

团 体 标 准

T/CCTAS XX—202X

路基路面现场动态回弹模量测试规程

Code of Practice for Field Dynamic Resilient Modulus Test of Subgrade and Pavement

（征求意见稿）

202×-××-××发布

202×-××-××实施

中国交通运输协会 发 布

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 符号 1

5 基本规定 2

6 仪器设备 2

 6.1 测试系统 2

 6.2 技术要求 3

 6.3 检定/校准 3

 6.4 维保与运输 3

7 现场检测 4

 7.1 一般规定 4

 7.2 检测频率 4

 7.3 方法与步骤 4

8 数据处理 5

 8.1 动态回弹模量计算 5

 8.2 动态回弹模量龄期修正 5

 8.3 动态回弹模量温度修正 5

9 报告 6

 9.1 报告技术内容 6

 9.2 报告文本格式 6

附 录 A 7

附 录 B 11

附 录 C 14

附 录 D 15

附 录 E 16

附 录 F 17

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《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。

本文件提出单位：中国交通运输协会新技术促进分会。

本文件归口单位：中国交通运输协会标准化技术委员会。

本文件起草单位：安徽省高速公路试验检测科研中心有限公司、安徽省交通控股集团有限公司、武汉理工大学、山东省公路桥梁检测中心有限公司、安徽省交通工程质量安全监督管理中心、湖北省交通规划设计院股份有限公司、安徽省交通科学研究院、湖北路港通工程检测有限公司、……。

本文件主要起草人：***。

路基路面现场动态回弹模量测试规程

1 范围

本文件规定了路基、路面现场动态回弹模量测试的仪器设备、方法与步骤、数据处理和报告编制等。

本文件适用于公路、市政等行业的路基、路面工程中需要进行碾压施工的结构层压实质量检测。其中，结构层厚度不超过 500mm，材料粒径不大于 150mm。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，标注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 D50	公路沥青路面设计规范
JTG/T 3610	公路路基施工技术规范
JTG/T F20	公路路面基层施工技术细则
JTG F40	公路沥青路面施工技术规范
JTG 3450	公路路基路面现场测试规程
JTG F80/1	公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

结构层 (Compacting Layers)

道路工程涉及的需要碾压施工且以体积指标（压实度、孔隙率、沉降差等）作为质量控制的结构层次，包括路基、（底）基层、面层等。

3.2

动态回弹模量 (Dynamic Resilient Modulus)

一定质量的落锤由一定高度自由落下，通过弹簧阻尼装置和一定面积的承载板对路基路面压实结构层顶面施加一定大小和作用时间的动应力，压实层表面的冲击荷载峰值与相应的动态回弹变形比值，其大小主要涉及承载板压力、承载板直径、材料泊松比、承载板中心处的回弹变形。

3.3

动应力影响深度 (Influence Depth by Dynamic Stress)

在路基、路面结构层顶面施加动荷载时，荷载作用的有效深度范围，以动应力在结构层中沿深度方向衰减至初始最大应力 20%时的深度来表示。

4 符号

下列符号适用于本文件。

- E_d —结构层动态回弹模量，MPa；
- $\overline{E_d}$ —结构层动态回弹模量平均值，MPa；
- E_r —结构层动态回弹模量代表值，MPa；
- E_s —结构层动态回弹模量控制值，MPa；
- DEM—动态回弹模量测试仪。

5 基本规定

- 5.1 采用本文件检测路基、路面施工过程的压实质量应进行相关性验证试验。
- 5.2 相关性验证试验应结合项目所在区域的地形地貌、水文地质、工程地质、填料材质、施工机械组合、碾压工艺等具体情况，选择代表性路段，通过试验段开展实施。试验段施工应遵照相应的施工技术规范 JTG/T 3610、JTG/T F20、JTG F40 的规定进行。
- 5.3 针对水泥、石灰、粉煤灰等无机结合料稳定类结构层，应建立动态回弹模量-龄期修正关系，在不同龄期下检测的动态回弹模量应换算为碾压成型后 1h 对应的动态回弹模量值。
- 5.4 针对热拌或温拌沥青结合料类材料结构层，应建立动态回弹模量-温度修正关系，在不同结构层表面温度下检测的动态回弹模量应换算为 20℃ 的动态回弹模量。

6 仪器设备

6.1 测试系统

- 6.1.1 动态回弹模量测试仪由加载装置、智能承载板、显示端 3 部分组成，见图 1。
- 6.1.2 加载装置主要由落锤、挂（脱）钩装置、导向杆、阻尼装置构成。智能承载板主要由下部圆形钢板和上部电控盒组成，电控盒内部装有力 and 位移传感器、数据采集器、数据处理器和无线传输模块，其中传感器必须牢固紧密地安装在圆形钢板的中心位置上。显示端为数据采集过程和结果的可视化物理界面，宜采用平板、手机等移动显示端。

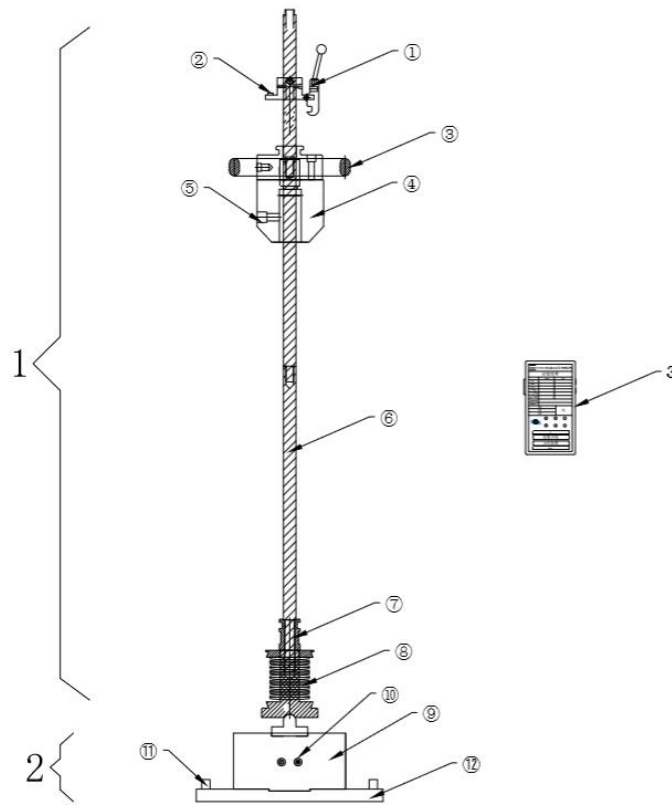


图 1 动态回弹模量测试仪示意图

1-加载装置（①挂(脱)钩装置；②水准泡；③落锤提手；④落锤；⑤安全锁；⑥导向杆；⑦锁紧螺母；⑧阻尼装置；）；2-智能承载板（⑨电控盒；⑩电源开关；⑪承载板提手；⑫圆形钢板）；3-显示端

6.2 技术要求

6.2.1 动态回弹模量测试仪有 DEM300、DEM450 两种类型，主要技术参数应符合表 1 要求。

6.2.2 当测试结构层厚度不超过 450mm，且材料粒径小于 75mm，宜选用 DEM300 进行动态回弹模量测试；当测试结构层厚度在 450~500mm，或材料粒径大于 75mm，小于 150mm，宜选用 DEM450 进行动态回弹模量测试。

表 1 主要技术参数要求

设备类型		DEM300	DEM450
加载装置	落锤质量(kg)	10.0±0.02	12.0±0.02
	落高(mm)	100~730	100~730
	最大冲击荷载(N)	7070±70.7	10490±104.9
	脉冲荷载持续时间(ms)	18±2	16±2
	荷载脉冲形状	半正弦波	半正弦波
	测试有效深度(mm)	400~450	400~500
智能承载板	直径(mm)	300±0.50	450±0.75
	厚度(mm)	20±0.20	15±0.15
	表面粗糙度(μm)	≤6.3	≤6.3
	适用粒径(mm)	≤75	≤150
	变形测量范围(mm)	(0.1~2.0) ±0.04	(0.1~2.0) ±0.04
显示端	分辨率(px)	1080×1920	1080×1920
	系统	Android/iOS	Android/iOS
	通讯方式	无线局域网（WLAN）	无线局域网（WLAN）

6.3 检定/校准

6.3.1 动态回弹模量测试仪的检定/校准应符合下列规定：

- 启用前。
- 每年不少于 1 次。
- 遭受严重撞击或其他损害修理后。

6.3.2 动态回弹模量测试仪在正式使用前，应对检定/校准证书进行确认，应在有效周期内。

6.4 维保与运输

6.4.1 仪器每 1 个月应进行清洁保养。承载板与加载装置切勿用水或具有腐蚀性的试剂清洗或擦拭，应用洁净的棉布擦拭干净。

6.4.2 当长期不使用时，动态回弹模量测试仪每 3 个月应充电保养 1 次，且应置于阴凉、干燥处。

6.4.3 在试验结束后或运输前，应检查各部件电源关闭情况，确认关闭后，将加载装置、承载板、显示端

等放入运输箱内，并将各部件锁紧、盖好箱盖。

7 现场检测

7.1 一般规定

7.1.1 场地及环境条件应符合下列规定：

- a) 结构层表面平整、干燥、无坑洞、无污染及松散粒料。
- b) 结构层表面坡度小于 10° 。
- c) 附近无影响测试的施工作业、磁场、静电等。

7.1.2 路基填料类、无机结合料稳定类结构层动态回弹模量测试宜在碾压成型当日内开展。

7.1.3 沥青结合料类材料结构层动态回弹模量测试宜在路面完全冷却后开展。其中，对于普通沥青路面宜在第 2d 开展，对于改性沥青及 SMA 路面宜在第 3d 以后开展。

7.1.4 分层测试结构层动态回弹模量时，每压实层厚度不应超出动态回弹模量测试仪的有效测试深度。

7.2 检测频率

7.2.1 现场动态回弹模量检测频率应按表 2 的规定进行。

表 2 现场动态回弹模量检测频率要求

结构层/部位	检测频率
路基	每车道每 50m 每压实层不少于 1 点，每作业段每压实层不少于 6 点
(底)基层	每车道每 100m 每压实层不少于 1 点，每作业段每压实层不少于 6 点
面层	每两车道每 100m 每压实层不少于 1 点，每作业段每压实层不少于 6 点
台背	每压实层单侧不少于 6 点

7.2.2 功能层或路基处置层动态回弹模量检测频率参考表 2（底）基层。

7.3 方法与步骤

7.3.1 相关性试验与验证

- a) 针对填土路基，应建立路基填筑层压实度与路基动态回弹模量的相关关系；针对土石混填或填石路基，应建立路基填筑层沉降差或孔隙率与路基动态回弹模量的相关关系。
- b) 针对无机结合料稳定类结构层、沥青结合料类结构层，应建立压实度与动态回弹模量的相关关系。
- c) 现场试验段相关性验证试验具体步骤参考附录 A。按照 JTG 3450 建立相关关系，采用“对应性原则”确定相应结构层压实质量对应的动态回弹模量控制值。

7.3.2 测试步骤

- a) 确定路段检测单元。在现场结构层填料和施工工艺保持不变的条件下，检测单元可为 1 个压实作业段，根据表 2 规定的频率要求确定检测点数。
- b) 确定测点位置，参考 JTG 3450 规定的选点方法。
- c) 检测工作开始前，检查动态回弹模量测试仪，确认其完好状态，并根据检测路段结构层材料种类，设置相应的检测参数。填写相关记录，参考附录 B。
- d) 在测点处应清扫测试面，必要时可用少量标准砂整平测试面。
- e) 将承载板放置在平整好的测试面上，安装导向杆并保持垂直。
- f) 将落锤提升至挂（脱）钩装置上挂住，然后打开脱钩装置，使落锤自由落下，当落锤弹回后迅速提

升至挂（脱）钩装置上并挂住，按此操作进行 3 次预冲击。

g) 正式检测时按上述步骤 f) 的操作方法进行 3 次冲击测试，智能承载板自动采集最大冲击力和回弹变形值。检测时应避免荷载板与导向杆接触位置处的移动或跳跃。

h) 检测过程中，因接触点跳动等因素导致数据出现异常，如最大冲击力或回弹变形示值明显异常，应重新检测或另选测点。

i) 当结构层、材料或施工等要素发生明显变化时，应重新开展相关性验证试验，再进行现场检测。

8 数据处理

8.1 动态回弹模量计算

8.1.1 动态回弹模量应按公式（1）计算：

$$E_d = \frac{P(1 - \mu^2)}{D \cdot l} \quad (1)$$

式中：P—承载板压力，N；

D—承载板直径，mm；

μ —材料泊松比；

l—承载板中心处的回弹变形，mm。

8.1.2 材料泊松比参照 JTG 3450、JTG D50 规定取用。对于路基，一般可取 0.35 或 0.40。其中，非粘性土可取 0.30，高粘性土取 0.50。对于路面，粒料类结构层取 0.35，无机结合料稳定类结构层取 0.25，密级配沥青混合料取 0.25，开级配沥青混合料与半开级配沥青混合料取 0.4。

8.1.3 结构层动态回弹模量检测结果准确到 0.1MPa。

8.1.4 结构层动态回弹模量代表值应按公式（2）计算：

$$E_r = \bar{E}_d - \frac{t_\alpha S}{\sqrt{n}} \geq E_s \quad (2)$$

式中：S—结构层动态回弹模量标准差，MPa；

n—测点数量；

t_α —t分布表中随测点数和保证率 α 而变化的系数，查附录 C；

α —保证率，按照 JTG F80/1 规定取值。

8.2 动态回弹模量龄期修正

8.2.1 无机结合料稳定类结构层动态回弹模量检测时，若未在施工碾压成型完毕后 1h 内开展，均应进行龄期修正。动态回弹模量龄期修正应按公式（3）计算。

$$E_{d1} = E_d \times K_1 \quad (3)$$

式中： E_{d1} —无机结合料稳定类结构层 1h 时的动态回弹模量值，MPa；

K_1 —龄期修正系数。

8.2.2 当无机结合料稳定类结构层动态回弹模量检测在 1h 内完成，龄期修正系数 $K_1 = 1$ 。当无机结合料稳定类结构层动态回弹模量检测未在 1h 内完成，应参考附录 D 求取不同龄期下的动态回弹模量龄期修正系数 K_1 。

8.3 动态回弹模量温度修正

8.3.1 对沥青结合料类结构层表面不同温度下所测动态回弹模量值，应先进行温度修正，再进行相关性分析。

动态回弹模量温度修正应按公式（4）计算：

$$E_{d20} = E_d \times K_{20} \quad (4)$$

式中： E_{d20} —沥青结合料类结构层表面温度为 20℃时的现场动态回弹模量值，MPa；

K_{20} —温度修正系数。

8.3.2 当沥青结合料类材料结构层表面温度在 20℃时，温度修正系数 $K_{20}=1$ 。当沥青结合料类材料结构层表面温度为其他温度时，应参考附录 E 求取不同表面温度下动态回弹模量值的温度修正系数 K_{20} 。

9 报告

9.1 报告技术内容

- a) 测试路段信息（桩号、结构层、材料类型等）。
- b) 龄期修正系数或温度修正系数。
- c) 现场动态回弹模量与压实质量检测指标的相关关系式、相关系数。
- d) 动态回弹模量控制值。
- e) 测试路段动态回弹模量的平均值、标准差及代表值。

9.2 报告文本格式

参考附录 B。

附录 A

(规范性)

路基路面现场动态回弹模量与压实质量检测指标的相关性验证

A.1 基本要求

A.1.1 相关性验证试验应按不同结构层、不同材料、不同施工工艺开展，建立各结构层动态回弹模量与压实质量验收指标的相关关系。

A.1.2 各结构层相关性验证的试验段长度应符合 JTG/T 3610、JTG/T F20、JTG/T F40 要求。

A.2 路基相关性验证试验步骤

a) 初压完成后，沿路基纵向每隔 40m（填土路基）或 20m（土石混填、填石路基）作为一个检测断面，每个检测断面沿横断面方向每隔 5m~10m 均匀布设检测点位，并做好标识。

b) 从复压开始，随碾压遍数采集不少于 3 次数据。

c) 对于填土路基，在每次碾压工序完毕后，依次在标识位置处检测填筑压实层路基动态回弹模量、压实度；对于土石混填、填石路基，在每次碾压工序完毕后，依次检测填筑压实层路基动态回弹模量、沉降差。

d) 再次碾压完毕后，应重新检查标识位置。对于填土路基，检测位置应重新标识，与原标识位置间距不宜小于 3m；对于土石混填、填石路基，标识位置宜保持不变。

e) 确认标识位置后，按照步骤 c) 开展试验，至完成全部的碾压遍数和检测数据采集。

f) 进行路基动态回弹模量与压实度/沉降差指标的相关关系标定。对于土石混填、填石路基，在动态回弹模量控制值满足规定沉降差要求的条件下，压实度/孔隙率指标也应满足规定要求。

g) 路基相关性验证试验结束。

A.3 无机结合料稳定类结构层相关性验证试验步骤

a) 无机结合料初压完成后，沿纵向每隔 50m 作为一个检测断面，每个检测断面沿横断面方向每隔 5m~10m 均匀布设检测点位，并做好标识。

b) 从复压开始，在标识位置处开展压实度检测，在压实度测点附近不大于 1m 位置处，检测不少于 3 组动态回弹模量值。

c) 每次碾压完毕后，应重新布设标识位置。与原标识位置间距不宜小于 3m。

d) 确认标识位置后，按步骤 b) 继续开展试验，至完成全部的碾压遍数和数据采集。

e) 进行无机结合料稳定类结构层动态回弹模量代表值/平均值与压实度代表值/平均值的相关关系标定。

f) 无机结合料稳定类结构层相关性验证试验结束。

A.4 沥青结合料类材料结构层相关性验证试验步骤

a) 沥青结合料类材料结构层摊铺碾压完成，待冷却至环境温度后，在试验段上每隔 40m 作为一个检测断面，一个检测断面设置一个测点，做好标识。

b) 在各测点位置处检测其压实度、动态回弹模量值、表面温度。

c) 将动态回弹模量值进行温度修正，以 20℃ 的动态回弹模量代表值/平均值与压实度进行相关关系标定；。

d) 沥青结合料类材料结构层相关性验证试验结束。

A.5 相关性验证试验结果分析

A.5.1 对于土石混填、填石路基选取的相关性参数为沉降差，则在沉降差满足规定要求的工序条件下，孔

隙率指标也应满足 JTG/T 3610 规定要求,如不满足,对于土石混填、填石路基应重新选择孔隙率作为相关性参数进行相关性验证试验。

A.5.2 将超出 $E_d \pm 2S$ 的结构层动态回弹模量值舍弃,重新计算动态回弹模量代表值 E_r ,进行相关关系分析。

A.5.3 用数理统计的回归分析方法,建立不同碾压遍数下动态回弹模量与沉降差或孔隙率(土石混填、填石路基)/压实度(填土路基、无机结合料稳定类结构层、沥青结合料类材料结构层)的关系曲线,得出相关关系方程。对于填土路基、无机结合料稳定类结构层、沥青结合料类材料结构层,相关系数 R 不应小于 0.90,对于土石混填、填石路基,相关系数 R 不应低于 0.85。

A.5.4 通过相关关系方程,计算满足压实质量检测标准对应的结构层动态回弹模量控制值 E_s ,报主管单位确认批复。

A.6 针对填土路基和土石混填、填石路基、无机结合料稳定类结构层、沥青结合料类材料结构层开展动态回弹模量与常规压实质量验收指标的相关性验证试验流程,分别见图 A.1、图 A.2、图 A.3、图 A.4 及图 A.5。

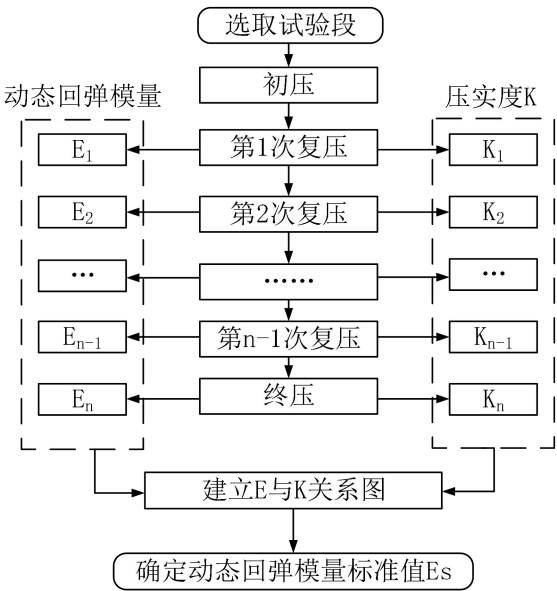


图 A.1 填土路基现场相关性验证试验流程

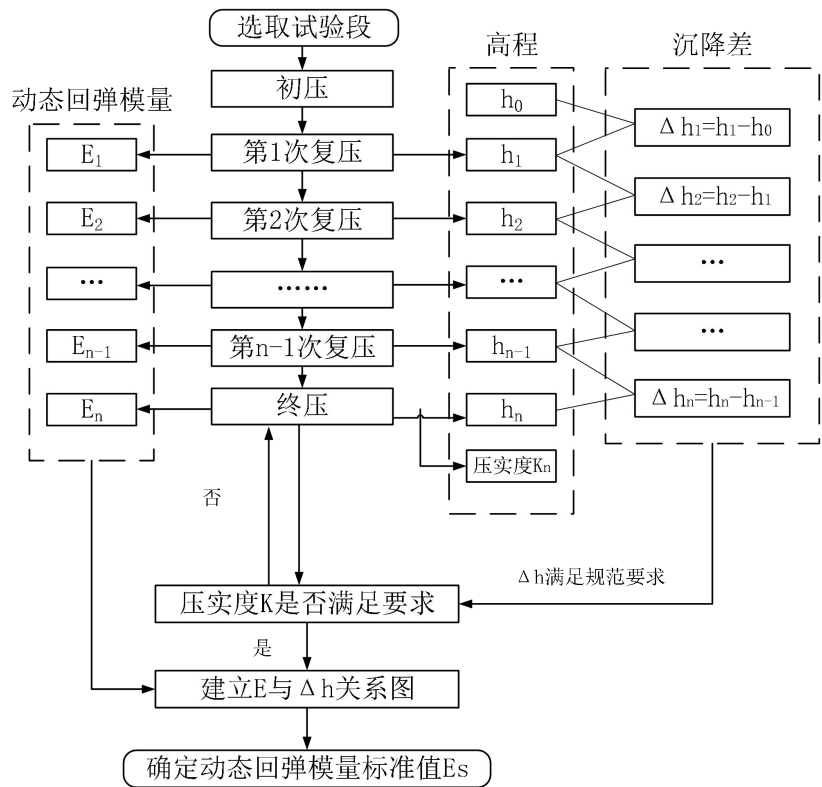


图 A.2 土石混填路基现场相关性验证试验流程

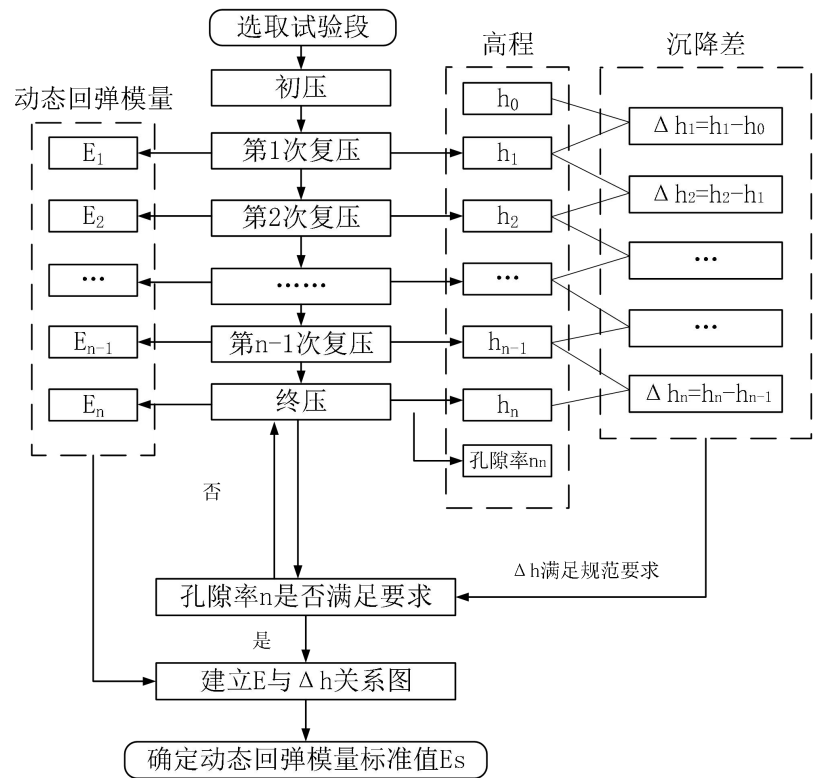


图 A.3 填石路基现场相关性验证试验流程

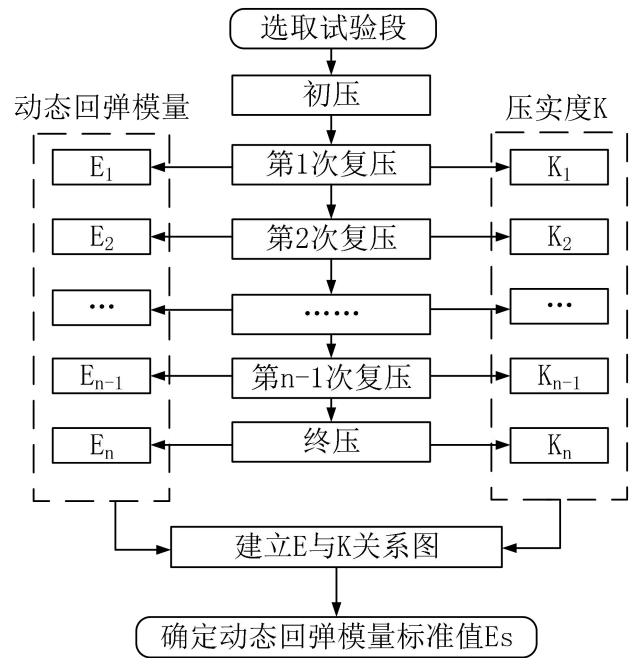


图 A.4 无机结合料稳定类结构层现场相关性验证试验流程

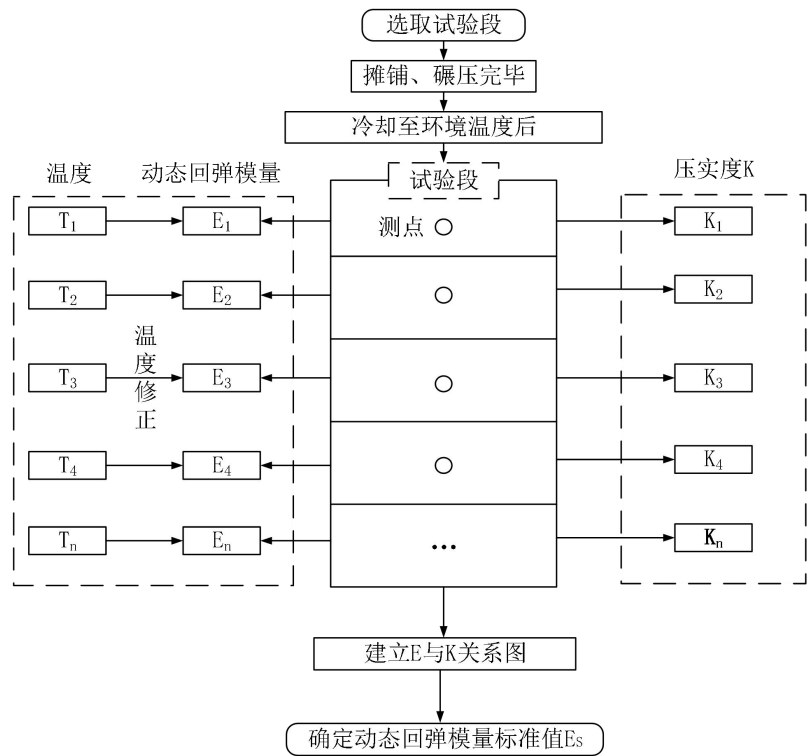


图 A.5 沥青结合料类材料结构层相关性验证试验流程

附 录 B
(资料性)

路基路面结构层动态回弹模量试验检测记录表和报告

表 B.1 路基路面结构层动态回弹模量试验检测记录表

检测单位名称：记录编号：第 页，共 页

工程名称				任务编号			
工程部位/用途				段落桩号			
段落描述				样品编号			
检测依据				检测条件			
判定依据				检测日期			
主要仪器设备及编号							
结构层次				材料最大粒径（mm）			
材料类型				动态回弹模量控制 值（MPa）			
序号	检测桩号	检测位置	回弹变形量（mm）	冲击荷载 （N）	动态回弹模量（MPa）		
					单个值	平均值	
备注：							

检测：复核：日期： 年 月 日

表 B.3 路基路面结构层压实质量检测指标相关性验证报告

检测单位名称： 报告编号： 第 页，共 页

工程名称		任务编号	
工程部位/用途		段落桩号	
段落描述		样品编号	
检测依据		检测条件	
判定依据		检测日期	
主要仪器设备及编号			
结构层次		材料最大粒径（mm）	
材料类型		压实质量检测指标	
碾压遍数	压实质量检测指标 平均值（ ）	动态回弹模量 平均值（MPa）	
回归方程		相关系数 R	
相关关系图：			
压实质量检测指标规定值 （ ）		动态回弹模量控制 值（MPa）	
备注：			

检测： 审核： 批准： 日期： 年 月 日（专用章）

附 录 C

(规范性)

$t_{\alpha}/\sqrt{N}$ 分布表

表 C.1 $t_{\alpha}/\sqrt{N}$ 分布表

测点数 N	保证率		测点数 N	保证率	
	95%	90%		95%	90%
2	4.465	2.176	21	0.376	0.289
3	1.686	1.089	22	0.367	0.282
4	1.177	0.819	23	0.358	0.275
5	0.953	0.686	24	0.350	0.269
6	0.823	0.603	25	0.342	0.264
7	0.734	0.544	26	0.335	0.258
8	0.670	0.500	27	0.328	0.53
9	0.620	0.466	28	0.322	0.248
10	0.580	0.437	29	0.316	0.244
11	0.546	0.414	30	0.310	0.239
12	0.518	0.393	40	0.266	0.206
13	0.494	0.376	50	0.237	0.184
14	0.473	0.361	60	0.216	0.167
15	0.455	0.347	70	0.199	0.155
16	0.438	0.335	80	0.186	0.145
17	0.423	0.324	90	0.175	0.136
18	0.410	0.314	100	0.166	0.129
19	0.398	0.305	>100	1.6449	1.2815
20	0.387	0.297		$\frac{\sqrt{n}}$	$\frac{\sqrt{n}}$

附录 D

(规范性)

无机结合料稳定类结构层动态回弹模量龄期修正

D.1 基本要求

D.1.1 无机结合料稳定类结构层动态回弹模量龄期修正试验应按不同施工工艺、不同结构层厚度开展，建立结构层动态回弹模量龄期修正系数与龄期的相关关系。

D.2 无机结合料稳定类结构层龄期修正试验步骤

a) 选取具有代表性厚度的无机结合料稳定类结构层。

b) 结构层摊铺碾压完成后，沿结构层纵向每隔 50m 作为一个检测断面，每个检测断面沿横断面方向每隔 5m~10m 均匀布设检测点位，并做好标识。

c) 按碾压成型后 30min、1h、2h、4h、8h、24h 龄期节点，在标识位置处进行动态回弹模量检测。

d) 对各类厚度的无机结合料稳定类结构层动态回弹模量与龄期的相关关系进行标定，并以 1h 的动态回弹模量值为基准，建立动态回弹模量值修正系数与龄期的相关关系。

e) 无机结合料稳定类结构层龄期修正试验结束。

D.3 龄期修正系数计算

D.3.1 建立无机结合料稳定类结构层动态回弹模量与龄期的相关关系。可采用式(5)进行相关关系的拟合。

$$E_d = Ae^{Bd} \quad (5)$$

式中：d—无机结合料稳定类结构层的龄期，h；

A、B—相关系数。

D.3.2 以无机结合料稳定类结构层 1h 龄期时的动态回弹模量值为基准，建立该类材料不同厚度结构层的动态回弹模量修正系数与龄期的关系。按式(6)计算某厚度结构层的龄期修正系数或绘制龄期修正系数与龄期关系曲线。

$$K_1 = e^{B(d_1-d_n)} \quad (6)$$

式中：d₁—1h 龄期，h；

d_n—其他龄期，h。

附录 E

(规范性)

沥青结合料类材料结构层动态回弹模量温度修正

E.1 基本要求

E.1.1 沥青结合料类材料结构层动态回弹模量温度修正试验应按不同施工工艺、不同结构层厚度开展，建立结构层动态回弹模量温度修正系数与材料表面温度的相关关系。

E.2 沥青结合料类材料结构层龄期修正试验步骤

a) 选取具有代表性厚度的沥青结合料类材料结构层。

b) 待结构层摊铺碾压完成，保持与碾压方向一致，沿纵向每隔 50m 作为一个检测断面，每个检测断面沿横断面方向每隔 5m~10m 均匀布设检测点位，做好标识。

c) 在标识位置处按 1h、2h、6h、1d、3d 时间节点，进行各测点处动态回弹模量检测，并记录每次检测时结构层的表面温度。

d) 以 20℃时的动态回弹模量值为基准，建立动态回弹模量温度修正系数与温度的相关关系。

e) 沥青结合料类材料结构层温度修正试验结束。

E.3 温度修正系数计算

E.3.1 建立沥青结合料类材料结构层动态回弹模量与温度的相关关系。可采用式(7)进行相关关系的拟合。

$$E_d = Ae^{-B/T} \quad (7)$$

式中：T—沥青结合料类材料结构层的表面温度，℃；

A、B—相关系数。

E.3.2 以 20℃时沥青结合料类材料结构层的动态回弹模量值为基准，建立该类材料不同厚度结构层的动态回弹模量温度修正系数与温度的关系。按式(8)计算结构层的温度修正系数。

$$K_{20} = e^{\frac{B}{T_n} - \frac{B}{T_{20}}} \quad (8)$$

式中：T₂₀—沥青结合料类材料结构层表面温度为 20℃，℃；

T_n—其他温度，℃。

附录 F

(资料性)

基于动态回弹模量进行路面基层压实度检测的应用示例

F.1 附录概述

F.1.1 目的是为了帮助理解本文件的内容，熟练掌握测试方法、步骤和数据处理。

F.1.2 附录中的内容为真实案例，仅供参考，实际应用时应根据具体情况进行适当调整。

F.1.3 基于动态回弹模量进行结构层压实度检测的一般步骤

a) 记录工程名称、设计单位、施工单位、检测里程桩号、检测部位。

b) 收集结构层相关资料，例如：基层集料类型、级配组成、最大粒径、最大干密度、最佳含水率、松铺与压实厚度、压实方式。

c) 开展相关性验证试验。

d) 进行相关性验证。确定动态回弹模量标准值 E_s 。

e) 进行动态回弹模量现场检测。

F.2 工程背景

F.2.1 XXX 工程。全线采用高速公路标准建设，车道设计为双向四车道，设计速度 100 km/h，路基宽度为 26m。

F.2.2 该高速公路基层采用 5%水泥稳定碎石基层，级配:0-31.5mm 连续级配，最大干密度: 2.419g/cm³，最佳含水率: 5.5%，松铺厚度: 24.3cm，压实厚度 18cm，集料松铺后钢轮振动压路机紧随钢轮式压路机一前一后碾压 3 遍，胶轮压路机碾压 4 遍成型。

F.3 相关性验证试验

F.3.1 根据工程背景记录工程信息、选择 200m 典型水泥稳定碎石基层作为试验段开展相关性验证试验，记录基层相关资料，填料类型: 5%水泥稳定碎石，级配: 0-31.5mm 连续级配，最大干密度: 2.419g/cm³，最佳含水率: 5.5%，松铺厚度: 24.3cm，压实厚度 18cm，压实方式:机械(钢轮 3 遍，振动 3 遍，胶轮 4 遍)。

F.3.2 选择压实度指标与动态回弹模量建立相关关系。

F.3.3 沿基层纵向每隔 50m 作为一个检测断面，每个检测断面沿横断面方向每隔 5m~10m 均匀布设检测点，并做好标识。相关性验证检测步骤按附录 A.3 开展。

F.3.4 采用表 B.1 中表格记录试验检测数据。

F.4 相关性拟合

F.4.1 根据“压实度-动态回弹模量”散点图分布形态，选择函数 $y = y_0 + A_1 e^{-x/B_1}$ 进行拟合，得到的相关系数 R 为 0.99，见表 F.1。

F.4.2 高速公路水泥稳定碎石基层的压实度验收指标规定值为 98%，带入相关关系公式中，得相应动态回弹模量控制值为 70.9MPa，见 F.1。

F.5 动态回弹模量现场检测

F.5.1 选择的测试面应平整、干燥、无坑洞、无污染及松散填料粒料，且表面坡度小于 10°。

F.5.2 基层在各层分层施工碾压成型完毕后当日内开展检测。

F.5.3 选取 K12+600~K12+900 左幅水泥稳定碎石上基层施工作业段，与试验段结构层、材料、施工工艺一致，按每车道每 100m 检测 1 点。

F.5.4 动态回弹模量现场检测步骤按 7.3 开展。

F.5.5 采用表 B.1 记录试验数据，具体数据见表 F.2。

F.5.6 均为水稳基层摊铺碾压完毕后 1h 内开展的检测，无需进行龄期修正。

表 F.1 路基路面结构层压实质量检测指标相关性验证报告

检测单位名称: XXXXXX

报告编号: XXXXXX

第 X 页, 共 X 页

工程名称	XXX 工程	任务编号	XXXXXX
工程部位/用途	上基层	段落桩号	XXXXXX
段落描述	表面平整、无坑洞、无污染及松散粒料	样品编号	XXXXXX
检测依据	《路基路面现场动态回弹模量测试规程》	检测条件	晴, 26°C
判定依据	/	检测日期	XXXX-XX-XX
主要仪器设备及编号	动态回弹模量测试仪、灌砂筒等		
结构层次	基层	材料最大粒径 (mm)	31.5
材料类型	水泥稳定碎石	压实质量检测指标	压实度
碾压遍数	常规压实质量验收指标 代表值 (%)	动态回弹模量 代表值 (MPa)	
钢轮一遍	88.4	41.55	
钢轮二遍	92.3	46.27	
钢轮三遍	97.7	68.78	
钢轮三遍+胶轮四遍	98.5	73.94	
回归方程	$y = 37.54 + 8.648 \times 10^{-9} e^{x/4.44}$	相关系数 R	0.99
相关关系图:			
压实质量检测指标规定值 (%)	98	动态回弹模量控制值 (MPa)	70.9
备注: ---			

检测: xxx

复核: xxx

日期: xxxx 年 xx 月 xx 日

表 F.2 路基路面结构层动态回弹模量试验检测记录表

检测单位名称: XXXXXX

记录编号: XXXXXX

第 X 页, 共 X 页

工程名称	XXX 工程		任务编号	XXXXXX		
工程部位/用途	上基层		段落桩号	K12+600~K12+900 左幅		
段落描述	路面平整、密实, 无明显离析现象		样品编号	XXXXXX		
检测依据	《路基路面现场动态回弹模量测试规程》		检测条件	晴, 26℃		
判定依据	判定依据同检测依据		检测日期	XXXX-XX-XX		
主要仪器设备及编号	动态回弹模量测试仪					
结构层次	基层		材料最大粒径 (mm)	31.5		
材料类型	水泥稳定碎石		动态回弹模量控制标准值 (MPa)	70.9		
序号	检测桩号	检测位置	回弹变形的量 (mm)	冲击荷载 (N)	动态回弹模量 (MPa)	
					单个值	平均值
1	K12+620	左幅距中线 2m	0.173	6943	88.4	78.6
			0.173	7058	87.4	
			0.21	6784	87.9	
2	K12+650	左幅距中线 8m	0.164	6874	87.3	79.8
			0.171	6381	91.9	
			0.174	6210	100.5	
3	K12+720	左幅距中线 3m	0.164	6941	97.5	82.4
			0.172	6732	87.6	
			0.184	6851	83.5	
4	K12+750	左幅距中线 6m	0.178	6944	88.3	76.8
			0.181	6874	89	
			0.2	6720	71.9	
5	K12+820	左幅距中线 2m	0.172	6784	87.5	81.8
			0.168	6712	89.1	
			0.176	6751	95.6	
6	K12+850	左幅距中线 7m	0.172	6544	95	79.4
			0.169	6635	86.7	
			0.181	6712	75.6	
备注: ---						

检测: xxx

复核: xxx

日期: xxxx 年 xx 月 xx 日