

# 万宁地区近地面氯离子沉积速率的影响因素研究

刘溅洪, 张凯, 易平, 代红, 李茜, 罗来正

(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

**摘要:** **目的** 研究热带海洋大气环境中不同地貌下氯离子沉积速率的分布规律及主要影响因素。**方法** 通过挂片法采集万宁地区的氯离子沉积速率, 并分析离海距离、地形地貌对氯离子沉积速率的影响, 以及其与海水因素、自然环境因素间的相关性。**结果** 近海开阔区域氯离子沉积速率受离海距离和地貌的影响显著, 在300 m处降低至90 m处的1/3左右, 地貌的变化导致同一距离点处的氯离子沉积速率相差30倍。另外, 高的海水有效波高、风速和东风占比使春季氯离子沉积速率高于夏季。**结论** 不同地貌下的氯离子沉积速率均与海水有效波高、风速间呈较强的正相关性。

**关键词:** 氯离子沉积速率; 地貌; 临海; 相关系数; 海水; 自然环境因素

中图分类号: TG172

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2023)02-0139-07

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2023.02.019

## Effect Factors of Chloride Deposition Rate Near Ground in Wanning

LIU Jian-hong, ZHANG Kai, YI Ping, DAI Hong, LI Qian, LUO Lai-zheng

(Southwest Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400039, China)

**ABSTRACT:** The work aims to investigate the distribution and major effect factors of the chloride deposition rate in tropical marine atmospheric environment under different geomorphology. The deposition rate of chloride ions near the coastline in Wanning was observed by piece-hanging method, and the effects of the distance from the coastline, topography and geomorphology on the deposition rate, as well as the correlation coefficients between the deposition rate and the factors of seawater or natural environment were analyzed. The result showed that the chloride deposition rate in open offshore areas was significantly affected by distance from the coastline and geomorphology. The chloride deposition rate at 300 m decreased to about 1/3 of that at 90 m. Meanwhile, the change of geomorphology lead it a 30-fold difference at the same distance point. Additionally, high effective wave height, wind speed and easterly wind proportion made the chloride deposition rate higher in spring than in summer. In conclusion, there is a strong positive correlation between the chloride deposition rate under different geomorphology and the effective wave height of seawater and wind speed.

**KEY WORDS:** chloride deposition rate; geomorphology; coastal; correlation coefficients; seawater; natural environmental factors

收稿日期: 2022-03-07; 修订日期: 2022-03-30

Received: 2022-03-07; Revised: 2022-03-30

作者简介: 刘溅洪(1991—), 男, 博士。

**Biography:** LIU Jian-hong (1991-), Male, Doctor.

引文格式: 刘溅洪, 张凯, 易平, 等. 万宁地区近地面氯离子沉积速率的影响因素研究[J]. 装备环境工程, 2023, 20(2): 139-145.

LIU Jian-hong, ZHANG Kai, YI Ping, et al. Effect Factors of Chloride Deposition Rate Near Ground in Wanning[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(2): 139-145.

由于良好的力学性能,金属材料(如铁、铝、铜和镁及其合金)是船舶、石油、建筑、汽车、航空等工业领域普遍使用的材料<sup>[1]</sup>。但是多数金属在与大气介质接触时会发生化学或电化学反应,从而引发结构损伤,出现腐蚀。据统计,全球每年因腐蚀造成的损失高达全年金属产量的20%~40%<sup>[2]</sup>,其中大气腐蚀造成的损失又占全部腐蚀的1/2<sup>[3]</sup>。因此,目前科学家针对材料的大气腐蚀现象及腐蚀机理进行了大量的研究<sup>[4-7]</sup>。研究表明,材料的大气腐蚀主要受润湿时间、温度、表面电解液成分( $\text{SO}_2$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$ )、风速等的影响较大<sup>[8-9]</sup>,尤其是在高温、高湿和高盐雾的热带海洋大气地区,材料的腐蚀现象尤为突出。因为氯离子的粒子半径小,穿透能力强,容易吸附在材料表面的钝化膜上,由钝化膜结构的缺陷(如位错、晶界等)处向内渗入,破坏钝化膜的完整性,形成局部腐蚀<sup>[10]</sup>,加速材料的腐蚀失效<sup>[11-13]</sup>。另外,氯盐环境下钢筋混凝土、电子产品等的腐蚀与氯离子侵入和沉积速率有关<sup>[11-13]</sup>,氯离子沉积速率越大,材料腐蚀越快<sup>[14-16]</sup>。基于此,国际和国内制定了相应的标准,将氯离子沉积速率作为一项重要的指标来评估海洋大气环境的腐蚀性,如ISO 9223—2012<sup>[17]</sup>和GB/T 19292.1—2018<sup>[18]</sup>等。

目前,国内外学者致力于完善沿海氯离子沉积速率分布规律的研究,已经在国内的海南省<sup>[19]</sup>、广东省<sup>[20]</sup>,以及国外的西班牙、古巴、墨西哥、比利时、法国、荷兰、瑞典、澳大利亚等地沿海进行了布点采集<sup>[16,21-24]</sup>,并绘制了部分沿海大陆的氯离子沉积速率地图<sup>[23]</sup>,为大气环境的腐蚀性严酷度评价提供了大量基础数据。另外,因为空气中的氯盐颗粒来源于海浪撞击和气流作用,所以从研究结果中可以发现,氯离子沉积速率受布点区域位置、离海距离、季节、海水因素等的影响较大<sup>[19]</sup>。但是,关于上述因素对不同地貌下氯离子沉积速率影响大小的研究较少,各因素与氯离子沉积速率间的相关性强弱仍无法直接判别。因此,急需开展不同地貌下氯离子沉积速率的采集,并研究其与各环境因素间的相关性。

本项目采用挂片法在海南省中东部沿海区域采集了3种不同地貌下的氯离子沉积速率,包括开阔区域、有防风林的半开阔区域和完全被防风林遮挡的区域,研究了3种典型区域中氯离子沉积速率与海水有效波高、风速、风向、温度、相对湿度间的相关系数,以此分析不同地貌下氯离子沉积速率的主要影响因素。

## 1 数据采集

### 1.1 采集地点及时间

项目组在海南岛中东部临海地区设置了3条不同离海距离的采集路线(南线、中线、北线,相距在

200 m内),采集路线均在平坦无山区,采集时间为2021年的3—8月份,采集频率为每月1次。其中,南线包含4个采集点,离海距离分别为90、150、300、350 m,其中离海距离较近的3个采集点为无遮挡的开阔区域,350 m的观测点附近有少量椰子树;北线为四周被防风林遮盖的不开阔区域,包含4个采集点,离海距离分别为90、150、200、350 m;中线包含7个采集点,离海距离分别为90、100、150、200、250、300、400 m,其中离海近的3个采集点北侧为防风林、南侧无遮挡的半开阔区,较远的4个采集点均在防风林区域,中线最远2个采集点的高度为4 m,其他采集点均位于地面。

### 1.2 采集方法

地面氯离子沉积速率采集方法参照GJB 8894.1—2017《自然环境因素测定方法 第1部分:大气环境因素》<sup>[25]</sup>中的挂片法,每个采集点均由3个平行样组成,氯离子沉积速率为3个试样的平均值。按照HJ 549—2016《固定污染源废气 氯化氢的测定 离子色谱法》<sup>[26]</sup>,测定采集纱布中的大气氯离子含量。对采集点附近的自然环境因素数据按照GB/T 35221—2017《地面气象监测规范》<sup>[27]</sup>进行采集,并求得相应的月平均值。另外,从国家海洋环境预报中心获取了海南岛中东部临海地区3—8月份的平均海水有效波高的数据。由于国家海洋环境预报中心没有公布2021年3月的平均海水有效波高,项目组通过查询得2015—2020年3月的平均有效波高分别为1.3、1.2、1.2、1.2、0.9、0.9 m,取其平均值1.1 m为2021年3月的平均海水有效波高。

## 2 影响因素分析与研究

### 2.1 离海距离与地形的影响

不同离海距离处3—8月份平均氯离子沉积速率相对值的变化规律如图1所示(以北线150 m处的数值为基数)。由图1可知,南线的氯离子沉积速率为3条采集线中最高,且呈现出随距离增加而降低的趋势,90 m处的氯离子沉积速率最大,300 m处降低至其1/3左右,400 m处防风林的作用使其进一步降低至1/10。中线的氯离子沉积速率呈现出先升高、后降低、再升高的变化规律,其中离海岸100 m处的氯离子含量最高,250 m处的氯离子含量最低,是100 m处的1/13左右。北线的氯离子含量为3线中最低,表现出先降后增的规律。

广州电器科学研究所的徐国葆<sup>[28]</sup>研究指出,空气中氯离子主要来源如下:海浪间及其与海岸礁石间的拍击作用和海底生物作用等产生的大量泡沫和气泡,在气流的作用下,分解成若干细小液滴,飘向高空和陆地,并逐渐演变成大气盐核。在扩散过程中,盐核

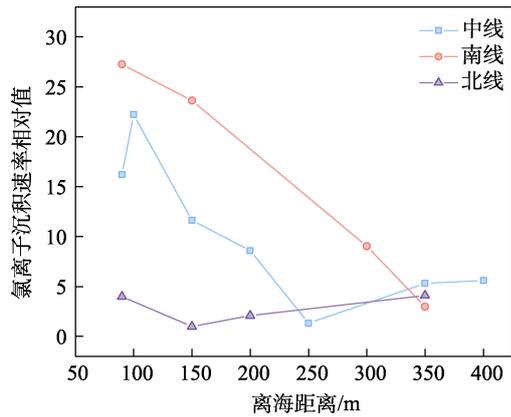


图 1 不同离海距离处的半年平均氯离子沉积速率相对值  
Fig.1 Average relative chloride deposition rate of half of a year as the function of different distances from the coastline

由于重力作用而发生沉降, 随离海岸距离的增加, 空气中盐雾含量逐渐降低。因此, 在无遮挡的平地上, 采集的氯离子沉积速率常与离海距离间表现出较强的负相关性<sup>[23,29]</sup>, 甚至为线性负相关<sup>[30]</sup>。本研究中南线氯离子沉积速率的变化规律与此相符, 与距离基本呈线性负相关关系。

在氯离子扩散传输的过程中, 其会受到地形、地貌的影响而出现不一致的变化, 比如山的阻隔导致其迎海面的氯离子沉积速率高于背海面<sup>[28]</sup>。在本研究中, 中、北线氯离子沉积速率的变化与此有关。中线采集点靠海岸边缘, 受地形和防风林的影响, 氯离子向陆地的扩散传输受到阻碍, 因此 90 m 处的氯离子沉积速率与南线 90 m 处的相差较大。随后 2 个采集点仅北侧为防风林覆盖区, 因此空气中的盐雾可以由沿海和南面扩散而至, 因此第 2 个采集点的氯离子沉积速率又有所增加。随后由于距离的增加和防风林的阻碍作用, 第 3—5 个采集点的氯离子沉积速率出现明显的降低。第 6、7 个采集点的氯离子沉积速率与第 5 个采集点相比有成倍的增加, 这主要是因为这 2 处采集点设置在房顶, 离地距离约 4 m。另外, 采集点周围 5 m 范围内没有遮挡物。当海岸边氯离子传输至观测点上方或周围时, 其沉降作用将不受高大椰树影响, 因此更多的氯离子能够传输到采集的纱布上, 氯离子沉降速率升高。对于北线观测点, 所有观测点四周都被高大的椰树遮盖, 这些椰树会直接影响氯离子的扩散传输, 从而氯离子沉积速率与中、南线相比出现显著下降, 90 m 处的氯离子沉积速率仅为南线同样距离处的 1/8。不同的是, 北线离海较远的 3 个采集点的氯离子沉积速率反而出现了稳步的上升, 这可能是因为靠近 200、350 m 采集点的北侧 30 m 附近有水产养殖场的原因。

## 2.2 季节的影响

3 线离海 90 m 处采集点的氯离子沉积速率相对值随月份的变化规律如图 2 所示(以北线 7 月份的数值为基数)。从图 2 中可以观察到, 南线的氯离子沉

积速率各月份均最高, 中线次之, 北线最低。这再次体现了地貌对氯离子扩散传输作用的影响, 其作用导致北线氯离子沉积速率只有南线的 1/30~1/4。另外, 3 线的氯离子沉积速率几乎均出现了 2 次先降低、后升高的变化, 春季的氯离子沉降量要高于夏季。该地区春季氯离子沉积速率呈下降趋势, 最低出现在 5 月份, 最高在 3 月份; 夏季 7 月份最低, 6 月份最高。其中, 中线和北线的最高氯离子沉积速率出现在 3 月份, 而南线出现在 4 月份。氯离子沉积速率随月份的变化可能与环境因素、海水因素等的变化息息相关。

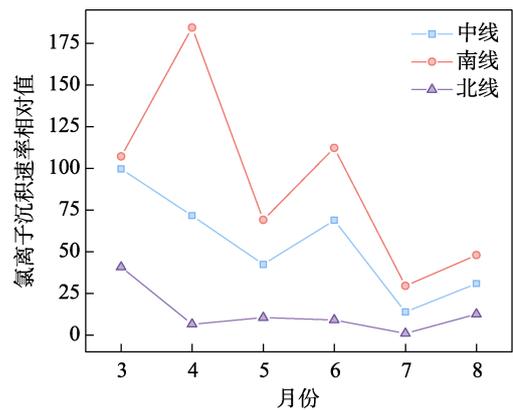


图 2 氯离子沉积速率相对值半年内的逐月变化规律  
Fig.2 Monthly variation of relative chloride deposition rate in half a year

## 2.3 自然环境因素与海水因素的影响

海水、海浪是形成盐雾环境的主要原因, 因此海水因素将直接影响氯离子的产生。郭赞洪等<sup>[19]</sup>也发现氯离子沉积速率与海水因素有较强的相关性。有文献表明, 海洋的盐度在各月份变化较小, 故本文只讨论海水有效波高与氯离子沉积速率间的关系。

从国家海洋环境预报中心查询的海南岛中东部临海地区 3—8 月份平均海水有效波高数据, 其出现了 2 次先升后降的变化, 4 月份的平均海浪高度最高, 7、8 月份最低。其整体上呈下降趋势, 与氯离子沉降量的变化趋势相似。

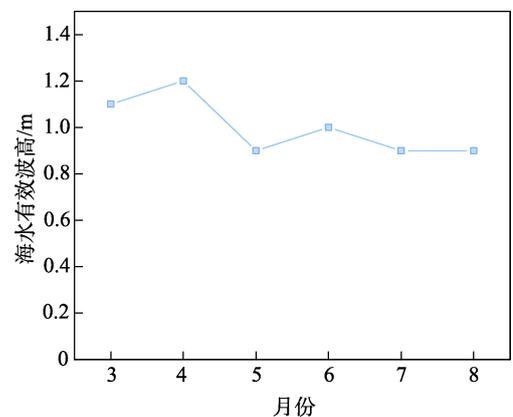


图 3 平均海水有效波高 3—8 月间的逐月变化规律  
Fig.3 Monthly change trend of average effective wave height of seawater from March to August

另外,自然环境因素也是影响氯离子扩散传输的重要因素,例如风速风向对于盐雾的扩散传输有较大影响,季风、多风季节氯离子沉降速率明显大于潮湿、多雨季节<sup>[19-20]</sup>。基于此,项目组监测了濒海海岸3—8月份间的环境因素变化。90 m观测点附近的月平均风速、降雨量、温度和相对湿度变化规律如图4所示。从图4中可以看出,该地区的风速呈现先升、后降、再升的变化规律,其中5月份的风速最大,超过了1.6 m/s,7月份风速最低。整体上看,春季的风速要大于夏季。降水量方面,5月份的降雨量最大,4月份最低,出现了2次先降后升,春季和夏季的平均降水量相差不大。温度方面,5月份温度最高,3月份最低,春季呈现上升趋势,夏季趋于平稳,夏季气温略高于春季。对于相对湿度而言,其呈现出先降低、后升高的变化规律,6月份的相对湿度最低,8月份最高。从数值上可以看出,相对湿度变化幅度不大,整体在80%~86%。

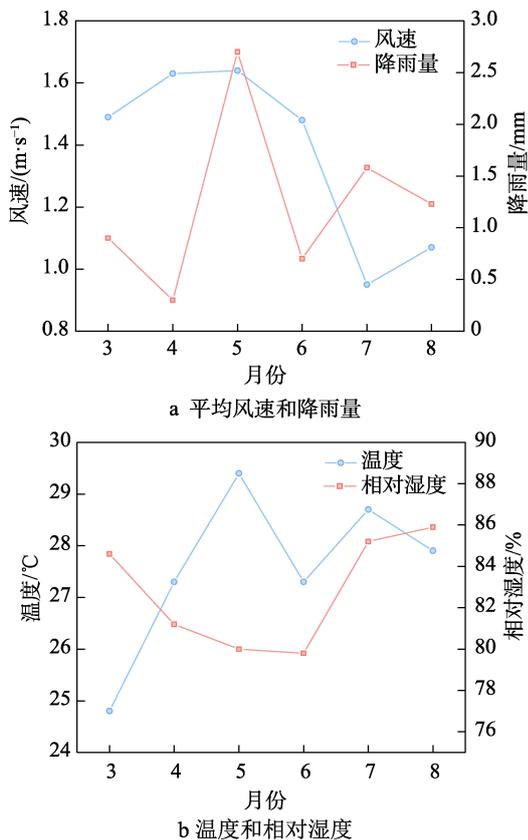


图4 90 m观测点附近的月平均风速和降雨量、温度和相对湿度

Fig.4 Monthly average wind speed and precipitation (a), temperature and relative humidity (b) near observation point of 90 m

为了更清楚地了解各环境因素对氯离子沉降速率的影响,表1给出了90 m处氯离子沉积速率与环境因素间的线性相关系数。表1中结果显示,南、北、中3线的氯离子与温度、相对湿度、降雨量间基本为负相关性关系,与风速、海水有效波高呈正相关关系。

对于南线和中线90 m处的氯离子沉积速率,其受环境因素影响从大到小的顺序依次为海水有效波高>风速~降水量>相对湿度~温度。北线则是温度影响最显著,其次才是海水有效波高等,这可能源于北线观测点四周均被防风林遮挡。当周围存在较多高大椰树时,气流的传输作用将大幅减弱,从而大幅降低采集点周围氯离子的浓度,减弱了氯离子源及风速变化带来的影响,这也是北线各月份的氯离子沉积速率最低(见图2)的原因。在开阔位置,氯离子因气流作用很容易传输和沉降到采集纱布上。氯离子源浓度的变化及风的传输作用直接决定了采集点处的氯离子浓度,进而表现出对海水有效波高和风速的强依赖性。中线由于靠海和北侧有地形地貌影响,其受海水有效波高和风速的影响有所降低,但是氯离子的传输仍然可以从南面和高空进行,因此相关系数依然维持在较高水平。

表1 3—8月份氯离子沉积速率与环境因素间的线性相关系数

Tab.1 Pearson correlation coefficients between the chloride deposition rate of chloride ions and environmental factors from March to August

环境因素	相关系数		
	南线	中线	北线
温度	-0.45	-0.54	-0.83
相对湿度	-0.53	-0.29	0.25
降雨量	-0.67	-0.85	-0.15
风速	0.75	0.70	0.28
海水有效波高	0.93	0.79	0.34

另一方面,研究表明,雨水中氯离子含量明显低于大气中的氯离子浓度<sup>[28]</sup>。因此,降雨过程会降低大气中的氯离子浓度,降雨量越多,采集的氯离子沉积速率就会越低。从表1也可以看出,降雨量对开阔及半开阔位置的氯离子沉积速率作用明显。对于四周存在防风林的采集点,可能其附近的氯离子浓度较低,降雨过程可能对其浓度的影响较小,从而氯离子沉积速率与降水量的相关性降低。

为了进一步探究风与氯离子沉积速率间的关系,需要对该地区3—8月份风向的变化进行研究。90 m观测点附近3—8月份的逐月风速风向分布玫瑰图如图5所示。由图5可见,该地区各月的风速风向有较大的变化,从3月到8月,风向逐渐由东风变为南风。3月份多为东风和东南风,整体以东风为主,正东风占比达到31%,东风占比高达66%,西风占比仅为22%。另外,西风以2 m/s内风速为主,而东风以1~3 m/s为主。4月份的西风占比有所升高,占比为30%,但是东风占比依然达到了58%,且东风的风速明显大于西风。5月份的风向发生了大幅的变化,其东风占比断崖式的降至26%,西风占比大幅提升至47%。随着后续月份的增加,东风占比没有太大变化,分别为

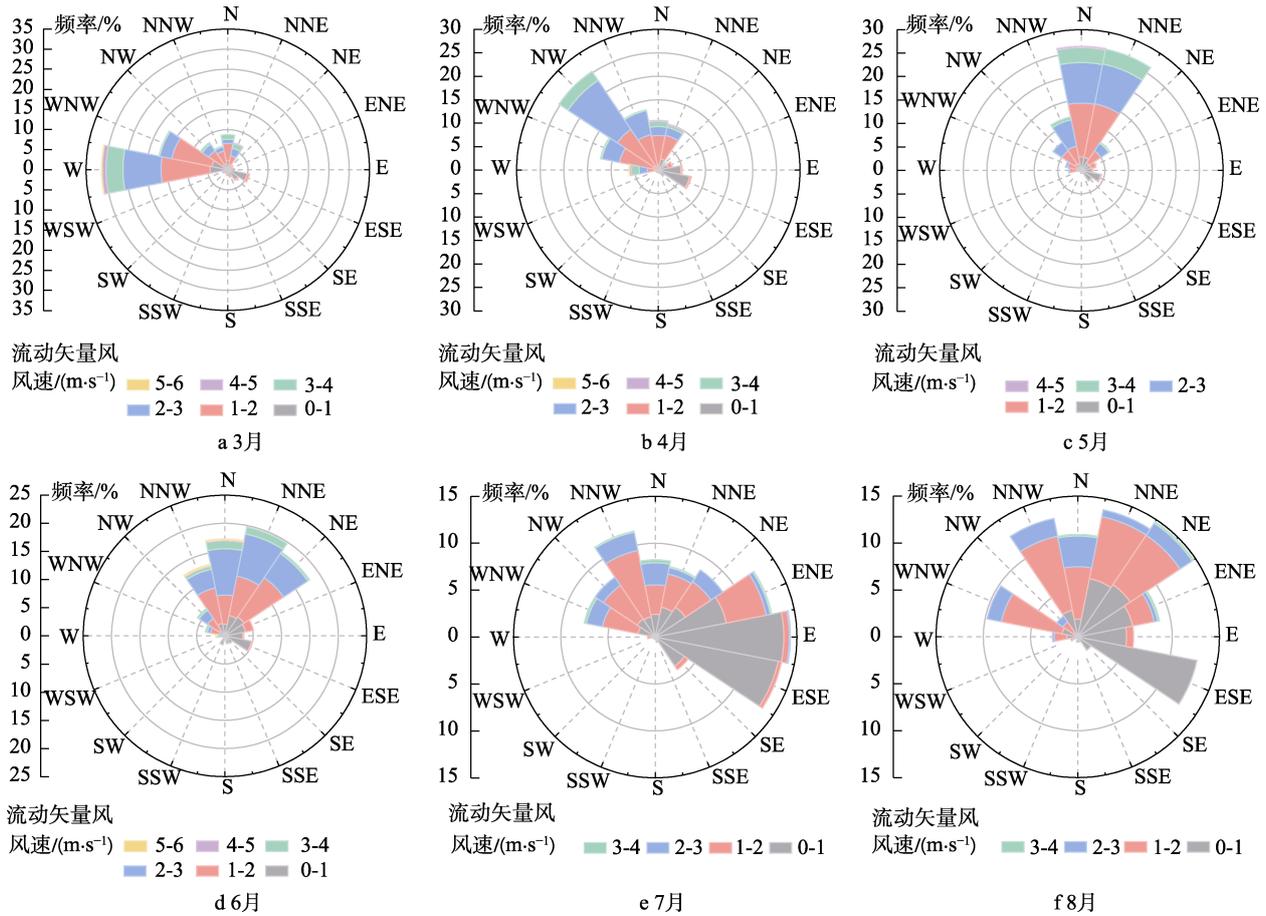


图 5 90 m 观测点附近 3—8 月间的逐月风速风向分布玫瑰图

Fig.5 Rose diagram of monthly wind speed and wind direction distribution from March to August near the observation point of 90 m: a) March; b) April; c) May; d) June; e) July; f) August

26%、28%、29%；西风占比仍有一定增加，分别为 54%、62%、59%。从上述结果可以发现，该地区 3、4 月份以东风为主，5—8 月份则多为西风。

项目组选择的观测点处海岸线几乎呈正南北走向，因此东风为风从海面吹向观测场，西风是从观测场吹向海面。风向与氯离子沉积量间的线性相关系数见表 2。由表 2 可知，风向与氯离子沉积速率的相关系数在中强相关性之间，说明风向对氯离子沉积速率的影响较大。其中氯离子沉积速率与东风呈正相关，与西风呈负相关。这是因为由海面而来的风会增大观测场中的氯离子浓度，从而增大纱布上氯离子的沉积量，而从观测场吹向海面的风将降低观测场中的氯离子浓度，从而减弱氯离子在纱布上的沉积效果。

另外，从图 5 可以看出，观测场中出现从北向南的风的比例非常小，即 3 线 90 m 处均为由南向北的风较多，所以中线北侧防风林的作用比较弱。因此，中线与南线的氯离子沉积速率相差不大，且变化规律基本一致（见图 2），而北线防风林的作用导致其与中、南线相差较大。综上所述，不同地貌下的氯离子沉积速率均受海水有效波高、风速、风向的影响较大，受相对湿度影响较小。

表 2 3—8 月份氯离子沉积速率与风向占比间的线性相关系数

Tab.2 Pearson correlation coefficients between the chloride deposition rate from March to August and the proportion of wind direction

风向占比	相关系数		
	南线	中线	北线
东风	0.66	0.77	0.67
西风	-0.72	-0.87	-0.70

### 3 结论

通过在海南岛万宁地区不同地形地貌处采集不同离海距离的氯离子沉积速率，并采用线性相关系数分析了其与主要海水和环境影响因素间的变化关系。研究结果如下：

1) 离海距离、地貌会显著影响氯离子的沉积速率，离海距离越远，氯离子沉积速率越低。开阔区域的氯离子沉积速率大于地形地貌复杂的区域。另外，人工生产活动也会对氯离子沉积速率产生一定的影响，但是并不显著。

2) 不同地貌下的氯离子沉积速率受海水有效波

高、风速、风向的影响较大,受相对湿度影响较小。该地区春季更高的海水有效波高、风速和东风占比,使春季氯离子沉积速率要高于夏季。

#### 参考文献:

- [1] CARVALHO J B R, SILVA R S, CESARINO I, et al. Influence of the Annealing Temperature and Metal Salt Precursor on the Structural Characteristics and Anti-Corrosion Barrier Effect of CeO<sub>2</sub> Sol-Gel Protective Coatings of Carbon Steel[J]. *Ceramics International*, 2014, 40(8): 13437-13446.
- [2] 陶琦, 李芬芳, 邢健敏. 金属腐蚀及其防护措施的研究进展[J]. *湖南有色金属*, 2007, 23(2): 43-46.  
TAO Qi, LI Fen-fang, XING Jian-min. Research on Progress of Metal Corrosion and Its Protection Method[J]. *Hunan Nonferrous Metals*, 2007, 23(2): 43-46.
- [3] 王凤平, 张学元, 杜元龙. 大气腐蚀研究动态与进展[J]. *腐蚀科学与防护技术*, 2000, 12(2): 104-108.  
WANG Feng-ping, ZHANG Xue-yuan, DU Yuan-long. The Review of Atmospheric Corrosion Research[J]. *Corrosion Science and Technology Protection*, 2000, 12(2): 104-108.
- [4] SANG Sheng-huan, DUAN Yu-feng, CHEN Hui-chao, et al. High Temperature Corrosion of Superheater Materials in Chlorination-Oxidation Atmosphere[J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 718-720: 52-58.
- [5] DE LA FUENTE D, DÍAZ I, SIMANCAS J, et al. Long-Term Atmospheric Corrosion of Mild Steel[J]. *Corrosion Science*, 2011, 53(2): 604-617.
- [6] GRAEDEL T E. Corrosion Mechanisms for Silver Exposed to the Atmosphere[J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 1992, 139(7): 1963-1970.
- [7] WANG J H, WEI F I, CHANG Y S, et al. The Corrosion Mechanisms of Carbon Steel and Weathering Steel in SO<sub>2</sub> Polluted Atmospheres[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 1997, 47(1): 1-8.
- [8] QUADRI T W, AKPAN E D, OLASUNKANMI L O, et al. Fundamentals of Corrosion Chemistry[M]. Amsterdam: Elsevier, 2022.
- [9] SCHWEITZER P A. Fundamentals of Corrosion: Mechanisms, Causes, and Preventative Methods[M]. Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [10] LIU J H, YAN J X, LIU Y D, et al. Impact of Annealing Temperature on the Microstructure, Microhardness, Tribological Properties and Corrosion Resistance of Ni-Mo/Diamond Composites[J]. *Applied Surface Science*, 2021, 541: 148367.
- [11] LINDVALL A. Environmental Actions on Concrete Exposed in Marine and Road Environments and Its Response—Consequences for the Initiation of Chloride Induced Reinforcement Corrosion[D]. Chalmers: Department of Building Technology Building Materials Chalmers University of Technology, 2003.
- [12] 孟令波, 单仁丽, 张洪胜. 氯盐环境条件下混凝土氯离子侵蚀模型进展[J]. *上海涂料*, 2021, 59(4): 44-48.  
MENG Ling-bo, SHAN Ren-li, ZHANG Hong-sheng. Development of Chloride Ion Erosion Model for Concrete under Chloride Environment[J]. *Shanghai Coatings*, 2021, 59(4): 44-48.
- [13] LIU J H, PEI Z L, SHI W B, et al. Studies on Preparation, Microstructure, Mechanical Properties and Corrosion Resistance of NiMo/Micron-Sized Diamond Composite Coatings[J]. *Surface and Coatings Technology*, 2020, 385: 125451.
- [14] CHEN Jian-bin, ZHANG Guo-liang, MO Li-wei, et al. Sea Sand Concrete Chloride Ion Diffusion and Combination of Curing[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, 174-177: 358-361.
- [15] CHEN Heng, CUI Huai-yun, HE Ze-bang, et al. Influence of Chloride Deposition Rate on Rust Layer Protectiveness and Corrosion Severity of Mild Steel in Tropical Coastal Atmosphere[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2021, 259: 123971.
- [16] CASTAÑEDA A, CORVO F, HOWLAND J J, et al. Atmospheric Corrosion of Reinforced Concrete Steel in Tropical Coastal Regions[J]. *Engineering Journal*, 2013, 17(2): 1-18.
- [17] ISO 9226—2012, Corrosion of Metals and Alloys—Corrosivity of Atmospheres—Determination of Corrosion Rate of Standard Specimens for the Evaluation of Corrosivity[S].
- [18] GB/T 19292.1—2018, 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第1部分: 分类、测定和评估[S].  
GB/T 19292.1—2018, Corrosion of Metals and Alloys—Corrosivity of Atmospheres—Part 1: Classification, determination and Estimation[S].
- [19] 郭赞洪, 梁少燕, 唐其环, 等. 空气中氯离子沉积速率的影响因素分析[J]. *装备环境工程*, 2020, 17(10): 124-130.  
GUO Zan-hong, LIANG Shao-yan, TANG Qi-huan, et al. Analysis of Factors Influencing Chloride Deposition Rate in Air[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2020, 17(10): 124-130.
- [20] 张波, 徐敏, 陈云霞, 等. 湛江临海区域氯离子沉降速率对比研究[J]. *装备环境工程*, 2021, 18(1): 129-133.  
ZHANG Bo, XU Min, CHEN Yun-xia, et al. Comparative Study of Cl<sup>-</sup> Sedimentation Rates in Coastal Areas of Zhanjiang[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2021, 18(1): 129-133.
- [21] ALCALÁ F J, CUSTODIO E. Atmospheric Chloride Deposition in Continental Spain[J]. *Hydrological Processes*, 2008, 22(18): 3636-3650.
- [22] DELALIEUX F, VAN GRIEKEN R, POTGIETER J H. Distribution of Atmospheric Marine Salt Depositions over Continental Western Europe[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, 52(6): 606-611.
- [23] DAVIES P J, CROSBIE R S. Mapping the Spatial Distri-

- bution of Chloride Deposition across Australia[J]. *Journal of Hydrology*, 2018, 561: 76-88.
- [24] RANDALL R E. Salt Measurement on the Coast of Barbados, West Indies[J]. *Oikos*, 1970, 21(1): 65.
- [25] GJB 8894.1—2017, 自然环境因素测定方法 第一部分: 大气环境因素[S].  
GJB 8894.1—2017, Determination Method of Natural Environmental Factors—Part 1: Atmospheric Environmental Factors[S].
- [26] HJ 549—2016, 环境空气和废气 氯化氢的测定 离子色谱法[S].  
HJ 549—2016, Ambient Air and Stationary Source Emissions -Determination of Hydrogen Chloride-Ion Chromatography[S].
- [27] GB/T 35221—2017, 地面气象监测规范 总则[S].  
GB/T 35221—2017, Specifications for Surface Meteorological Observation—General[S].
- [28] 徐国葆. 我国沿海大气中盐雾含量与分布[J]. *环境技术*, 1994, 12(3): 1-7.
- XU Guo-bao. Content and Distribution of Salt Fog in Coastal Atmosphere of China[J]. *Environmental Technology*, 1994, 12(3): 1-7.
- [29] 侯梦莹, 李芊芊, 袁甜甜, 等. 南方滨海地区盐雾沉降的时空分布——以福建古雷半岛为例[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(8): 2524-2530.
- HOU Meng-ying, LI Qian-qian, YUAN Tian-tian, et al. Spatiotemporal Distribution of Salt Spray Deposition in the Coastal Areas of South China: A Case Study of the Gulei Peninsula, Fujian[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(8): 2524-2530.
- [30] 曾菊尧. 关于我国沿海地区近地面大气中的盐雾及其分布[J]. *特殊电工*, 1982(4): 15-20.
- ZENG Ju-yao. Salt Fog and Its Distribution in the Near-Surface Atmosphere in Coastal Areas of China[J]. *Electrical Appliances*, 1982(4): 15-20.

责任编辑: 刘世忠