

文章编号:1006 - 7639(2004) - 04 - 0064 - 06

一次区域性冰雹天气过程分析

张新荣^{1,2} 王锡稳² 程 鹏² 宋秀玲²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 兰州 730020;

2. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘 要:对 2004 年 5 月 14~15 日西北地区东部出现的春季以来第一场区域性冰雹天气过程, 从其产生的大气环流、前期气候背景、物理量场等进行了初步分析, 总结出其发生发展的客观规律, 对于从中、短期时段内准确预报出此类冰雹过程, 具有一定的指示意义。

关键词:冰雹; 西北地区东部; 天气分析

中图分类号: P458.4

文献标识码: A

引 言

冰雹是甘肃省主要灾害性天气之一。每年都会有一些次局地冰雹和区域性冰雹天气发生, 对农作物造成重大损失。5 月份是甘肃省冰雹天气的频发季节, 因此冰雹天气的预报服务也是汛期气象服务工作的重点之一。在上世纪 80 年代初, 李吉顺^[1]指出: 从春至夏我国主要降雹带从南向北推移, 它比主要雨带的从南向北移动约早一个月。因此降雹天气特别是区域性降雹天气的出现, 标志着西北地区上空层结不稳定能量在增加, 降水强度及降水量级逐渐加大, 即将进入汛期。对于冰雹天气的影响系统, 在上世纪 80 年代初期, 陈乾^[2]等人普查了 1971~1980 年 5~9 月甘肃省降雹天气过程, 针对冰雹产生的物理过程, 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 3 类。据此, 我们对 2004 年 5 月 14~15 日西北地区东部出现的春季以来第一场区域性冰雹天气过程, 进行了初步分析, 确定为一次典型的冷平流型冰雹过程, 并对这次冰雹过程从其产生的前期气候背景、大气环流背景、物理量场进行深入分析, 总结出其发生发展的客观规律, 对于从中、短期时段内准确地预报出此类冰雹过程, 具有一定的指示意义。

1 天气事实

2004 年 5 月 11~15 日, 受一股来自西西伯利亚的较强冷空气影响, 西北地区东部自西向东出现了一次降雨过程, 部分地方为中雨。甘肃河西为小雨, 河东为小到中雨。降水主要集中在 13~15 日, 伴随降水过程, 甘肃省河西、中部和陇东等地出现了春季以来第一场区域性降雹天气, 据不完全统计, 共有 10 个县 30 个乡(镇)出现了冰雹, 其中民勤县的 2 个乡(镇)和皋兰县的 3 个乡为大冰雹。冰雹天气使农作物受到了不同程度的损失, 仅民勤、古浪、皋兰 3 县直接经济损失 762 万元。

这次冰雹过程的特点是地域广, 特别是甘肃省冰雹少发地带的敦煌盆地, 也出现了冰雹, 属该县同期所罕见。

2 环流形势的调整与演变

在 5 月中旬前期开始, 100 hPa 高空, 欧亚中高纬度地区由平直西风环流向经向环流转变, 乌拉尔山高压脊强烈发展, 导致东亚地区形成长波槽, 东半球极涡南压, 位于贝加尔湖东侧。中低纬度, 南压高压位于印度半岛北部, 西北地区东部为气旋性西北气流(图略)。降雹天气过程前, 300 hPa 高空环流形势与 100 hPa 高空槽、脊基本一致, 只是在温压场的配置上在西北地区东部形成了很强的冷平流。在中低纬度地区, 副热带急流于 4 月下旬末至 5 月初

收稿日期: 2004 - 08 - 13; 改回日期: 2004 - 11 - 02

基金项目: 中国科技部社会公益类项目“西北地区人工防雹消雹技术”(2002DB10046)资助。

作者简介: 张新荣(1956 -), 男, 甘肃渭源人, 工程师, 主要从事中、短期天气预报及相关研究。

北抬到青藏高原南侧。表明了副热带地区上空暖空气势力在加强。这样,不仅在亚洲中高纬度对流层中上部形成了较强的高空锋区,而且在中纬度形成了有利于形成降雹的高层环流背景(图 1)。

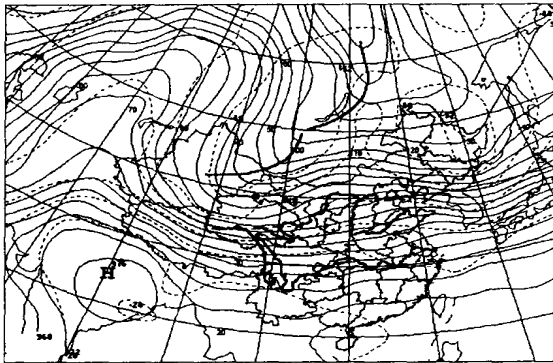


图 1 14 日 08 时 300 hPa 温(虚线)压(实线)场
Fig. 1 300 hPa press (the solid line) and temperature field(dotted line) at 08 on May 14

过程前期,即 5 月上旬后期至中旬初,500 hPa 以上高空,欧亚中高纬度环流形势为纬向气流,东半球极涡偏于泰梅尔半岛附近。从 500 hPa 到 100 hPa 高度,环流形势极为一致,表明大气环流系统为深厚系统。5 月 12 日开始,乌拉尔山高压脊发展,欧亚中高纬度环流形势形成两槽一脊型,东欧和东亚地区分别为长波槽。由于乌拉尔山高压脊继续发展东伸,至 14 日 08 时,位于中亚至巴尔喀什湖之间,并在巴尔喀什湖北部形成阻塞高压,在其底部新疆西部至蒙古高原南侧形成了横槽,与其相配置的温度槽落后于等压面高度槽,等温线与等高线相交形成的力管正好位于西北地区东部,表明该区域大

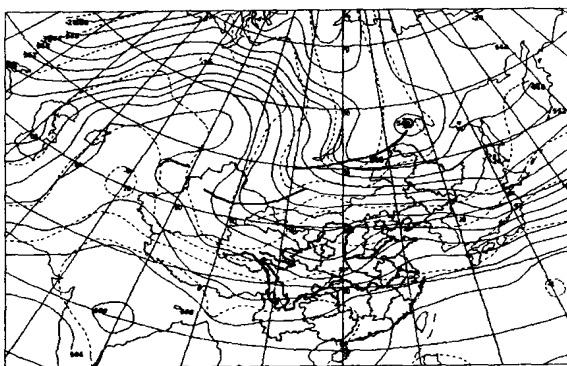


图 2 14 日 08 时 500 hPa 温(虚线)压(实线)场
Fig. 2 500 hPa press(the solid line) and temperature field(dotted line) at 08 on May 14

气斜压性加大,形成了很强的冷平流,河西西部至兰州的温差达 10 以上。至此,一个典型的冷平流型冰雹环流形势已经形成(图 2)。

在地面图上,有一条锋面相配置(图略),于 5 月 11 日进入新疆北部,之后逐渐东移南下,12 日进入河西西部,在其逐渐东移的过程中,13~15 日,西北地区东部自西向东出现了一次小雨或小到中雨过程。降雹天气就产生在锋面降水云带后部,系冷气团内部的细胞状积云对流,在 5 月 15 日 15 时的卫星云图上有一条对流云带相对应(图略)。

3 前期天气气候背景

此次冰雹过程出现在甘肃省冰雹频发季节。李吉顺^[1]的研究表明:我国主要多雹带与副热带西风急流的季节性位移有联系,位于急流轴北侧冷气团内。

分析 300 hPa 急流的演变,副热带急流于 4 月下旬末至 5 月初北抬到青藏高原南侧。一直在高原南部徘徊,到 5 月 14 日,急流中心向北偏东方向移到甘肃陇东南附近。降雹区就出现在急流轴北侧冷气团内(图 3)

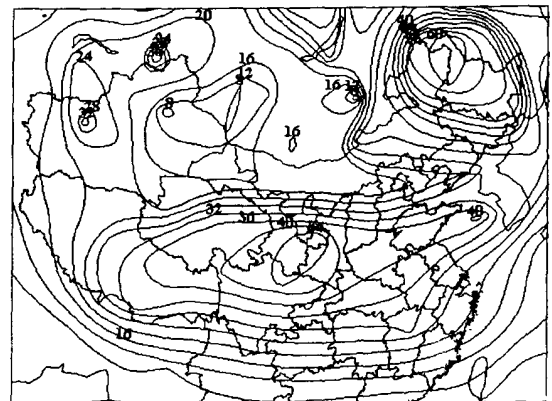


图 3 14 日 20 时 300 hPa 全风速场
Fig. 3 The whole wind velocity field at the level of 300 hPa at 20 on May 14

分析前期 500 hPa 平均环流形势场,春季以来,500 hPa 高空西北地区处于新疆平均脊前的西北气流控制中,南支槽平均位置偏东,东亚地区为西高东低环流型(图略)。在此环流背景下,甘肃省各地的降水量与历年同期相比属偏少,大部分地方出现了春旱;气温与历年同期相比属偏高,尤其是 4 月中旬后期以来更为突出。在此背景下,出现了一次区域性冰雹天气过程,初步分析,与不稳定能量的累积有

一定关系,表现在西风指数的演变上(图4),前期欧亚范围西风指数在相对较高阶段作位相相反的宽幅振荡。表明在高指数阶段,欧亚高纬度地区南北温度梯度大,中高纬度以纬向环流为主,西风带槽脊较弱,阻止了气流的南北交换,导致极锋锋区加强,并且位置偏北。直到过程前期,亚洲中高纬度地区由高指数环流阶段向低指数转变,相应地亚洲范围中高纬度地区高空环流形势由纬向型向经向型转变,西风带槽脊加强,锋区南压。伴随环流形势由纬向型向经向型转变的过程,不稳定能量得到释放,冰雹过程就产生在能量释放过程中。

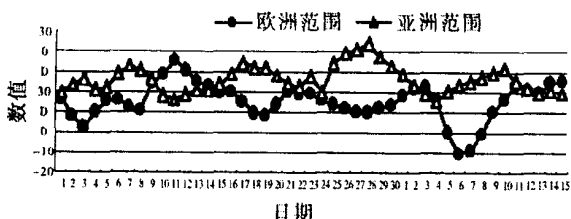


图4 西风指数演变

Fig.4 The evolvement of west wind index

4 不稳定能量分析

不稳定层结的形成和维持主要是由于对流层中、上部冷平流随高度增强所致。逐一分析5月14~15日温度对数压力图,得到不稳定层结的区域包括了除甘南和天水南部外的甘肃省大部分地方,另外还包括了宁夏大部、陕西西北部和青海西宁以东

地区(图5)。出现冰雹的地方都包含在不稳定层结区域内,如敦煌站,属于甘肃省冰雹少发地带,也出现了冰雹。甘岷高原是甘肃省冰雹多发地带,不包含在层结不稳定的区域内,所以没有出现冰雹。表明系统性冰雹主要产生在不稳定层结的区域内。

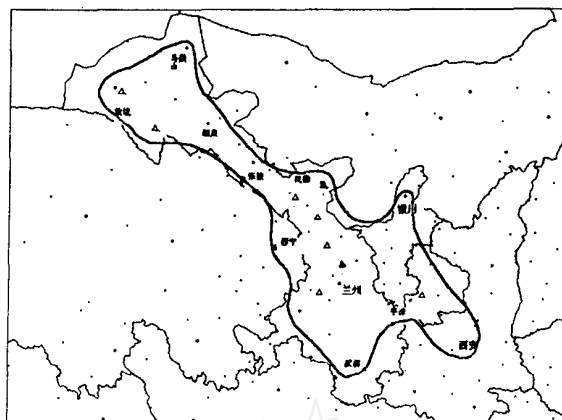


图5 5月14~15日层结不稳定区域图

Fig.5 Unstable layer during May 14~15

在5月14~15日层结不稳定区域内的 $T - \ln p$ 图上,还可以看出,不稳定层结厚度与冰雹的产生有一定关系,即产生冰雹的地方,不稳定层结厚度较厚。如敦煌站14日08时不稳定层结在700~300 hPa高空、兰州站15日不稳定层结在800~400 hPa高空,不稳定层结厚度均达到400 hPa(图6)。其它产生降雹的地方不稳定层结也在800~300 hPa之间,其不稳定层结厚度也都在300~400 hPa

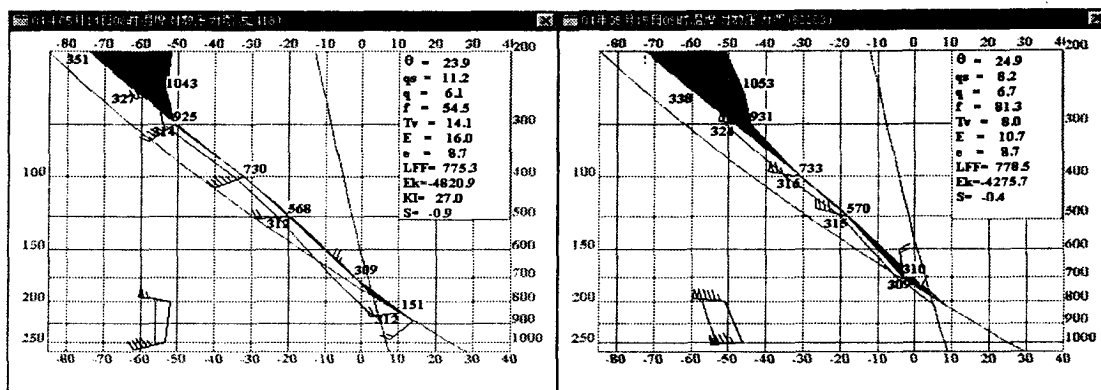


图6 5月14日08时敦煌站(左)和5月15日08时兰州站(右) $T - \ln p$ 图

Fig.6 The $T - \ln p$ of Duanhuang station at 08 on May 14(left) and Lanzhou station at 08 on May 15(right)

之间。表明冰雹有利于产生在较深厚的不稳定层结区域内。

另外,根据国内外以往的统计分析^[3~4],当

$-6 < S < -3$,就有可能产生雷暴。事实上在

这次过程中,出现降雹的地方,当日08时沙氏指数(S)仅仅 < 0 ,而且正不稳定面积均较小,20时沙氏指数(S)负值和正不稳定面积均明显增大。如敦煌和兰州的沙氏指数(S)由08时分别为 -0.9 和

- 0.4 增大到 20 时的 - 2.5 和 - 1.0 。这表明甘肃各地 5 月份早晨 08 时只要沙氏指数为负值,同时有正不稳定面积时,就具备当日午后发生降雹的条件。

5 物理量场分析

5.1 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,才能有利于产生冰雹。在 15 日 08 时 500 hPa 高空温度平流场上(图 7a),产生冰雹的区域内仅仅为冷平流区(负值区),而强度较弱。到达 300 hPa 高空则该区域冷平流增强,特别是在产生强降雹的皋兰附近,有一个 $- 20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的中心与之相对应(图 7b)。表明冷平流随高度增强促使层结不稳定增强,从而促使垂直运动产生,对强对流天气的形成起着非常重要的作用。

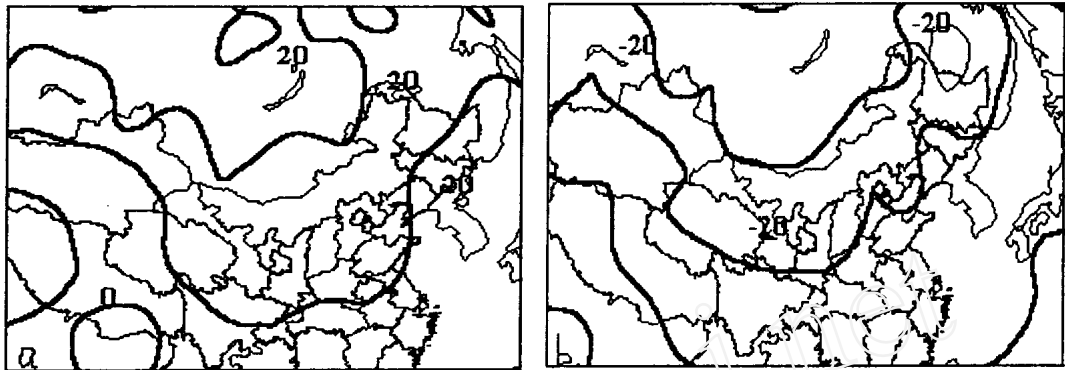


图 7 15 日 08 时 500 hPa(a)和 300 hPa(b)温度平流场

Fig. 7 500 hPa (a) and 300 hPa (b) temperature advection field at 08 on May 15

5.2 总温度场特征

这次过程,组织雹暴的天气尺度系统是对流层中上部的低能中心,降雹天气出现在 500 hPa 和 300 hPa 等能线密集区。在 14 日 08 时总温度图上,出现冰雹天气的敦煌和肃北,处于低能槽前等能线密集区(图略)。之后,随着低能槽的东移,在 500 hPa 和 300 hPa 低能槽前等能线密集区的部分地方出现了降雹天气。表明在一次长波槽前的区域性降水过

后,其后部的低能槽前等能线密集区有利于形成降雹天气。

5.3 涡度及涡度平流场分析

5 月 14 日 08 时,西北地区东部高层正涡度区与高空槽区基本重合,走向一致,正涡度由 700 hPa 到 300 hPa 随高度增加而增强,即: $d/dz > 0$,在 300 hPa 达到最强(图 8a),达到 $40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,在 700 hPa 以下到 850 hPa 对应负涡度区。

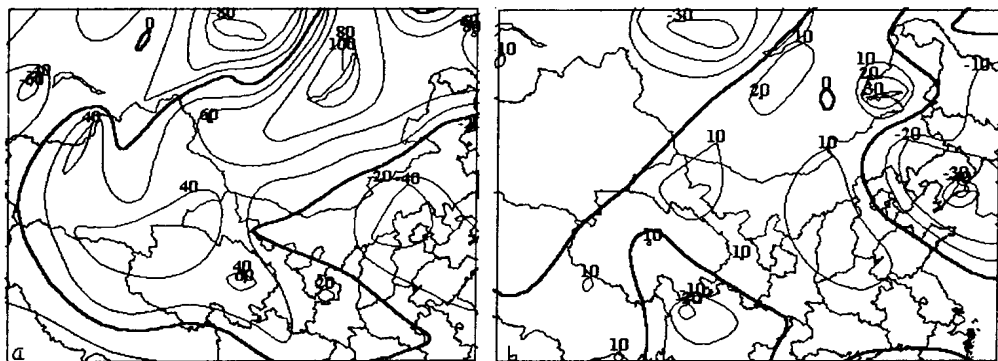


图 8 14 日 08 时 300 hPa 涡度场(a)和 300 hPa 涡度平流场(b)

Fig. 8 Vorticity field at the level of 300 hPa and vorticity advection field at the level of 300 hPa at 08 on May 14

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。5 月 14 日 08 时,涡度平流也是由

低层 700 hPa 到 300 hPa 随高度增加而增强,在 300 hPa 西北地区东部为正涡度平流区(图 8b)。由于

上下层涡度平流的差异(地面低压中心涡度平流很弱)促使了地面低压系统发展,而地面低压系统发展必然伴有上升运动发展,并通过上升运动及其高层的辐散和低层的辐合,使流场和气压场达到新的地转平衡^[5]。因此,这次冰雹过程涡度平流的上下层配置,是促使对流发展的一个重要动力因子。

5.4 散度场分析

众所周知,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。这次过程,5月14日08时至20时,700 hPa高空张掖以东至河东地区

有一个 $-20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的辐合中心(图 9a);500 hPa 无明显辐合辐散区,表明 500 hPa 为无辐散层;在 14日20时至15日08时,300 hPa 高空为 $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的辐散区(图 9b)。散度场的高、低层配置区域与降雹区域吻合,特别是降雹强且受灾严重的皋兰,15日08时300 hPa 高空 $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的辐散区与之相对应(图 9b),此中心也正好与15日08时300 hPa 高空 $-20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的冷平流中心叠置。表明其高层的辐散形成抽吸效应促使其对流发展到较高的高度,对冰雹的形成和凝华增大极为有利。

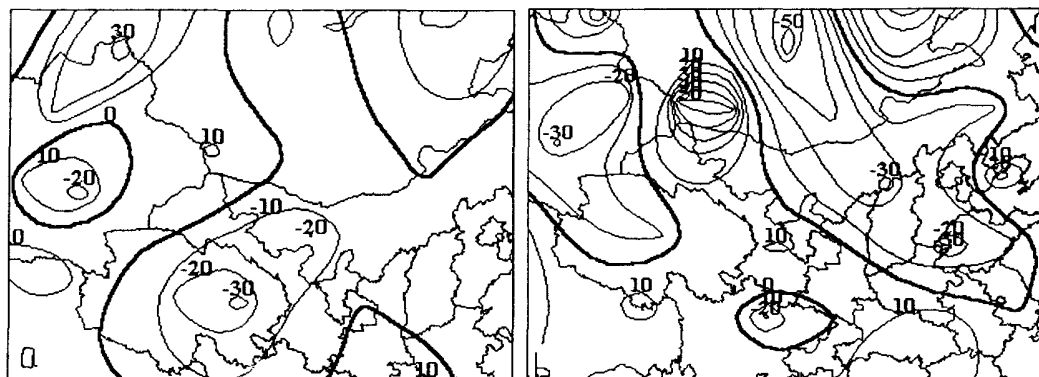


图9 5月14日20时700 hPa散度(a);5月15日08时300 hPa散度(b)

Fig. 9 Divergence field at 700 hPa at 20 on May 14 (a) and that at 300 hPa at 08 on May 15 (b)

5.5 垂直速度场分析

在低层850~700 hPa,14日08时至15日08时,上升运动表现较弱(负值较小),但是上升运动随高度是增强的,在14日08~20时500~300 hPa高度河东地区为上升运动区(图10),最大升速为 $-20 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$,形成抽吸效应,同时由于上升运动随

高度增强,促使对流发展达到较高高度,有利于冰雹形成。15日08时,上升运动区逐渐东移,说明垂直速度在冰雹的形成及降落过程中维持时间都较短,但又起着不可缺少的重要作用。这也证明了一个降雹系统的生命史有时是很短的。

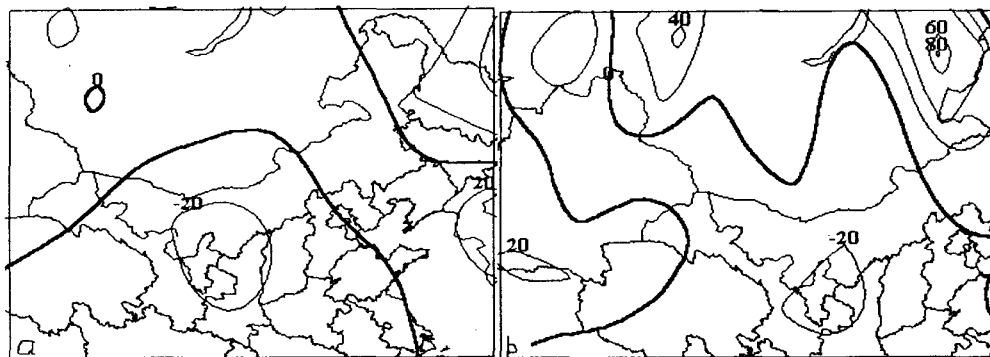


图10 14日08时500 hPa(a)和300 hPa(b)垂直速度场

Fig. 10 Vertical velocity at the level of 500 hPa(a) and 300 hPa(b) at 08 on May 14

6 小结

(1)这次过程出现在一次长波槽前的区域性降水过程之后,系冷气团内部的细胞状积云对流;表明

区域性冰雹天气一般是在一定的天气形势背景下产生的,高空西北气流中小扰动是冰雹天气触发机制之一。

(2) 区域性降雹天气过程与前期大气环流和天气气候背景有一定关系。前期大气环流造成的少雨干旱,气温偏高,在低层大气累积了一定的热能,容易形成不稳定层结;当大气环流由纬向型向经向型转变的时候,不稳定能量得到释放,冰雹过程有利于在能量释放过程中产生。

(3) 对大气层结稳定度分析,500 hPa 至 300 hPa 均为强冷平流,对流层中、上部冷平流随高度增强形成了不稳定层结;特别是区域性冰雹有利于产生在较深厚的不稳定层结区域内;甘肃各地 5 月份 08 时只要沙氏指数为负值,同时有正不稳定能量面积时,就具备当日午后发生降雹的条件。

(4) 正涡度和正涡度平流由低层随高度增加而增强,促使地面低压系统发展及伴有上升运动的发展,促使其高层的辐散和低层的辐合,是促使对流发展的一个重要动力因子。

参考文献:

- [1] 李吉顺. 我国冰雹和暴雨的若干气候特征[A]. 北方天气文集(2)[C]. 北京:北京大学出版社,1982. 31 - 39.
- [2] 陈乾,朱阳生. 甘肃省雹暴的分类及其诊断分析[A]. 强对流会议文集[C]. 北京:气象出版社,1983. 15 - 24.
- [3] 中国气象局科教司. 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.
- [4] 曹钢锋,张善君,朱官中,等,编著. 山东天气分析与预报[M]. 北京:气象出版社,1988. 186 - 207.
- [5] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,1981. 92 - 94.

Analysis about a Regional Course of Hail

ZHANG Xin - rong^{1,2}, WANG Xi - wen², CHENG Peng², SONG Xiur-ling²

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China; 2. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract: A preliminary analysis on the first regional hail process which occurred on May 14 to 15 in 2004 was given, including its atmospheric circulation, the background of previous climate and the field of physical quantities, and the conditions under which this type of weather process occurs was established. This has certain instructing meaning to forecast such process accurately within short and medium terms.

Key words: hail; the eastern part of Northwest China; weather analysis