

# 气象预报中的滤波技术

曹 鸿 兴

(气象科学研究院天气气候研究所)

滤波 (filtering) 一词最早源于无线电技术，因为无线电波在空间传播过程中会受到干扰，使接收到的信号中夹杂有噪声。这时可用表达式

$$y(t) = s(t) + \eta(t)$$

来表示。其中  $y(t)$  为观测值， $s(t)$  为有用信息， $\eta(t)$  为噪声。这样，排除干扰、提取信息的技术称为滤波。

在本文中，我们把气象中所用的滤波技术分为动力滤波和统计滤波，两者的含意是有明显区别的。

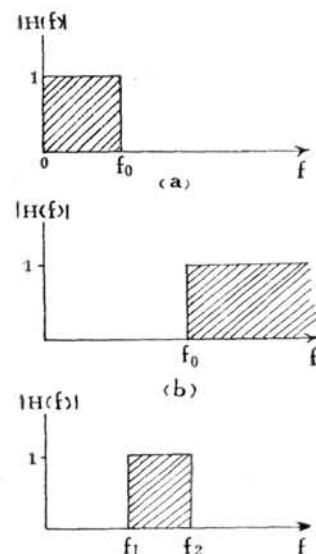
动力滤波是在四十年代发展的。第一张数值预报图就是用天气方程经滤波后得到的正压地转模式作出的。早在 1922 年，英国的理查森 (L. Richardson) 试作数值天气预报，计算所得结果与实测值差异甚大，试验失败了。其原因是大气中包含着各种各样的波动，如声波、重力波、惯性波 (快波) 和长波、超长波 (慢波)。作大尺度运动的预报，就需要滤除声波、重力波乃至惯性波。在理查森的计算中这些快波因观测误差而迅速增长，因此预报结果偏差很大，这些使预报变坏的快波相对来说就是噪声。针对不同预报时效、不同项目，就需要滤除不同的次要波动，保存控制该类天气的主要波动。一般有两种办法可施行。

①修改预报方程使它不包含产生噪声的机制，但能保留气象上有意义的解。引用滤波近似使方程简化，由此所得的称为滤波方程或过滤模式。例如对大尺度运动来说采用静力近似代替垂直运动方程就能滤掉通常的垂直声波。为了滤掉重力波，在涡度方程中除辐射项外，其它项的水平速度均由地转风代替，这样得到的简化大气模式称为准地转模式。在长期天气预报或气候预告中，为了突出长期天气过程或气候变化，有时甚至可将长波滤除。

②调整初始场，这就是数值预报中的所谓初值处理问题。为了精确描述大气运动，采用原始方程。但为了不致因初始场的误差，在快波的激发下使天气上有意义的物理图象受到破坏，解方程用的初始场不仅由原观测值来确定，还需用地转关系、平衡方程或其他方法来调整风和气压场的关系，使初值与所用方程系统、计算稳定性相适应。

统计滤波是对气象观测数据进行处理，从中提取

有效信息，以达到内插历史值、平滑气象场、外推预报量的目的。广义地讲，天气图分析本身是一种手工滤波技术，输入的是各测站的观测值，分析得到的是符合物理概念的天气图象。洲际范围或半球范围的天气图，实际上滤除了如积云、飑线等中小尺度的波动，保存了气旋、长波、超长波尺度的运动，因而可以说它是一个低通滤波器。顾名思义，低通 (高通) 滤波是让低频 (高频) 波动通过，带通滤波是让特定带的波动通过。这三种类型的滤波器的理想特性如附图所示。



附图 理想滤波器的特性  
a. 低通; b. 高通; c. 带通

线性滤波器的输入  $x(t)$  和输出  $y(t)$  之间的关系可以用积分

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) x(t - \tau) d\tau \quad (1)$$

来表示，即输出  $y(t)$  的值是由输入  $x(t)$  在整个历程上的加权线性和确定的。

对离散采样系统来说，令  $t = n\Delta t$  ( $n = -M, -M+1, \dots, M$ )

$-M+1, \dots, 0, 1, \dots, M$ ), 将(1)式变为有限和形式

$$y_n = \sum_{k=-M}^M h_k x_{n+k} \quad (2)$$

若要使权系数正规化, 则(2)应为

$$y_n = (\sum_{k=-M}^M h_k)^{-1} \sum_{k=-M}^M h_k x_{n+k} \quad (3)$$

当  $h_k = 1$  时, 就是在气象中广泛使用的滑动平均公式, 即是一种等权滤波。如令  $M=2$ , 就是熟知的五点滑动平均公式。大家知道, 滑动平均是用来滤除小波动、揭示长周期的数据处理手段。由此可以理解, 它是和滤除短波、保留长波的动力滤波一样的。不过统计滤波着眼于气象量随时间的演变, 而动力滤波则着眼于方程所能描述的气象量的分布。

自然, 我们也可以采取加权滤波, 权系数可分别采用:

①高斯(正态)型  $h_k = (2\pi\sigma^2)^{1/2} \exp(-k^2/2\sigma^2)$

其中  $\sigma$  为方差。

②三角式  $h_k = \left(1 - \left| \frac{k}{M+1} \right| \right)$

③牛顿二项式  $h_k = (2M)! / (M+k)! (M-k)!$

④指数型  $h_k = (1+k\beta) e^{-k\beta} \quad \beta > 0$

(2)式表达的是对称的非循环型滤波器。输出值不仅由输入的过去值还由输入的将来值决定, 因此可用来对数据作平滑处理。如用来作预报显然应用不对称的滤波器

$$y_n = \sum_{k=0}^M h_k x_{n-k} \quad (4)$$

还有一类循环数字滤波器, 其输出不仅依赖于有限项输入之和, 还依赖于以前的输出, 即具有反馈特性, 其表达式为

$$y_n = \sum_{k=0}^M h_k x_{n-k} + \sum_{k=1}^{M-1} b_k y_{n-k} \quad (5)$$

大气中的凝结潜热释放的反馈、海洋对大气的反馈等可由(5)式大致地加以描述。

由(1)式表示的线性滤波通常称为维纳滤波, 是发展较早的一种数字滤波。六十年代以后发展了卡尔曼滤波, 是将表征系统运动的动态方程与系统的量测方程同时统计求解, 并发展了一套适合于计算机的递推计算技术, 因而在宇航、雷达、导航、通信等许多方面获得了广泛而富有成效的应用。上面所述的统计滤波均已在天气或气候预报、气象资料处理等方面获得应用。

值得指出的是, 虽然动力滤波与统计滤波是并行独立地发展的, 所用数学技巧也各异。但在基本思路、终极目的方面却有共同之处, 且已有相互结合的倾向。七十年代在客观分析中发展的多元最优内插方法就是动力-统计结合的滤波的范例。

### • 读者来信 •

## 应该重视健全测报业务

### 技术档案

#### 编辑同志:

测报业务技术档案是气象台站历史资料档案之一, 它包括建(迁)站的有关资料, 测报业务规章制度、技术文件和各种查算图表, 仪器检定证和说明书, 地面气象观测表、簿和自记纸, 台站登记证和历史沿革表, 测报工作大事记和值班日记, 以及测报质量考核报表, 等等。

文化革命前, 我区台站的测报业务技术档案大都是完整的, 除按时记载外, 保管也较完善。但在十年动乱期间, 有的记录中断, 有的遭虫蛀鼠咬、残缺不全, 更有甚者, 有的认为这些东西都是“废纸”, 没有什么作用, 一火而焚之, 实在令人痛心!

粉碎“四人帮”后, 各项业务工作有了很大起色, 也恢复了一些测报工作方面的规章制度, 但对恢复健全测报业务技术档案方面的工作仍然重视不够, 抓得不力, 存在的问题还较多。有的至今还没有恢复记载, 有的还没有清理, 有的下落不明。特别是台站登记证、历史沿革表和测报工作大事记等资料档案, 不仅记载中断和零乱, 而且也没有妥善保管。

在此, 借贵刊一角之地向全国各级台站发出呼吁, 大家都来重视健全测报业务技术档案的工作。要迅速恢复记载、及时整理、妥善保管, 健全有关方面的制度, 绝不能放任不管。也希望各业务管理部门切实抓好这方面的工作, 如重新设制下发台站登记证、历史沿革表和观测工作大事记等, 定期检查督促台站认真执行, 以保证测报业务技术档案准确、完整, 便于各方面查阅参考。

贵州铜仁地区气象局  
林敏

