

文昌站浅层风特征分析

田博文, 张 阳

威海市气象局, 山东 威海

收稿日期: 2026年5月9日; 录用日期: 2026年7月15日; 发布日期: 2026年7月22日

摘 要

为了提升浅层风预报的准确度, 本文利用2015~2020年文昌市龙楼地面常规气象观测资料, 采用四季划分法、统计方法和相似理论方法, 对浅层风的时空变化特征进行分析, 总结文昌市龙楼的浅层风分布规律及其影响系统。文昌市龙楼的最大风常出现在11、12月, 9月为风速最小的月份, 除4月处于季节转换期, 风速较大, 整体风速分布呈现“冬春大, 夏秋小”的特点; 风速昼夜变化明显, 白天大, 夜晚小。根据季节变化, 将文昌市龙楼不同高度层的浅层风垂直变化特征分为三类: 近似线性分布、单波型分布和双波型分布, 风速廓线分布符合对数-线性规律, 春季呈现近似线性分布, 夏秋两季呈现单波型分布, 冬季呈现双波型分布。筛选研究区域的浅层风大风天气, 获取浅层风大风日数数据, 总结大风日数的分布规律, 分析出现大风日时影响该地区的天气系统。研究区域内的大风日主要分布在11、12、1月, 夏秋季节大风日较少。影响文昌浅层风天气的天气系统主要有冷空气、低槽系统、热带气旋以及热带气旋与冷空气共同影响等。总结天气系统带来的强浅层风天气, 研究结果可以为场区航天器发射时提供参考。

关键词

文昌, 浅层风, 风速廓线, 风场特征

Analysis of the Characteristics of Near-Surface Wind in Wenchang

Bowen Tian, Yang Zhang

Weihai Meteorological Office of Shandong Province, Weihai Shandong

Received: May 9, 2026; accepted: July 15, 2026; published: July 22, 2026

Abstract

In order to improve the accuracy of shallow wind prediction, this paper uses the conventional surface meteorological observation data of Longlou in Wenchang from 2015 to 2020, adopts the method of four seasons division, statistical method and similarity theory method to analyze the

temporal and spatial variation characteristics of shallow wind, and summarizes the distribution law and influence system of shallow wind in Longlou in Wenchang. The highest wind speed in Longlou of Wenchang City usually occurs in November and December, and September is the month with the lowest wind speed. In April, due to the seasonal transition period, the wind speed is high, and the overall wind speed distribution presents the characteristics of “winter and spring are high, summer and autumn are low”. Wind speed changes significantly day and night, big in the day and small at night. According to seasonal change, the different level of Wenchang dragon floor vertical variation characteristics of shallow wind is divided into three categories: the approximate linear distribution, single wave distribution and double wave type distribution, distribution of wind speed profile in log-linear rule, the spring and autumn season two presents the approximate linear distribution, summer present single-wave type distribution, and presents the double wave type distribution in winter. The shallow wind and gale weather in the study area was screened, the data of the shallow wind and gale days were obtained, the distribution rule of the gale days was summarized, and the weather system affecting the region when the gale days appeared was analyzed. The gale days in the study area were mainly distributed in November, December and January, and there were few gale days in summer and autumn. The main weather systems affecting the shallow wind weather in Wenchang include cold air, low trough system, tropical cyclone and the combined effect of tropical cyclone and cold air. The strong shallow wind weather caused by the weather system is summarized. The research results can provide reference for the launch of spacecraft in the field area.

Keywords

Wenchang, Near-Surface Wind, Wind Profile, Wind Field Characteristics

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

文昌龙楼位于海南岛东北角，三面临海，北部为琼州海峡，东部、南部均为南海，因此影响海南岛的天气系统都会对发射场区产生较为重大的影响，而文昌龙楼作为我国航天发射场中唯一一座低纬度滨海发射基地，具有靠近赤道线速度大、惯性离心力大的特点，能够大幅度减少火箭发射时的燃料载重，此外，文昌龙楼还具有海运发达、靠近港口的优势，能够通过海运运输巨型火箭到达发射场地，具有其他发射基地不具备的巨大交通优势。浅层风是近地面层中的风，近地面层是大气边界层中最接近地表的部分，距离地表约 10~100 米的大气。在航天发射任务中，火箭在垂直转运和加注发射阶段，如遇到强浅层风天气，可能会影响到航天发射任务的成败。在神州一号至神州六号的发射任务中，已有四次任务转运因浅层风不满足气象条件而改变垂直转运窗口，因此浅层风预报一直是航天气象任务保障的重点，对浅层风进行分析意义重大[1]。

因此，研究文昌航天发射场场区的浅层风的特征并进行分析，及时预报极端浅层风天气，并对其进行预报保障，规避风险，对未来航天器发射具有十分重要的科学意义和实际应用价值。

2. 研究概况

箭船组合体垂直转运(以下简称垂直转运)是航天发射任务中的一个重要环节，90 m 以下的浅层风是影响火箭垂直转运的关键气象要素。火箭发射塔上的箭船组合体的垂直高度约为 70 m，气象条件规定垂直转运时 80 m 以下浅层风风速不能超过 10 m/s。国内许多学者对影响文昌发射场的气象条件的分析多集

中于强降水、雷暴、暴雨、台风等方向, 针对浅层风的研究相对较少。能够给文昌发射场带来强降水和大风天气的天气系统主要包括冷空气锋面系统、季风系统、热带气旋、副热带高压、南海低压槽等, 非台暴雨全年的发生次数分布呈现显著的“准双峰”型特征, 主峰区为 9~10 月, 次峰区为 5~6 月, 此时段同时也是大风天气发生的波峰时期[2]。黄秋如等根据雷暴观测资料总结出文昌发射场雷暴的高发时段为每年 4 月至 10 月, 与汛期时间相吻合, 每天 13 时至 20 时的发生频率较高, 而大风天气也常与雷暴天气在相近时段出现[3]。高焱等进一步细化了文昌发射场的时空分布特征, 发射场北部存在较强的雷暴区, 一天中闪电的发生有两个高峰时段, 一个出现在凌晨 5 时到 6 时, 另一个时段出现在 14 时到 18 时, 午后 15 时是闪电活动最频繁的时段, 而午后 15 时左右同样也是一天中风速较大的时段之一[4]。

此外, 国内外学者对风的变化特征方向的关注也日益增多。徐艳琴等[5]采用线性趋势分析法和 Mann-Kendall (M-K) 突变检验法探究乌拉特中旗的风气候特征分析, 发现该地区 1971~2019 年平均风速和最大风速年际变化均呈现减小趋势, 年内变化呈现明显双峰状分布, 3~6 月和 9~11 月为波峰。赵洪伟等利用 2008~2014 年 CFL20G 风廓线雷达数据对科尔沁草原高空风场垂直特征进行研究, 分析发现四季中高空 20~40 m/s 风速出现的频率最高, 风速的最大值出现的季节随高度的升高而明显不同[6]。刘小雪等采用线性回归分析和 Mann-Kendall (M-K) 突变检验法, 发现廊坊市南部地区平均风速略大于北部和中部地区, 南部地区主导风向以偏南风或西南风为主, 北部地区常年主导风向以西北风和偏东风为主, 中部地区以偏北风和西南风为主[7]。洪卓华等应用气候倾向率和相关性等方法对近 10 年青南地区的风进行了系统的研究分析, 发现青南地区 14 站近 10 年的平均风速为 2 m/s, 平均风速最大值出现在 2、3 月, 最小值出现在 9、10 月[8]。马成芝等对喀左县 1961~2010 年的气象资料进行统计分析发现喀左县的风速呈现线性减少的趋势[9]。郑玉萍等统计分析达坂城 1961~2008 年的风气候特征, 发现一日之中 17~18 时风速最大, 07~08 时最小; 一年之中 4~5 月风速最大, 9~10 月风速最小[10]。付小平等通过地面观测资料统计分析, 发现荆州市一年中春季和夏季的平均风速较大, 秋季和冬季的平均风速较小, 平均风速的地理分布差异不十分显著[11]。关于国内一些地区的浅层风和高空风气候变化的研究较多, 但是关于文昌龙楼地区的浅层风的研究较少。

火箭组装测试后, 通常采用水平转运和垂直转运两种方式运往发射平台, 由于水平转运方式较为简单, 因而在航天技术发展的早期多被各国采用。随着技术的发展, 垂直转运方式开始成为箭船组合体转运的主要方式。垂直转运能够最大限度地保持火箭及航天器的状态不变, 提高测试的可靠性和安全性。文昌航天发射场采用了垂直总装、垂直测试、垂直转场的“新三垂”测发模式, 对火箭垂直转运过程中的浅层风要求更加严格。如果火箭在垂直转运和加注发射阶段遇到强浅层风天气, 可能会导致航天发射任务的失败[1]。当前我国气象条件规定垂直转运时 80 m 以下浅层风风速不能超过 10 m/s, 因此对浅层风过程进行预报和研究, 利用浅层风探测数据与地面风进行对比分析, 分 6 个层次分别进行统计分析, 得出各高度层浅层风的年、季、月、日变化规律, 浅层风风速廓线和不同气团控制的浅层风垂直结构, 归纳不同浅层风天气下的天气学概念模型至关重要。精准预报箭船组合体垂直转运过程当中强浅层风天气, 保障垂直转运的正常进行, 是我国气象预报的重中之重。

3. 资料与方法

3.1. 研究区域概况

文昌市龙楼位于海南岛东北部, 地处北纬 19°21'~20°01', 东经 110°28'~111°03'之间, 是突出于琼州海峡的著名海角, 三面临海, 北部为琼州海峡, 东部、南部均为南海, 属半丘陵地带, 平均海拔高度为 20 米。该研究区域属热带北缘沿海地带, 属热带季风海洋型气候, 地处东西风带频繁交替的天气气候带, 夏长而冬暖。

3.2. 资料概况

本文选取文昌龙楼 2015~2020 年的 10 m、20 m、35 m、50 m、70 m、90 m 高度的风向风速数据。季节划分为 3、4、5 月为春季, 6、7、8 月为夏季, 9、10、11 月为秋季, 12、1、2 月为冬季。

3.3. 研究方法

如前文所述, 海南岛地处东亚季风区南缘, 除受到冷空气、低压槽、热带气旋等天气系统的影响, 太阳辐射、大气环流等气象要素在不同季节也存在较大差异。因此浅层风不仅受气候特征的影响, 还受到太阳辐射、地形、天气等因素的影响。故本文采用常规的四季划分方法, 选取 2015 年至 2020 年文昌市浅层风作为研究对象, 利用地面常规气象观测资料对风速和风向进行统计, 分析该地区时间变化特征和空间分布特征, 从而筛选分析研究区域内的浅层风大风天气, 并分析其大风日数的影响天气系统。

4. 结果分析

4.1. 浅层风的时空变化特征

本文将浅层风特征分时间和空间两个维度进行分析。

4.1.1. 浅层风的时间变化特征

本节主要通过逐层(10 m, 20 m, 35 m, 50 m, 70 m, 90 m)分析浅层风的时间变化特征, 包括年际变化特征、年变化特征、月变化特征、日变化特征, 从而获得文昌地区的浅层风的时间变化特征, 以期为后续任务提供参考。

1) 年际变化特征

由图 1 可见, 在 10 m 和 20 m 高度上, 自 2015 至 2019 年年风速大小整体呈明显下降趋势; 在 35 m 高度上, 风速大小呈下降趋势, 在 2019 年和 2020 年风速略有上升; 在 50 m 高度上, 除 2018 年风速大小偏低, 整体仍呈现明显下降趋势; 在 70 m 和 90 m 高度上, 风速大小在 2017 年达到谷值, 最小值约为 5.2 m/s, 在 2019 年和 2020 年仍有略微上升趋势, 但整体依然呈现出下降趋势。综合 6 个高度层上的风速可得, 各不同高度层上的风速大小均随时间变化呈现整体下降趋势。

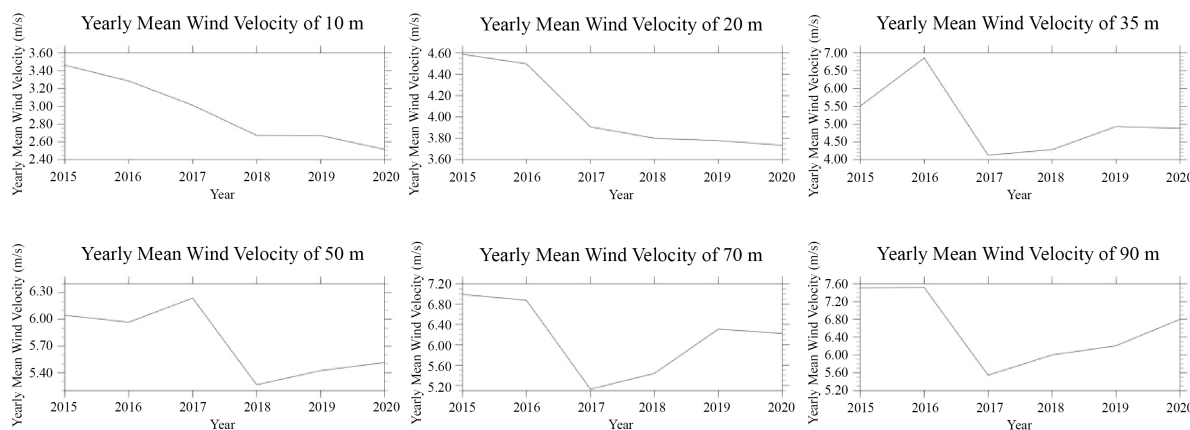


Figure 1. Characteristics of wind speed changes at various altitudes from 2015 to 2020

图 1. 2015~2020 年各高度层上风速变化特征

2) 年变化特征

由图 2 可见, 各高度上的风速随高度增大而增大, 10 m 高度上, 4~7 月及 12 月风速较大, 均达到

3.2 m/s 以上, 风速极值出现在 4 月, 风速达到 3.5 m/s, 风速最小值出现在 9 月, 为 2.3 m/s; 20 m 高度上, 4~7 月风速较大, 均达到 4 m/s 以上, 风速极值出现在 12 月, 风速达到 4.7 m/s, 风速最小值也出现在 9 月; 35 m 高度上, 风速在 7 月出现峰值, 风速达到 6.2 m/s, 风速谷值出现在 12 月, 风速达到 4.6 m/s; 50 m 高度上, 4~7 月及 11、12 月风速较大, 均达到 5.6 m/s 以上, 风速极值出现在 12 月, 风速达到 6.6 m/s, 风速最小值出现在 8、9 月, 为 4.5 m/s; 70 m 高度上, 2~7 月风速较大, 均达到 6.4 m/s 以上, 风速极值出现在 4 月, 风速达到 7.1 m/s, 风速最小值出现在 8、9 月, 为 5.3 m/s; 90 m 高度上, 2~7 月风速较大, 均达到 6.8 m/s 以上, 风速极值出现在 4 月, 风速达到 7.5 m/s, 风速最小值出现在 8 月, 为 5 m/s。

除 35 m 高度外, 其他高度层风速变化特征较为统一, 4、6、7 月及 12 月为全年风速最大的月份, 8、9 月为全年风速最小的月份, 最大风速多出现在 4 月和 12 月, 最小风速常出现在 9 月。总体呈现冬夏大, 春秋小的分布特点。35 m 高度上, 风速最大值出现在 7 月。其次, 4 月风速较大, 这主要是因为 4 月处于季节转换期间, 风速较大。与冬春大, 夏秋小的风速特点基本吻合。

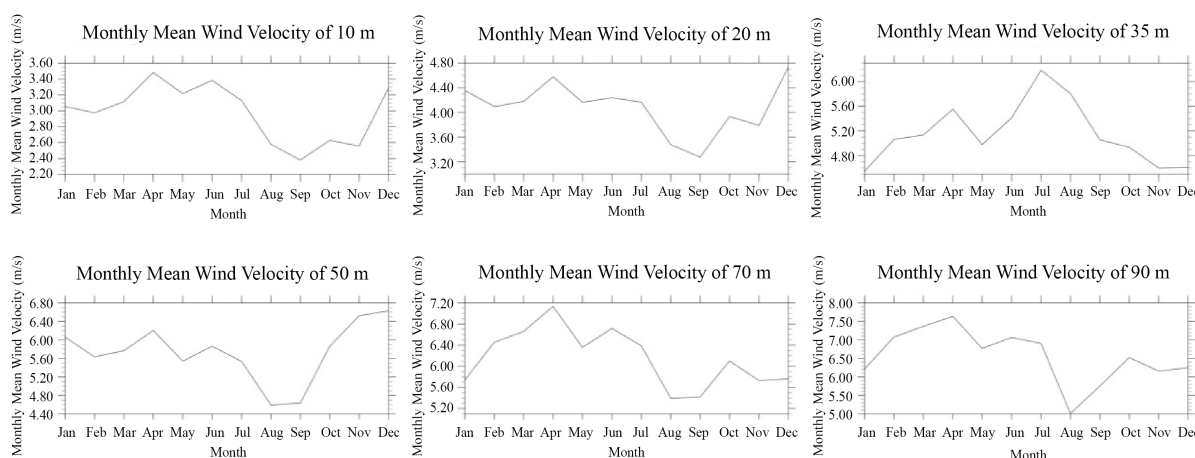


Figure 2. Characteristics of monthly average wind speed variations at different height levels from 2015 to 2020

图 2. 2015~2020 年月平均风速在各高度层上的变化特征

3) 月变化特征

由图 3 可见, 一月之内各高度层上的风速的峰值和谷值出现的时间大致相同, 呈现出整体稳定多波动的特征。每月的 2、9、19、23 日及其前后一两天是波峰出现的高峰期, 风速较大, 但总体上仍保持较为稳定统一的风速变化特征。各高度层上的平均风速大小随高度升高均匀增大, 10 米高度平均风速为 3.3 m/s, 20 米高度平均风速为 4.5 m/s, 35 米高度平均风速为 5.7 m/s, 50 米高度平均风速为 6.1 m/s, 70 米高度平均风速为 6.6 m/s, 90 米高度平均风速为 6.9 m/s, 高度越高, 风速增减小。

由图 4 可见, 10 m 高度风速整体呈现波动下降态势, 2、9、18、24 日为风速波峰, 6、11、22、27 日为风速波谷, 10 m 高度上风速极值为 3.4 m/s, 谷值为 2.7 m/s, 差值为 0.7 m/s。

由图 4 可见, 20 m 高度风速整体呈现波动下降态势, 2、8、18 日为风速波峰, 6 日和 22 日为风速波谷, 20 m 高度上风速极值为 4.5 m/s, 谷值为 3.7 m/s, 差值为 0.8 m/s。35 m 高度风速整体呈现波动下降态势, 2、9、18、24 日为风速波峰, 6 日和 22 日为风速波谷, 35 m 高度上风速极值为 5.8 m/s, 谷值为 4.7 m/s, 差值为 1.1 m/s。50 m 高度风速整体呈现波动下降态势, 2、9、18、24 日为风速波峰, 6 日和 22 日为风速波谷, 50 m 高度上风速极值为 6.3 m/s, 谷值为 5.3 m/s, 差值为 1.0 m/s。70 m 高度风速整体呈现波动下降态势, 2、9、18、24 日为风速波峰, 6 日、22 日和 27 日为风速波谷, 70 m 高度上风速极

值为 6.9 m/s, 谷值为 5.7 m/s, 差值为 1.2 m/s。90 m 高度风速整体呈现波动下降态势, 波峰高度逐渐降低, 2、9、18、24 日为风速波峰, 6 日和 21 日为风速波谷, 90 m 高度上风速极值为 7.3 m/s, 谷值为 6.1 m/s, 差值为 1.2 m/s。

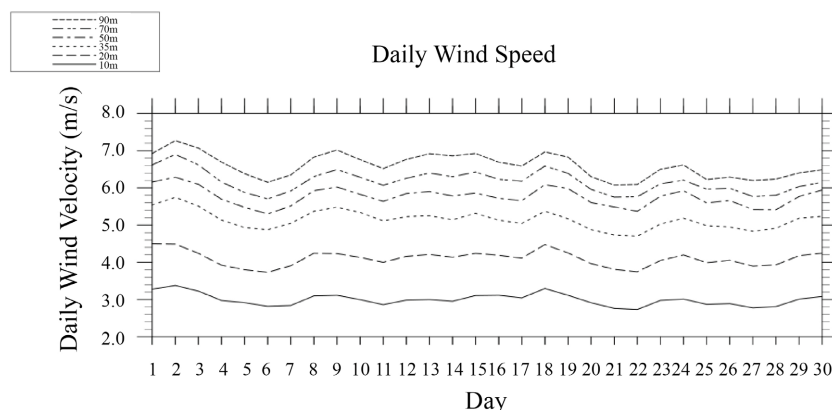


Figure 3. Changes in daily average wind speed at various altitudes from 2015 to 2020

图 3. 2015~2020 年各高度上日平均风速变化

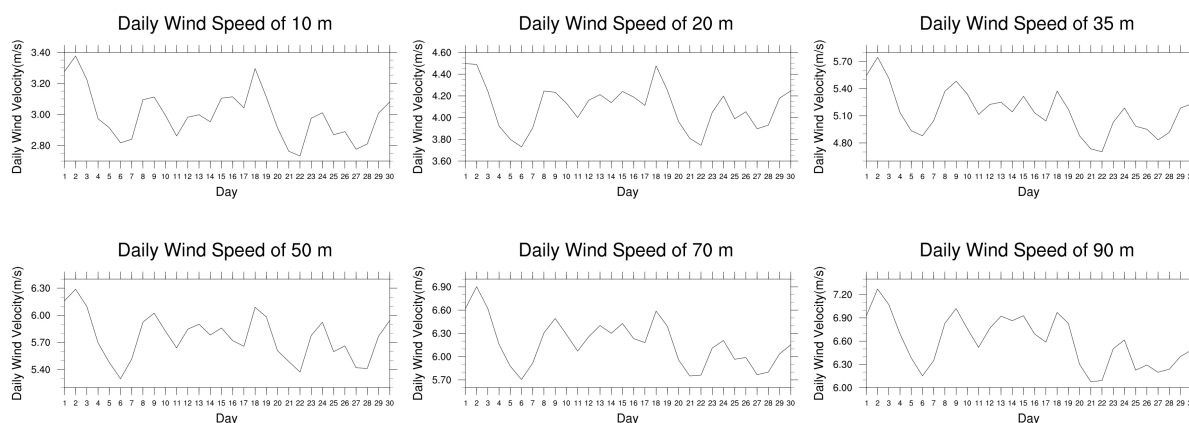


Figure 4. The variation characteristics of the daily average wind speed at different altitudes from 2015 to 2020

图 4. 2015~2020 年日平均风速在不同高度上的变化特征

4) 日变化特征

各高度层上的日平均风速变化呈钟形分布, 每天的 13 时为当日风速最大值, 底层风速极值较其他时次较大, 在 50 米高度往上, 风速极值大小和其他时间的风速大小差值较小。在低高度的高度上, 风速极值变化较大, 随高度升高, 风速极值的变化较其他时次较小。

风速昼夜变化明显, 每天白天(6 时至 19 时)为风速较大的时段, 夜间(19 时至翌日 6 时)风速相对较小且变化不明显。白天风速在 13 时前处于增大阶段, 且增速慢慢变缓, 13 时至 19 时风速处于减小阶段, 且减小速度慢慢增大, 直至与夜间风速持平时, 风速保持不变。引起风速日变化明显的原因主要是白天日出后, 地表开始接收太阳辐射增温, 湍流活动增强, 高层风向下层输送动能, 尤其在午后时, 动能输送最大, 风速增速也到达一天中的最大值, 因此一天中风速最大值出现在午后时分。此后太阳辐射逐渐减少, 大气趋于稳定, 风速开始逐渐减小。日落后地面辐射冷却, 地表温度逐渐降低, 大气层结稳定, 风

速减小并趋于稳定[12]。

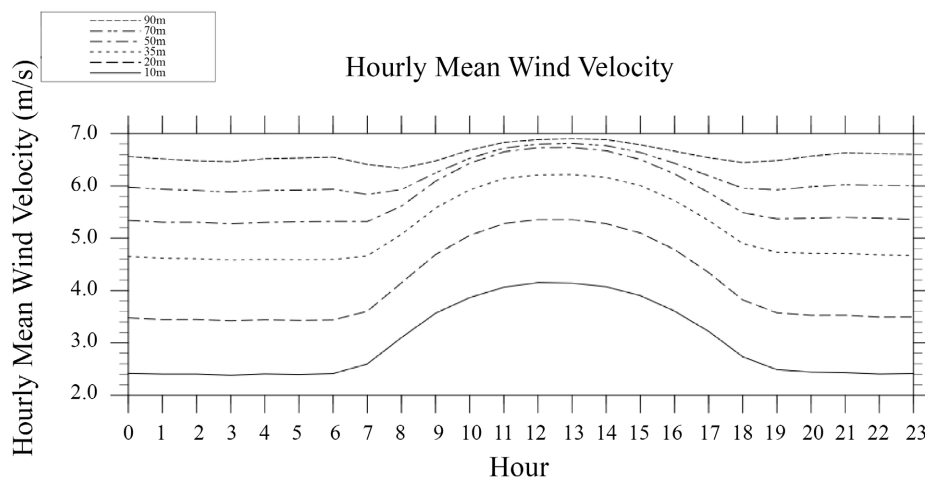


Figure 5. Variation characteristics of hourly average wind speed at each height from 2015 to 2020
图 5. 2015~2020 年小时平均风速在各高度上的变化特征

由图 5 可见, 10 米高度上夜间(19 时至翌日 6 时)风速维持在 2.4 m/s 左右, 白天风速变化呈正态分布特征, 日平均最大风速出现在 13 时, 为 4.2 m/s, 最低风速出现在夜间, 为 2.4 m/s, 日平均最大风速与日平均最小风速的差值为 1.8 m/s。

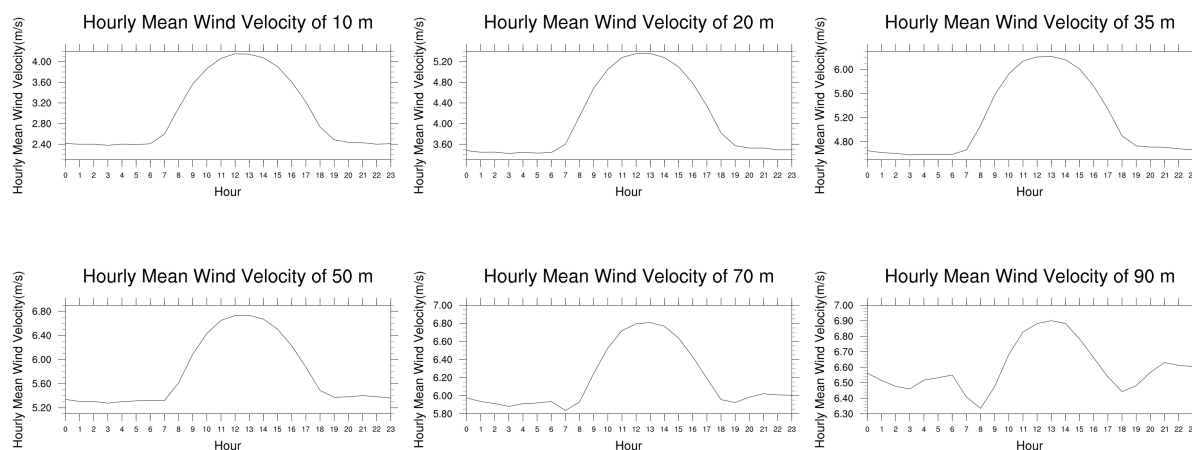


Figure 6. The variation characteristics of hourly average wind speed at different altitudes from 2015 to 2020
图 6. 2015~2020 年小时平均风速在不同高度上的变化特征

由图 6 可见, 20 米高度上夜间(19 时至翌日 6 时)风速维持在 3.5 m/s 左右, 白天风速变化呈正态分布特征, 日平均最大风速出现在 13 时, 为 5.4 m/s, 最低风速出现在夜间, 为 3.4 m/s, 日平均最大风速与日平均最小风速的差值为 2 m/s。35 米高度上夜间(19 时至翌日 6 时)风速维持在 4.7 m/s 左右, 白天风速变化呈正态分布特征, 日平均最大风速出现在 13 时, 为 6.2 m/s, 最低风速出现在夜间, 为 4.6 m/s, 日平均最大风速与日平均最小风速的差值为 1.6 m/s。50 米高度上夜间(19 时至翌日 6 时)风速维持在 5.4 m/s 左右, 白天风速变化呈正态分布特征, 日平均最大风速出现在 13 时, 为 6.7 m/s, 最低风速出现在夜间, 为 5.3 m/s, 日平均最大风速与日平均最小风速的差值为 1.4 m/s。70 米高度上夜间(19 时至翌日 6 时)风速

维持在 5.9 m/s 左右, 但存在小的风速波动, 白天风速变化呈正态分布特征, 日平均最大风速出现在 13 时, 为 6.8 m/s, 最低风速出现在夜间, 为 5.8 m/s, 日平均最大风速与日平均最小风速的差值为 1 m/s。90 米高度上夜间(19 时至翌日 6 时)风速大约在 6.4 m/s 左右, 风速略有小波动, 白天风速变化呈正态分布特征, 日平均最大风速出现在 13 时, 为 6.9 m/s, 最低风速出现在夜间, 为 6.3 m/s, 日平均最大风速与日平均最小风速的差值为 0.6 m/s。

4.1.2. 浅层风的空间变化特征

本文分析的浅层风指距地表 90 m 以下的层次, 该层次受摩擦力影响较大, 风速随高度呈对数、指数或近似线性变化。

1) 年际平均风速的空间变化

由图 7 可见, 2015、2018、2019、2020 年风速廓线呈现近似线性分布, 符合风速廓线的对数 - 线性规律, 2018 年在 20 m 和 50 m 处存在微弱拐点; 在 2016 年, 风速廓线在 35 m 处存在拐点; 2017 年在 50 m 处存在拐点, 风速极大值出现在 50 m 高度上。

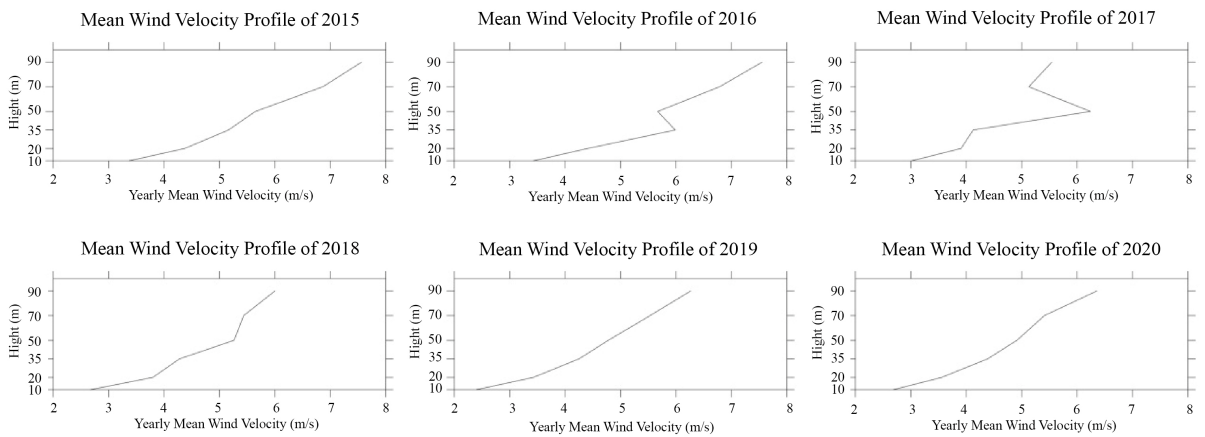


Figure 7. Interannual average wind speed profile chart for the period 2015~2020
图 7. 2015~2020 年年际平均风速廓线图

由图 8 可见, 总体风廓线呈现出近似对数分布, 遵循幂指数律增长。

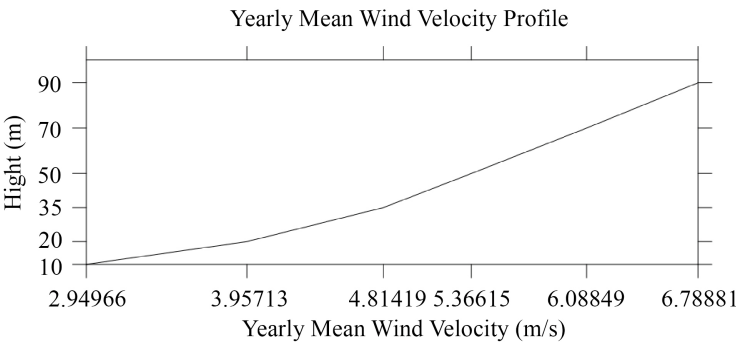


Figure 8. Average wind speed profile chart for the period from 2015 to 2020
图 8. 2015~2020 年平均风速廓线图

2) 年平均风速的空间变化特征

由图 9 可见, 春季(3、4、5 月)风速廓线呈现近似线性分布, 符合风速廓线的对数 - 线性规律; 夏季

(6、7、8月)由于台风登陆带来的大风影响, 风速廓线在 35 m 处存在拐点, 呈现出单波型分布, 在 35 m 处易出现低空急流; 秋季(9、10、11月)在 50 m 处出现拐点, 呈现单波型分布; 冬季(12、1、2月)风速廓线呈现近似双波型分布, 开始风速随高度增高而增大, 随后风速随高度增高而减小, 往后又重复这个过程, 具体表现为在 20 m 和 50 m 处风速达到极大值, 出现波峰。

由于数据中缺乏风速数据, 无法排除台风、冷空气等天气系统带来的风速急剧增高的影响, 导致 7、8 月风速分布在 35 m、50 m 高度出现由台风引起的风速极大值, 以及 10、11 月风速分布在 20 m、50 m 高度出现由冷空气引起的风速极大值。

普查 2015 至 2019 年月平均风廓线图, 根据 10 m~90 m 高度风速随高度分布特征, 可将其分为三类:

一类: 线性分布, 风速随高度升高而增大。

二类: 单波型分布, 从 10 m 高度, 风速随高度升高而增大, 随后风速随高度升高而减小。

三类: 双波型分布, 从 10 m 高度, 风速随高度升高而增大, 随后风速随高度升高而减小, 往后又重复这个变化规律[13]。

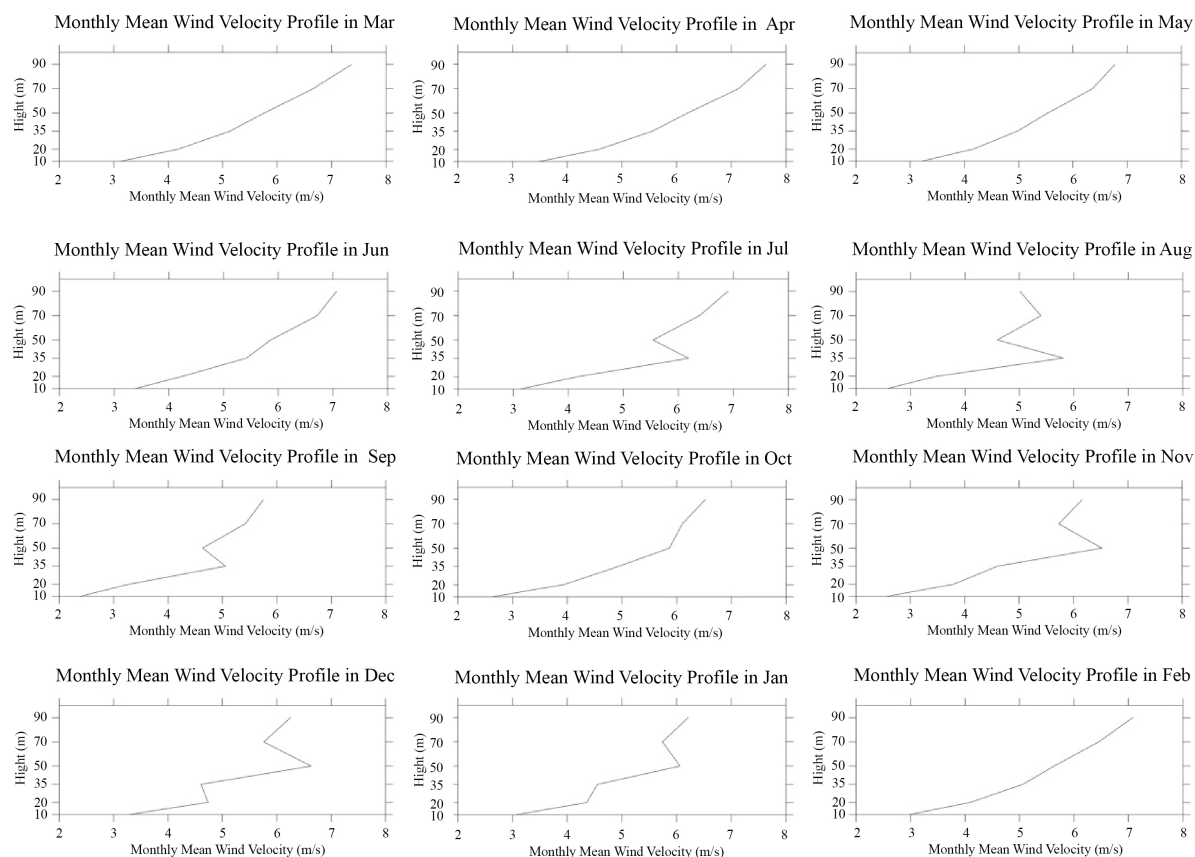


Figure 9. Average wind speed profiles for each month

图 9. 各月平均风速廓线图

3) 月平均风速的空间变化特征

由图 10 可见, 月平均风速廓线在全天各时刻分布存在一致性, 基本符合风速廓线随高度的升高而增大的规律, 50 m 高度上风速廓线出现拐点, 拐点前后风速差异相对较小, 从 5 m/s~6 m/s 左右开始呈近似线性增长, 90 m 高度平均风速约为 6.5 m/s, 基本符合对数 - 线性规律。

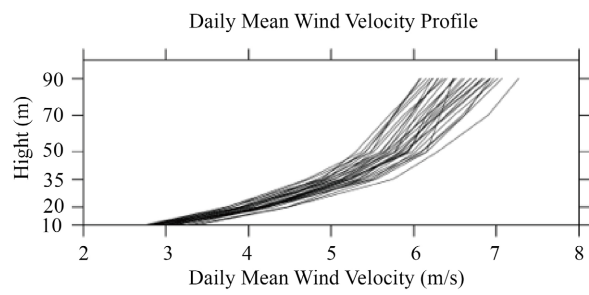


Figure 10. Daily average wind speed profile chart
图 10. 每日平均风速廓线图

4) 日平均风速值的空间变化特征

由图 11 可见，总体上浅层风风速大小随高度升高而增大，白天风速在 50 m 高度处出现拐点，50 m 高度以上风速变化相对较小；夜间大气层结相对稳定，风速变化不明显。风速廓线中大气层结稳定度随昼夜变化明显，白天风速明显大于夜间风速。风速随高度的变化很大程度上取决于大气层结的稳定性，由于白天和夜晚的大气层结性质的不同，可将风速廓线分为夜间稳定层结的风速廓线和白天不稳定的风速廓线。夜间地面辐射冷却，近地层大气呈现逆温特征，温度层结不利于湍流发展。

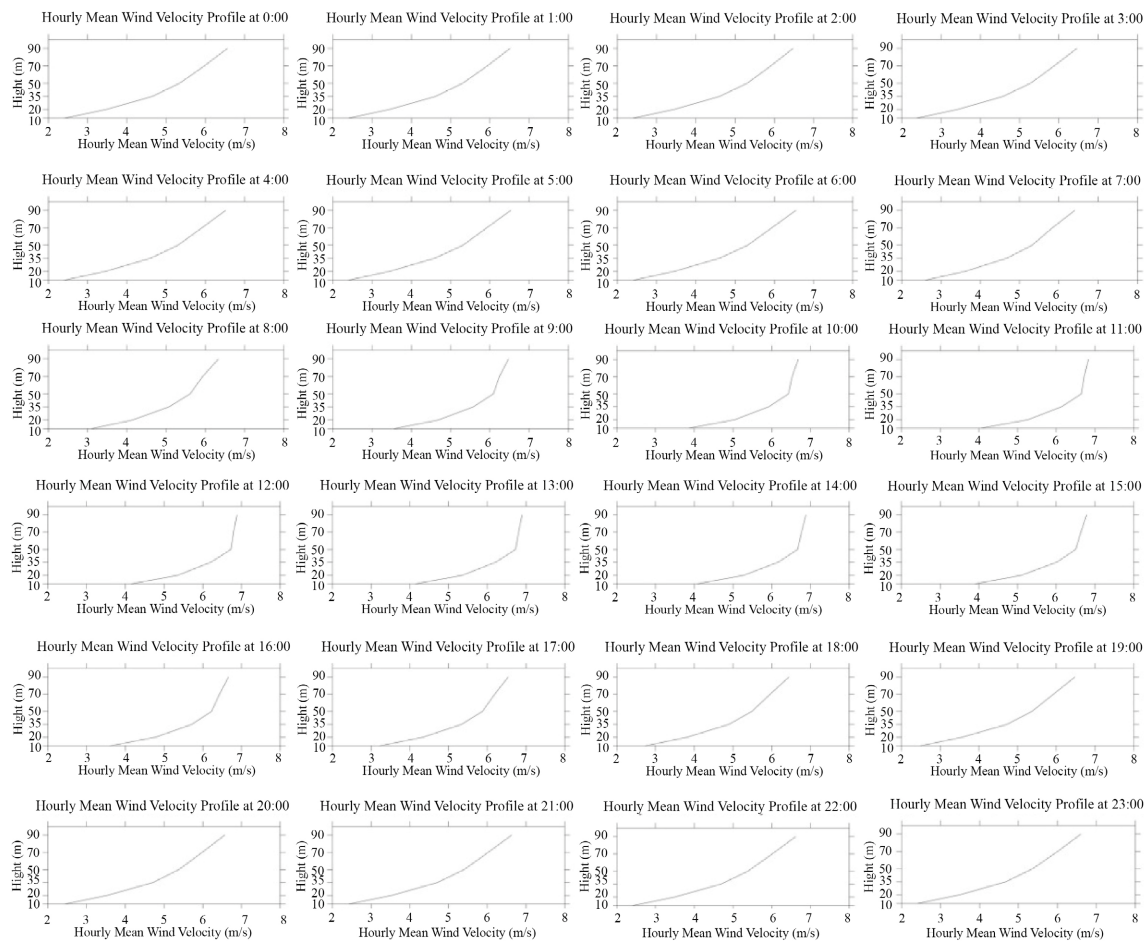


Figure 11. Average wind speed profile chart for each time period
图 11. 各时平均风速廓线图

从图中可以看出, 白天(09 时至 17 时)风速廓线表现为向上凹, 但风速随高度变化相对较小, 风速廓线呈现近似铅直分布, 这主要是因为白天有太阳辐射的影响, 近地层中大气处于层结不稳定状态, 随着不稳定度的增大, 湍流混合作用因热力不稳定而不断加强, 上下层之间动量交换增大, 导致风速切变不断减小; 夜间(18 时至 08 时)风速廓线同样表现相对线性, 说明大气层结处于稳定状态, 相较于白天相对平滑[14]。

4.2. 浅层风大风过程的时空变化特征

本文中, 根据琼州海峡大风课题研究和预警业务, 定义大风为 50 m 高度 10 min 平均风速 ≥ 13 m/s 的风, 一天中只要出现大风天气, 则该日记为一个大风日。

4.2.1. 浅层风大风过程的年际变化特征

文昌站 2015 至 2019 年 5 年共出现大风日 657 d, 年平均 131.4 d。2015 年和 2016 年最多, 同为 151 d; 2018 年最少, 为 101 d。总体来看, 文昌年大风日数整体呈现出递减趋势, 大风日数逐年减少。十分有利于文昌火箭发射基地航天器的发射(图 12)。

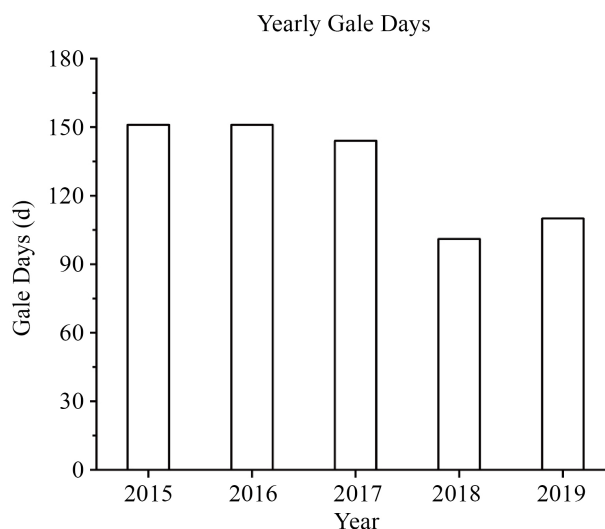


Figure 12. Inter-annual graph of windy days from 2015 to 2020

图 12. 2015~2020 年际大风日数图

4.2.2. 浅层风大风过程的季、月变化特征

文昌站 2015 至 2019 年总大风日数为 657 d, 大风日数最多月份为 12 月, 大风出现次数为 78 d; 次多月份为 11 月, 大风出现次数为 75 d; 最少月份为 9 月, 大风出现次数为 23 d; 次月份为 3 月, 大风出现次数为 37 d。大风日数在 9 月达到谷值(23 d)后, 大风日数开始增多, 至 12 月到达峰值(78 d)。

由图 13 可见, 从季节来看, 春季(3、4、5 月)平均大风日数为 50 d, 夏季(6、7、8 月)平均大风日数为 58 d, 秋季(9、10、11 月)平均大风日数为 49 d, 冬季(12、1、2 月)平均大风日数为 62 d。由此可见, 文昌四季都有大风天气出现, 但文昌冬季出现大风日数最多, 约占全年大风出现总日数的 28%; 夏季次多, 约占全年大风出现总日数的 27%; 秋季大风日数最少, 约占全年大风出现总日数的 22%; 春季大风出现次数与秋季接近, 约占全年大风总日数的 23%。

夏季大风日数较多的原因主要来自于热带气旋的影响, 当研究区域受到台风影响时, 该日的风速较大, 持续时间较长, 对大风日数分析产生一定影响, 且台风日并不作为垂直转运的备选日期, 则本文统

计大风日数时应排除受台风影响的大风日。因此，夏季大风日数占全年的比例应小于 27%。此外，由于 4 月处于季节转换期，风速较大，导致春季大风日数占全年的比例也略微偏高，一般不考虑作为垂直转运的作业时段。

台风平均影响时长约为 2~3 天，研究区域内年平均受到 3.58 个热带气旋影响，则夏季平均大风日数约为 49 d，与秋季平均大风日数相同[15]。与前文风速年变化特征中“冬春多，夏秋少”的结论相吻合。

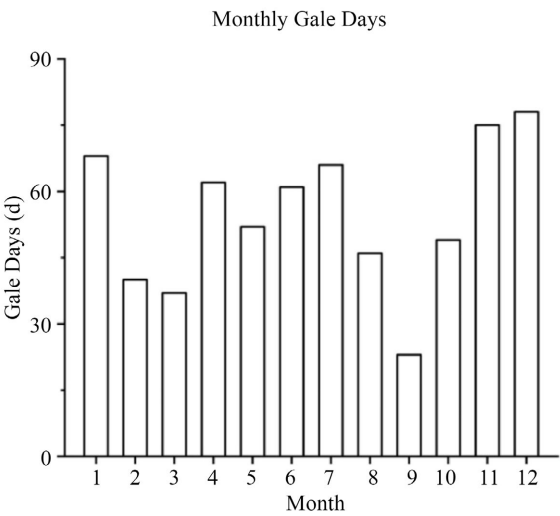


Figure 13. Monthly number of windy days chart
图 13. 各月大风日数图

由图 14 中可见，2015 至 2019 年大风日数出现最多月份为 12 月，月平均大风日数为 15.6 d；次多月份为 11 月，月平均大风日数为 15 d；最少月为 9 月，月平均大风日数为 4.6 d；次少月为 3 月，月平均大风日数为 7.4 d。

订正后，排除夏季热带气旋的影响，6、7、8 月的月平均大风日数分别约为 9.2 d、10.2 d、6.2 d，年平均大风日数最小值为 9 月 4.6 d，与最大值 12 月的差值为 11 d，大风日数随季节变化明显。

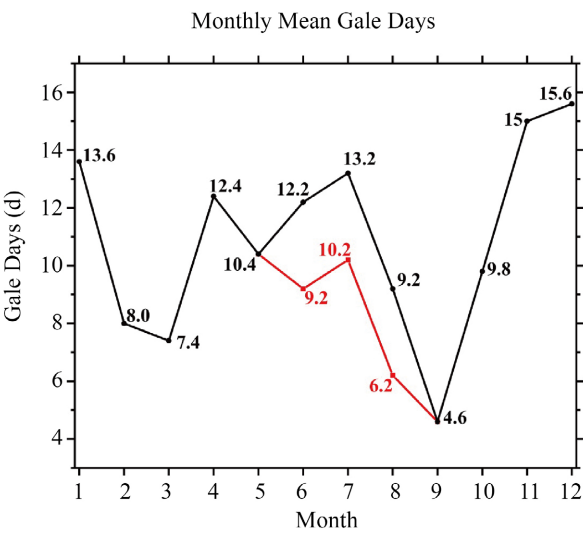


Figure 14. Monthly average number of windy days chart
图 14. 各月月平均大风日数图

4.3. 产生大风的主要影响系统

产生大风的机制主要有热力驱动和动力驱动。Whiteman 等提出峡谷地形下大风的产生机制包括 1) 锋面过境; 2) 动量下传; 3) 地形强迫, 其中包括气压梯度强迫和地形动力强迫。琼州海峡两岸无高海拔山地, 峡墙造成的地形强迫不显著, 因此气压梯度强迫是海南大风形成的主要动力驱动机制[16]。影响系统主要有冷锋、低槽系统、热带气旋以及冷空气和热带气旋共同影响[17]。

4.3.1. 冷空气

琼州海峡呈东西走向, 文昌龙楼位于雷州半岛东部, 当冷空气以偏东路径东移入海或冷高压东移入海时, 经常导致雷州半岛东部产生偏东强风, 文昌龙楼因受此类冷空气影响而导致大风天气。冷空气自北向南发展时, 锋面经过琼州海峡到达海南岛时, 原来的干冷空气经过海面, 湿度加大, 干冷空气团变性, 产生锋前对流大风, 但到达南岸时, 大风的湍流性有所减弱, 因此大风持续时间短, 但瞬时风力大[18]。

4.3.2. 低槽系统

低槽系统经常出现在夏季, 对文昌龙楼起主要影响的主要为西南低压槽、华南低压槽和南海低压槽。西南低压槽影响时, 海南岛典型风向为西南风; 华南沿海槽影响时, 海南岛典型风向为偏西风; 南海低压槽影响时, 海南岛典型风向为偏东风[18]。

4.3.3. 热带气旋

文昌市龙楼每年平均受到 3.58 个热带气旋影响, 大多数台风都是从东南方向向海南岛方向移动, 因此海南岛东部、南部地区受到台风影响的时间最长, 影响也相对较大。2015 至 2019 年 5 年间, 有 12 个热带气旋影响海南地区, 在海南岛东北登陆或经过的热带气旋的环流风场直接引起大风。热带气旋是影响文昌夏季大风最主要的影响系统[17]。

4.3.4. 热带气旋与冷空气共同影响

热带气旋与冷空气共同影响产生的大风在研究区域内表现为大风的季节性变化特征明显, 大多数出现在 10~11 月。当热带气旋位于南海中部时, 北方冷空气同时到达华南沿海地区, 冷高压前的东北风与热带气旋产生的东北风相耦合, 引起研究区域内产生强烈的东北风, 并能维持较长的影响时间[17]。

4.4. 结论

(1) 时间变化特征: 文昌市龙楼的风速年际变化呈现整体下降趋势, 年变化特征在各个层次上均呈现“冬春大, 夏秋小”的特点。风速昼夜变化明显, 白天大, 夜晚小; 随高度升高, 昼夜风速差值逐渐减小。

(2) 空间变化特征: 随高度升高, 风速逐渐变大。风速廓线分布符合对数-线性规律。风速垂直变化呈现出“线型”、“单波型”、“双波型”等分布, 春秋两季呈近似线性分布, 夏季呈单波型分布, 冬季呈双波型分布。风速廓线日变化分布较为一致, 满足对数-线性规律。

普查 2015 至 2019 年风廓线图, 根据 10 m~90 m 高度风速随高度分布特征, 可将其分为三类:

一类: 线性分布, 风速随高度升高而增大。

二类: 单波型分布, 从 10 m 高度, 风速随高度升高而增大, 随后风速随高度升高而减小。

三类: 双波型分布, 从 10 m 高度, 风速随高度升高而增大, 随后风速随高度升高而减小, 往后又重复这个变化规律。

(3) 大风日集中分布在 11、12、1 月, 夏季由于受到热带气旋的影响, 风速与实际发射所需的气象条

件相差较远, 但非台风日风速较小, 比较符合发射所需的浅层风条件。

(4) 产生大风的主要系统主要包括: 冷空气、低槽系统、热带气旋和热带气旋与冷空气共同影响。夏季影响最大的是热带气旋, 冬春季节的主要影响系统是低槽系统和冷锋过境带来的冷空气。

参考文献

- [1] 陈晓静, 周率, 周景荣, 梁玉秋, 李正刚, 李羿霏. 神舟七号转运日浅层风预报分析[J]. 载人航天, 2010, 16(2): 31-39.
- [2] 朱晶晶, 张京红, 赵小平, 吴胜安, 邱明宇. 海南航天发射场非台暴雨气候特征与成因概念模型[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(6): 158-167.
- [3] 黄秋如. 文昌卫星发射场雷暴的活动规律[J]. 广东气象, 2008(5): 36-37.
- [4] 高燚, 陈汇林, 劳小青, 蒙小亮, 林海滨. 海南文昌火箭发射场雷电环境分析[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(4): 182-189.
- [5] 徐艳琴. 乌拉特中旗 1971-2019 年风气候特征分析[J]. 河南科学, 2020, 38(12): 1996-2002.
- [6] 赵洪伟, 舒海龙, 王倩, 刘铁军, 沈彦燕. 科尔沁草原高空风垂直结构气候特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(1): 72-79.
- [7] 刘小雪, 郭立平, 周玉都, 王梦, 李娜. 1980-2015 年廊坊市风的气候变化特征分析[J]. 现代农业科技, 2018(4): 175-178.
- [8] 洪卓华. 近 10 年青海南部地区风的气候特征分析[J]. 科技与创新, 2018(15): 40-43.
- [9] 马成芝, 孙立德, 梁志兵, 高鹏, 潘成军. 1961-2010 年喀左县风的气候变化特征及其对设施农业的影响[J]. 现代农业科技, 2014(22): 235-237+240.
- [10] 郑玉萍, 李景林, 刘盛梅, 杜敏. 达坂城 1961-2008 年来风的气候特征及风能现状分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(6): 29-33.
- [11] 付小平, 浦燕鸿, 刘菊桂, 鲁礼炳. 荆州市地面风天气气候特征分析[C]//湖北省气象学会. 2008 年湖北省气象学会学术年会学术论文详细文摘汇集. 2008: 17-18.
- [12] 王静, 苗峻峰, 冯文. 海南岛沿海近地面风时空分布特征的观测分析[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2016, 8(3): 226-238.
- [13] 余杰青, 姚雪峰, 李旺, 刘晨宇. 西南高原地区大气边界层风廓线特征规律分析研究[C]//中国环境科学学会. 2020 中国环境科学学会科学技术年会论文集(第一卷). 北京: 《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社, 2020: 1176-1184.
- [14] 李汉林, 何清, 金莉莉. 塔克拉玛干沙漠腹地 and 北缘典型天气近地层风速廓线特征[J]. 干旱气象, 2020, 38(6): 965-978.
- [15] 贵志成, 王艳莹, 赵小平, 甘思旧. 台风影响期间文昌航天发射场浅层风预报技术研究[J]. 气象科技进展, 2020, 10(4): 108-113.
- [16] 高松影, 刘天伟. 丹东地区大风气候事实分析[J]. 气象, 2007(8): 97-103.
- [17] 辛吉武, 翁小芳, 许向春, 邢绪煌, 冯文. 琼州海峡南北海岸带大风的天气气候特征[J]. 气象, 2009, 35(11): 71-77.
- [18] 郭冬艳, 姜涛, 陈有龙, 辛吉武. 琼州海峡沿岸大风分布规律及影响系统分析[J]. 气象, 2011, 37(11): 1372-1379.