工作研究

韵律预报方法的统计检验

李德明　张隐君

（黑龙江省汤原农场气象站）

目前，我们大多数气象台站都用韵律方法做长期天气预报。这种方法的主要思路是：在群众经验的启发下，考虑天气变化可能有180、120、100或90天的对应关系。因此，根据前期某一指标的出现，预报未来若干天（180、120、100或90天）后有一次天气过程（例如降水等）出现。这种预报方法，在某一季节里可能获得较高的准确率。但是，实际上这种韵律关系究竟存不存在?怎样检验其可靠程度呢?这都是目前长期预报中应当解决的问题。本文仅就韵律预报方法的统计检验及有关问题，作一初步探讨。

一、准确率和历史拟合率

衡量韵律预报的可靠程度，通常是求其准确率。

设前期出现某一指标的次数为n，对应未来若干天后有降水的次数为m(m≤n)，则准确率

$$p=\frac{m}{n}\times 100\% \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

如果p是用历史资料算出来的，则可称为历史拟合率。

一般说来，准确率或历史拟合率愈高，则这种方法的可靠程度愈大；反之，则愈不可靠，或这种韵律关系不存在。但是，在不同地区和不同季节里，由于某一种天气现象的气候机率不同或由于预报指标的个例数不同，都会对准确率或历史拟合率的高低有较大的影响。因此，如果单凭准确率或历史拟合率就很难确定预报方法的好坏。

例如，在降水气候机率为80%的情况下，我们随意用一个指标预报降水的具体日期。显然这一指标不一定可靠，但是预报准确率或历史拟合率都很容易达到80%左右。反过来也说明，一个预报方法的准确率或历史拟合率虽然达到了80%，也并不足以说明预报方法是可靠的。

又如，某一指标在历史上出现的次数很少(例如4次)，如果适当调整韵律的天数，则对应未来第若干天，就可能都有降水，从而获得较高的历史拟合率（4/4）。但是，由于偶然性很大，所以指标也不一定可靠。

从以上两个例子可以看出，在鉴定一个预报方法的可靠性时，不仅要看它的准确率或历史拟合率的高低，而且还要（1）与预报对象的气候机率比较，要求方法的准确率或历史拟合率显著地高于预报对象的气候机率；（2）指标在历史上要有足够的个例数（n足够大）。

那么，预报方法的准确率或历史拟合率应高于预报对象的气候机率多少、个例数又需达到多少时，预报方法才能为我们接受呢？下面我们用差异显著性检验——x^2检验来解决这一问题。

二、准确率或历史拟合率的x^2检验

所谓差异显著性检验，就是检查预报方法的准确率或历史拟合率与预报对象的气候机率之间差异是否显著，也就是预报正确与错误的实际次数与盲目预报理论次数之间的差异是否显著。其公式为

$$x^2=\sum_{i=1}^{K}\frac{(F_i-f_i)^2}{f_i} \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

式（2）中F_i是预报正确与错误的实际次数；f_i为盲目预报正确与错误的理论次数；K为项数，对韵律预报来说，K＝2，即只分预报正确和错误两种情况。

例如，某站2月份九线图上，共出现过40个气压槽，用这些气压槽来预报未来第180天有降水天气。其中有34次预报正确，6次错误。该地7月降水气候机率为60%。

在本例中，预报正确和错误的实际次数分别为34和6，而盲目预报正确和错误的理论次数分别为$40\times 60\%=24$和$40-24=16$。将上述数据代入(2)式得

$$x^2=\frac{(34-24)^2}{24}+\frac{(6-16)^2}{16}=10.417$$

x^2值10.417大于自由度为1，信度为0.01时的标准x^2值6.635。因此，证明了该方法准确率或历史拟合率显著地高于预报对象的气候机率。如果在选择指标时，没有掺进人为因素的话，可以认为该韵律关系是存在的。

一个韵律预报方法，如果在信度取0.01时通过了x^2检验，则一般有下式成立（推导过程见附录）：

$$P-P'>\Delta Pm \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

式中P为准确率或历史拟合率；P′为预报对象的气候机率；

$$\Delta P_m=\sqrt{6.635\frac{p'(1-p')}{n}}。$$

反过来说，如果$P-P'>\Delta Pm$成立，则必然差异显著，这样就把是否通过x^2检验的问题，转化为$P-P'$是否大于ΔPm的问题了。

由于ΔPm的大小只决定于个例数n和气候机率P′，所以当n、P′一定时，ΔPm是个常数。根据（3）式中ΔPm的表达式，可列出ΔPm的查算表(见表1)。根据n、P′的值，可以从表中查出ΔPm，中间值可由内插法求出近似值。

例如在前一例中，历史拟合率$P'=34/40=85\%$，$P-P'=85\%-60\%=25\%$。$n=40$，$P'=60\%$，查表得$\Delta Pm=20\%$，$P-P'>\Delta Pm$。因此证明例中所述方法是可靠的。结果与用x^2检验的原始方法所得结论完全相同，但应用起来比较方便。

三、问题讨论

在对韵律预报方法进行统计检验时，有以下几个问题应引起重视。

1.关于预报对象的气候机率

表1　ΔPm 查算表　　　　单位：%，　　信度 0.01

ΔPm \ n / P′	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150	200	300
10	24.4	17.3	14.1	12.2	10.9	10.0	9.2	8.6	8.1	7.7	7.1	6.3	5.4	4.5
20	32.6	23.0	18.8	16.3	14.6	13.3	12.3	11.5	10.9	10.3	9.4	8.4	7.3	5.9
30	37.3	26.4	21.6	18.7	16.7	15.2	14.1	13.2	12.5	11.8	10.8	9.6	8.3	6.8
40	39.9	28.2	23.0	20.0	17.8	16.3	15.1	14.1	13.3	12.6	11.5	10.3	8.9	7.3
50	40.7	28.8	23.5	20.4	18.2	16.6	15.4	14.4	13.6	12.9	11.8	10.5	9.1	7.4
60	39.9	28.2	23.0	20.0	17.8	16.3	15.1	14.1	13.3	12.6	11.5	10.3	8.9	7.3
70		26.4	21.6	18.7	16.7	15.2	14.1	13.2	12.5	11.8	10.8	9.6	8.3	6.8
80			18.8	16.3	14.6	13.3	12.3	11.5	10.9	10.3	9.4	8.4	7.3	5.9
90						10.0	9.2	8.6	8.1	7.7	7.1	6.3	5.4	4.5

预报对象的气候机率计算得是否恰当，对统计检验的结果有直接影响。如果算得不对，就可能得出完全错误的结论。现举一例说明。

汤原县有“九里南风，伏里旱”的谚语。意思是说，如果数“九”天常刮南风，气温高，则伏天会出现干旱；相反，如果“九”天常刮北风，气温低，则伏天会多雨。因此，我们考虑天气变化可能有 180 天的韵律关系。

为了验证这一韵律关系，我们选用日平均气温 5 天滑动平均值，1 月份＜－21°C，2 月＜－17°C为预报指标，预报未来第 180 天(± 1 天)，有中—大雨(日雨量＞10.0mm)。

例如，1 月12—16日 5 天平均气温低于－21°C，则我们把 1 月 14 日作为出现指标日，预报第180天（± 1 天）即 7 月 12—14 日有中—大雨。又如，2 月 8—14日的 5 天滑动平均气温都低于－17°C，则把它们作为出现指标日，由此预报 2 月 8—14 日后第 180 天（± 1 天)，即 8 月 6—14 日有中—大雨。

7—8 月汤原县≥10.0mm的降水日数多年平均值为 9.4 天，其气候机率为 9.4/62＝15%。而用上述方法预报中—大雨，其历史拟合率为 29/36＝81%，预报天气过程的历史拟合率为 100%（用汤原农场站1963—1975年资料统计)。

在 1976—1978 年的实报中，共预报 7—8 月中—大雨 8 次，实际出现 7 次，准确率 7/8，天气过程预报准确率为 8/8。

这样看起来，预报指标和方法是可靠的，“九里南风，伏里旱”的韵律关系是存在的。但是通过进一步分析，发现其中还存在问题。

原来，当 1—2 月有单独 1 天出现指标时，就预报 7—8 月连续 3 天有一次中—大雨；当指标连续 2 天出现时，就预报后期连续 4 天内有一次中—大雨。这就是说，我们预报的中—大雨过程并不是确定在某一天，而至少是一个连续 3 天的时段。经统计，1963—1975年的 36 次个例，预报 7—8 月有中—大雨的时段平均天数为 11 天。就是在连续 11 天中，只要有 1 天有≥10.0mm 的降水，预报就算正确。显然，连续 11 天中至少有 1 天有＞10.0mm 降水的气候机率并不是 15%。

根据公式：

$$p'_K = 1-(1-p')^k \quad\cdots\cdots(4)$$

（式中p'_K为连续K天至少有一天出现某级降水的气候机率，p'为 1 日内某级降水的气候机率)，连续 11 天内至少有 1 天有≥10.0mm 降水的气候机率应为 $p'_{11}=1-(1-p')^{11}=1-17\%=83\%$。这与上述方法预报的历史拟合率（81%）是十分接近的。

我地 7—8 月某日有≥0.0mm 降水的气候机率为 90%，连续 11 天中至少有 1 天有≥0.0mm 降水的气候机率为 $p'_{11}=1-(1-90\%)^{11}\approx 99.99\%$，与用上述方法预报天气过程（有≥0.0mm降水）的历史拟合率（100%）是非常接近的。

由此可以证明，用 1 月 5 天滑动平均气温低于－21°C、2 月 5 天滑动平均气温低于－17°C这一指标是不可靠的。用这一方法预报 7—8 月中—大雨虽然历史拟合率达81%，预报天气过程历史拟合率达100%，但这都与降水的气候机率相差无几，因此不能说明“九里南风、伏里旱”这 180 天韵律关系是存在的。

2.关于个例数

在选择预报指标时，为了避免偶然性，就要求我们所选用的预报指标在历史上有足够的个例数。实践表明，每个指标的个例数一般不应少于 10 个，如果降水的气候机率较高时（$p'_K>60\%$)，就需要更多的个例数（见表 2)。如果选用的指标个例不足表 2 中要求的数量，则即使准确率或历史拟合率达到了100%，也不能说明指标是可靠的。

3.关于实践检验

在某一韵律方法通过了信度为 0.01 的统计检验之后，仍存在 1% 的偶然性。此外，人为的因素也可能影响指标的可靠性。为了进一步证明方法是可靠的，

表 2　在不同降水机率下所要求的个例数

降水机率(P'_K)	≤60%	70%	80%	90%
个例数(n)	≥10	≥20	≥30	＞60

对预报指标再进行实践检验是十分必要的。

通过实践检验的标准有两条：(1）在实践检验中预报准确率与这段时间内相应的降水的气候机率之差应大于 ΔPm；(2）个例数n不小于表 2 中相应的个例

数。只有上述两条同时满足，才算通过了实践检验。

总之对韵律预报方法进行统计检验和实践检验（也是一种统计检验），可以使我们及时排除那些不可靠或根本不存在的韵律关系，也可使我们逐步对韵律预报方法有一个正确的认识。

至于世界上究竟能否找到真正的韵律关系和预报方法，这还有待于进一步研究。

附录：$P-P'>\triangle P'_m$ 的推导过程

设某一指标共出现过n次，对应未来有降水m次（报对次数），无降水次数为 n－m 次（报错次数，降水气候机率为P′，则盲目预报可报对的理论次数为nP′，报错的理论次数为（1－P′)n，则式（2）可变为：

$$\chi^2=\frac{(m-np')^2}{np'}+\frac{[(n-m)-n(1-p')]^2}{n(1-p')}$$

变换后得

$$\chi^2=\frac{(m-np')^2}{np'(1-p')}$$

在自由度为1，信度取0.01时，标准x^2值为6.635。因此，只有$x^2>6.635$时，方法才可靠，也就是

$$\frac{(m-np')^2}{np'(1-p')}>6.635$$

根据此式可得

$$m>np'+\sqrt{6.635np'(1-p')}$$

不等式两边同除n，则得：

$$p>p'+\sqrt{6.635\frac{p'(1-p')}{n}}$$

$$p-p'>\sqrt{6.635\frac{p'(1-p')}{n}}$$

令 $\Delta Pm=\sqrt{6.635\frac{p'(1-p')}{n}}$

则 $p-p'>\Delta P'm$