

# 公路桥隧工程材料性能试验与智能检测方法研究

王翔

320826198811232613

**摘要:**公路桥隧工程作为交通基础设施的重要组成部分,其质量与安全直接关系到交通运输的顺畅与人民生命财产安全。材料性能试验与智能检测方法是保障公路桥隧工程质量的关键手段。本文研究公路桥隧工程材料性能试验方法,涵盖水泥、钢筋、混凝土、沥青混合料及桥梁支座等,分析传统检测的局限,介绍智能检测技术如无人机、光纤传感、自动化监测系统的应用。通过案例展示其提升检测效率、准确性和工程安全的作用,为工程建设维护提供支持。

**关键词:**公路桥隧工程;材料性能试验;智能检测方法;工程质量;安全保障

**DOI:** 10.64216/3080-1508.26.02.017

## 引言

公路桥隧工程是交通基础设施的核心,对促进区域经济和提升交通效率至关重要。然而,随着交通流量增加和运营年限延长,工程面临日益严峻的质量安全挑战。材料性能直接影响结构安全与耐久性,严格试验是确保质量的基础。传统检测方法在效率、准确性和全面性上存在局限,难以满足高质量发展需求。因此,智能检测技术凭借高效、精准、实时等优势,正成为该领域的研究热点和应用趋势。

## 1 公路桥隧工程常用材料性能试验方法

### 1.1 水泥性能试验

水泥是公路桥隧工程中不可或缺的胶凝材料,其性能直接关系到混凝土的强度与耐久性。水泥性能试验主要包括胶砂强度、凝结时间及安定性等指标的检测。胶砂强度试验按照《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》进行,通过成型特定尺寸的试件,在标准养护条件下养护至规定龄期后,测试其抗折与抗压强度,以评估水泥的胶结能力。例如,在某省干线公路改扩建工程中,对P.O42.5级普通硅酸盐水泥进行检测,其3d抗折强度达到5.2MPa、抗压强度为26.8MPa,28d抗折强度为8.9MPa、抗压强度为48.3MPa,均满足设计及规范要求。凝结时间试验采用维卡仪测定,依据《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》,初凝时间应不小于45min,终凝时间不大于600min。安定性试验则通过雷氏夹法判定,煮沸后两指针间距增值不超过5.0mm为合格。严格的水泥性能试验能够确保水泥质量,为混凝土施工提供可靠保障。

### 1.2 钢筋力学性能试验

钢筋作为公路桥隧工程中的主要受力材料,其力学性能对结构的安全至关重要。钢筋力学性能试验主要包括拉伸性能与冷弯性能的测试。拉伸试验按照《金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》,采用万能试验机对钢筋进行加载,测试其屈服强度、抗拉强度及断后伸长率等指标。以HRB400E热轧带肋钢筋为例,其屈服强度应不小于400MPa,抗拉强度不小于540MPa,断后伸长率不小于16%。冷弯试验依据《金属材料弯曲试验方法》,将钢筋弯曲至规定角度(如180°),弯心直径为钢筋直径的3倍,观察弯曲后表面是否出现裂纹、起皮等现象。通过严格的钢筋力学性能试验,能够确保钢筋在工程中发挥良好的受力性能,保障结构安全。

### 1.3 混凝土性能试验

混凝土是公路桥隧工程中使用量最大的材料,其性能直接影响工程的耐久性与安全性。混凝土性能试验涵盖立方体抗压强度、抗折强度及抗渗等级等多个方面。立方体抗压强度试验成型特定尺寸的试件,在标准养护条件下养护至规定龄期后,采用压力试验机进行加载测试,以评估混凝土的抗压能力。例如,在某桥梁工程中,C50混凝土28d平均抗压强度达到52.8MPa,满足设计强度的105.6%。抗折强度试验成型小梁试件,跨中加载测试其抗折性能,28d抗折强度应不小于6.0MPa。抗渗等级试验采用渗透系数法,测试混凝土在0.8MPa水压下的渗透高度,以评估其抗渗能力。合理的混凝土配合比设计与严格的性能试验,能够确保混凝土满足工程要求,提高结构的耐久性。

## 1.4 沥青混合料性能试验

沥青混合料广泛应用于公路桥隧工程的桥面铺装及路面施工,其性能对路面的平整度、抗滑性及耐久性具有重要影响。沥青混合料性能试验主要包括马歇尔稳定度、流值、空隙率、矿料间隙率(VMA)及沥青饱和度(VFA)等指标的检测。按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》,成型马歇尔试件后测定相关指标。例如,AC-20C型沥青混合料的马歇尔稳定度应不小于8.0kN,流值在2.0—4.0mm之间,空隙率控制在3%—5%,VMA不小于13.0%,VFA在65%—75%之间。通过严格的沥青混合料性能试验,能够优化沥青混合料的配合比设计,提高路面质量。

## 1.5 桥梁支座性能试验

桥梁支座作为桥梁结构中的重要传力装置,其性能直接影响桥梁的受力状态与运营安全。桥梁支座性能试验主要包括抗压弹性模量、抗剪弹性模量及极限抗压强度等指标的测试。按照《公路桥梁板式橡胶支座》,分级加载测定支座的压缩、剪切变形及破坏荷载。例如,GYZ300×63型板式橡胶支座的抗压弹性模量应在设计值 $550\pm 50\text{MPa}$ 范围内,抗剪弹性模量为 $1.0\pm 0.1\text{MPa}$ ,极限抗压强度不小于25MPa。准确的桥梁支座性能试验能够确保支座在桥梁运营过程中正常传递荷载,保障桥梁结构安全。

## 2 传统检测方法的局限性

传统公路桥隧检测主要依赖人工巡检和简单仪器,存在局限。检测范围难以覆盖全部区域,尤其高空和隐蔽部位,易遗漏问题。人工检测效率低,耗时费力,无法满足大规模工程需求。检测准确性受人员经验和技术水平影响,结果不够准确。传统方法无法实时监测,难以及时发现突发问题,存在安全隐患。例如桥梁检测中,人工巡检难以准确发现内部裂缝和空洞,缺乏实时数据支持结构评估,不利于事故预防。

## 3 智能检测技术在公路桥隧工程中的应用

### 3.1 无人机检测技术:高效精准的“空中巡检员”

无人机检测技术凭借高效、灵活、安全等显著优势,在公路桥隧工程外观检测领域广泛应用。它搭载高清摄像头、激光雷达等先进设备,可迅速抵达人工难以触及的高空或危险区域,精准获取桥梁、隧道洞口及边坡等部位的图像与数据信息。借助图像处理与分析技术,无

人机检测系统能自动识别裂缝、剥落、锈蚀等病害,并进行定量分析。以某高速公路桥梁检测为例,采用无人机搭载传感器开展外观检测,检测效率较传统人工巡检提升了60%以上。同时,高空作业安全风险大幅降低,事故发生率近乎为零。而且,该技术能发现人工巡检难以察觉的细微病害,如宽度小于0.1mm的裂缝,为桥梁及时维修与加固提供了坚实有力的支持。

### 3.2 光纤传感技术:实时灵敏的“结构健康监测师”

光纤传感技术利用光纤独特的光学特性,对结构的应变、温度等参数进行实时监测,具备灵敏度高、抗电磁干扰能力强、可实现分布式测量等突出优点。在公路桥隧工程中,将光纤传感器埋入或粘贴于结构内部。当结构发生变形或温度变化时,会引起光纤中光的波长、强度等参数改变。通过解调设备,将这些光学参数变化转化为结构的物理量变化,进而实现对结构的实时、长期监测。例如,在某大型桥梁部署光纤传感器与AI分析平台后,可24小时不间断实时监测桥梁的应力、应变及温度等参数,监测精度达到微应变级别。能够及时发现结构的异常变化,有效预警支座异常位移等问题,为桥梁安全运营提供可靠保障。

### 3.3 自动化监测系统:智能全面的“工程安全守护者”

自动化监测系统由前端智能传感器、中端数据采集传输设备与后端云平台构成,可实现对公路桥隧工程结构稳定性与围岩变形趋势的动态感知和分级预警。在隧道工程中,于拱顶、边墙、掌子面及围岩关键区域布设传感器,实时采集拱顶沉降、周边收敛等核心参数。当系统监测到沉降速率超限(如每小时沉降超过2mm)、收敛值突变(突变率超过30%)等情况时,云平台自动触发三级预警机制,通过多种渠道推送预警信息,同步生成支护加固建议与应急指令。某隧道应用该系统后,成功预警多次围岩变形风险,避免了施工事故,保障了施工人员生命安全,为隧道施工方案优化与运营维护决策提供了全流程数据支撑。

## 4 实际案例分析

### 4.1 某高速公路桥梁智能检测实践

某省运营中的高速公路桥梁出现裂缝、变形等病害,为精准评估其承载能力与安全状况,采用多元智能检测技术开展综合检测。先利用搭载高清摄像头的无人机对

桥梁外观全面检查,发现梁体存在 5 处长度超 0.5m 的裂缝以及 3 处面积大于 0.2 m<sup>2</sup> 的混凝土剥落。接着,采用回弹法与超声回弹综合法检测混凝土强度,抽检 20 个测区,结果显示混凝土强度平均值达设计强度的 105%,满足要求。随后进行静载试验与动载试验,通过智能传感器实时采集应变、位移等数据并传至云平台分析。静载试验加载至设计荷载的 1.2 倍,最大挠度为跨径的 1/800;动载试验下桥梁自振频率与设计值偏差在 5% 以内。结果表明桥梁承载能力达标,但局部刚度不足。据此制定养护方案,对裂缝采用压力灌浆封闭,修补剥落部位,加固后桥梁刚度提升 15%,保障了安全运营。

#### 4.2 某隧道自动化监测应用

某隧道施工时出现衬砌裂缝、渗漏水问题,为保施工安全与质量,采用自动化监测系统实时监测。在拱顶、边墙等关键部位布设静力水准仪、应变计等传感器,共安装 30 个。实时采集拱顶沉降、衬砌应力应变等数据,数据采集频率为每分钟 1 次。通过数据采集传输设备传至云平台分析。当拱顶沉降速率超 0.5mm/d 阈值时,系统立即预警,共发出 3 次有效预警。依据监测数据调整施工方案,优化支护参数后,隧道变形得到有效控制,未发生塌方等事故。隧道建成后,系统持续长期监测,为运营维护提供可靠数据支撑。

#### 5 结论

公路桥隧工程材料性能试验是保障工程质量的基础,通过水泥、钢筋、混凝土等材料试验确保其符合设计与规范要求。智能检测技术凭借高效、精准的优势,在工程检测中日益重要。无人机检测、光纤传感和自动化监测等方法克服了传统检测的局限,提高了检测效率与准确性。未来,随着人工智能、物联网等技术的发展,智能检测将更智能、自动、精准,为工程建设维护提供更强支撑。同时应加强标准制定与人才培养,推动智能检测技术的广泛应用。

#### 参考文献

- [1] 卓武极,南海军. 芜湖长江公铁大桥公路桥钢桥面铺装材料抗裂性能研究[J]. 市政技术,2022,40(07):74-78+95.
- [2] 张迎宾. 公路材料力学性能实验检测方法 with 标准研究[C]//广西网络安全和信息化联合会. 第三届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集. 陕西海崂工程试验检测股份有限公司;,2024:181-183.
- [3] 王冲. 公路路面裂缝修复材料的性能与应用[J]. 汽车画刊,2024,(02):232-234.
- [4] 郝铁军. 智能传感技术在公路材料无损检测中的应用研究[J]. 实验室检测,2025,3(10):30-32.