

涂小萍,许映龙. 基于 ECMWF 海平面气压场的热带气旋路径预报效果检验[J]. 气象,2010,36(3):107-111.

基于 ECMWF 海平面气压场的热带 气旋路径预报效果检验^{* 1}

涂小萍^{1,2} 许映龙¹

1 国家气象中心,北京 100081

2 浙江省宁波市气象台,宁波 315012

提 要: 将三次样条插值方法应用到欧洲中心(ECMWF)海平面气压场(24~120 h)进行热带气旋(TC)中心定位定强和误差计算,并与同期美国联合台风警报中心(JTWC)、日本气象厅(JMA)和中国中央气象台(CMO)综合预报进行路径误差对比分析。结果表明:72 h 以内预报以 JTWC 表现最好,其次是 JMA 的综合预报,ECMWF 客观预报最差,但 ECMWF 对于 96 h 和 120 h 的热带气旋(TC)中期路径趋势比 JTWC 综合预报有更好的参考价值。ECMWF 对 24~120 h TC 中心定强偏高 15~20 hPa。分别统计 08 时和 20 时 TC 路径预报误差发现,24 h 和 48 h 二者没有差异,而 72~120 h 20 时预报水平好于 08 时。

关键词: 三次样条插值,热带气旋,ECMWF,海平面气压场

Verification of TC Track Forecasting Based on ECMWF Mean Sea Level Pressure Fields

TU Xiaoping^{1,2} XU Yinglong¹

1 National Meteorological Center, Beijing 100081

2 Ningbo Meteorological Observatory, Ningbo 315012

Abstract: The cubic spline interpolation method is applied to make TC (Tropical Cyclone) track and intensity forecasting based on ECMWF (European Center for Medium-range Weather Forecasts) daily mean sea level pressure (SLP) fields from 2004 to 2007, and errors are calculated. Compared with subjective TC track forecasting by JTWC (Joint Typhoon Warning Center), JMA (Japan Meteorological Agency) and CMO (Central Meteorological Office), the JTWC outperforms the other three for leading time within 72 hours, followed by JMA, and ECMWF is left behind among the four centers, while ECMWF does better than JTWC for 96 h and 120 h TC track forecasting. ECMWF provides higher pressure values up to 15–20 hPa than the observed for 24–120 h forecasting. Results based on the 20 BT initial fields display no differences from those of the 08 BT initial fields for 24–48 h forecasting, but are better than those of 08 BT for 72–120 h forecasting.

Key words: the cubic spline interpolation method, tropical cyclone (TC), ECMWF, mean sea level pressure (SLP)

引 言

对 TC(热带气旋)主客观预报误差已有很多的分析和评估。结果表明,2000 年之后,CMO(中央

气象台,下同)的 TC 路径综合预报能力提高明显^[1-5]。JTWC 从 2000 年开始发布 96 和 120 h 的 TC 路径预报,CMO 也从 2007 年 5 月起开展 96 小时 TC 路径中期业务预报试验。数值预报水平的提高是 TC 预报时效延长的基础。ECMWF 数值预报

* 2008 年中国气象局台风业务科技发展专项资金助

2008 年 9 月 9 日收稿; 2009 年 10 月 26 日收修定稿

第一作者:涂小萍,主要从事天气预报、气候变化研究. Email:txp_hk@yahoo.com.cn

产品是目前业务模式中预报误差最小、预报稳定性最好的模式之一,对于 96~120 h TC 中期路径趋势预报有非常重要的参考价值^[6-10]。蔡亲波等通过实况与模式产品统计对比发现:ECMWF 500 hPa 数值预报对热带气旋的移动路径有较好的预报能力^[11]。Lam 将抛物线迭加插值法(overlapping parabolic interpolation)应用到 ECMWF 数值模式产品中进行 TC 中心客观定位预报,发现 20 世纪 90 年代后期 ECMWF 对 TC 路径预报比 20 世纪 90 年代前中期有明显的提高^[12]。陈见等将 KNN 方法应用到 TC 客观路径预报中取得了有一定的效果^[13]。陈淑琴等利用数值预报产品,根据统计方法建立 TC 移速预报的逐步回归方程,得到较好的拟合结果^[14]。

三次样条插值方法不同于统计解释,其预报准确性很大程度依赖于数值预报产品的准确性。该方法应用到 ECMWF 的海平面气压场进行 TC 中心的客观定位,可以为 TC 路径中期趋势提供参考。

1 资料和方法

本文所用资料包括 2004—2007 年 CMO 的 TC 综合预报资料、2004—2008 年 ECMWF 逐日 2 次(08 时和 20 时,2004 年 7 月 28 日之前仅有 20 时资料)海平面气压场(0~120 h,分辨率 2.5×2.5)、日本气象厅(JMA)和 JTWC TC 路径预报资料,上述资料分别来源于国家气象中心、日本气象厅官方网站和美国台风联合警报中心。本文仅对 02 时、08 时、14 时和 20 时资料进行处理。

数据空间插值方法很多。目前台风模式中采用双线性插值方法,任一点待插值由分块角顶的四个参考点确定,计算精度和计算量比较适中,缺点是边界处理不够光滑。三次样条插值与双线性插值相比,具有更高的插值精度,在边界处理上具有插值函数的二阶导数光滑性,但计算量明显比双线性插值大^[15-16]。戴新刚等通过 6 种插值方法检验发现:对海平面气压场,三次样条插值方法是最好的方法之一^[17],所以本文选择三次样条插值定位 TC 中心。其基本原理是:构造一组三次多项式把所有主干点通过平滑曲线连接起来^[18-19]。假设在闭区间 $[x_i, x_n]$ 有一组结点: $a = x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_n = b$, 分别对应函数值: $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ 。若函数 P_i 在子区间 $[X_i, X_{i+1}]$ 上是一个三次的多项式:

$$P_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 +$$

$$d_i(x - x_i)^3, i = 1, 2, 3, \dots, (n - 1)$$

那么就称 $P_i(x)$ 为三次样条插值函数。

对 08 时和 20 时 ECMWF 海平面气压场进行三次样条插值 TC 定位(以下简称样条插值预报), 02 时和 14 时位置根据 08 时和 20 时预报位置作线性内插确定。TC 中心初始定位和最终定位位置分别记为 $(LAT1_i, LON1_i), (LAT2_i, LON2_i)$, 预报时效记为 $VT_i (i=1, 2, 3, 4, 5, 6)$, 分别对应 0、24、48、72、96 和 120 h 预报。当 $i \leq 2$ 时, TC 中心在 ECMWF 海平面气压场中的初始位置 $(LAT1_i, LON1_i)$ 根据 CMO 综合定位和预报确定。当 $i \geq 3$ 时, $(LAT1_i, LON1_i)$ 的位置则由 $(LAT2_{i-1}, LON2_{i-1})$ 和 $(LAT2_{i-2}, LON2_{i-2})$ 线性外推确定。 $(LAT1_i, LON1_i)$ 确定后,以其为中心,上下左右各取 2 个格点的范围内对海平面气压作加密 20 倍的三次样条插值,以其中海平面气压最低点位置确定为 VT_i 时样条插值预报的 TC 中心位置 $(LAT2_i, LON2_i)$, 并认为该气压值为 TC 中心气压。

误差计算以 CMO 的 0 h 综合定位定强为标准。

2 样条插值预报误差分析

2.1 样条插值与 JMA 预报 TC 中心位置比较

与 JMA 基于 ECMWF 资料对 2008 年第 4 号强热带风暴夏浪(Halong)和第 5 号强台风娜基莉(Nakri)路径预报比较,发现样条插值预报是可行的。表 1 列出了 JMA 和样条插值基于 2008 年 5 月 27 日 20 时和 2008 年 5 月 28 日 08 时 ECMWF 海平面气压场预报的台风中心位置和预报误差。从表 1 可见:就 20 时预报位置来说,二者定位差异一般在 0.30 个纬距以下,而 08 时差异较大,这是由于 JMA 的 08 时位置是通过 20 时资料线性插值得到的,而样条插值预报的台风中心位置则是根据 08 时 ECMWF 海平面气压场资料得到的。

2.2 样条插值 TC 客观预报误差

2.2.1 ECMWF 路径客观预报误差

表 2 为基于 2004—2007 年 ECMWF 海平面气压场应用三次样条插值预报得到的 TC 路径客观预报误差。可以看到:4 年中 2005 年和 2007 年预报效果相对好。24 h 预报最好的 2007 年误差为 133.3 km,

表 1 样条插值和 JMA 预报的 0805 号强台风娜基莉(Nakri)中心位置

Table 1 Central locations of STY 0805 Nakri by the cubic spline interpolation and JMA forecast

预报时效/h	年/月/日/时	TC 实况		日本预报		样条插值预报	
		lat	lon	lat	lon	lat	lon
00	2008/05/27/20	14.4	137.5	15.0	137.2	14.9	137.4
	2008/05/28/08	14.9	137.2	15.2	136.5	15.0	137.4
24	2008/05/28/20	15.8	136.9	15.4	135.7	15.1	135.7
	2008/05/29/08	16.1	136.4	15.4	135.3	15.1	135.4
48	2008/05/29/20	16.2	135.5	15.3	134.9	15.1	135.0
	2008/05/30/08	16.6	134.7	16.5	133.7	17.3	135.0
72	2008/05/30/20	17.3	133.5	17.6	132.5	17.5	132.5
	2008/05/31/08	18.3	132.9	18.8	132.5	19.7	132.7
96	2008/05/31/20	19.7	132.8	20.0	132.5	20.1	132.5
	2008/06/01/08	20.5	132.9	21.6	132.4	21.4	132.7
120	2008/06/01/20	22.4	133.3	23.2	132.2	23.0	132.4
	2008/06/02/08	25.1	134.4	25.3	133.7	25.1	134.3
144	2008/06/02/20	28.3	137.0	27.4	135.3	27.5	135.1
	2008/06/03/08	31.5	140.0	28.9	137.5	32.4	137.4
168	2008/06/03/20			30.3	139.8	30.1	139.9

注:JMA 资料来源于 JMA 台风集合预报官方网站;lat,纬度(°N),lon:经度(°E)

表 2 三次样条插值 TC 路径客观预报误差/km

Table 2 TC track errors of the cubic spline interpolation method

年份	误差种类	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
2004	平均误差	161.6	254.2	355.4	461.4	576.2
	标准差	136.5	237.2	275.7	328.8	392.3
2005	平均误差	135.2	213	269.2	349.3	469
	标准差	96.8	197.3	244	297.9	415.4
2006	平均误差	136.8	213.1	279.1	333.6	420.4
	标准差	122.1	224.4	266.4	360.4	265.4
2007	平均误差	133.3	186.2	255.8	255.7	268.6
	标准差	119.3	181.6	278.5	234.7	145.8
4 年平均	误差	143.2	221	297.9	370.4	469.8
	标准差	121.1	216.3	269.4	326.4	359.3

比最差的 2004 年小 28.3 km。随着预报时效的延长,预报误差和标准差增大,误差的年际差异也明显增大,到 120 h 预报,2007 年预报误差仅 268.6 km,而 2004 年则高达 576.2 km。4 年 24 h 平均误差为 143.2 km,48 h 达到 221 km,随着预报时效延长,预报误差明显增大,96 h 和 120 h 平均误差分别达到 370.4 km 和 469.8 km,而标准差也明显增大,120 h 与 24 h 相比,标准差增加了将近 2 倍。

2.2.2 4 个预报中心路径预报误差比较

对 2004—2007 年 ECMWF 三次样条插值预报误差与 JTWC、JMA 和 CMO 的综合预报进行对比(综合预报资料时次也选取 02 时、08 时、14 时和 20 时),表 3a 和 3b 列出了 24~120 h 各预报中心的平均误差和标准差。分析表发现,24~72 h 预报以 JTWC 表现

最好,不仅误差最小,预报也相对稳定,其次是 JMA 的综合预报,ECMWF 的 24 h 和 48 h 客观预报误差是 4 个预报中心中最大的,分别比 JTWC 高出 30.3 km(21.2%)和 24.8 km(11.2%),而 72 h 预报误差开始接近 JMA 的综合预报水平,仅比 JTWC 高出 6.7 km(2.2%)。CMO 的 72 h 综合预报误差是 4 个预报中心中最大的,比 JTWC 高出 14.8 km。96 h ECMWF 客观预报平均误差为 370.4 km,比 JTWC 小 46.6 km(12.6%),但预报稳定性仍比 JTWC 差,当预报时效延长到 120 h,ECMWF 客观预报平均误差比 JTWC 减小 57.5 km(12.2%),标准差也小于 JTWC,可见对于 96 h 和 120 h 的中期预报趋势有更好的参考价值。

表 3a 2004—2007 年各预报中心 TC 路径预报误差 (24~72 h)

Table 3a TC track errors of 4 forecast centers in 2004—2007 (24~72 h)

预报时效	24 h			48 h			72 h		
	平均误差/km	标准差/km	预报次数	平均误差/km	标准差/km	预报次数	平均误差/km	标准差/km	预报次数
JTWC	112.9	79.2	1793	196.2	126.2	1489	291.2	205.3	1204
ECMWF	143.2	121.1	854	221	216.3	681	297.9	269.4	529
JMA	113.7	76.3	1760	203.7	141.9	1392	297.4	236.9	1074
CMO	124.6	82.3	1800	213.5	147.6	1428	306	227	1102

表 3b 2004—2007 年各预报中心 TC 路径预报误差 (96~120 h)

Table 3b TC track errors of 2 forecast centers in 2004—2007 (96~120 h)

预报时效	96 h			120 h		
	平均误差/km	标准差/km	预报次数	平均误差/km	标准差/km	预报次数
JTWC	417	286.8	773	527.3	378.8	547
ECMWF	370.4	326.4	384	469.8	359.3	277

2.2.3 ECMWF 中心气压客观预报误差

表 4 为样条插值预报的 TC 中心气压误差。表中可见:样条插值预报的 TC 中心气压偏高。当预报时效 ≤ 72 h, 中心气压一般比综合定强偏高 20 hPa 左右, 标准差在 14~17 hPa 之间。TC 中心气压平均误差年际变化不大, 2004—2007 年最大年际差仅 6 hPa 左右, 表明中心气压预报相对稳定。当预报时效延长到 96 h 和 120 h, 样条插值预报的 TC 中心气压分别比综合定强偏高 16.9 hPa 和 15 hPa, 标准差接近或超过误差, 表明预报不确定性很大。

表 4 TC 中心气压的样条插值预报误差

Table 4 TC central pressure errors of the cubic spline interpolation method

	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
误差平均/hPa	20.4	20.7	19.1	16.9	15.0
标准差平均	14.2	15.2	16.6	17.1	17.9

2.2.4 ECMWF 08 时和 20 时预报误差分析

多年应用 ECMWF 形势预报场经验发现, 08 和 20 时分别起报的 ECMWF 形势场产品在对天气系统的预报稳定性方面存在着一定的差异, 一般来说 20 时起报的形势预报场稳定性更好。通过分析 08 和 20 时起报的样条插值 TC 路径预报误差可以发现(见表 5), 二者 24~120 h 预报标准差没有差异, 但误差有所不同。对 24 和 48 h 预报, 08 时和 20 时预报能力没有明显差异, 从 72 h 开始 20 时预报开始表现出更好的预报能力, 08 时起报的 72、96 和 120 h 路径误差比 20 时起报的误差分别高出 26.5 km、23.2 km 和 17.2 km。

对于 24 和 48 h 预报, 无论是 08 时起报还是 20 时起报的 TC 路径样条插值预报效果都不如 CMO

综合预报水平; 对 72 h 预报, 20 时误差好于综合预报水平, 08 时则略低于综合预报水平。

表 5 基于 20 时和 08 时起报的 TC 路径样条插值预报误差

Table 5 TC track errors of the spline interpolation based on data of initial time 20 BT and 08 BT

起报时间	误差种类	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
08 时	路径误差	144.1	216.5	312	382.9	479.4
	标准差	121.1	216.3	269.8	326.6	359.4
20 时	路径误差	142.5	224.8	285.5	359.7	462.2
	标准差	121.1	216.3	269.7	326.5	359.4

2.2.5 ECMWF 路径预报误差小于平均值的 TC 特点

2004—2007 年西北太平洋和南海共生成 102 个编号 TC(包括热带风暴、强热带风暴、台风、强台风和超强台风, 下同), 其中 49 个 TC 的生命史在 5 d 以内, 没有参与本文的 96~120 h 误差统计。对 53 个编号且生命史 ≥ 6 d 的 TC 进行了 96 h 和 120 h 预报误差统计, 统计样本数分别为 665 次和 468 次, 其中 34 个 TC 预报误差小于平均值(占 64.2%), 仅一个 TC(0725 号台风海贝思)生成于南海, 33 个 TC 源地为西北太平洋。从 TC 强度分析, 除了 2 个(0429 号热带风暴塔拉斯, 0604 号强热带风暴碧利斯)没有达到台风强度, 其余 32 个 TC 均达到台风及以上强度, 占总数的 94.1%, 24 个 TC 达到强台风以上强度, 占总数的 70.6%。可见, 样条插值方法对西北太平洋生成的台风以上强度 TC 中期路径趋势具有较好的预报能力。

表 6 列出了这 53 个 TC 路径趋势统计。从路径趋向分析, 有 27 个路径趋势为转向型登陆或消失, 其中 16 个(59.3%) TC 的 96~120 h 预报误差

小于平均值,西行、西北行和偏北行登陆或近海消失(主要在南海海域)的TC有25个,其中17个(68.0%)TC的96~120 h预报误差小于平均值,其他类型路径1个(0725号台风海贝思)。可见,从路径趋向看,样条插值预报方法对于西行、西北行和偏北行登陆或近海减弱消失的TC的中期预报准确率高于转向型TC。

表6 不同路径趋势TC统计

Table 6 TC statistics of different movement trend

年份	转向型		西行、西北行和偏北行		其他路径
	TC总个数	误差<平均值的TC	TC总个数	误差<平均值的TC	
2004	11	6	6	4	/
2005	6	3	6	5	/
2006	5	3	9	5	/
2007	5	4	4	3	1
合计	27	16	25	17	1

3 结论

(1) ECMWF三次样条客观预报与JTWC、JMA和CMO的综合预报相比,72 h以内预报以JTWC表现最好,其次是JMA的综合预报,48 h以内ECMWF的表现最差,从72 h开始ECMWF预报接近JMA综合水平。96 h和120 h JTWC与ECMWF相比,预报误差比后者高出12%以上,可见ECMWF对于96 h和120 h的TC中期路径趋势有更好的参考价值。

(2) ECMWF对TC中心气压24~120 h预报一般较CMO综合定强偏高15~20 hPa。

(3) ECMWF对西北太平洋生成的台风及以上强度TC中期路径趋势具有较好的预报能力。对西行、西北行和偏北行登陆或近海减弱消失的TC中期预报准确率高于转向型。

参考文献

[1] 费亮,徐一鸣,雷小途.我国热带气旋的业务工作及异常运动研究

[J].大气科学研究与应用,1999,(1):114-125.

- [2] 麻素红,瞿安祥,张晗.台风路径数值预报模式的并行化及路径预报误差分析[J].应用气象学报,2004,15(3):322-328.
- [3] 杨元琴.热带气旋路径预报的MCE客观综合决策方法研究[J].气象,2003,29(5):3-8.
- [4] 漆梁波,黄丹青,余晖.1999—2003年西北太平洋热带气旋综合预报的误差分析[J].应用气象学报,2006,17(1):73-80.
- [5] 黄伟,端义宏,薛纪善等.热带气旋路径数值模式业务试验性能分析[J].气象学报,2007,64(4):578-587.
- [6] 鲍媛媛.2006年6-8月T213与ECMWF模式中期预报性能检验[J].气象,2006,32(11):99-104.
- [7] 桂海林.2006年12月至2007年2月T213与ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J].气象,2007,33(5):111-117.
- [8] 李勇.2007年6-8月T213与ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J].气象,2007,33(11):93-100.
- [9] 饶晓琴.2007年9—11月T213与ECMWF及日本中期预报性能检验[J].气象,2008,34(2):107-114.
- [10] 蔡芎宁.2009年6—8月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J].2008,34(11):111-116.
- [11] 蔡亲波,陈景耀.数值预报对热带气旋移动路径的预报能力的检验[J].气象,1997,23(2):45-47.
- [12] Lam C C. Performance of the ECMWF model in forecasting the tracks of tropical cyclones in the South China Sea and parts of the western North Pacific[J]. Meteorological Applications, 2001(8): 339-344.
- [13] 陈见,杨宇红.KNN方法在热带气旋路径预报中的应用[J].气象,2002,28(5):44-46.
- [14] 陈淑琴,黄辉,李晓丽.热带气旋移速的预报[J].气象,2002,28(2):42-45.
- [15] 梅安新,彭望球,秦其明,等.遥感导论[M].北京:高等教育出版社,2001:107-112.
- [16] 周浩,文必洋.高频地波雷达生成海洋表面矢量流图[J].海洋与湖沼,2002,33(1):1-7.
- [17] 戴新刚,王国军,汪洋.小波抽样与气象要素场插值[J].计算物理,2003,20(6):529-536.
- [18] 莫军,朱海,郭正东.基于三次样条插值重构方法对西太平洋海洋要素时空分布的分析[J].海洋通报,2008,27(4):29-36.
- [19] 陈文略,王子羊.三次样条插值在工程拟合中的应用[J].华中师范大学学报(自然科学版),2004,38(4):418-422.