

水下钢筋混凝土结构中钢筋锈蚀原因及评测注册建筑师考试
PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/539/2021_2022__E6_B0_B4_E4_B8_8B_E9_92_A2_E7_c57_539673.htm 随着时间的不断推延

，许多水下混凝土构件中的钢筋逐渐被渗水而发生锈蚀，从而导致其构件的耐久性降低，结构安全性也降低[1].因此，引起的工程损坏事例不断发生，由此带来的工程损失及处理费用也迅速增加，这也引起了建筑工程界和路桥部门的高度重视。其中，水下混凝土结构中钢筋的锈蚀较为普遍，特别是沿海地区的闸、涵、桥、防护堤及盐湖地区的水下混凝土较为严重，据资料显示，施工质量较差的混凝土构件，因为钢筋的锈蚀，正常使用几年后，就会产生顺筋胀裂，从而导致结构破坏，以致钢筋混凝土的失效。

一、水下混凝土结构中钢筋锈蚀的原因
混凝土在水化作用时，水泥中氯化钙生成氢氧化钙，使混凝土中含有大量的氢氧根离子，使PH值一般可达到12.5-13.5，钢筋在这样的高碱环境中，表面容易生成一层钝化膜[2]，研究表明，这种钝化膜能阻止钢筋的锈蚀，只有这层钝化膜遭到破坏，钢筋开始锈蚀。

1.1 混凝土碳化引起钢筋锈蚀
因为混凝土硬化后，表面混凝土遇到空气中二氧化碳的作用，使氢氧化钙慢慢经过化学反应变成碳酸钙，使之碱性降低，碳化到钢筋表面时，使钝化膜遭到破坏，钢筋就开始腐蚀，众所周知，大气是二氧化碳的主要来源，大气中通常含0.2%-0.3%的二氧化碳，而且只要有大气存在的地方，就必然存在二氧化碳，而水下混凝土结构也有不少部分存在于二氧化碳环境中，对于普通的硅酸盐而言，水化产生的氢氧化钙可达到整个水化产物的10%-15%，它作为水泥水化

产物之一，一方面，它是混凝土高碱度的提供源和保证者，对保护钢筋起着十分重要的作用；另一方面，它又是混凝土中最不稳定的成分之一，很容易与环境中的酸性介质发生中和反应，使混凝土碳化，并逐步延伸钢筋，使钢筋开始锈蚀[3]。

1.2 氯离子引起的钢筋锈蚀

水下混凝土中，氯离子进行混凝土通常有两种途径：其一是“掺入如含有氯盐的外加剂，使用海砂，施工用水含氯盐，在含盐环境中搅拌，浇筑混凝土时，其二是”渗入“环境中的氯盐通常通过混凝土的宏观、微观缺陷，渗入到混凝土中并达到钢筋表面，直接或间接破坏混凝土的包裹作用及钢筋钝化的高碱度两种屏障，使之发生锈蚀继而锈蚀产物体积膨胀，使混凝土保护层开裂与脱落[4]。在海洋环境中的水下混凝土结构大都是这种情况。氯离子引起钢筋锈蚀可以从以下几个方面分析：

1.2.1 破坏钝化膜

混凝土属于碱性材料，其孔隙溶液的PH值为12-14[2]，因而对钢筋具有较好的保护作用，有利于钢筋表面形成保护钢筋的钝化膜，但这种钝化膜只有在高碱环境中才是稳定的。如果周围环境PH值降到11.8时，钝化膜就开始变得不稳定，当PH值继续降到9.88时，钝化膜就开始变得难以生存或逐渐破坏，使得进入混凝土中的氯离子吸附于钝化膜处，并使钝化膜的PH值迅速降低，逐步酸化，从而使得钝化膜被破坏。

1.2.2 形成腐蚀电流

无论混凝土碳化还是氯离子侵蚀，都可以引起钢筋部分锈蚀，在钝化膜破坏处有腐蚀电流产生，在钝化膜破坏还与未破坏区这间存在电位差，有宏电流产生，但微电流要比宏电流大得多。又因为氯离子的存在大大降低了混凝土的电阻率，并且氯离子和铁离子的结合可以形成易溶于水的氯化铁，从而加速了腐蚀产物向外的扩散过程，并由

于宏观腐蚀电流在钝化膜破坏区边边缘最大，使得靠近钝化区的边缘的局部钝化膜破坏较快，这种现象称为局部锈蚀钢筋的“边缘效应”。

1.2.3 氯离子导电作用

正是由于混凝土结构中氯离子的存在，大大降低了阴、阳极之间的欧姆电阻，强化了离子通路，提高了腐蚀电流的效率，从而加速了钢筋的电化学腐蚀过程，氯离子对混凝土中钢筋锈蚀更严重更快速[5]。而氯化物是钢筋的一种活化剂，它能置换钝化膜的氧而使钢筋发生溃烂性腐蚀，而氯盐是高吸湿性的盐，它能吸收空气中的水分变成液体，从而使氯离子从扩散作用变成渗透作用，达到氯离子，透过保护区去腐蚀钢筋的目的。

1.2.4 氯离子的阳极去极化作用

氯离子不仅促成了钢筋表面的腐蚀电流，而且加速了电流的作用过程，阳极反应过程 $\text{Fe} - 2\text{e} = \text{Fe}^{2+}$ ，如果生成的 Fe^{2+} 不能及时搬运而积累于阴极表面，则阴极反应就会因此而受阻，相反，如果生成的 Fe^{2+} 能及时被搬走，那么。阳极反应过程就会顺利乃至加速进行，Cl与Fe相遇就会生成 FeCl_2 ，Cl能使Fe消失而加速阳极过程，通常把阳极过程受阻称做阳极极化作用，而加速阳极过程者，称作阳极去极化作用，氯离子正是发挥了阳极去极化作用的功能。应该说明的是，在氯离子存在的混凝土中，钢筋通常的锈蚀产物很很难找到 FeCl_2 的存在，这是由于 FeCl_2 是可溶的，在向混凝土内扩散遇到氢氧根离子，立即生成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 的一种沉淀物质又进一步氧化成铁的氧化物，即通常说的“铁锈”，由此可见，氯离子只起到了“搬运”的作用，而不被消失，也就是说进入混凝土的氯离子，会周而复始地起破坏作用，这也是氯盐危害特点之一。

1.2.5 氯离子与水泥的作用及对钢筋锈蚀的影响

水泥中的铝酸三钙，在一定条件下，可与氯盐作用生成

不溶性“复盐”，从而降低了混凝土中游离氯离子的存在，从这个角度讲，含铝酸三钙高的水泥品种有利于氯离子的侵害，海洋环境中优先选用铝酸三钙含量高的普通硅酸盐水泥，然而，复盐只有在碱性环境下才能生成和保持稳定，当混凝土的碱度降低时，复盐会发生分解，重新释放出氯离子来。在做钢筋锈蚀实验不难发现，如果大面积的钢筋表面上具有高浓度的氯化物，则氯化物所引起的锈蚀是均匀的，但是在不均质的混凝土中，常见的局部锈蚀，导致点蚀[6].首先则是在很小的钢筋表面上，混凝土孔隙液具有较高的氯化物浓度，形成破坏钝化膜的具备条件，形成小阳极，此时，钢筋表面的大部分仍具钝化膜，成为大阳极，这种特点的由大阳极、小阴极组成的锈蚀电偶，由于大阴供养充电，使小阳极上的铁迅速溶解而产生沉淀，小阴极区局部酸化，同时，由于大阴极区的阴极反应，生成氢氧化根离子，PH值增高，氯离子提高了混凝土的吸湿性，使得阴极与阳极之间的混凝土孔隙的欧姆电阻降低，这几方面的自发变化，将使上述局部锈蚀电偶得以自发的一局部深入形式继续进行。

二、评定与检测水下混凝土构件中钢筋的锈蚀状态

为了减少钢筋锈蚀对结构造成危害，需要即时了解现有的结构中的钢筋锈蚀状态，以便对钢筋采取必要的措施进行预防，我们对钢筋锈蚀的测试，可采用如下几种方法：

2.1视觉法和声音法

在常规的混凝土结构中，钢筋锈蚀的第一视觉特征是钢筋表面出现大量的锈斑，显然，只要检查钢筋表面就可以看到；有时，混凝土的表面下的裂缝发展到表面，混凝土最终开裂时可直接检查钢筋在早期可以用“发声”方法估计下部裂缝引起的破坏。使用小锤敲击表面，用声波方面检测顺筋方向的裂缝的出

现。2.2氯离子的监测 它需要对钢筋以上或周围的混凝土进行采样，一般通过钻芯方法，然后用电测法或化学方法确定氯含量，最近，以有中和反应法仪器用于结构中氯离子含量的检测。2.3极化电阻法 极化电阻法（线形极化法）[7]作为一个锈蚀监测方法，已经成功的应用于生产工业和许多环境，该方法的原理是将锈蚀率与极化曲线在自由锈蚀电位处的斜率联系在一起，可以用双电极或三电极系统监测材料与环境耦合的锈蚀率。极化电阻法同样检验混凝土中的定位的问题；一个小操作可对放在砵中任何需要的位置，但回填土料同样是影响测量结果的一个非常关键性的因素。2.4自然电位法 混凝土中的钢筋与周围介质在交界面上相互作用形成双电层[8]，并与介质两侧产生电位差，电位差大小能反应钢筋所处的状态，既活化或钝化状态，自然电位通过测定钢筋电极对照比电极的极对电位差来定性判定钢筋锈蚀状况，自然电位法设备简单，价格便宜，操作方便，对混凝土的钢筋锈蚀体系无干扰，自然电位法的判定标准如下：Egt.Elt.-350ml, 95%的锈蚀的可能性。上述关于测量和监测钢筋锈蚀的方法类型表明，与实际结构应用对比，一些方法更适合于与研究发展项目，当然，目前，应用的电化学方法还处于信息积累状态，还需要进一步发展，纵观这一领域，当前评估钢筋锈蚀损失的方法多用电化学法和声学法或视学方法。水下混凝土的锈蚀越来越引起国内外人们的关注和探究，我们只有掌握了它的锈蚀原理，锈蚀度，方能更有效地防治，对现有结构抗力评定与可靠性评价，准确预测结构的使用寿命及剩余寿命，具有十分重要的意义，由于水下建筑物显有多样性和复杂性，在研究钢筋的锈蚀方面的工作难度大，进展慢，在

此方面还需要做大量的研究工作，以便满足、适应当前的建筑市场需要。（百考试题注册建筑师）100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 www.100test.com