

付晓明,刘昊野,李彤彤,等.北京2022年冬季奥运会冬季两项赛场山谷风现象初探[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(5):24-29.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2021.05.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



# 北京2022年冬季奥运会冬季两项赛场 山谷风现象初探

付晓明<sup>1</sup>,刘昊野<sup>2</sup>,李彤彤<sup>3</sup>,花家嘉<sup>4\*</sup>,李江波<sup>5</sup>

(1.唐山市气象局/河北省气象与生态环境重点实验室,河北 唐山 063000;2.秦皇岛市气象局,河北 秦皇岛 066000;  
3.邯郸市气象局,河北 邯郸 056004;4.雄安新区气象局,河北 雄安新区 071700;5.河北省气象局,河北 石家庄 050000)

**摘要:**基于2019年1—3月张家口站探空资料与张家口市崇礼区B1638、B1640区域自动站的每小时2分钟平均风向、2分钟平均风速、整点气温及系留气艇探空资料分析第24届冬奥会冬季两项赛场的山谷风特征,为冬奥会天气预报提供参考。结果表明:环境风场较弱时,冬季两项赛场中存在山谷风现象,白天多上坡风及上谷风,夜间多下坡风及下谷风;山谷风系统一天具有两次风向的转变,下谷风转上谷风一般在日出后,而上谷风转下谷风一般在日落后;山谷风系统强度较弱,具有明显日变化,白天偏大而夜间偏小,并且受盛行西风影响明显;风向转变时,会伴随剧烈的气温升降,其原因与冷湖结构密切相关;对山谷风的预报需要综合考虑环境风场强弱、风向的转换时间、风速的分布、风向转换时气温的变化等。

**关键词:**冬奥会;山谷风;气温;冷湖;预报

**中图分类号:**P425.41

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-0799(2021)05-0024-06

随着北京2022年冬季奥运会的成功申办,近年来我国的冰雪运动发展迅速。国际性的冰雪运动比赛特别是冬奥会对气象条件的要求较为苛刻,在历届冬奥会的比赛中,经常有因恶劣天气造成比赛推迟甚至取消的情况发生,并且气象条件的改变也会影响运动员的安全以及比赛成绩。由于室外雪上比赛项目大多在山区举办,山区内的气象条件对比赛有着显著的影响。以冬季两项比赛为例,由于运动员需要在剧烈运动后进行卧姿步枪射击,除了对参赛者的身体素质要求外,靶场内的气象条件特别是风向风速条件对射击运动也有显著影响,因此研究赛场内的风向风速分布规律并做出准确预报,对比赛

的时间安排以及运动员的临场发挥十分重要。

山区内受地形影响最容易形成的局地天气系统之一便是山谷风。通过分析冬季两项赛场内山谷风的强度、风向分布和变化等特征,可以为赛场内风的预报提供参考,使比赛能够在最佳的时段内进行。山谷风的形成与太阳辐射与下垫面状况关系密切<sup>[1]</sup>。下垫面高度不同导致太阳辐射分布不均,地势较高处白天为热源,夜间为冷源,水平温差导致气压差,形成山谷风。山谷风的概念最早由国外学者提出,1978年以后国外开始出现大量观测与理论结合的研究,国内以傅抱璞为代表的学者通过观测分析和计算模型系统地讨论了山谷风的三维结构、演变及影响因子<sup>[2]</sup>。近年来,随着研究的深入,对山谷风的认知也在不断完善:当大尺度大气环流较弱时,山谷风较为明显<sup>[3]</sup>;山谷风存在转换期,期间风速全天最小<sup>[4]</sup>;山谷风具有一定的厚度<sup>[5]</sup>;山区地形云的发展变化与山谷风关系密切<sup>[6-7]</sup>;在较大尺度的平原地区,也会因两侧山脉的山谷风效应形成风速分布的显著

收稿日期:2020-04-23;修回日期:2021-08-02

基金项目:唐山市科技计划项目(19150261E)

作者简介:付晓明(1986—),男,工程师,主要从事天气预报及服务工  
作。E-mail: ydhrqy@163.com

通信作者:花家嘉(1986—),男,高级工程师,主要从事气象和环境气象研究。E-mail: ustchuajia@163.com

差异<sup>[9]</sup>;山谷风与局地雾、霾、气溶胶污染物、蒸发量、极端大风天气、气温等气象因子具有密切的关系<sup>[9-14]</sup>;随着冬奥会的临近,北京至张家口一带冬季山谷风时空分布特征的研究也取得了显著进展<sup>[15]</sup>。

## 1 研究区域与数据

张家口市崇礼区承担 2022 年北京冬奥会大部分室外雪上项目的比赛。崇礼区位于华北北部山区,为我国地形的第二阶梯,海拔高度为 813~2 174 m,最大高差为 1 361 m,地形复杂,境内 80%为山地,山丘、沟壑连绵不断,地形对局地气象条件的影响特别是风的影响相当明显。

冬季两项赛场位于崇礼区古杨树村东西向的山谷中,东高西低,南北侧各有小型山脉。为满足冬奥气象需求,冬季两项赛场共建了 5 个气象观测站。选取南侧山坡与谷口处两个自动站作为研究对象,其中山谷谷口处自动站为 B1638 冬季两项 1 号站(以下简称 1 号站),山谷南侧山坡上自动站为 B1640 冬季两项 3 号站(以下简称 3 号站)(图 1)。1 号站海拔约为 1 680 m,与山谷内部有 100 m 左右高程差;3 号站所在山坡最高与最低点有 100 m 左右高程差。选取两个自动站 2019 年 1—3 月每小时 2 分钟平均风向、2 分钟平均风速、整点气温、张家口站探空资料以及系留气艇探空资料来分析山谷风现象,并采用窦以文等<sup>[16]</sup>总结的方法对自动站数据进行了质量控制,包括原始数据的检查、极值的检查、时间序列的检查、一致性检查等。

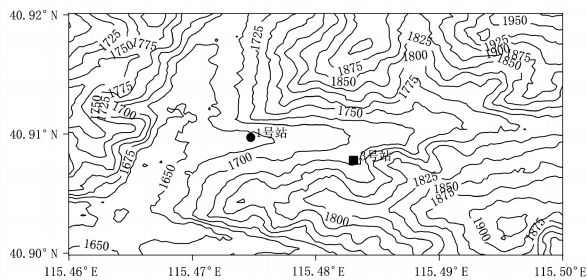


图 1 冬季两项赛场等高线图与站点分布  
(等高线单位:m)

## 2 研究方法

### 2.1 山谷风理论模型

气象学家 Whiteman<sup>[17]</sup>对山谷风有着较为全面、系统性的总结,他提出,广义的山谷风理论模型包含山地—平原风、上下谷风与上下坡风。从形成的前后顺序与因果关系上来说,最小尺度的上下坡风首先出现,引发较大尺度的上下谷风,最终形成最大尺度

的山地—平原风。山地—平原风是整个山区大地形与平原之间空气交换所形成的风,而冬季两项赛场山谷作为崇礼山区大地形的一小部分,其尺度较小,且远离平原地区,在短时间内其空气与平原地区并没有直接的交换,故本文只分析上下坡风与上下谷风系统。Appalachian Mountain 山谷风模型见文献[18]。

### 2.2 小风天的选取

依据 Nicholls 的研究结果<sup>[19]</sup>,为排除盛行西风的影响,需要剔除超过 14 m/s 的风(高海拔地区)。文中选取张家口站 1 d 2 次(08 时和 20 时)(北京时,下同)探空所测得的 700 hPa 风速<14 m/s 的日期作为小风日,共有 29 d。

### 2.3 山谷风日的选取

即使在小风日,测站所测得的风并不能简单地认为是山谷风,实测风为系统风与局地风的叠加,必须将局地风从实测风中分离出来,才可近似认为是理论上的山谷风。

采用贾春晖等人所总结的分离公式<sup>[15]</sup>,即设某一个站点第  $i$  天第  $j$  个时刻(共有 24 个时刻)实测风分量分别为  $U_{ij}$ 、 $V_{ij}$ ,则

$$U_i = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} U_{ij}, \quad (1)$$

$$U'_{ij} = U_{ij} - \bar{U}_i, \quad (2)$$

$$\bar{V}_i = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} V_{ij}, \quad (3)$$

$$V'_{ij} = V_{ij} - \bar{V}_i, \quad (4)$$

$$\bar{S}_i = \sqrt{U_i^2 + V_i^2}. \quad (5)$$

式(1)~(5)中, $U'_{ij}$ 、 $V'_{ij}$ 分别为东西向和南北向的局地风分量,为第  $i$  天的系统风。

张人文认为,如果上谷风和下谷风在山谷风发生的理论时段内持续出现 4 个及以上时次,则可认为该日为山谷风日<sup>[20]</sup>。对冬季两项赛场山谷而言,以 1 号站为基准点,若白天有持续 4 h 或以上偏西局地风,且夜间有持续 4 h 或以上偏东局地风,可认为是山谷风日。经分离后,小风日内共有 25 个山谷风日(占 86.2%)。由于对山谷风日的选取以上下谷风为标准,并且在山坡上发生发展的上下坡风对在山谷中举行的比赛没有直接的影响,因而本文研究侧重于上下谷风,对上下坡风仅作简要分析。

## 3 统计结果分析

### 3.1 上下坡风统计

3 号站位于南侧山坡,地势北低南高,按照上下

坡风的模型,在环境风场较弱情况下,白天应为上坡风即北风,夜间应为下坡风即南风。从3号站山谷风日内的局地风每小时风向频率分布图可见(图2),白天多为偏北风(NNE),夜间多为偏南风(SSW),与理论模型一致,表明3号站存在明显的上下坡风现象,并且由于在理论模型中上下坡风是上下谷风出现的前提条件,因而也表明了冬季两项赛场中应同时存在上下谷风现象。

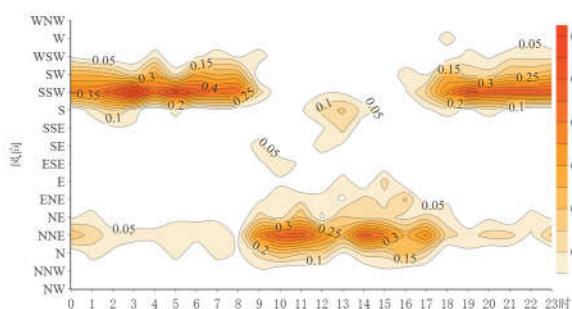


图2 3号站山谷风日局地风每小时风向频率分布

### 3.2 上下谷风统计

1号站位于山谷谷口。按照上下谷风的模型,在环境风场较弱的情况下,白天应为上谷风即西风,夜间应为下谷风即东风。从1号站山谷风日内的局地风每小时风向频率分布图可见(图3),白天多为偏西风(W),夜间多为偏东风(ESE),与理论模型一致,表明1号站存在明显的上下谷风现象。

### 3.3 上下谷风的转换时间

傅抱璞<sup>[21]</sup>在对长江三峡河谷内的山谷风进行研究时发现,河谷内的上谷风一般开始于日出后1.5~3 h,下谷风一般开始于日落前0.5~2 h。冬季两项赛场山谷内的典型山谷风系统与此规律有所不同:一天有两次风向的转变,上谷风一般开始于日出后,而下谷风一般开始于日落后。吕新生等<sup>[22]</sup>对乌鲁木齐辖区内山谷风的研究表明:下谷风22:00—23:00开始出现,08:00—11:00结束,持续时间长达10~13 h;上谷风11:00—14:00开始出现,19:00—21:00结

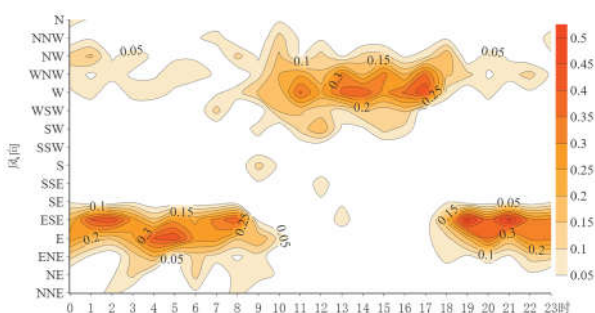


图3 1号站山谷风日局地风每小时风向频率分布

束,持续时间长达6~9 h。从山谷风日1号站实测风与局地风风向转变具体时间的频次分布可见(图4),对局地风来说,上谷风大多开始于10:00,其次是9:00(日出后),持续时间8 h左右;下谷风大多开始于18:00,其次是19:00(日落后),持续时间14 h左右。而对实测风来说,上谷风大多开始于9:00,其次是10:00,比局地风要早;下谷风大多开始于18:00,其次是19:00,与局地风基本一致。对风向转换时间的分析表明系统西风对上谷风的开始时间影响较明显,而对下谷风的开始时间影响较弱。

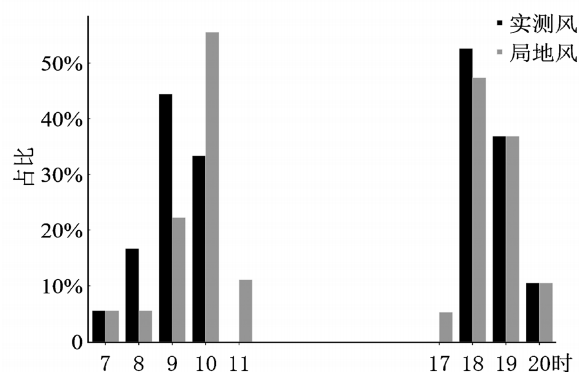


图4 1号站局地风、实测风风向转换时间百分比分布

### 3.4 山谷风的强度

山谷风系统属于热力驱动的小尺度系统,其强度较弱。张人文等<sup>[20]</sup>在对广州市从化秋季山谷风现象研究中发现:从化山谷风主要出现在系统风速小于1.5 m/s,系统风与山谷风方向相反时,山谷风下部风速会很小。统计1号站山谷风日的山谷风、实测风强度可见(图5),局地风每小时平均风速白天较大,变化剧烈,14时左右到达峰值;而夜间风速较小且平稳,在09、18时出现2个低值,这与风向的转换时间保持一致。与实测风平均风速对比可见,白天实测风风速明显较局地风偏大,而夜间则接近或略偏小,反映了系统西风对山谷风的影响:若风向一致,则有增幅;若相反,则略有削弱。

局地风有明显日变化,其与温度的日变化密切相关。边界层内空气运动方程为:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K(z, t) \frac{\partial u}{\partial z} + fv, \quad (6)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K(z, t) \frac{\partial v}{\partial z} + f(u_g - u). \quad (7)$$

式中, $u$ 、 $v$ 为风速在 $x$ 、 $y$ 方向的分量, $K$ 为湍流交换系数, $z$ 为高度, $t$ 为时间, $u_g$ 为地转风 $u$ 分量, $f$ 为地

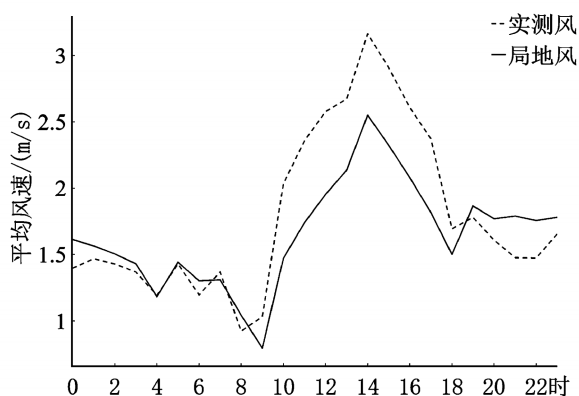


图5 1号站局地风、实测风每小时平均风速对比

转参数。在 $z, f$ 固定的情况下,风速的日变化机制主要是由湍流交换系数 $K$ 的日变化引起的,而 $K$ 的日变化主要受温度场的日变化影响,具有明显的日变化特征,因此风速具有明显的日变化规律<sup>[23]</sup>。

贾春晖等<sup>[15]</sup>对延庆—张家口地区复杂地形冬季山谷风特征进行分析时,将持续性山谷风分为10种类型,其中小峡谷型山谷风日变化特征为呈单峰分布,夜间小,白天大,下午值最大,冬季两项赛场山谷风便属于小峡谷型,其特征与已有结论较为一致。

### 3.5 山谷风与气温

#### 3.5.1 气温变化

在风向转变时,往往会伴随着剧烈的温度变化。林之光等<sup>[4]</sup>在对天山天池山谷风进行研究时发现,从下谷风转上谷风时,气温突升,而上谷风转下谷风时,气温突降。这种气温随上下谷风的转换而出现的突变现象在冬季两项赛场同样存在。从2019年1月23日1号站风向与小时变温分布可见(图6),在09—10时偏东风转为偏西风(下谷风转为上谷风)时,1 h内有接近6℃的升温,而当17—18时偏西风转为偏东风(上谷风转为下谷风)时,1 h内有超

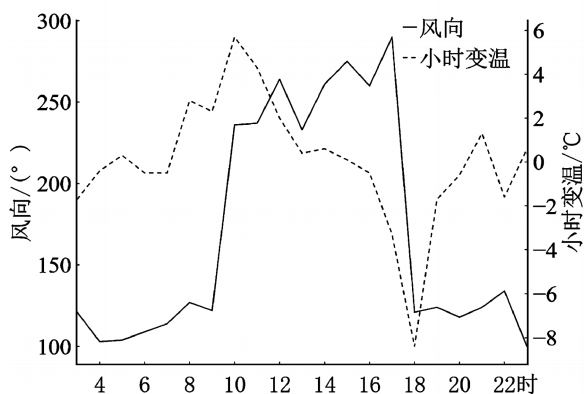


图6 2019年1月23日1号站每小时风向与变温

过8℃的降温;在风向稳定期间,气温的变化幅度也较小。

对山谷风日内风向转换时刻的小时变温进行统计可见(图7,样本数22 d),在上下谷风风向发生转换时,气温的突然升降是普遍现象。升温时最大8.8℃,最小2.3℃,中值5.5℃;降温时最大8.4℃,最小1.6℃,中值5.3℃。升温的总体幅度较降温稍大,且分布更集中。

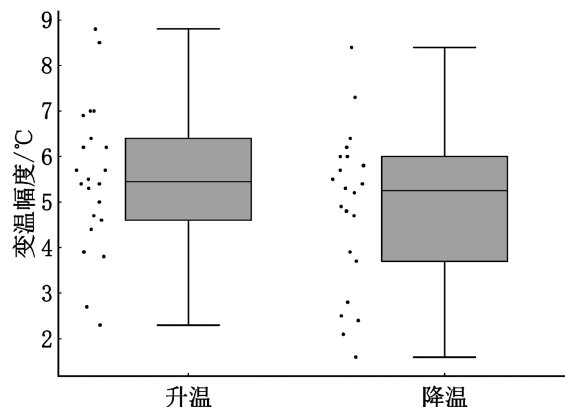


图7 1号站山谷风日风向转换时刻小时变温分布

#### 3.5.2 冷湖观测

国内外许多学者针对气温随风向变化而发生骤变的现象已做过很多观测与研究,并提出冷湖理论<sup>[24-25]</sup>,利用冷湖理论可以解释冬季两项赛场气温随风向变化的原因:在环境风场较弱的条件下,当下坡风及下谷风发展时,冷空气会不断向谷底堆积,形成贴近地面的冷空气层,称为“冷湖”,山谷地面以上从低到高会出现逆温。当冷湖初步建立时,由于冷空气快速取代山谷中原来的暖空气,因而会出现气温的骤降;当上坡风及上谷风建立时,冷湖结构很快被打破,冷空气迅速被山谷外暖空气以及山谷上方补偿下沉的暖空气所取代,因此会出现气温的骤升。

利用系留气艇搭载温度传感器探测2020年1月16日山谷内垂直气温的分布可见(表1),夜间山谷内逆温现象十分明显,逆温层顶高度在300~400 m,并且随着时间的推移,近地面不断降温,逆温层顶附近不断升温,导致温差继续扩大;日出之后,随着太阳辐射的加入,近地面气温的升高,逆温迅速减弱直至消失。山谷内明显的逆温现象及其随时间的演变在某种程度上证明了“冷湖”的存在:一方面解释了山谷风的热力学成因,即地表长波辐射形成冷空气(下坡风)的堆积导致了外流的下谷风;另一方面也说明了温度的骤变与逆温的破坏即“冷湖”结构的打

破有着直接的关系。

表1 2020年1月16日山谷内气温垂直分布/℃

| 高度/m | 02—03时 | 06—07时 | 11—12时 |
|------|--------|--------|--------|
| 0    | -18.6  | -19.8  | -3.0   |
| 100  | -14.7  | -15.2  | -5.4   |
| 200  | -12.2  | -11.0  | -6.0   |
| 300  | -10.0  | -9.3   | -5.7   |
| 400  | -10.1  | -9.2   | -7.5   |

## 4 预报思考

### 4.1 风向的预报

山谷风系统中,上下坡风沿山坡发展,上坡风风向为坡下指向坡上,下坡风风向为坡上指向坡下;上下谷风沿山谷方向发展,上谷风风向为谷外指向谷内,下谷风方向为谷内指向谷外。具体到冬季两项赛场山谷中,上坡风为偏北风,下坡风为偏南风,上谷风为偏西风,下谷风为偏东风,风向的转换时间大多发生在9:00—10:00以及18:00—19:00。

### 4.2 风速的预报

山谷风系统强度较弱,但也有明显的日变化,白天风速偏大(2~3 m/s),夜间风速偏小(1~2 m/s),且风向转换时风速有明显减弱。

### 4.3 气温的预报

由于地面气温骤变与风向突变有十分紧密的关系,因而在预报风向转变时必须考虑对气温造成的影响。在日出后上谷风发展时,需适当增加升温的幅度,在日落后下谷风发展时,需适当增加降温的幅度,升降温的幅度考虑在5℃左右。

### 4.4 赛事的安排

根据风向风速的分布规律,在比赛时,可建议赛事组织方将冬季两项比赛时间避开风速峰值、风向突变时间段,以避免对运动员射击产生不利影响。

## 5 结论与讨论

利用自动站资料等分析了2022年冬奥会冬季两项赛场中山谷风的一般特征及预报思路,结论表明:

(1) 冬季张家口崇礼地区山地中存在山谷风现象,对于冬季两项赛场来说,白天多上坡风及上谷风,夜间多下坡风及下谷风。

(2) 冬季两项赛场内的山谷风系统一天具有两次风向的转变,下谷风转上谷风一般在日出后,而上谷风转下谷风一般在日落后。

(3) 山谷风系统属于热力驱动的小尺度系统,其

强度较弱,具有明显的日变化,平均风速白天大于夜间,并且上谷风(偏西风)受西风带影响,实测风有明显增幅,而下谷风(偏东风)与系统风相反,实测风较弱。

(4) 风向转变时,会伴随剧烈的气温升降,从下谷风转上谷风时,气温突升,而上谷风转下谷风时,气温突降,且气温的升降与“冷湖”的消失和形成有显著的对应关系。

(5) 在实际预报业务当中,对于山谷风的预报需要综合考虑环境风场强弱、风向的转换时间、风速的时间分布、风向转换时气温的变化等,并且依据预报结果对赛事安排提出合理建议。

本文分析了弱环境风场条件下的山谷风特征,然而实际的大气环流复杂多变,特别是张家口地区临近蒙古高原,位于冷空气侵袭的主要路径之上,不同强度冷空气下山谷风的表现如何需要进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 李净,罗晶.晴空下山区太阳辐射模拟[J].干旱区地理,2015,38(1):120-127.
- [2] 田越,苗峻峰.中国地区山谷风研究进展[J].气象科技,2019,47(1):41-51.
- [3] 刘蓉娜,张国庆,肖宏斌,等.湟水河谷夏季云和降水的日变化特征[J].干旱区研究,2010,27(1):135-141.
- [4] 林之光,李映江.天山天池山谷风的气候研究[J].地理研究,1985,4(1):63-70.
- [5] 鞠丽霞,王勤耕,张美根,等.济南市城市热岛和山谷风环流的模拟研究[J].气候与环境研究,2003,8(4):467-474.
- [6] 郑国光,陈跃,陈添宇,等.祁连山夏季地形云综合探测试验[J].地球科学进展,2011,26(10):1057-1070.
- [7] 刘蓓.祁连山南麓夏季地形云特征及山谷风影响分析[J].气象科技,2016,44(1):67-75.
- [8] 曹永强,郭明,刘思然,等.近55a辽宁省风速时空变化特征分析[J].干旱区地理,2018,41(1):1-8.
- [9] 黄建平,李子华,黄玉仁,等.西双版纳地区雾的数值模拟研究[J].大气科学,2000,24(6):821-834.
- [10] 陈玉蓉,宋美洋,侯劭禹,等.高原和盆地间山谷风对四川霾日变化的影响分析[J].成都信息工程大学学报,2019,34(4):443-448.
- [11] 王颖,梁依玲,王丽霞.气象条件对污染物浓度分布影响的研究[J].沙漠与绿洲气象,2015,9(2):69-74.
- [12] 刘蓓.青海不同地形下蒸发皿蒸发量变化及其影响因素分析[J].干旱区研究,2014,31(3):481-488.
- [13] 张煜婷,王霄,雷建,等.白鹤滩水电站冬春季两次极端强风天气的对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(4):39-47.
- [14] 李岩瑛,张爱萍,谢万银,等.从预报角度探讨乌鞘岭山

- 区大气温差成因[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(1):58–66.
- [15] 贾春晖,窦晶晶,苗世光,等.延庆—张家口地区复杂地形冬季山谷风特征分析[J].气象学报,2019,77(3):475–488.
- [16] 窦以文,屈玉贵,陶士伟,等.北京自动气象站实时数据质量控制应用[J].气象,2008,34(8):77–81.
- [17] Whiteman C D. Mountain Meteorology [M]. New York: Oxford University Press, 2000.
- [18] Whiteman C D. The PBL in Regions of Complex Terrain [EB/OL], (2007 –03 –22) [2020 –04 –23]. [https://www.meted.ucar.edu/training\\_module.php?id=258#X47voEczZPY](https://www.meted.ucar.edu/training_module.php?id=258#X47voEczZPY).
- [19] Nicholls J M. The Airflow over mountains: research 1958–1972 [R]. WMO Tech. Note 127, Geneva: World Meteorological Organization, 1973: 72.
- [20] 张人文,范绍佳,李颖敏. 2008 年秋季从化山谷风观测研究[J].热带气象学报,2012,28(1):134–139.
- [21] 傅抱璞.山谷风[J].气象科学,1980,1(1–2):1–14.
- [22] 吕新生,王旭,蔡仁,等.乌鲁木齐辖区山谷风环流特征的分析[J].干旱区地理,2016,39(6):1172–1180.
- [23] 徐永清,张弛,王庆祥,等.城市近地层风特征与污染系数分析[J].气象与环境科学,2014,37(3):55–59.
- [24] Yoshino M M. Small-scale climate : thermal belt and cold air drainage on the mountain slope and cold air lake in the basin at quiet, clear night [J]. Geo Journal, 1984, 8(3):235–250.
- [25] 陈明,傅抱璞.盆地环流型及冷湖的形成和消散的数值研究[J].气象科学,1995,15(2):28–37.

## Analysis of Mountain–Valley Breeze on Biathlon Venue of 2022 Beijing Winter Olympics

FU Xiaoming<sup>1</sup>, LIU Haoye<sup>2</sup>, LI Tongtong<sup>3</sup>, HUA Jiajia<sup>1</sup>, LI Jiangbo<sup>4</sup>

(1. Tangshan Meteorological Bureau / Key Laboratory of Meteorology and Ecological Environment, Tangshan 063000, China;

2. Qinhuangdao Meteorological Bureau, Qinhuangdao 066000, China;

3. Handan Meteorological Bureau, Handan 056004, China;

4. Xiong'an New Area Meteorological Service, Xiong'an 071700, China;

5. Hebei Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050000, China)

**Abstract** Based on the radiosonde data at Zhangjiakou station and hourly 2–minute mean wind direction, 2–minute mean wind speed, hourly temperature and sounding data of the moorings airboat at B1638 and B1640 regional automatic station in Chongli district from January to March 2019, the valley wind characteristics of the 24th Winter Olympic Biathlon were analyzed, which could provide reference for the weather forecast of the Winter Olympic Games. The research results show that the environmental wind field is weak, more uphill wind and upper valley wind in the day, and more downhill wind and lower valley wind in the night, the wind direction changes twice in a day. The downward valley wind usually turns to upward valley wind after sunrise, and the upward valley wind usually turns to downward valley wind after sunset. The intensity of the Mountain–Valley Breeze system is weak and has obvious diurnal variation, larger during the day and smaller at night, and it is obviously influenced by the prevailing westerly wind. The variation of the wind direction is accompanied with drastic increase or decrease of the air temperature, which is closely related to “Cold Air Lake” structure. The prediction of valley wind requires comprehensive consideration of the intensity of the environmental wind field, time of wind direction conversion, distribution of wind speed and change of temperature during wind direction conversion.

**Key words** Winter Olympics; mountain–valley breeze; temperature; Cold Air Lake; forecast