

前 言

本标准依据 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由河南省住房和城乡建设厅提出并归口。

本标准共7章5个附录。主要内容有总则、术语和符号、基本规定、测量设备及辅助设施、标准土体模型建模、现场检测及检测报告。

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给黄河水利委员会基本建设工程质量检测中心（地址：郑州市金水区顺河路45号，邮编：450003），以供今后修订时参考。

主编单位：黄河水利委员会基本建设工程质量检测中心

黄河水利委员会黄河水利科学研究院

参编单位：黄河工程咨询监理有限责任公司

河南大河工程建设监理有限公司

北京耐实科技有限公司

河海大学

河南天龙检测有限公司

河南省南阳市建设工程质量监督检验站

中国水利第一工程局有限公司

郑州市建设工程质量检测有限公司

郑州市市政公用工程检测有限公司

河南黄科工程技术检测有限公司

主要起草人：张俊霞 杨浩明 杨小平 兰 雁 刘淑丹 谢 欣 董成会

张 敏 刘小彦 陈润霞 白国兴 张 琨 冯宇飞 翟京召

马晓超 王选锋 张 静 罗立群

主要审查人：顾孝同 李美利 张 维 杜思义 潘纪顺 李振华 侯建才

王 宁

目 录

前言.....	I
1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 基本规定.....	4
3.1 检测要求.....	4
3.2 检测机构 and 检测人员.....	4
4 检测装备及辅助设施.....	5
4.1 主机——复阻抗法检测仪.....	5
4.2 金属导电探针（钢钎）.....	5
4.3 土体温度传感器.....	5
4.4 标准导板.....	6
4.5 辅助部分.....	6
5 标准土体模型建模.....	7
5.1 一般规定.....	7
5.2 试验室标准土体模型建立.....	7
6 现场检测.....	11
6.1 一般规定.....	11
6.2 现场检测步骤及要求.....	11
7 检测报告.....	13
附录 A 复阻抗法测量技术理论与技术概念.....	14
A.1 复阻抗法测量技术理论.....	14

A.2 复阻抗测量技术概念.....	15
附录 B 复阻抗法土体无核密湿度仪期间核查.....	17
B.1 目的.....	17
B.2 技术要求与条件.....	17
B.3 核查方法及内容.....	18
B.4 误差要求.....	18
附录 C 测量精度与测量误差.....	19
C.1 测量精密度.....	19
C.2 测量相对误差.....	20
附录 D 检测报告格式.....	21
附录 E 现场检测记录格式.....	23
本标准用词说明.....	24
引用标准名录.....	25
条文说明.....	26

住房和城乡建设厅 建设厅 信息 公开 浏览 专用

1 总则

1.0.1 为规范复阻抗法土体无核密湿度仪现场检测内容、方法和技术，保证检测成果质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于采用复阻抗法土体无核密湿度仪进行土方工程土体密度和含水率的检测。

1.0.3 本标准所涉及检测过程中所用仪器设备，应符合现行国家标准《土工仪器的基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的有关规定，并按现行有关标准定期进行检定/校准。

1.0.4 使用复阻抗法土体无核密湿度仪进行现场检测时，除应符合本标准外，尚应符合有关现行强制性国家标准的规定。

住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 复阻抗法土体无核密湿度仪 Complex impedance type soil non-nuclear density and humidity measuring instrument

基于高频无线电射频技术获取土体复阻抗、土体电容、电阻参数，利用标准土体模型试验建立的土体电参数与土体物理特性参数关系，检测土体密度与含水率的装置。

2.1.2 复阻抗 ($|Z|$) complex impedance

土体的复阻抗，由土体导电性决定的实部和土体介电性决定的虚部组成。

2.1.3 等效电路 equivalent circuit

基于土体导电性，在物理概念上等效为电容 C 和电阻 R 并联形成的电路。

2.1.4 土体电流 (I) soil current

被测土体两探针间流过的电流。单位为 A (安培)。

2.1.5 探针电压 (V) probe voltage

被测土体两探针间的电位差。单位为 V (伏特)。

2.1.6 土体模型 soil model

用来模拟填筑土体密度的标准土体模型。建立表征不同土体电性参数的标准土体模型，通过采集数据对比待测土体的电性参数，获得模拟填筑土体物性指标和电性参数的相关线性函数关系。

2.1.7 土体模型的线性相关函数 linear correlation function

对实际测得的土体复阻抗与土体密度、电容/电阻比值与含水率等数据进行线性回归处理，所建立的函数对应关系。

2.1.8 探测深度 measuring depth

金属导电探针（钢钎）插入土体的深度。单位为 m (米)。

2.1.9 仪器设备计量溯源结果确认 verification of metrological traceability results of instruments and equipment

仪器设备在计量溯源（检定或校准）后进行的结果确认。检定或校准的确认内容包括：检定或校准机构资格、检测能力，检定/校准结果是否满足检测方法对仪器设备的

要求等。

2.1.10 压实度 compaction coefficient

土方工程现场检测所获取的干密度值相应于试验室标准击实试验所得最大干密度值的比值。

2.1.11 含水率 water content

土体含水率是土样在 105℃至 110℃下烘到恒量时所失去的水质量和达恒量后干土质量的比值，以百分数表示。

2.2 符号

2.2.1 土体电性参数主要包括下列各项：

R — 电阻。

C — 电容。

$|Z|$ — 复阻抗。

2.2.2 土力学参数主要包括下列各项：

ρ — 密度。

ω — 含水率。

θ_v — 体积含水率。

ρ_w — 水的密度。

ρ_{dmax} — 最大干密度。

3 基本规定

3.1 检测要求

3.1.1 复阻抗法土体无核密湿度仪应符合《土工仪器的基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的有关规定，并按现行有关标准进行检定/校准。

3.1.2 复阻抗法土体无核密湿度仪在用于现场检测之前，应建立标准土体模型，在相同条件下连续检测过程中，宜每隔 3~6 个月重复一次建模。

3.1.3 复阻抗法土体无核密湿度仪的检测对象为粘土、粉土和砂土，不包括冻土、建筑垃圾土、掺砾改性土等。

3.1.4 复阻抗法土体无核密湿度仪在首次使用前，或在使用中每隔 12 个月或大修后，应由具备资格的机构进行检定/校准，检定/校准结果经确认合格后方可使用。

3.1.5 两次检定/校准期间，采用期间核查的方法检查仪器设备的稳定性，期间核查方法详见附录 B。

3.2 检验检测机构和检测人员

3.2.1 检验检测机构应获得具有本标准所含检测项目或参数的检验检测机构资质认定（计量认证）证书，同时还应符合国家有关法律法规的相关要求。

3.2.2 检测人员从事检测活动前，应进行专业技术、检测能力、仪器设备操作等有效的上岗培训，并经考试合格。

3.2.3 检测机构及其人员从事检测活动，应当遵守国家相关法律法规。

4 检测装备及辅助设施

4.1 主机——复阻抗法检测仪

主机包括以下部分（图 1）。

- 1 土体电参数测量电路单元——由电子射频发射源、电流测量电路、电压测量电路以及相位差测量电路组成，电缆用于连接土体温度传感器和金属导电探针（钢钎）。
- 2 显示控制与数据处理单元——由液晶显示屏和数据处理模块（软件系统）组成。

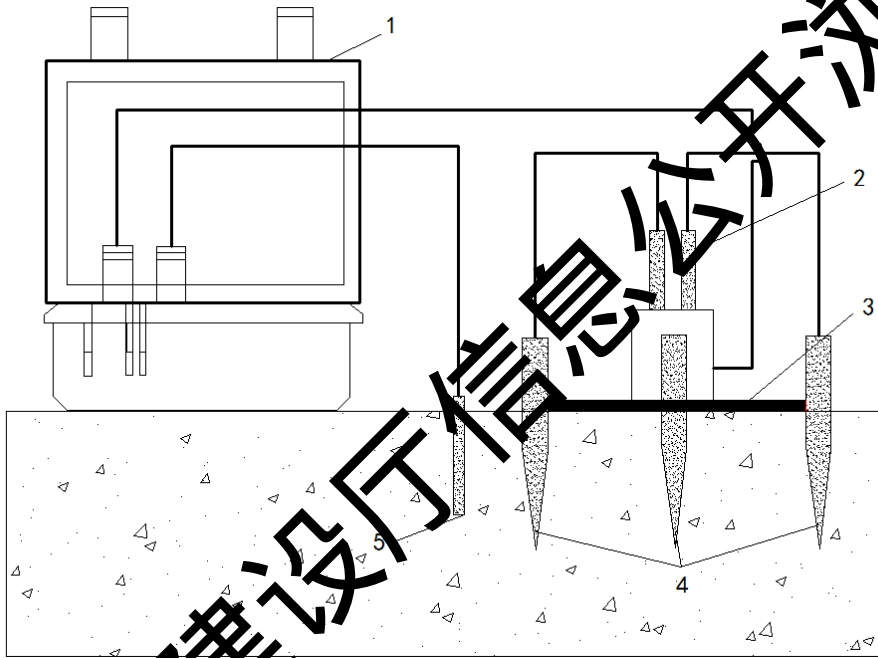


图 4.1 复阻抗法土体无核密湿度仪

1-主机；2-连接主机的电缆线夹；3-标准导板；4-金属导电探针（钢钎）；5-温度传感器

4.2 金属导电探针（钢钎）

将探针插入填筑土体中的金属导电物体，由不锈钢制成。金属导电探针（钢钎）的长度可以变化，插入深度不小于 100mm，直径范围为 6.5mm 至 12.5mm。金属导电探针（钢钎）共 4 支，尺寸必须一致。探针与主机间通过电缆线夹连接，探针插入土体部分与电缆线夹夹持部分通过划线标记或者改变几何尺寸进行严格区分。

4.3 土体温度传感器

用于检测土体温度的传感器，温度传感器通过电信号线与主机连接。

4.4 标准导板

用于确定金属导电探针（钢钎）的插入位置，可折叠，展开后呈十字形。4 个金属导电探针（钢钎）分别按照 0° 、 90° 、 180° 和 270° （顺时针方向）的导板定位位置固定。

4.5 辅助部分

- 1 铁锤
- 2 充电器
- 3 标尺
- 4 刷子
- 5 金属导电探针（钢钎）、起拔器

住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

5 标准土体模型建模

5.1 一般规定

5.1.1 相同被测土体在同一检测条件下，进行现场连续检测时，宜每间隔 3~6 个月进行一次标准土体模型建模。当被测土体在结构组成、粘粒含量以及化学成分变化或料场变更时，应重复进行标准土体模型的建立工作，不同试验区域及不同的料场均应单独建立标准土体模型。

5.1.2 标准土体模型建立的目的是确定土体密度、含水率与土体电性参数的函数关系。代表所检测土体区域的标准土体模型建立成功后，其任何点位的土体密度和含水率即可通过复阻抗法土体无核密湿度仪进行现场迅速、准确的检测。

5.1.3 根据被测土体的电性参数，主机数据处理模块在测试系统中搜索已录入的标准土体模型，并自动与标准土体模型的相关参数比对，选择匹配最佳的标准土体模型线性函数关系计算被测土体的密度及含水率。

5.1.4 标准土体模型建立所用土样、检测条件应与现场被测土体和检测条件相同。标准土体模型的密度和含水率范围应包括现场被测土体密度和含水率的变化范围。

5.1.5 应取使用料场中代表性土样建立标准土体模型，代表性土样选取数量不得少于 5 个，重量不小于 80kg，土样的最大粒径不得超过 5cm。

5.2 试验室标准土体模型建立

5.2.1 使用料场中代表性土样应符合下列规定：

1 在土料场选取具备代表性的土样，样品数量不得少于 5 个，重量不小于 80kg，土样的最大粒径不得超过 5cm。

2 根据试验室标准击实试验结果及设计要求，确定标准土体模型密度和含水率范围。

3 标准土体模型模具不应小于以下尺寸。

当采用圆筒形模具时，其直径不宜小于 350mm，高度不宜小于 300mm。

采用长方体模具时，长、宽不宜小于 350mm，高度不宜小于 300mm。

4 准备 3 套模具，模具尺寸与标准土体模型尺寸应保持一致。

5.2.2 标准土体模型的制作要求

1 通过试验室标准击实试验获取被测土料的击实曲线，击实试验依据《土工试验方法标准》GB/T 50123 的相关规定进行，通过击实曲线获取土料的最大干密度和最优含水率。

2 标准土体模型的数量可以为 6 组或者 9 组，即 2 种不同密度和 3 种不同含水率的组合情况；或者 3 种不同密度和 3 种不同含水率的组合情况；所配置土样的干密度值宜接近试验室标准击实试验最大干密度，含水率应包括高、中、低三种情况，含水率的最大值应接近试验室标准击实试验最优含水率。

3 采用静压法制备标准土体模型

(1) 以最大干密度和最优含水率、设计或规范要求的压实度为基础，按照步骤 2 的要求制备 2 种密度、3 种含水率组合的 6 组标准土体模型或者 3 种密度、3 种含水率组合的 9 组标准土体模型；制备试样的含水率及密度范围宜大于试验室标准击实试验结果。

每个标准土体模型试件的质量按式 5.2.2 计算，约 20kg 左右，制备好的试样应装入塑料袋中密封浸润，浸润时间应符合《土工试验方法标准》GB/T 50123 的相关规定。浸润后将试样拌和均匀，测定每个标准土体模型试件的含水率。

(2) 按下式计算单个标准土体模型试件所需土体质量。

$$m = V_{\text{模具}} \cdot \rho_{d\text{max}} \cdot K \cdot (1 + \omega) \quad (5.2.2)$$

式中：

m —— 单个标准土体模型试件所需土体质量 (g)；

K —— 要求达到的压实度 (%)；

$\rho_{d\text{max}}$ —— 最大干密度 (g/cm^3)；

ω —— 含水率 (%)；

$V_{\text{模具}}$ —— 标准土体模型模具的容积 (cm^3)。

(3) 将标准土体模型模具置于模具底座上，在底座上放好滤纸，将称好的土样倒入模具，边放边用压板轻轻压实，全部土样填入后摊铺刮平，在表面铺上一张滤纸，盖好垫块，并于垫块上放置相同尺寸厚约 3mm 左右的钢板或胶合板。

(4) 将制好的标准土体模型试模连同底座一起移入静压设备上，以 1mm/min 的速率

加压，直到垫块顶面与标准土体模型模具齐平，维持压力 10s 左右，解除压力。观察垫块与试模是否齐平，如高出应继续施压，直到垫块与试模齐平为止。

(5) 试验过程中应注意防止过压导致试样密度变大影响试验结果。

(6) 压实结束后将垫块倒出，取下试模两面残破滤纸，用刮刀轻刮底面确保底面与模具齐平。

5.2.3 检测步骤及要求

1 仪器开机，预热。

2 打开操作平台创建土体模型，输入实验室击实试验（或设计要求）的最大干密度和最优含水率。

3 将土体温度传感器探头分别插入按本标准 5.2.2 条 2、3 款的步骤制备的 6 组或 9 组标准土体模型试模中。

4 展开十字形标准导板并分别置于按本标准 5.2.2 条 2、3 款的步骤制备的 6 组或 9 组标准土体模型试模的中心，分别按照 0° 、 90° 、 180° 和 270° （顺时针方向）的导板定位位置，将 4 支金属导电探针（钢钎）利用铁锤将其垂直击入规定的插入深度，探针的肩部应持平，倾斜度不得大于 20° 。

5 通过电缆线夹使 0° 、 180° 位置上的金属导电探针（钢钎）与主机连接，采集一次电性参数。

6 移动电缆线夹与 90° 、 270° 位置上的金属导电探针（钢钎）连接，二次采集电性参数。

7 保存检测数据。

8 同时采用环刀法或灌砂法检测标准土体模型试模的密度、干密度及含水率等物性参数。同一试件至少进行两次平行试验，取其平均值作为检测结果，并将检测结果录入仪器设备测试系统。

9 重复 1~8 步骤，依次对每个标准土体模型试模进行检测。

10 在仪器设备测试系统中分析各试模的检测结果，剔除异常值或偏差较大的测点，剔除方法详见附录 C。

11 将标准土体模型试模的土体电性参数与土体密度、含水率等数据在复阻抗法土壤无核密湿度仪的主机系统中进行线性回归处理，建立模拟填筑土体物性指标和电性参

数相关线性函数关系。

住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

6 现场检测

6.1 一般规定

6.1.1 现场检测前必须按本标准第 5 章节的要求建立拟使用土体的标准土体模型。通常要求标准土体模型建立与现场碾压试验同步或提前，每一不同试验区域建立一组标准土体模型，不同的工程需要建立不同的标准土体模型。

6.1.2 根据被测土体所需的检测深度，选取对应的金属导电探针（钢钎）。标准土体模型检测和现场检测所用的金属导电探针（钢钎）应相同。

6.1.3 现场土体不应含有大块岩石、建筑碎片、金属废料或沥青等；检测前应进行场地平整，金属导电探针（钢钎）应与土体接触密实。

6.1.4 如果金属导电探针（钢钎）的边缘和电极已磨损或针体弯曲变形，则应修复或更换探针（钢钎），以免影响被测土体电性参数的准确获取。

6.1.5 仪器处于打开状态，检查电池充电充足，主机与电缆线连接正确，电缆线夹完好，系统自检正常。

6.2 现场检测步骤及要求

6.2.1 开启主机，预热，测试系统主菜单。

6.2.2 打开测试系统主菜单，选择拟测试土体类型的标准土体模型，创建或选择要测试的工程名称或作业站点。

6.2.3 将温度传感器探头完全插入检测区域内的土体中。

6.2.4 在检测区域放置标准导板定位，按照 0° 、 90° 、 180° 和 270° （顺时针方向）的导板定位位置，用铁锤将 4 个金属导电探针（钢钎）垂直击入所需的检测深度，探针肩部持平，倾斜度不得大于 20° ，若探针在插入过程中遇到石块或其他坚硬的物体，导致探针无法插入或者倾斜角度大于 20° ，则应放弃该点位，并在附近选择相应的检测位置。

6.2.5 金属导电探针（钢钎）固定后，将 0° 、 180° 位置上的探针通过电缆线夹与主机连接，采集一次电参数。

6.2.6 第一次数据采集完成后，移动电缆线夹与 90° 及 270° 位置上的金属导电探针（钢

钎)连接,进行二次电参数采集。

6.2.7 测试系统自动保存所有土体的检测记录。

6.2.8 主机测试系统依据标准土体模型建立的土体物性指标和电性参数相关线性函数关系,自动计算干密度、含水率和压实度。

6.2.9 在测试系统主菜界面上查阅并记录干密度、含水率和压实度。

住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

7 检测报告

7.0.1 检测报告首页格式可参照附录 D，应包括（但不限于）下列内容：

- 1 检测项目或工程名称。
- 2 委托单位。
- 3 施工单位。
- 4 检测类型。
- 5 检测依据。
- 6 仪器设备。
- 7 检测时间。
- 8 检测人员。
- 9 审核人员。
- 10 授权签字人。
- 11 发送日期。

7.0.2 检测报告应包含（但不限于）下列内容：

- 1 工程名称、检测地点、土体类型。
- 2 标准土体模型的参数范围、检测参数。
- 3 检测日期、天气情况及环境温度。
- 4 仪器设备名称、型号、编号。
- 5 检测位置，桩号或其他可以识别的位置信息。
- 6 检测高程或者深度。
- 7 检测期间所用的金属导电探针（钢钎）的长度。
- 8 检测结果。
- 9 检测及校核人员。

附录 A 复阻抗法测量技术理论与技术概念

A.1 复阻抗法测量技术理论

A.1.1 土的物质成分包括作为土骨架的固态矿物颗粒、孔隙中的水及其溶解物质以及气体。各种土的颗粒大小和矿物成分差别很大，土的三相间的数量比例也不尽相同，同时土粒与其周围水又发生复杂的物理化学作用，矿物质和水的存在使土体具有一定的导电性。

土体的导电物理性质主要由导电性和介电性决定，主要表现为土体复阻抗，其中导电性决定复阻抗的实部，介电性决定复阻抗的虚部。物理上理想的土体模型可以等效为电容（ C ）和电阻（ R ）组成的并联电路，理论上则通过测量并联电阻和电容组成的电路来解析土体的真实电阻（ R ）和电容（ C ）。

1 将 4 根指定长度的金属导电探针（钢钎）插入土体，由复阻抗法土体无核密湿度仪通过金属导电探针（钢钎）向检测土体施加 3.0MHz 的射频电压，检测探针（钢钎）间的电压及通过土体的电流以及电流和电压的相位差。

2 复阻抗（ $|Z|$ ）是金属导电探针（钢钎）间的电压与通过金属导电探针（钢钎）间土体电流的比值（ V/I ）。

3 利用检测获取的相位差、电压和通过土体的电流等 3 个参数，计算土体的等效电阻（ R ）和等效电容（ C ）。

A.1.2 复阻抗测量方法是基于土体的物理力学性质与土体电性的关系，当土体的密度和含水率变化时，土体电阻（ R ）和电容（ C ）以及复阻抗（ $|Z|$ ）会随之变化，通过建立土体密度、含水率与复阻抗（ $|Z|$ ）与电容电阻比（ C/R ）的相关关系，计算土体密度和含水率。

1 土体的密度和复阻抗（ $|Z|$ ）大小是成反比；体积含水率与土体等效电容和等效电阻的比值（ C/R ）成正比。在土体标准土体模型建立过程中，通过对标准土体模型的相关数据的线性回归处理，确定密度和复阻抗（ $|Z|$ ）及含水率与土体等效电容和等效电阻比值（ C/R ）的相应线性函数关系。

2 现场土体检测过程中，主机数据处理模块通过采集计算土体等效电容和等效电阻的比值（ C/R ）及复阻抗（ $|Z|$ ）值，计算含水率及土体密度。

A.2 复阻抗测量技术概念

A.2.1 标准土体模型建立的目的是获取被测工程对应土体类型的电性参数和物理力学参数之间的关系。

1 在标准土体模型建立过程中，土的物理力学性质、孔隙水盐度、矿物质及化学成分都会影响电性参数的检测，这些电性参数测值的变化区间可确定标准土体模型的建立条件及范围。

2 当对一组具有不同密度和含水率的土体进行现场电性参数检测和复阻抗计算时，采用回归分析方法建立复阻抗 ($|Z|$) 与密度、电容/电阻比 (C/R) 与含水率之间的函数关系方程，利用 A.2.1-1、A.2.1-2 两个方程确定被测土体的密度和体积含水率；利用式 A.2.1-3 将体积含水量换算为质量含水率。

$$\rho = a|Z| + b \quad (\text{A.2.1-1})$$

$$\theta_v = c \frac{C}{R} + d \quad (\text{A.2.1-2})$$

$$\omega = \frac{\theta_v \rho_w}{\rho - \rho_w \theta_v} \quad (\text{A.2.1-3})$$

式中：

ρ — 土体密度， g/cm^3 ；

θ_v — 体积含水率；

ω — 含水率；

ρ_w — 水的密度。

a, b, c, d — 函数关系系数（含温度补偿阻抗）。

3 现场检测过程中，主机软件系统自动对电性参数的检测数据、标准土体模型的电性参数进行对比，如果被测土体的电性参数大于或者小于标准土体模型的范围，复阻抗法土体无核密湿度仪会在检测值超出土体模型电参数适用范围 $\pm 10\%$ 的时候提示出现错误。

A.2.2 土体的复阻抗参数受温度影响，土体温度由热敏电阻式温度探头测定，由主机软件系统计算温度补偿阻抗。

A.2.3 当进行现场检测时，主机通过金属导电探针（钢钎）施加射频电压，主机软件系统自动采集土体的射频电流和射频电压并保存，计算出等效电路的复阻抗（ $|Z|$ ）与电容/电阻比（ C/R ），然后计算被测土体的密度与含水率。

A.2.4 检测深度取决于检测时所采用的金属导电探针（钢钎）的长度。检测过程中分二次对 4 支金属导电探针（钢钎）进行对称数据采集，以此保证检测数据的可靠性。

住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

附录 B 复阻抗法土体无核密湿度仪期间核查

B.1 目的

B.1.1 期间核查(intermediate checks)是指为保持对仪器设备检定/校准状态的可信度,在两次检定/校准之间进行的核查,包括仪器设备的期间核查和参考标准器的期间核查,核查应按规定的程序进行。通过期间核查可以检查仪器设备性能的稳定性,保证检测数据和结果的准确可靠。

B.2 技术要求与条件

B.2.1 期间核查技术要求可按《检测和校准实验室能力的通用要求》GB/T 27025 相关规定进行。

1 当需要利用期间核查以保持仪器设备检定/校准状态的可信度时,应按照规定程序进行。

2 用于检测和(或)校准的对检测、校准和抽样结果的准确性或有效性有显著影响的所有仪器设备,包括辅助检测设备(例如用于测量环境条件的仪器设备),在投入使用前应进行检定/校准。检测机构应制定仪器设备检定/校准的计划和程序。

B.2.2 仪器设备存在下述情况时,须进行期间核查。

- 1 按照年核查次数进行。
- 2 仪器设备导出数据异常。
- 3 仪器设备故障维修或改装后。
- 4 长期脱离检测机构控制的仪器设备在恢复使用前(如外界)。
- 5 仪器设备经过运输和搬迁。
- 6 使用在检测机构控制范围以外的仪器设备。

B.2.3 核查环境应符合《检测和校准实验室能力的通用要求》GB/T 27025 相关要求,具体如下。

- 1 环境温度: 0~50℃。
- 2 湿度范围: 5%~90%, 或按仪器说明书规定。
- 3 电源: 电压 AC (220±22) V。
- 4 仪器应安放在无剧烈震动、无强电磁场干扰的试验室中。

B.3 核查方法及内容

B.3.1 期间核查方法按《检测和校准实验室能力的通用要求》GB/T 27025 相关要求进行。

检测机构应有质量控制程序以监控检测和校准的有效性，所得数据的记录方式应也便于发现其发展趋势，宜采用统计技术对结果进行审查。这种监控应有计划并加以评审，可包括（但不限于）下列内容：

- 1 定期使用有证标准物质进行监控，和（或）使用次级标准物质开展内部质量控制。
- 2 参加检测机构间的比对或能力验证计划。
- 3 使用相同或不同方法进行重复检测或校准。
- 4 对存留物品进行再检测或再校准。
- 5 分析一个物品不同特性量的结果的相关性。

注：选用的方法应当与所进行工作的类型和工作量相适应。

B.3.2 核查内容一般为：

- 1 仪器设备的基本漂移、本底水平、信噪比、零点稳定度检测。
- 2 采用有证标准物质，对仪器设备进行准确度和精密度的检测；也可将以前做过的工作再做一次。
- 3 制作测量工作校准曲线，根据线性回归方程，获得修正因子，确认仪器设备的检测范围和检出限量。

B.3.3 核查结果

- 1 期间检查情况应记录并归档。期间检查中发现仪器设备运行有问题时，应停用报修。
- 2 对运行有问题的仪器设备所涉及检测结果有效性有影响时，应对检测项目进行重新检测，对已出具的检测报告如需修改，应书面形式通知客户。

B.4 误差要求

B.4.1 使用标准物质和标准样品进行测定，误差应不超过允许差值的 2/3。

B.4.2 对适宜保留的样品进行再检测，比较检测结果，偏差应不超过相关检测方法标准规定的平行允差的 1.5 倍。

B.4.3 与其它检测机构进行比对试验。偏差应不超过检测方法标准规定平行允差的 2 倍。

附录 C 测量精度与测量误差

C.1 测量精密度

C.1.1 复阻抗法土体无核密湿度仪测量精密度取决于标准土体模型所建立的函数关系，函数关系式如下。

$$\rho = a|Z| + b \quad (\text{C.1.1-1})$$

$$\theta_v = c \frac{C}{R} + d \quad (\text{C.1.1-2})$$

式中：

ρ — 土体密度， g/cm^3 ；

θ_v — 体积含水率；

ω — 含水率；

ρ_w — 水的密度。

a 、 b 、 c 、 d —函数关系系数（含温度补偿阻抗）。

C.1.2 标准土体模型基于 6 个或者 9 个标准土体模型样本数据建立，将环刀法或灌砂法获取的标准土体模型试样的密度和含水率，代入 C.1.1-1 和 C.1.1-2 函数关系式，确定函数关系系数的具体数值。

C.1.3 标准土体模型的建立及现场检测与标准土体模型的比对均采用回归分析，回归方程的拟合程度由相关系数 R^2 确定， R^2 的最大值为 1，所拟合公式的相关系数越接近 1，说明拟合曲线对实测值的拟合程度越好，所建立的标准土体模型越准确。

C.1.4 采用复阻抗法土体无核密湿度仪检测土体密度和含水率时，要求 $R^2 \geq 0.6$ 。

C.1.5 建立标准土体模型时，当 R^2 小于 0.6 时，应进行以下步骤。

1 根据主机软件系统所显示的拟合直线，剔除相关性最差的一个点，重新拟合后，观察 R^2 是否满足要求。

2 当步骤 1 无法满足要求时，新建 3 个标准土体模型（1 个密度及 3 个含水率的组合；或 1 个含水率及 3 个密度的组合），在增加检测样本数量的基础上，观察拟合后的 R^2 是否满足要求，如不满足要求，重复步骤 1。

3 当步骤 2 无法满足要求时，重新开展标准土体模型的建立工作。

C.2 测量相对误差

C.2.1 现场检测中，检测相对误差包括仪器设备测量误差、人为操作误差、被测土体的不均匀性误差及环境影响误差等。

C.2.2 按照本标准进行检测时，密度和含水率平行检测的相对误差应在±5%范围以内。

住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

附录 D 检测报告格式

D.0.1 复阻抗法土体无核密湿度仪检测报告首页格式参照（但不限于）D.1 格式。

D.1 检测报告首页格式

检测报告

检测项目或工程名称：

委托单位：

施工单位：

检测类型：委托检测（试验室、现场）

检测项目：

检测依据：

检测设备：

检测时间：

发送日期：

授权签字人：

审核人员：

校核人员：

编写人员：

检测人员：

本标准用词说明

1 为了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：

正面用词采用“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：

正面用词采用“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该这样做的：

正面用词采用“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 标准中指明应按其他有关标准执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

引用标准名录

- 1 GB/T 1.1-2009 《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》
- 2 GB/T 50123 《土工试验方法标准》
- 3 GB/T 17949.1 《接地系统的土体电阻率、接地阻抗和地面电位测量导则》
- 4 SL 237 《土工试验规程》
- 6 GB/T 8170 《数值修约规则与极限数值的表示和判定》
- 7 GB/T 27025 《检测和校准实验室能力的通用要求》
- 8 GB/T 19022 《测量管理体系测量过程和测量设备的要求》
- 9 ASTM D6780/D6780 M-12 《Standard Test Method for Water Content and Density of Soil In situ by Time Domain Reflectometry (TDR)》
- 10 ASTM D7698-11 《Standard Test Method for In-Place Estimation of Density and Water Content of Soil and Aggregate by Correlation with Complex Impedance Method》

河南省工程建设地方标准

复阻抗法土体密湿度现场检测标准

DBJ41/ XXXX-XXXX

条文说明

住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

目 录

1 总则.....	28
2 术语和符号.....	29
2.1 术语	29
3 基本规定.....	30
3.1 检测要求	30
5 标准土体模型建模.....	31
5.1 一般规定	31
5.2 试验室标准土体模型建立	31
6 现场检测.....	32
6.1 一般规定	32
6.2 现场检测步骤及要求	32

住房和城乡建设厅建设厅信息公开浏览专用

1 总则

1.0.1 目前主流的无核密度仪包括 PQI、TDR、EDG 等类型。基于电磁波技术（PQI）检测方法适用于沥青面层压实度的检测；基于脉冲信号（TDR）检测方法主要用于含水率检测。

本标准中所采用复阻抗法土体无核密度仪为 EDG 型(Electrical Density Gauge)。EDG 型土壤无核密度仪是基于高频无线电射频技术获取土体复阻抗、土体电容、电阻参数，利用标准土体模型试验建立的土体电参数与土体物理特性参数关系，检测土体密度与含水率，进而得到土方工程的压实度。其检测技术已经从“破坏性检测”发展到“无损检测”，从“有核化”发展到“无核化”。与检测土体密度和含水率的传统试验方法(环刀法和灌砂法)相比，EDG 土体无核密度仪显得更为快速、高效。

本标准的适用范围为碾压式土方填筑工程施工，但对 200m 以上的高碾压式土石方填筑工程应进行专题论证。

1.0.2 本标准适用于土方工程土体密度和含水率的快速检测，现场检测前应对不同料场土体建立标准土体模型。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 复阻抗法土体无核密湿度仪

土体无核密湿度仪按照工作原理划分包括复阻抗法和时域反射法，本标准选定复阻抗法土体无核密湿度仪。

其工作原理是利用高频无线电射频技术获取土体复阻抗、土体电容、电阻等参数，通过标准土体模型试验建立电参数与土体物理特性参数之间关系，计算土的密度与含水率的仪器类型的总称。

2.1.2 复阻抗 ($|Z|$) | Complex impedance

土体的导电物理性质主要由导电性和介电性决定，主要表现为土体复阻抗，其中导电性决定复阻抗的实部，介电性决定复阻抗的虚部。物理上理想的土体模型可以等效为电容 (C) 和电阻 (R) 并联电路，通过检测并联电阻和电容器组成的电路来解析土体的真实电阻 (R) 和电容 (C)。

$$Z = U/I = R + jX$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

2.1.3 土体模型的线性相关函数

由多个的标准土体模型材料的检测数据所建立的密度与土体复阻抗、含水率与电容/电阻比值的相关函数关系。

3 基本规定

3.1 检测要求

3.1.2 标准土体模型是土体电性参数和测试系统内用户输入的标准土体模型物性参数的结合，是检测相似土体特性参数的基础。通常要求每一不同试验区域做一组标准土体模型。不同的工程需要建立不同的标准土体模型。

代表所检测土体区域的标准土体模型建立成功后，其任何点位的土体密度和含水率皆可通过复阻抗法土体无核密湿度仪现场迅速、准确检测采集土体的电性参数。通过主机数据处理模块与标准土体模型参数对比，计算检测土体的物性参数。

3.1.3 复阻抗法土体无核密湿度仪的所检测土体的温度应在 0°C ~ 50°C 范围，填土中不得夹有冰雪、冻块等。

3.1.5 为减少由于仪器设备稳定性变化造成的结果偏差，确保仪器设备在使用期间维持有效良好状态，仪器设备在两次检定/校准期间需进行期间核查。

住房和城乡建设厅信息公开浏览专用

5 标准土体模型建模

5.1 一般规定

5.1.1 对于同一土料场的不同批次的土料，采用国家与行业规范所规定的方法检测土体的结构组成、粘粒含量和化学成分，当土料的参数性质接近时，可采用同一标准土体模型进行建模；当存在明显的差异时，应当对不同批次的土料分别建立标准土体模型。

5.2 试验室标准土体模型建立

5.2.3 标准土体模型建立过程出现偏差较大的点时进行剔除，剔除该点后应当进行复测以保证建立标准土体模型所需要的样本数；标准土体模型建立的精度要求见附录 C。

根据检测机构标准土体模型建模结果，当回归方程相关系数 R^2 小于 0.6 时，进行以下步骤。

1 根据主机软件系统所显示的拟合直线，剔除相关性最差的一个点，重新拟合后，观察 R^2 是否满足要求。

2 当步骤 1 无法满足要求时，新建 3 个标准土体模型（1 个密度及 3 个含水率的组合；或 1 个含水率及 3 个密度的组合），在增加检测样本数量的基础上，观察拟合后的 R^2 是否满足要求，如不满足要求，重复步骤 1。

3 当步骤 2 无法满足要求时，重新开展标准土体模型的建立工作。

6 现场检测

6.1 一般规定

6.1.1 当被测土体在结构组成、粘粒含量以及化学成分有变化或料场变更时，应重复进行标准土体模型的建立工作。

代表所检测土体区域的标准土体模型建立成功后，其任何点位的土体密度和含水率皆可通过复阻抗法土体无核密湿度仪现场迅速、准确检测采集土体的电性参数。通过主机数据处理模块与标准土体模型参数对比，计算检测土体的物性参数。

6.2 现场检测步骤及要求

6.2.8 复阻抗法土体无核密湿度仪检测结束后。宜抽取 1~2 处检测点，采用环刀法或灌砂法检测土体的密度、干密度及含水率，与复阻抗法土体无核密湿度仪的检测结果进行比对，确保复阻抗法土体无核密湿度仪检测结果的准确性。