

水利液塑限联合测定法的操作优化探讨

邓 琴

(四川南充水利电力建筑勘察设计院, 四川 南充 637000)

摘 要 液塑限是水利工程土性参数测定的核心指标, 其测试精度直接影响地基处理、边坡稳定设计等关键环节的安全性及经济性。现阶段针对粉土等常见土类适配性不足、数显仪器校准细节缺失、环境控制针对性不强、人员操作规范不明确等实践难点, 仍存在测试精度波动、结果重复性差等问题。本文基于《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019) 标准框架, 聚焦常规测试场景与常见土类需求, 从粉土专项预处理、数显仪器规范校准、场景化环境调控、数据处理标准化、操作技能量化五个维度构建实用化优化体系, 通过对比试验验证优化效果, 以期为水利工程常见土类液塑限精准测定提供参考。

关键词 水利工程; 液塑限联合测定法; 粉土适配; 数显仪器

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.004

0 引言

在水利工程建设中, 土的液塑限指标是划分土类、确定塑性指数、评估地基承载力及设计防渗结构的核心依据。《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019) 的实施, 规范了液塑限联合测定法的仪器参数、基本流程、数据处理等基础要求^[1], 使传统操作中的土样过筛、圆锥仪规格、含水率测定等基础环节得到标准化落地。然而, 水利工程中最常接触的土类为粉土和常规黏性土, 粉土因黏滞性低、颗粒细腻, 常规操作流程难以适配其特性, 易出现测试误差^[2]; 同时, 现场广泛使用的数显类液塑限测定仪, 标准中缺乏针对性的校准细节与操作规范, 导致仪器间测试差异较大^[3]。此外, 实验室与现场测试的环境控制差异、人员操作技能量化缺失等问题, 也制约了测试精度的提升。因此, 在《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019) 标准基础上, 针对常见土类与数显仪器的应用难点进行操作优化, 对提升水利工程土性参数测试质量、保障工程结构安全具有重要的现实意义。本文结合实验室常规测试与工程实践经验, 聚焦实用化需求, 提出相应的优化措施, 为相关测试工作提供参考。

1 水利液塑限联合测定法的原理延伸与标准应用现状

1.1 方法核心原理的常见土类适配延伸

《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019) 明确了液塑限联合测定法的核心原理, 是基于土的含水率与

圆锥入土深度的相关性, 规定 76 g 圆锥仪入土 17 mm 对应液限、2 mm 对应塑限, 该原理对黏粒含量较高的常规黏性土具有良好适配性。这类黏性土抗剪强度以凝聚分量为, 在双对数坐标下, 圆锥入土深度与含水率呈稳定线性关系, 能精准反映土的可塑性本质。但粉土的物理力学特性与常规黏性土存在本质差异, 其黏粒含量多处于 12%~15% 的临界范围, 颗粒比表面积小、黏滞性弱, 水分吸附能力远低于黏性土, 抗剪强度以摩擦分量为, 这导致相同含水率条件下, 粉土中圆锥入土深度易偏大, 且双对数坐标下线性拟合效果不佳, 部分试验点出现离散偏移, 直接造成液塑限测定值偏离真实塑性特征, 甚至引发土类定名与工程性质评估的矛盾。因此, 液塑限联合测定法的核心原理需向粉土等低塑性土类延伸适配。需通过黏粒含量预判试验适用性, 调整 3~4 mm 关键试验点选取范围, 优化圆锥质量或入土深度对应标准等方式, 构建针对性技术方案。而《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019) 未对这类适配细则作出明确规定, 导致实际测试中缺乏统一标准, 成为影响试验数据可靠性的核心实操难点。

1.2 标准应用现状与实操缺口

《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019) 实施以来, 实验室已普遍实现标准规定的基础操作: 采用 76 g 圆锥仪、2 mm 标准筛、105~110℃烘干法测定含水率等, 基本操作的标准化使测试结果的一致性得到提升^[4]。但在针对常见土类的实操应用中, 仍存在

作者简介: 邓琴(1990-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 水利工程试验检测。

四大缺口：一是粉土测试缺乏针对性操作规范，标准未明确粉土的预处理方式、静置时间、圆锥仪适配规格等，导致测试结果离散度大；二是数显仪器校准细节缺失，现有数显液塑限测定仪的圆锥质量校准频率、测距精度校验方法、数据显示误差允许范围等未作具体规定，不同仪器测试偏差可达 1.5%~2%；三是场景化环境控制区分不明，实验室与现场测试的温湿度控制实操要求不清晰，粉土水分蒸发快，现场测试中缺乏简单有效的防蒸发措施；四是人员操作与数据处理缺乏量化标准，装模密实度、圆锥对中精度等操作细节未量化，异常数据判定与平行试验融合方法不明确，人为误差占比偏高。

2 水利液塑限联合测定法的现存核心难点

2.1 粉土预处理不当，测试偏差显著

粉土作为水利工程中最常见的特殊土类，其测试流程缺乏针对性规范，导致测定误差突出。粉土颗粒细腻，手动搅拌难以实现水分均匀分布，同一试样不同位置的含水率差异可达 1%~1.5%，直接造成圆锥入土深度偏差 2~3 mm；传统静置时间（24 h）不足以让水分充分渗透颗粒内部，导致液限测定值偏低 1.2%~1.8%；装模时采用击实法易造成局部密实度不均，密实度波动超过 0.02 g/cm³，进一步扩大塑限测试误差^[5]。此外，部分实验室仍沿用常规黏性土的测试参数，未针对粉土黏滞性低的特点调整圆锥仪规格，导致测试结果与实际土性不符。

2.2 数显仪器校准不细致，系统误差累积

现场与实验室广泛使用的数显液塑限测定仪，因缺乏细化的校准规范，系统误差持续累积。圆锥仪质量校准不频繁，长期使用导致磨损，质量偏差超过 0.5 g，使入土深度偏差 0.3~0.4 mm；数显测距模块未定期用标准量块校验，显示误差可达 0.1 mm，直接影响液塑限判定精度；仪器放置不水平导致圆锥下落垂直度偏差，部分数显仪器无水平校准提示功能，倾斜角度超过 1° 时，测试误差增加 1%~1.2%；数据拟合算法未严格遵循标准线性回归要求，部分数显仪器默认采用非线性拟合，导致结果失真。

2.3 环境控制缺乏针对性，粉土水分流失严重

《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）规定的测试环境温度 20±2℃、相对湿度 60±5%，在实操中缺乏场景化适配措施，对粉土的影响尤为显著。现场测试中温湿度波动频繁，粉土表面水分蒸发速率是常规黏性土的 1.5~2 倍，测试过程中含水率下降 0.8%~1.2%；实验室测试中未设置局部防风措施，气流扰动导

致粉土试样表面结壳，阻碍圆锥下沉，入土深度偏小 0.5~0.6 mm；高温（≥28℃）或低湿度（≤50%）环境下，未采取应急防护措施，导致粉土液限测定误差超过 1.5%，而标准中未给出简单可行的环境修正方法。

2.4 操作与数据处理不规范，人为误差占比高

人员操作缺乏量化标准，是导致测试误差的重要原因。粉土装模时未控制力度，密实度差异超过 0.02 g/cm³；圆锥仪对中依赖目视判断，对中偏差可达 1 mm；试样刮平不平整，表面高低差超过 0.2 mm，这些操作细节的差异导致人为误差占总误差的 30%~35%。在数据处理方面，标准未明确异常数据的判定标准，操作人员主观剔除数据现象普遍，同一组数据不同人员处理的液限差值可达 0.8%~1%；多组平行试验仅简单取平均值，忽略数据离散度影响，当变异系数超过 5% 时，仍未采取补做试验的措施，导致结果可靠性不足。

3 水利液塑限联合测定法的实用化操作优化方案

3.1 粉土专项预处理优化

针对粉土特性制定针对性预处理流程，提升测试适配性。调整圆锥仪规格，选用 100 g 圆锥仪替代传统 76 g 圆锥仪，适配粉土黏滞性低的特点，使入土深度更易区分液塑限临界点；优化水分处理流程，采用“分步补水—真空搅拌”方式，第一次补水至预估液限的 70%，静置 12 h 后补至目标含水率，再用真空搅拌机搅拌 3 min，搅拌转速 300 r/min，确保水分均匀分布；延长静置时间至 36 h，静置期间每隔 8 h 轻搅一次，促进水分渗透颗粒内部；装模时采用静压法，通过带刻度的压模装置控制压力，使密实度波动控制在 ±0.01 g/cm³ 以内，避免局部密实度不均。

常规黏性土预处理同步优化，保持 76 g 圆锥仪规格，静置时间 24 h，采用手动搅拌+分层拌匀方式，确保水分分布均匀，装模时控制击实力度，避免过度压实。

3.2 数显仪器规范化校准流程

建立简单易操作的数显仪器三级校准流程，降低系统误差。日常校准每日测试前进行，用标准砝码（精度 0.01 g）校准圆锥仪质量，偏差超过 0.3 g 时及时更换或修补；用 0~20 mm 标准量块校准数显测距模块，显示误差超过 0.05 mm 时调整仪器参数。每周校准重点检查仪器水平度，采用气泡水平仪检测，确保仪器倾斜角度 ≤ 0.5°，否则调整支撑脚高度；检查圆锥自动释放机构的灵活性，确保下落无卡顿。每月校准采用已知液塑限的标准黏性土样进行验证，若测试值与标准值偏差超过 0.5%，重新进行日常与每周校准，直至偏差符合要求。

明确数显仪器使用要求,测试前必须完成水平校准,数据拟合严格选择线性回归模式,回归系数 $R^2 \geq 0.97$,否则提示重新测试,确保数据处理符合标准要求。

3.3 场景化环境控制实用化优化

区分实验室与现场测试,制定针对性环境控制措施。实验室测试时,在试样周围设置简易防风罩,采用精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的恒温箱控制温度,相对湿度通过加湿器维持在 $55\% \sim 65\%$;在试样表面覆盖透气保鲜膜,仅暴露圆锥仪接触区域,减少粉土水分蒸发。现场测试时,配备便携式保温箱(控温范围 $15 \sim 25^\circ\text{C}$),试样制备后放入保温箱存放,测试前10 min取出;携带简易湿度计,当环境湿度 $\leq 55\%$ 时,用喷雾器向测试环境少量喷水增湿,避免直接喷洒试样;高温环境($\geq 28^\circ\text{C}$)下,试样制备后3 min内完成测试,缩短暴露时间;低温环境($\leq 15^\circ\text{C}$)时,将试样预热至 $18 \sim 20^\circ\text{C}$ 后再测试,避免温度过低影响黏滞性。

针对粉土水分易流失的特点,统一规定试样从制备到测试的时间间隔:实验室环境下 ≤ 15 min,现场环境下 ≤ 5 min,确保测试时含水率与制备含水率一致。

3.4 操作量化与数据处理标准化

建立人员操作量化指标体系,降低人为误差。装模环节,粉土与常规黏性土均采用分层装模法,每层厚度控制在10 mm,静压时间5 s,密度通过质量一体积法核验,误差 $\leq \pm 0.01\text{ g/cm}^3$;圆锥对中采用简易激光对中装置,对中偏差 $\leq 0.5\text{ mm}$;试样刮平使用专用水平刮尺,确保表面与试模顶面齐平,高低差 $\leq 0.1\text{ mm}$ 。编制实操评分表,对装模、对中、刮平、仪器操作等环节进行量化评分,评分低于85分的操作人员需进行专项培训,考核合格后方可上岗。

规范数据处理流程,异常数据判定采用格拉布斯准则,当数据点残差绝对值超过2.5倍标准差时,判定为异常数据,需补做1次平行试验;多组平行试验(不少于3组)数据处理时,先计算变异系数,若变异系数 $\leq 5\%$,取平均值作为最终结果;若变异系数在 $5\% \sim 8\%$ 之间,增加1组平行试验后取平均值;若变异系数 $> 8\%$,查找操作或仪器问题后重新制备试样测试。建立数据记录规范,明确记录仪器校准情况、环境参数、操作人信息,确保数据可追溯。

3.5 优化效果验证试验

选取粉土、常规黏性土两种常见土样,分别采用标准方法与优化方案进行对比试验,每组土样进行6次平行测试,结果如表1所示。

表1 优化方案与标准方法测试结果对比表

土样类型	测试指标	标准方法 误差	优化方案 误差	误差降 低率
粉土	液限(%)	$\pm 1.6\%$	$\pm 0.3\%$	81.2%
粉土	塑限(%)	$\pm 1.4\%$	$\pm 0.2\%$	85.7%
常规黏性土	液限(%)	$\pm 0.8\%$	$\pm 0.15\%$	81.2%
常规黏性土	塑限(%)	$\pm 0.6\%$	$\pm 0.1\%$	83.3%

在现场测试验证中,在高温 32°C 环境下采用优化方案测试粉土,液限测定值与实验室标准环境测试值差值仅为0.3%,而标准方法差值为1.6%;在低湿度45%环境下,优化方案的塑限测定误差控制在0.25%以内,显著优于标准方法的1.3%。验证结果表明,优化方案无需依赖复杂设备,操作简便易行,能有效降低常见土类测试误差,提升结果的准确性与重复性。

4 结束语

本文在《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019)基础上,聚焦水利工程中最常见的粉土与常规黏性土,针对数显仪器校准不细致、粉土预处理不当、环境控制针对性不强、操作与数据处理不规范等实操难点,构建了实用化的操作优化体系。通过粉土专项预处理、数显仪器三级校准、场景化环境调控、操作量化规范、数据处理标准化等措施,弥补了标准应用中的细节缺口,提升了液塑限联合测定法的实操性与精准度。试验验证表明,优化方案无需引入先进复杂的技术设备,完全适配当前测试条件,可使粉土与常规黏性土的液塑限测定误差显著降低,满足水利工程常规土类高精度测试的需求。未来,可进一步收集不同区域粉土的测试数据,细化适配参数;同时,将优化方案中的实操细节纳入行业标准修订建议,完善液塑限联合测定法的标准化体系,为水利工程质量安全提供更坚实的技术保障。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.土工试验方法标准(GB/T50123-2019)[S].北京:中国计划出版社,2019.
- [2] 王晖明.石灰改良高液塑限黏土路用性能试验研究[J].科技创新与应用,2025,15(22):55-58.
- [3] 赵婧如,李嘉瀚,曹军,等.碱渣石灰土液塑限测试及影响规律研究[J].福建建筑,2025(03):65-67,77.
- [4] 张婷.运用联合测定法测定土工试验液塑限的研究[J].江西建材,2024(11):126-128.
- [5] 李季欣.石灰对不同区域红黏土液塑限的影响研究[J].北方交通,2024(11):31-33.