

受腐蚀钢筋混凝土结构性能的研究 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/286/2021_2022__E5_8F_97_E8_85_90_E8_9A_80_E9_c57_286829.htm

1 引言 钢筋混凝土结构是目前应用较广的结构形式之一。随着建筑物的老化和环境污染的加重，钢筋混凝土结构耐久性问题越来越引起国内外广大研究者的关注。在第二届国际混凝土耐久性会议上

，Mehta教授指出："当今世界混凝土破坏原因，按递减顺序是：钢筋腐蚀、冻害、物理化学作用"。他明确地将"钢筋腐蚀"排在影响混凝土耐久性因素的首位。而来自海洋环境的氯盐和用于化冰雪的除冰盐，又是造成钢筋腐蚀的主要原因。美国1984年报道，仅就桥梁而言，57.5万座钢筋混凝土桥，一半以上出现钢筋腐蚀破坏，40%承载力不足和必须修复与加固处理，当年的修复费为54亿美元；1988年报道，钢筋混凝土腐蚀破坏的修复费，一年要2500亿美元，其中桥梁修复费为1550亿美元（是这些桥初建费用的4倍）。加拿大早期大量使用除冰盐，使钢筋混凝土桥梁等破坏严重。欧洲、澳大利亚、海湾国家等，都有以氯盐为主的钢筋腐蚀破坏问题，其中英国修复费为每年50亿英镑。韩国曾发生一系列建筑物破坏、倒塌事件，其中很多也与"盐害"有关。在我国已经发现许多海港码头的混凝土梁、板使用不到10年已普遍出现顺筋锈胀开裂、剥落。北京、天津的许多立交桥，因为冷天撒盐化冰雪也日益暴露出严重的钢筋腐蚀问题，不得不斥巨资修复。

2 钢筋的的腐蚀机理 钢筋的腐蚀过程是一个电化学反应过程。混凝土孔隙中的水分通常以饱和的氢氧化钙溶液形式存在，其中还含有一些氢氧化钠和氢氧化钾，PH值约为12.5

。在这样强碱性的环境中，钢筋表面形成钝化膜，它是厚度为20-60?的水化氧化物（ $n\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot m\text{H}_2\text{O}$ ），阻止钢筋进一步腐蚀。因此，施工质量良好、没有裂缝的钢筋混凝土结构，即使处在海洋环境中，钢筋基本上也能不发生腐蚀。但是，当由于各种原因，钢筋表面的钝化膜受到破坏，成为活化态时，钢筋就容易腐蚀。呈活化态的钢筋表面所进行的腐蚀反应的电化学机理是，当钢筋表面有水分存在时，就发生铁电离的阳极反应和溶解态氧还原的阴极反应，相互以等速度进行。其反应式如下：阳极反应 $\text{Fe} - 2\text{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ 阴极反应 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$ 腐蚀过程的全反应是阳极反应和阴极反应的组合，在钢筋表面析出氢氧化亚铁，该化合物被溶解氧化后生成氢氧化铁 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，并进一步生成 $n\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot m\text{H}_2\text{O}$ （红锈），一部分氧化不完全的变成 Fe_3O_4 （黑锈），在钢筋表面形成锈层。红锈体积可大到原来体积的四倍，黑锈体积可大到原来的二倍。铁锈体积膨胀，对周围混凝土产生压力，将使混凝土沿钢筋方向开裂，进而使保护层成片脱落，而裂缝及保护层的剥落又进一步导致更剧烈的腐蚀。

3 受腐蚀钢筋混凝土结构性能研究的现状

3.1 研究方法

目前，对受腐蚀钢筋混凝土结构的研究方法主要是试验研究和有限元分析。试验研究中，腐蚀试件的模拟一是通过试验室试验，包括快速腐蚀试验（电化学腐蚀、加氯盐腐蚀等）和盐雾试验；二是长期自然暴露试验；三是替换构件法。有限元分析中，大多采用钢筋混凝土非线性有限元方法对受腐蚀钢筋混凝土构件进行非线性模拟。电化学快速腐蚀试验通常是将试件浸入一定浓度的 NaCl 溶液中，用外部电源通以恒电流，混凝土中的钢筋做阳极，不锈钢做阴极，通过控制电流密度的大小和通电时间

来控制钢筋的腐蚀量。在混凝土中掺加氯盐的快速腐蚀试验一般是在浇注混凝土试件时，在混凝土拌合物中加入一定比例的氯盐（如 CaCl_2 ），然后在自然条件下放置，或是施加一定大小的电流进行加速腐蚀。盐雾室中的腐蚀试验是用来模拟氯化物在混凝土试件中的渗透，一般将试件放置在一个密闭的盐雾室中，盐雾室上部的四个角部各有一个喷雾口，盐雾室中还可以进行干湿交替、温度变化等。长期自然暴露试验是将钢筋混凝土试件放置在各种自然侵蚀环境，如大气环境、海洋环境、化工环境中，试验的周期较长，但能够较真实地反映实际情况。替换构件法是对长期处于腐蚀环境下的、实际工程中的钢筋混凝土构件从工作现场拆下来，进行各种力学性能试验。自然腐蚀的复杂条件需要在试验室用简单但具有代表性的方法模拟，如何在试验室更好地模拟真实的腐蚀环境对构件的作用，在较短的时间里达到结构在一定时期后的腐蚀状态，对试验结果的可靠性非常重要。

3.2 受腐蚀钢筋混凝土构件的抗弯性能

钢筋腐蚀通常会改变正常配筋混凝土梁的破坏类型，完好梁一般为弯曲破坏，而受腐蚀梁很多情况下为剪切破坏[4]。受腐蚀梁在钢筋屈服前，受力裂缝不明显，裂缝高度很低，一旦出现高度较高的明显的受力裂缝，这时钢筋已经屈服，构件即将破坏。有试验表明[11]，钢筋腐蚀后，当压区腐蚀纵向裂缝宽度大于2mm时，在钢筋刚刚屈服的上部混凝土会出现被压碎的现象，破坏形态处于超筋梁和适筋梁的界限破坏状态。而当受拉钢筋腐蚀量大到一定程度时，构件会由适筋梁变为少筋梁。不管是出现超筋梁的破坏还是少筋梁的破坏，结构的破坏形态都是从有预兆的塑性破坏变为无预兆的脆性破坏。随着纵筋腐蚀量的增加

，钢筋混凝土梁的强度和刚度都在下降。钢筋腐蚀还增加了钢筋混凝土梁在使用荷载下的挠度和裂缝宽度。受腐蚀梁的抗弯强度下降主要有以下原因：钢筋腐蚀引起钢筋截面积减小；钢筋腐蚀引起钢筋名义屈服强度（由屈服荷载除以公称面积得到）减小；钢筋腐蚀引起钢筋和混凝土的粘结力下降，使得破坏区段内混凝土和钢筋的平均应变大于正常构件，不能充分地进行应力应变重分布，而导致钢筋与混凝土协同工作系数降低。只考虑腐蚀后钢筋截面积减小的计算弯曲强度与相应梁的试验弯曲强度差别较大，说明钢筋和混凝土的粘结强度降低是受腐蚀梁抗弯强度降低的主要影响因素。由于粘结力降低使得构件强度降低系数处于正常构件和无粘结构件之间。对受腐蚀的压弯构件[11][14]，大偏压构件的横向受力裂缝到达纵向腐蚀裂缝位置后不象正常构件那样有规律地向上发展，裂缝分布很不均匀，裂缝间距大于正常构件，受力裂缝也相应增大。随着钢筋腐蚀量增加，开裂荷载与极限荷载的比值略有增加，屈服荷载与极限荷载的比值比较接近，即受拉钢筋达到屈服后受压混凝土很快达到极限压应变，构件破坏。说明受腐蚀构件的延性明显降低，脆性明显增加。小偏压受腐蚀构件的承载力和刚度均有较大的降低，在同级荷载作用下的钢筋和混凝土的应变和侧向挠度均明显大于正常构件，拉区混凝土裂缝发展不明显，脆性也明显增加。

3.3 受腐蚀钢筋混凝土构件的抗剪性能

由于混凝土构件中箍筋位于纵筋外边，其保护层总是比纵筋小，因此一般箍筋首先腐蚀，其腐蚀程度往往比纵筋严重，特别是在箍筋与纵筋交接处。而箍筋不仅直接影响钢筋混凝土构件的抗剪性能，而且受腐蚀的箍筋不能有效地约束混凝土，从而对构件的

承载力有间接影响。目前，对受腐蚀混凝土构件斜截面的研究并不多见。文献[4]指出箍筋的局部腐蚀与梁的损伤有很大关系，因而影响承载能力。文献[5]对暴露钢筋的混凝土梁的剪切强度进行了研究。

3.4 受腐蚀钢筋混凝土结构中钢筋和混凝土的粘结性能

受腐蚀钢筋混凝土构件性能劣化的一个主要原因就是粘结性能的退化。有些环境下钢筋的腐蚀不是均匀腐蚀，而是局部腐蚀，对钢筋与混凝土的粘结性能影响更大。国内外研究者对腐蚀构件的粘结性能进行了大量的试验研究。一般采用拔出试件和梁试件[7][8]，也有用钢筋刻痕来模拟坑蚀[9]，还有用暴露的钢筋来模拟粘结破坏[5][6]。在模拟钢筋表面局部腐蚀的拔出试验中，极限粘结强度在钢筋腐蚀达到某一个程度（试验给出值是1%[8]）之前有所增加，但随着腐蚀进一步增加，极限粘结强度不断降低直到可以忽略不计。在模拟钢筋表面相对均匀腐蚀的梁试验中，极限粘结强度也在钢筋腐蚀达到某一个程度（试验给出值是0.5%[8]）之前有所增加，而后随着腐蚀量的增加而降低，但降低得非常缓慢。两种试验都显示自由端的滑移值随着纵向裂缝的开展而迅速降低，表明钢筋约束突然丧失，标志着粘结破坏发生的临界滑移量受钢筋表面状况和约束程度的极大影响。极限粘结强度在钢筋腐蚀初期的增加，可以解释为腐蚀所引起的体积膨胀使钢筋和混凝土之间的握裹力增加，从而使钢筋和混凝土间的粘结力不但没有下降反而有所上升。然而，在钢筋腐蚀后期开裂阶段随着腐蚀量的增加，特别是在局部腐蚀情况下，粘结性能将会受到钢筋肋严重退化、钢筋表面片状腐蚀、金属滑移及纵向裂缝加宽造成混凝土约束作用降低等因素的影响，从而降低。粘结性能退化的机理是：1、钢

筋的腐蚀产物是一层结构疏松的氧化物，在钢筋与混凝土之间形成一层疏松隔离层，明显地改变了钢筋与混凝土的接触表面，从而降低了钢筋与混凝土之间的粘接作用。2、钢筋的腐蚀产物比被腐蚀的钢材占据更大的体积，从而对包围在钢筋周围的混凝土产生径向膨胀力，当径向膨胀力达到一定程度时，会引起混凝土开裂。混凝土开裂导致混凝土对钢筋的约束作用减弱。混凝土开裂时的钢筋腐蚀量与钢筋直径、保护层厚度、混凝土强度、钢筋种类和钢筋位置等因素有关[12]。3、变形钢筋腐蚀后，钢筋变形肋将逐渐退化。在腐蚀较严重的情况下，变形肋与混凝土之间的机械咬和作用基本消失。

3.5 受腐蚀钢筋混凝土结构在使用荷载作用下的性能

钢筋混凝土构件实际上都是处于工作状态，而构件在应力状态下的腐蚀与没有加载时有很大不同，其各方面的性能亦有很大改变。荷载对受腐蚀钢筋混凝土构件的影响是多方面的，加载历史和加载级别对腐蚀的发生和发展有明显影响[2][4]，并影响混凝土中钢筋的腐蚀量，而腐蚀量反过来通过强度或刚度损失影响钢筋混凝土构件的适用性。预先加载和持续加载对腐蚀发生的影响相似[4]，在同样的暴露条件下，荷载水平的增加缩短了腐蚀发生的时间。较高的荷载水平下试件发生腐蚀较早，一般是由于加载期间混凝土产生了裂缝。裂缝使水、氯离子等侵蚀介质易于渗透到钢筋表面，加速了钢筋发生腐蚀。预先加载水平高的试件比预先加载水平低的试件对腐蚀发展的影响大。但在腐蚀初始阶段影响不明显，在后期阶段才变得显著。其原因是，腐蚀发生后的初始阶段，由预先加载产生的混凝土的微裂缝可能由于腐蚀产物的填充作用减小甚至闭合，降低了侵蚀介质的进一步渗透，从而减

小了腐蚀速率。建议的临界裂缝大约是0.1~0.3mm[4]，在此值以下裂缝一般不影响钢筋的腐蚀过程。与预先加载相似，承受较高水平持续荷载的试件具有较高的腐蚀量，这是由于混凝土中裂缝数量和大小的增加。同预先加载情形不同，持续荷载下大部分混凝土裂缝在整个腐蚀过程中不断张开。所以，持续加载对腐蚀发展的影响更严重。在同级荷载下，持续加载构件的腐蚀量高于预先加载的构件。高的荷载水平还增加了钢筋混凝土构件的初始和长期挠度。

3.6 受腐蚀钢筋混凝土结构的动力性能

由于腐蚀使钢筋的截面尺寸、表面状况以及钢筋和混凝土之间的粘结等均发生了变化，腐蚀对钢筋混凝土结构动力性能（例如疲劳性能和抗震性能）的不利影响将更为严重。1999年广州海印大桥使用过程中突然发生的断索事故，即被认为是车辆疲劳荷载和钢筋腐蚀共同作用的结果。而我国在腐蚀环境已服役多年的钢筋混凝土结构也存在着抗震性能不断降低的隐患。目前国内外对受腐蚀钢筋混凝土构件的动力性能的研究非常少。日本进行过受弯构件恢复力性能试验研究[9]。西安建筑科技大学进行过压弯构件恢复力性能试验研究[13]。大连理工大学正在进行受腐蚀钢筋混凝土构件抗震性能和疲劳性能的试验研究和有限元分析。已有的试验表明，随着钢筋腐蚀量增加，钢筋混凝土构件的滞回曲线丰满程度和滞回环面积逐渐减小，表明构件耗能能力和延性降低。同时由于钢筋腐蚀程度的不均匀性，滞回曲线具有明显的不对称性。从骨架曲线看，腐蚀严重的构件承载力和刚度均降低较多，且达到极限荷载后平直段变短，延性降低。因此钢筋腐蚀对钢筋混凝土构件反复水平荷载作用下的恢复力性能有较大影响，在抗震设计中应予以考虑，以

保证结构在地震作用下的安全。4 结语 虽然目前国内外已经在受腐蚀钢筋混凝土结构的性能方面开展了一些研究，做了不同腐蚀情况下钢筋混凝土受弯构件、大小偏心受压构件、钢筋与混凝土粘接试件的试验等，并进行过一些有限元分析，得出了构件承载力和变形性能随钢筋腐蚀量的增加而不同程度降低的结论。但是对受腐蚀钢筋混凝土结构抗剪性能、动力性能的研究仍然极少，特别是对受腐蚀钢筋混凝土结构疲劳性能的研究几乎还是空白，建议今后加强这些方面的研究。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