

# T213 模式对强冷空气短期 预报能力的分析检验

张守峰 郭文华 张金艳 杨克明

(国家气象中心,北京 100081)

## 提 要

利用 T213 模式的 500hPa 高度、地面气压、850hPa 温度预报格点资料和客观分析实况格点资料,对 2001~2002 年冬半年我国出现的 8 次强冷空气天气过程的主要影响天气系统进行了预报能力的客观分析检验。所得结果有利于数值预报产品的释用及实时预报业务。

**关键词:** T213 模式 客观分析检验 低槽 误差

## 引 言

2002 年 9 月 15 日,国家气象中心新一代中期数值预报系统 T213 投入了业务使用。T213L31 谱模式的水平分辨率由 T106 的 120km 提高到 60km,垂直层次由 19 层提高到 31 层,水平和垂直分辨率比 T106 提高约一倍;模式包含一整套比较先进的物理过程,包括辐射方案、次网格尺度、地形拖曳、积云对流参数化、湍流扩散、云和大尺度降水以及土壤和陆面过程。T213 模式自业务使用以来还无系统的预报能力分析检验,为了解模式对我国冬半年寒潮过程的预报性能,以便更好地开展产品的业务释用,本文利用 2001~2002 冬半年 T213 模式对我国出现的 8 次强冷空气天气过程 24、48 和 72 小时的 500hPa 环流形势预报、地面形势预报和 850hPa 温度预报与实况场之间的误差客观分析检验。在 10~65°N、60~160°E 的亚洲区域内,着重分析检验强冷空气活动的主要影响天气系统,如国内西风槽、横槽、槽后的高压脊、地面和 850hPa 压温场特征线同实况的误差,以在实时业务中订正使用。

## 1 定量检验方法

记预报要素  $A$  的预报值为  $A_f$ ,相应实况值为  $A_a$ ,  $i, N$  为检验区域内的格点序号和总格点数,对区域内所有格点求和为  $\sum$ ,本文采用的各种定量检验方法表述如下<sup>[1]</sup>。

### 1.1 平均误差

$$ME = \frac{1}{N} \sum (A_{fi} - A_{ai})$$

平均误差计算时正负误差抵消,它反映的是统计区域内的某种系统性误差。

### 1.2 均方根误差

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum (A_{fi} - A_{ai})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

反映预报值与实况值的平均偏离程度,因而能反映总误差情况。

### 1.3 标准差

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{N} \sum [(A_{fi} - A_{ai}) - ME]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

表示预报偏差距离平均误差的平均离散程度。

### 1.4 SI 评分

$$SI = \frac{\sum [|(A_{fxi} - A_{axi})| + |(A_{fyi} - A_{ayi})|]}{\sum [\max(|A_{fxi}|, |A_{axi}|) + \max(|A_{fyi}|, |A_{ayi}|)]}$$

其中  $A_{fxi} = \frac{\partial A_{fi}}{\partial x}$ ,  $A_{axi} = \frac{\partial A_{ai}}{\partial x}$ ,  $A_{fyi} = \frac{\partial A_{fi}}{\partial y}$ ,  $A_{ayi} = \frac{\partial A_{ai}}{\partial y}$ ,  $\max(a, b)$  表示取  $a$  和  $b$  中的较大者。

SI 评分度量了预报值与实况值水平梯度的相对差异,最常用于气压、位势高度等标量场的预报评分中,主要反映场的梯度预报精度,因其抓住了场分布的核心内容,故能较好地反映出模式预报的“技巧”。一般 SI 值

$$R_{TEN} = \frac{\sum (A_{fi} - A_{oi} - M_{fo})(A_{ai} - A_{oi} - M_{ao})}{\left[ \sum (A_{fi} - A_{oi} - M_{fo})^2 \sum (A_{ai} - A_{oi} - M_{ao})^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

其中  $A_{oi}$  为预报初值;  $M_{fo} = \frac{1}{N} \sum (A_{fi} - A_{oi})$ ;  $M_{ao} = \frac{1}{N} \sum (A_{ai} - A_{oi})$ 。

$$R_{ANO} = \frac{\sum (A_{fi} - C_i - M_{fc})(A_{ai} - C_i - M_{ac})}{\left[ \sum (A_{fi} - C_i - M_{fc})^2 \sum (A_{ai} - C_i - M_{ac})^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

其中  $C_i$  为气候平均值;  $M_{fc} = \frac{1}{N} \sum (A_{fi} - C_i)$ ;  $M_{ac} = \frac{1}{N} \sum (A_{ai} - C_i)$ 。

距平相关系数也反映槽脊位置和强度的预报效果,但因它利用的是实况和预报与气候的距平相关,避免了倾向相关系数随预报时效增加所可能出现的虚假增长现象。

## 2 强冷空气过程的定量检验分析

利用上述方法对 T213 预报的 2001~2002 年冬半年我国出现的 8 次强冷空气过程(2001 年 11 月 10~15 日、12 月 2~6 日、12 月 11~14 日,2002 年 1 月 14~19 日、3

月 3~6 日、3 月 19~23 日、4 月 5~11 日、4 月 13~18 日)的 500hPa 高度、850hPa 温度和地面气压在亚洲地区(10~65°N、60~160°E)进行的定量检验,结果在表 1 中。24、48 和 72 小时 500hPa 高度和 850hPa 温度平均误差 ME 均为负值,表明 T213 模式对寒潮过程的 500hPa 高度场和 850hPa 温度场的预报偏低,即低槽预报偏强,高压脊偏弱。而对地面气压场除 24 小时的预报偏低外,48、72 小时均偏高。从 500hPa 高度场的均方根误差 RMSE 来看,预报时效增大,误差在增大,850hPa 温度和地面气压预报也这样。标准

## 1.5 相关系数

$$R = \frac{\sum (A_{fi} - A_{fmi})(A_{ai} - A_{ami})}{\left[ \sum (A_{fi} - A_{fmi})^2 \sum (A_{ai} - A_{ami})^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

其中  $A_{fmi}$ ,  $A_{ami}$  分别为预报、实况平均值。相关系数能反映预报与实况值距平之间的相关程度。

## 1.6 倾向相关系数

倾向相关系数反映预报场与实况场变化趋势的相似程度。

## 1.7 距平相关系数

表 1 强冷空气过程 500hPa 高度、850hPa 温度和地面气压的定量检验结果

| 时效        | 500hPa 高度场 |        |        | 850hPa 高度场 |        |        | 海平面气压场 |       |       |
|-----------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|-------|-------|
|           | 24h        | 48h    | 72h    | 24h        | 48h    | 72h    | 24h    | 48h   | 72h   |
| ME        | -0.467     | -0.589 | -0.869 | -0.435     | -0.599 | -0.736 | -0.021 | 0.142 | 0.110 |
| RMSE      | 1.485      | 2.735  | 3.907  | 1.328      | 1.996  | 2.523  | 1.837  | 2.877 | 3.809 |
| $\sigma$  | 1.363      | 2.580  | 3.661  | 1.229      | 1.857  | 2.358  | 1.781  | 2.762 | 3.611 |
| SI        | 0.170      | 0.272  | 0.350  | 0.344      | 0.474  | 0.545  | 0.317  | 0.419 | 0.494 |
| R         | 0.999      | 0.995  | 0.989  | 0.996      | 0.990  | 0.984  | 0.977  | 0.945 | 0.905 |
| $R_{TEN}$ | 0.964      | 0.940  | 0.912  | 0.928      | 0.909  | 0.884  | 0.943  | 0.929 | 0.908 |
| $R_{ANO}$ | 0.984      | 0.943  | 0.880  | 0.995      | 0.989  | 0.983  | 0.998  | 0.995 | 0.991 |

差 $\sigma$ 和SI评分亦有类似结果。对于SI评分,500hPa高度场预报最好,24小时SI评分为0.17( $<0.20$ ),为“完美预报”。48、72小时分别为0.272、0.35,850hPa温度场和海平面气压场24、48小时SI分别为0.344、0.474,0.317、0.419( $<0.70$ ),具有一定的可用性,72小时可信度变小,需订正使用。

距平相关系数 $R_{ANO}$ 除500hPa高度72小时预报外,平均都在0.9以上。三种要素场各时次的相关系数 $R$ 和倾向相关系数 $R_{TEN}$ (850hPa72小时温度预报除外)都在0.9以上,说明T213 500hPa高度场、850hPa温度场和地面气压的预报在短期业务预报中有较好的参考价值。但随着预报时效的延长,各相关系数也逐渐减小,预报准确率降低。

3 影响天气系统的检验

我们对上述8次强冷空气天气过程的主要影响低值系统预报(以下称影响低槽)进行检验分析,规定槽的移速误差值 $\leq 3$ 个经度、槽线长误差值 $\leq 2$ 个纬度为正确。

3.1 500hPa影响低槽

3.1.1 预报概况

8次较强冷空气过程各预报时次的实况图上共出现127个低槽(2次缺资料),24、48、72小时T213均报出,无空漏报现象。预报准确率分别达到100%、92.9%和64.3%(表2),可见T213 24~48小时对低槽的预报能力很强。这些槽中24小时预报有30个与实况一致,极端移速快慢仅差2个经度,平均0.5个经度,可信度很高。48小时预报与实况一致的明显减少,占19.1%,预报偏快偏慢增多,但平均误差1.9个经度,仍较小,可信较高。但也反映出低槽随预报时效延长移速误差变大。72小时移速极端误差快7个经度,慢10个经度,平均3.2个经度。在短期预报期间,低槽移速偏慢、偏快、吻合分别是57、29、41次,各占44.9%、22.8%和32.3%,偏慢的居于首位,尤其是72小时预报,偏慢达78.6%,使用时应考虑快一些。

表2 强冷空气过程500hPa影响低槽移速预报误差统计

| 预报<br>时效 | 偏快 |      | 偏慢 |      | 吻合 |      | 0~3经度 |      | >3经度 |      | 极端误差/经度 |    | 平均误差<br>/经度 |
|----------|----|------|----|------|----|------|-------|------|------|------|---------|----|-------------|
|          | 次  | %    | 次  | %    | 次  | %    | 次     | %    | 次    | %    | 快       | 慢  |             |
| 24h      | 4  | 9.3  | 9  | 20.9 | 30 | 69.8 | 43    | 100  | 0    | 0    | 2       | 2  | 0.5         |
| 48h      | 19 | 45.2 | 15 | 35.7 | 8  | 19.1 | 39    | 92.9 | 3    | 7.1  | 4       | 6  | 1.9         |
| 72h      | 6  | 14.3 | 33 | 78.6 | 3  | 7.1  | 27    | 64.3 | 15   | 35.7 | 7       | 10 | 3.2         |
| 总计       | 29 | 22.8 | 57 | 44.9 | 41 | 32.3 | 109   | 85.8 | 18   | 14.2 | /       | /  | /           |

3.1.2 强度误差

由500hPa影响低槽强度预报误差统计(表3)可见,24、48、72小时预报准确率分别是100%、97.6%和92.9%,精度非常高。影响低槽强度预报误差大于2个纬度的只出现4次,但与实况完全一致的也仅有14次,有

71.7%的低槽强度预报偏强,24、48、72小时偏强极端误差分别是2、3、4个纬度;平均误差分别为0.8、1.0、1.4个纬度,揭示T213随着预报时效增大,强度预报误差也越来越大,可信度减小。

表3 强冷空气过程500hPa影响低槽强度预报误差统计

| 预报<br>时效 | 偏强 |      | 偏弱 |      | 吻合 |      | 0~2纬度 |      | >2纬度 |     | 极端误差/纬度 |   | 平均误差<br>/纬度 |
|----------|----|------|----|------|----|------|-------|------|------|-----|---------|---|-------------|
|          | 次  | %    | 次  | %    | 次  | %    | 次     | %    | 次    | %   | 强       | 弱 |             |
| 24h      | 30 | 69.8 | 6  | 13.9 | 7  | 16.3 | 43    | 100  | 0    | 0   | 2       | 2 | 0.8         |
| 48h      | 31 | 73.8 | 7  | 16.7 | 4  | 9.5  | 41    | 97.6 | 1    | 2.4 | 3       | 2 | 1.0         |
| 72h      | 30 | 71.4 | 9  | 21.4 | 3  | 7.2  | 39    | 92.9 | 3    | 7.1 | 4       | 3 | 1.4         |
| 总计       | 91 | 71.7 | 22 | 17.3 | 14 | 11.0 | 123   | 96.9 | 4    | 3.1 | /       | / | /           |

### 3.2 影响低槽后部高压脊

影响低槽后部高压脊与寒潮爆发密切相关,高压位置和强度决定了脊前影响低值系统的位置和强度,直接影响冷空气活动的路径、影响范围及风雪、降温天气的落区和强度。

#### 3.2.1 移速误差

在表4中,24小时影响低槽后部高压脊移动与实况一致的有32次,占74.4%,预报

几率较高,48小时下降为16次,72小时仅6次,吻合的不多;移动预报偏快或偏慢的48小时次数明显增多,但快慢次数差异不大。高压脊24、48小时移速预报误差通常小于2个经度,分别为40次,占93.0%,28次,占66.7%;72小时预报误差增大,大于2个经度有34次,占81.0%,极端预报误差快17个经度,慢10个经度,平均误差4.3个经度,需订正使用。

表4 强冷空气过程影响低槽后部高压脊移速预报误差统计

| 预报<br>时效 | 偏快 |      | 偏慢 |      | 吻合 |      | 0~2 经度 |      | >2 经度 |      | 极端误差/经度 |    | 平均误差<br>/经度 |
|----------|----|------|----|------|----|------|--------|------|-------|------|---------|----|-------------|
|          | 次  | %    | 次  | %    | 次  | %    | 次      | %    | 次     | %    | 快       | 慢  |             |
| 24h      | 7  | 16.3 | 4  | 9.3  | 32 | 74.4 | 40     | 93.0 | 3     | 7.0  | 3       | 4  | 0.6         |
| 48h      | 14 | 33.3 | 12 | 28.6 | 16 | 38.1 | 28     | 66.7 | 14    | 33.3 | 8       | 8  | 2.0         |
| 72h      | 19 | 45.2 | 17 | 40.5 | 6  | 14.3 | 8      | 19.0 | 34    | 81.0 | 17      | 10 | 4.3         |
| 总计       | 40 | 31.5 | 33 | 26.0 | 54 | 42.5 | 76     | 59.8 | 51    | 40.2 | /       | /  | /           |

#### 3.2.2 强度误差

从影响槽后高压脊北端预报误差统计(表5)中可知,在短期内,脊预报误差小于2个纬度的共99次,占各预报时次总数的97.7%、85.7%和50.0%,频数随时效下降,误差值逐步加大,24小时预报误差大于2个纬度的只1例,72小时增至21例,占50%;

各预报时次平均误差为0.97、1.6、2.8个纬度,可见T213 24~48小时对该脊有较强的预报能力,可以直接用于业务预报。另外,在表5中,槽后高压脊北界三个时次预报偏弱的有29、22、26次共77次,占60.6%,为最多,偏强的次多,吻合的最少,尤其72小时预报误差明显变大,使用时应注意强度订正。

表5 强冷空气过程影响低槽后部高压脊北端预报误差统计

| 预报<br>时效 | 偏强 |      | 偏弱 |      | 吻合 |      | 0~2 纬度 |      | >2 纬度 |      | 极端误差/纬度 |     | 平均误差<br>/纬度 |
|----------|----|------|----|------|----|------|--------|------|-------|------|---------|-----|-------------|
|          | 次  | %    | 次  | %    | 次  | %    | 次      | %    | 次     | %    | 强       | 弱   |             |
| 24h      | 7  | 16.3 | 29 | 67.4 | 7  | 16.3 | 42     | 97.7 | 1     | 2.3  | 1       | 2.5 | 0.97        |
| 48h      | 17 | 40.5 | 22 | 52.4 | 3  | 7.1  | 36     | 85.7 | 6     | 14.3 | 4       | 3   | 1.6         |
| 72h      | 11 | 26.2 | 26 | 61.9 | 5  | 11.9 | 21     | 50.0 | 21    | 50.0 | 5       | 7   | 2.8         |
| 总计       | 35 | 27.6 | 77 | 60.6 | 15 | 11.8 | 99     | 78.0 | 28    | 22.0 | /       | /   | /           |

### 4 地面冷高压中心强度和南下预报检验分析

地面冷高压中心强度和位置揭示了冷空气的强度和移速,其检验结果如表6所示。中心强度短期预报皆为负值,表明T213模式对冷高压中心强度预报较实况偏弱,且经度偏东、纬度偏南,即移速预报偏快;但平均距离误差却较小,有较好的预报参考价值。较大误差主要出现在冷高压范围大,气压值较接近,中心难以确定的情况下。到了72小时(图略),8次过程的逐日地面冷高压中心

强度误差的绝对值一般都小于50gpm,说明该模式对冷空气强度预报准确率较高。

表6 地面冷高压中心强度及位置预报误差

| 检验内容      |         | 误差 | 24小时 | 48小时 | 72小时 |
|-----------|---------|----|------|------|------|
| 中心强度(hPa) | 平均误差    |    | -0.7 | -0.8 | -0.8 |
|           | 误差绝对值平均 |    | 1.7  | 2.3  | 3.6  |
|           | 误差最大值   |    | 4.2  | 5.1  | 10.1 |
| 经度误差(经度)  | 平均误差    |    | 0.8  | 0.0  | 1.7  |
|           | 误差绝对值平均 |    | 2.7  | 2.5  | 4.7  |
|           | 误差最大值   |    | 15.8 | 13.5 | 14.6 |
| 纬度误差(纬度)  | 平均误差    |    | -0.5 | 0.3  | -0.4 |
|           | 误差绝对值平均 |    | 1.6  | 0.7  | 2.0  |
|           | 误差最大值   |    | 13.4 | 4.5  | 10.1 |
| 距离误差(经纬度) | 平均误差    |    | 3.7  | 2.8  | 5.4  |
|           | 误差最大值   |    | 13.5 | 13.7 | 17.8 |

为了更清楚地了解冷空气南下预报速度,选择 1020hPa 特征等压线与 110°E 和 120°E 经线交点来判断冷空气南下预报速度与实况的偏差。在 3~4 月的 3 次强冷空气过程中,由于地面冷高压明显减弱,1020hPa 已不能抵达 110~120°E。故只对 2001 年 11 月 10~15 日至 2002 年 3 月 3~6 日 5 次过程进行预报误差检验,其结果见表 7。除在 120°E 上的 24、48 小时为负值预报偏南外,其他预报均偏北,误差绝对值平均通常在 1.5 以下,24 小时为 0.6 个纬度,预报最好。48、72 小时预报误差也不太大,尤其是 120°E 上 1020hPa 等压线的预报误差很小,业务预报中有较好的参考作用。

表 7 1020hPa 等压线在 110°E 和 120°E 上预报误差(单位:纬度)

| 经度    | 误差      | 24 小时 | 48 小时 | 72 小时 |
|-------|---------|-------|-------|-------|
| 110°E | 平均误差    | 0.2   | 1.2   | 1.8   |
|       | 误差绝对值平均 | 0.6   | 1.5   | 2.2   |
|       | 误差最大值   | 2.4   | 4.3   | 6.3   |
| 120°E | 平均误差    | -0.3  | -0.3  | 0.4   |
|       | 误差绝对值平均 | 0.6   | 0.9   | 1.0   |
|       | 误差最大值   | 2.5   | 2.2   | 2.5   |

## 5 850hPa 上 0℃ 线南下预报检验分析

降温预报是冷空气预报的关键,T213 模式 850hPa 温度预报是冷空气降温预报的依据。因此用 850hPa 上 0℃ 特征等温线分别与 100、110 和 120°E 经线交点来判断 0℃ 线的南下预报与实况的误差(表 8)。除了在 120°E 的 24 小时预报偏北 0.2 个纬度外,其他预报比实况偏南,但平均误差很小,

表 8 850hPa 上 0℃ 线南下预报误差(单位:纬度)

| 经度    | 误差      | 24 小时 | 48 小时 | 72 小时 |
|-------|---------|-------|-------|-------|
| 100°E | 平均误差    | -0.1  | -0.7  | -0.7  |
|       | 误差绝对值平均 | 1.1   | 1.5   | 1.0   |
|       | 误差最大值   | 5.1   | 5.5   | 3.8   |
| 110°E | 平均误差    | -0.1  | -0.3  | -1.0  |
|       | 误差绝对值平均 | 1.1   | 1.8   | 1.8   |
|       | 误差最大值   | 4.5   | 6.1   | 7.3   |
| 120°E | 平均误差    | 0.2   | -0.3  | -0.7  |
|       | 误差绝对值平均 | 1.2   | 1.8   | 2.0   |
|       | 误差最大值   | 4.8   | 6.5   | 9.4   |

误差绝对值平均偏南小于 2 个纬度,反映预报略偏强或冷空气南下速度略偏快。在业务预报中具有较好的参考价值。

分析 850hPa 上 0℃ 等温线在 120°E 上南下预报的逐日误差(图略)可看到,11~2 月预报误差较小,并且误差基本为正值,表明预报 0℃ 线偏北,预报的冷空气南下速度偏慢,3~4 月则相反,预报的冷空气南下速度快,误差起伏幅度较大,稳定性差,预报可信度降低。

## 6 小 结

(1)用 7 种客观定量检验方法对 T213 模式预报的 500hPa 高度场、850hPa 温度场和地面气压场检验结果表明:携带强冷空气的低槽预报偏强、低槽后部高压脊预报偏弱;并都随着预报时效增大,误差加大。500hPa 高度场预报 SI 评分最好,24 小时 SI 评分为 0.17,为“完美预报”。三种要素场预报 24、48 和 72 小时相关系数都在 0.9 以上,具有一定的可用性,但 72 小时可信度明显变小,需订正使用。

(2)T213 模式对强冷空气的影响低槽无空漏报,24、48、72 小时移速和强度的预报准确率分别是 100%、92.9%、64.3% 和 100%、97.6%、92.9%。移速偏慢的多于偏快的,24、48 小时平均误差大约 0.5~2 个经度。强度偏强多于偏弱的,平均误差约 1 个纬度。

(3)对于低槽后部的高压脊的移速预报与实况吻合的居多,精度较高。预报偏快多于偏慢的,强度预报偏弱多于偏强的。

(4)T213 模式对于地面冷高压中心强度预报偏弱,移速预报偏快,但平均距离误差较小,对 850hPa 上 0℃ 线预报略偏强、南下速度略偏快,平均误差也很小。它们在业务预报中均有较好的预报参考作用。

## 参考文献

- 1 孔玉寿,张东华. 现代天气预报技术. 北京:气象出版社,2000:37~40.

# Verification and Discussion of Prediction of the T213L31 Model on Short-range Forecast of Strong Cold Wave

Zhang Shoufeng Guo Wenhua Zhang Jinyan Yang Keming

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

## Abstract

Based on grid data of forecasting fields (500hPa height, sea level pressure, 850hPa temperature) of T213L31 model and real-time objective analysis fields, prediction Natures on main affecting synoptic systems of eight strong cold wave processes in China during 2001/2002 winter are verified. The result benefited the interpretation of NWP products and operational forecast.

**Key Words:** T213L31 model objective verification affecting low trough errors