

舰船管系绝缘密封垫片电绝缘性能研究

李竹影,曹文康,刘 冶,张晓东

(海军工程大学,武汉 430033)

[摘要] 研究了用于舰船管系异种金属绝缘的石棉橡胶纤维垫片和环氧垫片在海水、碱溶液(10% NaOH溶液)、酸溶液(10% H₂SO₄溶液)和重油中浸泡后,其体电阻率和面电阻率随浸泡时间的变化规律。实验结果显示,石棉橡胶纤维垫片在酸、碱溶液中浸泡两个月后,其湿态电阻降低到10²欧姆(或欧姆·厘米)量级,在海水中的电绝缘有效期约为4个月,环氧垫片的湿态电阻可保持为10⁴欧姆(或欧姆·厘米)量级,环氧材料组成的垫片其绝缘性能远好于石棉橡胶纤维垫片的绝缘性能。

[关键词] 石棉橡胶纤维垫片;环氧垫片;电阻率

[中图分类号] U674.7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)05-0058-05

1 前言

舰船在长期的海洋环境中,其船体、装置、管路等均会受到腐蚀的危害。我国海军舰船因腐蚀导致的维修费用占整个维修费用的二分之一左右,舰艇因腐蚀而损失战斗性能的事故也曾多次发生^[1]。在舰船各种腐蚀现象中,异种金属接触腐蚀作为一种典型腐蚀类型逐渐受到关注。

舰船船体、设备及管路等系统构件通常由不同金属制造而成,这些金属在海水中具有不同的自腐蚀电位,当其直接接触并与周围介质构成回路时,会发生异种金属接触腐蚀^[2]。接触金属的电位差是接触腐蚀的直接推动力,若切断异种金属之间的直接联系,即对其进行绝缘处理,则可有效防止接触腐蚀的发生^[3]。

目前,在舰船修理过程中,承修单位对异种金属的绝缘处理重视程度不够,虽采取了部分措施,但距离相关技术标准要求还有一定差距。修理厂

经常使用石棉橡胶纤维材料作为管件法兰间、管件与附件间或与船体间的绝缘密封垫片,但这些垫片的使用,并没有减缓异种金属间的接触腐蚀现象,法兰、紧固件和接头附近的管段在较短时间内仍出现严重腐蚀现象,甚至造成管子穿孔和接头断裂,严重妨碍了武器装备的正常使用。

为进一步分析管路绝缘密封材料电绝缘性能失效规律,为开发长效绝缘密封垫片奠定基础,提升管路异种金属接触腐蚀防护能力,本文对石棉橡胶纤维和环氧材料在海水、酸、碱等溶液中的绝缘性开展了实验研究。

2 实验

选取厚度分别为1 mm、2 mm的石棉橡胶纤维垫片和厚度为1.5 mm的环氧垫片等三组样品,将它们分别浸泡在3% NaCl溶液、10% NaOH溶液、10% H₂SO₄溶液和重油中,采用体积表面电阻率测试仪,在不同浸泡时间内测量它们湿态电阻率(浸泡后在垫片表干情况下的电阻率)的变化情况^[4],进

[收稿日期] 2015-03-12

[作者简介] 李竹影,1963年出生,女,江苏连云港市人,教授,博士生导师,主要研究方向为舰船装备腐蚀防护;E-mail:lzyhjgc@163.com

而研究它们的电绝缘性能。

3 结果和讨论

3.1 三类垫片的干态电阻率

采用体积表面电阻率测试仪所测得的三类船用垫片的干态电阻率如表1所示。

表1 三类垫片的干态电阻率

Table 1 The dry resistivity of the three types of gasket

垫片	电化时间/min	电压/V	体电阻率/($\Omega\cdot\text{cm}$)	面电阻率/ Ω
环氧垫片	1	500	2.61×10^{11}	6.84×10^{11}
	1	500	4.81×10^{11}	3.51×10^{11}
	1	500	8.02×10^{11}	5.08×10^{11}
	1	500	6.08×10^{11}	1.04×10^{12}
石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	500	1.21×10^9	1.09×10^9
	1	500	1.88×10^9	2.79×10^9
	1	500	2.37×10^9	2.28×10^9
	1	500	1.99×10^9	2.13×10^9
石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	500	2.52×10^7	4.21×10^7
	1	500	3.36×10^7	5.82×10^7
	1	500	2.27×10^8	7.63×10^8
	1	500	9.16×10^7	1.66×10^9

表1显示环氧垫片的干态电阻率位于 10^{11-12} 欧姆(或欧姆·厘米)量级,1 mm厚的石棉橡胶垫片的电阻率位于 10^9 欧姆(或欧姆·厘米)量级,2 mm厚的石棉橡胶垫片的电阻率位于 10^{7-9} 欧姆(或欧姆·厘米)量级,三类板均可耐受500 V的脉冲电压。

3.2 三类垫片在3% NaCl溶液的电阻率变化

表2显示在海水中,环氧垫片在浸泡125天后,湿态电阻率下降到 10^6 欧姆(或欧姆·厘米)量级,其耐受的脉冲电压降为250 V。1 mm厚和2 mm厚的石棉橡胶垫片的电阻率下降至 10^3 欧姆(或欧姆·厘米)量级,达到标准值的最低限,它们的耐受脉冲电压降为50 V。

3.3 三类垫片在10% NaOH溶液中电阻率的变化

表3显示在10% NaOH碱溶液中,环氧垫片在浸泡125天后,湿态电阻率下降到 10^5 欧姆·厘米量级,表面电阻率下降到 10^4 欧姆量级,其耐受的脉冲电压维持在250 V。但是1 mm和2 mm厚的石棉橡胶垫片的电阻率在80天时,就下降到了 10^2 欧姆(或欧姆·厘米)量级,低于标准值的要求,电绝缘性能失

效,它们的耐受脉冲电压仍为50 V。

表2 三类垫片在3% NaCl溶液中浸泡38天、80天和125天的湿态电阻率

Table 2 The wet resistivity of the three types of gasket when being soaked in the 3% NaCl solution for 38, 80 and 125 days

垫片	电化时间/min	电压/V	体电阻率/($\Omega\cdot\text{cm}$)	面电阻率/ Ω	
浸泡38天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	250	5.93×10^7	1.44×10^8
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	250	1.9×10^4	1.5×10^4
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	250	2.0×10^4	1.74×10^5
浸泡80天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	250	5.86×10^6	4.17×10^6
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	50	5.1×10^3	1.5×10^3
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	50	1.2×10^3	1.5×10^3
浸泡125天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	250	4.76×10^6	4.83×10^6
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	50	2.5×10^3	2.3×10^3
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	50	2.7×10^3	1.3×10^3

表3 三类垫片在10% NaOH溶液中浸泡38天、80天和125天的湿态电阻率

Table 3 The wet resistivity of the three types of gasket when being soaked in the 10% NaOH solution for 38, 80 and 125 days

垫片	电化时间/min	电压/V	体电阻率/($\Omega\cdot\text{cm}$)	面电阻率/ Ω	
浸泡38天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	250	2.57×10^6	7.22×10^4
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	50	3.57×10^3	5.6×10^2
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	50	8.54×10^3	6.06×10^3
浸泡80天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	250	1.308×10^6	1.328×10^4
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	50	1.3×10^2	1.3×10^2
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	50	1.67×10^2	1.2×10^2
浸泡125天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	250	4.85×10^5	2.4×10^4
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	50	1.4×10^2	1.6×10^2
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	50	3.6×10^2	1.4×10^2

3.4 三类垫片在 10% H₂SO₄ 溶液中电阻率的变化

表 4 显示在 10% H₂SO₄ 溶液中,环氧垫片在浸泡 125 天后,湿态电阻率下降到 10⁴ 欧姆·厘米量级,表面电阻率也下降到 10⁴ 欧姆量级,其耐受的脉冲电压下降到 50 V。而 1 mm 厚和 2 mm 厚的石棉橡胶垫片的电阻率,分别在 38 天和 80 天时,就下降到了 10² 欧姆(或欧姆·厘米)量级,低于标准值的要求,电绝缘性能失效,它们的耐受脉冲电压仍为 50 V。

表 4 三类垫片在 10% H₂SO₄ 溶液中浸泡 38 天、80 天和 125 天的湿态电阻率

Table 4 The wet resistivity of the three types of gasket when being soaked in the 10% H₂SO₄ solution for 38, 80 and 125 days

垫片	电化时间/min	电压/V	体电阻率/(Ω·cm)	面电阻率/Ω
浸泡 38 天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	2.75×10 ⁶	4.80×10 ⁶
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	50	1.04×10 ³
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	垫片已破坏	
浸泡 80 天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	4.66×10 ⁴	7.53×10 ⁴
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	10	3.8×10 ²
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	垫片已破坏	
浸泡 125 天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	3.25×10 ⁴	6.27×10 ⁴
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	10	1.7×10 ²
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	垫片已破坏	

3.5 三类垫片在重油中电阻率的变化

表 5 显示在重油中,环氧板、1 mm 厚和 2 mm 厚的石棉橡胶垫片在浸泡 125 天后,湿态电阻率均保

持在一个良好值状态,其耐受的脉冲电压只下降到 250 V。但是,重油对石棉橡胶垫片有溶解作用,长时间浸泡在重油中,垫片的表面被破坏。所以,认为其电绝缘性能也失效。

表 5 三类垫片在重油中浸泡 38 天、80 天和 125 天的湿态电阻率

Table 5 The wet resistivity of the three types of gasket when being soaked in the heavy oil for 38, 80 and 125 days

垫片	电化时间/min	电压/V	体电阻率/(Ω·cm)	面电阻率/Ω
浸泡 38 天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	250	4.65×10 ¹⁰
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	250	6.75×10 ⁹
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	250	6.19×10 ⁷
浸泡 80 天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	250	2.02×10 ⁹
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	250	4.79×10 ⁸
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	250	3.81×10 ⁷
浸泡 125 天后的湿态电阻率	环氧垫片	1	250	2.48×10 ⁹
	石棉橡胶纤维垫片(1 mm)	1	250	2.56×10 ⁸
	石棉橡胶纤维垫片(2 mm)	1	垫片已破坏	

3.6 三类垫片在四种溶液中平均电阻率的变化

为了清楚地看出各种溶液对三类垫片绝缘性能的影响,绘出了每一类垫片平均电阻率随时间变化的柱形图。

3.6.1 环氧垫片

由图 1 可看出:相比于干态电阻(黑色柱),在实验所采用的四种溶液中,环氧类垫片的湿态电阻率出现了明显的下降。

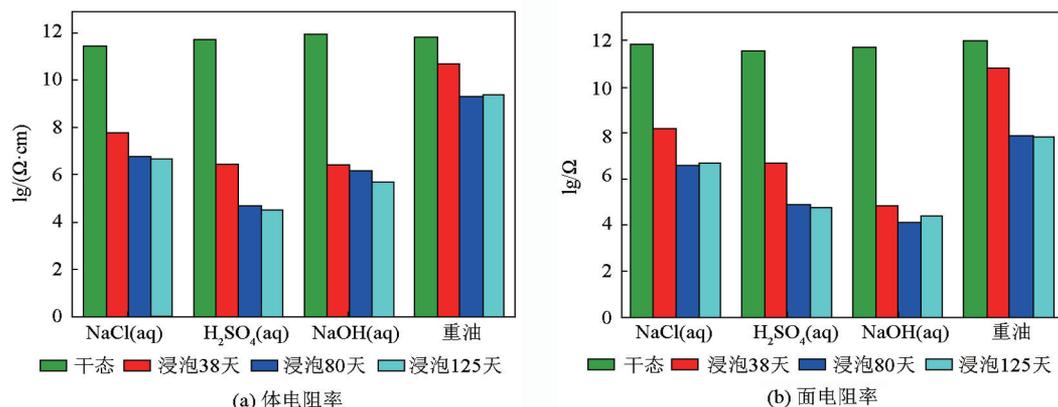


图 1 环氧垫片的电阻率随时间的变化图

Fig. 1 The variation of the resistivity of the epoxy gaskets with soaking time

实验期间,其电绝缘性能(电阻率为 10^6 欧姆(或欧姆·厘米)量级)是满足相关标准要求的,其耐受电压在海水、碱性溶液和重油中都下降到250 V。短期实验结果显示环氧类垫片在酸性溶液中的耐受性较差,因为在10% H_2SO_4 酸溶液中浸泡125天后,环氧类垫片的湿态电阻率下降到 10^4 欧姆·厘米量级,表面电阻也下降到 10^4 欧姆量级,其耐受的脉冲电压下降到50 V。

3.6.2 1 mm、2 mm厚的石棉橡胶垫片

如图2、图3可看出:相比于干态电阻(黑色柱),在海水中,石棉橡胶垫片的湿态电阻率出现了更明显的下降,但在实验期间,其电绝缘性能(电阻率为 10^3 欧姆(或欧姆·厘米))量级基本满足相关标准要求(不小于 10^3 欧姆(或欧姆·厘米)),其耐受电压降

到50 V。实验结果显示石棉橡胶垫片极不耐酸、碱性溶液,在碱和酸性溶液中垫片的电绝缘性能在30天左右失效。尽管在重油中,它们的电阻率都远远大于标准的要求,但是重油对垫片的表面存在溶解作用,在接近3个月的时间也出现表面被破坏的现象,即垫片失效。

4 结语

实验结果表明,如果单纯使用石棉橡胶垫片直接与海水接触,按相关技术标准要求,其电绝缘性能预计在三到四个月后就基本失效,不能有效防止异种金属间的接触腐蚀。尽管环氧垫片的性能明显好于石棉橡胶垫片,但浸泡在海水中,较短的时间内电绝缘性能下降一倍以上,如果船舶停靠在码

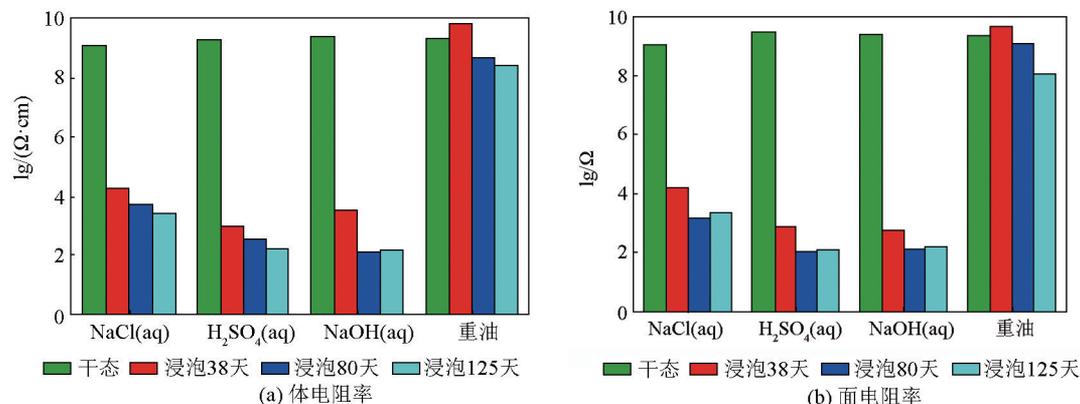


图2 1 mm石棉橡胶纤维垫片的电阻率随时间的变化图

Fig. 2 The variation of the resistivity of the 1 mm thickness asbestos rubber fiber gaskets with soaking time

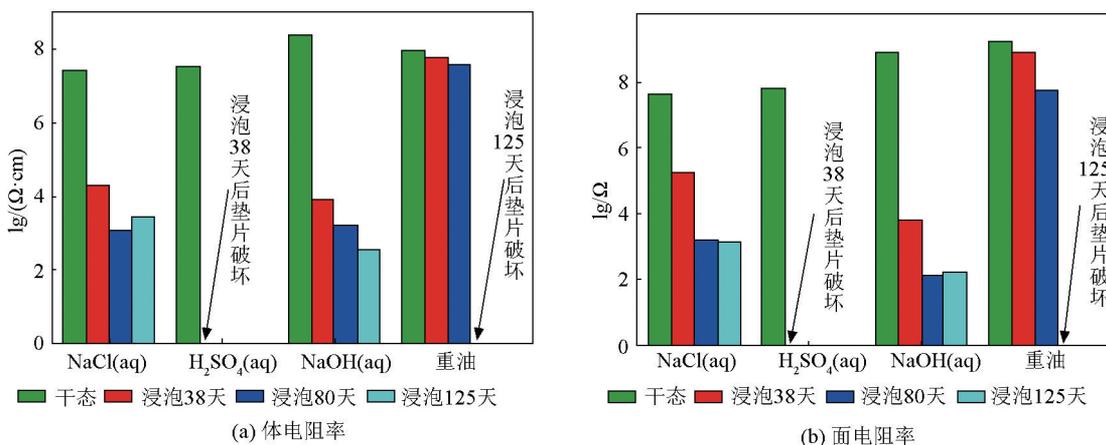


图3 2 mm石棉橡胶纤维垫片的电阻率随时间的变化图

Fig. 3 The variation of the resistivity of the 2 mm thickness asbestos rubber fiber gaskets with soaking time

头,生活用水会使海水的酸碱性发生改变,从而加速这些垫片电绝缘性能的失效,进而加速管系间的接触腐蚀速率。如果将这种垫片用于舰船管系,按现有的不同金属裸接时的腐蚀速率,绝大部分管系的接头部位,在不到一个小修期内就会产生较严重的腐蚀现象。

参考文献

- [1] 肖千云,吴晓光. 舰船腐蚀防护技术[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2011.
- [2] 林玉珍,杨德钧. 腐蚀和腐蚀控制原理[M]. 北京:中国石化出版社,2007.
- [3] 王曰义. 海水冷却系统的腐蚀及其控制[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [4] 固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法[S]. GB/T 1410—2006.

Study on electrical insulation property of the insulating sealing gaskets for warship piping system

Li Zhuying, Cao Wenkang, Liu Ye, Zhang Xiaodong

(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

[Abstract] The asbestos rubber fiber gaskets and epoxy gaskets were soaked in the seawater, alkaline solution (10 % NaOH), acid solution (10 % H₂SO₄) and heavy oil, and the variation of the volume resistivity and surface resistivity of the gaskets with soaking time were studied. The results showed that the wet resistivity of the asbestos rubber fiber gaskets reduced to 10² Ω (or Ω·cm) level when being soaked in the alkaline solution and acid solution for two months and the period of validity of the insulation was inferred to four months in seawater, and however, the wet resistivity of the epoxy gaskets could remain 10⁴⁻⁶ Ω (or Ω·cm) level, and as the conclusion, the performance of the insulation of the epoxy gaskets is much better than that of asbestos rubber fiber gaskets.

[Key words] asbestos rubber fiber gasket; epoxy gasket; resistivity