

钢筋混凝土外加电流阴极保护技术探讨

孙安, 黄金钊

钢铁研究总院青岛海洋腐蚀研究所, 青岛 266071

摘要:以钢筋混凝土的腐蚀环境和钢筋的锈蚀原理为基础, 结合常规金属结构的外加电流阴极保护技术, 对其目前应用于解决混凝土防腐问题的进展进行了探讨。

关键词:钢筋混凝土; 锈蚀; 外加电流; 辅助阳极

中图分类号: TG174.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6495(2005)-0477-03

A DISCUSSION ABOUT IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION FOR CONCRETE

SUN An, HUANG Jin-zhao

Central Iron and Steel Research Institute, Qingdao Research Institute for Marine Corrosion, Qingdao 266071

ABSTRACT: Applying an impressed current cathodic protection to concrete is a new and useful kind of technology for preventing the concret from corrosion. The relevant theory is much complicated in contrasting to the traditional cathodic protection. However the present technology can offer pefect protection to concret for long term.

KEY WORDS: reinforcing steel concrete; corrsion; impressed current; auxiliary electrood

在混凝土防腐保护和腐蚀修复技术中引入了外加电流阴极保护已经是国际上公认的最有效的方法之一。早在上个世纪七十年代, 美国就开始尝试在埋地混凝土输水管道上实施外加电流阴极保护, 并将经验逐渐推广到地上构筑物的防腐保护上。目前在欧美发达国家, 钢筋混凝土阴极保护已经被广泛应用于各种钢筋混凝土建筑物包括桥梁、储罐、海洋平台、栈桥及建筑物框架等的防腐保护中。在腐蚀修复方面它不会损坏构筑物原貌, 在不影响构筑物正常使用的情况下就能很好的实施运行, 且维护费用低、周期长、操作易行, 并可随时监控构筑物的腐蚀情况, 避免了新添骨料与原构筑物的成份不一而造成的内部钢筋自然电位产生差异导致修补缝隙间进一步产生破坏的隐患。针对相关的实施问题美国腐蚀工程师协会(NACE)已经制定了系统的外加电流阴极保护技术标准, 美国国家高速公路委员会(SHRP)也针对桥梁建筑作了外加电流阴极保护技术规范。可见外加电流阴极保护技术在钢筋混凝土防腐领域中的意义越来越被人们所认可。但在国内由于相关技术规范的缺乏和许多传统观念的束缚造成了此项技术的发展相对的迟缓。

1 钢筋混凝土腐蚀原理

混凝土是一种复合建筑材料, 内部结构非常复杂, 它是由粗细骨料被水泥所包裹, 靠与水泥浆产生的化学反应黏结成为整体, 其中夹杂有大量的气泡和毛细孔隙。在混凝土的硬化过程中, 会发生水化反应生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 其液相的浓度可达 15%, 使得钢筋周围混凝土环境的 pH 值高达 13 左右, 在这种高碱性环境下钢筋的表面会形成一层致密的钝化膜, 阻碍了电化学反应的进一步进行, 因此混凝土本身不仅有很强的耐腐蚀性而且具有很强的防腐性能。

但是这种耐蚀性却不是绝对的, 由于混凝土是多相不均质多孔体, 环境介质中的一些粒子会透过混凝土连通的毛细管渗入内部。另外构筑物在使用过程中往往会遭受日晒、风化、温差等各种自然气候及外部负载、应力的影响, 表面也会逐渐产生裂纹从而破坏了混凝土结构的致密性。当湿度、通气量等条件适宜时, 有害物质就会以液态或气态的形式向内部渗透, 其中最主要的腐蚀粒子是能导致混凝土结构碳酸化的 CO_2 和能直接破坏内部钢筋钝化膜结构的 Cl^- 。酸性污染离子能和混凝土凝胶以及孔隙液中的碳酸钙、氢氧化钙及钙的碳氢络合物等碱性杂质发生成盐反应造成混凝土内部体积膨胀, 进而破坏凝胶结构和钢筋钝化膜赖以生存的高碱性环境, 最终导致钢筋混凝土表层开裂软化化学性能降低。这时 O_2 、 H_2O 、 Cl^- 等有害微粒就会更容易的渗入混凝土内部进一步破坏钢筋的钝化膜, 削弱了钝化膜的附着力最终使钢筋的自耐腐蚀能力丧失。这样钢筋中遭到破坏严重的部分就

收稿日期: 2005-06-30

作者简介: 孙安(1979-), 女, 学士, 助理工程师, 主要从事埋地管线及储罐阴极保护工程研究。

Tel: 0532-85926684 E-mail: anan-768@hotmail.com

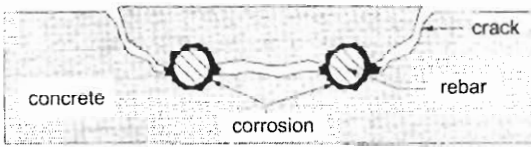


Fig. 1 Corrosion-induced cracking of concrete

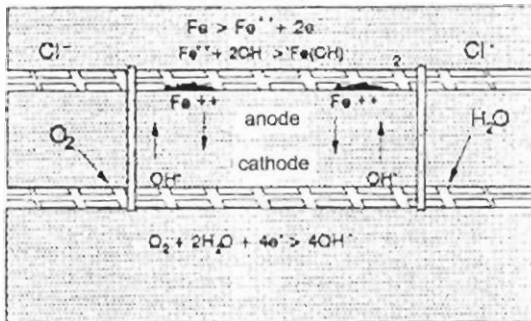
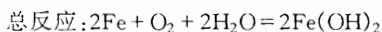
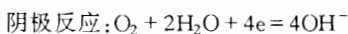
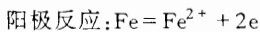


Fig. 2 Potential difference causes corrosion reaction to occur on rebar in a chloride-contaminated concrete

成为了电化学反应中的阳极,钝化膜相对完好的部分作为腐蚀电池的阴极,满足了发生电化学腐蚀的条件,最终导致钢筋腐蚀变细,强度下降.产生的腐蚀产物体积膨胀又将继续加剧混凝土膨胀开裂脱落,反应过程如下



O_2 是钢筋腐蚀过程中的阴极去极化剂,加速了阴极反应地进行,因此腐蚀速度将受到其浓度的影响;另外环境中的水分含量也是此过程加速的一个重要因素.图一可以粗略的反映出混凝土遭受腐蚀内部膨胀开裂的情况:

造成混凝土腐蚀的有害粒子的污染源很多,比如海洋性气候环境、化学工业区及其它人为原因造成的潮汐浸泡,雾气酸雨侵蚀等.其中值得强调是 Cl^- 由于体积小穿透性强具有强大的破坏作用.它不仅能与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 形成 CaCl_2 ,破坏内部的碱性环境,还能局部的穿透钢筋的钝化膜,直接造成钝化膜的破坏.所以 Cl^- 污染造成的腐蚀破坏更严重.图二展现了遭受 Cl^- 污染初期的混凝土的腐蚀过程情况,显然 Cl^- 存在大大加速了钢筋及混凝土内环境的破坏速度.

环境中氯离子的污染源很多,最常见的是氯化物含量高的海洋性气候,工业废水废气污染等;还有北方冬季路面常用的除冰剂也含有大量的氯盐;有时在混凝土配料中使用了未冲洗的海沙、河沙,荒漠中的流沙作骨料,这些都会把氯离子带入混凝土中.一些权威部门确定氯化物的极限允许含量为 600 g/m^3 混凝土结构^[5].通常可以通过测定混凝土试样中氯化物的含量或通过向泥芯上喷射指示剂来检测混凝

土氯化、酸化的程度.

2 钢筋混凝土外加电流阴极保护的特殊性

混凝土作为阴极保护系统的电解质较海水,地下水或其他类似的常规介质的碱性更高,电阻更大,因此常规的阴极保护系统的参数已经不能适用了.一方面由于混凝土的高电阻性导致了实施外加电流的驱动电位必须足够的大,另一方面被保护的高应力钢筋处于碱性钝化状态且空间分布复杂,这就要求保护电流必须分布均匀且电流密度不能过大.电流密度过大会引起氢脆、钢筋混凝土间结合力的破坏及碱骨料反应^[4]的危险等副反应.我们可以根据钢筋混凝土的自然腐蚀半电池电位来判断钢筋的腐蚀情况进而选择合适的保护电位:一般当钢筋的腐蚀半电池电位在 $0 \sim -250 \text{ mV}$ 之间时钢筋处于钝化状态,在 $-250 \sim -400 \text{ mV}$ 之间时,钢筋的状态不确定可能有出现局部锈斑,而半电池电位低于 -400 mV 时,说明钢筋已经处于腐蚀状态^[2].为了更好的判断保护电位选择的准确性,我们可以利用极化电位衰减准则来评价:当回路接通后,在四个小时以内其极化电位衰减大于 100 mV 时就可认为保护电位的选择不合适了.

钢筋混凝土外加电流阴极保护系统与传统的外加电流类似(见图 3),^[4]也是由如下部分组成:

1. 外加直流电源(极化电源)
2. 电流分布器件(辅助阳极)
3. 导电电解质溶液(潮湿的混凝土)
4. 被保护金属构筑物(阴极)
5. 导电回路系统(导线、电缆及配件)
6. 评价控制配件(探测针、参比电极、控制台等)

另外应该注意并不是所有的钢筋混凝土结构都适合实施外加电流阴极保护.对于预应力或次应力钢筋的混凝土结构或内部环境存在强碱性聚集反应的结构不能实施阴极保护系统,前者主要原因是预应力钢筋不利于电流的分布且极易发生氢脆危险,而后者情况若实施了阴极保护会加重内部的碱性反应.同时一些所处环境并不恶劣的建筑物可以适当的进行腐蚀监控,直接安装保护系统在经济上并不划算.实践证明对处于酸根粒子或氯离子等腐蚀破坏初期的混凝土结构进行阴极保护系统修复所表现出的性价比最高.

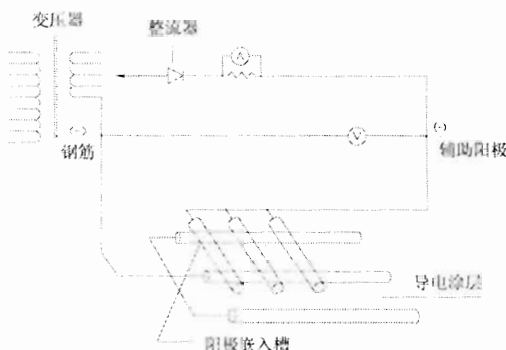


Fig. 3 Schematic of cathodic protection system components

Table 1 Common auxiliary anode of cathode protection for concrete

系统名称	系统组成	应用特点
导电性焦炭 - 沥青涂覆层阳极系统	铸铁合金阳极、导电沥青 - 混凝土涂覆层	表面加盖常规沥青 - 混凝土层, 应用于保护性能要求不高的平面结构
阳极槽系统	嵌入式铂丝阳极、导电高分子注入灰浆	无需覆盖层可直接运行, 应用于保护性能要求较高的平面结构
活化钛网阳极系统	活化钛网阳极、导电高分子灰浆包裹	表面喷射混凝土保护层, 常用于桥墩、水泥桩等垂直结构的保护
导电涂层系统	铂丝阳极、导电活性炭涂层	导电活性炭涂覆整个被保护体表面, 常用于处于干燥环境结构的非承压部分
热喷涂锌系统	热锌喷涂阳极	直接对清理后的混凝土受损表面进行热锌喷涂, 可有牺牲阳极的功能

对于地面混凝土阴极保护系统的电解质实质上是混凝土内部毛细孔内的溶液, 电导率很低, 只通过混凝土电解质输送足够大的保护电流密度到阴极, 辅助阳极必须埋于被保护混凝土实体之中, 这就导致了阳极距离被保护钢筋较小, 使得电流均匀分布的控制难度相应提高, 因此对辅助阳极的设计和选择提出了更高的要求. 钢筋混凝土外加电流阴极保护的辅助阳极在设计上要从满足电极导电寿命及电流分布充分两方面综合考虑. 目前技术上发展比较完善的常见混凝土阴极保护辅助阳极系统^[4]见表1. 另外有文献也曾提到直接通过添加导电性高分子泥浆或碳纤维等改良混凝土自身的导电性, 从而降低钢筋混凝土阴极保护所需的驱动电位, 其有效性已经从试验中得到了认证^[1].

混凝土阴极保护的实施除要满足常规的阴极保护系统的设计、安装的基本要求外还要对以下问题重点考虑, 这也是其技术难点之所在:

1) 必须保证混凝土表面与电解质的连续性接触以及混凝土本身的连续性用以充分发挥其介质的性能.

2) 混凝土中处于同一保护区域内的钢筋必须保证电连续, 不同保护区域内的钢筋必须保证电绝缘, 辅助阳极系统与被保护钢筋保证电绝缘.

3) 必须保证保护电流的均匀分布.

4) 确定合适的保护电位及保护电流密度, 必要时要通过实验.

要达到以上的设计要求, 必须借助精密的检验仪器和灵活的实验方法对被保护体的情况进行全面的了解以便配合阴极保护系统的设计和监控. 例如在进行阴极保护设计前可以先对混凝土的外部腐蚀状况进行直观上的经验性评估; 用电磁探针确定保护层下钢筋的位置和厚度; 利用超声波脉冲鉴别混凝土的剥落和开裂; 利用埋设监测探头测量敏感部位混凝土及钢筋回路电阻以确定钢筋的电连续和电绝缘情况; 对一些特殊位置进行取样利用分析化学方法对污染物含量、种类、水分迁移量等数据进行分析^[3]. 而对于外加电流系统实施过程的监控可以采用特殊地段埋设半电池腐蚀探头或置入线性极化测量装置对受保护状态下钢筋的半电位变化和极化趋势进行跟踪以监控装置的在线实施性能^[6]. 对于大型重点防护工程可以考虑借助计算机软件系统实现单探头多功能和即时数据处理的在线远程管理.

另外值得注意的是这些系统的相关组件通常须在混凝土预埋浇筑或开凿置入的方式下安装、调试, 所以较常规的功能组件要求更耐用、更高精度. 目前国内对混凝土特殊环境下要求的阴极保护系统检测和监控仪器的性能设计、试验流程和评估方法等都有待于进一步规范.

3 结语

随着国民经济的快速发展, 钢筋混凝土凭借着其稳定的力学性能、高耐候性和造价低廉等优势在建筑业占有越来越重要的地位. 外加电流阴极保护在混凝土防腐技术上的引入大大提高了钢筋混凝土的使用寿命和力学性能, 延长了钢筋混凝土使用维护的周期, 增加了混凝土在滨海桥梁、钻井平台、化工污染区等一些腐蚀性复杂领域的应用可靠性, 是一项具有良好经济效益和社会效益的技术.

参考文献:

- [1] 余建初, 李卓球. 碳纤维增强混凝土中钢筋的阴极保护研究[J]. 武汉理工大学学报, 2003, 25(3): 36.
- [2] 汤挥. 钢筋水泥结构的腐蚀监控[J]. 全面腐蚀控制, 2004, 18(1): 22.
- [3] 胡士信. 阴极保护工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 350.
- [4] Richard E Ueyers, Brian D Prowell. Cathodic Protection of Concrete Bridges[M]. SHRP, 1994.
- [5] 李青. 钢筋混凝土的制备及防腐新技术研究动向[J]. 腐蚀与防护, 2004, 25(5): 191.
- [6] J A Gonzalez. Electrochemical Techniques for studying corrosion of Reinforcing steel: Limitations and Advantages[J]. Corrosion January, 2005, 11: 37.