

王秀玲,郭丽霞,高桂芹,等. 唐山地区冰雹气候特征与雷达回波分析[J]. 气象,2012,38(3):344-348.

唐山地区冰雹气候特征与雷达回波分析^{*1}

王秀玲¹ 郭丽霞¹ 高桂芹¹ 郑艳萍¹ 刘爽¹ 匡顺四²

1 河北省唐山市气象局,唐山 063000

2 河北省石家庄市气象局,石家庄 050081

提 要: 利用唐山市 11 个气象台站 1974—2009 年冰雹观测资料和 1999—2009 年冰雹日的高空观测资料及 2006—2009 年的冰雹云多普勒雷达资料,详细分析并归纳了唐山市冰雹的时空分布特征、气候特征和冰雹云的雷达回波的识别特征,并分析了冰雹日数的突变特征。分析结果表明:唐山冰雹主要发生在北部山区、半山区。20 世纪 80 年代是冰雹高发期,90 年代以后逐渐减少;冰雹日数于 90 年代初期发生显著突变,突变后冰雹日数明显减少。上冷下暖的不稳定区域中,强烈不稳定能量的释放将有利于冰雹天气的产生。降雹的 0℃层平均高度为 3.4 km,−20℃层平均高度为 6.3 km。唐山冰雹云回波中心强度大多大于 60 dBz,垂直结构都为倾斜回波,回波顶(ET)都在 8 km 以上,垂直累积液态水大部分在 25 kg·m^{−2} 以上,基本径向速度图上表现辐合特征。

关键词: 冰雹, 时空分布, 气候特征, 雷达回波

Climatological Characteristics and Radar Echo Analysis of Hail in Tangshan, Hebei

WANG Xiuling¹ GUO Lixia¹ GAO Guiqin¹ ZHENG Yanping¹ LIU Shuang¹ KUANG Shunsi²

1 Tangshan Meteorological Office of Hebei Province, Tangshan 063000

2 Shijiazhuang Meteorological Service of Hebei Province, Shijiazhuang 050081

Abstract: Based on the observation data at 11 stations from 1974 to 2009 in Tangshan and upper-air observation data from 1999 to 2009 and Doppler radar data of hail from 2006 to 2009, the spatial and temporal distributions and climate characteristics and radar echo features of the hail were analyzed. Using different analytical methods of mutation, we analyzed sudden changes of hail. The results show that the hail mainly occurs in mountainous and semi-mountainous areas north of Tangshan. The annual hail days reached the peak in the 1980s, and then show a decreasing trend from the 1990s. A sudden change spot of annual hail days occurred in the early 1990s. After the change spot, the annual hail days reduced obviously. The release of the strong instability energy will be conducive to the formation of hail in unstable region. The height of hail zero layer is at 3.4 km, the height of −20℃ layer is at 6.3 km. Most of the strong hail's radar echo centers are more than 60 dBz. The vertical sections are all characterized by slantwise echo structure. The top of echo is more than 8 km. The most vertical integrated liquid water content is more than 25 kg·m^{−2}. There is a convergence feature on the basic radial velocity images.

Key words: hail, the spatial and temporal distribution, climate features, radar echoes

引 言

气候变暖背景下,中国极端天气气候事件的频

率和强度出现了明显的变化^[1]。极端天气气候事件导致暴雨、干旱、沙尘暴、冰雹等气象灾害频繁发生^[2]。气候极端事件增加的问题受到很多专家和研究人员普遍关注^[3-5],罗伯良等^[6]对近 40 年湖南

* 河北省气象局课题(10ky22)资助

2011 年 3 月 26 日收稿; 2011 年 12 月 19 日收修定稿

第一作者: 王秀玲,主要从事人工影响天气工作. Email: wxllztlys@126.com

省极端强降水气候变化趋势与突变特征进行了分析;余卫东等^[7]分析了1957—2005年河南省降水和温度极端事件变化。李德俊等^[8]研究了强冰雹和短时强降水天气雷达特征及临近预警。

冰雹作为一种极端灾害性天气,是影响唐山市的主要气象灾害之一。唐山素有“冀东粮仓”美称,因此研究在气候变暖的大背景下的冰雹的气候变化特征和冰雹雷达回波特征,做好冰雹的预警和防御具有重要意义。符琳等^[9]对近50年我国冰雹年代际变化及北方冰雹趋势的成因进行了分析,指出大尺度环流系统的一系列调整是我国北方冰雹减少的主要原因;李云川等^[10]对发生在河北省中南部地区的冰雹、强风、大型降水天气过程的多普勒雷达指标进行了统计分析。目前,还没有对唐山冰雹特征的具体分析、总结。本文利用唐山最近36年的11个气象站的基本观测资料、冰雹日的常规观测资料和多普勒雷达回波资料详细分析了唐山冰雹的时空分布特征,包括地理分布、季节变化、年际变化、日变化特征及降雹的持续时间,冰雹频率的突变分析和冰雹产生的环流背景、冰雹天气的某些参数特征,以及冰雹云的雷达回波特征。为唐山的冰雹预报和防雹减灾提供了一定的依据。由于冰雹云雷达个例资料少,有待今后进一步完善。

1 资料与方法

资料为唐山地区所属的11个气象观测站1974—2009年台站冰雹观测资料,受目前布网和观测手段的限制,可能存在冰雹漏测的情况。趋势分析和突变检验则运用线性变化倾向率和Mann-Kendall非参数检验法^[7-8]。

2 降雹的时空分布特征

2.1 降雹的空间分布特征

图1给出了唐山地区11个气象台站1974—2009年36年的降雹总日数分布,由图可以看出,由北向南降雹总数趋于减少,北部山区降雹日次最高,迁西为71,遵化为64,迁安为57;中部燕山附近的玉田、丰润出现一个次高频点,玉田降雹总日次为62,丰润为54;中部平原及沿海以滦南最多,降雹总数为44,丰南降雹最少为21,可见地形对冰雹的形

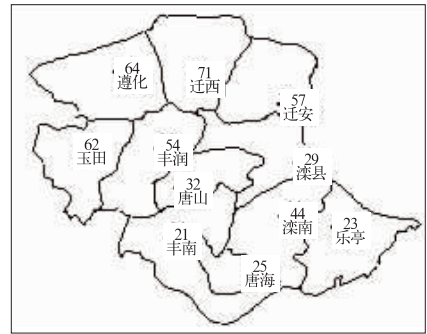


图1 1974—2009年各站降雹总日次分布

Fig. 1 Spatial distribution of the total hail days from 1974 to 2009

成具有重要的作用。

通过计算各站冰雹日数与海拔高度的相关系数为0.71,并通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性 t 检验,说明冰雹发生频率与海拔高度密切相关,海拔越高,发生冰雹的可能性越大,这也可能是滦南位于唐山南部,而冰雹频率却出现一个次高频点的原因。因此布设防雹炮点时,应该倾向于北部山区及海拔相对高的县区。

2.2 降雹的时间变化特征

2.2.1 冰雹的年代际变化特征

唐山市冰雹在1974—1979年的6年中共出现降雹57次,平均每年9.5次;20世纪80年代的10年中共出现107次,平均每年10.7次;90年代77次,平均每年7.7次;2000—2009年58次,平均每年5.8次,可见80年代是降雹高峰的年代,不过从总的趋势来看,冰雹天气的发生率是减少的。

从1974—2009年的逐年降雹序列图可以看出(见图2),冰雹发生的年际变化显著,降雹发生概率最多的是1985、1986年,降雹次数为15次,最少的是1994年,没有冰雹发生。从线性趋势线可以看出,

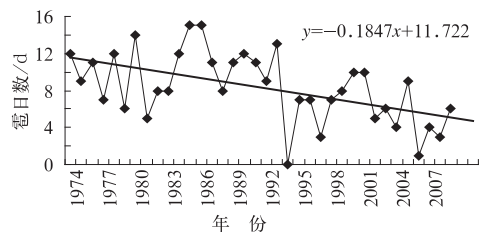


图2 1974—2009年降雹逐年变化和线性趋势

Fig. 2 Time series and trends of the annual hail days from 1974 to 2009

唐山市降雹频率是趋于减少的,每 10 年减少 1.8 次,此倾向率通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性 F 检验。

2.2.2 唐山冰雹发生的突变分析

气候突变^[11]是气候从一个平均值到另一个平均值的急剧变化,它表现为气候变化的不连续性。下面用 Mann-Kendall 法^[11-12]、累积距平曲线^[13-14]和滑动 t 检验法^[11-12]对冰雹的突变进行分析。

通过计算唐山市的平均降雹频率为 8 次/年,1974—1993 年平均为 10 次/年,高于平均数 2 次;1994—2009 年平均降雹为 6 次,低于平均数 2 次,因此 1994 年是降雹频次的转折年。

从唐山降雹日数的 Mann-Kendall 曲线的 UF 曲线(图 3)可以看出,20 世纪 70 年代中期到 80 年代中期减少不明显,呈现一种震荡形式。自 80 年代中期以来,唐山市冰雹发生频率呈明显下降趋势,1992 年以来这种下降趋势超过 0.001 显著性水平 ($u_{0.001}=2.56$),说明 1992 年以来冰雹发生率减少趋势十分显著。根据 UF 和 UB 曲线的交点位置,确定 90 年代以后冰雹频次的减少是一突变现象,具体开始时间是 1990 年。

从唐山降雹日数的累积距平曲线(图 4)上可以看出,从 1974—1993 年冰雹日数的累积距平一直呈上升的趋势,1994—2009 年冰雹日数的累积距平呈

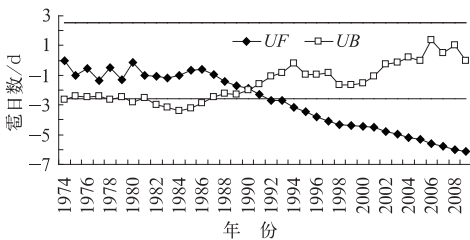


图 3 唐山市降雹日数的 Mann-Kendall 曲线图
(直线为 $\alpha=0.001$ 显著性水平临界值)

Fig. 3 The Mann-Kendall curve of the total hail days in Tangshan

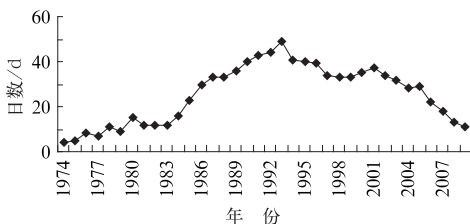


图 4 唐山市降雹日数的累积距平曲线图
Fig. 4 The accumulated departure of the total hail days in Tangshan from 1974 to 2007

波动下降趋势,1994 年是冰雹从多发年到少发年的转折年。

为了检验这种突变是否显著,用滑动 t 检验来检测^[15]。通过计算冰雹从多发年到少发年的 t 值为 1.84,大于 $t_{0.05}(1.69)$,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,说明 1993 年前后冰雹频率发生了显著性变化,达到了突变的标准。

通过不同方法的突变分析,趋势线分析与累积距平分析的突变年完全一致,并通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性 t 检验,Mann-Kendall 方法分析的结果也很相近,不同的突变分析方法,突变点会稍有不同,但是都发生在 20 世纪 90 年代初期,可见 90 年代初期冰雹频率发生了突变。

根据龚宇等^[16]的研究:1994/1995 年度唐山发生了由冷到暖的突变;最近 10 年的变化特点及趋势与 IPCC 第 4 次评估报告中关于全球气温变化的趋势相同。可见,温度的突变与冰雹日减少突变比较一致,由此可以推断:唐山冰雹减少突变可能由于气候变暖引起。

2.2.3 降雹的月分布特征

唐山市冰雹发生的一个明显特征是季节性强。36 年来唐山市降雹出现的最早月份为 3 月,出现在 3 月 25 日(丰润 1981 年),最晚结束在 11 月,出现在 11 月 1 日(迁西 1982 年),即 3—11 月间都有冰雹发生的可能。从 36 年来的各月降雹总数分布图可以看出(见图 5),从 3 月开始降雹频率逐月开始增加,6 月达到最高值,降雹总数为 87 次,平均每年 6 月份有 2.4 天降雹,随后又呈逐月下降的趋势,其他月份无冰雹天气发生。其中 5—7 月最多,占冰雹总数的 61.5%。另外,迁西、玉田、丰润、滦南 3 月份都有冰雹出现,11 月只有迁西有一次降雹发

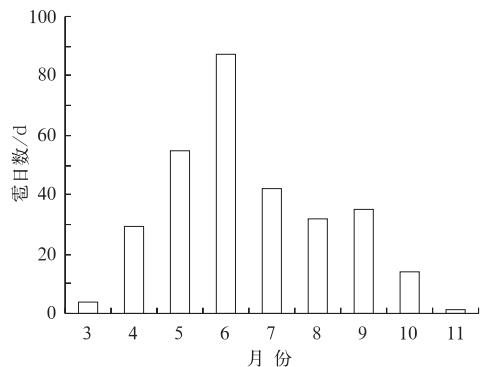


图 5 1974—2009 年全市降雹月分布图
Fig. 5 Time series of the total monthly hail days from 1974 to 2009

生,说明山区、半山区冰雹天气来得早,结束得晚。因此,3月底应该做好防雷高炮的年检、人员的保障工作。

2.2.4 降雹发生的日变化特征及持续时间

由图6可以看出,唐山市降雹的日变化特征明显,降雹主要发生在白天,夜间只占冰雹总数的30.7%。另外,从基本站的记录来看,夜间的冰雹主要发生在前半夜。白天降雹主要发生在下午,占冰雹总数的64.4%,午后冰雹发生概率有一个逐渐增加的过程,17—18时达到顶峰,其中16—18时是冰雹的高发时段。8—12时的冰雹发生率最少,只占冰雹总数的4.9%。大部分冰雹发生在午后,说明热力条件是冰雹发生的重要因素。

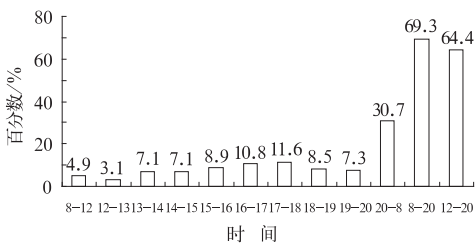


图6 1974—2009年各时段发生冰雹的百分率序列

Fig. 6 Percent series of the hail occurrence during the different time of a day from 1974 to 2009

从降雹的持续时间上分析,59.6%的降雹持续时间在5 min之内,23.8%的降雹的持续时间在5~10 min之内,12.7%的降雹持续时间在10~20 min内,3.2%的降雹持续时间在20~30 min间,只有0.7%的降雹大于30 min。

3 冰雹天气的气候特征

3.1 冰雹天气的环流背景特征

冰雹天气属中小尺度局地强对流系统,它的发生、发展仍受到大尺度环流和天气尺度系统的制约,与大气的热力、动力条件密切相关,而且受到地形条件的影响。本文对1999—2009年的61个冰雹天气个例进行了环流背景的分析,大约79%的冰雹天气发生在500 hPa为西到西北气流的天气背景下,有18%的冰雹天气发生在500 hPa为西南气流控制下,有3%的冰雹天气发生在500 hPa为弱脊控

制之下。

3.2 冰雹天气某些参数分析

冰雹天气不仅需要一定的不稳定层结条件,0℃层和20℃层也是冰雹形成条件的一个特征参数。本文利用距离唐山最近的北京站的探空资料,通过1999—2009年的57个冰雹个例的分析,对产生冰雹条件的某些参数进行了统计。

3.2.1 稳定度分析

利用北京08时的探空资料,对雹暴发生当天的沙瓦特指数(SI)和K指数进行了分析,同时利用高空资料对当天的500 hPa与850 hPa的温差进行了分析。通过分析发现:平均K指数为26℃,最大的为37℃,66.7%的K指数大于25℃;平均SI为0.5℃,45%的SI小于0℃,77%的SI小于2℃;850 hPa与500 hPa的温差($T_{850} - T_{500}$)平均为29℃,最小为20℃,88%的温差在25℃以上。可见,大多数冰雹都发生在大气不稳定层结条件下。

3.2.2 0℃层和-20℃层高度分析

只有合适的0℃层和-20℃层高度才有利于形成冰雹。由于大部分冰雹发生在午后到傍晚,因此采用20时的探空资料。统计发现:冰雹日当天20时平均0℃层高度为3.4 km,而且随着月份先增高后减少,7—8月达到最高,为4.3 km。最低为10月,为1.3 km,74%的0℃层高度在3.0 km以上,98%的0℃层高度在5.0 km以下。冰雹日当天20时平均-20℃层高度为6.3 km,也是随着月份先增高后减少,8月达到最高,为7.2 km。最低为3月,为4.8 km。

3.3 冰雹云的雷达参数特征

由于多普勒雷达应用较晚,只有5个冰雹个例,本文详细分析了5个个例的雷达回波形状、回波强度、径向速度、回波顶高、垂直液态含水量。

5个个例有3个为块状回波,2个为带状回波,但是回波强中心结构都很密实,强回波中心强度大多大于60 dBz,最小的一次为45 dBz,回波梯度很大。5个个例垂直结构都为倾斜回波,即高仰角的强中心对应低仰角处为弱回波区,大值区由低到高向低层入流方向倾斜。回波顶(ET)都在8 km以上,最大的为12 km,说明冰雹云发展都很旺盛。垂直累积液态水含量也是一个重要的指标,5次过程中4次都在 $25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上,最大为 $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,

一次为 $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。从 3 个个例的基本径向速度图上(其余 2 个在观测范围之外)看,2 次在 1.5° 仰角上存在逆风区,1 次虽然没有逆风区,但是也存在辐合、急流,说明冰雹云低层都存在有强烈的辐合上升运动。

4 结 论

(1) 唐山市降雹分布与地形有关,西北部山区、半山区是降雹高发区,中部平原出现一个次高频点,南部沿海降雹最少;降雹频率与测站的海拔高度有高度的正相关性。

(2) 唐山市降雹年代际变化明显,20 世纪 80 年代是降雹高峰,70 年代次之,90 年代以后逐年代减少;降雹发生概率最多的是 1985、1986 年,最少的是 1994 年,唐山市降雹频率是趋于减少的,每 10 年减少 1.8 次。唐山市降雹季节性显著,最早发生在 3 月下旬,最晚结束在 11 月初,5—6 月是冰雹的高发月,山区、半山区冰雹天气来得早,结束得晚。

(3) 从降雹的日变化看,午后到傍晚是冰雹高发时段,特别是 16—18 时。降雹的持续时间大部分在 5 min 以内,持续时间在 20 min 以上的很少。

(4) 20 世纪 90 年代初期冰雹频率发生了突变,这种突变与温度的突变比较一致。因此冰雹频率的突变可能由气候突变引起。

(5) 大部分冰雹天气发生在 500 hPa 为西到西北气流的天气背景下,大部分 850 hPa 与 500 hPa 的温差在 25°C 以上, K 指数大于 25°C , SI 小于 2°C ,可见,上冷下暖的不稳定区域中,强烈不稳定能量的释放将有利于冰雹天气的产生。

(6) 唐山市降雹的 0°C 层平均高度为 3.4 km, -20°C 层平均高度为 6.3 km。

(7) 唐山冰雹云雷达回波强回波中心强度大多大于 60 dBz,垂直结构都为倾斜回波,回波顶(ET)

都在 8 km 以上,垂直累积液态水大部分在 $25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上,基本径向速度图上表现辐合特征。但是个例较少,有待今后进一步完善。

参考文献

- [1] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(1): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
- [2] 翟盘茂,章国材. 气候变化与气象灾害[N]. 科技导报, 2004(7): 11-14.
- [3] 周秀杰,张桂华,郑红,等. 黑龙江省气候变暖对极端天气气候事件的影响[J]. 气象, 2004, 33(11): 47-49.
- [4] 王维国,王秀荣. 2007 年城市极端天气事件及其危害分析[J]. 气象, 2008, 34(4): 16-21.
- [5] 王华,孙继松,李津. 2005 年北京城区两次强冰雹天气的对比分析[J]. 气象, 2007, 33(2): 49-56.
- [6] 罗伯良,张超,林浩. 近 40 年湖南省极端强降水气候变化趋势与突变特征[J]. 气象, 2008, 34(1): 80-85.
- [7] 余卫东,柳俊高,常军,等. 1957—2005 年河南省降水和温度极端事件变化[J]. 气候变化研究进展. 2008, 4(2): 78-82.
- [8] 李德俊,唐仁茂,熊守权,等. 强冰雹和短时强降水天气雷达特征及临近预警[J]. 气象, 2011, 37(4): 474-480.
- [9] 符琳,李维京,张培群,等. 近 50 年我国冰雹年代际变化及北方冰雹趋势的成因分析[J]. 气象, 2011, 37(6): 669-676.
- [10] 李云川,王福侠,裴宇杰,等. 用 CINRAD-SA 雷达产品识别冰雹、大风和强降水[J]. 气象, 2006, 32(10): 64-69.
- [11] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-492.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预报技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007, 62-71.
- [13] 康丽莉,顾骏强,攀高峰. 兰江流域近 43 年气候变化及对水资源的影响[J]. 气象, 2007, 33(2): 70-75.
- [14] 买买提. 阿布都拉,玉苏甫,阿布都拉,刘海涛,等. 和田市近 40 年蒸发量的变化特征[J]. 气象, 2006, 32(8): 92-96.
- [15] 黄丽娜,林笑茹,曾华. 西北太平洋台风累积动能的气候特征[J]. 气象, 2009, 35(9): 44-50.
- [16] 龚宇,石志增,花家嘉,等. 唐山地区水资源的气候特征分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 409-514.