# 第五章 天气形势及天气要素的预报

## 5.1 天气系统外推预报法

### 5.1.1 天气预报

**天气预报** 根据气象观测资料，应用天气学、动力学、统计学的原理和方法，对某区域或某地点未来一定时段的天气状况做出**定性或定量**的预测。包括：**天气形势预报**和**气象要素预报**。

**天气形势** 是指大范围**流场、气压场、温度场**三度空间的分布形势。
它包含了大范围的环流及环流形势的各个天气系统。

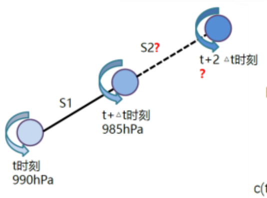
**形势预报** 预报各种天气系统的生消、移动和强度变化，是气象要素预报的基础。

### 5.1.2 外推预报法

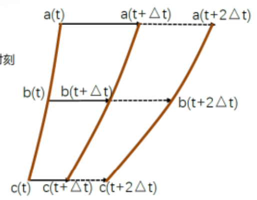
**基本概述** 根据**最近一段时间**内天气系统的**移动速度**和**强度变化规律**，**顺时外延**，**预报**出天气系统**未来的移动速度和强度变化**。依据：天气过程的发展在一定时间间隔内常具有连续性。该方法简单方便。

**分类** 外推预报法可以分为**等速外推**和**加速外推**两种。

#### 5.1.2.1 等速外推（直线外推）



等速外推：气旋

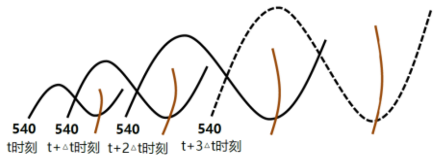


槽脊位置和移速

**假设** 假定系统的移动速度和强度变化基本上**不随时间改变**，系统的移动距离或它的强度与时间**成线性关系**，外推依据这种线性关系进行。

**适用系统** ① 闭合系统 ② 高空槽脊位置及其强度

#### 5.1.2.2 加速外推（曲线外推）

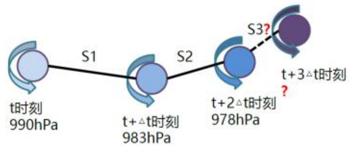


槽脊强度

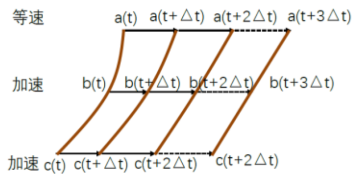
**假设** 假定系统的移动速度和强度变化**接近等加速状态**，这时系统的移动距离或它的强度与时间**成曲线关系**，外推时要考虑加速情况。

**适用系统** ① 闭合系统 ② 高空槽脊

#### 5.1.2.3 两者比较



加速外推



高空槽脊

**等速外推** 至少需要**两个时次**的数据

**加速外推** 至少需要**三个时次**的数据

**适用范围** 大气运动处于**相对稳定**的状态，天气系统的运动速度和强度变化通常是渐进的，且具有连续性。

**注意事项** 系统位置和强度定准确、外推时间不能过长、已知数据各个时次的时间间隔不能过长

## 5.2 天气系统运动学预报法

### 5.2.1 基本概念

**变压法** **运动学预报法**也称为**变压法**，其利用气压系统**过去移动和变化**所造成的**变高$\partial H/\partial t$(或变压$\partial p/\partial t$)**的分布特点通过**运动学公式**来预报系统未来的移动和变化的方法。
其本质上是外推法，运动学方法分析所得的变高(或变压)通过运动学公式具有动力学意义。

**适用范围** 大气运动处于**相对稳定**的状态，不能预报出系统的转折性变化。

**注意事项** ① 3 小时变压须消除日变化的影响。
② 移速公式未考虑加速度，一般情况下：加强的系统移动减速，减弱的系统移动加速。

#### 5.2.1.1 运动坐标系与固定坐标系中局地变化的关系

**固定坐标系** $\frac{d}{dt}_{个别变化} = \frac{\partial}{\partial t}_{局地变化} + \vec{V}\cdot\nabla_{负的平流变化}$　　水平面上固定于地表的坐标系，质点运动速度为$\vec{V}$

**运动坐标系** $\frac{d}{dt} = \frac{\delta}{\delta t} + (\vec{V}-\vec{C})\cdot\nabla$　　水平面上，随着运动的天气系统相对于地表以速度$\vec{C}$做水平运动的坐标系。

质点**相对于运动坐标系**的速度为$\vec{V}-\vec{C}$，其中$\frac{\delta}{\delta t}$是运动坐标系中的**局地变化**。

**推导** 由于个别变化不依赖于参考系，则 $\left(\frac{d}{dt}\right)_{固} = \left(\frac{d}{dt}\right)_{运}$，所以 $\frac{\partial}{\partial t} + \vec{V}\cdot\nabla = \frac{\delta}{\delta t} + (\vec{V}-\vec{C})\cdot\nabla$

则有两种局地变化的关系：$\frac{\delta}{\delta t} = \frac{\partial}{\partial t}_{局地变化} + \vec{C}\cdot\nabla_{平流变化}$　假设风速恰恰等于移动速度，则运动坐标系中局地变化可以看作固定坐标系中以速度$\vec{C}$运动的质点的个别变化。

**$C$ 的求解** 在运动系统上，选取一些**特定点或特定线**，使得在这些点或线上某要素在运动坐标系中的局地变化为零，即$\frac{\delta}{\delta t} = 0$，则 $\frac{\partial}{\partial t} + \vec{C}\cdot\nabla = 0$　则 $\frac{\partial}{\partial t} + C_x\frac{\partial}{\partial x} + C_y\frac{\partial}{\partial y} = 0$，其同时涉及两个方向，较为复杂，

不妨假设 $C_x = C, C_y = 0$，则有系统移动的运动学公式为：$C = C_x = -\frac{\partial(\square)/\partial t}{\partial(\square)/\partial x}$

#### 5.2.1.2 天气系统基本特征

**高数知识** **对于极小值，其一次导数为零，二次导数大于零**，由此可以判断槽脊线、低压高压中心的情况。

**槽线** $\frac{\partial H}{\partial x} = 0,\ \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} > 0$　　**脊线** $\frac{\partial H}{\partial x} = 0,\ \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} < 0$

**低压中心** $\frac{\partial p}{\partial x} = 0,\ \frac{\partial p}{\partial y} = 0$　$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} > 0,\ \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} > 0$　　**高压中心** $\frac{\partial p}{\partial x} = 0,\ \frac{\partial p}{\partial y} = 0$　$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} < 0,\ \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} < 0$

### 5.2.2 高空槽(脊)线的移动

**公式推导** 取$x$轴垂直于槽脊线，并指向气流下游，则在槽脊线上 $\frac{\partial H}{\partial x} = 0$（气压梯度情况），则为特定线的特定要素；代入运动学公式：$C = C_x = -\frac{\partial\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)/\partial t}{\partial\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)/\partial x} = -\frac{\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)}{\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)} = -\frac{\frac{\partial^2 H}{\partial x\partial t}_{变高梯度}}{\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}_{凹凸程度}}$　其中 $\frac{\partial^2 H}{\partial x^2}$ 表示槽脊的凹凸程度，

即反映了槽脊的强度，**槽大于零，脊小于零**。

**移动方向** **槽沿变高梯度方向移动，脊沿变高升度方向移动**。

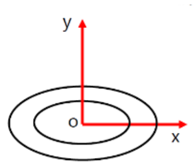
① 若 $\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial H}{\partial t}\right) < 0$，变高沿着$x$方向减小【相对涡度】，则$C > 0$，槽前进，沿**变高(压)梯度方向**移动

② 若 $\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial H}{\partial t}\right) > 0$，变高沿着$x$方向增加【地转涡度】，则$c < 0$，槽后退，沿**变高(压)梯度方向**移动

③ 对于脊的情况，由于分母符号变化，则原有的方向都反向，则沿着**变高(压)升度方向**移动。

**移动速度** ① **槽**的移速大小与**变高梯度**成正比，**脊**的移速大小与**变高升度**成正比。

② **强系统比弱系统移动慢**，槽、脊的移速大小与系统的强度成反比。




### 5.2.3 地面高压和低压中心的移动

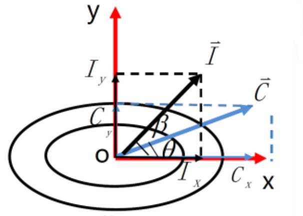
**坐标系建立** **原点**在气旋和反气旋中心点上：$\frac{\partial P}{\partial x} = 0, \frac{\partial P}{\partial y} = 0$；**$x$轴为长轴**方向，**$y$轴为短轴**方向，假设运动过程中气旋、反气旋的形态不变化。　在运动坐标系中：$\frac{\delta}{\delta t}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right) = 0$为特殊点。

**速度分解** 闭合气压系统一般是近似椭圆形的，系统中心的移动速度$C$可以分解为 $C_x, C_y$两个分量。

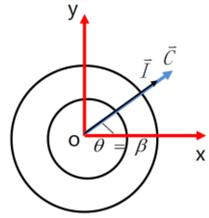
则$\frac{\delta}{\delta t}=\frac{\partial}{\partial t}+\vec{C}\cdot\nabla_2 \xRightarrow[\frac{\partial^2 p}{\partial y \partial x}=0]{\frac{\delta}{\delta t}\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)=0} \frac{\delta}{\delta t}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)=\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)+C_x\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)+C_y\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)$ 有两个分量，很难讨论。

**$x$方向** **在系统中心，$\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)=0$**。所以$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)+C_x\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)=0$，则 $C_x=-\frac{\frac{\partial^2 P}{\partial x\partial t}}{\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}}$

**$y$方向** **在系统中心，$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial P}{\partial y}\right)=0$**。所以$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial P}{\partial y}\right)+C_y\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial P}{\partial y}\right)=0$，则 $C_y=-\frac{\frac{\partial^2 P}{\partial y\partial t}}{\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}}$




**移动速度** $C=\sqrt{C_x^2+C_y^2}$




**移动方向** 可以使用它与$x$轴的夹角$\theta$表示：$tg\theta=\frac{C_y}{C_x}=\frac{-\frac{\partial^2 P}{\partial y\partial t}\Big/\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}}{-\frac{\partial^2 P}{\partial x\partial t}\Big/\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}}$

我们希望进一步讨论$\theta$局限的范围：如果以$I_x$和$I_y$表示变压升度沿两轴的分量：$I_x=\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial P}{\partial t}\right)$

则上式可以变为：$tg\,\theta=\frac{c_y}{c_x}=\frac{I_y\Big/\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}}{I_x\Big/\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}}=\frac{\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}}{\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}}\times\frac{I_y}{I_x}=\frac{\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}}{\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}}\times tg\,\beta$ $\beta$是变压升度与$x$轴的夹角

**正圆形系统** 当系统为正圆形时，$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}=\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}$，$\theta=\beta$ **正圆形**高低压的中心移动方向**与变压升度(梯度)方向一致**；高压向变压升度方向移动，低压向变压梯度方向移动。

**椭圆形系统** ① 对于椭圆形高压 $\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}<\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}<0 \Rightarrow \frac{tg\theta}{tg\beta}<1$ 则 $\theta<\beta$。 **椭圆形**高压中心移向**介于变压升度与长轴之间**，而且长轴越长，则$\theta$比$\beta$小得更多，故高压越接近于向着长轴方向移动。

② 对于椭圆形低压 $\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}>\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}>0 \Rightarrow \frac{tg\theta}{tg\beta}<1$ 则 $\theta<\beta$。 **椭圆形**低压中心移向**介于变压梯度与长轴之间**，而且长轴越长，则$\theta$比$\beta$小得更多，故高压越接近于向着长轴方向移动。

## 5.2.4 运动学预报气压系统的发展

### 5.2.4.1 槽脊线强度预报

**代入变量** 将 $H$ 本身代入，得到 $\frac{\delta H}{\delta t}=\frac{\partial H}{\partial t}+C_x\frac{\partial H}{\partial x}+C_y\frac{\partial H}{\partial y}$ 在槽脊上，$\frac{\partial H}{\partial x}=0$，且$C_y=0$，则$\frac{\delta H}{\delta t}=\frac{\partial H}{\partial t}$

当 $\frac{\partial H}{\partial t}<0$ 时，则槽加深，脊减弱。 当 $\frac{\partial H}{\partial t}>0$ 时，则槽减弱，脊加强。

这边的证明意义在于：槽脊是会移动的，这边局地变化和个别变化中的联系深入了槽脊强度的变化。

### 5.2.4.2 高低压中心的预报

**带入变量** 将气压本身代入，得到$\frac{\delta P}{\delta t}=\frac{\partial P}{\partial t}+C_x\frac{\partial P}{\partial x}+C_y\frac{\partial P}{\partial y}$，则 $\frac{\delta P}{\delta t}=\frac{\partial P}{\partial t}$。

固定坐标系中的局地变化也可以表征高低压本身的变化。

**结论** **从原则上讲，当气旋中心或槽上出现负变压时，气旋或槽将加深；当反气旋或脊上出现正变压时，反气旋或脊将加强。**