

利用现场试验评估岩土体抗剪强度的新方法研究

郑传虎

广东省建筑材料研究院有限公司 广东 广州 510160

摘要：岩土体抗剪强度是岩土工程领域的关键参数，准确评估其数值对于工程的设计、施工及稳定性分析至关重要。传统评估方法存在一定局限性，现场试验评估因更接近实际工况而受到关注。本文分析了传统方法的不足，详细阐述了多种现场试验评估新方法，包括新型原位测试技术、基于监测数据的反演分析方法以及多源数据融合评估方法等，并对其应用前景与挑战进行了展望，旨在为岩土体抗剪强度评估提供新的思路与方法，推动岩土工程领域的发展。

关键词：现场试验；岩土体抗剪强度；评估方法；原位测试技术；多源数据融合

1 引言

岩土体抗剪强度是岩土工程核心参数，关乎边坡、地基、隧道等工程的安全可靠。大到水利水电、交通基建，小到城市地下空间开发，准确掌握它是工程顺利实施和稳定运行的基础。传统评估依赖室内试验和经验公式，前者因取样扰动、样本有限难反映真实状态；后者受地域、地质条件限制，适用性和准确性不足。现场试验评估方法直接在现场测试，能最大程度减少扰动，更真实反映特性。因此，研究利用现场试验评估新方法意义重大。

2 传统岩土体抗剪强度评估方法的局限性

2.1 室内试验方法的局限性

室内试验通常需要对现场取回的岩土体样本进行加工和制备，这个过程不可避免地会对样本产生扰动，改变其原始结构和应力状态。例如，在取样过程中，样本可能会受到振动、挤压等作用，导致其内部颗粒排列发生变化，从而影响抗剪强度指标的准确性。此外，室内试验的样本数量有限，难以全面反映实际工程中岩土体的空间变异性^[1]。不同位置的岩土体可能由于地质成因、沉积环境等因素的差异，其抗剪强度特性也存在较大不同，而室内试验往往只能获取有限几个样本的测试结果，无法准确反映这种变异性。

2.2 基于经验理论公式的局限性

基于经验的理论公式是在大量工程实践的基础上总结出来的，具有一定的实用性和简便性。然而，这些公式通常是在特定的地质条件和工程环境下得出的，其适用范围受到一定限制。不同地区的地质条件差异很大，岩土体的成因、结构、成分等各不相同，如果简单地套用经验公式，可能会导致评估结果与实际情况存在较大偏差。例如，在一些特殊地质地区，如喀斯特地貌区、冻土区等，传统的经验公式可能无法准确评估岩土体的

抗剪强度。

3 利用现场试验评估岩土体抗剪强度的新方法

3.1 新型原位测试技术

3.1.1 孔压静力触探试验（CPTU）

孔压静力触探试验是基于传统静力触探发展出的新型原位测试技术，在探头中设孔隙水压力测量元件，贯入时可同时测锥尖阻力、侧壁摩擦力和孔隙水压力。

测试原理：贯入时，探头受岩土体阻力，锥尖阻力反映前端岩土体抗剪强度特性，侧壁摩擦力与侧面岩土体摩擦性质有关，孔隙水压力与岩土体渗透性和应力状态相关，分析参数可准确评估岩土体抗剪强度。

在软土地区的应用：软土抗剪强度低、灵敏度高，室内试验易扰动，而CPTU现场试验可避免。根据测试参数，用经验公式或理论模型可算软土不排水抗剪强度 c_u ，如饱和软黏土常用公式 $c_u = \frac{q_c - u_0}{N_k}$ ， N_k 是锥尖阻力系数，由现场和室内对比试验确定。经大量试验对比，该公式在软土地区适用性好，能快速准确评估抗剪强度。

设备与技术要点：CPTU设备有贯入装置、探头和数据采集系统。贯入装置要能恒定速率贯入探头；探头是关键，要保证精度和可靠性；数据采集系统要实时记录并初步处理分析数据^[2]。试验中，建议贯入速率2cm/s，还要定期校准探头。

以某沿海城市软土地基工程为例，该工程场地主要为饱和软黏土，在进行地基处理前，采用CPTU进行现场测试。按照规范要求，在场地内选取了多个具有代表性的测试点，以2cm/s的贯入速率进行试验，并定期对探头进行校准。试验过程中，实时记录锥尖阻力、侧壁摩擦力和孔隙水压力等数据。根据公式，结合现场和室内对比试验确定的 α 值，计算得到各测试点软土的不排水抗剪强度。经过大量试验数据对比分析，发现该公式在此软

土地区适用性良好,能够快速、准确地评估软土的抗剪强度,为后续地基处理方案的设计提供了可靠依据。

3.1.2 扁铲侧胀试验(DMT)

扁铲侧胀试验用扁铲形探头贯入土中,以气压使膜片外扩,测量土体对膜片的抵抗力。

测试原理:该试验能获取膜片扩张压力 p_0 、回缩压力 p_1 和 p_2 极限压力三个重要参数,据此可计算土体侧向基床系数 k_s 、不排水抗剪强度 c_u 等。如黏性土不排水抗剪强度可用公式 $c_u = k(p_0 - u_0)$ 计算, k 是与土的类型和状态有关的经验系数, u_0 为试验时孔隙水压力。

不同土质条件下的应用:此试验操作简便、测试迅速,适用于各种土质条件。在砂土地区,扁铲侧胀试验能够评估砂土的相对密度和内摩擦角,从而间接得出抗剪强度。经过大量试验,已经建立了膜片扩张压力与砂土相对密度和内摩擦角之间的关系。例如,在某砂土地试验中,发现相对密度 D_r 与膜片扩张压力 p_0 之间存在近似线性关系(假设关系式为 $D_r = a \cdot p_0 + b$,其中 a 、 b 为通过试验拟合得到的系数),通过测量膜片扩张压力,可以估算出砂土的相对密度,进而根据经验公式或图表得出内摩擦角 φ 。在黏性土地区,该试验可以直接计算不排水抗剪强度,还能反映土体的应力历史和结构特性。通过分析试验参数,可以区分土体的应力历史,准确评估超固结黏性土的抗剪强度。

设备与技术要点:DMT设备主要有扁铲探头、气压控制和数据采集系统。扁铲探头尺寸形状要合规,膜片材质性能要能准确测抵抗力;气压控制系统要精确控制膜片扩张压力;数据采集系统要实时记录相关参数^[3]。试验时,注意探头贯入深度和膜片扩张速率,建议后者为 $0.02s^{-1}$,还要平整试验现场,避免外界干扰。

3.1.3 全断面岩石掘进机(TBM)掘进参数反演法

在隧道工程中,全断面岩石掘进机(TBM)是一种先进的隧道开挖设备。TBM在掘进过程中,其推进力 F 、扭矩 T 、贯入度 p 等掘进参数与岩石的物理力学性质密切相关。

反演原理:通过对TBM掘进参数进行实时监测和分析,可以反演得到岩石的抗剪强度等参数。建立TBM掘进参数与岩石抗剪强度之间的数学模型是关键。该模型需要考虑岩石的硬度、完整性、节理裂隙发育程度等因素对掘进参数的影响。例如,岩石的硬度越高,TBM掘进时所需的推进力和扭矩就越大;岩石的节理裂隙越发育,掘进过程中的贯入度可能会增加。通过大量的现场试验数据,对模型进行校准和验证,提高反演结果的准确性。

技术要点与挑战:TBM掘进参数反演法需要实时、准确地监测TBM的掘进参数。因此,需要安装高精度的传感器,如推进力传感器、扭矩传感器和贯入度传感器等,并确保传感器的可靠性和稳定性。同时,要建立准确的数学模型,考虑多种因素对掘进参数的影响。由于岩石的复杂性和不确定性,建立准确的模型具有一定的难度。此外,现场环境条件可能会对传感器和测试设备产生干扰,影响数据的准确性。因此,需要采取有效的抗干扰措施,保证测试数据的可靠性。

3.2 基于监测数据的反演分析方法

3.2.1 边坡变形监测数据反演

在边坡工程中,通过安装位移传感器、测斜仪等监测设备,可以实时获取边坡的变形数据。利用这些变形数据,结合边坡的几何形状、地质条件等信息,采用反演分析方法可以评估岩土体的抗剪强度参数。反演分析的基本思路是将边坡看作一个力学系统,已知系统的输入(如荷载、降雨等)和输出(变形数据),通过建立力学模型和优化算法,反求系统的参数(岩土体抗剪强度参数)^[4]。常用的反演分析方法有最小二乘法、遗传算法、神经网络算法等。例如,在某山区公路边坡监测中,通过长期监测边坡的表面位移和深部位移,利用最小二乘法进行反演分析,得到了边坡岩土体的抗剪强度参数。将反演结果应用于边坡稳定性分析,发现与实际情况相符,为边坡的加固治理提供了科学依据。

3.2.2 地基沉降监测数据反演

在建筑物地基施工中,通过埋设沉降板、分层沉降仪等监测设备,可以监测地基在不同施工阶段和使用过程中的沉降情况。利用地基沉降监测数据,结合地基的荷载分布、土层结构等信息,采用反演分析方法可以评估地基岩土体的抗剪强度和压缩模量等参数。对于多层地基,反演分析需要考虑各土层之间的相互作用和变形协调关系。通过建立多层地基的力学模型,采用有限元法等数值计算方法进行正演分析,然后与实际监测的沉降数据进行对比,不断调整岩土体参数,使正演分析结果与监测数据达到最佳拟合,从而得到地基岩土体的抗剪强度等参数。例如,在某高层建筑地基施工中,通过地基沉降监测数据反演分析,发现地基中某一软弱土层的抗剪强度比原设计预计值低,及时采取了加固措施,避免了建筑物出现不均匀沉降问题。

3.3 多源数据融合评估方法

3.3.1 数据融合的原理与优势

多源数据融合是指将来自不同数据源的信息进行综合处理和分析,以获得更准确、更全面的评估结果。在

岩土体抗剪强度评估中,多源数据可以包括现场试验数据、室内试验数据、监测数据、地质勘探数据等。不同数据源具有不同的特点和优势,通过数据融合可以充分发挥各数据源的作用,克服单一数据源的局限性。例如,现场试验数据能够反映岩土体的真实状态,但测试成本较高,数据量相对较少;室内试验数据可以精确控制测试条件,获取详细的岩土体物理力学性质指标,但存在取样扰动问题;监测数据可以实时反映岩土体在工程作用下的动态变化,但监测数据往往受到多种因素的影响,存在一定的噪声和误差。通过数据融合技术,可以将这些不同类型的数据进行有机整合,提高岩土体抗剪强度评估的准确性和可靠性。

3.3.2 多源数据融合评估方法的应用

在实际应用中,多源数据融合评估方法通常采用层次分析法、模糊综合评价法、神经网络法等。以神经网络法为例,它具有强大的非线性映射能力和自学习能力,能够处理复杂的多源数据关系。首先,收集和整理各种数据源的信息,对数据进行预处理,包括归一化、去噪等操作。然后,构建神经网络模型,选择合适的网络结构和训练算法。将处理后的数据作为输入,岩土体抗剪强度作为输出,对神经网络进行训练和测试。通过不断调整网络参数,使神经网络的预测结果与实际值之间的误差最小化。

4 新方法的应用前景与挑战

4.1 应用前景

利用现场试验评估岩土体抗剪强度的新方法具有广阔的应用前景。随着岩土工程领域的不断发展,对岩土体抗剪强度评估的准确性和可靠性要求越来越高。新型原位测试技术能够更真实地反映岩土体的现场状态,为工程设计提供更准确的参数;基于监测数据的反演分析方法可以实时监测岩土体的动态变化,及时调整工程设计和施工方案;多源数据融合评估方法能够充分发挥不同数据源的优势,提高评估结果的准确性和全面性。这些新方法在城市地下空间开发、交通基础设施建设、水利水电工程等领域都将得到广泛应用。例如,在城市地铁建设中,利用新型原位测试技术和多源数据融合评估方法可以准确评估隧道周围岩土体的抗剪强度,为隧道的开挖和支护设计提供科学依据,确保施工安全和工程

质量。在大型桥梁工程中,通过对桥墩基础地基的现场试验和监测数据反演分析,可以及时掌握地基岩土体的抗剪强度变化,保障桥梁的长期稳定运行。

4.2 面临的挑战

尽管利用现场试验评估岩土体抗剪强度的新方法具有诸多优势,但在实际应用中 also 面临一些挑战。首先,现场试验设备的研发和制造需要较高的技术水平和资金投入。一些新型原位测试设备的价格较为昂贵,限制了其在大规模工程中的广泛应用。其次,现场试验数据的处理和分析需要专业的知识和技能。不同类型的现场试验数据具有不同的特点和规律,需要采用合适的分析方法和模型进行处理,这对工程技术人员素质提出了较高要求。此外,多源数据融合评估方法中,不同数据源之间的数据格式、精度和可靠性存在差异,如何有效地进行数据融合和协调是一个亟待解决的问题。同时,现场试验评估方法还受到现场环境条件的限制,如恶劣的天气、复杂的地形等,可能会影响试验的顺利进行和数据的准确性。

结语

准确评估岩土体抗剪强度对岩土工程至关重要。传统方法有局限,利用现场试验评估的新方法优势明显、前景广阔,如新型原位测试、反演分析、多源数据融合等方法提供了新思路。但新方法应用面临挑战,需加强技术研发与人才培养,提升设备性能、完善数据处理等。相信科技发展下新方法会不断完善,未来研究要注重方法结合集成,形成可靠评估体系,还要加强国际合作,推动我国岩土体抗剪强度评估达国际先进水平。

参考文献

- [1]王馨雪.冻融循环下土体抗剪强度试验及应用研究[J].地下水,2024,46(04):308-309+314.
- [2]张晗.基坑开挖对邻近土体扰动的孔压静力触探试验分析[J].中国水运,2023,23(12):147-149.
- [3]吴园平,陈龙洋,王自武,等.扁铲侧胀试验在软土地基处理效果评价中的应用研究[J].土工基础,2025,39(03):476-479+485.
- [4]龙赛琼,陈焕美,蒋文鹏,等.考虑边坡不同演化阶段的岩土体抗剪强度参数反分析[J].水利与建筑工程学报,2020,18(01):16-21.