



王守强

钢闸门喷涂锌 防 腐 蚀

水利科技成果丛书



96832

TV34
1031

《水利科技成果》丛书

钢闸门喷涂锌防腐蚀

王守强

水利电力出版社

内 容 提 要

本书介绍了水利工程钢闸门及其它钢结构腐蚀原理及喷涂锌防腐措施,读者通过本书可比较全面地了解喷涂防腐的机理、选用条件、工艺流程、操作及检验等内容,读后基本上可达到组织实施的要求。

本书可供水利工程管理的技术人员及其他部门从事防腐工作的人员参考。

《水利科技成果》丛书

钢闸门喷涂锌防腐

王守强

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4印张 85千字

1988年10月第一版 1988年10月北京第一次印刷

印数0001—3000册 定价0.96元

ISBN 7-120-00364-X/TV·110

序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利，开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书，包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求作到以思想性和科学性为前提，同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足，书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会
一九八四年七月

水利科普丛书编审委员会名单

主任委员：史梦熊

副主任委员：董其林

委 员：	丁联臻	王万治	史梦熊
	田 园	李文治	邴凤山
	杨启声	张宏全	张林祥
	沈坩卿	陈祖安	陈春槐
	汪景琦	郑连第	郭之章
	赵珂经	茆 智	陶芳轩
	谈国良	徐曾衍	蒋元驹
	曹述互	曹松润	董其林
	颜振元		

（以姓氏笔划为序）

前 言

建国以来，我国兴建了大量的水闸、水库、泵站、水电站及船闸等水利设施，这些工程在防洪、除涝、发电、灌溉、航运、供水及改善环境等方面发挥了综合利用效益，促进了国民经济的发展。

在这些水利工程中，都有许多钢铁闸门和其它钢结构，通过它们的灵活运用发挥效益，因而，闸门及其它钢结构成为水利工程的重要组成部分。

钢铁结构虽然强度高、重量轻、使用方便，但它们长期在水中工作，或是在干湿交替的环境中运行，受到各种水质（如淡水、海水、工业污水）、气体、日光和水生物的侵蚀，以及水流、泥沙、漂浮物的冲击摩擦，钢材普遍发生腐蚀。随着材料的腐蚀，降低了结构的承载能力，严重时将威胁到闸门的安全运用。因此，如何及时、有效地控制和防止闸门腐蚀，是水利工程管理工作中的重要任务之一。

为了探索有效的防腐蚀措施，水利管理单位的职工进行了长期的实验研究，初步掌握了钢铁材料的腐蚀规律，找到了一些较好的防腐蚀措施，喷镀锌防腐蚀就是保护效果显著、适应范围比较广泛的一种措施。经过近几十年来国内外实践，都取得了成功的经验。它不仅适用于水利工程钢闸门及钢结构，还可应用于港工、码头、桥梁、管道、容器、塔架、船舶等各种大型钢铁结构物，因而该措施具有广泛的实用意义。

受水利电力部水利管理司的委托，特编写这本科普小册子，供水利管理工作及其它有关部门从事防腐蚀工作的同志们参考。

目 录

序

前言

第一章	概述	1
第二章	钢闸门是怎样发生腐蚀的?	4
第三章	为什么要采用喷涂锌防腐蚀?	19
第四章	喷涂锌工艺是怎么回事?	29
第五章	喷锌前闸门表面为什么要进行预处理?	33
第六章	闸门喷涂锌工艺	70
第七章	涂料封闭	113
第八章	喷涂锌的研究方向	118

第一章 概 述

当你乘船遨游在江河湖海里，当你乘车飞驶在广阔的田野上，你常会看到：奔腾的急流顺着闸孔滚滚而下；咆哮的海涛向着闸门猛烈地冲击；强大的水能使机器发出大量的电力；水泵的旋转使水倒流，送上山岗；潺潺的溪水听从人们的召唤，流向农渠田间；繁忙的船只按照人们的意愿爬越过水的阶梯。这一幕幕壮观情景，这一幅幅美丽图画都是人们建造的水闸、水库、水电站、泵站、船闸的杰作，它每时每刻都在发挥着除害兴利、为民造福的效益。

当你仔细地观察，还会发现：这些庞大的水利工程都有一些可以灵活启闭的闸门，它们虽然具有多种多样的型式，但总是在按照人们的指令开关。开起来，可以排泄洪水，送水灌溉，发出电能；关下去，可以拦截水源，调蓄洪水。建在海边的挡潮闸还可以挡潮御卤。建在江河上的船闸可以使船从一个水位过渡到另一个水位，畅通无阻……。所有这些工程效益，都是通过闸门的合理调度、及时开启和关闭来实现的。因而这些闸门被人们视为水利水电工程和通航建筑物的重要组成部分。

因为闸门大都设置在相当深度的水下，它需要承受强大的水压力。开启的时候，还要经得起每秒几米、几十米的高速水流、脉动水流的作用；关闭的时候，除了巨大的静水压力的作用外，还常受到风浪的冲击，北方地区还会受到冰胀力；在多泥沙河道中工作的闸门，还会受到泥沙的磨擦以及泥沙压力的作用……。据统计，在挡水面积为几十平米至几

百平米的闸门上，常要受到几十吨、几百吨甚至几千吨的压力作用，可见其承载负荷之巨。因而，较大型的或较重要的水利工程中，都采用了强度较高、各种性能较好的钢铁作为闸门材料，它不仅具有良好的机械性能，而且具有长期的稳定性。

但是，和“金无足赤”一样，钢铁并非永远不会发生变化。从宏观结构上看，钢铁坚固耐久，使用寿命较长，能在相当长的时间里保持正常工作。但从微观材质上看，却是每时每刻在不断地发生变化，腐蚀就是钢铁的这些变化的一个主要过程。

水利水电工程中的钢闸门以及其它钢结构，有的长期浸于水中；有的由于水位变化或闸门启闭常处于干湿交替的环境；有时还会受到高速水流的冲击和泥沙、漂浮物、冰凌的磨擦；处于大气中工作的结构还受到日光、空气的作用。这些外界影响较易使钢铁发生腐蚀，这已成为一个普遍的现象。

水利水电工程钢闸门及钢结构遭到腐蚀后，强度逐步削弱，显著地降低了结构的承载能力，严重地威胁到工程的安全运用。如江苏省一座节制闸的钢闸门，建成运行后，虽然经过管理人员的努力维护，仅15年就发生了严重的腐蚀，原来10mm厚的钢面板削弱了2~3mm，钢桁架的杆件原来厚度7mm，也被腐蚀呈刀刃状，据对这些杆件的抗拉试验资料分析，按其腐蚀的轻重程度，其承载能力相应地降低了1/3~2/3，结果只好对这些杆件予以加固或更新。再如，沿海的一座挡潮闸门，运用仅20年左右，因受到海水的严重腐蚀，使整个门体失去稳定而破坏，导致无法继续运行。还有一些水闸的闸门，一般运用20多年时间就因腐蚀而使结构濒

临报废。腐蚀不仅影响着结构的安全运用，还要消耗大量的人力，物力，财力来进行防腐蚀工作。据一些水闸工程统计，每年用于闸门防腐蚀的经费约占工程全年维修费用的一半，同时还要调动大量的劳力来除锈，涂漆，喷涂等等。因此，水利水电工程钢闸门及其它钢结构的防腐蚀成为水利工程管理工作中的重要任务之一。

为了有效地控制钢铁的腐蚀，延长钢闸门的使用寿命，确保水利水电工程的完整和安全，在全国范围内，广泛地开展钢铁防腐蚀的试验研究，除了应用高效优质涂料防腐蚀外，进一步探索了喷涂锌、铝防腐蚀及阴极保护等先进防腐蚀技术，并已获得长效的实践成果。本书着重介绍钢闸门喷涂锌防腐蚀方面的内容。

第二章 钢闸门是怎样发生腐蚀的？

一、各种天然水都是电解质溶液

人们通常用“清澈的河水，碧波荡漾”来描绘江河，用“湛蓝的海水，白浪滔滔”来赞美大海。“水”在人们的心目中似乎是非常清澈、非常纯净的象征。然而，通过科学测定，无论河水、湖水还是江水、海水……这些天然水，由于不断受到生活污水、工业废水以及生物等因素的污染和天然环境的影响，它们的成分是相当复杂的。除纯水分子外，还含有许多杂质。这些杂质常可离解为带电荷的离子，如钙离子 Ca^{++} 、镁离子 Mg^{++} 、钾离子 K^{+} 、钠离子 Na^{+} 等正离子，氯离子 Cl^{-} 、硫酸根离子 SO_4^{--} 、碳酸根离子 CO_3^{--} 等负离子。由于这许许多多离子的存在，改变了纯水极微的导电性能，使这些天然水成为电解质溶液。

常在大气中工作的钢结构或钢闸门位于大气中的部位，由于空气中含有水分或因雨、雪、下雾、降霜等气候影响，材料表面也会形成薄薄的一层水膜，这层水膜从微观上看，也构成了电解质溶液。故在大气中的腐蚀与在天然水中的腐蚀机理是相同的。

钢闸门的所处环境是相当复杂的，腐蚀介质的化学成分是多种多样，正负离子的类型和数量都经常在变化。从水质方面而言，有的是碱性较强的溶液，有的是酸性溶液，还有些是中性溶液。加上其它因素，如腐蚀介质与结构间的相对速度，水中溶解氧的多少及其分布等影响，腐蚀的状况和速

度也都将不同。

二、化学腐蚀与电化学腐蚀

钢铁材料的腐蚀，就是钢铁遭受氧化的过程。钢铁的腐蚀按其形成机理可分为化学腐蚀与电化学腐蚀两大类。它们的本质区别，主要是根据在它们的腐蚀过程中是否伴随有腐蚀电流产生。化学腐蚀是钢铁与外部腐蚀介质直接进行化学反应而引起的，例如钢铁与干燥的气体反应或在高温中氧化，以及在酒精、汽油等非电解质溶液中发生的腐蚀都属于化学腐蚀。因为在这些腐蚀过程中，只有化学变化，而无电化学反应。电化学腐蚀是指钢铁在电解质溶液中发生的电化学反应，即在腐蚀过程中不仅有化学反应，而且有正、负离子的运动，因此，在腐蚀过程中同时伴有腐蚀电流产生。例如：钢铁在各种含有酸、碱、盐的水溶液，以及在河水、湖水、海水、潮湿的土壤、潮湿的大气中的腐蚀都属于这种类型。我们把在这些介质中的腐蚀都叫电化学腐蚀。在水利水电工程中，由于闸门所处的腐蚀介质就是河水、海水等这些电解质溶液，所以腐蚀的过程都是电化学腐蚀。

三、钢铁电化学腐蚀的简单原理

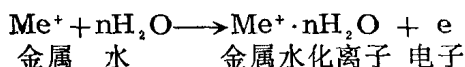
——腐蚀电池

钢闸门在水里发生电化学腐蚀，虽然因水质的不同以及其它因素的影响，腐蚀过程不完全一样，情况也各有差异，非常复杂。但其实质都是相同的，钢材在这些电解质溶液里都形成了许许多多的腐蚀电池。

腐蚀电池是怎么形成的？过程又是什么呢？这首先要从金属浸入电解质溶液后所产生的一些行为来认识。金属的晶

体是由带正电荷的金属正离子和带负电荷的电子组成，正离子代表着金属的实体，正离子的移动反映着金属材料转移。而电子的运动不能代表金属材料的转移，只能反映电荷的流动。构成电解质溶液的水是一种长棍状的极性分子，也就是它具有极性和方向，其一端带正电荷，另一端带负电荷，正负电荷数量相等。如果把金属浸入水中，会因金属的电化学性能的活泼程度可能形成为如下两种情况。

第一种情况——电化学性能较活泼的金属（即负电性金属）浸入水中后，极性水分子对金属正离子产生一种吸引的力量，有与其结合为金属的水化离子的趋势，这个过程称为水化，而金属正离子同时受到自由电子的吸引力。对于这类金属，水化的能量足以克服金属晶体中金属正离子与电子之间的静电引力。因而，金属表面的一些正离子就会脱离材料基体，以水化离子的形式进入溶液。这个过程可用下式表示：



由于金属正离子被水化而进入溶液，水化离子带正电荷，因而使紧靠金属表面的液层呈正电性，留在金属表面的自由电子使金属表面呈负电性，这样就在金属表面与溶液界面上形成一种处于动态平衡的双电层，如图1(a)。负电性金属，如锌、镁、铁等在水中或在酸、碱、盐的溶液中都形成这种类型的双电层。

第二种情况——电化学性能不活泼的金属（即正电性金属）浸入水中后，极性水分子对金属水化的能量不能克服金属晶体中金属正离子和电子之间的静电引力，则溶液中的一部分水化金属离子将向金属表面沉积，使金属表面呈正电

性，而紧靠金属表面的液层由于积聚剩余的负电荷呈负电性，结果就形成了与第一种情况符号相反的双电层。如图 1 (b)。很多正电性金属在含有相同金属离子的电解质溶液中（如铜在铜盐溶液中，汞在汞盐溶液中）常会形成这种类型的双电层。

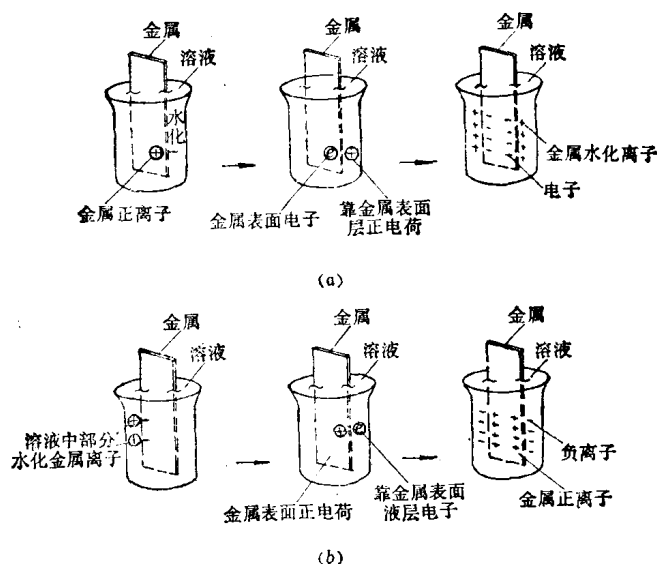


图 1 双电层示意图
(a) 负电性金属；(b) 正电性金属

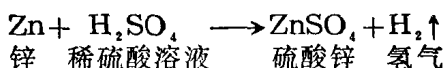
由此可见，金属浸入水中，都会使金属与溶液的界面上建立起双电层，这样就在金属与液面之间产生了电位差，这个电位差称为电极电位，简称电位。这个指标是研究腐蚀与防腐蚀的重要指标之一。

由于金属种类不同，其晶间结构有所差异，金属正离子与电子之间的静电引力各不相同，在水中的水化程度也就不

同。在各种负电性金属中，静电引力越小者越易发生水化，就会有较多的金属形成水化离子进入溶液，也就是留在金属表面上有较多的电子（负电荷），使金属表面的电位呈较负值（即较低值），我们称这类金属为负电性较强的金属。反之，静电引力较大者，较难发生水化，金属表面的电位相对地呈较正值（即较高值）。按金属的标准电极电位高低的顺序可排列成表 1，也称为电动序。在金属的电动序中，规定氢的标准电极电位为零，这就好象地形上的高程零点以此作为基准。凡比氢标准电极电位负的，称为负电性金属，比它正的称为正电性金属。金属的负电性越强，即排在电动序的较前面，金属正离子进入溶液的趋势越大，电位值越低；金属的正电性越强，这种趋势越小，电位值越高。

同一种纯净的金属在电解质溶液中由于各处电位相同，互相间无电位差值，所以它是比较稳定的。不同的金属放在同一电解质溶液中，由于它们之间有一定的电位差，再加上某些条件，就有可能构成腐蚀电池。为了便于理解，这里先介绍简单的锌—铜原电池。

将锌片和铜片同时插入稀硫酸溶液中，二者不接触，也无其它导体连接，这时可以发现铜片不发生反应，因为它的化学活泼性较差，不能从硫酸中将氢置换出来；而沿锌片表面会有气泡出现，并放出热量，这是因为锌的化学活泼性较高，能够置换出硫酸中的氢，放出气泡。这个过程可以用下式表示：



这个变化属于化学反应。

若将锌片和铜片用导线连接起来（如图 2 所示），由于

表 1 金属在25°C时的标准电极电位 (电动序)

电 极 反 应	标准电位 (V)	电 极 反 应	标准电位 (V)
锂 $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}$	-3.02	铟 $\text{In} \rightarrow \text{In}^{+++} + 3\text{e}$	-0.34
铯 $\text{Cs} \rightarrow \text{Cs}^+ + \text{e}$	-3.02	铊 $\text{Tl} \rightarrow \text{Tl}^+ + \text{e}$	-0.336
铷 $\text{Rb} \rightarrow \text{Rb}^+ + \text{e}$	-2.99	钴 $\text{Co} \rightarrow \text{Co}^{++} + 2\text{e}$	-0.277
钾 $\text{K} \rightarrow \text{K}^+ + \text{e}$	-2.92	镍 $\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{++} + 2\text{e}$	-0.25
锶 $\text{Sr} \rightarrow \text{Sr}^{++} + 2\text{e}$	-2.89	锡 $\text{Sn} \rightarrow \text{Sn}^{++} + 2\text{e}$	-0.136
钙 $\text{Ca} \rightarrow \text{Ca}^{++} + 2\text{e}$	-2.87	铅 $\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{++} + 2\text{e}$	-0.126
钠 $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}$	-2.71	铁 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{++} + 2\text{e}$	-0.036
镧 $\text{La} \rightarrow \text{La}^{+++} + 3\text{e}$	-2.37	氢 $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	-0.000
镁 $\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{++} + 2\text{e}$	-2.34	铜 $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{++} + 2\text{e}$	+0.345
钛 $\text{Ti} \rightarrow \text{Ti}^{++} + 2\text{e}$	-1.75	铜 $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^+ + \text{e}$	+0.522
铍 $\text{Be} \rightarrow \text{Be}^{++} + 2\text{e}$	-1.70	汞 $2\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}_2^{++} + 2\text{e}$	+0.798
铝 $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{+++} + 3\text{e}$	-1.67	银 $\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}$	+0.799
锰 $\text{Mn} \rightarrow \text{Mn}^{++} + 2\text{e}$	-1.05	钯 $\text{Pd} \rightarrow \text{Pd}^{++} + 2\text{e}$	+0.83
锌 $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{++} + 2\text{e}$	-0.762	汞 $\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}^{++} + 2\text{e}$	+0.854
铬 $\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{+++} + 3\text{e}$	-0.71	铂 $\text{Pt} \rightarrow \text{Pt}^{++} + 2\text{e}$	+1.2
镉 $\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{++} + 2\text{e}$	-0.52	金 $\text{Au} \rightarrow \text{Au}^{+++} + 3\text{e}$	+1.42
铁 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{++} + 2\text{e}$	-0.44	金 $\text{Au} \rightarrow \text{Au}^+ + \text{e}$	+1.68
镉 $\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{++} + 2\text{e}$	-0.40		

锌片电化学活泼性较高, 即电极电位较低, 铜片电化学活泼性较低, 即电极电位较高。这样, 锌与铜两块金属片之间形成了电位差, 加上导线的联系后, 锌片表面的锌的正离子不断溶解于电解质溶液中, 剩余在锌片表面的电子带有大量负电荷, 沿着导线流向铜片, 这样就形成最简单的腐蚀原电池, 锌片与铜片是电池的两极。腐蚀电流 i 的方向与电子 e 的流动的方向相反, 它从电极锌流出, 经过电解质溶液流向电极铜, 再由导线流回电极锌, 构成了腐蚀电流的回路。在腐蚀学科中, 规定电解池中, 腐蚀电路流出到电解质溶液的

电极，即电极电位较低的电极为电池的阳极，腐蚀电流由电解质溶液流进的电极，即电极电位较高的电极为电池阴极。

由锌—铜原电池可以看出，两种不同的金属浸于同一电解质溶液中，并保证二者之间有良好的电连接关系，也就是二者之间的电阻值较低，就能够构成腐蚀电池。凡电极电位较低的，也就是电化学性能相对比较活泼的金属是电池的阳极，不断地溶解入电解质溶液中，电极电位较高的，也就是电化学性能相对不太活泼的金属是电池的阴极，仅起着传递电荷的作用，没有向电解质溶液溶解的过程，所以不遭受腐蚀。由上可见，构成锌—铜腐蚀原电池必须具备三个条件：

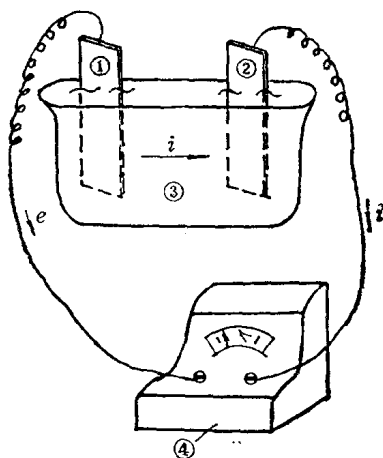


图 2 锌—铜原电池

1—锌片；2—铜片；3—稀硫酸溶液；4—电流表

- (1) 两极片在连通的同一电解质溶液中；
- (2) 两极片在电解质溶液中有一定的电极电位差；
- (3) 阳极与阴极之间有良好的电连接关系。

水利水电工程钢闸门都是由碳素钢制造的，而不是用两