

砚山县地面烟炉人工增雨可行性分析

李锋¹ 陈树柄²

1 云南省砚山县气象局 2 云南省文山壮族苗族自治州气象局

DOI:10.12238/eep.v8i3.2609

[摘要] 利用地面烟炉在砚山县独有的地理、气候环境下开展人工增雨作业,其作业的关键是烟炉布设区域是否能较好把握住气流上升的时机。本文利用自动站数据资料的基础上对砚山县平远镇、稼依镇独有的地理条件做烟炉作业点设置可行性分析,利用高斯模式对碘化银扩散过程进行模拟。结果显示:在合适海拔的迎风坡上,上升气流能将碘化银等催化剂有效扩散到空中实现较好的增雨效果。

[关键词] 砚山县; 地面烟炉; 人工增雨; 可行性分析

中图分类号: P405 **文献标识码:** A

Feasibility analysis of artificial rain enhancement for ground smoke furnaces in Yanshan County

Feng Li¹ Shubing Chen²

1 Yanshan County Meteorological Bureau, Yunnan Province

2 Meteorological Bureau of Wenshan Zhuang and Miao Autonomous Prefecture, Yunnan Province

[Abstract] The artificial rain enhancement operation is carried out using ground smoke stoves in the unique geographical and climatic environment of Yanshan County. The key to the operation is whether the smoke stove layout area can better grasp the timing of the rising airflow. Based on the data from the automatic station, this article analyzes the feasibility of setting up smoke stove operation points in the unique geographical conditions of Pingyuan Town and Jiayi Town in Yanshan County, and simulates the diffusion process of silver iodide using Gaussian mode. The results show that on windward slopes at appropriate altitudes, upwelling airflow can effectively diffuse catalysts such as silver iodide into the air, achieving good rain enhancement effects.

[Key words] Yanshan County; Ground smoke stove; Artificial precipitation enhancement; Feasibility analysis

引言

砚山县地处北回归线附近低纬高原地带,属北亚热带大陆性季风气候区,具有复杂多变的地形地貌特征和北亚热带、中亚热带、南温带等立体气候。全县地形独特,西边是平远坝子、稼依坝子,东部地区为岩溶丘陵、中山和低中山,常年主导风向西南风,主要从西边阿舍平远途径中间的狭长区域维摩乡至东半县,尤其中部维摩乡所处区域常年季风气候显著。对于平远、稼依地区等主要以烤烟种植、高原特色农业、其他经济作物种植为主要农业的乡镇,针对水库蓄水、抗旱、生态环境维持和保护的要求对砚山县人工增雨作业的需求将越来越明显和迫切。

目前砚山县人工增雨工作仅靠固定作业点的火箭实施增雨,其禁射区范围随着社会经济的发展不断增多,人工增雨弹药有效作业空间明显压缩。在此情境下,砚山县引入地面烟炉作业实施增雨,为砚山县未来几年的人工增雨工作带来了良好局面。对砚山县境内实施地面烟炉的安装作业,能有效弥补当前人工增雨方式单一不足的问题,较大地改善了人工增雨效果不佳和覆盖面窄的问题。

1 地面碘化银烟炉布设的地理因素考量

能否将地面播撒的碘化银冰核输送到预期播撒目标,是达到预期增雨效果的关键,这对烟炉作业点的布设选择相当重要。不同地形近地面局地环流各异,在布设烟炉时应注意。我们在烟炉作业点的选择布设时应考虑以下几个方面:首先要依据云资源条件选择布设区,考虑到山区降水转换为地表水的能力,烟炉作业点应设置在海拔高度800m以上的山区。地面烟炉布设应距离盛行地形云的山峰不大于5km,以便1~2m/s的谷风能在1~1.5小时内使催化剂送到期望播云高度-5℃的云层。而平远、稼依地区的海拔条件符合地面烟炉布设要求,再加上地势开阔平坦,为采用地面烟炉进行增雨雪作业提供了便利。

2 作业点可行性分析

2.1 地理环境的可行性分析

砚山县地处滇东南熔岩高原中部,地势西北高、东南低,全县地形从西北向东南呈阶梯式下降,形成高、中、低三层,海拔在1400~1600米的中层为主。平远镇位于砚山西部,平远坝子腹地,东以稼依镇相连,南抵阿舍乡和文山市德厚镇。地势相对平

坦属云南八大坝子之一，境内多丘陵但整体地势起伏不大，选择在平远镇、稼依镇这种海拔1500米以上的迎风坡安装地面烟炉开展人影工作的条件非常合适。

2.2 地面烟炉作业点概况

地面烟炉作业点的选址是达到理想增雨效果的关键，同时借助对云层有明显抬升作用的天气系统播撒，按照秦长学等人的研究结果，作业点选址在海拔800m的迎风坡，利用上升气流将增雨催化剂播撒入云，作业效果明显。平远、稼依坝子地势平坦开阔，主导风向以南风和东南风居多，上升气流容易从南边提升并迅速贯穿全境，可以选择交通便利安全的南部丘陵布设烟炉，也可以在平远水城、丰收水库、莲花塘水库、稼依水库周边偏南侧布设烟炉。

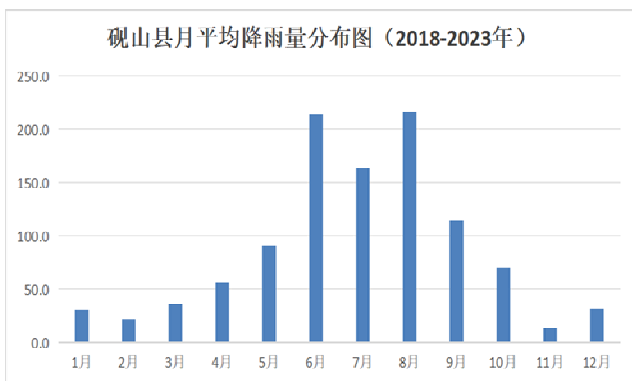


图1 砚山县的逐月的降雨量分布图

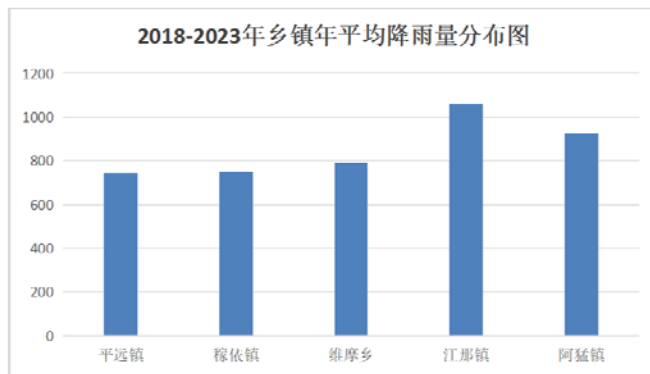


图2 乡镇雨量对比图

平远、稼依主要降水过程风向图（2023-2024）

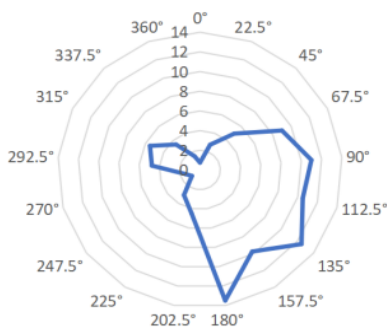


图3 平远、稼依2023-2024年主要降水时段风向图

砚山县的降水主要在5-10月主汛期、特点是时空分配不均。夏季会出现局部洪涝成灾，而季风交替后冬春连旱现象尤为突出。冬春季节森林火险等级较高，易发生森林火险。通过对平远、稼依附近的自动气象站2018—2024年降水和风场的数据进行分析。图1为砚山县的逐月的降雨量分布图。图2为乡镇雨量对比图。

从降水量分布图可看出平远、稼依同整个砚山县一样集中在5-10月主汛期，国庆过后降水迅速减少到特少，冬春连旱尤为突出。从平远、稼依各自动气象站的风向风速玫瑰图可看出风向较稳定，风向主要为南风，其次为南东南风；为进一步了解各站点的风向情况，分别对自动站2023-2024年主要降水时段风向绘制了玫瑰风向图（图3），结果显示，各站点主要降水时段风向和盛行风向分布均一致，即降水时平远、稼依附近风向主要为南风，其次为南东南风；平远、稼依属亚热带季风湿润气候，由于地形地貌平坦，冷暖气流流动几乎无阻隔，时常形成大风，利于碘化银的核化及扩散，结合烟炉作业点地形和盛行风向，进一步分析设置烟炉的可行性。统计平远、稼依地区过去5年主要降水时段的主要影响天气系统为南支槽和昆明准静止锋，南支槽天气形势下水汽条件较为丰富，昆明准静止锋能让催化剂被抬升的效果明显，人工影响天气后的云团从作业点附近向北和西北移动至平远、稼依大部分农田所在地。根据平远、稼依地形特点结合常年主导风向和主要降水时段风向综合分析，两个乡镇的人工影响天气烟炉作业点布设在南方、东南方迎风方向相对合适，优选风速要比较大地势较高的点位，让作业点附近产生的上升气流明显，地面碘化银烟炉燃放的催化剂能快速输送到云中合适部位进行催化，将非常有利于人工影响天气实现增雨作业。

2.3 催化剂播撒效果预估

2.3.1 评估公式：高斯公式

Dennis and Koscielski (1972) 在美国南达科他州进行的随机吸湿性催化试验结果表明，在云底引入适当尺度的凝结核可以启动使降水增长的链式反应，利用催化剂扩散模型可得出地面烟炉燃烧的催化剂能否到达云底。根据《环境影响评价技术方法》地面源扩散符合利用高斯扩散模式，高斯模式的假设有：①污染物在空间中按高斯分布（正态分布）；②在整个空间中风速是均匀的、稳定的，风速大于1.5m/s；③定常、均匀的湍流场；④源强是连续均匀的；⑤在扩散过程中污染物质量是守恒的。其扩散公式为：

$$q = \frac{Q}{2\pi \sigma_y \sigma_z v} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (1)$$

其中, 式中 Q 为源的核生成率, σ_y 和 σ_z 分别为 y 和 z 轴方向上催化剂质点浓度分布的均方差, u 为 x 轴上的分风速, 为源高, y 为发射点与通过排气筒的平均风向轴线在水平面上的垂直距离, z 为发射点与水平面的垂直高度。使用(1)式计算地面烟炉燃烧源扩散情况, 暖云催化剂的核生成率 $Q=4.4 \times 10^{15}$ 个 \cdot s, 根据不同稳定度分类 σ_y , 和 σ_z 取不同值, $\sigma_y(x)=0.147x^{0.889}$, $\sigma_z(x)=0.4x^{0.652}$, $q_0=105$ 个 \cdot m $^{-3}$, 源高 H_0 包含排放源的自然高度 h 和烟流的抬升高度 Δh , 参照国家烟囱设计规范中确定的典型烟源数据, 计算烟气有效高度为71.8m^[7], 催化剂在云中最佳凝结核浓度为 q_0 , 催化剂的分布相似浓度 q' 表示为:

$$q' = \frac{q}{q_0} \quad (2)$$

2.3.2 催化剂扩散分析

例如陕西中天火箭技术有限公司的ZY_2A型地面燃烧炉, 其BR-91-Y型高效碘化银焰剂, 焰剂燃烧产生含碘化银复合冰核气溶胶成核率很高, -10℃条件下1g的AgI在静态成核率可达1.81015个, 在-12℃时5min核化率平均为90%, 利于在云中产生冰核。每支焰条的AgI含量为7.5g/支, 每支焰条-10℃条件下静态成核可达7.5*1.81015个。秦长学等曾计算过北京地面发生源扩散情况(见图4)。计算中取高度1000m, X轴上的分风速6m \cdot s $^{-1}$, 源的核生成率为1.11012个/s, y 轴和 z 轴方向上催化剂点浓度的均方差为0.27*0.91、3.3110-4*1.855, 云中冰核最佳浓度为105个/m³, 图4中数值为扩散距离与最佳浓度相比得出的相对浓度。

从图4可知: 在垂直方向上, 扩散源放在1000m的高度, 可以产生厚度1km、长度3km的高浓度区, 浓度值达105个/m³以上。照此计算, 平远、稼依南方、东南方海拔1500m处燃放焰条, 向上扩散后的高度可以达到2500m以上, 足以达到云中催化剂核化的高度, 较高浓度水平可达到8km以上, 可以有效增加降雨(雪)量。

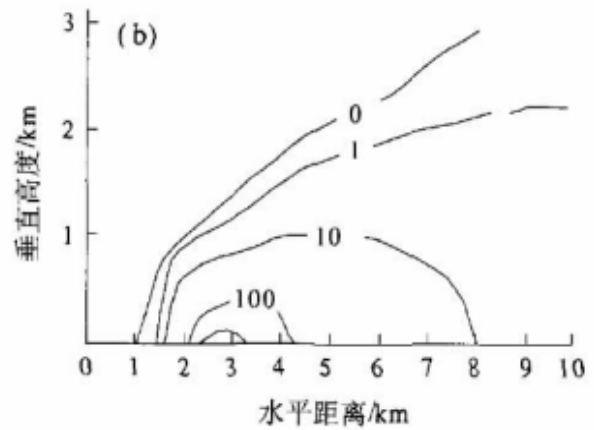
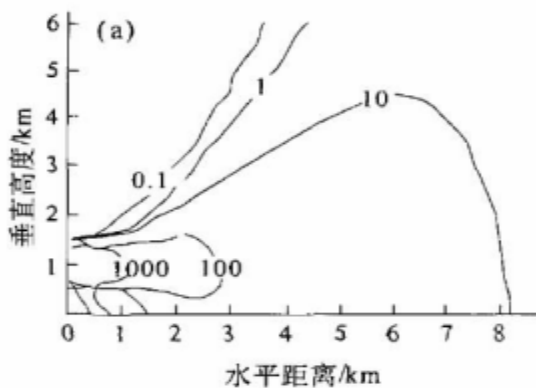


图4 催化剂的垂直扩散(a)和水平扩散图(b)

3 小结

(1) 地面烟炉增雨作业优点是作业成本低、不受空间限制、能灵活自主作业, 在砚山县平远、稼依等高原坝子地形实践性布设并开展, 在对抗冬春雨水稀少旱情严重的作用积极。

(2) 根据砚山县平远、稼依等地海拔超过1500m且地理平坦等优势, 结合常年主导风向及主要降水时段风向合理布设地面烟炉作业点, 对于弥补两个地区空域紧张且受限条件多、大大降低火箭增雨潜在的风险和安全隐患及作业成本, 对于防灾减灾、农业生产、蓄水保供、生态环保等具有积极的前瞻性社会效益。

(3) 地面烟炉作业能大大降低人影作业火箭带来的弹药存储、运输、使用的安全风险和作业成本, 在平远、稼依一带空域活动较频繁的区域还能杜绝飞行安全, 值得推广使用。

【参考文献】

- [1]高翔, 姚春景, 罗双玲. ZY-2型远程控制碘化银地面发生器的应用分析[J]. 河南科学, 2013, 31(6): 863-867.
- [2]李金才, 王新强. 闽西地面AgI烟炉人工增雨作业的效果[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(22): 11821-11822.
- [3]王文新, 张建新, 廖飞佳, 等. 地面碘化银烟炉在山区人工增雨中的应用[J]. 新疆气象, 2004, (3): 25-27.
- [4]秦彦硕, 段英, 李二杰, 等. 河北大茂山碘化银发生器增雪作业影响分析[J]. 气象, 2015, 41(2): 219-225.
- [5]徐冬英. 火箭人工增雨作业中应注意的一些技术问题[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(3): 85-89.
- [6]西安中天火箭技术有限公司. ZY-2A远程遥控地面播撒系统简介[z]. 2014: 1-2.

作者简介:

李锋(1983-), 男, 彝族, 云南广南人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 气象服务。