

## 青海强对流天气时空 特征及其对气候变暖的响应

王芝兰<sup>1</sup>, 陈录元<sup>2</sup>, 尚可政<sup>3</sup>, 刘晓林<sup>3,4</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 94195 部队气象台, 甘肃 临洮 730500;  
3. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 4. 青海省气象台, 青海 西宁 810001)

**摘要:**利用青海省38个测站1960~2006年4~10月冰雹、雷暴日数资料,其中24站有连续的温度资料,采用线性回归分析、经验正交函数(EOF)等方法,分析了青海冰雹、雷暴的时空特征及对气候变暖的响应。结果发现:47年来38站平均雷暴、冰雹日数的年内分布都为单峰型分布,雷暴和冰雹日数都在7月达到峰值;年平均冰雹、雷暴日数均具有明显的线性下降趋势,平均冰雹、雷暴日数空间分布特征呈南多北少的纬向分布;年冰雹日数在海南地区、玉树西北部和海西西部地区(负变化)与其它地区呈反位相变化关系;年雷暴日数在海西北部大柴旦地区、海北祁连和海东西宁地区(正变化)与其它地区呈反位相变化关系,变化敏感区位于年平均冰雹、雷暴日数大值区。7月份海东、海西及果洛地区冰雹、雷暴日数与其温度无显著的相关性,海南、海北地区冰雹、雷暴日数与温度呈显著负相关,黄南和玉树地区冰雹日数与温度呈显著负相关。

**关键词:**强对流天气; 冰雹; 雷暴; 气候响应

中图分类号:P461

文献标识码:A

### 引言

强对流性天气一般具有发生突然、移动迅速、天气剧烈、破坏性强等特点,主要包括冰雹、龙卷、雷雨大风、短时强降雨和飑线等<sup>[1]</sup>。中国平均每年遭受冰雹灾害面积达到 $2 \times 10^6 \text{ hm}^2$ <sup>[2]</sup>, 2002年风雹使全国农作物受灾面积达500多万亩,造成直接经济损失138亿元,因此,国内外对它的研究都十分重视<sup>[3]</sup>。影响强对流天气的因素很多,地形、热力条件和大气环流等都会对雷暴和冰雹的发生有影响。不同的地区,影响因子也不同<sup>[4-5]</sup>。一般认为水汽、不稳定层结和抬升力是造成强对流天气的3个必备条件<sup>[6]</sup>。

青海省位于青藏高原东北部,海拔高,地形起伏大,高山众多,沟壑相连,局地强对流天气频繁发生。青海省地形地貌复杂,地表生态环境脆弱,对气候变化响应较敏感,该地区冰雹、雷暴灾害分布复杂,且空间差异大,部分地区出现较频繁,冰雹灾害已成为

影响经济发展的重要因素之一<sup>[7-11]</sup>。由于冰雹雷暴资料稀缺,1980年代末学者们才开始对其特征进行研究。张家诚<sup>[11]</sup>对中国雷暴、冰雹的地理分布、季节变化、初终日等做了概括。张敏锋等<sup>[12]</sup>使用中国104个台站30a雷暴资料,分析了中国雷暴天气气候特征,指出大部分地区雷暴频数在波动中减少。陈思蓉等<sup>[13]</sup>研究发现中国雷暴发生频繁的区域共有5个,分别是青藏高原东部、云南中南部、四川境内、华南两广地区及新疆西部,各区域雷暴日数存在不同的年际变化特征,全国雷暴日数除青藏高原地区略有上升外,总体呈下降趋势,而冰雹日数的年际变化也具有空间差异性,但祁连山地区、天山地区和华北北部地区是冰雹频繁发生的主要区域。刘德祥等<sup>[14]</sup>选取西北地区均匀分布的85个地面测站1961~2001年冰雹资料,分析了降雹的空间分布和年、日变化及持续时间,西北地区冰雹与地形、海拔高度有密切关系,具有明显的局地性。赵红岩等<sup>[15]</sup>分析了1990年代西北地区降雹的时空分布特征,表明降

收稿日期:2011-11-04; 改回日期:2011-11-23

基金项目: 兰州干旱气象研究所启动基金项目(KYS2011BSKY04)资助

作者简介: 王芝兰(1984-),女,甘肃兰州人,助工,硕士,主要从事气候变化研究. E-mail:wangzhilan2008@163.com

雹主要高频区位于青藏高原中部、祁连山和天山山脉西段，并呈带状分布，降雹旬、候分布不均匀，产生双一多峰特征。对青海高原地区雷暴、冰雹的研究表明<sup>[9,17-20]</sup>：冰雹、雷暴在高原和高山地区多，在平原和盆地地区少；各地冰雹、雷暴的年变化均呈单峰型，峰值在7月；大部分台站年冰雹、雷暴日数空间呈东南向西北递增分布，随时间变化呈明显减少趋势；柴达木盆地变化趋势不明显，少部分地区还呈略微增加趋势。

由于青海特殊的地理位置,气象要素存在明显的变化特征。本文利用青海省 1960~2006 年 38 个台站近 47 a 来相对完整的冰雹、雷暴日数、温度资料,分析冰雹、雷暴的时空分布特征及对气候变暖的响应,以便给青海防灾减灾工作提供科学的参考依据。

## 1 资料与方法

由于各台站资料年份起始不一致,选取由青海省气象台资料室提供的1960~2006年47a分布在青海省7个区域38个测站冰雹、雷暴日数资料及温度资料,台站分布如图1所示。利用线性回归、经验正交函数(EOF)分析冰雹、雷暴日数的时空变化特征。38站中有些站点温度资料不连续,因此从38个站中再选择出冰雹、雷暴日数和温度资料较为完整的24站(图1中实心圆点所示),建立温度与雷暴、冰雹日数的线性回归关系,分析青海省雷暴、冰雹日数对气候变暖的响应。

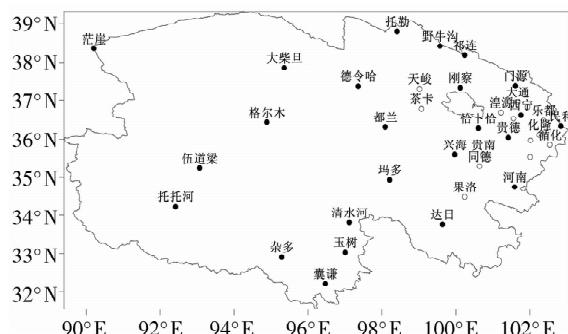


图 1 青海省 38 个台站分布

Fig. 1 The location of 38 meteorological stations in Qinghai Province

## 2 雷暴、冰雹日数时空变化特征

## 2.1 雷暴、冰雹日数的时间变化特征

<sup>[9]</sup>已有研究表明青海省雷暴主要发生在4~10

月,因此统计了青海省 38 站 1960 ~ 2006 年 4 ~ 10 月逐月平均冰雹、雷暴日数分布,如图 2 所示。可以看出冰雹、雷暴日数的年变化均为单峰型分布。冰雹、雷暴日数在 7 月达到峰值,分别占 4 ~ 10 月发生总数的 25.0% 和 24.8%,而夏季发生次数分别占 4 ~ 10 月总数的 67.5% 和 67.1%,这些与郭卫东<sup>[9]</sup>、张国庆<sup>[19]</sup>的研究结果相吻合。

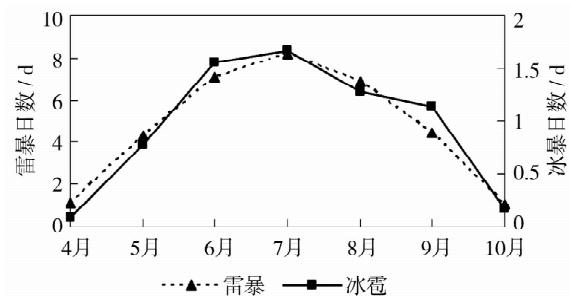


图2 青海省逐月冰雹、雷暴日数分布

Fig. 2 The monthly average hail and thunderstorm days from April to October in Qinghai Province

图3给出1960~2006年38站平均年冰雹、雷暴日数距平百分比年际变化曲线,可以看出两者都具有明显的线性下降趋势(通过 $\alpha=0.001$ 信度检验);平均年冰雹日数7.66 d,倾向率为-0.0766 d/a,47 a下降3.6 d;主要下降时段为1964~1971年和1989~2006年,倾向率分别为-0.31 d/a和-0.23 d/a;其中在1989年冰雹日数距平百分比达到最高值为42%,而在1997年达到最低值为-40.7%。平均年雷暴日数35.97 d,倾向率为-0.2654 d/a,47 a下降12.5 d;主要下降时段与冰雹日数基本相同,分别为1964~1970年和1989~2006年,倾向率分别为-1.995 d/a和-0.592 d/a;其中年雷暴日数距平百分比在1964年达到最高值为34.4%,在2000年达到最低值为-29.1%。

## 2.2 雷暴、冰雹日数空间变化特征

图4是1960~2006年各站年平均冰雹、雷暴日数空间特征。可以看出青海省年平均冰雹、雷暴日数的空间分布基本呈南多北少的纬向分布,但海北的祁连山附近地区两者都存在一个次高值区:冰雹为8~12 d,雷暴为40~50 d。

冰雹多发中心在玉树西南部的沱沱河、杂多县一带,年平均冰雹日数在16 d以上;另2个中次高值中心分别是年平均冰雹日数在8~12 d之间的海北祁连山附近地区和12 d左右的黄南与果洛南部地区。海西的柴达木盆地是青海冰雹发生最少的地区。

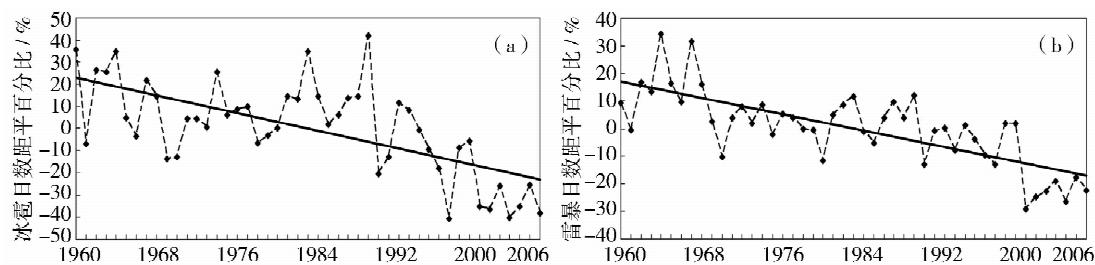


图3 年冰雹日数(a)与年雷暴日数(b)距平百分比年际变化

Fig. 3 The annual variation of hail days(a) and thunderstorm days(b) anomaly percentage

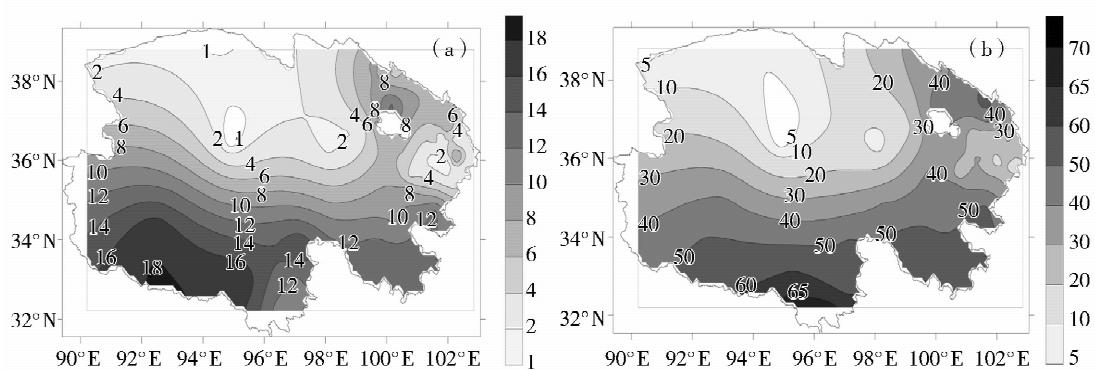


图4 年平均冰雹(a)与雷暴(b)日数分布(单位:d)

Fig. 4 The annual average hail days(a) and thunderstorm days distribution (Unit:d) in Qinghai Province

区,年冰雹日数在2 d以下,而该地区也是国内雷暴发生最少的地区之一<sup>[9]</sup>。海东南部循化县、海南东部尖扎县和黄南部同仁县的部分地区也存在一个次低值中心,年冰雹日数在2~4 d之间。

雷暴多发中心基本和冰雹相似。在玉树南部地区的囊谦县、杂多县一带,年平均雷暴日数在60 d以上;另外2个次高值中心分别是40~50 d之间的海北祁连山附近地区和50 d左右的果洛地区与黄南部地区;海西的柴达木盆地是青海雷暴最少的地区,年雷暴日数在10 d以下,其中格尔木,大柴旦等地少于5 d;海东南部、海南东部和黄南部的部分地区也存在一个年雷暴日数在30 d左右的次低值中心。王田寿等<sup>[20]</sup>发现青海雷暴分布特征和其夏季短时强降水分布特征非常相似,说明短时强降水是造成雷暴的主要天气原因。

经验正交函数(EOF)是一种通过分析矩阵数据的结构特征,提取主要数据特征量的一种方法。该方法可以将场序列做时间和空间的分离,用特征向量的时间系数与方差贡献率来表示时间序列的时空特征,方差贡献越大越能反映要素的空间分布特

征<sup>[21~22]</sup>。对特征向量的收敛性进行分析,利用公式(1)进行特征向量的显著性检验<sup>[22]</sup>。结果发现:冰雹日数前2个特征向量有意义,前2个特征向量的累积方差贡献为28.7%;雷暴日数前2个特征向量的累积方差贡献为45.3%。

$$\lambda_i - \lambda_{i+1} = \lambda_i \left( \frac{2}{n} \right)^{1/2} \quad (1)$$

从图5可以看出,第一特征向量反映年冰雹日数海南、玉树西北部和海西西部与其它地区呈反位相的变化关系。主要正异常敏感区在玉树、果洛和黄南3个地区的东南部、海北东南部和海东东部地区;主要负异常敏感区主要在海南地区;第二特征向量反映冰雹日数年际变化青海省中部地区与东、西部地区呈反位相变化。正异常敏感区在果洛西北部和海南西南部地区;次要负异常敏感区在海东地区。结合图4a,可以看出年平均冰雹日数多的地区都处在正负异常敏感区内,说明年冰雹日数多的地区年际正(负)变化比较大。从图5c年冰雹日数时间第一、二特征向量可以看出,年冰雹日数主要呈下降趋势。

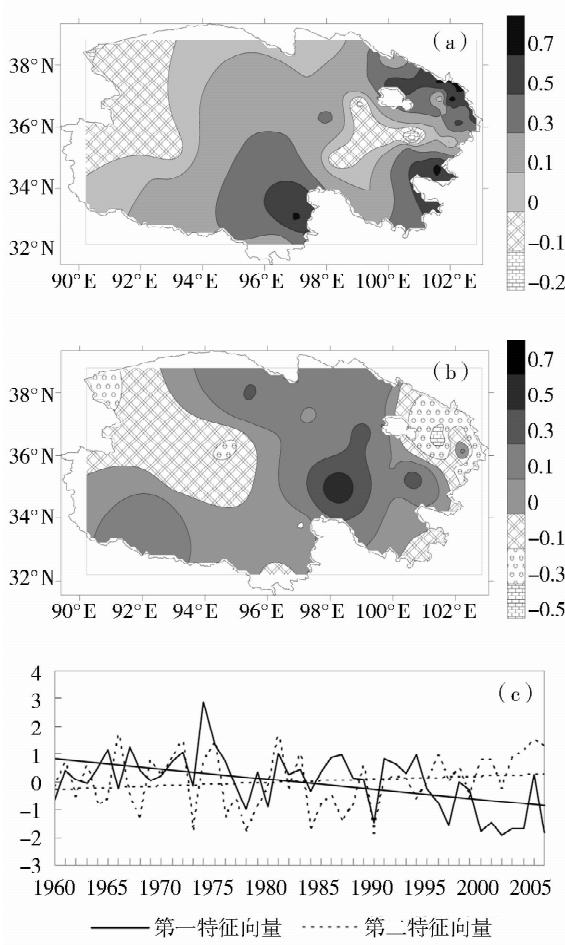


图 5 年冰雹日数空间第一特征向量(a)、  
空间第二特征向量(b)及时间第一、二特征向量(c)

Fig. 5 Spatial (a,b) and temporal  
structures (c) of the first and second loading  
vectors of the annual hail days

从图 6 可以看出,年雷暴日数的第一特征向量反映了海西北部大柴旦、海北祁连和海东的西宁地区年雷暴日数变化与青海省其它地区呈反位相变化关系。正异常敏感区在青海省玉树地区的杂多和囊谦一带,主要负异常敏感区在海西北部的大柴旦地区;第二特征向量反映了玉树西部、海西西南部及海西的都兰 3 个地区年雷暴日数变化与青海省其它地区呈反位相变化关系。正异常敏感区分布在玉树西部、海西西南部、海西东部都兰,负异常敏感区分布在海东大部分地区。结合图 4b,同样可以看出年平均雷暴日数多的地区都处在正负异常敏感区内。从图 6c 年雷暴日数时间第一、二特征向量可以看出,年雷暴日数主要呈下降趋势。

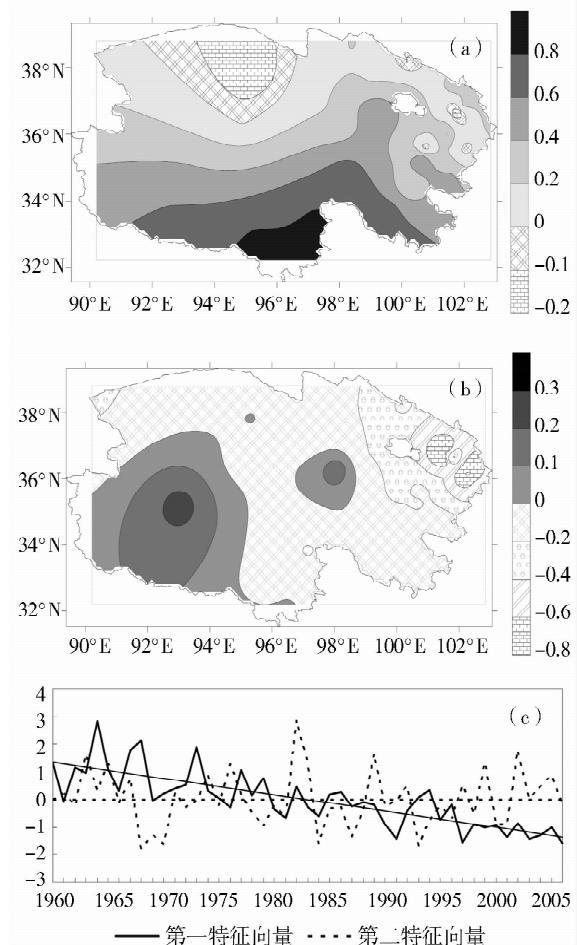


图 6 年雷暴日数空间第一特征向量(a)、  
空间第二特征向量(b)及时间第一、二特征向量(c)

Fig. 6 Spatial structures (a,b) and temporal  
structures (c) of the first and second loading  
vectors of the annual thunderstorm days

图 7 为年冰雹日数和年雷暴日数的变化趋势。“+”表示增加趋势站点,“-”表示减少趋势站点。可以看出,青海省大部分台站年冰雹日数和年雷暴日数都在逐年减少。年冰雹日数呈减少趋势的站有 31 站,但只有 16 站通过信度  $\alpha = 0.1$  显著性检验,减少趋势最大的是玉树地区的杂多县,倾向率达到  $-0.312 \text{ d/a}$ ;增加趋势 7 站,只有海南州的兴海和贵南 2 站通过信度  $\alpha = 0.1$  显著性检验,2 站的趋势系数分别为  $0.1178 \text{ d/a}$ 、 $0.0729 \text{ d/a}$ ;年雷暴日数减少趋势有 32 站,其中 22 站通过  $\alpha = 0.1$  显著性检验。海东互助县、海南同德县、玉树清水河县、果洛达日县、黄南河南县 5 地倾向率都在  $-0.5 \text{ d/a}$  以上,其中黄南的河南县更是达到  $-0.7063 \text{ d/a}$ 。增加趋势为 6 站,但都没有通过  $\alpha = 0.1$  显著性检验。

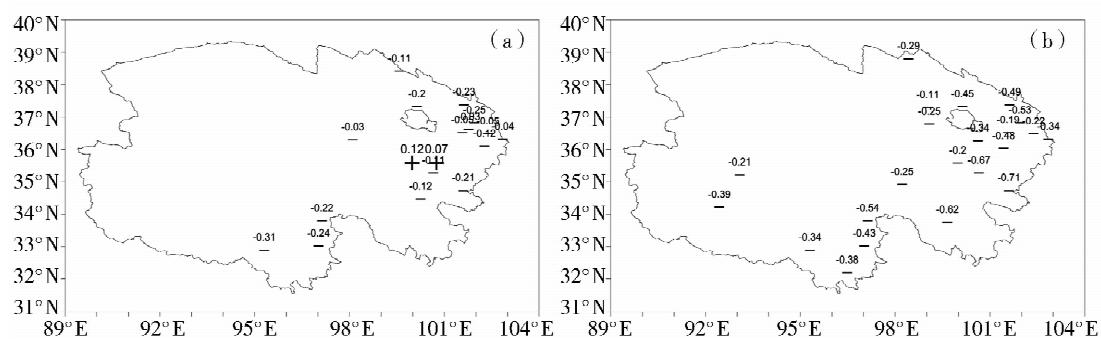


图7 年冰雹日数(a)与年雷暴日数(b)年变化趋势

Fig. 7 The varied trend of annual hail days(a) and thunderstorm days(b) in Qinghai Province

### 3 温度变化

根据所选 24 站 1960~2006 年温度来分析青海省温度变化。青海省年平均气温具有明显的一阶线性上升趋势,平均增温率  $0.0296^{\circ}\text{C}/\text{a}$ , 47 a 增温  $1.39^{\circ}\text{C}$ , 主要增温时段也是 1986 年以后(图 8)。1960~2006 年平均气温  $1.23^{\circ}\text{C}$ , 而 1987~2006 年平均增温率  $0.0545^{\circ}\text{C}/\text{a}$ , 增温  $1.09^{\circ}\text{C}$ 。施雅风等<sup>[23]</sup>研究表明 1987 年西北地区中西部气候出现向暖湿转型的突变,与本文结论有较好的一致性。可以看出青海省增温幅度高于 20 世纪后期全国年平均增温幅度为  $0.007^{\circ}\text{C}$ <sup>[24]</sup> 的平均水平。青海省和全球及北半球的气温变化趋势相同,但增温幅度青海省明显高于全球和北半球<sup>[25]</sup>。结合图 3,可以看出温度年际变化和冰雹、雷暴日数的年际变化呈反位相变化关系。

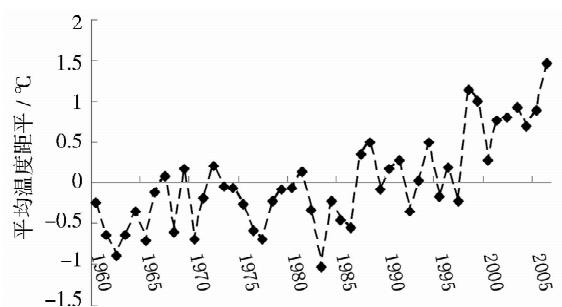


图8 青海省 24 站 1960~2006 年年平均温度距平变化

Fig. 8 The variation of annual mean temperature anomaly from 1960 to 2006 in Qinghai Province

### 4 冰雹、雷暴对气候变暖的响应

不同地区、不同环流条件下,强对流天气发生的

情况不一样。强对流天气形成的物理过程也不完全相同,这与下垫面的动力和热力作用的影响有关,温度变化是其发生的重要因子之一。在某地区地形不变的条件下,气候变暖可能造成大气环流和下垫面性质的变化,从而改变该地区水汽条件、层结稳定度和抬升力大小。比如变暖的下垫面使冷空气变性,其强度减弱或局地热力性增强改变当地的环流形势使冷空气活动的次数减少,降水次数减少和强度减小等,都能改变局地发生强对流天气的次数。本文只是分析了青海省强对流天气对气候变暖的响应,而变暖使部分站点的雷暴日数和冰雹日数减少或增加的机理还有待进一步研究。

#### 4.1 年平均冰雹、雷暴日数对气候变暖的响应

选择 24 站年平均温度与年冰雹、雷暴日数进行线性回归分析。结果表明:各站年平均温度与年冰雹日数相关通过  $\alpha = 0.1$  显著性检验的有 11 站,与年雷暴日数相关通过  $\alpha = 0.1$  显著性检验的有 15 个站,如图 9 所示(实心圆为通过检验的站点,空心圆为未通过检验的站点,标注单位:  $d/\text{d}^{\circ}\text{C}$ )。可以看出,温度升高  $1^{\circ}\text{C}$ ,黄南的河南站年冰雹、雷暴日数随温度的升高可能呈增加趋势,其它地区站点可能呈减少趋势,分别为  $1.8 d$  和  $6.4 d$ 。冰雹日数可能减少趋势最大的地区在海北和玉树南部,达到  $-3 d/\text{d}^{\circ}\text{C}$  以下,雷暴日数可能减少趋势最大的地区在海北和海东的东部地区,达到  $-8 d/\text{d}^{\circ}\text{C}$  以下。

表 1 为 24 站平均年冰雹、雷暴日数与平均温度的线性回归分析。 $y$  为冰雹日数(雷暴日数), $x$  为温度。可以看出,平均年冰雹、雷暴日数与平均温度的线性回归是显著的(通过  $\alpha = 0.05$  信度检验)。年平均温度升高  $1^{\circ}\text{C}$ ,平均冰雹日数减少  $1.07 d$ ,平均雷暴日数减少  $4.63 d$ 。

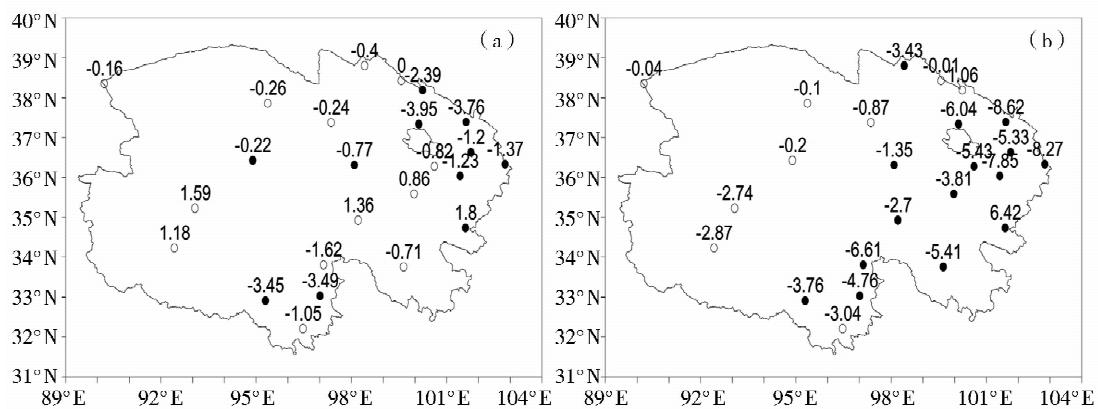


图9 温度增加1℃冰雹(a)及雷暴(b)日数变化趋势

Fig. 9 Variation of annual hail days(a) and thunderstorm days(b) with 1 °C increase of temperature

表1 24站平均年冰雹、雷暴日数(y)

与年平均温度(x)的线性回归分析

Tab. 1 The regression analysis of the average annual hail and thunderstorm days( $y$ ) with annual average temperature( $x$ ) of 24 stations

	回归方程	相关系数
冰雹	$y = -1.703x + 9.762$	$R = -0.587$
雷暴	$y = -4.633x + 41.688$	$R = -0.528$

#### 4.2 月冰雹、雷暴日数对气候变暖的响应

由于冰雹、雷暴日数在7月达到峰值,因此这里分析了青海省7个区域1960~2006年7月份温度与冰雹、雷暴日数的线性回归关系。每个区域各站温度、冰雹、雷暴日数求平均为该区域的值。黄南地区只有尖扎1个站,所以尖扎资料代表黄南地区的区域值。然后计算7月份各区域冰雹日数、雷暴日数对气候变暖的响应(表2)。

从表2可以看出,在7月,海东、海西及果洛地区冰雹、雷暴日数与温度无显著的相关性,即这3个地区冰雹、雷暴日数的增减可能与温度的升高降低无明显的关系;海南、海北地区冰雹、雷暴日数与温度都有显著的相关性,如果温度升高1℃,海南地区冰雹日数可能减少0.26 d,雷暴日数可能减少0.66 d,海北冰雹日数可能减少0.67 d,雷暴日数可能减少0.90 d;黄南和玉树地区只有冰雹日数与温度有显著的相关性,如果温度升高1℃,黄南地区冰雹日数可能减少0.96 d,玉树地区冰雹日数可能减少0.51 d。

表2 各区域7月冰雹、雷暴日数

与温度的线性回归分析

Tab. 2 The regression analysis of the hail and thunderstorm days with temperature of 7 regions in July

区域	冰雹、雷暴日数(y) 与温度(x)回归方程	相关系数 R
海东	冰雹 $y = -0.1419x + 4.1289$	-0.155
	雷暴 $y = -0.1648x + 10.1428$	-0.076
海南	冰雹 $y = -0.2622x + 5.1385$	-0.346*
	雷暴 $y = -0.6632x + 19.5325$	-0.294*
海北	冰雹 $y = -0.6678x + 10.4451$	-0.567*
	雷暴 $y = -0.9038x + 22.8214$	-0.294*
海西	冰雹 $y = -0.0468x + 1.0368$	-0.101
	雷暴 $y = -0.1833x + 4.542$	-0.153
黄南	冰雹 $y = -0.9634x + 12.7521$	-0.411*
	雷暴 $y = -0.5804x + 17.0799$	-0.153
玉树	冰雹 $y = -0.5071x + 8.7128$	-0.271*
	雷暴 $y = -0.6436x + 20.6659$	-0.201
果洛	冰雹 $y = 0.0621x + 2.6238$	0.047
	雷暴 $y = -0.2822x + 13.5479$	-0.105

注: \* 表示通过  $\alpha = 0.05$  信度检验

## 5 小结

(1) 青海省47 a来平均冰雹、雷暴日数的年内分布都为单峰型分布,且都在7月达到峰值,分别占4~10月总数的24.8%和25.0%,在夏季分别占4~10月总数的67.1%和42.9%;平均年冰雹和雷

暴日数都具有明显的线性下降趋势;平均年冰雹日数的倾向率为 $-0.0766\text{ d/a}$ ,47 a下降3.6 d;平均年雷暴日数倾向率为 $-0.2654\text{ d/a}$ ,47 a下降12.5 d;年冰雹和雷暴日数的主要下降时段为1964~1970年和1989~2006年。

(2)38站年平均冰雹、雷暴日数空间分布特征呈南多北少的纬向分布,但海北的祁连山附近地区两者都存在一个次高值区。通过经验正交函数(EOF)发现年冰雹日数年际变化在海南地区、玉树西北部和海西西部3地区与其它地区呈反位相的变化关系。主要正异常敏感区在玉树、果洛和黄南3个地区的东南部、海北东南部和海东东部地区;主要负异常敏感区在海南地区;年雷暴日数在海西北部大柴旦地区、海北祁连和海东的西宁地区的变化与青海省其它地区呈反位相变化关系。正异常敏感区在青海省玉树地区的杂多和囊谦一带,负异常敏感区海西北部的大柴旦地区。且敏感区多处在年平均冰雹、雷暴日数较多的地区。

(3)青海省气温具有明显的线性上升趋势,24站47 a平均增温 $1.39^{\circ}\text{C}$ ;青海省和全球及北半球的气温变化趋势相同,但增温幅度青海省明显高于全球和北半球;温度年际变化与年冰雹、雷暴日数的年际变化呈反位相变化关系。

(4)通过分析24个站点的年平均温度与年冰雹、雷暴日数线性回归关系,发现青海省大部分站点可能呈减少趋势。24站平均年冰雹、雷暴日数与平均温度呈显著的负相关。

(5)7月份海东、海西及果洛地区冰雹、雷暴日数与其温度无显著的相关性;海南、海北地区冰雹、雷暴日数与温度都有显著的负相关,即随着温度升高,冰雹、雷暴日数可能会降低;黄南和玉树地区只有冰雹日数与温度有显著的负相关性。

#### 参考文献:

- [1] 陈传雷,吴晓峰,孙晓巍,等.辽宁省强对流天气的气候特征分析[J].气象与环境学报,2010,26(3):27~33.
- [2] 胡志晋.人工影响天气的科技发展前沿[A].21世纪初大气科学回顾与展望[M].北京:气象出版社,2000.172~175.
- [3] 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.
- [4] 李厚檍,孙承旬.相对广义温度平流在强对流天气分析和预报中的应用[J].高原气象,1996,15(3):363~369.
- [5] 张敏锋,冯霞.我国雷暴天气的气候特征[J].热带气象学报,1998,14(2):156~182.
- [6] 纪晓玲,穆建华,周虎等.45 a来宁夏雷暴气候统计特征及趋势分析[J].中国沙漠,2009,29(4):744~749.
- [7] 王静爱,史培军,刘颖慧,等.中国1990~1996年冰雹灾害及其时空动态分析[J].自然灾害学报,1999,8(3):45~53.
- [8] 刘长友,陈爱丽,巴图,等.从IPCC第四次评估报告看全球气候变化及防灾减灾对策[J].防灾科技学院学报,2008,10(4):140~141.
- [9] 郭卫东,王振宇,朱西德,等.青海省雷暴年际变化特征分析[J].青海科技,2008,(2):11~13.
- [10] 刘彦忠,康凤琴,安林等.再议青藏高原东北边缘及毗邻地区人工防雹消雹工作意义[J].干旱气象,2006,24(3):75~83.
- [11] 张家城.中国气候总论[M].北京:气象出版社,1991.190~198.
- [12] 张敏锋,冯霞.我国雷暴天气的气候特征[J].热带气象学报,1998,14(2):156~182.
- [13] 陈思蓉,朱伟军,周兵.中国雷暴气候分布特征及变化趋势[J].大气科学学报,2009,32(5):703~710.
- [14] 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):795~803.
- [15] 赵红岩,宁惠芳,徐金芳.西北地区冰雹时空分布特征[J].干旱气象,2005,23(4):37~40.
- [16] 赵仕雄,李正贵.青海高原冰雹的研究[M].北京:气象出版社,1991.84~112.
- [17] 张廷龙,郄秀书,言穆弘.青藏高原雷暴的闪电特征及其成因探讨[J].高原气象,2007,26(4):774~782.
- [18] 冯建英,陈佩璇,梁东升.西北地区雷暴的气候特征及其变化规律[J].甘肃科学学报,2007,19(3):71~74.
- [19] 张国庆,刘蓓.青海省冰雹灾害分布特征[J].气象科技,2006,34(5):558~561.
- [20] 王田寿,李生辰.青海省短时强降水(强暴雨)特征分析[J].青海科技,2007,4:17~19.
- [21] 李艳,耿丹,董新宁,等.1961—2007年重庆风速的气候变化特征[J].大气科学学报,2010,33(3):336~340.
- [22] 王澄海,王芝兰,崔洋.40余年来中国地区季节性积雪的时空分布及年际变化特征[J].冰川冻土,2009,31(2):301~310.
- [23] 施雅风,沈永平,胡汝骥.西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J].冰川冻土,2002,24(3):219~226.
- [24] 丁一汇,王守荣.中国西北地区气候与生态环境概论[M].北京:气象出版社,2001.77~154.
- [25] IPCC Fourth Assessment Report (AR4)[M].Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

(下转第454页)

- [J]. 大气科学, 1996, 20(3): 359–366.
- [26] Whiteman C D. Mountain Meteorology [M]. London: Oxford University Press, 2000. 355.
- [27] Gustavsson T, Karlsson M, Bogren J, et al. Development of temperature patterns during clear nights [J]. J Appl Meteor, 1998 (37): 559–571.
- [28] Bootsma A. Estimating minimum temperature and climatological freeze risk in hilly terrain [J]. Agric For Meteor, 1976 (16): 425–443.
- [29] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63–73.

## Temperature Variation of Xuan'en in Western Hubei Province in Recent 51 Years

FEI Dongdong<sup>1</sup>, LUO Yajun<sup>2</sup>, YANG Jun<sup>1</sup>, XIONG Shouquan<sup>3</sup>,  
ZHENG Wei<sup>1</sup>, TENG Huachao<sup>1</sup>, CHENG Lei<sup>1</sup>

(1. Atmospheric Physics School of NUIST, Nanjing 210044, China; 2. Xuan'en Meteorological Station of Hubei Province, Xuan'en 445500, China; 3. Enshi Meteorological Bureau of Hubei Province, Enshi 445000, China)

**Abstract:** Xuan'en is located in the middle and upper reaches of the Yangtze River, it has a special character with mountain, water and climate system. Based on the meteorological data during 1959–2009, the trends of average air temperature, average maximum and minimum temperature, average temperature daily range in recent 51 years in Xuan'en were analyzed in this paper. The results show that the annual mean temperature decreased before the middle of the 1980s and then increased, and continued warming occurred in winter in recent 51 years. Though the trend of maximum temperature was similar to average temperature, but the increase of the maximum temperature after the middle of the 1980s was more significant than that of average temperature. The minimum temperature was quiet different with continuously warming trend. The variation of average temperature daily range decreased in summer and winter, increased in spring and autumn. People should pay more attention in the impacts of temperature increasing in small city, and human activity's influence was more evident on increase of the minimum temperature.

**Key words:** mountain region; temperature change; Mann–Kendall test; Xuan'en; Hubei

=====  
(上接第 445 页)

## Characteristics of Temporal and Spatial Distribution of Severe Convective Weather and Its Response to Climate Warming in Qinghai Province

WANG Zhilan<sup>1</sup>, CHEN Luyuan<sup>2</sup>, SHANG Kezheng<sup>3</sup>, LIU Xiaolin<sup>3,4</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China; 2. Meteorological Observatory of the 94195 Army, Lintao 730500, China; 3. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 4. Meteorological Observatory of Qinghai Province, Xi'ning 810001, China)

**Abstract:** By using the hail and thunderstorm days data at 38 weather stations from April to October in the period of 1960–2006 in Qinghai Province, including 24 stations' temperature data, the characteristics of temporal and spatial distribution of severe convective weather and its response to the climate warming were analyzed through the linear regression analysis and EOF method. The results show that the annual distribution of the average hail and thunderstorm days at 38 weather stations in recent 47 years was the single-peak type and reached their peak in July. The annual average days of hail and thunderstorms presented obvious linear downward trend and zonal distribution with more in the south and less in the north regions of Qinghai Province. In Hainan, northwestern Yushu and western Haixi, the change of annual hail days was different from the other regions. The change of annual thunderstorm days in Dachaidan, Qilian and Xi'ning was different from the other regions. The annual hail and thunderstorm days at the most of stations may tend to decrease with annual average temperature increase. In July, the hail and thunderstorm days in Haidong, Haixi and Guoluo had no significant correlation with temperature, but obvious negative correlation in Hainan and Haibei, and only hail days had negative correlation with temperature in Huangnan and Yushu.

**Key words:** severe convective weather; hail; thunderstorm; response to climate warming