



T/CECS G XXXX: 2025

中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

道路沥青路面结构状态落锤式弯沉仪检测
分析规程

Specifications for Falling Weight Deflectometer testing and
analysis of structure conditions in asphalt pavements

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

道路沥青路面结构状态落锤式弯沉仪检测 分析规程

Specifications for Falling Weight Deflectometer testing and analysis of
structure conditions in asphalt pavements

T/CECS G: XXXX: 2025

主编单位：山东高速基础设施建设有限公司
山东省交通科学研究院

发布机构：中国工程建设标准化协会

人民交通出版社股份有限公司

北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会公路分会《关于开展2017年第一批中国工程建设标准化协会标准(CECSG)制修订项目编制工作的通知》(中建标公路[2017]36号)的要求,编制组经深入调查研究,认真总结实践经验,参考国内外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本规程。

本规程共分7章和3个附录,主要内容包括:1总则、2术语和缩略语、3基本规定、4仪器设备技术要求、5现场检测、6结果分析和7报告编写等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利,本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理,由山东高速基础设施建设有限公司、山东省交通科学研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中,如有意见或建议,请反馈给山东高速基础设施建设有限公司(地址:山东省济南市历下区龙奥西路1号银丰财富广场D座15楼,邮编:250014,邮箱:xcqin@bjtu.edu.cn)。

主编单位: 山东高速基础设施建设有限公司
山东省交通科学研究院

参编单位: 山东建筑大学
山东交工建设集团有限公司
山东远通公路工程集团有限公司
山东省交通规划设计院集团有限公司
山东高速交通建设集团有限公司

主 编:

主要参编人员:

主 审:

参与审查人员:

参 加 人 员:

目 次

1 总则	1
2 术语和缩略语	2
2.1 术语	2
2.2 缩略语	2
3 基本规定	3
4 仪器设备技术要求	3
5 现场检测	5
5.1 准备工作	5
5.2 检测步骤	5
5.3 数据处理	6
6 结果分析	8
6.1 弯沉盆数据分析	8
6.2 模量反演分析	8
7 报告编写	10
附录 A: 落锤式弯沉仪现场检测记录表	11
附录 B: 路表弯沉检测反演方法	12
附录 C: 多层弯沉盆法反算路面回弹模量	13

1 总则

1.0.1 为规范落锤式弯沉仪检测道路沥青路面结构状态数据的处理和分析，准确掌握沥青路面实际结构状态，制定本规程。

【条文说明】本规程规定了采用共梁多点式落锤弯沉仪进行沥青路面结构弯沉盆及裂缝检测，以及路面结构层模量反演的方法与标准，主要包括设备要求、检测设备参数及设置、检测方法、数据处理、结构层模量反演等。本规程的制定不仅可以准确掌握沥青路面实际结构状态，还有利于规范和指导沥青路面的养护与管理。

1.0.2 本规程适用于沥青路面结构状态的常规落锤式弯沉仪检测分析，可用于沥青路面养护评价与决策。

1.0.3 本规程规定了采用落锤式弯沉仪进行沥青路面结构弯沉盆检测和裂缝检测，以及路面结构层模量反演的方法与标准。

1.0.4 沥青路面结构状态落锤式弯沉仪检测除符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

【条文说明】本规程主要针对共梁多点式落锤式弯沉仪，通过规定检测方法、数据处理方法，评价路面结构承载力、路基土强度以及评价路面结构状态，作为路面分段养护设计的依据。此外，提出对FWD弯沉盆数据的处理方法，并提出基于多层弯沉盆的路面各结构层弹性模量的反算方法，避免迭代法引起的结构层反算模量偏离理论值的缺点。

2 术语和缩略语

2.1 术语

2.1.1 结构状态 structural state

包括路面的结构层模量、承载能力、弯沉盆、内部松散脱空等。

2.1.2 多层弯沉盆法 method of multi-layer deflection

是一种通过逐层检测路面结构层表面弯沉，自底向上逐层反演路面结构模量的处理方法。

2.2 缩略语

FWD Falling Weight Deflectometer 落锤式弯沉仪

SDDI Surface Deflection Difference Index 面层弯沉差指数

BDDI Base Deflection Difference Index 基层弯沉差指数

PDDI Pavement Structural Deflection Difference Index 结构弯沉差指数

3 基本规定

- 3.1 收集检测路段道路设计、路面养护、环境、气候、交通等相关资料。
- 3.2 收集现场校核检测区域的车道数与坐标控制点。
- 3.3 测点应根据检测目的相应布置在轮迹带、硬路肩、路面病害等位置。
- 3.4 待检路面应清洁干燥无积水。

4 仪器设备技术要求

- 4.1 共梁多点式落锤式弯沉仪分为拖挂式落锤式弯沉仪和整车式落锤式弯沉仪。
- 4.2 传感器配置数量不应小于7个，位移分辨力不大于0.001mm。
- 4.3 用于反算路面结构层模量时，位移传感器至少应包括0mm、200mm、300mm、600mm、900mm处五个位置；用于弯沉盆数据分析时，位移传感器数量不应少于9个。
- 4.4 梁长不宜小于1.8米。
- 4.5 FWD落锤荷载合理范围宜为冲击荷载 $\pm 5\%$ ，检测期间高度保持不变。
- 4.6 设备组成及技术要求应符合《公路路基路面现场测试规程》(JTG 3450)的要求。
- 4.7 FWD宜每年校准1次。

【条文说明】当传感器布置个数为7~9个时，反算出的土基模量未出现突变，进行弯沉盆分析时传感器数量宜为9个。但当传感器布置个数减少为7个时，反算出的土基模量出现明显突变，从而引起其他结构层模量突变。因此，传感器布置个数为7个时是路面结构层反算所需的极限传感器间距。

采用落锤式弯沉仪进行城市道路检测通常选择2-3米的梁长，适合较窄的路面。进行高速公路检测选择4-5米的梁长，覆盖更宽的路面范围。进行机场跑道检测时选择5米及以上的梁长，满足大范围和高精度的需求。

检测对不同路面结构，采用不同弯沉盆半径。路基或柔性基层沥青路面，传感器分布在距荷载中心2.5m范围内即可；采用半刚性基层沥青路面结构的高等级公路，弯沉影响半径以3~5m为宜，传感器应布置在距荷载中心3~4m范围内。

检测期间异常数据检查包括：1) 衰减：当单个弯沉传感器在落锤落下后60ms内不能归零。原因是弯沉传感器和路面表面之间接触不良。2) 非递减弯沉：当弯沉不会随着弯

沉传感器与承载板的距离增加而减小的时候出现这种错误结果。原因是标记传感器和路面表面之间接触不良。3) 超值：当检测的弯沉超过弯沉传感器的范围时会出现这种情况。造成这种情况的原因是标记传感器和路面表面之间接触不良。4) 弯沉波动：产生这种情况的原因主要是路面表面凹凸不平导致承载板或者弯沉传感器的基座不够平整稳定。也可能是由于附近的重型设备引起的振动，比如有重型车辆在相邻车道上行驶。5) 负载波动：产生这个错误的原因可能是承载板没有正常的固定在路面表面上，也可能是因为路面表面的松散碎片或者路面表面凹凸不平。

5 现场检测

5.1 准备工作

5.1.1 根据工程规模和布局，用白漆笔或粉笔标记测点位置。

5.1.2 测点布置应符合以下要求：

- a) 进行裂缝检测时，应在裂缝顶面及两侧均进行检测。测点宜沿垂直于裂缝方向，相邻测点间距宜为15cm~50cm，靠近裂缝位置宜在裂缝两侧加密测点。其他病害类型检测时，检测点布置按照 JTG F80/1 相应规定执行；
- b) 进行弯沉盆检测时，测点应选择在距离路肩最近的轮迹带处（距行车道右侧边缘约90cm处）；对于外侧行车道，测点应布置在右侧轮迹带；对于内侧行车道，测点应布置在左侧轮迹带。

5.1.3 每次开启FWD后应对传感器进行标定。

5.1.4 打开电源和保险装置，检查车况及刹车性能，调整好落锤高度。

【条文说明】为准确判断裂缝损伤影响范围，对裂缝两侧一定范围进行弯沉检测，通常需要对距裂缝中心至少±100cm处进行弯沉检测，网裂/唧浆裂缝扩大至±150cm，纵向裂缝需全范围覆盖。

弯沉盆检测时需要采集所有弯沉传感器的数据，如下图1所示。该检测的目的是表征路面结构状态特性，找出路面哪个部位在车辆荷载作用下破坏最严重。

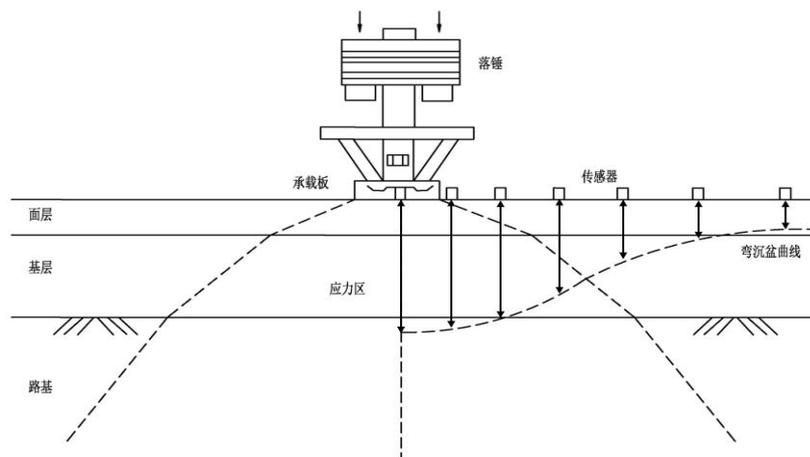


图1 弯沉盆检测曲线示意图

5.2 检测步骤

5.2.1 拖挂式落锤式弯沉仪检测步骤如下：

-
- a) 将拖挂车与牵引车稳固连接，调平承载板底座。
 - b) 对准测点停放设备，放下各传感器，确保各传感器贴合路面。
 - c) 输入测试位置信息，设定好状态参数，进行1-2次预加载，直到传感器信号稳定。
 - d) 启动荷载发生装置，记录弯沉值及弯沉盆数据；每个测点重复测试不少于3次。
 - e) 检测完成后，系统自动提起传感器与承载板，牵引车向前移动至下一测点，重复以上步骤。
 - f) 所有测点检测完成后，关闭测试软件，检查测试数据完整性；
 - g) 关闭系统，卸压并关上保险装置，结束测试。

5.2.2 车载式落锤式弯沉仪检测步骤如下：

- a) 行驶至测点位置，将承载板中心位置对准测点。
- b) 放下承载板压紧路面，确保各传感器与路面紧密贴合。
- c) 启动系统，输入桩号、荷载和落锤数量等参数。
- d) 开启落锤装置，系统自动记录弯沉及弯沉盆数据；每个测点重复测试不少于3次。
- e) 检测完成后，自动提起传感器与承载板，向前移动至下一测点，重复以上步骤。
- f) 所有测点检测完成后，关闭测试软件，检查测试数据完整性；
- g) 关闭系统，卸压并关上保险装置，结束测试。

5.2.3 检测期间应对FWD设备采集的数据进行质量检查。应舍弃异常数据，并重新固定FWD进行检测。数据异常包括以下几个方面：

- a) 衰减：单个弯沉传感器在落锤落下后60ms内不能归零；
- b) 非递减：弯沉值不会随着弯沉传感器与承载板的距离增加而减小。
- c) 超值：检测的弯沉超过弯沉传感器的范围；
- d) 负荷变异：落锤荷载值大于或小于平均荷载的3%；
- e) 弯沉波动：落锤弯沉值大于或小于平均弯沉的 $1\%+2\mu\text{m}$ 。

5.3 数据处理

5.3.1 舍去弯沉数据的第一个测试值，取后面几次测试值的平均值作为实测值，参照附录A做好原始记录。

5.3.2 参照《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）对弯沉值进行温度修正、回弹模量湿度修正时，先计算单点温度修正，再计算弯沉代表值。

6 结果分析

6.1 弯沉盆数据分析

6.1.1 采用面层弯沉差指数 $SDDI$ 评估路面面层损伤状况，计算公式如下。

$$SDDI = d_0 - d_{200} \quad (6-1)$$

式中： $SDDI$ 为面层弯沉差损坏指数； d_0 为承载板中心处传感器的实测弯沉值， d_{200} 为距承载板中心处200mm处传感器的实测弯沉值。

6.1.2 采用基层弯沉差指数 $BDDI$ 评估路面基层损伤状况，计算公式如下。

$$BDDI = d_{200} - d_{600} \quad (6-2)$$

式中： $BDDI$ 为基层弯沉差损坏指数； d_{600} 为距承载板中心处600mm处传感器的实测弯沉值。

6.1.3 采用结构弯沉差指数 $PDDI$ 评估路面结构损伤状况，计算公式如下。

$$PDDI = d_0 - d_{600} \quad (6-3)$$

式中： $PDDI$ 为结构弯沉差损坏指数。

6.1.4 结构弯沉差指数 $PDDI$ 判别标准见下表1。

表1 裂缝传荷能力系数 k_c 判别参考标准

$PDDI$ 范围	沥青路面结构状态分析
$\geq 100 \mu\text{m}$	轻微裂缝，结构完好
$50 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$	面层裂缝，基层完好
$< 50 \mu\text{m}$	裂缝贯穿基层，结构完整性较差

6.2 模量反演分析

6.2.1 路面结构层模量反算流程按照附录B和附录C执行。

6.2.2 划分的路面结构层数不应大于4层，相近的路面材料合并为同一层，拟合结果均方差 $RMS < 5\%$ 。 RMS 大于5%时应调整参数设置，重新进行反算。

6.2.3 采用路面结构内部损伤度 μ 分析路面结构状况，计算公式如下：

$$\mu = \frac{E}{E_0} \quad (6-4)$$

式中： E 为经反演得到的现役结构层模量， E_0 为初始模量。

6.2.4 路面结构内部损伤度 μ 判别标准见下表2。

表2 路面结构内部损伤度 μ 判别参考标准

μ 范围	沥青路面结构状态分析
$\mu \geq 0.75$	面层裂缝，基层完好
$0.25 \leq \mu < 0.75$	基层出现破损（裂缝、松散等）
$\mu < 0.25$	裂缝贯穿基层，路面结构性损坏

7 报告编写

报告应包括但不限于以下内容：

- 7.1 项目概况、检测目的、检测依据等。
- 7.2 检测路段、方法、测点布置描述。
- 7.3 数据处理。包含数据异常点剔除、温度修正方法、弯沉值统计表以及关键弯沉盆参曲线图等。
- 7.4 结构状态评价。包括结构状态诊断、反算模量结果、弯沉盆结果分析、路面整体承载能力评价等。
- 7.5 结论与建议。

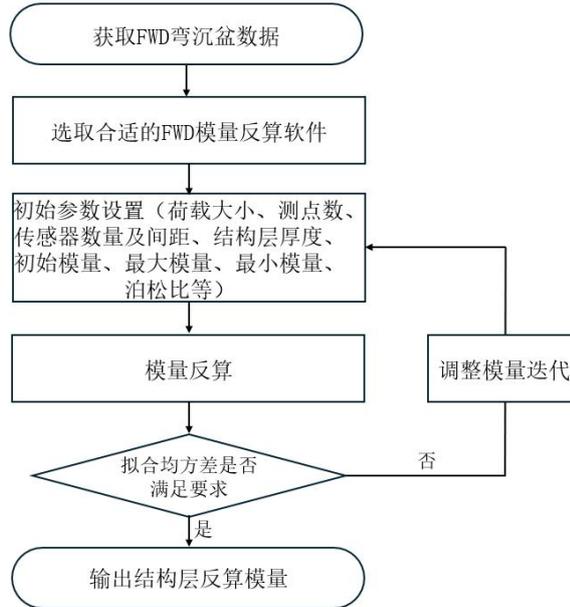
附录 B: 路表弯沉检测反演方法

(规范性)

B.1 按照5.2规定进行现场检测, 获取路面弯沉值数据。

B.2 根据需要选取适合的结构层模量反演分析模型。

B.3 基于实测弯沉盆数据以及结构层厚度参数, 利用结构层模量反演分析模型进行结构层模量反演分析。路表弯沉检测模量反演流程见下图B.1。



图B.1 路表弯沉检测反演流程图

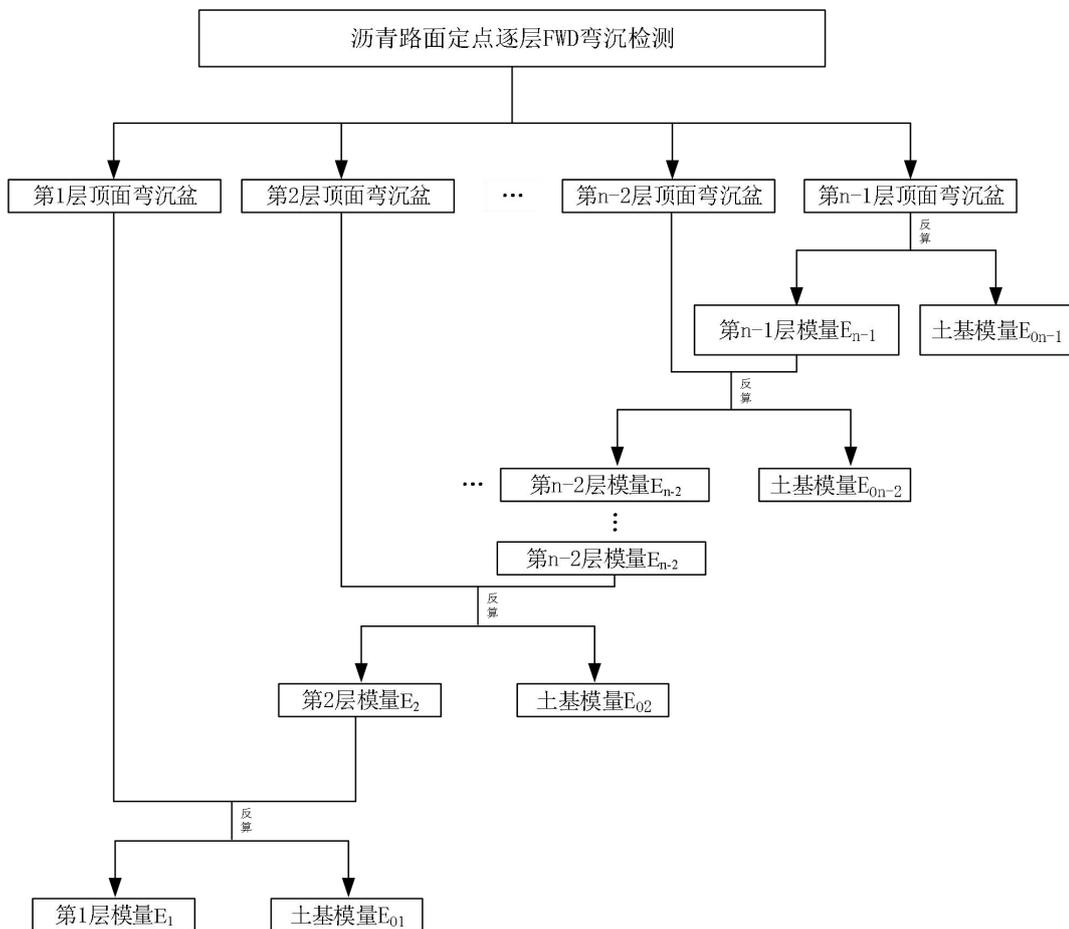
附录 C: 多层弯沉盆法反算路面回弹模量

(规范性)

C.1 逐层铣刨和检测路面结构层，直至土基的上一层表面，按照5.2规定逐层获取路面结构内各结构层表面同一平面坐标点的弯沉盆。

C.2 按弯沉盆等效原则自底向上逐层反演路面结构层模量，除土基模量外，下层结构模量反演结果代入上一层模量反演中，直至路面表层所有路面结构层模量反演完成。

C.3 多层弯沉盆法模量反算流程见下图C.1。



图C.1 多层弯沉盆法反算流程

【条文说明】多层弯沉盆法是通过逐层检测路面结构层表面弯沉，自底向上逐层反演结构模量，除土基模量外，下层结构模量反演结果代入上一层模量反演中，直至所有路面结构层模量反演完成。可解决多层路面结构反算解的非唯一性问题，反算结果与实际状态一致，可提高路面结构性能评价和养护设计的可靠性。该方法还可解决路面结构模量反算中土基模量的应力依赖问题，为不同应力条件下土基模量的确定提供有效手段。

本规程用词用语说明

1 本标准执行严格程度的用词，采用下列写法：

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，在条件许可时首先应这样做的：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 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

2) 在条文中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》（×××）的有关规定”。

3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本标准第×章的有关规定”、“应符合本标准第×.×节的有关规定”、“应符合本标准第×.×.×条的有关规定”或“应按本标准第×.×.×条的有关规定执行”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

JT/T 1125 落锤式弯沉仪

JTG D50 公路沥青路面设计规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

JTG 3450 公路路基路面现场测试规程

征求意见稿