

混凝土中钢筋的腐蚀及其防治措施

Corrosion of rebar in concrete and its prevention

刘学庆¹, 陈磊², 侯保荣¹

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071; 2. 烟台市技术监督信息研究所, 山东烟台 264003)

中图分类号: TU761.13

文献标识码: A

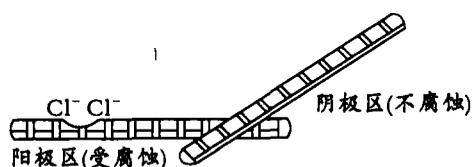
文章编号: 1000-3096(2008)10-0093-03

混凝土^[1]是以水泥等材料作为黏接剂,将一定量的砂、碎石等骨料结合起来,凝固后形成的复合材料。混凝土具有材料来源广、价格便宜、坚固耐用等优点^[2],但是抗拉、抗折能力较弱。钢筋混凝土的出现是混凝土结构发展的重大进步,其中钢筋承担拉力,混凝土承担压力,发挥了各自的优点。钢筋与混凝土有良好的黏结力,其热膨胀系数与混凝土相近,两者结合成的钢筋混凝土构件具有良好的力学性能。钢筋混凝土构筑物构成了现代社会的基础,是国家最重要的基础设施,被广泛应用于跨海桥梁、沿海工程中。水泥水化的碱性环境有利于钢筋钝化膜的形成,可以有效地防止腐蚀发生,所以人们曾经认为钢筋混凝土不需要进行特别的腐蚀防护。但是,随着钢筋混凝土构筑物使用时间的延长,逐渐暴露出严重的腐蚀问题,带来了巨大的经济损失,甚至造成重大的安全事故。因此,钢筋混凝土的耐久性问题受到越来越多的关注,现在已经成为世界混凝土研究领域中的热点。

1 混凝土中钢筋腐蚀的原因

普遍认为混凝土中钢筋的腐蚀主要是由氯盐引起的。北方地区冬季使用的化冰盐、海洋环境等都有较多的氯离子,所以,在这些地域的钢筋混凝土结构尤其需要重视腐蚀问题。

混凝土属于多孔性的材料。环境中的 Cl^- 离子体积较小,极易通过孔隙扩散进入混凝土内部,到达钢筋表面。 Cl^- 离子是极强的去钝化剂,较低浓度的 Cl^- 离子就可以造成钢筋钝化膜的破坏。钝化膜被破坏后暴露出的钢筋基体与其他钝化膜未被破坏的部位相比,电位更负,是阳极区。这样宏观上形成了大阴极小阳极的腐蚀原电池,加速了钝化膜被破坏部位的腐蚀。如图 1 所示。

图 1 Cl^- 离子引起的腐蚀示意图

除了氯盐以外,碳化、微生物、工业污染等因素都会引起钢筋的腐蚀。碳化^[3,4]是指空气中的 CO_2 与混凝土的碱性孔隙液反应,造成混凝土本体的中性化,破坏钢筋钝化膜。某些微生物的腐蚀,本质上是“酸化”作用^[5]。典型的是“硫酸盐菌”,在它的生命过程中,能将环境中的硫元素(S)转化成硫酸。这样就能使混凝土“中性化”和酸化,进而引起硫酸盐“膨胀”腐蚀和钢筋锈蚀(自然环境中的硫酸盐也会引起这种腐蚀)。而工业污染带来的废气、废水、废渣等,大多也是酸性的,都会引起钢筋混凝土的腐蚀。

钢筋腐蚀会造成严重的后果。一方面,钢筋腐蚀后,截面积减小,削弱了钢筋的受力断面,造成钢筋混凝土构件承载力下降^[6]。另一方面,腐蚀产物的体积往往是原钢筋的几倍,少量的腐蚀就会造成钢筋混凝土的顺筋开裂。根据洪乃丰统计^[7],钢筋表面锈层厚度很薄时(如 $20\sim 40\ \mu\text{m}$),便可导致混凝土顺钢筋开裂。而混凝土一旦发生顺钢筋开裂,腐蚀介质更容易到达钢筋表面,钢筋锈蚀的速度将会大大加快。

2 混凝土中钢筋腐蚀的防护方法

防止混凝土中钢筋腐蚀最根本的方法是提高混凝土材料本身的密实性。但是,混凝土材料本身的特性以及大型混凝土构筑物的施工特点决定了完全消除孔隙、微裂缝是很困难,甚至做不到的。这就需要利用一些附加措施来阻止腐蚀的发生。腐蚀发生需要同时具备 3 个条件:阳极和阴极;电子通路;离子通路。对于钢筋来说,本身具有传导电子的能力。

收稿日期:2007-05-20;修回日期:2007-08-10

基金项目:山东省科技发展计划项目(2006GG2205003),第 42 届中国博士后科学基金项目;2007 年山东省博士后基金项目

作者简介:刘学庆(1976-),男,博士后,主要从事海洋腐蚀与防护、腐蚀电化学研究工作,电话:0532-82898735, E-mail:tommy7749@126.com

因此,要防止腐蚀的发生,就要从其他两个方面着手,即:阻止阳极反应、阴极反应的发生,隔绝离子通路。从这种思想出发,混凝土中钢筋腐蚀的防护方法主要有涂层、钢筋阻锈剂、阴极保护等。

2.1 涂层

涂层的作用是隔绝离子通路,从而阻止腐蚀反应的发生,可以分为混凝土外表面涂层和钢筋表面涂层两大类。

2.1.1 混凝土外表面涂层

主要包括^[8,9]聚合物改性砂浆、渗透型涂层和表面涂料等。

聚合物改性水泥砂浆中的聚合物大都以乳液形式掺入水泥砂浆中,大大提高了砂浆层密实性和黏接力。可在潮湿基面上施工,其耐久性可与基体(混凝土)保持一致。聚合物改性水泥砂浆有着良好的密实、抗渗性,并兼有耐磨、黏接力强等优点,若配有阻锈成分,对钢筋的保护能力会更强。渗透型涂层材料在混凝土表面涂覆后,可以深入混凝土内部一定的范围(如3~5 mm),与混凝土组分起化学反应并堵塞孔隙,或自行聚合形成连续性憎水膜,形成一个特殊的防护层。与渗透型涂层类似,又有区别的一种叫做浸渍型涂层,是用聚合物单体以浸渍的方法掺入混凝土中,并在其内聚合,形成一层不透水的保护层,尤其适宜于小型构件。

表面涂料常常需要具有抗氧化、防紫外线和红外线的的能力,有时对抗磨、防冲击以及耐适度化学物质侵蚀也有一定要求。在地下工程中,常使用沥青、煤焦油类作为混凝土的表面涂料,该类涂料具有较好的防水、防腐性能,而且价格低廉;但存在不美观等缺点。市售的油漆也可以用做表面涂料。由于混凝土具有碱性,要求使用的油漆必须是耐碱的。但是油漆类的涂料一般不能在潮湿的表面上施工,同时存在易老化、不耐久等缺点。树脂类涂料,如环氧树脂、己烯基树脂、丙烯酸树脂、聚氨酯树脂等,都可以用于混凝土的外表面,具有较好的防护性能和耐久性;但存在价格贵,不能在潮湿表面上施工的缺点。

2.1.2 钢筋表面涂层

为增强钢筋的抗腐蚀能力,出现了镀锌钢筋、包铜钢筋、合金钢钢筋、不锈钢钢筋及环氧树脂涂层钢筋等一系列钢筋新品种或防护方法。到目前为止,镀锌钢筋、包铜钢筋已很少使用,合金钢钢筋(耐蚀钢筋)在日本得到一定发展,而美国、加拿大与欧洲,对不锈钢钢筋及环氧涂层钢筋研究较多,特别是环氧涂层钢筋,得到了较广泛的工程应用,被确认为是

防钢筋锈蚀的有效措施之一。

环氧涂层钢筋的制作是采用静电粉末喷涂的方法,而不是通常的用环氧树脂涂料涂刷在钢筋表面。钢筋经这种特殊工艺处理后,具有涂层与基体钢筋的黏结性良好,抗拉、抗弯性能好,钢筋与混凝土之间的“握裹力”下降小等优点。但是,在应用时必须保证环氧涂层的完整性。比如,在运输、装卸、浇筑混凝土时都必须注意,不能碰伤、划伤、损坏钢筋表面的环氧涂层。

美国、加拿大和欧洲一些国家,正在开发使用不锈钢钢筋。不锈钢钢筋本身具有良好的抗腐蚀能力,一般不需要额外的防护涂层,这就保证了钢筋与混凝土结合的牢固性。但是,不锈钢钢筋价格高,会增加整个施工成本。针对这种情况,加拿大国家科学研究委员会的钱士元^[10]等人提出,在腐蚀危险性高的区域(如海洋潮差区、浪溅区等)使用不锈钢钢筋,在腐蚀危险性较低的区域,使用普通碳钢钢筋。一般认为,不锈钢钢筋和碳钢钢筋之间存在电偶腐蚀,不宜直接连接在一起使用。但是钱士元等的研究发现,在混凝土本体保持碱性的时候,不锈钢钢筋和碳钢钢筋都处于钝化状态,两者之间的电偶电流很小;当氯离子等有害离子侵入后,腐蚀了的碳钢钢筋与钝化的碳钢钢筋之间的电偶电流要比不锈钢钢筋与钝化的碳钢钢筋之间的电偶电流大。因此,不锈钢钢筋与碳钢钢筋联合使用,不会增加碳钢腐蚀的危险。

2.2 钢筋阻锈剂

钢筋阻锈剂是缓蚀剂在混凝土结构中的应用^[11]。阻锈剂吸附在钢筋表面,对腐蚀原电池的阳极反应、阴极反应产生抑制作用^[12],从而达到阻锈的目的。按照作用原理,可以分为阳极型阻锈剂、阴极型阻锈剂和混合型阻锈剂;按照阻锈剂形态,可以分为液体型和粉剂型;按照施工方法,阻锈剂可以分为掺入型和渗透型。

国外从20世纪70年代开始研究应用阻锈剂。中国在80年代初,南京水利科学研究所和原冶金部建筑研究总院等单位开始着手研制阻锈剂。其中,由原冶金部建筑研究总院研制成功的复合型阻锈剂,在山东三山岛金矿得到大量使用,这是阻锈剂在中国大型工程中的首次应用。

钢筋阻锈剂具有使用方便,应用范围广,有效期长等优点,但也存在一些问题。如掺入型阻锈剂在新建建筑物中使用量大,总体成本较高;渗透型阻锈剂渗透深度有限,在港工码头中应用无法到达钢筋表面。除此以外,阻锈剂的防护效果与混凝土质量

关系密切,在质量低劣的混凝土结构中,也难以保证长久的耐久性。

2.3 阴极保护

阴极保护的作用原理是使钢筋(阳极)阴极极化,达到消除阳极反应,阻止腐蚀发生的目的。根据阴极极化方式的不同,分为牺牲阳极法和外加电流法两种。牺牲阳极法用电位较负的金属(被称为牺牲阳极)与钢筋电连接,使钢筋阴极极化;外加电流法用外加直流电源的负极与钢筋连接,使钢筋阴极极化。

牺牲阳极法^[13]中使用的牺牲阳极是锌块、铝块,以及热喷锌、锌铝钢合金。块状阳极多用于保护埋地或直接接触电解质的混凝土结构,热喷涂阳极多用于暴露于大气中的混凝土。牺牲阳极法的优点是无需外部电源,不用特别的管理,但是由于本身会溶解和消耗,寿命一般不是很长,对于需要长时间保护的建筑物,要定期进行更换。

外加电流法^[14]使用外部直流电源,电源的负极接钢筋,正极接辅助阳极,见图2。辅助阳极是外加电流法的关键技术问题之一,决定着外加电流技术的保护效果。现在比较常用的辅助阳极是混合金属氧化物钛网阳极,这种阳极是在钛网上覆盖一层钛、钽、铌、铂或钨的氧化物,这些氧化物具有催化作用,在比较高的阳极电流密度下,析氧而不是析氯,所以不会对周围混凝土材料造成侵蚀。这种阳极具有耐腐蚀性好,允许通过的最大电流密度大的优点。

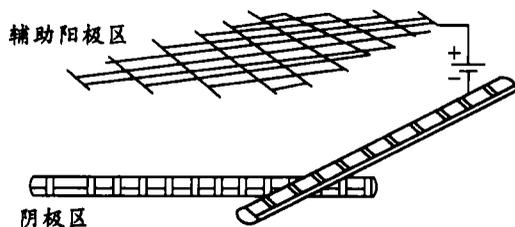


图2 外加电流保护示意图

3 结论

钢筋混凝土结构的设计寿命要求较长,一般50年以上,有的甚至要求上百年。但是实际的使用寿命远不能达到设计寿命要求。在混凝土结构维修方面的费用巨大,给国家、社会造成巨大的经济损失,这其中由混凝土中钢筋的腐蚀所造成的损失占很大的比重。混凝土中钢筋的腐蚀是可以预防的,还氧涂层钢筋、阻锈剂、阴极保护是公认的有效防护手

段,三种防护方法各有优势,也都有其不足之处,并且都在不断的发展中。在实际工程中,应该根据实际情况,选择合适的防护方法,达到最佳的防护效果。

参考文献:

- [1] 西德尼, 弗朗西斯, 戴维. 混凝土 [M]. 吴科如, 张雄, 姚武, 等译. 北京: 化学工业出版社, 2005. 2.
- [2] 孙成, 李洪锡, 张淑泉, 等. 钢筋混凝土腐蚀研究综述 [J]. 材料导报, 2000, 14(5): 27-28, 73.
- [3] 金伟良, 赵羽习. 混凝土结构耐久性研究的回顾与展望 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2002, 36(4): 371-380, 403.
- [4] 姬永升, 张习美. 混凝土中钢筋腐蚀过程的研究现状及评述 [J]. 彭城职业大学学报, 2001, 16(1): 103-106.
- [5] 洪乃丰. 混凝土中钢筋腐蚀与防护技术(4) [J]. 工业建筑, 1999, 29(11): 60-62.
- [6] 刘剑南, 杨铁锋. 混凝土和钢筋腐蚀的原因与维修 [J]. 黑龙江交通科技, 2003, 9: 70-71.
- [7] 洪乃丰. 混凝土中钢筋腐蚀与防护技术(1) [J]. 工业建筑, 1999, 29(8): 66-68.
- [8] 蒋正武, 王莉洁. 钢筋混凝土的环境侵蚀与表面防护技术 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2004, 16(5): 309-312.
- [9] 洪乃丰. 混凝土中钢筋腐蚀与防护技术(5) [J]. 工业建筑, 1999, 29(12): 56-58.
- [10] Qian Shiyuan, Qu Deyu. Galvanic effect induced by coupling of stainless steel and carbon steel reinforcements [A]. Chinese Society for Corrosion and Protection. 14th Asian-Pacific Corrosion Control Conference [C]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2006. 159.
- [11] 洪乃丰. 钢筋阻锈剂的发展与应用 [J]. 工业建筑, 2005, 35(6): 68-70, 79.
- [12] 曹楚南. 腐蚀电化学原理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004. 235.
- [13] 孟繁强, 陈向上, 刘斌, 等. 用阴极保护防止混凝土结构的钢筋腐蚀 [J]. 腐蚀与防护, 2003, 24(7): 297-299.
- [14] 杜荣归, 黄若双, 赵冰, 等. 钢筋混凝土结构中阴极保护技术的应用现状及研究进展 [J]. 材料保护, 2003, 36(4): 11-14.

(本文编辑:张培新)