

海洋大气氯离子监测方法 ——湿烛法与干片法对比研究

陈建琼, 唐其环, 郭赞洪, 杨晓然

(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: **目的** 对比研究两种海洋大气氯离子监测方法。**方法** 针对湿烛法与干片法各自的特点, 在万宁试验站海洋平台、近海试验场、内试验场和不同离海距离的屋顶监测了两种方法多种条件下的氯离子沉降速率。采用成对数据的符号秩和检验法对比研究了湿润、透风、采样的方向性、氯离子污染程度对两种采样方法的监测结果的影响, 采用皮尔逊积矩相关系数分析了气象因素对氯离子沉降速率的关系。**结果** 湿润、透风、采样的方向性是重要的影响因素, 氯离子污染程度越大的环境, 其影响程度越大。**结论** 诸多影响的综合结果导致了湿烛法监测的氯离子沉降速率高于干片法。

关键词: 湿烛法; 干片法; ISO9225; 氯离子沉降速率; 气象因素

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.06.015

中图分类号: TJ06

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)06-0077-07

Comparative Study of Chlorides Deposition Rates Determination Methods in Marine Atmosphere—Wet Candle and Dry Plate Methods

CHEN Jian-qiong, TANG Qi-huan, GUO Zan-hong, YANG Xiao-ran

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

ABSTRACT: Objective To carry out comparative study of two kinds of chlorides deposition rates determination methods in marine atmosphere. **Methods** According to characteristics of wet candle and dry plate methods, Cl^- deposition rate was monitored under various conditions by using the two methods in Wanning exposure station marine platform, offshore test site, inner test site and roofs of different distance away from the sea. Influences of humidity, ventilation, sampling orientation, chloride ion pollution degree on monitoring results of the two sampling methods were studied by using the signed rank of paired data and test method. The relationship between meteorological factors and Cl^- deposition rate was analyzed by using Pearson product-moment correlation coefficient. **Results** Humidity, ventilation, sampling direction were important factors, and that the greater the degree of chloride pollution was, the greater the degree of influence. **Conclusion** The combined results of many effects lead to that the Cl^- deposition rate of the wet candle method is higher than that of the dry plate method.

KEY WORDS: wet candle method; dry plate method; ISO9225; the Cl^- deposition rate; meteorological factors

空气中氯化物的沉降速率是大气腐蚀性分类和评估的重要环境因素之一^[1-6]。空气中的氯离子监测包括采样和分析两个过程, 采样方法主要有干片法和

湿烛法, 分析方法较多, 如硝酸汞溶液滴定法、硫氰酸汞分光光度法和离子色谱法。2012 年发布的 ISO 9225 标准^[7]采用干片法或者湿烛法采样, 干片法是

ISO 9225 标准修订时新增的,在其 1992 年版^[8]中只有湿烛法,干片法是中国大气腐蚀试验站网操作规程采用方法。ISO 9225 标准 1992 版规定采用硝酸汞溶液滴定法分析氯离子,2012 版对氯离子的分析方法未作明确规定,这说明新版 ISO 9225 标准认为行之有效的各种方法分析结果都可采信,在中国通常采用硫氰酸汞分光光度法进行氯离子的分析。唐其环、赖丽勤等采用硝酸汞溶液滴定法和硫氰酸汞分光光度法对万宁大气腐蚀试验站的氯离子分析进行了对比研究^[9],研究表明,这两种方法用于氯离子分析没有明显区别。干片法和湿烛法的主要区别在于湿烛法的测试纱布长期处于湿润状态,湿烛法采样过程纱布不透风,采样没有方向性,干片法的测试纱布湿润情况与空气中相对湿度有关,测试纱布的方向性明显,且透风。湿润、透风和采样的方向性都会影响两种采样方法对空气中氯化物的吸附,而这些影响目前还很少有相关报道。

文中针对干片法和湿烛法各自的特点,通过改变湿润、透风和采样的方向性等条件,研究分析了两种采样方法的影响因素。

1 监测方案

1.1 监测点

万宁大气腐蚀试验站位于海南岛东线海边,设有海洋平台、近海试验场和内试验场,平台和试验场都各有试验棚和试验库若干,这些场所都设有环境因素监测点。海洋平台建在海面上,靠近飞溅区,近海试验场和内试验场环境因素监测点离海距离分别为 170 m 和 350 m。文中除利用这些监测点外,还在离海 1000, 3000, 8000 m 的村上设有监测点,共计 8 个监测点。

1.2 采样方法与样品类别

采样方法分为湿烛法和干片法。湿烛法样品类别分为标准样、标准样瓶水、标准样纱布、透风样、无水样和透风无水样,干片法样品类别分为标准样、东西向标准样、南向不透风样、北向不透风样。湿烛法标准样和干片法标准样按照 2012 版 ISO 9225 标准制备,标准样瓶水和标准样纱布是按标准样品采样,瓶中的水溶液与纱布单独分析。湿烛法透风样是将标准样的聚乙烯棒换成塑料柱形网制成,湿烛法无水样是标准样的瓶中不加水。湿烛法透风无水样是透风样的瓶中不加水,东西向标准样是将干片法标准样东西方向悬挂。干片法不透风样是在标准样的两层纱布间加隔塑料片,向北一面纱布为北向不透风样,向南一面纱布为南向不透风样。

为避免树林的影响,离海 1000, 3000, 8000 m

的村上监测点采样装置安装在屋顶,离屋面 1.5 m 高,其余监测点为试验站设置的标准监测点,离地面高度 1.5 m,所有监测点四周空旷。采样装置安装如图 1 所示。

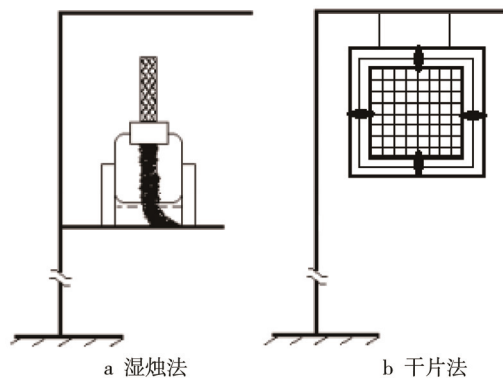


图 1 采样装置安装

1.3 监测安排

2014 年 1 月至 12 月,每个月监测一次,以 3 片平行样的平均值作为监测结果。根据监测点、采样方法、样品类别等监测条件对样品进行分组,分组情况见表 1。

表 1 监测条件分组表 1 监测条件分组

样品组编号	监测点	离海距离/m	采样方法	样品类别
1	海洋平台	0	湿烛法	标准样
2	近海场	170	湿烛法	标准样
3	内试验场	350	湿烛法	标准样瓶水
4	内试验场	350	湿烛法	标准样纱布
5	内试验棚	350	湿烛法	标准样
6	屋顶	1000	湿烛法	标准样
7	屋顶	3000	湿烛法	标准样
8	屋顶	8000	湿烛法	标准样
9	近海场	170	湿烛法	透风样
10	近海场	170	湿烛法	无水样
11	近海场	170	湿烛法	透风无水样
12	海洋平台	0	干片法	标准样
13	近海场	170	干片法	标准样
14	近海场	170	干片法	东西向标准样
15	近海场	170	干片法	南向不透风样
16	近海场	170	干片法	北向不透风样
17	内试验棚	350	干片法	标准样
18	屋顶	8000	干片法	标准样

1.4 氯离子分析方法

采用硫氰酸汞分光光度法进行氯离子的分析。

1.5 气象数据观测

万宁站内试验场建有自动气象站,根据自动气象

站监测的气象数据，统计气温、气压、相对湿度、风速的月平均值和最大风速，见表 2。

表 2 氯离子监测期间气象因素月统计值

月份	气温/℃	气压/hPa	相对湿度/%	平均风速/(m·s ⁻¹)	最大风速/(m·s ⁻¹)
JAN	18.9	1018.6	84.0	3.2	5.8
FEB	21.6	1018.1	85.0	3.2	5.7
MAR	22.4	1014.6	84.0	2.8	5.5
APR	26.0	1012.1	86.0	1.8	3.8
MAY	28.4	1006.0	86.0	1.0	2.1
JUN	29.4	1002.9	85.0	0.9	4.6
JUL	28.0	1004.8	89.0	1.5	3.6
AUG	27.8	1003.3	88.0	1.3	2.2
SEP	28.0	1006.2	87.0	2.3	14.7
OCT	26.3	1012.5	79.0	3.9	7.2
NOV	24.5	1013.6	79.0	3.5	7.3
DEC	19.2	1018.1	80.0	4.2	6.6

1.6 数据处理方法

文中用到的数据统计方法主要有皮尔逊积矩相关系数和成对数据的符号秩和检验法。

皮尔逊积矩相关系数又称为简单相关系数，它描述了两个定距变量间联系的紧密程度，样本的相关系数一般用 r 表示，计算公式为：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

式中： n 为样本量； X_i , Y_i 为两个变量的样本观测值； $\bar{X}$, $\bar{Y}$ 为两个变量的平均值。

r 的取值在 -1 与 1 之间，若 $r > 0$ ，表明两个变量是正相关；若 $r < 0$ ，表明两个变量是负相关。 r 的绝对值越大表明相关性越强。

利用样本相关系数推断总体中两个变量是否相关，可以用 t 统计量对总体相关系数为 0 的原假设进行检验。若 t 检验显著，则拒绝原假设，即两个变量是线性相关的；否则，两个变量不是线性相关的。

成对数据的符号秩和检验法。设 (x_i, y_i) 为成对数据， $z_i = x_i - y_i$ ，符号秩和检验统计量为：

$$W^+ = \sum_{i=1}^n V_i \cdot R_i \quad (2)$$

其中：

$$V_i = \begin{cases} 1, & z_i > 0 \\ 0, & z_i \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

R_i 为 $|z_i|$ 在 $(|z_1|, |z_2|, \dots, |z_n|)$ 中的秩。在进行检验时，若数据有缺失，或 $|z_i|$ 为 0 时，则忽略该对数据。

当样本量较大时，可取 W^+ 的标准化随机变量

$(W^+)^*$ 为检验统计量。

$$(W^+)^* = \frac{\left[W^+ - \frac{n(n+1)}{4} \right]}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (4)$$

则当显著水平 $\alpha=0.10$ 的符号秩和检验的拒绝域为：

$$\left\{ |(W^+)^*| \geq u_{0.95} = 1.69 \right\} \quad (5)$$

2 监测结果

各组样品每月监测结果见表 3。

受热带风暴、台风、暴雨的影响，湿烛法在个别月份所采集到的样品瓶水有溢出，或无水样瓶中有积水而作废，在表 3 中以“/”表示。

3 分析与讨论

3.1 气象因素对氯离子沉降速率的影响

根据表 3 的数据，求出氯离子沉降速率的月平均值和月标准差，采用皮尔逊积矩相关系数评估表 2 中的气象因素对氯离子沉降速率的影响，计算的相关系数 r 和不相关假设检验的概率 p 值，见表 4。

从表 4 可知，风速、气压、相对湿度和气温对氯离子沉降速率的月平均值和月标准差都有显著影响，最大风速的影响不显著，气温、相对湿度与氯离子沉降速率呈负相关，平均风速、气压与氯离子沉降速率呈正相关。其中，与平均风速的相关系数最大，说明平均风速较其他因素的作用更强。

表 3 不同条件下监测的氯离子沉降速率

mg/(100 cm²·d)

样品组编号	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN
1	9.16	13.15	2.47	0.49	0.46	0.38
2	1.08	2.82	0.58	0.46	0.32	0.23
3	0.21	0.33	0.10	0.05	0.19	0.04
4	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03
5	0.04	0.09	0.03	0.02	0.03	0.07
6	0.09	0.14	0.08	0.05	0.11	0.06
7	0.06	0.16	0.07	0.04	0.08	0.06
8	0.06	0.11	0.06	0.04	0.07	0.04
9	7.28	5.85	1.22	0.92	0.86	0.72
10	0.94	2.14	0.49	0.62	0.27	0.27
11	1.94	5.45	0.98	0.90	0.86	0.66
12	1.99	1.74	1.14	/	0.56	0.92
13	1.01	0.89	0.74	0.80	0.78	0.97
14	0.62	0.58	0.49	0.70	0.47	0.64
15	1.71	1.13	0.36	0.16	0.14	0.14
16	0.83	0.55	0.25	0.13	0.09	0.09
17	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
18	0.10	0.15	0.09	/	/	/
样品组编号	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	0.28	0.93	/	/	/	/
2	0.27	0.49	/	5.28	5.33	4.44
3	0.09	0.10	/	0.31	0.46	0.95
4	0.01	0.10	/	0.02	0.12	0.09
5	0.02	0.02	0.47	0.04	0.04	0.06
6	0.11	0.05	3.42	0.29	0.16	0.36
7	0.18	0.04	/	0.24	0.19	0.21
8	0.08	0.02	1.02	0.18	0.11	0.20
9	0.68	0.80	/	9.03	8.16	7.47
10	0.19	0.48	/	4.68	2.67	5.06
11	0.47	0.90	/	9.36	4.64	7.52
12	0.28	0.30	6.40	1.50	3.31	5.08
13	0.47	0.56	1.15	3.02	2.42	2.82
14	0.37	0.39	1.07	2.15	2.16	1.82
15	0.14	0.06	0.73	0.65	0.57	0.68
16	0.08	0.18	0.48	0.34	0.58	0.69
17	0.01	0.01	0.22	0.04	0.03	0.04
18	0.01	0.01	0.13	0.13	0.10	0.18

表 4 气象因素对氯离子沉降速率的相关性统计参数

氯离子沉降速率	气温		气压		相对湿度		平均风速		最大风速	
	r值	p值	r值	p值	r值	p值	r值	p值	r值	p值
月平均值	-0.60	0.04	0.71	0.01	-0.75	0.00	0.91	0.00	0.51	0.09
月标准差	-0.62	0.03	0.73	0.01	-0.67	0.02	0.88	0.00	0.52	0.08

3.2 采样方法监测结果差异性检验

以湿烛法和干片法标准样在海洋平台、近海场、内试验棚和离海 8000 m 屋顶监测的氯离子沉降速率，即表 3 中第 1 组和第 12 组、第 2 组和第 13 组、

第 5 组和第 17 组、第 8 组和第 18 组，共 37 对数据，进行成对数据的符号秩和检验。湿烛法与干片法的氯离子成对数据的符号秩和检验统计的 $|z_i|$ 值和 R_i 值见表 5。

表 5 采样方法成对数据的符号秩和检验

湿烛法	干片法	$ z_i $	R_i	湿烛法	干片法	$ z_i $	R_i
9.16	1.99	7.17	36	0.03	0.01	0.02	9
13.15	1.74	11.41	37	0.02	0.01	0.01	4
2.47	1.14	1.33	31	0.03	0.02	0.01	4
0.46	0.56	0.1	4	0.07	0.02	0.05	15.5
0.38	0.92	0.54	27	0.02	0.01	0.01	4
0.28	0.28	0	0	0.02	0.01	0.01	4
0.93	0.3	0.63	28	0.47	0.22	0.25	24
1.08	1.01	0.07	18.5	0.04	0.04	0	0
2.82	0.89	1.93	33	0.04	0.03	0.01	4
0.58	0.74	0.16	22	0.06	0.04	0.02	9
0.46	0.8	0.34	25	0.06	0.1	0.04	13.5
0.32	0.78	0.46	26	0.11	0.15	0.04	13.5
0.23	0.97	0.74	29	0.06	0.09	0.03	11.5
0.27	0.47	0.2	23	0.08	0.01	0.07	18.5
0.49	0.56	0.07	18.5	0.02	0.01	0.01	4
5.28	3.02	2.26	34	1.02	0.13	0.89	30
5.33	2.42	2.91	35	0.18	0.13	0.05	15.5
4.44	2.82	1.62	32	0.11	0.1	0.01	4
0.04	0.01	0.03	11.5	0.2	0.18	0.02	9
0.09	0.02	0.07	18.5				

由式（2），（3），（4）得 $W^+=473$, $(W^+)^*=1.83$ ，由式（5）知湿烛法和干片法监测空气中氯离子沉降速率时有显著差异。

统计湿烛法和干片法标准样在海洋平台、近海场、内试验棚和离海 8000 m 屋顶各监测点的平均值和标准差，其结果见表 6。

表 6 湿烛法与干片法在各监测点监测的氯离子沉降速率
mg/(100 cm²·d)

监测点	湿烛法		干片法	
	平均值	标准差	平均值	标准差
海洋平台	3.83	5.19	0.99	0.68
近海场	1.94	2.12	1.32	0.95
内试验棚	0.08	0.13	0.04	0.06
离海8000 m屋顶	0.20	0.31	0.10	0.06

从表 5 可知，湿烛法测得的氯离子沉降速率是干片法的 2~4 倍。氯离子浓度越高，相差的倍数越

高，两种方法的标准差也有相同的规律。

3.3 透风条件监测结果差异性检验

以湿烛法和干片法透风样和不透风样在近海场监测的氯离子沉降速率，即表 3 中第 2 组和第 9 组、第 13 组和第 15 组、第 16 组之和，共 23 对数据，进行成对数据的符号秩和检验。透风样和不透风样的氯离子成对数据的符号秩和检验统计的 $|z_i|$ 值和 R_i 值见表 7。

由式（2），（3），（4）得 $W^+=244$, $(W^+)^*=3.22$ ，由式（5）知湿烛法和干片法监测空气中氯离子沉降速率时透风条件的影响有显著差异。

统计湿烛法和干片法透风样和不透风样在近海场监测点的平均值和标准差，其结果见表 8。从表 8 可知，两种监测方法都是透风条件下测得的氯离子沉降速率高于不透风条件测试值，其比值是湿烛法高于干片法。

表 7 透风条件成对数据的符号秩和检验

透风	不透风	$ z_i $	R_i	透风	不透风	$ z_i $	R_i
7.28	1.08	6.2	23	0.89	1.68	0.79	14
5.85	2.82	3.03	20.5	0.74	0.61	0.13	2
1.22	0.58	0.64	12	0.8	0.29	0.51	9
0.92	0.46	0.46	7	0.78	0.23	0.55	11
0.86	0.32	0.54	10	0.97	0.23	0.74	13
0.72	0.23	0.49	8	0.47	0.22	0.25	3
0.68	0.27	0.41	6	0.56	0.24	0.32	5
0.8	0.49	0.31	4	1.15	1.21	0.06	1
9.03	5.28	3.75	22	3.02	0.99	2.03	18
8.16	5.33	2.83	19	2.42	1.15	1.27	15
7.47	4.44	3.03	20.5	2.82	1.37	1.45	16
1.01	2.54	1.53	17				

表 8 湿蚀法与干片法透风与不透风条件监测的氯离子
沉降速率
mg/(100 cm²·d)

监测点	透风		不透风	
	平均值	标准差	平均值	标准差
湿蚀法	3.91	3.58	1.94	2.12
干片法	1.30	0.90	0.90	0.7

3.4 湿蚀法瓶水与纱布监测结果差异性检验

湿蚀法在监测过程中, 烛芯纱布上吸附的氯离子会随水分流入瓶内, 采样到期后。对纱布上和瓶水中的氯离子, 即表 3 中第 3 组和第 4 组, 共 10 对数据, 进行成对数据的符号秩和检验。纱布上和瓶水中的氯离子成对数据的符号秩和检验统计的 $|z_i|$ 值和 R_i 值见表 9。

表 9 纱布上和瓶水中的氯离子成对数据的符号秩和检验

瓶水	纱布	$ z_i $	R_i	瓶水	纱布	$ z_i $	R_i
0.21	0.03	0.18	6	0.09	0.01	0.08	3.5
0.33	0.04	0.29	7.5	0.1	0.1	0	0
0.1	0.02	0.08	3.5	0.31	0.02	0.29	7.5
0.05	0.03	0.02	2	0.46	0.12	0.34	9
0.19	0.02	0.17	5	0.95	0.09	0.86	10
0.04	0.03	0.01	1				

由式 (2), (3), (4) 得 $W^+=55$, $(W^+)^*=2.80$, 由式 (5) 知湿蚀法纱布上和瓶水中的氯离子有显著差异。

统计湿蚀法纱布上和瓶水中的氯离子在内试验场监测点的平均值和标准差, 其结果见表 10。

表 10 湿蚀法纱布上和瓶水中的氯离子沉降速率
mg/(100 cm²·d)

监测点	透风		不透风	
	平均值	标准差	平均值	标准差
湿蚀法	0.26	0.27	0.05	0.04

从表 10 可知, 湿蚀法瓶水中的氯离子比烛芯纱布上的高, 约为 5 倍。这说明湿润条件能保证采样纱布长期保持吸附能力。

3.5 干片法南北向与东西向监测结果差异性检验

干片法通常为南北向采样, 文中对东西向采样也进行了对比监测, 即表 3 中第 13 组和第 14 组, 共 12 对数据, 进行成对数据的符号秩和检验。南北向和东西向氯离子成对数据的符号秩和检验统计的 $|z_i|$ 值和 R_i 值见表 11。

表 11 干片法样品挂样方向监测的氯离子成对数据的符号秩和检验

南北向	东西向	$ z_i $	R_i	南北向	东西向	$ z_i $	R_i
1.01	0.62	0.39	10	0.47	0.37	0.1	2.5
0.89	0.58	0.31	7.5	0.56	0.39	0.17	4
0.74	0.49	0.25	5	1.15	1.07	0.08	1
0.8	0.7	0.1	2.5	3.02	2.15	0.87	11
0.78	0.47	0.31	7.5	2.42	2.16	0.26	6
0.97	0.64	0.33	9	2.82	1.82	1	12

由式(2),(3),(4)式得 $W^+=78$, $(W^+)^*=3.06$, 由(5)知干片法挂样方向监测的的氯离子有显著差异。

统计挂样方向的氯离子在近海试验场监测点的平均值和标准差,其结果见表 12。

表 12 干片法挂样方向的氯离子沉降速率
mg/(100 cm²·d)

监测点	南北向		东西向	
	平均值	标准差	平均值	标准差
干片法	1.30	0.90	0.96	0.69

从表 12 可知,南北向监测的氯离子比东西向高 1.5 倍。由于万宁试验站东面为大海,南北向即海岸走向。

3.6 干片法南向与北向监测结果差异性检验

干片法标准样是两层,可以透风。在干片法中间夹一层塑料片,阻止风的穿过,使两边的纱布能独立采样,即表 3 中第 15 组和第 16 组,共 12 对数据,进行成对数据的符号秩和检验。南向和北向氯离子成对数据的符号秩和检验统计的 $|z_i|$ 值和 R_i 值见表 13。

表 13 干片法样品南向、北向监测的氯离子成对数据的符号秩和检验表

南向	北向	$ z_i $	R_i	南向	北向	$ z_i $	R_i
1.71	0.83	0.88	12	0.14	0.08	0.06	6
1.13	0.55	0.58	11	0.06	0.18	0.12	8
0.36	0.25	0.11	7	0.73	0.48	0.25	9
0.16	0.13	0.03	3	0.65	0.34	0.31	10
0.14	0.09	0.05	4.5	0.57	0.58	0.01	1.5
0.14	0.09	0.05	4.5	0.68	0.69	0.01	1.5

由式(2),(3),(4)得 $W^+=67$, $(W^+)^*=2.2$, 由式(5)知干片法挂样方向监测的的氯离子有显著差异。

统计南向和北向的氯离子在近海试验场监测点的平均值和标准差,其结果见表 14。

表 14 干片法南向、北向的氯离子沉降速率
mg/(100 cm²·d)

监测点	南向		北向	
	平均值	标准差	平均值	标准差
干片法	0.54	0.49	0.36	0.26

从表 14 可知,南向监测的氯离子是北向的 1.5 倍。由于万宁试验站东面为大海,南北向即海岸走向。

综上所述,成对数据显著性检验表明,湿润条件、透风条件、采样的方向性对氯离子监测都有显著影

响,湿润、没有方向选择性、透风都能增大纱布吸附氯离子的能力。湿浊法采样纱布湿润,采样过程中的氯离子因能随时流入采样瓶而长期保持吸附能力;干片法因纱布较干燥,纱布的吸附能力会逐渐降低。湿浊法没有方向选择性,能截获来自各方向的氯离子,采样纱布的有效面积保持不变;干片法具有方向性,南北向挂置时,就不能采集东西向的吹来氯离子。采样纱布对不同风向的有效采集面积是变化的,湿浊法和干片法采样纱布的名义面积虽然一样,但采样过程中湿浊法的采样面积大于干片法。湿润、没有方向选择性增强的吸附能力大于透风吸附的能力,故湿浊法监测的氯离子沉降速率要比干片法大。

4 结论

- 1) 平均风速、气压越大,氯离子沉降速率越大,气温、相对湿度越大,氯离子沉降速率越小,平均风速的作用要大于其他三个因素。
- 2) 透风条件下测得的氯离子沉降速率高于不透风条件测试值。
- 3) 湿润条件能保证采样纱布长期保持吸附能力。
- 4) 采样的方向性决定了采样过程中湿浊法的有效采样面积大于干片法。
- 5) 湿浊法测得的氯离子沉降速率是干片法的 2~4 倍,氯离子浓度越高,相差的倍数越高,两种方法的标准差也有相同的规律。

参考文献:

[1] 刘聪,唐其环,赖丽勤. 海洋大气氯离子采集过程饱和现象研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(2): 26—28.

[2] 陈素碧,刘荣桂,李琼琦. 海洋大气区预应力混凝土氯离子传输时间相似关系研究[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(11): 3338—3344.

[3] 徐洁,李少龙,张少华. 海洋大气区预应力混凝土结构氯离子侵蚀模型分析[J]. 混凝土, 2014(12): 7—10.

[4] 鲁彩凤,袁迎曙,季海霞. 海洋大气中氯离子在粉煤灰混凝土中的传输规律[J]. 浙江大学学报(工学版), 2012, 46(4): 681—690.

[5] 包惠明,尤伟,黄琼念. 海洋大气环境下橡胶粉水泥混凝土性能试验[J]. 人民长江, 2009, 40(1): 76—78.

[6] 元成方,牛获涛. 海洋大气环境下粉煤灰混凝土耐久性研究[J]. 硅酸盐通报, 2012, 31(1): 1—6.

[7] ISO9225: 2012, Corrosion of Metals and Alloys- Corrosivity of Atmospheres-Measurement of Environmental Parameters Affecting, Corrosivity of Atmospheres[S].

[8] ISO9225: 1992, Corrosion of Metals and Alloys- Corrosivity of Atmospheres-Measurement of Pollution[S].

[9] 唐其环,赖丽勤,许文清. 汞量滴定法和分光光度法对比研究[M]. 装备环境工程, 2005,2(2): 53—55.