

武维刚,武麦凤,龙亚星. 华山大风的气候特征分析[J]. 陕西气象,2022(1):41-46.

文章编号:1006-4354(2022)01-0041-06

# 华山大风的气候特征分析

武维刚<sup>1</sup>,武麦凤<sup>2</sup>,龙亚星<sup>3</sup>

(1. 华山气象站,陕西华阴 714200;2. 渭南市气象局,陕西渭南 714000;  
3. 陕西省大气探测技术保障中心,西安 710014)

**摘要:**利用 1953—2020 年华山气象站逐年、月、日和小时地面气象观测资料,采用线性趋势分析、小波分析及 Mann-Kendall 突变检验等方法,分析了华山大风的气候特征和变化趋势。结果表明:华山每个月都有大风出现,7—9 月出现次数较少,8 月最少,平均 7.1 d;春季 3—5 月是华山大风的高发期,4 月增至最多,平均 12.6 d;大风强度春季最大,月平均最大风速和月平均极大风速最大值均出现在春季;大风具有明显的日变化,傍晚(20 时前后)出现大风的次数最多,早晨(08 时前后)出现大风的次数最少。华山 6 级以上风以 6~7 级 SSW 为主,SW、WNW 次之。近 68 a 华山大风日数呈波动减少趋势,存在 28 a 的长周期变化特征。

**关键词:**华山;大风;气候特征;复杂地形

**中图分类号:**P468

**文献标识码:**A

近年来,气象工作者对不同区域内的大风做了大量的研究工作。潘冬梅等<sup>[1]</sup>对阿勒泰地区大风日数的时空分布规律及变化特征进行研究,分析了大风天气环流特征,总结归纳出不同天气形势下大风预报指标和预报方法。赵金霞等<sup>[2]</sup>分析了渤海湾大风的气候特征,建立极大风速和当日最大风速的预报方程,并将 WRF 数值预报模式计算出的日最大风速进行订正、代入预报方程,来预报灾害性大风。史国庆等<sup>[3]</sup>等对秦来县近 61 a 大风日数和风速变化特征进行分析研究,指出年平均风速和年大风日数整体呈波动下降趋势。张新军等<sup>[4]</sup>对兰新铁路第二双线沿线 10 m 高度和近地层大风分布规律进行了分析研究。鲁渊平等<sup>[5]</sup>对陕西大风研究指出,近 30 a 陕西大风高山、高原多于平原、盆地,陕北多于关中、陕南。华山,古称西岳,是中国著名的五岳之一,有东、南、西、北、中五峰,位于陕西省华阴市境内,雄踞关中东,西距古都西安 120 km。华山南接秦岭,北瞰黄河,山势险峻,地形地貌复杂,四季多大风且

风向变化大,是陕西省大风日数(风速 $\geq 17.0$  m/s)出现最多的地方。华山出现灾害性大风天气会导致索道停运,大量游客滞留山顶,给游客观景体验和人身安全带来严重影响。本文利用华山气象站 1953—2020 年地面气象观测资料统计分析华山大风的气候变化特征,为华山大风精细化预报研究提供依据,同时为景区索道的安全运营提供更高水平的气象服务保障。

## 1 资料与方法

华山气象站 1952 年建站,1953 年正式开始地面气象观测,其观测场位于华山绝壁西峰,海拔高度 2 064.9 m,期间站址未曾迁移,资料序列通过信息化格式检查和质量检查,为中国和亚洲质量认证的资料。本文所用资料为 1953—2020 年华山气象站(简称华山站,下同)逐年、月、日、定时观测资料。根据《地面气象观测规范》<sup>[6]</sup>,日界统一定为 20—20 时(北京时,下同),以瞬时风速 $\geq 17.0$  m/s 或目测估计风力达到或超过 8 级作为大风标准,测站一日内出现大风定为一个大风日。

收稿日期:2021-04-24

作者简介:武维刚(1990—),男,汉族,陕西蒲城人,学士,工程师,从事地面综合气象观测和旅游气象服务。

季节划分:3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月至次年2月为冬季。采用了统计学方法、小波分析及 Mann-Kendall 突变检验<sup>[7]</sup>等方法分析华山大风的气候变化特征。

## 2 大风的气候特征

### 2.1 大风日数的年际变化

图1为1953—2020年华山站大风日数的年际变化曲线。可以看出,华山大风日数总体呈波动减少趋势,气候倾向率为 $-5.2 \text{ d}/10 \text{ a}$ (通过0.01显著性水平检验),这与中国平均年总大风日数和四季总大风日数都呈明显的减少趋势相一致<sup>[8]</sup>。华山站年大风日数变化范围为55~225 d,大风日数1966年最多,1954年最少,年平均116.4 d。年大风日数200 d以上的年份有3 a,分别是1966、1967、1968年;100~200 d的有46 a,占总年份的68%;少于100 d的有19 a,占28%。从图1还可看出,大风具有明显的年代际变化特征:20世纪50年代前期,华山的大风日数相对较少,50年代中后期华山大风日数迅速上升,60年

代大风日数最多,这与中高纬大气环流经向度加大,强冷空气频繁入侵密切相关<sup>[9]</sup>。70年代大风日数明显减少,80年代至90年代初大风日数略有增加。90年代中期至2015年大风日数明显小于平均值,2011年大风日数仅有73 d。利用 Morlet 小波分析方法对1953—2020年华山站年大风日数进行小波变换(图2),可以看出华山站大风日数的周期性变化情况:华山站年大风日数存在28 a的长周期变化特征,呈“少—多—少—多—少”的变化规律。21世纪初至2020年大风日数偏少,但偏少阶段趋于末尾。

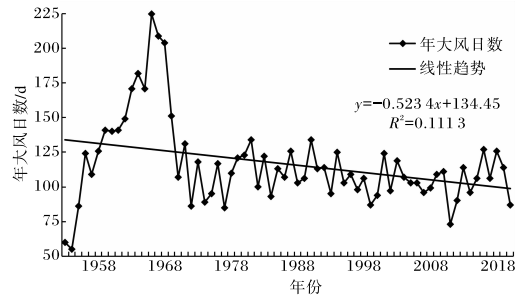


图1 1953—2020年华山站大风日数年际变化

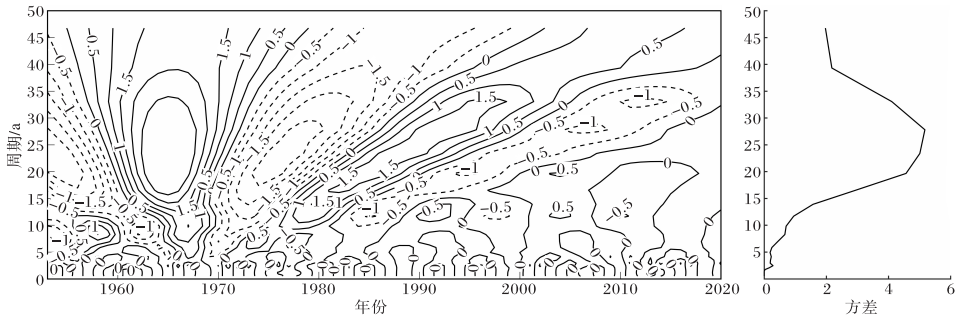


图2 1953—2020年华山站年大风日数时间序列小波变换及方差

1953—2020年华山站春、夏、秋、冬四季大风日数的气候倾向率分别为 $-0.6 \text{ d}/10 \text{ a}$ 、 $-1.7 \text{ d}/10 \text{ a}$ 、 $-0.5 \text{ d}/10 \text{ a}$ 和 $-2.0 \text{ d}/10 \text{ a}$ ,其中只有夏季和冬季通过0.05显著性水平检验;因此,华山站年大风日数以冬季减少趋势最为明显,这可能与寒潮发生的频率减小,强度减弱密切相关,而后者又与全球系统尤其是冬季显著增暖现象有直接关系<sup>[10]</sup>,也与东亚季风系统夏季风从20世纪70年代中后期、冬季风从20世纪80年代中后期起发生了明显变弱<sup>[11]</sup>的变化趋势一致。

利用 Mann-Kendall 突变检验方法分析华山站年大风日数的变化趋势和突变点。由图3可

见,华山站年大风日数1955—1982年呈上升趋势,1983年以后年大风日数呈单一下降趋势,这

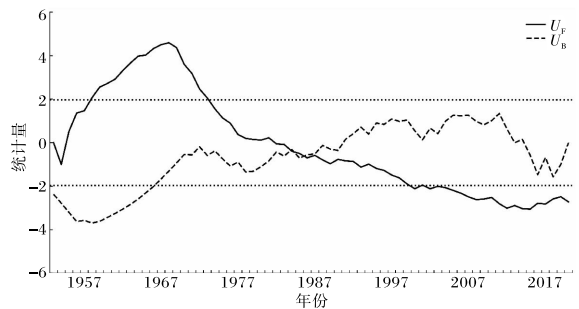


图3 1953—2020年华山站年大风日数时间序列 Mann-Kendall 突变检验(点线为0.05显著性水平临界值)

与上面的统计分析结论一致。1958—1973 年大风日数呈显著上升趋势,2004 年之后大风日数呈显著下降趋势。根据  $U_F$  和  $U_B$  曲线交点的位置,确定大风日数突变时间为 1985 年前后。

## 2.2 大风日数的月际变化

图 4 为 1953—2020 年华山站大风总日数的逐月变化情况,可以看出,华山月大风日数呈“双峰”型分布:2—4 月大风日数呈逐月增加,4 月增至全年最多,68 a 出现大风日数 854 d;5 月大风日数开始减少,8 月最少,出现大风 484 d;9 月以后冷空气活动加强,大风日数又开始逐渐增多,12 月达到第二峰值,出现大风 757 d。从季节变化来看,春季华山冷空气活动频繁,大风日数最多,68 a 有 2 443 d;冬季次之,出现大风 2 009 d;秋季和夏季大风较少,大风日数分别为 1 760 d 和 1 703 d。

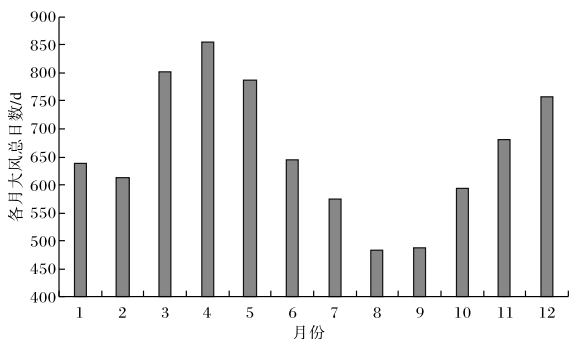


图 4 1953—2020 年华山站各月大风总日数

## 2.3 大风的日变化

定义每时次内只要出现一次大风天气,则记录为 1 次大风,各时次大风次数除以总大风次数得到 1953—2020 年华山站逐时大风频率(时次以北京时为准,01 时代表时间范围 00:01—01:00,其他时次类推),结果如图 5 所示。由图 5 可见,华山晚上出现大风的频率远高于白天:16 时大风频率开始增加,20—01 时是一天内大风频率最高时段,占 24 h 出现大风总次数的 35.5%,其中 20 时是 24 h 内大风频率最高的时刻,占总大风次数的 5.7%;02 时后大风频率开始降低,08 时最低,仅占总次数的 3.2%。

大风日变化主要是由于下垫面在一日中受热不同而引起的。在环流形势稳定的天气背景下,太阳落山以后太阳辐射减弱,地表温度降低,边界

层大气层结相对稳定,空气的垂直对流减弱,使得不同高度的风力相互影响减小,平原近地面风力减弱。华山站位于 2 000 m 以上的高空,自由大气受低层影响减小,风力加大,大风频率升高。

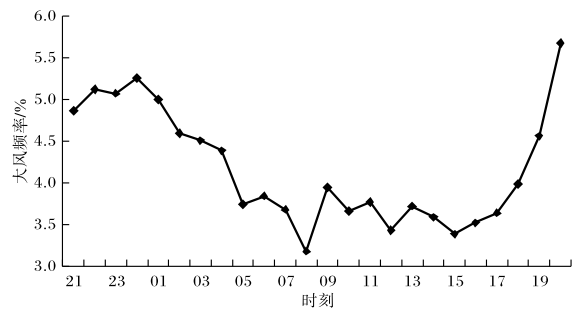


图 5 1953—2020 年华山站大风频率日变化

## 2.4 大风风向和风力特征

2.4.1 风向 华山站近 68 a 大风风向频率分布(图 6)表明:华山大风风向以 SSW 为主,频率为 28.4%;SW、WNW 次之,频率分别为 21.5%和 20.8%;三者频率之和为 70.7%,而 S 和 ESE 大风出现较少。分析华山大风风向频率的月变化(表 1),结果表明:华山 2 月和 5—11 月以 SSW 大风为主,SSW 大风在 7、8 月频率最高,分别为 59.7%和 59.2%;SW 大风在 9 月频率最高为 30.9%;3—4 月 SW 大风出现可能性较大;12 月一次年 1 月 WNW 大风出现频率最高,12 月 WNW 大风频率达最大值 32.9%;6 月 ESE 大风频率最高为 10.6%。华山大风风向季节差异不明显(表 2),一年四季都以 SSW 大风为主,春、

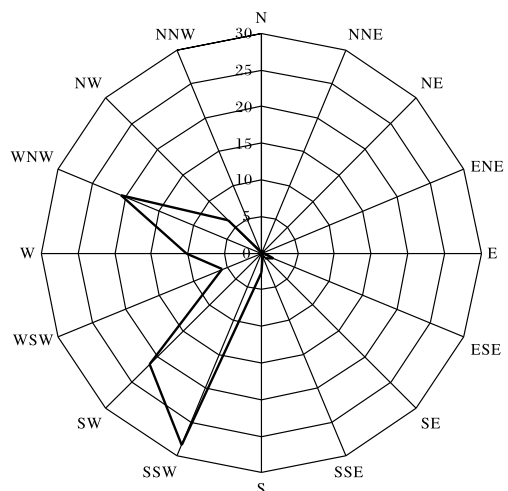


图 6 1953—2020 年华山站大风风向频率/%

表 1 1953—2020 年华山站逐月大风风向频率

%

月份	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.8	21.3	13.5	7.5	13.5	31.4	10.6	0.0
2	0.0	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	1.1	3.1	23.5	21.3	7.6	12.3	21.6	8.4	0.0
3	0.0	3.2	0.2	0.0	0.2	1.0	0.7	0.7	2.0	26.3	28.3	5.0	9.4	18.6	3.7	0.2
4	0.2	0.0	0.4	0.2	0.6	3.0	1.3	1.3	2.8	25.1	26.0	7.8	9.7	16.5	4.5	0.4
5	0.0	0.0	0.0	0.3	2.0	2.6	1.3	1.0	3.6	33.9	20.4	3.6	7.6	19.4	3.9	0.3
6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	10.6	2.3	0.8	1.5	30.3	29.5	3.8	3.0	9.8	5.3	1.5
7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	3.5	0.7	0.0	2.1	59.7	26.4	2.8	1.4	1.4	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	2.9	1.0	3.9	59.2	21.4	4.9	0.0	1.0	1.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	1.7	6.7	44.9	30.9	0.6	1.1	9.6	1.7	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.4	0.0	5.1	35.5	24.0	1.4	5.5	19.4	6.9	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.6	0.0	4.5	30.3	15.7	8.0	9.5	22.8	7.1	0.3
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	14.2	15.3	7.0	20.0	32.9	10.4	0.0

表 2 1953—2020 年华山站四季大风风向频率

%

季节	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
春季	0.0	0.8	0.9	0.0	0.8	5.1	0.0	0.0	0.8	39.7	18.7	1.7	2.6	22.8	6.0	0.0
夏季	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	18.8	2.6	2.6	0.0	38.5	23.1	1.7	2.6	6.0	2.6	0.9
秋季	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.8	38.7	17.3	2.5	5.8	23.6	3.3	0.0
冬季	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	2.5	33.6	13.5	5.1	3.4	30.3	10.1	0.0

秋、冬季 WNW、SW 大风次之,夏季 SW、ESE 大风次之。春季 SSW 大风出现最多,频率为 39.7%;夏季 SW 和 ESE 大风频率达到全年最高,分别为 23.1%和 18.8%;秋季 WNW 大风频率由夏季 6.0%增加至 23.6%,SW 大风由 23.1%减少至 17.3%;冬季 WNW 和 NW 大风增至全年最多,频率分别为 30.3%和 10.1%,同时 SSW 和 SW 大风减少。

大风风向的季节性变化主要原因是:每年 6—9 月西太平洋副热带高压(简称副高,下同)脊线位于 110°~115°E、20°~28°N 之间,随着副高位置的摆动,陕西处于副高外围的不同位置,常常受西南暖湿气流和高原短波槽东移影响,SSW 和 SW 大风增多;10 月—次年 5 月北方冷空气活动频繁,WNW 大风出现频率较多,SSW 和 SW 大风减少至全年最少;春夏之交,受短波槽和强对流天气影响,ESE 风向较多。

2.4.2 风力 根据天气预报业务规范,预报业务中一般以 2 min 平均风力达到 6 级( $\geq 10.8$  m/s)作为大风指标<sup>[12]</sup>。对 1953—2020 年定时 2 min 平均风速 $\geq 10.8$  m/s 进行分级统计(1953—2003 年地面气象月报表数据文件只统计 02、08、14、20 时四次定时风速)。1953—2020 年华山 6 级(10.8~13.8 m/s)风占 66.6%,7 级(13.9~17.1 m/s)风占 25.6%,8 级(17.2~20.7 m/s)风占 6.4%,9 级(20.8~24.4 m/s)风占 1.0%,10 级(24.5~28.4 m/s)风只占 0.3%,11 级(28.5~32.6 m/s)风占 0.0%,12 级( $\geq 32.7$  m/s)以上风仅占 0.1%。可以看出,华山 6 级以上风定时风速主要出现 10.8~17.1 m/s 之间,即以 6~7 级风为主,8 级和 9 级风相对较少,10 级以上风仅占 0.4%。从风力频率的变化趋势来看,6 级风频率呈增高趋势,最高为 79.7%(2011 年),最低仅为 26%(1962 年)。7 级风频率呈降低趋势,最高为

45.3%(1960年),最低为17%(2000年)。8级风频率呈微弱降低趋势,最高为26.7%(1962年),1984、1992、1997、2000年未出现;9级风频率变化趋势不明显,最高为4.7%(1954年),有31a未出现;10级以上风在20世纪50年代中后期至60年代末出现较多,并在1956年频率最高为5.1%,与同时期大风日数明显偏多变化趋势一致。

表3为1953—2020年华山站逐月大风风力频率统计情况。由表3可以看出华山6级风年变化呈“双峰双谷”型:峰值出现在6月和11月,频率分别为71.9%和70.3%;谷值出现在4月和9月,频率分别为61.6%和65.6%。7级风年变化呈“凹”字型,4—5月和8—9月出现频率较高,6—7月频率出现阶段性低值,全年频率最小为22.4%,出现在11月。8级风在2—4月、12月出现频率较大,6月和8月出现频率较小。9级风在2—4月、11月出现频率较大,7—8月很少出现。10级以上风主要出现在11—1月和3—5月,6月和8月很少出现。季节变化方面,6级风夏季频率最高,春季最低。7级风春季频率最高,秋季最低。8级以上风主要出现在春季和冬季,夏季出现最少,与大风日数季节变化一致。

表3 1953—2020年华山站逐月大风风力频率 %

月份	6级	7级	8级	9级	10级	11级	12级
1	67.5	25.3	5.9	0.5	0.5	0.0	0.3
2	64.6	26.1	7.3	1.7	0.3	0.0	0.0
3	63.5	26.9	7.4	1.6	0.2	0.2	0.2
4	61.6	28.3	8.0	1.6	0.3	0.0	0.2
5	65.5	28.2	5.3	0.5	0.3	0.0	0.1
6	71.9	24.5	3.0	0.6	0.0	0.0	0.0
7	70.3	23.9	5.6	0.0	0.2	0.0	0.0
8	69.9	27.8	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
9	65.6	27.1	6.6	0.6	0.0	0.0	0.2
10	67.9	25.1	6.1	0.6	0.3	0.0	0.0
11	70.3	22.4	5.5	1.2	0.3	0.0	0.3
12	67.6	23.7	7.3	0.9	0.2	0.0	0.2

### 3 最大风速和极大风速的气候特征

#### 3.1 年际变化

图7为华山站1980—2020年年最大风速和

1994—2020年年极大风速的变化趋势(1953—1979地面气象月报表数据文件未统计最大风速,1953—1993地面气象月报表数据文件未统计极大风速)。1980—2020年华山最大风速年平均值为24.5 m/s。从图7可以看出,2013年最大为30.2 m/s(风向WNW),2006年最小为20.3 m/s(风向WNW)。1980—2020年华山年最大风速气候倾向率为 $-0.1(\text{m/s})/10\text{a}$ (未通过0.05显著性水平检验),表明年最大风速变化趋势不显著。最大风速风向频率最高为SSW,SW、WNW次之,三者出现频率之和为80%,与大风风向分布一致。

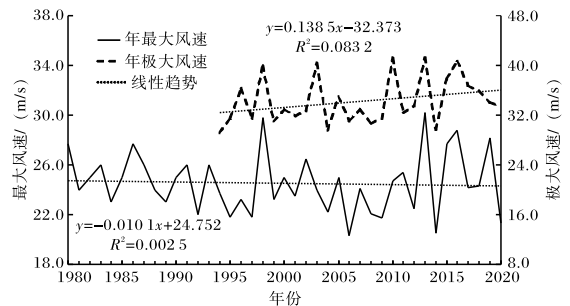


图7 华山站1980—2020年年最大风速和1994—2020年年极大风速变化曲线

1994—2020年华山年极大风速平均值为34.3 m/s。从图7可以看出,年极大风速2013年最大为41.3 m/s(风向SW),2010年极大风速达41.2 m/s,1994年年极大风速最小为29.2 m/s(风向为NW)。1994—2020年华山站年极大风速气候倾向率为 $1.4(\text{m/s})/10\text{a}$ (通过0.05显著性水平检验),表明近27a华山年极大风速有增大趋势。年极大风速风向以SW、SSW和WNW出现较多,与大风风向分布一致。

#### 3.2 月际变化

从华山站月平均最大风速(1980—2020年)和月平均极大风速(1994—2020年)(图8)可以看出,华山月平均最大风速呈“双峰”型变化:1—3月最大风速逐渐增大,3月达全年最大,平均最大风速21.0 m/s。4月风速开始减少,8月达到全年最小15.7 m/s。9月风速又逐渐增大,12月达第二峰值,平均最大风速为20.1 m/s。华山站月最大风速最大值为30.2 m/s,出现在2013年

3月。

华山站月平均极大风速与月平均最大风速变化趋势一致,也呈“双峰”型(图8)。1—3月风速逐渐增大,3月最大,平均极大风速30.2 m/s。4月平均极大风速30.1 m/s。5月风速开始减少,8月最小为23.4 m/s。9月风速又逐渐增大,11月达第二峰值,平均极大风速28.5 m/s,之后风速又开始减小。华山站月极大风速最大值为41.3 m/s,出现在2013年3月。从季节变化来看,华山平均最大风速和平均极大风速春季最大,冬季次之,夏季最小。

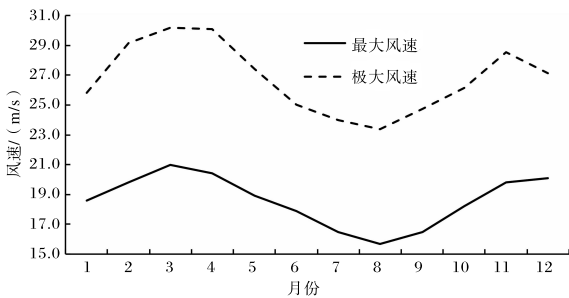


图8 华山站1980—2020年平均最大风速和1994—2020年平均极大风速月变化曲线

#### 4 结论与讨论

(1)华山年大风日数呈波动减少趋势,存在28 a长周期变化特征。华山大风日数具有明显的季节变化,春季最多,冬季次之,秋季和夏季出现大风较少;大风日数月变化呈“双峰”型,峰值分别出现在4月和12月,8月大风日数最少;华山大风具有明显的日变化特征,夜间远多于白天。20—01时是一天内大风频率最高时段,20时是大风出现频率最高的时刻,08时大风次数最少。

(2)华山最大风和极大风风向均以SSW为主,WNW、SW次之。SSW大风在7和8月出现频率最高,WNW大风在12月出现频率最高,SW大风在9月较多。华山6级以上风以6~7级为主,达到8级和9级的很少,出现10级以上大风仅占0.4%。

(3)华山地势较高,地形复杂,受高空气流影

响的同时,地形对区域性大风的形成影响作用十分明显。对因下垫面热力因素和动力强迫作用产生的大风目前观测较少,其对华山局地大风的贡献程度也了解甚少,因此对复杂地形产生大风机理尚需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 潘冬梅,田忠锋. 近50 a阿勒泰地区大风的环流分型及预报[J]. 干旱气象,2014, 32(1): 108-113.
- [2] 赵金霞,曲平,何志强,等. 渤海湾大风的特征及其预报[J]. 气象科技,2014, 42(5): 847-851.
- [3] 史国庆,劳俊梅,王力艳. 泰来县近61 a大风日数及风速变化特征分析[J]. 黑龙江气象, 2019, 36(2): 4-5.
- [4] 张新军,潘新民,刚赫,等. 兰新铁路第二双线大风规律及影响分析[J]. 陕西气象,2019(2): 21-27.
- [5] 鲁渊平,杜继稳,侯建忠,等. 陕西省风速风向时空变化特征[J]. 陕西气象,2006(1): 1-4.
- [6] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 83-84.
- [7] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2007: 69-72.
- [8] 江滢,罗勇,赵宗慈,等. 近50年中国风速变化及原因分析[C]//中国气象学会2007年年会气候变化分会场论文集. 北京:中国气象学会,2007: 80-89.
- [9] 苗爱梅,贾利冬,武捷. 近51a山西大风与沙尘日数的时空分布及变化趋势[J]. 中国沙漠,2010, 30(2): 452-460.
- [10] 王遵娅,丁一汇,何金海,等. 近50年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报,2004(2): 228-236.
- [11] 黄荣辉,顾雷,陈际龙,等. 东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展[J]. 大气科学,2008, 32(4): 691-719.
- [12] 王簧,李英,吴哲红,等. 我国大风机理研究和预报技术进展[J]. 气象科技,2019, 47(4): 600-607.