

The Effect Evaluation of Weather Modification in the Range of 2009-2010 Years in Xinjiang

Xu Wang^{1*}, Yu Ma²

¹Weather Modification Office of Xingjiang Uygur Autonomous Region of China, Urumqi Xingjiang

²Climatic Center of Xingjiang Uygur Autonomous Region of China, Urumqi Xingjiang

Email: wangxu2323@vip.163.com

Received: Sep. 9th, 2015; accepted: Sep. 23rd, 2015; published: Oct. 9th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The effect evaluation of Weather modification in the range of 2009 to 2010 years in Xinjiang was compared with that in the range of 1981 to 2008 years using linear fitting method. The impact of the annual precipitation increase trend was taken off and the fluctuation of the annual precipitation was eliminated using the time average method. The analytical result showed that the combined operations of the aircraft, rockets, artillery and furnace smoke were successfully implemented within 2 years, the cumulative seeding of silver iodide was 797.9 kg and scope of work, working intensity and its frequency increased doubly. After taking off the increasing trend of weather for precipitation, the average annual precipitation in North Xinjiang, Tianshan Mountainous and the South Xinjiang, which were affected by the combined operations, increased respectively 9%, 4% and 8% in the range of 2009 to 2010 years compared with that in the range of 1981 to 2008 years. Compared with the year 2008, the volume of runoff in Hutubi River and in Urumqi River in 2009 increased by 16% and 31%, respectively. Compared with that in the range of 2006 to 2008 years, the average maximum vegetation high coverage rate, low coverage rate, and total coverage rate of Xinjiang in the range of 2009- 2010 years were increased respectively by 0.57%, 0.98% and 1.22%. If compared that in the range of 1981 to 2008 years, the air moist degree in North Xinjiang and Tianshan Mountainous was increased and the drought situation was improved obviously while the situation in the South Xinjiang was unchanged.

Keywords

Weather Modification, Precipitation, Runoff, Effect Evaluation

2009~2010年新疆人工增水效果评价

王旭^{1*}, 马禹²

作者简介: 王旭(1964-), 男, 新疆伊犁人, 研究员, 从事灾害性天气形成机理的研究工作。

*通讯作者。

¹新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室, 新疆 乌鲁木齐

²新疆维吾尔自治区气候中心, 新疆 乌鲁木齐

Email: wangxu2323@vip.163.com

收稿日期: 2015年9月9日; 录用日期: 2015年9月23日; 发布日期: 2015年10月9日

摘 要

以1981~2008年作为新疆人工增水作业对比期, 采用线性拟合方法扣除年降水量的气候增加趋势, 采用时间平均方法消除降水量的年际震荡, 对2009~2010年新疆人工增水作业效果进行评估。分析表明, 2年内新疆实现了飞机、火箭、高炮、烟炉立体联合作业, 作业范围和强度及频次成倍增加, 累计播撒碘化银797.9 kg。扣除降水量的气候增加趋势后, 2009~2010年相对1981~2008年, 作业影响区的北疆年平均降水量增加9%, 天山山区增加4%, 南疆增加8%。2009年相对2008年, 呼图壁河径流量增加16%, 乌鲁木齐河增加31%。2009~2010年相对2006~2008年, 新疆平均最大植被高盖度、低盖度、总盖度分别增加0.57%、0.98%、1.22%。2009~2010年相对1981~2008年, 北疆和天山山区湿润程度加大, 干旱状况明显好转, 南疆与历史情况持平。

关键词

人工增水, 降水量, 径流量, 效果评价

1. 引言

新疆地处欧亚大陆腹地, 自北向南阿尔泰山-准噶尔盆地-天山-塔里木盆地-昆仑山, 构成了“三山夹两盆”的独特地理环境和脆弱的生态系统。新疆是典型的干旱、半干旱地区, 降水在空间上呈现北多南少、西多东少的特点[1], 水资源分布极不均匀, 经济发展与水资源短缺的矛盾日益突出。地表水、地下水最终来源于降水, 而降水由空气中的水汽和云转化形成[2]。外场观测和遥感分析表明, 新疆阿尔泰山、天山两大山区, 云量、云液态水柱含量、大气水汽含量丰富, 不亚于中国的东部地区[3]-[5]。由于自然云平均冰核浓度仅为0.3~0.9个/L, 远低于降水最大效率适宜浓度125个/L, 导致自然降水效率往往很低[6]。这表明通过人工引晶播云作业, 能够提高降水效率, 增大降水量。

水资源是制约新疆经济发展的根本原因, 水资源包括地表水、地下水以及空中云水。通过人工影响天气的手段, 能够提高云水向降水的转化率, 增加降水量。2007~2008年新疆出现了有气象记录以来最严重的连续两年干旱。为此新疆维吾尔自治区人民政府全面加强了新疆人工影响天气工作, 拉开了新疆人工增水(雨、雪)工作的序幕。文中以2009~2010年作为目标年, 同过去相比, 对这两年新疆人工增水的情况进行评价分析。

2. 材料和研究方法

选用的资料包括美国 Terra 卫星的 MODIS 数据、地面气象观测站历史资料和水文资料及城市大气污染监测数据, 采用全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)技术、单因子指数法和类比法作为评价方法, 以2009~2010年作为目标, 1981~2008年作为对比对象, 进行人工增水情况的分析和讨论。

2010年之前通过飞机和地面作业, 北疆人工增水作业的影响区包括阿勒泰地区、塔城地区、博州、伊犁地区、克拉玛依市、石河子地区、乌鲁木齐市、昌吉州; 南疆人工增水作业的影响区包括巴州和阿克苏地区; 天山山区也是人工增水作业的影响区。而哈密地区、吐鲁番地区、克州、喀什地区、和田地区组成人工增水作业的非影响区。

3. 结果与分析

3.1. 飞机和地面人工增水作业情况

2009~2010 年新疆租用两架飞机开展人影作业,飞机作业时段由当年的 11 月至次年 5 月,作业范围覆盖天山、阿尔泰山,作业区面积达 34 万平方公里。2 年内飞机人工增水累计飞行作业 65 架次,累计飞行作业 266 h,碘化银播撒量 119.22 kg。2000~2008 年飞机累计作业 246 h,碘化银播撒量 71.37 kg。2000~2008 年年平均飞机作业 27.3 h,年平均碘化银播撒量 7.93 kg,而 2009~2010 年年平均飞机作业 133 h,年平均碘化银播撒量 59.61 kg,2009~2010 年飞机作业强度和密度大幅提高,年平均作业时间和年平均碘化银播撒量分别是前 9 年的 4.9 倍和 7.5 倍(图 1)。

2009~2010 年新疆共有火箭发射装置 536 套、37 高炮 254 门、地面燃烧炉 46 套开展了地面人工增水作业,地面作业累计发射炮弹 27.5 万发、火箭弹 2.2 万枚、燃烧烟条 331 根,碘化银播撒量 678.7 kg。2 年内,地面年平均碘化银播撒量是 2001~2008 年 8 年平均的 2.4 倍(图 2)。

3.2. 新疆降水天气过程的变化

新疆降水天气过程划分为中弱、中度、中度略偏强、中强、强五类。1981~2010 年新疆出现中弱以上降水天气过程 1572 次,每年平均出现 52 次。2009~2010 年 2 年累计出现降水天气过程 126 次,每年平均出现 63 次,较 1981~2010 年气候平均值偏多 11 次,这为新疆人工增雨(雪)工作的开展提供了较有利的降水天气条件。

1981~2010 年降水天气过程主要出现在春季(476 次,占 30.3%)和夏季(476 次,占 30.3%),秋季(330 次,占 21%)位于第三位,冬季(290 次,占 18.4%)最少。中弱和中度降水天气过程出现最多,分别出现 698 次和 496 次,分别占总降水天气过程数的 44.4%和 31.6%,两者合计为 76%。中度略偏强天气过程出现 83 次占 5.3%,中强天气过程出现 209 次占 13.3%,强天气过程出现 86 次占 5.5% (图 3)。

3.3. 年降水量和河流径流量的变化

通常认为年降水量相对于多年平均值的距平百分率在 $\pm 20\%$ 之间为正常年份, $\pm 21\% \sim \pm 50\%$ 为偏多(少)年份,超过 $\pm 50\%$ 为特多(少)年份。1981~2010 年新疆年平均降水量为 180.1 mm,2009 和 2010 年降水距平百分率分别为 1%和 32%,属于正常和偏多年份(表 1)。2009 和 2010 年北疆降水距平百分率分别为 7%和 25%,为正常和偏多年份;天山山区为 13%和 9%,为正常年份;南疆为 -10% 和 44%,为正常和偏多年份。

降水量的变化是由气候变化和人工增水作业共同造成的。气候变化包括降水量的气候增加(减少)趋势和降水量的年际自然震荡,排除气候变化的影响即可对人工增水作业效果进行评估。本文采用线性拟合方法扣除年降水量的气候增加趋势,采用时间平均方法消除降水量的年际震荡。

从表 2 可以看出,人工增水作业影响区,北疆 2009、2010 年分别为正常和偏多年份,2009~2010 年相对于

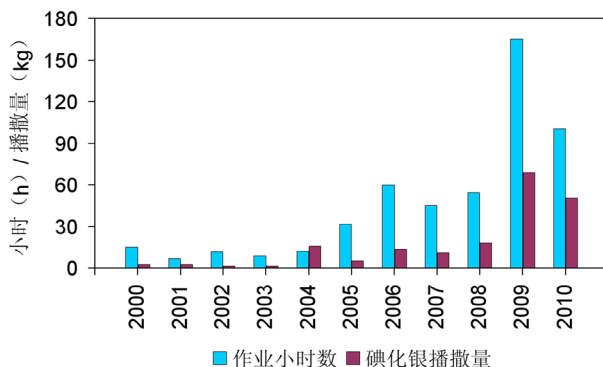


Figure 1. Precipitation stimulation of aeroplane from 2000 to 2010

图 1. 2000~2010 年飞机人工增水作业情况

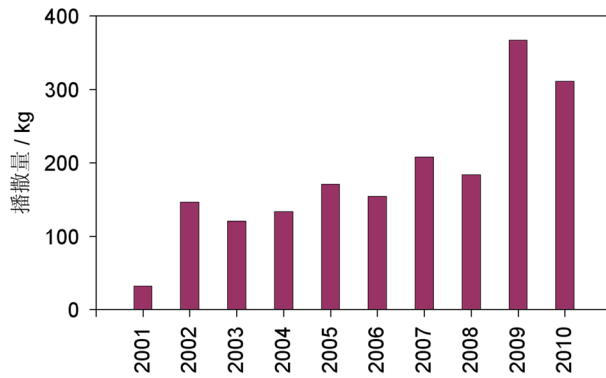
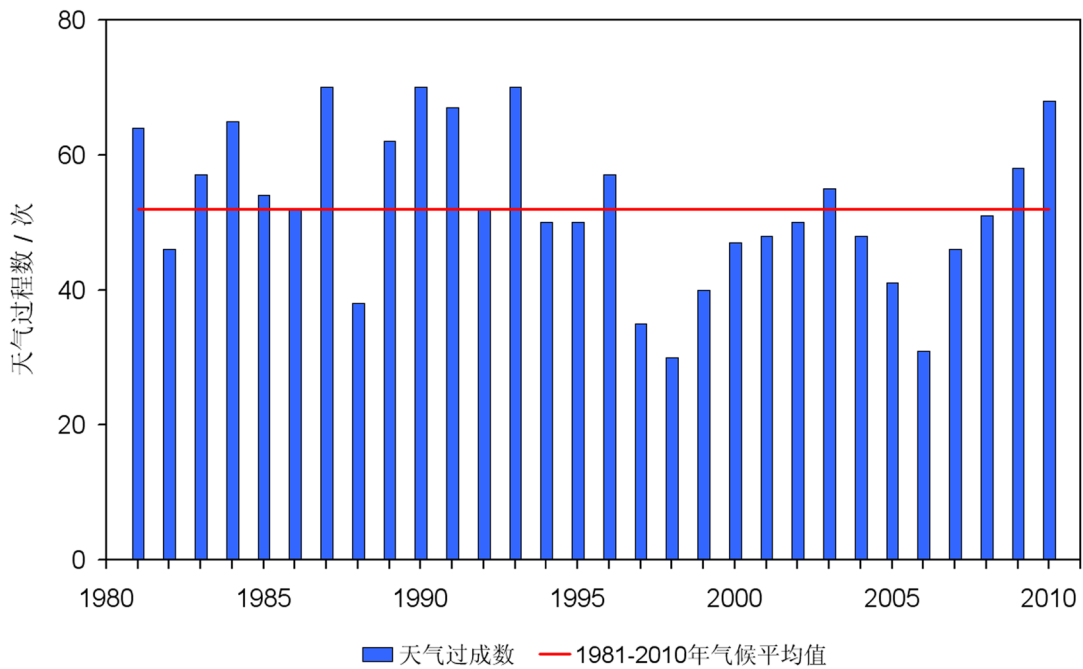
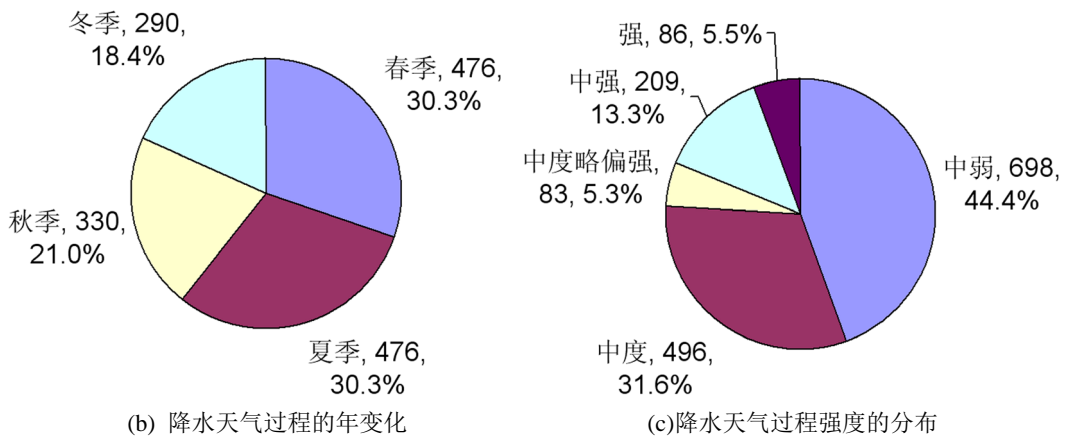


Figure 2. Precipitation stimulation of ground from 2001 to 2010
图 2. 2001~2010 年地面人工增水作业情况



■ 天气过成数 — 1981-2010年气候平均值

(a) 降水天气过程的年际变化



(b) 降水天气过程的年变化

(c) 降水天气过程强度的分布

Figure 3. Distribution of precipitation weather process in Xinjiang from 1981 to 2010
图 3. 1981~2010 年新疆降水天气过程分布

Table 1. Change of annual precipitation in Xinjiang

表 1. 新疆年降水量的变化

	北疆	天山山区	南疆	新疆
2009 年(mm)	252.0	479.4	111.9	182.0
2010 年(mm)	295.8	463.1	178.5	237.1
1981~2010 年平均(mm)	236.3	423.4	123.8	180.1
2009 年距平百分率(%)	7	13	-10	1
2010 年距平百分率(%)	25	9	44	32

Table 2. Change of annual precipitation over influence area of operation and non-operation (units: mm)

表 2. 人工增水作业影响区和非影响区降水量的变化(单位: mm)

	作业影响区				作业非影响区		
	北疆平均	去气候趋势 后北疆平均	天山山区	去气候趋势后 天山山区	巴州和阿克 苏地区平均	哈密地区和吐鲁 番地区平均	克州、喀什地区、 和田地区平均
2009	252.0	212.5	479.4	411.0	64.8	42.3	67.3
2010	295.8	255.0	463.1	392.3	124.6	51.8	204.1
1981~2010 平均	236.3	215.3	423.4	386.9	88.3	52.8	95.1
2009 距平百分率	7	-1	13	6	-27	-20	-29
2010 距平百分率	25	18	9	1	41	-2	115
气候趋势系数 (mm/10a)	1.36		2.36		0.31	0.06	1.06
显著水平(α)	0.12		0.06		0.46	0.84	0.18
2009~2010 平均(A)	273.9	233.8	471.3	401.6	94.7	47.0	135.7
1981~2008 平均(B)	233.7	213.9	420.0	385.8	87.9	53.2	92.1
A 相对于 B 的距平百分率	17	9	12	4	8	-12	47

1981~2008 年降水距平百分率为 17%。1981~2010 年北疆年降水量的气候增长趋势系数为 1.36 mm/a, 信度水平达 0.12。通过去除气候变化的影响, 2009 年和 2010 年北疆年降水量为正常年份, 2009~2010 年平均降水量相对于对比期的 1981~2008 年降水距平百分率为 9%, 表明目标期相对于对比期年平均降水量增加。同样, 人工增水作业影响区的天山山区, 2009、2010 年为正常年份, 气候增长趋势系数为 2.36 mm/a, 信度水平达 0.06。扣除气候增长趋势后, 2009~2010 年平均降水量相对于对比期的 28 年降水距平百分率为 4%。巴州和阿克苏地区的平均降水量, 2009 年偏少, 2010 年偏多。两地的平均降水量年际变化不存在气候增长(减少)的趋势, 2009~2010 年平均降水量为正常, 2 年平均降水量相对于对比期的 28 年降水距平百分率为 8%。目标期相对于对比期年平均降水量的增加表明长时效、高剂量、大面积的飞机、火箭、高炮、烟炉立体联合人工增水作业发挥了重要作用。

在人工增水作业非影响区, 哈密地区和吐鲁番地区平均降水量, 不存在气候变化趋势, 2009 年和 2010 年为正常年份, 2009~2010 年平均降水量相对于对比期的 28 年降水距平百分率为-12%, 表明该区域降水减少。南疆三地州克州、喀什、和田地区的平均降水量, 也不存在气候变化趋势, 2009 年为偏少年份, 2010 年为特多年份, 2009~2010 年平均也为偏多。南疆三地州由于 2010 年降水特多, 使得 2009~2010 年平均降水距平百分率高达 47%。

降水量的变化也给河流流量带来变化。5 月至 9 月经流量, 呼图壁河 2009 年相对 2008 年增加 5.9 亿吨, 增幅 16%; 乌鲁木齐河 2009 年相对 2008 年增加 5.3 亿吨, 增幅 31% (图 4)。

3.4. 湖泊湿地和植被覆盖的变化

2009~2010 年相对 2005~2008 年, 平均最大水域面积乌伦古湖增大 14.7 km², 相对增幅 1.7%; 吉力湖增大 11.8 km², 相对增幅 6.6%; 阿牙克库勒湖增大 76.4 km², 相对增幅 9.2%; 阿其克库勒湖增大 93.8 km², 相对增幅 20.6% (表 3)。

2009~2010 年新疆平均最大植被高盖度、低盖度、总盖度分别为 4.66%、34.21%、50.21%, 2006~2008 年平均最大植被高盖度、低盖度、总盖度分别为 4.09%、33.23%、48.99%, 高盖度、低盖度、总盖度两年平均比其前 3 年同期平均分别增加了 0.57%、0.98%、1.22%。

3.5. 新疆干旱和湿润状况的变化

由降水和潜在蒸发量导出的干湿指数, 可用来表征地表水分状况的收支情况。干湿指数越小表明干旱程度越重。2009~2010 年相对 1981~2008 年, 干湿指数距平北疆为 69, 天山山区为 50, 南疆为-8。表明北疆和天山山区湿润程度加大, 干旱状况明显好转; 南疆与历史情况持平(表 4)。

在空间格局上, 新疆气候平均干湿指数由北向南减小, 反映干旱情况由北向南递增, 北疆和天山山区湿润

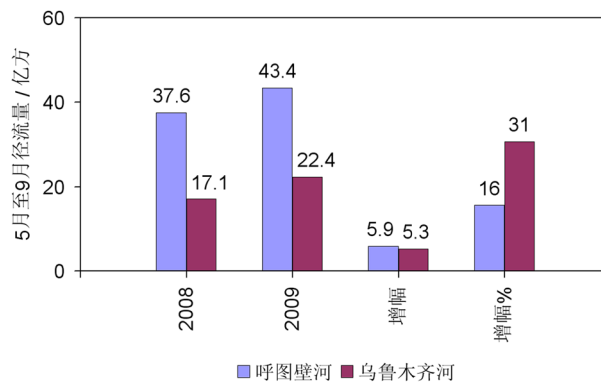


Figure 4. Precipitation stimulation of ground from 2001 to 2010
图 4. 2001~2010 年地面人工增水作业情况

Table 3. Maximum water area of lake by remote sensing inspect in Xinjiang from 2005 to 2010 (units: km²)
表 3. 2005~2010 年新疆湖泊最大水域面积遥感监测(单位: km²)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2005~2008	2009~2010	差值
乌伦古湖	839.0	853.9	859.3	871.8	866.9	874.5	856.0	870.7	14.7
吉力湖	175.0	181.3	177.9	180.5	178.9	202.0	178.7	190.5	11.8
阿牙克库勒湖	743.0	855.6	848.0	874.8	870.4	943.1	830.3	906.7	76.4
阿其克库勒湖	409.0	457.4	475.2	479.4	524.8	573.4	455.2	549.1	93.8

Table 4. Change of drought and moisture index in Xinjiang
表 4. 新疆干湿指数的变化

	北疆	天山山区	南疆
1981~2008 平均	131	378	-100
2009~2010 平均	200	428	-108
2009 年	167	436	-113
2010 年	233	421	-102

程度较高, 南疆干旱程度较重。2009~2010 年平均干湿指数与多年气候平均相比, 北疆和天山山区的湿润程度在增加, 南疆喀什地区、克州和阿克苏地区的湿润程度在增加, 和田东部地区和巴州南部的部分地区湿润程度在增加, 巴州北部和哈密地区的干旱程度在增加。

3.6. 降水对大气污染的湿清除作用

小量以上的降水天气对城市大气污染物有较明显的湿清除能力[7]。2001~2008 年乌鲁木齐年平均蓝天日数 240 d、污染日数 125 d, 2009~2010 年平均蓝天日数 263 d、污染日数 101 d。后 2 年相对于前 8 年, 乌鲁木齐年蓝天日数增加 23 d, 污染日数减少 24 d。乌鲁木齐年蓝天日数相对于年总日数增加 6%, 其中包含人工增雨(雪)工作的作用。

2000~2007 年冬季乌鲁木齐平均蓝天日数 21 d、污染日数 99 d, 2008~2010 年冬季平均蓝天日数 38 d、污染日数 82 d。后 3 年冬季相对于前 8 年冬季, 乌鲁木齐冬季蓝天日数增加 17 d, 污染日数减少 17 d, 乌鲁木齐冬季蓝天日数相对于冬季总日数增加 14%。

4. 讨论

在中纬度地区, 自然云不产生降水或降水效率不高, 常常是因来自大气参与成雨过程的自然冰核稀少或不足所致[6]。通过人工播撒碘化银的引晶催化后, 云中大粒子数增多, 能够提高自然云的降水效率和降水量。美国西部地区的一系列山区人工增雨计划, 得出可使播云季节降雨量增加 10%~15%的结果[8]。统计检验表明夏季乌鲁木齐河流域增雨期间降雨量增加 19.9%, 乌鲁木齐河平均流量增加 3.5% [9]。本文的分析结果也表明在人工增水作业目标期相对于对比期年平均降水量增加 4%~9%。

河流径流量、湖泊湿地和植被覆盖、干湿状况的变化不仅与降水量有关, 还与气温有关, 温度的升高和季节内的合理配置, 会加速冰川的融化、大气水汽含量的增加, 从而会增加径流量和湖泊湿地以及植被覆盖, 改善干旱状况。通过计算得出 1981~2010 年作业影响区的北疆、天山山区、南疆年平均温度呈明显的增高趋势, 增长率分别为 0.5℃、0.7℃、0.5℃/10a; 非影响区的哈密和吐鲁番平均为 0.6℃/10a, 克州、喀什、和田地区平均为 0.5℃/10a。本文描述的河流径流量增加、湖泊湿地和植被覆盖面积扩大、干旱状况好转是降水量增加、气温升高等多因素共同作用的结果, 降水增多是其最主要的因素。

降水对大气污染有减弱作用, 但通过人工影响天气增加的降水, 是在自然降水基础上的少量增幅, 其作用程度也是有限的。

另外, 由于作业影响区和作业非影响区地理位置、影响的天气系统等有较大差异, 两者强行比较意义不大。但对作业影响区目标期与对比期进行比较是有意义的。在进行类比时, 需要去除降水的自然气候变化趋势, 并考虑目标期平均降水量是否为正常情况, 否则得到的结果代表性差。

5. 结论

采用线性拟合方法扣除年降水量的气候线性增加趋势后, 目标期的 2009~2010 年相对于对比期的 1981~2008 年, 人工增水作业影响区的北疆年平均降水量增加 9%、天山山区增加 4%、南疆增加 8%。目标期相对于对比期年平均降水量的增加, 表明长时效、高剂量、大面积的飞机、火箭、高炮、烟炉立体联合人工增水作业发挥了重要作用。

新疆人工增雨(雪)工作实现了作业手段、区域、规模、时间的大幅扩增。作业时段覆盖四季, 实现了飞机、火箭、高炮、地面燃烧炉的多样化立体作业, 初步形成了省 - 地 - 县 - 作业点三级指挥四级作业的人工影响天气业务体系。通过新疆空中云水资源的开发, 适时开展人工影响天气作业, 可明显增加区域降水量。降水的增加对于改善生态环境、增加河流径流、缓解水资源短缺、改善城市污染和防灾减灾都具有十分积极的促进作用。

基金项目

新疆维吾尔自治区自然科学基金(2009211A29)资助。

参考文献 (References)

- [1] 普宗朝, 张山清. 1961~2008年新疆夏半年干湿气候时空变化[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 138-144.
PU Zongchao, ZHANG Shanqing. Spatial-temporal variation of dry-wet climate on summer in recent 48 years in Xinjiang. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(9): 138-144. (in Chinese)
- [2] 苏立娟, 邓晓东, 达布希拉图, 等. 内蒙古空中云水资源特征及与降水关系[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(6): 129-133.
SU Lijuan, DENG Xiaodong, Dabuxilatu, et al. The cloud water resource feature over Inner Mongolia and the relation with precipitation. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(6): 129-133. (in Chinese)
- [3] 张建新, 廖飞佳, 王文新. 中天山山区大气总水汽量和云液水量的遥感研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 565-568.
ZHANG Jianxin, LIAO Feijia, WANG Wenxin. Study on atmospheric vapour and cloud liquid water in Tianshan Mountains by remote sensing. Journal of Desert Research, 2003, 23(5): 565-568. (in Chinese)
- [4] 彭宽军, 陈勇航, 王文彩, 等. 新疆山区低层云水资源时空分布特征[J]. 水科学进展, 2010, 21(5): 653-659.
PENG Kuanjun, CHEN Yonghang, WANG Wencai, et al. Characteristics of spatial and temporal distribution of lower layer cloud water resources in Xinjiang mountain regions. Advances in Water Science, 2010, 21(5): 653-659. (in Chinese)
- [5] 阿丽亚, 邱学兴, 陈勇航, 等. 新疆山区低层冰云云水资源初探[J]. 资源科学, 2011, 33(9): 1727-1734.
ALIYA Badrul, QIU Xuexing, CHEN Yonghang, et al. A preliminary study on lower layer ice cloud water resources over the mountainous regions in Xinjiang. Resources Science, 2011, 33(9): 1727-1734. (in Chinese)
- [6] 张建新, 廖飞佳, 高子毅, 等. 夏季新疆中天山北坡大气冰核的浓度观测分析[J]. 高原气象, 2006, 25(1): 138-142.
ZHANG Jianxin, LIAO Feijia, GAO Ziyi, et al. Study on atmospheric ice nuclei on north slope of Mid-Tianshan Mountains in summer. Plateau Meteorology, 2006, 25(1): 138-142. (in Chinese)
- [7] 李瑞, 王旭. 乌鲁木齐市降水对大气污染的影响[J]. 沙漠与绿洲气象, 2007, 1(2): 13-15.
LI Rui, WANG Xu. Effects of precipitation on air pollution in Urumqi city. Desert and Oasis Meteorology, 2007, 1(2): 13-15. (in Chinese)
- [8] HESS, W.N. Weather and climate modification. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1974: 282-317.
- [9] 高子毅, 张建新, 廖飞佳, 等. 新疆天山山区人工增雨试验效果评价[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 734-740.
GAO Ziyi, ZHANG Jianxin, LIAO Feijia, et al. The effect evaluation for precipitation enhancement experiment in Tianshan Mountains of Xinjiang. Plateau Meteorology, 2005, 24(5): 734-740. (in Chinese)