

Research Progress on Concrete Prediction Methods Based on Durability Performance

Huilin Chen

Hebei University of Engineering, Handan, Hebei, 056038, China

Abstract

As a kind of widely used engineering material, its durability is directly related to the safety and service life of engineering structure. With the rapid development of engineering construction, the durability of concrete structure gets more and more attention. This paper summarizes the progress of concrete durability prediction method and discusses the future development. Under the action of a variety of environmental factors, concrete structure performance deterioration will occur, such as carbonization, chloride ion erosion, freezing and thawing damage, etc., these deterioration process seriously affects the durability of concrete. Therefore, the development of effective concrete durability prediction method is of great significance for engineering design, construction and maintenance.

Keywords

durability performance; concrete prediction method; research progress

基于耐久性能的混凝土预测方法研究进展

陈荟林

河北工程大学, 中国 · 河北 邯郸 056038

摘 要

混凝土作为一种广泛使用的工程材料,其耐久性直接关系到工程结构的安全性和使用寿命。随着工程建设的快速发展,混凝土结构的耐久性问题日益受到重视。论文综述了混凝土耐久性预测方法的研究进展,并对未来发展进行了展望。混凝土结构在多种环境因素的作用下,会发生性能劣化,如碳化、氯离子侵蚀、冻融破坏等,这些劣化过程严重影响了混凝土的耐久性。因此,发展有效的混凝土耐久性预测方法,对于工程设计、施工和维护具有重要意义。

关键词

耐久性能;混凝土预测方法;研究进展

1 引言

高性能混凝土实际上是采用尖端科技改良传统混凝土而形成的一种卓越性质材料。在稳定性及耐冻性能上相较旧式混凝土有着显著的提升,并且它的流动特性更加出众,因此有着更优异的填充能力,极大地扩展了其在多样化建设领域的应用范围。再者,这种混凝土材质本身保持一定的弹性且不易变形,从而减少了混凝土硬化后裂痕出现的风险,有助于抵御外在环境的改变,满足特殊工程施工上的需求。

2 混凝土结构耐久性的研究内容及现状

混凝土建筑物依据周围所面对的自然条件可区分为常规大气型环境、海洋型环境、土壤型环境以及工业型环境等类别。决定混凝土建筑耐久性能的内在要素通常涉及其本身密度、硬度,以及其中水泥的用量比例、水和水泥混合比、

氯元素与碱水平、添加化学剂的量、防护层的厚薄等;而外在要素则主要指周遭的自然环境,诸如气温、空气湿度、二氧化碳浓度、腐蚀性物质的影响等。

2.1 混凝土的碳化

混凝土中碳化作用的含义在于,混凝土内部的钢材表层会因其高碱环境产生一层防护性氧化物薄膜,有效地防护钢材不受侵蚀。然而,空气中的 CO_2 等酸性气体会引起混凝土中和反应,使得碱值下降。在水泥石基础的硅酸盐型混凝土中,最初的碱性程度较强, pH 读数在 12.5~13.5 之间,然而,随着空气中二氧化碳的不断深入混凝土并与水化后的碱金属成分—主要是氢氧化钙—进行化学作用,导致 pH 数值逐渐降低。通常情况下,当 pH 值保持在 11.5 以上,防护性的氧化薄膜才能保持稳定。混凝土一旦碳化,便会导致其 pH 值减至 10 以下,这样不仅催化了氧化膜的损坏,也对钢筋产生腐蚀威胁,进而削弱了混凝土的持久性。此外,在碳酸化作用发生期间,由于结合水转化为结晶水而逸出,导致混凝土不可避免地出现了压缩现象,当此缩减在被限制的环

【作者简介】陈荟林(1998-),女,中国四川达州人,在读硕士,从事基于机器学习的绿色混凝土耐久性研究。

境中发生时,常常会诱导混凝土表层出现微细破裂,从而进一步激化了碳酸化的进程;该化学作用还使得混凝土材料变得更加脆弱,其构件的柔韧性也随之降低。

2.2 钢筋的锈蚀

当混凝土中的碳化作用扩展到钢筋外层,导致保护层损毁,为钢筋生锈创造了必备的前提;而一旦富含氧气的水分渗透,便提供了钢筋锈化所需的充足条件。当钢材外表所覆盖的抗氧化层一旦受损,其露出的部位便会从周围空气中摄取含碳氧化物、氧或硫氧化物的湿气,形成类似电解质的润湿薄膜,这将导致钢铁表层的不同物质成分或晶格边界形成众多的腐蚀电芯。混凝土中钢筋的腐蚀现象,本质上是由电化学腐蚀引起的。这种腐蚀过程需要满足两个基本条件:其一,钢筋表层必须出现电势不同的区域,导致该区域分化出正负电极;其二,在正电极区域,钢筋表面必须是激活状态,能够顺畅地放出电子,并且在负电极区域,其表面需具备充足的水分与氧气。铁筋外层形成的锈蚀,其容积数倍增大,导致混凝土结构产生裂缝。针对钢筋在混凝土结构中的锈蚀进程观察,现存计算钢筋锈蚀程度的模型在理论根基上相对恰当,而以实验数据构建的实证方程式在实际操作中也显得相当便利。部分学术文献探讨了在混凝土顺着钢筋方向发生裂纹时,所需的最小腐蚀量等相关问题。调查结果揭示,混凝土沿筋道发生裂缝的关键腐蚀极限与其抗拉刚度、混凝土护层的厚度以及钢筋的粗细程度相关联^[1]。

2.3 混凝土的冻融循环

常规大气条件与降水的侵袭会导致混凝土产生干燥收缩与冻融的循环作用,进而对混凝土的持久性造成负面影响。关于这一点,通过调节水泥比例及保证混凝土的紧实度,这是一种针对混凝土抗冻冻损害的行之有效措施。早期关于混凝土冻害作用机制的研究,已提出如静态水压力假说、渗压力假说等理论,但鉴于混凝土结构冻害现象的多变性,迄今尚无一套普遍被认可且能全面揭示混凝土冻害机制的理论。普遍的看法是主要由于在特定的冷冻点上,冰结水分与未完全凝固的过冷水同时存在,前者在膨胀过程中增大体积,而后者在移动过程中导致压力分布不均匀。实验室环境下,常通过测定样本的冻融循环次数、动态弹性模量或是冻融抵抗耐久性系数来衡量混凝土的耐冻融能力。

2.4 混凝土的碱集料反应

集料碱反效应涉及水泥或混凝土中的碱性物质与部分反应性骨料之间发生的化学作用,这种作用会导致混凝土体积膨胀,出现裂纹,并可能导致破损。它是影响混凝土长期稳定性的关键因素之一。中国有些区域发现了混凝土中的碱-骨料反映问题,意味着混凝土组成部分中的活跃成分与其内部碱性物质的溶液发生化学作用,这种情况进而引起了混凝土结构的破裂、表皮剥落、钢材锈化暴露,乃至建筑构件的功能失效。碱骨料反应的普遍现象包括:粒料膨胀与破裂;混凝土裂痕宛如地图般的纹理,常见于较大区域且无论内外均可能出现;粒料

与水泥石交界的地方会发生化学作用;会形成反应物质,即碱硅酸盐凝胶。集料碱反应的破坏模式与其他混凝土问题不同,造成的裂纹是全面性的。截至目前,尚未有可行的修复技术,而且针对碱-碳酸盐反应的预防措施也还未找到行之有效的解决方案,这一领域的研究亟需深化^[2]。

2.5 混凝土构件的耐久性

鉴于多方面因素,混凝土构筑物在材质性质退化之后,其构件的承重能力以及功能性能相应减弱。部件的耐用度削弱无疑会对混凝土建筑的全面耐久性能造成负面影响,故而,深入探讨部件耐久性能变化至关重要。众多学者对钢筋腐蚀结构的机械特性进行了广泛的实验研究,包括弯曲性能测试、轴向压缩和偏心加载试验诸多方面。钢筋遭受锈蚀的混凝土构件在力学特性上的变化主要体现在三个方面:其承重能力减弱、伸展性变差以及破坏模式的转变。此外,说明了钢筋在混凝土构件内部发生腐蚀会引起构件刚性下降,造成形变加剧,横向的裂痕间隔扩大且裂痕宽度增宽,进而导致构件的使用效能下降。研究人员在文献记载的实验进行了多次室内快速碳化过程的试验,并通过统计方法分析,得出了混凝土经过碳化作用后的力学性质表征。研究结果显示,当混凝土经历碳化作用时,其压缩承受力确实增强了,然而伸展性能却有所降低,这降低了混凝土结构部件的能量吸收效果,不利于其抵御地震的能力。

3 影响混凝土耐久性的因素

混凝土建筑的耐久表现,体现在住宅的坚固程度和实际使用寿命上。多种因素会影响到混凝土的持久性,既包括来自外界的也有内在的,主要包含以下几点:

3.1 碳化因素

在混凝土中,钙元素(Ca)占据主导地位,这种元素容易同空气里的水蒸气及氧化物作用,产生如 CaCO_3 等化合物。这一过程会削弱混凝土本身的碱性水平,进而损害紧邻混凝土的钢筋表层的钝化保护膜,导致其稳固性下降,使得起防护作用的混凝土功能丧失。显然,在这个过程里,侵蚀作用是随着墙壁表层逐渐递进而加剧的,因而钢材显示出腐化迹象至少需经历漫长时期,此刻的钢筋不仅已被激活,或许部分已陷入活化过程中。加之大气湿气与其他有害物质的腐蚀,导致钢材生锈、稳固性下降。在众多混凝土损毁类型中,墙面因冻融效应而产生裂纹尤为普遍,其根本原因归咎于水分结冰与融化的循环影响。处于湿润或湿气重的环境之中,混凝土构筑物不单单会缓慢裂开,还可能会遭遇表皮脱落、宽阔裂痕等诸多难题,这些情况极端危害了居住建筑的稳定性及其功能性,并减弱了其持久耐用的程度。

3.2 混凝土自身变化因素

在一般状况之下,受到周遭环境、气象以及温度湿度等因素的影响,混凝土往往会呈现内部应力或缩减的现象。若此类状况属于正常界限之内,其影响不甚巨大。然而,从

整体角度来看,若因混凝土在受限条件作用下产生的伸展应力过大,超越了其所能够耐受的力度阈值,便会引致显著的裂纹产生。所以,尽量限制应力在一个较低的水平,以增强混凝土的持久性能。此外,混凝土固有的性质、温度变化以及干燥造成的缩减,同样会对其品质的波动以及裂纹的产生造成显著的直接作用。

4 基于耐久性能的混凝土预测方法

4.1 快速试验方法模型

快速试验方法通过在实验室中模拟恶劣环境条件,加速混凝土的劣化过程来预测其耐久寿命。例如,通过加速碳化试验来预测混凝土的碳化深度,或通过盐雾试验来模拟混凝土在海洋环境中的氯离子侵蚀。这些方法能够在短时间内获得大量数据,但需要进一步验证其与自然环境下的耐久性的相关性。

4.2 基于材料性能劣化的数学模型

这类模型通过数学方程描述混凝土性能随时间的劣化过程。例如,基于 Fick 扩散定律的氯离子扩散模型,或基于连续损伤力学的耐久性模型。这些模型能够考虑混凝土的微观结构和材料特性,以及环境因素对劣化过程的影响,但需要大量的实验数据来确定模型参数^[1]。

4.3 概率分析法模型

概率分析法模型将不确定性和随机性纳入混凝土耐久性预测中。通过统计分析大量工程案例,建立混凝土耐久性能的概率分布,从而预测其寿命分布和可靠性。这种方法能够考虑多种因素对混凝土耐久性的影响,提供更为全面的预测结果。

4.4 多尺度模拟方法

随着计算力学的发展,多尺度模拟方法在混凝土耐久性预测中显示出巨大潜力。通过微观、细观和宏观不同尺度的模拟,可以更全面地理解混凝土的耐久性劣化机制。

5 高性能混凝土耐久性改良方法

5.1 混凝土表面涂层

在物料上施加表层处理,实质上是为了建立一道防护屏障,避免物料直接暴露于不稳定的外部环境中,以此来预防材质受损,并提高其使用寿命。对于高性能混凝土而言,在其表面结硬之后施加一层涂料,能够为其提供必要的防护。这类混凝土表面的涂装大致分为环氧树脂涂装和富含锌元素的涂装两类。其作用在于形成一层物理屏障,以保障材

料内部得到免受侵害,涂层能否有效地履行其保护职能,在很大程度上依赖于涂层是否完好无损,因此,在防护涂层不受损害方面应予以足够关注。

5.2 掺入高效活性矿

在施工项目中实际运用的高强度混凝土,其稳定特性会随着累积使用的时间而有所变化,进而对这种材料的持久性造成影响。因此,可以通过增强高强度混凝土的稳固性来间接促进其承受长期使用的能力。这可以通过向混凝土中加入能高效促进反应的活性矿物质来实现,以此改进混凝土的胶凝成分状态,增进水合物在混合和倾倒阶段的反应活性,由此令混凝土在凝固后的内部结构更为致密,大幅度提升了高性能混凝土的稳固性质,从而增强了材料本身对长时间使用的抗性和持久力。

5.3 添加阻锈剂

在建筑施工领域,强度高的混凝土须与钢材结合灌注使用,因此增进钢材的工艺性质对延长混凝土结构的寿命扮演关键角色。钢材镶嵌于混凝土核心,在与砂石成分相互摩擦的过程中,受电化学反应影响,终将不断受腐蚀,久而久之钢材可能变形乃至断裂。这种情况下,外围的高性能混凝土也会出现裂痕等破损,从而大幅度削减其持久性。因此,向混凝土中加入抗锈添加剂成为一种有效手段,能够维护混凝土内的钢材抵御锈蚀,间接延长高性能混凝土的使用周期。

6 结语

混凝土耐久性预测方法的研究正朝着更加科学、精确和实用的方向发展。未来的研究需要综合考虑混凝土结构的多种耐久性能,以及不同环境因素对这些性能的影响,从而为混凝土结构的设计、施工和维护提供更为可靠的指导。通过这些研究进展,可以预见,未来的混凝土耐久性预测将更加依赖于跨学科的合作,包括材料科学、统计学、计算力学等,以实现更高精度和可靠性的预测。

参考文献

- [1] 寇世聪,潘智生.不同强度混凝土制造的再生骨料对高性能混凝土力学性能的影响(英文)[J].硅酸盐学报,2012,40(1):7-11.
- [2] 吕兴栋,刘战鳌,朱志刚,等.尾矿作为水泥和混凝土原材料综合利用研究进展[J].材料导报,2018,32(S2):452-456.
- [3] 朱彬荣.基于概率方法的西部地区混凝土结构材料服役寿命预测[D].兰州:兰州理工大学,2017.