

# 高速公路混凝土耐久性快速检测技术探讨

杨 振

辽宁省交通规划设计院有限责任公司 辽宁 沈阳 110000

**摘要：**随着高速公路建设的快速发展，对混凝土耐久性的要求也越来越高。本文综述了高速公路混凝土耐久性的基本概念与影响因素，详细探讨了当前快速检测技术的分类、特点及其在国内外的发展现状与趋势。重点介绍了电化学检测技术、物理检测技术和化学分析技术等主要快速检测技术的原理与特点，并展望了这些技术在高速公路工程中的应用前景。

**关键词：**高速公路；混凝土耐久性；快速检测技术

引言：高速公路作为现代交通网络的重要组成部分，其建设质量和安全性直接关系到国家经济发展和人民生命财产安全。随着运营时间的延长和交通荷载的增加，高速公路混凝土结构面临着严重的耐久性问题。开展混凝土耐久性的快速检测技术研究，对于及时发现潜在问题、优化维护策略、提高工程质量具有重要意义。

## 1 混凝土耐久性的基本概念与影响因素

### 1.1 混凝土耐久性的定义与内涵

混凝土耐久性是指混凝土在特定环境和使用条件下，能够保持其原有性能与结构完整性，抵抗各种物理、化学及生物作用，从而确保结构安全、稳定及长期服役的能力。这一概念不仅涵盖了混凝土材料本身的物理力学性能，如抗压强度、抗折强度等，还涉及其在长期暴露于自然环境中时，抵抗侵蚀、磨损、冻融循环、化学侵蚀等破坏作用的能力。耐久性的好坏直接关系到混凝土结构的寿命、维护成本及安全性，是评价混凝土质量的重要指标之一。

### 1.2 影响混凝土耐久性的主要因素

#### 1.2.1 内部因素

(1) 原材料质量。水泥的品质、骨料的性质（如粒径、级配、含泥量）、外加剂的种类与用量等，均直接影响混凝土的耐久性<sup>[1]</sup>。高品质的水泥和骨料能显著提升混凝土的抗渗性、抗冻融性等性能。(2) 配合比设计。合理的配合比设计能够优化混凝土的微观结构，减少孔隙率，提高密实度，从而增强混凝土的耐久性。(3) 水化产物特性。混凝土中的水化产物如氢氧化钙（CH）的晶粒大小、分布及取向，对混凝土的抗化学侵蚀能力有重要影响。

#### 1.2.2 外部因素

(1) 环境因素。包括气候条件（如温度、湿度）、水质（含盐量、酸碱度）、土壤性质（如腐蚀性）、大

气污染等。例如，高盐环境会加速混凝土的氯离子侵蚀，导致钢筋锈蚀；酸性环境则可能引发混凝土的化学腐蚀。(2) 荷载与应力状态。长期或周期性荷载作用，以及混凝土内部的应力分布不均，可能导致混凝土开裂，进而加速水分、盐分的渗透，降低耐久性。(3) 生物作用。微生物如硫酸盐还原菌的活动，能产生硫酸等腐蚀性物质，对混凝土造成侵蚀。

### 1.3 高速公路混凝土耐久性的特殊要求

(1) 长期稳定性。高速公路混凝土需承受大量车辆荷载的长期作用，要求混凝土具有优异的抗疲劳性能和长期稳定性，避免早期开裂和性能退化。(2) 抗侵蚀性。高速公路往往穿越复杂多变的地质与气候条件，混凝土需具备强大的抗化学侵蚀、抗冻融循环、抗盐渍化等能力，以维持结构的完整性和安全性。(3) 快速检测与维护。鉴于高速公路的重要性，对其混凝土耐久性的监测与维护需高效、准确。快速检测技术能在不中断交通的情况下，及时发现潜在问题，为及时维护提供依据。(4) 环保与可持续性。随着环保意识的增强，高速公路混凝土的耐久性设计还需考虑材料的环保性、资源的循环利用以及施工过程中的环境影响，推动绿色交通建设。

## 2 高速公路混凝土耐久性快速检测技术综述

### 2.1 快速检测技术的分类与特点

#### 2.1.1 无损检测技术

无损检测技术因其不会对混凝土结构造成破坏而备受青睐。这类技术包括超声波检测技术、红外热成像技术和电化学检测技术。(1) 超声波检测技术。通过测量超声波在混凝土中的传播速度、波幅和频率等参数，能够评估混凝土的强度、内部缺陷和裂缝情况。这种方法操作简便、检测速度快，且对结构无损伤。超声波检测技术的优势在于其能够穿透较厚的混凝土结构，提供较

为准确的内部缺陷信息。(2) 红外热成像技术。利用混凝土表面温度分布的差异来检测内部的缺陷和热传导异常。例如,在混凝土结构存在裂缝或空洞的部位,热量传递会发生变化,从而在红外图像中显示出异常区域。红外热成像技术的优势在于其能够直观显示混凝土结构内部的热传导异常,便于快速定位潜在问题。(3) 电化学检测技术。通过测量钢筋的电位、极化电阻等电化学参数,可以判断钢筋的锈蚀程度和发展趋势。电化学检测技术对于评估钢筋锈蚀情况具有重要意义,能够为预防混凝土结构的进一步劣化提供重要依据。

### 2.1.2 便携式检测技术

便携式检测技术因其操作简便、设备小巧而广泛应用于高速公路混凝土耐久性的快速检测中。这类技术包括氯离子含量快速测定、回弹仪检测等。(1) 氯离子含量快速测定。氯离子是导致混凝土结构耐久性下降的主要因素之一。通过快速测定混凝土中的氯离子含量,可以评估其抗氯离子渗透性能。氯离子含量快速测定技术的优势在于其能够迅速提供检测结果,为及时采取防护措施提供依据。(2) 回弹仪检测。回弹仪通过测量混凝土表面的回弹值来评估其强度。这种方法适用于现场快速检测,能够初步判断混凝土结构的整体强度水平。回弹仪检测技术的优势在于其设备小巧、操作简便,适用于各种复杂环境下的快速检测。

### 2.1.3 光纤传感技术

光纤传感技术是一种新兴的无损检测技术,通过将光纤传感器嵌入混凝土结构中,可以实时监测混凝土的应变、温度和裂缝扩展等参数的变化<sup>[2]</sup>。光纤传感技术的优势在于其能够实现对混凝土结构的长期、连续监测,为评估其耐久性提供更为准确的数据支持。该技术目前尚处于发展阶段,设备成本较高,限制了其广泛应用。

## 2.2 国内外快速检测技术的发展现状与趋势

### 2.2.1 国内发展现状

近年来,我国在混凝土耐久性快速检测技术方面取得了显著进展。国内科研机构和企业纷纷投入研发力量,推出了一系列具有自主知识产权的快速检测设备和技 术。这些技术不仅提高了检测效率和准确性,还降低了检测成本,为高速公路混凝土耐久性的评估和维护提供了有力支持。与发达国家相比,我国在混凝土耐久性快速检测技术的研发和应用方面仍存在一定差距。一方面,部分高端检测设备和技 术仍依赖进口;另一方面,国内在传感器的研究、数据分析和处理等方面还需进一步加强。

### 2.2.2 国外发展现状

国外在混凝土耐久性快速检测技术方面起步较早,积累了丰富的经验和技 术成果。一些发达国家已经建立了完善的检测标准和规范,为混凝土结构的耐久性评估提供了科学依据。国外在传感器技术、数据处理和分析等方面也取得了显著进展,推动了混凝土耐久性快速检测技术的不断发展和完善。

### 2.2.3 发展趋势

(1) 智能化和自动化。随着物联网、云计算等技术的不断发展,快速检测技术将实现智能化和自动化,提高检测效率和准确性。(2) 多技术融合。将多种检测技术相结合,如超声波检测、红外热成像和电化学检测等,能够更全面、准确地评估混凝土结构的耐久性。(3) 低成本和便携化。随着技术的不断进步和市场竞争的加剧,快速检测设备的成本将逐渐降低,设备将更加小巧便携,便于现场快速检测。(4) 标准化和规范化。随着检测技术的不断发展和完善,相关标准和规范将不断更新和完善,为检测工作提供更明确的指导。

### 2.3 快速检测技术在高速公路工程中的应用前景

快速检测技术在高速公路工程中的应用前景包括以下几个方面:(1) 早期预警。通过快速检测技术,可以及时发现混凝土结构中的潜在问题,如裂缝、空洞等,为及时采取修复措施提供依据,避免问题进一步恶化。(2) 优化维护策略。根据快速检测技术的结果,可以制定更加科学合理的维护策略,提高维护效率和资金利用率。(3) 提高工程质量。在高速公路建设过程中,通过快速检测技术可以及时发现施工质量问题,为及时整改提供依据,确保工程质量。(4) 推动智慧交通发展。快速检测技术与物联网、云计算等技术的结合,将推动智慧交通的发展,提高道路安全、优化交通流量和提高运输效率。

## 3 主要快速检测技术原理

### 3.1 电化学检测技术

电化学检测技术通过测量混凝土中的电化学参数,评估混凝土的耐久性状况,特别是钢筋的锈蚀情况和混凝土的抗氯离子渗透性。(1) 电位法检测混凝土钢筋锈蚀。电位法是一种常用的电化学检测技术,用于评估混凝土中钢筋的锈蚀状态。其原理是基于半电池电位法,通过测量钢筋与参比电极之间的电位差,判断钢筋是否处于活化状态,即是否发生了锈蚀。当钢筋表面的电位低于某一临界值时,表明钢筋开始锈蚀。电位法具有操作简便、非破坏性、实时监测等优点,需要注意的是,电位值易受混凝土电阻率、钢筋位置、环境因素等多种因素的影响,在实际应用中需要结合其他检测手段进行

综合判断。(2)电通量法评估抗氯离子渗透性。电通量法是一种用于评估混凝土抗氯离子渗透性的电化学检测技术。其原理是在混凝土试件两侧施加一定的电压,使氯离子在电场作用下通过混凝土,测量单位时间内通过混凝土的氯离子数量,即电通量,来评估混凝土的抗氯离子渗透性能。电通量法具有测试周期短、结果直观、可重复性好等优点,能够较好地反映混凝土的微观结构和抗渗性能。该方法对混凝土试件的尺寸、形状和边界条件有严格要求,且测试结果受多种因素影响,如混凝土的水灰比、龄期、温度等。

### 3.2 物理检测技术

物理检测技术利用超声波、红外热成像等物理原理,对混凝土内部结构进行非破坏性检测,评估混凝土的耐久性和损伤情况。(1)超声波检测技术及其原理。超声波检测技术是一种基于超声波在混凝土中传播特性的物理检测方法。其原理是向混凝土内部发射超声波,通过测量超声波的传播速度、衰减程度和反射特性等参数,推断混凝土内部的缺陷、裂缝、孔隙等结构特征。超声波检测技术具有检测范围广、定位准确、对混凝土内部损伤敏感等优点,能够直观地反映混凝土内部的微观结构和损伤情况。该方法受混凝土材料特性、测试条件等多种因素影响,如混凝土的声速、密度、含水量等,在应用时需要结合实际情况进行修正。(2)红外热成像技术在混凝土检测中的应用。红外热成像技术是一种利用红外辐射原理对混凝土表面温度分布进行非接触式测量的物理检测方法。其原理是当混凝土内部存在缺陷或损伤时,这些区域与周围正常区域的热传导性能存在差异,导致表面温度分布不均<sup>[1]</sup>。通过红外热像仪捕捉混凝土表面的温度分布图像,可以直观地显示混凝土内部的缺陷和损伤情况。红外热成像技术具有检测速度快、非破坏性、直观易懂等优点,特别适用于检测混凝土表面的裂缝、空洞、渗漏等缺陷。该方法受环境温度、湿度、风速等外界因素影响较大,在实际应用中需要采取相应的措施进行校正。

### 3.3 化学分析技术

化学分析技术通过化学试剂或仪器分析的方法,对

混凝土中的化学成分进行定量或定性分析,从而评估混凝土的耐久性和化学侵蚀情况。(1)快速化学试剂法检测混凝土中氯离子含量。快速化学试剂法是一种用于检测混凝土中氯离子含量的化学分析技术。其原理是利用特定的化学试剂与混凝土中的氯离子发生反应,生成有色化合物或沉淀物,通过测量反应产物的颜色深度或质量变化,推算混凝土中氯离子的含量。快速化学试剂法具有操作简便、快速、成本较低等优点,适用于现场快速检测混凝土中的氯离子含量。该方法受试剂纯度、反应条件、操作误差等多种因素影响,测试结果可能存在一定误差。(2)离子色谱法在混凝土成分分析中的应用。离子色谱法是一种高效、灵敏的化学分析技术,用于检测混凝土中的多种离子成分。其原理是利用离子交换树脂或离子交换膜对混凝土样品溶液中的离子进行分离和富集,然后通过检测器测量各离子的浓度。离子色谱法具有分辨率高、重现性好、检测下限低等优点,能够同时检测混凝土中的多种离子成分,如氯离子、硫酸根离子、硝酸根离子等。该方法特别适用于对混凝土样品进行精细的化学分析,为评估混凝土的化学侵蚀情况和耐久性提供有力支持。离子色谱法需要专业的设备和操作技能,且测试成本相对较高,在实际应用中需要综合考虑测试需求和成本效益。

结束语:高速公路混凝土耐久性的快速检测技术对于保障道路安全、延长使用寿命具有重要意义。随着科技的不断发展,快速检测技术将向着智能化、自动化、低成本和便携化的方向发展。未来,应进一步加强技术研发,提高检测精度和效率,推动快速检测技术在高速公路工程中的广泛应用,为智慧交通的发展提供有力支持。

### 参考文献

- [1]赵翠.高速公路混凝土材料检测技术及应用探索[J].交通世界.2021(10):66-67.
- [2]李贺.高速公路沥青混凝土路面试验检测技术与质量控制措施[J].交通世界.2020(20):62-63.
- [3]刘涛.高速公路工程中高性能混凝土试验检测相关问题思考[J].运输经理世界.2023(3):152-154.