

卫星云图资料估计湿度的适时回归方法及其影响诊断

吴诚鸥¹, 沈桐立², 王顺风¹

(南京气象学院 1. 数学系; 2. 大气科学系, 南京 210044)

摘要: 提出适时回归方法, 由卫星云图资料估计湿度场。数理统计中的回归诊断是查找野点的强有力方法, 本文成功地运用回归诊断于卫星云图资料估计湿度场, 提高了精确度, 得到良好效果。

关键词: 回归诊断, 卫星云图, 湿度场

中图分类号: O174.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2001)02-0162-03

国际上将中尺度气象列为 20 世纪 90 年代大气科学两大主题之一^[1], 研究中尺度系统的数值模式发展迅猛。随着数值模式网格的加密及物理过程不断完善, 用数值模式进行诊断或者做预报的水平不断提高^[2]。目前, 常规观测资料在时空尺度上均不能满足中尺度模式的要求, 采用非常规观测资料势在必行, 而卫星云图资料是目前较容易得到的非常规观测资料之一。

目前, 国内外对于卫星云图的应用主要是用来定性做天气分析与预报^[3]。定量使用方面, 由于难度较大, 做得较少。可以说云图资料定量使用的潜力还是较大的, 无论在理论研究方面, 或是实际预报方面都有极大的价值。本文的目的是探索一种简便的、行之有效的新方法。

用卫星云图资料来改善数值天气预报的初始场有两方面工作要做: 一是动力学场(即与天气形势有关的环流场); 一是湿度场。本文工作主要是为改善湿度场分析做一些探索。由于湿度场的状况与中尺度暴雨关系紧密, 其新方法的探索具有良好的应用前景。

1 方案的依据和理论基础

本研究使用 GMS 卫星红外云图, 其灰度值反映的是云顶的亮温值(其中包括了各种影响因素及虚假的噪音)。一般来说, 灰度值越大代表云顶温度越低。现以湿度场为例来说明。

首先需要了解云顶温度与大气低层 850、700 hPa 湿度场的关系。在进行数值天气预报的实践中, 一般将模式 300 hPa(约 9 km) 以上的湿度值忽略掉(例如国家气象中心 T₆₃ 及 T₁₀₆ 等模式都是这样处理的), 它们对大尺度降水的作用不大。而当云顶温度达到 -70 甚至更低时, 这表明云顶已处在对流层顶或平流层底部(例如, 中纬度夏季对流层大约在 100 hPa 或 16 km 左右), 并且云层有足够的厚度。一般情况下 9 km 高度上的水汽由于含水量很小就可以忽略不计, 之所以 16 km 高度上仍有充足的水汽, 其原因是由于旺盛的对流把低层丰富的水汽输送到这一高度, 否则这一高度不应该有浓厚的云层。这表明云顶温度越低大气层湿度一

般越大,是有着内在联系的,也是统计云顶温度与 850、700 hPa 等高度湿度之间关系的基本依据。文中对于湿度这一物理量,采用的是相对湿度而不是绝对湿度,原因是前者与成云的关系更为密切。

一些气象工作者对于 GMS 红外云图云顶温度与暴雨关系的研究也为本文的工作提供了有力的支持。例如,中国气象研究科学院薛秋芳和武汉暴雨研究所王登炎所做的研究^[7,8],得到云顶温度与暴雨有着明显的相关。而暴雨的水汽来源主要受大气低层状况的制约。因此,云顶温度与大气低层湿度有密切关系。

由于红外云图受到多种因素(如太阳照射的角度、卫星相对太阳的视角、季节、时间与温度等)的影响,把这些因素全部考虑,建立一个普遍适用的预报公式几乎是不可能的。为此,我们采用适时回归方法,即在需要预报的时刻,把当时的云图资料、当时的常规资料综合起来。在此特殊时刻,卫星相对太阳的视角、季节与温度是相同的;太阳照射角度的影响在不大范围内可以看成经纬度多项式;云图灰度与湿度的关系也用多项式近似,因而可以作湿度对云图灰度、经纬度多项式的回归,得到很好的近似预报公式。这种方法称为适时回归方法。

在作多项式回归时,先作逐步回归,筛选出最合适的因子,以减少所需估计参数个数,可以提高多项式回归的效率。但是用选出的最合适的因子,建立回归方程时,有些测站资料有特殊情况。例如数据取错,或者由于测站附近有 大片海域等原因,出现较强反光,都会使云图中某些测站(点)数据反常,极端不符合回归方程,这些点在统计学中称为“野点”,必须将其审查并删去。找出“野点”的方法称为影响分析或影响诊断^[4-6]。此方法是回归诊断中重要内容,也是近来统计学热点之一。显然,这里的统计诊断是数理统计的专用术语,与气象学中的统计诊断不同。适时回归方法及影响诊断在大气科学中具有广泛应用前景。

回归方法及有关方法是大气科学界熟知的。以下介绍影响诊断的基本方法。

设 n 是样本容量(观察数据个数), p 是回归模型中待估参数个数, X 是设计矩阵, \hat{y}_i 是 y_i 的预报值, $r_i = y_i - \hat{y}_i$, h_i 是 $(X'X)^{-1}$ 对角线上第 i 个元素, s^2 是方差估计值, $X(i)$ 是删去第 i 次观察后的设计矩阵, $b(i)$ 是删去第 i 次观察后的参数估计, $s^2(i)$ 是删去第 i 次观察后的方差估计, $\hat{y}_j(i)$ 是删去第 i 次观察后的 y_j 预报值, $\hat{Y}(i)$ 是删去第 i 次观察后的 Y 预报值,

$$\begin{aligned} rstudent &= r_i / [(s(i)(1 - h_i)^{-1/2})]; \\ covratio &= \det(s^2(i) ((X(i)'X(i))^{-1}) / \det(s^2(X'X)^{-1}); \\ dffits &= (y_i - \hat{y}_i) / (s(i)s); \\ dtbetasi &= (b_j - \hat{b}_j(i)) / (s(j)(h_i)^{-1/2})。 \end{aligned}$$

当第 i 点可能是野点的指标如下:

$$\begin{aligned} h_i &> 0; \\ rstudent &> 2; \\ covratio - 1 &> 3ph; \\ dffits &> 2; \\ dtbetasi &> 2。 \end{aligned}$$

在分析云图时, n 即常规资料测站个数。 p 即所考虑云图灰度与经纬度幂的项数加一,例如经纬度用 x, y 表示,灰度用 h 表示,预报因子是 h, hx, hy, xy , 则 $p = 5$ 。

2 一个实例

我们用以上方法对 1995 年 11 月 15 日 08 时的卫星云图与常规资料进行实验。自 90 ~ 120

E , 15 ~ 45 N , 每隔 0.5 有一云图灰度值。常规资料只有 300、400、700、850 hPa 的观测值, 全部计算用 SAS 软件编程。我们由残差分析发现云图灰度 h 不能很好地用于预报 300 hPa 和 400 hPa 的露点 L_1 和 L_2 , 却能较好地用于预报 700 hPa 和 850 hPa 的露点 L_3 和 L_4 。首先我们对 12 个预报因子 ($u_1 = x, u_2 = y, u_3 = x \times x, u_4 = x \times y, u_5 = y \times y, u_6 = h, u_7 = h \times u_1, u_8 = h \times u_2, u_9 = h \times u_3, u_{10} = h \times u_4, u_{11} = h \times u_5, u_{12} = h \times u_6$) 进行筛选。由计算对 L_3 筛选出预报因子 $u_2, u_5, u_7, u_8, u_{11}$, 对 L_4 筛选出预报因子 u_2, u_3, u_5, u_{12} , 再用“影响分析”方法查“野点”。由输出中查出, 对于 L_3 , (121.5 E , 25 N)、(124 E , 40 N) 是野点; 对于 L_4 , (105.5 E , 21 N)、(121.5 E , 25 N)、(129.5 E , 28 N) 是野点。这些点都是海水包围区, 除去它们建立的预报方程是

$$L_3 = 327.7 - 10.758453 \times u_2 + 0.211695 \times u_5 - \\ 0.000743 \times u_7 + 0.049016 \times u_8 - 0.001161 \times u_{11}; \\ L_4 = 247.86 - 2.205476 \times u_2 + 0.000365 \times u_3 + \\ 0.021204 \times u_5 + 0.000775 \times u_{12}.$$

由公式可建立云图上各点对应的 L_3 和 L_4 的值, 再用局部插值得出任一格点 L_3, L_4 的值。计算结果与实况吻合。

参考文献:

- [1] AUTHES R A. Global climate and mesoscale meteorology——two great challenge of the decade[C]. The international conference on mesoscale meteorology and TAMEX, 1991
- [2] 程麟生. 中尺度大气数值模式和模拟[M]. 北京: 气象出版社, 1993
- [3] PURDOM F W, DILLS P. 气象卫星对中尺度系统的监测[M]. 北京: 国家卫星中心, 1993
- [4] 韦博成, 鲁国斌, 史建清. 统计诊断引论[M]. 南京: 东南大学出版社, 1991
- [5] BELESLEY D A, KUH E, WELSCH R E. Regression diagnostic identifying influential data[M]. New York: Wiley, 1980
- [6] COOK R D, WEIBERG S. Residuals and influence in regression[M]. New York: Chapman and Hall, 1982
- [7] 薛秋芳, 王建中. 一次强降水天气过程的中尺度分析[J]. 气象, 1994, 20(10): 21 ~ 25
- [8] 王登炎, 俞康庆. 用 GMS 双谱资料估计温度场及其在数值预报中的应用[J]. 应用气象学报, 1997, 8(4): 413 ~ 420

Appropriate-time regression method for deriving relative humidity from satellite cloud pictures and the influence diagnosis

WU Cheng-ou¹, SHEN Tong-li², WANG Shun-feng¹

(1. Department of Mathematics; 2. Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: Appropriate-time regression method is adapted in the article to estimate moisture field from satellite cloud pictures. Since the regression diagnosis in mathematical statistics is a very effective way to search for singular points, this article's successful application of regression diagnosis into moisture field estimation from satellite cloud pictures improves its accuracy and achieves good results.

Key words: regression diagnosis, satellite cloud picture, moisture field