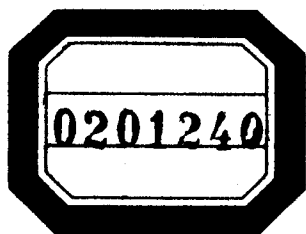


水工鋼閘門防腐蝕

江苏省水利局

水利电力出版社



水利部	006801 水利部信息所
图书总号	中 00098
分类号	TV66

水工钢闸门防腐蚀

江苏省水利局



水利电力出版社

内 容 提 要

本书主要介绍水利工程中钢闸门及钢丝网水泥闸门的腐蚀原理与防护措施,其中着重叙述了涂料保护、喷锌保护及外加电流阴极保护等措施及工艺过程,同时也介绍了结构表面处理的有关工艺。

本书可供水利工程管理技术人员及其他部门从事防腐蚀工作的有关人员参考。

2006/10

水工钢闸门防腐蚀

江苏省水利局

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 9 7/8印张 218千字

1979年10月第一版 1979年10月北京第一次印刷

印数 0001—4590册 精装每册 1.45元

书号 15143·3481

前 言

建国以来，我国兴建了大量的水库、水闸、水电站、抽水站及船闸等水利工程，这些工程在历年防御水、旱灾害的斗争中，充分发挥了防洪、除涝、灌溉、发电和航运等综合利用效益，促进了国民经济的发展。

水工建筑物的钢闸门是水利工程的重要组成部分。由于闸门长期处于干湿交替、浸没水下及高速水流等环境中，受到各种水质（如海水、淡水、工业污水）、气体、日光、温度和水生物的侵蚀，以及泥砂、冰凌和其它漂浮物的冲击摩擦，以致钢材发生腐蚀。随着钢铁材料腐蚀程度的增加而降低了钢闸门结构的承载强度，严重时将威胁到闸门的安全运用。因此，如何有效地防止和解决这个问题，是水利工程管理工作中的重要任务之一。

为了有效地控制钢闸门的腐蚀，水利管理单位的职工在有关单位的协助下，进行了长期的试验研究工作。在多年实践中，初步掌握了钢铁材料腐蚀的规律，找到了一些较好的防腐措施，积累了经验。例如，研究出多种优质防腐涂料和玻璃钢保护层；应用了高压无空气喷涂施工工艺；采用外加电流阴极保护和喷镀锌保护等先进技术；在表面处理上应用了机械处理与化学处理等措施。

为了迅速地把钢闸门的防腐蚀工作提高一步，很有必要系统地总结钢闸门防腐蚀的经验，推广这些经验，并在今后的生产和科研实践中不断地提高丰富这些经验，为实现四个现代化做出贡献。

我们受原水利电力部水文水利管理司的委托，组织我省三河闸管理处等有关单位编写了本书，内容以水工钢闸门为主，对于水利工程中的其它钢结构仅作简略介绍。近年来，钢丝网水泥闸

门在水利工程中推广应用，考虑其网筋的腐蚀与保护和钢闸门有类似之处，故专列一章叙述。

在编写过程中，邀请了上海船舶运输研究所、南京水利科学研究所、上海长征造漆厂、西北涂料研究所、甘肃油漆厂以及一些水利管理单位的同志对书稿进行了审查，提出了不少宝贵意见，谨致谢意。

本书由王守强同志主编，包样荣、许冠绍同志参加了第五、第六章的编写工作，最后潘志南同志参加了审、定稿工作。

由于我们科学技术理论水平不高，实践经验还不多，谬误之处，在所难免，希望读者批评指正。

编 者

一九七八年十一月

目 录

前 言

第一章 水工钢闸门的腐蚀原理与保护措施的选择	1
第一节 腐蚀原理	1
第二节 保护措施的选择	15
第二章 表面处理	23
第一节 表面污染及其影响	24
第二节 表面处理的要求和方法的选择	26
第三节 表面处理工艺	31
第三章 涂料保护	76
第一节 涂料基本知识	76
第二节 防锈涂料的选择	82
第三节 防锈涂料的施工	113
第四章 喷锌保护	162
第一节 喷锌简介	162
第二节 设备、材料与现场布置	166
第三节 喷镀	184
第四节 镀层质量检验	202
第五节 安全技术措施与劳动保护	204
第五章 阴极保护	206
第一节 阴极保护的原理与分类	206
第二节 外加电流阴极保护	210
第六章 钢丝网水泥闸门的腐蚀与保护	251
第一节 砂浆中钢材腐蚀的原理	252
第二节 钢丝网水泥闸门防腐蚀的途径与措施	255
第三节 钢丝网水泥闸门的缺陷及其修补	258
第四节 涂料保护	269

第五节 玻璃钢保护	282
附录一 海水的电导率	294
附录二 普碳钢在不同海洋环境中的平均腐蚀速度	294
附录三 喷砂及清理时空气的消耗量	294
附录四 常用移动式空气压缩机	295
附录五 夹布压力胶管型号及规格	297
附录六 三河闸闸门喷砂处理工料经费分析表	298
附录七 防尘帽盔玻璃防雾剂配方及制作	299
附录八 电动高压柱塞泵	299
附录九 涂料基本名称编号表	300
附录十 涂料分类表	300
附录十一 各种涂料性能比较表	301
附录十二 喷漆空气消耗量	303
附录十三 涂料常用溶剂理化常数表	303
附录十四 几种体质颜料物性表	304
附录十五 锌的牌号、化学成分及用途	305
附录十六 三河闸闸门喷锌工料经费分析表	305
附录十七 钢丝网水泥闸门保护层厚度和裂缝宽度允许值	306
附录十八 钢丝网水泥闸门砂浆和混凝土抗渗标号	306
附录十九 钢丝网水泥闸门砂浆和混凝土抗冻标号	306
附录二十 钢筋和冷拔低碳钢丝的技术性能	307
附录二十一 钢丝网的规格和技术性能	307
附录二十二 钢丝网水泥闸门用砂技术要求	308
附录二十三 钢丝网水泥闸门拌和用水的技术要求	309
附录二十四 普通硅酸盐水泥技术标准	309
附录二十五 常用外加剂技术性能及配制方法	309

第一章 水工钢闸门的腐蚀原理

与保护措施的选择

钢铁发生腐蚀，是由于受外部介质的化学作用或电化学反应而造成的。钢铁在高温中氧化，在酸、碱、盐溶液中以及在天然水中发生的锈蚀，都属于腐蚀现象。

水工建筑物的钢闸门发生腐蚀后，承载强度降低，腐蚀严重时还将影响安全运用。因此，钢闸门在建成投产使用过程中，要作有效的防腐蚀措施，才能保证工程的安全运用和延长工程的使用年限。否则，往往由于防腐蚀措施没有跟上，导致钢闸门严重腐蚀，不得不报废更新。例如某水闸的钢闸门建成使用十五年，构件腐蚀严重，承载能力降低了 $1/3 \sim 2/3$ ；又如某挡潮闸的钢闸门受海边盐雾大气的腐蚀，有一孔闸门的门叶发生失稳破坏，再如某闸的钢闸门在使用二十年后因严重腐蚀而报废。

钢闸门的腐蚀不仅影响安全使用，而且一般的防腐蚀措施所花费的开支较大，据一些水闸的统计，每年用于钢闸门防腐蚀的经费约占全年岁修养护经费的一半左右。因此，必须采取有效的、经济的、综合性的防腐蚀措施。

为了有效地控制腐蚀，首先必须认识钢铁发生腐蚀的原理和其规律，然后才能合理地选择防腐蚀措施。

第一节 腐 蚀 原 理

钢铁的腐蚀，按其形成的原理可分为化学腐蚀与电化学反应两大类。化学腐蚀是钢铁与外部介质直接进行化学反应，例如钢铁与干燥气体反应或在高温中氧化以及在不电解质溶液中发生的

腐蚀等。电化学腐蚀是钢铁和外部介质发生电化学反应，即在腐蚀过程中不仅有化学作用，而且还有电流伴随产生，例如在各种酸、碱、盐的水溶液以及海水、河水、湖水、潮湿土壤中所发生的腐蚀都属于这种类型。水工钢闸门的腐蚀属于电化学腐蚀，故本节只叙述钢铁的电化学腐蚀原理。

一、腐 蚀 电 池

水工钢闸门在水中发生电化学腐蚀的实质是钢材在电解质溶液中存在着许多腐蚀电池。因此，有必要介绍腐蚀电池的形成和过程。

（一）天然水与工业污水是电解质溶液

电解质是在其溶液状态下可以导电的物质，如酸、碱、盐都是电解质。非电解质是在其溶液状态下不能导电的物质，如酒精、汽油都是非电解质。纯水几乎是不能导电的。而水工钢闸门所接触的水，无论是河水、湖水、海水或工业污水都是可以导电的。这些水中除纯水分子外，还含有多种正负离子，正离子如钙离子 Ca^{++} 、镁离子 Mg^{++} 、钾离子 K^+ 、钠离子 Na^+ 等；负离子如氯离子 Cl^- 、硫酸根离子 SO_4^{--} 、碳酸根离子 CO_3^{--} 等。这些离子的运动及其所带电荷的转换，改变了纯水极微的导电性，使天然水与工业污水成为电解质溶液。

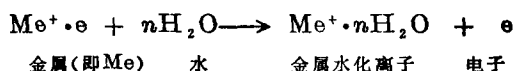
（二）电极电位

金属的晶体由带正电荷的金属正离子和带负电荷的电子所组成，而构成电解质溶液的水是一种长棍状的极性分子，其一端带正电荷，而另一端带等量的负电荷。如果将一种金属放在电解质溶液中，将会形成以下情况：

（1）在金属表面的金属正离子由于极性水分子的作用，将发生水化^①。如果水化的力量能克服金属晶体中金属正离子与电

① 水化：在水中的离子被四周的极性水分子吸附和包围而成为水化离子，离子发生水化时，释放出一定的能量。

子之间的静电引力，则金属表面的一些正离子就会脱离金属进入溶液而成为水化离子，这个过程可用下式表示。



由于金属正离子水化而进入溶液，使紧靠金属表面的液层带正电，剩余的电子积累在金属的表面使金属带负电，这样就在金属与溶液的界面上形成了双电层，如图 1-1 中的 (a)。很多负电性的金属如锌、镁、铁等在水中或在酸、碱、盐的溶液中就能形成这种类型的双电层。

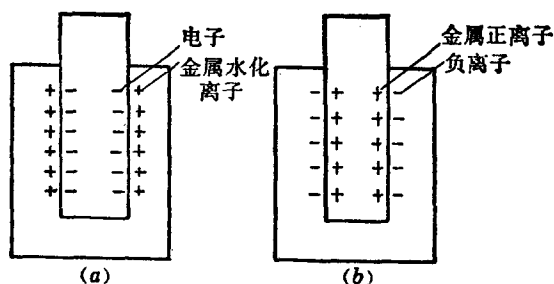


图 1-1 双电层示意图
(a) 负电性金属；(b) 正电性金属

(2) 如果水化的力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时，则溶液中的一部分水化金属离子将向金属沉积而成为金属晶体中的正离子，使金属表面带正电，而紧靠金属的液层由于积聚过剩的负离子而带负电，结果就形成了与第一种情况符号相反的另一双电层，如图 1-1 中的 (b)。很多正电性的金属在含有正电性金属离子的溶液中（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。

由此可见，金属浸在电解质溶液中，使金属—溶液界面上建立起双电层，在金属与液面之间产生了电位差，这种电位差就叫电极电位，简称电位。

电极电位是研究金属腐蚀与防护的重要数据。现在还没有办法测出金属电极电位的绝对值，而只能用比较的方法测出它的相对值。为了测定电极电位，可采用标准氢电极作为参比电极，即以标准氢电极电位为零，把要测的金属放在电解质溶液中，与标准氢电极组成电池，它们之间的电位差称为该金属的氢标电位。但在实际测量中，由于受到条件的限制，不能直接采用标准氢电极，而采用甘汞电极、饱和硫酸铜电极或氯化银电极为参比电极。因此，所测到的电极电位数值应注明采用参比电极的名称。

表 1-1 是按照金属的标准电极电位大小的顺序排列的，所以叫做金属的电动序。在金属的电动序中，氢的标准电极电位为零，比氢的标准电极电位负的金属称为负电性金属，比它正的金属

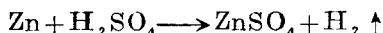
表 1-1 金属在25℃时的标准电极电位（电动序）

电 极 反 应	标 准 电 位 (伏)	电 极 反 应	标 准 电 位 (伏)
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 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{+++} + 3\text{e}$	-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
镓 $\text{Ga} \rightarrow \text{Ga}^{+++} + 3\text{e}$	-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		

称为正电性金属。金属的负电性越强，进入溶液成为水化离子状态的趋势越大，正电性越强的金属，这种趋势越小。

（三）锌—铜原电池

将锌片和铜片同时插入稀硫酸溶液中，这时可以发现铜片不发生反应，而锌片表面有氢气出现，并放出热量。它的反应是：



若将锌片和铜片用导线连接起来如图 1-2 所示，由于锌极片电极电位较低，铜极片电极电位较高，所以组成了一个电池。在两极片电位差的作用下，锌片不断溶解于电解质溶液中，其电子沿导线流向铜片，这就是最简单的腐蚀原电池。腐蚀电流 i 的方向从电极锌经过电解质溶液流向电极铜，再经过导线流回到电极锌。

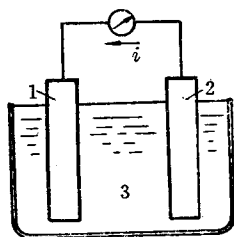


图 1-2 锌—铜原电池

1—锌片；2—铜片；3—稀硫酸溶液

在腐蚀学科中，电位较低的锌电极称为阳极，电流由金属流向溶液；电位较高的铜电极称为阴极，电流由溶液流入金属。

由锌—铜原电池可以看出：两种不同的金属同浸于电解质溶液中，并保证二者之间良好的接触（即电阻较小），就会形成腐蚀电池。阳极（电位较低的，电动序较前的）受到腐蚀，而阴极（电位较高的，电动序较后的）仅起传递电荷的作用，而不腐蚀。

（四）腐蚀微电池

水工钢闸门是由碳素钢和铸铁等材料制成，长期在河水、湖水、海水和工业污水中工作。由于钢铁材料在冶炼加工过程中，不可避免地含有金属杂质或非金属导电杂质，如 Fe_3C 和石墨等。在电解质溶液中，这些杂质电位较高而呈阴极，钢铁电位较低而呈阳极，从而形成了许许多多腐蚀微电池。在这些微电池中，发

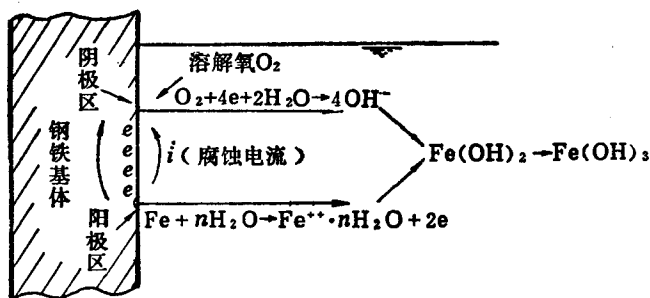
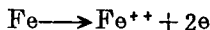


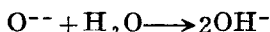
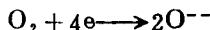
图 1-3 钢铁腐蚀示意图

生着与腐蚀原电池相类似的腐蚀过程，如图1-3所示。

在阳极区：铁释放电子，以水化离子的形式溶解于水中，其自由电子沿基体流向阴极区。



在阴极区：发生可以在阴极上被还原的物质夺取电子的过程，例如溶解氧得到电子后成为氧离子，氧离子再和水作用，生成氢氧离子。



氢氧离子与阳极溶解的铁离子结合而成氢氧化铁，即铁锈。

在腐蚀微电池中，阳极区铁离子的溶解，就是钢铁之腐蚀过程，而阴极区没有腐蚀发生。

综上所述，水工钢闸门发生腐蚀过程必须具备下面三个条件：

- (1) 钢铁表面存在着电极电位差。
- (2) 阴极与阳极间有良好的接触。
- (3) 阴极与阳极放在互相连通的水中。

对于常处水上的露天钢铁结构构件或处于阴暗潮湿环境中的钢铁结构构件，虽然没有直接浸没于水中，但在雨、雾、霜、露、冰雪及水汽的作用下，也能使结构表面形成一薄层导电水膜，从而具备发生电化学腐蚀的条件。

二、影响腐蚀的因素

钢铁的腐蚀速度主要决定于腐蚀电池的电极过程，即阳极过程和阴极过程。但是各种内在的和外界的因素又直接或间接地影响着电极过程的进行，其内在因素如钢铁结构的表面状态，内力及变形等；外界因素如水的化学成份、各种离子浓度及分布、水的温度及分布、水流速度、杂散电流以及水生物等。

（一）钢铁表面状态的影响

钢铁表面的光洁与粗糙程度对腐蚀速度有着一定的影响，一般是粗糙的表面比光滑的表面容易腐蚀，在构件的空穴、焊缝、伤痕、锈坑等部位发生的腐蚀就较重；反之，表面光滑的部位，其腐蚀程度就轻。这是因为：

（1）粗糙表面较易积水而形成腐蚀电池，其深洼部分因氧到达比较困难成为阳极，表面部分成为阴极。

（2）粗糙表面的保护膜没有光滑表面的保护膜致密，所以较易腐蚀。

（3）表面粗糙的实际表面积比表面光滑的表面积大，故腐蚀比较严重。

（二）应力和变形的影响

钢铁构件在制作过程中，由于受到冷、热加工处理，如拉伸、冲压、焊接等，往往产生一定的应力和变形。这些应力和变形将加速钢铁的腐蚀，应力和变形越大，腐蚀越甚。例如钢铁构件弯折、钻孔以及铆钉、螺栓连接部位等应力集中处的腐蚀都是比较严重的。

（三）介质氢离子浓度的影响

水具有很弱的导电能力，它能微弱地电离成氢离子 H^+ 和氢氧离子 OH^- 。



在溶液中，这两种离子浓度的多少，决定着溶液酸性或碱性

的强弱。

中性溶液：氢离子浓度与氢氧离子浓度相等，即 $\text{pH}=7$ 。

酸性溶液：氢离子浓度大于氢氧离子浓度，即 $\text{pH}<7$ 。
 pH 值越小，酸性越强。

碱性溶液：氢离子浓度小于氢氧离子浓度，即 $\text{pH}>7$ 。 pH 值越大，碱性越强。

氢离子浓度是影响腐蚀的重要因素之一，其影响的程度是非常复杂的。对于不同的介质，不同的材料， pH 值的影响都不一样。

钢铁的腐蚀与氢离子浓度的关系可以分为三类情况。在酸性较强的溶液里（ pH 值小于4），由于氢在阴极放电和析出的效率增加，腐蚀的产物为可溶物质，腐蚀就随氢离子浓度的增大而加剧；在接近中性的溶液里（ pH 值在4~9之间），腐蚀几乎与 pH 值无关，这是因为在中性和接近中性溶液中腐蚀受氧的扩散速度控制，而氧的溶解度及其扩散速度基本上都不随 pH 值变化；在碱性溶液里（ pH 值在10~14之间），钢铁的腐蚀速度随 pH 值的增加而降低，这主要是因为腐蚀产物在强碱溶液中的溶解度大大降低了，腐蚀电池的阳极过程受到了阻抑。水工钢闸门在天然淡水或海水中（一般为中性或接近中性溶液），属于第二类情况，钢丝网水泥闸门中的钢丝网与钢筋的腐蚀问题则属于第二、三两类情况。

（四）水的化学成份及其浓度的影响

水中的各种成份及浓度对钢铁的腐蚀有着不同的影响。

（1）如果钢铁与水中成份，能生成不溶性的产物，复盖在阳极区或阴极区，都会阻抑腐蚀电池的阳极或阴极过程，从而降低腐蚀速度。例如，铁在含碳酸盐、磷酸盐溶液中，生成不溶性的碳酸铁和磷酸铁复盖在阳极上；硫酸锌溶液能在铁的表面生成不溶性的氢氧化锌复盖在阴极上，这些都能减缓腐蚀速度。

（2）钢铁在水中的腐蚀速度还与盐（如 NaCl 、 KCl 、 LiCl 等）溶液的浓度有着较大的关系，如图1-4。在水中含盐量不太

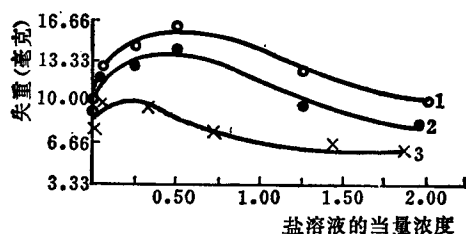


图 1-4 溶液中盐浓度对于冷轧低碳钢在35°C时的腐蚀影响
1—KCl, 2—NaCl, 3—LiCl

高的范围内，腐蚀速度随着溶液浓度增加而加剧，这是因为促进阳极溶解过程的氯离子 Cl^- 浓度增加了。当溶液浓度达到一定程度时，再继续增加溶液浓度，腐蚀速度反而下降了。这是因为氧的溶解度随浓度的增加而下降，如图 1-5，从而使腐蚀速度降低。

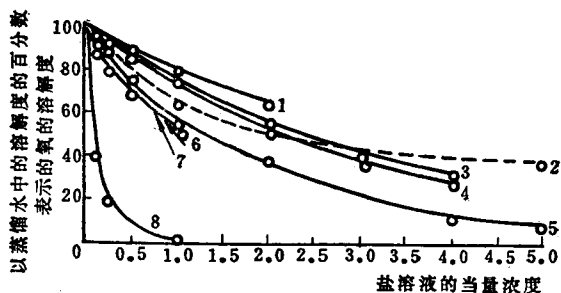


图 1-5 盐类浓度对于氧在25°C的不同溶液中的溶解度的影响
1— KNO_3 , 2— CaCl_2 , 3—KCl, 4—NaCl, 5— MgCl_2 ,
6— Na_2SO_4 , 7— K_2SO_4 , 8— NH_4Cl

一般河水、湖水都为淡水，含盐量较低，其化学成份及浓度随流域及污染情况有较大的差异。

海水含盐量较高，离子浓度较大，所以导电性能良好。电阻率一般为20~30欧姆·厘米，是一种较强的电解质。一般海水中主要盐类含量如表1-2。

由表1-2可见，含量最多的盐类是氯化物，占总含盐量的

表 1-2

海水中主要盐类的含量

成 份	%	成 份	%
氯化钠 NaCl	77.8	硫酸钾 K_2SO_4	2.5
氯化镁 MgCl_2	10.9	碳酸钙 CaCO_3	0.3
硫酸镁 MgSO_4	4.7	溴化镁 MgBr_2	0.2
硫酸钙 CaSO_4	3.6		

88.7%，氯离子的含量约占总离子数的55%。因此，海水腐蚀的特点与氯离子的存在有密切的关系。海水中的大量氯离子，使钢铁具有较高的腐蚀性，在海水中不可能建立钝化状态。所以钢铁结构在海水中腐蚀比淡水严重。

(五) 水温的影响

钢铁在水中的电化学腐蚀速度，一方面决定于腐蚀电池电极过程的快慢，另一方面还与氧在阴极上还原速度有关。因而水温对钢铁腐蚀速度的影响是比较复杂的，见图1-6。

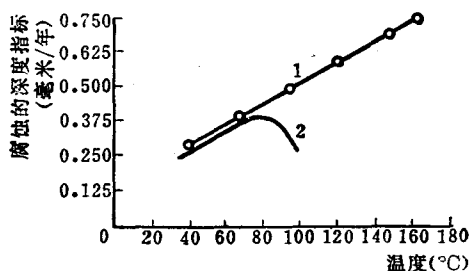


图 1-6 铁在水中的腐蚀速度与温度的关系

1—封闭系统；2—开敞系统

对于开敞的腐蚀系统，水面与大气接触面较大，氧气可以充分地溶入或离开溶液，在水温较低的范围内（一般 $<80^{\circ}\text{C}$ ），随着温度升高，离子运动加剧，腐蚀过程加强，使腐蚀速度加快。当温度超过 80°C 时，由于溶液中溶解氧随温度升高而减少，使腐蚀减缓。