

# 高速公路路基沉降缺陷的智能识别与处置技术研究

张志东

云南交投集团公路建设有限公司 云南 昆明 650100

**摘要：**高速公路路基沉降缺陷受内在结构材料特性与外部荷载、环境等因素影响，变形呈现时空规律性。智能识别技术借助多种感知手段采集数据，经预处理、特征提取后构建模型判定缺陷。针对性处置技术遵循选型原则，常用加固、置换、托换等技术，并通过“处置-监测-反馈-调整”机制保障效果。智能识别与处置技术协同应用，构建起完整闭环体系，能精准获取信息、提升效率、降低成本，打破传统局限，为高速公路路基长期稳定运行提供坚实保障。

**关键词：**高速公路；路基沉降缺陷；智能识别；处置技术

引言：在高速公路建设中，路基沉降缺陷是影响道路安全与稳定的关键问题。其形成受内在结构材料特性及外部荷载、环境等多种因素影响，变形特征呈现时空规律性，这给识别与处置带来挑战。随着技术发展，智能识别技术凭借先进感知手段、数据处理方法及识别模型，可精准捕捉沉降信息；针对性处置技术则依据缺陷特征选型施策。而智能识别与处置技术的协同应用，构建起完整闭环体系，在精准性、效率提升、成本降低等方面优势显著，成为保障高速公路路基长期稳定运行的有效途径。

## 1 路基沉降缺陷的形成因素与变形特征

路基沉降缺陷的产生是多种内在因素与外部条件共同作用的结果，其变形特征直接决定了识别难度与处置方向。明确形成因素与变形规律，是构建智能识别体系、制定科学处置方案的前提，核心在于解析各类因素的作用机理与变形的时空表现。

1.1 形成路基沉降缺陷的内在因素主要聚焦于路基自身结构与材料特性

路基填料的颗粒级配、压实质量直接影响岩土体的孔隙率与密实度，孔隙率过高或压实不充分的填料在荷载作用下易发生体积压缩；岩土体的矿物成分与水理性质也至关重要，亲水性矿物含量高的填料遇水易软化、崩解，导致抗剪强度下降，进而引发沉降；路基结构层的设计合理性同样影响沉降风险，结构层次划分、厚度匹配不当会导致应力传递不均，诱发局部沉降。

1.2 外部作用因素则体现在荷载与环境的双重影响

高速公路运营过程中的车辆荷载属于动态循环荷载，长期作用下会使路基岩土体产生累积变形，尤其是重载车辆的频繁通行，会加剧沉降的发展；环境因素中，地下水的变化是关键诱因，地下水位上升会浸润路

基填料，降低其力学性能，地下水位下降则可能导致岩土体有效应力增加，引发固结沉降；温度变化会使路基岩土体产生热胀冷缩，反复循环的温度应力会破坏岩土体结构完整性，间接促进沉降缺陷的形成<sup>[1]</sup>。

## 1.3 路基沉降缺陷的变形特征呈现明显的时空规律性

从时间维度看，沉降变形通常经历初始快速沉降、缓慢沉降与稳定沉降三个阶段，初始阶段主要由填料的瞬时压缩与颗粒重组引起，随后逐渐过渡到岩土体的固结沉降，最终趋于稳定；从空间维度看，沉降缺陷可表现为均匀沉降与不均匀沉降两种形式，均匀沉降多因整体荷载作用或填料性质一致导致，变形分布相对均衡，不均匀沉降则由局部填料差异、荷载集中或环境条件不均引发，表现为局部沉降量过大或沉降速率过快，其对路面结构的破坏作用更为显著。

## 2 高速公路路基沉降缺陷的智能识别技术

### 2.1 智能感知技术与信号采集

智能感知技术是沉降数据获取的核心手段，通过各类传感器与监测设备捕捉路基沉降的物理信号。常见的感知技术包括 GNSS 定位技术、合成孔径雷达干涉测量技术、激光雷达扫描技术等。GNSS 定位技术通过接收卫星信号实现路基顶面沉降的实时定位，可获取毫米级的沉降位移数据；合成孔径雷达干涉测量技术利用雷达信号的相位差反演地表沉降信息，能够实现大范围、非接触式的沉降监测；激光雷达扫描技术通过发射激光束获取路基表面的三维坐标数据，结合多期数据对比可分析沉降变形的空间分布特征。这些感知技术的共同特点是无需破坏路基结构，能够在自然运营状态下持续采集沉降相关信号，为后续的数据分析提供基础。

### 2.2 数据预处理与特征提取

采集到的原始数据包含噪声干扰与冗余信息，需通

过预处理环节提升数据质量。数据预处理主要包括数据清洗、去噪、标准化等操作：数据清洗剔除异常值与缺失数据，确保数据的完整性；去噪处理通过滤波算法消除环境干扰与设备误差带来的噪声，保留沉降信号的真实特征；标准化处理将不同来源、不同量级的数据转换为统一标准，便于后续的综合分析。在预处理基础上，特征提取环节通过统计分析、时域频域分析等方法，提取能够表征沉降缺陷的关键特征参数，如沉降速率、沉降差值、沉降分布均匀性等，这些特征参数是区分正常变形与沉降缺陷、评估缺陷严重程度的核心依据。

### 2.3 识别模型构建与缺陷判定

基于提取的特征参数，通过机器学习、深度学习等算法构建智能识别模型，实现沉降缺陷的自动判定。识别模型的核心是建立特征参数与沉降缺陷类型、严重程度之间的映射关系。机器学习算法如支持向量机、决策树等，通过训练样本学习特征参数与缺陷状态的关联规律，形成分类模型；深度学习算法如神经网络，能够自动挖掘特征参数之间的深层非线性关系，提升复杂沉降场景下的识别精度。模型训练完成后，将待检测数据输入模型，通过模型运算输出缺陷判定结果，包括是否存在沉降缺陷、缺陷的位置范围、缺陷的严重等级等。识别模型的性能取决于特征参数的有效性与算法的适配性，其优化方向是提升模型对不同沉降类型、不同环境条件的适应性，确保判定结果的可靠性<sup>[2]</sup>。

## 3 路基沉降缺陷的针对性处置技术

### 3.1 处置技术的选型原则

在针对路基沉降缺陷进行处置技术选型时，必须严格遵循“因地制宜、按需施策”的核心原则，以智能识别系统所获取的精准沉降信息作为重要依据，同时全面、深入地综合考量沉降缺陷的本质特征以及各类影响因素。在选型过程中，需着重关注以下关键点：

#### 3.1.1 要精准匹配缺陷严重程度

对于轻度沉降缺陷，通常采用加固补强类措施，如注浆加固、土工格栅加固等，增强路基的稳定性与承载能力；而对于重度沉降缺陷，则需结合置换、托换等更为彻底的手段进行治理，如将性能不佳的填料置换为高强度材料，或设置托换结构转移荷载。

#### 3.1.2 要充分适应沉降分布特征

均匀沉降与不均匀沉降的处置重点差异显著，均匀沉降应侧重于提升路基整体承载能力，不均匀沉降则需精准解决局部变形问题。其三，要兼顾技术可行性与经济性，在确保处置效果达标的前提下，优先选择施工便捷、成本合理的技术方案，防止出现过度治理或治理不

足的情况。

### 3.2 常用处置技术的原理与应用逻辑

常用的沉降缺陷处置技术可分为加固类、置换类、托换类等类型，各类技术基于不同的力学原理实现路基稳定性的提升。加固类技术通过增强路基填料的密实度与粘结力，提高路基的抗压缩能力，常见的有注浆加固技术、深层搅拌桩加固技术等：注浆加固技术将浆液注入路基岩土体的孔隙中，浆液凝固后形成整体结构，提升岩土体的承载能力与抗变形能力；深层搅拌桩加固技术通过搅拌机械将水泥等固化剂与路基土混合搅拌，形成加固桩体，与周围土体共同承担荷载。置换类技术针对路基填料性能不佳导致的沉降缺陷，将不合格填料替换为强度高、稳定性好的材料，如碎石、级配砂石等，从根源上改善路基的承载条件。托换类技术适用于沉降已发展到一定程度、路面结构已受损的场景，通过设置托换结构将上部荷载传递至深层稳定地层，避免路基继续沉降<sup>[3]</sup>。

### 3.3 处置效果的实时监测与反馈调整

在路基沉降缺陷的处置过程中及处置工作完成后，建立一套科学完备的实时监测与反馈调整机制至关重要。需运用先进的实时监测手段，如高精度传感器、全站仪等，对沉降变化进行持续跟踪，全面且精准地掌握关键指标。监测内容不仅涵盖沉降速率、沉降量的动态变化情况，还需评估路基承载能力的恢复状态，以此综合判断处置效果。监测数据借助智能感知技术实现实时采集，并迅速反馈至处置系统。若反馈数据表明沉降速率显著降低、沉降量逐渐趋于稳定，这充分说明当前所采取的处置措施切实有效，可继续按原方案执行或进行适当优化巩固。反之，若沉降仍持续发展，则需深入分析原因，可能是处置技术选型不当、参数设置不合理或外部环境因素影响等。据此，有针对性地调整处置方案，如增加加固深度以提升路基稳定性，优化置换范围确保填料性能达标等，通过这种“处置 - 监测 - 反馈 - 调整”的闭环机制，保障处置技术精准有效。

## 4 智能识别与处置技术的协同应用

### 4.1 技术协同的逻辑框架

技术协同的逻辑框架构建起智能识别、处置技术与实时监测之间的有机联系，形成一套完整且高效的闭环运作体系。（1）在此框架中，智能识别技术处于首要地位，是整个协同流程的起点。它借助先进的传感器、图像识别算法以及大数据分析等手段，精准且全面地获取路基沉降缺陷的关键信息，涵盖缺陷的具体位置、影响范围以及严重程度等，为后续处置工作提供详实可靠的

数据支撑,确保处置技术选型的科学性与参数设计的精准性。(2)依据智能识别结果,迅速制定出具有针对性的处置方案并加以实施。而在处置过程中,实时监测技术发挥保障作用,持续跟踪路基沉降的动态变化,将实时监测数据及时反馈至智能识别系统。通过对这些反馈数据的深度分析,动态评估处置效果。(3)基于评估结果,对智能识别模型与处置方案进行优化调整。倘若处置效果未达到预期目标,能够迅速且灵活地调整处置策略,形成“识别-处置-监测-优化”的良性循环,保障高速公路路基沉降缺陷得到高效、彻底的治理,实现道路的安全稳定运行。

#### 4.2 协同应用的关键技术要点

在高速公路路基沉降缺陷智能识别与处置技术的协同应用中,核心要点在于妥善处理识别与处置环节间的信息匹配难题,以此保障识别结果能够精准无误地转化为处置方案的技术参数,进而实现高效协同。(1)要构建起特征参数与处置技术的紧密对应关系。不同类型、不同程度的路基沉降缺陷具有各自独特的特征参数,需依据这些参数来科学选择处置技术。例如,当面对高沉降速率的缺陷时,由于其发展迅速,为及时控制沉降,应优先选用见效快的加固技术,如高压喷射注浆法等;而对于不均匀沉降缺陷,考虑到不同区域的沉降差异,采用分区处置的技术方案更为合适,可针对各区域实际情况分别实施相应处置措施。(2)要达成监测数据与识别模型的实时联动。监测数据的作用不仅局限于评估处置效果,还可作为新的训练样本不断输入识别模型。通过这种持续的数据输入,能够使识别模型不断学习和优化,进而持续提升其识别精度,为后续的处置工作提供更准确的依据。(3)协同应用还需高度重视技术衔接的流畅性,涵盖感知设备监测范围与处置区域的精准匹配,以及数据传输的实时性与稳定性等,防止因信息滞后或不匹配对协同效果产生不利影响<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 协同应用的优势与价值

智能识别与处置技术在高速公路路基沉降缺陷治理中的协同应用,为提升治理水平带来了显著且多维度的优势与价值,极大地增强了治理工作的科学性与高效性。(1)从精准性层面来看,智能识别技术凭借先进的传感器、数据分析算法等手段,能够全面、细致地获取路基沉降的详细信息,包括沉降位置、程度、发展趋势

等。基于这些精准信息制定的处置措施,如同“靶向治理”,能够直击问题核心,精准发力,有效避免了传统治理方式中因信息不足而导致的盲目施工,大大提高了治理的针对性和有效性。(2)在效率提升方面,自动化、智能化的识别与监测系统实现了对路基沉降缺陷的实时、动态跟踪。这一过程减少了大量人工巡查和检测的工作量,降低了人为因素带来的误差和延误,显著缩短了从发现缺陷到制定并实施处置方案的周期,使治理工作能够迅速响应,及时控制沉降缺陷的发展。(3)成本降低也是协同应用的一大亮点。精准的处置方案避免了材料的过度使用和重复施工,节约了直接成本。同时,通过及时有效的治理,防止了沉降缺陷进一步扩大恶化,避免了因小问题演变成大故障而带来的高额修复费用,实现了经济效益的最大化。这种协同应用模式还打破了传统识别与处置分离的局限,构建起全流程智能化、闭环化的治理体系,为高速公路路基的长期稳定运行提供了坚实保障。

#### 结束语

高速公路路基沉降缺陷治理是一项复杂且系统的工程,智能识别与处置技术的协同应用为其提供了创新且高效的解决方案。通过深入剖析沉降缺陷的形成因素与变形特征,构建起智能识别体系,精准捕捉缺陷信息;依据科学选型原则实施针对性处置技术,并借助实时监测与反馈调整确保处置效果。二者协同运作,形成闭环治理体系,在提升治理精准性、效率的同时降低成本。这一协同应用模式不仅代表了技术发展的前沿方向,更为高速公路的安全稳定运营与长期维护奠定了坚实基础,有力推动了道路工程领域智能化、精细化治理水平的提升。

#### 参考文献

- [1]姜文亮.高速公路路基沉降问题及施工治理技术[J].四川建材,2021,47(10):171-172.
- [2]韩苏.高速公路路基沉降加固处理施工技术[J].科学技术创新,2022(04):122-125.
- [3]温野.软土路基施工技术在高速公路中的应用研究[J].交通世界,2022(Z1):201-202+224.
- [4]赵凯.高速公路路基沉降及施工控制措施分析[J].运输经理世界,2021(32):46-48.