

董安祥,蔡忠兰,方 锋,等. 2009~2010年河西走廊大风日低空垂直切变和湍流统计特征[J]. 干旱气象, 2014, 32(2): 270-274, [DONG Anxiang, CAI Zhonglan, FANG Feng, et al. Statistical Characteristics of the Low-level Vertical Shear and Turbulence in Gale Days During 2009-2010 in Hexi Corridor[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(2): 270-274], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-02-0270

2009~2010年河西走廊 大风日低空垂直切变和湍流统计特征

董安祥¹, 蔡忠兰², 方 锋³, 向 军², 杨苏华³

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃省气象服务中心, 甘肃 兰州 730020; 3. 西北区域气候中心, 甘肃 兰州 730020)

摘 要:为了给河西走廊风电场建设提供科学依据, 利用河西走廊 14 座风能观测塔 2009 年 9 月至 2010 年 8 月的资料, 分析了大风日低空垂直切变和湍流的演变和分布。结果表明: 大风日风速垂直切变指数年平均在 0.092~0.158 之间, 较国标有些偏低; 10~30 m、10~50 m 和 10~70 m 的大风日风速垂直切变指数比非大风日偏小; 低层风速垂直切变大, 高层风速垂直切变小; 大风日 10 m、30 m、50 m 和 100 m 4 层的年平均湍流强度为 0.11, 比非大风日偏小一半左右; 在大风日, 随风速增大, 风速不均一性减小, 风向趋于稳定。

关键词:河西走廊; 大风日; 低空; 垂直切变; 湍流

文章编号:1006-7639(2014)-02-0270-05 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-02-0270

中图分类号:P425.1

文献标识码:A

引 言

大风是河西走廊的重要气象灾害之一, 严重阻碍了当地的国民经济发展。风场的湍流会对风力发电机组性能产生不利影响, 表现为减少输出功率, 还可能引起极端荷载, 从而使得风力发电机功率和效率下降, 影响风力发电, 应引起足够的重视。

多年来, 许多学者对大风的时空分布特征和成因开展了研究^[1-7]。丁荣等^[2]总结出影响张掖市区域性大风的天气形势主要有 3 种类型, 即冷锋后的偏西大风(冷锋型)、强锋区下(动量下传型)偏西大风以及蒙古冷高压底部的偏东大风(地面冷高压型)。温雅婷等^[7]指出, 塔克拉玛干沙漠(塔中站)近地层春夏季在近中性层结条件下, 3 个方向的湍流强度均接近常数, 且扰动动能随稳定或不稳定程度的增大有增大的趋势; 在强不稳定层结条件时, 热力湍能供给率明显强于机械湍能供给率, 而处于稳定层结条件时, 热力湍能供给

率则减为负值, 表现为抑制作用。王介民等^[8]对黑河戈壁沙滩点的风、温、湿湍流脉动数据进行统计分析和涡旋相关方法处理, 结果表明近地层大气的湍流特征符合一般规律。杜燕军等^[9]选用内蒙古地区 3 个风电场内 3 个测风塔连续 2 a 的测风数据分析风切变, 指出 6、7 月风切变指数最低, 11 月至次年 2 月风切变指数最高。这是因为太阳辐射的强弱影响了大气层稳定性和大气层间的混合。刘美素等^[10]通过分析呼和浩特白塔机场 2003~2004 年 4 次低空风切变过程, 发现该机场产生低空风切变与地面有强冷锋及锋面气旋过境等天气系统有关; 低空风切变时, 同一方向上 2 min 内最大与最小风速差值均达 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。

与过去工作不同之处在于, 本文利用测风塔资料分析了河西走廊大风日低空垂直切变和水平变化的统计特征, 以期为河西走廊风电场项目建设提供可靠的参考, 对风能资源的开发利用有重要意义。

收稿日期: 2013-06-14; 改回日期: 2013-11-25

基金项目: 中国电力工程顾问集团公司技术成果“西北特殊地域大风特性及线路设计研究(DG1-D03-2011)”、国家发改委专项“甘肃应对气候变化规划思路研究(1213042)”、“西北半干旱区重大干旱事件的成因与机理及其预测技术研究(1209)”共同资助

作者简介: 董安祥(1944-), 男, 江苏南京市人, 研究员, 主要从事气候变化研究. E-mail: dax-2364@163.com

1 资料和方法

1.1 资料来源

根据河西走廊已有的风资料普查和评估结果,选取酒泉、鼎新、山丹3个风能资源详查区和武威、阿克塞2个详查点,布设14座风能观测塔(其中,70 m塔11座、100 m塔3座)开展观测,这14座测风塔四周开阔、地势平坦,下垫面主要为3种地表:典型的戈壁滩、沙土含量较高的戈壁滩和地表松软的黄土,风塔布设见图1。资料时段为2009年9月至2010年8月。此时段是有效完整率最高的时段,同时剔除可疑数据。测风塔风速和风向层次为10 m、30 m、50 m、70 m、100 m。

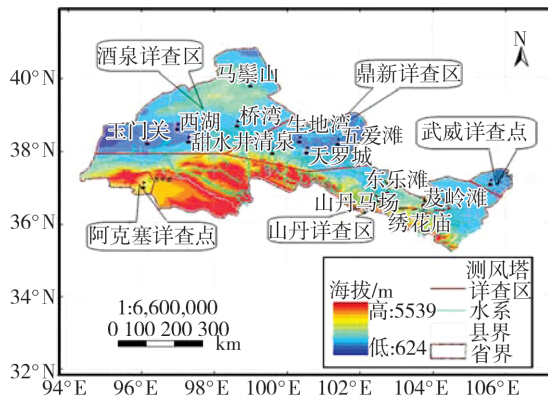


图1 甘肃省河西走廊测风塔布设图

Fig.1 Location of the observation towers in Hexi Corridor of Gansu Province

1.2 方法

风切变是风的典型特征之一。近地层风速的垂直分布主要取决于地表粗糙度和低层大气的层结状态。实测数据检验结果表明,在河西走廊地区幂指数函数比对数函数更能精确地拟合风速的垂直廓线。本文采用中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局发布的国标(GB/T 18710-2002)《风电场风能资源评估方法》幂律公式^[11]。其表达式为:

$$V_2 = V_1 \left[\frac{Z_2}{Z_1} \right]^\alpha \quad (1)$$

式(1)经数学变换可得:

$$\alpha = \frac{\lg(V_2/V_1)}{\lg(Z_2/Z_1)} \quad (2)$$

式中, V_1 、 V_2 分别为高度 Z_1 、 Z_2 处的风速(单位:m/s); α 为风切变指数,其值的大小反映了风速垂直切变的强度。

湍流强度表示瞬时风速偏离平均风速的程度,是评价气流稳定程度的指标。湍流强度与地理位

置、地形、地表粗糙度和天气系统类型等因素有关,其计算公式为^[8]:

$$I = \frac{\sigma_v}{\bar{V}} \quad (3)$$

式(3)中, \bar{V} 为10 min平均风速(单位:m/s), σ_v 为10 min内瞬时风速的标准差。

由于不同高度的极大风速和最大风速并不同时,式(1)中的风速是日平均风速。当某日测风塔10 m高度的瞬间风速 ≥ 17 m/s时,则确定该日为大风日,且大风日的日平均风速确定为大风日的风速。

2 结果分析

2.1 风速的垂直切变

风切变是指在大气边界层中,由于受地球表面的作用,平均风速随高度变化的现象,是风资源在空间上分布不均的典型特征之一。垂直风速切变是指垂直2点间风速的突然变化。根据公式(2)计算,得到河西走廊测风塔2009年9月至2010年8月大风日($V \geq 17$ m/s)和非大风日风速的年平均垂直切变指数(表1),其分析结果如下:

(1)2009年9月至2010年8月期间,大风日风速垂直切变指数年平均在0.092~0.158之间,波动范围为0.012~0.282,较国标的0.143^[11]近似值上下波动有些偏低。

(2)在10~30 m、10~50 m和10~70 m的大风日风速垂直切变指数分别为0.124、0.110和0.119,而非大风日风速垂直切变指数分别为0.135、0.127和0.127。可见,不同高度范围上,非大风日的风速垂直切变指数较大风日的均偏大,这主要是随着风速的增大,低层乱流交换增强,高层动量下传,从而使得上下层风速的差异减少。

(3)无论是大风日,还是非大风日,风速垂直切变指数均在10~100 m范围上最大,10~30 m次之,自10~50 m起,风速垂直切变指数随高度增大。

(4)10~30 m和70~100 m的大风日风速垂直切变指数分别为0.124和0.092,这说明低层风速垂直切变大,高层风速垂直切变小。

在近地层中,风速随高度的变化显著。造成风在近地层中垂直变化的原因有动力因素和热力因素,前者主要来源于地面的摩擦效应,即地表粗糙度,后者主要表现为与近地层大气垂直稳定度的关系。当大气层结为中性时,湍流将完全依靠动力原因来发展。

2.2 湍流强度

低层大气中的大气运动形式主要表现为湍流运

动,湍流是空气中大小不一的湍涡组成的一种极其复杂的无规则运动,因而风速时大时小,风向经常摆动,风速和风向不均一。张宏升等^[12]指出,大风过程中水平方向的湍流通量数值和能量增加幅度大于

垂直方向。湍流强度与地理位置、地形、地表粗糙度和天气系统类型等因素有关。根据公式(3)计算,得到2009年9月至2010年8月河西走廊测风塔大风日和非大风日的大气湍流强度(表2)。

表1 2009年9月至2010年8月河西走廊测风塔大风日和非大风日风速垂直切变指数

Tab.1 Vertical shear index of wind speed in gale and non-gale days over observation towers from September 2009 to August 2010 in Hexi Corridor

			30 m	50 m	70 m	100 m
大风日	10 m	范围	0.086 ~ 0.150	0.012 ~ 0.152	0.085 ~ 0.159	0.137 ~ 0.163
		平均	0.124	0.110	0.119	0.147
	30 m	范围		0.036 ~ 0.177	0.060 ~ 0.197	0.142 ~ 0.174
		平均		0.103	0.114	0.155
	50 m	范围			0.035 ~ 0.282	0.117 ~ 0.198
		平均			0.130	0.158
	70 m	范围				0.045 ~ 0.120
		平均				0.092
非大风日	10 m	范围	0.075 ~ 0.207	0.061 ~ 0.196	0.070 ~ 0.195	0.135 ~ 0.163
		平均	0.135	0.127	0.127	0.146
	30 m	范围		0.029 ~ 0.189	0.064 ~ 0.198	0.141 ~ 0.165
		平均		0.109	0.117	0.151
	50 m	范围			0.049 ~ 0.231	0.147 ~ 0.173
		平均			0.128	0.157
	70 m	范围				0.086 ~ 0.122
		平均				0.109

表2 河西走廊测风塔各高度非大风日和gale日大气湍流强度

Tab.2 Atmosphere turbulence intensity in non-gale and gale days over observation towers from September 2009 to August 2010 in Hexi Corridor

风塔站	非大风日					大风日				
	10 m	30 m	50 m	70 m	100 m	10 m	30 m	50 m	70 m	100 m
28001	0.20	0.20	0.19	0.17		0.10	0.10	0.10	0.10	
28002	0.20	0.20	0.20	0.17		0.12	0.11	0.11	0.11	
28004	0.21	0.20	0.19	0.19		0.12	0.12	0.12	0.11	
28005	0.19	0.19	0.19	0.17		0.11	0.10	0.10	0.09	
28006	0.23	0.22	0.20	0.22		0.10	0.10	0.10	0.12	
28007	0.21	0.20	0.22	0.17	0.17	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08
28008	0.24	0.23	0.22	0.20		0.11	0.11	0.11	0.10	
28009	0.32	0.31	0.31	0.26		0.15	0.15	0.16	0.14	
28010	0.19	0.19	0.19	0.17	0.17	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08
28011	0.20	0.20	0.18	0.19		0.11	0.10	0.10	0.10	
28012	0.21	0.20	0.19	0.19		0.11	0.11	0.11	0.11	
28013	0.30	0.24	0.23	0.20		0.11	0.11	0.11	0.11	
28014	0.19	0.19	0.20	0.17		0.11	0.10	0.09	0.09	
28020	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10
平均	0.22	0.21	0.21	0.19	0.18	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09

国标“GB/T 18710-2002”^[11]指出:湍流强度在0.10或以下表示湍流相对较小,中等程度湍流强度值为0.10~0.25,更高的数值表明湍流过大。根据表2的计算结果,在非大风日测风塔距离地面10 m、30 m、50 m、70 m、100 m高的平均湍流强度分别为0.22、0.21、0.21、0.19、0.18,各层的湍流强度均为中等程度,且随高度的增加,湍流强度在缓慢减小。另外,阿克塞的小苏干湖(站号为28009)由于海拔3 000 m以上,明显高于其它区域,其热力作用比其它区域的大,正午时分大气湍流强度达到最大,比其它区域略早,各高度(10 m、30 m、50 m)处的年平均湍流强度在14座测风塔中为最大。大风日,测风塔距离地面各层的湍流强度基本为0.11,均为中等偏小程度的湍流,其湍流强度的分布区域及变化特征与非大风日相同。相对非大风日,大风日的年平均湍流强度偏小一半左右,这说明在大风期间,由于上下层空气交换充分,风的湍流强度变小,风的不均一性减弱。与风速垂直切变相比较,湍流偏小的程度更大。在水平方向,大风期间乱流交换的程度比垂直方向充分。

2.3 风速增大与不均一性

低空大气湍流在时间和空间上呈现强烈的非线性随机脉动特性,目前还无法用理论进行描述,因此实测和统计分析是研究大气湍流风特性的主要途径。风速通常被认为由产生阵风或静风的湍流成分和平均风速成分2部分组成,其中平均风速可表示为一定时段内观测数据的平均。国内平均风速经常采取2 min或10 min平均。风速的波动部分可用均方差表示。

$$C = \frac{S}{\bar{V}} \quad (4)$$

式中 C 为变差系数, S 为均方差, \bar{V} 为10 min平均风速。

由于低空风是湍流运动,风速在空间和时间分布上是不规则的。然而随着风速的增大,这种不均一性会不会有所改变呢?本文利用河西走廊一个大风过程典型实例来分析风速增大与不均一性的关系。气象观测规范规定,地面风速指距地面高度不得低于10 m所观测的风速。2009年4月29日玉门镇大风过程是从19时51分开始至22时19分结束,大风持续了88 min(中间有停顿)。表3给出了此次大风过程不同时刻的风速与变差系数。

从表3中可以看出,29日06:01~06:10,10 min平均风速为2.0 m/s时,变差系数高达0.565,此后随着风速的增大,其变差系数呈波动性减小。

在大风期间21:51~21:60,10 min平均风速高达14.6 m/s时,其变差系数仅有0.234,是前期06:01~06:10的5/12。当大风过后,风速不断减小时,变差系数逐渐增大。其中当风速降为5.2 m/s时,变差系数增到0.529。可见,大风期间,随着风速的增大,风速不均一性减小,趋于稳定。另外,在风速较小时(2~6 m/s),风向为偏东风,且变化范围较大;伴随冷锋的到达,风速增大到8.0 m/s以后,风向转为西风。在大风期间,风向在260°~270°之间波动,仅变化了9°,风向很稳定。这是因为造成此次大风的影响系统是冷锋,冷锋前后自西向东巨大的气压梯度形成了大风。由于气压梯度方向稳定,故大风风向也稳定。上述整体分析表明,大风期间,随着风速增大,风速的不均一性逐渐减小,风向趋于稳定。

表3 2009年4月29~30日玉门镇
大风过程的风速和变差系数

Tab.3 The wind speeds, wind directions and coefficients variation from 29 to 30 April 2009 in Yumen

日期	时间	风速/(m/s)	风向/°	变差系数
29	06:01~06:10	2.0	78~87	0.565
	08:21~08:30	4.1	97~100	0.470
	12:01~12:10	6.3	80~82	0.235
	18:21~18:30	8.0	270~270	0.486
	19:11~19:20	10.4	263~262	0.351
	20:01~20:10	12.4	263~261	0.155
	21:51~21:60	14.6	264~263	0.234
	22:31~22:40	12.5	264~263	0.323
	23:01~23:10	10.1	264~260	0.160
	30	01:01~01:10	8.2	264~264
01:51~01:60		6.2	260~261	0.424
07:51~07:60		5.2	273~276	0.529

3 结 论

(1)2009年9月至2010年8月,河西走廊大风日风速垂直切变指数年平均在0.092~0.158之间,波动范围为0.012~0.282,较国标的0.143附近波动略有偏低。

(2)10~30 m、10~50 m和10~70 m的大风日风速垂直切变指数,比非大风日的偏小。

(3)无论是大风日,还是非大风日,风速垂直切变指数均是10~100 m的最大,10~30 m次之。另

外,低层风速垂直切变大,高层风速垂直切变小。

(4)大风日测风塔距离地面 10 m、30 m、50 m 和 100 m 4 层的湍流强度基本都为 0.11,比非大风日的平均湍流强度偏小一半左右。这说明在大风期间,风的湍流强度变小,风的水平不均一性减弱。

(5)大风日,随风速增大,风速不均一性减小,风向趋于稳定。

参考文献:

- [1] 姚正毅,王涛,陈广庭,等. 近 40 a 甘肃河西地区大风日数时空分布特征[J]. 中国沙漠,2006,26(1):65-70.
- [2] 丁荣,张德玉,梁俊宁,等. 甘肃河西走廊中部近 45 a 来大风沙尘暴气候背景分析[J]. 中国沙漠,2006,26(5):792-796.
- [3] 李耀辉,张存杰,高学杰. 西北地区大风日数的时空分布特征[J]. 中国沙漠,2004,24(6):715-723.
- [4] 朱飒,李春华,陆登荣. 甘肃酒泉区域风能资源评估[J]. 干旱气象,2009,27(2):152-156.
- [5] 程鹏,李光林,刘抗,等. 河西走廊一次区域性大风强沙尘暴天气诊断[J]. 干旱气象,2009,27(3):245-249.
- [6] 郭萍萍,殷雪莲,刘秀兰,等. 河西走廊中部一次特强沙尘暴天气特征及预报方法研究[J]. 干旱气象,2011,29(1):110-114.
- [7] 温雅婷,缪启龙,何清,等. 塔中近地层春夏季湍流强度和湍能变化的观测研究[J]. 中国沙漠,2010,30(2):439-444.
- [8] 王介民,刘晓虎,祁永强. 应用涡旋相关方法对戈壁地区湍流输送特征的初步研究[J]. 高原气象,1990,9(2):120-129.
- [9] 杜燕军,冯长青. 风切变指数在风电场风资源评估中的应用[J]. 电网与清洁能源,2010,26(5):62-66.
- [10] 刘美素,孟祥莉. 近地面层风切变特征分析[J]. 内蒙古气象,2006(4):24-25.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 风电场风能资源评估方法[S]. 国家标准,GB/T 18710-2002,2002年4月28日.
- [12] 张宏升,刘新建,朱好,等. 北京北郊冬季大风过程湍流流量演变特征的分析研究[J]. 大气科学,2010,34(3):661-668.

Statistical Characteristics of the Low-level Vertical Shear and Turbulence in Gale Days During 2009-2010 in Hexi Corridor

DONG Anxiang¹, CAI Zhonglan², FANG Feng³, XIANG Jun², YANG Suhua³

(1. Institute of Arid Meteorology of CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020, China; 2. Meteorological Service Center of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 3. Climate Center of the Northwest Region, Lanzhou 730020, China)

Abstract: In order to provide the scientific basis for wind power plants construction of Hexi Corridor, the distribution and evolution of the vertical shears and turbulences of low-level in gale days were analyzed by using the wind speed data from 14 observation towers from September 2009 to August 2010. The results showed that annual mean vertical shear indexes of wind speed in gale days during 2009-2010 were from 0.092 to 0.158 in Hexi Corridor, which was less than that of the national standard with 0.143. The vertical shear indexes of low-level wind speed over the heights of 10-30, 10-50 and 10-70 meters in gale days were smaller than those in non-gale days. The vertical shear of low-level wind speed was big, while that of the upper-level wind speed was small. The annual mean turbulence intensity over 10, 30, 50 and 100 meters was 0.11 during 2009-2010 in gale days, and was about half in non-gale days. Furthermore, the non-uniformity of wind speed reduced as the wind speed increased in gale days, and the wind directions tended to steady.

Key words: Hexi Corridor; gale days; low-level; vertical shear; turbulence