

# 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

刘聪, 唐其环, 王莞, 郭赞洪

(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

**摘要:** **目的** 对 ISO 9223—2012 标准中碳钢大气腐蚀速率预测方程在我国的适用性进行验证。**方法** 利用我国典型沿海地区、盐渍区、工业污染区的碳钢大气腐蚀数据和同期环境数据, 分析碳钢大气腐蚀速率预测值和实测值之间的差异, 验证 ISO 9223—2012 标准碳钢大气腐蚀速率预测方程在我国的适用性。**结果** 根据 ISO 9223—2012 标准碳钢大气腐蚀速率预测方程, 利用气温、相对湿度、二氧化硫沉积速率、氯离子沉积速率四项环境因素数据预测碳钢第一年大气腐蚀速率, 在我国 12 个典型地区的预测效果较好,  $R^2$  达到 0.90。根据预测值划分的腐蚀等级与实测值划分结果一致性好。**结论** ISO 9223—2012 标准碳钢大气腐蚀速率预测方程适用于我国大气环境, 预测方程中氯离子沉积速率数据可以直接采用挂片法数据。

**关键词:** 碳钢; 大气腐蚀速率预测方程; 适用性

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2017.10.014

**中图分类号:** TJ07; TG174

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2017)10-0074-04

## Applicability of Atmospheric Corrosion Rate Prediction Equation for Carbon Steel of Standard ISO 9223—2012 in Typical Areas of China

LIU Cong, TANG Qi-huan, WANG Wan, GUO Zan-hong

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

**ABSTRACT: Objective** To verify the applicability of the prediction equation for atmospheric corrosion rate of carbon steel in ISO 9223—2012. **Methods** Based on the atmospheric corrosion data of environmental data of carbon steel in typical coastal areas, saline areas and industrial polluted areas in China, the difference between predicted and measured values of atmospheric corrosion rate of carbon steel was analyzed to verify the applicability of the prediction equation for atmospheric corrosion rate of carbon steel in ISO 9223—2012 in China. **Results** According to the prediction equation for atmospheric corrosion rate of carbon steel in ISO 9223—2012, temperature, relative humidity,  $\text{SO}_2$  deposition and Cl-deposition of four environmental factors data were used to predict the atmospheric corrosion of carbon steel. The prediction effect in 12 typical areas in China was good.  $R^2$  reached 0.90, and the corrosion grade divided according to the predicted value was consistent with the measured value. **Conclusion** The atmospheric corrosion rate prediction equation for carbon steel in ISO 9223—2012 is applicable to the atmospheric environment in China. The data of chloride deposition rate in the prediction equation can be obtained by the dry plate method.

**KEY WORDS:** carbon steel; prediction equation of atmospheric corrosion rate; applicability.

收稿日期: 2017-06-01; 修订日期: 2017-07-04

作者简介: 刘聪 (1986—), 男, 湖北仙桃人, 工程师, 主要研究方向为自然环境试验。

通讯作者: 唐其环 (1965—), 男, 四川达州人, 研究员, 主要研究方向为自然环境试验。

碳钢用途广泛、使用量大,但耐蚀性欠佳,在大气环境下长期使用过程中容易出现腐蚀问题。因此,碳钢大气腐蚀的预测与防护一直是腐蚀领域的重要研究方向。许多学者对碳钢大气腐蚀的影响因素及机理进行过探讨,并建立了不同因变量、不同形式的腐蚀速率预测模型<sup>[1-3]</sup>。由于大气腐蚀影响因素较多、作用机理复杂,并未形成公认、通用的预测模型。2012年,ISO 9223 标准依据全球 120 个地区的大气腐蚀数据及环境数据,首次在标准中给出了碳钢、铝、锌、铜四种标准金属腐蚀速率的预测方程<sup>[4]</sup>。文中基于我国典型地区碳钢大气腐蚀数据及同期环境数据,对 ISO 9223—2012 标准中碳钢大气腐蚀速率预测方程在我国的适用性进行验证研究。

## 1 ISO 9223—2012 标准碳钢大气腐蚀速率预测方程

ISO 9223—2012 取消了 ISO 9223—1992<sup>[5]</sup>中按润湿时间、二氧化硫沉积速率、氯离子沉积速率等三项因素分类直接评定大气腐蚀性等级的方法,并基于全球各气候类型共 128 个地区的暴露试验结果和环境数据,提出了以相对湿度、温度、二氧化硫沉积速率、氯离子沉积速率四项环境因素的年均值对碳钢、铝、锌、铜四种标准金属第一年腐蚀速率的预测方程。其中碳钢腐蚀速率的预测方程为:

$$r_{\text{cor}} = 1.77P_d^{0.52} \cdot \exp(0.020RH + f_{st}) + 0.102S_d^{0.62} \cdot \exp(0.032RH + 0.040t) \quad (1)$$

式中:  $r_{\text{cor}}$  为碳钢第一年腐蚀速率,  $\mu\text{m/a}$ ;  $P_d$  为年平均二氧化硫沉积速率,  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;  $S_d$  为年平均氯离子沉积速率(湿蚀法),单位为  $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ;  $RH$  为年平均相对湿度,%;  $f_{st}$  为温度系数,当年平均温度  $t \leq 10$  °C 时,  $f_{st} = 0.150(t - 10)$ , 其他情况下,  $f_{st} = 0.054(t - 10)$ 。

该方程综合考虑了四种主要环境因素对大气腐蚀的影响,并对影响程度进行了数学描述,较 ISO 9223—1992 标准中的等级划分(仅给出腐蚀率范围)更加细化。

## 2 我国典型地区 Q235 钢大气腐蚀试验

### 2.1 试验样品

试验样品为 Q235 碳钢,平板样尺寸为 100 mm×50 mm×4 mm。成分见表 1,符合 ISO 9226—2012 标准要求(Cu: 0.03%~0.10%, P: <0.07%)<sup>[6]</sup>。

表 1 试验用 Q235 钢成分

成分	C	S	P	Mn	Si	Cu
质量分数/%	0.172	0.019	0.014	0.450	0.220	0.080

### 2.2 大气暴露试验

在我国沿海地区(万宁、湛江、宁波等)、内陆盐渍区(敦煌)、工业大气区(重庆江津、珞璜)以无污染内陆地区(漠河、拉萨)共 12 个典型地区开展为期 12 个月的暴露试验,并监测、记录同期的温度、相对湿度、氯离子沉积速率、二氧化硫沉积速率。

### 2.3 腐蚀速率及环境数据

12 个地区的 Q235 钢腐蚀率和环境数据见表 2。其中二氧化硫沉积速率数据采用碱片法测得,与 ISO 9225—2012 标准规定的方法一致。氯离子沉积速率则是采用挂片法测得。

据 ISO 9225—2012 标准,氯离子沉积速率测量方法有湿蚀法和挂片法两种,该标准中碳钢腐蚀率预测公式采用湿蚀法测试值。据该标准介绍,湿蚀法测得的氯离子沉积速率约为挂片法测试值的 2.4 倍<sup>[7]</sup>,但这一倍率是基于有限的历史数据估计的,其准确性值得商榷。在我国万宁、三亚、青岛、厦门等部分沿海地区的对比研究表明,两种方法的测量值并不存在固定的倍数关系,其差异与采样原理和采样条件有关<sup>[8]</sup>。在氯离子含量特别高的海洋平台等环境,湿蚀法因耐饱和能力较强,测量值高于挂片法;在风速较小的海湾(三亚)或棚库环境,因湿蚀法纱布长期保持湿润,自然吸附能力强,测量结果也较挂片法高;在部分风速较高的沿海户外地区(如青岛、厦门、万宁内暴露场等),挂片法因纱布透风,空气绕流少,对氯离子的拦截吸附能力更强,测量结果反而高于湿蚀法<sup>[9-10]</sup>。

## 3 在我国典型地区的应用

### 3.1 预测效果

根据表 2 中环境数据,采用 ISO 9223—2012 标准给定的预测方程对我国 12 个典型地区的碳钢腐蚀率进行预测。对于氯离子沉积速率数据,分别选取挂片法数据以及按 2.4 倍关系估算所得的湿蚀法数据。两组预测值与实测值的对比如图 1 所示,在大部分地区,两组预测值与实测值非常接近。就总体预测效果而言,在我国 12 个地区两组预测值与实测值之间的  $R^2$  均为 0.90,而 ISO 9223—2012 标准中介绍该方程在全球 128 个地区拟合的  $R^2$  为 0.85,这说明该方程在我国典型地区也具有很好的适用性。

在二氧化硫沉积速率特别高的部分工业大气区(如重庆珞璜)或氯离子沉积速率特别高的部分沿海地区(如万宁站近海场),两组预测值与实测值均相差较大,偏差达 20%~40%。ISO 9223—2012 标准中预测方程是基于全球 128 个地区的实测数据拟合的,其准确程度与数据点的分布情况有关,若选取的高盐

表2 典型地区 Q235 钢腐蚀率和环境数据

地点	离海 距离/km	Q235钢腐蚀率 (第一年)/( $\mu\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$ )	年平均 温度/ $^{\circ}\text{C}$	年平均相 对湿度/%	$\text{SO}_2$ 沉积速率/ ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )	Cl <sup>-</sup> 沉积速率/ ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )
北京站	内陆	32.20	12.3	63	28.73	1.25
万宁近海场	0.15	310.42	24.4	86	20.12	439.52
万宁内暴露场	0.35	46.90	24.3	86	5.9	75.3
三亚	2	19.18	26.2	71	4.93	2.69
湛江	1	44.89	22.4	86	25.76	3.99
敦煌	内陆	6.17	11.5	33	25.55	10.02
宁德	4	25.69	20	72	50.5	9.68
宁波	1	42.31	17.5	73	15.86	4.45
重庆珞璜	内陆	98.78	19.4	81	92.34	0.59
江津	内陆	58.22	19.5	81	64.82	0.59
漠河	内陆	7.58	-0.2	62	4.31	0.23
拉萨	内陆	1.90	8.5	42	5.36	0.13

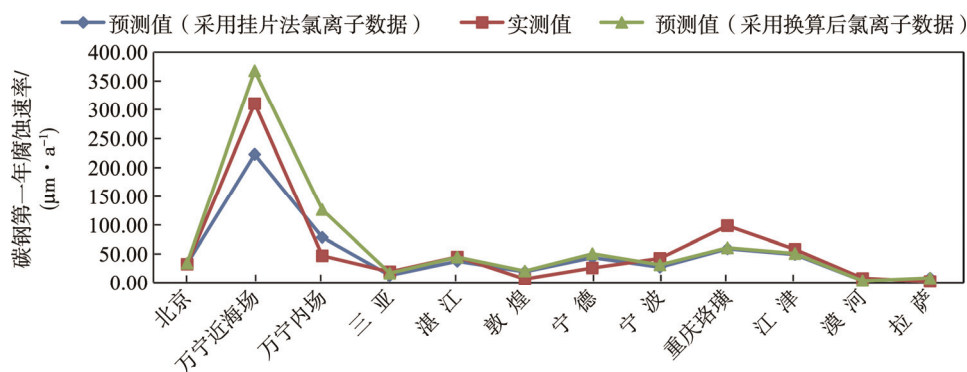


图1 典型地区碳钢腐蚀速率实测值及预测值

雾地区和高污染地区数量不够,可能造成预测方程在此类地区误差较大。

对比还显示,在内陆地区及大部分沿海地区,两组预测值之间的差异极小(10%以内),在氯离子沉积速率特别高的海南万宁站近海场和内暴露场,两组预测值之间差异相对较大(可达50%)。与实测值相比,两组预测值在万宁站内暴露场均高于实测值,在近海场实测值则位于两组预测值之间。这表明采用2.4倍挂片法数据换算后的氯离子沉积速率,可能造成在高盐雾地区腐蚀率预测值的普遍高估。直接采用挂片法数据,则可能造成在高盐雾地区腐蚀率预测值的部分低估。

### 3.2 根据预测值评估大气腐蚀性等级

虽然 ISO 9223—2012 标准取消了根据环境因素法

评估大气腐蚀性等级,但可以基于环境数据按其预测方程预测标准金属腐蚀率,再根据不同等级的腐蚀率范围,对大气腐蚀性等级进行划分。表3列出了我国12个典型地区分别按 ISO 9223—1992 标准环境因素法、ISO 9223—2012 标准腐蚀率预测值以及腐蚀率实测值对碳钢大气腐蚀性的分级结果。对比显示,相比 ISO 9223—1992 标准环境因素法,采用 ISO 9223—2012 标准预测值划分的分辨率更高,避免了“两种等级都有可能”的情况,与实测值的分级结果更为接近。

此外,两组预测值的大气腐蚀性分级结果基本一致,12个典型地区中,仅在万宁内暴露场存在差异,两组预测值分级结果均高于实测值。其中,直接采用挂片法数据预测的分级结果更接近实测值。这表明氯离子沉积速率直接选用挂片法数据或换算后数据,对分级结果影响极小。

表3 典型地区按不同方法划分的碳钢大气腐蚀性等级

地点	ISO 9223—1992 环境因素法分级	ISO 9223—2012腐蚀率预测值分级 (Cl <sup>-</sup> 沉积速率采用2.4倍挂片法数据)	ISO 9223—2012腐蚀率预测值分级 (Cl <sup>-</sup> 沉积速率采用挂片法数据)	按实测腐 蚀率分级
北京站	C3	C3	C3	C3
万宁近海 场	C5	CX/超过C5)	CX/超过C5	CX/超过 C5
万宁内暴 露场	C5	C5	C4	C3
三亚	C3	C2	C2	C2
湛江	C3或C4	C3	C3	C3
敦煌	C1	C2	C2	C2
宁德	C3	C3	C3	C3
宁波	C3	C3	C3	C3
重庆珞璜	C4	C4	C4	C5
江津	C4	C4	C4	C4
漠河	C2或C3	C2	C2	C2
拉萨	C2或C3	C2	C2	C2

## 4 结论

1) ISO 9223—2012 标准中碳钢大气腐蚀速率预测方程适用于我国大气环境。

2) ISO 9223—2012 标准碳钢腐蚀速率预测方程中的氯离子沉积速率可直接采用挂片法数据,但需要注意,在少数高盐雾地区,有可能造成腐蚀率预测值的部分低估。

3) 根据 ISO 9223—2012 标准碳钢大气腐蚀速率预测方程,可利用环境数据对碳钢大气腐蚀性等级进行划分,划分结果比 ISO 9223—1992 标准环境因素法更为精确。在进行大气腐蚀分级时,氯离子沉积速率可以直接采用挂片法数据。

### 参考文献:

- [1] 彭京川, 郭赞洪, 杨晓然. 多因素综合海洋气候自然加速试验技术相关性和加速性验证[J]. 装备环境工程, 2016, 13(5): 98-104.
- [2] 孙飞龙, 蒋泉, 刘婷婷, 等. ISO 9224 大气腐蚀性等级的指导值标准更新解读[J]. 环境技术, 2015, 23(2):

74-76.

- [3] 刘明辉, 张晓云, 赖俊滨, 等. 江津、武汉、宜昌大气腐蚀预测方程的建立[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2004, 16(4): 240-242.
- [4] ISO 9223—2012, Corrosion of Metals and Alloys—Corrosivity of Atmospheres—Classification, Determination and Estimation[S].
- [5] ISO 9223—1992, Corrosion of Metals and Alloys—Corrosivity of Atmospheres—Classification[S].
- [6] ISO 9226—2012, Corrosion of Metals and Alloys—Corrosivity of Atmospheres—Determination of Corrosion Rate of Standard Specimens for the Evaluation of Corrosivity[S].
- [7] ISO 9225—2012, Corrosion of Metals and Alloys—Corrosivity of Atmospheres—Measurement of Environmental Parameters Affecting Corrosivity of Atmospheres[S].
- [8] 杨德模, 秦晓洲, 凌勇, 等. 海盐粒子含量测定方法对比研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(2): 71-74.
- [9] 刘聪, 唐其环, 赖丽勤. 海洋大气氯离子采集过程饱和和现象研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(1): 26-28.
- [10] 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.