

GANG JIN FUSHI YU BAO HU

黄可信 吴兴祖 蒋仁敏 陈静云 编译

钢筋混凝土结构中

钢筋腐蚀与保护

中国建筑工业出版社

钢筋混凝土结构中 钢筋腐蚀与保护

黄可信 吴兴祖 编译
蒋仁敏 陈静云

中国建筑工业出版社

本书系统介绍了钢筋混凝土结构中钢筋腐蚀及混凝土对钢筋保护作用的基本原理，各种酸性气体对钢筋混凝土腐蚀的特点，钢筋受腐蚀破坏的形式，混凝土保护作用期限的预测，预防腐蚀的保护措施以及非破损检验钢筋腐蚀程度的方法等。

本书可供从事钢筋混凝土材料研究和结构设计的科技人员、大专院校土建系师生参考。

钢筋混凝土结构中
钢筋腐蚀与保护
黄可信 吴兴祖 编译
蒋仁敏 陈静云

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
河北省大厂回族自治县印刷厂印刷

开本：850×1168毫米 1/32 印张：7 $\frac{1}{2}$ 字数：200千字

1983年11月第一版 1983年11月第一次印刷

印数：1—21,600册 定价：1.20元

统一书号：15040·4513

编 译 者 的 话

钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀与保护是一个十分重要的课题，日益引起人们的重视。尤其是侵蚀性介质对钢筋混凝土结构的破坏作用更为人们所关心。这种破坏作用大致可分两种情况：

(1) 介质直接破坏混凝土保护层使钢筋裸露以致锈蚀；(2) 介质并不直接破坏混凝土而是改变混凝土的液相成分，降低了混凝土对钢筋的保护能力，使钢筋锈蚀发生在混凝土内部。后者锈蚀的速度往往比处于同样介质作用下裸露的钢结构更快。

在许多受严重侵蚀的情况下，钢筋混凝土结构的腐蚀破坏是相当迅速的，以致使用2~10年后，为保持其工作能力所花费的维修费用大大超过结构本身的造价。

据1975年苏联有关资料统计，在一般的工业区，大部分冶金、化工、机械制造、造纸和食品工业厂房和构筑物都受着介质的侵蚀作用，为此而受到的损耗其总值达400亿卢布以上，占工业固定资金额的16%，若不对这些厂房和构筑物采取专门的措施，则因建筑结构使用期限缩短而造成的材料损耗每年就达20亿卢布。全苏科学技术委员会曾建议科研部门大力开展这方面的研究工作，建议设计部门推广使用新型耐化学腐蚀的材料及特种结构，并制订出抗腐蚀结构的标准设计。

提高钢筋混凝土结构的耐久性，有许多途径，例如：降低介质的侵蚀程度，提高混凝土和钢筋的抗腐蚀性能，采用耐化学腐蚀的覆盖层等等。

为了介绍国外在这方面的研究工作和已取得的经验，我们以苏联C·H·阿列克谢耶夫编著的《在工业的侵蚀性介质中钢筋混凝土结构的抗腐蚀性》（见本书第一部分）为主编译成本书。在本书的第二、三、四部分内还收集了其他俄、英文有关的著作和

论文，作为第一部分的补充。

参加本书翻译的有：黄可信、吴兴祖、蒋仁敏、陈静云。全书由蒋仁敏审校（第三部分三、四除外）与汇编。

由于水平有限，谬误之处敬请读者批评指正。

一九八二年十二月

目 录

第一部分 钢筋混凝土的抗腐蚀性

一、钢筋混凝土抗腐蚀性的基本概念	1
二、混凝土对钢筋的保护作用	19
三、酸性气体腐蚀钢筋混凝土结构的特点	36
四、混凝土的中和作用	67
五、混凝土在二氧化碳气体介质中快速试验的方法	108
六、混凝土保护作用延续时间的预测	120
七、保护钢筋混凝土结构免受酸性气体作用的方法	141
参考文献	155

第二部分 破坏形式

一、钢筋在混凝土中锈蚀破坏的形式	162
二、矿渣骨料混凝土中预应力钢筋的脆性破坏	177
三、钢筋混凝土在氯气介质中的腐蚀	181
四、聚合物硅酸盐混凝土中钢筋的锈蚀	190

第三部分 保护措施

一、用于钢筋防锈的复合外加剂	194
二、混凝土的保护性能与强度的关系	196
三、海洋结构混凝土腐蚀的控制	207
四、在混凝土中钢筋锈蚀的特殊处理效果	213

第四部分 其 他

一、非破损检验钢筋锈蚀程度的新方法	222
二、提高侵蚀性介质中钢筋混凝土结构耐久性的 技术经济效果	227
三、结构防腐蚀设计的经验及其改进	232

第一部分 钢筋混凝土的 抗腐蚀性^①

一、钢筋混凝土抗腐蚀 性的基本概念

(一) 钢筋混凝土结构与介质相互作用的特点

钢筋混凝土是一种复合材料。在以这种复合材料制造的结构中，钢筋承受拉力，而混凝土承受压力并保护钢筋免受腐蚀及火灾时高温的作用。

因此，在钢筋混凝土结构中，混凝土是直接与周围介质接触的。若混凝土十分密实并能长期保护钢筋的话，那么，这种结构处于侵蚀性环境中是耐久的。

多年来，钢筋混凝土结构的制造以及使用经验表明，十分密实的混凝土对钢筋本来就起到有利的保护作用。人们知道，浇注混凝土时经常在钢筋表面出现的薄锈层是看不见的，经过几天的自然养护或蒸气养护并去掉混凝土保护层后便能发现。铁锈消失溶解在混凝土中后，一般是不会再出现的，尽管混凝土这种毛细

① 译自[苏] Алексеев С.Н., Розенталь Н.К., 《Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде》，М., Стройиздат, 1976. (一、三、四、六、七、黄可信译，二、吴兴祖译，五、陈静云译)。

管亲水体仍会含有湿气和渗入使钢筋发生电化学锈蚀的酸类物质。

但是,研究表明,并非任何混凝土都是稳定并能长期保护钢筋的。一种情况是在结构建造后钢筋就立刻开始锈蚀,另一种情况是要经过一段时间(有的甚至要经过很长一段时间)钢筋才开始锈蚀。看来前者显然是保护性能差,但也可能是混凝土本身具有腐蚀性。

目前,对促使混凝土中钢筋较早锈蚀的主要因素进行了研究。这些因素,即所谓混凝土固有的“内部”因素,与混凝土的结构及液相成分有关。在文献[7]中已阐明,在密实的混凝土中,由于碱度高,钢筋最终是会被钝化的,即钢实际上不再溶解成铁离子进入电解质中。在低碱混凝土(石膏混凝土、石膏火山灰质水泥、活性硅酸盐及其他)、含氯化物外加剂及多孔混凝土中,钢筋是不会被钝化的或仅仅处于不稳定的钝化状态。

有关这些混凝土长期保护钢筋的能力的问题,在许多论文中已作了阐述,其中有些已收入文献[8]中,本书不再阐述。

已建造好的钢筋混凝土结构,经过若干时间后,钢筋出现锈蚀并不断发展。这说明,混凝土在周围介质(即所谓“外部”因素)的影响下已失去保护钢筋的能力。这些外部因素可能是物理的、化学的或物理化学的过程。

机械剥落、磨损、周期性加热冷却及冻融循环等等外部因素,对混凝土来说,是纯粹的物理作用。它破坏混凝土保护层,致使钢筋裸露。钢筋由于直接与介质接触而被锈蚀。

介质对结构产生的化学和物理化学作用有两种:介质直接破坏混凝土保护层,随即钢筋裸露并锈蚀,或者并不直接破坏混凝土,而使混凝土液相发生改变,结果钢筋锈蚀是发生在混凝土内部。这时,钢筋的锈蚀往往比在同样介质作用下裸露的钢结构更快。这说明,混凝土保护层反复湿润的时间和使钢筋发生电化学锈蚀的水膜停留在钢筋表面上的时间比在钢结构表面上更长。

钢筋锈蚀产物的体积是整个锈蚀层体积的2~2.5倍,因而压

迫其周围的混凝土并产生超过混凝土抗拉强度的拉应力，结果使保护层沿着锈蚀的钢筋形成裂缝。这些裂缝成为侵蚀性介质渗入钢筋的通道，因而加速钢筋的锈蚀。若不采取措施，则钢筋的锈蚀会进一步发展直至保护层剥落。这时，钢筋与混凝土之间的粘结遭到破坏，致使结构的承载能力急剧下降。对受弯构件来说，因钢筋与混凝土之间的粘结破坏而使其承载能力降低30~35%。

研究介质对结构承载能力破坏的形式时，按其主要的破坏过程的不同可以把所有介质分为如下两类：使混凝土逐渐破坏，钢筋随后锈蚀；使混凝土失去保护钢筋的能力，钢筋锈蚀产物的压力又使混凝土进一步遭到破坏。

为了预测结构的耐久性而必须对介质加以分类时，应对现有金属锈蚀的有关控制过程和因素的理论加以了解。这些理论基本上可应用在混凝土的腐蚀上，但是应用于预测混凝土破坏的速度还仅仅是个开头。

用混凝土孔隙中内部物质迁移的过程来确定下述几种情况下混凝土腐蚀的速度，可得到十分精确的结果：水泥石的溶解，溶解产物及侵蚀性物质在反应区的迁移，它们之间的相互作用和反应产物或沉积物的迁移。可用B·M·莫斯克维^[62]的理论解释第一类和第二类混凝土腐蚀，即软水浸析和酸性液体介质的腐蚀作用。

上述混凝土腐蚀的基本过程是同时发生的，即实际上只按同一速度进行。该速度是由上述物质缓慢渗透的情况决定的。这一基本过程可称之为限制或控制过程。文献[89]阐明，如果混凝土在酸性介质中腐蚀的产物停留在混凝土表面上，那么他们将形成特殊的缓冲层。起初，腐蚀速度较快并且仅受溶解作用的制约，随后，由于腐蚀产物在缓冲层中迁移受到阻碍而开始以扩散控制为主。

文献[59]中的理论推导公式表达了十种与破坏形式（有否缓冲层）、对流置换速度以及溶液中是否存在侵蚀性介质有关的腐蚀过程。根据B·M·莫斯克维的看法，对第三类腐蚀，即盐在混

凝土孔隙中的结晶，目前尚未作出解释。至于第一类和第二类腐蚀，也仅仅就液体介质与混凝土相互之间恒定的作用作了阐述。事实上，大部分工业厂房的特点是液体侵蚀介质周期性地作用在建筑结构上（例如通过毛细管吸水和蒸发而引起的湿润和干燥）。在这种情况下，第二类腐蚀伴随着对混凝土破坏程度不同的第三类腐蚀，并且比钢筋锈蚀过程发展更快（成为控制因素）。

因此，预测混凝土腐蚀深度的计算方法一直未能得到推广应用。原则上，它对于基本符合工业设施使用条件下的大体积、不配筋或少配筋的结构是合适的。在文献[59]的一个计算实例中，就涉及到排酸性污水管道的混凝土腐蚀深度的问题。

无疑，该计算方法有助于对钢筋混凝土基础、桩以及类似的结构有无必要加以保护的问题提供理论依据。但是，如果计算出的破坏深度值和钢筋保护层厚度相当，则应特别注意由于钢筋锈蚀而引起破坏的危险，因为钢筋是不允许锈蚀的。

下面将阐明，对于混凝土在介质作用下逐渐失去保护钢筋的性能的最普通情况。从基本控制过程来考虑，已作出了理论上的解释。

在湿空气介质中，当混凝土因碳化而失去钝化钢筋的能力时，碳酸气在混凝土碳化层中的扩散是决定的条件；而当氯化物溶液作用于结构时，氯化物透过混凝土向钢筋迁移则是控制过程。

此外，根据金属电化学锈蚀理论，混凝土中钢筋的钝化状态是由于强烈的阳极控制所致。此时，因为处于碱性介质中的钢筋其表面形成稳定相或吸附膜而抑制了铁变成离子状态的阳极过程。

当混凝土中钢筋的钝化状态被破坏时，与条件有关的钢筋的锈蚀控制将是以阳极、阴极或欧姆电阻控制为主的组合，因为铁（阳极）的离解作用，靠近钢筋表面电解质层中的任何一种阴极去极化剂对自由电子（阴极）的同化作用和离子的迁移最终将会同时发生。

以上述控制过程的理论为基础来保证钢筋混凝土在侵蚀性介质中的抗腐蚀性就能最有效地提高结构的耐久度。介质对结构的主要作用形式列于表 1。

实际上,所遇到的情况大都是上述作用的不同组合。例如,对钢筋来说,最普遍而又最有害的是气体介质的恒定作用与氯溶液周期性湿润结构的组合。

表 1 中普遍地注意到了用提高混凝土密实度的方法来提高结构的耐久性。这个方法已得到 B·M·莫斯克维^[61,62], H·A·莫沙斯科夫^[66]和其他学者的肯定。

在考虑结构、介质以及他们之间相互作用的多样性时,采用最简单的措施确保耐久性,一般说来是相当困难的。但是,在各个工业部门中,利用结构设计、使用及研究中所积累的经验建造免受介质直接作用的结构,就能够成功地完成这个任务。

在同一建筑物中,不同的结构和构件可能受到不同介质的作用。在湿法工艺过程中,冲洗溶液溢出实际上是不可避免的,而一般又是用水来冲洗的。因此,为了保护结构(基础、梁、柱),其地面和楼板应具有可靠的防水和抗特定试剂作用的性能。但是,对楼板的下表面、梁、柱和墙壁的表面(除了与地板连接的地方)的保护仍必需加以重视。上述的各种承重和围护结构构件一般都受到侵蚀介质的作用。由于沿结构厚度会形成湿度、温度和压力梯度,侵蚀性气体介质的作用通常变得强烈,尤其当结构表面形成冷凝水时更甚。

现在,一般认为,防止生产的溶液和液体作用的问题与溶液的侵蚀性、偶然溅落到结构上的情况有关,而且在工艺过程、设备和管理得到改进的条件下,节省结构的保护费用是有可能的,所以我们在本书中只着重研究工业厂房的钢筋混凝土结构在侵蚀性介质中耐久的因素。

因为本书不研究有压液体作用下的结构,所以对于在空气介质中的无压结构就不存在过滤水浸析混凝土中石灰(B·M·莫斯克维^[62]所说的第二类混凝土腐蚀)的可能性。第二类腐蚀(水

介质对钢筋混凝土结构作用的基本情况

表 1

介 质	作用条件	在混凝土中的主要反应	混凝土中局部作用的特点	结 构 破 坏 特 征 (主要过程)	结构的保护方法
酸性溶液	恒定有缓冲层	溶解及中和置换反应	在腐蚀产物层中扩散	混凝土腐蚀产物分层形成, 作用停止	对结构表面或可不加保护视腐蚀速度而定
	恒定没有缓冲层	溶解及中和置换反应	扩散-移动	混凝土腐蚀产物脱落, 作用不停止	对结构表面或可不加保护视腐蚀速度而定
	恒定	新生成物结晶的置换反应	在混凝土结构中扩散	混凝土开裂	使用低铝酸盐水泥, 提高混凝土密实度, 浸渍密实, 隔绝结构表面
	周期吸水蒸发	新生成物结晶的置换反应	在混凝土结构中扩散-对流	混凝土开裂加速	使用低铝酸盐水泥, 提高混凝土密实度, 浸渍密实, 隔绝结构表面
金属氯化物	恒定	盐浓度平衡的扩散迁移	在混凝土结构中扩散	去钝化和强烈阴极控制的钢筋锈蚀	提高混凝土保护层密实度和增加其厚度, 用淡水饱和和, 浸渍密实, 隔绝结构表面, 钢筋保护层
	周期吸水、蒸发	盐聚积的扩散-对流迁移	在混凝土结构中扩散-对流	去钝化, 与混凝土密实度和温度有关而以阴极和阳极控制为主的钢筋锈蚀	提高混凝土保护层密实度和增加其厚度, 用淡水饱和和, 浸渍密实, 隔绝结构表面, 钢筋保护层
湿 空 气	恒定	被酸性气体中和	在中和混凝土层中扩散	去钝化, 与混凝土密实度和温度有关而以阴极或欧姆电阻控制为主的钢筋锈蚀	提高混凝土保护层密实度和增加其厚度, 浸渍密实, 隔绝结构表面

泥石与介质之间的化学作用引起水泥胶结性能的降低)和第三类腐蚀(孔隙中结晶新生成物的压力使水泥石结构破坏)只有当空气湿度相当高时才能发生。这时,酸侵蚀性气体可溶解于水泥石的毛细管和气孔的湿膜中。吸湿性的盐粉受潮形成的溶液对混凝土也能起侵蚀作用。

当浓度接近或高于(2~3倍)卫生标准的侵蚀性气体作用于结构时,混凝土的腐蚀速度一般是缓慢的(该情况在屋面下部经常出现)。此时,沿混凝土结构表面出现的不深且分布均匀的腐蚀并非承载能力降低的原因。承载能力降低一般是钢筋锈蚀的结果。

对钢筋混凝土在湿侵蚀性气体介质中的耐久性的研究表明,工业大气污染按其成分和浓度可分成许多类型。在标准设计^[100]中对其侵蚀程度的估计至今仍缺少充分的论据,而只有在详尽地研究气体对混凝土和钢筋的作用特点后才能作出较明确的规定。作者建议酸性气体的分类应从其溶解度、与钢筋作用后产物的体积以及对钢筋的腐蚀性几方面来考虑。详细分类在本部分三中介绍。

考虑混凝土的非匀质性,以及钢筋与设计位置允许的正常误差,利用保护层的密实度和厚度作为条件,研究酸性气体对混凝土的中和作用,并且在结构上和工艺上采取措施,就能够计算和确保在湿气体介质中结构的耐久性。

限制混凝土受拉区出现裂缝是十分重要的,因为裂缝促使钢筋局部的锈蚀过早产生和发展。已汇编成专题论文[8]的许多研究充分地证实了这一点。这些研究为当代的设计标准打下了基础。

因通常可用预应力钢筋来防止或大大限制受弯和受拉构件中裂缝的扩展,所以同样条件下,配预应力钢筋的结构在长期保护钢筋方面比配非预应力钢筋的结构具有明显的优点。如果高强度预应力钢筋没有特殊锈蚀状态,其中包括应力腐蚀的脆性破坏,以上结论是毫无疑问的。

(二) 混凝土保护钢筋的基本概念

要正确阐述混凝土保护作用的实质，必需引用金属电化学腐蚀理论中的一些观点^[107]。氧化状态是铁在自然界中真正的稳定形态。单元素的铁不同于稀有金属，它在自然界是不能单独存在的。可以通过还原铁矿石中的氧来制取铁。³钢和生铁（这是铁在利用上的主要合金形态）锈蚀后又重新变成铁的氧化物。

虽然大气热力不稳定性，但铁合金的锈蚀由于其元素反应受到一系列基本过程的动力控制仍然是相当缓慢的，故铁合金能成功地得到广泛应用（附带说明一下，电化学腐蚀只有在金属表面上存在电解质薄膜时才会发生，它不同于热气体的化学作用）。这样，铁溶解在电解质中（如水）的阳极过程（离解）便形成由金属表面的水化阳离子和多余电子组成的双面层。这些不同电性的粒子互相吸引，建立动态平衡。这时，金属的整个表面仍然是中性的，金属不再继续溶解。但是，如果多余的电子受到排斥，造成电键，而且在铁上加以正电位，那么平衡将被破坏，重新出现阳极铁的溶解。这与恒定电流作用下的锈蚀情况相类似。

电子能够被任何一种电解质吸收。这时阳极溶解过程又可重新出现，即锈蚀过程开始。

为了便于研究这一现象，应把锈蚀的金属表面分为阳极和阴极两个区域。

在第一区域中，产生铁溶解的阳极过程：

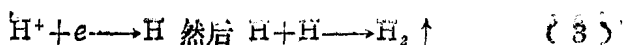


在第二区域，产生多余电子积聚的阴极过程：

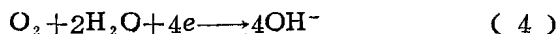


这个过程叫做阴极去极化作用，因为它使金属表面阴极区域内电子积聚的极化作用减弱。

在酸性电解质中（ $\text{pH} < 4$ ），氢离子一般是去极化剂，它按以下反应吸收电子而还原成氢气（氢的去极化作用），



在中性介质中（水、大气、土壤），由于氧气的还原作用使介质变成氢氧根离子，去极化作用按以下反应进行（氧的去极化作用）：



下面将证明，混凝土中钢筋的锈蚀是随着氧的去极化作用而发生的。

阴极极化与多余电子的积聚及阴极表面电位向阳极电位移动有关。在实际的例子中，我们可以看出，减小电位差，即减小电子在金属中移动的电动力和减小金属表面阳极与阴极之间电解质中离子移动的电动势（即锈蚀电流）将使锈蚀过程减慢。

阳极极化作用与金属离解困难有关，见公式（1）。它主要是提高这种金属离子在接近电解质层中的浓度（浓缩极化作用）。在电解质中对离子迁移有利的对流过程使浓缩极化作用减弱。在不加搅动的电解质中，如混凝土孔隙中的液体，因为没有对流作用离子扩散转移十分困难，因而浓缩极化作用是很强烈的。

根据现有资料，气体在湿饱和多孔材料中的扩散速度为液体中的 $1/10 \sim 1/10000$ 。气体在多孔体中的扩散速度与其在空气中相比也有这样大的差别。

法兰克—卡缅涅切基^[12]利用有效扩散系数表示多孔材料扩散渗透的特性：

$$D' = D \frac{N}{x} \cdot \frac{\pi h^2}{4}$$

式中 D ——气体在气体中的扩散系数；

N ——单位自由表面积上的孔隙数；

x ——孔隙曲折系数；

h ——平均孔径。

因此，孔隙率越低，孔隙越小及其曲折度越大，则扩散阻力越大。当混凝土中钢筋锈蚀时，孔隙特征会对阳极区的浓缩极化作用和阴极区的氧的去极化作用产生一定影响。

在被锈蚀的金属表面上，阳极和阴极过程是相互伴随的。也就是说，他们的速度是相同的，并由该条件下最困难的过程来确定（控制整个锈蚀的速度）。

除了阴极和阳极控制能影响金属锈蚀速度外，还有欧姆电阻。它是由于在阳极和阴极之间的电解质中离子移动受到阻碍而产生的。欧姆控制具有实际意义，因为与湿度有关的混凝土的阻力可在若干数量级范围内变化。

钢筋在碱性介质中的钝化现象对于钢筋混凝土结构的耐久性来说是重要的^[8]。从电化学角度来说，这表明钢筋的强烈阳极极化作用。这时，甚至在钢筋电极上加上+1B能级的正电位，尽管电解质的电阻也不大，溶液的电流仍然是很小的。这说明，金属离解的阳极过程十分困难^[108]，实际上锈蚀已停止。

对钝化机理的解释各说不一。按现代的理论，钝化或者与氧（或其他原子）的吸附作用有关^[106]，或者与金属表面上形成的金属氧化相膜有关^[108,111]。

钢筋上的吸附膜或相膜对金属离子通过产生很大的阻力，但几乎不阻碍电子通过。

混凝土的碱性及其孔隙中的pH为12~13的氢氧化钙饱和溶液有利于形成和保持钢筋的钝化膜。这时，钢筋处于高抗腐蚀状态。

当混凝土的pH值由于各种原因降至11.8或更低时，由于不能保存钝化膜，因此，钢筋的钝化变得不稳定，最后甚至被破坏。

混凝土中钢筋钝化状态被破坏的主要原因之一是混凝土被酸性气体（如被碳酸气）中和。即，空气中的碳酸气被混凝土吸收并与其中的氢氧化钙结合：



生成的碳酸钙是微溶化合物。CaCO₃饱和溶液的pH值等于9。当孔隙溶液的pH值降低时，便使水泥石水化物稳定存在的条件破坏并水解变成氢氧化硅、氢氧化钙、氢氧化铁，而所有的

碱性氧化物（钙、镁、碱金属）则变成碳酸盐。

此时，混凝土的强度一般不会降低（尽管采用某种水泥时强度有所降低^[140]），但是，混凝土却失去了钝化钢筋的性能使钢筋处于活化状态并进而发生锈蚀，因为这时混凝土的毛细孔结构含有水和渗入氧。

因空气中实际上都含有碳酸气（在大气中， CO_2 的正常含量为空气体积的0.03~0.04%，在工业区更高，在某些工业和农村建筑中则特别高），所以所有的地面建筑和部分地下建筑实际上都受到碳化作用。

在工业区，除了碳酸气的作用外，还有其他酸性气体的作用。

混凝土中钢筋锈蚀的另一个带普遍性的原因是氯化物的作用。氯化物是一种钢筋的活化剂。当其浓度不高时，亦能使处于碱性混凝土介质中钢筋的钝化膜破坏。这与氯离子的高吸附性有关^[48]。它置换吸附的氧破坏钝化膜而使钢筋发生溃烂锈蚀。

研究表明^[123]，密实的水泥混凝土失去固有的钝化作用，一般与液相中存在去钝化的离子（如混凝土外加剂中以及水泥、骨料和拌合水中的氯离子）有关。所以，各国的建筑标准对上述混凝土混合物成分中，尤其是预应力钢筋混凝土结构中，氯化物的含量有一定限制。

直到1967年，国外尚未严格限制使用氯化物外加剂。不仅如此，为了能制得在负温下硬化的混凝土混合物、缩短周期，通常还往混凝土混合物中加入占水泥重量2%以上的氯化物。用这种混凝土建造的钢筋混凝土结构，在2~5年期间内，由于钢筋锈蚀，致使结构严重破坏。部分情况记载在文献[7、8]中。

目前，建筑标准^[100]仅允许在非预应力结构中使用掺量占水泥重量2%的氯化钙。这种结构只能在空气相对湿度不超过60%的情况下使用。对于预应力结构，标准不允许往混凝土中掺入氯化物。一些国际性的组织（其中有РИЛЕМ和ФИП），建议在组成混凝土混合物各成分中（水泥、骨料和拌合水）限制和控制