

混凝土结构耐久性维修技术研究与应用

陈孟辉

(深圳市建筑科学研究院有限公司, 广东 深圳 518049)

摘要: 文章探讨总结了混凝土结构耐久性维修常规技术, 结合某滨海核电站厂房钢筋腐蚀耐久性损伤工程实例, 综合考虑环境状况、钢筋锈蚀诱因和结构剩余使用寿命, 给出了耐久性维修策略, 提出了混凝土结构定期检测与维修建议。

关键词: 混凝土结构; 耐久性; 钢筋腐蚀; 电化学; 维修

中图分类号: TU 746.3

文献标识码: A

1 混凝土结构耐久性现状

混凝土结构的设计寿命要求一般为 50 年, 有的甚至要求上百年, 而现实中处于腐蚀环境中的混凝土结构远远达不到设计寿命要求, 有的在 15-20 年就出现了钢筋锈蚀破坏, 甚至不足五年就开始修复。

国内外大量统计资料表明, 因混凝土结构耐久性损伤造成的经济损失十分巨大, 而且随着现代经济、社会的发展以及环境的恶化, 这一问题有愈来愈严重之势。世界一些国家的腐蚀损失, 平均可占国民经济总产值的 2% - 4%, 其中, 被认为与钢筋腐蚀有关的可占 40%^[1]。

我国建设部于 80 年代的一项调查表明, 国内大多数工业建筑物在使用 25-30 年后即需大修, 处于严酷环境下的建筑物使用寿命仅 15-20 年。民用建筑和公共建筑的使用环境相对较好, 一般可维持 50 年以上, 但室外的阳台、雨罩等露天构件的使用寿命通常仅有 30-40 年。桥梁、港工等基础设施工程的耐久性问题更为严重, 由于钢筋的混凝土保护层过薄且密实性差, 许多工程建成后几年就出现钢筋锈蚀、混凝土开裂。

混凝土耐久性损伤引起的结构破坏具有数量大、分布广、危害重、修复困难和经济损失巨大的特点, 是一个十分重要而迫切需要解决的问题。

2 混凝土结构耐久性常用维修技术

美国混凝土协会 (ACI) 首推以下三种措施作为通常环境下防止混凝土中钢筋腐蚀的主要方法, 分别是: 混凝土外涂层保护、钢筋阻锈剂和阴极保护。

2.1 混凝土外涂层保护

采取混凝土外涂层, 可以有效阻止氧气、水、二氧化碳、氯化物以及海水等腐蚀介质进入混凝土内部, 从而使内部钢筋的腐蚀反应不能进行。常用的混凝土外涂层有以下几种类型:

2.1.1 水泥基覆层(砂浆)

(1) 普通水泥砂浆层: 在混凝土外表面抹 5mm - 20mm 厚的水泥砂浆层, 在减缓碳化影响方面有一定作用, 砂浆越密实效果越明显。此方法经济方便, 适用于轻微腐蚀环境。

(2) 聚合物改性水泥砂浆层: 聚合物以乳液形式掺入水泥砂浆中, 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层有良好的密实、抗渗性, 兼有耐磨、粘结力强等优点, 主要用于工业建筑、盐碱地建筑、海工工程及既有建筑的修复工程等。聚合物改性水泥砂浆仍是水泥基材料, 故原则上不耐酸, 不能用于酸性环境。

2.1.2 渗透型涂层

利用混凝土“可渗透”的特点, 在混凝土表面涂以渗透性涂层材料, 渗入的物质可与混凝土组分发生化学作用, 堵塞孔隙或聚合形成连续性憎水膜。这样, 在混凝土表面深入内部的一定范围内(如 3mm - 5mm), 形成一个特殊的防护层, 它能有效阻止外界环境中腐蚀介质进入混凝土内部, 从而保证混凝土与钢筋免受腐蚀。

渗透型涂层的典型代表是有机硅类材料, 如烷基烷氧基硅烷等。此类渗透型涂层, 大都用于轻腐蚀环境下的防混凝土老化, 如防碳化、中性化等, 有效期可达 10 年。

2.1.3 混凝土表面涂层

(1)防水涂料:在中性环境、一般腐蚀条件下,能有效防止水、水汽进入混凝土中,起到防止、减缓钢筋混凝土腐蚀的效果。该类涂料存在着防腐能力不强、耐久性不足等问题,有待于进一步改进和提高。

(2)树脂类涂料:以环氧树脂为主的涂层,有较好的防护性能和耐久性,可用于较严酷的腐蚀环境中。树脂类涂料价格较贵,一般不能在潮湿基面上施工。

2.1.4 隔离层

在强腐蚀环境中,一般的防护涂层不能达到对钢筋混凝土防护的目的,必须采取隔离层的做法。

玻璃鳞片覆盖层:在树脂类材料中掺入很薄的玻璃鳞片,以数毫米的厚型涂层涂敷在混凝土表面,以达到长期的完全隔离环境之目的。

玻璃钢隔离层:在混凝土表面涂一层树脂(如环氧树脂),再粘铺一层玻璃布或无纺布,再在布面上涂刷树脂后再粘铺布。可根据需要粘铺多层,称为玻璃钢隔离层。施工质量良好的该类隔离层,能在一定年限内,很好的隔绝外界腐蚀介质与混凝土的接触,从而保护混凝土和钢筋免受侵蚀。本方法价格较贵,存在老化问题。

由上可见,在混凝土表面采用防护层的措施,在很大程度上可达到对于钢筋混凝土结构的防护目的。但对于处在自然环境中的大量钢筋混凝土建筑物(如工业大气、海洋环境等)外层防护措施,由于自身耐久性不足、造价太高和施工不便等,使其应用受到一定限制。

2.2 钢筋阻锈剂

钢筋阻锈剂的实际功能,不是阻止环境中有害离子进入混凝土中,而是当有害离子进入混凝土内部之后,由于钢筋阻锈剂的存在,使有害离子丧失侵害能力。钢筋阻锈剂抑制、阻止和延缓了钢筋腐蚀的电化学过程,从而达到延长结构使用寿命的目的。

2.2.1 阻锈剂分类及作用原理

(1)阳极型钢筋阻锈剂

阳极型阻锈剂可作用于“阳极区”,促使其生成钝化膜,通过阻止或减缓阳极过程达到钢筋阻锈的目的。典型的物质有亚硝酸盐、铬酸盐和硼酸盐等,一般都有氧化作用。

(2)阴极型钢筋阻锈剂

该类钢筋阻锈剂能在阴极区形成膜或吸附在“阴极区”表面,从而阻止或减缓电化学反应的阴极过程。这类化学物质大都为表面活性剂,如高级脂肪酸的胺盐、磷脂脂类等。

(3)综合型钢筋阻锈剂

综合型钢筋阻锈剂对阴极、阳极反应都有抑制作用,兼有单一型的优点,克服其不足,是国内外发展的方向。

2.2.2 优、缺点分析

钢筋阻锈剂的主要优点有:

(1)一次性使用而长期有效,能满足 50 年以上设计寿命要求。

(2)与环氧涂层钢筋、阴极保护相比,钢筋阻锈剂施工最简单、方便,经济性最好。此外,钢筋阻锈剂一次性掺入混凝土中以后,在寿命期内不需维护,节省大量维修费,长期经济效益明显。

(3)使用范围广,并可用于大量修复工程中,特别是对氯盐环境有效。

钢筋阻锈剂的主要缺点有:

(1)不宜用于酸性环境。

(2)钢筋阻锈剂的有效性跟混凝土质量关系密切,优质混凝土能更好的发挥其阻锈功能;相反,质量低劣的混凝土即使使用了阻锈剂,也难以保证其耐久性。

2.3 阴极保护

常用的阴极保护有两种方式:外加电流法和牺牲阳极的阴极保护法。外加电流法将直流电源的负极连接在混凝土中的钢筋上,以迫使钢筋整个处在阴极状态。牺牲阳极的阴极保护法是将比铁更活泼的金属(如镁)直接与钢筋连接,镁可向铁(钢筋)提供电子(如同外加电源的负极),以达到保护阴极的目的。

阴极保护是保护钢筋的有效措施之一,且是长期有效的;特别对于已受“盐害”的现有钢筋混凝土建筑物的进一步防护,有其独特的效能。在电场的作用下,带负电的氯离子可向阳极(混凝土表面)迁移,等于从钢筋表面除掉氯离子,这对钢筋的防护十分有利;而且不必除掉钢筋表面的混凝土层(已含氯离子)就可以实施阴极保护。这些特点是其他措施难以做到的。

正确实施阴极保护需掌握以下技术要点:

(1)实施阴极保护的前提是混凝土中所有钢筋必须是电联通的,否则会引起杂散电流腐蚀。

(2)施工时严格避免阴、阳极短路。

(3)防止“过保护”发生。如果实施阴极保护过程中,不能合理控制和适时调整所施加的阳极电流,或电流分布不均匀,会导致钢筋(整体或局部的)电位低于 -110mV ,发生“过保护”。在此条件下,过低的负电位将使带正电的氢离子在钢筋表面放电生成氢气。这样,一方面钢筋有发生“氢脆”断裂的危险,另一方面可导致混凝土与钢筋之间的握裹力下降,影响结构物承载能力^[2]。

3 混凝土结构耐久性维修的工程应用

3.1 工程概况

某滨海核电站厂房为核电站内泵站^[3],位于厂区海水入水口处,从海湾中直接取水,供厂区使用。该建筑物分为地上部分和地下部分,结构形式主要为钢筋混凝土结构。

该厂房进水口处(包括水下区、潮汐区和浪溅区)普遍存在地面梁、外墙主筋锈胀开裂情况,钢筋锈蚀处最

大裂缝宽度约 10mm, 锈蚀程度严重(图 1 图 2); 地下杂物耙处(室内海水溅射区)墙体存在钢筋锈蚀产物外溢、钢筋锈蚀、墙体开裂(图 3), 且存在多处修补痕迹; 地面机房南侧靠过滤网(室内高湿高温区)墙体存在钢筋锈蚀、保护层鼓胀(图 4), 机房内墙体、梁均存在大量修补痕迹, 部分构件修补处存在再次开裂的情况。



图 1 进水口处墙角钢筋锈胀图

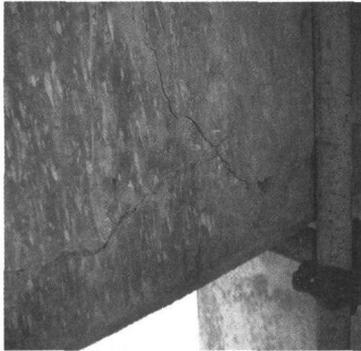


图 2 进水口处梁钢筋锈胀图



图 3 杂物耙处墙体钢筋锈蚀、锈蚀产物外溢图



图 4 地面机房内墙体钢筋锈胀图

3.2 钢筋锈蚀原因分析

该厂房钢筋锈蚀主要与环境状况、氯离子含量和保护层厚度等因素有关。

该厂房所处的环境可分为外部与内部环境作用^[4-5]。外部环境作用主要考虑海水对进水口处混凝土结构的作用(可分为大气、浪溅和水下三部分)。泵站结构内部又可根据具体情况分为室内大气环境和封闭大气环境。室内大气环境中的有害氯离子浓度较室外大气环境的高, 而室内封闭大气环境的有害氯离子浓度更高。该厂房所处的环境作用等级普遍在 E 级, 局部达到 F 级(腐蚀作用的最严重级别)。厂房进水口处干湿交替, 室内高湿, 部分区域受海水溅射, 以上环境作用均对钢筋锈蚀产生不利影响。

从混凝土氯离子含量检测结果看, 厂房潮汐区、浪溅区及水下区各抽检构件混凝土中氯离子含量较高, 从而判断氯离子侵蚀是构件钢筋锈蚀的主要原因。

根据现场检测结果和设计资料复核, 钢筋腐蚀原因与当时的设计水准偏低及局部保护层过薄、混凝土施工质量差亦有一定关系。

3.3 解决对策

泵站厂房钢筋混凝土结构在环境作用下的结构性能再设计主要考虑结构抵抗由氯离子扩散所引起的钢筋腐蚀的能力^[6]。

在严重的氯盐环境中, 常规的混凝土修复技术由于无法隔绝电化学腐蚀的通路, 会导致混凝土结构中新的电化学腐蚀产生^[7]。同时, 即使修复了目前混凝土的破损部位, 其他部位仍然含有很高的氯离子浓度, 电化学腐蚀的条件仍然存在, 如此将造成反复维修, 损失更多的资金和影响建筑物的营运。

考虑到本工程氯盐的侵入途径, 本工程采取耐久性修复综合对策, 阻断氯盐污染源, 抑止阳极反应。

首先, 阻断海水渗入结构的通路。对 III-E 及 III-F 环境等级的混凝土构件, 进行表面防腐蚀防水涂装, 使得混凝土构件不再由外侧侵入氯盐, 氯离子浓度不再进一步提高。

在阻绝外部氯盐污染源的基础上, 采取电化学附加措施, 对已侵入氯离子的混凝土构件进行保护。大量研究表明, 海洋大气环境下钢筋混凝土中钢筋的腐蚀, 是在混凝土保护层这一毛细管多孔体覆盖下, 伴随着电子和离子流动与迁移的电化学反应过程, 发生反应的前提是存在一定量的氯离子、氧气和水份等介质。因此只有有效除去混凝土内的有害氯离子, 提高混凝土或钢筋抗侵蚀能力, 才能达到防腐蚀修复效果。在耐久性再设计中, 鉴于目前的工程实际, 大范围地提高混凝土性能以及加大混凝土保护层是不可行的。因此恢复结构耐久性的解决方案, 应采取电化学修复技术, 制止钢筋锈蚀发展, 并且预防目前未锈蚀的钢筋出现问题。

以高性能混凝土回补,并在施工条件许可的范围内,适当加大保护层厚度。设置参比电极监测结构中钢筋电位变化;工程竣工后每隔 2 年连续 4 次测试保护层不同深度上的氯离子浓度分布,在早期发现氯离子的扩散深度。

3.4 关键措施

电化学附加措施主要采取以下措施:

(1) 阴极保护法

阴极保护是一种主动防护的系统,可通过内置的参比电极监控和调节保护参数以确保钢筋得到有效的保护。钢筋混凝土阴极保护系统设计寿命通常超过 30 年,与传统的维修方法相比,是以最小的投入得到最大限度的保护。

系统运行性能应达到下述规定:

①保护年限:不低于 30 年。

②保护电流密度: $20\text{mA}/\text{m}^2$ (基于被保护钢筋表面积)。

③保护参数:任何代表性的点应当满足下述的其中一个标准。

i 瞬时断电电位(把直流电流回路断开后,在 0.1 秒和 1 秒之间测量钢筋电位),相对于 $\text{Ag}/\text{AgCl}/0.5\text{MKCl}$ 负于 -720mV 。

ii 从瞬时断电起最大 24 小时,至少 100mV 的电位衰减。

iii 从瞬时断电起一个扩大的周期(一般 24 小时或者更长),至少 150mV 的电位衰减,在测量超过 24 小时的连续衰减应使用参比电极而不是电位衰减传感器。

(2) 电化学脱盐

在采取阴极保护措施前,可先采取电化学脱盐对结构进行维修,消除混凝土中氯离子。电化学脱盐时间通常控制在 4-8 周。电化学脱盐维修加固流程如下:局部凿除修补(含电连接和焊接阴极引出部件)→安装阳极系统(含阳极网、阳极丝安装以及阳极系统支护等)→安装电介质系统→进行电路连接→试通电→通电处理→通电完毕,拆除阳极系统→检查脱盐表面→取样分析氯离子含量→沿保护构件表面敷设滞水电介质载体。

阳极系统与构件表面是通过电介质载体接触,利用电介质载体的保水与滞水作用,在阳极网与构件内钢筋之间形成离子通路。采用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶液或自来水为电解质,在脱盐通电最后 7 天时(按通电电量计算),加入醇胺类阳离子型阻锈剂,使其在电场强制作用下,渗迁至钢筋表面,起到加强防腐保护作用。

泵站厂房结构于 2008 年底进行了混凝土耐久性维修,钢筋锈蚀现象得到了有效抑制,目前未发现结构构件出现钢筋锈蚀、保护层胀裂等耐久性损伤,维修效果良好。

4 结论与建议

混凝土耐久性维修需根据工程实际情况,针对环境状况、钢筋腐蚀诱因等各种因素,采用综合治理的办法才能达到维修效果。同时,为检验和评估维修效果,建议在维修前对结构进行混凝土氯离子含量检测和半电池电位检测,以对比结构在维修前后混凝土耐久性能的变化,也为后期维护提供依据。

参考文献:

- [1] 洪乃丰. 混凝土中钢筋腐蚀与防护技术(1)——钢筋腐蚀危害与对混凝土的破坏作用[J]. 工业建筑, 1999, 29(8): 66-68
- [2] 周新刚, 张瑞丰, 韦昌芹. 混凝土结构工程除盐的研究与应用[J]. 工程力学, 2005, 22: 82-89.
- [3] 陈孟辉. 某滨海核电站厂房混凝土耐久性损伤检测与评估[J]. 建材与装饰, 2009, 14: 234-236
- [4] CECS 220: 2007, 混凝土结构耐久性评定标准[S].
- [5] EUROPEAN STANDARD, EN 206-1: 2000, Concrete-Part 1: Specification, performance, production and conformity[S].
- [6] GB/T 50476-2008 混凝土结构耐久性设计规范[S].
- [7] 金伟良, 赵羽习. 混凝土结构耐久性[M]. 北京: 科学出版社, 2002

Study and Application of Concrete Structures Durability Maintenance Technology

CHEN Meng-hui

(Shenzhen Building Research Co. Ltd., Shenzhen 518049, China)

Abstract Technology of concrete structures durability maintenance is summarized. Plenty of durability damages were inspected at a seaside nuclear power plant. Strategy on concrete structures durability reinforcement and suggestion on concrete structure regular inspection and maintenance are submitted according to environmental condition, reinforcement corrosion inducement and remained service life of structures.

Key words concrete structure durability reinforcement corrosion electrochemistry maintenance