

研究简报

高空图的业务客观分析

上海市气象局研究所数值预报组*

一、引言

所谓的客观分析的基本点是根据不规则的、疏密不均匀的测站资料而得到规则网格点上的适当数值。客观分析应用于实况资料分析和为数值天气预报提供初始场,是自动化数值预报体系的重要环节。

由 Panofsky (1949)^[1] 提出并由 Gilchrist 和 Cressman (1954)^[2] 作了修改的最早的客观分析方法是采用最小二乘法使资料满足一些多项式。多项式法在无资料地区会产生计算不稳定,此外它还占用较多的机器时间。后来, Bergthórsson 和 Döös (1955)^[3] 提出了一个所谓“订正法”的新方法,这是一种对事先给定的预备场进行订正的方法。Cressman (1959)^[4] 发展了这一方法并且对北半球区域建立了业务客观分析系统。订正法简单明瞭并且克服了多项式法所存在的问题,但其缺点在于需要事先给定一个预备场,而且难以避免的预备场与实况的偏差必然会使分析场造成误差。

近年来也发展起了一些新方法,但函数插值法和订正法仍然是目前使用最普遍的二种客观分析方法,大多数国家都用其中之一进行业务客观分析。

针对上述二种方法各自的优缺点,设法采用一种多项式插值与订正法结合的方法,以同时吸取二种方法的长处摒弃短处。为避免订正法需要事先给定预备场,本方法用多项式插值来构造预备场,为避免多项式插值的计算不稳定性,在无资料地区建立若干“机造站”,并且视资料中站数的多少分块建立不同阶数的多项式。为了提高少资料地区的分析精度,作了称为“定向订正”的技术处理。

为减少机器时间,使用了若干计算技巧。目前在 DJS-6 计算机上分析一层的机器时间在二分钟以内。

二年业务客观分析的结果证明本分析体系具有实际使用价值。

二、水平检误

首先,为了剔除错误资料,对测站的高度及风观测进行水平检误。其办法如下(以高度资料检查为例):

1978年1月16日收到修改稿。

* 徐一鸣执笔

若被检站的等压面高度为 ϕ_0 , 对被检站周围 2.5 格距范围内的所有测站 (以下标 i 为其序号), 求出:

$$\bar{W} = \sum_i W_i = \sum_i \frac{1}{1+r_i^2} \quad \bar{R} = \frac{\sum_i W_i r_i}{\bar{W}} \quad \bar{\phi} = \frac{\sum_i W_i \phi_i}{\bar{W}}$$

其中 r_i 表示周围测站与被检站的距离, W_i 表示周围站的权重, ϕ_i 表示周围站的观测高度, $\bar{W}$ 表示平均权重, $\bar{R}$ 表示平均距离, $\bar{\phi}$ 表示平均高度。

若 $|\phi_0 - \bar{\phi}|/\bar{R} > \Delta$ (距离为一个格距的二测站高度的允许差), 则如果这是发生在第一次扫描, 那么记忆下来, 并且不参加对其他站的检验, 如果是第二次扫描那么该被检站资料剔除。水平检验的二次扫描是为了保证不至发生因周围站的错误资料而将正确的被检站资料剔除的以假乱真情况。

检误中如果固定距离中无其他站, 那么扩大一个格距半径寻找, 一直找到为止。

对风的检误办法同高度场, 采用分量检误, 有一个分量剔除, 整个风即剔除。

单位格距间要素的允许差的选取必须细致地进行。为了将漏放错误资料及错剔正确资料均尽量限制在最小的程度, 经过多次试验, 最后选定采用允许差数值在分析区域 (亚欧范围) 分块不同的办法: 在分析中区即西风激流区允许差最大; 在北区为中区的 3/4; 在 30°N 以南的南区为中区的 2/3。在海上, 由于测站稀少允许差为正常值的 1.3 倍, 在有台风时并且扩大到 2 倍。表 1 列出了中区的允许差数值。

表 1 单位格距 (300 公里) 等压面高度允许差, 以位势什米为单位。

等压面	允许差
1000 毫巴	6
850 毫巴	6.5
700 毫巴	7
500 毫巴	9
300 毫巴	12

三、多项式插值与气候值

在分析区域内分块建立多项式, 以作为分析的第一近似场。

1. 多项式法 根据测站所在的坐标位置以及测站观测的等压面高度值, 利用最小二乘法, 定出下列形式多项式的系数,

$$Z_n(x, y) = \sum_{i+j=0}^n a_{ij} x^i y^j$$

其中 (x, y) 表示坐标位置, n 表示多项式的阶数。利用上式将网格点的位置代入即可得到等压面高度值。

2. 机造站 在分块构造多项式时, 块内测站个数不得少于多项式的系数个数。测站个数多能提高质量, 但更重要的是测站分布的均匀性。如果在分析区内某一较大范围无资料, 那么就会引起计算不稳定。针对上述情况, 必须解决分析区域内, 特别是边界附近大片存在的无资料的问题。16 个“机造站”就是为此而设计的, 在无资料地区的中心只要加上一个“机造站”就能变计算不稳定为稳定。在每个“机造站”的周围 2.5 格距半径范围内, 求出加权平均高度值作为“机造站”的高度值, 权重为 $\frac{1}{1+r^2}$, r 为测站与“机造站”的

距离。如果在前一次搜索园内少于三个测站,则搜索半径扩大一格。

“机造站”的建立仅仅是为了保持使多项式插值得以进行的稳定性以及自动化的分析过程,而绝不是为了增加信息和提高分析精度。

3. 分块原则 将亚欧范围分成大小不等的 21 个区,尽量使每个区接近正方形并保证一定的站数。在每个区上分别建立 1—4 阶多项式,阶数高低视各区实际站数多少及分布的均匀性而定。为保证计算的稳定性及多项式的可靠性,各区的实际站数必须超过准备建立的多项式阶数所对应的必须站数的最低值(等于系数个数)的三倍。对于一些特定区域,特别是边界附近的一些区还规定它所能建立的多项式的最高阶为 1 或 2 阶不等。

为保证整个分析场的连续性,每区的实际分析范围四周均扩大一格,相邻二区的重叠部分取平均值。对上述扩大一圈的分析区求多项式系数时的测站则扩大二圈寻找。

4. 气候值 在区域范围的东南与西南角,测站少而极不均匀,即使建立一阶多项式其质量亦是很成问题的。因此,在这二区不建立多项式而给以特定的气候值,对于分冬、夏半年变化的等压面的高度值列表如下¹⁾:

表 2 气候值表,以位势什米为单位。

		850 毫巴		500 毫巴		300 毫巴	
		西	东	西	东	西	东
夏半年	5—10 月	149	150	588	586	971	969
冬半年	11—4 月	152	151	581	587	953	969

四、测风站补高度

为了充分利用各种资料,对于那些有风记录而无高度值资料的站也不予丢弃,而是采

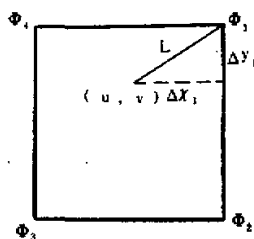


图 1 网格方块示意图

用补上高度值的办法来加以使用。

若测站所在的网格方块四个角上的多项式插值所得的高度值为 $\Phi_1 \sim \Phi_4$, 利用地转关系可以得到

$$\int_L d\Phi = \int_L \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} dx + \frac{\partial \Phi}{\partial y} dy \right) = \int_L f(v dx - u dy)$$

$$\Phi_0' = \frac{f}{M} (v \Delta x_i - u \Delta y_i) + \Phi_i$$

$$\Phi_0 = \frac{\sum_i W_i \Phi_0'}{\sum_i W_i} \quad W_i = \begin{cases} 1 - r_i^2 & r_i < 1 \\ 0 & r_i \geq 1 \end{cases}$$

其中 f 为测站的柯氏参数, M 为该点的地图投影放大系数, W_i 为第 i 网格点的权重系数, Φ_0 为最后补得的测站高度值。

1) 资料根据中央气象台亚欧 500 毫巴累年平均图及柏林大学天气图整理而得

五、订 正

对于多项式插值所得的网格点高度值, 利用测站的高度及风资料进行三次订正。每次订正依次以前一次所得的高度场作为预备场。

订正公式为:

$$\Phi^s = \frac{\Phi^{s-1} \cdot W^s + \sum_i D_i W_i}{W^s + \sum_i W_i} \quad s = 1, 2, 3$$

$$D_i = \Phi_i + \frac{f}{M} (\nu_i \Delta x_i - u_i \Delta y_i)$$

$$W_i = 2/(2 + r_i^2)$$

其中下标 i 表示位于扫描圆内的某一测站, Φ_i 、 u_i 、 ν_i 表示该测站的高度及风, 则 D_i 表示利用类似上节的方法, 根据一个测站的资料所得的网格点的高度值, W_i 表示测站对网格点的权重, r_i 表示测站与网格的距离, s 为订正序次, 三次订正的扫描半径是由大至小, 依次为 4、2.5、1.5 (格距单位), Φ^s 为本次订正所得的分析场, W^s 表示上一次半成品场所占的权重, 依次为 0.5、0.25、0.125。

由于考虑到多项式插值场总的来说是粗糙的, 所以其权重仅为 0.5, 同时由于随着扫描半径的缩小, 分析的精度提高, 半成品场的权重亦令其进一步减小。考虑到在 30°N 以南地区测站较稀疏, 订正的精确性受到影响, 因此, 在这地区半成品场的权重均取为正常权重值的三倍。

六、资料洞地区的处理

无资料地区的处理是客观分析工作的重要方面。

在多项式插值阶段在无资料地区所建立的“机造站”以及气候值的使用仅仅使分析工作得以进行, 但是在这类地区分析的质量仍然是很差的。

无资料地区定向订正法的设计使分析的质量大大提高。

在订正法阶段, 对每个网格点来说, 需要从所有的测站中寻找出落在扫描圆内的测站, 虽然对测站场曾经按照横坐标方向作了排队, 但由于对每个网格点均要寻找一遍测站, 计算花去了大量的机器时间, 为了提高效率, 采用了从测站到网格的办法, 对每个测站计算出其在影响圆内的网格点上的订正值。因此, 在订正法中, 对网格点而言的扫描圆, 实际上在本工作中是对测站而言的影响圆。

由于订正的扫描半径最大的是 4 格距, 在资料洞地区中的网格点往往不落在任何一个影响圆内。为此, 在资料洞的外围测站的影响半径在朝着资料洞的方向上扩大一倍。例如, 日北海道、苏太平洋沿岸测站的影响半径在第一象限 (即东北方向) 比其他方向扩大一倍, 以使分析图东北角的太平洋上的网格点得以订正。图 2 是这一地区的分析在加入定向订正前后的对比, 改进是明显的。

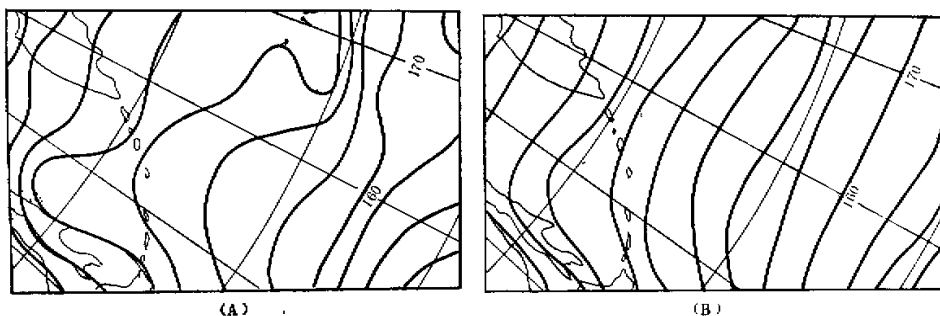


图 2 1975 年 1 月 9 日 00Z 300 毫巴分析定向订正前后对比,
(A) 为定向订正前, (B) 为定向订正后。

对于分析图东南角太平洋上范围, 利用琉球群岛、我广东广西沿海等测站向东南方向影响半径延伸一倍, 图 3 是效果对比。

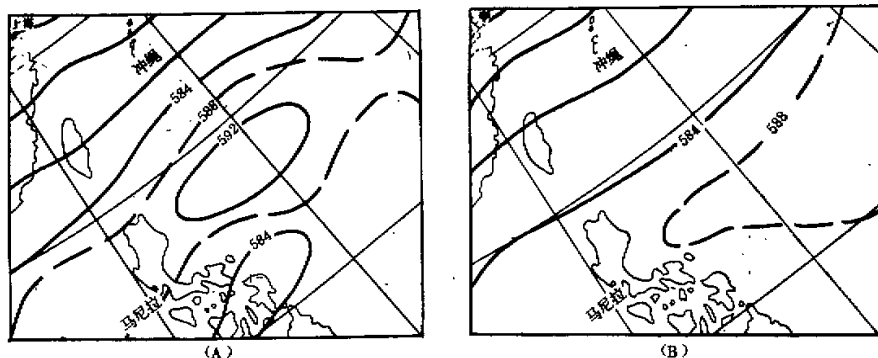


图 3 1975 年 1 月 9 日 00Z 500 毫巴分析定向订正前后对比,
(A) 为定向订正前, (B) 为定向订正后。

在整个亚欧分析区共有四个进行定向订正的区域。

规定在太平洋上的测站其影响半径为正常值的二倍。

对于测站分布不均匀而造成的分析等高线分布不均匀的现象, 用“疏密均匀法”进行处理: 二个网格点上的高度差超过允许值, 即令二个格点分析值增加或减少超额值的一半。这种处理在全场上对各网格点沿纵、横二个方向各进行一次。图 4 是说明“疏密均匀法”效果的一个个例。

七、二年业务客观分析效果检查

每张客观分析图完成后均进行效果检查: 对每一个有效测站(除错误站外), 利用其周围 16 个网格点上的值求出测站所在位置上的分析高度值。测站观测值与该分析值之差即表征分析误差。所有测站分析误差的绝对值平均即为平均分析误差。

使用了 Bessel 中心差分公式以进行 16 点的插值:

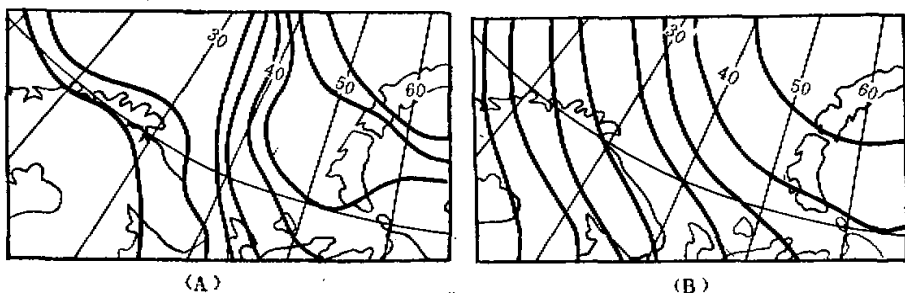
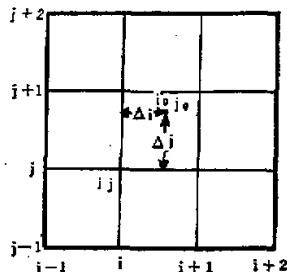


图4 1975年8月8日00Z 700毫巴分析疏密均匀前后对比,

(A) 为疏密均匀前, (B) 为疏密均匀后.

$$\begin{aligned}
 \Phi_{i',j_0} &= \Phi_{i,j+\Delta j} \\
 &= \Phi_{i',j} + \Delta j(\Phi_{i',j+1} - \Phi_{i',j}) \\
 &\quad + \frac{\Delta j(\Delta j - 1)}{4}(\Phi_{i',j+2} - \Phi_{i',j+1} + \Phi_{i',j-1} - \Phi_{i',j}) \\
 &\quad + \frac{\Delta j(\Delta j - 1)(2\Delta j - 1)}{12}(\Phi_{i',j+2} - 3\Phi_{i',j+1} \\
 &\quad + 3\Phi_{i',j} - \Phi_{i',j-1}) \\
 i' &= i-1, i, i+1, i+2
 \end{aligned}$$

图5 对点 i_0, j_0 求内插值的
网格方块示意图

然后,再用同样公式根据 Φ_{i-1,j_0} 、 Φ_{i,j_0} 、 Φ_{i+1,j_0} 和 Φ_{i+2,j_0} 求出 Φ_{i_0,j_0} .

本客观分析自1975年8月1日投入业务使用已二年余。对于1975年8月1日至1977年7月31日止的二年业务客观分析的平均误差所进行的统计,由表3给出。

表3 二年业务客观分析平均误差统计表,单位为位势什米

	850 毫巴	500 毫巴	300 毫巴
夏半年(5—10月)	0.65	1.01	1.67
冬半年(11—4月)	0.68	1.08	1.78
全 年	0.67	1.05	1.73

参 考 资 料

- [1] H. A. Panofsky, Objective weather map analysis. *J. Meteor.*, 1949, 6, pp. 386—392.
- [2] B. Gilchrist, G. P. Cressman, An experiment in objective analysis. *Tellus*, 1954, 6, pp. 309—318.
- [3] P. Berthelsen, B. Döös, Numerical weather map analysis. *Tellus*, 1955, 7, pp. 329—349.
- [4] G. P. Cressman, An operational objective analysis system. *Month. Wea. Rev.*, 1959, 87, pp. 367—474.
- [5] L. S. Gandin, K. M. Ingina, Comparison of the accuracy of objective analysis produced in various Countries. *Proc. Symp. on Numer. Wea. Prediction*, 1968, Tokyo.