

渤海大气环境氯离子高度分布规律研究

张涛^{1,2}, 李鸿飞¹, 刘静¹, 朱浩若¹

(1.西南技术工程研究所, 重庆 400039;

2.海南万宁大气环境材料腐蚀国家野外科学观测研究站, 海南 万宁 571522)

摘要: **目的** 研究渤海大气环境氯离子沿建筑物高度的分布规律。**方法** 以海南渤海高层建筑为研究平台, 在建筑物不同高度楼层设置监测点, 采用“纱布法”完成不同高度层的大气环境氯离子沉积速率数据采集, 每次取换样周期为30 d, 连续监测1 a。利用离子色谱仪对所采集的样本进行检测分析, 研究渤海大气环境氯离子沿建筑物高度的分布规律。**结果** 氯离子沉积速率随塔楼高度的增加而升高, 在塔楼建筑高度60%~70%的区域, 受到高层建筑“下冲风”的影响, 氯离子沉积速率会有所下降, 出现相对低值。通过这个区域后, 氯离子沉积速率又逐渐升高。**结论** 渤海大气氯离子沉积速率沿建筑物高度变化规律受到大气氯离子浓度、风向风速、温湿度和高层建筑气流的综合影响。

关键词: 氯离子; 沉积速率; 渤海大气; 纱布法; 离子色谱法; 高楼风

中图分类号: TG172

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2022)12-0137-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2022.12.019

Height Distribution Law of Chlorine Ions in Coastal Atmosphere

ZHANG Tao^{1,2}, LI Hong-fei¹, LIU Jing¹, ZHU Hao-ruo¹

(1.Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China;

2.Hainan Wanning Materials Corrosion National Observation and Research Station, Hainan Wanning 571522, China)

ABSTRACT: The work aims to study the distribution law of chlorine ions along the height of buildings in the coastal atmosphere. With coastal high-rise buildings of Hainan as the research platform, monitoring points were set at different floors of the buildings, and the “gauze method” was used to collect the chlorine ion deposition rate in the atmospheric environment at different heights. Each sampling and changing cycle was 30 days, and the continuous monitoring time was 1 year. The collected samples were detected and analyzed by ion chromatograph to study the distribution law of chlorine ions along the height of buildings in the coastal atmosphere. The chloride ion deposition rate increased with the height of the tower building. In the area of 60%-70% of the height of the tower building, the chloride ion deposition rate decreased to a relatively low value due to the effects of the “downwind” of high-rise buildings. After passing through this area, the chloride ion deposition rate gradually increased. The change of chloride ion deposition rate along the height of buildings in the coastal atmosphere is affected by the overall influence of atmospheric chlorine ion concentration, wind direction and wind speed, temperature and humidity and high-rise building airflow.

KEY WORDS: chlorine ion; deposition rate; coastal atmosphere; gauze method; ion chromatograph; high-rise wind

收稿日期: 2021-11-03; 修订日期: 2021-12-15

Received: 2021-11-03; Revised: 2021-12-15

作者简介: 张涛(1969—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为防腐工程技术与环境试验技术。

Biography: ZHANG Tao (1969-), Male, Senior engineer, Research focus: corrosion prevention engineering and environmental test technology.

引文格式: 张涛, 李鸿飞, 刘静, 等. 渤海大气环境氯离子高度分布规律研究[J]. 装备环境工程, 2022, 19(12): 137-142.

ZHANG Tao, LI Hong-fei, LIU Jing, et al. Height Distribution Law of Chlorine Ions in Coastal Atmosphere[J]. Equipment Environmental Engineering, 2022, 19(12): 137-142.

海洋大气环境的一个主要特征就是氯离子含量高,大气氯离子是影响金属腐蚀的重要环境介质。材料大气腐蚀的相关研究表明,相对湿度、大气中腐蚀性成分(主要是 SO_2 、 Cl^- 含量)、水溶性降尘量、气温为大气腐蚀的显著因子。ISO 9223 更将大气氯离子沉积速率作为环境因素法评价大气腐蚀等级的一项重要因素^[1]。除了加剧金属或金属镀层的腐蚀,海洋大气中高浓度的氯离子还会造成电子设备损坏、绝缘表面导电性增加^[2]、表面保护膜破坏等危害。因此,掌握濒海地区的大气氯离子分布规律,对于濒海地区高新武器装备、大型国防工程、跨海大桥、沿海风电等军民装备、建筑工程的防腐设计以及其日常管理和使用维护,有非常重要的指导作用和参考价值^[3]。

在濒海地区,大气环境中的氯离子在空间分布上并不是均匀的。有研究表明^[4],在地面上,大气氯离子浓度及其沉积速率都随采样点离海边距离的增大而迅速下降。在海南万宁站测试表明,距海边 100 m 处, Cl^- 质量浓度可达 $0.185\ 3\ \text{mg}/\text{m}^3$,在 350 m 处则降为 $0.029\ 4\ \text{mg}/\text{m}^3$ 。

除了离海距离因素外,高度也会对大气氯离子分布造成影响^[5],可能致使腐蚀环境发生明显变化。近年来,随着在濒海地区大型工程建设加速,通过研究濒海大气环境氯离子沿建筑物高度的分布规律,能够为濒海大型工程特别是高层建筑以及内部设备的防腐和维护方案制订提供科学依据,既满足长期防腐和设备稳定运行的要求,又避免过度防护,合理有效利用资源,节约成本。

1 研究现状分析

1.1 国外研究现状

在海洋大气环境下,大气氯离子对金属腐蚀的影响尤为突出^[6],国外研究机构很早就开始对其进行监测,并制定了相应的测试方法标准。如 ISO 9223—1992 根据大气氯离子、二氧化硫、润湿时间 3 项因素进行过大气腐蚀性分级^[7],该标准同时明确指出了其分级准则中大气氯离子沉降速率指标按 ISO 9225 所规定的湿蚀法进行采集分析^[8]。经修订后的 ISO 9225—2012 增加了“纱布法”采样方法。日本 JISZ 2382 则规定采用“纱布法”进行采样,与我国自然环境试验站网现行的挂片法大体一致^[9]。日本作为岛国,对海洋大气研究较多,有人员根据不同离海距离的测试结果将沿海地区大气划分为海上、海滨、沿岸、准沿岸、内陆 5 个区,将各区距海岸线距离分别划分为 $<0\ \text{m}$ 、 $0\sim 300\ \text{m}$ 、 $300\sim 2\ 000\ \text{m}$ 、 $2\sim 20\ \text{km}$ 、 $>20\ \text{km}$,但对不同高度的大气氯离子测试研究尚未见报道。

1.2 国内研究现状

国内环境试验研究单位很早就开始对大气氯离

子进行监测,目前的主要监测指标有大气氯离子浓度和大气氯离子沉积速率。大气氯离子浓度是瞬时值,单位为 mg/m^3 ,其物理意义为某一时间点单位体积大气所含的氯离子质量。大气氯离子沉积速率则是累计平均值,单位为 $\text{mg}/(100\ \text{cm}^2\cdot\text{d})$,其物理意义为某段时间内暴露在大气中的样品单位时间内在单位表面积上的平均氯离子沉积质量^[10]。针对这 2 个指标相应的标准测试方法有:GJB 8894.1—2017《自然环境因素测定方法第 1 部分:大气环境因素》、WJ 2360—1995《兵器产品自然环境试验方法 环境因素监测》、《全国大气腐蚀网站操作规程 腐蚀性物质浓度监测分析方法》等。由于现有标准主要针对自然环境试验站暴晒场日常监测,均规定在离地 1~1.5 m 高度进行测试。有调查表明,距海平面 7~8 m 处,腐蚀性最强,在此之上,距海平面越高,腐蚀性越弱。这种差异是否来自或部分来自于大气氯离子沿高度分布的差异,暂时还无法判断,因为目前针对不同高度系统开展的大气氯离子监测很少。我国部分核电站如秦山核电站、红沿河核电站等,为预测设备腐蚀情况,利用气象塔测过不同高度氯离子,但均只测了 1.5、10 m 这 2 个高度,变化规律不够明显。大气氯离子的垂直(距海平面高度)分布情况尚不明确,亟待进一步的深入研究。

2 研究方法

盐雾中的氯离子主要是通过沉积在金属表面形成薄膜膜进而加速金属腐蚀的^[11]。在环境工程专业,常用来表征盐雾严重程度的有大气氯离子浓度和大气氯离子沉积速率 2 种指标。其中大气氯离子浓度是瞬时值,该指标随机误差较大^[12],且难以反映大气氯离子作用于产品的实际情况,因为大气氯离子并不是直接破坏产品,而是通过沉积于产品表面起作用。因此,环境工程上更多地使用大气氯离子沉积速率来评价氯离子的污染程度。本项目以大气氯离子的沉积速率作为主要测试指标,以海南岛东海岸濒海高层塔楼为研究平台,在建筑物塔楼不同楼层设置监测点,完成不同高度层大气氯离子沉积率数据采集工作。通过对环境监测数据进行分析 and 比对,研究濒海大气环境氯离子沿建筑物高度的分布规律。

3 研究过程

3.1 氯离子沉积速率的测量方法

3.1.1 测量原理

氯离子沉积速率测量原理是利用其采集装置中具有过滤及吸附能力的双层纱布,吸附空气中的含盐粒子而进行样品采集。连续采集一定时间后(一般为 30 d),对采集装置中的纱布样品进行取样分析。

3.1.2 装置和仪器

1) 氯离子沉积速率采样器, PVC 外框外侧尺寸为 150 mm×150 mm, 内侧尺寸为 120 mm×120 mm, PVC 内框外侧尺寸为 120 mm×120 mm, 内侧尺寸为 100 mm×100 mm, 采样面积为 100 cm²。

2) 美国戴安公司 ICS 900 离子色谱分析仪, 最小检出限 ≤ 0.02 mg/L。

3) QC-3 气体采样器, 流量范围为 0~1 L/min。

4) 玻砂吸收管, 规格为 10 mL。

5) 电子分析天平, 感量为 0.1 mg。

3.1.3 测量方法

在测量点位悬挂 3 片氯离子沉积速率采样装置, 利用一定面积的纱布在固定时间段内连续吸附空气中的盐雾, 然后对采集样品进行分析处理, 计算单位时间内单位面积纱布所沉积的氯离子质量^[13]。

氯离子沉积速率采集参照 GJB 8894.1—2017《自然环境因素测定方法第 1 部分: 大气环境因素》。氯离子沉积速率样品分析方法参照 HJ 549—2009《环境空气和废气 氯化氢的测定 离子色谱法(暂行)》, 采用离子色谱仪进行分析。

3.1.4 测量准备

采用纱线数规格为 22C/(120±6/100)mm×(100±6/100)mm 的脱脂棉纱布, 将其剪成尺寸约 150 mm×150 mm 的方块。用超纯水对裁剪好的纱布逐一清洗多次, 放入电热鼓风干燥箱 120 °C 温度烘干 4 h。分析人员戴上洁净的手套, 将烘干的双层纱布绷直固定在干净的采集装置上, 用刀片把四周多余的部分沿着固定卡条剪掉, 见图 1。编号后, 立即密封包装待用。



图 1 氯离子沉积速率采样器安装

Fig.1 Installation of chlorine ion deposition rate sampler

3.2 氯离子测量过程

3.2.1 监测地点设立

建筑物距离海岸 850 m, 塔楼高度为 92 m, 楼层为 12 层, 每层高度在 7 m 左右。在塔楼设置氯离子沉积速率垂直分布监测点 7 个, 每个监测点设置盐雾

氯离子沉积速率采样器 3 个, 方向朝南, 监测点设置情况见表 1。监测试验架和氯离子沉积速率采样器安放情况见图 2 和图 3。

表 1 监测点设置情况
Tab.1 Setting of monitoring points

监测点	监测点位置	监测点描述
1	1+层	高度 4.8 m (户外)
2	3 层	高度 13.6 m (阳台)
3	5 层	高度 27.86 m (阳台)
4	7 层	高度 42 m (阳台)
5	9 层	高度 56.25 m (阳台)
6	11 层	高度 70.45 m (阳台)
7	顶层	高度 88 m (户外)

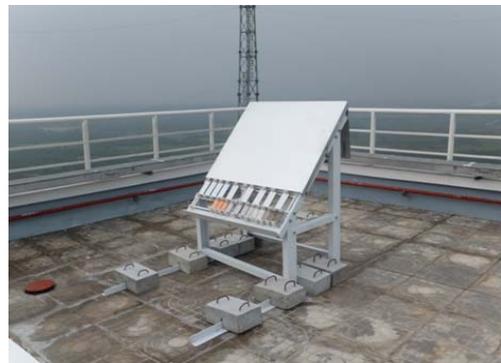


图 2 塔楼楼顶监测点

Fig.2 Monitoring point on the roof of the tower building



图 3 氯离子沉积速率监测采样

Fig.3 Chlorine ion deposition rate monitoring and sampling

3.2.2 监测样本采集

对各监测点的盐雾(氯离子)沉积速率(mg/100 cm²·d)进行持续监测, 监测总时长为 12 个月, 氯离子沉积速率采样器每月更换和取样分析 1 次。为了掌握塔楼不同高度层大气氯离子浓度分布与氯离子沉积速率之间的关系, 在塔楼氯离子沉积速率各监测点开展了大气氯离子浓度监测。

盐雾浓度样本采集参照 GB/T 10593.2—2012《电工电子产品环境参数测量方法 第 2 部分: 盐雾》中 3.4 规定执行。采用 QC-3 气体采样器, 在双气路大

气采样器上，左右两边均串联 2 支各装有 5 mL 吸收液的多孔玻板吸收管，以 0.5 L/min 流量采集大气，采样 60 min，即获得氯离子浓度样本。

3.2.3 监测样品分析

样本采集后，按照 HJ 549—2009《环境空气和废气 氯化氢的测定 离子色谱法（暂行）》，采用离子色谱仪（含电导检测器及阴离子色谱柱）进行分析^[14]。该方法是利用不同离子在色谱柱中的离子交换速率不同，通过析出的时间来定性，通过测特征离子的电导来定量。该方法对溶液的检出限达到 0.2 μg/10mL。

氯离子沉积速率计算公式为：

$$D=[Cl^-] \cdot V / (S \cdot t)$$

式中： D 为氯离子沉积速率， $mg/(m^2 \cdot d)$ ； $[Cl^-]$ 为样品溶液氯离子质量浓度， mg/L ； V 为样品溶液总体积， L ； S 为纱布面积， m^2 ； t 为大气采样时间， d 。

3.2.4 监测数据处理

氯离子沉积速率以每个测试点 3 个平行样测试数据的平均值作为该点测试值。氯离子沉积速率每个月的监测数据结果见表 2。

表 2 氯离子沉积速率每月数据记录
Tab.2 Monthly recorded data of chlorine ion deposition rate

采集地点	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1+层	19.35	19.55	24.81	16.34	33.48	22.52	23.41	41.68	12.25	19.47	7.43	28.69
3层	1.92	1.53	2.09	6.26	9.13	14.68	6.98	20.76	8.61	3.44	1.60	1.76
5层	4.65	11.51	7.13	8.19	14.50	18.03	17.22	39.99	10.44	14.95	2.14	11.52
7层	7.00	13.71	18.26	15.96	15.60	21.69	22.25	40.55	11.17	15.48	6.81	20.33
9层	3.74	2.13	5.22	7.08	6.38	7.31	8.10	16.30	4.00	4.83	1.90	3.83
11层	6.95	3.52	8.74	12.66	8.12	9.73	7.85	21.59	5.72	8.61	0.93	3.14
楼顶	64.20	70.75	61.18	17.68	49.29	23.86	26.10	48.44	17.23	25.79	15.90	31.10

3.3 分析与讨论

通过对监测采集的 12 个月氯离子沉积速率数据进行分析比对，可以发现，每个月建筑物不同高度层氯离子沉积速率分布具有相似的规律。塔楼不同高度层全年氯离子沉积速率数据分布曲线如图 4 所示。



图 4 不同高度层氯离子沉积速率全年分布曲线
Fig.4 Annual distribution curve of chlorine ion deposition rate in different height layers

塔楼不同高度层氯离子沉积速率分布具有以下特征：

- 1) 由于塔架 1+层和楼顶为完全户外环境，氯离子沉积速率高于半封闭阳台环境的其他楼层。
- 2) 88 m 高度的塔架楼顶，其氯离子沉积速率高于 1+层的氯离子沉积速率。
- 3) 塔架半封闭阳台环境的氯离子沉积速率随楼层高度的增加而升高，到达第 9 层（56.25 m）时出现下降，然后又逐渐升高。

塔楼不同高度层氯离子浓度瞬时值采样时间为

春季的 3 月，连续 2 d，每天上午、下午各 1 次，共计采样 4 次，取平均值作为该监测点的氯离子浓度瞬时值，塔楼不同高度层氯离子浓度分布如图 5 所示。

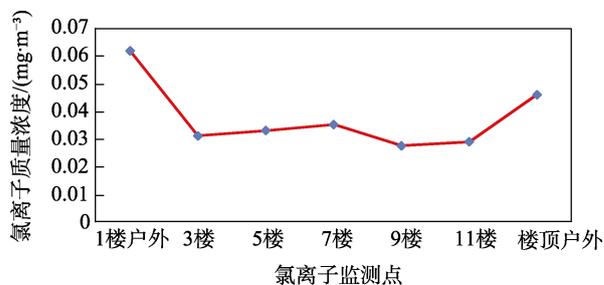


图 5 塔楼不同高度层氯离子浓度分布曲线
Fig.5 Distribution curve of chlorine ion concentration at different heights of the tower building

塔楼半封闭环境氯离子浓度分布规律与氯离子沉积速率沿高度分布规律相似，先随楼层高度的增加而升高，到达塔楼 9 层楼时下降，然后又逐渐升高。半封闭环境各楼层氯离子浓度测试值比较接近，户外环境氯离子浓度高于半封闭环境。大气氯离子浓度监测数据是瞬时值，随机性比较大，与氯离子沉积速率沿建筑物高度分布规律具有一定的相关性，也存在差异。

塔楼的氯离子沉积速率沿建筑物高度分布规律与高层建筑物形成的“高楼风”也存在相关性。由于高层建筑阻挡了近地风的流动，造成不同部位风差。在迎风面上，由于空气流动受阻，速度降低，风的部

分动能变为静压, 使建筑物迎风面的压力大于大气压, 从而形成正压; 在背风面、侧面(屋顶或两侧), 由于气流曲绕过程形成空气稀薄现象, 该处压力小于大气压, 从而形成负压, 这 2 种气压差造成气流快速流动, 产生“高楼风”^[15]。当气流遇到建筑物时, 会在建筑物高度的 60%~70%处分为上下、左右的风。其中左右方向的风由于受建筑物表面低压区的吸引, 变成从上往下冲的劲风, 即“下冲风”。

随着建筑物高度和地面风速的增加, 高楼风速呈倍速增加。楼层越高, 风速越大, 空气中的氯离子越容易附着在采样纱布表面, 氯离子沉积速率随楼层高度的增加而升高。然而, 在塔楼的第 9 层, 氯离子沉积速率却有所下降, 这是由于高层建筑产生的“下冲风”造成的。塔楼高度为 91.7 m, 第 9 层的高度为 56.25 m, 位于整个塔楼高度的 61%处, 正好处于形成“下冲风”的部位。在这个位置, 气流处分为上下、左右的风, 其中左右方向的风又变成从上往下冲的劲风, 该区域空气中的海盐颗粒会随“下冲风”被上下分流, 造成该楼层大气氯离子浓度和沉积速率都相对较低。

通过对不同季节的氯离子沉积速率数据进行比较分析发现, 建筑物不同高度层氯离子沉积速率随季节的变化规律不完全一致。塔架楼顶的氯离子沉积速率随季节变化规律为冬季高、秋季低, 而其他楼层监测点的氯离子沉积速率随季节的变化规律为夏季高、秋冬季低。塔楼不同高度层氯离子沉积速率随季节的变化情况如图 6 所示。

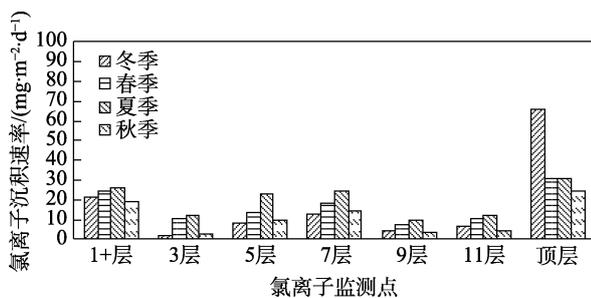


图 6 塔楼氯离子沉积速率随季节变化情况

Fig.6 Seasonal variation of chlorine ion deposition rate in the tower building

建筑物楼顶和其他楼层大气氯离子沉积速率随季节的变化规律有所差异, 其原因主要与塔楼的地理位置、各监测点的位置和不同季节风向有关。由于海浪互击或撞击海岸沙滩、礁石破碎后, 产生大量的盐雾, 除了向高空升腾外, 还会被海风吹向内陆, 因此濒海大气环境氯离子浓度和沉积速率与风向风速密切相关。塔楼东侧和南侧临海, 冬季以东北风为主, 夏季以东南风和西南风为主。由于塔楼半封闭阳台朝南, 冬季受东北风的影响较小, 夏季受西南风和东南风的影响较大, 因此氯离子沉积速率表现为冬季低、

夏季高; 而楼顶户外环境在受风向的影响方面没有限制, 所以氯离子沉积速率冬季高、夏季低; 1+层户外在北面受到建筑物阻挡, 这也是 1+层氯离子沉积速率与楼顶的沉积速率相比在冬季差距较大, 而其他季节季节差距较小的原因。

4 结语

濒海地区大气氯离子沉积速率沿建筑物高度变化规律受到大气氯离子浓度、风向风速、温湿度^[16]和高层建筑气流等的综合影响, 氯离子沉积速率随建筑物高度的增加而升高。在建筑高度 60%~70%的区域, 受到高层建筑“下冲风”的影响, 氯离子沉积速率会有所下降, 出现相对低值。通过这个区域后, 氯离子沉积速率又逐渐升高。

濒海高层建筑不同高度层、不同朝向的风向和风速分布规律及其对氯离子沉降速率的影响后续还需要进一步研究。同时, 可通过开展碳钢、铝、锌、铜 4 种标准金属材料在不同高度层的大气暴露试验, 收集标准金属材料的大气腐蚀数据, 结合大气氯离子沉积速率监测结果, 综合研究评估濒海高层建筑不同高度层的大气腐蚀特征和腐蚀严酷度等级。

通过研究和掌握濒海大气环境氯离子高度分布规律及腐蚀特征, 可以为改进濒海地区相关材料的环境适应性, 为卫星发射塔架等濒海大型国防工程的建筑结构防腐方案设计、材料优化选型、环境条件控制、管道和空调等设施的日常维护和保养提供科学依据。

参考文献:

- [1] 胡杰珍, 刘泉兵, 胡欢欢, 等. 热带海岛大气中氯离子沉降速率[J]. 腐蚀与防护, 2018, 39(6): 463-466. HU Jie-zhen, LIU Quan-bing, HU Huan-huan, et al. Cl⁻ Sedimentation Rate in Atmosphere of Tropical Island[J]. Corrosion & Protection, 2018, 39(6): 463-466.
- [2] 张梦龙, 赵志敏. 东南海域岛礁环境对武器装备的影响及对策研究[J]. 装备环境工程, 2020, 17(10): 20-25. ZHANG Meng-long, ZHAO Zhi-min. The Influence and Countermeasures Study of Weapon Equipment Influenced by Island-Reef Environment in the Southeastern Sea[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(10): 20-25.
- [3] 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⁻ Sedimentation Rates in Coastal Areas of Zhanjiang[J]. Equipment Environmental Engineering, 2021, 18(1): 129-133.
- [4] 张先勇, 舒德学, 陈建琼. 海南万宁试验站大气环境及腐蚀特征研究[J]. 装备环境工程, 2005, 2(4): 73-80. ZHANG Xian-yong, SHU De-xue, CHEN Jian-qiong.

- Study on the Weather and Corrosion Characteristics of Wanning Exposure Site[J]. *Metal Forming Technology*, 2005, 2(4): 73-80.
- [5] 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.
- [6] 邓培昌, 钟杰, 王坤, 等. 海洋工程装备高空腐蚀重要影响因素 Cl⁻沉降速率研究[J]. *中国腐蚀与防护学报*, 2020, 40(5): 474-478.
- DENG Pei-chang, ZHONG Jie, WANG Kun, et al. Important Influential Factor for Corrosion of High-Altitude Marine Engineering Equipment in Atmosphere-Chloride Ion Deposition Rate[J]. *Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection*, 2020, 40(5): 474-478.
- [7] 刘聪, 唐其环, 王莞, 等. ISO 9223—2012 标准碳钢大气腐蚀速率预测方程在我国典型地区的适用性研究[J]. *装备环境工程*, 2017, 14(10): 74-77.
- LIU Cong, TANG Qi-huan, WANG Wan, et al. Applicability of Atmospheric Corrosion Rate Prediction Equation for Carbon Steel of Standard ISO 9223—2012 in Typical Areas of China[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2017, 14(10): 74-77.
- [8] 唐其环, 赖丽勤, 许文清. 采集方法对氯化物沉积速率测试结果的影响[J]. *装备环境工程*, 2005, 2(4): 42-45.
- TANG Qi-huan, LAI Li-qin, XU Wen-qing. The Influence of Sampling Methods on Test Result of Chloride Deposition Rate in Marine Environment[J]. *Metal Forming Technology*, 2005, 2(4): 42-45.
- [9] 马长李, 刘聪, 马瑞萍. 某系统贮存环境中微量盐雾监测[J]. *装备环境工程*, 2017, 14(10): 78-81.
- MA Chang-li, LIU Cong, MA Rui-ping. Monitoring of Micro Salt Fog in Storage Environment of a System[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2017, 14(10): 78-81.
- [10] 陈建琼, 唐其环, 郭赞洪, 等. 海洋大气氯离子监测方法——湿蚀法与干片法对比研究[J]. *装备环境工程*, 2017, 14(6): 77-83.
- CHEN Jian-qiong, TANG Qi-huan, GUO Zan-hong, et al. Comparative Study of Chlorides Deposition Rates Determination Methods in Marine Atmosphere—Wet Candle and Dry Plate Methods[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2017, 14(6): 77-83.
- [11] 宣卫芳, 胥泽奇, 肖敏, 等. 装备与自然环境试验——基础篇[M]. 北京: 航空工业出版社, 2009.
- XUAN Wei-fang, XU Ze-qi, XIAO Min, et al. *Equipment and Natural Environment test—Basics* [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2009.
- [12] 李建秋, 向利, 杨阳, 等. 海洋环境氯离子沉降率及腐蚀严酷度评价研究[J]. *装备环境工程*, 2021, 18(2): 103-107.
- LI Jian-qiu, XIANG Li, YANG Yang, et al. Evaluation of Sedimentation Rate and Corrosion Rate of Chloride Ions in Marine Environment[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2021, 18(2): 103-107.
- [13] 文静, 唐其环, 陈建琼, 等. 干片采样法在海滩大气氯离子监测中的饱和现象浅析[J]. *装备环境工程*, 2017, 14(1): 51-56.
- WEN Jing, TANG Qi-huan, CHEN Jian-qiong, et al. Cl⁻Saturation in Monitoring Foreshore Atmosphere with Dry Slice Sampling[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2017, 14(1): 51-56.
- [14] 饶仲群. 离子色谱仪在核电厂在线监测氯离子的应用[J]. *自动化与仪器仪表*, 2015(6): 31-33.
- RAO Zhong-qun. Application of Ion Chromatography in the On-Line Monitoring of Chloride Ion in Nuclear Power Plant[J]. *Automation & Instrumentation*, 2015(6): 31-33.
- [15] 刘辉志, 姜瑜君, 梁彬, 等. 城市高大建筑群周围风环境研究[J]. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2005, 35(S1): 84-96.
- LIU Hui-zhi, JIANG Yu-jun, LIANG Bin, et al. Research on Wind Environment Around City's Tall Buildings[J]. *Science in China, SerD*, 2005, 35(S1): 84-96.
- [16] 向正林, 向利, 陈川. 大气盐雾分布影响因素与监(检)测及评价方法[J]. *装备环境工程*, 2020, 17(4): 20-26.
- XIANG Zheng-lin, XIANG Li, CHEN Chuan. Influencing Factors of Atmospheric Salt Fog Distribution and Monitoring (Inspection) and Evaluation Methods[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2020, 17(4): 20-26.

责任编辑: 刘世忠