

基于水利水电工程地基基础岩土试验检测技术分析

张宏超 许广

内蒙古方圆土木工程质量检测有限公司，内蒙古赤峰市，024000；

摘要：由于水利水电工程关系到周边地区人民的生活质量水平，我国水利水电工程项目得到各界的广泛关注。但是由于水利水电工程量较大，对周边岩石土质有较高要求，建设实施单位必须采用适当的地基基础岩土试验检测方法，充分了解工程施工现场地质条件以及岩石物理特性，合理规划施工方案，保证工程实施。水利水电工程的稳定性和安全性直接关系到工程的正常运行和使用寿命。而地基基础岩土试验检测技术是确保工程质量和安全性的重要手段。通过综合分析常用的地基基础岩土试验检测技术，可以为水利水电工程的设计和施工提供参考。

关键词：水利水电工程；地基基础；岩土试验；检测技术

DOI： 10. 69979/3060-8767. 25. 08. 019

在我国水利工程是非常重要的，其水利工程建设中，为了防止岩土给此工程建设带来一定的影响，为工程建设的质量提供重要的保障，需要实施检测工作，其中这项工作主要针对的岩土的质量。因为在对水利工程施工人员在实际施工中，其对地质条件了解上能起到帮助施工，使得施工人员在实施施工环节时，能结合地质条件。

1 水利水电工程特点

1.1 设计独特性与复杂性

每个水利工程都需根据特定水文、地质及功能需求进行个性化设计，不存在完全相同的工程方案；同时需综合考虑水文、地质、生态等多重因素，设计具有较强的复杂性。施工条件复杂，水流控制要求高：需通过导流、截流等措施控制自然水流。地质挑战大：常遇到断层、软弱夹层、渗漏等复杂地质问题。露天作业受限：受季节、气候（如洪水、低温）影响显著。工程规模庞大：土石方开挖、混凝土浇筑量巨大。功能综合性与多功能协调大型工程常兼具防洪、发电、航运、供水等多重功能，需协调各目标间的矛盾。

1.2 安全标准严苛，失事后果严重

一旦溃坝或失效，将引发下游毁灭性洪灾，因此对工程质量与耐久性要求极高。环境影响深远，工程显著改变区域水文生态，需同步实施水土保持、鱼类通道等环境保护措施，兼具生态效益。投资大、周期长，项目需巨额资金支持（如南水北调），建设工期常达数年甚至数十年。施工组织难度高，枢纽内建筑物（坝、闸、电站等）密集，施工易相互干扰，需精细协调。

2 水利工程岩土质量检测的重要性

水利工程岩土质量检测是保障工程安全、优化设计

和控制成本的核心环节，其重要性主要体现在以下方面：

2.1 保障工程安全稳定

预防地质灾害，岩土质量直接影响地基承载力，检测可发现软弱层、断层等隐患，避免施工或运行中发生滑坡、坍塌、渗漏等事故。不良地基若未提前处理，可能引发坝体失稳甚至决口灾难。控制长期风险，隐蔽性强的岩土缺陷可能在运行期逐渐恶化，定期检测能及时修复微小损伤，确保工程在极端工况下的耐久性。

2.2 支撑工程设计与施工

提供关键设计参数，通过岩土物理力学性质测试（如承载力、抗剪强度），为坝体结构、基础形式等设计提供科学依据，避免盲目设计导致的资源浪费或安全隐患。优化施工方案，原位测试（如静力触探、标准贯入试验）可实时反馈地质条件，指导开挖支护、降水等措施，降低施工难度和风险。

2.3 降低全周期成本

减少返工与维护费用，早期发现岩土问题可避免后期地基加固、结构修复等高额支出。检测费用仅占工程总造价极小比例，却能显著降低运维成本。提升资源利用效率，确保输水渠道、管道等设施的密封性与稳定性，减少水资源渗漏损失，提高灌溉和供水效益。

2.4 适应复杂地质环境

我国地质条件复杂多样（如淤泥质土、膨胀岩等），岩土质量可变性强。检测能精准识别区域性岩土特性差异，制定针对性解决方案。岩土检测主要方法对比，室内试验，物理力学性质测试，获取全面岩土参数，结果全面，但脱离实际地层环境。原位测试，静力触探、荷

载试验,现场直接评估天然岩土性质,数据直观,但耗时耗力。现代技术,探地雷达、瑞利波法,快速探测地下异常体,高效无损,需结合传统方法验证。特殊岩土(如湿陷性黄土、溶洞地层)需采用综合检测手段,单一方法易遗漏风险点。

3 水利水电工程地基基础岩土试验检测措施

水利水电工程地基基础岩土试验检测措施需覆盖全流程质量控制,具体包括以下关键环节与技术方法:

3.1 岩土样本处理措施

取样规范,依据地质条件和土层分布均匀布点,控制取样深度并重点提取基底、滑坡面等关键层位样品。采用原状土样采取法:通过钻孔压入取土器或在基坑直接取样,确保样本代表天然结构;边坡区域需评估土体蠕变及地下水影响。同一场地样本不少于 3 组,标注上下位置及重要性。样品封存与运输,土壤样本:取土筒缝隙以胶布密封并浇注融蜡,空隙处填充近似天然湿度的扰动土。岩石样本:泥质岩需纱布包裹后融蜡浇注,硅质硬岩可免处理;均需标注岩层方向。样本随送样单及时送检,运输过程避免振动和温湿度剧变。

3.2 核心检测技术

原位试验技术,平板荷载试验:测定地基承载力及变形模量,适用于各类土体与软质岩。螺旋板荷载试验:软土、砂类土中测定预定深度的承压板沉降量。标准贯入试验:粘性土、砂类土层中记录贯入 30cm 的锤击数(63.5kg 落锤)评估密实度。动力触探试验:通过探头打入难度判定粘性土、碎石类土工程性质。实验室检测技术,物理力学性质测试:包括密度、含水率、渗透系数、抗压强度及剪切试验(直剪/三轴)。冻土试验:采用有机玻璃试样盒与 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 恒温箱,监测 72 小时冻胀量。岩芯抗压强度计算:公式 $f_c = 4P/(\pi d^2)$ (d 为芯样直径),要求钻头外径 $\geq 100\text{mm}$,芯样长度 >10 倍骨料粒径。

3.3 特殊场景控制措施

冻胀地基:恒温条件下监测原状土与扰动土冻胀变形差异。桩基检测:高应变法信号采集每桩 ≥ 3 锤,完整性按 I-IV 类分级评价。水平承载试验:建立 H-Y 曲线与 $\lg H - \lg Y$ 曲线判定地基反力系数。

3.4 质量控制要点

设备校准,剪切试验千分表量程 2mm(分度值 0.001mm),冻胀监测位移传感器分度值 0.01mm。数据一致性,波速计算取 5 根 I 类桩实测均值;动泊松比需同步

采集轴向与径向应变。试验精度,比重平行试验允许差值 ± 0.0211 ;样本含水率测定误差 $\leq 0.5\%$ 。

4 水利水电工程地基基础岩土试验检测技术

4.1 瑞利波法

瑞利波法在水利水电工程地基基础岩土试验检测中是一种高效的无损原位测试技术,其核心原理是通过分析人工激发的瑞利波频散特性和传播速度,反演地下介质的物理力学参数。主要技术特点和应用如下:(1)技术原理与特性,基本原理:瑞利波是由纵波和横波垂直分量在自由表面干涉形成的面波,具有频散特性(传播速度随频率变化)和波速与岩土物理性质的强相关性。通过瞬态或稳态激振采集信号,经频谱分析和互功率谱相位展开获得不同深度对应的瑞利波速度 V_R ,进而推算剪切波速 V_s 。无损高效:无需钻孔,对场地限制小,检测速度快、成本低,且能避免传统钻探在松散地层(如砂卵石层)中的困难。(2)水利工程中的核心应用方向,地层划分与基岩埋深探测:,适用于水库坝址、渠道等复杂地形,精准识别第四系覆盖层厚度、基岩起伏界面及软弱夹层分布。案例:某水库坝址利用瑞利波法成功确定浅部基岩埋深及地层分布规律。岩土力学参数评价:通过建立 V_s 与抗剪强度、承载力等参数的定量关系(如基于莫尔-库仑强度理论的关系式),实现地基土特性的定量评价。特殊地质体检测:有效探测溶洞、土洞、饱水薄砂层等隐蔽地质缺陷,为地质灾害防治提供依据。施工质量控制:强夯/注浆效果检测:通过加固前后波速变化,评估地基处理均匀性和承载力提升效果。填筑密度监测:依据波速与密度的相关性,检测土石坝等填筑体压实质量(DL/T5129 规范明确提及该方法)。

4.2 探地雷达技术

在水利水电工程地基基础岩土试验检测中,探地雷达技术(GPR)因其高效、无损、高分辨率等优势已成为核心检测手段之一,主要应用于以下方面:(1)核心应用领域,裂缝与缺陷探测,可精准识别坝体、堤防中的干缩裂缝、温度裂缝及层间裂缝,尤其是贯穿裂缝对结构安全的威胁。通过电磁波在裂缝(含空气介质)与周围介质的介电差异实现反射信号捕捉,结合波形振幅变化判定裂缝位置及深度。对地下空洞、疏松区域敏感,适用于因土体夯实不均或水流冲刷形成的洞穴探测,预防管涌等险情。结构完整性评估,用于大坝底板、水闸等混凝土结构的内部病害检测(如疏松、脱空),替代传统钻芯法,避免结构破坏。例如徕卡 DS2000 雷达

在西北某水闸项目中成功定位底板侵蚀疏松区。监测岩土密实度、含水率变化,评估地基沉降风险及长期稳定性。隐蔽设施与异物定位,识别涵管、闸管等埋设物位置,解决淤泥堵塞导致的泄洪障碍,依赖管壁与土体的介电常数差异生成清晰图像。探测施工遗留异物或地质异常体,保障基础承载力均匀性。(2) 技术优势与原理,非破坏性:高频电磁波(MHz-GHz)穿透介质后,根据反射波双程走时、振幅及相位差异解析地下结构,无需钻孔或开挖。适应性:兼顾分辨率与穿透深度(高频分辨率达厘米级,低频穿透更深),适用于山区、河谷等复杂地质环境。高效性:现场快速连续扫描,支持长期监测数据对比,显著降低检测成本与周期。

4.3 静载试验检测技术

水利水电工程地基基础岩土的静载试验检测技术主要用于评估地基承载力及变形特性,是确保工程安全的关键环节。其主要技术要点如下:(1) 试验目的与原理,核心功能,通过模拟地基实际受力状态,直接测定岩土体在分级荷载下的沉降量,从而确定地基承载力和变形模量。适用于浅层地基、深层地基及桩端土层测试,提供设计所需的可靠参数。试验装置,由承压板、加荷系统、反力系统(堆载平台或锚桩反力梁)、观测系统四部分组成。承压板需具备足够刚度,常用圆形或方形钢板,面积要求:一般岩土不少于 0.25m^2 ,软土和人工填土不少于 0.5m^2 。复合地基试验时,压板面积需匹配单桩或多桩承担的处理面积。(2) 关键技术实施流程,加载方式,慢速法(主流):分级加载并维持荷载至沉降稳定,每级增量按预估极限荷载的 $1/10\sim 1/8$ 控制。快速法:每级荷载维持时间较短,适用于特定工况。位移测量规范,位移计安装于桩顶以下 200mm 处,桩头需露出地面 $\geq 200\text{mm}$,避免破坏桩周土层。反力系统要求,堆载法:堆载量需 $\geq$ 预估最大荷载的 1.2 倍,平台中心与试桩中心对齐,重物重心与平台中心一致,防止倾斜塌方。锚桩法:锚桩需经低应变或声波检测验证完整性,确保反力稳定。

4.4 钻孔取芯检测技术

水利水电工程地基基础岩土钻孔取芯检测技术是通过钻取岩土芯样,直接获取地下岩土层物理力学参数的核心手段,其技术要点及规范如下:(1) 设备与材料要求,钻机选型,应采用液压高速岩芯钻机,额定转速 $\geq 790\text{r/min}$,配置压力 $\geq 1.5\text{MPa}$,并配备稳固底座及钻塔,确保钻探垂直度。钻具配置,优先单动双管钻具:适用于破碎带、软弱夹层等复杂地层,保障岩芯完整率。金刚石钻头:外径 $\geq 100\text{mm}$ (骨料粒径较大时需 ≥ 3 倍骨料粒径),胎体无裂纹或缺损。辅助设备,孔口管、扶正稳定器、芯样箱及编号标签,确保芯样有序存储。(2) 钻孔工艺关键点,定位与设计,依据地质勘察资料均匀布点,重点覆盖基底、滑坡面等关键层位。孔深需穿透持力层,终孔直径满足取芯要求。钻进控制,冲洗液护壁:配制泥浆维护孔壁稳定,防止塌孔。参数调控:破碎地层降低转速及进尺速度,减少岩芯扰动。岩芯采取率,黏性土层 $\geq 90\%$,破碎岩层 $\geq 65\%$,完整岩层 $\geq 85\%$,不合格需补采。

综上所述,岩土质量检测是水利工程的“地基性工作”,贯穿勘察、设计、施工及运维全周期。其核心价值在于以微小成本规避重大风险,实现工程安全、经济与可持续性的统一。检测需遵循《水运工程地基基础试验检测技术规程》(JTS 237)等强制性标准,涵盖47项土工试验方法与16类原位技术。样本代表性与操作规范性是避免工程事故的关键,如边坡取样需考虑季节性蠕变影响。

参考文献

- [1] 李东. 探究水利工程地基基础岩土试验检测的技术[J]. 珠江水运, 2020(3): 47-48.
- [2] 许绍. 水利水电工程地基基础岩土试验检测技术[J]. 工程技术研究, 2019(24): 96-97.
- [3] 林阳. 浅谈水利工程地基基础岩土试验检测的技术[J]. 门窗, 2019(18): 227.
- [4] 莫浩. 浅析水利水电工程地基基础岩土试验检测技术[J]. 建材与装饰, 2019(16): 286-287.
- [5] 陈轲. 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.