

一次人工增雨作业对改善空气质量的 effects 分析

刘志勇, 杨柳青, 杨普平

丹江口市气象局, 湖北 丹江口

收稿日期: 2022年12月19日; 录用日期: 2023年1月21日; 发布日期: 2023年1月29日

摘要

本文使用空气环境质量数据、地面降水资料, 对2019年12月25日一次人工增雨作业改善空气质量进行了效果分析, 结果表明: 增雨作业初期受吸湿增长与输入污染物影响, PM_{2.5}与PM₁₀出现先上升后下降特点, 后期随着降雨量加大, 时间增加, 降水湿清除作用明显, PM_{2.5}与PM₁₀下降趋势明显, 其中PM₁₀的下降速度明显优于PM_{2.5}下降, 空气质量由中度污染转为优良, 增雨作业对改善空气质量效果明显。

关键词

人工增雨作业, 改善空气质量

Analysis of the Effect of an Artificial Precipitation Enhancement Operation on Improving Air Quality

Zhiyong Liu, Liuqing Yang, Puping Yang

Danjiangkou Meteorological Service, Danjiangkou Hubei

Received: Dec. 19th, 2022; accepted: Jan. 21st, 2023; published: Jan. 29th, 2023

Abstract

Base on air environmental quality data and surface precipitation data, this paper analyzes the effect of an artificial precipitation enhancement operation on December 25, 2019 to improve air quality. The results show that: Affected by moisture absorption and input pollutants, PM_{2.5} and PM₁₀ rise first and then fall. In the later period, with the increase of rainfall and the increase of time, the wet removal effect of precipitation was obvious, and the decrease rate of PM₁₀ was obviously better than that of PM_{2.5}, and the air quality turned from moderate pollution to good. The precipitation enhancement operation has obvious effect on improving air quality.

Keywords

Artificial Precipitation Enhancement Operation, Improving Air Quality

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着经济的发展和城市化进程的不断扩大, 污染物的排放量不断增加, 污染范围不断扩大, 以颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等为主要污染物的大气环境污染问题日趋严重, 环境污染对经济建设和人体健康造成了极大危害。

丹江口市地处鄂西北山区, 地势呈西北向东南倾斜, 丹江口市主要污染天气日数出现冬季(上年的 12 月到次年的 2 月), 据 2017 年 1 月~2020 年 3 月丹江口市环境监测站数据统计表明: 冬季轻度污染以上天气占全年污染天数的 55%, 主要污染物为 PM_{2.5}, 其次为 PM₁₀, 第三位是 SO₂。因此做好冬季的大气污染防治显得尤为重要。气象条件是影响空气质量的重要因素, 国内外已有很多学者就气象条件与城市空气污染的关系进行了研究, 取得了很大进展[1] [2]。也有人专门研究了降水对大气污染浓度的影响, 如王艳秋等[3]分析了哈尔滨地区降水对大气污染物浓度稀释影响, 发现春季降水对污染物浓度影响较大, 降水对 PM₁₀ 有较大的稀释作用。李瑞等[4]研究发现, 乌鲁木齐地区不同等级降雨的清除能力大小排序为: 大雨、小雨、中雨、微雨。陈小敏等[5]分析重庆主城区人工增雨对空气质量的影响, 指出重庆在冬半年开展人工增雨作业后, 平均可以让城市空气质量达标天数增加 34~62 d。大气清除过程可分为两大类, 即干清除与湿清除过程。湿清除过程主要指云雨不停吸收与冲刷大气中可溶气体及气溶胶, 云雨带气流上升, 低层四周气流向云中辐合, 从而将低层四周的气溶胶输送到云雨区清洗。人工增雨是通过播撒干冰、碘化银等催化剂, 产生大量人工冰晶, 促进降水发生或增加。同时由于冰晶凝华潜热的释放, 可以使云体温度提高, 促进上升气流的发展, 进一步加强成云降雨的过程。由于降水对大气污染浓度有较大影响, 人工增雨可以提高云层的降水效率, 增加降雨量和降雨时间, 从而使得降落的雨滴能够更好更久地对大气污染物进行清洗, 因此, 人工增雨必将成为改善空气质量的重要手段之一。多地的实践证明[6] [7]: 通过实施人工增雨可以有效地降低 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度, 达到改善空气质量目的。

2019 年 12 月 23 日 14 时开始, 丹江口市空气质量由优良转差, 空气质量指数(AQI)连续 52 小时 100 以上, 峰值出现在 24 日 23 时, 达到 212, 属重度污染天气, 主要污染物为 PM_{2.5}; 丹江口市启动污染天气应对预案, 并要求气象部门适时开展人工影响天气作业, 25 日白天丹江口市气象局实施了一次以改善空气质量为目的冬季人工增雨作业试验, 本文利用丹江口市空气质量监测站数据、国家气象站地面气象资料、区域自动站降水资料, 对此次试验进行了综合分析, 以期为后期开展人工增雨改善空气质量活动提供参考。

2. 资料来源

文章所用资料包括 2019 年 12 月 25 日 5~23 时丹江口市 AQI 数据和逐时空气质量监测数据, 数据来源于丹江口市两个环境质量监测站(分别是城区武当大道站、沙陀营路站), 气象资料主要包括丹江口市国家气象观测站和区域自动站雨量资料。

3. 作业方案制定

3.1. 人工影响天气作业条件分析

25日08时500 hPa图上(见图1), 高原东部为平直西风气流, 四川盆地有一短槽东移, 700 hPa图上达州到陕南有一竖切变, 地面为东路冷空气影响, 受高空槽东移、中低层切变线与地面冷空气的共同影响, 预报25日白天丹江口市有弱的降雨天气过程发生, 降雨量1~2毫米。根据预报, 25日白天丹江口市将具备人工增雨作业条件。

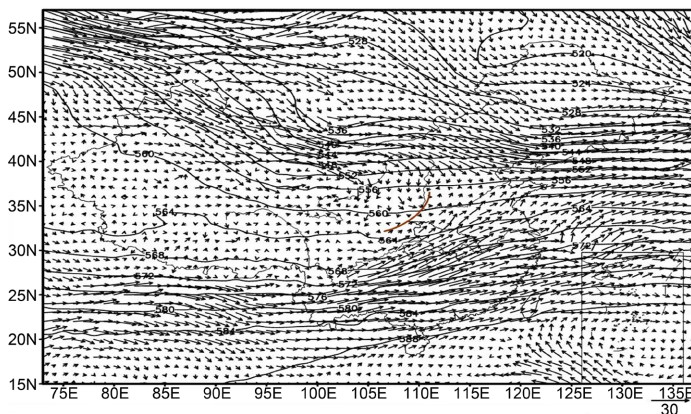


Figure 1. 500 hPa height (unit: dgpm) and 700 hPa full anemogram (unit: m/s, the brown line is the shear line) at 08:00 on the 25th

图 1. 25日08时500 hPa高度(单位: dgpm)与700 hPa全风速图(单位: m/s, 褐色线是切变线)

3.2. 作业阵地的选择

考虑到此次降水云团主要移动方向为自西向东, 丹江口市两个空气质量监测站位置位于城区, 选择距城区直线距离10~12公里的上风方作业, 可以确保降水影响区域在城区一带, 有效降低城区空气中PM2.5与PM10的浓度, 达到改善空气质量的目的。根据武汉飞行管制分区2019年批复我市作业空域地点, 此次作业选择土关垭、牛河两个作业阵地实施人工增雨作业, 具体作业地点与城区环境监测站见图2。

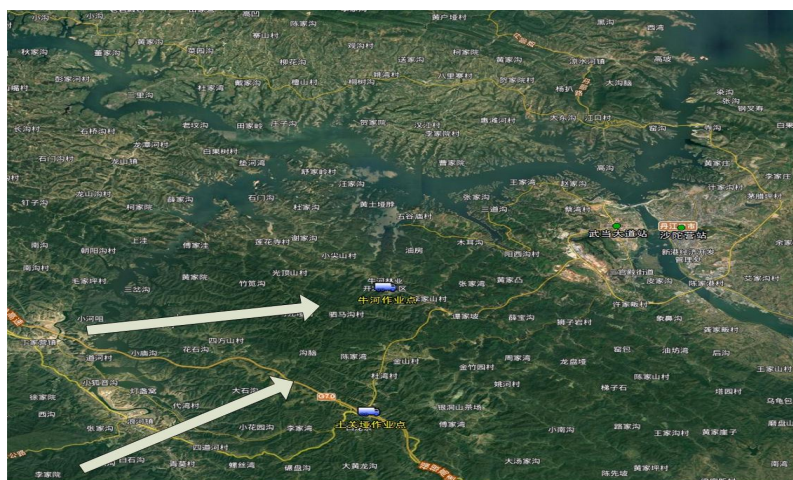


Figure 2. Two operation points, cloud system moving direction and environmental quality monitoring station (green point) on December 25

图 2. 12月25日两个作业点、云系移动方向与环境质量监测站(绿点)

3.3. 作业情况与雨量分布

25日上午城区以零星小雨为主,雷达观测云层强度大多在10~12 dBz间,云高3 km左右,属层状云;作业指挥分析雷达资料后指令土关垭、牛河两处作业阵地在11时06~07分以65°~66°与55°~57°的仰角、方位角220°~240°发射火箭弹8枚,作业结束后持续牛毛细雨到晚上20时,选择作业阵地上风方的浪河、丁家营镇做为对比区,土关垭、牛河与城区为影响区,由于此次作业云中水汽含量较差,作业受益区域主要集中在作业阵地范围内,图3给出了作业阵地、对比区与影响区的雨量分布,分析图3可见,此次作业,作业阵地与影响区较对比区的雨量增加了15%~20%。

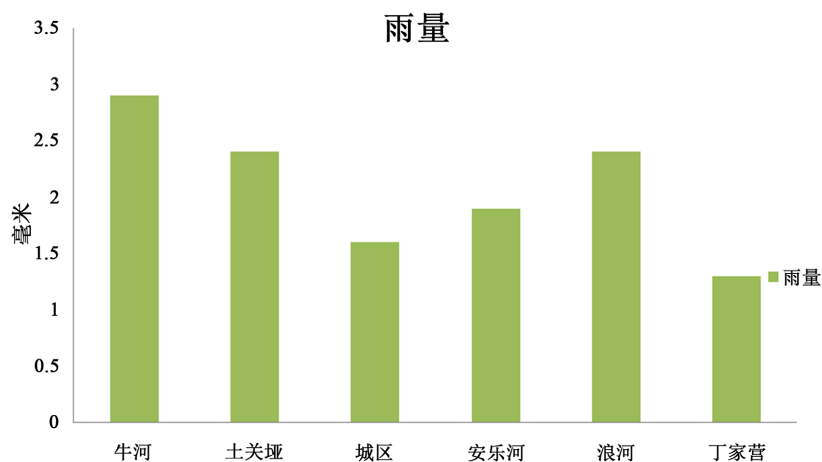
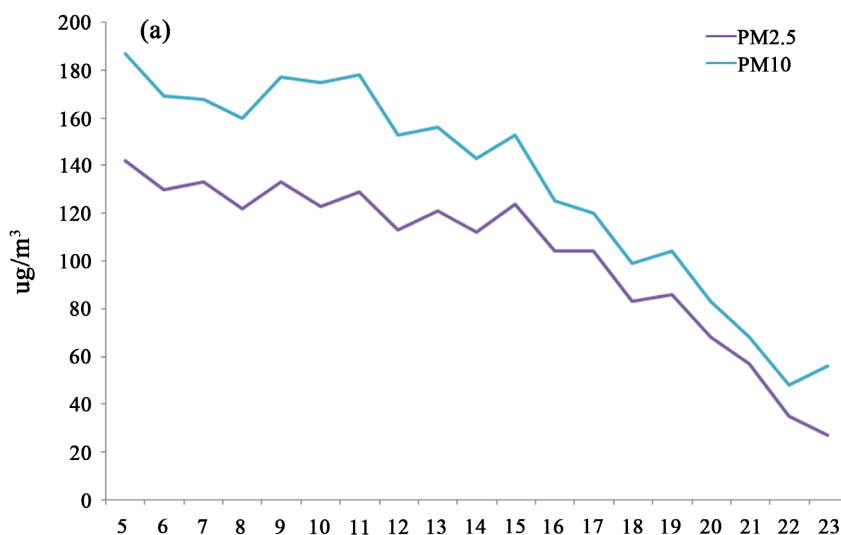


Figure 3. Rainfall distribution at 11:00~20:00 in operation position, urban area and operation comparison area on December 25
图3. 12月25日作业阵地、城区与作业对比区11~20时雨量分布图

4. 空气质量改善效果分析

降水时段为25日11~20时,持续时间为10小时,据丹江口市国家气象站数据显示:城区降水量为1.6毫米,降水强度范围为0.1~0.4 mm/h,呈多峰结构,平均降雨强度为0.16 mm/h,降水期间平均风速达到1.1 m/s,最大风速达到2.4 m/s。图4给出了丹江口市25日5~23时沙陀营路环境监测站(图4(a))与武当大道监测站PM2.5与PM10逐小时变化图,分析图4:当降水开始时PM2.5与PM10出现先短暂上



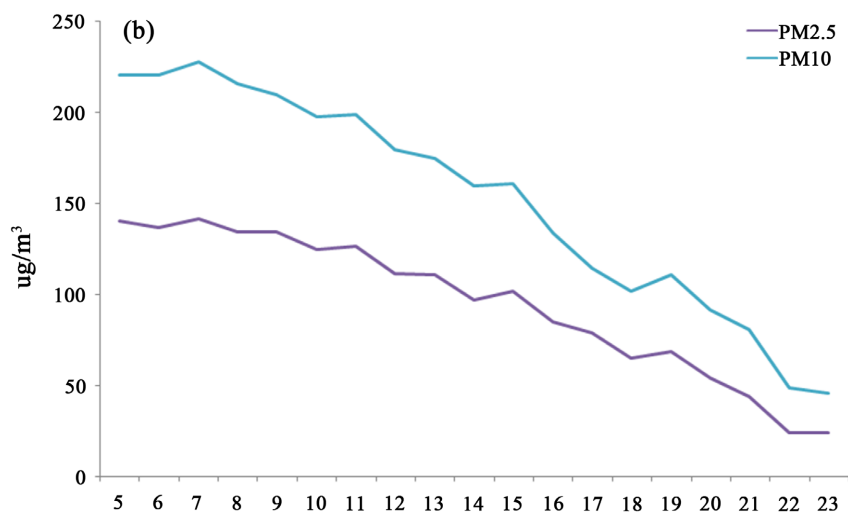


Figure 4. Variation diagram of PM2.5 (purple) and PM10 (blue) at Shatuying Road Station (a) and Wudang Avenue Station (b) from 5:00 to 23:00 on the 25th (unit: ug/m^3)

图 4. 25 日 5~23 时沙陀营路站(a)、武当大道站(b) PM2.5 (紫色)、PM10 (蓝色)变化图(单位: ug/m^3)

升, 这与增雨初期的吸湿增长与输入污染物有关; 后期呈下降趋势, 武当大道监测站数据显示: PM2.5 从 9 时的 $135 \text{ ug}/\text{m}^3$ 迅速下降到降水结束时的 $54 \text{ ug}/\text{m}^3$, 平均下降速率为 $6.75 \text{ ug}/\text{m}^3$; PM10 从 9 时的 $210 \text{ ug}/\text{m}^3$ 下降到降水结束时的 $92 \text{ ug}/\text{m}^3$, 平均下降速率为 $9.8 \text{ ug}/\text{m}^3$; 沙陀营路站监测数据显示: PM2.5 从 9 时的 $123 \text{ ug}/\text{m}^3$ 迅速下降到降水结束时的 $68 \text{ ug}/\text{m}^3$, 平均下降速率为 $4.58 \text{ ug}/\text{m}^3$; PM10 从 9 时的 $175 \text{ ug}/\text{m}^3$ 下降到降水结束时的 $83 \text{ ug}/\text{m}^3$, 平均下降速率为 $7.67 \text{ ug}/\text{m}^3$; 气态污染物 NO_2 、 SO_2 、 CO 也呈下降趋势, 下降的幅度不一致, 分别为 33.3%、57.1%、23.8%。以上分析显示: 随着降雨量加大, 降水时间增加, 降水的湿清除作用明显[5], 降水对 PM10 的清除能力要明显优于 PM2.5。

5. 结论与讨论

1) 本次人工增雨作业过程是在丹江口市出现污染天气条件下开展的, 作业工具是 WR-98 型车载式增雨防雹火箭系统, 由于冬季层状云含水量较差, 增雨受益区主要是作业阵地附近, 增加降水量约为 15%~20%。

2) 作业后, 空气质量由污染逐渐转好, 随着降雨量加大, 降水时间增加, 降水的湿清除作用明显, 降水对 PM10 的清除能力要明显优于 PM2.5。

3) 由于此次作业是丹江口市首次实施人工增雨作业改善空气质量, 本文只是简单统计分析了作业后 PM2.5、PM10 的变化趋势, 得出结论有待多次开展作业后进行对比分析。

4) 由于城区处于人员密集区, 可考虑在城区布设地面 3~4 套远程遥控地面焰条播撒系统, 在实施人工增雨作业的时候可以与地面火箭发射系统配合使用, 弥补城区内不能开展作业的不足, 同时针对城区雾天可以尝试开展人工消雾试验, 有效解决地面火箭发射系统在雾日内不利开展作业的问题。

参考文献

- [1] 吕效谱, 成海容, 王祖武, 等. 中国大范围雾霾期间大气污染特征分析[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2013, 28(3): 104-110.
- [2] 李岩, 郑东旗, 龚振彬, 等. 福州大气污染日与气象条件关系的研究[J]. 亚热带农业研究, 2014, 10(3): 194-198.
- [3] 王艳秋, 杨晓丽. 哈尔滨市降水形势对大气污染物浓度稀释的影响[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 65-68.
- [4] 李瑞, 王旭. 乌鲁木齐降水对大气污染影响[J]. 沙漠与绿洲气象, 2007, 1(2): 13-15.

-
- [5] 陈小敏, 李轲. 重庆主城区人工增雨对空气质量影响的分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2010, 35(6): 152-156.
 - [6] 李岩, 陈建云, 龚振彬. 福州市人工增雨改善空气质量作业点选址[C]//第 35 届中国气象学会年会. S16 人工影响天气理论与应用技术研讨. 合肥: 中国气象学会, 2018: 98-104.
 - [7] 李德俊, 熊守权, 柳草, 等. 降水对武汉 2 次空气污染过程的湿清除特征[J]. 中国农学通报, 2017, 33(29): 95-102.