

水利水电工程地质勘察新方法应用

范世锋

南昌中裕建筑工程监理咨询有限公司 江西南昌 330000

摘要: 随着科技的发展,水利水电工程地质勘察方法也在不断进步。传统的勘察方法已经不能完全满足现代工程的需求,因此,新方法的应用显得尤为重要。本文将探讨几种水利水电工程地质勘察的新方法,并分析其在实际工程中的应用效果和优势。

关键词: 水利水电工程;地质勘察;新方法;应用

引言

水利水电工程是国家基础设施建设的重要组成部分,其安全性和稳定性直接关系到国民经济的发展和人民生活的质量。地质勘察作为水利水电工程设计和施工的基础,其准确性和可靠性对于工程的成败至关重要。随着勘察技术的不断进步,新方法的应用为地质勘察工作带来了新的机遇和挑战。

一、水利水电工程地质勘察基本要求与新方法概述

(一) 工程地质勘察的基本要求

水利水电工程,例如大坝、引水隧道、地下厂房等,其建设规模大、结构复杂、运行环境特殊,对地基的稳定性、工程区域的渗流控制能力、边坡的稳定性以及不良地质现象的处理都有着极高的要求。因此,工程地质勘察的首要任务就是全面、准确地查明建设场地的详细工程地质条件,包括地层岩性、地质构造、水文地质特征、物理力学性质等。勘察工作需要系统收集和分析这些信息,并在此基础上对场地的整体适宜性进行科学评价,判断是否存在影响工程安全的重大地质缺陷。这些详实的勘察成果是后续工程设计、施工方案制定以及工程长期安全运行的基础依据,直接关系到工程的经济合理性、技术可行性和运行安全性。

(二) 传统勘察方法的局限性

尽管传统的地质勘察方法,如钻探、坑探以及室内物理力学性质试验等,在工程地质勘察领域奠定了基础并仍在广泛应用,但它们在应对现代水利水电工程日益增长的复杂性和精度要求时,显现出一定的局限性。钻探和坑探等方法通常效率较低,成本较高,尤其是在地形复杂或地质条件恶劣的区域,作业难度大且安全风险较高。此外,这些方法往往只能提供点、线状的信息,

对于大范围、三维空间的复杂地质体(如隐伏断层、溶洞、软弱夹层等)的识别和连续性描述能力有限,难以全面把握场地整体地质结构。室内试验虽然能提供较精确的参数,但试样采取和试验过程可能引入误差,且难以完全模拟原位复杂的应力状态和水文地质条件^[1]。

(三) 新方法技术体系简介

为了弥补传统方法的不足,提高勘察效率和精度,一系列新的勘察方法和技术体系已被引入并应用于水利水电工程地质勘察中。这些新方法主要可以归纳为几大类:首先是地球物理勘探技术,包括地震勘探、电法勘探、电磁法勘探等,它们通过探测地球物理场(如弹性波速、电阻率、电磁场等)的分布变化,来推断地下介质的结构和性质,具有覆盖范围广、效率高、成本相对较低的特点,尤其擅长探测隐伏的地质构造和异常体。其次是遥感技术,利用卫星或航空平台获取地表及近地表信息,通过解译地质构造、岩性分布、地形地貌等,为大范围地质调查和初步评价提供宏观依据。再次是原位测试技术,如旁压试验、波速测试、十字板剪切试验等,这些方法直接在工程现场对岩土体进行测试,能够获得更接近实际工况的力学参数和水文地质参数,避免了取样扰动的影响。此外,三维地质建模技术也日益成为重要的辅助手段,它综合运用各种勘察数据,构建出直观、动态的地下地质结构三维模型,有助于工程师更全面地理解地质条件,进行空间分析和设计优化^[2]。

二、典型新方法在勘察中的应用原理

(一) 地球物理勘探方法的应用原理

地球物理勘探方法的核心原理是利用地下不同介质(如岩层、土壤、水体、空洞等)之间存在的物理性质差异,通过人工激发或天然存在的物理场(如弹性波、电磁场、重力场等)与这些介质发生相互作用,然后接

收并分析这些场在介质中传播或分布时所发生的变化信息,进而推断地下结构特征和岩土体性质。例如,地震波勘探通过人工激发地震波,利用波在不同介质分界面上的反射、折射和透射特性,来探测覆盖层的厚度、基岩面的起伏形态、隐伏的断层破碎带位置以及溶洞等不良地质体的分布。电法勘探则是通过向地下供入电流,测量地表或井中不同位置的电位差或电阻率变化,依据不同岩土体导电性的差异,来推断地下地质体的分布和性质。探地雷达(GPR)则利用高频电磁波在地下介质中的传播和反射,来探测浅层地质结构,如探测浅层覆盖层厚度、探测浅埋的管道或洞穴、识别浅层滑坡体的滑动面等。在水利水电工程中,这些方法的应用思路通常是针对特定的勘察目标,选择合适的物探方法,通过布置测线或测点,获取地下物理场数据,再通过专业的数据处理和解释,将物理场的变化转换为地质信息,从而实现探测覆盖层厚度、确定基岩面高程、圈定断层破碎带范围、识别岩溶发育区、评估滑坡体范围和深度的目的。

(二) 遥感技术的应用原理

遥感技术主要依赖光学遥感和雷达遥感两种成像原理。光学遥感利用传感器接收地表物体对太阳光的反射或自身发射的电磁波信息,形成图像。由于不同地物(如岩石、土壤、植被、水体、人工建筑等)对不同波段电磁波的反射或辐射特性不同,因此可以通过分析图像的色调、纹理、形状等信息,来识别地物类型、判释区域地质构造、分析地形地貌特征。雷达遥感则利用主动向地面发射微波,并接收地物后向散射的电磁波信号来成像。其优势在于可以穿透云雾、在夜间工作,并且对某些地物(如土壤湿度、植被结构)的探测具有特殊敏感性。利用雷达图像的纹理、强度、相位等信息,可以进行地质构造解译、地形地貌分析,特别是通过重复观测获取的干涉雷达数据,还能用于监测地表的微小变形,如大坝、边坡的位移。在水利水电工程中,遥感的应用思路是利用这些图像信息,通过专业的图像处理和解译技术,进行区域地质构造判释(如识别断层、褶皱)、进行地形地貌分析(如判断河谷形态、地貌单元划分)、监测地表变形(如评估潜在滑坡体的稳定性)^[3]。

(三) 原位测试新技术的应用原理

原位测试新技术是指直接在工程现场的岩土体中进行的物理力学性质测试方法,其原理是避免或最大限度地减少取样、运输、制备过程中对岩土体原始结构和应力状态的扰动,从而获取更接近实际工况的参数。例如,

旁压试验是通过在钻孔中放置一个可膨胀的圆柱形腔体,向腔体内分级施加压力,使其径向扩张挤压孔壁岩土体,同时测量腔体压力与径向位移的关系,依据弹性理论反算岩土体的变形模量和旁压强度。扁铲侧胀试验(DMT)则是将带有扁平刃口和压力传感器的探杆压入土中,在预定深度向刃口后的土体施加气压,使刃口侧向膨胀,测量压力与位移的关系,据此评价土体的应力状态、静止侧压力系数、变形模量等。面波测试(如瑞利波勘探)则是通过在地表激发弹性波,利用面波(主要是瑞利波)在近地表介质中传播速度与其剪切波速相关的原理,通过分析面波的频散特性,反演计算不同深度岩土体的剪切波速,进而评价其动力学特性,如密实度、均匀性等。这些原位测试新技术的应用思路在于,根据工程需要评价的岩土力学性质(如强度、变形参数、密实度、应力状态等),选择合适的测试方法,在代表性地点进行现场测试,直接获取岩土体的原状参数,用于评价地基承载力、判断土体或岩体的密实程度、评估岩土体的变形特性等,为工程设计提供更可靠的基础数据^[4]。

(四) 新方法间的协同应用思路

在实际的工程地质勘察中,单一新方法往往难以完全满足所有勘察需求,因此需要将不同新方法与传统勘察方法(如钻探、坑探、室内试验)有机地结合起来,形成一种协同工作的模式。这种模式通常遵循“物探先行、钻探验证、综合分析”的原则。首先,利用地球物理勘探等物探方法对整个勘察区域进行大范围的快速扫描,初步查明主要的地质结构和异常体分布,圈定需要重点关注的区域。然后,在有物探异常或地质条件复杂的关键部位,布置钻探或坑探工程,获取岩心、土样,进行直接观察和取样测试,验证物探解释结果的准确性,并获取详细的地质资料和室内试验参数。最后,将物探、钻探、取样试验以及遥感解译等多种来源的信息进行综合集成和分析,相互印证,取长补短,形成对场地地质条件更全面、更准确的认识。例如,物探可以提供大范围的结构信息,但分辨率有限;钻探可以提供精确的点位信息,但成本高、覆盖范围小;室内试验参数可能因取样扰动而失真。通过这种协同模式,可以扬长避短,既提高了勘察的效率,又显著提升了勘察成果的精度和可靠性,为后续工程设计提供更坚实的基础。

三、新方法应用中的挑战与实施要点

(一) 应用中的主要挑战

在应用这些先进的勘察新方法时,会面临一系列实际操作中的挑战。例如,在地质构造极其复杂的区域,

如存在强风化带、地下水活动频繁或存在大量金属杂物的场地，地球物理勘探方法所接收到的信号很容易受到各种因素的干扰，导致信噪比降低，难以清晰识别有用的地质信息。此外，物探数据本身常常具有多解性，即同一组观测数据可能对应多种不同的地质解释方案，需要专业人员根据地质背景进行甄别。同时，一些新方法所使用的设备价格昂贵，操作和维护的技术门槛较高，对操作人员的专业素养和经验要求严格。另外，如何将新方法与传统勘察手段（如钻探、测绘）进行有效结合，并形成一套标准化、流程化的工作模式，目前在行业内尚缺乏统一规范，这也在一定程度上限制了新方法应用效果的稳定性和可重复性^[5]。

（二）实施中的关键点

为了有效应用这些新方法并克服上述挑战，在实施过程中需要关注若干关键环节。首先，方法的选择必须与具体的勘察目的紧密结合，并充分考虑场地的实际地质条件。例如，对于探测浅层覆盖层，探地雷达可能比地震波勘探更合适；而对于深部基岩面的确定，则需要依赖地震波勘探。其次，数据采集过程中的质量控制至关重要，包括确保仪器设备的性能稳定、测点定位准确、参数设置合理、现场记录完整等，任何环节的疏忽都可能导致后续解释工作的困难。再次，数据的解释分析不能仅依赖软件自动处理的结果，必须由具备扎实地质基础知识和丰富实践经验的专业人员进行。解释过程需要综合运用区域地质资料、物探异常特征、钻探揭示情况等多种信息源，进行逻辑严密的综合判断，以减少多解性带来的不确定性。最后，人员的专业培训是保障新方法成功应用的基础，相关人员需要系统学习新方法的理论知识、操作技能和解释方法，不断提升专业素养。

（三）效果评估与质量控制

对新方法应用效果的客观评估和建立完善的质量控制体系是确保勘察成果可靠性的重要保障。评估新方法应用效果的方式可以包括：将其结果与传统的钻探、坑探等直接勘察手段所获得的信息进行对比验证；利用钻孔资料对物探解释成果进行重点区域的校核；或者在工程实施后，对比勘察预测结果与实际揭露的地质情况。通过这些对比分析，可以量化新方法在特定条件下的准确性和有效性。在此基础上，建立相应的质量控制体系

尤为重要。这包括制定详细的技术规程和操作指南，明确各环节的质量标准和检查要求，对数据采集、处理、解释等全过程进行严格的质量监控，确保每个步骤都符合规范。这种系统化的质量控制不仅有助于及时发现和纠正问题，提升当前项目的勘察质量，也能为未来类似工程的应用积累经验，持续改进新方法的适用性和可靠性。

结语

水利水电工程地质勘察新方法优势显著，能满足工程地质信息需求，提升勘察效率与精度。地球物理勘探等新方法凭借独特原理和思路，提供更全面准确信息，协同应用可优化工作模式、提高效率。但应用也面临挑战，如信号干扰、多解性难题、设备成本高、操作要求高及缺乏与传统方法结合的标准化流程等。推广应用新方法需注意要点，包括合理选方法、严控数据采集质量、综合运用知识和信息源分析及加强人员培训。建立效果评估和质量控制体系也很关键，可通过与其他手段对比、钻孔验证确保效果可靠。未来，新方法有望完善发展，精度和可靠性将提高，与传统方法融合更紧密，形成科学高效体系，为水利水电工程提供坚实地质基础，保障工程安全稳定运行。

参考文献

- [1] 刘斌东. 遥感技术在水利水电工程地质勘察中的应用[J]. 模型世界, 2022(2): 52-54.
- [2] 李清波, 杜朋召. 泾河东庄水利枢纽工程地质BIM设计与应用[C]// 水利水电工程勘测设计新技术应用——2019年度全国优秀水利水电工程勘测设计奖获奖项目、第二届中国水利水电勘测设计BIM应用大赛获奖项目. 2020.
- [3] 超闫. 水利水电工程地质勘测方法及技术应用分析[J]. 水电水利, 2020, 4(2). DOI: 10.32629/hwr.v4i2.2790.
- [4] 王国岗, 赵文超, 陈亚鹏, 等. 浅析数字孪生技术在水利水电工程地质的应用方案[J]. 水利技术监督, 2020(005): 000.
- [5] 师华坤. 水利水电工程地质勘察中的问题分析[J]. 水利电力技术与应用, 2022. DOI: 10.37155/2717-5251-0403-20.