

ICS 13.080.20
CCS B 10

T/SSSC

中国土壤学会团体标准

T/SSSC 0 —2026

砂姜黑土龟裂点测定技术规程

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

(征求意见稿)

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 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.....	4
8 测定步骤.....	4
9 结果计算与龟裂点判定.....	5
10 精密度.....	6
11 质量控制.....	6
12 试验报告.....	6
附录 A（规范性） 试样装填质量计算方法.....	8
附录 B（规范性） 裂隙图像采集与裂隙率计算方法.....	9
附录 C（规范性） 龟裂点判定方法与示例.....	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、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、付威、许晓辉、郭子妍、吴思聪、王静茹。

砂姜黑土龟裂点测定技术规程

1 范围

本文件规定了砂姜黑土龟裂点测定的术语和定义、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、精密度、质量控制和试验报告要求。

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

对于砂性较强、裂隙不明显或在本试验条件下不能形成可识别裂隙网络的土样，可参照执行；当全过程最大裂隙率小于 3% 时，判定为未形成有效裂隙，应在试验报告中注明。

本方法基于重塑扰动土样的标准化蒸发试验。测得的龟裂点用于表征规定试验条件下土样发生收缩开裂的临界水分状态，不应与田间原状土的裂隙形态、裂隙尺度或原位龟裂特征直接等同。注：本文件测定的龟裂点表征裂隙率—含水量曲线由快速增长阶段转入稳定阶段时对应的临界含水量；土体开始出现明显裂隙时对应的含水量为起裂含水量（见 3.4），二者对应不同的裂隙发育阶段，不应互换使用。

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（包括所有的修改版）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。

1.1

裂隙率 Crack Area Ratio

土壤表面裂隙投影面积占土样表面总面积的百分比。

1.2

裂隙率—含水量曲线 Crack Area Ratio-Water Content Curve

以土壤质量含水量为横坐标、裂隙率为纵坐标绘制的关系曲线。

1.3

起裂时刻 Initial Cracking Time

在蒸发试验过程中，土样表面首次出现肉眼可识别裂纹的时刻。

1.4

起裂含水量 Initial Cracking Water Content

在规定试验条件下，重塑土样蒸发失水过程中，土样表面首次出现肉眼可识别裂纹时对应的临界质量含水量。

1.5

裂隙稳定状态 Stable Crack State

在连续蒸发条件下，土壤表面裂隙网络形态基本不再发展，且连续三次观测裂隙率变化绝对值均不大于 0.5 个百分点的状态。

1.6

龟裂点 Cracking Point

在规定试验条件下，重塑土样蒸发失水过程中，裂隙率—含水量曲线由快速增长阶段转入稳定阶段时对应的临界质量含水量。注：龟裂点亦可称为裂隙稳定临界含水量。

4 技术流程

砂姜黑土龟裂点测定按样品与试样准备、蒸发观测与数据获取、数据处理与龟裂点判定三个环节依次进行：

a) 样品与试样准备：将风干、过 2 mm 筛后的扰动土样按目标干容重装填于微型蒸发器中，调节试样初始含水状态并平衡；

b) 蒸发观测与数据获取：在稳定蒸发条件下进行失水试验，定时称量试样质量，按称重法计算各时刻土壤质量含水量，同时采集土样表面图像，通过图像分析提取裂隙面积、计算裂隙率；

c) 数据处理与龟裂点判定：建立裂隙率—含水量曲线，采用分段拟合法确定裂隙率由快速增长阶段转入稳定阶段时对应的临界含水量，该含水量即为砂姜黑土龟裂点。

砂姜黑土龟裂点测定流程见图 1。

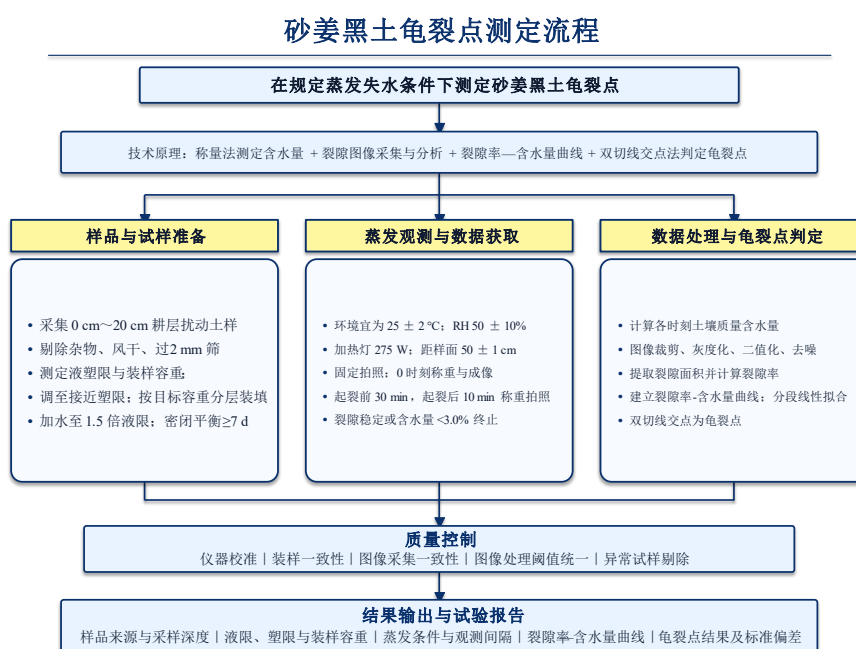


图1 砂姜黑土龟裂点测定流程

5 仪器设备

本章所列仪器设备均应该计量检定或校准合格，并在有效期内使用。

5.1 微型蒸发器

圆形刚性容器，内径 110 mm，高 20 mm，底部平整，不渗漏，材质应为不吸水、耐腐蚀材料，内壁应光滑。

5.2 天平

最大称量不低于 500 g，感量 0.01 g。

5.3 测深尺

精度 0.01 mm，应能用于测定主裂缝深度。

5.4 土壤筛

采用不锈钢材质，孔径 2 mm；筛框与筛网应耐腐蚀、不污染土样。

5.5 拍照设备

设备图像分辨率应不低于 3000×2000 像素，应能清晰采集土样表面裂隙图像；宜采用单反相机或工业相机，配备三脚架及固定支架垂直拍摄。拍摄布置应符合 B.1.1 的规定。

5.6 加热灯

额定功率 275 W，灯泡中心至试样表面距离应为 (50 ± 1) cm。

5.7 恒温恒湿箱或密闭保湿平衡装置

应具备稳定的温湿度控制条件或良好的密闭保湿性能，能够满足试样不少于 7 d 的水分平衡要求；装置内部应清洁，不应造成试样污染或明显水分散失。

5.8 喷壶

应能稳定、均匀喷出细雾，喷头出水应均匀，不应形成集中水流冲刷试样表面。

5.9 铝盒

应采用耐腐蚀、耐高温、带盖且质量稳定的称量铝盒，规格应满足土壤含水量测定要求。

5.10 其他

搅拌器、刮刀、直尺、温湿度计、图像尺度标定尺、烘箱等。

6 样品采集与制备

6.1 样品采集

耕层土壤样品的采集、处理和贮存应按 NY/T 1121.1 的规定执行。采样深度宜为 0 cm~20 cm；用于耕层结构综合评价时，可采集 0 cm~30 cm 土壤，但同一批次比较样品应保持采样深度一致，并应在试验报告中注明。采集后剔除石块、植物根系及其他杂物，装入样品袋密封保存；样品袋应粘贴标签，标签内容包括样品编号、采样地点、采样深度、采样日期和采样人。

6.2 样品制备

将土样置于室内阴凉、通风处自然风干，避免阳光直射，严禁高温烘烤。风干后用木棒或木碾轻轻碾碎，严禁用铁器研磨，全部过 2 mm 筛，混匀备用。

6.3 基本参数测定

土样液限和塑限的测定应按 GB/T 50123 的规定执行；装样容重的测定应按 NY/T 1121.4 的规定执行。必要时可记录土壤质地、有机质含量和 pH 等信息，其测定分别按 NY/T 1121.3、NY/T 1121.6 和 NY/T 1121.2 的规定执行。

6.4 平行样设置

每个土样应设置不少于 3 个平行试样。平行试样应独立装样、独立观测。最终有效平行结果不得少于 3 个；有效平行结果少于 3 个时，该组测定结果无效，应重新制备试样并测定。

7 试样制备

7.1 装样含水量调节

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 个百分点范围内。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。

7.2 装填

按设定干容重将土样装入微型蒸发器中，装样厚度为 10 mm。宜分 2 层~3 层均匀装填、逐层轻压，确保密实均匀，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。

7.3 加水处理

采用喷壶将所需水量分多次、少量、均匀喷洒于装样后的土样表面，使试样含水量逐步达到液限的 1.5 倍。相邻两次加水之间应间隔不少于 30 min，待前次加入的水分充分入渗和再分布后再进行下一次加水，避免一次性大量喷水造成表层糊化、局部冲刷、表层结构破坏或下层水分不均。全部加水完成后应静置不少于 30 min；试样表面不得出现明水，若出现明水，该试样应判为无效并重新制备。

7.4 水分平衡

将加水后的试样置于恒温恒湿箱或密闭保湿平衡装置中平衡不少于 7 d。平衡期间应保持装样结构稳定，避免翻动或其他可能改变目标干容重和装填结构的操作。平衡结束后取出，置于实验室内准备蒸发试验。水分平衡程度宜每隔 2 d 称量 1 次试样质量进行判断，相邻两次质量变化小于 0.2% 时视为水分达到平衡。

8 测定步骤

8.1 试验环境

试验应在室内相对稳定环境下进行。宜控制环境温度为 $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $(60 \pm 10) \%$ 。试验开始前及试验过程中应记录环境温度和相对湿度。

8.2 仪器布置

将微型蒸发器置于水平实验台面上。加热灯安装位置应保持固定，灯泡中心至试样表面距离为 (50 ± 1) cm。拍照设备应垂直于试样表面固定安装；拍摄布置应按 B.1.1 的规定执行，拍摄角度和光照条件应保持一致。

8.3 初始记录

蒸发开始前，对每个试样称重 1 次并拍摄初始表面图像，记录为 0 时刻。图像中应包含试样编号和尺度标识。

8.4 蒸发前期观测

开启加热灯后开始蒸发。自蒸发开始起，每隔 30 min 称重 1 次，并记录试样表面变化情况；宜同步拍摄图像，直至出现起裂时刻。起裂时刻应依据土样表面首次出现的肉眼可识别裂纹确定，并记录对应的蒸发时间。

8.5 裂隙发育期观测

自起裂时刻起进入裂隙发育期。裂隙快速发育阶段，每隔 5 min~10 min 称重 1 次并拍照 1 次；当裂隙发育速率明显降低、接近稳定状态时，观测间隔可调整为 20 min~30 min。应连续记录裂隙发育过程，必要时可同步测定主裂缝深度。

8.6 终止条件

当裂隙形态达到稳定状态（见 3.5），或土壤质量含水量已低于 3.0% 时，可终止试验。

8.7 烘干质量测定

试验结束后，试样烘干土质量的测定应按 NY/T 52 的规定执行，用于计算各时刻土壤质量含水量。

9 结果计算与龟裂点判定

9.1 含水量计算

各时刻土壤质量含水量按式（1）计算：

$$w_i = \frac{m_i - m_d}{m_d} \times 100 \quad (1)$$

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 裂隙率计算

采用图像分析方法提取各时刻裂隙面积，裂隙率按式（2）计算：

$$R_c = \frac{A_{crack}}{A_{total}} \times 100\% \quad (2)$$

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（mm²）或平方厘米（cm²）； A_{total} 为土样表面总面积，单位为平方毫米（mm²）或平方厘米（cm²）。

9.3 裂隙率—含水量曲线

按 9.1 和 9.2 计算各观测时刻的土壤质量含水量和裂隙率，以土壤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 龟裂点判定

基于裂隙率—含水量曲线，分别提取裂隙发育的快速增长段和蒸发末期的裂隙稳定段，进行分段线性拟合。两条拟合直线交点对应的含水量即为龟裂点。具体数据处理流程、判定规则及计算示例见附录C。

9.5 结果表示

平行试样的测定结果取算术平均值作为最终结果，结果保留 2 位小数，并给出标准偏差。

10 精密度

在重复性条件下，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%。实验室间再现性指标宜通过多点联合验证后确定。

11 质量控制

11.1 仪器校准

天平、测深尺和图像尺度标定装置应经计量检定或校准合格，并在有效期内使用；使用前应进行状态检查。

11.2 试样一致性控制

同一批次平行试样应采用相同装样质量、装样厚度、目标干容重、装样含水量和试验条件。装样厚度偏差不应大于 $\pm 1\text{ mm}$ 。

11.3 图像采集控制

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；拍摄布置应按 B.1.1 的规定执行，并记录实际拍摄高度。

11.4 图像处理控制

同一批样品的裂隙图像处理方法、阈值设定和去噪规则应保持一致。

11.5 异常试样判定

试验过程中如出现试样整体翘曲、边缘严重脱离容器、局部塌陷、明显泌盐结壳、表面污染或其他影响正常裂隙发育的情况，该试样结果应判为无效，并重新制备试样进行测定。

12 试验报告

试验报告应至少包括以下内容：

- 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、塑限和装样容重；
- d) 蒸发器规格和试验环境条件；

- e) 蒸发观测时间间隔;
- f) 裂隙图像采集与处理方法;
- g) 裂隙率—含水量曲线;
- h) 龟裂点测定结果及判定方法;
- i) 平行试样测定结果及精密度;
- j) 试验日期及异常情况说明;
- k) 对未形成有效裂隙或不适用情况的说明, 包括全过程最大裂隙率。

附录 A
(规范性)
试样装填质量计算方法

A.1 目的

本附录规定根据微型蒸发器尺寸、装样厚度、目标干容重和装样前土样含水量，计算装样所需湿土质量的方法。

A.2 计算原理

试样所需烘干土质量按式 (A.1) 计算：

$$m_s = \rho_d \times V \quad (A.1)$$

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 。

圆柱形装样体积按式 (A.2) 计算：

$$V = 3.1416 \times (D / 2)^2 \times h / 1000 \quad (A.2)$$

式中： 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)。

若装样前土样质量含水量为 w_0 ，则所需湿土质量按式 (A.3) 计算：

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

式中： 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 $1.50 \text{ g}/\text{cm}^3$ ，则：

$$V = 3.1416 \times (55)^2 \times 10 / 1000 = 95.03 \text{ cm}^3$$

$$m_s = 1.50 \times 95.03 = 142.55 \text{ g}$$

若装样前土样质量含水量为 22.0%，则：

$$m_w = 142.55 \times (1 + 0.22) = 173.91 \text{ g}$$

则该试样装样所需湿土质量约为 173.91 g。

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 图像采集要求

B.1.1 拍摄布置：拍照设备应垂直于试样表面固定安装。拍摄高度应根据设备视场和焦距预先确定，以完整覆盖试样表面及尺度标识为准；同一批次使用同一设备和镜头时，拍摄高度和焦距应保持一致，并记录实际拍摄高度。

B.1.2 光照条件：应采用稳定光照条件，避免自然光直射、阴影和反光。宜采用固定光源及遮光措施，采用柔和漫射光，避免强光直射产生反光。同一批样品应在相同光照条件下拍摄。

B.1.3 图像质量：图像应清晰，土样边界应完整，图像分辨率应符合 5.5 的规定。

B.1.4 标尺与校正：每张图像中应包含尺度标尺，必要时应进行镜头畸变校正。

B.2 图像处理流程

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

龟裂点应依据裂隙率—含水量曲线，采用双切线交点法确定。

C.2 数据整理与排序

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 稳定段直线拟合

在数据序列末端（即含水量最低、蒸发试验即将结束阶段），选取末段连续不少于 3 个的观测点作为裂隙稳定段。对该段数据进行线性回归，获得稳定段拟合方程：

$$C = a_1 \times w + b_1 \quad (C.1)$$

C.4 快速增长段直线拟合

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：

$$C = a_2 \times w + b_2 \quad (C.2)$$

C.5 交点计算与龟裂点确定

当快速增长段与稳定段的拟合直线不平行（ $a_1 \neq a_2$ ）时，两直线交点对应的含水量 w_{crack} 即为龟裂点，按式 (C.3) 计算：

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

式中： w_{crack} 为龟裂点对应的质量含水量，单位为百分数（%）； a_1, b_1 为稳定段拟合直线的斜率和截距； a_2, b_2 为快速增长段拟合直线的斜率和截距。注：计算得到的交点含水量必须位于最高与最低观测含水量区间内，否则应重新检查数据或判定该试验无效。