

# T/HNCAA

## 河南省认证认可协会团体标准

T/HNCAA 033—2022

### 落球法检测土质路基回弹模量技术标准

Standard for testing soil subgrade resilience modulus by falling ball method

2022 - 04 - 20 发布

2022 - 06 - 01 实施

河南省认证认可协会 发布

## 前 言

根据河南省认证认可协会发布的《关于下达2021年团体标准制订计划的通知》（豫认协[2021]05号文），本标准项目编号：2021008。标准编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，在参考国内外成熟科研成果的基础上，并进行广泛的征求意见，制定本标准。

本标准主要内容是：总则、术语和符号、基本规定、检测要求、检测准备、检测实施和检测报告。

本标准由河南省认证认可协会归口管理，由河南豫美建设工程检测有限公司负责具体内容的解释。本标准推荐给检测单位、设计单位、建设单位、施工单位、维护和管理单位、研究单位的相关人员采用。本标准在执行过程中，如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：郑州市郑东新区商都路与杨桥东路交汇处北100米，邮编451464）。

本标准为首次发布。

主 编 单 位：河南豫美建设工程检测有限公司

参 编 单 位：郑州共图建设工程检测有限公司

四川升拓检测技术股份有限公司

郑州大学

河南工程学院

信阳建科工程检测有限公司

河南宝来检测技术有限公司

河南省豫华建设工程检测有限公司

河南益高建筑工程检测有限公司

山西志翔检测有限公司

河南亿达工程检测有限公司

主要起草人员：章长玖 陈自豪 张振钢 李佳伟

张远军 王钰翔 侯玉辉 张 潮

弓 鑫 张安静 李广科 元成方

黄国平 杨 露 王 魁 陈 娜

侯海宝 胡慧娜 曹文龙 徐晨曦

李 宾 刘 阳 原玉刚 贾 瑶

耿 杨 张骏青 付向斌 吴波涛

张晓飞 董 戈 田启超 杜小兵

魏丽诗 陈永增 孙艳敏 孟俊丽

郭婷婷 赵 帆 苑洪华 李锦河

主要审查人员：李美利 朱海群 钱 伟 蒋玲玲 张浩亮

## 目 次

1 总则 .....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术语 .....	2
2.2 符号 .....	2
3 基本规定 .....	3
3.1 一般规定 .....	3
3.2 检测工作程序及内容 .....	4
4 检测要求 .....	5
4.1 人员 .....	5
4.2 设备 .....	5
4.3 测试现场条件 .....	6
5 检测准备 .....	7
5.1 测区测点布置 .....	7
5.2 设备参数设置 .....	7
6 检测实施 .....	8
6.1 测试步骤 .....	8
6.2 数据处理 .....	8
6.3 结果评定 .....	8
7 检测报告 .....	9
附 录 A 现场检测原始记录 .....	10
附 录 B 检测报告典型格式 .....	11
附 录 C 数据处理方法 .....	13
附 录 D 仪器设备的计量确认和期间核查 .....	14
附 录 E 落球法检测土质路基回弹模量不确定度评定实例 .....	15
参 考 文 献 .....	16

## 1 总则

- 1.0.1 为规范落球法检测土质路基回弹模量的技术方法,保证检测的准确性和可靠性,特制定本标准。
- 1.0.2 本标准适用于粘土、粉土、砂石土、砾石土等土质路基的回弹模量检测及评定,其它路基回弹模量检测评定可参照本标准执行。
- 1.0.3 对土质路基回弹模量进行检测及评定时,除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 路基 subgrade

按照路线位置和一定技术要求修筑的带状构造物，是路面的基础，承受由路面传来的行车荷载。

#### 2.1.2 路床 roadbed

路面结构层以下 0.8m 或 1.2m 范围内的路基部分，分为上路床及下路床两层。上路床厚度 0.3m；下路床厚度在轻、中等及重交通公路为 0.5m，特重、极重交通公路为 0.9m。

#### 2.1.3 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。

#### 2.1.4 落球检测技术 falling ball test method

以Hertz碰撞理论为基础，一定高度自由落下刚性球体与土质路基发生碰撞，通过测量碰撞过程加速度~时间过程，来计算土质路基变形特性的检测技术。

### 2.2 符号

$E_{ur}$ —测区回弹模量，单位 MPa；

$E_{ij}$ —测点回弹模量，单位 MPa；

$L_0$ —贝克曼梁弯沉值，单位 0.01mm；

$\mu_s$ —路基材料的泊松比；

$k$ —材料修正系数；

$\mu_f$ —不锈钢的泊松比；

$m_f$ —球冠体的质量，单位 kg；

$E_f$ —球冠体材料（不锈钢）的变形模量（MPa）；

$R_f$ —自由下落球体的曲率半径，单位 m；

$T_c$ —碰撞接触时间，单位 s；

$v_0$ —自由下落球体与被碰撞对象碰撞时的速度（m/s）；

$H$ —球冠体的下落高度，单位m。

### 3 基本规定

#### 3.1 一般规定

- 3.1.1 采用落球检测技术检测路基回弹模量，应根据既有资料结合路况调查等，对路基回弹模量进行测试和评定。
- 3.1.2 采用落球法检测土质路基回弹模量前，应根据委托方要求，对现场进行初步调查。调查内容包括收集设计图纸、设计变更记录、施工及施工变更记录、路基材料配比、现场检测条件等。
- 3.1.3 现场检测前应确认满足现场设备使用条件的要求，包括测试环境、土质类型、粒径等。
- 3.1.4 现场检测过程中应记录检测对象编号、路基里程桩号等能标记测试对象准确位置的信息，应按本标准附录 A 做好相关记录。
- 3.1.5 采用落球法进行检测时，检测时间宜在单层碾压结束后 24 小时内进行。
- 3.1.6 当发现检测数据出现异常情况时，应进行补充检测。

### 3.2 检测工作程序及内容

3.2.1 落球法检测土质路基回弹模量工作程序应包括接收检测任务、初步调查、制定检测方案、现场检测、数据分析判断、补充检测、检测报告等，如图3.2.1。

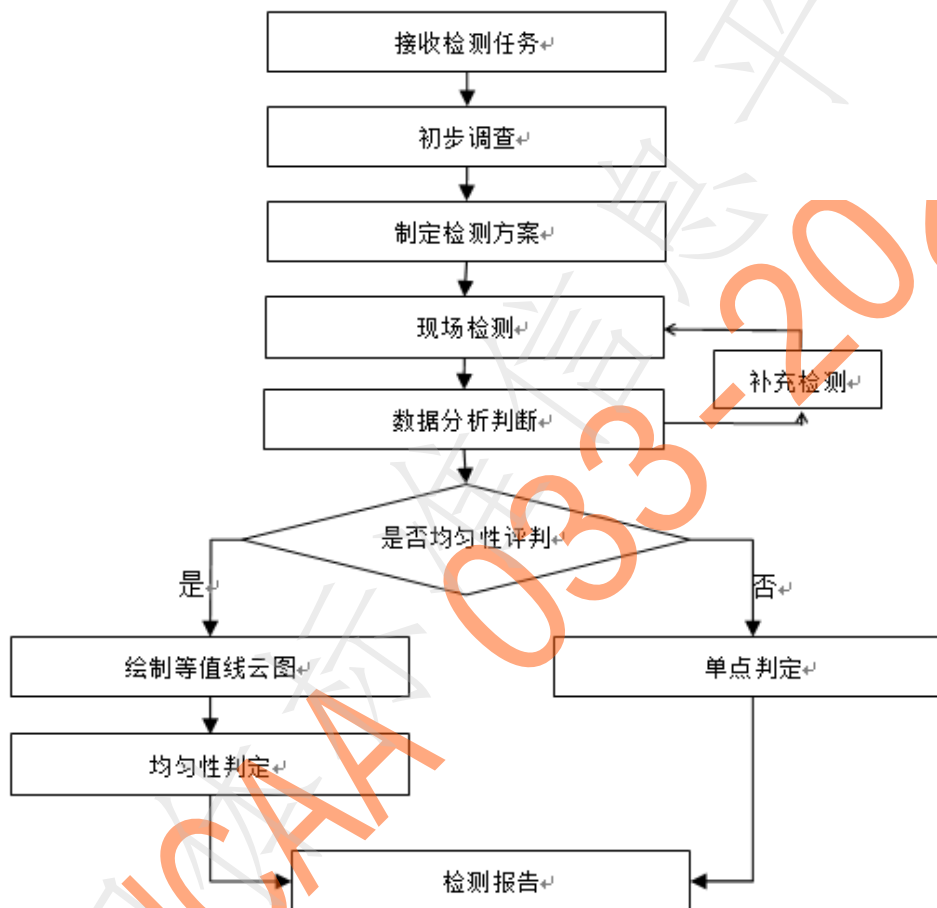


图3.2.1 落球法检测土质路基回弹模量流程图

3.2.2 现场检测前应结合施工现场条件，制定落球法检测土质路基回弹模量检测方案，检测方案应包括下列主要内容：

- 1 工程概况；
- 2 检测目的及委托方的检测要求，包括检测范围、检测数量等；
- 3 检测依据：包括检测标准、相关技术文件等；
- 4 检测方法 & 检测数据出现异常情况时处理措施；
- 5 检测人员和仪器设备情况；
- 6 检测工作进度计划。
- 7 所需要的配合工作；
- 8 检测中的安全措施和环保措施。

## 4 检测要求

### 4.1 人员

4.1.1 检测人员应经过培训且考核合格后方可进行检测工作。

4.1.2 检测人员在现场检测时，不宜少于3人。

### 4.2 设备

4.2.1 落球式回弹模量测试仪应包括球冠体、加速度传感器、数据采集与分析系统和主机，设备结构与形状示意图4.2.1。

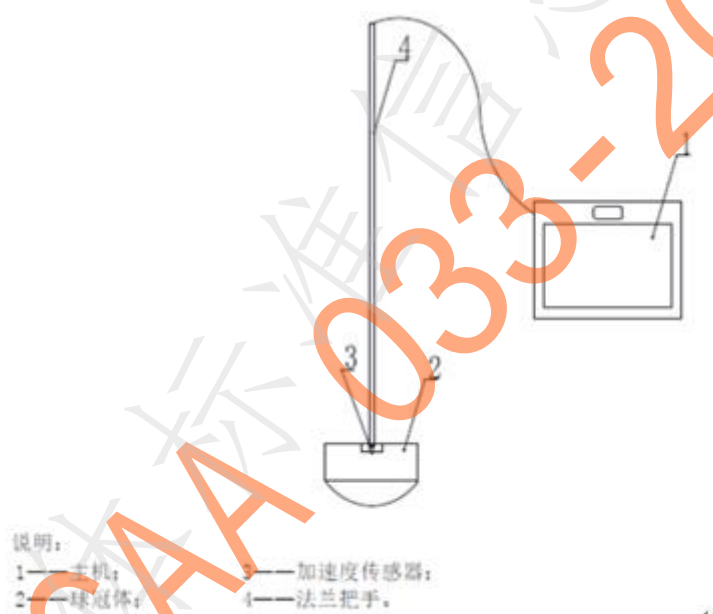


图4.2.1 落球式回弹模量测试仪设备结构与形状示意图

4.2.2 球冠体主要指标应包括球冠质量、把手质量、球冠曲率半径、泊松比、弹性模量、材质等，其相关指标应满足表4.2.2的要求。

表4.2.2 球冠体主要指标

球冠质量	(19.1±0.2) kg
把手质量	1.4kg±0.05kg
球冠曲率半径	(120±5) mm
球冠体泊松比	0.3
弹性模量	200GPa
材质	不锈钢

4.2.3 加速度传感器主要指标包括感度、共振频率、频率范围、最大量程、耐冲击等，其相关指标应满足表 4.2.3 的要求。

表 4.2.3 加速度传感器主要指标

类型	压电式
感度 ( $\mu\text{C}/\text{ms}^2$ )	1.5
共振频率 (kHz)	50 及以上
频率范围	$f_c \sim 15,000$
最大量程 $\text{m/s}^2$	20,000 及以上
耐冲击 $\text{m/s}^2$	30,000 及以上

4.2.4 数据采集模块主要指标包括采样间隔、分辨率等，其相关指标应满足表 4.2.4 的要求。

表 4.2.4 数据采集模块主要指标

采集电压区间	$\pm 10\text{V}$
采样间隔	不应长于 $2\ \mu\text{s}$
分辨率	16 bit 及以上

4.2.5 分析系统和主机主要指标包括信号处理、分析、统计、绘图等，其相关指标应满足表 4.2.5 的要求。

表 4.2.5 分析主机主要指标

采集及保存机能	应能够采集、保存完整的波形 应具有预触发机能
信号处理	应具备平滑降噪的机能
分析	应具有分析滤波等功能
统计	应具有本标准所要求的各项统计机能
绘图	宜具有绘制等值线云图的机能

4.2.6 设备在投入使用前应采用检定校准或核查的方式，确认其满足要求。

### 4.3 测试现场条件

4.3.1 落球法检测土质路基回弹模量时，测试区域及测试条件应满足下列要求：

- 1 表面无明显积水或潮湿现象、无明显碎石等杂物，表面填筑材料较为均匀的土质路基。
- 2 土基面坡度不大于  $10^\circ$ 。
- 3 测试材料的最大粒径不大于 100mm。
- 4 附近无影响测试的施工作业、磁场、静电等。
- 5 现场检测应在温度  $5^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$ 、湿度小于 80% 的环境条件下进行。

## 5 检测准备

### 5.1 测区测点布置

5.1.1 每车道可 10~20m 设一测区,测区面积应不小于 100cm×100cm,并应对每个测区做好标记并编号。

5.1.2 每个测区应至少包含7个测点,各测点间距应不小于500mm,并避开明显的大粒径填料。测点布置可参考图5.1.2。

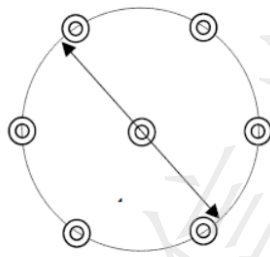


图 5.1.2 测点布置示意图

(◎ 为测点)

### 5.2 设备参数设置

5.2.1 设定球冠的质量、曲率半径、模量、泊松比,及其下落高度。

5.2.2 根据测试路段的材料种类,依据表 5.2.2 选取合适的泊松比 ( $\mu_s$ ) 和修正系数 ( $K$ )。

表 5.2.2 各材料泊松比及修正系数

材料	砾石土	砂土	粉土	黏土
泊松比 $\mu_s$	0.20	0.30	0.35	0.40
修正系数 $K$	0.66	0.85	0.90	1.00

## 6 检测实施

### 6.1 测试步骤

- 6.1.1 将落球式回弹模量测试仪放至测点位置，调节球冠位置使球冠底部距测点表面的距离为 0.5m。
- 6.1.2 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  $E_{li}$ 。
- 6.1.3 有效测点的测试波形应近似为半个正弦波，如果波形噪声太大（如毛刺太多），可在测点铺一层报纸或塑料薄膜，以减少土体材料与球冠的摩擦静电。
- 6.1.4 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。

### 6.2 数据处理

- 6.2.1 测区的回弹模量  $E_{ur}$  应按以下公式计算：

$$E_{ur} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{li}}{n} \quad (6.2.1)$$

式中： $E_{ur}$ —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，单位 MPa。

- 6.2.2 每个测区的贝克曼弯沉  $L_0$  按以下公式计算。

$$L_0 = 9308E_{ur}^{-0.938} \quad (6.2.2)$$

式中： $E_{ur}$ —测区的回弹模量（MPa）；

$L_0$ —贝克曼梁弯沉，单位 mm。

- 6.2.3 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 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。
- 6.3.2 土质路基路床顶面的回弹模量值，轻交通荷载等级时应低于 40MPa，中等或重交通荷载等级时应低于 60MPa，特重或极重交通荷载等级时应低于 80MPa。
- 6.3.3 土质路基顶面以下回弹模量或顶面回弹模量值不满足 6.3.2 条要求时，应作相应处置。

## 7 检测报告

7.0.1 检测报告应用词规范、文字简练、结论明确，对于容易混淆的概念和术语应以文字形式或图例、图像说明。

7.0.2 检测报告应包括以下内容：

- 1 委托方名称；
- 2 工程概况，包括工程名称、地址、规模、施工日期、现状等；
- 3 设计单位、施工单位及监理单位名称；
- 4 检测目的；
- 5 检测项目、检测方法及依据的标准；
- 6 检验方式、抽样方法、检测数量及检测位置；
- 7 检测结果，包括各测点的模量、测区模量，整理后的数据和图表及需要说明的事项；
- 8 检测结论；
- 9 检测日期，报告完成日期；
- 10 主检、审核、批准人员签字；
- 11 检测机构的有效印章。

## 附录 A 现场检测原始记录

表 A 落球法检测土质路基回弹模量现场记录表

试验记录编号：

第 页 共 页

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			检测日期			
序号	测区里程	材料种类	粒径范围	碾压方式	含水率状态	检测结果 (MPa)
备注						

检测：

复核：

日期：

## 附录 B 检测报告典型格式

### B.0.1 概述

受 XXX 委托，XXX 于 X 年 X 月 X 日利用落球式回弹模量测试仪对 XXX 进行了回弹模量检测。

检测依据：《XXX》（XXX）。

### B.0.2 检测项目及检测方法

本次检测主要对 XXX 进行回弹模量检测，利用 Hertz 碰撞理论（也称 Hertz 弹性接触理论）并经过岩土材料的塑性修正，其检测原理如下：

当用球体撞击一个未知刚性的物体时，物体的刚性越大，则碰撞时的接触时间越短。

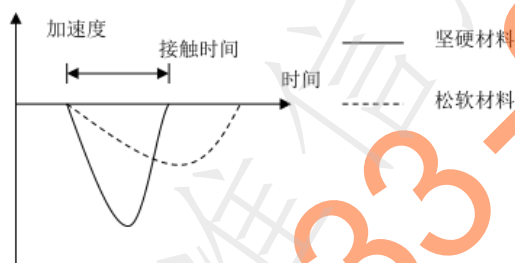


图 B.0.2-1 测试理论示意

但是，Hertz 碰撞理论仅适用于线弹性材料，而岩土材料是典型的弹塑性材料。因此，我们对该理论做了修正。

如下图所示，我们可以将碰撞过程分为两个部分，即压缩过程和回弹过程。通过压缩部分的接触时间来推算变形模量  $E_c$ ，而通过回弹部分的接触时间来推算回弹模量  $E_{ur}$ 。

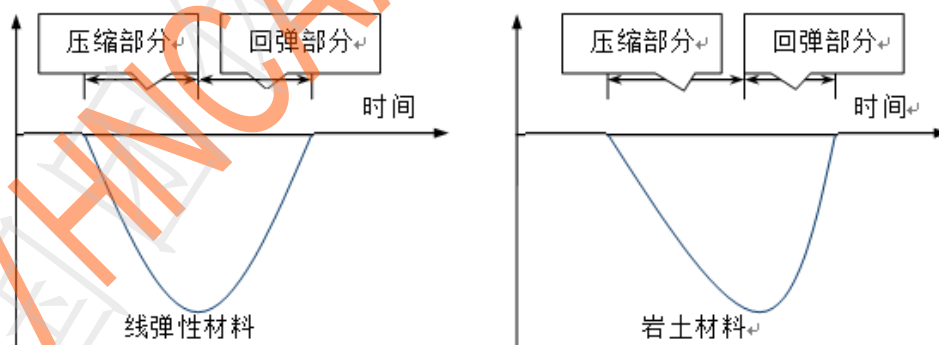


图 B.0.2-2 压缩过程和回弹过程

### B.0.3 现场检测

现场对 XXX 进行了检测，测点及测区布置如下图所示。

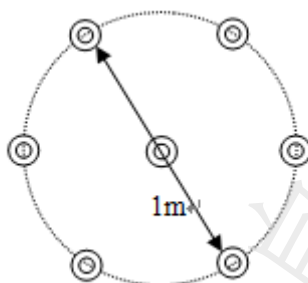


图 B.0.3 测点分布示意图

### B.0.4 检测数据分析及结果

本次检测过程符合有关规定，检测数据有效。通过对测试数据的计算处理、分析和推断解释，所得检测结果见表 B.0.4。

表 B.0.4 回弹模量成果报告表

序号	测区里程	材料种类	各点回弹模量 测试值 (MPa)	测区回弹模量 (MPa)	备注

主检：

审核：

批准：

XXX 公司

X 年 X 月 X 日

## 附录 C 数据处理方法

C.0.1 回弹模量  $E_{ii}$  应按以下公式计算:

$$E_{ii} = \frac{\kappa \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot m_f E_f}{0.0719 E_f \cdot \sqrt{R_f v_0} \cdot T_c^{2.5} - m_f (1 - \mu_f^2)} \quad (\text{C.0.1})$$

式中:  $E_{ii}$ —土质路基的回弹模量, 单位 MPa;

$\kappa$ —材料修正系数, 见表 5.2.2;

$\mu_s$ —路基材料的泊松比, 见表 5.2.2;

$\mu_f$ —(不锈钢) 泊松比, 取 0.3;

$m_f$ —球冠体的质量, 单位, kg;

$E_f$ —球冠体材料(不锈钢)的变形模量(MPa), 取  $200 \times 10^3$  MPa;

$T_c$ —碰撞接触时间, 单位 s;

$R_f$ —自由下落球体的曲率半径, 单位 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, 单位 m, 为 0.5m。

## 附录 D 仪器设备的计量确认和期间核查

D.0.1 计量性能要求如下：

- 1 球冠体曲率半径： $120\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 。
- 2 球冠体质量  $19\text{kg} \pm 0.3\text{kg}$ 。
- 3 法兰把手质量： $1.4\text{kg} \pm 0.05\text{kg}$ 。
- 4 回弹模量相对示值误差：不大于 $\pm 10\%$ 。
- 5 回弹模量测量重复性：变异系数不大于 $10\%$ 。

D.0.2 通用技术要求如下：

- 1 落球式回弹模量测试仪外观应洁净、无锈蚀，球冠表面无明显缺损。
- 2 落球式回弹模量测试仪应有清晰的铭牌，铭牌内容包括仪器名称、型号、制造厂和出厂编号等。

D.0.3 落球式回弹模量测试仪检定/校准周期一般不超过一年。

D.0.4 计量确认和期间核查项目如表 D.0.4 所示。

表 D.0.4 计量确认和期间核查项目一览表

检定项目	首次检定/校准	后续检定/校准	期间核查
外观	+	+	+
球冠体曲率半径	+	+	+
球冠体质量	+	+	+
法兰把手质量	+	+	+
回弹模量相对示值误差	+	+	-
回弹模量测量重复性	+	+	+

注：“+”表示需要检定/校准的项目，“-”表示不需要检定/校准的项目。

## 附录 E 落球法检测土质路基回弹模量不确定度评定实例

E.0.1 影响检测结果的不确定度来源主要有：被测对象离散性引入的不确定度分量  $u_1(R)$  和测量仪器示值误差引入的不确定度分量  $u_2(R)$ 。

E.0.2 被测对象离散性引入的不确定度分量  $u_1(R)$ ：

- 1 用落球式回弹模量测试仪对同一测点在相同的条件下进行 10 次重复性测量，测量结果如下：

表 E.0.2 落球式回弹模量测试仪重复性测量结果

回弹模量 (MPa)	
10 次测量的平均值	10 次测量的标准偏差
2196.77	53.46

- 2 采用 A 类方法对被测对象离散性引入的测量不确定度评定如下：

$$u_1(R) = \frac{53.46}{\sqrt{10}} = 16.91(\text{MPa})$$

E.0.3 若测量仪器示值误差为  $\pm 3\%$ ，按均匀分布考虑， $k = \sqrt{3}$ ，则采用 B 类方法对测量仪器示值误差引入的不确定度分量  $u_2(R)$  评定如下：

$$u_{rel2}(R) = \frac{3\%}{\sqrt{3}} = 1.732\%$$

$$u_2(R) = 2196.77 \times 1.732\% = 38.05(\text{MPa})$$

E.0.4 根据不确定度分量合成不确定度评定如下  $u(R)$ ：

$$u(R) = \sqrt{u_1^2(R) + u_2^2(R)} = \sqrt{16.91^2 + 38.05^2} = 41.64(\text{MPa})$$

$$u_{rel}(R) = \frac{u(R)}{\bar{R}} = \frac{41.64}{2196.77} = 1.90\%$$

表 E.0.4 落球式回弹模量测试仪合成不确定度

测量平均值	$u_1(R)$	$u_2(R)$	$u(R)$	$u_{rel}(R)$
2196.77 (MPa)	16.91 (MPa)	38.05 (MPa)	41.64 (MPa)	1.90%

E.0.5 包含因子  $k$  取 2，则相对扩展不确定度  $U_{rel}(R)$ ：

$$U_{rel}(R) = 2 \times u_{rel}(R) = 2 \times 1.90\% = 3.80\%; k = 2$$

## 参 考 文 献

- 1 《公路路基设计规范》 JTG D30
- 2 《公路水泥混凝土路面设计规范》 JTG D40
- 3 《公路沥青路面设计规范》 JTG D50
- 4 《公路路基路面现场测试规程》 JTG 3450
- 5 《落球回弹模量测试仪检定规程》 JJG（交通） 151

## 本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的：正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 标准中指定应按其他有关标准、规范执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

河南省认证认可协会团体标准  
落球法检测土质路基回弹模量技术标准  
T/HNCAA 033—2022  
条文说明

T/HNCAA 033-2022

## 目 次

1 总则 .....	20
3 基本规定 .....	21
3.1 一般规定 .....	21
3.2 检测工作程序及内容 .....	21
4 检测要求 .....	22
4.1 人员 .....	22
4.2 设备 .....	22
4.3 测试现场条件 .....	22
5 检测准备 .....	23
6 检测实施 .....	24
6.2 数据处理 .....	24
6.3 结果评定 .....	24
7 检测报告 .....	26

## 1 总则

1.0.1 在土质路基质量无损检测技术方面，尚无系统、针对性强的规程或标准规范。在行业内，并无已经颁布实施的统一规范的土石路基质量快速无损检测技术规范用以指导检测工作。为规范落球法检测土质路基回弹模量的技术方法，保证检测的准确性和可靠性，特制定本标准。

1.0.2 本条规定了本标准的适用范围。本标准适用于粘土、粉土、砂石土、砾石土等土质路基的回弹模量检测及评定。其它路基回弹模量检测评定在有可靠依据或足够的试验验证情况下可参照本标准执行。

### 3 基本规定

#### 3.1 一般规定

- 3.1.2 了解现场情况和收集有关资料,不仅有利于较好的制定检测方案,而且有助于确定检测的重点。
- 3.1.3 测试环境、土质类型、粒径等对落球式回弹模量测试仪采集的数据均有一定影响,现场检测前应确认现场情况是否满足采用该设备进行检测的条件。
- 3.1.4 本条对现场检测需要记录的信息提出了要求。
- 3.1.5 考虑到落球测试受材料表面影响比较大,表面湿润时,测试结果偏小;有重车反复过往路段,测试结果偏大,故建议在单层碾压结束后 24 小时内进行。
- 3.1.7 当发现数据异常时,应及时组织补充检测,但值得提醒注意的是,在第一次检测时,应采取保护措施保护现场,直到检测工作全面结束后方可解除。

#### 3.2 检测工作程序及内容

- 3.2.1 本标准制定的工作程序,是依据我国其他现场检测标准,结合落球法检测土质路基回弹模量的实践经验而制定的。执行时可根据问题的性质进行具体安排。如:遇到简单问题,可予以适当简化;遇到特殊问题,可进行必要的调整和补充。
- 3.2.2 本条规定了检测方案的主要内容。

## 4 检测要求

### 4.1 人员

4.1.1~4.1.2 本节对从事落球法检测土质路基回弹模量的人员提出了要求。

### 4.2 设备

4.2.1~4.2.5 对落球式回弹模量测试的组成部件及各部件具体要求做了规定。

4.2.6 本条对现场检测所用的仪器设备提出要求。

### 4.3 测试现场条件

4.3.1 本节对测试区域及测试条件提出了要求，现场检测前应先确认是否满足要求。

## 5 检测准备

检测准备主要包括测区测点布置，仪器设备连接及参数设置等。现场检测前首先应结合现场条件及设备测试现场条件要求，布置好测区及测点。按照不同的土质类型设置好仪器相关参数。

## 6 检测实施

### 6.2 数据处理

6.2.2 根据中华人民共和国行业标准《公路路面基层施工技术规范》(JTJ034) 路基顶面的回弹弯沉值可由下式回归:

$$L_0 = 9308E_{ur}^{-0.938} \quad (\text{式 1})$$

其中,  $L_0$  为回弹弯沉 (0.01mm),  $E_{ur}$  为落球仪测出的回弹弹性模量 (MPa)。验证结果如下图所示:

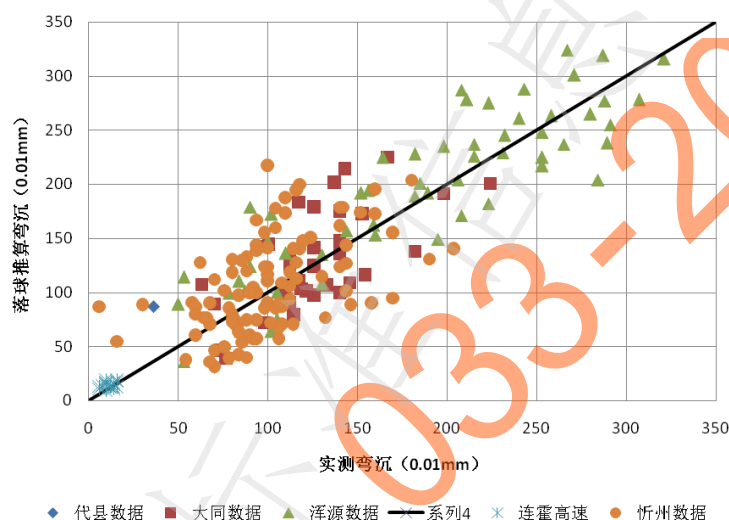


图 6.2.2 贝克曼梁弯沉和落球测试弯沉对比

由上图可见, 对于不同岩土材料, 落球测试技术弯沉与贝克曼梁弯沉结果基本吻合。但由于测点、影响深度的不同 (贝克曼梁的影响深度稍大), 两者之间不可避免地出现一定的离散。

此外, 编写组还同时用落球仪、贝克曼梁对左右车线进行了对比测试, 可以得到:

1 从落球左右测试结果和贝克曼梁左右测试结果可见, 两种测试结果均是右侧测试结果普遍偏高。这个结果与现场施工情况相当吻合。

2 落球左右测试结果平均值, 左值 0.96mm, 右值 1.19mm; 贝克曼梁左右测试结果平均值, 左值 0.93mm, 右值 1.10mm。

整体相关系数达 88%以上, 该验证表明落球测试技术测试弯沉值适应土质广, 测试精度较高。

### 6.3 结果评定

在最新的公路设计规范中, 突出了变形参数 (回弹模量) 的重要性, 特别是现行的公路混凝土、沥青路面设计规范中, 对路床顶面回弹模量要求与原规范有了较大的提高, 约为原规范的 2~3 倍。同时, 对于抗裂性能相对较差的混凝土路面, 设计规范还规定了变形参数的均匀性要求。

其中各规范均对路基回弹模量相关标准作了明确要求和说明:

1 公路路基设计规范[S]. JTG D30-2015

该规范与前一版（2004年版）相比，最重大的变化就在于“提出了路基结构回弹模量的控制标准及指标预估方法”。该规范 3.2.4 中规定，“路基应以路床顶面回弹模量为设计指标，以路床顶面竖向压应变为验算指标，并应符合下列要求：”路基在平衡湿度状态下，路床顶面回弹模量不应低于现行《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）和《公路水泥混凝土路面设计规范》（JTG D40）的有关规定。

## 2 公路水泥混凝土路面设计规范[S]. JTG D40-2015

该规范 4.2.2 中要求，“路床顶面的综合回弹模量值，轻交通荷载时不得低于 40MPa，中等或重交通荷载时不得低于 60MPa，特重或极重交通荷载等级时不得低于 80MPa”。

## 3 公路沥青路面设计规范[S]. JTG D50-2017

该规范 5.2.2 中要求，“路基顶面回弹模量应符合表 5.2.2 的规定。不满足要求时，应采取改变填料、设置粒料类或无机结合料稳定类路基改善层，或采用石灰或水泥处理等措施提高路基顶面回弹模量”。

表 5.2.2 路基顶面回弹模量 (MPa)

交通荷载等级	极重	特重	重	中等、轻
回弹模量，不小于	70	60	50	40

因此，本规程参考公路路基设计规范[S]. JTG D30-2015 和公路水泥混凝土路面设计规范[S]. JTG D40-2015 中对路基回弹模量的相关要求对利用落球法检测路基回弹模量的结果评定作了较为明确的规定。

## 7 检测报告

- 7.0.1 检测报告是工程质量评定的依据，当报告中出现容易混淆的术语和概念时，应以文字解释或图例、图像说明。
- 7.0.2 本条提出检测报告应包括的内容，保证信息的完整性。