



# 三峡船闸钢闸门防腐技术应用

耿希明

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002)

**摘要:** 三峡船闸钢闸门防腐是制约船闸检修工期的主要因素。钢闸门腐蚀的主要原因是电化学腐蚀。分析阴极保护技术和涂层防腐技术的机理和优缺点, 认为三峡船闸钢闸门防腐既治标又治本的最佳方法是阴极保护技术和涂层保护结合使用。

**关键词:** 三峡船闸; 阴极保护; 涂层; 钢闸门; 防腐

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)05-0161-04

## Application of anti-corrosion technology for steel gate of Three Gorges navigation lock

GENG Xi-ming

(Administrative Bureau of Changjiang Three Gorges Navigation, Yichang 443002, China)

**Abstract:** The anti-corrosion of the steel gate of Three Gorges dam navigation lock is the major factor that impacts the time spent on the check and maintenance of navigation lock. The corrosion of the steel gate is mainly electro-chemical corrosion. This paper analyzes the mechanism and the advantages & disadvantages of cathodic protection and coating anti-corrosion techniques, and comes to the conclusion that the best anti-corrosion method, which answers to all demands, is the combination of both cathodic protection technique and coating technique.

**Keywords:** Three Gorges dam navigation lock; cathodic protection; coating; steel gate; anti-corrosion

我国主要河道的船闸通过量增量增速远远高于我国 GDP 的增速, 如三峡双线五级船闸日夜不停通航仍满足不了航运需求, 存在船舶积压问题。船闸设备设施一旦检修势必影响航运。检修工期长短将决定影响航运的程度, 其中影响船闸检修工期的一项重要工作就是钢闸门的防腐。钢闸门防腐所需时间一般占检修工期的 50% 以上。因此, 钢闸门防腐检修周期和施工效率决定检修工期, 决定内河船闸能否满足交通运输的需要。

内河船闸对钢闸门防腐的理想要求是寿命长、施工期短、环保、经济等。如何运用各种成熟防腐技术对内河船闸钢闸门进行防腐处理, 关键要分析内河钢闸门腐蚀主要机理和需求, 抓住钢闸门腐蚀的主要因素, 采用可靠成熟的技术、工艺

进行防腐处理, 达到治标治本之目的, 以适应内河航运需求。

### 1 内河钢闸门腐蚀的主要原因

根据腐蚀的作用原理, 腐蚀可分为物理腐蚀、化学腐蚀和电化学腐蚀。金属在水中、大气或土壤中的腐蚀多属于电化学腐蚀。内河的钢闸门在水中和大气中工作, 水和大气是内河钢闸门的电解质。

从外观上看, 钢的材质是均一的, 但是, 当它浸入电解质中时, 由于不同材料或金属本身组织结构及表面物理状态的不均匀性, 在金属表面上形成许多宏观或微观的阳极区和阴极区, 阴、阳极之间通过介质产生微电流。电子从阳极区向阴极区

收稿日期: 2014-07-29

作者简介: 耿希明 (1958—), 男, 高级工程师, 从事葛洲坝船闸、三峡船闸的检修技术研究与船闸大修的实施工作。

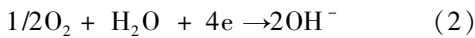
移动, 阳极区失去电子, 一部分金属就会成为离子溶于电解质中, 使得阳极区金属受到腐蚀。

根据这一原理, 铁离子在电解质中的流动形成电流, 电流的方向与电子移动的方向相反, 进而铁离子与水中的  $\text{OH}^-$  反应生成  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , 而后又变成沉积在钢表面的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  镀层。以上化学反应式可表示为

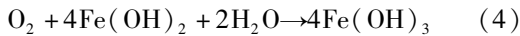
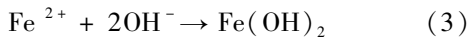
阳极反应:



阴极反应 (吸氧反应):



靠近阳极溶液中的反应:



这种腐蚀反应的速度受水的 pH 值、水的湍流度、水流速度、水温、盐度和微生物等环境因素的影响。

## 2 国内外内河钢闸门防腐现状

内河钢闸门采用的防腐手段主要是涂层防腐, 涂层保护主要是对金属表面进行涂漆、喷锌、喷铝等进行物理保护, 隔离金属与电解质, 以牺牲涂层对金属本体进行保护, 达到防腐蚀目的。涂层防腐的优点是种类多、方法多、技术要求低, 比较经济; 缺点是对施工环境要求高, 雨天不能作业, 空气湿度大时不能进行涂层作业, 科技含量低, 施工工期长, 污染环境, 寿命较短, 一般油漆涂层寿命为 3~5 a, 其他涂层寿命在 10~20 a。我国水利工程中的金属结构多采用油漆涂层和金属

涂层, 例如: 喷锌层 + 油漆封闭进行防腐。这些措施多在设施运行初期 3~5 a 内能够起到充分的防腐作用, 随着运行时间的推移, 涂层的各种缺陷逐渐暴露出来, 由于修补不及时和修补质量所限, 往往造成实际工程中金属结构物的腐蚀。内河钢结构的防腐现状是 1 a 新, 2~3 a 开始锈斑, 4~6 a 金属腐蚀, 7~10 a 出现腐蚀坑洞。

## 3 阴极保护技术

阴极保护技术是外加电流或牺牲阳极, 使金属在电解质中无电流流动, 无腐蚀电流, 从本质上进行防腐。在电解质中对被保护金属进行阴极极化, 当阴极电流通过钢表面时, 大部分电流优先流到阴极区, 从而降低了原有的电位, 使之阴极极化。随着电流增大, 钢表面阴极区的负极化也增大。当极化到阴极区和阳极区的电位差为零时, 腐蚀电流消失, 因而抑制了腐蚀过程, 达到保护的目。阴极保护工作原理见图 1。

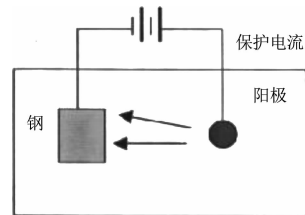


图 1 阴极保护原理

保护电位值可以用来作为判断阴极保护是否充分的基准, 利用参比电极和高阻电位计直接测量被保护结构各部位的电位, 从而了解保护情况。表 1 为部分金属的保护电位值。

表 1 部分金属的保护电位

金属及合金	参比电极电位/V				
	铜/硫酸铜	银/氯化银/海水	银/氯化银/饱和 KCl	锌/(洁净)海水	
铁及钢	通气环境	-0.85	-0.80	-0.75	0.25
	不通气环境	-0.95	-0.90	-0.85	0.15
铅	-0.60	-0.55	-0.50	0.50	
铜基合金	-0.50 ~ -0.65	-0.45 ~ -0.60	-0.40 ~ -0.55	0.60 ~ 0.45	
铝	上限	-0.95	-0.90	-0.85	0.15
	下限	-1.20	-1.155	-1.10	-0.10

如果不知道给定介质中的保护电位，则将金属的腐蚀电位向负方向移动一定的值，就可得出所需的保护电位。例如：钢铁在通气条件下电位负移 300 mV，在不通气条件下电位负移 400 mV；铅电位负移 100 ~ 250 mV；铝电位负移 100 ~ 200 mV（在海水或土壤中）；铜电位负移 100 ~ 200 mV。

#### 4 阴极保护方法

##### 4.1 外加电流法

外加电流法是用外加可调直流电源（恒电位仪或整流器），电源的正极接辅助阳极，负极接被保护的金属，其工作原理见图 2。

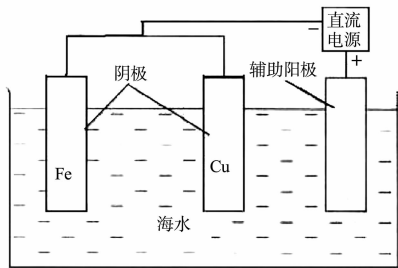


图 2 外加电流系统

##### 4.2 牺牲阳极法

牺牲阳极法是用一种电位比所要保护的金属

还要负的金属或合金与被保护的金属连接在一起，依靠电位比较负的金属不断地腐蚀溶解所产生的电流来保护其它金属的方法。这种为了保护他种金属设施而自身被腐蚀溶解的金属或合金称为牺牲阳极法。常用的牺牲阳极材料有锌、铝、镁及其合金。其工作原理见图 3。

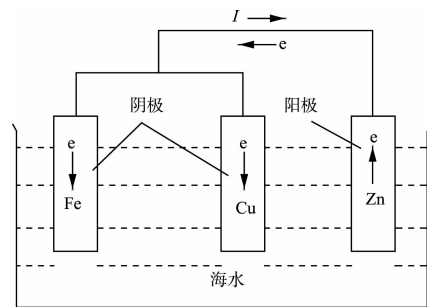


图 3 牺牲阳极系统

##### 4.3 两种方法比较

无论是外加电流法还是牺牲阳极法，均可以对被保护结构物实施完全保护。但由于提供电流的方法不同，两种方法又各有特点，所以根据保护对象所处的环境及当地条件，选择其一是必要的。表 2 是这两种方法特点的比较。

表 2 牺牲阳极系统及外加电流系统的比较

牺牲阳极系统	外加电流系统
1) 不需外电源	1) 需要外电源
2) 由于输出的电流有限，只用于覆盖层良好的结构或局部性保护	2) 输出的电流较大，可用于大型的无覆盖层结构
3) 只用于电阻率低的土壤或水中	3) 很少受土壤或水的电阻率的限制
4) 安装较为简单	4) 设计要小心虽然电流输出容易调节
5) 要用手提式仪表对每个阳极或相邻两个阳极之间进行检测	5) 检测点较少，仪表安装在电源处，易于观察
6) 要用许多阳极并需定期更换	6) 所需的阳极数量一般很少
7) 对邻近的结构物很少有影响	7) 对邻近的结构物有影响但容易排除
8) 电流输出不能控制但有自动调节倾向，如果条件改变使电位变正，故电动势增大，因而电流增大，涂层不易损坏。	8) 不论外界条件如何变化，均可自动控制电位，控制不当时涂层易损坏
9) 大块阳极会阻碍水流，引起湍流，对船体造成阻力。	9) 可用小型的阳极，阻力可忽略
10) 可用螺栓或焊接方法直接固定在被保护表面上而不必开孔	10) 在船体上要开孔
11) 铁脚受阴极保护	11) 至电源正极的导线必需很好绝缘，否则会遭受土壤或水的腐蚀
12) 不可能接错，所以极性不会变换	12) 使用时要核对极性，因为接错后极性变换能加速腐蚀

#### 5 三峡船闸应用阴极保护技术防腐的可行性

1950 年，美国陆军工程部队将阴极保护技术应用于密西西比河的船闸上。至 1987 年，田纳西洲 Tombigbee 水道上的全部闸门都采用阴极保护

技术。

以三峡船闸金属结构要求钢闸门的使用寿命长、防腐施工工期短、经济环保，尤其是水中金属结构使用寿命一般要求在 50 a 以上。浸没水中

的金属结构物会受到严重的腐蚀,因此应采用阴极保护方法防腐。长江中性水介质对金属船闸的腐蚀反应如下:

阳极反应:



阴极反应:



在水介质中,除了发生一般的电化学腐蚀外,在某些环境下也会发生微生物腐蚀。微生物主要为真菌、藻类和细菌。一般真菌和藻类并不直接引起金属的腐蚀,主要通过它们的分泌物和沉积物引起金属表面的腐蚀。例如,三峡船闸、葛州坝船闸人字门上存在水下附着物而产生的微生物腐蚀。

淡水的腐蚀性变化很大,在设计阴极保护系统时,水的腐蚀性是最主要的依据。水的腐蚀性取决于水的电阻率、pH值、溶解氧量、水的硬度以及其它因素。稍降低pH(例如从6降至4)使水更趋酸性,水的腐蚀性大为增加。水中溶解氧的增加,使钢在水中的腐蚀速率增加。即使在滞流的水中也能够建立起氧的浓差电池,即通气不足处的钢相对于通气较充足区域来说是阳极性的,更易造成腐蚀。静水中缺氧区域相对于接近表面的富氧区是阳极。另一个重要因素是水的硬度。硬水具有在钢的表面沉积碳酸盐水垢的倾向,这种水垢的作用如同一种涂层保护着钢铁表面。

水的腐蚀性评价方法有考虑各种因素的加权法和单纯通过电阻率的比较方法。用电阻率进行的评价指出,电阻率小于 $2\,500\ \Omega \cdot \text{cm}$ 的水,属微碱性水,具有较强的腐蚀性,电阻率大于 $3\,000\ \Omega \cdot \text{cm}$ 的水属于淡水,腐蚀性较弱。三峡船闸、葛洲坝船闸水电阻率在 $2\,500 \sim 3\,000\ \Omega \cdot \text{cm}$ 之间,由此,三峡船闸、葛洲坝船闸水具有中等偏强的腐蚀性,需要更好的防腐技术来保障设备设施的使用寿命,阴极保护技术在三峡船闸、葛洲坝船闸水域闸阀门上应用是可行的。

三峡双线五级船闸自2003年投运以来,过坝运量逐年递增,2013年超过1亿t,提前20a达到设计水平。三峡双线五级船闸2012、2013年的

岁修均为20d的停航时间,传统的防腐技术施工工期不能满足现代船闸快速检修需求,阴极保护技术中牺牲阳极系统符合三峡船闸等大型船闸快速检修要求。由表2牺牲阴极系统特点看,工艺上、施工时间上能够实现船闸快速检修,满足通航发展需求。

## 6 结论

1) 涂层防腐是水工结构物的主要防腐措施,金属表面的油漆覆盖层可以将金属与腐蚀介质隔离,因而具有保护作用。优点是方法、种类多,施工队伍多,一般油漆防腐经济;但它保护时间短、施工期长、污染环境等,不能满足现代钢闸门防腐需求,不能适应现代航运需求,不能达到经济发展的环保降能要求。

2) 阴极保护技术在金属防腐中的技术、工艺比较成熟,国外和沿海港口码头的金属结构防腐已广泛使用。优点是设计保护时间长,施工期短,无污染,适应现代航运和经济发展需要;缺点是需要专业设计,专业施工,比一般防腐费用高一些。

3) 综上所述,涂层防腐可以治标,阴极保护防腐可以治本,阴极保护技术之一牺牲阳极防腐与涂层防腐相结合,可以治标治本,提高工效,节约成本,保护环境,是三峡船闸钢闸门防腐的最佳选择。

## 参考文献:

- [1] W V 贝克曼,胡士信. 阴极保护手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1992.
- [2] 金属腐蚀与防护协调组. 十年来中国腐蚀与防护专业概况[M]. 北京: 机械工业出版社, 1960.
- [3] 扬照兵, 陆周, 宋双. 牺牲阳极保护技术在码头桩基工程的应用[J]. 水运工程, 2011(7): 95-99.
- [4] 郭永峰, 扬进新, 王东黎. 南水北调中线工程 PCCP 管道阴极保护防腐技术探讨[J]. 特种结构, 2009(2): 108-113.
- [5] 张宗旺, 朱万美, 李来成, 等. 阴极保护国家标准与专利技术[J]. 煤气与热力, 2009(10): 39-42.

(本文编辑 郭雪珍)