

寻找降雹预报指标集的一种方法:逐步消空法^①

孔燕燕

(内蒙古自治区气象局, 呼和浩特 010051)

彭治班 赵秀英 吴宝俊 张纪淮

(中国气象科学研究院)

提 要

对于用逐步消空法寻找降雹预报指标集合,例如:寻找指标的步骤,从何处入手寻找预报指标,预报指标的确认,预报指标的总个数等有关问题进行了讨论。

关键词: 降雹预报 逐步消空法 预报指标集 多指标叠套法

引 言

数学是科学的大门和钥匙,它不声不响地扩大它所征服的领域,它正在与自然科学、社会科学越来越紧密地相结合、互相影响、互相渗透,形成一个庞大的科学体系。正是在这种背景下,1992年联合国教科文组织在里约热内卢宣布“2000年是世界数学年”,其目的在于进一步加强与各门学科的联系^[1]。在寻找降雹预报指标的思路方面,能否增加点“数学味道”呢?本文将做点尝试。

集合是不能精确定义的基本概念。直观地说,把一些事物汇集到一起组成一个整体就叫集合;而这些事物中的每一个就是这个集合的元素或成员^[2]。照此,制作降雹预报使用的全体预报指标可叫做降雹预报指标集合。撰写本文之目的并非因为逐步消空法有什么新颖之处,而是觉得它在日常业务中能够发挥一定的作用^[3,4]。

考虑到目前我国天气预报质量检验、评估的有关规定,本文仍沿用文献^[5]提及的临

界成功指数 CSI 、探测概率 POD 与虚假报警率 FAR 。根据表 1,有:

$$CSI = \frac{x}{x + y + z} \quad (1)$$

$$POD = \frac{x}{x + y} \quad (2)$$

$$FAR = \frac{z}{x + z} \quad (3)$$

需要说明的是,在本文中 POD 的含义为:报对次数与事件出现总次数的比值。

表 1 定义 CSI 、 POD 、 FAR 用的表

预报(强降雹)	观测(强降雹)		总计
	有	无	
有	x	z	$x + z$
无	y	w	$y + w$
总计	$x + y$	$z + w$	N

1 本方法的数学表述

上面引入的 CSI 、 POD 、 FAR 是衡量预报质量、预报指标或预报方法优劣很有用的参数。提高预报准确率,就是使式(1)中的 CSI 的数值加大;寻找预报指标,就是寻找使式(1~3)中 y 和 z 减小、 CSI 变大的条件。所

^① “内蒙古防雹减灾新技术和冰雹专项预报研究”、“冰雹落区预报逐级指导技术研究”、“新一代气象服务体系研究”课题共同资助。

谓寻找预报指标集的逐步消空法,就是使 $y = 0$ 与使 z 逐步变小的方法,它可用探测概率 POD 与虚假报警率 FAR 表示为:

$$POD = 100.0\% \quad (4)$$

$$100.0\% > FAR = m > 0 \quad (5)$$

$$[(FAR)_{j-1} - (FAR)_j] > m_j\% > 0 \quad (6)$$

其中式(5)与式(6)表示“宁空”,式(4)表示“勿漏”;式(4~6)共同表示“宁空勿漏”;式(4)与式(6)是“逐步消空法”的数学表述。

2 寻找预报指标的几个问题

2.1 寻找指标的步骤

首先,列出历年的(至少10年)所有雹日,即产生降雹的日期;尔后,根据资料寻找出降雹前它们共有的一个特征。这个特征,可以作为我们欲寻找之预报指标 X_j ($j = 1, 2, \dots, N$) 的备选者。

这里说的资料,除观测及探测资料外,还包括模式输出资料。除常规资料外,还包括非常规资料。至于距降雹多长时间才算“降雹前”,应视预报时效而定。

文献[1]指出:如果 A 不成立时不可能有 B ,则性质 A 对于性质 B 的成立是必要的特征(条件);如果 A 不成立时不可能有 B ,但 A 的成立仍不能保证 B 的成立,则性质 A 对于性质 B 的成立仅仅是必要的特征(条件)。仅仅是必要的条件也称为“必要的,但非充分的条件”。照此,按上述步骤找出的某个降雹预报指标,仅仅是降雹的必要条件,而非充分的条件。

2.2 从何处入手寻找预报指标

几十年来,气象学家们已对降雹,特别是非局地致灾降雹的环境条件进行过很多研究及归纳、总结。这些条件包括:它是在几类特定的环流背景下,是在有产生深厚的、有组织的、长寿命的、对流性上升和下沉气流都很强的、云物理条件适宜的(0°C 层或湿球位温零度层 WBZ 离地高度适宜、 $0^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 厚度适

宜、冷云层与暖云层厚度的比例适宜)的环境条件。代表上述条件的每一个参数,诸如:对流有效位能 $CAPE$ ^[7],最佳对流有效位能 $BCAPE$ ^[8],下沉对流有效位能 $DCAPE$ ^[9,10],深厚对流指数 DCI ^[11],风暴强度指数 SSI ^[12],粗里查逊数 BRI ^[13],能量螺旋度指数 EHI ^[13],……的临界值,都有可能(不一定是)被选取为一个预报指标。

不言而喻,对于每个预报强对流的参数,都能找出临界值。至于该临界值有没有充当预报指标的资格,尚需进一步论证。

从大气能量学角度看,一次降雹过程就是大气不稳定能量的产生、积聚(贮存)、释放的过程。在寻找预报指标时,也可以从大气能量学的角度入手,例如文献[14]。

当然,在寻找预报指标时,还可以有其他入手的方法(例如从经验入手),此处不再一一列举。

2.3 每个指标的确认

几十年来,气象学家们虽然引入了许多预报强对流的参数。但其中某些参数代表的意义相同或相近,因此,在将它们选入指标集之前,必须经过确认,亦即审查它们是否有资格作为预报指标。确认的具体步骤是:在把 X_j 取作预报指标之前,必须先分别算出利用 X_1, X_2, \dots, X_{j-1} 与 X_1, X_2, \dots, X_j “预报”降雹时的虚假报警率 $(FAR)_{j-1}$ 与 $(FAR)_j$,假若有 $[(FAR)_{j-1} - (FAR)_j] > m_j\% > 0$ 时,亦即增加指标 X_j 对减少虚假报警率有贡献时,才能确认 X_j 可以作为预报指标。其中 m_j 值的大小与 $j = 2, 3, \dots, N$ 有较密切的关系,取值的具体范围,需针对预报对象进一步试验确定。

实践表明,每个参数临界值的跨度取得越大(小),其对应的虚假报警率也越大(小)。文献[15]指出,当先按大尺度环流形势对雹日分型,尔后再对有关参数进行统计时,有利于其临界值的跨度缩小。

2.4 选哪种指标作第一个指标

一般而言,选取降雹环流型作为第一个指标。这可能是由于:

(1)中尺度天气现象,如飓风、强雷暴、雹暴等都不是随机发生的现象,而是与大尺度环流系统以及有关的热力场与水汽场密切相关^[16]。

(2)天气分析预报方面书刊中关于雹暴的论述,以及预报员在制作降雹预报时往往从大尺度环流形势入手。例如 Ostby^[17]认为,美国局地强风暴室(SELS,1953~1995)制作预报强对流事件的全部原理开始于大尺度天气系统。

(3)先按大尺度环流形势分型,再对有关参数进行统计时,有利于其临界值的跨度缩小^[16]。

(4)便于充分利用数值预报产品中的形势预报。对此,举一个例子。1997年8月6日,“欧洲中心”的500hPa 72小时预报图上,预报武汉东部为一低槽,华北为一冷涡,并向南加深。根据此报告,在8月7日早晨会商时,武汉中心气象台王登炎(值大领班)明确提出:“后天(8月9日)受加深低槽影响,湖北省有强对流天气发生”。实况是:8月9日20时(北京时)湖北省地面小图上,京山出现了雷阵雨,降水量38mm,并伴有 $21\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的雷雨天风^①。可以想见,假若当时有850hPa 预告图,或模式输出探空资料,或CAPE等参数的预报资料,也许预报得更加具体。

2.5 指标集包含指标的总个数

在理想情况下,只有当利用 X_1, X_2, \dots, X_N 制作“预报”,得出的虚假报警率 $(FAR)_N$ 接近零时,才算达到了目的,这时指标集包含指标的个数为 N 。

在实际中,按照上面的步骤,使 FAR 接近零有时较难达到。这是因为我们要求没有漏报。为此,常常取当 $(FAR)_N \leq m_2\%$ 时,就

认为已达目的。与 m_1 类似,最佳 m_2 值的大小尚须进一步试验确定。

需要指出的是,上面的正整数 N 的大小,不仅跟预报对象有关,还跟寻找预报指标时采用的参数、选取的临界值等有关。但是,一旦选定指标集后,即选定 X_1, X_2, \dots, X_N 后,得出的预报结论则跟指标集中诸要素的先后次序无关(见后)。

3 寻找预报指标集的方法:逐步消空法

对于上面介绍之寻找预报指标集的方法,可以称之为“逐步消空法”。

3.1 称“逐步消空法”的缘由

利用式(6)可以给出:

$$(FAR)_1 > (FAR)_2 > \dots > (FAR)_{N-1} > (FAR)_N \quad (7)$$

式(7)表明:每增多一个预报指标,即可使虚假报警率 FAR 减小一些,从而使 $(FAR)_1, (FAR)_2, \dots, (FAR)_{N-1}, (FAR)_N$ 组成一个 N 项的递减级数。这就是称“逐步消空法”的缘由。

3.2 逐步消空法的信息论根据

根据文献[18],如果有 N 个预报因子 X_1, X_2, \dots, X_N ,它们与预报对象(降雹事件) A 有关,则可以把 X_1, X_2, \dots, X_N 视为 N 个变量,并用信息论公式表示如下:

$$I_{X_1, X_2, \dots, X_N}(A) = H(A) - H(A|X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (8)$$

其中 $H(A)$ 表示事件 A 的熵, $H(A|X_1, X_2, \dots, X_N)$ 与 $I_{X_1, X_2, \dots, X_N}(A)$ 分别表示在 X_1, X_2, \dots, X_N 这 N 个变量已知情况下事件 A 的条件熵与事件 A 的信息。

在信息论中,熵是用来表示对事物不肯定程度的度量。某事件熵的数值越大(信息论中的熵无负值),表示该事件不肯定性越大;反之亦然。我们寻求预报指标的目的,在于能

^①“冰雹落区预报逐级指导技术研究”子课题编:《课题进展情况》第27期(1997年11月11日)。

准确地预报出事件 A , 亦即使其不肯定性达到最小(若能达到零最好)。在公式(8)中, 对确定的 $H(A)$ 而言, 当 $H(A|X_1, X_2, \dots, X_N) = 0$ 时, 信息 I_{X_1, X_2, \dots, X_N} 达到极大值, 此极大

$$I_{X_1, X_2, \dots, X_N}(A) = I_{X_1}(A) + I_{X_2|X_1}(A) + I_{X_3|X_1, X_2}(A) + \dots + I_{X_N|X_1, X_2, \dots, X_{N-1}}(A) \quad (9)$$

公式(9)表明, N 个指标提供的关于事件 A 的信息 $I_{X_1, X_2, \dots, X_N}(A)$, 等于第 1 个指标提供的事件 A 的信息, 加上在第一个指标已知的条件下第 2 个指标提供的事件 A 的信息, …… , 加上在第 1 到第 $N-1$ 个指标都已知的条件下第 N 个指标提供的事件 A 的信息。文献[18]认为, 上述 N 个指标的先后次序是可以任意取的。

4 讨论与小结

下面讨论逐步消空法与避免误入“边学边丢弃”怪圈以及多指标叠套法等的关系。

4.1 与避免误入“边学边丢弃”怪圈的关系

多年来, 我国广大的科研和业务人员, 研究出了许多预报方法, 其中有不少已投入业务应用或试用, 有的已接近业务化, 但因科研和业务结合体制上的问题, 这些成果中相当大的部分未能通过不断业务应用, 逐步改进, 形成方法体系, 有的处于“猴子掰棒子”的状态, 即用一个新开发的, 丢弃一个老的。其实未必新的一定成熟好用^[19]。这里说的“边学边丢弃”怪圈, 即指此现象。

很多有识之士例如文献[18]作者, 以不同方式指出过类似问题。我们认为, 本文提出的逐步消空法, 可以作为避免“边学边丢弃”的一种方法。

当利用资料(包括模式输出资料或数值预报产品)寻找预报指标时, 一般从两种途径入手: 根据理论研究结果或根据预报经验。随着时间推移, 理论研究新成果层出不穷, 预报经验越积越多。这样必然提出一些新参数作为预报因子(或新指标)。怎么处理新旧之间的关系呢? 我们不主张全部推倒旧的重起炉灶, 而主张在保持原框架基础上(假设对原框

值即为事件 A 的熵 $H(A)$ 。

经过一些变换^[18], 可以将公式(8)变换成:

架未发现原则性错误), 在判别新因子(或新指标)确实优于旧的时, 再用新的取代旧的。

正如上面所说“其实未必新的一定成熟好用”。检验新预报因子(或指标) $X_{j, new}$ 是否比旧的 $X_{j, old}$ 好用时, 应该把它们分别应用逐步消空法, 看下式是否成立:

$$(FAR)_{j, new} < (FAR)_{j, old} \quad (10)$$

4.2 与多指标叠套法的关系

所谓降雹预报的多指标叠套法, 是指降雹预报指标集合中每一个的临界值都达到时, 则预报未来有降雹; 否则, 则预报无降雹(图 1)^[20]。降雹预报指标集合哪里来? 可利用本文介绍的逐步消空法找出。

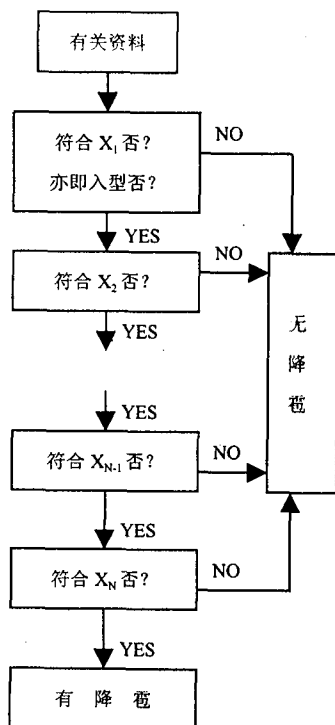


图 1 将降雹预报指标集合 X_1, X_2, \dots, X_N 用于降雹预报的流程图

4.3 与变小概率事件为大概率事件的关系

在气象服务业,用户关心的暴雨、强降雪、雷暴大风、龙卷等许多灾害性天气现象,都属于发生次数较少的小概率事件。提高小概率事件气象服务质量,虽然与许多环节有关,但提高预报准确率却是其非常关键的一环。如何提高?文献[5]认为变小概率事件为条件概率下的大概率事件,是提高小概率事件预报成功率的途径之一。本文介绍的逐步消空法,就是逐步将小概率事件变为大概率事件的具体方法。

4.4 与必要而且充分特征(条件)的关系

文献[1]指出,如果由 A 的成立得出 B 的成立,并且 A 不成立时不可能有 B 成立,则性质 A 对于性质 B 的成立是必要而且充分的特征(条件)。据此,假若我们找到了产生降雪(事前)之必要而且充分的条件,则降雪预报问题迎刃而解。但从上面介绍的内容看,我们找出的是许多“必要的,但非充分的条件”之集合,并未找到真正的“必要而且充分的条件”。对于这一点,一定要记住。

本文选取降雪预报为例,是为了行文方便,避免读者产生“空对空”的感觉。但逐步消空法的应用范围,并不仅仅限于降雪预报。

参考文献

- 1 张顺燕. 数学的思想、方法和应用. 北京: 北京大学出版社, 1997: 57~74.
- 2 耿素云, 屈婉玲. 离散数学基础. 北京: 北京大学出版社, 1994: 109~135.
- 3 刘子英, 陆海席, 赵秀英等. 逐步消空法在雹云识别中的应用. 2000, 26(10): 41~44.
- 4 徐玉强, 张少文, 彭治班等. 逐步消空法在降雪预报中的应用(打印稿). 2000年3月.
- 5 彭治班, 吴宝俊, 江剑民等. 提高小概率事件预报成功率的一条途径. 气象, 2000, 26(2): 3~5.
- 6 吴宝俊, 彭治班, 赵秀英等. 为防雹用户服务的几个问题. 见: 新一代气象服务体系研究文集(一), 1999: 107~121.

- 7 李耀东, 刘健文, 刘玉玲等. 埃玛图微机制作及对流有效位能的计算. 气象, 1998, 24(5): 23~27.
- 8 Cook, T. M. C., and M. S. Shirey, Verification and Analysis of the 48km Eta Model Best CAPE and Best LI Forecast. Preprints, 16th Conf. on Weather Analysis and Forecasting, Phoenix City, Amer. Meteor. Soc., 1998: 173~175.
- 9 Emanuel, K. A., Atmospheric Convection. 1994: 168~173. Oxford Univ. Press, New York.
- 10 Smith, R. K. (ed), The Physics and Parameterization of Moist Atmospheric Convection. 1997: 29~58. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- 11 Balow, W. R., A New Index for the Prediction of Deep Convection. Preprints, 17th Conf. on Severe Local Storms, St. Louis, Amer. Meteor. Soc., 1993: 129~132.
- 12 Desautels, G., and R. Verret, Canadian Meteorological Centre Summer Severe Weather Package (Storm Relative Helicity). Preprints, 18th Conf. on Severe Local Storms, San Francisco, CA, Amer. Meteor. Soc., 1996: 689~692.
- 13 Colquhoun, J. R., Relationship between Tornado Intensity and Various Wind and Thermodynamic Variables. Wea. Forecasting, 1996: 11, 126~136.
- 14 李一平, 薄玉华, 金恒泰. 内蒙古中西部地区降雪天气预报方法. 气象, 1998, 24(7): 37~40.
- 15 沈树勤, 李会英. 江苏冰雹强对流天气条件分析及其物理解释. 气象, 1995, 20(9): 25~29.
- 16 Kuo, Ying-Hwa, and George T-J. Chen, The International Conference on Mesoscale Meteorology and TAMEX 3-6 December 1991, Taipei, Taiwan. Bull. Aler. Met. Soc., 1992, 73: 1611~1622.
- 17 Ostby, F. P., Operations of the National Severe Storms Forecast Center. Wea. Forecasting, 1992, 7: 546~563.
- 18 张学文. 气象预告问题的信息分析. 北京: 科学出版社, 1981.
- 19 马鹤年, 吴宝俊, 王淑静. 关于气象服务学的方法论问题的思考. 见: 新一代气象服务体系研究文集(一), 1999: 30~41.
- 20 Wu Baojun, Zhao Xiuying, Xu Chenhai et al., 1999: A Multi-indicator Superposition Method for Hailfall Forecast. The WMO Scientific Conf. on Wea. Modif. Chiang Mai, Thailand, February 17-21, 1999: 486~489.

A Method Determining Prediction Indicator Set for Hailfall: Stepwise Decreasing FAR

Kong Yanyan

(Nei Mongol Meteorological Bureau, Hohhot 010051)

Peng Zhiban Zhao Xiuying Wu Baojun Zhang Jihui

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

Some problems determining prediction indicator set for hailfall with stepwise decreasing FAR method, such as the determining procedure, the searching key, the identification and the number of the prediction indicator, were discussed.

Key Words: hailfall forecast stepwise decreasing FAR method prediction indicator set multi-indicator superposition method

① 四川省青年科技基金资助