

文章编号: 1004- 4574(2007)01- 0031-07

# 一次低涡切变型连续性冰雹过程天气分析

张新荣, 陶建红, 杨建才, 刘治国, 王 勇, 程 鹏

(兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:** 对 2004年 7月 13- 20日西北地区东部出现的一次低涡切变型区域性冰雹天气过程, 从其产生的大气环流背景和前期气候背景进行了讨论, 并利用 MICAPS提供的方法, 对物理量场进行了初步分析, 总结了其发生发展的客观规律。结果表明: 形成这次连续性降雹的影响系统是 500 hPa位于青藏高原东北侧到华北的低涡切变; 深厚的不稳定层结和随高度增强的不稳定能量, 是此次强对流发生的热力条件; 有利的低层辐合与高层辐散的散度场是此次强对流发生的动力因子; 随高度增强的上升运动为冰雹的形成提供了水汽条件。

**关键词:** 冰雹; 低涡切变; 西北地区东部; 天气分析

**中图分类号:** P458. 1<sup>+</sup> 21. 2      **文献标识码:** A

## Synoptic analysis of a low whirlpool shear type-hail course with continuity in midsummer of 2004

ZHANG Xin-rong TAO Jian-hong YANG Jian-cai LU Zhì-guo WANG Yong CHENG Peng  
(Lanzhou Center Meteorological Observatory Lanzhou 730020, China)

**Abstract** Based on the atmospheric circulation and early days climate background, a regional hail weather course of low whirlpool shear type was discussed. The course occurred in July 13- 20, 2004 in east part of northwest of China. The method offered by MICAPS was used to analyze the fields of physical quantities. Result shows that the influence system inducing the continual hailing is the low whirlpool shear of 500 hPa located at from northwest of Qinghai-Tibet Plateau to North China. The deep unstable layer and unstable energy increased with altitude is the thermal condition for occurrence of strong convection; favorable low layer radiation combination and high layer radiation dispersion are the dynamic factors of the strong convection and the going up air movement enhanced with altitude offered the water vapor condition for hail formation.

**Keywords** hail; low whirlpool shear; east part of northwest area; synoptic analysis

2004年 7月 13- 20日, 受河套低涡切变影响, 西北地区东部出现了一次连续性降雹伴有局地暴雨天气过程, 这次过程持续日期之长、降雹范围之广、受灾面积之大及损失之严重为历史同期所罕见。从西北地区东部降雹的季节分布特征分析看<sup>[1-2]</sup>, 6月份是最高频发月份, 7月份是次频发月份, 但 7月正值该区域内夏粮收割、山区作物待熟和秋季作物生长旺期, 因此冰雹的损毁性则是最为严重的时期。在冰雹天气的影响系统上, 在上世纪 70年代初期, 兰州中心气象台将西北地区常见的降雹过程分为西北气流型、低涡切变型、冷

收稿日期: 2005- 03- 18    修订日期: 2005- 11- 28

基金项目: 西北地区人工防雹消雹技术的推广应用 (CMATG2007Z08)

作者简介: 张新荣 (1956- ), 男, 工程师, 主要从事中、短期天气预报及相关研究。E-mail: zhangxinrong2@163.com

锋型和西南气流型四类。上世纪 80 年代初期, 甘肃省气象局干旱气象研究所陈乾<sup>[3]</sup>等人普查了 1971 - 1980 年 5 - 9 月甘肃省降雹天气过程, 针对冰雹的物理过程较全面地考查了环流场的动力、热力和局地条件, 并以 700 hPa 和 500 hPa 风场以及温度平流为主要条件进行了分类。将冰雹天气过程分为冷平流型、不同平流型和暖平流型三类。这两种分类法从高空大气环流和物理过程两方面对降雹天气过程进行了全面细致的分析研究。据此, 我们对这次连续性并且为区域性的冰雹天气过程, 进行了初步分析, 在高空环流形势场上定性为一次典型的低涡切变型降雹过程, 在物理量场上带有冷平流型特征。这将有助于从中、短期时段内准确的预报出此类冰雹过程。

## 1 天气事实

2004 年 7 月 13 - 20 日, 西北地区东部出现了一次连续性冰雹并伴有局地暴雨天气, 这次过程当地农作物及人民生命财产造成了极为严重的损失, 仅甘肃省各地气象台站灾情上报统计, 受灾农作物 7018 hm<sup>2</sup>, 直接经济损失 6 045. 72 万元, 雷电击伤 5 人, 雷电击死 2 人, 塌方压死 2 人, 另外还有雷电击毁房屋、暴雨引发泥石流损坏公路、水利等基础设施等。

表 1 2004 年 7 月 13 - 20 日甘肃省降雹实况  
Table 1 Hailing situation in Gansu Province in July 13 - 20 2004

| 降雹地点        | 日期  | 时间             | 冰雹直径       | 降雹地点    | 日期  | 时间             | 冰雹直径       |
|-------------|-----|----------------|------------|---------|-----|----------------|------------|
| 天祝县         | 13日 |                |            | 甘谷(右坡乡) | 17日 | 15 00          | 5 mm       |
| 环县(乡镇)      | 13日 | 20: 00         | ≥5 mm      | 秦安县     | 17日 | 13: 50 - 14 30 |            |
| 正宁          | 13日 | 18 00 - 19: 00 | ≥5 mm      | 华家岭     | 17日 | 14 00          | 4 mm       |
| 平凉          | 13日 | 下午             |            | 碌曲      | 17日 | 20 00          | 3 mm       |
| 武山(乡镇)      | 14日 | 13 35 - 14: 20 | < 5 mm     | 玛曲      | 17日 | 20 00          | 8 mm       |
| 庄浪(乡镇)      | 14日 | 15 00 - 16: 00 | 10 ~ 20 mm | 礼县      | 17日 | 15 45          | 6 mm       |
| 灵台(乡镇)      | 14日 | 17 00 - 17: 06 | 6 mm       | 庄浪(乡镇)  | 17日 | 16 40          | 5 mm       |
| 平凉          | 14日 | 下午             |            | 崇信      | 17日 | 12: 42 - 15 20 | 5 mm       |
| 泾川县         | 14日 | 17: 35         |            | 静宁县     | 17日 | 下午             | 2 cm       |
| 环县(乡镇)      | 14日 | 20: 00         | ≥5 mm      | 庄浪(乡镇)  | 17日 | 12 30          | 5 ~ 10 mm  |
| 乌稍岭         | 15日 | 20: 00         | 5 mm       | 静宁县     | 18日 | 下午             | 2 cm       |
| 泾川县         | 15日 | 17: 35         |            | 临潭      | 18日 | 11: 30         | 3 mm       |
| 平凉          | 15日 | 下午             |            | 武山(乡镇)  | 18日 | 19: 00 - 20 00 | 10 ~ 15 mm |
| 平凉          | 16日 | 下午             |            | 庄浪(乡镇)  | 18日 | 13 10          | 5 ~ 10 mm  |
| 天祝(哈溪镇)     | 16日 | 13 00 - 16: 30 | ≥5 mm      | 通渭县     | 19日 | 14: 00 - 15 00 |            |
| 武威(古城镇)     | 16日 | 14时            |            | 灵台县     | 19日 | 夜间             |            |
| 民勤县         | 16日 | 04时            |            | 崇信      | 19日 | 14 00          | 3 mm       |
| 皋兰(中心乡)     | 16日 | 16 15 - 17: 00 | ≥5 mm      | 华亭县     | 19日 | 15 30          |            |
| 永登(民乐乡、大有乡) | 16日 | 12 30 - 18: 00 | ≥5 mm      | 华池县     | 19日 | 下午             |            |
| 榆中(高崖乡)     | 16日 | 15 45 - 16: 03 | 4 mm       | 灵台      | 20日 | 14: 00 - 17 00 | 3 mm       |
| 皋兰(乡镇)      | 17日 | 17: 00         | 10 mm      |         |     |                |            |

## 2 环流形势

形成这次连续性降雹的影响系统是 500 hPa 青藏高原东北部到华北的低涡切变。此系统的形成过程和维持时间周期较长。在 7 月上旬前期, 欧亚中纬度地区维持较长时段的纬向多短波动气流, 在乌拉尔山地区维持一较深低涡, 我国东部地区从东北到华南维持一较深的低压槽。这一低压槽的形成与 7 月 1 日 10 时 30 分在台湾花莲登陆的 2004 年第 7 号台风“蒲公英”相联系, 由于台风“蒲公英”登陆后继续向偏北方向移动, 并逐渐减弱为低气压, 与 7 月 5 日 08 时并入东北低涡, 使得我国东部从东北到华南形成一较深的低压槽, 槽后西北气流引导北方冷空气向南爆发。此时, 亚洲地区调整为两槽一脊型(图 1(a))。

从 7 月上旬后期到中旬初, 由于贝加尔湖高压脊向北发展, 在贝加尔湖东部至我国东北北部形成了一较

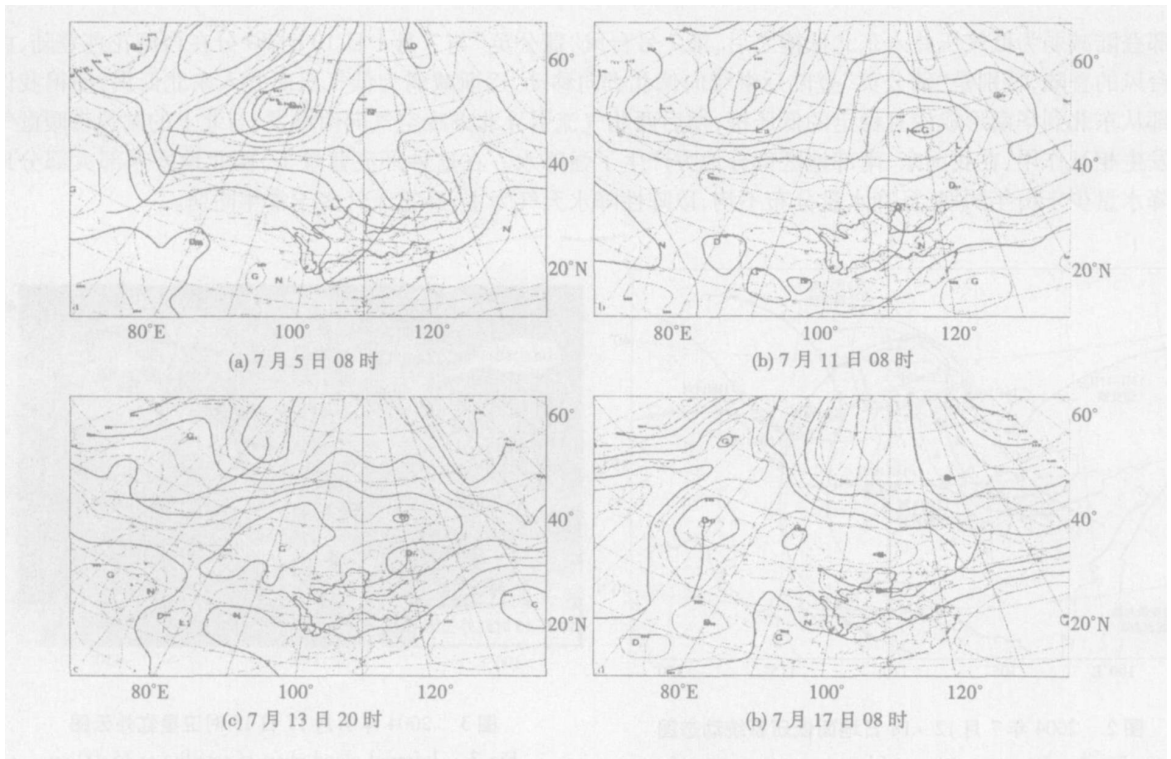


图 1 500 hPa 温 (虚线) 压 (实线) 场

Fig 1 Atmospheric pressure (full line) and temperature (dotted line) fields at level of 500 hPa

稳定的阻塞高压 (图 1(b))。同时由于新疆高压脊发展并向蒙古高原伸展, 使得阻塞高压得以加强和维持, 将东西伯利亚冷空气引导南下, 源源不断补充到华北低压槽中, 促使低压槽不断加深, 并逐渐形成低涡横切变 (图 1(c))。在低涡横切变的形成过程中, 西太平洋副热带高压的西伸也起了阻挡作用, 导致低涡切变形成后向其西南方向移动, 最西端到甘肃河西西部, 其走向为酒泉—陇东—华北—东北—一线 (图 1(d))。

在 100 hPa 高空环流形势场上 (图略), 7 月上旬南亚高压呈西部型, 中心在青藏高原西部, 另外在日本海附近有一个高压中心。7 月上旬末到中旬前期, 南亚高压向其东北方向伸展, 在贝加尔湖附近形成一闭合环流, 同时日本海附近的高压向其西北方向伸展。到 7 月中旬中、后期, 南亚高压发展到异常强大, 在南亚高压东部形成了一支从西伯利亚到我国中西部地区的偏北气流, 这支偏北气流的形成与维持, 对 500 hPa 低涡切变的形成与维持, 起了重要作用。

由于对流层上部的南亚高压的强烈发展与维持, 使得对流层中部青藏高压强烈发展并维持。高压的维持与稳定, 促使高压南侧低压槽不断加深, 并逐渐形成低涡横切变。

由于高空低涡切变的维持与稳定, 诱发地面低压系统的生成与发展。12 日 14 时在内蒙古二连浩特西南部生成低涡切变 (图 2), 13 日 14 时此低涡切变向其西南方向移到陕北榆林西侧, 14 日 14 时向其西北方向移到内蒙古阿拉善右旗附近, 15 日 14 时向其东北方向移到内蒙古临河南部, 16 日 14 时向其东南方向移到山西太原西部, 此时已发展为一个锋面气旋, 17 日 14 时锋面气旋继续向其东南方向移到河北邢台附近, 此时已发展为一个锢囚气旋, 在位于锢囚点南部即甘肃陇东诱发出一个小尺度气旋性低涡切变, 在卫星云图上表现为非常清楚的逗点涡旋云系 (图 3)。冰雹天气就产生在逗点 (锢囚锋) 的左下方。18 日 14 时锢囚气旋向其东北方向移到渤海附近, 此时已减弱为一个气旋性低涡切变。此时在甘肃陇东附近的低涡切变转为横切变, 受其影响, 甘肃陇东南等地的雷雨冰雹天气仍持续。

### 3 降雹前期天气气候背景

根据副热带高压与西北地区降水的关系<sup>[1]</sup>, 西太平洋副热带高压较常年同期偏弱, 位置偏东, 中心位于日本海以东。与此同时, 新疆为强大的高压脊控制, 并控制青藏高原西部, 我国大陆东部受长波槽控制。而低压槽的维持与西北太平洋台风活动频繁有一定关系, 在继 2004 年第 6 号台风“电母”于 6 月 21 日在日本

南部登陆减弱为低气压并入东北低槽之后,第7号台风“蒲公英”与7月1日10时30分在台湾花莲登陆,由于台风的登陆,特别是“蒲公英”登陆后继续向偏北方向移动,逐渐减弱为低气压而并入东北低槽,使得我国东部从东北到华南形成深且稳定的低压槽,槽后西北气流引导北方冷空气向南爆发,与北上的副热带暖湿气流发生相互作用,在我国东、南部地区部分地方产生了强降水。在这种环流背景下,西北地区东部大部分地方降水量少于历年同期,且降水量分布不均,以阵性降水天气为主,降雹天气多于常年同期。

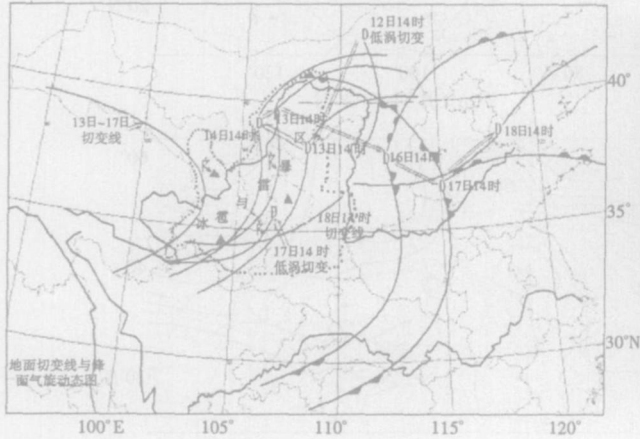


图2 2004年7月12-18日地面低压系统动态图  
Fig.2 Dynamic picture of low-pressure system of ground in July 12-18, 2004

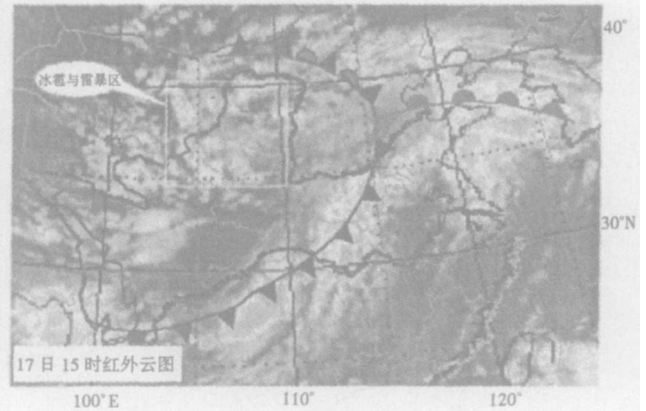


图3 2004年7月17日15时卫星红外云图  
Fig.3 Infrared cloud chart of satellite at 15:00 on July 17, 2004

## 4 物理量场分析

### 4.1 不稳定能量分析

#### 4.1.1 T和θ的变化

这次过程,降雹区域上空的气温  $T$  和  $\theta_s$  随高度增加而减小,在7月13-20日降雹时段内,多数时段  $\Delta T = T_{850} - T_{500} > 28^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T$  值维持在  $24 \sim 35^\circ\text{C}$  之间,  $\Delta\theta_{se} = \theta_{se500} - \theta_{se850} = 4^\circ\text{C}$ ,具备发生强对流天气的不稳定层结条件。

#### 4.1.2 K 指数

根据以往的统计分析<sup>[4,6]</sup>,  $K$  指数  $> 20^\circ\text{C}$ ,就有可能产生雷暴。这次过程中,降雹强度较大的地方,甘肃河西部至河东,  $K$  指数维持在  $30 \sim 35^\circ\text{C}$  之间,陇东南甚至达到  $38^\circ\text{C}$  以上,具备出现分散雷雨或成片雷雨的不稳定层结。

#### 4.1.3 沙氏指数(S)

根据国内外以往的统计分析<sup>[4,6]</sup>,当  $-6^\circ\text{C} < S < -3^\circ\text{C}$ ,就有可能产生雷暴。在这次过程中,降雹强度较大的地方,甘肃河西部至河东,在降雹时段内,沙氏指数(S)维持在  $-1 \sim -5$  之间,具备发生雷暴或强雷暴的可能性。

#### 4.1.4 不稳定能量(E)

即不稳定大气中可供气块作垂直运动的潜在能量,数学表达式为:  $E = - \int_{p_0}^p \Delta T \cdot R_d (lp)$ 。在  $T-lp$  图上,依据层结曲线与状态曲线之间所包围面积的代数和来估算。一般  $E > 0$  称作真潜不稳定。正值愈大愈不稳定,有利于对流天气发展<sup>[3]</sup>。在这次过程中,经统计分析降雹区域内部分站点  $T-lp$  图,得到降雹强度较大的地方,面积的代数和呈负值愈小愈不稳定状况,在  $-2000$  以下即可产生降雹,最大时也达到负值几百至正值几百(见表2)。

另外,在  $T-lp$  图上(图4),可以看出从自由对流高度至对流上限的厚度越厚,越有利于形成降雹天气。出现降雹天气的区域,其厚度一般在  $850 \sim 200 \text{ hPa}$  之间,表明自由对流高度越低,对流上限越高,就越有利于形成降雹天气,如甘肃民勤和平凉,其自由对流高度至对流上限分别在  $600 \sim 250 \text{ hPa}$  和  $700 \sim 250 \text{ hPa}$

之间,  $K$  指数分别为  $34^{\circ}\text{C}$ 和  $36^{\circ}\text{C}$ , 沙氏指数 ( $S$ )分别为  $-3.9^{\circ}\text{C}$ 和  $-4.1^{\circ}\text{C}$ , 正不稳定能量面积分别为  $1866.3$ 和  $1362.3$  具备发生雷暴或强雷暴的可能性。

表 2 不稳定能量  $E$  与沙氏指数  $S$  统计表

Table 2 Statistical form of unstable energy  $E$  and index  $S$

| 日期  | 时间  | 张掖    |      | 民勤    |      | 榆中    |      | 合作    |      | 平凉    |      | 武都    |      |
|-----|-----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|     |     | $E$   | $S$  | $E$   | $S$  | $E$   | $S$  | $E$   | $S$  | $E$   | $S$  | $E$   | $S$  |
| 13日 | 08时 | -4611 | 5.6  | -4193 | 3.4  | -3358 | 0.9  | -2488 | 2.2  | -3894 | 3.0  | -2566 | -0.9 |
|     | 20时 | -3471 | 0.9  | -2146 | -3.9 | -1284 | -5.0 | -1645 | -2.3 | -696  | -4.1 | -1681 | -1.6 |
| 14日 | 08时 | -3833 | 3.5  | -2587 | 0.4  | -1710 | -3.4 | -1995 | -0.7 | -1735 | -1.1 | -1980 | -2.6 |
|     | 20时 | -2344 | -0.5 | -2556 | -1.0 | -1004 | -1.0 | -2756 | 2.0  | -1946 | 1.5  | -544  | -4.0 |
| 15日 | 08时 | -5333 | 6.3  | -3105 | -0.9 | -2170 | -2.8 | -2631 | 3.9  | -1406 | 0.6  | -1681 | -3.2 |
|     | 20时 | -2481 | 0.7  | -1611 | -0.8 | -991  | -0.6 | -1493 | 0.3  | -1634 | 1.3  | -981  | -2.4 |
| 16日 | 08时 | -2179 | -0.9 | -2043 | 0.3  | -1896 | -1.4 | -1859 | -0.7 | -1236 | 1.6  | +415  | -2.3 |
|     | 20时 | -2058 | 0.8  | -151  | -2.3 | -2374 | -1.0 | -1885 | 0.6  | +18   | -3.1 | -1479 | -0.5 |
| 17日 | 08时 | -3630 | 1.5  | -2817 | -1.6 | -2793 | -1.9 | -3114 | 0.5  | -3126 | 1.2  | -3343 | 1.5  |
|     | 20时 | -2126 | 1.0  | -478  | -2.8 | -529  | -1.9 | -1538 | -0.7 | -373  | 2.1  | -1497 | -0.4 |
| 18日 | 08时 | -273  | 3.4  | -1146 | 0.3  | -1460 | 0.7  | -1987 | 2.3  | -2272 | 2.0  | -2047 | -1.0 |
|     | 20时 | -2528 | 4.4  | -379  | -2.0 | -1200 | 1.2  | -954  | -0.7 | -28   | -1.9 | -1010 | -4.1 |
| 19日 | 08时 | -3993 | 11.2 | -2836 | 3.6  | -2042 | -0.6 | -4492 | 3.4  | -1396 | 2.4  | -2005 | 0.5  |
|     | 20时 | -3221 | 4.9  | -1620 | 1.0  | -1130 | -0.8 | +85   | -1.5 | -568  | -4.4 | -548  | -4.0 |
| 20日 | 08时 | -3252 | 7.6  | -2029 | 6.7  | -2262 | 4.1  | -3437 | 9.0  | -2639 | 3.1  | -2386 | 1.9  |
|     | 20时 | -2496 | 5.6  | -1806 | 4.1  | -1727 | 2.4  | -1791 | -0.6 | -1209 | -0.8 | -142  | -2.9 |

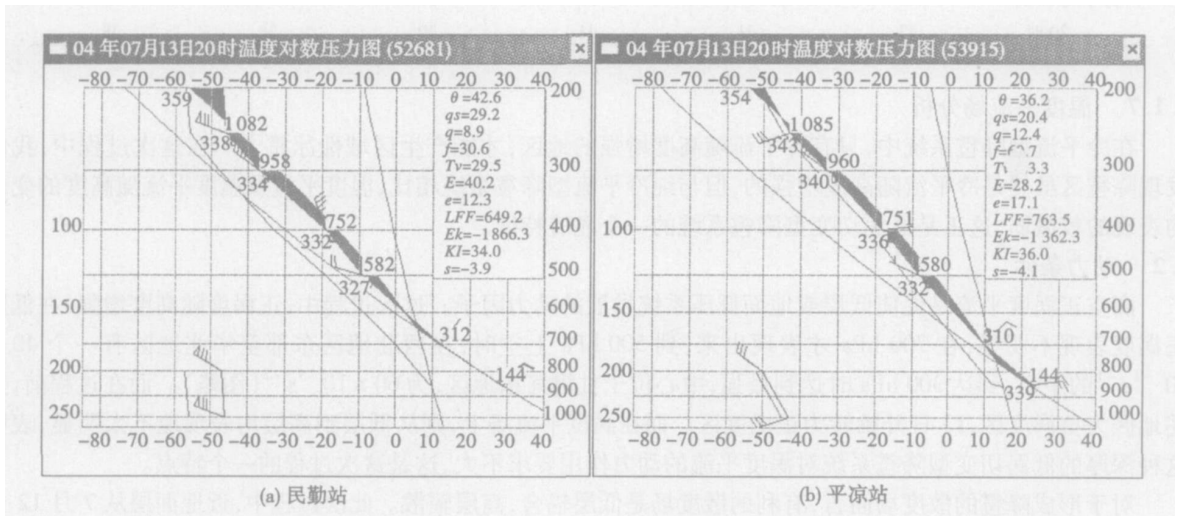


图 4 7月13日20时民勤站 (a)和平凉站 (b)  $T-hp$  图

Fig 4 Diagram  $T-hp$  for Minqing Station (a) and Pingliang Station (b) at 08:00 on July 13

### 4.1.5 总温度场特征

7月13-20日降雹时段内,在低层700 hPa总温度图上,从甘肃河西东部至河东维持一个低能槽,中心位于平凉附近,其值为  $56\sim 60^{\circ}\text{C}$ ,这一低能中心从地面到250 hPa以上一直维持,中心值上升到  $68^{\circ}\text{C}$ 左右,在低能槽的西南侧维持着一个高能中心,中心值为  $76^{\circ}\text{C}$ ,降雹天气出现在能量锋(等能线密集区)和低能槽附近(图略)。表明低能槽至能量锋区之间有利于形成雷雨冰雹等强对流天气。

### 4.1.6 300 hPa与700 hPa高空温差

上世纪70年代前期,兰州中心气象台对兰州及周边地区的冰雹天气过程,运用大量资料进行统计分析,找出许多冰雹预报指标,其中有一条指标是用300 hPa高空与700 hPa高空温差来分析稳定度,作为日常冰雹预报工作中一种常用的方法,这一指标为当7月份  $\Delta T(700\text{ hPa与}300\text{ hPa高空温差}) \geq 37^{\circ}\text{C}$ 时,就有利于强对流天气发生发展。这一指标是考虑当温度垂直递减率高于同期平均递减率时,就会形成大气层结的不

稳定。这次冰雹过程中, 300 hPa高空与 700 hPa高空温差大部分地方达 40℃以上(见表 3), 从表中可看出: 民勤、兰州、合作、平凉、武都、西安等地的 700 hPa与 300 hPa高空的温差值 ( $\Delta T$ )都远大于 37℃, 而且距平值大部分都在 3℃以上, 表明层结不稳定。

表 3 7月 13- 19日 700 hPa与 300 hPa温差  $\Delta T$

Table 3 Temperature differential  $\Delta T$  between levels of 700 hPa and 300 hPa in July 13- 19 2004 ℃

| 站号      |       | 民勤 |    | 兰州 |    | 合作 |    | 平凉 |    | 武都 |    | 西安 |     |
|---------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 日期      | 时间    | 实况 | 距平 | 实况 | 距平 | 实况 | 距平 | 实况 | 距平 | 实况 | 距平 | 实况 | 距平  |
| 1 3 日   | 0 8 时 | 47 | 5  | 47 | 8  | 39 | 4  | 45 | 6  | 46 | 7  | 44 | 6   |
|         | 2 0 时 | 49 | 6  | 49 | 8  | 46 | 5  | 43 | 4  | 47 | 9  | 45 | 7   |
| 1 4 日   | 0 8 时 | 47 | 5  | 46 | 7  | 42 | 7  | 46 | 7  | 44 | 7  | 45 | 7   |
|         | 2 0 时 | 46 | 3  | 38 | 3  | 40 | 1  | 42 | 3  | 42 | 4  | 44 | 6   |
| 1 5 日   | 0 8 时 | 47 | 5  | 43 | 4  | 41 | 6  | 39 | 0  | 41 | 4  | 40 | 2   |
|         | 2 0 时 | 46 | 3  | 43 | 2  | 44 | 3  | 42 | 3  | 39 | 1  | 40 | 2   |
| 1 6 日   | 0 8 时 | 45 | 3  | 42 | 3  | 41 | 6  | 40 | 1  | 39 | 2  | 38 | 0   |
|         | 2 0 时 | 46 | 3  | 41 | 0  | 43 | 2  | 41 | 2  | 39 | 1  | 36 | - 2 |
| 1 7 日   | 0 8 时 | 45 | 3  | 42 | 3  | 43 | 8  |    |    | 43 | 6  | 39 | 1   |
|         | 2 0 时 | 47 | 4  | 42 | 1  | 44 | 3  | 43 | 4  | 40 | 2  | 40 | 2   |
| 1 8 日   | 0 8 时 | 45 | 3  | 42 | 3  | 42 | 7  | 42 | 3  | 43 | 6  | 41 | 3   |
|         | 2 0 时 | 48 | 5  | 45 | 4  | 45 | 4  | 43 | 4  | 45 | 7  | 43 | 5   |
| 1 9 日   | 0 8 时 | 49 | 7  | 45 | 6  | 37 | 2  | 43 | 4  | 45 | 8  | 44 | 6   |
|         | 2 0 时 | 47 | 4  | 44 | 3  |    |    | 44 | 5  | 46 | 8  | 43 | 5   |
| 月平均 08时 |       | 42 |    | 39 |    | 35 |    | 39 |    | 37 |    | 38 |     |
| 20时     |       | 43 |    | 41 |    | 41 |    | 39 |    | 38 |    | 38 |     |

#### 4 1 7 温度平流场分析

在冷平流型降雹系统中, 只有冷平流随高度增强的地区, 才能产生区域性冰雹<sup>[5]</sup>。在这次过程中, 我们发现降雹区虽然是冷平流随高度增强的, 但与纯冷平流型降雹系统相比, 温度平流及温度平流随高度的变化均表现的较微弱, 这正是低涡切变型降雹系统的一个显著特征。

#### 4 2 动力条件

高空正涡度平流是促使低层或地面低压系统发展的动力因子。这次过程中, 正涡度随高度增强, 在低层正涡度表现不明显, 在 700 hPa才表现出来, 到 500 hPa上空时, 在西北地区东部至华北地区有一个  $40 \times 10^{-5} s^{-1}$ 的中心, 到达 300 hPa时达到最强, 中心位于甘肃河东地区, 为  $60 \times 10^{-5} s^{-1}$ (图略)。而在过程前, 上述地区为负涡度区, 13日开始转为正涡度区。而在涡度平流场上, 则从低层到高层均表现地不太明显, 表明这种深厚的低涡切变型降雹系统对涡度平流的动力作用要求不大, 这是这次过程的一个特点。

对于形成降雹的散度场而言, 有利的散度场是低层辐合, 高层辐散。此次过程中, 近地面层从 7月 12日至 19日, 在甘肃河东地区有一个弱辐合区维持, 随着高度的增加而增强, 到达 300 hPa高度时辐合中心达到  $- 10 \times 10^{-5} \sim - 20 \times 10^{-5} s^{-1}$ (图略), 在 100 hPa时上述区域才转为辐散区, 辐散中心达到  $10 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。这表明无辐散层较高可以促使最大垂直速度层发展到较高的高度, 对冰雹的形成和凝华增长极为有利。

在垂直速度场上, 在低层 850 hPa至 700 hPa高空, 上升运动表现较弱, 但是上升运动随高度是增强的, 在 500 hPa至 300 hPa高空, 降雹地区上升运动增强。以降雹强度和范围较大的 7月 16日至 17日为例, 降雹地区处于  $\omega$ 负值区域内, 中心位于我国华中地区, 最大升速为  $- 20 \times 10^{-3} hPa/s$ (图略)。

垂直速度在冰雹的形成及降落过程中维持时间都较短, 但又起着极其重要的作用, 这也是有时一个降雹系统的生命史很短的原因。上世纪在 80年代初期, 甘肃省气象局干旱气象研究所陈乾<sup>[3]</sup>等人针对冰雹形成的物理过程时, 为深入研究垂直运动在降雹过程中的作用及演变特征, 增加观测时次, 发现降雹时最强的上升速度在 300 hPa上, 降雹前 6 h还是下沉运动直到降雹前 3 h内才出现上升运动, 降雹结束后 1 h 600 hPa以下又转为下沉运动了, 可见其变化之迅速。

#### 4 3 水汽条件

##### 4 3 1 温度露点差

在 7月 14日至 20日的温度露点差场上, 低值区由南向北伸向西北地区东部的降雹区域, 这一低值区从

低层一直到对流层中上部,并且在整个降雹天气时段内一直维持着(图略),表明降雹区域的相对湿度较大,水汽条件充沛。

#### 4.3.2 水汽通量和水汽通量散度

这次过程中,降雹区水汽通量从低层到高层均不是高值区,降雹区处于两水汽通量高值区之间。这表明在降雹过程中水汽通量散度的作用更为重要。

有利的水汽通量散度场是低层辐合,高层辐散。从7月13日开始到19日,近地面层1000 hPa水汽通量散度场上,在甘肃河东地区有一个弱辐合维持,随着高度的增加而增强,到达850 hPa高度时,辐合中心达 $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (图略),到700 hPa时降雹区域辐合区转弱,到500 hPa时降雹区表现为辐散区,表明水汽主要集中在低层。

如同垂直速度在冰雹的形成及降落过程中的作用一样,水汽通量和水汽通量散度在冰雹的形成及降落过程中维持时间都较短,但又起着极其重要的作用。由于一个降雹系统的生命史是很短的,因此仅用08时和20时探空资料并不能够完全反应出一个降雹系统的垂直速度及空间结构来,但对于一个相对较大尺度的降雹系统来说,用08时和20时的水汽通量和水汽通量散度场,也能部分的透视出其水汽条件这一物理量的大致分布及强度。

## 5 结论

(1) 形成这次连续性降雹的影响系统是青藏高原东北部至华北的低涡切变,这一低涡切变为深厚系统,从近地面层一直到100 hPa附近;此系统的形成过程和维持日数之长及其在其控制下所产生的雹伴暴造成的灾害损失,均为历史同期所罕见。

(2) 这次连续性降雹的形成与入夏以来大气环流背景有关。根据副热带高压与西北地区降水的关系,西太平洋副热带高压较常年同期偏弱,位置偏东,新疆为强大的高压脊控制,并控制青藏高原地区,我国大陆东部受长波槽控制。在这种环流背景下,西北地区东部大部分地方降水量少于历年同期,降雹天气多于常年同期。

(3) 在物理量场上,不稳定能量的累积所形成的深厚的不稳定层结,为强对流提供了有利条件;随高度增高而增强的正涡度、散度场的低层辐合与高层辐散的维持为随高度是增强的上升运动提供了动力条件;低层充沛的水汽条件和散度场的低层辐合与高层辐散为冰雹的形成提供了水汽条件。

## 参考文献:

- [1] 白肇烨,徐国昌. 中国西北天气[M]. 北京:气象出版社,1988:284-285
- [2] 李吉顺. 我国冰雹和暴雨的若干气候特征[C]//北方天气文集(2). 北京:北京大学出版社,1982:31-39
- [3] 陈乾,朱阳生. 甘肃省雹暴的分类及其诊断分析[C]//全国强对流会议文集. 北京:气象出版社,1981
- [4] 王桂梅. 省地气象台短期预报岗位培训教材[M]. 北京:气象出版社,1998:225-226
- [5] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法[M]. 北京:气象出版社,1992:615-650
- [6] 曹钢锋,张善君,朱官中,等. 山东天气分析与预报[M]. 北京:气象出版社,1988:186-207
- [7] 王瑛,王静爱,吴文斌,等. 中国农业雹灾灾情及其季节分区[J]. 自然灾害学报,2002(4):30-36
- [8] 冷春香,陈菊英. 近50年中国汛期暴雨旱涝的分布特征及其成因[J]. 自然灾害学报,2005(2):1-9
- [9] 郭艳君,孙安健. 我国西北地区夏季旱涝气候特征研究[J]. 自然灾害学报,2004(5):97-102