



设备腐蚀与防护

第三章 金属在某些环境中的腐蚀

2012-9-14

1



第三节 在土壤中的腐蚀特点

概述

➤ 埋设在地下的油、气、水管线以及金属电缆等在土壤中常会发生腐蚀，引起油、气、水外泄、造成巨大的经济损失。因此研究土壤腐蚀的规律，防止土壤中金属的腐蚀，已成为腐蚀科学领域研究中的一个重要课题。

2012-9-14

2



第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.1 土壤腐蚀的特征

土壤是一个由气、液、固三相物质组成的复杂系统，作为电解质主要有下列特点：

➢ **多相性**

土壤具有复杂的多相结构，由土粒、无机矿物质、有机物质、水、空气等组成。不同土壤中的土粒大小不相同。如粉沙土的颗粒为0.05-0.07mm，粘土的颗粒小于0.005mm，砂砾土的颗粒为0.07-2mm。实际土壤是由不同的土粒按一定比例组合而成的。

2012-9-14

3



第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.1 土壤腐蚀的特征

➢ **多孔性**

土壤中的颗粒不是孤立的分散体，而是各种无机物、有机物的胶凝物质颗粒聚集体。颗粒间形成许多充满空气和水的毛细管微孔或孔隙，使土壤成为腐蚀性电解质。土壤的孔隙度和含水性影响土壤的透气性和电导率大小，含氧量影响土壤的电极过程。

土壤愈潮湿，含盐量愈多，则其电阻愈小，腐蚀性愈严重。

2012-9-14

4



第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.1 土壤腐蚀的特征

➤ 不均匀性

土壤的物理及化学性质，不仅随土壤的组成及其含水量而变化。而且还与土壤的结构及其紧密程度有关。因此，土壤的性质和结构会出现小范围和大范围的不均匀性。

➤ 固定性

固定性是指土壤中的固体物质相对于埋在土壤中的金属来说是固定不动的，而土壤中的气体和液体可作有限的运动。

2012-9-14

5



第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.2 土壤腐蚀的电极过程

由于土壤中总是含有一定的水分，因此土壤腐蚀与在电解液中腐蚀一样，是一种电化学腐蚀，大多数金属在土壤中的腐蚀为氧的去极化腐蚀。

➤ 阳极过程

铁在潮湿土壤中的阳极过程和在溶液中腐蚀时相类似，阳极过程没有明显的阻碍。在干燥且透气性良好的土壤中，阳极过程的进行方式接近于铁在大气腐蚀的阳极行为。

2012-9-14

6



第三节 在土壤中的腐蚀特点

➤阳极过程

根据金属在潮湿、透气不良且含有氯离子的土壤中的阳极极化行为，可把它们分成四类：

1. 阳极溶解时没有显著阳极极化的金属，镁、锌、铝、锰、锡等。
2. 阳极溶解的极化率较低，并决定于金属离子化反应的过电位如铁、碳钢、铜、铅。
3. 因阳极钝化而具有高的起始极化率的金属，在更高的阳极电位下，阳极钝化又因土壤中存在氯离子而受到破坏，如铬、锆、含铬或铬镍的不锈钢。
4. 在土壤条件下不发生阳极溶解的金属，如钛、钽。

2012-9-14

7

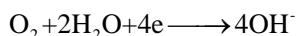


第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.2 土壤腐蚀的电极过程

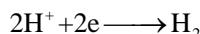
➤阴极过程

钢铁是土壤中常用的材料，在发生土壤腐蚀时，阴极过程是氧的还原。



在酸性很强的土壤中，才发生氢的去极化。

某些情况下，还有微生物参与的阴极还原过程。如有硫酸盐还原菌存在。



2012-9-14

8

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.2 土壤腐蚀的电极过程

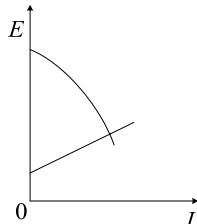
➤ 阴极过程

氧的去极化过程有两个步骤：

(1) 氧向阴极的迁移，(2) 氧的离子化反应。

控制因素：

(1) 阴极控制：当腐蚀决定于腐蚀微电池或距离不太长的宏观腐蚀电池时；



大多数土壤中微电池腐蚀 (阴极控制)

2012-9-14

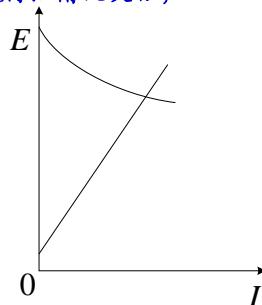
9

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.2 土壤腐蚀的电极过程

控制因素：

(2) 阳极控制：在疏松、干燥的土壤中，随氧渗透率的增加，腐蚀转变为阳极控制，与潮的大气腐蚀情况类似；



疏松土壤中微电池腐蚀 (阳极控制)

2012-9-14

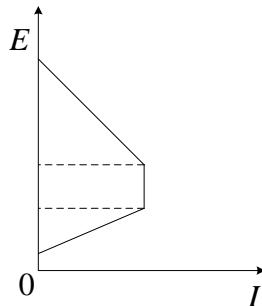
10

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.2 土壤腐蚀的电极过程

控制因素：

(3) 电阻控制或阴极-电阻混合控制：由长距离宏观电池作用下的腐蚀



长距离宏观电池腐蚀（阴极-电阻控制）

2012-9-14

11

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.3 土壤腐蚀的类型

➤ 异种金属接触电池

地下金属构件又是采用不同的金属材料，若电偶序差
异大，易形成异种金属接触电池。接触腐蚀的速度与
阴阳极面积比、金属的极化性能等因素有关。

2012-9-14

12

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.3 土壤腐蚀的类型

➤ 氧浓差电池

对于埋在土壤中的地下管线而言，这种电池是最常见的。产生这种电池作用的原因是管线不同部位的土壤由于含氧量的差异，氧含量低的部位电位较负，成为阳极，氧含量高的部位电位较正，称为阴极。例如，粘土和砂土等结构的不同；管线埋深不同等。

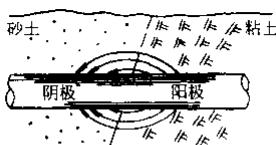


图 3-19 金属管线通过不同土壤时，构成供氧差异腐蚀电池

2012-9-14

13

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.3 土壤腐蚀的类型

➤ 盐浓差电池

由于土壤中的含盐量的差异而造成，盐浓度高的部位电极电位较负，成为阳极而加速腐蚀。

➤ 温差电池

在油井和气井的套管以及压缩站的管道中可能发生。位于地下深层的套管处于较高的温度，为阳极；位于地表面附近即浅层的套管温度低，为阴极。

2012-9-14

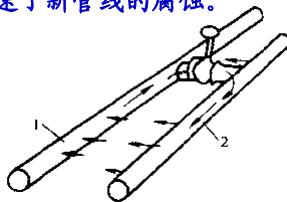
14

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.3 土壤腐蚀的类型

➢新旧管线构成的腐蚀电池

当新旧管线连在一起时，由于旧管线表面有腐蚀产物层，是电极电位比新管线正，成为阴极，加速了新管线的腐蚀。



土壤中新旧管道连接形成的腐蚀电池

1-旧管（阴极） 2-新管（阳极）

2012-9-14

15

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.3 土壤腐蚀的类型

➢长距离宏观腐蚀电池

这类电池发生在埋设于地下的长距离金属构件上。

由于土壤的组成、结构不同所形成的腐蚀电池。

可产生相当可观的腐蚀电流，也称为长线电流。

2012-9-14

16

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.3 土壤腐蚀的类型



图 3-20 杂散电流引起的腐蚀

› 杂散电流腐蚀

所谓杂散电流是指由原定的正常电路漏失的电流。其来源主要有电气化铁道、电焊机、电化学保护装置、电解槽等。杂散电流可导致地下金属设施发生严重的腐蚀破坏作用。其腐蚀量与杂散电流的强度成正比，服从法拉第电解规律。例如，1A的电流流过管线，那么一年就会溶解9kg的钢铁。在土壤中发生杂散电流的强度有时很大，壁厚为7-8mm的钢管，4-5个月即可发生腐蚀穿孔。腐蚀事故表明，直流电和交流电均能产生杂散电流腐蚀，但后者仅为前者的1%。

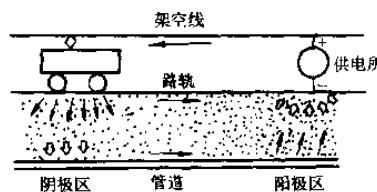
2012-9-14

17

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.3 土壤腐蚀的类型

› 杂散电流腐蚀



土壤中的杂散电流腐蚀实例示意图

2012-9-14

18



第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.3 土壤腐蚀的类型

➤微生物腐蚀

和土壤腐蚀有关的微生物有四类：硫化菌(SOB)、厌氧菌(SRB)

、真菌、异养菌。

真菌和异养菌属于喜氧菌，在喜氧的条件下生存。

厌氧菌的生存及活动是在缺氧的条件下进行的。

硫化菌属于中性菌，有氧无氧都可进行生机活动。

微生物对地下金属构件的腐蚀，是新陈代谢的间接作用，不直接参与腐蚀过程。

2012-9-14

19



第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.4 影响土壤腐蚀的因素

➤电阻率

土壤电阻率与土壤的含水量、孔隙度等因素有关。通常认为，土壤电阻率越大，土壤腐蚀越严重。

➤透气性（孔隙度）

较大的孔隙度有利于氧渗透和水分的保存，而氧和水分都是促进腐蚀发生的因素。

关于透气性对土壤腐蚀的影响，不能简单下定论，要视具体情况进行分析。

2012-9-14

20

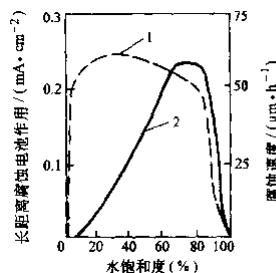
第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.4 影响土壤腐蚀的因素

› 含水量

含水量对腐蚀的影响较大。

含水量很高时，腐蚀速度减小，主要是氧的扩散受阻，随着含水量的减少，氧的去极化变得容易，腐蚀速度增加。但当降到10%以下时，由于水分含量太少，使阳极极化和土壤比电阻加大，腐蚀速度急速降低。



土壤 (含0.1mol/LNaCl) 中含水量和钢管的
腐蚀速度及长距离电池作用关系
1-腐蚀速度 2-长距离腐蚀电池作用

2012-9-14

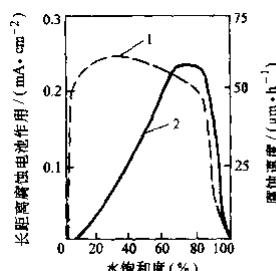
21

第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.4 影响土壤腐蚀的因素

› 含水量

随含水量的增加，土壤电阻率减小，氧浓差电池作用增加，达到最大值后，含水量再增加并接近饱和时，氧的浓差作用减小。在实际的腐蚀情况下，埋得深的管道，因土壤湿度较大，成为氧浓差电池的阳极。



土壤 (含0.1mol/LNaCl) 中含水量和钢管的
腐蚀速度及长距离电池作用关系
1-腐蚀速度 2-长距离腐蚀电池作用

2012-9-14

22



第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.4 影响土壤腐蚀的因素

➤ 含盐量和酸度

土壤中含盐量越大，土壤的电导率越大，使土壤的腐蚀性增加。

通常土壤中含盐的质量分数约为 $8 \times 10^{-3\%} \sim 1.5 \times 10^{-1\%}$ ，含有的元素有钠、钙、镁、碳酸根、氯和硫酸根离子。氯离子对腐蚀的影响作用较大，可引起局部腐蚀。

大部分土壤属中性范围，也有碱性土壤（如盐碱土）及pH值为3-6的酸性土壤（如腐殖土、沼泽土）。随土壤pH值的降低、土壤腐蚀速度增加，但是，当土壤中含有大量有机酸时，虽然土壤的pH值近于中性，但腐蚀性很强。因此，要测定土壤中酸性物质的含量（总酸度），来检测土壤的腐蚀性。

2012-9-14

23



第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.5 防止土壤腐蚀的措施

➤ 涂层保护

土壤中普遍使用的涂层主要有：石油沥青、煤焦油沥青、环氧煤沥青等，为了增加涂层的强度，往往加入填料或用石棉、玻璃纤维等无机纤维缠绕加固。近年来又发展了聚乙烯塑料带及环氧树脂喷涂等方法。

涂层防护的作用是使金属构件与土壤介质隔离，阻止金属表面的腐蚀。

为此，对涂层有以下几点要求：

- (1)与基体金属的粘结力要好，涂层完整。
- (2)具有良好的防水性和化学稳定性。
- (3)强度高，韧性好。
- (4)具有一定的塑性。
- (5)材料来源容易，价格低廉，便于施工。

2012-9-14

24



第三节 在土壤中的腐蚀特点

3.5 防止土壤腐蚀的措施

➤ 阴极保护

阴极保护是依靠外加直流电流或牺牲阳极，使被保护金属成为阴极达到一定阴极电位，来防止腐蚀的方法。实际工程常采用涂层和阴极保护联合方法，即可弥补保护涂层的针孔和破损的缺陷，又可以减少阴极保护的电能消耗。

2012-9-14

25



第四节 在海水中的腐蚀特点

概述

➤ 海水是自然界中量最大、腐蚀性强的一种天然电解质，约占地球面积的7/10。常用金属及合金都会遭受不同程度的腐蚀。

我国海岸线很长，随着沿海交通运输、工业生产和XX建设的发展，金属结构物的腐蚀问题也日益突出。因此，研究和解决海水腐蚀问题，对我国海洋运输和海洋开发及海军现代化的建设都具有重要意义。

2012-9-14

26

第四节 在海水中的腐蚀特点

4.1 海水腐蚀的特征及电化学过程

海水是一种含有多种盐类近中性的电解质溶液，盐分中主要是NaCl，占总盐度的77.8%，其次是MgCl₂。

常用3%或3.5%的NaCl溶液近似地代替海水来进行某些研究。

由于海水中大量的盐分，使其电导率很高，远远超过河水和雨水。海水的平均电导率约为 $4 \times 10^{-2} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，河水 $2 \times 10^{-4} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，雨水 $1 \times 10^{-5} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

2012-9-14

27

第四节 在海水中的腐蚀特点

4.1 海水腐蚀的特征及电化学过程

表 3-12 海水的主要组成

离 子	$<10^{-6}$ (质量分数)	离 子	$<10^{-6}$ (质量分数)	离 子	$<10^{-6}$ (质量分数)
Cl ⁻	18980.0	F ⁻	1.3	Ca ²⁺	400.0
SO ₄ ²⁻	2649.0	H ₃ BO ₃	26.0	K ⁺	380.0
HC ₂ O ₄ ⁻	139.0	Na ⁺	10556.0	Sr ²⁺	13.3
Br ⁻	64.0	Mg ²⁺	1272.0		

表 3-13 氧在海水中的溶解度/(cm³/L)

温 度 °C	盐的浓度, %					
	0.0	1.0	2.0	3.0	3.5	4.0
0	10.30	9.65	9.00	8.36	8.04	7.72
10	8.92	7.56	7.09	6.63	6.41	6.18
20	6.57	6.22	5.88	5.52	5.35	5.17
30	5.57	5.27	4.95	4.65	4.5	4.34

2012-9-14

28

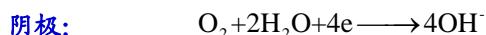


第四节 在海水中的腐蚀特点

4.1 海水腐蚀的特征及电化学过程

海水中溶有一定的氧量，是影响海水腐蚀的主要因素。对于在海水中难以钝化的碳钢等金属材料来说，海水的含氧量越高，金属的腐蚀速度也越大。

由于一定量氧的存在，决定了大多数金属在海水中腐蚀的电化学特征。除电极电位很负的镁及其合金外，所有工程金属材料在海水中都属氧去极化腐蚀。其电极反应如下：



2012-9-14

29



第四节 在海水中的腐蚀特点

4.1 海水腐蚀的特征及电化学过程

- 海水腐蚀是氧的去极化腐蚀，尽管表层海水被氧所饱和，但氧通过扩散层到达金属表面的速度小于氧还原的阴极反应速度。在静止或流速不大的海水中，阴极过程通常受氧的扩散速度控制。
- 海水中含有大量的氯离子等卤素离子，对大多数金属其阳极阻滞作用较小，另外，可破坏金属的钝化膜。
- 海水是良好的导电介质，电阻较小。和大气及土壤腐蚀相比较，所构成的腐蚀电池作用将更强烈，影响范围更远。
- 海水中除发生全面腐蚀外，还易发生局部腐蚀，如孔蚀和缝隙腐蚀。在高流速情况下，还易产生空泡腐蚀和冲刷腐蚀。

2012-9-14

30

第三节 在海水中的腐蚀特点

4.2 影响海水腐蚀的因素

➢含盐量的影响

海水含盐量用盐度表示。盐度指1000g海水中溶解的固体盐类物质的总克数。

海水的总盐度随海区不同而变化，通常在相通的海洋中相差不大。中国近海的盐度平均约为32‰，黄海、东海在31‰~32‰之间，南海为35‰。但在某些海区和隔离性的内海中，变化较大。江河入海处，海水被稀释和污染，使总盐度和盐类组成有较大变化。

2012-9-14

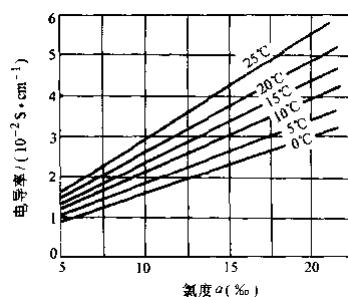
31

第三节 在海水中的腐蚀特点

4.2 影响海水腐蚀的因素

➢含盐量的影响

海水中含盐量直接影响电导率和含氧量，对腐蚀产生影响。随含盐量的增加，水的电导率增加而含氧量降低，钢腐蚀速度加大。



海水的电导率和含氯量之间的关系

2012-9-14

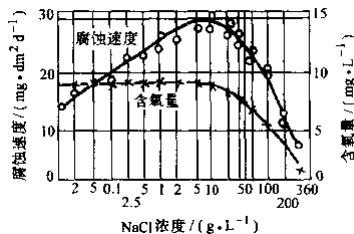
32

第三节 在海水中的腐蚀特点

4.2 影响海水腐蚀的因素

➢含盐量的影响

但当盐量达一定值后，水中的溶氧量降低，又使腐蚀速度减小。



钢的腐蚀速度与含盐量的关系

2012-9-14

33

第三节 在海水中的腐蚀特点

4.2 影响海水腐蚀的因素

➢溶氧量的影响

由于大多数金属在海水中发生的腐蚀属于氧的去极化腐蚀，因此海水中溶解氧的量是影响海水腐蚀的重要因素。氧在海水中的溶解度随海水的盐度、深度、温度等环境的变化，有较大的差异。

常压下氧在海水中的溶解度

温度 / °C	盐的质量分数 (%)					
	0.0	1.0	2.0	3.0	3.5	4.0
0	10.30	9.65	9.00	8.36	8.04	7.72
0	8.02	7.56	7.09	6.63	6.41	6.18
20	6.57	6.22	5.88	5.52	5.35	5.17
30	5.57	5.27	4.95	4.65	4.50	4.34

2012-9-14

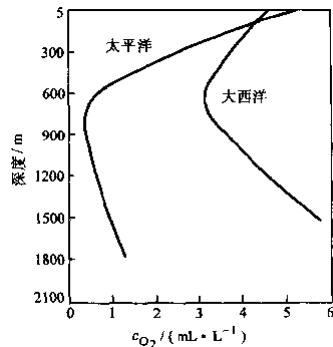
34

第三节 在海水中的腐蚀特点

4.2 影响海水腐蚀的因素

› 溶氧量的影响

如图最低含氧量出现在中层800m左右深处，这是因为从海面缓慢下沉的腐烂微生物耗掉了大量的氧。但由于海底含氧、海水的流动及温度的降低，使中层海深以下氧含量又有所升高。在美国东海岸大西洋海域，表层含氧量为4.59mol/L，700m处最低，为3.11mol/L，1500m处为5.73mol/L。



海水中氧含量与水深的关系

2012-9-14

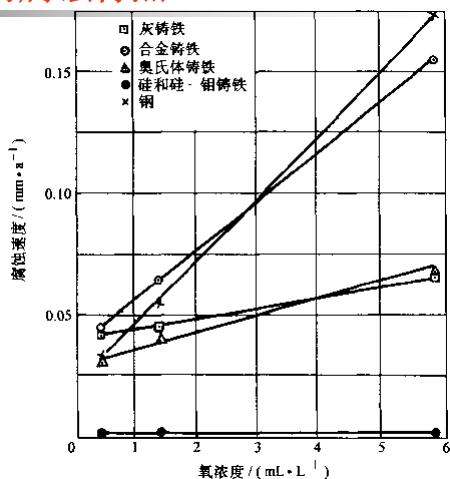
35

第三节 在海水中的腐蚀特点

4.2 影响海水腐蚀的因素

› 溶氧量的影响

对不同种类的金属材料，含氧量对腐蚀的作用不同。对碳钢、低合金钢等在海水中不易钝化的金属，腐蚀速度随含氧量的增加而增加，但对依据表面钝化膜而提高耐蚀性的金属，如不锈钢、铝等，含氧量增加，有利于钝化膜的形成和修补、使钝化膜的稳定性提高。



暴露一年后海水中的氧浓度与钢和铸铁腐蚀速度的关系变化图

2012-9-14

36

第三节 在海水中的腐蚀特点

4.2 影响海水腐蚀的因素

➤所处环境的影响

海洋大气区(第1区)、 飞溅区(第2区)、 潮差区(第3区)、 全浸区(第4区)和海底泥浆区(第5区)。

环境不同，金属的腐蚀速度有很大差异。

碳钢在飞溅区，处于干、湿交替，氧供应充足具有相当高的腐蚀性。

不同海洋环境中碳钢和低合金钢的腐蚀速度

海洋环境	腐蚀速度/(mm·a ⁻¹)	
	耐海水低合金钢	碳钢
海洋大气	0.04~0.05	~0.2
飞溅区	0.1~0.15	0.3~0.5
潮差区	~0.1	~0.1
全浸区	0.10~0.15	0.10~0.15
海底泥浆区	~0.06	~0.1

2012-9-14

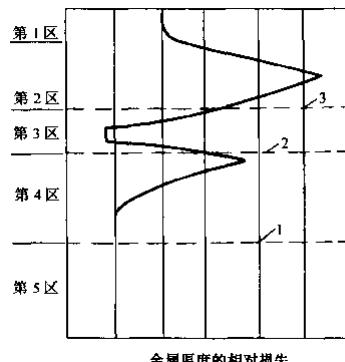
37

第三节 在海水中的腐蚀特点

4.2 影响海水腐蚀的因素

➤所处环境的影响

高潮位区在涨潮时与含氧的海水接触，腐蚀也较严重。潮差区相对低潮线以下的全浸区部分，形成明显的氧浓差电池作用，潮差区供氧充分为阴极，而恰好位于低潮线下的全浸区，因供氧相对较少而成为阳极，使腐蚀加速。



钢板桩在不同深度海水中腐蚀速度的变化
1-泥浆线 2-平均低潮位线 3-平均高潮位线

2012-9-14

38



第三节 在海水中的腐蚀特点

4.2 影响海水腐蚀的因素

➤ 流速的影响

海水流速的不同改变了供氧条件，因此对腐蚀产生重要影响。

对在海水中不能钝化的金属，如碳钢、低合金钢等，随海水流速的增加，腐蚀速度亦增大。但对于不锈钢、铝合金、钛合金等易钝化金属，海水流速增加会促进钝化，提高耐蚀性。因此在一定的范围内提高流速是有利的。

2012-9-14

39



第三节 在海水中的腐蚀特点

4.2 影响海水腐蚀的因素

➤ 海洋生物的影响

海洋生物包括多种动物、植物及微生物，如海藻、牡蛎、藤壶等，对海水腐蚀影响较大的是附着生物，当金属浸入海水数小时后，便会附着一层生物粘液。生物的附着不仅使阻力增大，航速降低，堵塞水流使传热效率降低，而且由于海洋生物的生命活动使氧量增加，pH值降低，提高金属的腐蚀速度，另外，还会使局部腐蚀倾向增加。

2012-9-14

40

第四节 在海水中的腐蚀特点

4.3 防止海水腐蚀的措施

➤合理选材

不同金属在海水中的耐蚀性差别较大。对于大型海洋工程结构，通常采用价格低廉的低碳钢和低合金钢，再覆之涂料和采取阴极保护措施。环境的腐蚀条件比较苛刻时，应选用较耐蚀的材料。如船舶螺旋桨用铸造铜合金(铍青铜、铝青铜等)制造，军用快艇选用铝合金，海洋探测用深潜器选用钛合金制造等。

2012-9-14

41

表 9-7 金属材料耐海水腐蚀性能

合 金	全浸区腐蚀率/(mm·a ⁻¹)		潮汐区腐蚀率/(mm·a ⁻¹)		抗冲击腐蚀性能
	平 均	最 大	平 均	最 大	
低碳钢(无氧化皮)	0.12	0.40	0.3	0.5	劣
低碳钢(有氧化皮)	0.09	0.90	0.2	1.0	劣
普通铸铁	0.15	—	0.4	—	劣
铜(冷轧)	0.04	0.08	0.02	0.18	不 好
镍巴黄铜(10%Zn)	0.04	0.05	0.03	—	不 好
黄铜(70Cu-30Zn)	0.05	—	—	—	满 意
黄铜(22Zn-2Al-0.02As)	0.02	0.18	—	—	良 好
黄铜(20Zn-1Sn-0.02As)	0.04	—	—	—	满 意
黄铜(60Cu-40Zn)	0.06	脱 Zn	0.02	脱 Zn	良 好
青铜(5%Sn0.1P)	0.03	0.1	—	—	良 好
铝青铜(7%Al12%Si)	0.03	0.08	0.01	0.05	良 好
铜镍合金 (70Cu-30Ni)	0.003	0.03	0.05	0.3	WR _r 0.15%，良好 WR _r 0.45%，优秀
镍	0.02	0.1	0.4	—	良 好
蒙乃尔(65Ni-31Cu 4(Fe+Mn))	0.03	0.2	0.5	0.25	良 好
因科镍尔合金(80Ni-13Cr)	0.005	0.1	—	—	良 好
哈氏合金(53Ni-19Mo-17Cr)	0.001	0.001	—	—	优 秀
Cr13	—	0.28	—	—	满 意
Cr17	—	0.20	—	—	满 意
Cr18Ni9	—	0.18	—	—	良 好
Cr28-Ni20	—	0.02	—	—	良 好
Zn(99.5%Zn)	0.028	0.03	—	—	良 好
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	优 秀

2012-9-14

42



第四节 在海水中的腐蚀特点

4.3 防止海水腐蚀的措施

➤涂层保护

涂装技术仍是至今普遍采用的方法。涂料的品种较多，应根据构筑物所处环境进行选择。海洋大气区、飞溅区和潮差区主要依靠涂层来防护。另外，选择耐蚀性好的涂料固然重要，但涂装的施工质量决不可忽视。涂装前的表面处理十分重要，要严格进行脱脂、除锈和表面的清洁工作。

2012-9-14

43



第四节 在海水中的腐蚀特点

4.3 防止海水腐蚀的措施

➤阴极保护

阴极保护是海水全浸状态时防腐的有效办法，通常与涂料联合保护。实施阴极保护有外加电流和牺牲阳极两种方法，阴极保护不仅可防止均匀腐蚀，而且对局部腐蚀如孔蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀、电偶腐蚀、空泡腐蚀等也是有效的。

2012-9-14

44



* 微生物腐蚀

微生物腐蚀是指在微生物生命活动参与下所发生的腐蚀过程。可发生在地下管道、矿井、水坝、油井、码头及循环冷却水系统中。微生物除了可促使金属材料腐蚀外，还可以降低非金属材料的稳定性。在冷却水的换热设备中，微生物除导致列管局部穿孔外，还增加流体阻力，使传送容量减少并使传热效率大幅度下降。

2012-9-14

45



* 微生物腐蚀

一、微生物的腐蚀作用及腐蚀特征

微生物腐蚀并非是它本身对金属的侵蚀作用，而是微生物生命活动的结果间接地对金属腐蚀的电化学过程产生影响，主要有以下四种方式：

- 1)新陈代谢产物的腐蚀作用。
- 2)微生物生命的活动影响电极反应的动力学过程，如硫酸盐还原菌的活动过程促进了阳极去极化过程。
- 3)使金属的环境如氧浓度、接浓度、pH值等发生改变，形成局部腐蚀电池。
- 4)破坏金属表面的非金属覆盖层，还能破坏缓蚀剂的稳定性。

2012-9-14

46



* 微生物腐蚀

一、微生物的腐蚀作用及腐蚀特征

两个特征：

(1) 金属表面总是伴随有粘泥的沉积。

许多微生物都能分泌粘液，粘泥是粘液与介质中的金属腐蚀产物、矿物质、藻类、土粒和死亡菌体的混合物。金属遭受微生物腐蚀的程度往往和粘泥积聚的数量密切相关。

(2) 腐蚀部位总带有孔蚀的迹象。是由于在粘泥覆盖下，局部金属表面贫氧引起氧浓差电池。

2012-9-14

47



* 微生物腐蚀

二、与腐蚀有关的重要微生物

(一) 喜氧菌(或称嗜氧菌)

指有游离氧存在条件下能生存的一类细菌：

(1) 铁细菌，与腐蚀有关的主要是一类氧化铁杆菌。最适宜的生长温度是20 ~ 25℃。pH值在7-1.4之间。铁细菌在含有机物和可溶性铁盐的中性水、土壤和锈层中存在。靠二价铁离子失电子变为三价铁离子反应获得新陈代谢作用的能量。三价铁离子可将硫化物氧化成硫酸。

2012-9-14

48



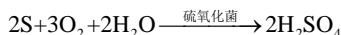
* 微生物腐蚀

二、与腐蚀有关的重要微生物

(一)喜氧菌(或称嗜氧菌)

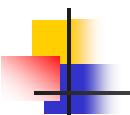
指有游离氧存在条件下能生存的一类细菌：

(2)硫氧化菌、与腐蚀有关的有排硫杆菌、氧化硫杆菌和水泥崩解硫杆菌。其中氧化硫杆菌最为重要。适宜生长的温度是28-30℃，pH值在2.5-3.5。硫氧化菌能将硫及硫化物氧化成硫酸，其反应为：



2012-9-14

49



* 微生物腐蚀

二、与腐蚀有关的重要微生物

(二)厌氧菌

指在缺乏游离氧或几乎无游离氧的条件下才能生存，有氧反而不能生存的一类细菌。

和腐蚀有关的厌氧菌主要是硫酸盐还原菌。广泛存在于中性土壤、海水、油井、河水、港湾和锈层中。其特点是把硫酸盐还原为硫化物，如硫化氢等。适宜生长的温度为25-30℃(耐热菌种可在55-65℃生长)。pH值在7.2-7.5范围。

还有一些细菌在有氧和无氧的环境中都能生存，如硝酸盐还原菌，能把硝酸盐还原为亚硝酸和氨。最适宜的生长温度为27℃，pH值在5.5-8.5，主要存在于有硝酸盐的土壤和水中。

2012-9-14

50



* 微生物腐蚀

三、细菌腐蚀的控制措施

(一)使用高效、低毒、稳定、价廉并且本身无腐蚀性等特点的杀菌剂或抑菌剂

(二)改变环境条件，控制细菌的生长

(三)覆盖层保护

非金属覆盖层，如地下管道用煤焦油沥青涂层、环氧树脂漆、聚乙烯涂层等；金属覆盖层，如镀铬、涂锌等。

(四)阴极保护和涂层相结合的方法

2012-9-14

51



Thank you!

2012-9-14

52