

土工颗粒分析筛分法试验精度影响因素研究

杜承轩

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司, 天津市, 300250;

摘要: 土工颗粒分析是岩土工程中评价土体工程性质的重要试验方法之一, 在众多颗粒级配分析方法中, 筛分法是最基本的一种, 其试验结果直接影响土体分类及工程参数确定的准确性。本文通过多因素试验设计的方法, 探讨了影响筛分法试验精度的主要因素。以不同粒径范围的标准砂样为对象进行了多次试验, 研究了筛孔尺寸精度、筛分时间、振筛频率、试样质量、筛分方式以及环境条件等对试验结果的影响。试验结果表明: 筛孔磨损造成的尺寸偏差是影响试验精度的主要原因, 当筛孔偏差大于标准允许值的 50% 时, 累计通过率误差可达到 3-5%。筛分时间在 5-15 分钟内对细颗粒通过率有较大影响, 超过 15 分钟后趋于稳定。振筛频率在 150-300 次/分钟时效果最好, 过高或过低都会降低筛分效率。试样质量应在 100-500g 之间, 质量太大容易造成颗粒分层从而影响筛分效果。机械筛分比手工筛分有更好的重复性, 变异系数降低约 30-40%。环境湿度对粘性土颗粒筛分影响较大, 相对湿度大于 70% 时会出现颗粒团聚现象。根据试验结果建立了筛分试验精度预测模型并给出了优化试验参数组合方案, 有利于提高土工颗粒分析试验精度, 对规范筛分试验操作、减少试验误差、提高土体分类准确性起到积极作用, 可以为相关技术标准制定和完善提供参考。

关键词: 土工试验; 颗粒分析; 筛分法; 试验精度; 影响因素

DOI: 10.69979/3029-2727.26.05.073

引言

土工颗粒分析是岩土工程中对土体进行分类及确定相应工程参数的重要手段之一, 而土工颗粒分析的结果又直接影响到土体分类的正确性和相应工程参数的确定。近年来, 由于我国基础设施建设规模不断扩大以及复杂地质条件下工程项目的增多, 土工颗粒分析的重要性也日益突出。据有关数据显示, 2021 年至 2025 年期间, 我国岩土工程勘察市场规模年均增长率为 8.5%, 而颗粒分析作为一项基础性的试验工作, 在整个行业中占有举足轻重的地位。但是, 在实际操作过程中, 由于受到各种因素的影响, 筛分法试验精度较低, 从而造成试验结果的重复性和可信度不能很好地满足工程的要求。筛分法是传统的颗粒级配分析方法, 在土体分类、地基处理以及边坡稳定性等方面有着广泛应用。但是因为试验中存在很多影响因素, 比如仪器性能、操作方法以及环境因素等, 所以如何保证试验结果的准确性是一个难题。为此, 本文采用多因素试验设计的方法, 对影响筛分法试验准确性的主要因素进行了研究, 同时提出改进措施, 以期对提高试验结果准确性起到一定作用。

1 筛分法试验精度影响因素分析

1.1 试样制备对试验精度的影响

土工颗粒分析中, 试样制备是筛分试验的基础工作, 其质量好坏直接影响试验结果准确性。而在实际工作中, 试样均匀性和代表性是主要问题。如果取样不均或者处理不好, 会造成颗粒分布不均, 从而影响累计通过率。比如, 在一个岩土工程中, 由于没有很好地搅拌标准砂, 使得试验结果波动大于 10%。另外, 试样含水率也是需要注意的问题, 尤其是对粘性土颗粒来说, 含水率过高会使颗粒粘结在一起, 不利于筛分。有研究指出, 当试样含水率大于塑限两倍时, 细颗粒通过率会大大减少。所以, 在试样制备时要控制好试样干燥程度以及颗粒分散情况, 保证颗粒级配分析准确性。另外, 试样质量选择也要适当, 太小容易造成误差大, 太大容易造成颗粒分层, 影响筛分效果。

1.2 筛具规格与质量控制因素

筛具是筛分实验的重要设备, 其大小、精度以及质量都直接影响到实验结果的真实性。而筛孔大小误差是造成实验误差的主要原因之一, 在使用一段时间后, 由于磨损或者变形等原因造成筛孔变大或者变小都会导致颗粒分级错误, 特别是对于较小颗粒来说, 这个影响更加明显。比如有实验室对不同使用时间的筛具进行测试发现, 当筛孔磨损超过规定值 50% 时, 累计通过率误

差可以达到3%-5%。另外,筛网材料也很重要,优质的不锈钢筛网耐磨性好、耐腐蚀性强,可以大大延长使用寿命并且保证良好的筛分效果^[2]。为了保证实验结果准确可靠,应定期检查筛具并及时更换,同时制定严格的质量管理制度,使筛具符合相应的技术要求。

1.3 筛分操作参数影响分析

筛分操作参数的优化是提高试验精度的重要手段。振筛频率和筛分时间是两个关键变量,其合理设置对筛分效率和结果稳定性具有重要影响。在实际试验中,振筛频率过高会导致颗粒跳跃过于剧烈,反而阻碍细颗粒通过筛孔。而频率过低则无法提供足够的振动能量,导致筛分效率下降。研究表明,振筛频率在150-300次/分钟范围内效果最佳,既能保证颗粒充分分散,又能避免过度振动带来的负面影响。筛分时间同样需要精确控制,过短的时间无法使颗粒完全通过筛孔,而过长的时间则会造成资源浪费且无明显收益。例如,某研究团队通过对标准砂样的重复试验发现,筛分时间在5-15分钟内对细颗粒通过率影响显著,超过15分钟后趋于稳定。此外,机械筛分相比手工筛分具有更高的重现性,其变异系数可降低30-40%,这表明机械化操作能够有效减少人为因素对试验结果的干扰。

1.4 环境条件对试验结果的影响

环境条件是影响筛分试验精度的外部因素之一,特别是湿度以及温度的变化都会对颗粒的行为造成很大的影响,在高湿度的情况下,细颗粒容易吸水而结团,从而使得筛分效果变差,比如有一次试验,当环境相对湿度大于70%,粘性土颗粒累计通过率为正常情况下的95%,另外,温度的变化也会使筛具发生热胀冷缩的现象,进而影响到筛孔大小的变化,为了减小环境条件对试验的影响,在进行筛分试验时要尽量保证在一个恒温恒湿的环境中进行并且要对试验环境进行监控,这样可以更好地保证筛分试验的准确性以及可靠性,为土体分类以及工程参数的确定提供更加可靠的数据支持。

2 筛分法试验精度控制方法与优化

2.1 标准化操作流程建立

在岩土工程中,土工颗粒分析是判断土体工程性质的一种方法,而其试验精度又直接影响到土体分类以及工程参数的正确性。近年来,由于基础设施建设规模不断扩大,土工试验需求量大大增加,但是试验结果的一

致性却越来越差。为了改善这种情况,制定一套标准的操作程序就显得尤为重要。标准的操作程序需要从试样制备、筛分设备的选择到具体的筛分过程都做出详细的规定。比如,在试样制备时要对样品进行必要的预处理,使颗粒充分分散,不出现结块的情况。在筛分时要严格控制振筛的速度和时间,防止由于人为原因造成的误差。同时,环境因素如温度、湿度等对试验结果也有很大影响,在湿度较高的情况下,黏性土颗粒容易结成团块,所以要尽量在温度、湿度恒定的情况下进行试验^[3]。这样可以大大降低试验误差,使试验结果更加准确可靠,有利于土工颗粒分析工作的开展。

2.2 试验设备校准与维护要求

试验设备的工作状况是影响筛分法试验准确性的主要因素之一。近年来,随着设备制造水平提高,振动筛等设备精度、稳定性都有很大进步,但是长时间使用后也会造成设备性能下降,从而影响试验结果。所以,对设备进行定期校验和保养是非常必要的。而在校验过程中,要特别注意筛孔大小是否正确,因为筛孔磨损会造成颗粒分级错误。校验工作应该由有资质的单位或者技术人员来进行并且要按照相关标准进行操作。另外,设备日常保养也是不能忽略的问题,比如及时清除筛网上残留颗粒,以免造成堵塞问题。还有振筛频率、振幅的稳定也需要经常检查,保证设备处于良好工作状态。经验表明,经过校验和保养设备可以大大减少试验误差,提高筛分效率以及准确性,给土工颗粒分析提供良好硬件支持。

2.3 质量控制措施与精度评价体系

为了保证土工颗粒分析筛分法试验准确度,需要有良好的质量控制措施以及合理的精度评定方法。质量控制措施要覆盖整个试验过程,从取样到最后的数据处理都要做到位。取样时要随机取样,保证样品具有代表性。试验中要有人进行检查,防止人为造成错误。同时,用变异系数来衡量试验的准确性,通过对多次重复试验的结果进行比较,判断试验结果的一致性。而机械筛分比手工筛分更加稳定,变异系数可以减少30%-40%,所以建议使用机械筛分。另外还要根据不同的工程情况,设定不同的精度要求,以适应不同的需要。这样不仅可以减少试验误差,而且可以给土工颗粒分析提供可靠的依据,促进相关技术标准的发展^[4]。

2.4 试验数据处理与误差分析方法

在土工颗粒分析中,试验数据的处理和误差分析是保证结果正确性的重要步骤。近年来,在计算机技术进步背景下,数据处理方式也由以前的手工计算变为现在的自动化分析,大大提升了工作效率以及准确性。但是由于误差来源众多,对于数据处理也有一定难度。首先需要原始数据进行简单处理,去除掉一些不合理数据,使数据更真实可靠。然后利用统计学的方法对试验结果进行分析,求出累计通过率的标准差以及置信区间来衡量试验误差大小。另外,由于筛孔磨损、振筛频率不稳定或者环境湿度等都会对试验结果造成一定影响,所以需要多元回归的方法建立误差预测模型找出主要误差因素并加以控制。同时为了使数据处理更合理,也可以使用机器学习的方法对试验数据进行进一步分析从而改善误差分析工作。这样可以提高试验数据的准确性和可信度,更好地服务于土工颗粒分析工作。

3 结论

土工颗粒分析筛分法试验精度的研究发现了影响试验结果的主要原因及作用机理,对岩土工程中土体分类以及参数确定起到重要作用。筛孔尺寸精度是影响试验可靠性的主要因素,其误差会导致累计通过率误差增大,进而影响颗粒级配曲线准确性。筛分时间和振筛频率合理搭配可以提高筛分效率,减少人为误差。试样质量控制范围及机械筛分优点对实际操作有很好的指导意义。另外,环境条件尤其是湿度对于粘性土颗粒筛分也有一定影响,由于存在颗粒团聚现象,在高湿度下应采取防潮措施。根据试验数据得到的精度预测模型不仅可以反映各种因素对试验精度的影响大小,还可以给出优化参数组合建议,有利于提高试验精度。研究成果的

应用有利于规范筛分试验的操作过程,降低试验误差,提高土体分类准确性。这对于完善相关技术标准有着积极意义,同时也可以为岩土工程勘察和设计提供更加可靠依据。近年来,随着基础设施建设规模不断扩大,岩土工程行业对于土工试验精度要求越来越高,2021-2025年全球岩土工程市场规模年均增长率为5.8%,而试验数据可靠性是决定项目成败重要因素之一,所以本文研究成果不仅具有理论意义,而且具有广阔应用前景,可以促进行业发展^[5]。

参考文献

- [1] 谢方媛. 黏土密度计法颗粒分析试验胶结问题研究[J]. 河北水利电力学院学报, 2025, 35(03): 53-58+82.
- [2] 朱颖, 东炎斌, 张船舶. 激光粒度分布仪水利工程颗粒分析试验研究[J]. 东北水利水电, 2025, 43(08): 37-39+67.
- [3] 吕龙龙, 游耀星, 李学丰, 李霄洋, 伏映鹏. 密度计法与激光粒度仪法在颗粒分析试验中的误差分析[J]. 工程地质学报, 2025, 33(04): 1499-1509.
- [4] 吕兆川, 赵玉军, 杜佳明, 张禹. 潜孔钻机不同孔深下钻孔岩屑分布研究[J]. 装备制造技术, 2025, (03): 29-32.
- [5] 皮溅清, 王明理, 杨汝意, 张海东, 任晓娜, 黄青山, 李萍. 颗粒湿法分级技术及氢氧化铝精准分级的研究进展[J]. 过程工程学报, 2024, 24(06): 647-659.
- [6] 马杰. 激光粒度分析仪在土工颗粒分析试验中的应用[J]. 土工基础, 2022, 36(03): 466-470+496.
- [7] 张建卫. 基于激光粒度分布仪的土工试验颗粒分析参数控制研究[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(09): 7-8+11.