

潘新民, 祝学范, 黄智强, 等. 新疆百里风区地形与大风的关系[J]. 气象, 2012, 38(2): 234-237.

新疆百里风区地形与大风的关系^{*}

潘新民¹ 祝学范² 黄智强¹ 李晓川² 陈冬梅¹

1 新疆气象服务中心, 乌鲁木齐 830002

2 新疆巴州气象局, 库尔勒 841000

提 要: 大风是影响新疆交通运输安全生产的主要气象灾害之一, 其中最典型的是百里风区, 代表站为十三间房, 由于特殊的地形地貌, 该区域风力强劲, 大风频繁。根据山口的狭管效应和冷空气越山后流洩风的理论, 利用近 2 年的实测风资料, 对百里风区有强风出现的情况进行了估算和实例的验算, 结果表明在冷空气入侵的过程中, 上游木垒站与十三间房站风速存在着很好的延时 9~10 小时正相关。

关键词: 百里风区, 地形, 狭管效应, 流洩风, 延时相关

The Relation Between the Strong Wind Region Along One Hundred Kilometer of Railway and the Topography in Xinjiang

PAN Xinmin¹ ZHU Xuefan² HUANG Zhiqiang¹ LI Xiaochuan² CHEN Dongmei¹

1 Xinjiang Meteorological Service Centre, Urumqi 830002

2 Meteorological Office of Bayingolin Mongolia Autonomous Prefecture, Korla 841000

Abstract: Strong wind is one of the main meteorological disasters affecting the safety in transport and production in Xinjiang, especially in the Bailifengqu area (i. e. the strong wind regions along one hundred kilometer of railway). Because of special type of topography and geomorphy, Shisanjianfang Railway Station is a representative station where the wind is so strong and frequent. According to the narrow pipe effect of mountain pass and the theory of drainage winds after the cold air crosses the mountain, using the actual data measured in recent 2 years, the situations of strong wind appearance were estimated and validated in Bailifengqu area. The results show that in upstream the process of cold air invasion, there is a just 9–10 h delay correlation in wind velocity between upstream Mulei Station and downstream Shisanjianfang Station.

Key words: strong wind region along one hundred kilometer of railway (Bailifengqu area), topography, narrow pipe effect, drainage winds, lag correlation

引 言

所谓“百里风区”是指兰新铁路在新疆境内从了墩车站到大步车站约 100 km 铁路的沿线范围。在这个区段 ≥ 8 级的大风日数平均每年约 100 天;其中十三间房车站一带平均每年大风日数多达 140 天。每年春、夏季是大风最盛行的时期。近年来实

测最大瞬时风速曾经达 $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。

新疆铁路风灾表现形式主要有大风吹翻列车、积沙埋道、击碎车窗玻璃、铁路行车设施损毁、道床板结、车辆溜逸、钢轨磨损增大、大风停轮等。兰新线(途径百里风区)自开通运营以来,遭遇过多次大风灾害。据统计,新疆境内铁路运输因风害造成列车脱轨、倾覆事故为 32 起,损毁货车 111 节,客车 11 节。因大风造成的列车停轮更是数不胜数,严重

* 铁道部(2008X012-B)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY20090627)项目共同资助
2011 年 3 月 10 日收稿; 2011 年 9 月 2 日收修定稿
第一作者: 潘新民, 主要从事交通气象技术研究和应用. Email: panxinminqx@sina.cn

影响了运输效益,也造成了不良的社会影响。百里风区和天山有着很直接的关系,天山横亘新疆,每当冷空气来的时候,天山山脉会挡住冷空气的去路,但是在天山东部却有一段小的缺口,就是色皮山口,位于东天山山脉的博格达山与巴里坤山脉之间,冷空气可从此缺口处翻越天山,一泻千里。百里风区的天山山脉段,其北坡较平缓,坡度约为 0.009,山口中山脊的最高处海拔高度约为 1700 m,与上游来风方向的准噶尔盆地南沿的高差约为 700 m。这样的坡度和高差极易强冷空气翻越。按照杨国祥等^[1]提出的冷空气翻山的判别式为 $Q < F/N, U > NH$ [其中 Q 为坡度, F 为地转参数, N 为浮力频率或 $(B-V)$ 频率, U 为越山气流的速度, H 为越山的高度]。在北坡 F/N 约为 0.01, NH 约为 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 在这个地方满足判据 $Q < F/N$, 只要有 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的风就不会被山脉阻滞,可以翻越过山。另外,冷空气在翻越山脊时常常会发生水汽凝结,凝结放出的潜热给越山气流提供了能量^[2]。总之,对于这个 700 m 高差的山口,冷空气是容易翻越的。

目前对大风研究较多的主要在雷暴、强对流的大风预报^[3-5],地形与大风的关系和预测多为统计和特征分析^[6-8],以及气旋锋面大风的监测和诊断分析^[9-10],对地形与大风的特殊关系及大风短时精细化预报研究成果较少。

通过对百里风区的特殊地形分析,根据山口的狭管效应和冷空气越山后流洩风的理论,对百里风区强风出现的情况进行了估算和实例的验算,并利用上游指标站(木垒站)与十三间房站(百里风区风速最大测站,原站址名为七角井站)的时间相关性分析结果建立了风速预报方程,随着自动气象观测站观测时效的加密,利用此方法对制作 1 小时以内的风精细化预报提供了一种思路。

1 狭管效应

越山的气流进入山口后,会因地形的狭管效应而加速。百里风区的这个山口,入口处谷宽约 60 km,最窄处谷宽约 45 km,谷长约 36 km。入谷处的海拔约为 1000 m,最窄处海拔高度约为 1500 m,山谷两侧的山地海拔高度约为 2000 m。据文献[8]中运用的估算方法, $U_2 = U_1 S_1/S_2 + A(dT/dt)/(\sigma S_2)$, 其中, U_1 为气流刚进山口的风速, U_2 为气流进入山谷的风速, S_1 为对应 U_1 的横截面面积, S_2 为对应 U_2 的横截面面积, A 为从 S_1

截面到 S_2 截面间水平截面面积, σ 是静力稳定度, dT/dt 是气流运动过程中气流、气温随时间的微商。由于百里风区这个山口的地形有很多特殊的情况,一是这个山口的入口处截面较宽;二是从入口处到最窄处海拔高度一直上升;三是入口处山谷两侧山顶高度比最窄处山顶高度要低,因此在推算 S_1, S_2 时对文献[8]中所给估算方法略作修改,对于此处可得下式:

$$U_2 = 1.86U_1 - 2.2 \quad (1)$$

式中, U_1 是入口处风速, U_2 是最窄处风速。对于这个山谷,从入谷到出谷海拔高度是一直上升的,由于空气被迫抬升而绝热降温,所以第二项为负。由此这里的狭管效应对应关系可列表来表示(见表 1)。由表 1 可知,越山气流由于狭管效应风速得到加大。

表 1 狭管效应风速对应关系
Table 1 The corresponding relationship of wind velocities due to the effect of narrow pipe

$U_1/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$U_2/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
8	12.7
10	16.4
12	20.1
14	23.8
16	27.6
18	31.3
20	35.0

2 下坡地形的流洩风

冷空气越过山口后,沿斜坡地形因重力而加速下滑的风叫流洩风或称重力流。参照文献[8]中运用的估算方法,根据这个地方地形的特点作如下的推导:设冷空气沿迎风坡到最高处气团的气温为 T_{dl} ,最高处的环境气温为 T_{dh} ,迎风坡山脚处的气温为 T_1 ,下坡山脚处的气温为 T_2 ,冷空气翻山后沿山坡下滑距最高处距离 X 处气团的气温为 T_L ,对应此处的环境气温为 T_H ,可有下式:

$$T_{dl} = T_1 - \gamma_d H_1 \quad (2)$$

$$T_{dh} = T_2 - \gamma H_2 \quad (3)$$

$$T_L = T_{dl} + \gamma_d X \sin \alpha \quad (4)$$

$$T_H = T_{dh} + \gamma X \sin \alpha \quad (5)$$

式中, γ_d 为干绝热垂直递减率, γ 为环境气温垂直递减率, H_1 为迎风坡山脚到最高处的垂直高度, H_2 为下坡山脚到最高处的垂直高度, X 轴以最高处定为原点,沿风向向下坡方向, α 为下坡的坡度角。对于前文所说的地形特点, $H_2 > H_1$ 。据文献[8]所

述,由流洩风理论:

$$U \frac{\partial U}{\partial X} = g \frac{(\theta_H - \theta_L)}{\theta} \sin \alpha \quad (6)$$

先将式(1)和(2)代入式(3)和(4)得:

$$T_H - T_L = T_2 - T_1 - (\gamma - \gamma_d)H_1 + (\gamma - \gamma_d)X \sin \alpha - \gamma \Delta H \quad (7)$$

其中 $\Delta H = H_2 - H_1$ 。

$$\text{因 } \frac{(\theta_H - \theta_L)}{\theta} = \frac{T_H - T_L}{T} \quad (8)$$

其中 $\bar{\theta}$ 与 \bar{T} 分别为从山脚到最高处的环境平均位温和气温。将式(7)代入式(8)后再代入式(6)得:

$$U \frac{\partial U}{\partial X} = \frac{g}{T} [\Delta T - (\gamma - \gamma_d) \times (H_1 - x \sin \alpha) - \gamma \Delta H_2] \sin \alpha \quad (9)$$

对式(9)从 $X=0$ 到 $X=L$ 积分,并用 $L \sin \alpha = H_2$ 代

换整理得:

$$U_j^2 = U_d^2 + 2gH_2 \frac{\Delta T}{T} - 2gH_1 H_2 \frac{(\gamma - \gamma_d)}{T} + gH_2^2 \frac{(\gamma - \gamma_d)}{T} - 2gH_2 \Delta H \frac{\gamma}{T} \quad (10)$$

其中, $\Delta T = (T_2 - T_1)$ 。 U_j 是下滑至山脚处的风速, U_d 是越山气流在山口最高处的风速, g 为重力加速度, γ_d 为干绝热垂直递减率, γ 为气温垂直递减率, ΔT 为南北坡山脚处测站气温差, \bar{T} 为山脚处与山口最高处的平均绝对气温。取 $\bar{T} = 280 \text{ K}$, $\gamma = 0.6 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (100 \text{ m})^{-1}$, $\gamma_d = 0.976 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (100 \text{ m})^{-1}$ 。 $H_1 = 600 \text{ m}$, 由于这个山口南坡坡度比北坡大,到十三间房车站高差约 900 m , $H_2 = 900 \text{ m}$ 。根据式(3),给出不同的 ΔT 和 U_d 可对 U_j 进行估算,估算结果见表 2。

表 2 流洩风效应风速 U_j 、温差对应关系(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Table 2 The relationship among wind velocity and temperature difference due to the effect of drainage winds (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

温差/ $^\circ\text{C}$	$U_d/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$											
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
5	18.4	19.5	20.8	22.2	23.7	25.2	26.9	28.5	30.2	32.0	33.7	35.5
6	20.0	21.1	22.3	23.6	25.0	26.5	28.0	29.6	31.2	32.9	34.6	36.4
7	21.5	22.5	23.6	24.9	26.2	27.6	29.1	30.6	32.2	33.9	35.5	37.2
8	22.9	23.9	24.9	26.1	27.4	28.7	30.2	31.7	33.2	34.8	36.4	38.1
9	24.3	25.2	26.2	27.3	28.5	29.8	31.2	32.6	34.1	35.7	37.3	38.9
10	25.5	26.4	27.3	28.4	29.6	30.9	32.2	33.6	35.0	36.6	38.1	39.7
11	26.7	27.6	28.5	29.5	30.6	31.9	33.2	34.5	35.9	37.4	38.9	40.5
12	27.9	28.7	29.6	30.6	31.7	32.8	34.1	35.4	36.8	38.2	39.7	41.3

表 2 中,考虑到是冷空气入侵过程,再加上南北坡山脚处的垂直落差 300 m 的地形, $\Delta T \geq 5^\circ\text{C}$ 。另外,考虑到翻越山口的气流因狭管效应得到加速, $U_d \geq 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。对应表中的数字是气流到达南坡山脚处的风速 U_j 。由表 2 可看出, ΔT 越大,流洩风的风速越大。据文献[2]中所述,在山口南坡因常年风蚀构成的南北向的干沟也垂直对着铁路。这些干沟又会对下滑的气流产生狭管效应,从而使气流再度加速。所以,根据以上的推算出的风速会比实况小些。

3 实例的验算和分析

以 2008 年 10 月 20 日的实况来验证。20 日 10 时山口北坡的西边木垒站风速为 $16.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,假设进入山口的风速与其相等的话,翻越山口时由于狭管效应的作用,可加速到 $28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这次过程为一次强冷空气入侵过程,20 日 08 时十三间房与木垒的温差为 5.5°C ,14 时温差为 14.0°C ,取 ΔT 为

10°C 。冷空气沿坡下滑再次得到加速,按表 2 中查得风速为 $36.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。实况是:20 日 19 时十三间房风速为 $37.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。估算的略偏小些。

由以上验算,可知处于上游的木垒的风速与处于下游的十三间房的风速前后是有关联的。分别用 2010—2011 年春季等多次典型大风过程的木垒和十三间房逐小时风速资料,可计算同时及延时 1~20 小时的相关系数,多次天气过程大多以 9~10 小时相关系数最大,结果如图 1。

由图 1 可看出以延时 10 小时的相关系数为最大,延时 9、10 和 11 小时的相关系数分别为 0.6963、0.7465 和 0.7365。这就可以给出一个启示,在冷空气入侵的过程中,可用木垒的风速预报 9 小时后十三间房的风速,预报时效可达 9 小时,预报精度为小时。如果将两地的观测精度提高到 20 分钟,预报精度还会提高。在冷空气入侵过程中,这种用上游邻近站的要素做某地要素精细化预报,可能是一个简单易行的方法。利用前 9~11 小时木垒的风速作因

子,建立回归方程:

$$Y = 0.261188X_{-9} + 0.75717X_{-10} + 0.776202X_{-11} + 12.47958$$

其复相关系数为 0.764298,预报拟合情况见图 2。

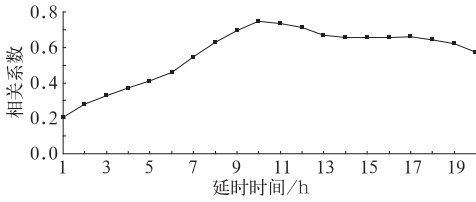


图 1 木垒和十三间房车站风速延时 1~20 小时相关系数分析图

Fig.1 Correlation coefficient chart of 1-20 h delay of wind velocity at Mulei and Shisanjianfang Stations

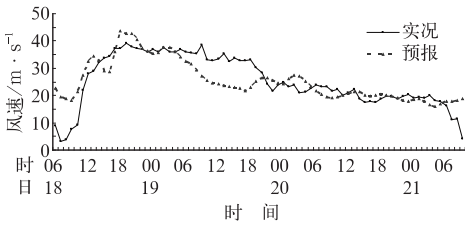


图 2 2010 年 1 月 18—21 日十三间房预报与实况对比图

Fig.2 Comparison between forecast (dashed) and observation (solid) at Shisanjianfang Station from 18 to 21 January 2010

由图 2 可见,预报与实况总体趋势吻合较好,风速极大值出现的时间预报准确,量级相当。用这种方法建立的回归方程其物理意义是明显的。

4 效果检验

利用上述方法,用 2011 年 1—5 月中旬期间实测资料对十三间站 19 场大风天气进行了逐时预测,以达到 $17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 为大风标准,大风的预报准确率达 72.2%;有大风时风速的平均绝对误差为 $7.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;极值出现时间平均比预报偏晚 2.2 小时,最大极值平均误差 $6.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,对极值的出现时间和量级有一定的参考价值。

5 结 论

(1) 以上分析提供了一种风要素的精细化预报思路和方法。

(2) 从以上的分析和估算中可以得到这样的结

论:虽然造成大风的根本原因是冷空气活动,但特殊的地形影响加大了风速。百里风区就是越山的冷空气因狭管效应和流洩风作用而形成的强风区。

(3) 从表 2 中可看出, U_j 随 ΔT 的增大而增大。也就是说入侵的冷空气越冷,背风坡山脚处的气温越高时流洩风的风速越大。在冬季,由于近地层逆温层的出现,背风坡山脚处的气温不高,所以在这个季节流洩风的作用大为减弱,这也解释了为什么百里风区强风灾害以春夏季为最多。

(4) 效果检验预报准确率较高,尤其是对极大风速出现的时间和量级具有一定的参考价值。

(5) 以上所述,仅从冷空气越山沿坡面下滑所产生的流洩风角度来论述的。而且关注的仅是地面风。对于背风坡的流场的二维(X, Z)情况是比较复杂的。要根据称作 Scorer 参数的 $L^2 = \frac{g\beta}{U^2} - \frac{\partial^2 U}{U\partial Z^2}$ 来推定。其中, U 为越山的基本气流的速度; g 为重力加速度; $\beta = \frac{\partial \theta}{\theta \partial Z}$, 是反映稳定度的参数; $\frac{\partial^2 U}{\partial Z^2}$ 是反映基本气流沿垂直方向的切变的变化。背风波在山脚附近的近地面影响不大,在这里流线与地形廓线一致,这是要说明的。

参考文献

- [1] 杨国祥,何齐强,陆汉城. 中尺度气象学[M]. 北京:气象出版社,1991:218-220.
- [2] 新疆短期天气预报手册[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1986:279.
- [3] 钟利华,曾鹏,李勇,等. 广西雷暴大风环流特征和物理量诊断分析[J]. 气象,2011,37(1):59-65.
- [4] 廖晓农,于波,卢丽华. 北京雷暴大风气候特征及短时临近预报方法[J]. 气象,2009,35(9):18-28.
- [5] 朱君鉴,刁秀广,曲军,等. 临沂强对流灾害性大风多普勒天气雷达产品分析[J]. 气象,2008,34(12):21-26.
- [6] 刘敏,孙杰,杨宏青. 湖北省不同地形条件下风随高度变化研究[J]. 气象,2010,36(4):63-67.
- [7] 辽宁省复县气象站. 我站的偏北大风预报[J]. 气象,1975,1(2):15-15.
- [8] 祝学范. 大风出现的位置与地形的关系[J]. 新疆气象,2004,27(6):1-2.
- [9] 顾光芹,田国强,李元华,等. 曹妃甸工业区最大风速资料重建及检验[J]. 气象,2011,37(8):1018-1025.
- [10] Kato W, Suzuki H, Shimamura M, et al. The design and initial testing of an X band Doppler radar for monitoring hazardous winds for railroad system[C]. Preprints, 33rd Conf on Radar Meteorology, Cairns, Australia, Amer Meteor Soc 2007, P13A. 15.