

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/260834507>

Study of the assessment methods on the tropical cyclone track forecasting I. Single factor assessment method

Article · October 1995

CITATIONS

0

READS

15

2 authors, including:



Jianping Li

Ocean University of China

512 PUBLICATIONS 13,109 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Ozone-climate interaction [View project](#)



Winter North Atlantic Oscillation prediction [View project](#)

热带气旋路径预报评估方法研究*

I、单因子评价方法

李建平 史久恩

(兰州大学大气科学系 兰州 730000) (北京气象学院 北京 100081)

一、引 言

我国的几种热带气旋路径预报的客观方法正式投入业务已有十多年历史⁽¹⁾。预报方法优劣的客观评价,对进一步改善预报中的薄弱环节,提高预报水平和服务水平能起到积极作用。费亮、吴天泉等⁽²⁻³⁾在这方面做了许多工作。本文在他们工作的基础上,将预报方法的评价分为单因子评价和综合评价两大类,首先提出单因子评价中几个因子的数字背景,然后从不同侧面讨论了我国当前各种台风预报的综合方法和客观方法的性能**。评价遵循的原则是:(1)不能对预报质量产生不利的影响;(2)提供合适的有用信息反馈给预报方法的设计者。

二、稳定的数学背景

评估热带气旋预报路径分三个层次:(1)它和实际路径在位置上接近;(2)它和实际路径移动方向上一致或接近;(3)它和实际路径在位置及移动方向上都接近。基于此,我们可将实际路径和预报路径看作是两个函数,它们之间好的关系便可用数学上两函数稳定关系描述。

定义1 设函数 $f(x)$ 、 $g(x)$ 都在线段 I 上有定义,则 $|f(x)-g(x)|$ 在 I 上的最小上界叫做 f 与 g 的 C^0 -距离,记作

$$d_0(f, g) = \sup_{x \in I} |f(x) - g(x)| \quad (1)$$

若它们都有 r 阶导数,则定义 r 阶方向距离 CD^r -距离为

* 本文1993年11月11日收到,1994年8月8日收到修改稿。本文得到85-906-05-04国家科技攻关项目和中国气象局短平快项目资助。

** 本文是以1991年和1992年为例说明的,这是由于根据台风专家会议纪要规定⁽⁴⁾:参加评定的台风预报方法一律以02、14时为起报时刻,并且不能应用后6小时的定位。所以,符合规定的资料只有这两年。

$$cd_r(f, g) = \sup_{x \in I} |f^{(r)}(x) - g^{(r)}(x)| \quad (2)$$

及 C^r —距离为

$$d_r(f, g) = \sup_{x \in I} \{ |f(x) - g(x)|, |f'(x) - g'(x)|, \dots, |f^{(r)}(x) - g^{(r)}(x)| \} \quad (3)$$

定义2 若 $f(x)$ 、 $g(x)$ 都是线段 I 上的函数, 且 $d_0(f, g) < \varepsilon$, 则称 f 与 g 为 C_ε^0 —稳定; 若它们都有 r 阶导数, 且 $cd_r < \varepsilon$, 则称 f 与 g 为 CD_ε^r —稳定; 如果 $d_r(f, g) < \varepsilon$, 则称 f 与 g 为 C_ε^r —稳定。

直观地说, 若 f 与 g 是 C_ε^0 —稳定的, 就表明曲线 $y=f(x)$ 与 $y=g(x)$ 共处于一条窄的 ε 带中, 然而它们的细微处的形状可以不大相同 (如图 1a); 若 f 与 g 是 CD_ε^1 —稳定的, 则表明曲线 $y=f(x)$ 和 $y=g(x)$ 的切线方向变动的情形相似, 然而它们的位置却不一定接近 (见图 1b); 若 f 与 g 是 C_ε^1 —稳定的, 则表明曲线 $y=f(x)$ 和 $y=g(x)$ 不但在位置上接近, 而且它们切线方向变动的情形也相似 (见图 1c)。这样, 通过若干层次的距离 C^0 、 C^1 、 $\dots$; CD^1 , $\dots$ 再加上数量 ε 刻划, 将 $f(x)$ 和 $g(x)$ 之间的关系描述得非常细致了。本文就从上述角度出发, 从六个方面来讨论热带气旋路径预报的评价。

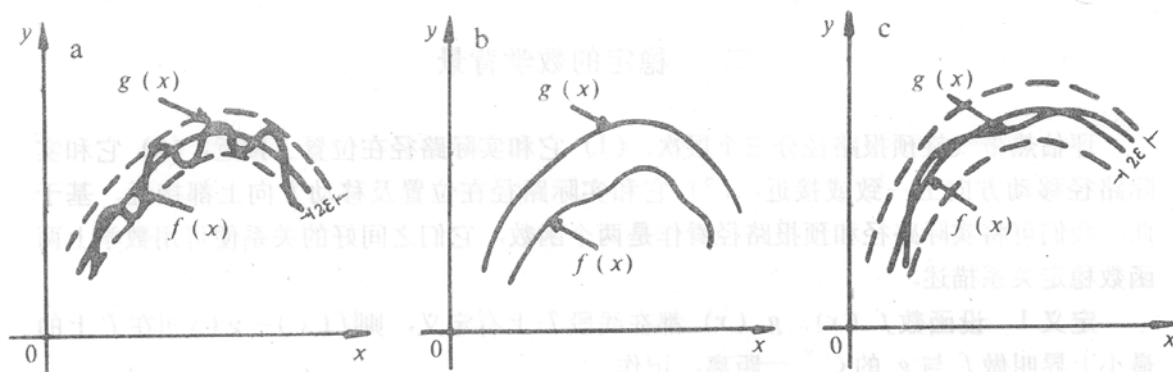


图1 f 与 g 的几种稳定关系示意图

(a) f 与 g 为 C_ε^0 —稳定 (b) f 与 g 为 CD_ε^1 —稳定 (c) f 与 g 为 C_ε^1 —稳定

三、距离稳定度

距离稳定度相当于上节所提到的 C_ε^0 —稳定, 其大小反映了某方法预报和实际路径在位置上的接近程度。

1. 距离稳定度的相对度量

(1) 简单距离稳定度 (DS)

选取距离上限 ε_h ($h=24, 48$ 等, 以下同), 将每个方法的 h 小时预报误差 e_h 与 ε_h 相比, 凡 $e_h - \varepsilon_h \leq 0$ 者记为得分一次; 否则, 不得分。这样得

$$DS_h = \frac{m_h}{M_h} \quad (4)$$

其中 m_h 、 M_h 分别为 h 小时预报得分数及总次数。注意 ε_h 的选取应视实际情况而定。本文取 $\varepsilon_{24} = 200 \text{ km}$, $\varepsilon_{48} = 400 \text{ km}^*$, 结果列于表 1—4 中。

表 1 1991 年综合方法的单因子评价结果

方 法	DS_{24}	DS_{48}	WDS_{24}	WDS_{48}	E_{24}	E_{48}	PS	ES	TS	P_{24}^*	P_{48}^*
北 京	0.60 (134)	0.52 (107)	0.56 (134)	0.49 (107)	193.2 (134)	405.2 (107)	0.73 (105)	0.35 (105)	0.0 (16)	9.9 (111)	13.1 (91)
上 海	0.68 (60)	0.48 (44)	0.65 (60)	0.49 (44)	196.5 (60)	442.6 (44)	0.71 (38)	0.21 (38)	0.14 (7)	17.1 (60)	21.8 (44)
浙 江	0.38 (16)	0.70 (10)	0.31 (16)	0.65 (10)	320.7 (16)	323.4 (10)	1.0 (6)	0.33 (6)	0.67 (3)	-78.6 (15)	-20.5 (10)
福 建	0.62 (21)	0.57 (9)	0.55 (21)	0.52 (9)	215.7 (21)	365.8 (9)	0.83 (12)	0.17 (12)	0.67 (3)	18.2 (20)	46.3 (8)
广 州	0.66 (38)	0.57 (28)	0.65 (38)	0.55 (28)	196.4 (38)	441.6 (28)	0.71 (24)	0.17 (24)	0.20 (5)	17.3 (29)	12.7 (21)
广 西	0.71 (14)	0.88 (8)	0.67 (14)	0.81 (8)	149.4 (14)	285.9 (8)	1.0 (9)	0.33 (9)	—	49.1 (6)	55.3 (4)
海 南	0.52 (21)	0.82 (11)	0.50 (21)	0.75 (11)	212.0 (21)	296.6 (11)	0.93 (14)	0.21 (14)	0.0 (1)	-8.7 (13)	26.5 (7)
关 岛	0.59 (66)	0.71 (55)	0.56 (66)	0.62 (55)	187.6 (66)	335.7 (55)	0.85 (46)	0.39 (46)	0.11 (9)	17.2 (50)	32.0 (42)
日 本	0.71 (132)	0.69 (99)	0.70 (132)	0.67 (99)	152.5 (132)	320.7 (99)	0.78 (101)	0.33 (101)	0.13 (15)	33.0 (105)	34.5 (85)
香 港	0.57 (9)	0.8 (5)	0.54 (9)	0.72 (5)	188.3 (9)	330.4 (5)	0.75 (4)	0.25 (4)	—	-26.0 (16)	-13.6 (8)
菲律宾	0.54 (13)	—	0.55 (13)	—	226.7 (13)	—	0.33 (6)	0.0 (6)	0.0 (3)	-16.6 (11)	—

注: TS 一栏中括号内数字是实际转型次数, 其余括号内数字是预报次数。

* 从理论上讲, ε_h 应取相同的值, 且应取得小些, 这样 DS_{24} 和 DS_{48} 两者是可比的。但由于实际预报水平的限制, 会使得 DS_h 很小。因此本文暂取 ε_h 为不同的值, 这样 DS_{24} 和 DS_{48} 两者是不可比的。这一缺陷有待以后预报水平提高后加以改进。

表2 1992年综合方法的单因子评价结果

方 法	DS_{24}	DS_{48}	WDS_{24}	WDS_{48}	XDS_{24}	YDS_{24}	XDS_{48}	YDS_{48}	E_{24}	E_{48}
北 京	0.65 (108)	0.65 (83)	0.61 (108)	0.61 (83)	0.65 (106)	0.73 (106)	0.62 (81)	0.74 (81)	177.9 (108)	331.6 (83)
上 海	0.73 (33)	0.67 (21)	0.65 (33)	0.61 (21)	0.67 (33)	0.76 (33)	0.65 (20)	0.70 (20)	170.9 (33)	345.4 (21)
浙 江	0.67 (15)	0.63 (8)	0.61 (15)	0.59 (8)	0.79 (14)	0.79 (14)	0.71 (7)	0.57 (7)	182.9 (15)	369.5 (8)
福 建	1.00 (7)	0.75 (4)	1.00 (7)	0.68 (4)	1.00 (7)	1.00 (7)	0.75 (4)	0.75 (4)	91.74 (7)	284.4 (4)
广 州	0.67 (48)	0.56 (34)	0.63 (48)	0.50 (34)	0.66 (47)	0.72 (47)	0.67 (33)	0.70 (33)	173.0 (48)	355.9 (34)
广 西	0.73 (11)	1.00 (4)	0.67 (11)	1.00 (4)	0.55 (11)	0.73 (11)	1.00 (4)	1.00 (4)	150.2 (11)	155.5 (4)
海 南	0.50 (10)	0.57 (7)	0.43 (10)	0.51 (7)	0.50 (10)	0.60 (10)	0.57 (7)	0.71 (7)	284.7 (10)	558.2 (7)
关 岛	0.62 (69)	0.59 (54)	0.57 (69)	0.54 (54)	0.73 (67)	0.64 (67)	0.58 (52)	0.63 (52)	174.9 (69)	362.9 (54)
日 本	0.76 (110)	0.76 (75)	0.73 (110)	0.71 (75)	0.75 (108)	0.82 (108)	0.71 (73)	0.77 (73)	149.5 (110)	288.9 (75)
香 港	0.50 (14)	0.55 (11)	0.46 (14)	0.56 (11)	0.71 (14)	0.43 (14)	0.73 (11)	0.45 (11)	248.7 (14)	423.5 (11)
菲律宾	0.90 (10)	—	0.81 (10)	—	0.44 (9)	1.00 (9)	—	—	140.9 (10)	—
江 苏	0.80 (5)	1.00 (1)	0.68 (5)	0.90 (1)	0.80 (5)	0.80 (5)	1.00 (1)	1.00 (1)	152.1 (5)	245.3 (1)

续表

方 法	XE_{24}	YE_{24}	XE_{48}	YE_{48}	YPS_{24}	XPS_{24}	PS_{24}	XPS_{48}	YPS_{48}	PS_{48}
北 京	135.7 (109)	105.3 (109)	248.8 (84)	197.3 (84)	0.99 (109)	0.83 (109)	0.83 (109)	0.82 (83)	1.00 (83)	0.81 (80)
上 海	111.2 (34)	107.4 (34)	225.1 (22)	213.5 (22)	1.00 (34)	0.85 (34)	0.85 (34)	0.82 (21)	1.00 (21)	0.80 (20)
浙 江	105.1 (14)	134.4 (14)	197.7 (7)	287.8 (7)	1.00 (14)	0.86 (14)	0.86 (15)	1.00 (7)	1.00 (7)	1.00 (7)
福 建	61.5 (8)	79.3 (8)	171.8 (4)	161.4 (4)	1.00 (8)	0.63 (8)	0.63 (8)	0.75 (4)	1.00 (4)	0.75 (4)
广 州	119.7 (51)	115.2 (51)	245.6 (34)	232.8 (34)	0.98 (51)	0.92 (51)	0.90 (51)	0.91 (34)	0.97 (34)	0.91 (35)
广 西	89.4 (11)	101.2 (11)	101.5 (4)	133.6 (4)	1.00 (11)	0.91 (11)	0.91 (11)	1.00 (5)	1.00 (5)	1.00 (4)
海 南	153.7 (10)	214.8 (10)	273.1 (7)	426.1 (7)	0.70 (10)	0.80 (10)	0.80 (10)	0.71 (7)	0.71 (7)	0.71 (7)
关 岛	132.2 (77)	116.9 (77)	278.2 (61)	225.2 (61)	0.91 (77)	0.83 (77)	0.83 (77)	0.72 (61)	0.95 (61)	0.72 (61)
日 本	104.0 (118)	88.6 (118)	186.4 (77)	185.5 (77)	0.98 (118)	0.88 (118)	0.88 (118)	0.86 (77)	1.00 (77)	0.86 (77)
香 港	129.4 (14)	197.4 (11)	239.6 (11)	319.9 (11)	0.99 (15)	0.93 (15)	0.93 (15)	0.92 (12)	1.00 (12)	0.91 (12)
菲律宾	115.0 (9)	70.5 (9)	—	—	1.00 (9)	1.00 (9)	1.00 (9)	—	—	—
江 苏	95.0 (5)	97.9 (5)	55.0 (1)	233.7 (1)	1.00 (5)	0.60 (5)	0.60 (5)	0.00 (1)	1.00 (1)	0.00 (1)

续表

方 法	ES_{24}	ES_{48}	TS_{24}	TS_{48}	P_{24}^*	P_{48}^*	$\varphi_{0.01}^{24}$	$\varphi_{0.01}^{48}$	VS_{24}	VS_{48}
北 京	0.58 (106)	0.59 (80)	0.46 (24)	0.44 (18)	-48.8 (66)	-20.8 (43)	5.5 (105)	3.2 (82)	0.32 (19)	0.41 (17)
上 海	0.70 (33)	0.60 (20)	0.63 (8)	0.71 (7)	-3.7 (32)	24.2 (20)	2.76 (33)	1.63 (22)	0.00 (2)	1.00 (1)
浙 江	0.64 (14)	0.57 (7)	0.33 (3)	0.50 (2)	-27.3 (15)	-9.2 (8)	0.90 (14)	1.06 (7)	0.00 (1)	0.00 (1)
福 建	0.86 (7)	0.50 (4)	0.60 (5)	0.67 (3)	31.3 (7)	26.2 (4)	0.45 (6)	—	0.00 (1)	0.00 (0)
广 州	0.55 (47)	0.55 (33)	0.44 (9)	0.67 (6)	-60.5 (48)	-19.1 (34)	2.52 (51)	3.84 (33)	0.13 (8)	0.20 (5)
广 西	0.64 (7)	1.00 (4)	0.00 (0)	0.00 (0)	-105.1 (11)	-20.9 (4)	—	—	0.00 (0)	0.00 (0)
海 南	0.50 (10)	0.43 (7)	0.00 (2)	0.00 (1)	-204.7 (10)	1.0 (7)	—	—	0.00 (2)	0.00 (1)
关 岛	0.57 (61)	0.50 (52)	0.53 (15)	0.42 (12)	-34.9 (41)	-11.4 (28)	4.5 (75)	0.94 (61)	0.36 (11)	0.25 (8)
日 本	0.72 (108)	0.71 (73)	0.52 (25)	0.65 (20)	-37.1 (76)	1.8 (49)	10.8 (114)	4.7 (76)	0.28 (18)	0.62 (13)
香 港	0.50 (14)	0.55 (11)	0.33 (3)	0.50 (2)	-73.7 (14)	-29.5 (11)	1.05 (15)	0.82 (12)	0.00 (2)	0.00 (1)
菲律宾	0.89 (9)	—	0.00 (0)	0.00 (0)	-10.0 (9)	0.0 (0)	—	—	0.00 (0)	0.00 (0)
江 苏	0.60 (5)	0.00 (1)	1.00 (1)	1.00 (1)	-12.8 (5)	29.7 (1)	0.13 (5)	—	0.00 (0)	0.00 (0)

表 3 1991 年客观方法的单因子评价结果

方 法	DS_{24}	DS_{48}	WDS_{24}	WDS_{48}	E_{24}	E_{48}	PS	ES	TS	P_{24}^*	P_{48}^*
BBD	0.35 (20)	0.50 (12)	0.38 (20)	0.48 (12)	301.5 (20)	608.7 (12)	0.0 (9)	0.22 (9)	0.0 (2)	-21.0 (20)	-8.9 (12)
SMD	0.62 (42)	0.50 (30)	0.66 (42)	0.50 (30)	190.3 (42)	450.7 (30)	0.46 (24)	0.08 (24)	0.0 (6)	12.3 (42)	8.8 (30)
SDD	0.65 (60)	0.62 (44)	0.62 (60)	0.56 (44)	188.3 (62)	390.9 (44)	0.79 (39)	0.33 (39)	0.33 (9)	3.5 (62)	13.4 (46)
ZBD	0.53 (38)	0.58 (24)	0.53 (32)	0.58 (24)	233.0 (38)	384.8 (24)	0.64 (22)	0.23 (22)	0.0 (4)	9.5 (37)	35.1 (23)
GBD	0.49 (51)	0.47 (32)	0.51 (51)	0.45 (32)	238.9 (51)	528.5 (32)	0.68 (31)	0.23 (31)	0.0 (5)	-14.2 (47)	-24.9 (30)
P C	0.59 (115)	0.48 (94)	0.56 (115)	0.44 (94)	215.7 (115)	475.3 (94)	0.71 (70)	0.39 (72)	0.07 (14)	0.0 (115)	0.0 (94)
JSD	0.67 (3)	1.00 (3)	0.53 (0)	0.83 (3)	215.8 (3)	274.6 (3)	0.0 (1)	0.0 (1)	0.0 (1)	-96.6 (3)	-24.9 (3)

注: BBD→北京相似法, SMD→上海复合统计法, SDD→上海统计动力方案, ZBD→浙江逐步回归法,

GBD→广州相似加速法, PC→气候持续法, JSD→江苏逐步回归法, 其余说明同表 1。

表 4 1992 年客观方法的单因子评价结果

方 法	DS_{24}	DS_{48}	WDS_{24}	WDS_{48}	XDS_{24}	YDS_{24}	XDS_{48}	YDS_{48}	E_{24}	E_{48}
SMD	0.70 (30)	0.67 (21)	0.65 (30)	0.60 (21)	0.83 (29)	0.72 (29)	0.70 (20)	0.45 (20)	185.8 (30)	381.6 (21)
SDD	0.65 (37)	0.55 (29)	0.59 (37)	0.49 (29)	0.67 (36)	0.69 (36)	0.61 (28)	0.57 (28)	187.5 (37)	409.9 (29)
ZBD	0.85 (19)	0.53 (15)	0.56 (19)	0.45 (15)	0.61 (18)	0.67 (18)	0.64 (14)	0.57 (14)	206.0 (19)	433.1 (15)
GBD	0.61 (33)	0.46 (24)	0.59 (33)	0.40 (24)	0.78 (32)	0.75 (32)	0.48 (23)	0.78 (23)	191.5 (33)	455.9 (24)
P·C	0.68 (84)	0.63 (57)	0.64 (84)	0.58 (57)	0.72 (83)	0.71 (83)	0.63 (56)	0.66 (56)	178.1 (84)	390.2 (57)
JSD	0.60 (10)	0.00 (3)	0.54 (10)	0.00 (3)	0.78 (9)	0.67 (9)	0.67 (9)	0.33 (3)	186.0 (10)	555.0 (3)
FBD	0.78 (9)	0.86 (7)	0.74 (9)	0.94 (7)	0.67 (9)	1.00 (9)	0.71 (7)	0.86 (7)	140.3 (9)	211.3 (7)

续表

方 法	XE_{24}	YE_{24}	XE_{48}	YE_{48}	XPS_{24}	YPS_{24}	PS_{24}	XPS_{48}	YPS_{48}	PS_{48}
SMD	127.3 (29)	108.2 (29)	238.1 (21)	287.8 (21)	0.86 (29)	1.00 (21)	0.86 (29)	0.90 (21)	1.00 (21)	0.90 (20)
SDD	112.7 (36)	131.1 (36)	236.9 (29)	292.8 (29)	0.92 (36)	1.00 (29)	0.92 (36)	0.93 (29)	1.00 (29)	0.93 (28)
ZBD	101.5 (18)	155.2 (18)	257.1 (15)	318.3 (15)	0.89 (19)	1.00 (15)	0.89 (18)	0.87 (15)	0.93 (15)	0.79 (14)
GBD	101.1 (32)	131.5 (32)	356.1 (24)	220.8 (24)	0.97 (32)	1.00 (24)	0.94 (32)	0.92 (24)	1.00 (24)	0.87 (23)
P·C	129.3 (90)	110.1 (90)	270.6 (62)	237.0 (62)	0.88 (90)	0.97 (62)	0.87 (90)	0.89 (62)	0.97 (62)	0.82 (56)
JSD	85.5 (9)	127.4 (9)	303.5 (3)	385.8 (3)	0.89 (9)	1.00 (3)	0.89 (3)	1.00 (3)	1.00 (3)	0.67 (3)
FBD	124.2 (10)	67.9 (10)	210.7 (8)	125.2 (8)	0.80 (10)	1.00 (8)	0.80 (10)	0.75 (8)	1.00 (8)	0.86 (7)

续表

方 法	ES_{24}	ES_{48}	TS_{24}	TS_{48}	P_{24}^*	P_{48}^*	$\phi_{0.01}^{24}$	$\phi_{0.01}^{48}$	VS_{24}	VS_{48}
SMD	0.72 (29)	0.60 (20)	0.67 (6)	0.71 (7)	-14.0 (30)	3.8 (21)	2.64 (27)	2.53 (21)	1.00 (1)	1.00 (1)
SDD	0.58 (36)	0.46 (28)	0.60 (5)	0.86 (7)	-22.3 (37)	-34.5 (29)	3.29 (35)	3.65 (29)	0.00 (2)	0.00 (1)
ZBD	0.50 (18)	0.43 (14)	0.33 (3)	0.50 (4)	5.1 (19)	-5.9 (15)	—	0.65 (15)	0.00 (2)	0.0 (1)
GBD	0.59 (32)	0.43 (23)	0.25 (4)	0.25 (4)	-37.1 (33)	-61.2 (24)	3.49 (32)	1.64 (24)	0.0 (3)	0.0 (1)
P C	0.64 (83)	0.55 (56)	0.50 (18)	0.67 (9)	0.0 (84)	0.0 (57)	6.65 (89)	5.31 (60)	0.30 (10)	0.29 (7)
JSD	0.67 (9)	0.00 (3)	1.00 (2)	1.00 (2)	-9.5 (10)	-7.6 (10)	0.77 (9)	0.45 (3)	0.00 (0)	0.00 (0)
FBD	0.67 (9)	0.86 (7)	0.80 (5)	0.75 (4)	-11.2 (9)	5.0 (7)	0.67 (10)	0.40 (8)	0.00 (1)	0.00 (1)

注: TS_{24} 、 TS_{48} 两栏中括号内数字是实际转型次数; VS_{24} 、 VS_{48} 两栏中括号内数字是实际变速次数; 其它括号内数字是预报次数。其余说明同表 3。

(2) 加权距离稳定度 (WDS)

用 (4) 式计算的距离稳定度能反映预报路径和实际路径在位置上的接近程度。不过, 它考虑的不够细致, 对于小于 ε_h 的预报不分数值大小, 一视同仁。因此, 为弥补这一不足, 可利用加权距离稳定度。将 ε_h 分为 k 个档次, 给每个档次以权重 ρ_{hi} ($i=1, \dots, k$), 这样突出了高档次的地位。设 f_{hi} 是某一方法的 h 小时预报误差落入第 i 档次的次数, 则得

$$WDS_h = \frac{\sum_{i=1}^k \rho_{hi} f_{hi}}{M_h} \quad (5)$$

其中 ρ_{hi} 应满足 $\sum_{i=1}^k \rho_{hi} = k$ 。本文取 $k=4$, ε_{24} 的 4 个档次是 $[0, 50]$ 、 $(50, 100]$ 、 $(100, 150]$ 、 $(150, 200]$; ε_{48} 的 4 个档次是 $[0, 100]$ 、 $(100, 200]$ 、 $(200, 300]$ 、 $(300, 400]$; $\rho_{h1}=1.3$, $\rho_{h2}=1.1$, $\rho_{h3}=0.9$, $\rho_{h4}=0.7$ 。

(3) 经向距离稳定度 (XDS) 和纬向距离稳定度 (YDS)

经向距离稳定度和纬向距离稳定度是了解台风移动在经向和纬向两个方向上的性能, 它们定义为

$$XDS_h = \frac{f_h}{M_h} \quad (6)$$

$$YDS_h = \frac{g_h}{M_h} \quad (7)$$

式中 f_h (或 g_h) 为某方法的预报在经向 (或纬向) 上的误差小于经向 (或纬向) 距离上限 ε 的次数。

2. 距离稳定度的绝对度量

(1) 绝对平均距离误差 (E)

通常计算的平均距离误差也可反映距离稳定度的大小。不过, 它有一弱点, 就是由于各别几次有较大误差而引起 E 值较大, 从而不能客观地评价方法的总体性能。

(2) 经、纬向绝对平均距离误差 (XE 和 YE)

设热带气旋的实际位置为 (x, y) , 对应的预报位置为 (x', y') , x, x' 为纬度, y, y' 为经度, 则 XE, YE 计算公式为

$$YE_h = \frac{\pi R}{180 M_h} \sum_{i=1}^{M_h} |x_i - x'_i| \quad (8)$$

$$XE_h = \frac{\pi R}{180 M_h} \sum_{i=1}^{M_h} |y_i - y'_i| \cos x_i \quad (9)$$

式中 R 为地球半径。

四、方向稳定度

方向稳定度相当于 CD_0^1 一稳定度, 它的大小反映了某种方法的预报路径和实际路径在型式上或移动方向上的一致程度。

1. 方向稳定度的相对度量

(1) 型式稳定度 (PS)

这里选用的是文献〔4〕中的方法, 具体方法见该文。

(2) 经向方向稳定度 (XPS)、纬向方向稳定度 (YPS) 和经纬方向稳定度 (PS)

各预报方法对于台风经向和纬向的方向预报性能是不同的, 为了细致刻划预报方法之间在这些方面的表现, 便是经向方向稳定度、纬向方向稳定度和经纬方向稳定度 (简称方向稳定度)。设 $A_0(x_0, y_0)$ 为预报初始时刻的台风位置, $A_h(x_h, y_h)$ 、 $A'_h(x'_h, y'_h)$ 分别为时效 h ($h=24, 48, 60$) 时热带气旋的实际和预报位置。令

$$(21) \quad \begin{cases} x_{ij} = x_i - x_j, & x'_{ij} = x'_i - x'_j, & x_0 = x'_0 \\ y_{ij} = y_i - y_j, & y'_{ij} = y'_i - y'_j, & y_0 = y'_0, \\ s_{ij} = x_{ij} \cdot x'_{ij}, & r_{ij} = y_{ij} \cdot y'_{ij}, \end{cases} \quad i, j = 0, 24, 48, 60 \quad (10)$$

时效 $h=24$ 小时, 若 $s_{24,0} > 0$ (或 $r_{24,0} > 0$, 或 $s_{24,0} > 0$ 且 $r_{24,0} > 0$), 则预报和实际路径在纬向 (或经向、或经纬向) 一致。

时效 $h=48$ 小时 (60 小时), 当 24 (48) 小时预报和实际路径在纬向 (或经向、或经纬向) 一致时, 若 $s_{48,24} (s_{60,48}) > 0$ (或 $r_{48,24} (r_{60,48}) > 0$, 或 $s_{48,24} (s_{60,48}) > 0$ 且 $r_{48,24} (r_{60,48}) > 0$), 则预报和实际路径在纬向 (或经向、或经纬向) 连续一致。

设 f_h 、 g_h 、 H_h 分别是时效 h 时, 预报和实际路径在经向、纬向和经纬向一致的次数, 则有

$$XPS_h = \frac{f_h}{M_h} \quad (11)$$

$$YPS_h = \frac{g_h}{M_h} \quad (12)$$

$$PS_h = \frac{H_h}{M_h} \quad (13)$$

(3) 方向稳定度的关联度量

对预报量分 k 级的情况下, 各级事件的实况与预报发生的次数有如下联列表形式。

表 5 二元联列表

		预 报				$\sum (n_{i \cdot})$
		1	2	...	k	
实 况	1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1k}	$n_{1 \cdot}$
	2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2k}	$n_{2 \cdot}$
	...	...	...	...	...	...
	k	n_{k1}	n_{k2}	...	n_{kk}	$n_{k \cdot}$
$\sum (n_{\cdot j})$		$n_{\cdot 1}$	$n_{\cdot 2}$	...	$n_{\cdot k}$	n

在假设预报与实况两事件为独立的条件下, 统计量

$$(18) \quad \phi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{(n_{ij} - \frac{n_{i \cdot} \cdot n_{\cdot j}}{n})^2}{n_{i \cdot} \cdot n_{\cdot j} / n} \quad (14)$$

遵从自由度为 $(k-1)^2$ 的 ϕ^2 分布。给定信度 α , 若 $\phi^2 > \phi_{\alpha}^2$, 则该预报效果较好, 即关联比

$$\varphi_{\alpha} = \frac{\varphi^2}{\varphi_{\alpha}^2} \quad (15)$$

$\varphi_{\alpha} > 1$ 者, 预报效果好(本文取 $\alpha=0.01$)。

热带气旋的方向稳定度的关联度量实际上是对于预报方法在经向上的效果(因各方法的纬向稳定度都较好, 不适于用(14)式)。将经向分为向东和向西两级, 所得联列表为四格表。

2. 方向稳定度的绝对度量

按平均移向误差来反映方向稳定度的大小。移向误差按下式计算:

$$\Delta\alpha = \arccos \left(\frac{\cos \Delta_{12} - \cos \Delta_{01} \cdot \cos \Delta_{02}}{\sin \Delta_{01} \cdot \sin \Delta_{02}} \right) \quad (16)$$

式中

$$\Delta_{ij} = \arccos (\sin \varphi_i \sin \varphi_j + \cos \varphi_i \cos \varphi_j \cos (\lambda_i - \lambda_j))$$

其中 $i, j=0, 1, 2$, $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$ 分别是初始、实时及预报位置的纬度, $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ 分别是初始、实时及预报位置的经度。

五、有效稳定度

有效稳定度(ES)相应于 C_e^1 —稳定, 其大小反映了预报和实际路径在方向和位置上接近的程度。它表明预报前和预报后(方向和位置)的连续一致性。

本文在计算1992年的情况时采用的是在(13)式的基础上, 若其时效 h ($h=24, 48, 60$)小时的距离误差小于相应的距离上限 ε_h , 则计为得分一次。这样得

$$ES_h = \frac{e_h}{M_h} \quad (17)$$

其中 e_h 为时效是 h 小时时的有效得分次数。

六、转向预报灵敏度、变速预报灵敏度和技巧水平

1. 转向预报灵敏度(TS)

考察转向型热带气旋的预报灵敏度一定程度上反映了方法的性能。在预报时效 h ($h=24, 48, 60$)内, 对能及时预报出来的方法给以计分, 得

$$TS_h = \frac{t_h}{T_h} \quad (18)$$

式中 t_h 为预报时效为 h 时对转向预报正确的次数, T_h 为实际的转向次数。转向判断标准是: 按照(10)式中的记号, 再令 $\lambda_{ijk} = x_{ij} \cdot x_{jk}$, $\varphi_{ijk} = y_{ij} \cdot y_{jk}$, $i, j, k = -24, 0, 24, 48, 60$ 。其中 $A_{-24}(x_{-24}, y_{-24})$ 为初始时刻前24小时时的位置。当

$\lambda_{h,0-24}$ 、 $\varphi_{h,0-24}$ 中至少有一小于 0, 或 $\angle A_h A_0 A_{-24} < 110^\circ$, $\lambda_{h,0-24} > 0$ 且 $\varphi_{h,0-24} > 0$, 则时效 h ($h=24, 48, 60$) 内发生一次转向。

2. 变速预报灵敏度 (VS)

考察预报方法在变速预报上的性能可按式计算

$$VS_h = \frac{v_h}{V_h} \quad (19)$$

式中 $h=24, 48, 60$, v_h 为预报时效 h 内对变速预报正确的次数, V_h 为实际的变速次数。变速判断的标准应视实际情况而定, 本文取为

$$\text{突然加速} \quad \frac{\bar{v}_{+24}}{\bar{v}_{-24}} > 2.0 \quad (20)$$

$$\text{突然减速} \quad \frac{\bar{v}_{+24}}{\bar{v}_{-24}} < 0.5 \quad (21)$$

其中 $\bar{v}_{-24}$ 、 $\bar{v}_{+24}$ 为前 24 小时和后 24 小时的平均移速。

3. 技巧水平 (P^*)

采用超过气候持续预报的 Brier 评分, 即

$$P^* = 100 \times \frac{E_c - E^*}{E_c} \quad (22)$$

其中 E_c 和 E^* 分别是气候持续预报和某一方法预报的距离误差。

七、结果分析

表 1—4 列出了 1991、1992 年综合预报法和客观方法的单因子评价结果, 从中得如下结论:

1、1991、1992 年综合方法 ①绝大多数 $DS_{24} \geq 0.60$; 1992 年的 DS_{24} 比其 1991 年的有较明显的提高, 这与 1992 年热带气旋多是正常的有关; ②1992 年的 DS_{48} 与 1991 年的相比, 北京、上海、福建、广西四台有较大提高; 浙江、海南两台却有较大降低; 广州台变化不大。

1991 年的客观方法大多数 $DS_{24} > 0.5$; 而 1992 年的则 $DS_{24} > 0.6$, 表明 1992 年比 1991 年有明显提高。对于 DS_{48} , 从总体而言, 1992 年客观方法比 1991 年没有进步, 江苏回归法下降很大。

1992 年综合方法的纬向距离稳定度一般较经向距离稳定度好; 然而, 客观方法则不然, 其 XDS 与 YDS 基本相当, 甚至 YDS_{48} 比 XDS_{48} 差。而且, 客观法和综合法相比, XDS 略好, YDS 略差。

2、我国综合方法的方向稳定度都较好, 均在 0.7 以上。1992 年客观法的 PS 比 1991 年有很大进步。

各方法的纬向方向稳定度一般较经向方向稳定度高很多, 说明各方法在纬向方向上

都有较好的性能,其主要原因是热带气旋(指北半球)在移动过程中的南北方向上的分量一般是向北。

由方向稳定度的关联度量可知,在所有客观方法中,气候持续法最好,应引起重视。

3、1991年各方法的有效稳定度都不高;客观法与综合法差别不大;各方法中气候持续法的 ES 最高,应引起注意。

1992年综合法的有效稳定度基本上在0.5以上。客观法除 JSD 、 GBD 略差外,其它在0.5以上。

4、1991年综合法中浙江和福建能较及时报出转向过程(上海和广州也有一定灵敏度);客观法中,仅上海动力统计和 PC 法有一定灵敏度,其它方法都不能及时报出转向过程。

1992年综合法中,除海南 TS 为0.0、广西未遇转向过程外,其它方法都有一定的灵敏度。客观法也都有一定的转向预报灵敏度。

5、1992年综合法和客观法的变速预报灵敏度基本上都很小。综合法中除北京、日本、关岛,客观法中除 SMD 、 PC 法较好外,其它方法基本上没有变速预报能力。这表明变速问题是今后各方法应努力改进的重点方向。

6、1991年综合法除海南 P_{24}^* 、浙江 P_{24}^* 及 P_{48}^* 为负值外,其它 P_h^* 均为正值。客观法中, SMD 、 SDD 和 ZBD 的 P_{24}^* 、 P_{48}^* 为正值外,其它为负。

1992年综合方法中,除上海 P_{48}^* 、福建 P_{24}^* 、 P_{48}^* 、海南、日本及江苏 P_{48}^* 为正值外,其它均为负值。客观法中,除 ZBD 的 P_{24}^* 、 SMD 和 FBD 的 P_{48}^* 为正外,其它为负。这表明从距离误差上讲,1992年各方法并不比 PC 法好,甚至还差。

八、讨 论

本文所用方法有其数学背景,系统性强。然而,实际评价中还存在许多问题。

目前热带气旋路径预报各方法的评价主要存在的问题是它们之间的可比性不强。预报的次数差别大,预报的热带气旋也不同,这就为评价比较带来相当大的困难。因此,要使评价是客观的,今后就必须是各方法预报次数接近,预报的热带气旋要相同。

单因子评价是针对事物的某一方面性能而提出的,它在评价事物某一方面性能上往往能获得较满意的结果。然而,单一因子评价是不能反映出事物在各方面的总的性能,切忌利用单因子的评价就对事物的好与坏作出论断。因此,要对预报方法做出总的评价,就必须引入多因子综合评价法。关于热带气旋路径预报的多因子综合评价法我们将在本文的第II篇中加以讨论。

参 考 文 献

- (1) 束家鑫、王志烈, 我国台风研究十年进展, 1981年台风会议文集, 1—10, 上海科技出版社, 1983.
- (2) 费亮、李多武、吴天泉等, 1986年台风路径业务预报的评分, 海洋学报, 5, 1, 75—85, 1988.
- (3) 费亮、吴天泉、徐静远, 我国台风业务预报的评价, 气象科学研究院院刊, 4, 3, 319—327, 1989.
- (4) 陈企岗、吴天泉、邱君瑞, 1991年西北太平洋热带气旋综述, 大气科学研究与应用(二), 气象出版社, 1992.

STUDY OF THE ASSESSMENT METHODS ON THE TROPICAL CYCLONE TRACK FORECASTING

I. SINGLE FACTOR ASSESSMENT METHOD

Li Jianping

(Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou university)

Shi Jiuen

(Beijing Meteorological College)

Abstract

The single factor assessment methods on the tropical cyclone track forecasting are studied in this paper. The assessment methods are divided into six aspects: distance stability, directional stability, effective stability, sensitivity of recurring forecast, sensitivity of variable vecolity forecast and skill score. The main purpose of these studies is to describe objectively performance of forecasts on every side and to set a foundation for multifactorial comprehensive assessment.