



T/CECS G XXXX: 20XX

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路路基便携式落锤弯沉仪测试规程
(征求意见稿)

Standard Test Method for Measuring Highway Subgrade
Modulus with a Portable Falling Weight Deflectometer

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

公路路基便携式落锤弯沉仪测试规程

Standard Test Method for Measuring Highway Subgrade Modulus
with a Portable Falling Weight Deflectometer

T/CECS G XXXXX-20XX

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

实施日期：20XX 年××月××日

××××××× (出版单位)

中国工程建设标准化协会 公告

20XX 年第 XX 号

关于发布《公路路基便携式落锤弯沉仪测试规程》

(CECSG ×××××—20XX) 的公告

现发布中国工程建设标准化协会标准《公路路基便携式落锤弯沉仪测试规程》(CECSG ×××××—20XX), 自 20XX 年××月××日起实施。

《公路路基便携式落锤弯沉仪测试规程》(CECSG ×××××—20XX) 的版权和解释权归中国工程建设标准化协会所有, 并委托主编单位中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责日常解释和管理工作。

中国工程建设标准化协会

20XX 年××月××日

前 言

根据中国工程建设标准化协会“关于印发《2021年第一批工程建设协会标准制订、修订计划》的通知”（建标协字 [2021]011号）的要求，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司承担《公路路基便携式落锤弯沉仪测试规程》（以下简称本规程）的制定工作。

为规范便携式落锤弯沉仪在公路路基动态回弹模量测试中的应用，统一仪器设备、测试方法、数据处理与成果报告，确保测试成果质量，本规程编写组在总结、归纳便携式落锤弯沉仪PFWD测试公路路基模量技术与工程应用经验的基础上，通过大量的文献调查、现场调研及验证试验等工作，并广泛征求了有关单位和专家意见，经过反复讨论修改，最终形成本规程。

本规程的主要内容共分5章、1个附录，主要内容包括：1.总则；2.术语、符号；3.仪器设备；4.测试方法；5.数据处理与报告；附录A. PFWD测试公路路基模量试验记录表。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容解释。请各有关单位在使用过程中注意总结经验，将发现的问题和意见函告本规程日常管理组，联系人：付伟（地址：武汉市经济技术开发区创业路18号，中交第二公路勘察设计研究院有限公司，邮编：430056；联系电话：027-84214101；电子邮箱：19632003@qq.com），以便修订时参考。

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

参编单位：*****

主 编：付伟

主要参编人员：***、***

主 审：张留俊

主要审查人员：***、***

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	2
3	仪器设备	3
3.1	设备组成	3
3.2	技术要求	4
3.3	检定/校准	4
3.4	保养与运输	5
4	测试方法	6
4.1	一般规定	6
4.2	测试参数选取	6
4.3	准备工作	6
4.4	测试步骤	7
5	数据处理与报告	8
5.1	数据处理	8
5.2	报告	8
	附录 A. PFWD 测试公路路基模量试验记录表	10
	本规程用词说明	11

1 总则

1.0.1 为了规范我国便携式落锤弯沉仪测试公路路基模量的试验方法,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路工程最大粒径小于 75mm 各类土、土石混合填料路基模量测试。

条文说明: 在美国、英国、德国等外文规范及文献中规定 PFWD 最大粒径应不大于承载板直径的 1/4。我国《铁路工程土工试验规程》(TB10102-2010)动态变形模量试验中,也规定了动态变形模量测试仪(与 PFWD 原理相同)适用的最大粒径应不大于承载板直径的 1/4,所以本规程规定适用于公路工程最大粒径小于 75mm 各类土、土石混合填料路基模量测试。

1.0.3 本规程规定的仪器设备应经计量技术机构检验合格后使用且保证准确可靠,仪器设备的操作尚应遵从其产品使用要求。

1.0.4 本规程采用国家法定计量单位制。

1.0.5 路基动态回弹模量的测试除应满足本规程的规定外,尚应符合国家及行业相关标准规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 便携式落锤弯沉仪 portable falling weight deflectometer

一种体积较小，便于携带的路基表面动力承载能力测试设备，简称 PFWD。

2.1.2 动态回弹模量 dynamic resilience modulus

动态荷载作用下路基表面的冲击荷载应力峰值与相应的动回弹变形的比值。

2.2 符号

E_p —便携式落锤弯沉仪测试的路基动态回弹模量；

p —承载板下峰值动应力；

r —承载板半径；

μ —路基材料泊松比；

f —应力分布系数；

l —承载板中心处的变形；

征求意见稿

3 仪器设备

3.1 设备组成

3.1.1 PFWD 由加载系统、数据采集系统、数据传输系统组成，如图 3.1-1 所示。

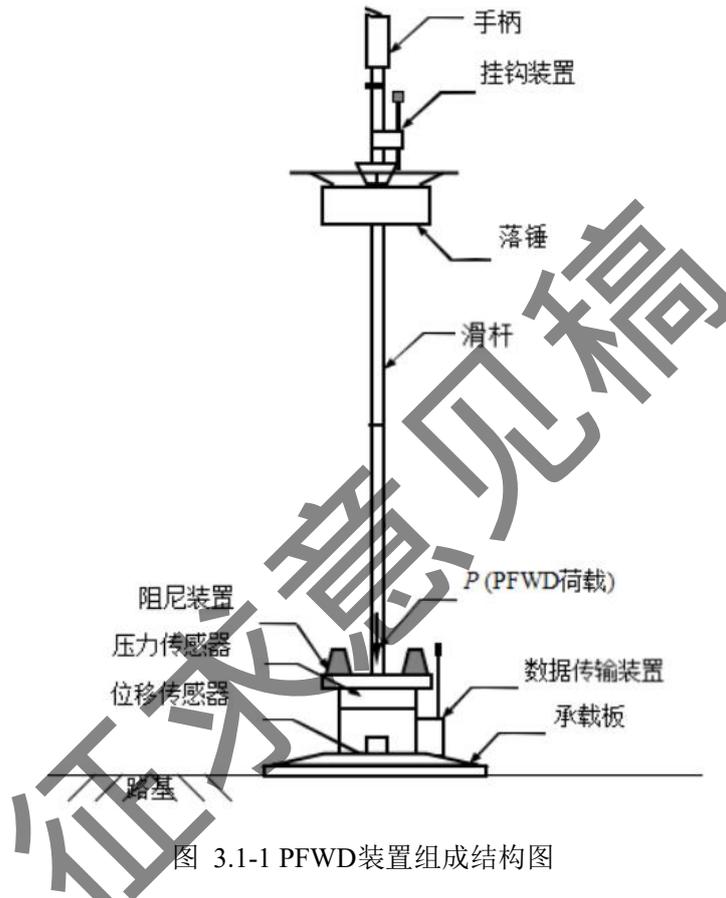


图 3.1-1 PFWD装置组成结构图

3.1.2 加载系统主要由手柄、挂钩装置、落锤、滑杆、阻尼装置、承载板等组成。

3.1.3 数据采集系统由压力传感器、位移传感器和采集装置等组成。

3.1.4 数据传输系统由计算机或手持终端、有线或无线数据传输装置、数据处理软件等组成。

条文说明：本规程涉及的为一种体积较小，便于携带的基础表面动力承载能力试验检测设备，在国外相关规范中，常被称为便携式落锤弯沉仪(PFWD: Portable Falling Weight Deflectometer)，简称 PFWD。或称手持式落锤弯沉仪(HFWD: Handhold Falling Weight Deflectometer)，简称 HFWD。或称微型落锤弯

沉仪(MFWD:Mini Falling Weight Deflectometer), 简称 MFWD。或称轻型落锤弯沉仪(LWD:Light Weight Deflectometer), 简称 LWD。

3.1.5 现场试验其他辅助器具: 水平尺、细砂、毛刷、镐、铁锹、铲刀等。

3.2 技术要求

3.2.1 加载系统应符合要求:

1 滑杆高度应可调, 以获得不同大小的冲击荷载, PFWD 最大落距不应小于 0.85m。

2 落锤重量应可调, 以获得不同大小的冲击荷载, 常用的落锤重量为 10kg、15kg、20kg。

3 承载板为圆形钢板, 安装有测振传感器。承载板直径应可调, 常用的直径为 100mm、200mm、300mm, 允许偏差应为 $\pm 0.5\text{mm}$, 厚度 20mm, 允许偏差应为 $\pm 0.5\text{mm}$, 承载板表面粗糙度不应大于 $6.3\ \mu\text{m}$, 测振传感器必须牢固密贴地安装在承载板的中心位置。

4 脉冲荷载形状为半正弦波, 脉冲荷载持续时间宜为 15-30ms。

3.2.2 数据采集系统应符合要求:

1 位移传感器应采用地震检波器, 位移传感器测量频率范围应为 0.2-300Hz, 测量位移范围为 1-2200 μm , 分辨率 1 μm , 测量精度不应小于 $\pm 2\%$ 。

2 压力传感器频率范围应为 0-400Hz, 分辨率 0.1kN, 测量精度不应小于 1%。

3 数据采集系统应保证-10 $^{\circ}\text{C}$ -60 $^{\circ}\text{C}$ 环境温度下正常工作。

4 数据采集系统采样频率宜为 5kHz, 16 位 A/D 转换, 时域记录应输出 ASCII 格式, 并可以用其他软件打开。

3.2.3 数据传输系统应符合要求:

1 PFWD 应通过有线/无线方式与智能终端、笔记本电脑等连接, 保证数据传输安全可靠。

2 数据传输系统若采用无线蓝牙传输, 其蓝牙版本应在 3.0 及以上。

3.3 检定/校准

3.3.1 PFWD 的检定/校准应符合下列规定:

- 1 设备启用前；
- 2 超过检定/校准有效期间；
- 3 每年应至少检定/校准一次；
- 4 修理后必须进行检定/校准；
- 5 遭受严重撞击或其他损害应进行检定/校准。

3.3.2 PFWD 在正式使用前，需对检定/校准证书进行确认，且在有效周期内。

3.4 保养与运输

3.4.1 仪器应进行定期的清洁保养，用洁净的棉布擦拭干净。加载装置切勿用水直接冲洗或使用具有腐蚀性的试剂清洗或擦拭。

3.4.2 当长期不用时，显示终端（手机或笔记本电脑）、PFWD 数据传输系统应每 3 个月充电保养一次。

3.4.3 在试验结束后或运输前，应关闭各部件电源，将各部分拆解放入运输箱内，将各部件锁紧，避免相互碰撞，并盖好箱盖，应置于干燥阴凉处。

4 测试方法

4.1 一般规定

4.1.1 测试面宜水平，其倾斜度不应大于 5° 。

4.1.2 测试面应干燥、平整、无坑洞及松散填料，表面宜呈板结状态。

4.1.3 试验时测试面应远离振动源。

4.1.4 测试应避免在大风、雨雪天进行，环境温度应在 5°C - 50°C ，如遇阳光暴晒应对仪器进行适当遮盖，避免温度过高影响传感器精度。

4.2 测试参数选取

不同类型填料 PFWD 模量测试参数如表 4.2 所示。

表 4.2 不同填料 PFWD 模量测试参数推荐表

填料类型	模量范围 (MPa)	承载板直径 (cm)	锤重 (kg)	落距 (cm)
细粒土	5-100	30	10	85
粗粒土、巨粒土	50-300	30、20	10、15	85

注：路基模量越大，承载板直径取低值，锤重取高值。

条文说明：对于含粗颗粒较多的土质路基或粒料路基，选用的 PFWD 直径宜大于 5 倍最大粒径，最小不得低于 3 倍最大粒径。为了保证 p 值具有足够的影响深度（PFWD 影响深度约为承载板直径 1.5-2.0 倍），对于这类填料的填方路基，可通过增加落锤重量（由 10kg 增加到 15kg）而不改变承载板直径的方法进行测试。由于 PFWD 实测模量随冲击荷载增大而稍有增大，相当于随着承载板直径增大而减小，所以为偏安全起见，也可以直接采用标准配置的 PFWD 测试的路基模量作为设计参数。

4.3 准备工作

4.3.1 平整路基表面，用毛刷扫去松土，撒干燥洁净的细砂填平路基凹处，砂子不可覆盖全部路基表面避免形成夹层。

4.3.2 在路基表面放置 PFWD，并用水平尺进行校正，保证滑杆竖直向上，同时使承载板处于水平状态。

4.3.3 将承载板左右旋转约 45° ，以实现承载板和测试表面之间的紧密接

触。

4.3.4 检测工作开始前，检查 PFWD 仪器显示终端（手机或笔记本电脑）电源及连接情况，调试仪器设备，并根据测试路段填料种类，设置相应的检测参数。做好记录，填写相关表格，见附录 A。

4.4 测试步骤

4.4.1 将落锤提升至挂（脱）钩装置上挂住，然后使落锤脱钩并自由落下，当单次测试完成后，将落锤提起并重新挂在挂（脱）钩装置上。按此操作进行三次预冲击。

4.4.2 正式测试时按上述 4.4.1 的操作方法进行测试，每个测点测试 5 次并记录。测试时可用手轻轻扶住滑杆，避免荷载板与滑杆接触位置处的移动或跳跃。

4.4.3 测试过程中，若因人为等因素导致测试数据中出现异常时，应注意若记录数据属于预冲击数据，视具体情况决定是否重新测试；若记录数据为正式测试数据，则必须重新测试或另选其他测试点。

条文说明：在美国、英国、德国等外文规范及我国《铁路工程土工试验规程》中，均规定测试前，需要预冲击 3 次。由于路基存在一定塑性变形，初始锤击测试模量结果偏小，随着锤击次数增加，塑性变形减小，一般预冲击 3 次左右即可稳定，同时 3 次预冲击，可保证底盘与路基表面贴合更加紧密，保证测试精度。大量现场试验，也证实了此结论的科学准确。

关于正式测试时锤击次数，国外规范及我国《铁路工程土工试验规程》均规定锤击 3 次，取三次结果平均值。经过大量现场试验，发现锤击 3-5 次，能更好的保证测试结果精度，所以本规定规定正式测试时，锤击 5 次。

5 数据处理与报告

5.1 数据处理

5.1.1 按照式 5-1 计算单次 PFWD 测试的路基模量 E_p 。

$$E_p = \frac{fpr(1-\mu^2)}{l} \quad (5-1)$$

式中： E_p —便携式落锤弯沉仪测定的路基模量，MPa；

p —承载板最大动压力，MPa；

r —承载板半径，mm；

μ —路基材料泊松比，见表 5.1-1；

f —应力分布系数，见表 5.1-2；

l —承载板中心处的变形，mm。

表 5.1-1 不同路基材料泊松比

材料	细粒土	粗粒土	巨粒土
泊松比	0.30-0.40	0.25-0.30	0.20-0.25

注：细粒含量越高，泊松比取低值。

表 5.1-2 不同路基填料应力分布系数

材料	细粒土	粗粒土	巨粒土
应力分布系数	$\pi/2$	2	8/3

条文说明： μ 为路基材料泊松比，对于本规程规定以外的材料，可以参照《公路设计规范》（JTG D50）、《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450）、《工程地质手册》选取。 f 为应力分布系数，查阅美国、德国、英国等外文规范及文献，混合土（Mixed soil）、粘性土（Cohesive）、粒料（Granular material）应力分布系数为 2、 $\pi/2$ 、8/3。根据我国《公路土工试验规程》（JTG 3430—2020）土类定名习惯，本规程规定细粒土、粗粒土、巨粒土应力分布系数分别为 $\pi/2$ 、2、8/3。

5.1.2 计算 5 次测试结果的算术平均值，即得到该测点 PFWD 测试的路基模量值 E_p 。

5.2 报告

本方法应报告以下技术内容：

- (1) 测试位置信息（桩号、路基类型等）
- (2) 测试参数
- (3) 动态回弹模量

征求意见稿

附录 A. PFWD 测试公路路基模量试验记录表

表 A. 1 PFWD 测试公路路基模量试验检测记录表

检测单位：

记录编号：

工程名称						
工程部位		测试段落				
测点位置		测点编号				
现场条件		检测日期				
仪器设备及编号						
结构层次						
填料类型		落距 (cm)				
锤重 (Kg)		承载板直径 (cm)				
序号	检测桩号	检测位置	回弹变形量 (mm)	冲击荷载 (kN)	路基模量 (MPa)	
					单个值	平均值
备注：						

检测： 记录： 复核： 日期： 年 月 日

本规程用词说明

本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

1 表示很严格，非这样做不可的用词，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用词，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用词，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用词，采用“可”。

征求意见稿