

中华人民共和国国家标准

GB/T 34303—2017

数值天气预报产品检验规范

Specifications of numerical weather predication products verification

2017-09-07 发布

2018-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	Ⅲ
引言	Ⅳ
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 符号	1
4 数值天气预报产品检验内容	2
4.1 检验要素和层次	2
4.2 检验间隔	2
4.3 检验时次	2
4.4 检验区域	2
4.5 检验分辨率	2
4.6 检验实况	2
4.7 检验用气候值	3
5 数值天气预报产品检验公式	3
5.1 连续变量预报检验公式	3
5.2 分类预报产品检验公式	4
5.3 集合与概率预报检验方法	6
参考文献	8

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国气象局提出。

本标准由全国气象防灾减灾标准化技术委员会(SAC/TC 345)归口。

本标准起草单位:国家气象中心。

本标准主要起草人:王雨、李莉、李应林。

引 言

现代天气预报以数值天气预报为基础,数值天气预报产品包括集合预报产品已被气象行业广泛用于天气预报制作、气象灾害风险预报和专业气象预报业务之中,已成为影响气象预报准确率的重要因素。同时,数值天气预报产品亦正在越来越多地被应用于相关交叉行业(水文、环境、海洋等)。因此,建立数值天气预报产品检验规范,科学、客观、定量地评价数值预报产品质量,可为行业内外有效应用数值天气预报产品提供科学依据,也可气象行业改进和发展数值天气预报模式提供有价值的信息及历史追溯。



数值天气预报产品检验规范

1 范围

本标准规定了数值天气预报产品的可以定量计算的检验内容和方法。
本标准适用于数值天气预报产品的质量评估。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

数值天气预报产品 numerical weather prediction product

由观测获得的当前大气状态出发,借助于现代电子计算机,采用数值方法求解控制大气运动的流体力学方程组从而对未来天气变化做出的预报。其产品表现为格点形式,根据预报结果是否维一分为确定性预报产品和集合预报产品。

2.2

集合预报产品 ensemble prediction product

针对大气运动的非线性、初值误差和模式误差而提出的一种数值预报方法,通过考虑不同误差的模式预报样本集合提供推断大气状态的概率密度函数随时间的演变以及所有可能的状态。其产品有集合平均、概率分布等。

2.3

确定性预报产品 deterministic forecast product

明确给出某一气象事件或要素唯一的预报结果。分为连续变量预报产品和分类预报产品。

2.4

连续变量预报 forecasts of continuous variable

具有空间某相邻点物理量差值为任意小量性质的天气变量,如高度,温度及风等的预报产品。

2.5

分类预报 dichotomous (yes/no) forecast

在一定阈值条件下某一气象事件发生或不发生的预报产品。如明确预报是否有降水、高温、大风等。

2.6

概率预报 probabilistic forecast

给出某一天气现象或某一天气变量达到设定阈值发生概率的预报产品,值一般在 0~1 之间。

3 符号

下列符号适用于本文件。

C_i 与模式预报对应的第 i 个样本或格点气候平均值

F_i 模式第 i 个样本或格点的预报值

$\bar{F}$ 模式预报场的平均值

i 预报或观测样本标记,数字为 $1, 2, \dots, n$

n 所有检验格点数或站数

O_i 与模式第 i 个样本或格点预报对应的实况观测或分析值

$\bar{O}$ 与模式预报场对应的实况或分析场的平均值

W_i 权重系数,全球模式对分析检验权重取为 $\cos\phi_j$, ϕ 为格点所在纬度的值,而对站点检验则为所有站点数的倒数,即为 $1/n$ 。

4 数值天气预报产品检验内容

4.1 检验要素和层次

4.1.1 确定性预报

形势场检验 250 hPa、850 hPa 和 500 hPa 的高度、温度和风以及海平面气压。

推荐检验 700 hPa 的相对湿度,在我国平原地区可增加检验 850 hPa 的相对湿度。

近地面要素检验降水、2 m 温度和 10 m 风,推荐检验 2 m 的相对湿度和总云量。

4.1.2 集合预报

集合平均和离散度以及针对集合特性 CRPS 的检验层次和要素与确定性预报相同。

针对概率预报能力要做检验的层次和要素为:海平面气压、500 hPa 高度及 850 hPa 温度距平相对气候标准差的 1、1.5 和 2 倍阈值,850 hPa 风速阈值为 10 m/s、15 m/s、25 m/s,850 hPa 和 250 hPa u 和 v 风分量相对气候值 10%、25%、75% 和 90% 分位点。

4.2 检验间隔

确定性预报产品的检验间隔为 12 h,集合预报产品检验间隔为 24 h。

4.3 检验时次

确定性预报产品的检验时次为 00 utc 和 12 utc,起报时间不在这两个时间的模式可相对自己的起报时间做检验,检验产品要明确标出具体的起报时间。

4.4 检验区域

确定性全球模式为 9 个分区:南半球、北半球、南极、北极、赤道、北美、亚洲、欧洲和北非与澳大利亚和新西兰。

确定性区域模式和区域集合预报模式按模式区域大小确定检验区域。

全球集合预报模式检验南北半球和赤道。

4.5 检验分辨率

全球模式为 $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ 。

区域模式为模式自己的分辨率。

4.6 检验实况

用模式自己的分析,或经过质量控制的固定的观测站点的观测。实况与预报空间匹配方法在低分辨时用临近点插值,连续性预报变量或模式分辨率高于 0.5° 时可选用双线性插值等其他插值方案。

4.7 检验用气候值

全球模式格点气候值为 EC 提供的 1989—2008 年的再分析逐日平均资料。
站点资料应为三十年以上的日或月平均资料。

5 数值天气预报产品检验公式

5.1 连续变量预报检验公式

概括性评分公式如下：

$$C_{ME} = \left[\sum_{i=1}^n W_i (F_i - O_i) \right] / \sum_{i=1}^n W_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

C_{ME} ——平均误差，表示模式的预报误差倾向。

$$C_{MAE} = \sum_{i=1}^n W_i |F_i - O_i| / \sum_{i=1}^n W_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

C_{MAE} ——平均绝对误差，表示模式的预报误差幅度，与 V_{ME} 联用，可判断模式是否存在系统误差。当两个检验量数值接近时， V_{ME} 如果为正值表示模式预报偏大，当为负值时表示模式预报偏小。

$$C_{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i (F_i - O_i)^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

C_{RMSE} ——均方根误差，表示模式误差的大小，与 V_{MAE} 联用，可判断模式是否存在大误差，如果数值相近，表示模式误差分布相对均匀，如果差距较大，表示模式存在较大误差，有一定的不稳定性。

$$Cr = \frac{\left[\sum_{i=1}^n W_i (F_i - F_{0i} - M_{F0}) \right] (O_i - F_{0i} - M_{O0})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n W_i (F_i - \bar{F})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i (O_i - \bar{O})^2}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

Cr ——倾向相关系数，表示模式预报场距平与分析(观测)场距平的位相差。多用于区域模式检验；

F_{0i} ——模式预报初时时第 i 个格点或样本的值；

M_{F0} ——检验区域内预报相对预报初值距平的平均值；

M_{O0} ——检验区域内分析或观测相对模式零场距平的平均值。

$$C_{AC} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i (F_i - C_i - M_{FC}) (O_i - C_i - M_{OC})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n W_i (F_i - C_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i (O_i - C_i)^2}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

C_{AC} ——距平相关系数，表示模式预报的气候距平与实际的气候距平之间位相的差别，多用于全球模式检验；

M_{FC} ——检验区域内预报相对气候距平的平均值；

M_{oc} —— 检验区域内分析或观测相对气候距平的平均值。

$$C_{SI} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \left[\frac{\partial}{\partial x} (F_i - O_i) + \frac{\partial}{\partial y} (F_i - O_i) \right]}{\sum_{i=1}^n W_i \left[\max\left(\frac{\partial}{\partial x} F_i, \frac{\partial}{\partial x} O_i\right) + \max\left(\frac{\partial}{\partial y} F_i, \frac{\partial}{\partial y} O_i\right) \right]} \times 100 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

C_{SI} —— 模式对海平面气压梯度变化的预报能力，其取值为 0~200，评分越低越好，只用于海平面气压的检验。

$$C_{SIDE} = \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i (F_i - O_i - M_{FO})^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

C_{SIDE} —— 误差标准差，反映模式预报与观测的离散程度，是以平均值为中心的离散特征系数；

M_{FO} —— 检验区域内模式预报相对分析或观测距平的平均值。

$$C_{RMSEW} = \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i (\vec{V}_{Fi} - \vec{V}_{Oi})^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

C_{RMSEW} —— 矢量风均方根误差，表示模式风误差的大小；

$\vec{V}_{Fi}$ —— 预报的第 i 个格点或样本的风矢量；

$\vec{V}_{Oi}$ —— 观测的第 i 个格点或样本的风矢量。

5.2 分类预报产品检验公式

5.2.1 两分类检验公式说明

分类检验多用列联表检验方法，即用一个表来表示某一事件预报与实况发生与否的频率，预报有无及观测有无四个分量称为联合分布，具体见表 1。

表 1 降水(高温等)的检验分类表

实况	预报	
	有	无
有	A	C
无	B	D

5.2.2 两分类检验公式

$$D_{TS} = \frac{A}{A+B+C} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

D_{TS} —— 预报检验评分，又称临界成功指数，定义预报事件准确预报的比率，只关心预报事件的发生，对不发生的事件没有充分考虑。对气候概率有很大的依赖性，事件发生概率高的地区评分高。

$$D_{PSS(TSS)} = \frac{A}{A+C} - \frac{B}{B+D} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$D_{\text{PSS(TSS)}}$ ——Pireir 技巧评分,考虑了降水预报的击中率,并从中减去了无雨空报的比率。

$$D_{\text{PO}} = \frac{C}{A+C} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

D_{PO} ——漏报率,实际发生预报事件的漏报率,也就是实况发生,但预报没有报出来的比率。

$$D_{\text{NH}} = \frac{B}{A+B} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

D_{NH} ——空报率,预报事件中出现的空报比率,即预报事件发生,但实际没有发生。

$$D_{\text{EH}} = \frac{A+D}{A+B+C+D} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

D_{EH} ——预报准确率,无论事件发生与否,正确预报的比率。预报事件发生的概率高或事件不发生的概率高,都容易得到高分,但当事件发生与不发生概率相同时,评分较低。

$$D_{\text{BIAS}} = \frac{A+B}{A+C} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

D_{BIAS} ——频率偏差,实际事件发生和预报事件发生的比率。值为 1 最好,大于 1 表示预报频率高于实际发生频率,多空报;小于 1 表示预报频率低于事件实际发生频率,多漏报。

$$D_{\text{ETS}} = \frac{A - R(a)}{[A+B+C - R(a)]} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

D_{ETS} ——公平 TS 评分,相当于减去了降水发生随机概率的临近成功指数,对空报惩罚较重,当随机概率很小时,其评分与临界成功指数相当。

$R(a)$ ——降水发生的随机概率,定义 $R(a) = \frac{(A+B) \cdot (A+C)}{(A+B+C+D)}$

$$D_{\text{SS}} = \frac{D_{\text{TS}} - P}{100 - P} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中:

D_{SS} ——技巧评分,定义相对气候概率或其他参考预报的预报事件准确率;

P ——为气候概率或其他参考预报的临界成功指数值。

5.2.3 SEEPS 检验评分

计算公式为:

$$D_{\text{SEEPS}} = \sum_{F=1, O=1}^3 P_{F,O} S_{F,O} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

D_{SEEPS} ——概率空间的稳定公平误差评分,是 WMO 推荐的基于观测站点降水气候累积概率分布的评分方法,在模式降水预报能力评估中考虑了降水气候特征,将降水累积概率分布划分为三个分类 P1(dry)、P2(light)和 P3(heavy),预报 F 和观测 O 可以构成一个 3×3 列联表;由一个预报、观测样本对(F, O)获得的列联表,其元素 $P_{F,O}$ 的取值只有 0 和 1 两种情况。 $1 - D_{\text{SEEPS}}$ 为降水的技巧评分,可以从不同视角展示模式降水预报能力状况;

$P_{F,O}$ ——为一个预报、观测样本对(F, O)获得的列联表,其元素的取值只有 0 和 1 两种情况;

$S_{F,0}$ ——为 D_{SEEPS} 误差矩阵 $S(3 \times 3 \text{ 矩阵})$ 的一个元素。 D_{SEEPS} 误差矩阵 S 由站点无降水概率 p_1 唯一确定:

$$S = \frac{1}{2} \begin{Bmatrix} 0 & \frac{1}{1-p_1} & \frac{4}{1-p_1} \\ \frac{1}{p_1} & 0 & \frac{3}{1-p_1} \\ \frac{1}{p_1} + \frac{3}{2+p_1} & \frac{3}{2+p_1} & 0 \end{Bmatrix}$$

D_{SEEPS} 评分依赖于站点的降水概率,不同气候区域的站点 D_{SEEPS} 误差矩阵不同;故 D_{SEEPS} 自动适应不同气候区域。

D_{SEEPS} 检验方法将不同气候区域的站点 D_{SEEPS} 评分,利用不同的站点权重系数进行融合:

$$\overline{D}_{SEEPS} = \frac{\sum_k \rho_k^{-1} D_{SEEPSk}}{\sum_k \rho_k^{-1}} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

ρ_k ——多站点平均时的第 k 站的权重系数, $\rho_k = \sum_l e^{-(\alpha_{kl}/\alpha_0)^2}$;

α_{kl} ——站点 k 与站点 l 之间对地心的张角;

α_0 ——一般取为 $0.75^\circ (83 \text{ km})$,是参考角度;

D_{SEEPSk} ——第 k 站的概率空间的稳定公平误差评分。

5.3 集合与概率预报检验方法

5.3.1 集合预报整体性能评估方法

$$S(t) = - \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n d_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

$S(t)$ ——集合离散度,预报场相对于参考场的偏离程度,所用公式与式(3)相近,只是观测换为参考预报。通常集合成员的离散度应该和集合平均的预报技巧相同,离散度太小,则“真值”被漏掉的概率大,预报系统的可靠性差,反之则集合预报系统设计不够集约;

d_i ——预报场与参考场第 i 个格点或样本之间的差值, $d_i = f_i(t) - f_0(t)$;

t ——预报时效;

$f_i(t)$ ——扰动预报, $i=1,2,\dots,n$;

$f_0(t)$ ——参考预报,可以是集合平均,也可以是控制预报。

$$E_{CRPS}(P, x_a) = \int_{-\infty}^{\infty} [P(x) - P_a(x)]^2 dx \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中:

E_{CRPS} ——连续分级概率评分,评估观测和预报的累计分布函数的差别,值越小越好。可分解为可靠性和分辨率,其单位与被检验变量的单位相同。

$P(x)$ ——表示集合概率预报的累计分,定义如下: $P(x) = \int_{-\infty}^x \rho(y) dy$, 其中 $\rho(y)$ 是集合预报系统的概率密度函数。

$P_a(x)$ ——示观测真值的累计分布,定义如下: $P_a(x) = H(x - x_a)$, $H(x) = 0$, 当 $x < x_a$; $H(x) = 1$, 当 $x \geq x_a$ 。

5.3.2 概率预报检验公式

一个概率预报给出事件发生的概率 o_i ，其值为 $0 \sim 1$ (或者 $0 \sim 100\%$)。通常是基于观测数据 (事件发生, $o_i = 1$ 或者不发生 $o_i = 0$) 对一组概率预报进行检验。概率预报检验通常事先指定事件发生的阈值, 评估超过特定阈值的预报概率。

$$P_{BS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中:

P_{BS} —— 均方概率误差 Brier 评分, 用来检验集合预报准确性。取值范围 $0 \sim 1$, 越小越好, 0 最理想。对于特定的两分类事件, 对于 n 个样本, 可分解为可靠性、分辨率和不确定性;

P_i —— 第 i 样本的被检验事件的集合预报概率;

O_i —— 第 i 样本的被检验事件的观测频率, 如果观测到检验事件, O_i 值为 1, 否则其值为 0。

$$P_{BSS} = 1 - \frac{P_{BS}}{P_{BSref}} \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中:

P_{BSS} —— Brier 技巧评分, 表示概率预报相对于一个参考系统 (通常是事件是否发生的气候概率) 的提高程度, 取值范围 $-\infty \sim 1$, 越大越好, 1 最理想;

P_{BSref} —— 气候系统的 Brier 评分, 定义: $P_{BSref} = s(1-s)$, s 是被检验事件发生的气候概率。

$$V(p_j) = \frac{\min(C/L, \bar{O}) - F(p_j)(C/L)(1 - \bar{O}) + H(p_j)(1 - C/L) - \bar{O}}{\min(C/L, \bar{O}) - \bar{O}C/L} \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

$V(p_j)$ —— 不同概率分类 j 所对应的预报的经济价值。表示对于根据某一预报采取行动的耗损比来说, 其经济价值相对于参考预报的提高程度, 而参考预报是从气候概率至完全正确间的某一值, 取值范围 $-\infty \sim 1$, 越大越好, 1 最理想;

C/L —— 用户定义的花费损失比;

$F(p_j)$ —— 不同概率分类的空报率;

$H(p_j)$ —— 不同概率分类的命中率。

相对作用特征 (ROC) 曲线及 ROC 面积, 示预报区分事件发生和不发生的能力, 把 1 分为 K 个概率区间 (如 $0 \sim 0.1, 0.1 \sim 0.2$ 等), 每个分位数所对应的命中率 (D_{POD}) 相对于空报探测率 (D_{POFD}) 的变化曲线称为 ROC 曲线, 曲线越靠近命中率, 则预报越好; 曲线下的面积称为 ROC 面积, 可作为 ROC 曲线的技巧评分, ROC 面积取值范围 $0 \sim 1$, 越大越好, 1 为理想值。根据表 1 的相关说明, 定义:

$$D_{POD} = \frac{A}{A + C}$$

$$D_{POFD} = \frac{B}{B + D}$$

可靠性曲线, 示事件的预报概率和观测频率间的吻合程度。在 K 个预报概率等级上, 沿着预报概率变化的方向画出相应观测出现的频率。表示每个等级样本大小的柱状图和事件的气候概率通常也要包括在可靠性曲线中。对角线表示完美预报, 越接近对角线, 预报的可靠性越好。

参 考 文 献

- [1] 大气科学辞典编委会.大气科学辞典[M].北京:气象出版社,1994.
 - [2] 刘环珠,张绍晴.第四讲中期数值预报的统计检验分析[J].气象,1992,18(9):50-54.
 - [3] 王雨,闫之辉.降水检验方案变化对降水检验评估效果的影响分析[J].气象,2007,33(12):53-61.
 - [4] Henry R. Stanski, Laurence J. Wilson, William R. Burrows,国家气象中心编译.气象学中常用检验方法概述[M].北京:气象出版社,1991:52-60.
 - [5] http://cawcr.gov.au/bmrc/wefor/staff/eee/verif/verif_web_page.html.
 - [6] WMO CBS/OPAG-DPFS/CG-FV,Final Report,Annex IV,瑞士,2012.
 - [7] WMO STANDARDIZED SURFACE VERIFICATION OF DETERMINISTIC NWP PRODUCTS,瑞士,2014.
 - [8] WMO CBS/OPAG-DPFS/CG-FV,Appendix A.II.2.3.2, II-STANDARD VERIFICATION MEASURES OF GLOBAL EPS,瑞士,2012.
 - [9] Ian T. Jolliffe, David B. Stephenson, Forecast Verification . West Sussex. Wiley-Blackwell& Sons,Ltd,Publication,2012.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
数值天气预报产品检验规范
GB/T 34303—2017

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

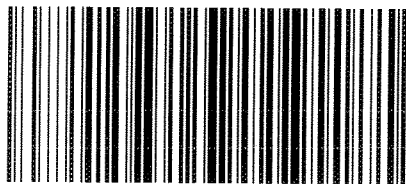
*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 20 千字
2017年9月第一版 2017年9月第一次印刷

*

书号: 155066·1-56787 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 34303-2017