

# 温带气旋爆发性发展的 中期背景及预报

李晓东 马德贞

(国家气象中心, 北京 100081)

## 提 要

在研究了冬季(11—1月)西北太平洋温带气旋爆发性发展前5天, 对流层中高层超长波及长波配置及西风急流、动量输送等物理量特征的基础上, 综合出气旋爆发性发展的中期预报着眼点, 应用数值预报产品可有效地延长预报时效。

**关键词:** 超长波 急流 温带气旋 中期预报 爆发性发展

## 引 言

温带海洋气旋的爆发性发展已成为气象学界十分关注的课题, 特别是从70年代末开始, 大西洋上发生一系列由爆发性气旋导致的灾害更加引起人们的注意。Sanders 和 Gyakum 率先研究了北半球爆发性气旋生成的原始气候学。随后对爆发性气旋的数值预报不断取得进展, 到80年代初期对大西洋上爆发性气旋的预报性能有明显的改进, 预报时效达48—60小时, 但对太平洋地区的预报技巧就较差, 中期预报难度更大, 尚不能满足业务预报要求。本文对1975—1988年11月—1月发生在西北太平洋的爆发性气旋, 采用天气统计方法, 对其爆发性发展前对流层中高层波谱、西风急流等物理量特征进行研究, 概括出温带气旋爆发性发展的中期预报着眼点。这项工作对气旋爆发的中期预报将有一定的价值。

## 1 爆发性气旋发生的时空分布

本文研究的对象是1975—1988年11月、12月、1月发生在西北太平洋(160°W以西)的爆发性气旋, 规定其最低气压必须达到970hPa以下, 24小时减压在24hPa以上。符合标准的气旋共53例。图1给出这些个例的

地理分布, 由图可见, 爆发性气旋集中在40—58°N 纬度带内, 尤其在150—180°E 范围内发生的频数更高些。这比 Sanders 和 Gyakum 的统计向北扩展了5—7个纬度, 他们曾指出阿留申和格陵兰地区没有爆发性气旋发生<sup>[1]</sup>, 这可能是由于他们的统计年限较短所致。由气旋发生的月际和年际变化看(见表1), 1月份爆发性气旋发生的个数最多, 11月最少。年际变化也较显著, 1980—1981年、1984—1985年、1985—1986年发生的个数很少, 3个月中最多只有1个爆发性气旋发生。1975—1976年、1976—1977年、1978—1979年、1982—1983年、1983—1984年每年都有5—6个发生。可见爆发性气旋是冬季温带海洋上常见的现象, 只有个别年份较少发生。

表1 各年爆发性气旋生成数

| 年    | 11月 | 12月 | 1月 | 年    | 11月 | 12月 | 1月 |
|------|-----|-----|----|------|-----|-----|----|
| 1975 | 2   | 0   | 5  | 1983 | 2   | 1   | 3  |
| 1976 | 1   | 1   | 4  | 1984 | 0   | 1   | 2  |
| 1977 | 0   | 1   | 4  | 1985 | 0   | 0   | 0  |
| 1978 | 0   | 0   | 3  | 1986 | 1   | 2   | 0  |
| 1979 | 1   | 1   | 5  | 1987 | 0   | 3   | 1  |
| 1980 | 1   | 0   | 0  | 1988 | 0   | 1   | 1  |
| 1981 | 1   | 1   | 0  | 合计   | 9   | 14  | 30 |
| 1982 | 0   | 2   | 2  |      |     |     |    |

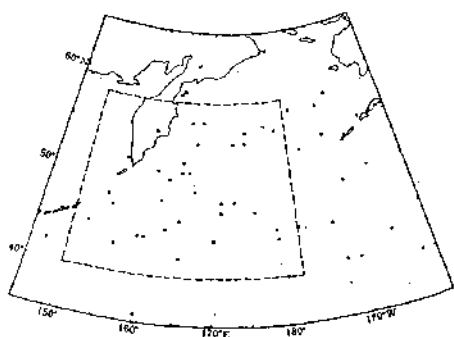


图1 1975—1988年11—1月温带爆发气旋分布图

## 2 爆发性气旋发生的中期背景

爆发性气旋发生发展与超长波、长波的配置及西风急流的加强有密切关系。为了客观地说明问题,我们对逐个气旋爆发前5天至爆发日500hPa谐波参数、地转风等物理量进行分析,并利用100hPa及海平面气压资料研究其垂直变化。

### 2.1 500hPa波谱特征

根据Sanders和Gyakum的分析,大多数气旋的爆发性发展与高空槽有关,人们早就认识到移动的高空槽是北美东海岸近海爆发性气旋生成的常见预兆。为了寻找中期预报的着眼点,我们着重分析了气旋爆发前超长波和长波特征。以40°N和60°N纬圈分别代表中、高纬度的情况,规定5天中3天以上振幅最大的波为优势波。统计表明(见表2),在60°N气旋爆发前,2波是第一优势波,共22例,约占42%,其平均槽位于130°E附近。其次是3波和1波。40°N第一位的优势波是1波,共27例,约占51%,平均槽位于157°E。其次是3波,约占26%,平均槽位于155°E。

表2 气旋爆发前波谱参数

| 纬度   | 优势波 |     |      |          |
|------|-----|-----|------|----------|
|      | 波数  | 个例数 | 比重/% | 平均槽位置/°E |
| 60°N | 1   | 15  | 28.3 | 162      |
|      | 2   | 22  | 41.5 | 130      |
|      | 3   | 14  | 26.4 | 146      |
| 40°N | 1   | 27  | 50.9 | 157      |
|      | 2   | 6   | 11.3 | 144      |
|      | 3   | 14  | 26.4 | 155      |

气旋爆发的位置在超长波槽前比重很

大,统计气旋爆发日气旋爆发地与优势波的位置,发现凡在2波优势下爆发的气旋100%位于槽前,平均相距38.5经度。3波优势下89%的气旋爆发地在槽前,平均相距12.7经度。1波和4波优势下爆发的气旋约50%发生在槽前。

研究优势波位相的水平结构发现,在气旋爆发前后自高纬度至中纬度地区波系的走向有变化。据仇永炎先生的研究<sup>[2]</sup>,2波同1、3波不同,约在35°N以北槽线是西北—东南走向,在其南是东北—西南走向,而且纬向分量很大,2波槽线这种分布使动量向南输送。分析表明,在气旋爆发前2波槽的分布与定常波槽线走向一致,但转折点在50°N附近。在气旋临近爆发时,中纬度超长波赶上或超过高纬超长波,波系走向呈南北向或西北—东南向,这种现象在500hPa普遍存在,在100hPa也有类似情况。这说明气旋的爆发性发展是同移动性2波密切相关的。波系水平结构的这种变化对于爆发性气旋的中期预报是有指示意义的,说明在气旋爆发前,西风动量向北输送或在50°N以北向南输送,50°N以南向北输送,在50°N附近存在西风动量辐合,西风加强。在气旋爆发的当天或前后1天,50°N附近转为动量辐散,西风减弱。3波槽线的水平结构与2波不同,气旋爆发前后,槽线在50°N以北呈西北—东南走向,50°N以南呈东北—西南走向。所不同的是在气旋爆发前的2—3天内,由于40°N波速加快,使槽线纬向分量减小转为近似南北向分布。

我们还注意到长波增幅是气旋爆发前又一显著特征。统计表明,在气旋爆发前3天至爆发日在40—60°N纬度带内77%的个例有长波增幅现象,其中4波增长的几率最高,其次是5波和6波。根据仇永炎先生对寒潮个例长波增幅的能量研究<sup>[2]</sup>,长波增幅反映波动有效位能向波动动能转换,长波的增长主要由于斜压转换负担,另外也自纬向气流里接受一部分正压能量。由此我们可以推断,在

温带气旋的爆发中长波起着重要作用,其能量主要来自斜压转换。

## 2.2 气旋爆发与 500hPa 急流的关系

计算了气旋爆发前 5 天至爆发后 3 天 500hPa  $5 \times 5$  格点地转风东西分量、南北分量及动量输送值。统计气旋爆发地和西风急流的关系发现,53 例气旋中 37 例(占 70%)爆发地位于西风急流出口区的北侧,12 例(占 22%)位于急流中心北侧,只有 4 例(占 8%)位于急流中心北侧入口区,说明位于急流出口处北侧的高空辐散区,极有利于气旋的爆发性发展。一般气旋爆发的位置在急流轴北侧 5—15 纬度范围内,且有 83% 的气旋北侧有大于  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的东风区存在。

另一有意义的事实是,在气旋爆发日前后的 1—2 天内,地转西风急流中心强度有一明显的加强过程,急流中心西风风速一般可达  $40—60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其强度明显高于多年平均值(11 月—1 月平均西风为  $28—34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )。

气旋爆发性发展还与南北风场的配置有密切关系。当气旋发展时,其上游有一强的北风区,94% 的气旋北风风速达  $15—33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,并且最大北风中心在气旋爆发前是向东移动的。下游有一风速为  $11—30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的南风区,南北风的强度都比平均状况要强。与之相对应,在下游有动量向北输送大值中心,上游有动量向南输送大值中心。

## 2.3 气旋爆发与超长波的空间结构

由于受到资料的限制,我们只计算了 1987—1988 年 6 例气旋爆发前后 100hPa 谐波参数,这 6 例中有 3 例是在高纬 2 波优势下爆发,2 例是 3 波,1 例是 1 波优势下爆发的。分析其优势波位相,从 500—100hPa 的垂直分布,发现在气旋爆发前 6 例中 5 例的位相一直是随高度向西倾斜,另 1 例是由东倾转为西倾。值得注意的是,在气旋临近爆发时,超长波位相随高度向西倾斜的程度减小或转为东倾。由此说明在气旋爆发的时候也获得从对流层高层下传的能量。

对于以上的 6 例,还计算了 500—1000hPa 之间的厚度变化,发现在气旋爆发前的 2—3 天内  $60^\circ\text{N}$  纬圈平均厚度是逐渐减小的,而气旋爆发后厚度增加。 $40^\circ\text{N}$  纬圈的变化与  $60^\circ\text{N}$  恰恰相反,5/6 的个例爆发前厚度增加,爆发后厚度减小。这一结果说明气旋爆发前有高纬气层变冷中纬气层变暖的趋势,中高纬的南北温度梯度加大,从而使  $40—60^\circ\text{N}$  之间斜压性加强。

## 2.4 6 例合成分析

对上面提到的 6 个例子,以气旋爆发日为第零天,分别向前后延伸 4 天和 2 天计算 6 例合成的有关物理量。为直观起见,我们用图进行说明。图 2 分别给出 1、2、3、4 波振幅变化。因为这 6 例气旋爆发前的优势波不同,合成以后的谐波参数只表现出 3 波的优势,这与 3 波是冬季盛行波有关。4 波的变化是显著的,我们看到在  $45^\circ\text{N}$ ,气旋爆发前 2 天(即 -2 天)开始振幅由 46gpm 增至 77gpm,到爆发前一天继续增幅到 81gpm。由此可见长波增幅是明显的。图 3 给出 2 波、3 波位相的水平结构,2 波在气旋爆发前 1 天,槽线转为近似南北向,之后直到爆发后的 2 天都表现为  $40^\circ\text{N}$  位相比  $60^\circ\text{N}$  超前。3 波位相的变化也有类似的情况,表现为从爆发前的第 3 天开始槽线从  $60^\circ\text{N}$  到  $40^\circ\text{N}$  倾斜度减小,气

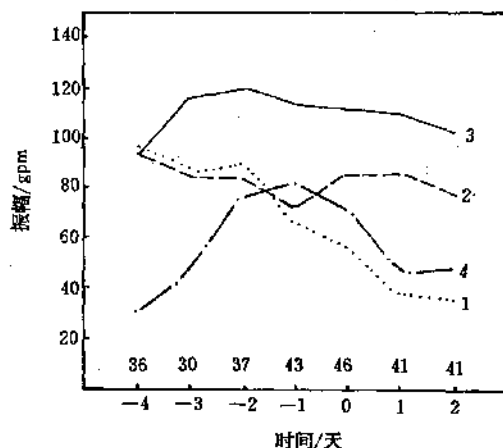


图 2 1、2、3 波( $60^\circ\text{N}$ ), 4 波( $45^\circ\text{N}$ )振幅  
图中下方数字是地转西风风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

旋爆发后又加大。

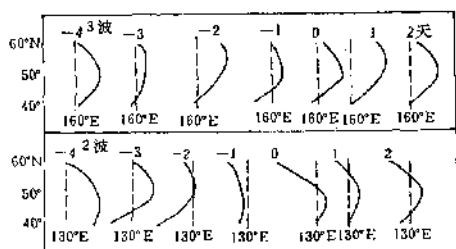


图3 2、3波槽线

西风急流的变化也是明显的,图2下方的数字为西风急流中心值,我们看到在爆发前一天西风急流加强到  $43\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,爆发日达到最大为  $46\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,这与前面的分析是一致的。图4、5分别给出南北风速的变化及500—1000hPa厚度变化,这些量的变化特征与前面提到的特征是一致的。

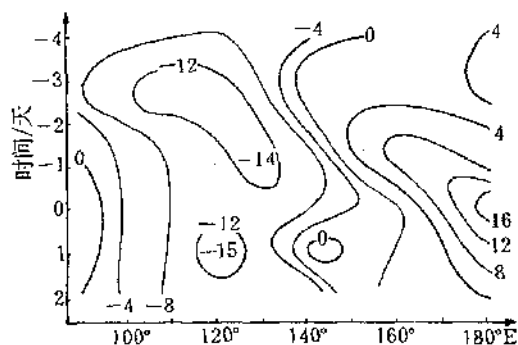


图4 500hPa 50°N V剖面(单位  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

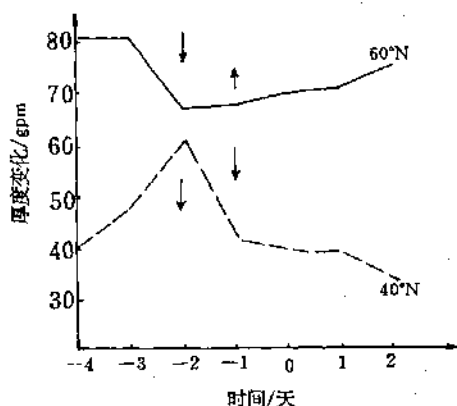


图5 500—1000hPa厚度变化

由6例合成分析我们更定量地看到了各

物理量的变化特征。

### 3 气旋爆发性发展的中期预报着眼点

目前,各种动力学模式预报温带气旋的爆发性发展已有一定进展,但效果仍不能满足中期预报的需要,欧洲中期预报中心对于爆发性气旋的预报准确率只有30%\*,因此在业务预报中须借助多种手段进行预报。上面的统计分析给出了气旋爆发前表征大尺度环流特征的各项物理量的演变情况,对这些量的中期预报,数值模式已达到相当好的水平,对这些量进行归纳,总结出气旋爆发的中期预报着眼点,目的是为了利用数值预报产品,对温带气旋的爆发作出定性的中期预报。

3.1 500hPa 西风急流加强,中心风速  $> 40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,同时在急流北侧上下游分别出现  $> 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的北风区和南风区,最大北风中心向东移动。

3.2 500hPa 超长波特别是2波和3波水平结构发生变化,即从  $60^\circ\text{N}$  到  $40^\circ\text{N}$  波槽由东北—西南走向转为近似南北向或西北—东南走向,同时在  $40^\circ\text{N}$ — $60^\circ\text{N}$  伴有长波增幅过程。

3.3 超长波垂直结构变化,自500—100hPa超长波西倾程度减小甚至转为东倾。

3.4 500—1000hPa之间的厚度变化,表现为在  $60^\circ\text{N}$  纬圈由减小转为增加,  $40^\circ\text{N}$  纬圈厚度由增加转为减小。

在以上诸条满足的情况下,可以预测,在500hPa 急流出口区北侧或北方约5—15纬距内,优势波槽前大约10—40经距内气旋有可能爆发性发展。在当前数值预报已能对5天以内的大尺度系统作出较好预报的情况下,可以有效地延长预报时效。

当前数值预报对大型环流的中期预报已经达到较好的水平。由表3可见,西风急流中心风速、2波位相、5波振幅等逐项预报很接

\* 林明智、李修芳、余鹤书. 综合法预报爆发性气旋的初步尝试。国家气象中心技术报告9111号。

近实际,120 小时预报结果也有相当的水准。 的特征,我们可以提前 4—5 天对气旋的爆发  
因此借助数值预报产品,根据上述各物理量 作定性预报。

表 3 1988 年 1 月爆发气旋个例\*

| 日期   | 西风急流<br>中心强度 | 60°N k=2 |          | 50°N k=5 |        | 海平面气压(50°N,135°E) |      |      |
|------|--------------|----------|----------|----------|--------|-------------------|------|------|
|      |              | 振幅       | 位相       | 振幅       | 位相     | 0                 | 96   | 120  |
| 6 日  | 40(34)       | 163(199) | 138(14)  | 8(34)    | 29(34) | 1005              | 998  | 1005 |
| 7 日  | 38(41)       | 149(170) | 136(138) | 35(11)   | 8(44)  | 1016              | 1006 | 1009 |
| 8 日  | 53(57)       | 157(137) | 131(142) | 73(39)   | 15(13) | 1001              | 996  | 997  |
| 9 日  | 64(66)       | 141(145) | 123(127) | 92(72)   | 24(23) | 962               | 978  | 975  |
| 10 日 | 63(63)       | 151(159) | 114(111) | 67(66)   | 41(40) | 978               | 962  | 979  |
| 11 日 | 58(62)       | 174(192) | 110(111) | 36(38)   | 60(63) | 981               | 986  | 975  |

\* 括号内数字为相应的 EC96 小时预报值

## 参考文献

- 1 仪菊菊,丁一汇. 海洋温带气旋发生发展的研究, 大气科学, 1989, 13(2): 238-246.
- 2 仇永炎等. 中期天气预报. 北京: 科学出版社, 1985: 320.

# On the Background Situation and Midium-Range Forecasting of the Explosively Developing Cyclones over the Temperate Zone

Li Xiaodong Ma Dezhen

(National Meteorological Centre, Beijing 100081)

## Abstract

Based on the analysis of the Features with the physical quantities of the relative parameters 5 days before the explosive development of the cyclones over the Northwest Pacific in winters during 1975—1988, it is found out that the locations of the explosive cyclones are related with the disposal of the ultra-long wave, long wave and the location of the westerly jet center in the middle-up troposphere. The studies lay a solid foundation to improve the medium-range forecasting. The forecasting rangs can be extended longer with NWP products.

**Key Words:** ultra-long wave westerly jet temperate zone cyclones explosive development