

液态腐蚀性介质条件下混凝土结构耐久性设计

张云莲 李家康

(杭州应用工程技术学院 土木系 杭州 310012)

摘 要 液态腐蚀性介质的侵蚀是影响混凝土结构耐久性的重要因素之一.讨论了腐蚀破坏的形式,液态介质腐蚀条件下混凝土结构耐久性的设计要求以及延长结构设计工作寿命的措施.

关键词 液态介质 混凝土结构 腐蚀 耐久性 设计工作寿命

中图分类号 TU528.33

液态腐蚀性介质包括腐蚀性水和酸、碱、盐溶液.前者是指自然环境中的腐蚀性水(即通常所说的环境水^[1])或在生产过程中受到各种介质污染的工业污水,其腐蚀性介质浓度较低,以腐蚀性离子在水中的含量表示;后者主要是直接作用或泄漏的生产介质,其浓度较高,以介质浓度表示其腐蚀性的高低.按国际标准,混凝土结构的四类使用环境为海水潮汐区、浪溅区、海水下环境、海面大气区;五类使用环境为受人为和自然的化学侵蚀性物质影响的环境,这两类环境条件下的混凝土结构易受液态腐蚀性介质的侵蚀.

1 液态介质对混凝土结构的破坏形式

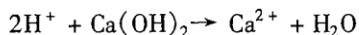
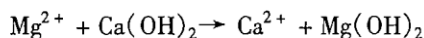
液态介质对混凝土结构的破坏作用主要表现为液态介质对混凝土的腐蚀破坏、混凝土的盐结晶破坏、混凝土中的钢筋腐蚀破坏.

1.1 液态介质的腐蚀破坏

根据介质对混凝土的腐蚀过程和表现形式,腐蚀破坏可分为如下三类:

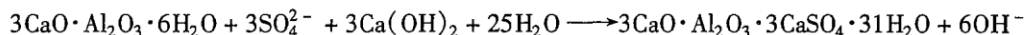
(1)溶出型破坏 水泥石中的氢氧化钙在软水的长期作用下发生溶解,使混凝土中的晶体接触强度受到损失.在流水及水压力作用下,溶解流失加剧,使混凝土的碱度不断降低,导致其它水化产物的分解溶蚀,最终使混凝土结构破坏.

(2)分解型破坏 主要是某些酸性介质(如碳酸、盐酸)和镁盐对混凝土的腐蚀.其破坏形式可用反应式表示如下:



(3)膨胀型破坏 环境水中的硫酸根离子(或硫酸盐生产介质)与水泥水化产物中的氢氧化钙、

水化铝酸钙发生如下反应:



生成的高硫型水化硫铝酸钙晶体(即钙矾石)因含有大量的结晶水,使水泥石比原有体积增加 1.5 倍以上^[2],在混凝土内部产生膨胀压力,造成混凝土开裂。

1.2 液态介质的盐结晶破坏

与混凝土相接触的盐溶液或海水,在毛细张力的作用下,可被混凝土毛细管提升.当空气湿度降低时,相应毛细孔中的水将向空气中蒸发,同时,毛细孔中的溶液将被浓缩,而形成盐的结晶,并按其特有的结晶特征结晶生长.当这种结晶生长作用受到毛细孔壁限制时,将对孔壁产生巨大的结晶压力,致使混凝土开裂破坏。

1.3 钢筋腐蚀破坏

钢筋腐蚀破坏是混凝土保护层覆盖下钢筋的电化学腐蚀.钢筋腐蚀产物的体积约为原钢筋的 2~4 倍^[3],其膨胀压力远远大于混凝土的抗拉极限强度,导致混凝土的开裂和钢筋失效.海洋环境下氯盐引起的钢筋腐蚀破坏非常普遍.在氯离子存在加之前述液态介质侵蚀下,钢筋腐蚀更为剧烈.预应力混凝土结构中的预应力筋在腐蚀介质作用下,发生腐蚀破坏的后果尤为严重。

2 混凝土结构遭受液态介质腐蚀的影响因素

(1) Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 等腐蚀性介质的存在;

(2) 水泥石中水化铝酸钙和氢氧化钙的含量 氢氧化钙的溶解、流失是混凝土发生溶出型破坏和分解型破坏的主要因素;氢氧化钙和水化铝酸钙又是生成钙矾石(发生膨胀型破坏)的必要组分;

(3) 混凝土的密实度 液态腐蚀性介质对构件的腐蚀,一般从混凝土中的孔隙和裂隙等通道由表及里逐渐进行.混凝土的抗渗性能对腐蚀速度有重要影响,抗渗性能则主要取决于混凝土的密实度;

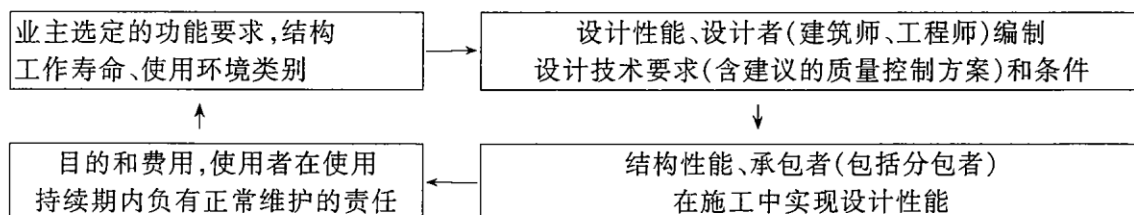
(4) 结构的工作条件 在水力冲刷、干湿交替、较高的温度等条件下,腐蚀破坏加剧。

3 液态介质条件下混凝土结构的耐久性设计

3.1 耐久性设计的概念

耐久性设计是指混凝土结构的设计、施工和使用,要在预定的环境影响下,在一个明确的或隐含的时段内,能维持结构的安全、正常使用和可以接受的外观,不需要花费不能预见的高额费用来维护和修理.即结构或结构部件的性能在它们参与的工作环境中,不会因为材料性能或结构部件的退化导致结构失效,或者使结构的使用性能和外观变得难以接受。

根据结构的重要性和环境条件,要协调各种措施(规划、设计的、施工的、使用的等等)保证已选定的结构要求的工作寿命,工作寿命同样依赖于结构的和非结构元件的性能.各环节的协调可用如下质量环表示:



唯有各环节的协调行动才能达到耐久的目的。

设计工作寿命是指设计规定的时期,在此期间结构或结构构件只需进行正常的维护便可按其预定目的使用,而不需进行大修加固。设计工作寿命可按国标《建筑结构设计统一标准》GB50068 确定,也可由业主提出要求,经主管部门批准,按业主要求确定。一般结构的工作寿命为 50 年,但某些结构将要求较长的寿命,如 100 年或以上,而某些结构则要求适当较短的寿命,如少于 25 年。工作寿命设计应考虑以下问题:(1) 设计中应考虑构造细节,提高结构的坚固性和自我保护以抵抗环境的侵蚀;(2) 一般的辅助设施(如给排水设施、支承、接头等等)的寿命比结构短,在设计中应有足够的规定使这些元件得到维护和更换;(3) 要有特殊防护措施,特殊防护的使用寿命一般大大短于预期的结构寿命;(4) 结构要求的寿命期应该在不依靠特殊保护、不需要频繁地维护和重做下获得;(5) 采用多阶段防护,不同耐久措施可以同时作用,并且前一个被损坏或超越时可以由后一个来替代;(6) 设计时应尽量保证有足够的进出口,使整个结构在预计寿命期内能够提供检查和维护。

3.2 耐久性设计的准则

3.2.1 结构形式 暴露的混凝土结构形式与使用环境相互作用,相互影响。结构形式的复杂性不仅影响到制作和使用,一般也增加结构退化的敏感度,缩短结构工作寿命,或增大维护费用;同样,结构的老化特征也可能增加退化的复杂性。因此,对于暴露的结构部件的几何形状、类型、接缝的浇筑、施工缝、连接、支座均应仔细选择,使液态腐蚀性介质的局部集中危险减到最小。液态腐蚀性介质以渗透扩散或毛细作用等方式进入混凝土,加速对钢筋的腐蚀,所以,结构外露的混凝土表面要充分排水,并注意如下问题:(1) 避免在接缝和止水带上排水;承受潮湿、溅水、积水的面积尽可能减到最小;(2) 房屋建筑立面上应特别注意易于排水,并方便清洗;(3) 尽可能使结构中的孔洞和空隙能排水和通风;(4) 保证良好的、安全的预应力管道灌浆,预应力筋的锚固区具有特别的保护;(5) 避免可能导致大局部裂缝的结构类型(这种开裂应用适当的构造筋来处理);(6) 预计腐蚀破坏较严重的结构构件,宜设计成可更换或宜维修的构件。

3.2.2 混凝土材料、保护层厚度 低渗透性是保持混凝土耐久性的第一道防线。配制混凝土时,要考虑拌和物的均匀性、稳定性,以及硬化混凝土的密实度、界面结构、尺寸稳定性和所用原材料的品质等。要保证成型密实、均匀、硬化后无原始裂缝,避免由于温度应力而产生裂缝,尽量降低混凝土的干缩。最大水胶比和最小水泥用量限值要遵循有关专门标准。选择熟料中 C_3S 、 C_3A 含量少的水泥,可减少水泥水化产物中氢氧化钙和水化铝酸钙的含量,减少液态介质对混凝土的腐蚀破坏。合理进行配合比设计,在含有氯离子条件下尽量降低水胶比,选择良好的骨料,掺加外加剂以及改善施工方法避免离析及泌水等都可以提高混凝土的密实度,使混凝土的渗透性变小。在较低的水胶比下,粉煤灰活性混合材能产生减水、增浆、分散、活化、微集料等多种效应,大大提高混凝土的耐久性^[4]。大量的事实已证明,掺入粉煤灰等活性混合材能使混凝土的抗硫酸盐侵蚀能力大大提高^{[5][6]},并在一定程度上能提高混凝土对氯离子的渗透阻力^{[7][8]}。

纵向受力钢筋及预应力钢筋、钢丝、钢绞线的混凝土保护层厚度,不应小于钢筋的直径或并筋的等效直径;不应小于骨料最大粒径的 1.5 倍,并符合《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB50046-95)和海港钢筋混凝土结构的有关防腐规定。采用预应力高强钢丝、钢绞线作受力钢筋的预应力构件及设计工作寿命为 100 年的房屋结构,混凝土保护层厚度要适当增加。

有粘结、无粘结预应力束从预应力筋的尺寸和质量到孔道或套筒、混凝土保护层、特殊表面防腐、锚具止水等都应该有若干连续的防腐措施。

3.2.3 细部构造 布筋要保证混凝土的可操作性和密实性,并尽可能配置三向的钢筋笼以增加结构混凝土的整体坚固性。暴露结构部分中的施工缝应适当选择,其暴露形式要与环境适应,注意缝

位置处的应力水平和预见的变异、外观效果.尽量限制混凝土接缝和密封处积水,加强排水,减少受潮和溅湿的表面积.对于构件的薄弱部分尽量避开干湿交替频繁部位和浪溅区.

3.2.4 裂缝的控制^[4] 暴露于海水或化学侵蚀环境中的预应力混凝土,要求在整个使用寿命期间不得使预应力筋局部去钝化,混凝土中不得出现拉应力,在具有不渗透的覆盖层下才容许发生宽度不大于0.2mm的裂缝.钢筋混凝土中混凝土的容许裂缝宽度为0.3mm.CEB/FIP混凝土结构设计模式规范(1990)规定:对于侵蚀环境中的钢筋混凝土结构,无论有无裂缝,均应提高混凝土质量或采取其它有效保护手段.

4 特殊防腐措施

当侵蚀作用特别严重时,或设计、施工不当,以正常规定不能保证要求的工作寿命时,或结构已受到损伤、无充分的耐久性时应采取特殊的防腐措施.主要有:(1)提供光滑表面,使受侵蚀的暴露面积降至最小;(2)采用涂盖防水剂、膜、加镶面板、衬砌等提供结构保护;(3)降低环境侵蚀度,如降低湿度、温度等;(4)对配筋提供特殊防护(如受力钢筋采用环氧涂层带肋钢筋);在混凝土中掺加钢筋阻锈剂;(5)电化学保护;(6)采用耐腐蚀钢筋或具有耐腐蚀覆盖层的钢筋;(7)增加混凝土保护层,当混凝土保护层厚度的名义值(等于混凝土最小保护层厚度加上公差10mm) $\geq 70\text{mm}$ 时,提供表皮配筋;(8)制定专门的监测和跟踪系统.

5 结 语

液态腐蚀性介质条件下混凝土结构的耐久性设计应达到正常使用极限状态的要求,保证在液态介质条件下应有的安全性和正常使用功能,并从结构形式、细部构造、裂缝控制、材料的选择和用量、混凝土保护层厚度等方面进行,侵蚀严重时必须采取特殊防腐措施.

参 考 文 献

- 1 范迪恩.在腐蚀条件下混凝土结构耐久性的设计.防腐蚀工程,1998,14
- 2 李志国.试论盐及溶液对混凝土及钢筋混凝土的破坏.混凝土,1995,(2):10~13
- 3 王绍基,洪乃丰.混凝土中钢筋腐蚀破坏与修复对策.工业建筑,1997,(12):36~39
- 4 洪定海.混凝土中钢筋的腐蚀与保护.北京:中国铁道出版社,1998.68~69,86~89
- 5 亢景富.混凝土硫酸盐侵蚀研究中的几个基本问题.混凝土,1995,(3):9~17
- 6 禹建林.粉煤灰混凝土的护筋特性.粉煤灰综合利用,1995,(4):37~38
- 7 卢木等.混凝土中钢筋锈蚀的研究现状.混凝土,2000,(2):37~41
- 8 吴学礼等.粉煤灰在海工混凝土中的应用研究.粉煤灰综合利用,1999,(1):12~19

Durability design of the concrete structure in the environment with liquid corroding medium

Zhang Yunlian Li Jiakang

(Dept. of Civil Engineering, Hangzhou Institute of Applied Engineering, Hangzhou 310012)

Abstract Liquid medium corrosion is one of the important factors effecting concrete structure durability. The problems on corrosion forms, durability designing requirements and methods for prolonging design working life of the concrete structure in the environment with liquid corroding medium are discussed in this paper.

Key words liquid medium concrete structure corrosion durability design working life