

晋江市主导风和海陆风的分析

刘思洋¹, 徐良军¹, 陈玲丽², 曾妮¹, 蒙军¹

¹贵州省安顺市气象局, 贵州 安顺

²贵州省普定县气象局, 贵州 安顺

收稿日期: 2023年1月29日; 录用日期: 2023年3月4日; 发布日期: 2023年3月14日

摘要

利用晋江2010~2014年自动气象站小时风速和风向观测资料, 对风要素的观测数据进行质量控制, 定义有效天并且在风速矢量分解的基础上确定了海陆风日海陆风的局地上限风速。筛选出海陆风日分析了晋江市主导风和海陆风。结果显示, 主导风月变化表现为全年大多数月份受到东北风的影响, 最大平均风速出现在春季和秋季。在四季中, 夏季平均风速相对于其他季节小。晋江市城区的静风频率低。海陆风的日变化特征表现为: 晋江市的海陆风出现最多的月份为秋季, 夏季海陆风频率全年最低。夏季陆风变海风的时间在9 (10)~22 (23)点, 冬季在10 (13)~20 (23)点; 而海风变陆风的时间夏季在0~8点, 冬季在22 (23)~10 (12)点从主要月份海陆风日的风场变化看, 海陆风日风向变化特征没有明显的季节差异, 海陆风向的变化基本一致。夏季和冬季海陆风出现时间和持续时间有所差异。夏季海风持续时间较长, 而陆风持续时间较短; 冬季海陆风持续短, 海风持续时间短, 而陆风持续时间较长。

关键词

主导风, 海陆风, 有效天, 海陆风日

Jinjiang Analysis of the Dominant Wind and Solar Wind

Siyang Liu¹, Liangjun Xu¹, Lingli Chen², Ni Zeng¹, Jun Meng¹

¹Meteorological Bureau of Anshun, Anshun Guizhou

²Meteorological Bureau of Puding, Anshun Guizhou

Received: Jan. 29th, 2023; accepted: Mar. 4th, 2023; published: Mar. 14th, 2023

Abstract

Use of Jinjiang automatic meteorological station from 2010 to 2014 hours of wind speed and wind observation data, the factors of wind observation data quality control, define the effective day and

on the basis of the velocity vector decomposition determines the solar wind, solar wind of local maximum wind speed. Screening out land breeze, analyzes Jinjiang dominant wind and solar wind. Results show that the leading romantic change performance for the year in most affected by the northeaster, maximum average wind speed in spring and autumn. In the four seasons, summer season average wind speed, relative to other small. Jinjiang City is of low frequency no wind. The diurnal variation of the solar wind is shown as: the Jinjiang solar wind appears in the most for the autumn and summer sun wind frequency lowest throughout the year. land breeze variable winds in the summer time in 9 (10)~22 (23), winter in 10 (13)~20 (23); summer but wind land breeze time on 0 to 8 points, winter in 22 (23) to 10 (12) month from the main wind field changes the solar wind days, the solar wind, the wind characteristics had no obvious seasonal difference, and the solar wind to change. The summer and winter sun wind appear time and duration. Summer wind duration is longer, the classical short duration; winter solar wind continues to short, short duration of the wind and the land breeze a longer duration.

Keywords

The Dominant Wind, Solar Wind, Effective Day, Solar Wind

Copyright © 2023 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

位于海峡西岸福建省南部沿海的晋江市，归属于福建泉州市，泉州市东南部，晋江下游南岸。东与石狮市接壤，东南濒临台湾海峡，南与金門岛隔海相望，西与南安市交界，北和鲤城区相邻，是海峡西岸经济区中心城市，也是我国重要的港口城市。晋江市三面临海，海岸线长 105.6 千米。地势由西北向东南海面倾斜，呈波状起伏梯级分布。

海陆风是因海陆热力差异所引起的大气低层中尺度局地环流系统。海陆风的形成与发展是由于海陆下垫面不同，导致了海陆温度的不同。海陆风的出现和成长与海岸线的特征也有一定的联系。白天的时候，相同的纬度海面上和陆地上接收到的辐射是相同的，由于海面接收到热量之后在垂直方向和水平方向上进行交换。所以海面上的温度相比于地面温度增长缓慢，就会导致在某一相同高度上陆地的气压比海面的气压高，陆地上空的空气就会流向海面上空。经过高空的空气流动，海面的单位面积空气柱质量增加使海表面上的气压升高，导致了近地面的空气从海表面流向了陆地，这种空气运动称为海风。在夜间，海面的降温作用又低于陆地，所以风向又会与白天相反，则我们对此称之为陆风。

所以很多学者对海陆风现象的观测研究已做了大量工作，在我国，如高佳琦等[1]对渤海西部天津地区海陆风识别的方法和时空分布的研究、理论研究和数值研究；崔燕军等[2]针对大连地理位置的特点，分析了大连湾海陆风的具体特征；吴滨等[3]利用福建沿海的高度梯度测风塔的多层风观测数据，分析了福建省沿海海陆风的时空及日变化特征；邱晓暖等[4]综述了我国华南、长二角和环渤海不同地区海陆风的主要特征；韦晨等[5]对江苏省沿海地区海陆风气候特征分析；宋洁慧等[6]对对宁波地区海陆风环流的气候特征进行了系统分析；庄子善等[7]用对比分析的方法分析了日照地区沿海海陆风的气候特征及对当地天气的影响。许启慧[8]等研究了天津海风变化的空间特征，结合天津地区城市的热岛效应，着重分析了天津市城市热岛效应和海陆风的关系。周钦华等[9]分析浙江沿海海陆风环流的特征并且讨论天气动力学与当地海陆风之间的关系，结果显示：海陆风强度与持续时间成比例，海风转换来首先在海岸线，海

风向陆地发展 50 公里垂直高度 600 m，在沿海地区做暴雨预报是不能忽略海陆风的影响。邱晓暖等[10]通过站点数据处理方法和海陆风分离与判定技术对珠江口西侧沿海地区的短期海陆风观测结果等进行了研究分析以及一些其他关于海陆风的研究[11][12][13]。在国外很早进行了海陆风研究，最开始海陆风被认为是摩擦风，Jeffreys [14]提出了由气压梯度力和摩擦力平衡产生了海陆风。Haurwitz [15]则讨论摩擦力和地球自转偏向力的作用，海风强度和海陆温差成反比，并由于摩擦力的作用使海风强度，在海陆温差减为零之前达到最大值。Arritt [16]模拟了大尺度风对海陆风的影响，研究表明向岸或离岸方向的大尺度风对海风环流的强度影响最大，而平行于海线的大尺度风对海风的强度大小几乎没有影响。

海陆风是沿海地区的一种大气物理现象，也是一种自然资源，它不仅对沿海地区的天气变化有着直接的影响，而且对沿海地区的生产和人民的生活有着密切的关系。如沿海地区的风能利用、空气和水污染防治、旅游胜地的开发及军事活动等都与海陆风的变化有关。充分利用海陆风等自然资源，就能在排灌、改碱、净化污水等方面为人造福。

2. 数据和方法

2.1. 数据及预处理

2.1.1. 数据情况

获取了晋江和石狮两地 2010~2014 年 24 个自动气象站小时风速和风向观测资料，其中 10 分钟风速和风向被用于进行主导风和海陆风的分析和制图。根据风向对原始数据进行 16 方位角的标记，以方便后续的分析，表 1 给出了 16 方位角的标记说明。

Table 1. Sixteen-azimuth sign and degree cross reference table
表 1. 16 方位的风向符号与度数对照表

序号	方位	符号	中心角度(°)	角度范围(°)
1	北	N	0	348.76~11.25
2	北东北	NNE	22.5	11.26~33.75
3	东北	NE	45	33.76~56.25
4	东东北	ENE	67.5	56.26~78.75
5	东	E	90	78.76~101.25
6	东东南	ESE	112.5	101.26~123.75
7	东南	SE	135	123.76~146.25
8	南东南	SSE	157.5	146.26~168.75
9	南	S	180	168.76~191.25
10	南西南	SSW	202.5	191.26~213.75
11	西南	SW	225	213.76~236.25
12	西西南	WSW	247.5	236.26~258.75
13	西	W	270	258.76~281.25
14	西西北	WNW	295.5	281.26~303.75
15	西北	NW	315	303.76~326.25
16	北西北	NNW	337.5	326.26~348.75
17	静风	C	风速 ≤ 0.2 m/s	

为确保自动气象站数据的有效性,采用如下方法对风要素的观测数据进行质量控制:

① 剔除连续 4 个或以上时次风向角度不变的数据。通常这种情况源自仪器故障。此方法适用于风向值具体到 1° 的数据,当风向已分成 16 方位角或静风时则不作处理。

② 以月为单位,对每月所有小时风速数据进行统计,计算该月平均风速(u)和风速标准差(σ),然后采用“ $3-\sigma$ ”原则确定一个风速范围,即($u-3\sigma, u+3\sigma$)。当小时风速超出该范围时,认为该时次的数值是小概率事件,因此将此数据剔除。

③ 考察缺值数据是否具有时间集中性,如果数据存在 2/3 月连续缺测,则不对该月风场特征进行分析。

④ 考察站点本身及不同站点之间风向差异性。考虑到站点受到周边环境的影响较大,可能出现风场特征与临近站点风场特征差异很大的现象,这种情况下仅标记出现的站点和时间,不做任何处理。

⑤ 考察存在较大差异的数据是否具有正确性,剔除明显存在观测错误或不符合常理的极端值。

2.1.2. 风矢量分解

在风场特征分析中,常常需要对风矢量进行分解。分解后的风场分为实测风、系统风和局地风。其中,测站所测的风称为实测风,大尺度风称为系统风,海陆风等中尺度环流为局地风,因此,实测风也是系统风和实测风的矢量叠加。

为此,首先将每日各小时风矢量分解成水平 u 和垂直 v 分量(东西和南北向),然后取该日所有小时 u 和 v 的平均值的矢量合成作为系统风,再计算实测风与系统风的矢量差得到局地风。使用的公式如下:

$$\begin{aligned}\bar{U}_{i,o} &= \bar{U}_s + \bar{U}_{i,j} \\ \bar{U}_s &= \sum_{i=0}^{23} \bar{U}_{i,o} \\ \bar{U}_{i,j} &= \bar{U}_{i,o} - \bar{U}_s\end{aligned}\quad (1)$$

式中,为第 i 小时实测风,为该日系统风,为第 i 小时局地风。

2.2. 主导风的分析

当某一风向的频率达到或超过临界风向频率时,确定该风向为主导风向,临界风向频率计算公式为:

$$F = (1 - F_c) / 16 \quad (2)$$

式中, F 表示临界风向频率, F_c 为静风频率。为此,利用每个站的观测数据分析了 2010~2014 年逐年和逐月的主导风向。

2.3. 海陆风的分析

首先定义了一个“有效天”的概念。“有效天”定义为一天中有效的数据量超过当天应有数据量的 2/3 (即 24 小时至少有 17 个小时的观测数据),则称该日为“有效天”。然后在风速矢量分解的基础上,还确定了海陆风日海陆风的局地上限风速,定义为局地风平均风速(\bar{U}_l)与 2 倍局地风速标准差(σ_l)的和,即 $U_{\text{上限}} = \bar{U}_l + 2\sigma_l$ 。确定局地上限风速的原因是,在海陆风日条件下,系统风风速一般较弱,局地风速不高。在参考大量研究报告后,本研究确定的海陆风日的判定条件如下:

① 该日为有效天;

② 当日日出到日落后 2 小时内,有连续 4 小时及以上海风风向出现,并且海风风速 \leq 局地上限风速;

③ 00 时到日出后 1 小时内,有连续 4 小时陆风风向出现,并且陆风风速 \leq 局地上限风速;

④ 夜间 2 点前后的风向度数与 14 点前后的风向度数相减,其差值的绝对值 $\geq 90^\circ$ 且 $\leq 270^\circ$ 之间。

分析海陆风的持续性及出现时间方法如下：将所有数据按时间顺序作一个有序集体，在该有序集体中统计海风(陆风)连续出现的次数及开始时间。本研究确定的一般发生时间是指海陆风在所指时间内可能发生，而确定的盛行时间是指海陆风在所指时间内发生的频率最高。因此，海陆风日的海陆风持续性则是指海风(陆风)开始到结束所用的时间。

在海陆风开始结束时间的判断上，如果出现海陆风日，海风(陆风)从某时次开始持续出现 4 个及以上时次时，该时次为海风(陆风)出现时间；海风(陆风)开始后，某时次起开始持续出现 2 个及以上时次的非海风(非陆风)，该时次的前一时次为海风(陆风)结束时间。

这里，海风和陆风方向的确定主要根据晋江海岸线的走向，同时参考华南地区的一些研究成果，确定结果如表 2 所示。

Table 2. Determined sea breeze and land breeze direction
表 2. 确定的海风和陆风方向

类别	方位
海风	SSW, S, SSE, SE, ESE, E, ENE
陆风	WSW, W, WNW, WN, WNN, N

3. 结果

3.1. 晋江市月主导风向

图 1 显示了站点晋江的多年逐月主导风上的风速大小。从图中我们可以看出，从风速变化看，个月平均风速都在 2 m/s 以上，最大平均风速出现在 3、6、7、11 月的，其中 7 月的平均风速最大 > 3.5 m/s。5 月和 10 月的平均风速全年最小，其中 5 月份的站点风速 < 2.5 m/s。表 3 显示了多年逐月主导风的风向。数字编号对应 16 方位的风向符号与度数对照表，从图中可以看出，4、5 月份主导风向主要来自 ENE，6~9 月的主导风向为 SSW，其他都是 NE，说明全年大多数月份受到东北风的影响。

Table 3. The wind that dominates the wind from month to month for years
表 3. 多年逐月主导风向上的风向

月份	主导风向(数字编号)	年主导风向平均角度(°)
1 月	3	45
2 月	3	45
3 月	3	45
4 月	4	67.5
5 月	4	67.5
6 月	10	0
7 月	10	0
8 月	10	0
9 月	10	0
10 月	3	45
11 月	3	45
12 月	3	45

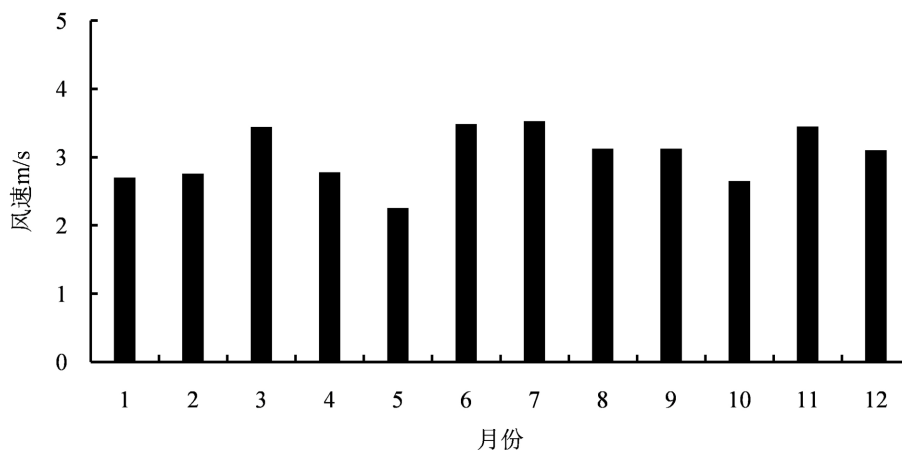


Figure 1. The wind speed that dominates the wind direction from month to month for many years
图 1. 多年逐月主导风向上的风速大小

3.2. 晋江市静风统计

图 2 显示了各晋江站多年静风频率图。从图中可以看出，2~6 月静风频率较大，其中 5 月静风频率最大，达到 1.6% 以上。10、12、1 月静风频率较小，其中最 10 月静风频率最小 $< 0.15\%$ 。在四季中晋江站的春季静风频率较大，而冬季静风频率较小。

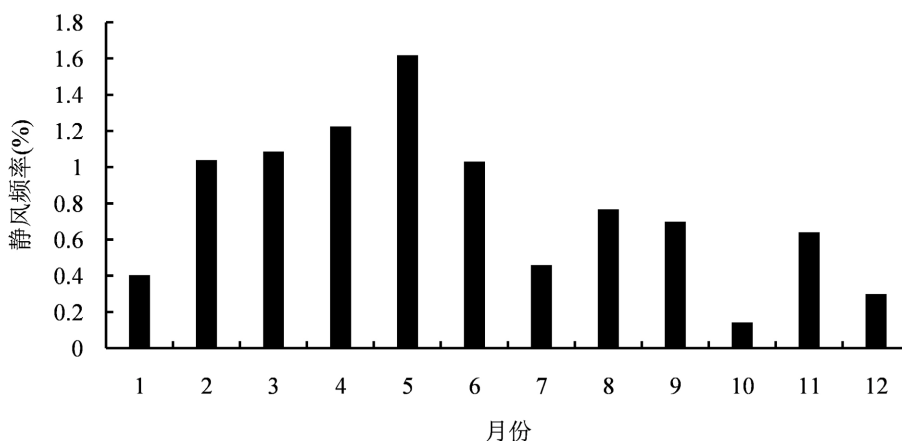


Figure 2. Jinjiang City static wind frequency
图 2. 晋江市静风频率

3.3. 晋江市海陆风日统计

图 3 显示了晋江站点多年的海陆风频率。从图中可以看出，海陆风出现最多的月份为秋季，夏季海陆风频率全年最低。各月的海陆风频率均在 20%~45% 之间，其中 10 月海陆风频率最高，六月和七月海陆风频率最低。海陆风年平均频率为 40.5%。

表 4 显示了海陆风日的平均逐小时风向图。从表中可以大体看出海风和陆风的出现时间、转换时间和结束时间。一般 11 点为陆风转海风的转换期，23 点为海风转陆风的转换期。转换后的海风风向主要为 ESE，陆风风向为 WNW-NNW。图 4 显示了海陆风日逐小时风速，海风平均风速为 14.55 m/s，陆风平均风速为 14.35 m/s，可以看出海风风速比陆风风速偏大。从主要月份海陆风日的风场变化看，海陆风日风向变化特征没有明显的季节差异，海陆风向的变化基本一致。

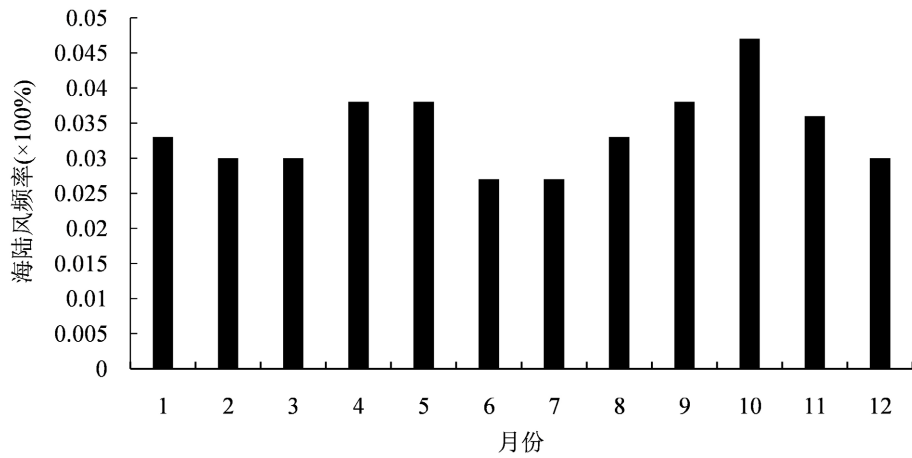


Figure 3. Sublunar land and sea breeze frequency

图 3. 分月海陆风频率

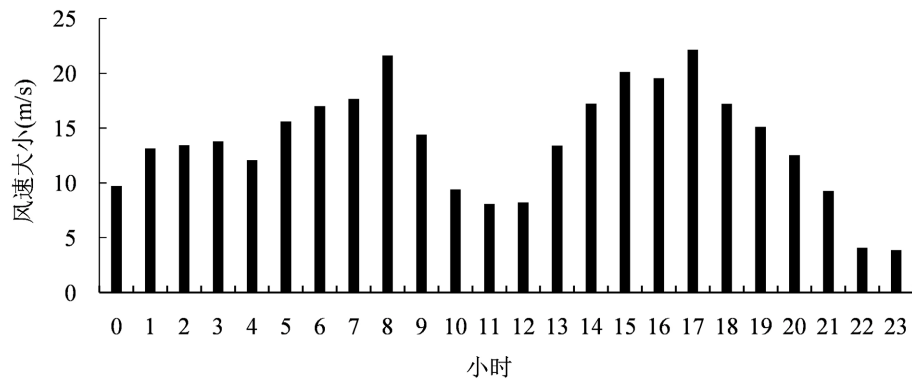


Figure 4. Daily hourly wind velocity on land and sea breezes

图 4. 海陆风日逐小时风速度

Table 4. The wind direction is hourly on land and sea

表 4. 海陆风日逐小时风向

小时	风向角度(°)	小时	风向角度(°)
0	290.8727835	12	290.8727835
1	275.8926903	13	275.8926903
2	287.3285734	14	287.3285734
3	272.3703675	15	272.3703675
4	276.3192465	16	276.3192465
5	278.4726895	17	278.4726895
6	281.0256049	18	281.0256049
7	280.2467813	19	280.2467813
8	279.7410045	20	279.7410045
9	291.1576638	21	291.1576638
10	311.5577847	22	311.5577847
11	18.92847896	23	18.92847896

从主要月份海陆风日的风场变化看,海陆风日风向变化特征没有明显的季节差异,海陆风向的变化基本一致。

以晋江国家气候基准站的数据为例,分析了海风和陆风的出现时间、结束时间,其中图5和图6分别显示了海风和陆风起始时间直方图。在综合所有站点的海风和陆风起始时间、结束时间的直方图后,得到海陆风日逐小时风速度晋江市海陆风的起止时间,海风的出现时间一般集中在6~15点之间,而且在10~12点之间海风出现的频率较高。陆风的出现时间一般集中在0~4点之间,而在0点或接近0点的时间段陆风出现的频率最高。在如表5所示。从表中可以看出,夏季和冬季海陆风出现时间和持续时间有所差异。夏季海风持续时间较长,能够达到12个小时,而陆风持续时间较短,约为9个小时;冬季海陆风持续短,海风持续时长在10个小时,而陆风持续时间在12个小时左右。

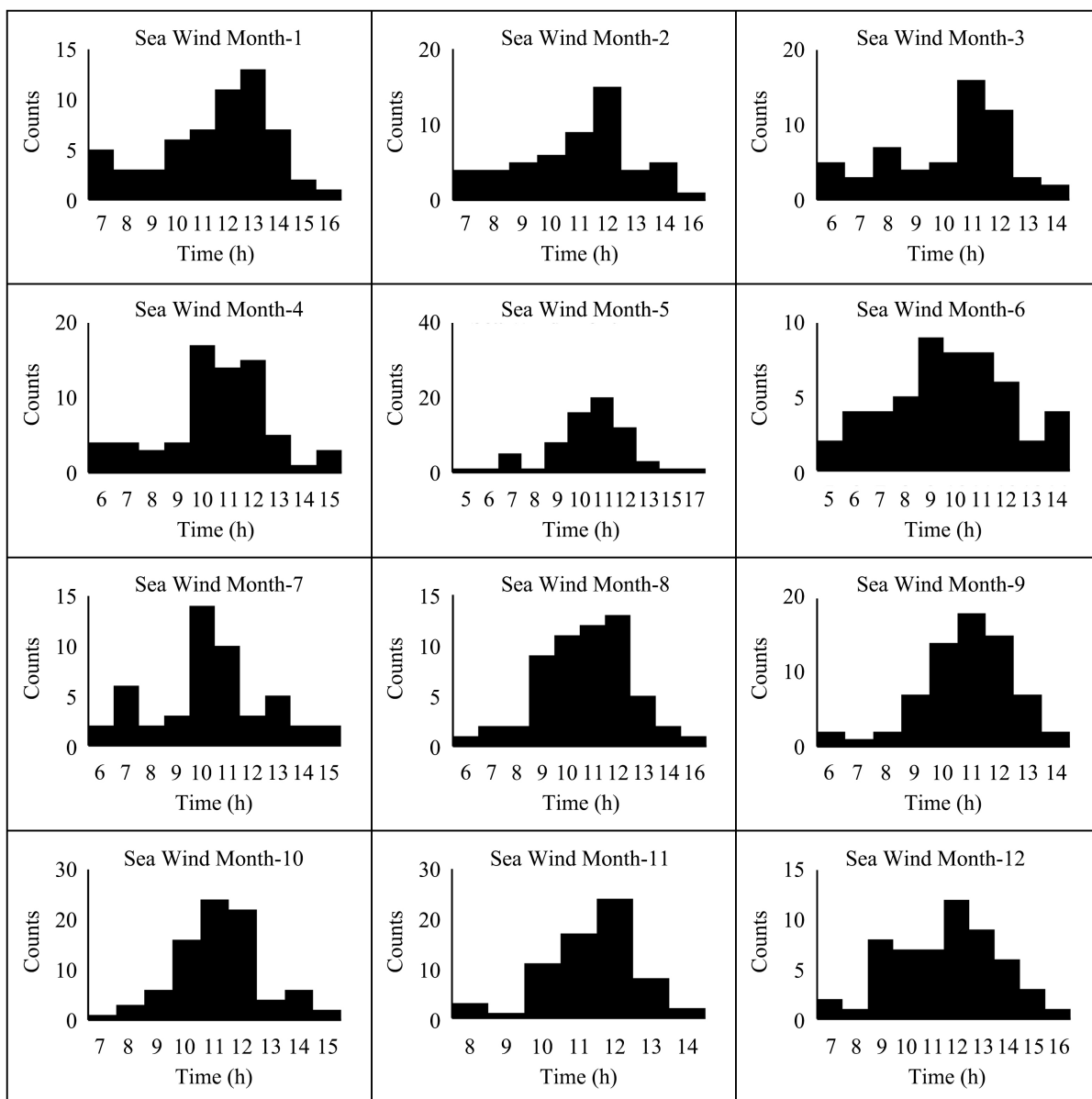


Figure 5. Histogram of sea breeze onset time at Jinjiang Station

图5. 晋江站海风起始时间直方图

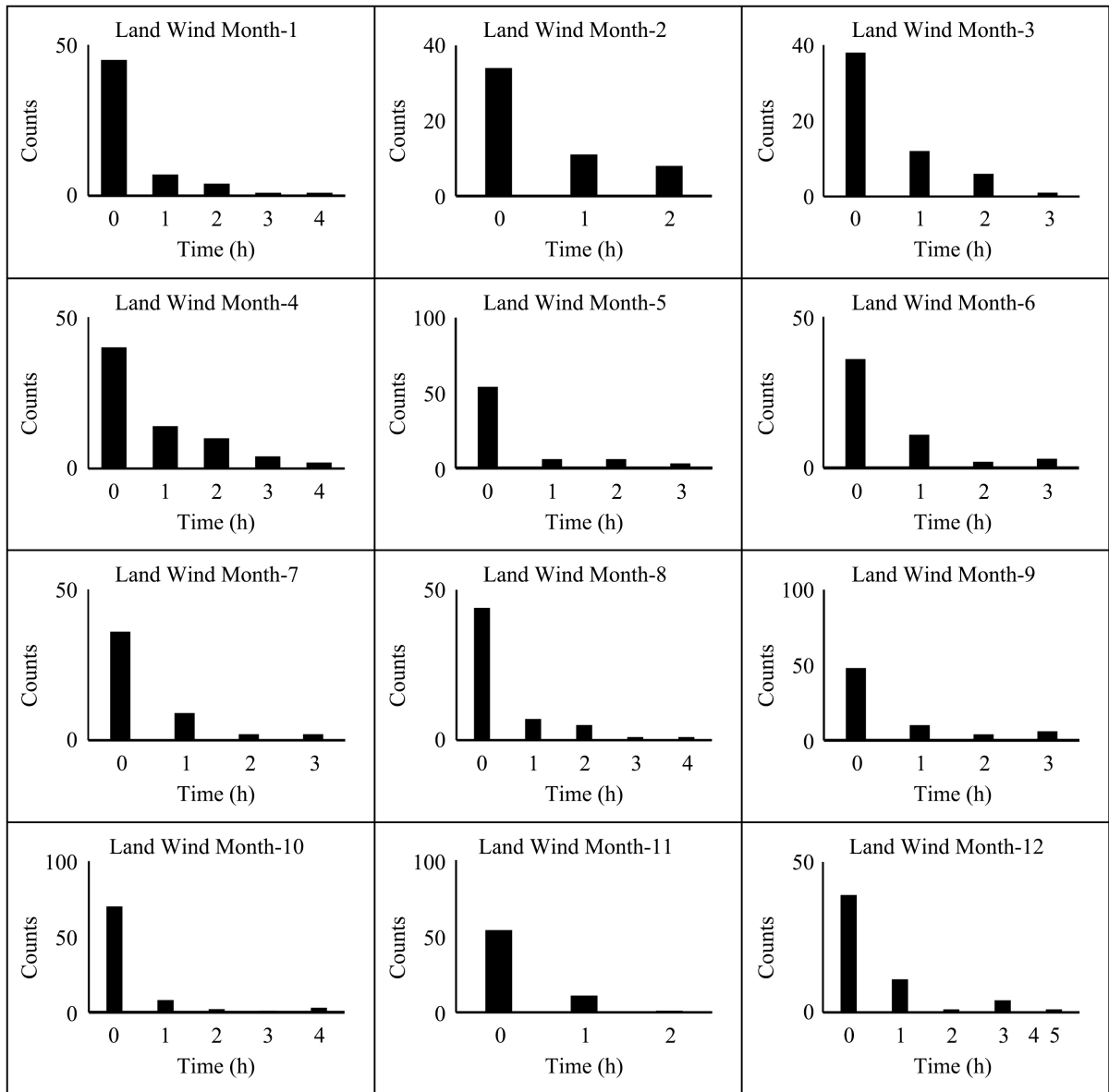


Figure 6. Histogram of land wind onset time at Jinjiang Station

图 6. 晋江站陆风起始时间直方图

Table 5. Characteristics of land and sea breezes in Jinjiang City

表 5. 晋江市海陆风特征

季节	海风时间	陆风时间
夏季	9 (10)~22 (23)点	0~8 点
冬季	10 (13)~20 (23)点	22 (23)~10 (12)点

4. 结论和讨论

本文首先对最近 10 年国内外海陆风的研究进行总结和分析, 为确保自动气象站数据的有效性, 采用对风要素的观测数据进行质量控制的方法主要考虑以下几点因素, 即 1) 要排除多次风向角度不变的数据,

防止仪器故障导致的数据错误；2) 应排除小概率事件；3) 缺值数据具有时间集中性，不对该时间段进行分析；4) 考察站点本身对不同站点之间的风向差异；5) 验证具有较大差异的数据是否具有正确性。

基于以上五点结论，本文用 4 年的晋江气象站小时风速和风向的观测资料，通过对资料的分析，讨论出了晋江站的海陆风特征。1) 通过对晋江市月主导风资料的分析，重点讨论每月的风向和风速，找出不同月份之间的风速和风向的联系，不同季度的主导风向的不同以及全年的风速特征；2) 统计静风频率，不同季节的静风频率可以反映出海陆风的发生频率；3) 统计海陆风日，着重讨论海陆风的发生频率，逐小时的风向变化以及风速变化，通过此方法表现该地的海陆风特征，通过对不同月份不同季度的海风起始时间和持续时间以及陆风的起始时间和持续时间的分析，以图表方式直观表现出海陆风的季节性和其他特征。

本文分析晋江市海陆风特征用的是 2010~2014 四年的观测资料，数据量不够大，对未来几年海陆风发展的预测会有误差，但是本文所使用的是单一站点的数据对该地全部地区的海陆风表现有主观性本文提供了海陆风分析的方法，这为进一步的研究工作奠定了基础。成熟的数据筛选方法使数据更为精确。本文分析数据以大多以柱状图表现出来，更为直观地显示出该地海陆风特征，但是忽略了海岸线地形等因素对该地海陆风的影响，同时文本也没有分析在各环流作用下对海陆风的影响，这也值得进一步探究。

参考文献

- [1] 高佳琦. 渤海西部海陆风识别方法及其时空分布特征研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [2] 崔燕军. 大连湾海陆风的特征研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [3] 吴滨, 林长城, 文明章, 杨丽慧. 福建沿海地区海陆风的时空分布特征[J]. 应用海洋学学报, 2013, 32(1): 125-132.
- [4] 邱晓媛, 范绍佳. 海陆风研究进展与我国沿海三地海陆风主要特征[J]. 气象, 2013, 39(2): 186-193.
- [5] 韦晨. 江苏沿海地区海陆风气候特征分析[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [6] 宋洁慧. 宁波海陆风观测与数值模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.
- [7] 庄子善, 郑美琴, 王继秀, 周秀君, 张民凯. 日照沿海海陆风的气候特点及其对天气的影响[J]. 气象, 2005, 31(9): 66-70.
- [8] 许启慧. 天津地区海陆风时空变化特征及其对热岛效应的响应研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [9] 周钦华, 刘小根, 戚优华, 柯小青. 浙江沿海海陆风环流特征研究[J]. 杭州大学学报, 1987, 14(1): 109-120.
- [10] 邱晓媛. 珠江口西侧海陆风研究[D]: [硕士学位论文]. 珠海: 中山大学, 2010.
- [11] 于恩洪. 海陆风及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 1997: 5.
- [12] 李明华, 范绍佳, 王宝民, 等. 2004 年 10 月珠江口西岸海陆风特征观测研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(2): 123-125.
- [13] 吴兑, 陈位超, 游积平. 海口地区近地层流场与海陆风结构的研究[J]. 热带气象学报, 1995, 11(4): 306-314.
- [14] Jeffreys, H. (1922) On the Dynamics of Wind. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **48**, 29-48. <https://doi.org/10.1002/qj.49704820105>
- [15] Haurwitz, B. (1947) Comments on the Sea-Breeze Circulation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **4**, 1-8. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1947\)004<0001:COTSBC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1947)004<0001:COTSBC>2.0.CO;2)
- [16] Arritt, R.W. (1993) Effects of the Large-Scale Flow on Characteristic Features of the Sea Breeze. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **32**, 115-125. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1993\)032<0116:EOTLSF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1993)032<0116:EOTLSF>2.0.CO;2)