

技术专论

潜深增大对潜艇腐蚀防护影响分析与对策

黄加强¹, 胡科峰², 李生¹

(1. 海军驻七一九所军代室, 武汉 430064; 2. 中国船舶重工集团公司第七一九研究所, 武汉 430064)

摘要: 探讨了大潜深环境下海水的含盐量、温度、溶氧量、pH值及海水流速对潜艇腐蚀的影响, 综合分析了大潜深环境对新材料选择和应用、各种有机和无机涂层的腐蚀防护、阴极保护材料和技术及其它腐蚀防护措施的影响, 并提出了大潜深环境下潜艇腐蚀防护的对策。

关键词: 潜艇; 大潜深; 腐蚀防护

中图分类号: U674.76 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)05-0070-04

Analysis and Countermeasure on Impact of Depth Increasing on Submarine Corrosion Protection

HUANG Jia-qiang¹, HU Ke-feng², LI Sheng¹

(1. PLA Navy Representative Office in 719th Research Institute, Wuhan 430064, China;

2. 719th Research Institute of CSIC, Wuhan 430064, China)

Abstract: The impact of salt content, temperature, dissolved oxygen, pH and flow velocity in large submergence depth sea environment on submarine corrosion was discussed. The influence of large submergence depth sea environment on new material selection and application, anti-corrosion coatings, cathodic protection, and other anti-corrosion measures was analyzed. The countermeasures were put forward for corrosion protection of submarine in large submergence depth sea environment.

Key words: submarine; large submergence depth; corrosion protection

随着潜艇下潜深度的增加, 潜艇的使用环境发生变化, 从而给潜艇腐蚀与防护带来新的问题。为了保证潜艇下潜得更深, 必然要相应采用一批新材料和新技术, 新材料和新技术的应用必然给潜艇带来一些新的腐蚀问题。因此, 深入分析潜深增加对潜艇腐蚀与防护的影响, 并基于此有针对性地开展腐蚀控制技术研究, 对提高大深度潜艇的可靠性与

耐久性具有重要意义。

1 大潜深对潜艇环境腐蚀性的影响分析

材料在海水环境中的腐蚀行为, 是材质与海水的化学、物理、生物等诸多因素共同作用的结果。不同海域、不同地点的环境因素不同, 对材料腐蚀影响

收稿日期: 2011-04-12

作者简介: 黄加强(1968—), 男, 湖北随州人, 工学博士, 高级工程师, 主要从事舰艇总体设计工作。

作用差异很大。即使在同一海域和地点,其不同的海水暴露条件(海洋大气区、海水飞溅区、海水潮差区、海水全浸区)下,材料的腐蚀环境因素发生变化,材料的腐蚀行为也大相径庭^[1]。

试验表明,钢在海水中腐蚀速度主要受含盐量、含氧量、温度、流动速度及海洋生物等影响;不同深度海水中含盐量、含氧量、温度、流动速度等环境因素也是有差别的。图1为美国加州怀尼米港西部太平洋试验场海水含盐量、含氧量、温度和pH值随海水深度变化的关系。

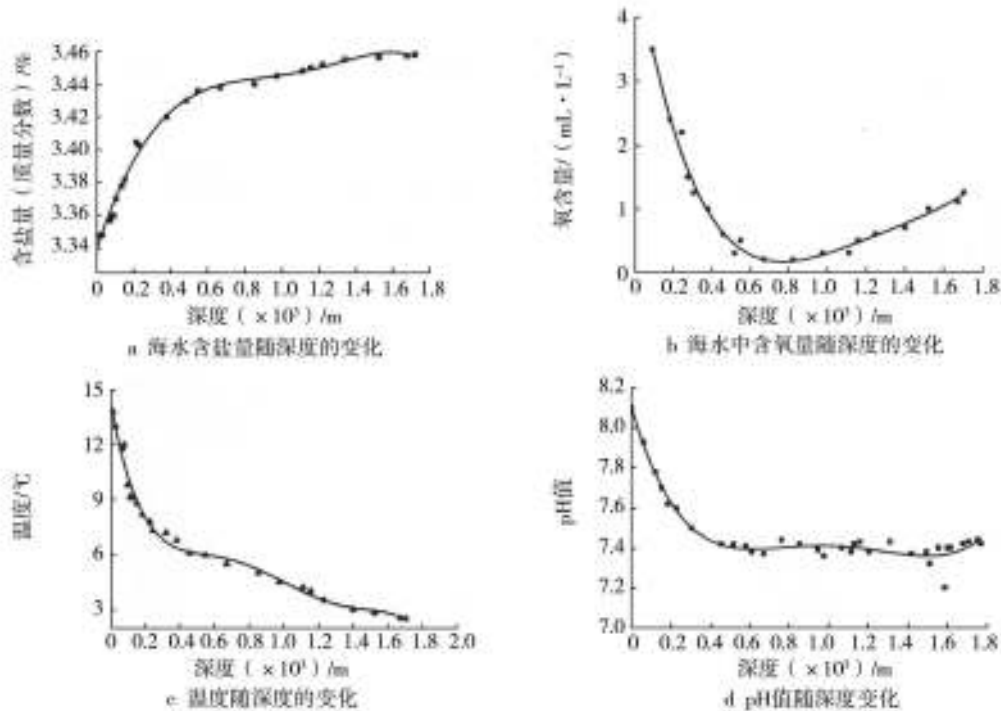


图1 腐蚀环境因素随海水深度的变化

Fig. 1 Relation between corrosion factors and seawater depth change

中、低合金钢,铸铁来说,在海水中不可能建立起钝化稳定状态,对于含高铬的合金钢不锈钢,在海水中的钝态也不是完全稳定的,易于遭受点腐蚀^[2-3]。这就决定了海水对金属具有强腐蚀性的特点与其高的Cl⁻含量存在密切相关。

和淡水相比,钢铁在海水中的腐蚀严重得多。在同一海域,海水深度在0~700 m范围内,海水含盐量随海水深度增加会逐渐加大。虽然海水含盐量加大直接影响到海水的比电导增大,使钢铁腐蚀速率提高,但是海水含盐量随海水深度而提高的幅度却有限,和溶解氧含量随海水深度加大而降低引起

图1显示,随着深度的加大,材料的腐蚀环境因素参数随之发生变化,材料的腐蚀行为也将发生变化。

海水环境下影响材料腐蚀的主要因素如下。

1.1 含盐量

海水是一种含盐量相当高的电解质溶液。这些盐类化合物易于离解,其中尤以氯化物含量最高,Cl⁻占总的离子数量的55%(摩尔分数)。由于Cl⁻对金属的钝态表面具有去钝化作用,致使对于碳钢,

金属腐蚀率降低的效果相比,含盐量变化对钢铁腐蚀的影响效果是有限的。

1.2 温度

水温随海水深度不断加大而逐渐减小。海水温度下降,海生物的繁殖速度也随之降低,腐蚀性变弱。

1.3 溶氧量

在0~700 m范围内,海水含氧量随水深增加而有所减少,海水含氧量减少,氧扩散到金属表面的含量及氧的阴极去极化速度相应减少,从而导致

腐蚀速率减小。

1.4 pH值

海水pH值随海水深度不断加大而逐渐降低,此时不利于在金属表面生成具有保护性的碳酸盐,不利于抑制海水腐蚀。

1.5 流速

当水深超过20~30 m时,海水流速相当低,阳光不能射入,一般植物已不能生存,动物性污染也会减少。由于深海温度低、压力大、pH值较低、海水中碳酸钙低于饱和度,溶解氧减少,因此,某些金属腐蚀显著减少,有些金属的局部腐蚀可能增加^[4]。

到目前为止,深海条件下,金属的腐蚀数据还不是很多。美国、日本等曾开展过关于金属材料深海条件下的暴露腐蚀试验,提出其基本腐蚀行为规律:深海条件下,低合金钢主要以均匀腐蚀特征为主,而点蚀和缝隙腐蚀不明显,比表层海水腐蚀显著减小;对大潜深潜艇耐压壳体全面应用的超高强度钢而言,则存在应力腐蚀破裂和滞后破坏问题;不锈钢、镍合金、铝合金等表面易形成钝化膜的金属,深海中的腐蚀破坏形式以点蚀和缝隙腐蚀为主,且比表层海水腐蚀严重得多;无论在浅海还是深海条件下,钛合金耐腐蚀性能都优良,但高强度钛合金会发生应力腐蚀破裂^[5]。

2 新材料应用对腐蚀防护的影响分析

随着潜艇下潜深度的增加,潜艇结构、系统和装置必然要采用一些新型材料,如高强结构钢、钛合金、复合材料等。服役期间,虽然这些材料本身不会受到腐蚀,但会给潜艇的综合防护体系带来一些新问题。

2.1 高强结构钢的应用对潜艇腐蚀影响

钢的强度越高,氢脆破裂的敏感性就越大。对大潜深潜艇而言,势必采用高强度级别结构钢。结构钢强度级别的提高,会导致应力腐蚀等局部腐蚀的敏感性增加,在采用阴极保护的系统中,当保护电位过负时,高强度级别的结构钢产生氢脆的倾向将会增加。因此对高强度级别结构钢采用阴极保护

时,必须严格控制其合理的阴极保护电位范围,使大潜深潜艇既得到有效保护,同时又避免产生氢脆的不良影响,以免保护电位过负引起高强度级别结构钢的氢脆,从而影响潜艇的安全性^[6]。

2.2 钛合金的应用对潜艇腐蚀防护影响

在潜艇服役环境下钛合金的耐蚀性能非常好,但由于潜艇不同构件的功能差异,所采用的材料也不尽一致。当这些位于同一体系、不同材料制作的构件之间相互连接时,其连接部位应加强绝缘处理,避免因异金属之间的直接接触导致电偶腐蚀现象,特别是当钛与其它金属接触时,钛都作为阴极而加速偶接金属的腐蚀破坏。

2.3 复合材料的应用对潜艇腐蚀防护影响

复合材料制作的结构、设备与钢基的构件、设备不能采用焊接连接方式,而采用其他如铆接、螺栓连接等连接方式时,其连接部位不可避免地会出现间隙腐蚀。据有关资料^[7]报道,玻璃钢船体上不锈钢零件的点蚀危险性比不锈钢部件的要大。因此,应重视复合材料与船体连接部位的腐蚀问题。另外,对复合材料本身而言,也需注意其溶胀腐蚀、渗透腐蚀、界面腐蚀等发生,以免导致材料的机械性能下降。

3 大潜深对材料应力腐蚀的影响

随着下潜深度的增加,潜艇耐压船体、通海系统管路工作压力将进一步加大。当材料应力特别是拉应力超过某一临界值(可低于材料的屈服强度)时,高强度钢、钛合金等金属材料在海水介质作用下可能发生脆裂,引起金属构件发生应力腐蚀开裂(SCC)。

应力腐蚀在断裂形态上通常表现为明显的脆性断裂,即使具有很大塑韧性的金属材料,仍表现为完全脆性的宏观形态。其破坏过程分为裂纹产生、裂纹扩展、裂纹失稳3个阶段。对大潜深潜艇而言,材料屈服强度愈高、应力水平越大,材料应力腐蚀断裂敏感性越高,表面阳极极化行为越明显,并逐步向材料纵深扩展,应力腐蚀开裂所需时间越短,艇体结构和通海管路应力腐蚀开裂的危险性也越大。

4 大潜深对腐蚀防护涂层的影响分析

当潜艇的下潜深度加大时,涂层内外的渗透压明显增大,水分将透过涂层的微孔渗透到涂层内部,产生水泡。随着水泡的增多、增大,涂层便失去其保护作用^[7]。

海水中的氧、氯离子和其它腐蚀介质的存在对有机涂层的破坏不像对金属腐蚀那样大,但当海水一旦透过涂层膜抵达基材表面时,对基材腐蚀较大。潜艇的下潜深度加大,可加速海水中氧、氯离子和其它腐蚀介质渗透到基材表面,引起基材腐蚀。基底金属(以钢基为例)遭受腐蚀后生成的锈蚀产物的体积比等当量的铁约大1.5~3倍,最高到7倍。体积膨胀使涂膜破裂、起泡,加速海水的渗透和腐蚀的进一步扩展,加速构件与设备的腐蚀破坏。海水环境中有机涂膜下的金属腐蚀大于淡水环境下金属的腐蚀。因此,必须选择重防腐的防护涂装体系及其涂料,提高底漆对底材的附着力和中间及面涂层的抗水汽及Cl⁻渗透性能,有效阻止氧、水汽及其他腐蚀介质的渗入。

因此,根据不同的材料或其腐蚀机理,选择的涂层体系和涂层材料也是不一样的。

5 大潜深对阴极保护的影响分析

随着潜艇的发展及下潜深度的增加,为了满足潜艇船体结构承压等要求,对钢的强度要求也越来越高,固耐压船体结构需采用高强度结构钢。

在海水介质中,潜艇的船体结构材料主要受电化学腐蚀机制作用,采用阴极保护技术是有效控制船体结构腐蚀的长效、经济的重要措施之一。阴极保护技术主要包括:牺牲阳极的阴极保护和外加电流的阴极保护。它是通过向被保护的金属材料施加阴极电流,使其腐蚀电位负向移动,待达到一定的保护电位范围后,腐蚀过程被抑制或完全停止。当极化电位过负时,被保护金属表面会产生较强的析氢反应,使氢容易进入金属而导致氢脆的发生。氢脆是在高强钢晶格高度变形且有氢原子浸入后,由于晶格应变加大,致使韧性及延展性降低、脆化,在外力下最终引起破裂的现象^[8]。一般情况下钢的强度

越高,氢脆破裂的敏感性就越大。

6 大潜深对其它腐蚀防护措施的影响分析

大潜深除对艇体阴极保护装置和涂层保护产生一定影响外,还对舷外管路接头采用可隔离介质的包覆材料、防积水的结构填充材料及通海系统管路电绝缘材料。对这些材料的功能技术指标性能的要求也比一般潜艇更高,且必须满足大深度的交变压力要求。

7 对策和措施

为提高潜艇防腐性能,保证大潜深航行安全,有必要就以下几方面内容开展进一步的研究。

1) 加强腐蚀防护顶层控制。潜艇各部位腐蚀因素相互关联,在大潜深条件下相互影响更加明显,因此系统或设备防腐技术状态的改变应满足腐蚀防护总体技术要求,以避免或减少给其他部位带来不利影响,同时要解决潜艇腐蚀问题,需要从总体角度全局考虑,采取综合防腐措施。

2) 深化腐蚀机理研究。针对大潜深环境条件,对潜艇重点部位的主要腐蚀因素及其变化规律进行分析,并对重点部位在潜艇具体运行条件下的腐蚀特性展开研究,找出主要腐蚀原因,以便制定合理的防护措施。

3) 开展潜艇结构、构件、设备、部件及其制作材料的腐蚀与防护性能的试验和评估技术研究,重点围绕大潜深环境条件的变化以及各系统设计的改变,开展防腐新材料、新设备的应用研究。

4) 加强防腐蚀结构设计,运用金属腐蚀理论,在结构设计中尽量避免因失误或疏忽导致结构存在不必要的“腐蚀源”;在应用新类型的结构材料或新的防护技术时,要慎重考虑其对与之连接或相毗邻的结构构件、部件、设备带来的腐蚀影响和应对措施。

5) 持续跟踪现役艇实艇腐蚀状态,建立腐蚀数据档案,为防腐设计提供输入条件;优化设计方法,提高艇体结构阴极保护量化设计程度,增强潜艇防腐预测能力。

(下转第88页)

Risk Assessment[M]. Printice-Hall, 1981:80—101.

[5] KAWADA Yuichi. On the Relation between the Probability of Failure and Factor of Safety in the Designing of Machine Parts under Repeated Load[J]. Bulletin of the JSME, 1997, 20(142):403—410.

[6] YANG Hui-jun, TIAN Run-liang, ZHAO Shi-yi. Study on Vibration Features, Safety and Reliability of Auto Loaded and Transported Ammunition [J]. Equipment environmental engineering, 2009, 6(6):24—31.

(上接第 69 页)

[3] 刘卓峰,肖加余等. 芳纶基质飞艇气囊囊体材料的制备研究[J]. 高科技纤维与应用, 2006, 31(3):26—28.
 [4] 崔毅华. 空气袋织物加工技术的研究[J]. 上海纺织科技, 2003, 31(5):22—23.
 [5] 李能文,黄虹,李道喜. 碳纤维增强聚酰胺(PA/CF)复合材料的研究进展[J]. 精密成形工程, 2010, 2(6):47—50.

[6] 李鹏. TPU 胶布及其在充气囊体材料中的应用[J]. 聚氨酯工业, 2006, 21(4):32—35.
 [7] 王国勇,赵亮. 复合材料气囊成型工艺的质量缺陷研究[J]. 宇航材料工艺, 2006(增刊 I):56—59.
 [8] 赵渠森. 先进复合材料手册[M]. 北京:机械工业出版社, 2003:244.

(上接第 73 页)

参考文献:

[1] 丰卫东. 海洋环境对金属材料的腐蚀及其评价方法[J]. 装备环境工程, 2005, (6):31—33
 [2] 孙明先. 舰船阴极保护技术的现状与发展[J]. 舰船科学技术, 2001, (2):44—46
 [3] 陈光章,吴建华,许立坤. 舰船腐蚀与防护[J]. 舰船科学技术, 2001, (2):79—82
 [4] 贾洪虎. 腐蚀防护与表面技术[J]. 军民两用技术与产品,

2002, (7):43—45

[5] 郭为民,李文军,陈光章. 材料深海环境腐蚀试验[J]. 装备环境工程, 2006, (1):5—7
 [6] 陈锡雄. 防止海水腐蚀的措施与效果[J]. 电力建设, 2001, (05):36—37
 [7] 左昭武,崔俊荣,鲍承昌. 舰船腐蚀综合治理研究与应用[J]. 中国修船, 1998, (2):23—26
 [8] BROPHY A J. Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steels in Refinery Environments[J]. Materials Performance, 1974, 13(5):9—15.

(上接第 84 页)

参考文献:

[1] 张喜发,卢兴华. 火炮烧蚀内弹道学[M]. 北京:国防工业出版社, 2001
 [2] 付光甫,侯运加,陈成德. 火炮制造与验收[M]. 1982.
 [3] 崔秀梅,张青锋. 火炮身管内径测量仪的结构设计[J]. 机械工程师, 2008(1):53—54.

[4] 傅建平,张培林,李国章. 火炮身管寿命分析与计算[J]. 军械工程学报, 2000, 12(1):7—9.
 [5] 郑军,徐春广,肖定国,等. 火炮身管内表面综合测量系统研究[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(6):694—698.
 [6] 田桂军,袁亚雄,张小兵. 火炮寿命评估方法试验研究[J]. 南京理工大学学报, 2002, 26(6):608—611.
 [7] 刘海平,杜秀梅,赵建新. 基于 DEFORM 的火炮膛线表面应力分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2005, (2):12—14.