

靳瑞军,王婉,宋薇,等. 天津市降水特征及人影作业影响分析[J]. 气象,2011,37(1):92-98.

天津市降水特征及人影作业影响分析^{* 1}

靳瑞军¹ 王 婉^{1,2} 宋 薇¹ 王兆宇¹

1 天津市人工影响天气办公室, 天津 300074

2 中国气象局云雾物理环境重点开放实验室, 中国气象科学研究院, 北京 100081

提 要: 利用天津市 1986—2008 年 13 个测站日降水资料, 总结天津市降水特征并分析人影作业影响因子在其中产生的影响。结果表明: 天津市降水空间分布不均匀, 东西方向差异小, 南北方向差异较大, 雨量由北向南呈现递减趋势, 且北部等值线密集, 南部稀疏, 雨量递减的速率由北向南减慢。降水季节性差异较大, 降雨量和降雨日数都集中分布在夏季, 春秋两季降雨次之, 冬季降雨最少; 人影作业未改变天津区域雨量相关系数, 对空间分布影响较小, 这与天津的作业特点有关; 人影作业会对雨型概率分布产生影响, 对 1986—2001 年和 2002—2008 年两个时期的各个雨型降雨日概率进行对比分析, 结果表明, 人影作业后的小雨降雨日概率相对较小, 中雨以上的降雨日概率相对较高, 但这些差别并不明显。

关键词: 降水特征, 人影作业, 概率, 影响

Tianjin Precipitation Feature and Analysis of Weather Modification Influence

JIN Ruijun¹ WANG Wan^{1,2} SONG Wei¹ WANG Zhaoyu¹

1 Tianjin Weather Modification Office, Tianjin 300074

2 Key Laboratory for Cloud Physics and Weather Modification of China Meteorological Administration,
Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

Abstract: Based on the precipitation data at 13 stations in Tianjin from 1986 to 2008, the precipitation characteristics and the weather modification influence are analyzed in this article. The results show that: the spatial distribution of precipitation is uneven, the difference is small in west-east direction, but large in north-south direction. The rainfall presents a descending trend from north to south, and the isolines are dense in north while sparse in south. The rate of decreasing rainfall slows down from north to south. The difference is obvious in different season, the rainy days and precipitation amount are mainly concentrated in summer, the precipitation is less in spring and autumn while is least in winter. The weather modification does not change the correlation coefficient of rainfall in Tianjin, and it also has little influence on the spatial distribution. These are related to the characteristics of weather modification in Tianjin. The weather modification operations have influence on probability distribution of the rain-type, but the influence is small. After comparing the probability distribution of different rain-type in 1986—2001 and 2002—2008, we can find that the probability of light-rain days is relatively low while the probability of moderate-rain days is higher after the weather modification operations, but these differences are not significant.

Key words: precipitation characteristics, weather modification, probability, influence

* 国家科技支撑计划课题“混合云人工增雨技术研究”(2006BAC12B02)、科技部公益性行业(气象)科研专项项目“京津经济区及华北区域气溶胶对云的改变导致的降水变化及其在天气预报中的应用”、中国气象局云雾物理环境重点开放实验室开放科研课题“基于雷达 Z-R 关系双比分析的人工增雨作业效果检验技术方法研究”(2009004)和国家科技支撑计划课题天津子专题(2006BAC12B00-01-01-04)

2009 年 9 月 18 日收稿; 2010 年 4 月 30 日收修定稿

第一作者: 靳瑞军, 研究方向为人工影响天气. Email: JRuijun2008@sina.com

引 言

随着我国经济社会的快速发展,水资源短缺已经严重影响到工农业生产和社会经济发展。降水是水资源的重要来源,研究降水特征对预测降水及开发空中水资源、增加降水量、解决水资源短缺等问题具有重要作用。许多人曾针对全国或某一区域的降水特征进行过研究^[1-6]。影响降水的因子有很多,如李存强分析了 ENSO 事件对中国降水的影响^[7],黄燕燕等研究发现长江流域和华北两地区的典型旱涝现象与南亚高压的异常增强或减弱、中心位置的经纬度偏差均有关^[8],庄樱等研究了江苏夏季降水特征与太平洋海温的关系^[9],另外影响降水的因子还有副热带高压、大气环流、太阳活动周期等^[10-14]。上述研究都是针对自然影响因子进行的研究,而人影作业作为一种人为的有目的性的影响因子,它对降水特征产生的影响较少有人研究,本文针对这一问题对天津地区降水进行研究,从气候统计的角度分析人影作业对降水产生的影响。

天津市地处华北平原东北部,北靠燕山,虽然东面濒临渤海,但由于是内陆海湾,对天津的气候影响较小,因此天津仍属于大陆性季风气候,四季分明,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,降水季节性差异大。本文利用天津 1986—2008 年所有测站的日降水资料对该地区降水特征进行分析。2002 年开始天津每年都进行大规模的人工增雨(防雹)作业(2008 年由于北京奥运会 6、7、8 三个月未进行作业),主要作业方式有飞机、火箭和高炮,飞机主要用于春秋两季的增雨作业,高炮、火箭主要用于夏季的增雨和防雹,另外还有部分区域有烟炉作业,作业范围几乎遍及整个天津地区。文章在分析自然降水的基础上,通过比较加入人影影响因子后的降水特征与它的区别,研究人影作业对其产生的影响。

1 数据资料

为了资料的完整性(大港站点 1985 年之前资料缺测),选取天津市 1986—2008 年 13 个测站的日雨量资料(北京时间 20 时),对自然降水特征的分析采用 1986—2001 年的降水资料。主要研究方法采用相关性分析和数值分析等。

2 自然降水特征分析

2.1 空间分布特征

将天津市 1986—2001 年 13 个测站的年降水总量分别作 16 年平均,然后做成雨量分布等值线图(如图 1)。从图中可以看出:天津北部降水量最大,如蓟县,年降水总量超过 600 mm,其次为中部,南部降水量最少,如静海和大港大部分区域低于 520 mm,雨量大小由北向南呈现递减趋势,且北部等值线密集,南部稀疏,雨量递减的速度由北向南减慢。东西雨量大小基本相当,呈对称分布。由此可见,天津降水空间分布不均匀,东西方向差异小,南北方向差异较大,年降水量北部相对较多,南部相对较少,结合北京的年降水量分布^[1]可以看出,北京东南部降水相对较多,西北部降水相对较少,而与北京东南部濒临的天津北部区域年降水量与之相当,向南部逐渐减少,这种雨量分布变化可能仍然是受北京地形的影响,在主要水汽来源的迎风坡方向降水相对较多,距离迎风坡越远雨量越小。

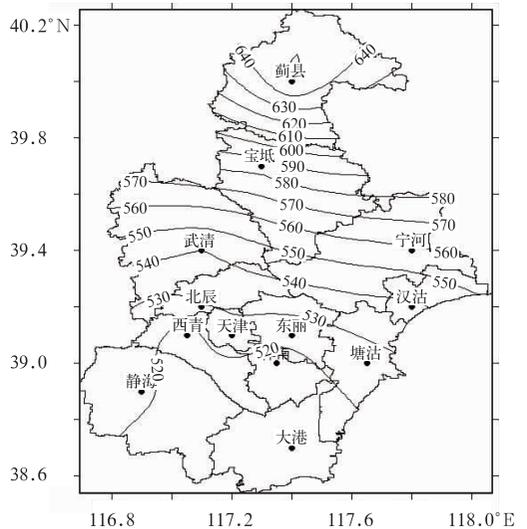


图 1 天津地区 1986—2001 年 16 年平均年降水量区域分布(单位: mm)

Fig. 1 The average precipitation distribution of 16 years from 1986 to 2001 in Tianjin area (unit: mm)

为进一步研究降雨的空间分布特征,对 13 个县做雨量相关性分析。选取天津市 1986—2001 年所有日雨量资料,将无雨日去除(只要有一个测站有降雨,则该组数据保留),共得到 1682 组样本资料,

利用这些资料对 13 个测站中任意两个站做雨量相关计算,得到相关系数列于表 1,表中所有相关系数的显著性水平平均超过 0.001。从表 1 可以看出:区域雨量的相关系数与两区域空间距离远近有关,距离越近,相关系数越大,距离越远,相关系数越小,如与蓟县雨量相关系数最大的是宝坻(0.640),其次为武清(0.526)、北辰(0.473)、宁河(0.445)、西青(0.430)、汉沽(0.413)、天津市区(0.410)、静海和东丽(0.399)、津南(0.398),相关系数最小的是大港

(0.361)。两个区域并不互为相关系数最高,如与蓟县相关系数最大的是宝坻,但与宝坻相关系数最大的却不是蓟县,而是位于宝坻西南侧的武清。当两区域面积相当且面积区域较小时,两区的相关系数较高,这与降雨在较小区域空间变差小有关,如区域面积相当但面积较大的蓟县和宝坻相关系数仅为 0.64,而面积大小同样相当但是两区域面积都很小的津南和东丽相关系数却为 0.863。

表 1 天津地区 13 个测站日雨量相关系数

Table 1 The daily precipitation correlation coefficient of 13 stations

| | 蓟县 | 天津 | 武清 | 宝坻 | 东丽 | 西青 | 北辰 | 宁河 | 汉沽 | 静海 | 津南 | 塘沽 | 大港 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 蓟县 | 1.000 | 0.410 | 0.526 | 0.640 | 0.399 | 0.430 | 0.473 | 0.445 | 0.413 | 0.399 | 0.398 | 0.320 | 0.361 |
| 天津 | 0.410 | 1.000 | 0.611 | 0.571 | 0.754 | 0.870 | 0.800 | 0.620 | 0.618 | 0.726 | 0.775 | 0.613 | 0.598 |
| 武清 | 0.526 | 0.611 | 1.000 | 0.689 | 0.562 | 0.638 | 0.749 | 0.565 | 0.511 | 0.545 | 0.539 | 0.462 | 0.427 |
| 宝坻 | 0.640 | 0.571 | 0.689 | 1.000 | 0.558 | 0.598 | 0.668 | 0.635 | 0.581 | 0.504 | 0.521 | 0.452 | 0.441 |
| 东丽 | 0.399 | 0.754 | 0.562 | 0.558 | 1.000 | 0.708 | 0.681 | 0.684 | 0.704 | 0.620 | 0.863 | 0.730 | 0.716 |
| 西青 | 0.430 | 0.870 | 0.638 | 0.598 | 0.708 | 1.000 | 0.836 | 0.625 | 0.624 | 0.720 | 0.763 | 0.610 | 0.580 |
| 北辰 | 0.473 | 0.800 | 0.749 | 0.668 | 0.681 | 0.836 | 1.000 | 0.664 | 0.644 | 0.702 | 0.685 | 0.606 | 0.558 |
| 宁河 | 0.445 | 0.620 | 0.565 | 0.635 | 0.684 | 0.625 | 0.664 | 1.000 | 0.848 | 0.536 | 0.658 | 0.676 | 0.574 |
| 汉沽 | 0.413 | 0.618 | 0.511 | 0.581 | 0.704 | 0.624 | 0.644 | 0.848 | 1.000 | 0.549 | 0.690 | 0.715 | 0.617 |
| 静海 | 0.399 | 0.726 | 0.545 | 0.504 | 0.620 | 0.720 | 0.702 | 0.536 | 0.549 | 1.000 | 0.688 | 0.576 | 0.562 |
| 津南 | 0.398 | 0.775 | 0.539 | 0.521 | 0.863 | 0.763 | 0.685 | 0.658 | 0.690 | 0.688 | 1.000 | 0.749 | 0.734 |
| 塘沽 | 0.320 | 0.613 | 0.462 | 0.452 | 0.730 | 0.610 | 0.606 | 0.676 | 0.715 | 0.576 | 0.749 | 1.000 | 0.770 |
| 大港 | 0.361 | 0.598 | 0.427 | 0.441 | 0.716 | 0.580 | 0.558 | 0.574 | 0.617 | 0.562 | 0.734 | 0.770 | 1.000 |

2.2 时间分布特征

2.2.1 月降雨量分布特征

将天津 1986—2001 年逐年每月月雨量作区域平均,再把这 16 年各月对应雨量相加求平均,得到区域平均月降水量逐月分布(图 2)。从图 2 可以看出:降雨主要集中在夏季,6、7、8 月份雨量较大,最大为 7 月份,月平均雨量达 160 mm,其次为 8 月份和 6 月份,这 3 个月降水量总和达到全年降水量的

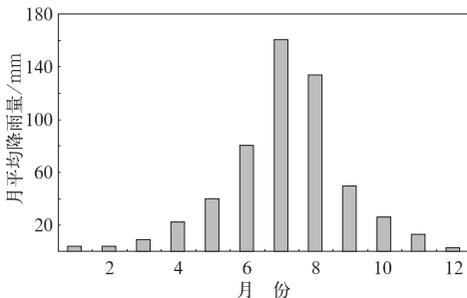


图 2 天津地区 1986—2001 年 16 年平均的逐月降水量分布

Fig. 2 The distribution of average monthly precipitation from 1986 to 2001 in Tianjin

近 70%,春秋两季相对于夏季降水量偏少,4、5、9、10 四个月平均降水量仅为 30 多毫米,占全年降水量的 25%左右,冬季历时最长,但降水量最少,月平均降水量不足 10 mm,占全年降水量不到 10%。由此可见,天津降水量时间分布不均匀,季节性差异大。

2.2.2 月降雨日数分布特征

统计天津市 1986—2001 年 13 个测站各月累积降雨日数列于表 2 中。从表 2 可以看出:降雨日数月分布都有着和降水量月分布相似的规律,季节性差异较大,6、7、8 月份降雨日数最多,其次为春秋两季,冬季降雨日数最少。根据规定,按照雨量大小可将降雨分为几个等级(R 表示降雨量):(1)小雨, $0.1 \text{ mm} \leq R < 10.0 \text{ mm}$; (2)中雨, $10.0 \text{ mm} \leq R < 25.0 \text{ mm}$; (3)大雨, $25.0 \text{ mm} \leq R < 50.0 \text{ mm}$; (4)暴雨, $50.0 \text{ mm} \leq R < 100.0 \text{ mm}$; (5)大暴雨及特大暴雨, $R \geq 100.0 \text{ mm}$ 。将上述降雨日数按照这几个等级进行分类(表略),各个等级降雨日数都与月降雨总日数分布相似,在各个降雨等级中,小雨降雨日数最多,其次为中雨、大雨和暴雨,大暴雨和特大暴雨发生次数最少,其中 1、2、3、11、12 月份主要为小雨降

水,极少为中雨,大雨以上的降水几乎没有,4、5、9、10 月份除多数为小雨降水外,中雨也占有一定比例,大雨日数很少,暴雨以上降水几乎没有,6、7、8 月份除大暴雨极端降水外各个雨型的降水都较为丰富,各类型降雨日都主要集中在这 3 个月份。图 3 为各个等级雨量日数的区域分布图,从图中可以看

出,小雨日数分布大值区主要位于南部,其他各个雨型的大值区均位于北部,其中中雨、大雨和暴雨降雨日数都有向南减少的趋势,即除小雨外,其他雨型降雨日数分布都与年降水总量区域分布相似,因此对降水总量分布影响较大的为中雨以上的雨型,小雨雨型的降水南多北少,对年降水总量分布影响较小。

表 2 天津地区 13 个测站 1986—2001 年逐月累积降雨日数(单位:d)

Table 2 The distribution of monthly rain days accumulated at 13 stations from 1981 to 2001 in Tianjin (unit:d)

| | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 蓟县 | 37 | 30 | 57 | 72 | 104 | 142 | 216 | 193 | 118 | 78 | 56 | 29 |
| 天津 | 34 | 35 | 52 | 81 | 99 | 137 | 191 | 162 | 99 | 81 | 54 | 27 |
| 武清 | 31 | 27 | 47 | 76 | 96 | 138 | 203 | 164 | 105 | 72 | 60 | 24 |
| 宝坻 | 29 | 25 | 48 | 66 | 95 | 145 | 205 | 172 | 107 | 66 | 58 | 25 |
| 东丽 | 34 | 34 | 52 | 78 | 99 | 141 | 189 | 168 | 103 | 80 | 54 | 31 |
| 西青 | 32 | 33 | 48 | 78 | 88 | 123 | 190 | 155 | 94 | 75 | 57 | 32 |
| 北辰 | 32 | 31 | 53 | 80 | 96 | 141 | 194 | 165 | 101 | 80 | 55 | 28 |
| 宁河 | 41 | 35 | 48 | 83 | 102 | 134 | 180 | 157 | 97 | 79 | 51 | 34 |
| 汉沽 | 34 | 37 | 50 | 83 | 102 | 140 | 188 | 161 | 101 | 77 | 56 | 31 |
| 静海 | 38 | 35 | 58 | 80 | 106 | 131 | 199 | 146 | 97 | 84 | 62 | 37 |
| 津南 | 37 | 38 | 52 | 85 | 103 | 133 | 200 | 168 | 96 | 81 | 56 | 34 |
| 塘沽 | 34 | 36 | 51 | 79 | 95 | 128 | 185 | 146 | 94 | 71 | 52 | 34 |
| 大港 | 34 | 33 | 54 | 77 | 100 | 140 | 191 | 153 | 104 | 79 | 57 | 30 |

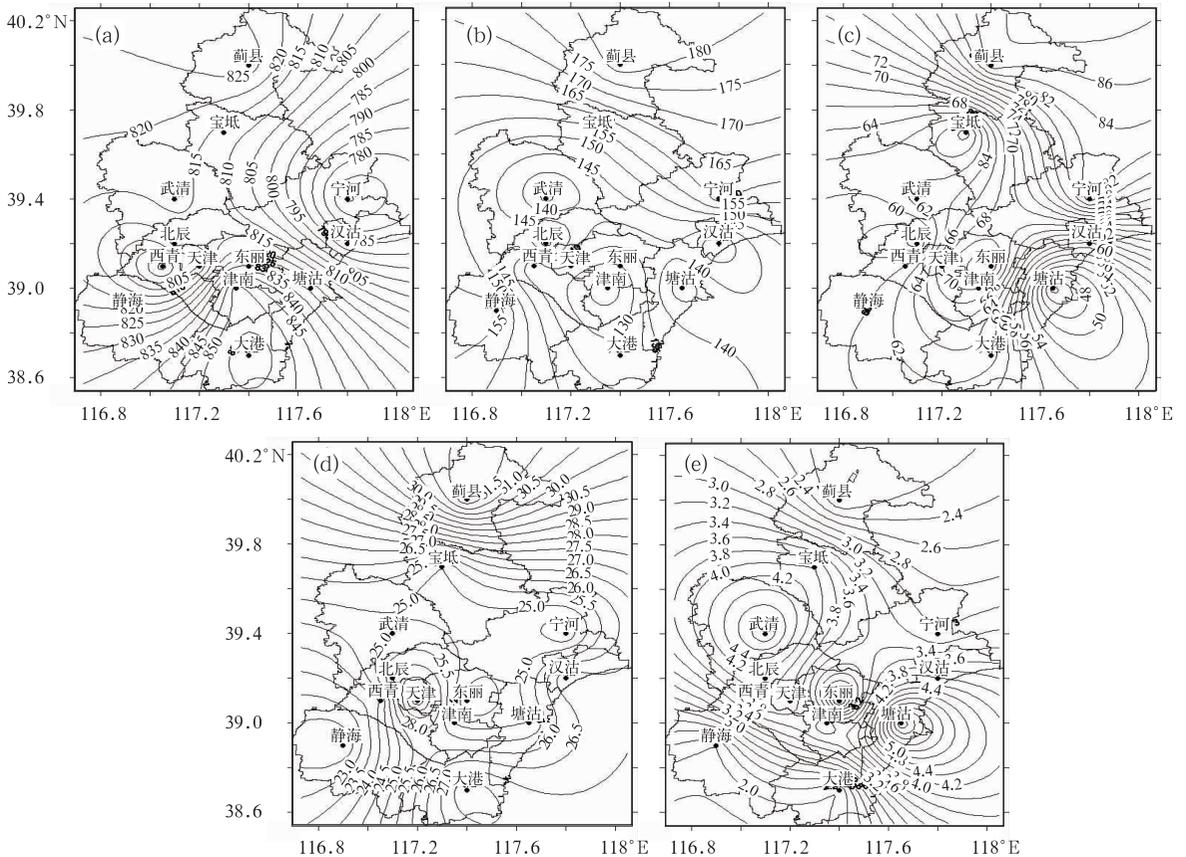


图 3 天津地区 1986—2001 年各分类等级降水日数分布

(a) 小雨, (b) 中雨, (c) 大雨, (d) 暴雨, (e) 大暴雨及特大暴雨(单位:d)

Fig. 3 The distribution of classified rainy days accumulated for years 1986—2001 in Tianjin area

(a) light rain, (b) moderate rain, (c) heavy rain, (d) rainstorm, (e) extraordinary rainstorm (unit:d)

3 人影作业影响分析

2002 年开始,天津开始大规模人工增雨作业,主要有飞机、火箭和高炮三种作业方式。作业之后降水特征有没有发生变化,人影作业在多大程度上对其产生了影响,下面就这些问题进行研究。

3.1 人影作业对降水空间分布的影响

下面将利用数值分析的方法对人影作业是否会影 响降水空间分布进行研究。采用 1981—2008 年所有日降水资料,其中 2002—2008 年经过了大规模的人影作业(2008 年由于北京奥运会的原因 6、7、8 三月未进行人影作业),其余年份未进行人影作业。

表 3 相关系数 90% 概率区间分布
Table 3 The 90% probability interval distribution of correlation coefficient

| | | 蓟县 | 天津 | 武清 | 宝坻 | 东丽 | 西青 | 北辰 | 宁河 | 汉沽 | 静海 | 津南 | 塘沽 | 大港 | |
|----|----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 蓟县 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 1 | 0.77 | 0.43 | 0.42 | 0.47 | 0.5 | 0.59 | 0.59 | 0.46 | 0.42 | 0.42 | 0.41 | 0.43 |
| | | r 大 | 1 | 0.9 | 0.64 | 0.62 | 0.67 | 0.7 | 0.75 | 0.75 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.61 | 0.63 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 1 | 0.85 | 0.47 | 0.47 | 0.53 | 0.58 | 0.7 | 0.68 | 0.51 | 0.47 | 0.48 | 0.5 | 0.53 | |
| 天津 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.77 | 1 | 0.61 | 0.54 | 0.57 | 0.42 | 0.5 | 0.56 | 0.44 | 0.45 | 0.44 | 0.41 | 0.43 |
| | | r 大 | 0.9 | 1 | 0.82 | 0.74 | 0.77 | 0.62 | 0.67 | 0.73 | 0.63 | 0.68 | 0.68 | 0.6 | 0.62 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.85 | 1 | 0.64 | 0.56 | 0.61 | 0.53 | 0.64 | 0.67 | 0.5 | 0.51 | 0.52 | 0.5 | 0.53 | |
| 武清 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.43 | 0.61 | 1 | 0.89 | 0.62 | 0.46 | 0.47 | 0.53 | 0.62 | 0.63 | 0.69 | 0.64 | 0.62 |
| | | r 大 | 0.64 | 0.82 | 1 | 0.96 | 0.85 | 0.7 | 0.66 | 0.71 | 0.79 | 0.82 | 0.86 | 0.82 | 0.79 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.47 | 0.64 | 1 | 0.93 | 0.65 | 0.57 | 0.57 | 0.59 | 0.75 | 0.76 | 0.81 | 0.8 | 0.76 | |
| 宝坻 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.42 | 0.54 | 0.89 | 1 | 0.68 | 0.48 | 0.49 | 0.55 | 0.64 | 0.67 | 0.73 | 0.67 | 0.64 |
| | | r 大 | 0.62 | 0.74 | 0.96 | 1 | 0.91 | 0.72 | 0.67 | 0.74 | 0.82 | 0.82 | 0.87 | 0.84 | 0.81 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.47 | 0.56 | 0.93 | 1 | 0.71 | 0.59 | 0.59 | 0.61 | 0.77 | 0.77 | 0.83 | 0.83 | 0.79 | |
| 东丽 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.47 | 0.57 | 0.62 | 0.68 | 1 | 0.71 | 0.54 | 0.6 | 0.51 | 0.53 | 0.56 | 0.52 | 0.58 |
| | | r 大 | 0.67 | 0.77 | 0.85 | 0.91 | 1 | 0.89 | 0.72 | 0.79 | 0.76 | 0.77 | 0.79 | 0.76 | 0.8 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.53 | 0.61 | 0.65 | 0.71 | 1 | 0.88 | 0.63 | 0.65 | 0.57 | 0.57 | 0.61 | 0.61 | 0.65 | |
| 西青 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.5 | 0.42 | 0.46 | 0.48 | 0.71 | 1 | 0.74 | 0.62 | 0.53 | 0.48 | 0.52 | 0.52 | 0.58 |
| | | r 大 | 0.7 | 0.62 | 0.7 | 0.72 | 0.89 | 1 | 0.91 | 0.8 | 0.77 | 0.72 | 0.75 | 0.75 | 0.8 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.58 | 0.53 | 0.57 | 0.59 | 0.88 | 1 | 0.77 | 0.7 | 0.64 | 0.59 | 0.63 | 0.63 | 0.67 | |
| 北辰 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.59 | 0.5 | 0.47 | 0.49 | 0.54 | 0.74 | 1 | 0.83 | 0.58 | 0.52 | 0.54 | 0.54 | 0.57 |
| | | r 大 | 0.75 | 0.67 | 0.66 | 0.67 | 0.72 | 0.91 | 1 | 0.92 | 0.75 | 0.69 | 0.71 | 0.71 | 0.74 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.7 | 0.64 | 0.57 | 0.59 | 0.63 | 0.77 | 1 | 0.93 | 0.7 | 0.65 | 0.64 | 0.65 | 0.67 | |
| 宁河 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.59 | 0.56 | 0.53 | 0.55 | 0.6 | 0.62 | 0.83 | 1 | 0.71 | 0.6 | 0.62 | 0.59 | 0.63 |
| | | r 大 | 0.75 | 0.73 | 0.71 | 0.74 | 0.79 | 0.8 | 0.92 | 1 | 0.86 | 0.76 | 0.77 | 0.76 | 0.78 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.68 | 0.67 | 0.59 | 0.61 | 0.65 | 0.7 | 0.93 | 1 | 0.75 | 0.68 | 0.67 | 0.65 | 0.67 | |
| 汉沽 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.46 | 0.44 | 0.62 | 0.64 | 0.51 | 0.53 | 0.58 | 0.71 | 1 | 0.84 | 0.72 | 0.69 | 0.67 |
| | | r 大 | 0.65 | 0.63 | 0.79 | 0.82 | 0.76 | 0.77 | 0.75 | 0.86 | 1 | 0.92 | 0.84 | 0.83 | 0.81 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.51 | 0.5 | 0.75 | 0.77 | 0.57 | 0.64 | 0.7 | 0.75 | 1 | 0.91 | 0.8 | 0.77 | 0.75 | |
| 静海 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.42 | 0.45 | 0.63 | 0.67 | 0.53 | 0.48 | 0.52 | 0.6 | 0.84 | 1 | 0.85 | 0.7 | 0.68 |
| | | r 大 | 0.65 | 0.68 | 0.82 | 0.82 | 0.77 | 0.72 | 0.69 | 0.76 | 0.92 | 1 | 0.94 | 0.85 | 0.83 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.47 | 0.51 | 0.76 | 0.77 | 0.57 | 0.59 | 0.65 | 0.68 | 0.91 | 1 | 0.88 | 0.79 | 0.77 | |
| 津南 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.42 | 0.44 | 0.69 | 0.73 | 0.56 | 0.52 | 0.54 | 0.62 | 0.72 | 0.85 | 1 | 0.82 | 0.74 |
| | | r 大 | 0.65 | 0.68 | 0.86 | 0.87 | 0.79 | 0.75 | 0.71 | 0.77 | 0.84 | 0.94 | 1 | 0.94 | 0.88 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.48 | 0.52 | 0.81 | 0.83 | 0.61 | 0.63 | 0.64 | 0.67 | 0.8 | 0.88 | 1 | 0.91 | 0.85 | |
| 塘沽 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.41 | 0.41 | 0.64 | 0.67 | 0.52 | 0.52 | 0.54 | 0.59 | 0.69 | 0.7 | 0.82 | 1 | 0.9 |
| | | r 大 | 0.61 | 0.6 | 0.82 | 0.84 | 0.76 | 0.75 | 0.71 | 0.76 | 0.83 | 0.85 | 0.94 | 1 | 0.96 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.5 | 0.5 | 0.8 | 0.83 | 0.61 | 0.63 | 0.65 | 0.65 | 0.77 | 0.79 | 0.91 | 1 | 0.94 | |
| 大港 | 相关系数的 90% 概率区间 | r 小 | 0.43 | 0.43 | 0.62 | 0.64 | 0.58 | 0.58 | 0.57 | 0.63 | 0.67 | 0.68 | 0.74 | 0.9 | 1 |
| | | r 大 | 0.63 | 0.62 | 0.79 | 0.81 | 0.8 | 0.8 | 0.74 | 0.78 | 0.81 | 0.83 | 0.88 | 0.96 | 1 |
| | 2002—2007 年降雨日区域相关系数 | 0.53 | 0.53 | 0.76 | 0.79 | 0.65 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.75 | 0.77 | 0.85 | 0.94 | 1 | |

具体算法为:将 13 个气候站点进行两两组合,每一组资料都有 2350 对样本,对这些样本进行随机抽样,每次从中随机抽取 586 对样本,计算该样本中两个变量的相关系数,如此随机抽样 10000 次,可得到 10000 个相关系数值,将之从小到大排列,取第 500 个相关系数值和第 9500 个相关系数值作为 90% 的相关系数分布区间,再计算 2002—2007 年(共 586 组样本)的该组变量的相关系数值,每个组合都重复该种计算,得到的数据列于表 3。该表中 r 小和 r 大分别表示 90% 相关系数值分布区间下限和上限。从表中可以看出:在所有的相关系数中,除北辰与宁河这组外,其余各组 2002—2007 年降雨日区域相关系数均分布在 90% 概率范围内,即相关系数发生改变的显著度均不超过 0.05,这说明人工增雨作业之后并没有改变区域雨量相关系数大小。换句话说就是人工增雨作业并没有显著地增加部分区域的降水量,因为当由于人为原因使得某一区域降水显著增加时,两区相关系数将会发生改变。因此,人影作业并没有改变天津降水的空间分布,那么这是不是说明人工增雨没有起到作用呢?当然不是,分析天津的作业特点,天津地域较小,作业点几乎遍布天津整个区域,每次系统过境,有条件作业的区域几乎都进行了作业,因此即便产生增雨效果每个区域的幅度也都可以是相当的,不会对区域间相关系数产生影响。

3.2 人影作业对降雨日分布的影响

人工增雨作业的目的是增加影响区的降水量,如果作业起到有效效果的话,可能会使得每次自然降水的雨型(雨量级别)发生改变,比如将小雨变为中雨,中雨变为大雨等等,根据国内增雨试验经验,人工增雨效果一般在 10%~20%,据此计算小雨、中雨、大雨和暴雨 4 个雨型的增雨区间分别为:0.01~1 mm 到 0.02~2 mm、1~2.5 mm 到 2~5 mm、2.5~5 mm 到 5~10 mm、5~10 mm 到 10~20 mm,由此可看出由于增雨的绝对雨量相对于雨型区间较小,所以人影作业会对雨型自然概率分布产生影响。下面将通过分析人影作业后各雨型的概率分布变化来了解人影作业是否在其中产生了影响。依然将降雨分为 5 个等级:小雨、中雨、大雨、暴雨和大到暴雨,分别统计 1986—2001 年和 2002—2008 年两个时期每个雨型的区域平均降雨天数在总降雨天数中的概率,结果列于表 4。从表 4 可以看出,12 个月份中,2002—2008 年间中雨以上雨型的降雨日概率普遍高于 1986—2001 年,小雨的降雨日概率,前者相对要小,拿各个雨型降水都较丰富的 7 月来说,1986—2001 年间小雨日概率为 64.22%,2002—2008 年间则为 62.59%,而前者中雨日概率为 18.36%,后者则为 25.71%,明显高于前者。统计全

表 4 各分类等级降水日数概率分布(单位:%)

Table 4 The probability distribution of classified rainy days

| | | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年 |
|------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1986—2001年 | <10 mm | 98.46 | 96.69 | 95.09 | 88.9 | 79.97 | 72.84 | 64.22 | 65.3 | 75.05 | 85.31 | 90.16 | 98.95 | 84.25 |
| | ≥10 mm 且 <25 mm | 1.54 | 3.31 | 4.03 | 8.75 | 13.32 | 16.74 | 18.36 | 18.41 | 17.78 | 10.46 | 9.57 | 1.05 | 10.27 |
| | ≥25 mm 且 <50 mm | 0 | 0 | 0.88 | 1.88 | 6.32 | 7.52 | 11.24 | 9.69 | 5.63 | 3.71 | 0.27 | 0 | 3.93 |
| | ≥50 mm 且 <100 mm | 0 | 0 | 0 | 0.38 | 0.31 | 2.49 | 5.53 | 5.73 | 1.31 | 0.52 | 0 | 0 | 1.36 |
| | ≥100 mm | 0 | 0 | 0 | 0.09 | 0.07 | 0.4 | 0.64 | 0.86 | 0.22 | 0 | 0 | 0 | 0.19 |
| 2002—2008年 | <10 mm | 100 | 90.13 | 92.57 | 90.34 | 73.31 | 71.19 | 62.59 | 62.95 | 72.25 | 74.09 | 87.9 | 100 | 81.44 |
| | ≥10 mm 且 <25 mm | 0 | 9.87 | 2.49 | 9.35 | 18.95 | 20.34 | 25.71 | 18.12 | 18.77 | 17.75 | 12.1 | 0 | 12.79 |
| | ≥25 mm 且 <50 mm | 0 | 0 | 4.94 | 0.31 | 7.32 | 6.98 | 8.21 | 13.01 | 7.43 | 4.7 | 0 | 0 | 4.41 |
| | ≥50 mm 且 <100 mm | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.42 | 1.49 | 3.13 | 4.93 | 1.54 | 2.45 | 0 | 0 | 1.16 |
| | ≥100 mm | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.36 | 0.99 | 0 | 1.01 | 0 | 0 | 0.20 |

年各雨型的降雨概率,2002—2008 年间的中雨和大雨日概率都高于 1986—2001 年,但这种差别较小。

4 结论

(1) 天津市区域内降水空间分布不均匀,东西方向差异小,南北方向差异较大,北部降水偏多,南

部偏小,雨量呈由北向南递减趋势,且北部等值线密集,南部稀疏,雨量递减的速度由北向南减慢。距离较近且面积相当的区域降雨相关性较大。降水季节性差异较大,降雨量和降雨日数都集中分布在夏季,春秋两季降雨次之,冬季降雨最少。

(2) 天津地域较小,人工影响降水作业点几乎遍布天津整个区域,每次系统过境,有条件作业的区

域几乎都进行了作业,因此人工影响天气作业未改变天津市区域雨量相关系数。即人影作业没有显著地增加部分区域的降水量,即便产生增雨效果每个区域的幅度也都是相当的,不会对区域间相关系数产生影响。

(3) 对 1986—2001 年和 2002—2008 年两个时期的各个雨型降雨日概率进行对比分析,结果表明,人影作业后的小雨降雨日概率相对较小,中雨以上的降雨日概率相对较高,但这些差别并不明显。

参考文献

- [1] 陈桂英. 1991 年我国夏季降水的时空变化特征[J]. 气象, 1993, 19(5): 39-44.
- [2] 张杰, 钱维宏, 丁婷. 东北地区 5—9 月降水特征和趋势分析[J]. 气象, 2010, 36(8): 1-7.
- [3] 许晨海, 姚展予, 陈进强. 黄河上游降水的时空变化及其环流特征[J]. 气象, 2004, 30(11): 51-54.
- [4] 吕军, 张静, 刘建, 等. 江苏省夏季降水时空分布演变特征[J]. 气象, 2006, 32(6): 48-52.
- [5] 杨晓霞, 周庆亮, 郑永光, 等. 2009 年 5 月 9—10 日华北南部强降水天气分析[J]. 气象, 2010, 36(6): 43-49.
- [6] 高留喜, 刘秦玉. 山东春季降水的时空变化特征分析[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 811-815.
- [7] 李存强. ENSO 事件爆发的当年及次年中国降水特征的初步分析[J]. 高原气象, 1991, 10(1): 78-82.
- [8] 黄燕燕, 钱永甫. 长江流域—华北降水特征与南亚高压的关系分析[J]. 高原气象, 2004, 23(1): 68-74.
- [9] 庄樱, 孙照渤. 江苏夏季降水特征及其与太平洋海温的关系[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(6): 835-840.
- [10] 孟菲, 康建成, 王甜甜, 等. 上海市近百年来夏季降水时空分布特征及影响因素[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(3): 14-19.
- [11] 班荣球. 红水河流域降水特征与夏季风活动的关系[J]. 广西气象, 1992, 13(3): 36-39.
- [12] 李春晖, 梁建茵, 吴尚森. 近百年广州汛期降水变化特征及其影响因子[J]. 热带气象学报, 2004, 20(4): 365-374.
- [13] 胡景高, 周兵, 陶丽. 南亚高压特征参数与我国夏季降水的关系分析[J]. 气象, 2010, 36(4): 51-56.
- [14] 王敏仲, 魏文寿, 杨莲梅, 等. 塔克拉玛干沙漠地表热力异常与南疆夏季降水的关系[J]. 气象, 2009, 35(9): 51-58.

征稿简则

- 1 《气象》主要刊登气象科学研究领域的综合评述及研究论文;天气、气候诊断分析与预报技术;气象业务技术及业务现代化建设经验;气象灾害的规律及防灾减灾决策;公共气象服务和专业气象服务技术方法;气象科技信息动态等。
- 2 来稿注意事项
 - 2.1 来稿务必论点明确,数据可靠,文字精炼。文章的书写顺序为:中文题目(不超过 20 个汉字)、作者姓名、单位名称、邮政编码、中文提要(200~300 字)、关键词(3~8 个);英文题目、作者姓名、单位名称、邮政编码、英文提要及英文关键词;引言;正文;结论和讨论;致谢;参考文献。文章首页页脚处附作者信息,即姓名、从事专业工作和研究方向。Email 等。
 - 2.2 正文标题用阿拉伯数字连续编号,不同层次数字间用圆点间隔,如“1”,“1.2”,“2.1.3”等。标题左顶格,在数字编号后空一格再写标题,末尾不加标点符号。
 - 2.3 基金资助的研究项目,请注明省部级以上基金名称和项目编号。
 - 2.4 文稿的单位制采用《中华人民共和国法定计量单位》。图、表中量和单位间用“/”隔开,表示物理量的符号用斜体表示,并注意文种、大小写、正斜体、上下角码等。
 - 2.5 科技术语和名词应使用全国自然科学名词审定委员会公布的名词。
 - 2.6 文稿只附必要的图表。图、表要求准确,清晰,美观。在文中相应的位置插入图、表。图、表附相应的中英文图题、表题。附表请使用三线表。
 - 2.7 参考文献按在文内出现顺序连续编码。在期刊上发表的文献书写格式为:[序号] 作者姓名(列出前 3 位). 题名[J]. 期刊名, 年, 卷(期): 页码. 在专著、教科书上发表的文献书写次序为:[序号] 作者姓名. 译者姓名. 文题名. 书名[M]. 出版地: 出版社, 出版年: 页码.
- 3 请勿一稿两投。本刊一般不退稿,若 6 个月内未见刊用通知,可自行处理。
- 4 本刊收取发表费,并付稿酬,所付稿酬包含纸质版、数字版稿酬和刊物内容网络服务报酬等。凡不同意将其稿件纳入此两种版本进行交流者,请书面说明。
- 5 通讯地址:北京市中关村南大街 46 号《气象》编辑部 邮政编码:100081
网上投稿地址: <http://219.234.83.5>
电话: (010)68407936 58993789 68407336 Email: qixiang@cams.cma.gov.cn