

D60 钢在模拟海岛环境中腐蚀产物的红外光谱研究

杜仕国, 孟胜皓, 闫军, 郭毅

(军械工程学院, 石家庄 050003)

摘要: 目的 以弹药金属元件的主要材料之一 D60 钢为样品, 在模拟海岛环境的高湿、高盐雾条件下研究 D60 钢的腐蚀过程。方法 利用红外光谱法(IR)对腐蚀产物进行表征。结果 腐蚀层中含有吸附水, 在腐蚀的初期, 腐蚀产物主要有 γ -FeOOH 和 δ -FeOOH, 但是随着腐蚀的继续, 产物中出现 α -FeOOH, 同时 δ -FeOOH 逐渐减少至完全消失, 在腐蚀的后期出现了 Fe_3O_4 , 有 Cl^- 参与下的腐蚀, 腐蚀产物主要有 α -FeOOH, γ -FeOOH 和部分少量的 δ -FeOOH。结论 Cl^- 的加入加速了基体金属的腐蚀。

关键词: D60 钢; 腐蚀; 海岛环境; 红外光谱

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.01.003

中图分类号: TJ410.4; TG174.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)01-0010-05

IR Analysis of Corrosion Products on D60 Steel in Simulated Island Environments

DU Shi-guo, MENG Sheng-hao, YAN Jun, GUO Yi

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

ABSTRACT: Objective The corrosion test of D60 steel, as one of the substitutes of ammunition elements, was carried out in the simulated island environment with high humidity and high salinity. **Methods** Infrared spectroscopy (IR) was used to characterize the corrosion products. **Results** The corrosion layer contained adsorbed water. In the initial stage of corrosion, the products mainly included γ -FeOOH and δ -FeOOH, but with the corrosion continued, α -FeOOH appeared in the products, while δ -FeOOH was gradually diminished and finally completely disappeared. In the late stage of corrosion, Fe_3O_4 emerged. In corrosion events involving Cl^- , the corrosion products mainly included α -FeOOH, γ -FeOOH and a little δ -FeOOH. **Conclusion** The addition of Cl^- accelerated the corrosion of the metal matrix.

KEY WORDS: D60 steel; corrosion; island environment; infrared spectroscopy

驻海岛部队储备有大量弹药, 由于战备要求, 这些弹药必须长期储存在坑道、炮位、阵地等温度高、湿度大、雨雾多、盐分浓的野外地域^[1-4]。目前我军弹药储存一般采用“炮油+木箱”的简单储存方式, 这

种方式虽然能够满足内陆环境条件下的储存, 但是在海岛环境下, 弹药金属元件很快发生腐蚀, 导致弹药可靠性下降, 影响部队平时的战备和训练^[5-8]。据调查, 在内地库房能存放 20 多年的弹药, 在海岛部

收稿日期: 2014-08-30; 修订日期: 2014-12-17

Received: 2014-08-30; Revised: 2014-12-17

作者简介: 杜仕国(1961—), 男, 江苏宁波人, 博士, 教授, 主要研究方向为涂料、高分子材料。

Biography: DU Shi-guo(1961—), Male, from Ningbo, Jiangsu, Ph.D., Professor, Research focus: coating and polymer materials.

队平均只能存放1~2年,大部分不超过1年^[9-10]。因此,有针对性地开展海岛环境下弹药金属材料的腐蚀特性研究,对下一步提高弹药金属材料的耐腐蚀性研究具有重要意义。

目前国内外对弹药失效机理的研究已经比较成熟,潘文庚等^[11]研究了长贮弹药失效的几种常见模型及失效因素。对于弹药锈蚀产物这方面的报道还比较少,现有的研究手段也存在检测方法较单一、检测精度不够高等缺点。红外光谱(IR)检测技术在复合材料、粘合剂、发射药、文物保护等方面都有了很多应用^[12-18],可以利用红外光谱对弹药材质金属在模拟海岛环境中的腐蚀产物进行研究,为实弹腐蚀后的产物分析提供依据。D60钢是弹药金属原件主要材料之一,因此,文中以D60钢为例,利用红外光谱研究D60钢在模拟海岛环境中的腐蚀产物。

1 实验

实验材料为D60钢,其主要化学成分(质量分数)为:C 0.57%~0.65%,Mn 0.50%~0.80%,Si 0.17%~0.40%,P 0.040%,S≤0.040%,Cr≤0.30%,Ni≤0.30%,Cu≤0.30%。

将D60钢切割成20 mm×20 mm×4 mm的试样,试样表面分别用600#,800#,1200#水砂纸打磨,经丙酮脱脂,蒸馏水超声波清洗后,再用乙醇清洗,干燥后放入模拟海岛环境的实验装置中。模拟环境的温度设置为25℃,相对湿度大于80%。文中的红外光谱测试均在FTIR-5DX型傅立叶变换红外光谱仪上进行。

2 结果与讨论

2.1 D60钢在高温环境中的腐蚀

D60钢在试验3 d的时候,出现了点蚀,如图1所示,腐蚀的点少且分布比较分散。当腐蚀8 d的时候,腐蚀主要集中在试样的中间部位,腐蚀产物呈黄褐色,比较疏松。随着腐蚀时间的延长,腐蚀部位逐渐扩大至整个试样表面,但在腐蚀点周围还有未被腐蚀的裸露金属部分,60 d后腐蚀产物覆盖整个试样的表面。在腐蚀30~60 d时,锈层由单层变为双层,表面疏松的为外锈层,呈黄色,内锈层比较紧密,位于金属基体与黄色腐蚀产物之间,呈黑色。随着腐蚀时间的增加,内锈层慢慢增厚,外锈层慢慢减少。D60钢的表面存在阴极和阳极,以及不同部位

间的电位差,腐蚀是一个电化学腐蚀,使得腐蚀极易发生。随着氧气和水的侵入,腐蚀产物的钝化作用也被破坏,加重腐蚀。根据观察腐蚀产物的颜色,推测含有 Fe_3O_4 ,取其3,8,30,60 d的锈蚀产物,进行红外光谱分析。

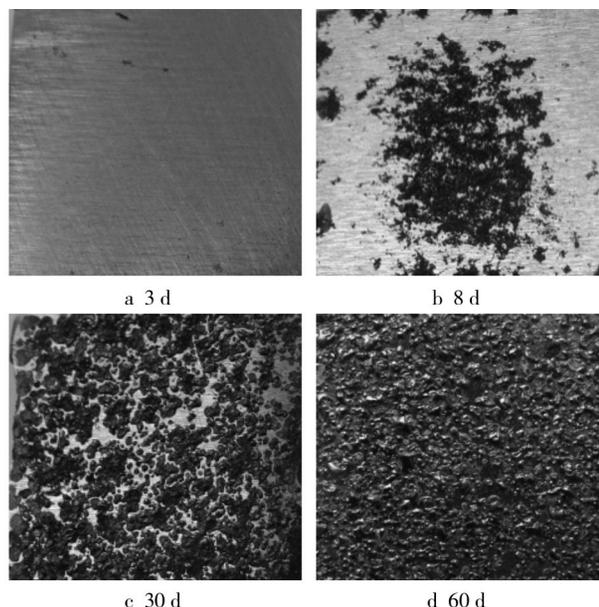


图1 不同时间D60钢试样的腐蚀形貌

Fig.1 Corrosion pattern of D60 steel after different corrosion time

由红外吸收光谱的分析得知,在腐蚀前期,腐蚀产物所含成分基本相同。随着腐蚀的深入,其成分也发生了变化。对照红外光谱标准特征峰位置见表2,详细分析结果如下。

由图2可知,3425.39,3414.90,3420.22,3426.71 cm^{-1} 处的谱峰属于水分子与—OH形成的强氢键的伸缩振动,1637.98,1637.87,1637.36,1637.52 cm^{-1} 处的谱峰是H—O—H面内弯曲振动特征峰,说明在腐蚀产物中含有束缚水。

1) 腐蚀3 d的锈层中含有羟基氧化铁 γ -FeOOH,1022.03,473.00 cm^{-1} 处的特征峰与标准物相的特征峰(1017,487 cm^{-1})相一致,属于 γ -FeOOH中的弯曲振动特征峰。对比标准物相特征峰(1110,880 cm^{-1}),在1156.27,887.39 cm^{-1} 处的特征峰说明该锈层中含有 δ -FeOOH。腐蚀8 d和腐蚀3 d的锈层中含有的物相基本相同,含有羟基氧化铁 γ -FeOOH和 δ -FeOOH。

2) 腐蚀30 d的锈层中1022.09,468.83 cm^{-1} 处的特征峰与标准物相的特征峰(1017,487 cm^{-1})相一致,属于 γ -FeOOH中的弯曲振动特征峰。在1149.87,881.67 cm^{-1} 处的特征峰说明该锈层中含有 δ -FeOOH。腐蚀30 d锈层的红外光谱在802.68

表2 标准物相的晶体结构和红外特征峰位置^[19]

Table 2 Crystal structure and infrared characteristic peaks of the standard phases

物相	晶体结构	晶格常数(Å) <i>a, b, c</i>	红外吸收位置/cm ⁻¹
α-FeOOH	斜方晶体	4.64, 10.0, 3.03	1399, 1260, 881, 793, 608, 463
δ-FeOOH	六方晶体	2.941, —, 4.49	1110, 880, 786, 617, 493
γ-FeOOH	四方晶体	10.48, —, 3.023	858, 670, (300~500)
γ-Fe ₂ O ₃	立方晶体(针状)	8.350, —, —	690, 682, 550, 475, 437, 418
Fe ₃ O ₄	立方晶体(针状)	8.396, —, —	556(500~700), 404(300~500)
FeO	立方晶体	4.307, —, —	492
α-Fe ₂ O ₃	菱形体六方晶体	5.423(α=55° 17'), 5.032, 13.74	535, 464

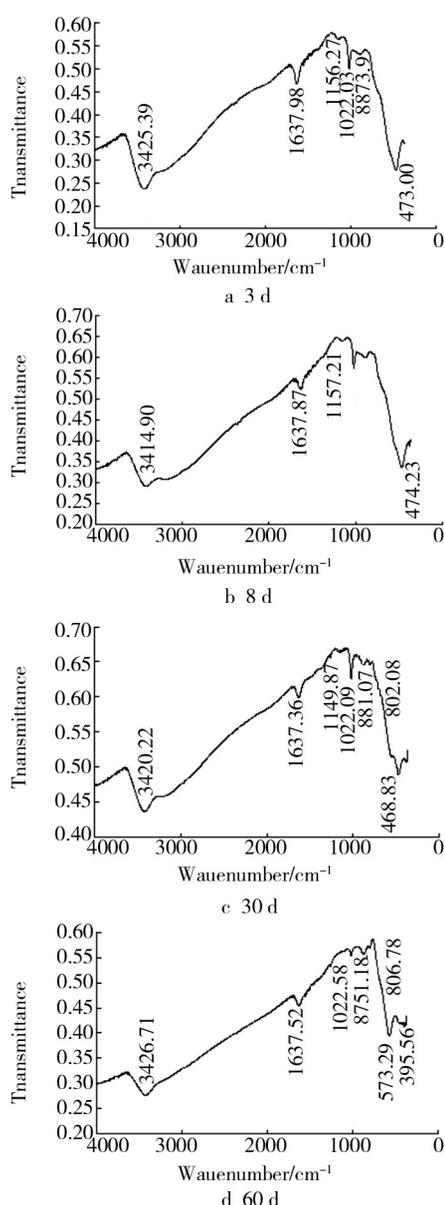


图2 不同腐蚀时间锈层的红外光谱

Fig.2 Infrared spectra of rustiness film after different corrosion time

cm⁻¹处出现了一个峰,由于α-FeOOH与δ-FeOOH

的结构相似,在0~1000 cm⁻¹的红外区,两种物相的红外吸收特征谱比较相似,在886 cm⁻¹处出现重叠,所以在802.68 cm⁻¹处的特征峰应为α-FeOOH中的一OH弯曲振动峰。

3) 腐蚀60 d的锈层中1110 cm⁻¹处的峰消失,说明锈层中不含δ-FeOOH,1022.58 cm⁻¹处的特征峰属于γ-FeOOH中的弯曲振动特征峰。875.18, 806.78 cm⁻¹处的特征峰属于α-FeOOH中的一OH弯曲振动峰。对比氧化物Fe₃O₄的特征吸收区域(300~500 cm⁻¹, 500~700 cm⁻¹), 573.29, 395.56 cm⁻¹处的峰说明锈层中含有氧化物Fe₃O₄。

对比4个不同腐蚀时间的红外光谱以及对锈层物相的分析,腐蚀3, 8 d的物相基本相同,主要有γ-FeOOH和δ-FeOOH,但在30 d的时候,锈蚀产物出现了变化,在802.68 cm⁻¹处出现了一个比较微弱的峰,并在1110 cm⁻¹处的峰减弱,说明新物相的产生和已有物相的减少,即α-FeOOH的产生和δ-FeOOH的减少。在腐蚀60 d后,1110 cm⁻¹处的特征峰消失,即锈层中不含δ-FeOOH,并在573.29, 395.56 cm⁻¹出现了氧化物Fe₃O₄的特征峰。

2.2 沉积NaCl盐粒对D60钢的腐蚀

在D60试样的表面放置一颗NaCl盐粒。试验环境的相对湿度大于80%,在较短时间内,D60钢就发生了腐蚀,且为黑色的腐蚀产物,腐蚀15 d后腐蚀范围已经扩大了至少3倍。D60钢表面沉降NaCl腐蚀15 d后不同位置锈层的红外光谱,如图3所示。

从两个不同位置的谱图分析,其出峰的位置基本一致,也没有新的峰出现。这说明经过15 d的腐蚀,锈层的成分已基本不再变化。对图3的解析如下:3493.59, 3487.67 cm⁻¹的峰属于腐蚀产物表面的一OH与水形成的氢键的伸缩振动特征峰,1637.47,

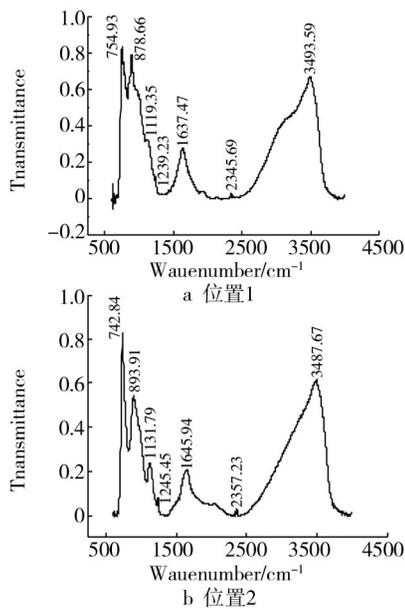


图3 D60钢表面沉降NaCl腐蚀15 d不同位置锈层的红外光谱
Fig.3 Infrared spectra of different positions of rustiness film on the surface of D60 steel after 15 days corrosion by NaCl settlement

1645.94 cm^{-1} 处的峰属于水的弯曲振动引起的特征峰,说明在腐蚀产物中含有一定量的吸附水。对比标准物相特征峰(表2),位置1腐蚀产物的红外光谱在1239.23, 878.66 cm^{-1} 的峰属于 α -FeOOH中的一OH弯曲振动峰。根据峰的强度判断, α -FeOOH含量较少,在1119.35 cm^{-1} 出现了一个较弱的特征峰。这说明在该处产物中含有少量的 δ -FeOOH,754.93 cm^{-1} 的特征峰属于 γ -FeOOH中的一OH的弯曲振动。位置2腐蚀产物的红外光谱在1245.45, 893.91 cm^{-1} 处的弱峰属于 α -FeOOH中的一OH弯曲振动峰,1131.79, 742.84 cm^{-1} 处的特征峰属于 γ -FeOOH中—OH的弯曲振动峰。

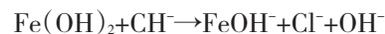
根据以上分析,锈层中含有部分束缚水,物相组成主要有 α -FeOOH和 γ -FeOOH,还有少量不稳定的 δ -FeOOH存在。

2.3 D60钢腐蚀机理

D60钢在潮湿的环境中,水分子于毛细作用或温湿度变化的过程中在钢的表面凝结成一薄水层,空气中的氧溶解于薄水层中,发生阴极析氢反应和阴极吸氧反应,在基体金属表面产生腐蚀产物。一般认为,D60钢基体的表面锈层会影响大气腐蚀的过程,甚至会参与腐蚀的过程,从而影响腐蚀机理。锈层主要有两层:表层呈黄色,疏松;内层呈黑色,紧贴基体和表层界面,比较致密,附着性好。根据红外光

谱分析可知:外层主要是 α -FeOOH和 γ -FeOOH;内层主要是由 Fe_3O_4 和非晶态的FeOOH构成。根据对腐蚀产物的红外光谱分析,在腐蚀的初期,腐蚀产物主要有 γ -FeOOH和 δ -FeOOH,但是随着腐蚀的继续,产物中出现 α -FeOOH,同时 δ -FeOOH逐渐减小至完全消失,在腐蚀的后期出现了 Fe_3O_4 。

在有 Cl^- 参与下的腐蚀,腐蚀产物物相主要有 α -FeOOH, γ -FeOOH和部分少量的 δ -FeOOH。在NaCl沉积区域,锈层疏松、较厚、开裂,腐蚀产物呈黑色;在非沉积区,腐蚀较慢,腐蚀产物微黄。在腐蚀的过程中, Na^+ , Fe^{2+} 离子向基体表面阴极区的液层扩散,而腐蚀性离子 OH^- , Cl^- 则向着阳极溶解的区域渗透,生成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 膜层,但是 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 膜层不稳定,易分解,在氧的作用下生成FeOOH。由于 Cl^- 具有很强的侵蚀性,可以破坏基体表面的保护膜。其反应式为:



Cl^- 导致了 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 保护膜的溶解,从而使腐蚀溶液渗入到基体表面,使得腐蚀产物不断的发展,同时 Cl^- 又作为导电介质,加速了基体金属的腐蚀。

3 结论

1) 研究了D60钢的外观形貌,并对表层腐蚀产物使用红外光谱进行表征。结果显示,在腐蚀的初期,腐蚀产物主要有 γ -FeOOH和 δ -FeOOH,但是随着腐蚀的继续,产物中出现 α -FeOOH,同时 δ -FeOOH逐渐减小至完全消失,在腐蚀的后期出现了 Fe_3O_4 。

2) 研究了在表面放置NaCl盐粒后,D60钢在模拟海岛环境中的腐蚀过程,使用红外光谱对腐蚀表层进行表征。结果显示,在较短时间内就出现了黑色腐蚀物,其物相主要为 α -FeOOH, γ -FeOOH和少量的 δ -FeOOH。

3) D60钢在潮湿的环境中表层会形成一薄水层,和空气中的氧接触后发生电化学反应,对D60钢进行腐蚀。在加入NaCl盐粒后, Cl^- 的存在可以破坏基体表面形成的保护膜,加快腐蚀进程。

参考文献:

- [1] 高俊国,刘大海.海岛环境管理的特殊性及其对策[J].海洋环境科学,2007,26(4):397—400.
GAO Jun-guo, LIU Da-hai. Particularities of Environment Management of Island and Their Counter Measures[J]. Ma-

- rine Environmental Science, 2007, 26(4): 397—400.
- [2] 艾云平, 刘琼, 冯钟林, 等. 浅析湿度对海岛弹药储存的影响[J]. 物流工程与管理, 2013, 35(3): 146—147.
AI Yun-ping, LIU Qiong, FENG Zhong-lin, et al. Brief Analysis the Influence of Humidity on Ammunition Storage of Island[J]. Logistics Engineering and Management, 2013, 35(3): 146—147.
- [3] 李良春, 王红卫, 谭志强. 影响海岛部队弹药储存可靠性的诱因[J]. 包装工程, 2002, 23(6): 68—70.
LI Liang-chun, WANG Hong-wei, TAN Zhi-qiang. Effect on the Reliability of Stored Ammunitions in Island[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(6): 68—70.
- [4] 王波, 易建政, 段志强, 等. 坑道储存弹药环境保护综述[J]. 装备环境工程, 2010, 7(4): 63—66.
WANG Bo, YI Jian-zheng, DUAN Zhi-qiang, et al. On Ammunition Protection in Underground Tunnel Environment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(4): 63—66.
- [5] 刘川文, 黄红军, 李志广, 等. 我军弹药防潮技术的现状与发展[J]. 包装工程, 2006, 27(2): 73—75.
LIU Chuan-wen, HUANG Hong-jun, LI Zhi-guang, et al. Development and Actuality of Ammunition Moistureproof Technology in Our Army[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2): 73—75.
- [6] 王付修, 蔡军锋. 海军陆战旅岛屿作战弹药储运环境分析与防护设计[J]. 包装工程, 2014, 35(15): 63—66.
WANG Fu-xiu, CAI Jun-feng. Environment Effect Analysis and Protection Design for Marine Brigade Ammunition Storage[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(15): 63—66.
- [7] 李文钊, 陈晓楠, 王波, 等. 模拟海岛环境中弹药元件锈蚀产物红外光谱分析[J]. 腐蚀与防护, 2013, 34(3): 236—238.
LI Wen-zhao, CHEN Xiao-nan, WANG Bo, et al. IR Analysis of Corrosion Products on Ammunition Elements in Simulate Island Environments[J]. Corrosion & Protection, 2013, 34(3): 236—238.
- [8] 罗天元, 吴波, 但渝霞. 弹药环境适应性设计需要考虑的几个问题[J]. 装备环境工程, 2007, 4(1): 62—66.
LUO Tian-yuan, WU Bo, DAN Yu-xia. Problems Needed to be Considered in Ammunition Environmental Worthiness Design[J]. Equipment Environmental Engineering, 2007, 4(1): 62—66.
- [9] 钟东力, 安振涛, 何益燕, 等. 东南沿海地区钢质包装弹药的储存管理研究[J]. 装备环境工程, 2006, 3(1): 92—95.
ZHONG Dong-li, AN Zhen-tao, HE Yi-yan, et al. Research on Storage and Management of Steel-Packaging Ammunitions in the Southeast Inshore Area[J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(1): 92—95.
- [10] 李良春, 刘仲权, 谢关友. 海岛部队弹药并行防腐蚀包装技术[J]. 腐蚀与防护, 2009, 30(8): 584—585.
LI Liang-chun, LIU Zhong-quan, XIE Guan-you. Concurrent Anti-Corrosion Packaging Technology of Island Army Ammunition[J]. Corrosion & Protection, 2009, 30(8): 584—585.
- [11] 潘文庚, 王晓鸣, 陶敏, 等. 长贮弹药失效机理分析研究[J]. 弹箭与制导学报, 2007, 27(1): 122—125.
PAN Wen-geng, WANG Xiao-ming, TAO Min, et al. The Failure Mechanism Analysis of Long-Stored Ammunition[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2007, 27(1): 122—125.
- [12] 何丽君, 王春明. 超薄铜膜包覆的金刚石纳米复合粉体制备与表征[J]. 化学学报, 2004, 62(1): 34—36.
HE Li-jun, WANG Chun-ming. Preparation and Characterization of the Extra-thin Copper Film Wrapped Diamond Nanoparticles[J]. Acta Chimica Sinica, 2004, 62(1): 34—36.
- [13] 王晓红, 刘子如, 汪渊, 等. PET/N100粘合剂体系固化过程 FTIR 研究(I)—TIR 曲线[J]. 固体火箭技术, 2005, 28(3): 208—211.
WANG Xiao-hong, LIU Zi-ru, WANG Yuan, et al. Study on Curing Process of PET/N100 Binder System Via FTIR (I) -TIR Curves[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2005, 28(3): 208—211.
- [14] 王晓红, 金水铭, 张皋, 等. PET/N100粘合剂体系固化过程 FTIR 研究(II)—TIR 的动力学研究[J]. 固体火箭技术, 2006, 29(6): 439—442.
WANG Xiao-hong, JIN Shui-ming, ZHANG Gao, et al. Study on Curing Process of PET/N100 Binder System Via FTIR (II) -Study on the Kinetics of TIR[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2006, 29(6): 439—442.
- [15] LOUDEN J D, DUNCAN I A, KELLY J, et al. The Application of Infrared Microimaging for the Determination of The Distribution, Penetration Depth, and Diffusion Profile of Methyl Centralite and Dibutyl Phthalate Deterrents in Nitrocellulose Monoperforated Propellant[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1993, 49: 275—289.
- [16] 李涛, 秦颖, 罗武干, 等. 古代青铜器锈蚀产物的拉曼和红外光谱分析[J]. 有色金属, 2008, 60(2): 146—152.
LI Tao, QIN Ying, LUO Wu-gan, et al. Analysis of Corrosion Products on Ancient Bronzes with Combined Use of Raman Spectroscopy, FTIR, and Other Analytical Techniques[J]. Nonferrous Metals, 2008, 60(2): 146—152.
- [17] 姚明, 刘志雷, 周建萍, 等. 碳纤维表面接枝纳米 SiO₂ 的工艺研究[J]. 表面技术, 2013, 42(3): 70—74.

波,在某频率波形有畸变,往往是正弦基波谱的幅值小于正弦峰值谱。通过这两个谱的差异大小、所在的频带宽度可以间接判断试验的波形失真情况。

在正弦基波的扫频谱上找到最大正偏差点的值、最大负偏差点的值。取绝对值大的作为正弦控制偏差。

参比实验室控制器上也会显示正弦基波的扫频谱。同样取绝对值大的偏差作为正弦控制偏差。

对于随机振动试验,做时域和频域分析。绘制随机振动整个时间长度上的加速度均方根时域曲线,每次统计均方根的时间长度为0.4 s(下限频率5 Hz的周期是0.2 s,包含2个周期已经足够长),观察上升过程超调量,平稳段的平均值,平稳段的波动量,平稳段的持续时间。

频域分析是基于FFT分析PSD谱、随机总均方根值。频域分析的参数(频率范围、频率间隔、自由度或平均次数)要统一。

在整个频带内选择2个频率点,如果PSD谱上有超差,应包括超差最大的频率点。

以上述的几个量(正弦控制偏差、随机试验平稳段的时域加速度均方根值、平稳段的时间、随机试验频域均方根、两个点的PSD值)为处理对象,计算Z比分数,对各参比实验室做出判断。Z分数的计算可参考文献[4]。

专家组和主导实验室对参比实验室总体情况进行分析,提出改进建议,必要时个别实验室可以重做。专家组和主导实验室对比对结果进行讨论,与参比实验室沟通,最后发布比对结果。

5 结语

文中对振动实验室比对的必要性进行了分析,对比对试验提出了初步方案,包括样品结构和要求、

试验条件、比对数据处理等。希望引起同行专家对振动试验比对的关注,推动振动实验室比对这项有重要意义的工作逐步开展。

参考文献:

- [1] 张晓鸣,涂晓明,于慧芳,等. 2004年度北京地区室内空气质量检测机构实验室比对实验与结果分析[J]. 中国卫生检验杂志,2005,15(12):1496—1498.
ZHANG Xiao-ming, TU Xiao-ming, YU Hui-fang, et al. Experimentation Result Analyses of Indoor Air Quality Test Agencies in Beijing in 2004[J]. Chinese Journal of Health, 2005, 15 (12): 1496—1498.
- [2] 张丽英,张晓鸣. 2005年北京地区室内空气质量检测机构的实验室比对[J]. 环境与健康杂志,2006,23(5):451—453.
ZHANG Li-ying, ZHANG Xiao-ming. Capacity Evaluation of Laboratories of Indoor Air Quality Test Agencies in Beijing[J]. J Environ Health, 2006, 23(5):451—453.
- [3] 李征. 主导实验室在实验室比对活动中的作用[J]. 上海计量测试,2010(6):61—63.
LI Zhen. Pilot Laboratory' s Function in Laboratory Comparison Activity[J]. Shanghai Measurement and Testing, 2010(6): 61—63.
- [4] 符颖操,罗茜. 实验室间比对结果分析统计方法的探讨[J]. 理化检验-物理分册,2006(42):295—299.
FU Ying-cao, LUO Qian. Discussion on the Statistical Methods in the Analysis of the Results of the Inter-laboratory Comparisons[J]. PTCA (Part: A Phys Test). 2006(42): 295—299.
- [5] JJF 1117—2004,测量仪器比对规范[S].
JJF 1117—2004, Specification for Comparison of Measuring Instrument[S].
- [6] JJF 1117—2010,计量比对[S].
JJF 1117—2010, Measurement Comparison[S].

(上接第14页)

YAO Ming, LIU Zhi-lei, ZHOU Jian-ping, et al. Process Research of Nano-silica Grafting onto Carbon Fiber Surface [J]. Surface Technology, 2013, 42(3): 70—74.

[18] 常会. 壳聚糖-海藻酸钠吸附剂对电镀废水中Cr(VI)的吸附性能研究[J]. 表面技术, 2013, 42(5): 84—88.

CHANG Hui. Study on the Adsorption Property of Chitosan-sodium Alginate Absorbent for Cr(VI) in Electroplating

Waste Water[J]. Surface Technology, 2013, 42(5): 84—88.

[19] 杨晓梅. 碳钢和低合金钢大气腐蚀锈层的红外光谱研究[J]. 宁夏大学学报, 1999, 20(1): 47—49.

YANG Xiao-mei. The Research of Infrared Spectrum on Carbon Steel and Low-Alloy Steel Rusty Layer From Atmosphere Corrosion[J]. Journal of Ningxia University (Natural Science Edition), 1999, 20(1): 47—49.