

辛渝,周颖真,宋丽莉,等.2015.新疆风区下垫面动力学粗糙度估测值与模式定义值的对比[J].大气科学学报,38(6):811-818.doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20141125002.

Xin Yu,Zhou Ying-zhen,Song Li-li,et al.2015.Aerodynamic roughness comparison between the estimated based on masts and the defined in model over Xinjiang wind areas[J].Trans Atmos Sci,38(6):811-818.(in Chinese).

新疆风区下垫面动力学粗糙度估测值与模式定义值的对比

辛渝¹,周颖真²,宋丽莉³,姜海梅²

(1.中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;2.南京信息工程大学 大气物理学院,江苏 南京 210044;

3.中国气象局 公共气象服务中心,北京 100081)

摘要:按风向风速标准差法估算了新疆风能资源详查区 17 座测风塔一定范围内的动力学粗糙度,并与期间利用的 3 km 和 1 km 分辨率的数值模式中的动力学粗糙度理论定义值进行了对比。结果表明:除了采用的 landuse 基数据在一些区域的错误判识而导致本研究的估测值与中、小尺度模式中的动力学粗糙度理论定义值有较大差别外,大多数比较接近,今后有必要对这些区域的 landuse 的分类进行客观订正;夏季强风区的动力学粗糙度估测值普遍小于中尺度模式的理论定义值;对于主、次风向上动力学粗糙度值极不均匀区域,风向与风速标准差估算法需结合使用;本研究估算的动力学粗糙度是在中性层结条件下进行的,对于中性层结条件较少发生的区域,该动力学粗糙度估算值的普适性将受到限制。

关键词:新疆风区;下垫面;估算的动力学粗糙度;MM5/WRF/CALMET 动力学粗糙度值

文章编号:1674-7097(2015)06-0811-08 **中图分类号:**P406 **文献标志码:**A

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20141125002

Aerodynamic roughness comparison between the estimated based on masts and the defined in model over Xinjiang wind areas

XIN Yu¹,ZHOU Ying-zhen²,SONG Li-li³,JIANG Hai-mei²

(1.Institute of Desert Meteorology,CMA,Urumqi 830002,China;2.School of Atmospheric Physics,NUIST,Nanjing 210044,China;

3.CMA Public Meteorological Service Center,Beijing 100081,China)

Abstract:Based on the data from 17 wind masts over Xinjiang wind areas,the aerodynamic roughness lengths extending some ranges are estimated using the standard deviations of wind speed and direction. Then the estimated roughness lengths in the target areas are compared with those defined in numerical model MM5 or WRF or CALMET on account of 3 km and 1 km horizontal resolutions,respectively. Results are as follows:In most of the cases,the defined roughness lengths are moderately consistent with the estimated ones while few of them show major discrepancies due to a misinterpretation of landuse dataset.Thus further emphasis should be on modifying these datasets.The calculated roughness lengths in the strong wind areas are uniformly smaller than the defined roughness in meso-scale model in summer. To attain a better accuracy in cases where the roughness in primary and secondary wind directions is severely nonhomogeneous,the two methods of wind speed and direction standard deviations should be combined.In this study,the roughness lengths are estimated with the samples in neutral atmosphere while they will not be the applicable in areas where neutral atmosphere barely occurs.

Key words:Xinjiang wind areas;underlying surface;estimated dynamic roughness lengths;theoretically defined dynamic roughness lengths in MM5/WRF/CALMET models

收稿日期:2014-11-25;改回日期:2015-04-13

基金项目:中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所开放课题(SQJ2011008);天诺基业科创基金资助项目(2014TNJY011)

通信作者:辛渝,研究员,研究方向为应用气象,learnexy@163.com.

0 引言

动力学粗糙度(以下简称 z_0)是地表风速为零的几何高度,是用来度量地面对气流粗糙程度的物理量,也是反应下垫面和近地表流场相互作用的物理量。 z_0 的计算方法有多种,如采用牛顿迭代法计算零平面位移得出(Herold M. et al., 2008)、根据陈家宜等(1993)发展的无因次化风速法得到、利用质量守恒定律计算(刘和平等, 1997)、依据相似理论将几个高度的风温廓线拟合迭代(Takagi et al., 2003)、根据中性条件下不同区域风速的约束采用梯度法计算(邱玉珺等, 2010)等。随着相关涡动观测技术的发展,开始利用单层超声风温脉动数据确定 z_0 ,如 Rotach(1994)提出通过测量温度脉动方差确定零平面位移和 z_0 的温度方差法(Temperature Variance Method, TVM)。此外, Thom(1971)提出了压力中心法计算零值位移 d 和 z_0 的设想。Martano(2000)提出根据 Monin-Obukhov 相似理论,将计算零平面位移和空气动力学粗糙度问题简化为一个可由最小二乘法求单变量的过程,单独求出零平面位移和 z_0 。而 World Meteorological Organization(2008)一直推荐根据不同季节、中性层结下、10 m 高度的风向风速标准差来估算上风方几公里范围内的 z_0 。

在数值天气预报模式耦合的陆面过程模式中, z_0 则是基于中性层结、各向均匀同性下根据不同季节下垫面分类数据集和前人研究的下垫面状况与 z_0 对应表的关系获得的,如 Davenport(1960)、Wiernga(1993)等都总结过这样的对应表,并得到广泛应用。MM5(Mesoscale Model 5)、WRF(Weather Research and Forecasting)、GRAPES(Global/Regional Assimilation and Prediction System)采用 USGS(United States Geological Survey)24 类分类时,对应着 z_0 、地表反射率、土壤湿度、9 μm 波长地表发射率、热惯量等一整套与陆面过程调用有关的静态参数体系。ARPS(Advanced Regional Prediction System)采用 SIB(Simple Biosphere)、REGCM(REGional Climate Model system)3 或 4 分类以及 CALMET(CALculate METeorology)采用 BATS(Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme)分类等也分别标定了各自的静态参数表。标定方法不同,参数差异也十分显著,针对具体应用,还需进一步调整,同时还具有季节差异,因而带有很大的不确定性(Burian, et al., 2004)。如夏季采用修正后的 IGBP(International Geosphere-Biosphere Programme)33

种分类时,灌木对应的 z_0 为 0.06 m,而采用 MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)33 种分类, z_0 为 0.1 m。而冬季,其值分别为 0.01 m、0.1 m;再如在 USGS24 类分类体系中,城市下垫面 z_0 值是 0.8 m,而在诊断风场模式 CALMET 中采用 12 类分类、无季节差异(辛渝和陈洪武, 2014),对应的 z_0 值却是 1.0 m。

截止目前,新疆气象局利用数值模式建立的各类预报系统以及开展的风能、太阳能资源开发利用中,MM5 或 WRF 模式的下垫面一直采用 USGS24 类分类, CALMET 采用 BATS12 类分类(辛渝等, 2010, 2013, 2015;辛渝和陈洪武, 2014)。landuse 基数据却是 1992 年 4 月—1993 年 3 月美国地理测量土地利用系统(USGS)利用 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radioater,甚高分辨率扫描辐射仪)遥测资料合成的 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)时间序列,采用基于非监督分类和人工解译、编辑得到的,其中一部分资料是在 1970s 完成(宫鹏, 2009)。该数据集精度低(Frey and Smith, 2007)、错误多(Sedano et al., 2005),在中国的精度远低于全球平均精度,数据存在很大不确定性(Herold et al., 2008)。并且随着社会经济的发展,数据已相对陈旧。鉴于基于 landuse 分类集得到的 z_0 参数与边界层内污染物预报、地气相互作用以及风预报的准确性、污染物的沉积与传输等紧密相关(赵鸣等, 1991;叶丽梅等, 2014),为客观评价以往相关成果的合理性,本文利用新疆风区 17 座风塔资料,也采用 WMO 推荐方法估算测风塔所处下垫面的 z_0 ,并和数值模式中的理论值进行显著性对比检验(胡文超等, 2010),为今后更好地研究和预报新疆风能及其他常规气象要素奠定基础。

1 研究数据

1.1 地面观测数据

研究数据来源于新疆维吾尔自治区气候中心采集到的 2009 年 6 月—2011 年 12 月间新疆 6 个风区 17 座测风塔 10 m 和 70 m 高度观测的风向、风速、温度和湿度资料,各测风塔测风环境信息详见表 1。除达坂城风区的 31003 塔、额尔齐斯河风区的 31008 塔和阿拉山口风区的 31013 塔离水体或湿地较近外,其余测风塔下垫面的自然属性相对比较单一,大多为植被稀疏的砂砾地面或荒漠草原或盐碱地,无农业生态系统,四周最大遮挡角均小于等于 5° 。由于风速较大,除额尔齐斯河风区外,其余测风

表 1 新疆风区测风塔信息及环境简述
Table 1 Geographic information of masts and their basic surrounding description over Xinjiang wind areas

风区名	塔号	经纬度	海拔/m	主导/次风向	环境简述
达板城	31001	88. 07°E, 43. 46°N	1 109	NWW/SSE	位于盐湖北岸山间平地荒漠中,北距博格达峰 19. 6 km,坡度 2. 0°
	31002	88. 20°E, 43. 38°N	1 093	NWW/SSE	北距博格达峰约 2 km,南距依连哈比尔尕山 4. 3 km,坡度仅 0. 8°
	31003	87. 95°E, 43. 56°N	1 153	NWW/SSE	位于柴窝堡湖东北侧,较前两座塔地形略开阔,坡度 1. 5°
小草湖	31004	88. 63°E, 43. 08°N	406	NW	山前冲积扇盆地边缘陡坡之中,三面环山,高空风动量下传必经之处。 距西南山 13. 9 km,距西北山 4. 2~5. 2 km,距东面山 5. 7 km,坡度 1°
十三间房	31005	91. 74°E, 43. 22°N	767	N	位于南向开口的山间冲积平原之中,坡度 2. 2°
	31006	91. 30°E, 43. 26°N	1 142	N	位于东西两侧山系之间,北距山脚 4 km,坡度 2. 5°
	31007	92. 13°E, 43. 38°N	1 622	N	位于山间冲积平原之中,盆地东侧,坡度 3. 0°
额尔齐斯河	31008	86. 68°E, 47. 86°N	519	W/E	位于布尔津水库附近高台处,四周开阔,坡度 1. 3°
	31009	87. 01°E, 47. 60°N	488	W/E	位于布尔津—北屯公路南侧,坡度 2. 0°
	31010	85. 97°E, 48. 11°N	468	W/E	位于哈巴河西部,坡度仅为 0. 5°
阿拉山口	31011	82. 61°E, 45. 18°N	263	NW/SSE	西距阿拉套山 12 km,位于气流下沉区;坡度 0. 6°
	31012	82. 63°E, 45. 25°N	445	NW/SSE	坡度 2. 3°,周围地势起伏较大
	31013	82. 74°E, 45. 14°N	228	NW/SSE	艾比湖北岸湿地附近,湖周有梭梭柴、芦苇, 周围地势略有起伏,坡度为 1. 5°
哈密东南部	31014	94. 47°E, 42. 10°N	1 010	NE	312 国道旁,坡度仅 0. 7°
	31015	95. 25°E, 42. 41°N	1 173	NE	野马泉煤矿附近,南距浅山约 2 km。坡度仅 0. 3°
	31016	92. 13°E, 43. 38°N	1 274	NE	山前洪积扇盆地之中,西北侧距浅山约 3 km,坡度仅 0. 7°
淖毛湖	31017	94. 75°E, 43. 73°N	70	NW	位于山前冲积平原,呈西北—东南走向的条形台地之中, 距西南山约 13 km。坡度 1. 5°

注:坡度角的计算均按 1 km×1 km 范围内的地形高度取样,计算方法参见文献(辛渝等,2010)。

塔所在区域的地表在冬季很难形成稳定积雪。测风塔大多安置在盛行风向必经之处或略偏于盛行风向,测风环境完全能满足 WMO 对粗糙度计算时的代表性要求。

所有测风塔均采用中国华云气象科技集团公司生产的 CAWS1000-GWS 风能观测系统,该系统采用 EL15 型机械风标风向传感器观测梯度风,采样频率 10 Hz,观测分 70 m 高 4 层和 100 m 高 5 层两种,仪器安装在 10、30、50、70 和 100 m 高度上。系统除 30 m 高度上仅有风速观测外,其余每层均有风向、风速观测。风向准确度±5°,测量范围 0~360°;风速准确度±0. 3 m/s,测量范围 0~60 m/s。此外,10、70 m 还有温度和湿度测量,所用仪器是 VAISALA 公司的 HMP45D 型温湿度传感器,温度的准确度为±0. 2 ℃,湿度为±4%。8. 5 m 处有 PTB220 型数字气压传感器。所有要素观测均有质量控制码。每座塔均配有 1 s、3 s、2 min 以及 10

min 等不同时矩平均的 HY3160 数据采集处理器。

1. 2 资料预处理的必要性及处理流程

WMO(2008)推荐用 10 m 高度上 10 min 时距的风向风速,分季节按 30°宽风向扇区估算 z_0 (式(1)),该法需要借助大约 1 a 的资料统计气候学上的标准偏差,比较适用于地形开阔区域(平均风速为 4 m/s 以上、中性层结条件)的强风风速的计算,对每个扇区所有值的风速标准差(σ_u)与平均风速(U)的比值(σ_u/U)和风向标准差(σ_θ)进行平均,然后再按季节进行归类统计得到每个扇区的 z_0 。

由于新疆六大风区的盛行风向与地形走向基本一致,与天气气候系统的季节转换紧密相联,故在此不按 30°宽的风向扇区分类计算 z_0 ,而是简化为按照主、次风向分类计算,从大样本的气候学统计中凸显 z_0 对局地风场影响的主要特征。如此估算的 z_0 也可作为冬、夏季的代表。各风区主、次风向及成因见表 2。

表 2 新疆风区盛行风向及成因概述

Table 2 Primary wind directions and general description of their origin over Xinjiang wind areas

风区名	盛行风向	成因
达坂城	西北偏西和东南偏南风	辛渝等, 2010, 2015; 辛渝和陈洪武, 2014
小草湖(三十里风区)	全年盛行西北风	辛渝等, 2010, 2015; 辛渝和陈洪武, 2014
阿拉山口	西北偏西风 and 东南偏南风	辛渝等, 2010, 2015; 辛渝和陈洪武, 2014
额尔齐斯河	偏西和偏东	位于阿尔泰山脉南麓和塔尔巴哈台山与萨吾尔山之间的河谷冲积平原地带。在“狭管效应”作用下, 当冷空气入侵时, 形成偏西大风, 而冬季冷空气进入准噶尔盆地后, 在蒙古高压控制下, 出现东高西低气压场时, 出现偏东大风
十三间房(百里风区)	北风和西北风	位于博格达山东端尾间与巴里坤山西端交界的“喇叭口盆地”开口处。北方冷空气进入北疆由东流向天山南麓时, 在山谷“狭管效应”和冷空气翻山下坡加速共同作用下, 盛行强劲的北风和西北风
哈密东南部	东北风	位于东疆喀尔力克山东部余脉与东北—东南侧起伏不大的北山之间的平原之中。当强冷空气受到天山阻挡灌入塔里木盆地, 与部分翻越天山的冷空气汇集在一起时, 形成强劲大风
淖毛湖	西北风	位于东疆东天山支脉海拔高达 4 000 m 左右的莫钦乌拉山和阿尔泰山脉余脉之间的谷地之中, 受地形“狭管效应”影响, 以西北风为主, 也是冷空气从北疆进入哈密东南部风区的主要通道

用风速标准差确定 z_0 时, 不仅要考虑下垫面粗糙特性, 还需考虑风速和近地表流场的相互作用。在非均一下垫面上, 根据印痕理论, 测点测得的与湍量相关的物理量受到上游下垫面的影响。风速不同, 影响测点的上游区域也不同。因此, 直接应用 (1) 式估算 z_0 时, 会因风速的离散度过大而产生大的偏差, 使估算结果偏大。据资料分析, 有些测风塔在中性层结条件下 10 m 高度上的 10 min 平均的最高风速也可达 23 m/s 以上。对此, 参照风向标准差法对 z_0 估算时考虑的风向约束条件的限制, 对 (1) 式中利用风速标准差估算 z_0 时的风速也考虑约束控制。鉴于上述观点, 采用了如图 1 所示的资料预处理流程, 而后按 (1) 式进行估算。

$$\begin{cases} \frac{\sigma_u}{U} = C_u k \ln^{-1} \left(\frac{z}{z_0} \right), \\ \sigma_\theta = C_v k \ln^{-1} \left(\frac{z}{z_0} \right). \end{cases} \quad (1)$$

式中: σ_u 、 σ_θ 分别为风速标准偏差和风向标准差 (弧度制); U 为风速平均值; k 为 Karman 常数, 一般取 0.4; C_u 、 C_v 分别为风速风向测量系统的信号前处理系统对风速标准差和风向标准差的高频滤波值, 在未经滤波情况下, C_u 取 2.2, C_v 取 1.9; z 为测风仪的高度 (10 m); z_0 即为要估测的动力学粗糙度。

本套观测系统按照 WMO (2008) 推荐的《气象仪器和观测方法指南》设计要求, 峰值阵风需要对电压模拟信号采用 1 s 的一阶功率谱滤波和每 0.25 s 的模拟数字滤波转换。经过这种滤波后, 阵风测

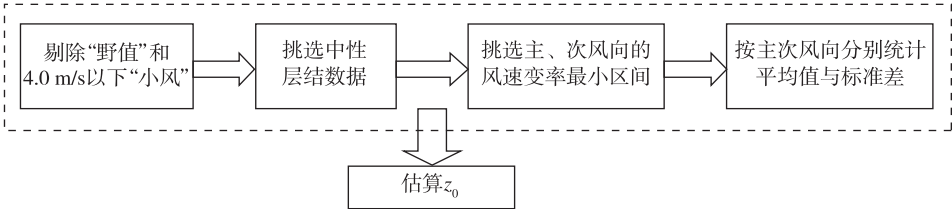


图 1 资料预处理流程
Fig.1 Preprocessing steps of data

量持续期为3 s(即极值风速测量值的时距),同时还能计算出2、10 min时距的平均风速和风向,滤波效果对这类风速标准差衰减率为12%,即 C_u 取1.94;对风向标准差的衰减为2%,即 C_v 取1.86。

1.3 资料预处理方法

1.3.1 “野值”判断依据

参照风电场风能资源评估方法(GB/T 18710—2002)和探测仪器各要素的极值范围,剔除10 min时距序列中的“野值”数据和10 m高度上平均风速小于4.0 m/s以下的数据。结果表明,除31006号测风塔从2009年6月—2010年12月的样本容量相对较多、较完整外,其余则为2010年1月—2011年12月共2 a的样本,样本容量较大。据此可用时段资料进行下一步数据处理。

1.3.2 中性层结判断依据

大气稳定度判识都需要特殊的梯度或脉动等气象观测资料。(1)式从形式上看,仅考虑常规气象观测中单层风的观测和强风条件的限制,其实是基于均匀地形上中性层结条件下只有纯机械湍流、湍流热通量为零的假设,根据 Monin-Obukhof(M-O)

相似理论推导而得的(Beljaars, 1987; 赵鸣等, 1991)。而本研究中的梯度资料恰满足大气稳定度参数计算需要,故在上述筛选资料基础上,根据同时刻10 m和70 m高度上的风速和温度资料,采用 Mohan and Siddiqui(1998)给出的整体理查逊数 R_{ib} 的计算方法和 Houghton(1985)分级准则,取 $-0.03 \leq R_{ib} < 0.026$ 为中性层结,以此筛选出中性层结条件下的样本资料估算 z_0 。值得说明的是,这里对大气稳定度的判别其实是基于26.5 m几何平均高度($\sqrt{10 \times 70}$ m)而言的。

1.3.3 变率最小风速区间的判识

将上述筛选的平均风速资料按递增排序,边增加样本数边求取相应风速段的标准偏差 σ_u 和平均风速 U ,并逐段比较各风速段的 σ_u ,取其标准差最小数据段(即风速变化幅度范围最稳定数据段)估算风速的粗糙度。计算分析结果表明,当测站风速控制在4~(6~9) m/s内所得 z_0 与风向标准差法最为接近,以此剔除离散度过大数据而得到相对客观的 z_0 估计值(表3)。

表3 测风塔处粗糙度估测值与MM5(WRF)和CALMET模式理论定义值的对比

Table 3 Comparison between the estimated roughness and the theoretically defined roughness in MM5(WRF) and CALMET models near the masts over Xinjiang wind areas

测风塔	MM5(WRF) 对下垫面的 分类	MM5(WRF) 夏季 z_0 取值/ cm	MM5(WRF) 冬季 z_0 取值/ cm	CALMET 对下垫面的 分类	CALMET z_0 取值/cm	主风向 z_0 估测值/cm	次风向 z_0 估测值/cm	风速标准差 法 z_0 估测值/ cm	风速取值 区间/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
31001	旱田、牧场	15 ¹⁾	5 ¹⁾	牧场、湿地	5	9.2	5.0	8.3	4.0~9.0
31002	灌木	10	2	流域	0.1 ¹⁾	8.2		10.0	4.0~8.0
31003	旱田、牧场	15 ¹⁾	5 ¹⁾	流域	0.1 ¹⁾	1.8	2.2	2.7	4.0~7.0
31004	灌木	10	2	流域	0.1 ¹⁾	0.2		6.0	4.0~7.0
31005	灌木	10	5	牧场、湿地	5	2.1		2.0	4.0~6.0
31006	城市	80 ¹⁾	80 ¹⁾	牧场、湿地	5	4.4		5.5	4.0~6.5
31007	农田、草地	14	5	牧场、湿地	5	5.0		3.9	4.0~7.0
31008	旱田、牧场	15 ¹⁾	5 ¹⁾	牧场、湿地	5	3.2	8.2	2.0	4.0~6.0
31009	农田、草地	14	5	农田	25 ¹⁾	8.2	2.1	6.5	4.0~7.0
31010	旱田、牧场	15 ¹⁾	5 ¹⁾	农田	25 ¹⁾	2.0	0.2	4.6	4.0~7.0
31011	旱田、牧场	15 ¹⁾	5 ¹⁾	流域	0.1 ¹⁾	1.2		1.4	4.0~6.0
31012	旱田、牧场	15 ¹⁾	5 ¹⁾	牧场、湿地	5	6.9	8.2	7.2	4.0~7.0
31013	旱田、牧场	15 ¹⁾	5 ¹⁾	牧场、湿地	5	5.0		6.1	4.0~7.0
31014	灌木	10	2	牧场、湿地	5	3.8		5.5	4.0~6.5
31015	灌木	10	2	牧场、湿地	5	8.0	4.0	8.1	4.0~9.0
31016	灌木	10	2	牧场、湿地	5	11.0	1.1	8.7	4.0~8.0
31017	农田、草地	14	5	牧场、湿地	5	5.4	2.1	4.5	4.0~6.5

注:1)表示该值是由模式采用的 landuse 基数据有误造成。

2 结果分析

2.1 不同分类体系中 z_0 定义值的对比以及分类集数据合理性验证

表 3 也给出了过去 MM5 (WRF) 水平分辨率为 3 km、CALMET 为 1 km 时的数值模式 (辛渝和陈洪武, 2014; 辛渝等, 2015) 在测风塔附近的 z_0 定义值。可见, 正如前述, 对同一测风塔区域而言, 因采用的地表分类体系不同以及使用的 landuse 集不同, 除冬季 MM5 (或 WRF) 模式中采用 USGS24 分类得到的 z_0 定义值在 31001、31005、31007、31008、31012、31013 和 31017 测风塔附近略接近 CALMET 采用 BATS12 类分类得到的 z_0 定义值外, 夏季无一接近。且结合表 1 可见, 两模式采用的 landuse 静态数据在对风区下垫面进行分类时, 都有明显错分现象, 如 MM5 (WRF) 中将 31006 区域的下垫面归到城市类别, 将阿拉山口风区及其他一些测风塔区域归为旱田或草地等 (以至于表 3 中模式所定义的 z_0 理论定义值偏大), 以及 CALMET 将 31009 和 31010 所在区域分类为农田, 将 31002、31003、31004 以及 31011 区域分类为流域等。

2.2 基于风向标准差估算的粗糙度值

通过计算各扇区风向频率发现, 中性层结条件下的风向多是盛行风向, 只不过一些测风塔处只有一个与沟谷平行的主风向, 如“三十里风区”、“百里风区”、阿拉山口风区的上风口等强风区; 而另一些有一个相对的与沟谷走向接近平行的次多风向, 相对前者风力而言, 属于新疆的“和风”区域, 除了与大尺度控制下的气压场活动相联系外, 还与局地微尺度环流有关, 如 31001、31003、31008、31013 号区域临近水体或“湿地”, 受到了“湖 (水) 陆风效应”叠加的影响, 估算的 z_0 大小在主风向和次风向上相差悬殊, 与过去揭示的这些区域风场受多尺度局地环流影响的判识结论一致 (辛渝等, 2015)。哈密东南部的 31015、31016 区域因接近山体, 主风向 z_0 明显大于次风向; 额尔齐斯河 31009 测风塔和淖毛湖风区 31017 测风塔区域所处环境坡度起伏较大, 主、次风向上的 z_0 差异十分显著。上述结果均与实际测风环境相符。综合对比所有测风塔处基于风向标准差估算的 z_0 来看, “三十里风区”、“百里风区”、阿拉山口风区主风道区域、淖毛湖风区等的 z_0 均十分小, 明显小于中尺度模式夏季定义的 z_0 。

从估算的主风向的 z_0 与中尺度模式理论定义值的对比可见, 除了因采用的 landuse 集存在错分而

使估算值与理论定义值相距甚大外, 其余测风塔主风向 z_0 估算值大多接近模式的冬、夏季理论定义值。总体而言, 夏季中尺度模式 z_0 理论定义值普遍略大于估测值; 中尺度模式在 31010、31015、31016 区域中的 z_0 定义值与估算的主风向 z_0 值相近, 但与次风向上的 z_0 估算值相距甚大, 这是由测点区域的非均匀性决定的。

与 CALMET 中的 z_0 理论定义值相比, 也是除了错误分类区域外, 模式中的理论定义值与主风向上 z_0 估算值之间也基本接近。

为了客观比较 MM5 (WRF) 模式中夏、冬季及 CALMET 中的 z_0 理论定义值与基于风向标准差法估算的 z_0 的差异, 采用了非参数化的 Kruskal Wallis 秩和检验, 在 0.05 显著性水平上, 在 31001、31003、31006、31008、31010、31011、31012 和 31013 测风附近, 无论冬、夏, MM5 定义的粗糙度都与风向风速标准差方法估算的粗糙度存在较为明显的差异; CALMET 定义的粗糙度与风向风速标准差方法估算的粗糙度存在较为明显差异的有 31002、31003、31004、31009、31010 和 31011 站。这种显著性差异是由模式中采用的 landuse 分类基数据的错误判断引起的。

2.3 基于适用性改进的风速标准差估算的粗糙度值

从表 3 可见, 采用风速极大值约束方法后, 31001、31002、31005、31006、31007、31008、31011、31013、31015 和 31017 等 10 个测风塔, 风速标准差估算的粗糙度与风向标准差估算的主风向的 z_0 值较接近; 31012 测风塔处风速标准差估算的 z_0 值与主风向、次强风方向的估算值都比较接近。这表明风速极大值约束效果显著。经非参数化的 Kruskal-Wallis 秩和检验表明, 在 0.05 显著性水平上, 主风向上的估算值与采用了风速约束条件后所得的估算值, 是有显著差异的。最大的区别是对“三十里风区”的估算上 (基于风向标准差法的估算过小)。鉴于基于风向标准差法的估算, 侧重于微单元的几何形态上, 风速标准差法侧重于与下垫面与近地层环境流场的相互作用上, 实际中, 有必要将两者结合起来综合判断。

3 粗糙度估测值的适用性讨论

上述基于风向风速标准差法对 z_0 的估计, 按照 Mohan and Siddiqui (1998) 定义的根据整体理查逊数判断层结稳定性的方案, 均是在测风塔约 26.5 m

高度上、气层为中性条件下估算出来的。图2给出了基于整体 Richards 数 R_{ib} 确定的新疆风区测风塔处中性、稳定及不稳定3个等级的概率分布($R_{ib} < -0.036$ 为不稳定, $R_{ib} > 0.026$ 为稳定)。可见,大部份测风塔所在区域以中性层结居多,稳定层结次之,少数以稳定层结最多,不稳定层结次之,大多数情况下并非呈中性,因此这种以气候上的小概率样本来估计的 z_0 ,会在使用上造成很大误差,普适性受到了一定限制。如达坂城风区31001号测风塔区域中性条件仅约10%左右;而相对气层呈中性等级多的区域,如“三十里风区”、“百里风区”等强风区域用此方法估算的 z_0 就较具有一定代表性。

4 结论与讨论

本研究利用新疆风能资源详查期布设的17座测风塔梯度风资料,按风向风速标准差法估算了测站上、下游一定范围内的动力学粗糙度,并与数值模式中的动力学粗糙度理论定义值进行了对比,主要结论有:

1)除了采用的 landuse 基数据在一些区域的错误判断而导致中、小尺度模式中的动力学粗糙度理论定义值与本研究的估测值有较大差别外,大多数彼此间略接近,说明今后有必要对这些区域的 landuse 进行客观订正。

2)强风区估算的动力学粗糙度值普遍比模式中夏季定义的理论动力学粗糙度值偏小。基于主、次风向标准差估算的动力学粗糙度与基于风速标准差法估算的粗糙度并无显著差异。

3)对于主、次风向上的动力学粗糙度值极不均一区域,实际中基于风向标准差与风速标准差法得到的粗糙度需结合使用。

本研究是基于中性层结条件下对测风塔所在区域的动力学粗糙度进行估计的,而一些区域大多是以稳定或不稳定层结条件下存在的,使本研究估算的动力学粗糙度的普适性受到一定限制,需区分使用。另外,今后有必要采用风廓线法对动力学粗糙度进行估算与对比;对于测风塔上设有三维超声风的也可采用涡动相关法进行佐证。地表动力学粗糙度的取值对风的预报影响极大,能否在中尺度与微尺度诊断风场耦合的精细化风场预报模式中,将微尺度模式中的动力学粗糙度替换成与估算动力学粗糙度相近的值以改进风场预报效果,值得研究。

参考文献(References):

- Beljaars A C M.1987.The influence of sampling and filtering on measured wind gusts[J].J Atmos Ocean Technol,4:613-626.
- Burian S,Stetson S W,Han W S,et al.2004.High-resolution dataset of urban canopy parameters for Houston,Texas[C]//Fifth Conference on Urban Environment.Vancouver,Canada.
- 陈家宜,王介民,光田宁.1993.一种确定地表粗糙度的独立方法[J].大气科学,17(1):21-26. Chen Jiayi, Wang Jiemin, Guang Tianning. 1993. An Independent method to determine the surface roughness length[J].Chinese J Atmos Sci,17(1):21-26. (in Chinese).
- Davenport A G.1960.Rationale for determining design wind velocities[J].Journal of the Structural Division,86(5):39-68.
- Frey K E,Smith L C.2007.How well do we know northern land cover? Comparison of four global vegetation and wetland products with a new

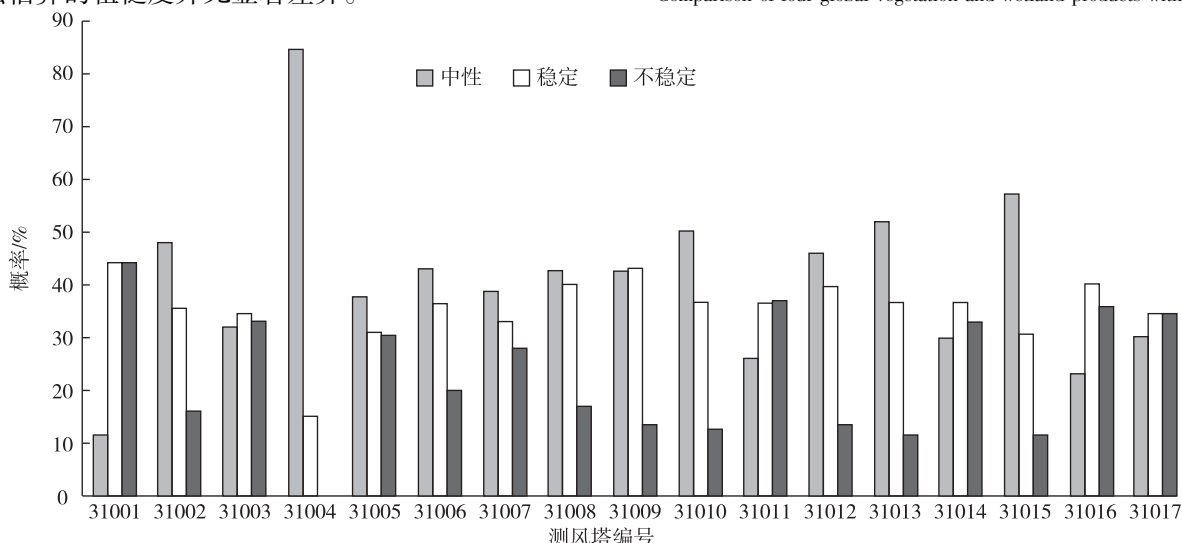


图2 新疆风区测风塔附近气层稳定性的概率分布

Fig.2 Probability distribution of atmospheric stability condition near the masts over Xinjiang wind areas

- ground-truth database for West Siberia[J]. Global Biogeochemical Cycles, 21(1): 1435-1440.
- 宫鹏. 2009. 基于全球通量观测站的全球土地覆盖图精度检验[J]. 自然科学进展, 19(7): 754-759. Gong Peng. 2009. Evaluation on the precision of global land cover mapping based on FLUXNET [J]. Progress in Natural Science, 19(7): 754-759. (in Chinese).
- Herold M, Mayaux P, Woodcock C E, et al. 2008. Some challenges in global land cover mapping: An assessment of agreement and accuracy in existing 1 km datasets [J]. Remote Sensing of Environment, 112(5): 2538-2556.
- Houghton D D. 1985. Handbook of applied meteorology [M]. New York: Wiley.
- 胡文超, 张文煜, 张宇, 等. 2010. 河西走廊下垫面粗糙度实测值与模拟值的差异性分析[J]. 高原气象, 29(1): 51-55. Hu Wenchao, Zhang Wenyu, Zhang Yu, et al. 2010. Variance analysis on the simulated and observed values of underlying surface roughness in Gansu Corridor [J]. Plateau Meteor, 29(1): 51-55. (in Chinese).
- 刘和平, 刘树华, 朱廷曜, 等. 1997. 森林冠层空气动力学参数的确定[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 33(4): 522-538. Liu Heping, Liu Shuhua, Zhu Tingyao, et al. 1997. Determination of aerodynamic parameters of Changbai mountain forest [J]. Acta Sci Naturalium Univers Pekinensis, 33(4): 522-538. (in Chinese).
- Martano P. 2000. Estimation of surface roughness length and displacement height from single-level sonic anemometer data [J]. J Appl Meteor, 39(5): 708-715.
- Mohan M, Siddiqui T A. 1998. Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification [J]. Atmos Environ, 32(21): 3775-3781.
- 邱玉珺, 吴风巨, 刘志. 2010. 梯度法计算空气动力学粗糙度存在的问题[J]. 大气科学学报, 33(6): 697-702. Qiu Yujun, Wu Fengju, Liu Zhi. 2010. Problem of the gradient method to study aerodynamic roughness [J]. Trans Atmos Sci, 33(6): 697-702. (in Chinese).
- Rotach M W. 1994. Determination of the zero plane displacement in an urban environment [J]. Boundary-Layer Met, 67(1/2): 187-193.
- Takagi K, Miyata A, Harazono Y, et al. 2003. An alternative approach to determining zero-plane displacement, and its application to a lotus paddy field [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 115(3): 173-181.
- Thom A S. 1971. Momentum absorption by vegetation [J]. Quart J Roy Meteor Soc, 97(414): 414-428.
- Sedano F, Gong P, Ferrão M. 2005. Land cover assessment with MODIS imagery in southern African Miombo ecosystems [J]. Remote Sensing of Environment, 98(4): 429-441.
- Wiernga J. 1993. Representative roughness parameters for homogeneous terrain [J]. Boundary-Layer Met, 63(4): 323-363.
- World Meteorological Organization. 2008. Guide to meteorological instruments and methods of observation (The 7th Edition) [M]. Geneva: Publications Board World Meteorological Organization (WMO).
- 辛渝, 陈洪武. 2014. XJROC/CALMET 及 CALMET 不同参数调整对达坂城—小草湖区风场预报影响[J]. 高原气象, 33(6): 1674-1686. Xin Yu, Chen Hongwu. 2014. Influence of CALMET parameter adjustment in the XJROC coupling of CALMET over Dabanchen-Xiaocaohu wind area [J]. Plateau Meteor, 33(6): 1674-1686. (in Chinese).
- 辛渝, 汤剑平, 赵逸舟, 等. 2010. 模式不同分辨率对新疆达坂城—小草湖风区地面风场模拟结果的分析[J]. 高原气象, 29(4): 884-893. Xin Yu, Tang Jianping, Zhao Yizhou, et al. 2010. Simulation of surface wind using MM5 model with different resolutions—A case study of Dabancheng and Xiaocaohu wind farms from April to September 2006 [J]. Plateau Meteor, 29(4): 884-893. (in Chinese).
- 辛渝, 王澄海, 沈元芳, 等. 2013. WRF 模式对新疆中部地面总辐射预报性能的检验[J]. 高原气象, 32(5): 1368-1381. Xin Yu, Wang Chenghai, Shen Yuanfang, et al. 2013. Forecast examination of surface global horizontal irradiance over middle of Xinjiang using WRF model [J]. Plateau Meteor, 32(5): 1368-1381. (in Chinese).
- 辛渝, 于晓晶, 陈洪武. 2015. 两种背景场改进方案对新疆“狭管”风区风场预报性能评估[J]. 中国沙漠, 35(4): 994-1005. Xin Yu, Yu Xiaojin, Chen Hongwu. 2015. Verification of wind forecasts at Funneling wind area in Xinjiang by two background field improving schemes [J]. Journal of Desert Research, 35(4): 994-1005. (in Chinese).
- 叶丽梅, 江志红, 霍飞. 2014. 南京地区下垫面变化对城市热岛效应影响的数值模拟[J]. 大气科学学报, 37(5): 642-652. Ye Limei, Jiang Zhihong, Huo Fei. 2014. Numerical simulation of the impact of land cover change on the urban heat island effect in Nanjing [J]. Trans Atmos Sci, 37(5): 642-652. (in Chinese).
- 赵鸣, 苗曼倩, 王彦昌. 1991. 边界层气象学教程 [M]. 北京: 气象出版社. Zhao Ming, Miao Manqian, Wang Yanchang. 1991. Boundary-layer Meteorology [M]. Beijing: China Meteor Press. (in Chinese).

(责任编辑: 孙宁)