

国家计量技术规范

《手持式落锤弯沉仪
校准规范》

编制说明

(征求意见稿)

规范编制组

2025年1月

目 录

一、任务来源	1
二、项目背景	1
1、目的意义	1
2、国内外概况	3
三、编制过程	4
1、编制原则	4
2、工作进程	4
3、人员分工	4
四、编制依据	5
五、主要技术内容说明	6
1、计量特性	6
2、校准方法	8
六、试验验证分析	9
七、不确定度评定	9
八、其他应予说明的事项	9

一、任务来源

根据市监计量发〔2024〕56号《市场监管总局办公厅关于印发2024年国家计量技术规范项目制定、修订及宣贯计划的通知》，由交通运输部公路科学研究所、中路高科交通检测检验认证有限公司、山西省交通建设工程质量检测中心(有限公司)、中路高科交通科技集团有限公司、中国铁道科学研究院集团有限公司负责国家计量技术规范《手持式落锤弯沉仪校准规范》的制定工作，计划编号为：MTC30-2024-07。

二、项目背景

1、目的意义

习近平总书记明确指出，要“从实施乡村振兴战略、打赢脱贫攻坚战的高度，进一步深化对建设农村公路重要意义的认识”。农村公路建设规划要更加注重与乡村振兴战略、与精准扶贫脱贫、与农业农村现代化发展相协调，不能一味追求数量和规模的增长，要确保“修一条路，带动一方经济，致富一方百姓”，发挥农村公路建设的最大效益。《交通运输标准化“十四五”发展规划》的重点任务“加快服务国家重大战略标准研制”，要落实乡村振兴发展战略，围绕促进城乡融合、建设美丽乡村需要，加快“四好农村路”建设等标准制定，为打造便捷高效的城乡交通运输体系提供标准支撑。

农村公路建设是实现农村现代化和乡村振兴的重要支撑，其高质量建设离不开路基施工质量的检测。手持式落锤弯沉仪（见图1）用于测定路基在动荷载作用下的弯沉值，然而农村公路建设面临着基础条件差，且存在大型车载检测设备通行不便等问题，手持式落锤弯沉仪因便于携带、检测高效等优点成为了支撑农村公路建设高质量建设的重要检测设备。手持式落锤弯沉仪在公路、铁路、机场、城市交通、港口、码头及工业与民用建筑的地基施工质量监控检测中均有应用，特别适用于场地狭窄地段检测，如路桥（涵）过渡段及路肩的检测等。



图1 手持式落锤弯沉仪实物图

手持式落锤弯沉仪由冲击力发生装置、数据分析装置、承载板组成，其中，冲击力发生装置由承力钢罩、导向钢套、阻尼装置、导向杆、重锤、脱钩装置及组成。手持式落锤弯沉仪的结构示意图2。

手持式落锤弯沉仪的主要技术性能指标包括：冲击力、弯沉、几何尺寸等。手持式落锤弯沉仪通过控制系统启动冲击力发生装置，使固定质量的重锤从一定高度自由落下，冲击力作用于承载板上并传递到土路基。通过施加脉冲冲击力，使得路基路面表面产生瞬时变形由弯沉传感器检测结构层表面的最大变形。

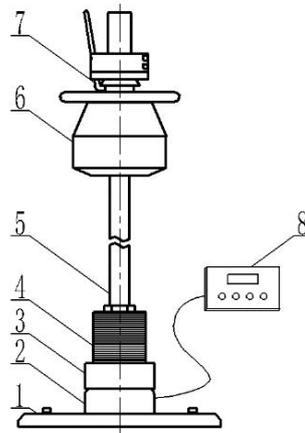


图2 手持式落锤弯沉仪结构示意图

- 1——承载板；2——承力钢罩；3——导向钢套；4——阻尼装置；
5——导向杆；6——重锤；7——脱钩装置；8——数据分析装置。

(1) 农村公路高质量建设的需要。

农村公路是服务“三农”的公益性基础设施，是打赢脱贫攻坚战、实施乡村振兴战略的“先行官”。承载能力是农村公路结构稳定性与安全性的核心评价指标，手持式落锤弯沉仪作为评价道路承载能力的主要设备，其准确性直接影响道

路性能与质量的评价。因此，为加快推进农村公路建管养运协调可持续发展，实现农业农村现代化提供坚实保障，亟须制定手持式落锤弯沉仪校准规范，提高该类设备的准确性，支撑农村公路高质量建设。

(2) 解决手持式落锤弯沉仪量值溯源问题的需要。

目前，交通行业内尚无手持式落锤弯沉仪计量技术标准。手持式落锤弯沉仪作为农村公路弯沉值测试的专用仪器，用于评估农村公路的承载能力，其设备自身的准确性影响农村公路建设质量。手持式落锤弯沉仪目前在公路和铁路行业建设中有着广泛的应用，但是该类设备长时间使用后，仪器的部件会出现磨损，例如冲击力不足、导线杆线性度不够等，这些问题均会导致测量准确性低，从而影响测量结果的准确性。为保障手持式落锤弯沉仪计量数据的溯源性、一致性和准确性，非常有必要制定交通行业的手持式落锤弯沉仪计量技术标准。

2、国内外概况

手持式落锤弯沉仪的生产厂家既有国外厂家，也有国内厂家，其中国外的厂家有美国的 Humboldt Mfg. co、意大利的 ONTROLS Group、印度的 Aimil Ltd 等，国内的厂家有北京亚欧德鹏科技有限公司、广州欧美大地仪器设备有限公司、上海魅宇仪器科技有限公司等。不同生产厂家的手持式落锤弯沉仪见图 3。

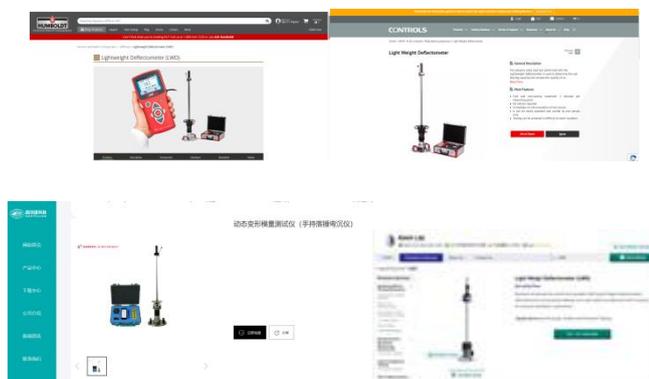


图 3 国内外不同生产厂家手持式落锤弯沉仪

手持式落锤弯沉仪与落锤式弯沉仪的测量原理类似，均依靠冲击力产生动态弯沉，由速度传感器采集到的电压信号，转换为加速度信号，积分运算得到弯沉值。与本规范相关的标准主要包括：JJG(交通)133《落锤式弯沉仪》、JJG(铁道)198-2008《动态变形模量 E_{vd} 测试仪》等。在上述两项检定规程中，与本规范相同的地方在于都对冲击力示值误差、弯沉示值误差进行了规定，但是计量特

性要求以及校准方法均有不同。

与 JJG(交通)133 相比，两类设备的测量范围不同，结构也不同，因此计量方法不同，本规范更适用于便携类设备的计量校准。与 JJG(铁道)198 相比，本规范采用的校准方法在满足手持式落锤弯沉仪计量校准需求的基础上，以高精度标准加速度计为标准器，具有“采用的校准器具便于移动，计量标准建立成本更低，适用性更好”等特点。该方式不依赖于固定场地，所建立的计量标准便于携带复制到各个地区提供校准计量服务。同时，本规范针对计量特性指标进行了优化，相比于 JJG(铁道)198，增加了冲击力值与弯沉值测量重复性的要求，更符合统计学理论和当前的计量技术要求。

三、编制过程

1、编制原则

(1) 协调性原则。

本标准修订工作以适应新形势下手持式落锤弯沉仪校准的需要为基本原则，紧密衔接国内外标准的有关要求、保证良好协调。

(2) 成熟性原则

对标准的技术关键技术指标进行充分的调研、技术论证或试验验证，依据充分，理论正确，验证可信，确保技术成熟性、可靠性。

(3) 可操作性原则

编制的条文表达准确、规范，试验步骤等内容详细、明确，可操作性强。

2、工作进程

2024 年 6 月规范制定计划下达，编写组立即着手进行任务分工，正式启动编写工作。

首先进行资料搜集，汇总分析国内外与手持式落锤弯沉仪相关的标准规程规范等；同时对原部门计量检定规程执行过程中的问题进行调研分析，并初步进行必要的试验验证。

2024 年 6 月~7 月，第一编写人完成征求意见稿初稿，组织编写组进行内部讨论，明确需要进一步通过试验进行验证的计量要求和校准方法等技术内容。

3、人员分工

本规范的主要起草人名单及任务分工情况如表 1 所示。

表 1 人员分工情况表

序号	主要起草人姓名	起草单位	职称	分工
1	刘璐	交通运输部公路科学研究所	副研究员	负责校准规范的组织与编写工作
2	蔡嘉程	交通运输部公路科学研究所	助理研究员	负责量值溯源方法的研究
3	薄占顺	中路高科交通检测检验认证有限公司	高级工程师	负责计量技术指标的确定
4	宿静	山西省交通建设工程质量检测中心(有限公司)	正高级工程师	负责规范质量把控
5	张冰	交通运输部公路科学研究所	工程师	负责试验验证相关工作
6	陈锋	中国铁道科学研究院集团有限公司	研究员	参与校准规范的编写
7	郭盛	中路高科交通检测检验认证有限公司	高级工程师	参与试验验证的相关工作

四、编制依据

本规范主要依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》进行编写，并在编写中参考了以下标准：

JJG(交通) 133 《落锤式弯沉仪》；

JJG(铁道) 198-2008 《动态变形模量 Evd 测试仪》；

ASTM E2538-07 《Standard Test Method for Measuring Deflection with a Light Weight Deflectometer (LWD)》《用手持式落锤弯沉仪测量弯沉的标准试验方法》。

BS 1924-2:2018-TC 《Tracked Changes. Hydraulically bound and stabilized materials for civil engineering purposes: Sample preparation and testing of materials during and after treatment》《跟踪变更。土木工程用水力粘合和稳定材料：处理期间和处理后材料的样品制备和试验》

手持式落锤弯沉仪与落锤式弯沉仪的测量原理类似，均依靠冲击力产生动态弯沉，由速度传感器采集到的电压信号，转换为加速度信号，积分运算得到弯沉值。与本规范相关的标准主要包括：JJG(交通) 133《落锤式弯沉仪》、JJG(铁道) 198-2008《动态变形模量 Evd 测试仪》等。在上述两项校准规范中，与本规范相

同的地方在于都对冲击力示值误差、弯沉示值误差进行了规定，但是计量特性要求以及校准方法均有不同。

与 JJG(交通) 133 相比，两类设备的测量范围不同，结构也不同，因此计量方法不同，本规范更适用于便携类设备的计量校准。与 JJG(铁道) 198 相比，本规范采用的校准方法在满足手持式落锤弯沉仪计量校准需求的基础上，以高精度标准加速度计为标准器，具有“采用的校准器具便于移动，计量标准建立成本更低，适用性更好”等特点。该方式不依赖于固定场地，所建立的计量标准便于携带复制到各个地区提供校准、校准计量服务。同时，本规范针对计量特性指标进行了优化，相比于 JJG(铁道) 198，增加了冲击力值与弯沉值测量重复性的要求，更符合统计学理论和当前的计量技术要求。

五、主要技术内容说明

按照 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》要求，本规范包括九个章节和三个附录：1 范围、2 引用文件、3 概述、4 计量特性、5 校准条件、6 校准项目和校准方法、7 校准结果、8 复校时间间隔，以及附录 A 手持式落锤弯沉仪校准记录式样，附录 B 手持式落锤弯沉仪校准证书及内页式样，附录 C 弯沉值测量不确定度评定示例。

1、计量特性

规范的关键技术内容和可行性分析：

本规范提出手持式落锤弯沉仪的计量特性要求，主要是基于两个方面：一方面，是手持式落锤弯沉仪仪器设备自身的要求；另一方面，参考了 JJG(铁道) 198《动态变形模量 E_{vd} 测试仪》、JJG(交通) 133《落锤式弯沉仪》等规范的相关要求。计量特性要求准确度符合仪器设备在公路、铁路等行业使用的实际情况，规定合理。

(1) 与冲击力相关的计量特性要求

①手持式落锤弯沉仪加载装置的冲击力标准值为 7070N，最大允许误差为±1.0%；

②手持式落锤弯沉仪加载装置的冲击力持续时间标准值为 18ms，最大允许误差为±2ms；

③冲击力重复性应不大于 2%。

1997年2月,为了解决动态载荷下的路基压实质量控制标准问题,德国提出了动态变形模量 E_{vd} 标准,在 JJG(铁道) 198-2008《动态变形模量 E_{vd} 测试仪》引进了该指标的计算规则,动态变形模量是指土体在一定大小的竖向冲击力 F_s 和冲击时间 t_s 作用下抵抗变形能力的参数。该标准要求最大冲击力 F_s=7070N,冲击时间 t_s=18ms。在 JJG(铁道) 198 中,规定了单次值允许误差为±2.0%,10次平均值的相对示值误差为±1.0%。本规范中取消了单次示值误差的要求,选取10次平均值作为示值误差评价对象,增加了冲击力重复性作为单次试验数据偏离程度的控制指标,更符合统计学规律和现有计量体系的通用计量方式。ASTM E2538-07《Standard Test Method for Measuring Deflection with a Light Weight Deflectometer (LWD)》规定弯沉值的重复性不能±3%。

对于冲击力持续时间本规范规定了10次平均值的允许误差,并采用了 JJG(铁道) 198 中的单次测量的技术指标数值 18±2ms,此项规定认为在冲击力重复性满足的条件下,不必对冲击力持续时间进行重复性计量校准试验。与 JJG(交通) 133《落锤式弯沉仪》相比较,荷载的相对示值误差要求为±5.0%,重复性要求为2%,相比于更高的锤重和更复杂的机械结构,手持式落锤弯沉仪的冲击力示值误差能够达到更高精度要求。

BS 1924-2:2018 规定手持式落锤弯沉仪的加载速率为20ms,预荷载为20kg。测压原件的范围为(1±0.01)kN至(1.5±0.15kN)。

(2) 与弯沉相关的计量特性要求

① 弯沉示值误差

当 0.1≤弯沉值≤1.0 时,最大允许误差为±0.02mm;

当 1.0≤弯沉值≤2.0 时,最大允许误差为±2.0%。

② 弯沉重复性应不大于2%。

与冲击力的规定相似, JJG(铁道) 198 中规定了单次值允许误差和10次平均值的相对示值误差要求。本规范中取消了单次示值误差的要求,选取10次平均值作为示值误差计量特性要求,增加了弯沉重复性作为单次试验数据偏离程度的控制指标。与 JJG(交通) 133《落锤式弯沉仪》相比较,弯沉的相对示值误差要求为±5.0%,重复性要求为2%,相比于更高的锤重和更复杂的机械结构,手持式落锤弯沉仪的冲击力示值误差能够达到更高精度要求。BS 1924-2:2018 规

定手持式落锤弯沉仪的弯沉传感器的范围是 $2200\ \mu\text{m}$ ，准确度要优于 $\pm 2\%$ 。承载的直径为 $(300 \pm 0.5)\ \text{mm}$ 。

(3) 几何量相关参数的计量特性要求

①承载板的直径应不超过 $300\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，厚度应不超过 $20\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 。

②导向杆的直线度应不大于 0.10mm 。

BS 1924-2:2018 规定手持式落锤弯沉仪承载板的直径为 $(300 \pm 0.5)\ \text{mm}$ 。

2、校准方法

手持式落锤弯沉仪的校准设备按照量值传递 $1/3$ 的关系选择，送校后，考虑便于操作和保证准确度的原则编写。选取典型设备，按照编制的校准方法，进行验证，能够满足需要。

本规范规定使用的校准用器具包括：测力仪、位移传感器、游标卡尺、刀口尺、赛尺等，均为常规器具，易购置、易操作。

用目视方法对被校准的手持式落锤弯沉仪进行外观检查。手持式落锤弯沉仪的外形结构应完好，各紧固件应无松动，无影响正常工作的机械损伤。其控制系统应操作灵活可靠，数据显示清晰。

(1) 冲击力和弯沉相关指标的校准

将测力仪平放于水平地面，将手持式落锤弯沉仪承载板同轴放置于测力仪上；操作手持式落锤弯沉仪，稳定落锤 3 次后，重复落锤 10 次；记录重复落锤时每次测力仪的冲击力和冲击力持续时间、弯沉值测量结果，相关示意图见图 4。



图 4 手持式落锤弯沉仪的重复性测量示意图

(2) 几何量相关参数的计量特性要求

承载板直径、承载板厚度、导线杆直线度的校准，主要采用尺量的方式，相关试验图见图 5~图 7。



图 5 承载盘直径校准



图 6 承载盘厚度校准



图 7 导向杆直线度校准

六、试验验证分析

规范编写过程中，对手持式落锤弯沉仪校准规范计量特性所涉及的具体指标进行了试验验证，见附件《手持式落锤弯沉仪校准规范试验验证报告》。

七、不确定度评定

对手持式落锤弯沉仪校准规范的校准结果进行了不确定度评定，见附件《手持式落锤弯沉仪测量不确定度报告》。

八、其他应予说明的事项

无。