ICS 13.080.20
CCS B 10

T/SSSC

中 国 土 壤 学 会 团 体 标 准

T/SSSC 050—2026

砂姜黑土龟裂点含水量测定技术规程

Technical Code of Practice for Determination of Cracking Points in Lime Concretion Black Soil

2026-11-27 发布　　2026-12-15 实施

中国土壤学会　发 布

目　　次

前　言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 技术流程 2
5 仪器设备 2
6 样品采集与制备 3
7 试样制备 3
8 测定要求 4
9 计算方法 4
10 质量控制与精度 4
11 试验报告 5
附录 A （规范性） 试样装填质量计算方法 6
附录 B （规范性） 裂隙图像采集与裂隙率计算方法 7
附录 C （规范性） 龟裂点判定方法与示例 8
参考文献 10

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院南京土壤研究所提出。

本文件由中国土壤学会归口。

本文件起草单位：中国科学院南京土壤研究所、安徽农业大学、中国科学院合肥物质科学研究院、长江大学、句容市水利局。

本文件主要起草人：马东豪、张佳宝、王擎运、杨文亮、郭子妍、刘斌美、付威、许晓辉、段衍、孙友强、吴思聪、王静茹。

砂姜黑土龟裂点含水量测定技术规程

1 范围

本文件确立了砂姜黑土龟裂点含水量测定的技术流程、仪器设备、样品采集与制备、试样制备、测定步骤、结果计算与龟裂点判定、质量控制与精度和试验报告的要求。

本文件适用于砂姜黑土农田耕层土壤龟裂点含水量的测定。其他胀缩性明显（干缩开裂显著）的农田土壤可参照使用。

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 50123　土工试验方法标准

NY/T 52　土壤水分测定法

NY/T 1121.1　土壤检测　第1部分：土壤样品的采集、处理和贮存

NY/T 1121.2　土壤检测　第2部分：土壤pH的测定

NY/T 1121.3　土壤检测　第3部分：土壤机械组成的测定

NY/T 1121.4　土壤检测　第4部分：土壤容重的测定

NY/T 1121.6　土壤检测　第6部分：土壤有机质的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

砂姜黑土　lime concretion black soil

在暖温带半湿润气候条件下，发育于河湖相沉积物上经脱沼泽作用而形成的半水成土，土体中常含砂姜（碳酸钙、硫酸钙结核），腐殖质累积明显，其典型特征为富含蒙脱石等膨胀性黏土矿物，具有“干缩裂、湿胀闭”的特征。

3.2

裂隙率　crack area ratio（Rc）

试样表面裂隙投影面积占试样表面总面积的百分比，以百分数（%）表示。

3.3

起裂含水量　initial cracking water content

在规定试验条件下，重塑试样蒸发失水过程中，表面首次出现可识别裂纹时对应的质量含水量，以干土质量百分数（%）表示。

3.4

裂隙稳定状态　stable crack state

在连续蒸发条件下，试样表面裂隙网络形态基本不再发展，且以试样表面总面积为统计对象、连续3次观测（间隔10 min）的裂隙率变化绝对值均不大于0.5个百分点的状态。

3.5

龟裂点含水量　cracking point water content

在规定试验条件下，试样蒸发失水过程中，裂隙率由快速增长阶段转入稳定阶段时对应的临界质量含水量，以干土质量百分数（%）表示。

4 技术流程

砂姜黑土龟裂点含水量测定按样品采集与制备、试样制备、蒸发观测与数据获取、数据处理与龟裂点判定、质量控制五个环节依次进行，流程见图1。

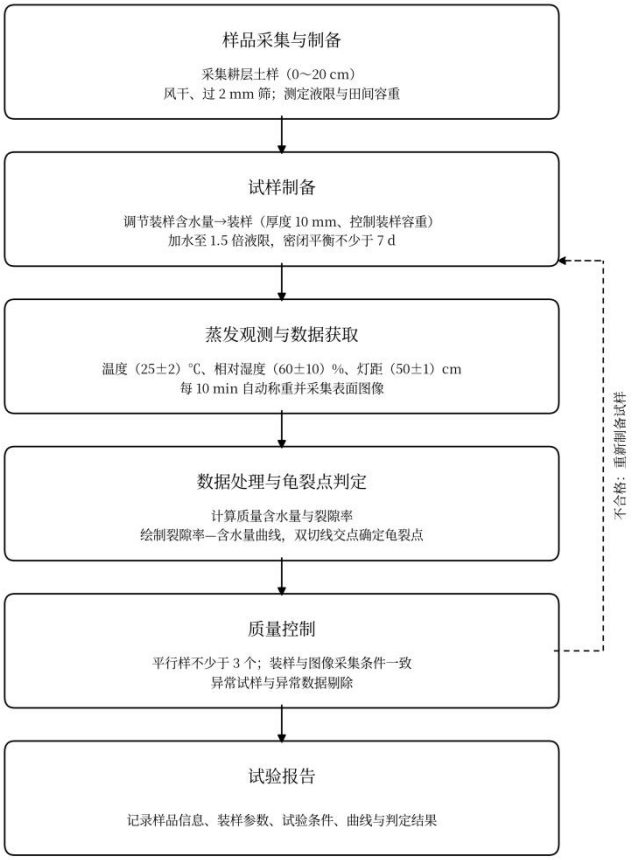


图1　砂姜黑土龟裂点含水量测定流程

5 仪器设备

试验所用主要仪器设备见表1。所列仪器设备应经计量检定或校准合格，并在有效期内使用；试验前应记录设备编号及检定或校准状态。

表1　主要仪器设备

名称	主要技术要求	用途
微型蒸发器	内径（110±1）mm，高 20 mm，不渗漏、耐腐蚀、内壁光滑	装样与蒸发

名称	主要技术要求	用途
电子天平	量程不小于 500 g，分度值 0.01 g	试样称量
电热干燥箱	控温（105±2）℃	烘干法测定含水量
干燥器	内装变色硅胶	烘干后冷却与保存
加热灯	额定功率 275 W，灯距（50±1）cm 可调	提供稳定蒸发边界
恒温恒湿箱	温度（25±2）℃，相对湿度（60±10）%	试样平衡与试验环境控制
图像采集设备	分辨率不低于 3000×2000 像素，可定时拍摄	试样表面图像采集
图像采集支架	垂直固定，高度可调，配固定光源	保证拍摄条件一致
喷壶	容量不小于 500 mL，雾化均匀	定量、均匀加水
游标卡尺	分度值 0.1 mm	装样厚度测量

6 样品采集与制备

6.1 样品采集

按NY/T 1121.1的规定执行。采样深度为0～20 cm耕层；开展耕层结构综合评价时，可采集0～30 cm。同一批次相互比较的样品应保持采样深度一致，并在报告中注明。采样时剔除石块、植物残根及其他杂物，混合后按四分法缩分。

6.2 样品制备

土样经风干、过2 mm筛后混匀备用。过2 mm筛可保留砂姜黑土团聚体结构和裂隙发育特征，并与土壤理化分析的通用粒径保持一致；用于液限测定的试样应按GB/T 50123的规定过0.5 mm筛。两类试样应分别制备、分别使用，不得混用。

6.3 参数测定

液限按GB/T 50123的规定测定；装样容重以NY/T 1121.4测定的田间原状容重为依据确定；土壤机械组成、有机质含量和pH分别按NY/T 1121.3、NY/T 1121.6和NY/T 1121.2的规定测定。

6.4 平行样设置

每个样品应设置不少于3个平行试样，平行试样应独立装样、独立观测。

7 试样制备

7.1 测试样装填

将过 2 mm 筛后的风干土样加水调节至接近塑限含水量，充分混匀后静置，使水分分布均匀。实际装样含水量宜控制在塑限含水量 ±2 %范围内。装样前土样的含水量应按 NY/T 52 的规定测定，并据此按附录 A 计算装样所需湿土质量。按设定干容重将土样装入微型蒸发器中，装样厚度为 10 mm，装样后表面刮平。记录蒸发器质量、装样湿土质量、实际装样厚度和目标干容重。装样后应在蒸发器外壁标注试样编号。

7.2 水分平衡

用喷壶将水分数次、少量、均匀喷洒于试样表面，使含水量逐步达到液限的1.5倍；相邻两次加水的间隔不少于30 min，全部加水完成后静置不少于30 min。试样表面不得出现明水，出现明水时应重新制备。随后将试样置于恒温恒湿箱或密闭保湿装置中平衡不少于7 d，平衡期间不得翻动试样；每2 d称量1次，连续两次质量变化小于0.2%时视为达到平衡。

8 测定要求

8.1 测试场景

环境温度为（25±2）℃，相对湿度为（60±10）%。加热灯额定功率为275 W，灯泡中心至试样表面的距离为（50±1）cm。图像采集设备应垂直于试样表面固定安装，拍摄高度和光照条件按附录B的规定执行，同一批次保持一致。试验期间蒸发器不加盖，并记录环境温度和相对湿度。

8.2 观测记录

蒸发开始前称量试样质量并拍摄初始表面图像，记为0时刻，图像中应包含试样编号和比例尺。自蒸发开始起，每隔10 min自动称量1次并采集1幅表面图像，称量精度为0.01 g。起裂时刻依据观察到的首次可识别裂纹确定，并记录对应的蒸发时间。

8.3 终止判定

当裂隙形态达到稳定状态（见3.4），或土壤质量含水量低于3.0%时，终止试验。终止时的含水量按NY/T 52的规定测定。

9 计算方法

9.1 含水量

各时刻土壤质量含水量按式（1）计算：

$$w_i = \frac{m_i - m_d}{m_d} \times 100 \tag{1}$$

式中：w_i为 第i时刻土壤质量含水量，单位为百分数（%）；m_i为第i时刻试样湿土质量，单位为克（g）； m_d为试样烘干土质量，单位为克（g）。若称量数据为蒸发器和土样总质量，应先扣除蒸发器质量。

9.2 裂隙率

采用图像分析方法提取各时刻的裂隙投影面积，裂隙率按式（2）计算：

$$R_c = \frac{A_{crack}}{A_{total}} \times 100\% \tag{2}$$

式中：R_c 为裂隙率，单位为百分数（%）； A_{crack}为裂隙投影面积，单位为平方毫米（mm^2）或平方厘米（cm^2）； A_{total}为土样表面总面积，单位为平方毫米（mm^2）或平方厘米（cm^2）。

9.3 裂隙率—含水量曲线

按9.1和9.2计算各观测时刻的质量含水量和裂隙率，以质量含水量为横坐标、裂隙率为纵坐标，绘制裂隙率—含水量曲线。

9.4 龟裂点含水量

采用双切线法确定龟裂点含水量：按附录C的规定分别拟合快速增长段和稳定段，两条拟合直线的交点所对应的质量含水量即为龟裂点含水量。快速增长段、稳定段的选取规则、拟合方程及有效性判定按附录C执行，同一批次样品应采用相同的判定方法。

10 质量控制与精度

10.1 试样一致性

同一批次的平行试样应采用相同的装样质量、装样厚度、控制装样容重、装样含水量和试验条件；装样厚度偏差不应大于±1 mm。

10.2 图像采集与处理一致性

同一批次试样的图像采集应保持拍摄高度、拍摄角度和光照条件一致；图像处理应采用相同的阈值设定原则和去噪规则，并记录实际拍摄高度和处理参数。

10.3 异常试样与异常数据判定

试验过程中出现试样整体翘曲、边缘严重脱离容器、局部塌陷、明显泌盐结壳、表面污染、加水后表面出现明水，或称量记录、图像缺失影响曲线判定的，该试样判为无效，应重新制备试样并重测。因称量错误或图像处理异常产生的个别数据点可以剔除，剔除后有效数据点不应少于原数据的80%，否则整组重测。无效试样、剔除数据和重测结果应一并记录。

10.4 精度要求

有效平行结果不应少于3个。同一试样平行测定结果中，任意两个结果的绝对差值不应超过其算术平均值的10%；超出时应判别并剔除离群值，剔除后有效结果仍不少于3个方可采用，否则该组测定结果无效，应重新制备试样测定。测定结果取有效平行结果的算术平均值，保留2位小数，并给出标准偏差。

11 试验报告

试验报告应包括以下内容：

a) 样品编号、采样地点、采样深度和土地利用方式；
b) 样品预处理方法；
c) 液限、控制装样容重和装样厚度；
d) 蒸发器规格、试验环境条件与加热灯参数；
e) 观测时间间隔与称量精度；
f) 图像采集与处理方法，包括拍摄高度、阈值设定和去噪规则；
g) 裂隙率—含水量曲线及拟合参数；
h) 龟裂点含水量及判定方法；
i) 全部平行试样的测定结果、平均值与标准偏差；
j) 异常试样、剔除数据和重测情况说明；
k) 未形成有效裂隙或不适用的说明，包括全过程最大裂隙率；
l) 试验日期和试验人员。

附录 A
（规范性）
试样装填质量计算方法

A.1 目的

用于按设定的装样体积、控制装样容重和装样含水量，计算装样所需的风干土质量和加水量，保证同一批次试样之间具有一致的初始条件。

A.2 计算方法

试样所需烘干土质量按式（A.1）计算：

$$m_s = \rho_d \times V \tag{A.1}$$

圆柱形装样体积按式（A.2）计算：

$$V = \pi \times (D / 2)^2 \times h / 1000 \tag{A.2}$$

若装样前土样的质量含水量为w0，则所需湿土质量按式（A.3）计算：

$$m_w = m_s \times (1 + w_0 / 100) \tag{A.3}$$

式中：m_s 为试样所需烘干土质量，单位为 g；ρ_d 为目标干容重，单位为 g/cm^3；V 为装样体积，单位为 cm^3。D 为蒸发器内径，单位为毫米（mm）；h 为装样厚度，单位为毫米（mm）。m_w 为装样所需湿土质量，单位为 g；w_0 为装样前土样质量含水量，单位为%。

A.3 计算示例

蒸发器内径为 110 mm，装样厚度为 10 mm，目标干容重为 1.50 g/cm^3，则：

$V = \pi \times (110/2)^2 \times 10 / 1000 = 95.03$ cm^3

$m_s = 1.50 \times 95.03 = 142.55$ g

若装样前土样质量含水量为 22.0%，则：

$m_w = 142.55 \times (1 + 22.0\%) = 173.91$ g

则该试样装样所需湿土质量约为 173.91 g。装样前应按实际测定的装样含水量重新计算，不得直接引用示例值。

A.4 记录要求

装样时应记录以下信息：蒸发器编号、内径、装样厚度、目标干容重、装样前土样含水量、计算得到的烘干土质量和湿土质量。

附录 B
（规范性）
裂隙图像采集与裂隙率计算方法

B.1 图像采集

B.1.1 采集时机

自蒸发开始起，每隔10 min采集1幅试样表面图像，直至试验终止；加水、平衡等试样制备环节的图像单独保存，不参与裂隙率计算。

B.1.2 采集条件

图像采集设备应垂直于试样表面固定安装，镜头光轴与试样表面垂直，拍摄高度和光照条件在同一批次试验中保持一致；宜采用固定光源，避免环境光变化造成裂隙与土体的对比度波动。

B.1.3 图像质量

图像应清晰，试样边界完整，无强反光和阴影遮挡，图像分辨率应符合8.1的规定。图像中应包含试样编号和比例尺标识。

B.2 裂隙率计算

裂隙率计算宜按以下步骤进行：

a）导入原始图像；

b）裁剪至土样表面有效区域；

c）进行灰度化处理；

d）采用统一阈值设定原则进行二值化；

e）进行去噪处理，去除明显孤立噪点；

f）识别裂隙区域并计算裂隙投影面积；

g）计算裂隙率。

B.3 阈值设定原则

同一批次样品应采用一致的阈值设定原则。当自动阈值法受阴影、反光影响较大时，可进行人工辅助修正，但应保持同一批样品处理规则一致，并在试验报告中注明。

B.4 去噪规则

应去除明显非裂隙噪点。单个孤立目标面积小于裂隙最小识别面积阈值时，可判定为噪点并剔除；该阈值宜根据图像分辨率和试样面积确定，同一批次应保持一致，并在试验报告中注明。

B.5 边缘裂隙处理

土样蒸发过程中形成的真实边缘裂隙可计入裂隙面积。若试样因整体收缩导致边缘大面积脱离容器，且明显不属于正常裂隙发育形态，则该试样应按无效试样处理。

附录 C
（规范性）
龟裂点判定方法与示例

C.1 一般要求

龟裂点含水量依据裂隙率—含水量曲线，采用双切线法确定。

C.2 数据整理

将各观测时刻的土壤质量含水量和对应的裂隙率整理成数据表，应按含水量由高到低（即蒸发时间先后）的顺序进行降序排列。剔除明显因称量错误或图像处理异常导致的无效数据点。计算全过程裂隙率的最大跨度（最大裂隙率减去初始裂隙率）。

C.3 稳定段

在数据序列末端（含水量最低、蒸发即将结束阶段）选取末段连续不少于3个观测点作为稳定段，进行线性回归，得式（C.1）：

$$C = a_1 \times w + b_1 \tag{C.1}$$

C.4 快速增长段

采用滑动窗口法确定快速增长段：

a）设定窗口大小为连续的 4 个至 5 个观测点；

b）自起裂时刻起，逐步向后滑动窗口，计算每个窗口内数据的线性回归斜率；

c）为排除未起裂的初始平缓阶段，若该窗口内裂隙率的极差（最大值减最小值）小于全过程裂隙率最大跨度的 15%，则该窗口数据不参与快速增长段评定；

d）在满足 c）条件的窗口中，选取斜率绝对值最大（即裂隙随含水量下降而增加最剧烈）的连续观测点作为快速增长段。

对该段数据进行线性回归，获得快速增长段拟合方程：

$$C = a_2 \times w + b_2 \tag{C.2}$$

C.5 交点计算与有效性判定

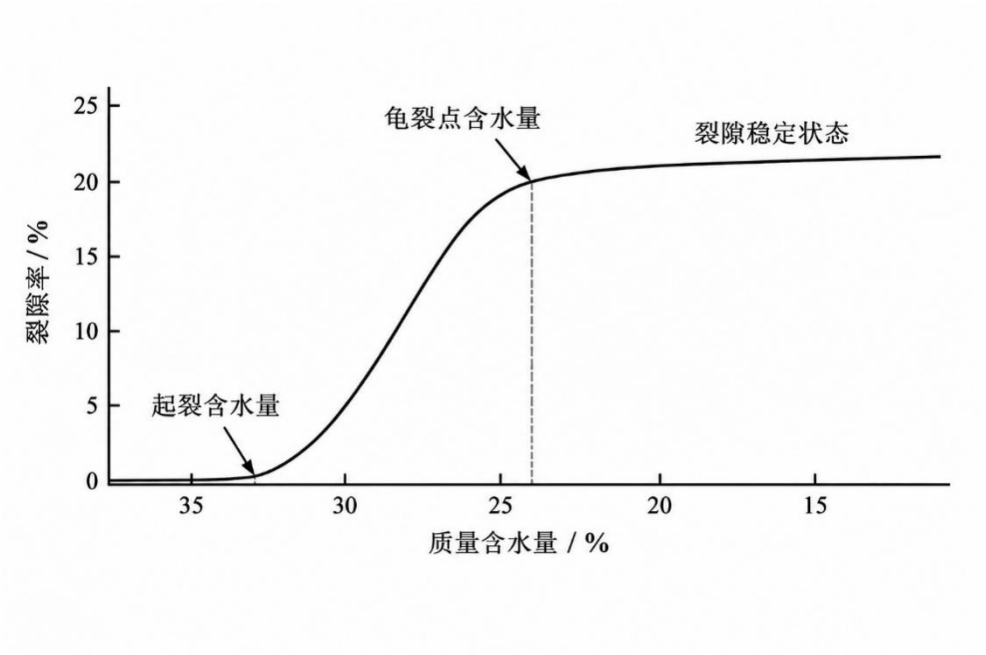
联立式（C.1）和式（C.2），按式（C.3）计算两条拟合直线的交点：

$$w_{crack} = (b_2 - b_1) / (a_1 - a_2) \tag{C.3}$$

交点对应的质量含水量即为龟裂点含水量。两式斜率之差的绝对值小于0.05时，视为两条直线平行，应重新检查数据或判定该组试验无效。交点应位于实测含水量区间以内，且位于稳定段观测区间之外侧；交点落在稳定段区间以内或超出实测区间时，判定该组试验无效，应重新制备试样测定。

C.6 示例

某砂姜黑土试样按上述方法处理，稳定段与快速增长段拟合直线的交点对应的质量含水量为24.0%，裂隙率为20.5%，即该试样的龟裂点含水量为24.0%。判定示意见图C.1。



图C.1　龟裂点含水量判定示意

参考文献

[1]. Ferreira SRM, Araújo JMSS, Barbosa MSN, Galindo MSR. Analysis of changes in volume and propagation of cracks in expansive soils. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2020, 44: e0190169. https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190169.

[2]. Li JH, Zhang LM. Study of desiccation crack initiation and development at ground surface. Engineering Geology, 2011, 123(4): 347–358. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.09.015.

[3]. Tang CS, Shi B, Liu C, Zhao LZ, Wang BJ. Influencing factors of geometrical structure of surface shrinkage cracks in clayey soils. Engineering Geology, 2008, 101(3–4): 204–217. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.05.005.

[4]. Tang CS, Cui YJ, Shi B, Tang AM, Liu C. Desiccation and cracking behavior of clay layer from slurry state under wetting–drying cycles. Geoderma, 2011, 166(1): 111–118. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.07.018.

[5]. Tang CS, Zhu C, Cheng Q, Zeng H, Xu JJ, Tian BG, Shi B. Desiccation cracking of soils: A review of investigation approaches, underlying mechanisms, and influencing factors. Earth-Science Reviews, 2021, 216: 103586. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103586.

[6]. Tang CS, Tian BG, Cheng Q, Leng T, Shi B. A comprehensive framework for characterizing and quantifying soil desiccation crack patterns: quantitative parameters and development of CIAS. Engineering Geology, 2024, 343: 107820. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107820.