

P265GH 低合金钢在模拟污染大气环境中的 腐蚀行为

吕旺燕¹, 于全成², 王振尧², 苏伟¹

(1. 广东电网公司 电力科学研究院, 广州 510080; 2. 中国科学院金属研究所, 沈阳 110016)

摘要: 目的 研究 P265GH 钢在模拟污染大气环境中的腐蚀行为, 探讨 NaHSO₃ 和 NaCl 的协同作用对 P265GH 钢大气腐蚀影响。方法 利用 SEM, XRD 和 FTIR 技术以及腐蚀质量损失分析。结果 在 NaHSO₃ 存在的环境中, α-FeOOH 易于形成, 而在 NaCl 存在的环境中, γ-Fe₂O₃ 和 Fe₃O₄ 易于形成, 两者同时存在的环境中, P265GH 钢腐蚀质量损失比单一腐蚀介质存在时的质量损失大。结论 NaHSO₃ 和 NaCl 之间存在协同效应, 腐蚀介质对 P265GH 钢腐蚀影响顺序为 NaHSO₃+NaCl>NaHSO₃>NaCl。

关键词: 钢; 大气腐蚀; 协同作用; 加速腐蚀试验

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.04.013

中图分类号: TJ04; TG172.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)04-0066-06

Corrosion Behavior of Low Alloy Steel P265GH in Simulated Atmospheric Environment with Pollutants

LYU Wang-yan¹, YU Quan-cheng², WANG Zhen-yao², SU Wei¹

(1. Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510080, China;
2. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the corrosion behavior of low alloy steel P265GH in simulated atmospheric environment with pollutants, and discuss the influence of the synergic effect of NaHSO₃ and NaCl on the atmospheric corrosion of P265GH. **Methods** SEM, XRD, FTIR and mass loss were used to analyze the corroded samples. **Results** In the environment with the presence of NaHSO₃, α-FeOOH formed easily, while in the environment with the presence

收稿日期: 2015-06-12; 修订日期: 2015-07-08

Received: 2015-06-12; Revised: 2015-07-08

基金项目: 南网科技项目(K-GD2014-0532); 国家自然科学基金项目(51131007)

Fund: Supported by the Science and Technology of Southern Power Grid(K-GD2014-0532) and the National Natural Science Foundation of China (51131007)

作者简介: 吕旺燕(1983—), 女, 湖北人, 工程师, 主要研究方向为电力材料腐蚀与防护。

Biography: LYU Wang-yan(1983—), Female, from Hubei, Engineer, Research focus: corrosion and protection of electric power material

通讯作者: 王振尧(1962—), 男, 辽宁人, 博导, 研究员, 主要研究方向为材料自然环境腐蚀。

Corresponding author: WANG Zhen-yao(1962—), Male, from Liaoning, Doctoral tutor, Researcher, Research focus: natural environmental corrosion of material.

of NaCl, γ -Fe₂O₃ and Fe₃O₄ formed easily. The mass losses of P265GH steel in the presence of both NaHSO₃ and NaCl were larger than those in the separate presence of NaHSO₃ or NaCl. **Conclusion** There was synergic effect between NaHSO₃ and NaCl in the atmospheric corrosion process of P265GH steel. The sequence of corrosive media affecting the corrosion process of P265GH steel was: NaHSO₃ + NaCl > NaHSO₃ > NaCl.

KEY WORDS: steel; atmospheric corrosion; synergic effect; accelerated corrosion test

金属材料在大气环境中的腐蚀受到很多因素的影响,除材料自身的因素外,就是环境因素^[1-2],这包括温度、相对湿度、日照、污染物种类及含量等。人类的许多生产活动都会产生和释放出SO₂,再加之强腐蚀性,SO₂已被公认是城市 and 工业地区最重要的大气腐蚀性气体。由于Cl⁻具有很强的渗透性和能增加金属表面液膜的导电性,成为海洋大气环境中备受关注的腐蚀性介质。关于这两种主要污染介质对金属腐蚀影响的研究很多,有通过大气暴露试样的方法^[3-5],还有利用实验室模拟的方法^[6-11],研究了金属材料在典型大气环境中的腐蚀规律和腐蚀机制。

钢作为现代化建设中最普遍应用的材料,而P265GH低合金钢则是广泛用于核电领域的结构材料之一,其使用的多数环境为海洋甚至是受污染的海洋大气环境,其发生腐蚀是很普遍的现象,但该类材料在此类大气环境下的腐蚀数据还相对缺乏。文中利用多种测试与分析技术,研究了P265GH钢在模拟污染大气环境中的腐蚀行为,并探讨了混合污染物的协同作用。

1 实验

1.1 试样制备

实验材料为P265GH钢,其化学成分(以质量分数计)为:C 0.13%, Si 0.18%, Mn 0.73%, S 0.01%, P 0.011%, Al 0.045%, Cu 0.035%, Cr 0.02%, Ni 0.01%, Ti 0.001%, Mo 0.004%, Nb 0.002%, V 0.002%, Fe 余量。试样尺寸为25 mm × 25 mm × 5 mm。试样先经机械加工,再用400#—800#砂纸逐级打磨,最后利用丙酮和酒精将表面清洗干净,放入干燥器24 h后称量,精确度为0.1 mg。

1.2 实验条件

将试样分成3组进行实验,试样表面涂盐量分别为:75 mg/cm² NaHSO₃和6.5 mg/cm² NaCl;86.56 mg/cm² NaHSO₃;48.7 mg/cm² NaCl。然后将试样放入实验箱进行干湿交替实验,温度控制在(30 ± 0.5)℃。每24 h为

1个循环周期,潮湿过程的相对湿度为80%,时间为18 h,自然干燥6 h。

1.3 腐蚀分析

采用500 mL HCl(质量分数为38%的浓盐酸)+500 mL蒸馏水+20 g六次甲基四胺配成溶液,室温下除锈。除锈后将试样用蒸馏水清洗,接着用酒精脱水,吹干放入干燥器,24 h后称量。每次取3个平行试样测质量损失数据,最后取其平均值。利用XL30FEG型扫描电子显微镜(SEM/EDS)对腐蚀试样表面形貌进行观察与分析。利用Rigaku-D/max-2500PC型X射线衍射分析仪和Magna-IR560型红外吸收光谱仪分别对锈层成分进行分析。

2 结果与讨论

2.1 腐蚀动力学曲线

图1给出了P265GH钢在不同腐蚀介质中经过干湿交替循环腐蚀15天后质量损失与时间的关系曲线。可以看出,腐蚀质量损失随时间的延长而增加,基本呈直线关系。当NaHSO₃或者NaCl单独存在时,质量损失曲线很接近,尤其是9天后。NaHSO₃存在于环境中造成的腐蚀质量损失略大于NaCl存在的情况。在NaHSO₃和NaCl同时存在的环境中,腐蚀质量

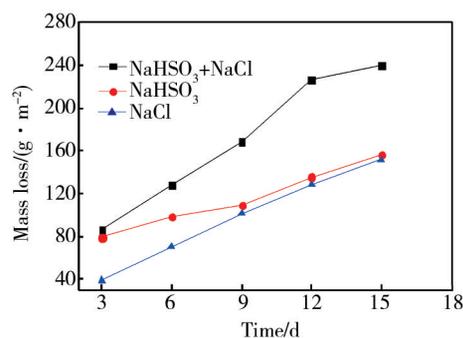


图1 三种介质条件下P265GH钢的腐蚀质量损失与试验时间的关系

图1 Corrosion mass loss vs. test time for P265GH steel under dry/wet conditions with different media

损失比在单一腐蚀介质环境中明显增大。说明在钢的腐蚀过程中,NaHSO₃和NaCl之间存在协同效应,两者同时存在时,P265GH钢的腐蚀质量损失并不是两者单独存在时所造成的腐蚀质量损失的简单加合。腐蚀性介质对P265GH钢腐蚀的影响大小顺序为:NaHSO₃+NaCl>NaHSO₃>NaCl。

2.2 锈层表面形貌

图2给出了P265GH钢在NaHSO₃和NaCl同时存在的环境中干湿交替不同时间的表面微观形貌。可以看出,在腐蚀3天后,表面存在很多片状或花瓣状的腐蚀产物,这是γ-FeOOH的结构形貌。表面还存在少量棉球状腐蚀产物,此产物为α-FeOOH。腐蚀实验进行9天后,棉球状腐蚀产物在试样表面清晰可见,花瓣状腐蚀产物依然存在,但发现花瓣已开始发生球化。经过15天的腐蚀实验后,试样的表面布满球状腐蚀产物,只有少量的花瓣状产物。

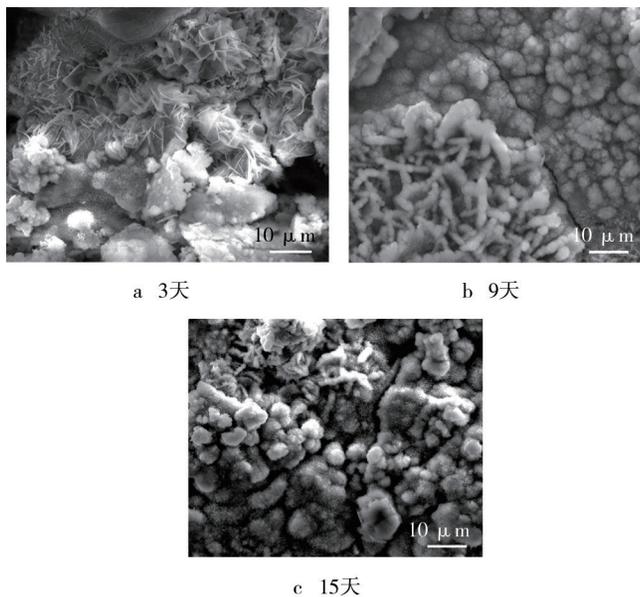


图2 P265GH钢在NaHSO₃和NaCl存在条件下经干湿交替腐蚀后的表面微观形貌

Fig.2 Surface morphologies of P265GH steel after corrosion under alternative dry/wet condition in the presence of NaHSO₃ and NaCl

图3给出了P265GH钢在NaHSO₃存在的环境中干湿交替腐蚀不同时间的表面微观形貌。与图2相比可看出,相同腐蚀实验时间点的表面形貌相差不大,演化过程相似。随着腐蚀实验的进行,花瓣状腐蚀产物逐渐球化,转变为球状的α-FeOOH。在腐蚀实验结束时,试样的表面被大量的棉球状腐蚀产物所覆盖。

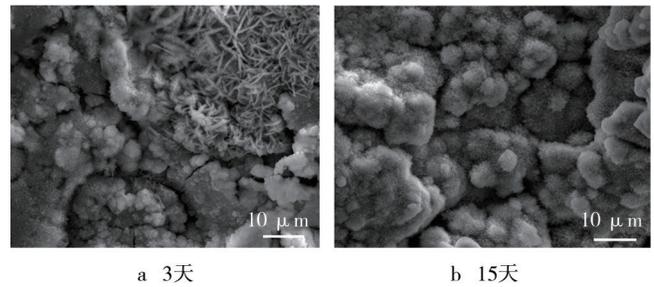


图3 P265GH钢在NaHSO₃存在条件下经干湿交替腐蚀后的表面微观形貌

Fig.3 Surface morphologies of P265GH steel after corrosion under alternative dry/wet condition in the presence of NaHSO₃

图4给出了P265GH钢在NaCl存在的环境中腐蚀3天和15天的表面微观形貌。可以看出,在腐蚀3天后,P265GH钢表面存在少量呈颗粒状腐蚀产物。经过15天的腐蚀实验后,试样表面存在大量颗粒状腐蚀产物。

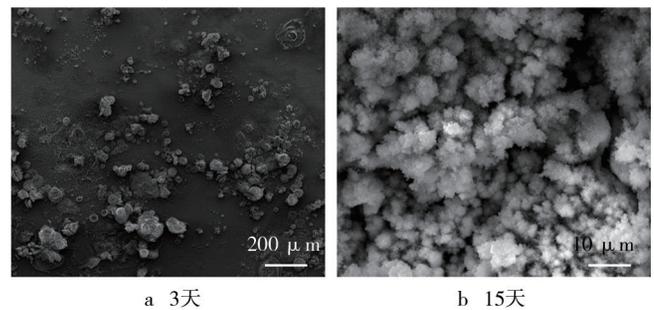


图4 低合金钢P265GH在NaCl存在条件下经干湿交替腐蚀后的表面微观形貌

Fig.4 Surface morphologies of P265GH steel after corrosion under alternative dry/wet condition in the presence of NaCl

2.3 腐蚀产物成分分析

图5—7给出了P265GH钢在NaHSO₃和NaCl同时存在或单独存在时经干湿交替实验不同时间后腐蚀产物的XRD图谱和红外IR光谱。可以看出,主要腐蚀产物中都存在α-FeOOH和γ-FeOOH。

由图5的XRD图谱可以看出,实验3天后腐蚀产物中Fe₃O₄的峰相对较强,而α-FeOOH和γ-FeOOH的峰相对较弱,β-FeOOH的峰非常微弱,几乎看不到。随着腐蚀的进行,α-FeOOH和γ-FeOOH的峰逐渐增强,而Fe₃O₄逐渐减弱。在红外(IR)光谱中也发现了同样的现象。说明β-FeOOH在高Cl的环境中才会产生。

图6给出了P265GH钢在含NaHSO₃环境中腐蚀产

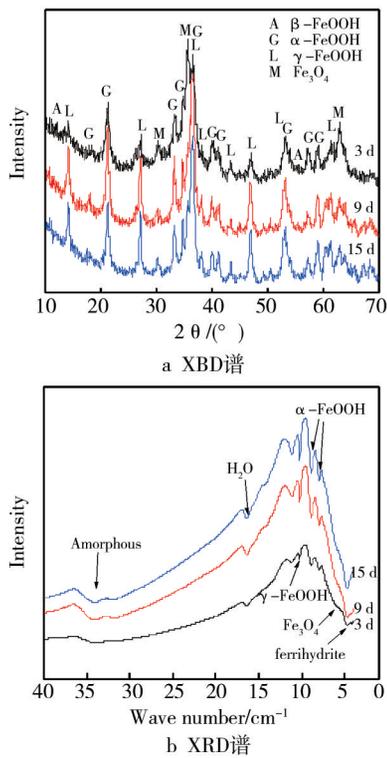


图5 P265GH钢在NaHSO₃和NaCl存在条件下经干湿交替试验后腐蚀产物的XRD谱和IR谱

Fig.5 X-ray pattern and IR spectra of rusts formed on P265GH steel after corrosion under alternative dry/wet condition in the presence of NaHSO₃ and NaCl

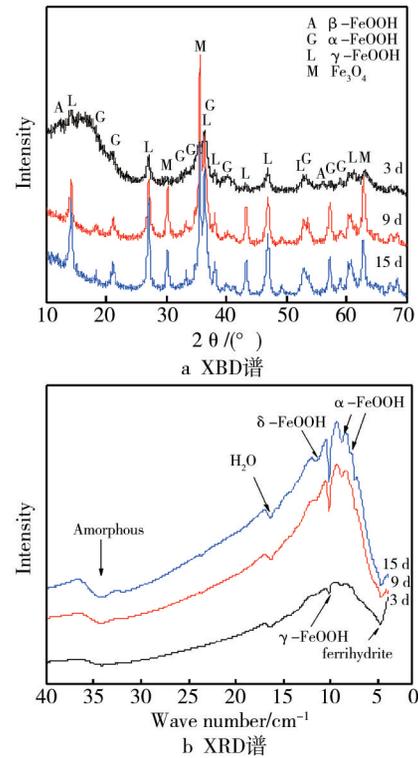


图7 P265GH钢在含NaCl的环境中经干湿交替实验后腐蚀产物的XRD谱和IR谱

Fig.7 X-ray pattern and IR spectra of rusts formed on P265GH steel after corrosion under alternative dry/wet condition in the presence of NaCl

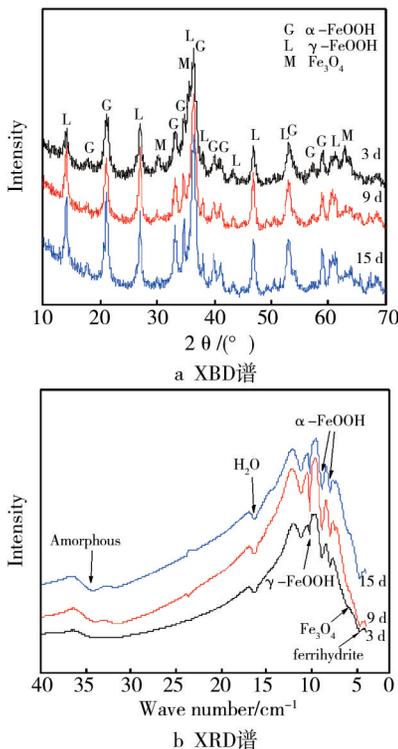


图6 P265GH钢在含NaHSO₃环境中经干湿交替实验后腐蚀产物的XRD谱和IR谱

Fig.6 X-ray patterns and IR spectra of rusts formed on P265GH steel after corrosion under alternative dry/wet condition in the presence of NaHSO₃

物的XRD和红外IR图谱。实验3天后,XRD图谱中Fe₃O₄的峰相对强度较高。对比图5中的情况来看,Fe₃O₄在腐蚀产物中的相对含量并不高。随着腐蚀的进行,Fe₃O₄的相对强度逐渐减弱,实验结束时,其强度变的非常弱,而α-FeOOH和γ-FeOOH峰的相对强度变得非常高。由图6可以看出,随着腐蚀的进行,γ-FeOOH的相对强度变化趋势为先增大后减小,说明γ-FeOOH在腐蚀产物中的含量是先增多后减少的,而α-FeOOH则表现出逐渐增多的趋势。此现象与户外初期大气曝晒条件下γ-FeOOH和α-FeOOH的变化趋势很相近。Yamashita^[16]等人通过干湿交替循环实验研究碳钢在不同液膜条件下初始腐蚀产物形成时发现,α-FeOOH优先在Na₂SO₄存在的环境中生成。实验使用的腐蚀介质为NaHSO₃,当NaHSO₃沉积到钢表面时会被溶解在水膜中的O₂氧化为SO₄²⁻,因此在腐蚀产物中能检测到大量的α-FeOOH。

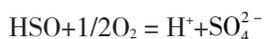
图7给出了P265GH钢在含有NaCl环境中腐蚀产物的XRD图谱和红外IR光谱。可以看出,γ-FeOOH的XRD峰和IR峰相对强度很高,且随着腐蚀的进行,其相对强度逐渐增强,因此腐蚀产物中具有大量的γ-FeOOH。腐蚀产物中也检测到了α-FeOOH,但从

其XRD和IR峰的强度来看, α -FeOOH的含量不高。在腐蚀产物中还检测到含有少量的 β -FeOOH, 这是在含一定Cl⁻离子环境中可以检测到的物质。

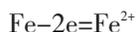
由图7中XRD图谱可以看出, 在出现 γ -Fe₂O₃和Fe₃O₄角度的位置峰的强度很高。Fe₃O₄是通过溶解的Fe(OH)₂以及FeOOH生成的, 当溶液中OH/Fe(II)的比值为2时Fe₃O₄的生成量最大^[12], 因此Fe₃O₄的生成将取决于FeOOH溶解度的大小, 而FeOOH溶解度的顺序为 β -FeOOH > γ -FeOOH >> α -FeOOH。 β -FeOOH在含Cl⁻环境中才能生成^[13], 因此在含Cl⁻的环境中, 比没有Cl⁻的环境中Fe₃O₄的生成量大^[12]。Kamimura^[14]等人发现在海洋大气环境中曝晒的耐候钢锈层中存在 β -FeOOH和Fe₃O₄, 而在工业环境中曝晒的锈层中却不存在。Oh^[15]等人发现曝晒在海洋环境中的碳钢腐蚀产物的XRD谱中 γ -Fe₂O₃和Fe₃O₄的峰非常强。IR光谱(图7b)中检测到 γ -Fe₂O₃在550 cm⁻¹处存在吸收峰, 而在XRD图谱(图7a)中35°~36°和62°~63°之间的强峰位于 γ -Fe₂O₃和Fe₃O₄的峰之间, 因此认为腐蚀产物中存在两者的混合物。在图5—7的IR谱线中1120 cm⁻¹处也存在 δ -FeOOH的特征吸收峰。

从P265GH钢腐蚀产物的XRD和红外IR图谱以及其表面形貌可以看出, 腐蚀介质对生成的腐蚀产物种类具有极其重要的影响。腐蚀介质不同, 腐蚀产物也存在一定的差别。在NaCl存在的情况下, α -FeOOH的峰自始至终都比较弱, 而在NaHSO₃存在的情况下, 其峰相对强度较高, 且随实验时间而增强, 因此 α -FeOOH易在NaHSO₃环境中生成, 这与Yamashita^[6]等人的研究结果一致。在只有NaCl存在的环境中, 尖晶石类物质如 γ -Fe₂O₃和Fe₃O₄的含量较大, 而在只有NaHSO₃的环境中, 其含量却非常少。在NaHSO₃和NaCl都存在时, 情况居于上述两者之间, 但腐蚀产物中 α -FeOOH的相对含量很高。

由图1可以看出, 在腐蚀进行3天后, 钢在只有NaHSO₃存在的环境中的腐蚀质量损失量与钢在NaHSO₃和NaCl同时存在时相接近, 说明在腐蚀初期NaHSO₃对腐蚀起到了重要作用。在腐蚀开始阶段, 溶解在钢表面吸附的液膜中的HSO₃⁻可以经空气中的O₂氧化为H₂SO₄:



H₂SO₄的存在促进了Fe的溶解:



生成的FeSO₄经水解、氧化转变为FeOOH, 并将H₂SO₄释放^[17]:



这样经过酸再生循环释放的H₂SO₄又将继续对钢造成腐蚀, 随着腐蚀的进行, 钢表面逐渐形成完整锈层, 对O₂传输穿过锈层到达钢基体可能会产生一定的阻碍。由于Cl⁻的存在将增加钢表面的导电性, 且Cl⁻的强侵蚀性能破坏新形成的锈层钝化膜, 使得锈层破裂, 电解质溶液继续往基体方向渗透, SO₄²⁻又可以通过酸再生循环发挥作用, 电化学腐蚀继续以较大速率进行。因此SO₄²⁻和Cl⁻的协同作用将促进钢的腐蚀。

3 结语

不同的腐蚀介质对生成的腐蚀产物种类的影响很大, 在NaHSO₃存在的环境中 α -FeOOH易于形成, 而在NaCl存在的环境中, 尖晶石类氧化产物 γ -Fe₂O₃和Fe₃O₄等易于形成。NaHSO₃和NaCl存在协同效应, 促进P265GH钢的腐蚀, 腐蚀介质对P265GH钢的腐蚀影响大小的顺序为: NaHSO₃+NaCl > NaHSO₃ > NaCl。

参考文献:

- [1] 梁彩凤, 侯文泰. 环境因素对钢的大气腐蚀的影响[J]. 中国腐蚀与防护学报, 1998, 18(1): 1—6.
LIANG Cai-feng HOU Wen-tai. Effect on Environmental Factors to Atmospheric Corrosion for Steels[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 1998, 18(1): 1—6.
- [2] 戴明安, 刘珍芳. 碳钢大气腐蚀与环境因素的关联度分析[J]. 腐蚀与防护, 2000, 21(4): 147—148.
DAI Ming-an, LIU Zhen-fang. Analysis of the Conjunction between Environmental Factors and Atmospheric Corrosion of Carbon Steel[J]. Corrosion and Protection, 2000, 21(4): 147—148.
- [3] VERA R, ROSALES B M, TAPIA C. Effect of the Exposure Angle in the Corrosion Rate of Plain Carbon Steel in a Marine Atmosphere[J]. Corrosion Science, 2003, 45(4): 321—337.
- [4] 王振尧, 陈鸿川, 于国才, 等. 海南省的大气腐蚀调查[J]. 中国腐蚀与防护学报, 1996, 16(3): 225—229.
WANG Zhen-yao, CHEN Hong-chuan, YU Guo-cai, et al. An Investigation on Atmospheric Corrosiveness in Hainan Province[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 1996, 16(3): 1—6.
- [5] WANG S, YANG S, GAO K, et al. Corrosion Behavior and Corrosion Products of a Low-alloy Weathering Steel in Qingdao and Wanning[J]. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 2009, 16(1): 58—64.
- [6] 汪川, 王振尧, 柯伟. Q235钢在潮湿SO₂环境中的初期腐蚀锈层的表征[J]. 科学通报, 2008, 53(23): 2833—2838.

- WANG Chuan, WANG Zhen-yao, KE Wei. Characterisation of Initial Rust Formed on Q235 Steel in the Wet Environment with SO₂ Pollution[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(23):2833—2838.
- [7] 曲庆, 严川伟, 张蕾, 等. NaCl 和 SO₂ 在 A3 钢初期大气腐蚀中的协同效应[J]. 金属学报, 2002, 38(10):1062—1066.
- QU Qing, YAN Chuan-wei, ZHANG Lei, et al. Synergism of NaCl and SO₂ in the Initial Atmospheric Corrosion of A3 Steel [J]. ACTA Metallurgica Sinica, 2002, 38(10):1062—1066.
- [8] 万晔, 严川伟, 曹楚南. 可溶盐沉积对碳钢大气腐蚀的影响[J]. 物理化学学报, 2004, 20(6):659—663.
- WAN Ye, YAN Chuan-wei, CAO Chu-nan. Atmospheric Corrosion of Q235 Steel Deposited with Different Salts[J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2004, 20(6):659—663.
- [9] MANSFELD F, TSAI S. Laboratory Studies of Atmospheric Corrosion—I. Weight Loss and Electrochemical Measurements [J]. Corrosion Science, 1980, 20:853—872.
- [10] 蔡健平, 郑逸苹, 刘寿荣. 氯化物、硫污染物对碳钢大气腐蚀的协同作用[J]. 中国腐蚀与防护学报, 1996, 16(4):303—306.
- CAI Jian-ping, ZHENG Yi-ping, LIU Shou-rong. Synergistic Effect of Chloride and Sulphur-bearing Pollutant in Atmospheric Corrosion of Mild Steel[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and protection, 1996, 16(4):303—306.
- [11] 王振尧, 郑逸苹, 刘寿荣. A3 钢在人造污染介质中的大气腐蚀行为[J]. 中国腐蚀与防护学报, 1994, 14(3):240—246.
- WANG Zhen-yao, ZHENG Yi-ping, LIU Shou-rong. Behaviour of Atmospheric Corrosion of Carbon Steel in Artificially Polluted Media[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 1994, 14(3):240—246.
- [12] ISHIKAWA T, KONDO Y, YASUKAWA A, et al. Formation of Magnetite in the Presence of Ferric Oxyhydroxides[J]. Corrosion Science, 1998, 40:1239—1251.
- [13] REMAZEILLES C, REFAIT Ph. On the Formation of β -FeOOH (akaganeite) in Chloride-containing Environments[J]. Corrosion Science, 2007, 49:844—857.
- [14] KAMIMURA T, HARA S, MIYUKI H, et al. Composition and Protective Ability of Rust Layer Formed on Weathering Steel Exposed to Various Environments[J]. Corrosion Science, 2006, 48:2799—2812.
- [15] OH S J, COOK D C, TOWNSEND H E. Atmospheric Corrosion of Different Steels in Marine, Rural and Industrial Environments[J]. Corrosion Science, 1999, 41:1687—1702.
- [16] YAMASHITA M, KONISHI H, KOZAKURA T, et al. In Situ Observation of Initial Rust Formation Process on Carbon Steel under Na₂SO₄ and NaCl Solution Films with Wet/Dry Cycles Using Synchrotron Radiation X-rays[J]. Corrosion Science, 2005, 47:2492—2498.
- [17] ALLAM I M, ARLOW J S, SARICIMEN H. Initial Stages of Atmospheric Corrosion of Steel in the Arabian Gulf[J]. Corrosion Science, 1991, 32:417—432.

(上接第 21 页)

- WANG Qiu-ping, LIU Ting-ting, ZHANG Qi, et al. Application of Ordered Sample Clustering Method in Systematic Layout Planning Classification of Logistics Strength[J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology: Natural Science Edition, 2012, 44(2):231—237.
- [9] 何立恒, 鲍其胜, 王庆. 基于反距离夹角加权算法的地理信息空间内插方法[J]. 测绘通报, 2014, (1):33—36.
- HE Li-heng, BAO Qi-sheng, WANG Qi. Geographic Information Spatial Interpolation Methods Using the Weighted Algorithm of Inverse Distance and Angle[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2014, (1):33—36.
- [10] 段平, 盛业华, 李佳, 等. 自适应的 IDW 插值方法及其在气温场中的应用[J]. 地理研究, 2014, 33(8):1417—1426.
- DUAN Ping, SHENG Ye-hua, LI Jia, et al. Adaptive IDW Interpolation Method and Its Application in the Temperature Field[J]. Geographical Research, 2014, 33(8):1417—1426.
- [11] CHEN Feng-wen, LIU Chen-wu. Estimation of the Spatial Rainfall Distribution Using Inverse Distance Weighting (IDW) in the Middle of Taiwan[J]. Paddy & Water Environment, 2012, 10(3):209—222.
- [12] WANG Yi-yi, KOCKELMAN K M, DAMIEN P. A Spatial Autoregressive Multinomial Probit Model for Anticipating Land-use Change in Austin, Texas[J]. Annals of Regional Science, 2014, 52(1):251—278.
- [13] VAROUCHAKIS E A, HRISTOPULOS D T. Comparison of Stochastic and Deterministic Methods for Mapping Groundwater Level Spatial Variability in Sparsely Monitored Basins[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2013, 185(1):1—19.
- [14] BABAK O. Inverse Distance Interpolation for Facies Modeling [J]. Stochastic Environmental Research & Risk Assessment, 2014, 28(6):1373—1382.
- [15] MARIACA R L, ALMEIDA E, BO A D, et al. Marine Atmospheric Corrosion of Reference Metals in Tropical Climates of Latin-America[J]. Astm Special Technical Publication, 2000 (1399):3—17.
- [16] COOK D, ORDEN A V, REYES J, et al. Atmospheric Corrosion in Marine Environments along the Gulf of Mexico[J]. ASTM Special Technical Publication, 2000 (1399):18—32.