

环境及其效应

我国沿海地区大气环境特征及典型沿海地区大气腐蚀性研究

马长李¹, 马瑞萍¹, 白云辉²

(1.海军装备研究院, 北京 100161; 2.中国人民解放军海军 92730 部队, 海南 三亚 572016)

摘要: 目的 分析我国沿海地区大气环境特征, 研究典型沿海地区大气腐蚀性。方法 根据近 50 年历史气象数据以及实测介质数据, 分析我国沿海地区的气温、湿度、太阳辐射、盐雾等主要环境因素的分布规律, 并结合主要环境因素与腐蚀数据对典型沿海地区大气腐蚀性进行比较。结果 给出了我国沿海地区主要大气环境因素的量值范围, 以及典型沿海地区大气腐蚀严酷度等级。结论 我国沿海地区大气环境特征南北差异较大。大部分地区的大气腐蚀性等级为 C3 级或 C4 级, 极个别海岸地区及海洋平台可达到 C5 级。

关键词: 沿海地区; 大气环境; 环境因素; 大气腐蚀

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.08.013

中图分类号: TJ01; TG172

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)08-0065-05

Characteristics of Atmospheric Environment in China's Coastal Areas and Atmospheric Corrosion in Typical Coastal Regions

MA Chang-li¹, MA Rui-ping¹, BAI Yun-hui²

(1.Naval Academy of Armament, Beijing 100161, China; 2.Unit 92730 of PLA, Sanya 572016, China)

ABSTRACT: **Objective** To analyze characteristics of atmospheric environment in China's coastal areas, and study the atmospheric corrosivity in typical coastal areas. **Methods** According to meteorological data and measured data of corrosive medium in the past 50 years, the distribution law of main environmental factors such as temperature, humidity, solar radiation and salt fog in coastal areas of China were analyzed. **Results** The range of main atmospheric environmental factors in coastal areas of China and the severity degree of atmospheric corrosion in typical coastal areas were given. **Conclusion** Environmental characteristics of coastal areas in China have great differences between the north and the south. Atmospheric corrosion of most coastal areas is C3 or C4 class, that of very few coastal areas and offshore platforms up to C5.

KEY WORDS: coastal areas; atmosphere environment; environmental factors; atmospheric corrosion

我国是陆地大国, 也是濒临北太平洋的海洋大国, 有渤海、黄海、东海和南海四大海域, 海域辽阔, 面积约 300 万 km², 南北纵贯 37 个纬度, 大陆海岸线约 1.8 万 km, 岛屿海岸线约 1.4 万 km^[1]。由于现阶段国防战略以及地缘环境决定, 我国近海特别是东海、南海将是我军军事斗争准备的重点方向。了解我国沿海地区的主

要大气环境特征及大气腐蚀性, 是保障我军沿海装备部署使用、作好军事斗争准备的重要前提。

1 概述

我国沿海地形以丘陵、山地为主, 间或有少量的

冲积平原，具有气候类型多样、南北差异大的特点。从北至南覆盖了温带（丹东至连云港）、亚热带（连云港以南、除雷州半岛外的大陆沿海）、热带（雷州半岛、海南岛、台湾南部、南海岛礁）三个气候带。除渤海沿岸及黄海部分沿岸地区为亚湿润气候（年降水量在 400~800 mm）外，我国其他沿海地区均为湿润气候（年降水量超过 800 mm）。我国沿海地区既受海洋气候影响又受大陆气候影响，属于典型的季风气候，气温、降水随季节变化较大。在温带和亚热带季风气候区，冬季寒冷少雨，夏季高温多雨。在热带季风气候区，全年高温，冬季少雨，夏季多雨。

2 我国沿海地区气象因素变化规律分析

2.1 气温分布

如图 1 所示，我国沿海地区均位于季风区，受季风气候影响，年均气温普遍高于西部同纬度非季风区。由于我国南北纬度跨越大，分布于不同气候带的沿海地区气温差异较大，渤海及黄海北部沿海地区年平均气温在 8~12℃，黄海南部沿海地区年平均气温在 12~16℃，东海北部沿海地区年平均气温在 16~

20℃，东海南部以及南海大部分沿海地区年平均气温在 20~24℃，海南岛大部及台湾南部沿海地区年平均气温超过 24℃^[2]。

表 1 列出了 1962—2011 年我国典型沿海地区的年最高气温和年最低气温分布情况。我国沿海各地区年最高温度以及历史高温极值相差较小，大部分沿海地区年最高温度均在 30~40℃之间波动。四大海域中，东海沿海最高气温高于其他海域。其中，浙江沿海及上海等地个别年份最高气温超过 40℃，如舟山历史最高气温达到 40.2℃。

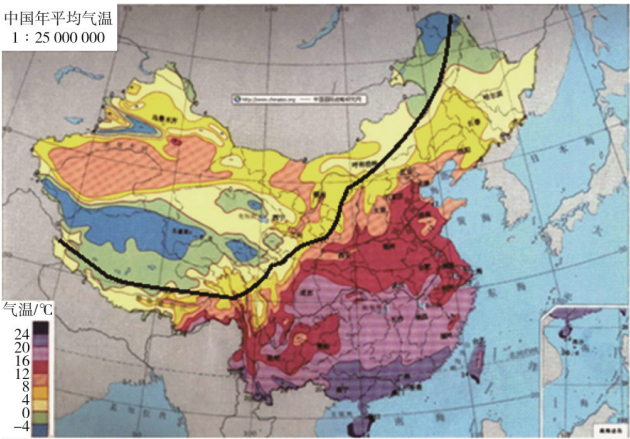


图 1 我国年平均气温分布

表 1 部分沿海地区近 50 年年最高气温、年最低气温分布

地区	年最高气温/℃				年最低气温/℃			
	最高值	最低值	平均值	标准差	最高值	最低值	平均值	标准差
大连(瓦房店)	37.0	31.0	33.3	1.4	-12.7	-25.1	-18.8	2.9
青岛	38.9	30.1	33.2	1.7	-4.8	-14.3	-9.8	1.9
舟山	40.2	32.7	36.0	1.8	-1.0	-6.0	-3.3	1.2
厦门	39.2	33.7	36.4	1.2	6.1	1.5	4.1	1.2
北海	37.1	33.7	35.1	0.9	7.1	2.0	4.5	1.4
三亚	35.9	30.8	34.3	1.1	15.5	5.1	11.9	2.5

就低温环境而言，我国沿海地区南北差异较大^[3]。渤海及黄海北部沿海地区（辽宁沿海）最低气温可达 -20℃以下，如大连瓦房店历史最低气温达 -25.1℃。山东半岛如青岛沿海地区年最低气温在 -15~-5℃，黄海南部及东海北部沿海地区如舟山等地区年最低气温在 -10~0℃，东海南部地区及南海大部分沿海地区年最低气温在 0~5℃，雷州半岛、海南岛及台湾南部沿海地区年最低气温在 5~15℃。

2.2 相对湿度分布

我国沿海地区因为降水量多，且靠近海洋，水汽来源大，相对湿度普遍较附近内陆地区高。就各海域而言，东海和南海沿海地区湿度要高于渤海和黄海沿海地区。我国沿海地区年均相对湿度普遍超过 60%，东海和南海沿海地区年均相对湿度普遍超过 70%，部

分地区年均相对湿度可超过 80%，见表 2。

表 2 部分沿海地区近 50 年年均相对湿度分布

地区	年均相对湿度/%			
	最高值	最低值	平均值	标准差
大连(瓦房店)	72	61	65	3
青岛	76	65	71	3
舟山	82	72	78	3
厦门	81	70	77	3
北海	84	74	81	2
三亚	89	70	78	4

2.3 太阳辐射分布

因为总云量大、海拔低，我国沿海地区太阳辐射总量普遍较西部及华北内陆地区低。如图 2 所示，黄

海、渤海以及南海部分沿海地区太阳辐射总量在 5000 ~ 5850 MJ/(m²·a)。东海沿海地区太阳辐射总量在 4150 ~ 5000 MJ/(m²·a)，反而低于黄海、渤海沿海地区。这主要是由于总云量大，日照时间短造成的。需要特别注意的是，由于纬度低，东南沿海地区在云量较低时，短期太阳辐射强度要高于北方沿海地区。

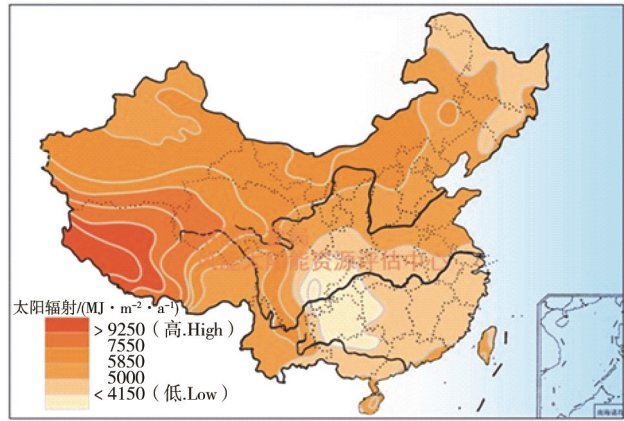


图 2 我国太阳辐射分布

2.4 降水分布

我国沿海地区降水明显高于内陆地区。如图 3 所示，黄海及渤海沿海地区年降水量在 400 ~ 1000 mm，东海及南海沿海地区年降水量均超过 1000 mm，南海部分沿海地区、海南岛东南部以及台湾中央山脉以东地区年降水量超过 2000 mm。我国沿海 24 h 降水极值也是全国 24 h 降水极值出现在雷州半岛，降水量达 1188.2 mm。

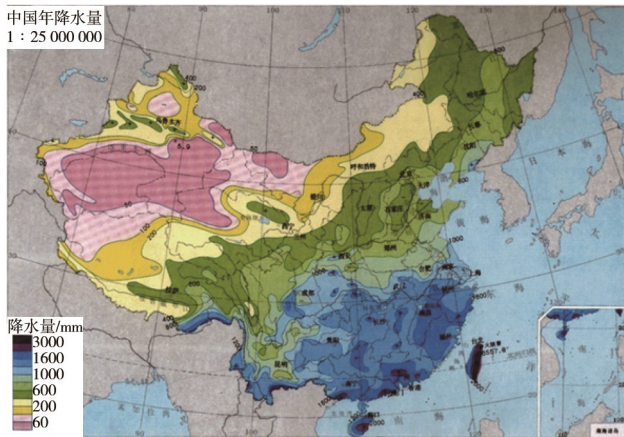


图 3 我国年降水量分布

3 我国沿海地区大气腐蚀介质因素规律分析

3.1 酸雨分布

如图 4 所示，我国沿海地区酸雨（pH 值低于 5.6）主要集中在东南沿海，以长三角地区最为严重。这些地区工业发达，SO₂、NO₂ 等大气污染物排放量大，如浙江、上海等地化硫浓度年均值在 0.1 mg/m³ 以上，雨水中酸性物质较多，个别区域雨水 pH 值年均值低于 4.5（属于酸雨控制区）^[4]。相比之下，北方工业区虽然也存在污染物排放问题，但由于北方土壤偏碱性，因为碱性尘粒的影响，北方雨水的 pH 值普遍较高。

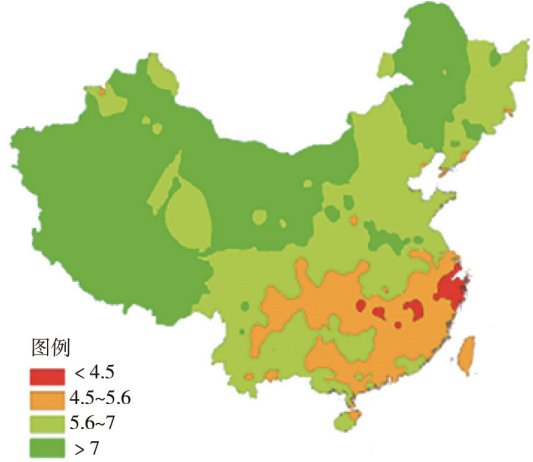


图 4 2008 年全国 915 个站点酸雨分布

3.2 盐雾分布

盐雾含量的影响因素是多方面的，气候条件（风向、风速、湿度等）、水文条件（海浪）和地理环境（海岸线地貌、离海距离等）等因素均会影响盐雾含量。

西南技术工程研究所于 2005 年春季、冬季在我国典型沿海地区进行过两次盐雾监测（各监测点距海岸 0 ~ 10 km）。如图 5 所示，各海域的整体盐雾水平存在差异，东南沿海略高于北方沿海。相比海域之间的差异，同一海域不同监测点的监测结果差异更大。如海南万宁站（离海 350 m）盐雾沉积速率比海南三亚（离海 2 km）、海口（离海 3 km）等地测试结果高出一个数量级。这表明，相比海域、气候的影响，离海距离、地形等具体环境条件对盐雾水平的影响更显著。

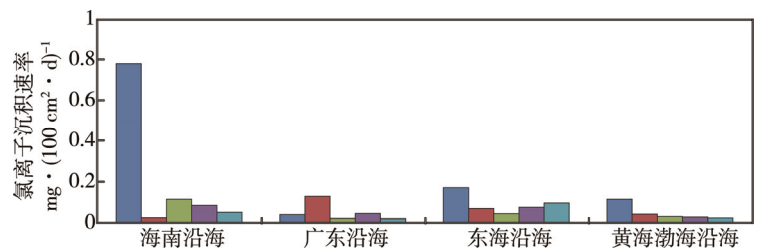


图 5 典型沿海地区氯离子沉积速率

盐雾在海面上产生后,随着上升气流向内陆传播,在传播过程中部分盐粒由于重力的作用而沉降。因此在同一地区,随着离海距离的增加,盐雾的浓度及沉积速率均会下降^[5]。有研究表明,盐雾沉积速率与离海距离的关系近似于幂函数 $Y=aX^b$ 的关系。其中 Y 为盐雾沉积速率, X 为离海距离, a 值为正值, b 值为负值,具体数值随年份和地域有所变化。

ISO 9223 标准^[6]根据氯离子沉积速率将盐雾水平分为4个等级。按此标准,我国沿海绝大部分地区可划为较低的S1级。离海岸500 m内,礁石多、风浪大的极少数海岸地区能超过S1级,如海南万宁离海150~350 m范围能达到较高的S2级,万宁站海洋平台达到最高的S3级。

4 典型沿海地区大气腐蚀性

4.1 大气腐蚀性等级概况

温度、相对湿度、盐雾是海洋大气环境下影响金属腐蚀的主要环境因素^[7-9]。按ISO 9223标准规定的环境因素法,可根据润湿时间、氯离子沉积速率对我国沿海地区大气腐蚀性等级进行初步划分。我国沿海大部分地区的大气腐蚀等级为C3级或C4级,在个别海岸地区如海南万宁离海150 m的试验场和海洋平台可达到C5级。

4.2 南海岛礁环境特征及大气腐蚀性分析

4.2.1 温度特征

永暑礁、永兴岛和万宁站的年平均温度分别为28.2, 27.3, 24.6 °C。南沙永暑礁与西沙永兴岛两地的月平均温度、最高温度、最低温度都很接近,最大相差不超过3 °C。两地都属于全年温差小、持续高温的地区。万宁站属于热带季风气候,气温存在明显的季节变化特征,高温高于两地,低温以及月平均温度均低于两地,冬季的万宁站与两地的温差达10 °C左右。

4.2.2 相对湿度特征

永暑礁与永兴岛全年月平均相对湿度变化基本稳定,大都在78%±4%范围波动,年平均相对湿度在78%左右。万宁站年平均相对湿度要高于永暑礁和永兴岛。2010—2011年,万宁站、永暑礁、永兴岛的平均相对湿度分别为85%, 78%, 78%。

4.2.3 盐雾水平分析

西南技术工程研究所于1999年4月在万宁站、永兴岛两地各选择位置相当的2个监测点,采用相同方法测得万宁站氯离子浓度为0.3866, 0.5470 mg/m³, 永兴岛为0.2632, 0.2378 mg/m³。于2013年6月在南

沙永暑礁上测得一个周期氯离子沉积速率,结果为0.2127 mg/(100 cm²·d),同期测得的万宁站内暴露场氯离子沉积速率0.3625 mg/(100 cm²·d)。从现有的少量数据来看,万宁站氯离子浓度高于西沙永兴岛,氯离子沉积速率高于南沙永暑礁。虽然各测量点的地形地貌以及建筑物分布存在差异,测量结果代表性有限,但可以初步估计万宁站盐雾水平应不低于西沙永兴岛和南沙永暑礁。

4.3 大气腐蚀性比较

工业和信息化部电子第五研究所曾于1999年1月—2000年7月在西沙永兴岛、海南琼海、广州同期开展过Q235钢18个月的户外暴露试验。腐蚀率分别为:永兴岛126.4 μm/a,琼海49.3 μm/a,广州39.6 μm/a^[4]。西南技术工程研究所于2002年11月—2003年10月在万宁站不同离海距离开展过Q235钢1年的暴露试验。腐蚀率分别为:近海场(离海170 m)315.4 μm/a,内暴露场(离海350 m)42.9 μm/a,离海1000 m处35.2 μm/a。

永兴岛大气腐蚀严酷程度介于万宁站近海场与内暴露场之间。按ISO 9223标准,永兴岛属于大气腐蚀性很高的C5级^[10]。

南沙永暑礁因缺少完整的环境因素数据和标准金属暴露试验数据,难以对其大气腐蚀性进行准确评估。鉴于其与万宁站同属湿热海洋大气环境,年均气温虽然较高,但年均相对湿度略低于万宁站,短期氯离子沉积速率也略低于万宁站内暴露场,其大气腐蚀性与万宁站相当或稍弱,属于C5级或C4级。在缺少更为准确的数据以前,该地区装备及建筑物的腐蚀防护均应按照大气腐蚀性为C5级考虑。

5 结论

1) 我国沿海地区南北气温差异大,渤海及黄海北部年均气温在8~12 °C,黄海南部年均气温在12~16 °C,东海北部年均气温在16~20 °C,东海南部以及南海大部年均气温在20~24 °C,海南岛大部及台湾南部年均气温超过24 °C。最高温度差异较小,大部分地区在30~40 °C之间。东海沿海部分地区最高气温可超40 °C。低温差异较大,渤海及黄海北部最低气温可达-20 °C以下,雷州半岛、海南岛及台湾南部沿海地区年最低气温在5~15 °C。

2) 我国沿海地区太阳辐射总量普遍较西部及华北内陆地区低。黄海、渤海以及南海部分沿海地区太阳辐射在5000~5850 MJ/(m²·a),东海地区太阳辐射在4150~5000 MJ/(m²·a)。

3) 我国沿海地区相对湿度较附近内陆地区高。年均相对湿度普遍超过60%,东海和南海沿海地区年

均相对湿度普遍超过 70%，部分地区年均相对湿度可超过 80%。

4) 我国大部分沿海地区可划为盐雾水平较低的 S1 级。只有离海边 500 m 内，礁石多风浪大的极少数海岸地区能超过 S1 级。我国沿海地区酸雨主要集中在东南沿海地区，以长三角地区最为严重，雨水 pH 值年均值低于 4.5。

5) 我国沿海大部分地区的大气腐蚀性等级为 C3 级或 C4 级，在极个别海岸地区如海南万宁近海场(离海 350 m) 及海洋平台可达到 C5 级。西沙、南沙等南海岛礁大气腐蚀性等级属于 C5 级或 C4 级，腐蚀防护应按照大气腐蚀性为 C5 级考虑。

参考文献：

- [1] 卢铭. 我国海洋环境科学与海洋监测技术的发展问题[J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(3): 96-100.
- [2] 齐浩, 张文, 张苏平. 近百年中国北方沿海地区气温年代际变化及趋势预测[J]. 海洋湖沼通报, 2015(3): 21-30.
- [3] 李继红, 文静, 徐勇, 等. 我国自然环境低温分布统计分析[J]. 装备环境工程, 2015, 12(2): 87-90.
- [4] 胡炳清, 易鹏, 段宁, 等. 影响精确界定我国酸雨区空间分布的因素探讨[J]. 中国环境科学, 2015, 35(3): 917-924.
- [5] 唐其环. 海洋大气腐蚀性分类分级[J]. 环境技术, 2003, 2(1): 2-4.
- [6] ISO9223:1992(E), Corrosion of Metals and Alloys—Corrosively of Atmospheres—Classification[S].
- [7] 王秀民, 王培, 孙阳超, 等. Q235 钢在模拟海洋大气环境中的耐蚀性研究[J]. 表面技术, 2015, 44(11): 104-108.
- [8] 张贻刚, 韩文礼, 张其滨, 等. 海洋大气区钢结构涂层体系及性能评价[J]. 表面技术, 2016, 45(11): 118-121.
- [9] 王俊芳, 李希, 殷宗莲, 等. 多因素综合海洋气候模拟加速试验技术在紧固件表面处理工艺筛选中的应用[J]. 表面技术, 2016, 45(2): 175-179.
- [10] 唐其环, 李军念, 代红. 万宁滨海与西沙群岛大气腐蚀性对比研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 25-27.