

自动临近预报技术在一次大范围强对流天气中的应用

梁卫芳, 杨育强, 薛允传

(青岛市气象局, 青岛 266003)

摘 要: 对流性暴雨、雷雨大风、飏线和冰雹等强对流天气, 具有突发性强、局地性强、破坏性大等特点, 对这类天气的临近预报和预警是防灾减灾工作的重点和难点。这类天气中大量存在的是非线性问题, 但由于非线性计算复杂性等原因, 在实际应用中线性外推还是被经常使用^[7]。本文利用发生在 2005 年 6 月 30 日, 青岛历史上罕见的的一次强对流天气的多普勒雷达资料, 对线性外推的结果进行了分析, 以期对这类天气有更深入的了解。分析认为, TITAN 算法和 CTREC 算法通过对强度资料的应用, 其结果有很好的参考价值。在较短的时间内, 线性假设的误差较小, 无论对雷暴发展的趋势还是雷暴天气的落区, 都有较好的指导意义, 其中对区域移动方向的预报, 效果好于其它要素。而对于较长时段的预报, 特别是超过 1 小时的预报, 则误差明显增大。

关键词: 强对流天气; 雷暴识别和跟踪; 区域跟踪

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 0239 (2007) 2 - 0091 - 07

1 引言

对流性暴雨、雷雨大风、飏线和冰雹等强对流天气, 具有突发性强、局地性强、破坏性大等特点, 对这类天气的临近预报和预警是防灾减灾工作的重点和难点, 而对这类天气动力和能量参数具有一定的指示意义, 如李耀东^[1]等在这方面做过大量探索。多普勒雷达网的建设, 使得对这类天气的形成机理的研究有了更深入的认识, 如吴书君^[2]、伍志方^[3]等的研究。

在强对流天气的研究中, 尽管大量的非线性问题, 但由于非线性计算复杂性等原因, 在实际应用中线性外推还是被经常使用。本文利用发生在 2005 年 6 月 30 日, 青岛历史上罕见的的一次强对流天气的多普勒雷达资料, 对线性外推的结果进行了分析, 以期对这类天气有更深入的了解。

2 天气实况及天气背景概述

2005 年 6 月 30 日 12 时 30 分至 16 时 42 分, 受副高边缘西风槽影响, 青岛所属的平度北部地区、莱西中西部地区出现了从西偏北向东偏南方向移动的大范围的强对流天气, 其强度之强、维持时间之长、影响范围之大在青岛地区非常罕见。尽管进行了消雹作业,

但由于系统太强,还是造成了很大的损失。据调查,这次过程中发现的冰雹最大直径达 30mm。雷雨大风和冰雹过处,造成部分大树被连根拔起或拦腰折断,房屋屋顶和瓦片被吹落地面,通信线杆成排刮倒,春玉米部分绝产,果树和葡萄幼果大量脱落,据初步统计,平度市店子、崔召、大田、云山、祝沟镇造成直接经济损失 8 255.65 万元。

6 月 30 日 08 时 500hPa 形势(见图 1b),东北冷涡冷槽南伸,到达济南附近,副高的 588 线北边缘到达 33°N 附近,地面上青岛地区则处于气旋前部。与 500 hPa 形势类似,850hPa 和 700 hPa 上副高边沿与高空槽前也有 10m/s 以上的偏南气流将来自南部海区的水汽向青岛地区上空输送。良好的水汽输送为超级单体发展提供了丰沛的水汽供应。6 月 30 日 08 时 T-lnp 图显示(见图 1c),低空偏南暖湿气流与中高层冷平流同时输送到青岛地区上空的大气柱中,使得青岛上空的大气处于强烈的不稳定状态。随着西风槽的逼近,中低层辐合加强,终于酿成了强对流天气的发生。而从雷达资料的分析中可以看到,在天气尺度的辐合区中,产生了由三个强中心组成的雷暴,其中一个中心已成为超级单体。冰雹过程的持续跟超级单体的维持密切相关。在多普勒风场 PPI 上也能看到中气旋和中尺度的轴对称径向辐合气流场^[4]。正是由于这种强烈的中尺度系统的存在,使得这次强对流天气的强度特别强,影响范围也特别大,维持时间也特别长。

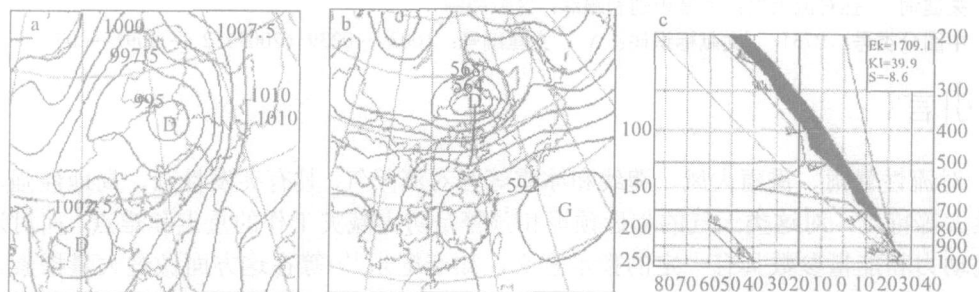


图 1 2005 年 6 月 30 日天气形势

(a. 11 时地面形势; b. 08 时 500hPa 形势; c. 08 时 T-lnp 图)

3 线性外推的应用分析

3.1 线性外推算法简介

雷暴单体生命史约 20 ~ 30 分钟,多单体、超级单体风暴生命史在 30 分钟至 2 小时,可谓“来也匆匆、去也匆匆”。目前,对于监测和预报这类天气,最有效的工具是多普勒雷达。近几年来,国内外发展了许多以雷达资料为基础的雷暴自动识别和追踪预报技术,在交叉相关、模式识别、质心追踪的基础上,开发了许多雷暴分析和临近预报工具。本文所用的算法为 TITAN 算法(雷暴识别、跟踪、分析和临近预报)和 CTREC(交叉相关追踪)算法。

TITAN 算法^[5]利用三维直角坐标系统雷达反射率因子资料实现雷暴识别和追踪。

雷暴定义为反射率因子 $\geq 35\text{dBZ}$, 回波的体积 $\geq 50\text{km}^3$ 的区域。雷暴识别首先将 PPI 资料插值到迪卡尔坐标中, 识别时将该资料在 (x, y) 平面上分为很小的网格点, 首先在 x 方向识别反射率 $\geq 35\text{dBZ}$ 的连续区域, 再识别 y 方向, 然后拓展到 z 方向, 最终识别出雷暴的三维结构。对雷暴特征的分析是根据反射率因子识别出雷暴的三维结构, 分析出中心(雷暴质心)、雷暴体积、雷暴投影到水平面上的面积大小和形状、雷暴顶和底等。雷暴追踪在上述识别的雷暴特征的基础上, 追踪和分析雷暴在过去的发展和演变。TITAN 在对雷暴追踪时, 首先假设 T_1 和 T_2 是相邻的两个雷达体扫资料的时间, 并遵循以下原则: a. 宁短不长; b. 特征相似; c. 演变限制。然后, 根据雷暴特征定义一个特征代价函数, 通过使这个代价函数最小化来最终确定雷暴过去发展和移动特征。雷暴的预报使用了一组判断因子, 其中最重要的因子是反射率质心、雷暴的体积、投影区域(多边形)。预报时首先假设雷暴沿直线运动, 雷暴的增强和减弱是线性的。另外, 对合并和分裂雷暴的位置和形状, 进行了特殊处理。对雷暴单体的运动合并, 保留对最强回波的追踪, 其它的追踪停止, 移动速度也设置为最强回波的移动速度。对于新生成的雷暴, 其移动速度和增减速度均设为 0。对于分裂的雷暴, 保留对最强回波的追踪, 对不能匹配的雷暴, 简单生成新的追踪, 对子雷暴的运动设置, 则根据其所占父雷暴的体积比例来设置。

CTREC 算法利用交叉相关分析, 追踪反射率因子大于一定阈值(系统中设置为 12dbz) 区域的移动, 推算回波的移动。使用一定时间间隔 t 的 3.5kmCAPPI 资料, 将雷达扫描的反射率场分成若干个大小相当的“区域”, 这些“区域”具有相同的像素点。将这些“区域”某一时刻 t_1 与下一时刻 t_2 ($t_2=t_1+t$) 的各个“区域”作交叉相关, 将前一时刻 t_1 的每个“区域”与下一时刻 t_2 体扫的所有“区域”求相关, 找出相关系数最大的“区域”, 则该“区域”的中心即是 t_2 时刻回波移动的终点。

3.2 雷达原始资料分析

本文提到的雷达原始资料是指青岛的多普勒天气雷达探测获取的二级文档数据, 即通常所说的雷达基数据。青岛的多普勒天气雷达为敏视达生产的 SA 型雷达, 本次过程使用的体扫模式为 21 模式。

6 月 30 日 11 时 50 分左右, 有一雷暴单体自西偏北方向向东偏南方向边移动, 边加强边进入平度境内。该单体加强的原因, 是它处在中低空风场辐合带的左侧, 它前部的中低空为东南风, 风速达到 $15 \sim 24\text{m/s}$, 这正是水汽向青岛地区上空输送的低空激流带。在高空, 则吹西北风, 一方面表明高空已经有冷空气到达本地区上空, 大气的不稳定状态进一步加剧, 另一方面, 风向随高度在有序的顺转, 强垂直风切变的存在也意味着有组织风暴的发生和发展^[6]。至 12 时 02 分, 0.5 度仰角上已经观测到 65dbz 以上的回波, 最强回波出现在 2.5 度仰角上, 中心最大值为 74dbz , 65dbz , 回波一直伸展至 10km 左右的高度上。从实况看, 平度北部的降雹是在 12 时左右开始的。

12 时 02 分的风场资料, 则在回波中心的西北部与昌邑交界处出现了中尺度的轴对

称径向辐合气流场，东北部高仰角也有风辐合带。该中心附近中气旋正在形成，到下一时次，中心强度进一步加强，而对应于西北部中尺度的对称径向辐合气流场和东北部风辐合带的附近，分别有新的中心出现，整个雷暴包含了 3 个单体（见图 2b），南部与中气旋对应的单体最强，其后发展为超级单体，次强是西北部的单体，东北部的单体相对较弱。此时在 0.5 度仰角的风场上可以看到，南部的中气旋已经形成，而西北部的轴对称径向辐合气流场发展为气旋性辐合风场（见图 2a）。

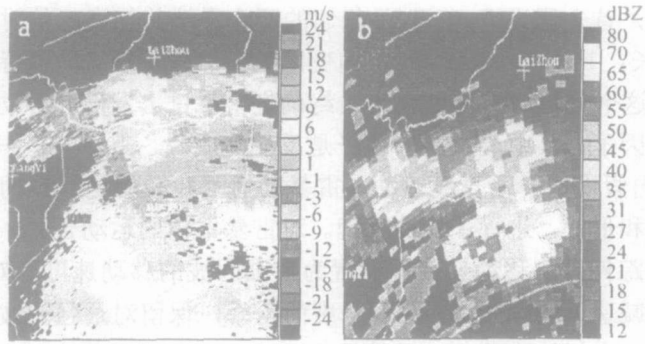


图 2 2005 年 6 月 30 日 12 时 08 分 0.5 度仰角的多普勒风场 (a) 和强度 (b)

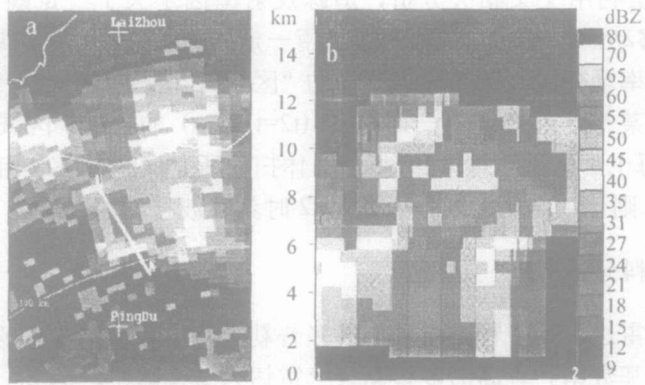


图 3 12 时 21 分的剖面图 (b)，和剖面图的位置 (a)

12 时 21 分，在最强回波处的剖面图上，已经能清楚地看到穹隆结构（见图 3）。12 时 33 分，三个单体的强度达到最强，最强单体仍有穹隆结构。风场资料显示，西北部的气旋性辐合风场已经不大清晰，中气旋也在减弱，说明超级单体开始减弱。至 12 时 45 分，东北部单体消失，西北部单体也明显减弱，中气旋也减弱为气旋性辐合风场，但其对应的位于南部的最强单体仍有穹隆结构，说明强势天气一时还不会停止。

14 时 11 分，中气旋减弱后的辐合风场已经不清晰。14 时 29 分，回波的中心最大值已经降到 50dbz，14 时 35 分降到 45dbz，此时从经验推断降雹应该已经停止，灾情报告可能存在记时差异。但可以推测，当回波中心强度最大值降到 50dbz 以后，仍然可能有冰雹降到地面。

3.3 线性外推算法的应用分析

从对原始资料的分析可以看出，影响青岛的雷暴在 12 时 33 分达到最强，该时刻前后回波的变化趋势是不同的。因此，为了更好地说明问题，我们对该时刻前后的情况分开检验，60 分钟和 120 分钟预报用另外一个影响青岛以北周边地区的雷暴检验。

3.3.1 TITAN 算法的应用分析

图 4(a、c) 为 11 时 44 分的 30 分钟区域外推预报,以及 12 时 14 分的雷暴区域实况。11 时 44 分, TITAN 算法在平度境内识别出 4 个雷暴单体。随后 30 分钟内的实际演变是在平度西北部的雷暴单体发生了合并，东北部的雷暴减弱消失。可以看到，TITAN 算法对发生合并的雷暴所预报的移动速度和增强速度都偏慢，而对减弱的雷暴，预报的减弱速度偏慢，但移动速度和方向与实况吻合的较好。13 时 28 分的 30 分钟预报与 13 时 58 分实况对比，此时的超级单体被识别为一个雷暴，预报的雷暴减弱速度偏慢，预报的移动速度也略偏慢，移向误差比超级单体要小。

分析 12 时 30 分至 16 时 42 分的时段，12 时 33 分之前或之后其它时刻的资料， 30 分钟预报的效果大抵如此。而在跨越 12 时 33 分的时段上，明显的跨越了一个系统非线性变化的时刻，趋势预报与实况相反，但移动的方向仍然是可参考的。

鉴于 12 时 30 分至 16 时 42 分的时段，明显的跨越了一个系统非线性发展的时刻，60 分钟图 4 (b、d) 和 120 分钟线性外推的误差较大，所以在检验时选用了另外时段的资料。同日的 08 时至 11 时左右，青岛以北的周边地区，也检测到雷暴群。该雷暴群是在西风带系统上发展的，多普勒风场资料分析没有出现气旋性辐合风场等强烈的动力结构，其演变和运动相对稳定，我们用这个时段的资料对 60 分钟和 120 分钟外推预报进行检验；60 分钟的预报，增强或减弱趋势的预测基本正确，系统移动方向的可参考性较好；120 分钟的预报，系统移动方向的预测具有一定的可参考性。

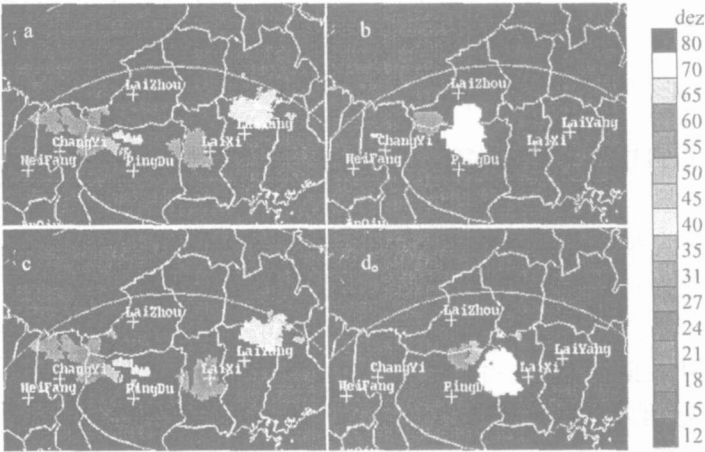


图 4 TITAN 算法 11 时 44 分的 30 分钟预报 (a)、60 分钟预报 (c)、12 时 14 分雷暴区域实况 (b)、12 时 45 分雷暴区域实况 (d)

总的来说，在个例分析中，TITAN 算法在 30 分钟内对于天气发展的趋势和落区预报具有较好的指导意义，但需要预报员密切注意天气的动力条件和热力条件的变化，及时发现系统发展的转折期。毕竟，强对流天气的发展变化过程中大量存在的是非线性问题，能够线性外推的时间很短。时间较长的外推，线性假设的误差增大，需要预报员结合系统的动力和热力条件判断预报结果的可信度。而移动方向的可参考性好于其他要素的可参考性。

敏视达提供了以 SCIT 算法为基础的雷暴跟踪信息。在总结不同的分析预报系统在个例中的应用情况时，我们发现，在追踪超级单体时，TITAN 的结果优于 SCIT 算法的结果。SCIT 算法是单体质心算法，在只有一个质心的情况下对路径的分析和预报与 TITAN 追踪的结果基本一致。但对超级单体的预报比较混乱。由于单体质心之间距离太近，该算法判断单体质心间发生交叉移动，对判断风暴整体情况指导意义不大。但 TITAN 算法克服了这个问题，判断系统整体发展和移动情况也符合主观判断的结果。

3.3.2 CTREC 算法的应用分析。

图 5 为 11 时 44 分在区域跟踪算法得到的风场信息。区域跟踪对整个区域的移动情况提供了更为具体的信息，从图中可以明显的看到箭头指示的回波移动方向发生转折的位置。这个位置的两侧也可能分别对应于局地辐合、辐散的区域。这种特征对于帮助预报员主观判断局地天气的发展趋势、预测强天气的落区是非常有帮助的，尤其是在涡旋系统影响时。

CTREC 算法的外推预报与 TITAN 算法的结果有相似之处，不再另外叙述。



图 5 11 时 44 分区域跟踪算法得到的回波移动矢量场

4 分析与总结

以上分析了 TITAN 算法和 CTREC 算法在 2005 年 6 月 30 日强对流天气中的应用情况，总结如下：

35dbz 的回波本身并不会造成强烈的天气系统，但它具有一定的空间分布的回波，在有利的动力条件和热力条件下，会迅速发展，进而造成灾害。而当外部条件不利时，也会迅速减弱，这种变化在很多情况下是非线性的。TITAN 算法和 CTREC 算法通过对强度资料的应用，虽然仅仅使用了简单的线性外推，其结果仍有很好的参考价值。在较短的时间内，线性假设的误差较小，无论是天气发展的趋势还是落区，都有较好的预报效果。但要注意系统发展的转折点，当预报的时段跨越该点时，会发生明显的差错。而对于较长时段的预报，特别是超过 1 小时的预报，则误差明显增大。

TITAN 算法和 CTREC 算法对系统移动方向的预报，预报效果要好于其它要素。另

外, CTREC 算法对整个区域的移动情况提供了更为具体的信息, 对预报员主观判断强天气的落区以及发展趋势非常有帮助。

参考文献:

- [1] 李耀东, 高守亭, 刘建文. 动力和能量参数在强对流天气预报中的应用 [J]. 应用气象学报, 2004.
- [2] 吴书君, 王凤娇, 王立静. 强对流天气的多普勒径向速度分析 [J]. 山东气象, 2002.
- [3] 伍志方. 广州地区 7.17 大暴雨及强对流的多普勒雷达资料分析 [J]. 广东气象, 2002.
- [4] 胡明宝, 等. 多普勒天气雷达资料分析与应用 [M]. 北京: 解放军出版社. 2000.
- [5] Dixon M, Wiener G. TiTan: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting - A radar-based Methodology. J Atmos Ocean Tech, 1993, 10: 785 ~ 797.
- [6] 俞小鼎, 等. 新一代天气雷达原理和应用讲义 (修订本). 中国气象局培训中心, 2004.

Applications of Auto-nowcasting technology in once Large-area strong weather

LIANG Wei-fang, YANG Yu-qiang, XUE Yun-chuan

(QingDao Weather Bureau, Qingdao 266003 China)

Abstract: Strong Weather like heavy rain, strong wind, hail etc, happens burnning out, locally, and it is dangerous. Forcasting them, and sending out alarm signal is too important for avoiding disaster. In such atomosphere, nonlinear is regular, but for some reason, linear algorithms is used usually. In this paper, we have a look at the applications of TITAN and CTREC algorithms in once large-area strong weather in Qingdao, and compare it to base-data of Dopplor Radar. It shows TITAN and CTREC works helpfully.

Keywords: Strong Weather; TITAN; CTREC