高压辐散下沉。北半球，摩擦层中，风向指向低压

自由大气中的地转偏差，加速度引起的地转偏差D

地转偏差垂直于加速度的方向，并指向加速度方向的左方(图 1.35)，其大小为：

**15、在讨论地转偏差时，反映在自由大气中的低层和高层各以什么为主？（60）**

**16、解释处在高空槽前脊后这块区域高低层辐合辐散情况（要求用地转偏差概念解释）**

由于槽脊自西向东移动，槽前脊后必有负变压发生，有变压风的辐合；槽后脊前有正变压发生，有变压风的辐散。

槽前脊后区有切向地转偏差辐散，槽后脊前区有切向地转偏差辐合。

由于槽前脊后的上部等高线辐合有指向低压的法向地转偏差，下部等高线辐散有指向高压的法向地转偏差，所以槽前脊后有法向地转偏差的辐散，而槽后脊前有法向地转偏差的辐合。

一般来说，中纬度对流层中，高层以法向和切向地转偏差造成的辐合辐散为主，低层以变压风造成的辐合辐散为主，所以在高层槽前脊后辐散，槽后脊前辐合；在低层槽前脊后辐合，槽后脊前辐散。因此，槽前脊后低层辐合，高层辐散，有上升运动；槽后脊前低层辐散，高层辐合，有下沉运动

**1、气团的概念。锋，锋面，锋线，锋区含义是什么？**

1.定义：气象要素分布比较均匀的大范围的空气团。 2.尺度：水平方向数千公里，垂直范围可达几公里到十几公里， 3.气团控制的天气：水平方向：天气现象基本相同，温湿分布均匀；垂直方向：气象要素分布相同（包括稳定度）

1、锋：冷暖气团相遇，存在一个狭窄的过渡带，此过渡带随高度向冷区倾斜，称此过渡带为锋。

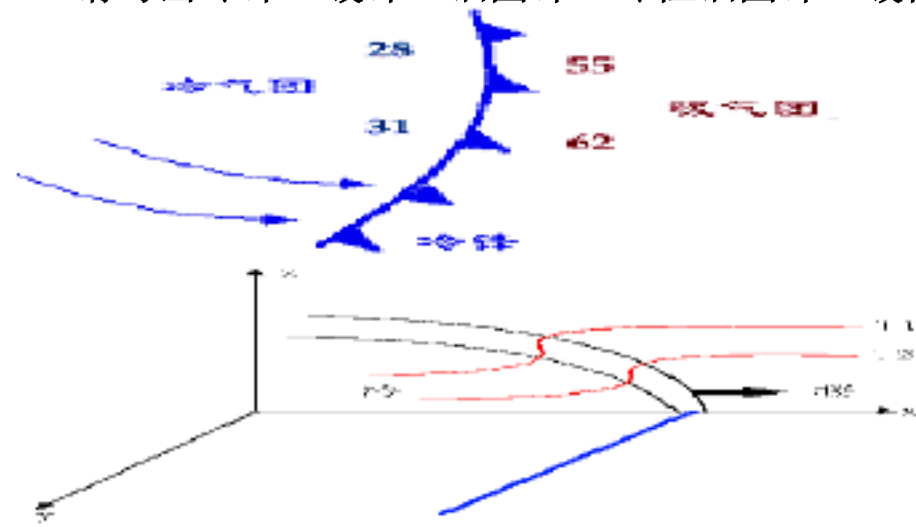
2、锋面：在近地面层中过渡带宽约数十公里，在高层可达200-400公里。宽度与其水平长度相比(长达数百-数千公里)是很小的。人们常把它近似地看成一个面，即锋面。

靠近暖气团一侧的界面叫锋的上界，靠近冷气团一侧的界面叫锋的下界。上界和下界的水平距离称为锋的宽度。

3、锋区：锋面与空中某一平面相交的区域称为锋区(上界和下界之间的区域)。

4、锋线：锋面与地面的交线。

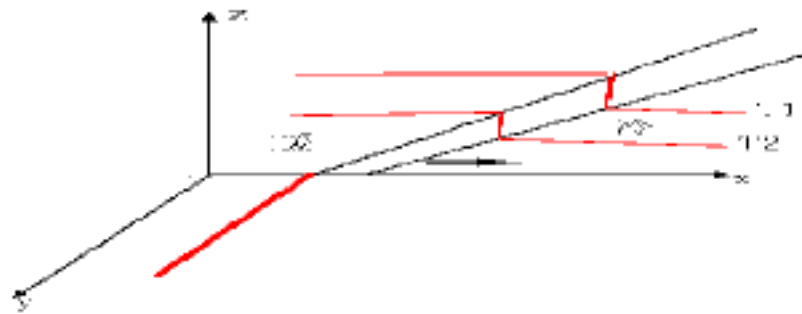
**2、请写出冷锋、暖锋、锢囚锋、冷性锢囚锋、暖性锢囚锋定义(空间结构及等温线分布)**



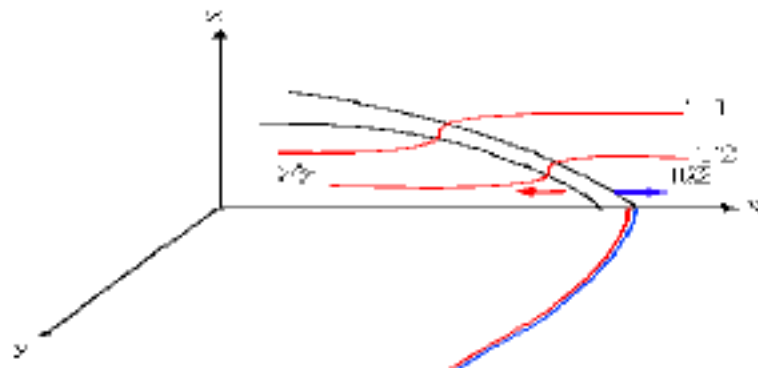
冷锋：锋面在移动过程中，冷

气团起主导作用，推动锋面向暖气团一侧运动

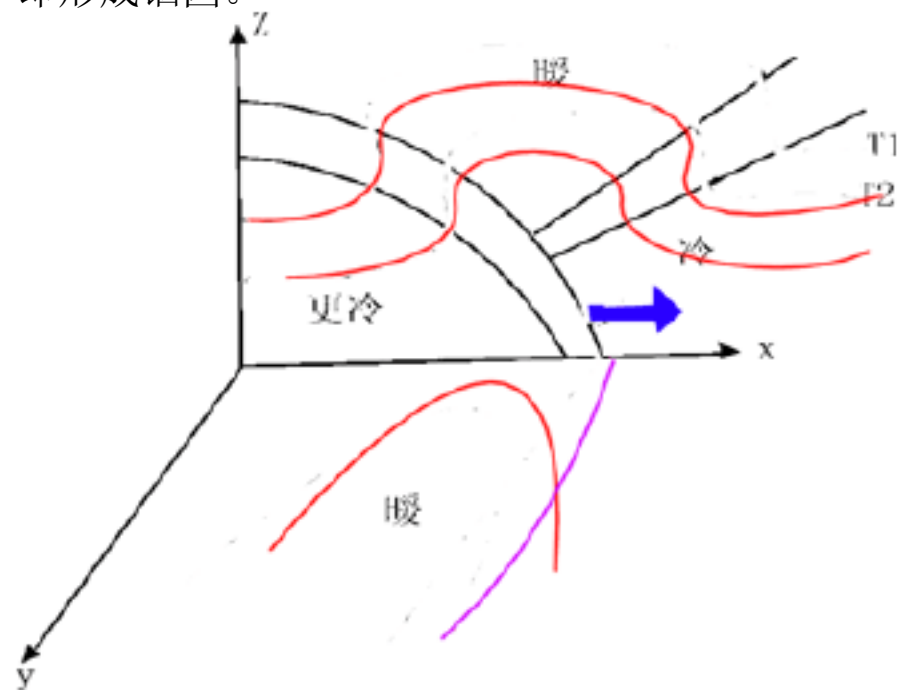
暖锋：锋面在移动过程中，暖气团起主导作用，推动锋面向冷气团一侧运动



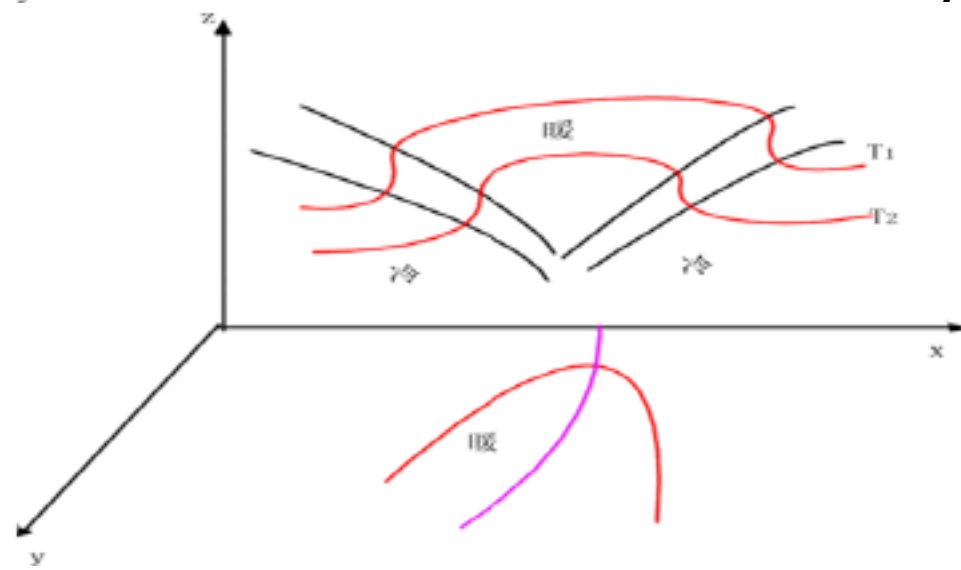
静止锋：冷暖气团势力相当，锋面移动很少



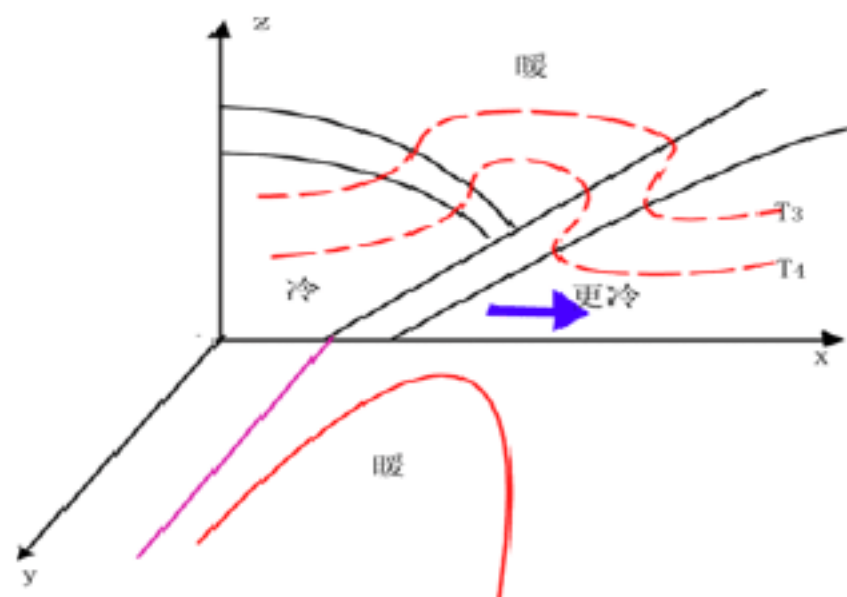
锢囚锋：暖气团、较冷气团、更冷气团相遇时先构成两个锋面，然后其中一个追上另一个锋面即形成锢囚。



A 冷式锢囚锋

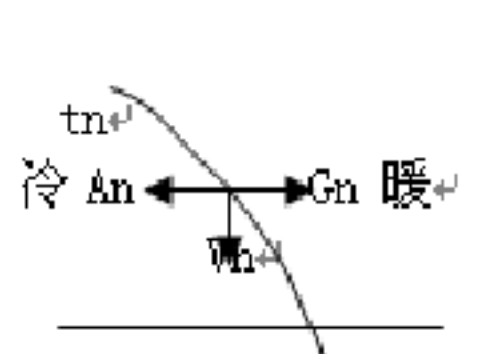
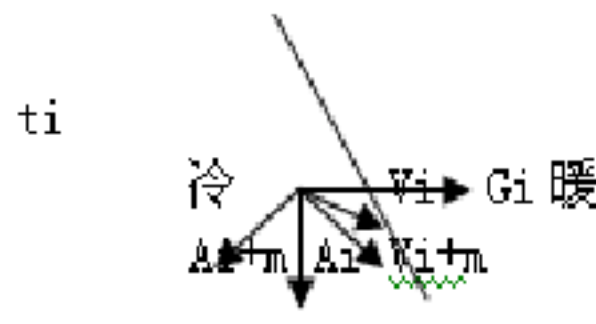
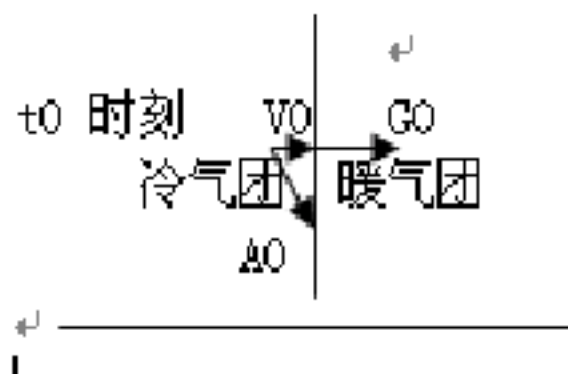


B 暖式锢囚锋



C 中性锢囚锋

3、锋在空间状态为什么会随高度往冷的方向倾斜？





$t_0$  时刻，冷暖不均， $\rho_{冷} > \rho_{暖}$ ， $p_{冷} > p_{暖}$ ，水平气压梯度由冷指向暖，在水平气压梯度力的作用下，空气由冷侧向暖侧运动，如图所示，地转偏向力  $A$  垂直速度偏向右。随着时间的推移，冷空气逐渐楔入暖气团下方，抬举暖气团的力逐渐减弱，如图。到某一时刻，抬举力为零，锋维持倾斜状态，向冷的一侧倾斜。

#### 4、对锋面坡度公式进行讨论

以密度一级不连续模拟锋面，锋面坡度与其附近的气压场、风场和变压场特征

##### 1. 锋面坡度公式

由密度一级不连续，则有：锋区存在，锋区附近密度一级不连续，气压二级不连续

$$tg\alpha_N = \frac{1}{g} \frac{\frac{\partial^2 P_F}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 P_N}{\partial x^2}}{\frac{\partial \rho_F}{\partial x} - \frac{\partial \rho_N}{\partial x}}$$

$$tg\alpha_L = \frac{1}{g} \frac{\frac{\partial^2 P_L}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 P_F}{\partial x^2}}{\frac{\partial \rho_L}{\partial x} - \frac{\partial \rho_F}{\partial x}}$$

$$\Theta \begin{cases} \frac{\partial \rho_F}{\partial x} > \frac{\partial \rho_N}{\partial x} \\ \frac{\partial \rho_F}{\partial x} > \frac{\partial \rho_L}{\partial x} \\ \frac{\partial^2 P_F}{\partial x^2} > \frac{\partial^2 P_N}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 P_F}{\partial x^2} > \frac{\partial^2 P_L}{\partial x^2} \end{cases}$$

##### 2. 密度一级不连续模拟锋面，锋面附近气压场和风场特征

**气压场：**锋区内等压线气旋式曲率比锋区外大得多，反气旋式曲率比锋区外小得多

**锋附近水平方向风场特征：**风场呈气旋性弯曲或气旋性切变

**锋附近风场垂直分布特征：**锋区中温度水平梯度大于两侧，锋区中热成风比锋区外大得多，所以风垂直切变大风随高度顺转，暖平流最强且热成风最大高度为高空暖锋区；风随高度逆转，冷平流最强且热成风最大高度为高空冷锋区；热成风很大而无明显平流，可能是静止锋。

**变压场特征：**变压梯度不连续，变压风也不连续；地面锋区中，等变压线密集，锋区外，等变压线稀疏，变压值比较小。

##### 5、请用锋面坡度公式解释锋面附近气压分布特征

**气压场：**锋区内等压线气旋式曲率比锋区外大得多，反气旋式曲率比锋区外小得多

##### 6、锋面附近要素场的特征是什么？锋面附近气压场、变压场、风场特征如何？（以密度零级和一级不连续不连续模拟锋面）

###### 一、锋面附近温度场的特征

###### 1、水平温度场特征

①地面图：锋附近温度水平梯度大，平均约  $5-6 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ 公里}$

②高空图：高空锋区为等温线的密集带，该密集带向冷区倾斜，与地面锋线平行。锢囚锋在高空图上有暖舌，暖舌两侧等温线密集。

**应用：**根据高空图锋区内等温线密集度确定锋区强度、地面锋线位置，等压面上冷暖平流确定锋的类型

2 垂直方向：锋区内温度垂直梯度小，逆温、等温或递减率小，两侧气团内温度随高度递减，冷暖气团温差越大，锋面逆温越强或过渡区越窄，通过锋区时等温线弯折越厉害

3 锋附近的位温特征：位温随高度增大的快，锋区水平等位温线密集见图（2.6）

**2、气压场特征：**锋面两侧气压连续，密度不连续，气压梯度不连续：冷气团中气压梯度大于暖气团中气压梯度

应用：等压线通过锋线，风呈气旋弯曲，锋面处等压线有折角，折角指向气压高的一侧

3 变压场特征变压场是某一位面，空间各点气压随时间的变化

冷锋、暖锋均是锋前变压代数值小于锋后变压代数值

暖锋前地面减压

冷锋后地面加压

冷锋前暖锋后，静止锋附近：变压不明显

即：暖锋前变压代数值小于暖锋后变压代数值，**暖锋前地面减压**

同理：有冷锋前变压代数值小于冷锋后变压代数值，**冷锋后地面加压**

在平坦的地面上垂直速度为零时，地面气压变化由热力因子和动力因子造成：

暖锋前地面减压（暖平流）

冷锋后地面加压（冷平流）冷锋前暖锋后，静止锋附近：变压不明显

散度总和辐散，则地面气压下降

散度总和辐合，则地面气压上升

### 3 风场特征

水平：锋线附近风场具有气旋性切变，地面摩擦作用可使这种气旋式切变更加明显，并导致锋线附近强的风场辐合。

垂直：暖锋附近风向随高度顺转，冷锋附近风向随高度逆转

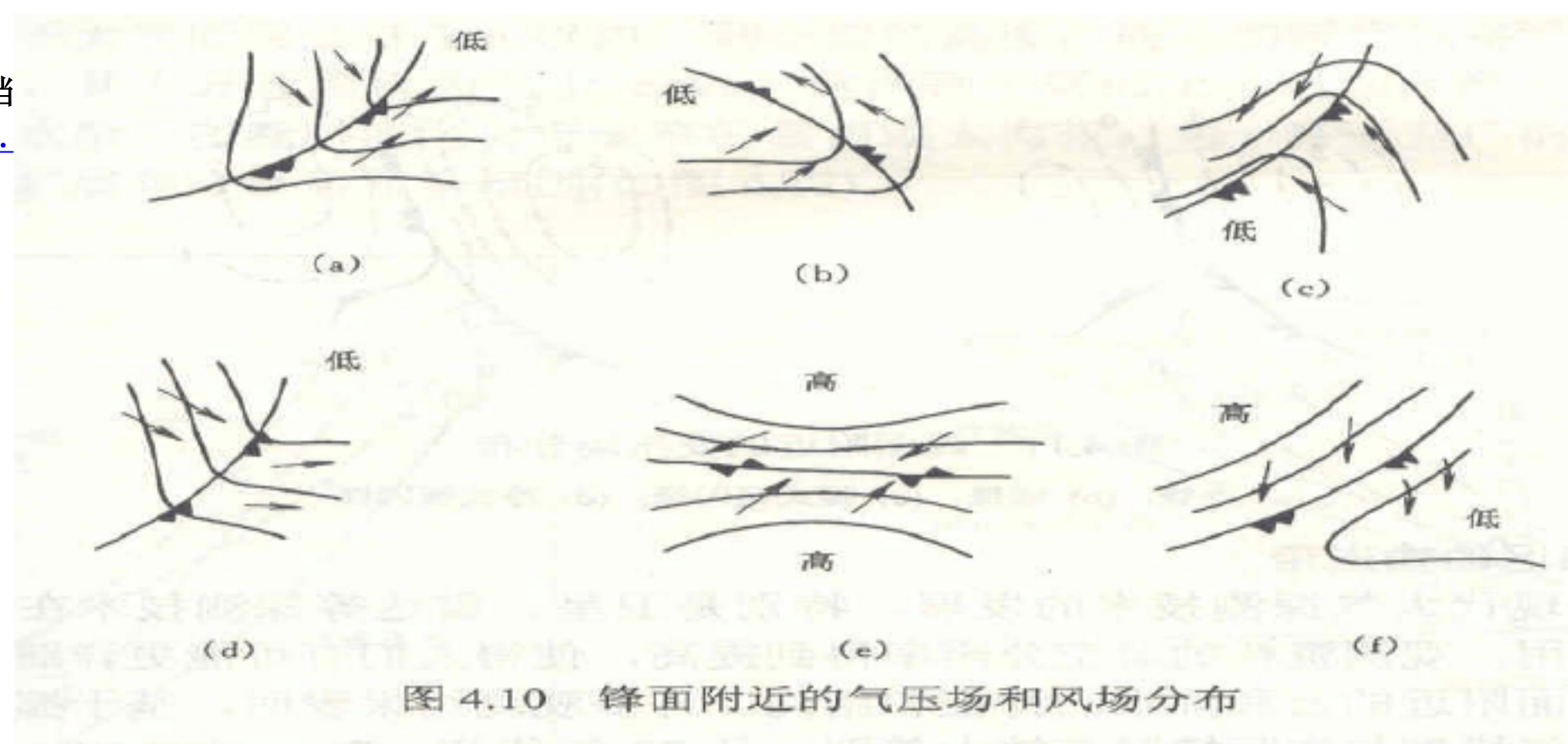


图 4.10 锋面附近的气压场和风场分布