

DB13

河北省地方标准

DB 13/T 5384—2021

复阻抗法土体密度测试规程

2021 - 04 - 26 发布

2021 - 05 - 26 实施

河北省市场监督管理局 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—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。

本文件由河北省水利厅提出并归口。

本文件起草单位：河北省水利科学研究院、廊坊市壹家水利水电工程检测有限公司、北京耐实科技有限公司、河北省标准化协会。

本文件主要起草人：霍学平、朱永涛、高仲兵、韩振江、王建新、张昀保、张国斌、张红梅、李源、李青峰、孟辉、金蕊、张云涛、冯宇飞、王晨、杨青、张建勇、郝凌霄。

复阻抗法土体密度测试规程

1 范围

本文件规定了土壤无核密度仪（复阻抗法）测定现场土体密度的方法、步骤等。
本文件适用于采用复阻抗法测定土体原位密度的检测。

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，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。

GB/T 15406 岩土工程仪器基本参数及通用技术条件

GB/T 22541 土工试验仪器 击实仪

GB/T 50123 土工试验方法标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

测区

按检测方法要求，在检测单元内为取得检测数据而选定的测试区域称为测区。

3.2

测点

按检测方法要求，在检测单元内为取得检测数据而选定的测试点称为测点。

3.3

复阻抗（Z）

正弦交流电路中任一线性无源单口的端口电压相量与电流相量的比称之为该单口的复阻抗，用 Z 表示。

3.4

等效电路

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。

3.5

土体电流

被测土体两探针间流过的电流，单位为A（安培）。

3.6

探针电压

被测土体两探针间的电位差，单位为V（伏特）。

3.7

土体模型

用来模拟填筑土体密度的标准土体模型。

3.8

土体模型的线性函数关系

对标准土体模型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拟合，所建立的函数对应关系。

3.9

检测深度

金属导电探针（钢钎）插入土体的深度，单位为 mm（毫米）。

4 符号

下列符号适用于本文件。

R —— 电阻；

C —— 电容；

Z —— 复阻抗；

r —— 有功电阻

X —— 电抗

ρ —— 湿密度；

θ_v —— 体积含水率；

ρ_w —— 水的密度；

ω —— 含水率；

ρ_d —— 干密度。

5 原理

5.1 复阻抗法测试土体密度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。

5.2 复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，利用公式（1）～（2）确定被测土体的密度和体积含水率；利用式公式（3）将体积含水量换算为含水率。

$$\rho = aZ + b \dots\dots\dots (1)$$

$$\theta_v = c \frac{C}{R} + d \dots\dots\dots (2)$$

$$\omega = \theta_v \frac{\rho_w}{\rho - \rho_w \theta_v} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

a、b、c、d为函数关系系数（含温度补偿阻抗）。

5.3 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, R^2 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。

5.4 采用复阻抗法土体无核密度湿度仪测定土体密度和含水率时, 要求 $R^2 \geq 0.9$ 。

5.5 建立标准土体模型时, 当 R^2 小于 0.9 时, 应进行以下步骤。

- a) 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;
- b) 当步骤 a) 无法满足要求时, 新增建 3 个标准土体模型 (与原建标准土体模型试样含水率相同、密度不同), 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 a);
- c) 当步骤 b) 无法满足要求时, 重新开展标准土体模型的建立工作。

5.6 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度湿度仪进行现场迅速、准确的测定。

6 检测装备及辅助设施

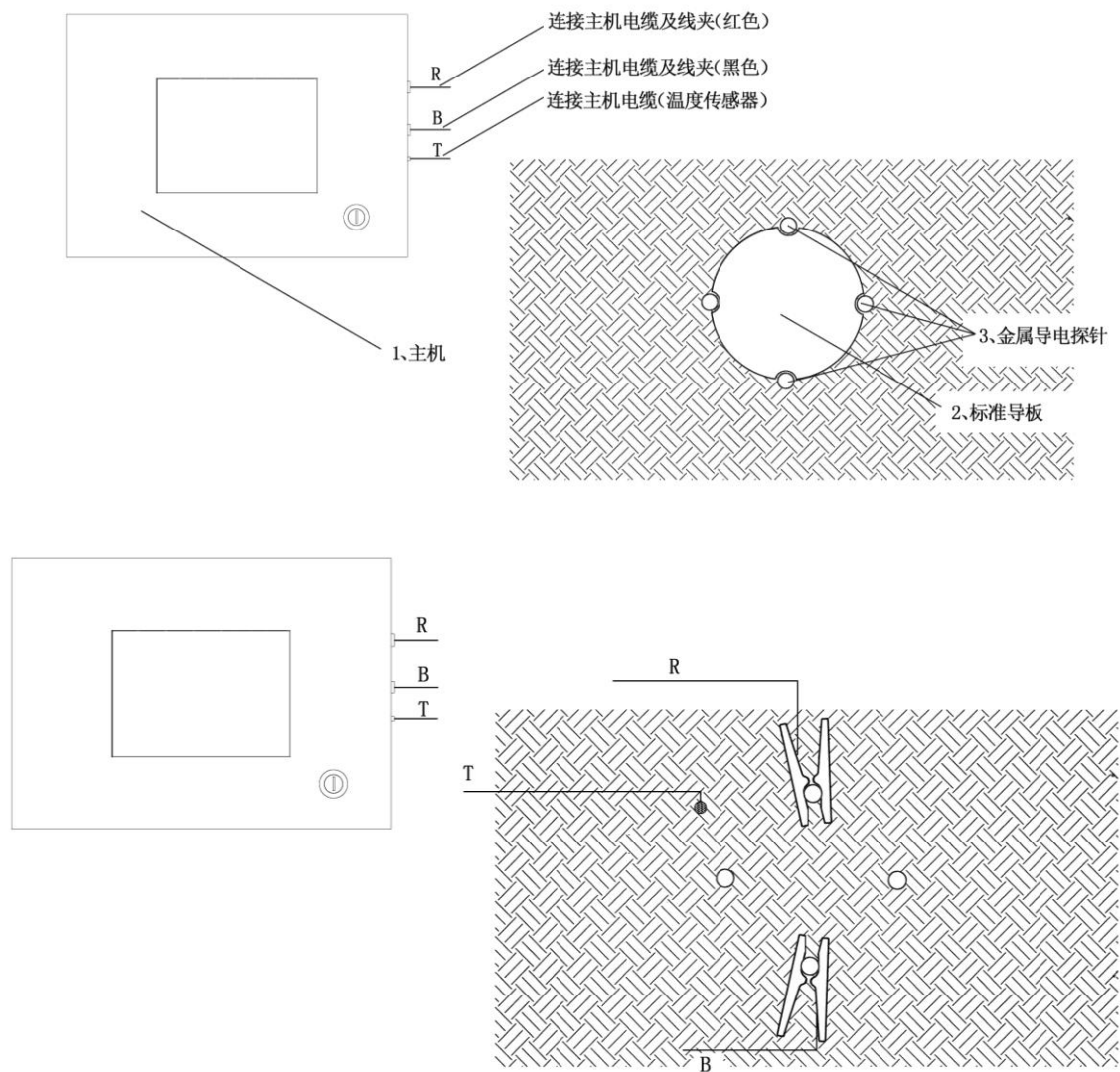
6.1 复阻抗法检测土体密度设备

6.1.1 基本组成

复阻抗法土体无核密度湿度仪的基本组成见图1。

复阻抗法土体无核密度湿度仪的主机主要包括以下部分:

- a) 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);
- b) 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。



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

图1 复阻抗法检测土体密度湿度仪

6.1.2 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。

6.1.3 金属导电探针（钢钎）

适合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100 mm。金属导电探针（钢钎）共4支，尺寸一致。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。

6.1.4 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。

6.1.5 辅助部分

辅助部分主要包括：铁锤；充电器；标尺；刷子。

6.2 击实建模设备

6.2.1 击实建模仪：应符合现行国家标准 GB/T 15406 的规定，由建模筒、击锤、护筒组成。相关技术指标详见附录 A。

6.2.2 天平：称量 200 g，分度值 0.01 g。

6.2.3 台秤：称量 100 kg，分度值 1 g。

6.2.4 标准筛：孔径为 20 mm、5 mm。

6.2.5 其他：烘箱、喷水设备、碾土设备、盛土器、修土刀和保湿设备。

7 检测技术

7.1 一般规定

7.1.1 复阻抗法检测土体密度的检测对象为均质粘土、粉土和砂土，不包括冻土、建筑垃圾土、掺砾改性土等。

7.1.2 复阻抗法土体无核密度湿度仪应符合 GB/T 15406 的有关规定，并按现行有关标准进行检定/校准。

7.1.3 相同被测土体在同一测定条件下，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、更换料场时，应重新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。

7.1.4 建立标准土体模型所用土样、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。

7.1.5 应取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 6 个，每个重量不小于 80 kg，土样的最大粒径不得超过 2 cm。

7.2 试验室标准土体模型建立

7.2.1 参照 GB/T 50123 扰动土制样程序的相关规定，根据土的塑限预估最优含水率，并计算制备出不少于 6 个不同含水率的试样，相邻 2 个试样含水率差值宜为 2%。因每个土体模型需用土量较大，可以将风干土样分成 5-10 份调节含水率。在入建模筒前把调好含水率的土样充分拌和均匀。参照 GB/T 50123 击实试验的操作步骤，进行标准土体模型试样制作，并计算标准土体模型试样的湿密度。在完成 7.2.4 f) 操作后，用推土器将标准土体模型试样从建模筒中推出，同一标准土体模型试样至少进行两次含水率平行试验，取其平均值作为检测结果并计算湿密度，精确到 0.01 g/cm^3 ，两个含水率的最大允许平行差值应符合 GB/T 50123 的规定。

7.2.2 击实建模结束后，土体超出建模筒顶的试样高度应小于 15 mm。

7.2.3 如有条件制备超过 6 个土体模型时，可采用相同含水率，通过减少击实遍数（避免超击导致密度偏大，影响建模效果）获得不同密度，增加回归曲线与实测值得拟合度，从而提升现场测试的精确度。

7.2.4 标准土体模型拟合曲线建立：

- a) 复阻抗无核密度湿度仪开机、预热；
- b) 打开操作平台创建土体模型，输入试验室击实试验（或设计要求）的最大干密度和最优含水率；
- c) 将土体温度传感器探头分别插入按本标准 7.2.1 的步骤制备的 6 个或以上的标准土体模型试样中；
- d) 展开十字形标准导板并分别置于按本标准 7.2.1 的步骤制备的 6 个或以上标准土体模型试样的中心，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°；
- e) 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；
- f) 移动电缆线夹与 90° 及 270° 位置上的金属导电探针（钢钎）连接，二次采集电性参数；
- g) 保存检测数据；
- h) 将 7.2.1 中测得含水率、湿密度的数值对应输入到复阻抗无核密度湿度仪中；
- i) 重复 c)~h) 步骤，依次对每个标准土体模型试样进行检测；
- j) 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，仪器自动建立拟合曲线，完成标准土体模型建模。

7.3 现场检测

7.3.1 开启主机，预热，测试系统主菜单。

7.3.2 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。

7.3.3 将温度传感器探头完全插入测区内的土体测点中。

7.3.4 在测区的测点上放置标准导板定位，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°，则应放弃该测点，并在附近选择相应的位置重新选定测点施测。

7.3.5 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。

7.3.6 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。

7.3.7 测试系统自动保存所有土体测点的检测记录。

7.3.8 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。

7.3.9 在测试系统主菜单界面上查阅并记录干密度、含水率和压实度。

7.3.10 按照本标准进行测定时，密度平行测定时最大允许差值应在 $\pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ 范围内，含水率平行测定时最大允许差值应在 $\pm 2\%$ 范围内。

8 检测报告及现场检测记录

检测报告及现场检测记录可参照附录B，但不限于附录B的内容。

附录 A
(资料性)
击实建模设备相关指标

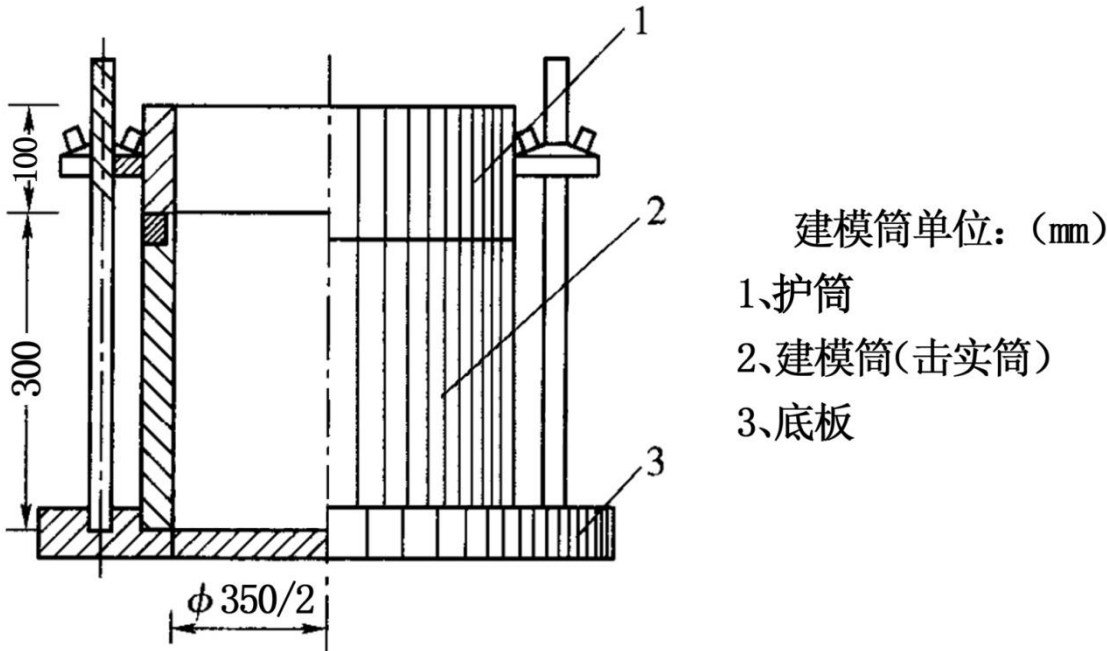
标准土体模型建模筒采用圆筒形，材质坚硬不变形且为不导电材料，其内径不宜小于350 mm，高度不宜小于300 mm；建模筒的数量不少3个，建模筒尺寸应与标准土体模型尺寸保持一致。

击实建模设备的技术要求：除建模筒的材质为不导电材质的要求外，其他技术要求应符合GB/T 22541 的规定。

表A. 1 击实建模设备的相关参数

试验方法	锤底直径 (mm)	锤质量 (kg)	落锤高度 (mm)	装土层数	每层击数	建模筒			护筒高度 (mm)	满击数	击实功 (kJ/m³)
						内径 (mm)	筒高 (mm)	容积 (cm³)			
轻型击实	175	30.25	600	3	32	350	300	28863.4	100	8	592.2
重型击实	175	32.91	600	5	80	350	300	28863.4	100	8	2684.9

建模筒示意图如图A. 1所示。



建模筒示意图

图A. 1 建模筒示意图

附 录 B
(资料性)
检测报告格式

B.1 检测报告首页格式

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）下列格式。

检 测 报 告

工程名称：

委托单位：

检测类型：委托检测（试验室、现场）

检测项目：

项目编号：

检测依据：

检测设备：

检测时间：

发送日期：

检 测 人 员：

审 核 人 员：

批 准 人 员：

参 考 文 献

- [1] GB/T 50123 土工试验方法标准
-