

溃变理论在西北地区冰雹天气预报中的应用

王若升¹, 董安祥², 樊晓春¹, 王丽娜¹

(1. 甘肃省平凉市气象局, 甘肃 平凉 744000 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020)

摘要 根据“溃变理论”和V—3θ图预报工具, 制作了西北地区36个探空站点的V—3θ图。通过对2004年8月发生在青海西部、甘肃东南部和宁夏南部的一次大范围冰雹天气过程V—3θ图综合分析, 结果表明, 在干旱半干旱地区, 基于溃变理论的预报工具对冰雹天气具有一定的预报能力。

关键词 西北地区; 溃变理论; 冰雹

中图分类号: P456

文献标识码: A

西北地区是我国冰雹的多发区, 据近41 a的资料统计表明, 西北地区的平均冰雹日数在0~20 d之间^[1]。冰雹是强对流天气的产物, 强对流天气是一种空间尺度小、生命史短、来势凶猛、破坏性大的突发性天气。近些年来对于强对流天气的预报经历了经验预报、天气模式预报、模式输出统计预报、数值预报、多方法集成预报的发展过程^[2], 在这一历程中, 诸多气象工作者就强对流天气的预报总结了不少经验型的理论和规律, 并在实际业务中得到了广泛的应用。但是目前业务中对冰雹天气的预报失误仍较高, 强对流天气的预报仍然是一个难点。

欧阳首承提出的溃变理论以一种新的思路来分析和研究大气运动的演变过程, 对天气的转折性变化如暴雨、强对流有明显的预报能力, 并已在四川、湖北、广西、广东、辽宁等气象台试用^[3~4], 取得了相当好的效果。在天气预报中, 溃变理论提出了以涡动的旋矢性(滚流)、风矢不连续性、超低温和反序量构成的图像结构分析体系^[5~6]。“旋矢性”分析测站上空风矢的顺时针或逆时针滚流结构; “超低温”分析对流层顶或平流层底大气气温随气压的下降而陡然降低或不变, 来预报灾害性天气; 风场的非连续带可以确定“次涡旋”; “反序量”一改传统的按照压、温、湿、风的顺序为风、湿、温、压的顺序, 并以风为主来分析信息^[5~6]。

本文通过应用结构预测法对西北地区一次较大

范围的冰雹天气进行分析, 探讨了西北地区冰雹天气发生前的结构特征及其演变, 旨在探讨溃变理论在西北地区冰雹等强对流天气预报中的有效性, 为气象台站在短期预报中提供一个参考工具。

1 溃变原理

欧阳首承在研究流体的演变中发现, 运动流体可通过不连续的逆向相反的方向演化, 如辐合可以随浪花的跌落转化为辐散, 基于这种现象用线性化模型和连续性思维无法解释的思考和描述流体运动的N—S方程的分析^[7], 经过对近30多a, 1600多个实测个例的检验表明, 不连续信息可以预报天气现象的转折性变化, 由此总结出天气预报的溃变理论和预报体系。溃变理论认为, 对流层大气运动在物理上表现为南、北热量差和地球旋转运动准相当作用下的涡旋流的非均匀演化, 气流的非均匀信息是天气系统转折性变化的前提, 大气运动方程组在数学上表现为时间演化的不适定问题, 非均匀演化可导致不连续, 并可通过不连续的逆向转变体现转折性变化, 溃变揭示了“旧结构崩溃转变为新结构”的过程, 所以, 大气演化转折性变化的预测首先是寻求不连续因子和非均匀信息^[8]。根据这一观点设计了预测天气系统转折性变化的“第一防线”——溃变图, 而对于强对流天气设计了“第二防线”的“风矢不连续与3θ非均匀信息预测系统”——V—3θ图。

收稿日期: 2005-11-28 改回日期: 2006-03-13

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究项目“西北地区人工防雹消雹技术”(2002DIB10046)资助

作者简介: 王若升(1974-)男, 甘肃静宁人, 工程师, 主要从事短期天气预报、软件开发等研究。

2 V—3 θ 图及结构预测

2.1 V—3 θ 图

结构预测法根据 V—3 θ 图的图像结构来预测天气的转折性变化。V—3 θ 图是用单站探空资料计算和绘制出的垂直方向上的两维图。纵坐标表示气压的对数 ($\ln P$) 以 hPa 为单位, 横坐标表示温度, 以 K 为单位, V 表示探空资料中风向、风速的实时观测数据, 在 θ 曲线上显示。3 θ 即 θ 、 θ_{sed} 、 θ_* , 其中 θ 是位温, θ_{sed} 是以露点温度计算的假相当位温, 一般比凝结高度温度计算值偏大, 这是基于对副热带高压和干旱地区上空水汽的分布状况, 温度计的滞后性考虑而设计的 θ_* 是假定饱和状态下的位温。V—3 θ 图中 3 条曲线从左向右依此为 θ 、 θ_{sed} 、 θ_* 。

对于 V—3 θ 图的绘制, 我们设计了专门的程序, 该程序利用 Micaps 数据接口, 调用 Micaps 的第 5 类数据格式, 可以生成任一探空站点 08、20 时 V—3 θ 图。图像除可在屏幕上显示外还可以打印输出。程序操作简捷方便, 图 1 是程序界面中显示的西北区 V—3 θ 站点。预报员可根据需要分析测站及上下游区探空站点 V—3 θ 图的分布特征。

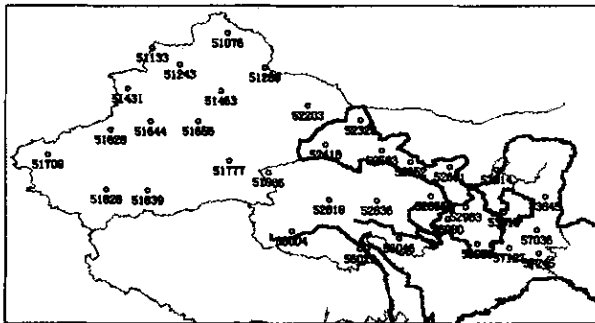


图 1 西北区 V—3 θ 站点

Fig. 1 The V—3 θ stations in northwest China

2.2 V—3 θ 图特征分析

分析 V—3 θ 图时除了分析 3 条曲线的数值外, 主要还要分析每条曲线的形态及它们围成图像的特征。利用结构预测法在分析 V—3 θ 图时着重分析以下几点。

2.2.1 结构的非均匀性

在 V—3 θ 图上若 3 条曲线随 P 的减小向右倾呈线性增长, 则表示运动大气的对流层结构是均匀的。若 3 条曲线随 P 的减小向左倾呈线性增长, 或者随 P 减小不变或少变, 则是表示大气的垂直结构极度不均

匀。3 条曲线左倾为非均匀结构, 表示潜在顺时针滚流; 3 条曲线右倾并显示均匀结构, 潜在逆时针滚流或无滚流。若 θ_{sed} 线和 θ 线靠近, 通常情况下若 $\theta - \theta_{\text{sed}} < 10 \text{ K}$ 表示水汽充沛。若 θ_{sed} 线向 θ 靠近, 表示水汽不足。如果站点上空水汽分布呈现上层干下层湿、中层湿低层和高层干等分布特征, 则表示水汽分布极度不均匀, 说明有潜在的不稳定。

2.2.2 超低温

3 条曲线, 尤为 θ_* 曲线在 300 ~ 100 hPa 附近成陡然左倾或准平行于 P 轴(与 T 轴成钝角), 或右倾中偏左有拐角, 表示对流层顶附近有超低温现象存在。

2.2.3 滚流的判断

滚流分一致风和非一致风 2 种情况来判断。一致风时因风速一般是高空风速大, 低层风速小, 因而由于风速的切变也可产生滚流。一致 W 风和一致 S 风为顺时针滚流; 一致 N 风和一致 E 风为逆时针滚流。SE 一致风和 SW 一致风的作用是相互抵消的, 应以分量的大小和风的来源而决定。

不是一致风时, 上层 W 风, 下层 E 风为顺时针滚流, 上层 N 风, 下层 S 风为顺时针滚流; 反之如果上层 E 风, 下层 W 风为逆时针滚流, 上层 S 风, 下层 N 风为逆时针滚流。其中相应的 N 风、S 风、W 风、E 风都是相应矢量风的分量, 综合分析应以分量大者决定。

3 强对流天气的 V—3 θ 特征

愈是剧烈的灾害性天气发生前在 V—3 θ 图上的特征愈明显。冰雹等强对流天气在 V—3 θ 图上有较为清晰的结构特征, 主要体现在 (1) 强烈的非均匀结构。 θ 线近乎垂直于 T 轴或与 T 轴成钝角, θ_{sed} 和 θ_* 与 T 轴成较大角度的钝角, 水汽的分布也呈现强烈的非均匀。 θ_{sed} 和 θ_* 围成的面积有明显的“细腰”或“大肚子”的图像特征 (2) 对流层中上层存在超低温现象 (3) 有顺滚流。

4 实例分析

2004 年 8 月 16 ~ 18 日, 青海西部、甘肃东部和南部、宁夏南部出现了一次大范围的强对流天气。其中 16 日青海的门源、湟中、化隆, 17 日青海的天峻、刚察、海东, 甘肃的华家岭、平凉、泾川, 18 日青海的刚查、西宁、化隆, 甘肃的碌曲、合作, 宁夏的泾源等地测站降了冰雹。

对本次冰雹过程我们选取降雹地点或距离降雹

地点最近的西宁、合作、平凉 3 站的 V— θ 图进行分析(图 2、3、4)。

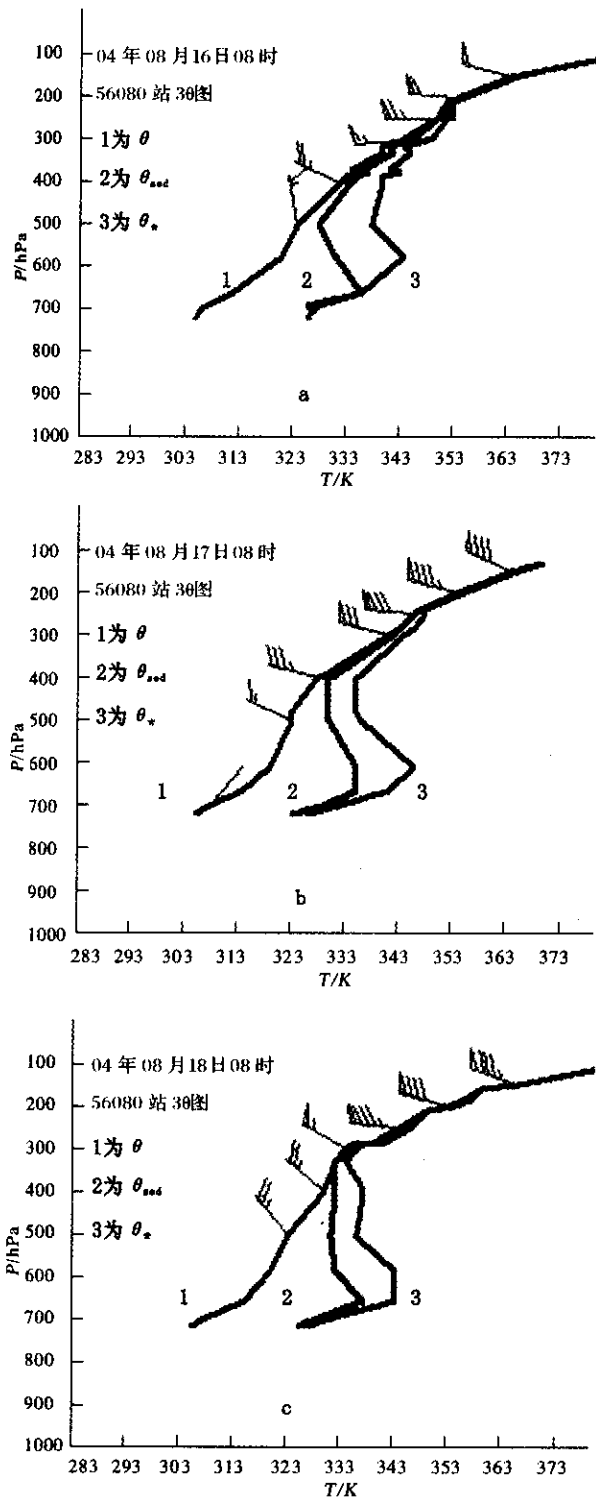


图 2 2004 年 8 月 16 ~ 18 日 08 时西宁 V— θ 图
Fig. 2 The V— θ figures at 08 00 on 16th, 17th, 18th, August, 2004 at Xining station

图 2a 是西宁 8 月 16 日 08 时的 θ 图。图中 500 ~ 600 hPa 非均匀特征明显, θ 线与 T 轴近乎垂直, 成明显的“铲形”, θ_{sed} 和 θ_* 明显左倾, 300 hPa 附近有超低温存在, 300 ~ 500 hPa 呈较弱的非均匀特征。水汽分布也出现了近地层、500 hPa 2 个湿层, 600、700 hPa 2 个相对干层。风场上高层的偏西北风和低层弱的偏西南风构成了顺滚流。

图 2b 是西宁 8 月 17 日 08 时的 θ 图。由图可见 700 ~ 400 hPa 成弱的非均匀特征, 300 hPa 附近超低温较 16 日减弱, 低层和 500 hPa 以上为相对湿层, 700 hPa 附近为一相对干层。高层的偏西风 and 低层的弱偏西风构成顺滚流。

图 2c 是西宁 8 月 18 日 08 时的 θ 图。图中近地层到 700 hPa 为一逆温层, 相对稳定, 400 ~ 600 hPa 3 条曲线均呈非均匀分布特征, 400 hPa 附近有较弱的非均匀特征, 而 400 ~ 250 hPa 附近又呈现较强的非均匀特征, 250 hPa 存在强的超低温。水汽分布也呈非均匀特征, 近地层到 700 hPa 为相对湿层, 700 ~ 500 hPa 为相对干层, 而 500 hPa 以上又为相对湿层。高层的偏西风和低层的弱偏西风构成顺滚流。

图 3a 是合作 8 月 16 日 08 时的 θ 图。图中 θ 线随 P 成线性增长, 无非均匀特征, 无超低温。

图 3b 是合作 8 月 17 日 08 时的 θ 图, 相对于图 3a 而言 3 条曲线开始向左倾斜, 400 ~ 700 hPa 出现了弱的非均匀特征, 但无超低温, 说明能量正在积蓄。

图 3c 是合作 8 月 18 日 08 时的 θ 图。图中近地层逆温层仍然存在, 3 条曲线 16、17 日明显左倾, 700 ~ 500 hPa 和 400 ~ 300 hPa 出现了非均匀, 且 300 hPa 也出现了超低温。水汽的分布也呈现非均匀特征, 近地层湿度很大, 接近饱和, 600 hPa 和 400 hPa 相对较干。

图 4a 是平凉 8 月 16 日 08 时的 θ 图。图中 800 ~ 700 hPa 附近 θ 线有弱的非均匀特征, 但层次较薄, 且 700 hPa 以上 3 条曲线为线性分布。300 hPa 附近也有弱的超低温存在, 但高层的偏西南风和低层的西北风构成了逆滚流, 不利于对流的发展。

图 4b 是平凉 8 月 17 日 08 时的 θ 图。图中 800 ~ 600 hPa 呈强的非均匀特征, 600 ~ 500 hPa 附近为一稳定层结, 500 ~ 300 hPa 有弱的非均匀结构, 300 hPa 附近有较弱的超低温。近地层有逆温且接近饱和, 850 ~ 600 hPa 为相对干层, 600 ~ 300 hPa 为

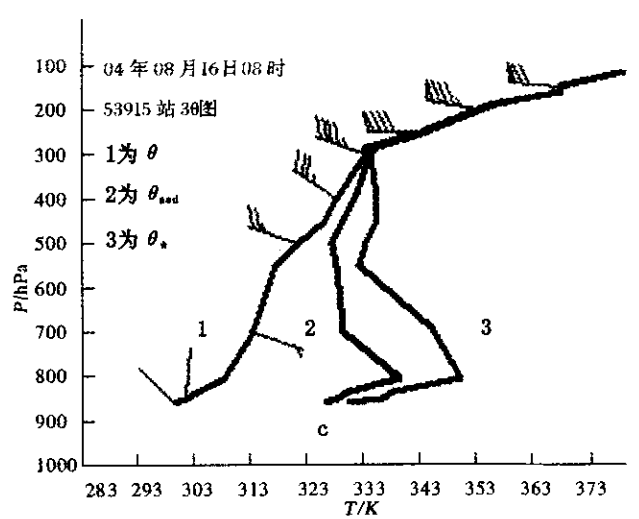
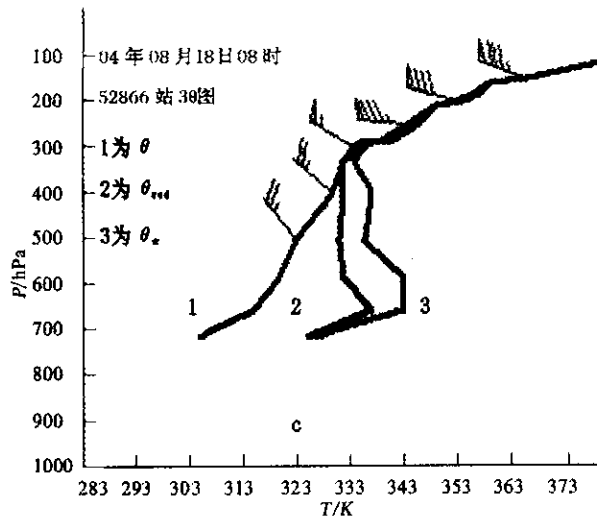
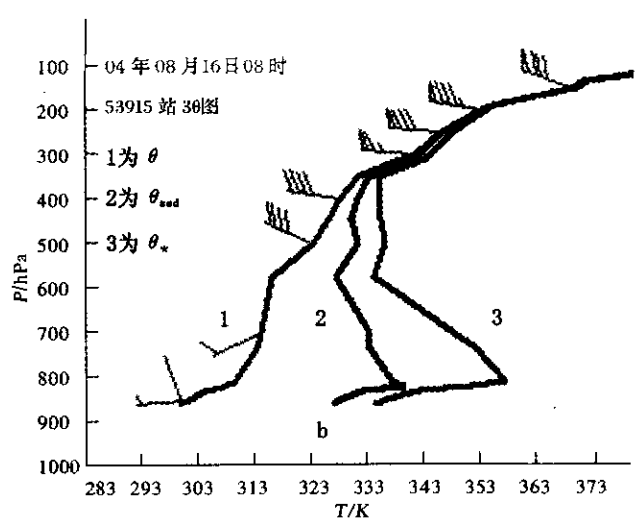
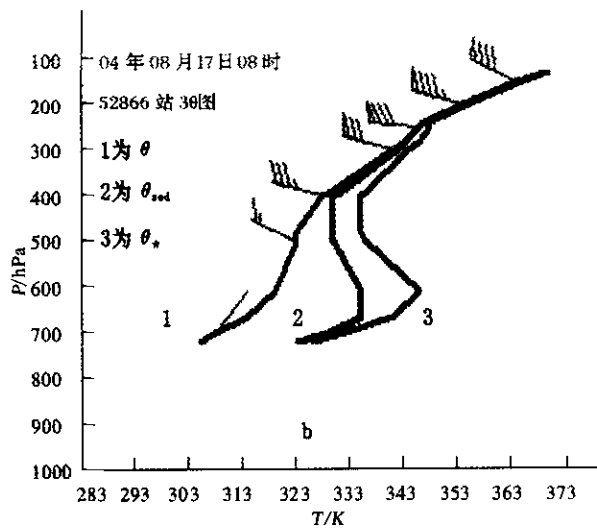
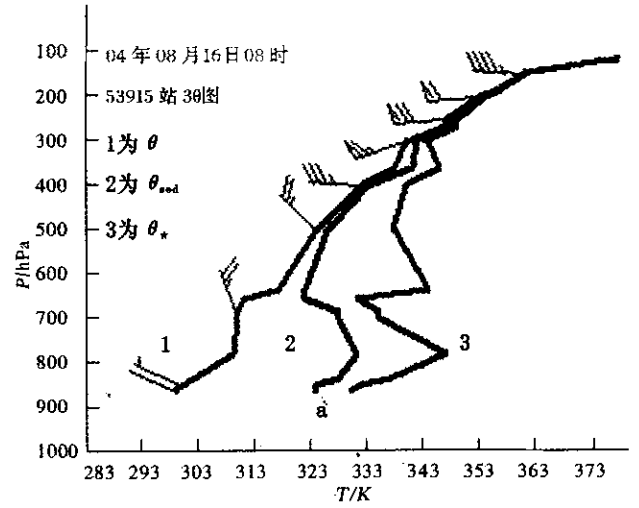
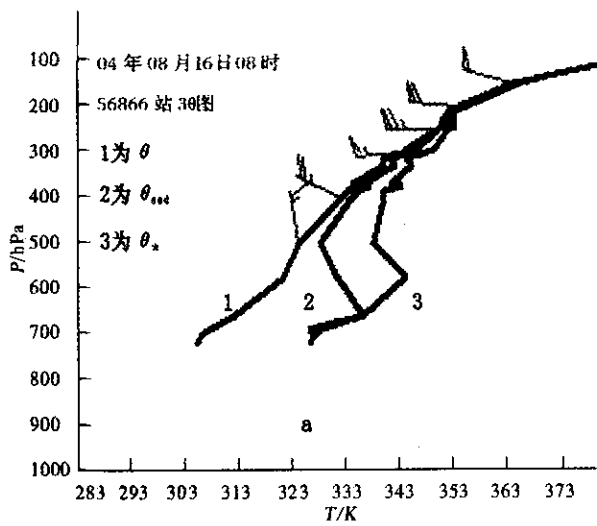


图3 2004年8月16~18日08时合作V—30图
Fig.3 The V—30 figures at 08 00 on August 16th ,
17th ,18th ,2004 at Hezuo station

图4 2004年8月16~18日08时平凉V—30图
Fig.4 The V—30 figures at 08 00 on August 16th ,
17th ,18th ,2004 at Pingliang station

相对湿度层,水汽的分布上下层湿、中层干,在图像上 θ_{scd} 和 θ_2 条曲线构成了典型的“大肚子”特征。高层的偏西风和低层的弱西风构成了顺滚流。

图 4c 是平凉 8 月 18 日 08 时的 3θ 图。该图与图 4b 有较相似的特征,只是中上层 θ_{scd} 和 θ_* 线的分布非均匀特征较图 4b 减弱,另外整层湿度增加,700 hPa 由西南风转为东南风,水汽通道打开,因而更接近于暴雨的 3θ 特征。实况是 19 日陇东出现了区域性的暴雨过程。

综合分析这次西北地区冰雹过程的 V— 3θ 图,

表明冰雹天气在发生前 30 线存在由线性分布向非均匀分布的发展过程,另外水汽的非均匀分布是冰雹天气发生的一个关键因素。

5 效果检验

平凉市 2005 年 5~8 月出现了几次区域性冰雹天气,利用结构分析法 V— 3θ 图对这几次过程进行预报,以有超低温及较强的非均匀结构为主要判别依据,预报结果及冰雹发生前一日 08 时及当日 08 时平凉探空站 V— 3θ 图的结构特征如表 1。

表 1 2005 年 5~8 月平凉冰雹 V— 3θ 图特征

Tab. 1 The V— 3θ figures character of hail from May to August, 2005 at Pingliang station

日期	天气	落区	前一日 V— 3θ 图特征	当日 V— 3θ 图特征	预报
5 月 25 日	冰雹	庄浪、灵台	有超低温,800~600 hPa θ 线有弱非均匀特征(与 T 轴成 80 度角),无顺滚流	有超低温,700~650 hPa θ 线有弱非均匀特征	区域内无雹
5 月 30 日	冰雹	平凉、泾川、灵台	300 hPa 附近有超低温 600~700 hPa 水汽较好,有“细腰”特征	300 hPa 附近有较强的超低温;725~700 hPa,670~580 hPa,550~480 hPa,450~400 hPa 等层 θ 线有非均匀特征; θ_{scd} 与 θ_* 线多拐折,两线构成的图像有“葫芦”状特征;风场有顺滚流	区域内有雹
6 月 20 日	冰雹	庄浪	无超低温,800~550 hPa θ 线有非均匀特征,偏北与偏西风的顺滚流	300~400 hPa 有超低温,800~550 hPa θ 线有非均匀特征,偏东风与偏西风形成较强顺滚流	区域内有雹
6 月 21 日	冰雹	庄浪、静宁	300~400 hPa 有超低温,800~550 hPa θ 线有非均匀特征,偏东风与偏西风形成较强顺滚流	V— 3θ 图同前日的特征几乎相同,只是超低温层次有所抬高	区域内有雹
6 月 27 日	冰雹	泾川	弱的超底温,非均匀特征不明显	300 hPa 附近有超低温, θ 线非均匀特征不明显	区域内无雹
8 月 3 日	冰雹	崇信、泾川	有超低温,非均匀特征不明显	有超低温,400~450 hPa,500~800 hPa θ 线非均匀特征明显	区域内有雹

从上表可以看出,6 次冰雹过程只有 5 月 25 日及 6 月 27 日的 V— 3θ 图非均匀结构特征不明显,其余 4 次在冰雹发生当日 08 时 V— 3θ 图均有比较明显的特征,对区域内出现冰雹天气的预报准确率为 4/6。同时从表中还可以看出,冰雹发生前一日 08 时 V— 3θ 图上非均匀特征不明显,但是超低温结构却已经出现。

6 结 论

(1)西北地区强对流天气在发生前 V— 3θ 图上非均匀结构特征明显,且在 300 hPa 附近存在超低温现象。欧阳首承认为,超低温现象可能与水分子在紫外线照射下的光化学离化分离有关,并可间接

地反映紫外线强弱和对流上层的水汽含量^[1]。

(2)V— 3θ 图上存在强对流天气特征时,对于冰雹天气的落区预报尚待进一步探讨。

(3)不同地区强对流天气 V— 3θ 图上 θ 值可能存在差异,但其图像结构基本相似。

(4)在预报强对流天气时应结合天气图上的系统进行综合分析,还应注意分析周围台站的 V— 3θ 特征。

参考文献:

- [1] 刘德祥,白虎志,董安祥. 中国西北地区冰雹的气候特征及异常研究[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 796-800.
[2] 陈志明,高文良,闵文彬. 中尺度天气动力学与灾害性天气预测的若干进展[J]. 四川气象, 2002, 22(2): 6-8.

- [3] 陈祯烈,周莉蓉,郝利萍. V—3 θ 图在区域暴雨预报中的应用 [J]. 气象 2003 29(1) 20 - 22.
- [4] 郑传新,刘泽军,陆莹莹. 湍变理论在冰雹大风及暴雨预报中的应用实例 [J]. 广西气象 2002 23(3) 1 - 4.
- [5] 欧阳首承. 天气演化与结构预测 [M]. 北京 : 气象出版社 , 1998. 89 - 119.
- [6] 欧阳首承. 走进非规则 [M]. 北京 : 气象出版社 2002. 220 - 270.
- [7] 欧阳首承. 运动液体的“断裂”及天气预测的若干问题 [M]. 成都 : 成都科技出版社 , 1994. 13 - 15.
- [8] 肖天贵,袁东升,向卫国,等. 流体湍变与天气系统的转折性变化 [J]. 成都气象学院学报 , 1999 , 14(4) 313 - 321.
- [9] 董安祥,张强. 中国冰雹研究的新进展和主要科学问题 [J]. 干旱气象 2004 22(3) 68 - 76.
- [10] 王文,陈志勇,陆怀平. 中尺度动力学的基础研究和进展 [J]. 干旱气象 2003 21(3) 79 - 82.
- [11] 王学良,傅朝,乔艳君,等. 兰州市冰雹预报方法研究及系统介绍 [J]. 干旱气象 2004 22(3) 63 - 67.
- [12] 樊晓春,董彦雄,董安祥,等. T213 资料在冰雹短期预报中的释用 [J]. 干旱气象 2004 22(1) 86 - 89.
- [13] 魏锋,杨金虎,高鹏,等. 2003 年 7 月 22 日漳县大暴雨强对流天气过程分析 [J]. 干旱气象 2004 22(2) 29 - 31.

Application of Blown - up Theory to Hail Weather Forecast in Northwest China

WANG Ruo - sheng¹ , DONG An - xiang² , FAN Xiao - chun¹ , WANG Li - na¹

(1. Pingliang Meteorological Bureau of Gansu Province , Pingliang 744000 , Gansu , China ;
2. Institute of Arid Meteorology , CMA , Lanzhou 730020 , China)

Abstract : Based on the blown - up theory and the V - 3 θ structural prediction method , V - 3 θ figures of 36 aerological stations in Northwest China were made. The hail weather course which occurred in August , 2004 in west Qinghai , southeast Gansu and south Ningxia was analyzed by the V - 3 θ figures. Results show that the prediction tools based on the blown - up theory is capable of forecasting hail weather to some extent in the semiarid and arid region.

Key words Northwest China ; blown - up theory ; hail weather forecast