

参考答案

1. 路基检测、监测的主要内容有哪些？

答：(1) 路基检测的主要内容。

①土方路基：压实度(挖坑灌砂法)、弯沉值(贝克曼梁法等)、几何参数(纵断高程、中线偏位、宽度、平整度、坡度)。

②填石路基：孔隙率(灌水法)、沉降差、弯沉值、几何参数。

③土石混填路基：参考填石路基的密实度检测(孔隙率、沉降差)，辅以弯沉值和几何参数检测。

(2) 路基监测的主要内容。

①沉降及稳定性监测：地表水平位移、垂直沉降(全站仪、水准仪、GNSS)；

②地下土体分层位移(测斜仪)；

③压力与应力监测：土压力(钢弦式土压力计)、孔隙水压力(钢弦式孔隙水压力计)。

2. 在不同的路基工程条件下，如何选择最合适的智能检测、监测技术？有哪些关键因素需要考虑？

答：(1) 技术选择原则。

①按路基类型选择：

土方路基：优先采用智能压实检测(如加速度传感器+GPS)、弯沉仪(贝克曼梁或落锤式)，辅以3 m直尺检测平整度。

填石/土石混填路基：采用孔隙率(灌水法)、沉降差检测，结合探地雷达(GPR)识别内部空隙。

②按地质与环境条件选择：

软土、高填路基：采用GNSS、测斜仪监测沉降与侧向位移；

山区或隐蔽病害路段：无人机遥感(LiDAR)+探地雷达(GPR)联合检测。

③按施工阶段选择：

施工期：智能压实监测(实时反馈压实度)、环刀法/灌砂法抽检；

运营期：光纤传感(分布式监测沉降)、InSAR技术(大范围地表形变监测)。

(2) 关键因素。

①路基材料特性：粒径、含水率、压实度要求(如填石路基无法用灌砂法，需用孔隙率)；

②检测精度需求：弯沉检测中，落锤式弯沉仪(FWD)精度高于贝克曼梁法；

③环境适应性：无人机适用于复杂地形，InSAR可穿透云层实现全天候监测；

④成本与效率：传统方法(如灌砂法)成本低但效率低，智能技术(如光纤传感)适合长期监测。

3. 如何有效融合来自不同传感器的数据，以提高路基工程监测的准确性和可靠性？

答：(1) 多传感器数据预处理。

①对GNSS、测斜仪、光纤传感等数据进行去噪、校准(如剔除异常值、统一时间基准)；

②采用滤波算法(如卡尔曼滤波)减少环境干扰(如温度、电磁干扰)。

(2)特征级融合方法。

①将位移、应力、含水率等参数转化为统一特征空间(如通过主成分分析 PCA 降维);

②建立跨传感器关联模型(如光纤应变数据与 GNSS 沉降数据的时空匹配)。

(3)决策级融合策略。

①基于神经网络或模糊综合评价,对多源数据进行加权决策(如结合 InSAR 形变数据与现场测斜仪结果);

②构建预警模型时,融合实时监测数据与历史病害数据,提高预测精度。

4. 在智能监测系统中,如何利用机器学习算法进行路基病害的预测和预警?

答:(1)数据驱动的疾病分类。

①采用卷积神经网络(CNN)对探地雷达图像、无人机航拍图像进行裂缝、空洞识别;

②利用梯度提升树(GBDT)或随机森林算法,基于压实度、弯沉值等参数判断路基压实质量等级。

(2)时序预测模型。

①长短期记忆网络(LSTM)用于沉降趋势预测,结合历史沉降数据与环境因素(降雨、荷载);

②建立 BP 神经网络模型,输入孔隙水压力、土压力等参数,输出边坡稳定性概率。

(3)预警阈值动态优化。

①基于深度学习算法,根据实时监测数据自动调整预警阈值(如当沉降速率突变时,降低预警触发条件);

②利用贝叶斯网络融合专家经验与监测数据,提高预警准确性(如结合地质勘察报告调整模型权重)。

5. 随着技术的进步,未来路基工程智能监测和评价的发展趋势是什么?将会出现哪些新的技术或方法?

答:(1)技术融合与智能化。

①多技术协同:无人机 LiDAR+探地雷达+光纤传感构建“空-地-地下”三维监测网络;

②AI 深度应用:基于 Transformer 架构的时序数据预测、生成式 AI 用于病害模拟与预案生成。

(2)无损化与实时性。

①发展超高频探地雷达(如 GPR)实现毫米级病害识别;

②5G/6G+北斗三号融合,实现监测数据毫秒级传输与实时预警。

(3)全生命周期管理。

①数字孪生技术:构建路基 BIM 模型,集成施工、监测、养护数据,实现全流程可视化;

②自感知材料:研发嵌入光纤光栅的智能路基填料,实时感知内部应力与损伤。

(4)新型传感器与方法。

①量子传感技术:利用原子干涉仪实现微位移(纳米级)监测;

②微波遥感与太赫兹技术:穿透深层土体,监测隐蔽病害(如岩溶区路基空洞)。