

公路工程土石路基（落球式）无损检测技术 规程

Technical specification for nondestructive testing of earth rock subgrade (falling ball type) in highway engineering

2022 - 06 - 23 发布

2023 - 01 - 01 实施

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	1
5 原位检测	3
6 数据处理和结果评定	4
7 检测报告	5
附录 A （资料性） 落球式岩土力学特性测试仪设备构成	6
附录 B （资料性） 土石路基质量快速无损检测现场记录表	7

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江西省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：江西交通职业技术学院、江西交苑公路工程试验检测中心、四川升拓检测技术股份有限公司、江西省交通科学研究院有限公司、上海先行建设监理有限公司、江西道桥教育科技有限公司。

本文件主要起草人员：邓超、温永华、吴琼、张远军、伍建强、李仙仙、莫海云、宋喻、裴丽娜、王立军、涂映颖、刘令令、刘建忠、王慧君、魏小红、潘鹏、彭志云、胡胜荣。

公路工程土石路基（落球式）无损检测技术规程

1 范围

本文件规定了土石路基无损检测的范围、规范性引用文件、术语和定义、符号和缩写、基本要求、原位检测、数据处理和结果评定、检测报告以及规程附录。

本文件适用于公路土石路基回弹模量落球法无损检测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG D30 公路路基设计规范
JTG D40 公路水泥混凝土路面设计规范
JTG D50 公路沥青路面设计规范
JJG 151 落球式回弹模量测试仪检定规程
JTG 3450 公路路基路面现场测试规程

3 术语和定义

以下术语和定义适用于本文件。

3.1

回弹模量 Resilient modulus

路基、路面及筑路材料在荷载作用下产生的应力与其相应的回弹应变的比值，以MPa计。

3.2

落球检测技术 Falling ball test method

以赫兹碰撞理论为基础，自由落下的刚性球体与待检对象的发生碰撞，通过测量碰撞过程时间，来计算待检对象变形特性的检测技术。

3.3

原位检测 Insitu testing

在土石路基原来所处的位置上或基本上在原位状态和应力条件下进行的检测。

4 基本要求

4.1 一般规定

4.1.1 土石路基施工应做好质量控制工作，施工单位应按本规程的有关规定进行自检、建设单位应按本规程的规定进行抽检。

4.1.2 土石路基质量快速无损检测应采用落球检测技术，路基路床顶面的力学特性测试和判定宜优先采用落球检测技术。

4.1.3 落球检测技术适用范围如下：

1) 适用于粘土、粉土、砂石土、砾石土等土石路基回弹模量的检测，检测结果可供路基承载能力判定和路面结构设计参考；

2) 适用于最大粒径不大于150mm的材料，坡度不宜大于10°的土石路基回弹模量的检测；

3) 适用于表面无明显积水或潮湿土石路基回弹模量的检测。

4.1.4 检测时间宜在单层碾压结束后 24h 内进行。

4.1.5 检测结果应根据检测方法的技术特点及使用范围，结合现场施工工艺、过程等因素进行综合分析判定。

4.2 检测流程

4.2.1 土石路基落球式无损检测流程宜按图 1 进行：

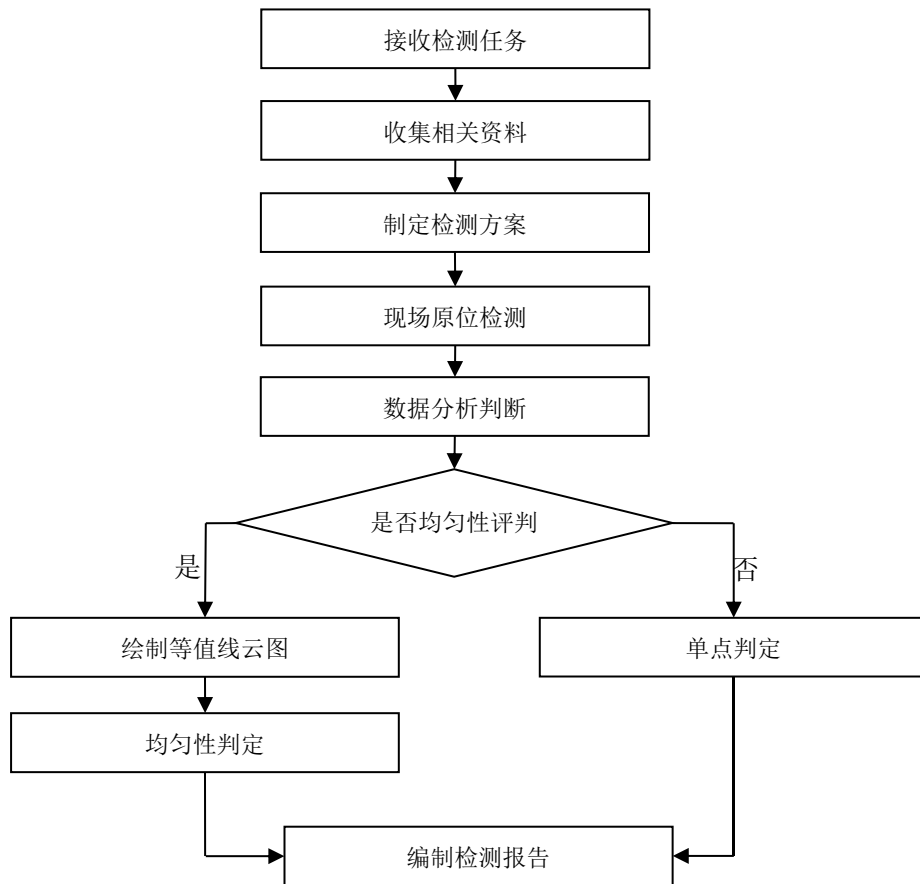


图 1 土石路基质量落球式快速检测流程图

4.2.2 资料收集宜包括下列内容：

- a) 委托方和相关单位的具体要求；
- b) 设计资料、施工资料、监理资料等；
- c) 结构材料配比、相应检测条件信息等。

4.2.3 检测方案应包括下列主要内容：

- a) 工程概况；
- b) 检测目的及委托方的检测要求，包括检测范围、检测数量等；
- c) 检测依据：包括检测标准、相关技术文件等；
- d) 检测方法 & 检测数据出现异常情况时处理措施；
- e) 检测人员和仪器设备情况；
- f) 检测工作进度计划；

4.3 检测设备

4.3.1 检测设备应包含球冠体、加速度传感器、法兰把手以及数据采集和分析主机，设备构件参见附录 A。

4.3.2 检测仪器计量性能应满足 JJG 151 相关规定。

4.3.3 加速度传感器最大使用加速度不应小于 20000m/s^2 ，耐冲击不宜小于 30000m/s^2 。

4.3.4 检测设备应定期送国家认可的计量检定机构进行检定/校准，且检定/校准结果确认合格方可进行检测工作。

5 原位检测

5.1 一般规定

5.1.1 现场原位检测应按照检测方案实施。

5.1.2 现场原位检测前应确认现场测试环境、材料类型、粒径等满足设备使用条件要求。

5.1.3 现场原位检测前应对检测仪器设备进行检查。

5.1.4 现场原位检测过程中应参照附录 B 做好相关记录。

5.1.5 现场原位检测测区选取应避免积水区，每车道纵向测区间距不宜大于 20m，测区面积不应小于 $1200\text{mm} \times 1200\text{mm}$ ，应对每个测区做好标记并编号。

5.2 检测步骤

5.2.1 每个测区测点数不应少于 7 个有效点，且各测点间距应大于 500mm，并避开明显的大粒径填料、浮料。测点布置可参考图 2。

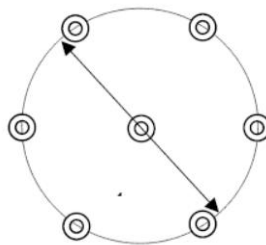


图 2 测点布置示意图

5.2.2 连接并调试好仪器设备，设定球冠的质量、曲率半径、模量、泊松比及下落高度等参数，并根据测试路段的材料种类，依据表 1 选取合适的泊松比 (μ) 和修正系数 (κ)。

表 1 各材料泊松比及修正系数

材料	硬质砾石	硬质砂石	粉土	软弱粘土	水泥稳定土
泊松比 μ	0.20	0.30	0.35	0.40	0.20
修正系数 κ	0.66	0.85	0.90	1.00	0.70

5.2.3 将落球仪放至测点区域，调节限位支架，球冠底部距测点表面的距离为 0.5m。若不采用限位支架，则应用直尺量测球冠底部距测点表面的高度，并保证其为 0.5m。

5.2.4 手扶把手垂直提升至限定位置，松开把手，让球冠体做自由落体，并与测试面碰撞，设备自动采集并输出该测点的回弹模量 E_{ur} 。

5.2.5 有效测点的测试波形应近似为半个正弦波。

5.2.6 确认测点数据有效后，保存采集数据。每个测点只能测试 1 次，在同一位置不能重复测试。每个测区至少保存 7 个有效数据。

6 数据处理和结果评定

6.1 检测指标

6.1.1 落球检测技术直接检测指标为土石路基的回弹模量 E_{ur} 。

6.1.2 落球检测技术科采用回弹模量 E_{ur} ，推算贝克曼弯沉 L_0 。

6.2 数据处理

6.2.1 回弹模量 E_{ur} 应按式 1 计算：

$$E_{ur} = \frac{\kappa \cdot (1 - \mu^2) \cdot m_f E_f}{0.0719 E_f \cdot \sqrt{R_f v_0 \cdot T_c^{2.5} - m_f (1 - \mu_f^2)}} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

E_{ur} —土石路基的回弹模量，MPa；

κ —材料修正系数，见表 1；

μ —路基材料的泊松比，见表 1；

μ_f —钢泊松比，取 0.3；

m_f —球冠体的质量，kg；

E_f —球冠体材料（钢）的变形模量，MPa，取 200×10^3 MPa；

T_c —碰撞接触时间，s；

R_f —自由下落球体的曲率半径，m，为 0.12m；

v_0 —自由下落球体与被碰撞对象碰撞时的速度，m/s： $v_0 = \sqrt{2gH}$ ，其中： $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ ；

H —球冠体的下落高度，m，为 0.5m。

6.2.2 测区的回弹模量 \tilde{E}_{ur} 应按式 (2) 计算：

$$\tilde{E}_{ur} = \frac{\sum_{i=1}^N E_{li}}{N} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

\tilde{E}_{ur} —测区的回弹模量，MPa；

N —每测区测试的次数；

E_{li} —各测点回弹模量，MPa。

6.2.3 每个测区的贝克曼弯沉 L_0 按式 (3) 计算：

$$L_0 = 9308E_{ur}^{-0.938} \dots\dots\dots (3)$$

6.2.4 需要对测试区域回弹模量分布进行均匀性判定时，需要绘制等值线云图。

6.3 结果评定

6.3.1 土石路基质量宜采用回弹模量，分层评判，顶面以下各层回弹模量应不低于顶面回弹模量值 0.8 倍。

6.3.2 土石路基路床顶面的回弹模量值，轻交通荷载等级时不得低于 40MPa，中等或重交通荷载等级时不得低于 60MPa，特重或极重交通荷载等级时不得低于 80MPa。

6.3.3 土石路基同级配材料断面回弹模量均匀度应不小于 80%，或断面最小回弹模量值顶面不低于设计值要求，顶面以下各层最小值不低于顶面设计值 0.8 倍。

6.3.4 当采用弯沉作为评判时，弯沉推算的回弹模量应不低于相应要求。

注：土石路基顶面以下回弹模量或顶面回弹模量值不满足 6.3.1~6.3.3 条要求时，应作相应处置。

7 检测报告

7.1 检测报告应结论明确、用词规范、文字简练、对于容易混淆的概念和术语应书面作出解释。

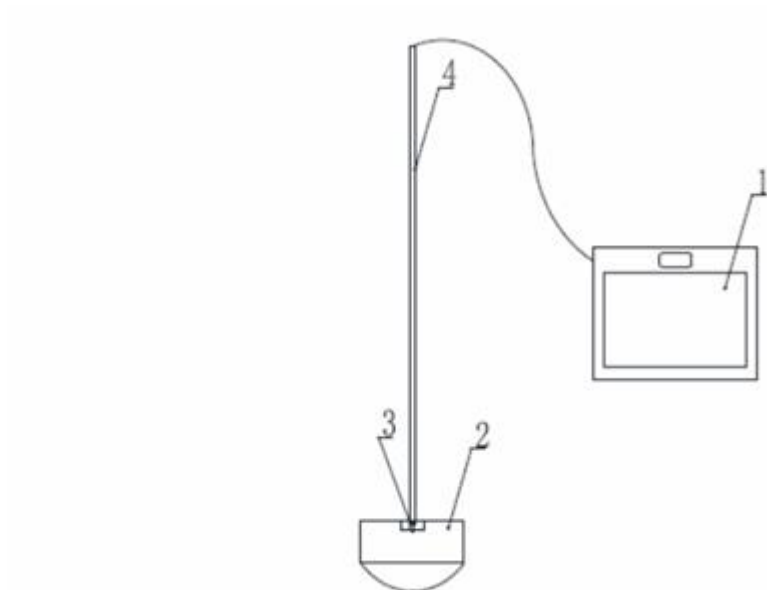
7.2 检测报告应检测包括工程概况、检测日期、检测目的、检测依据、检测方法、检测仪器设备、检测方法、检测数量、检测数据分析与判定、质量评价等。

附录 A

(资料性)

落球式岩土力学特性测试仪设备构成

A.1 落球式岩土力学特性测试仪设备构成图A.1所示：



说明：

1——主机 2——加速度传感器 3——球冠体 4——法兰把手

图 A.1 落球式岩土力学特性测试仪设备构成图

附 录 B
(资料性)

土石路基质量快速无损检测现场记录表

表 B.1 土石路基质量快速无损检测现场记录表

第 页 共 页

记录单位：

记录编号：

项目名称			检测对象		
建设单位			结构类型		
施工单位			检测内容		
监理单位			仪器编号		
检测单位			球体重量		
标段			检测依据		
序号	测区里程	材料种类	粒径范围	碾压方式	含水率状态
备注					

检测人员：

复核人员：

日期： 年 月 日