探究水利工程地基基础岩土试验检测的技术

洪学哲　李云鹏

延吉市规划设计研究院有限公司　吉林　延吉　133001

摘　要：水利工程作为国家基础设施的关键部分，其地基基础的稳定性对工程安全与耐久性起着决定性作用。岩土试验检测技术是评估地基基础性能、保障水利工程质量的核心手段。本文深入剖析水利工程地基基础岩土试验检测的重要性，系统阐述室内试验、原位测试及现场监测等常用技术，分析技术应用中的关键问题，并提出针对性的优化策略，旨在为提升水利工程地基基础质量提供理论支撑与实践指导。

关键词：水利工程；地基基础；岩土试验检测；技术优化；质量保障

引言

水利工程在调控水资源分布、防洪减灾、发电灌溉以及改善生态环境等方面发挥着不可替代的作用，是国家经济发展的重要支撑。然而，水利工程通常规模宏大、结构复杂，且多建于地质条件复杂多变的区域，如河流冲积平原、软土地基、岩溶地区或地震活跃带等。这些区域的地基基础需承受上部结构的自重以及水压力、土压力、地震力等多重荷载作用，其稳定性直接关系到整个工程的安全运行与长期效益。一旦地基基础出现问题，可能导致工程结构损坏、功能失效，甚至引发灾难性后果。因此，如何准确评估地基基础的性能，确保其稳定性，成为水利工程领域亟待解决的关键问题。岩土试验检测技术作为评估地基基础性能的核心手段，通过对地基土体的物理力学性质进行精准测定，为工程设计、施工及长期维护提供科学依据，在保障水利工程安全中发挥着至关重要的作用。

1 水利工程地基基础岩土试验检测的重要性

1.1 保障工程安全性的基石

水利工程地基基础需具备足够的承载力、抗滑稳定性及抗渗能力，以抵御复杂多变的荷载作用。在实际工程中，地基土体的物理力学性质直接决定了其承载能力和变形特性。例如，在软土地基上修建水库大坝时，软土具有高压缩性、低强度和低渗透性等特点，若地基承载力不足或沉降过大，可能导致大坝滑移、开裂甚至溃坝等严重后果。岩土试验检测通过测定土体的密度、含水量、抗剪强度等关键参数，能够准确评估地基的承载能力、沉降特性及抗滑稳定性，为工程设计提供安全保障。这些参数是地基承载力计算、沉降预测及稳定性分析的基础，对于预防工程事故、保障人民生命财产安全具有至关重要的作用[1]。

1.2 优化工程设计的科学依据

不同地质条件下，地基土体的力学性质差异显著。例如，砂土的抗剪强度较高但易液化，黏土的压缩性较大但抗渗性好。岩土试验检测能够准确掌握土体的分层分布、压缩性、渗透性及抗剪强度等特性，为工程设计提供精细化参数支持。在软土地基处理中，试验检测结果可指导选择合适的加固方案，如预压法、水泥搅拌桩、塑料排水板等。通过对比不同加固方案的试验数据，可以评估各方案的加固效果和经济性，从而选择最优方案，避免因设计不合理导致的工程浪费或安全隐患。同时，试验检测数据还可用于验证设计理论的适用性，推动工程设计方法的不断创新与优化。例如，基于试验检测数据，可以建立更符合实际工程状况的地基沉降预测模型，提高设计的准确性和可靠性。

1.3 控制工程质量的关键环节

施工过程中的岩土试验检测可实时监测地基处理效果，确保施工质量符合设计要求。在填筑土石坝时，坝体填筑料的密实度及承载力是影响工程质量的关键因素。通过标准贯入试验、静力触探试验等原位测试方法，可以评估坝体填筑料的密实度及承载力提升情况，及时发现并纠正施工偏差。例如，若试验检测发现某区域填筑料的密实度不足，可及时采取补压、换填等措施进行处理，确保坝体质量。此外，试验检测还可用于监测地基处理过程中的孔隙水压力变化、土体变形等参数，为施工控制提供动态反馈。在工程质量验收阶段，岩土试验检测数据是评估地基基础是否满足设计要求的重要依据。

2 常用岩土试验检测技术分析

2.1 室内试验技术

室内试验通过采集原状土样或扰动土样，在实验室条件下测定土体的物理力学性质。其优势在于能够严格控制试验条件，排除外界因素的干扰，从而获得高精度的试验数据。例如，在密度试验中，采用环刀法或蜡封法可以准确测定土体的密度，反映土体的密实程度。密度是计算土体孔隙比、压缩性等参数的基础数据，对于评估地基的承载能力和沉降特性具有重要意义。含水量试验则通过烘干法、酒精燃烧法等测定土体含水量，分析其对土体强度及变形的影响[2]。含水量是影响土体抗剪

强度、压缩性及渗透性的关键因素，不同含水量下土体的力学性质差异显著。直剪试验与三轴压缩试验是测定土体抗剪强度参数（内摩擦角、黏聚力）的重要方法。直剪试验操作简便，但存在剪切面固定等局限性；三轴压缩试验能更真实地模拟土体受力状态，通过控制围压和轴向压力，测定土体在不同应力路径下的抗剪强度参数，为地基承载力计算提供关键数据。固结试验则研究土体在压力作用下的压缩特性，通过施加分级荷载，观测土体的沉降变化，预测地基沉降量。固结试验结果对于评估地基长期稳定性、指导工程设计具有重要意义。然而，室内试验也存在一定的局限性。土样采集及运输过程中易受扰动，导致试验结果与实际工程状况存在偏差。因此，在室内试验中，需严格遵循土样采集和保存规范，尽量减少土样扰动，提高试验结果的可靠性。

2.2 原位测试技术

原位测试技术直接在工程现场对土体进行测试，避免了土样扰动问题，能够更真实地反映土体的实际状态。标准贯入试验（SPT）是一种常用的原位测试方法，通过标准贯入器击入土体一定深度所需的锤击数，评定土体的密实度及承载力。SPT试验操作简便、成本低廉，广泛应用于砂土、粉土及黏性土的地基评价。然而，SPT试验也存在一定的局限性，如锤击数受多种因素影响，包括锤击能量、落距、贯入器尺寸等，需进行校正后才能准确反映土体性质。静力触探试验（CPT）利用静力将圆锥形探头压入土体，测定探头阻力及侧壁摩擦力，划分土层并估算土体强度参数。CPT试验能连续记录土体阻力变化，提供详细的土层剖面信息，对于评估地基的均匀性和稳定性具有重要作用。载荷试验是评价地基承载力的最可靠方法，通过在拟建建筑物地基上施加分级荷载，观测地基沉降随荷载的变化，直接测定地基承载力及变形模量[3]。然而，载荷试验成本较高且周期较长，通常用于重要工程或地质条件复杂地区的地基评价。旁压试验将旁压器置入土体中加压，测定土体在压力作用下的变形特性，评估土体的承载力及应力 - 应变关系。旁压试验适用于软土、黏性土及砂土的地基评价，能够提供土体在原位状态下的力学参数，为工程设计提供重要依据。

2.3 现场监测技术

现场监测技术通过在工程现场布置监测设备，实时监测地基基础的变形、应力及渗流等参数，为工程安全运行提供动态数据支持。沉降观测是评估地基长期稳定性的重要手段，利用水准仪、全站仪等设备定期观测地基沉降量，分析沉降随时间的变化规律。通过沉降观测，可以及时发现地基的不均匀沉降问题，采取相应的处理措施，避免工程结构损坏。孔隙水压力监测在土体中埋设孔隙水压力计，监测土体中的孔隙水压力变化，评估地基的固结状态及稳定性。孔隙水压力是影响土体有效应力和抗剪强度的重要因素，孔隙水压力的变化可能导致地基液化、滑坡等灾害。因此，孔隙水压力监测对于预防地基灾害具有重要意义。深层水平位移监测通过测斜仪监测地基深部土体的水平位移，及时发现滑坡等潜在风险。在边坡工程或地基稳定性要求较高的工程中，深层水平位移监测是评估地基抗滑稳定性的关键手段。应力监测在基础结构中埋设应力计，监测基础在荷载作用下的应力分布，评估基础的承载能力。通过应力监测，可以了解基础的应力状态，优化基础设计，预防结构破坏。现场监测技术能够实时反映地基基础的工作状态，为工程安全运行提供及时、准确的信息支持。然而，现场监测设备成本较高，且数据解读需结合工程经验进行综合分析，对监测人员的专业素质要求较高。

3 岩土试验检测技术应用中的关键问题与优化策略

3.1 试验方法选择与组合

不同试验方法各有优缺点，且适用范围不同。在实际工程中，应根据地质条件、工程规模及设计要求，合理选择试验方法并组合应用。对于复杂地质条件下的水利工程，单一试验方法往往难以全面、准确地评估地基基础的性能。因此，可结合室内试验与原位测试技术，相互验证试验结果，提高数据可靠性。室内试验可提供土体的基本物理力学性质参数，而原位测试则能反映土体的原位状态及层间变化。例如，在软土地基处理中，先通过室内试验测定土体的基本性质，再利用原位测试技术评估地基处理效果，如采用标准贯入试验或静力触探试验检测加固后地基的承载力提升情况。同时，利用现场监测技术对地基基础进行长期跟踪观测，确保工程安全运行。现场监测数据可用于验证设计理论的适用性，指导施工控制及维护管理。通过多种试验方法的组合应用，可以全面、准确地评估地基基础的性能，为工程设计、施工及维护提供可靠依据。

3.2 试验设备精度与校准

试验设备的精度直接影响试验结果的准确性。因此，应定期对试验设备进行校准与维护，确保设备处于良好工作状态。例如，对于标准贯入试验的锤击系统，应定期检查锤击能量是否符合标准要求，避免因锤击能量不足或过大导致试验结果偏差。锤击能量的不准确会影响锤击数，进而影响对土体密实度及承载力的评估。对于静力触探试验的探头，应定期进行率定，确保探头阻力及侧壁摩擦力的测量精度。探头的磨损或损坏会导致测量数据不准确，影响对土体强度参数的估算。此外，还应建立设备档案，记录设备的校准、维护及使用情况，为试验数据的可追溯性提供保障。通过严格的设备管理和校准制度，可以确保试验设备的精度和可靠性，提高试验数据的质量。

3.3 试验人员专业素质与操作规范

试验人员的专业素质及操作规范对试验结果的准确性具有重要影响。试验人员应具备扎实的岩土工程理论基础和丰富的实践经验，熟悉各种试验方法的原理、操作流程及数据处理方法。同时，应加强试验人员的培训与考核，提高其专业素质和操作技能。在试验操作过程中，试验人员应严格遵守操作规范，确保试验步骤的正确性和试验数据的可靠性。例如，在室内试验中，应严格按照土样采集、保存和试验操作规程进行操作，避免土样扰动和试验误差。在原位测试和现场监测中，应正确安装和调试监测设备，确保设备的正常运行和数据的准确采集。此外，还应建立试验质量监督机制，对试验过程进行全程监督和检查，及时发现和纠正试验中存在的问题，保障试验质量[4]。

3.4 数据处理与分析

试验数据的处理与分析是岩土试验检测的重要环节。在数据处理过程中，应采用科学合理的方法，对试验数据进行整理、统计和分析，剔除异常数据，提高数据的可靠性。例如，在处理沉降观测数据时，可采用最小二乘法进行曲线拟合，分析沉降随时间的变化规律，预测地基的最终沉降量。同时，应结合工程实际情况，对试验数据进行深入挖掘和分析，提取有价值的信息，为工程设计、施工及维护提供科学依据。例如，通过对孔隙水压力监测数据的分析，可以了解地基的固结状态和稳定性，评估地基液化的可能性，为采取相应的工程措施提供参考。此外，还应建立试验数据库，对试验数据进行存储和管理，方便数据的查询和共享，为后续工程提供经验借鉴。

结束语

水利工程地基基础岩土试验检测技术是保障水利工程安全的关键环节。通过室内试验、原位测试及现场监测等技术的综合应用，可以全面、准确地评估地基基础的性能，为工程设计、施工及维护提供科学依据。然而，在实际应用中，仍存在试验方法选择不合理、设备精度不足、人员素质不高及数据处理不当等关键问题。针对这些问题，本文提出了合理选择试验方法与组合、加强设备校准与维护、提高试验人员专业素质及规范操作、科学处理与分析试验数据等优化策略。未来，随着科技的不断进步，水利工程地基基础岩土试验检测技术将朝着智能化、自动化、精细化的方向发展。例如，智能传感器的应用将实现试验数据的实时采集和传输，提高数据采集的效率和准确性；大数据和人工智能技术的应用将对试验数据进行深度挖掘和分析，为工程设计提供更精准的决策支持；虚拟现实和增强现实技术的应用将为试验人员提供更直观、便捷的培训和操作指导。同时，应加强国际合作与交流，引进和吸收国外先进的试验检测技术和经验，推动我国水利工程地基基础岩土试验检测技术的不断创新和发展，为保障水利工程的安全运行和国家的经济发展做出更大贡献。

参考文献

[1]陈建途.水利水电工程地基基础岩土试验检测要点探讨[J].珠江水运，2019，25（9）：43–44.

[2]陈建途.水利水电工程地基基础岩土试验检测要点探讨[J].珠江水运,2019(9):43-44.

[3]洪国良.水利工程地基基础岩土试验检测技术分析[J].资源信息与工程,2018,33(3):150-151.

[4]陈建途.水利水电工程地基基础岩土试验检测要点探讨[J].珠江水运,2019(9):43-44.