

基于背景法对太行山中段焚风特征的分析

熊险平 王淑云* 张唯

(河北省沧州市气象局, 沧州 061001)

摘要 利用石家庄 2009—2018 年逐小时气象要素监测数据,设计了一种新的焚风统计方法——背景法,对太行山中段的焚风特征进行了分析,并探讨了其与常规焚风统计方法的差异及其命中率问题。结果表明:①背景法可以有效排除大尺度天气系统和辐射对焚风统计结果的影响,可以确保焚风过程统计的精准性;②与常规焚风统计方法相比,焚风日分布特征改善明显,表现为上午时段焚风次数明显减少、夜间明显增多,新方法的结论更加符合石家庄当地焚风特点;③石家庄地区基于背景法的焚风统计命中率为 100%,但在其下游地区,随着与山脉距离增大,焚风统计命中率明显下降。

关键词 焚风;统计方法;背景法;太行山中段

中图分类号: P425.4 **DOI**: 10.19517/j.1671-6345.20190281 **文献标识码**: A

引言

焚风是由山地引发的过山气流在背风坡下沉时导致空气干燥而炎热的一种地方性风。焚风在世界很多山区都能见到,最为著名的地区有欧洲阿尔卑斯山、美洲落基山等,在中国天山、秦岭、大小兴安岭、太行山、皖南山区等地区也较为常见。焚风常常对当地经济社会和人们生活造成一定影响,有弊也有利。它可使林木和农作物干枯,降低产量,使森林草原火险等级提高,易造成火灾蔓延;它造成的燥热天气可导致部分人出现不适症状,甚至诱发疾病;它能加速积雪融化、土壤解冻,能丰富当地的热量资源,可发展特色工农业。

国内外对焚风已有很多研究。Sprenger 等^[1]对欧洲阿尔卑斯山北部山谷的焚风与非焚风事件进行了模拟训练及分析。Wang 等^[2]对南亚季风穿越喜马拉雅山脉,在山脉中部北侧造成的独特干带进行了模拟研究。胡萍^[3]、赵克明^[4]、张杰等^[5]分别对大兴安岭、乌鲁木齐、祁连山地区焚风的气候特征及影响进行了分析。对于太行山地区焚风,也有很多研究成果,譬如探讨太行山东麓焚风的统计标准、气

候特征、形成机制、天气模型等^[6-8],分析太行山中段焚风对石家庄地区温度的影响^[9-12];分析太行山焚风对 PM_{2.5} 浓度的影响^[13]等。

关于焚风的界定,国内学者在研究过程中都给出了各自的判定标准。胡萍定义大兴安岭焚风为:有明显的过山气流,高层的风具有垂直于山脉的大的分量,背风面出现来自山脉方向的地面风,温度升高,湿度降低,且二者同时突然的变化。席宝珠^[14]将大兴安岭不同海拔高度的气温按照某一垂直递减率订正到海平面气温,将山脉东坡与坡前平原平均海平面气温的差值定义为焚风增温强度。赵克明将乌鲁木齐地区东南大风出现的强度和高度作为焚风判定标准。赵世林将太行山焚风定义为:气流与山脉相垂直,风速大于等于 $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 10 min 升温 $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 30 min 升温大于等于 $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。王宗敏定义太行山东麓焚风为:23 个区域代表站中有 1 个或多个站出现偏西风,同时气温上升和湿度下降。可以发现,国内学者给出的焚风界定方法中,虽然都考虑了气温、湿度的突然变化,以及风的来向,但是没有排除大尺度天气系统和辐射造成的影响,例如日出后的正常快速升温、夜间焚风增温抵消掉正常辐射降

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM201804)、沧州市重点研发计划指导项目(183305005)资助

作者简介:熊险平,男,1981年生,工程师,主要从事天气预报与服务工作,Email:44386127@qq.com

收稿日期:2019年6月18日;定稿日期:2019年10月21日

* 通信作者,Email:1417631652@qq.com

温等情况,易造成焚风统计结果的污染。

本文以石家庄站为代表,尝试利用一种新的统计方法——背景法对太行山中段的焚风天气特征进行重新分析,以规避上述问题,并探讨该方法与常规焚风统计方法的差异及其统计结果的命中率问题,为今后焚风类似研究提供参考。

1 资料与方法

1.1 基本思路

基于焚风天气常识,当太行山中段出现焚风时,由于气温快速上升、湿度快速下降,石家庄地区均会迅速转为晴朗少云的天气,但是在晴天背景下,气温增温主要包含焚风增温和基础增温两部分,或为焚风增温和基础降温的和,而焚风研究应该仅专注于焚风增温部分。基于这种基本认识,定义焚风过程的基本思路是:①筛选晴天日(不含焚风日)数据;②计算晴天背景下各月逐时刻的小时气温平均值,即背景气温,并计算实况小时变温与背景气温的差值;③结合湿度变化、风向、风速等判据,最终确定焚风过程。本文将这种统计方法定义为背景法,该方法的优点在于:通过统计晴天背景下的背景变温,可以减少或排除其他天气状况对焚风统计结果的影响;通过计算实况变温与背景变温的差值,可以减少或排除辐射等原因所致气温变化对焚风统计结果的影响;各项焚风判据的综合应用,可以确保焚风过程统计的精准性。

1.2 资料处理和统计方法

本文所用资料为石家庄站 2009—2018 年逐小时气象要素监测数据,包括逐小时的温度、相对湿度、风向、风速、能见度、本站气压等,以及期间的 Micaps 历史资料。没有使用更早时间的数据,主要考虑减少气候变暖大背景和城市化对焚风统计结果的影响^[15-17]。

晴天判定方法为剔除法,当某时刻出现降水,或相对湿度大于等于 80%,或小时升温超过 3℃,则该时刻数据剔除;若一天内(00:00—23:00,下同)有 1 个(含)以上的时刻数据被剔除,则该日所有时刻数据全部剔除。筛选出晴天日数据后,计算各月份逐时刻的小时气温平均值作为背景气温。

小时变温差值计算公式如下:

$$\Delta T_{Ch} = \Delta T_h - \Delta T_{Bh} \quad (1)$$

$$\Delta T_h = T - T_0 \quad (2)$$

$$\Delta T_{Bh} = T_B - T_{B0} \quad (3)$$

其中, ΔT_{Ch} 为小时变温差值; ΔT_h 为小时实况变温; ΔT_{Bh} 为小时背景变温; T 为本时刻气温; T_0 为前一时刻气温; T_B 为本时刻背景气温; T_{B0} 为前一时刻背景气温。

焚风统计标准:小时变温差值大于等于 3℃,风向在 WSW-WNW 范围内,风速大于等于 2.0 m·s⁻¹,小时相对湿度下降大于等于 20%。若某时刻同时满足以上全部条件,则定义为 1 次焚风过程,即焚风日,其中小时变温差值代表该焚风过程强度。此标准类似赵世林定义的焚风标准,主要区别是将变温判据改成了小时变温差值,另增加了相对湿度变化判据。

文中涉及到的时刻为北京时间,季节划分按照气象标准定义。

2 结果与分析

2.1 背景变温分布

图 1 为石家庄晴天背景下各月小时背景变温分布情况(部分月份略)。从图 1 可以看到,各月的小时背景变温均为单峰型;正变温开始时刻与日出时间对应较好,最强正变温一般出现在上午 08:00—10:00,数值在 1.4~2.0℃之间;负变温开始时刻一般在 16:00 前后,最强负变温一般出现在 18:00—20:00,变温幅度在 -1.2℃左右;后半夜到日出前负变温幅度起伏较小,一般在 -1~0℃之间。

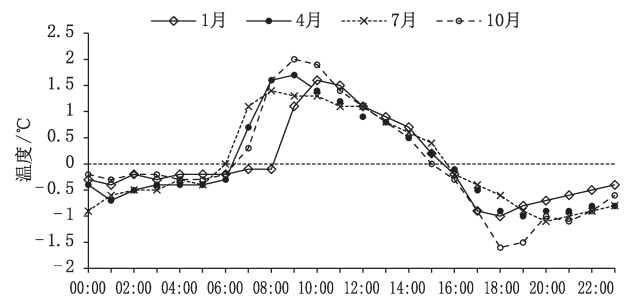


图 1 2009—2018 年石家庄晴天背景下 1、4、7、10 月的小时背景变温

2.2 焚风的年变化

基于背景法统计近 10 年数据(图略),石家庄年平均焚风日数为 11.5 d,年际间焚风日数起伏较大。焚风强度达 5℃及以上的年均焚风日数为 5.6 d;7℃及以上的强焚风年均日数为 2 d,出现几率为 17.4%。

图 2 为近 10 年石家庄焚风的年变化。从图 2 可以看到石家庄焚风多发生于冬季、春季、秋季,夏季发生日数较少,这与大气环流和冷空气活动路径

有关。焚风发生最多月份为 12 月,累计日数达 27 d,其次为 4 月。11 月末到 12 月,河北为隆冬季节,东亚高空副热带急流达到一年中最强的程度,并稳定在 30°N 以南,地面蒙古冷高压强大且稳定,冬季风达到最强,当冷空气从河套及以西地区向南侵袭时,石家庄极易出现较强的西到西北风,从而导致焚风出现。4 月及其前后,副热带急流明显减弱,位置北移,位于 30°N 附近,地面上蒙古高压和我国东北地区低压发展,容易形成南高北低形势,当太行山东麓出现地形槽时,极易导致焚风出现^[18]。

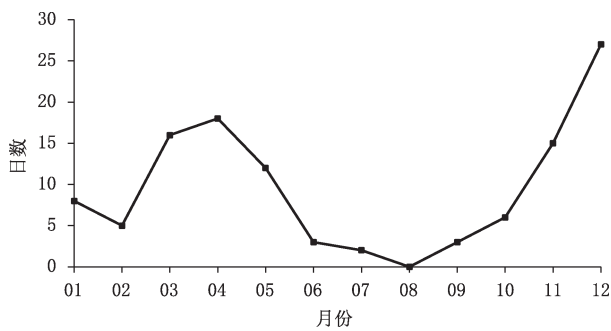


图 2 2009—2018 年石家庄焚风日数年变化

2.3 焚风的日变化

从石家庄焚风的日变化(图 3)可以看到,焚风的日变化非常明显,存在 2 个高峰时段,分别为后半夜和上午,其中 02:00—04:00、07:00 焚风发生次数超过 10 次,04:00 最多(14 次),11:00—17:00 发生极少。从发生几率来看,00:00—10:00 焚风发生几率达 83.5%,其中 02:00—04:00 为 32.2%。该日变化与太行山的地形作用有关,日出以后随着下山风的减弱,焚风发生几率随之下降。

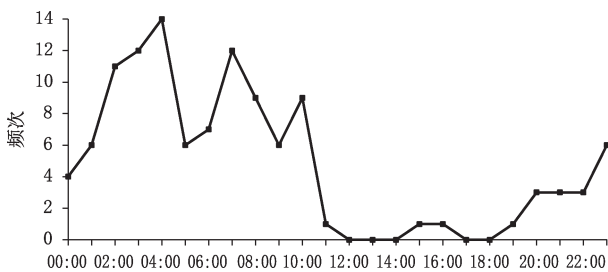


图 3 2009—2018 年石家庄焚风频次日变化

3 讨论

3.1 背景法与常规法焚风特征对比

仅利用式(2)计算单位时间气温升幅,作为焚风

判定标准的,为常规法。下面分析背景法与常规法统计得到的焚风特征有何不同?为了方便二者比较,本文对常规法判据进行了统一,即焚风强度为小时升温大于等于 3℃,其他判据与背景法相同。

利用常规法对 2009—2018 年石家庄焚风过程进行重新统计,得到焚风过程 120 d,与背景法统计结果进行对比发现,两种方法得到的焚风年际变化、月变化趋势基本一致,各年或各月数据差异均在 2 d 以内;但是日分布差异较大,主要表现为上午时段背景法比常规法少 13 d,下午时段接近、夜间背景法比常规法多 8 d(表 1)。为更好的体现焚风日分布差异,特将两种统计方法的焚风强度判定阈值下调至 2℃,以增加样本数量,对比结果见图 4。从图 4 可清楚看到,07:00—12:00 常规法统计的焚风次数明显多于背景法,18:00 至次日 06:00 常规法焚风次数明显少于背景法;继续调整焚风强度判定阈值发现,阈值越低,则两种统计结果的这种日分布差异越明显。

表 1 2009—2018 年基于背景法和常规法统计的石家庄有差异的焚风个例

时间	小时变温 差值/℃	小时实况 温差/℃	背景法 焚风	常规法 焚风
2009-09-09 01:00	3.1	2.9	✓	×
2009-10-13 06:00	3.0	2.8	✓	×
2010-03-27 03:00	3.3	2.9	✓	×
2012-10-21 21:00	3.4	2.3	✓	×
2013-12-20 07:00	3.0	2.8	✓	×
2015-07-13 04:00	3.2	2.9	✓	×
2015-10-16 03:00	3.1	2.9	✓	×
2016-03-05 02:00	3.1	2.8	✓	×
2009-10-18 10:00	2.6	4.5	×	✓
2010-05-05 07:00	2.2	3.4	×	✓
2010-09-10 08:00	1.5	3.2	×	✓
2012-10-05 09:00	1.2	3.2	×	✓
2013-09-13 08:00	1.3	3.0	×	✓
2014-11-30 10:00	1.6	3.2	×	✓
2015-01-16 12:00	2.1	3.2	×	✓
2015-03-28 08:00	1.9	3.0	×	✓
2015-10-26 11:00	2.7	4.1	×	✓
2016-02-24 10:00	1.4	3.0	×	✓
2016-10-30 10:00	2.5	4.4	×	✓
2017-11-13 10:00	1.7	3.3	×	✓
2018-05-26 11:00	2.4	3.5	×	✓

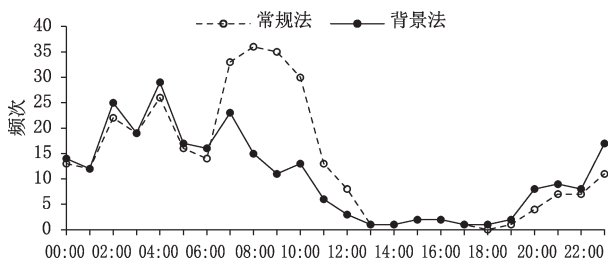


图 4 2009—2018 年石家庄背景法与常规法所得焚风日变化对比(焚风强度 ≥ 2 °C)

太行山中段为南北走向,根据天气学理论,夜间太行山东麓的下山风为偏西风,与焚风风向一致,因此石家庄夜间焚风次数较多;日出后,受热力环流影响,下山风明显减弱,焚风次数将减少。由此可见,基于背景法统计得到的石家庄焚风特征更加符合当地焚风特点。

3.2 焚风统计的命中率

基于不同判定标准得到的焚风过程究竟是否符合焚风定义呢?查阅相关研究文献发现,各文献均没有对焚风统计结果的准确性,即命中率问题进行分析。对于前文统计得到的石家庄地区 115 d 焚风过程,利用 Micaps 历史资料进行天气学反查,发现这 115 d 过程中气温升高、湿度下降的现象均是由于过山气流导致的,都符合焚风定义,命中率 100%。那么背景法是否适用于太行山中段的下游地区焚风特征分析呢,其命中率又如何?

因为王宗敏通过数值模拟发现,太行山东麓焚风升温区总是向东移动影响河北平原,且这种影响体现在移动的加热区,所以选择饶阳和沧州(均位于石家庄正东方向,与石家庄直线距离分别为 116 km、201 km),基于背景法对两地焚风进行统计分析。统计数据表明,2009—2018 年饶阳焚风过程为 42 d、沧州为 50 d。根据偏西风的风向、风速及持续时间,再利用 Micaps 历史数据对这 92 d 过程进行反查气温升高的天气学原因,发现饶阳焚风的命中率为 69%、沧州为 18%,可见离太行山脉越远的区域,焚风统计命中率越低。

通过对命中错误的伪焚风过程进行天气学分析,发现主要有 3 种情况:①该站升温时刻前 1~2 h,因风向转变、降雨、夜间晴空辐射等天气学原因导致气温明显下降,随后降温原因突然消失且转为西风影响,气温迅速回升,从而导致误命中发生,此情况出现比率最大,为 47%,多出现在夜间。②因西南

风的突然增强,或受干热风的影响^[19-20],导致气温上升、湿度下降,但西南风的增强原因与山脉关系不大,此情况出现比率为 37%,也多发生在夜间。③前期因云区覆盖、大雾等原因,导致气温持续偏低,待该原因排除后,因平流增温和非绝热加热共同影响,导致气温快速上升,此情况出现比率 16%,多出现在中午前后。

4 结论与讨论

(1)利用背景法确定焚风过程,可以有效排除大尺度天气系统和辐射对气温变化造成的影响,各项焚风判据的综合应用,可以确保焚风过程统计的精准性。

(2)石家庄晴天背景下各月小时背景变温均为单峰型,最强正变温一般出现在上午 08:00—10:00,最强负变温一般出现在 18:00—20:00,后半夜到日出前负变温幅度起伏较小。

(3)基于背景法统计,石家庄年平均焚风日数为 11.5 d;焚风多发生于冬季、春季、秋季,夏季发生日数较少;焚风发生最多月份为 12 月,其次为 4 月。

(4)焚风的日变化非常明显,在后半夜和上午存在 2 个发生高峰时段。大尺度天气系统和太阳辐射导致的气温变化,对焚风的日变化影响很大,特别是对上午时段的影响最为明显。

(5)石家庄地区基于背景法的焚风统计命中率达 100%,但在其下游地区,随着与太行山距离增大,焚风统计命中率明显下降。

需要指出的是,本文在进行晴天判定时,虽然使用了多项判定规则,但仍有部分多云、阴天、视程障碍等天气未能剔除,这对背景变温数据造成了一定影响;另外计算出的小时变温差值,除了包括焚风增温外,可能还含有扰动增温、城市热岛等复杂的增温机制。虽然还存在以上不确定因素,但一方面这些因素对最终统计结果影响有限,另一方面剔除这些因素存在很大困难,因此还有待于以后做进一步研究。

参考文献

- [1] Sprenger M, Schemm S, Oechslin R, et al. Nowcasting foehn wind events using the AdaBoost machine learning algorithm [J]. *Weather and Forecasting*, 2017, 32(3): 1079-1099. DOI: 10.1175/waf-d-16-0208.1.
- [2] Wang Y, Yang K, Zhou X, et al. The formation of a dry-belt

- in the north side of central Himalaya Mountains [J]. *Geophysical Research Letters*, 2019, 46(5): 2993-3000. DOI:10.1029/2018GL081061.
- [3] 胡萍. 大兴安岭焚风的统计分析[D]. 吉林: 东北师范大学, 2006.
- [4] 赵克明. 焚风对乌鲁木齐冬季大气污染的影响探析[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [5] 张杰, 李栋梁. 祁连山及黑河流域降雨量的分布特征分析[J]. *高原气象*, 2004, 23(1): 81-88.
- [6] 赵世林, 王荣科, 郭彦波, 等. 太行山中段的焚风[J]. *气象*, 1993, 9(2): 3-6+29.
- [7] 王宗敏, 丁一汇, 张迎新, 等. 太行山东麓焚风天气的统计特征和机理分析 I: 统计特征[J]. *高原气象*, 2012, 31(2): 547-554.
- [8] 王宗敏, 丁一汇, 张迎新, 等. 太行山东麓焚风天气的统计特征和机理分析 II: 背风波对焚风产生和传播影响的个例分析[J]. *高原气象*, 2012, 31(2): 555-561.
- [9] 连志鸾, 王丽荣. 2002年夏季石家庄两类历史极端高温成因分析[J]. *气象科技*, 2003, 31(5): 284-288.
- [10] 李国翠, 连志鸾, 赵彦厂, 等. 石家庄温度预报检验及影响因素分析[J]. *气象与环境学报*, 2009, 25(1): 15-18.
- [11] 阎访, 车少静, 岳艳霞, 等. 石家庄地区夏季高温日数变化特征分析[J]. *中国农业气象*, 2010, 31(3): 472-478.
- [12] 孙云, 王丽荣, 匡顺四, 等. 石家庄春季一次气温预报失误原因探讨[J]. *气象与环境科学*, 2012, 35(S1): 19-23.
- [13] 杨晓亮, 杨敏, 李江波, 等. 一次太行山焚风对霾强度的影响分析[J]. *气象*, 2018, 44(2): 313-319.
- [14] 席宝珠. 大兴安岭焚风对东北西部地区温度的影响[D]. 吉林: 东北师范大学, 2006.
- [15] 于凤硕, 廉丽姝, 初翠翠. 山东省极端气温事件的时空变化特征[J]. *气象科技*, 2017, 45(5): 843-850.
- [16] 张金平, 李香颜. 豫北地区气温、降水变化的时空分布特征[J]. *气象科技*, 2016, 44(6): 985-990.
- [17] 于凤硕, 廉丽姝, 李宝富, 等. 城市化对山东省极端气温事件的影响[J]. *气象科技*, 2019, 47(1): 129-139.
- [18] 河北省天气预报手册编写组. 河北省天气预报手册[M]. 北京: 气象出版社, 2017: 12-15, 190-201.
- [19] 孟祥翼. 基于特定因子的河南省干热风客观预报方法[J]. *气象科技*, 2017, 45(6): 1049-1057.
- [20] 史印山, 尤凤春, 魏瑞江, 等. 河北省干热风对小麦千粒重影响分析[J]. *气象科技*, 2007, 35(5): 699-702.

Analysis of Foehn Characteristics in Middle Section of Taihang Mountains Based on Background Method

XIONG Xianping WANG Shuyun ZHANG Wei

(Cangzhou Meteorological Service, Hebei, Cangzhou 061001)

Abstract: Based on the hourly monitoring data of meteorological elements in Shijiazhuang from 2009 to 2018, a new statistical method of foehns (background method) is designed. The characteristics of foehns in the middle Taihang Mountains are analyzed. The differences between the background method and the conventional foehn statistical method and its hit ratio are discussed. The results show that the background method effectively exclude the influence of large-scale weather systems and radiation on the statistical results of foehns. It can ensure the accuracy of foehn process statistics. Compared with the conventional foehn statistical methods, the daily distribution characteristics of foehns are obviously improved and the number of foehn decreased significantly in the morning and increased significantly at night. The conclusion based on background method is more consistent with the characteristics of local foehns in Shijiazhuang. The statistical hit rate of foehns based on the background method is 100% in Shijiazhuang, but in the downstream area, the statistical hit rate of foehns decreased obviously with the increase of distance from the Taihang Mountains.

Keywords: foehn; statistical method; background method; middle Taihang Mountains