

# 深厚覆盖层区域水利工程地质勘察方法研究

文 / 王茂才 海南省水利水电勘测设计研究院有限公司

**摘要：**深厚覆盖层区域的水利工程勘察面临土层结构错综、物理力学性质不均等挑战，针对这一困厄，本文借助剖析现有的勘察技术和渠道，主张钻探与采样技术、地质雷达等现代勘查办法的综合施行，依托连贯的数据分析与结果审析，可精准获取深厚覆盖层的土层特性及地下水流动数据，为水利工程规划与实施给出可靠佐证，该研究显著增进了深厚覆盖层区域勘察的精细水平与效率，维护了工程建设的安全水平与稳定水平。

**关键词：**深厚覆盖层；水利工程；地质勘察；钻探技术；地质雷达

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.079

## 引言

于深厚覆盖层区域开展的水利工程建设面临土层分布不均、地下水位起伏等地质问题，这些问题直接关系到工程的稳定与安全可靠度，以往的勘察办法难以面对深厚覆盖层区域复杂地质情形，造成勘察数据存在错漏，对工程设计和施工质量形成掣肘，搜寻并采用更精准、科学的勘察技术极为关键，在探求契合深厚覆盖层区域的水利工程勘察举措，提出钻探、地质雷达等技术的综合实操，以强化勘察数据的精准水平和可靠水平，为水利工程的设计与实施给予恰当支持。

### 一、水利工程勘察背景

#### （一）深厚覆盖层的地质特点

该层是由多样岩土层组成，含有砂壤土、膨胀黏土、砾石等不同颗粒的物质，其物理与力学性质会随地下水的存在而变动。深厚覆盖层存在对地下结构跟水利工程设计提出特别要求，在河床与水域旁边，深厚覆盖层往往因长期水文条件的变化而出现不同程度的密实或松垮，引起土壤力学状况不稳定，这种不稳定性使得常规地质勘察手段在该区域采用应用方式时面临挑战，尤其是显示深厚覆盖层情形的含水层和杂乱沉积层结构，使勘察工作碰到了更大阻碍情形，要采用精准的探测方法和科学的分析办法来评估其对建筑物基础承载力及稳定性的影响走向。

#### （二）水利工程地质勘察的重要性

水利工程地质勘察是水利工程建设的核心基础工作，其用意是给工程设计及施工供给准确的地质根据，使水利工程呈现安全、经济、可行局面，在深厚覆盖层地带，精准的地质勘察意义非凡<sup>[1]</sup>。采用对深厚覆盖层的详细探查，能够探明覆盖层的厚度、分布状态、物理力学特点以及地下水的赋存与流动情形。这些信息对于水利工程设计意义重大，比如在抉择坝址的时候，必须考量覆盖层的承载能力与渗透稳定性，以此保障大坝的安全性。在施工建设阶段，精准的地质勘察数据能推动施工方案优化工作，降低施工风险水平，提高施工效率。

#### （三）现有勘察技术的局限性

传统意义上的水利工程地质勘察技术主要涉及工程地质测绘、钻探、物探等方法。在深厚覆盖层所在的区域，

这些方法显现出一定的局限。工程地质测绘多依赖地表调查，难以掌握覆盖层内部的详细资讯。钻探虽可拿到覆盖层的岩土样本，然而在深厚覆盖层分布区域，钻探深度数值大，且所钻的孔数量不多，无法全面展现覆盖层的复杂情形，物探方法虽可迅速拿到覆盖层的物理性质情况。然而其分辨率欠佳，较难精准区分不同成因的沉积物，传统的勘察手段难以契合深厚覆盖层区域水利工程对地质勘察精度要求。

## 二、勘察方法概述

### （一）工程地质测绘

工程地质测绘是水利工程地质勘察的基础工作，主要凭借实地查勘与测绘手段，掌握区域地质构造、地貌轮廓、岩土体分布以及不良地质现象等。在深厚覆盖层所在的区域，经工程地质测绘，可初步明确覆盖层的分布范围、厚度变化的走向以及周边地质体的接触状态<sup>[2]</sup>。采用高精度的测绘办法，采用全球定位系统（GPS）、遥感（RS）和地理信息系统（GIS）等3S技术联合，可更精确地采集覆盖层区域的地貌特征及地质构造信息，为后续全面勘察给予宏观意义的引导。

### （二）钻探技术

水利工程地质勘察时，钻探是获得岩土样品及详细地质信息的重要途径。在深厚覆盖层地带。钻探技术的运用十分关键，钻探设施及技术不断优化，新型钻机的转速、扭矩及稳定程度显著提高，广泛采用金刚石钻头极大提升了钻进效率和岩心采取率。针对深厚覆盖层内常见的砂卵石层、软弱夹层及破碎带等复杂地层情形，开发出多种钻进取样新手段，就像用SM植物胶与MY2A植物胶冲洗液的金刚石钻进技术，成功破除了这些地层钻进与取样的难关。实施绳索取芯钻探工艺，减少了上提钻具的次数，提高了钻探作业效率，同时保障了岩心的完整性及代表性。

### （三）工程物探

工程物探是采用地球物理方法去探测地下地质体性质与分布规律的技术方式。在深厚覆盖层存在区域，工程物探方法应用后可迅速获取覆盖层物理性质信息，为地质勘察给予重要的参考支撑。常见的物探方法有地震、电磁、电法勘探等类型。地震勘探借助人工方式激发弹

性波，凭借波的传播规律分析地质构造与地层界定，适宜开展深厚覆盖层区域地质结构探测工作<sup>[3]</sup>。电磁勘探所采用的地质雷达技术是高分辨率无损探测方法，可以有效鉴别覆盖层内的断裂带、含水层与软弱夹层等不良地质体。电法勘探借助测定地下介质的电阻率变动，研判地质体的分布及相关性质，尤其适合用来探明覆盖层岩性的变化与地下水分布。

**（四）综合勘察方法的应用**

在深厚覆盖层区域开展水利工程地质勘察之际，单一的勘察手段往往无法全面精确反映地质情形。综合采用多种勘察方法是提升勘察精度的关键。结合工程地质测绘采得的宏观地质信息，有目的地安排钻探与物探作业，借助钻探取得岩土样本开展室内试验，依托物探数据开展综合研讨，可更精准地勘定覆盖层的物理力学性质和地下水流动规律。伴随计算机技术与数据分析方法的进步，开展针对勘察数据的三维建模与数值模拟操作，可进一步提高对复杂地质条件的认知与预测水平。

**三、深厚覆盖层区域的勘察技术**

**（一）钻探与采样技术**

钻探的主要意图是借钻孔获取不同深度的土层样本，借此把握土层的分布、组织以及物理力学特点，在实际操控中，钻探首先是依靠选取恰当的钻孔位置来明确区域代表性，并依照土层变化的情形判定钻孔深度，钻孔的深度一般根据土层的厚度、工程需求和地质条件判定，钻探时采用的钻机设备一般就为机械钻机或者液压钻机，这些设备可契合别样土层的钻探需求，有着良好的穿透实力与稳固性，处在深厚堆积层覆盖地段，鉴于土层结构的繁杂性，钻探往往需要深入数十米甚至更深的阶段。

钻探事宜的阶段，钻头的甄选格外关键，一般采用适宜的钢珠钻头或三叉钻头，以保障可以有效破碎地层并维护样本的完好性，当进入钻探操作阶段，老是伴随着泥浆循环系统的选择，凭借注入的泥浆冷却钻头并带走破碎的岩土颗粒，维护钻孔稳定加上样本的精准度<sup>[4]</sup>。样本采集方式选取分层抽样法，也就是遵照不同深度的土层进行分层采样，保证各层土样的代表性与精准度，重点留心躲开交叉污染，保障各土层样本互不干扰，处在深厚覆盖层地段，基于土壤的含水量高，土样往往体现出较强的湿润性，这时需拿密封袋或专用样品盒实施保存，制止土壤水分引起的流失或污染，以防后续实验数据受其干扰，在把样本采集好后，土样处理及分析为钻探流程中不可忽略的一个环节。

**（二）地质雷达与其他探测方法**

地质雷达技术主要是借助发射高频电磁波并接收反射波的原理，来探测地下物质的特性<sup>[3]</sup>。地质雷达的探测深度跟分辨率受多种成因制约，包含诸如雷达频率、土壤类型这般的水文相关条件，在深厚覆盖层地段，经常采用高频雷达系统来获取相对细致的地下资料，这些系统频率一般处在 1000 MHz 到 2000 MHz 的特定数值，可开展浅层探测事务。地质雷达操作流程一般具有设置雷达探头、选定恰当的探测强度、开展实地扫描等步骤，在实际开展操作阶段，雷达探头一般安装到车载或手持设备上，用扫描潜行的方式实时采集资料，操作时雷达波会在不一样的土层界面反射回来，引出了回波反射信号，接收器把这些信号开展记录捕捉，依靠剖析这些反射波，可得到有关土层的完备资料，带有土层的厚度、界面、土层替换等关键参数。

表 1：深厚覆盖层勘察中不同探测方法特性对比表

探测方法	探测原理	适用场景	优点	缺点
地质雷达	发射高频电磁波并接收反射波，探测地下物质特性	浅层探测，如探测土层厚度变化、辨别地下水位和岩土层分布等	可快速、综合探查地层格局，无需钻探，节省时间和成本	探测深度受地质条件限制，土层较深且湿度大时，信号传播受影响，探测结果易产生误差
电磁聚焦法	测量地面电磁场的变动来推测地下物质的电导率分布	适用于非接触型的快速探测	非接触探测，操作便捷	对探测目标的电导率差异要求较高，结果易受干扰
地震波法	发射震动波并研究其传播速度、反射状况获取土层密实度、孔隙度等信息	可用于了解土层结构和性质	能获取较多土层物理性质信息	受场地条件限制较大，如存在噪声干扰时测量精度受影响
电阻率法	借土壤电导率差异分析地下水流动和土层稳定性	分析地下水和土层稳定性相关问题	对地下水流动和土层稳定性分析有较好效果	结果解释相对复杂，易受多种因素影响

在深厚覆盖层所在地带，地质雷达应用不只是针对土层厚度变化探测，还可用来辨别地下水位、岩土层的分布等资料，凭借对反射波的勘测，可精准判定不同土层物理性质的转变，于是为水利工程给予数据辅助，地质雷达在不执行钻探的情形里，可对地层格局进行快速、综合的探查，这在不少时候里降低了对钻探的依赖，节省了时间跟成本支出。雷达技术同样存有一定的局限，诸如探测深度会受地质条件钳制，若土层较深的阶段土壤湿度较大时，雷达信号的传播效果大概受影响，引起探测结果产生误差值，除了地质雷达这类实例外，特别的门类地球物理探测法，诸如电磁聚焦法、地震波法、电阻率法这几种，

依旧在深厚覆盖层区域的勘察工作实践中得以运用。电磁法主要借测量地面电磁场的变动来推测地下物质的电导率分布，适宜借助非接触型的快速探测，地震波法采用发射震动波并研究其传播速度、反射状况的手段获取土层的密实度、孔隙度等信息，而电阻率法借土壤电导率差异分析地下水流动和土层的稳定性。

**（三）工程地质测绘与物探综合应用**

工程地质测绘是开展勘察工作的基础，采用实地查勘和测绘途径，能初步知晓深厚覆盖层的分布界限、厚度变化态势以及与周边地质体的接触关联。结合物探手段，诸如地震式勘探、电法式勘探和电磁式勘探，可以

进一步拓展对深厚覆盖层区域地质条件的认识范畴。地震勘探借助人工手段激发弹性波,借助分析波的传播规律划分地层与识别地质构造;电法勘探采用测量地下介质的电阻率变化来开展,推断地质体的分布模式与属性。在实际实施勘察之际,联合采用多种物探方法能充分发挥各自的长处,增加勘察结果的精准度与可靠系数。

#### (四) 原位测试与室内试验

原位测试与室内试验是获取深厚覆盖层物理力学特性的关键途径。原位测试由重型动力触探、旁压试验、抽水试验和声波测试等构成,这些做法可在现场直接测取岩土体物理力学参数,避开了取样环节中可能引起的扰动。室内试验借助对钻探获取的岩土样品开展常规物理力学性质试验,譬如实施颗粒分析、压缩试验及剪切试验等,深入剖析覆盖层的工程特性。处于深厚覆盖层范围,因岩土体呈现较强的非均质性,把原位测试和室内试验联合起来,可更全面反映覆盖层的实际性质,为水利工程的设计施工给予可靠的依据。

### 四、数据分析与结果解读

#### (一) 数据分析的基本流程与数据来源

在深厚覆盖层区域开展水利工程地质勘察时,数据分析是把勘察数据转换为工程可运用信息的核心环节。其主要流程是先采集数据、再清洗数据、接着转换数据、然后分析数据、随后可视化数据,最后撰写分析报告,数据采集是获取勘察数据的第一步,数据来源有钻探取样、物探测量、地质测绘等途径。在对金沙江乌东德水电站坝址实施勘察时,依靠钻探技术得到了河床深厚覆盖层的岩土样品,覆盖层厚度介于52米与65米之间。这些数据为后续分析铺就了基础。

#### (二) 描述性统计分析 with 具体数据应用

描述性统计分析为对勘察数据开展整理、汇总与描述的进程,主要凭借计算统计量揭示数据的特性。在针对某深厚覆盖层区域的勘察里,经钻探取样测定的静力触探锥尖阻力平均值分别是:淤泥层的静力触探值为0.66 MPa和0.79 MPa,淤泥质黏土层静力触探锥尖阻力值为1.30 MPa。经由计算这些数据的均值、标准差等统计量,得以掌握覆盖层岩土体物理力学性质的集中趋势与离散特性。

#### (三) 推断性统计分析 with 地质参数预测

推断性统计分析是借助样本数据对总体进行推断的手段,多用于深厚覆盖层区域勘察数据的梳理分析。假设检验能以样本数据为依据,检验覆盖层某区域物理力学性质与已知标准有无显著差异。在乌东德水电站勘察期间,借助标准贯入试验(SPT)和室内试验相融合的手段,成功获得高品质的原状土样芯,为工程设计奉上了可靠的地质参数。回归分析可对覆盖层厚度、地下水位等变量之间的关系进行研究,借助构建回归模型来预估未知区域的地质参数。

#### (四) 物探数据的解释与分析

物探数据的阐明是深厚覆盖层区域勘察数据分析的

主要内容。地质雷达技术作为高效、迅速地无损探查手段,被普遍运用到工程地质勘察里。在针对某海堤抛石底界的探测里,采用50 MHz天线的地质雷达探测结果显示,抛石底界深度介于5米至7米之间,且多数深度差不多在6米;堤顶抛石的底界深度差不多是15米。在针对地下水资源的调查里,地质雷达探测到的地下水位平均深度也许在15米的样子,若处于干旱季节,该深度也许会增加至20米。

#### (五) 多源数据融合与综合分析

在深厚覆盖层区域开展勘察期间,一般需将多种勘察手段获取的数据加以综合。把物探数据与钻探取样数据进行结合,采用数据融合技术改善对覆盖层地质条件的认知。在乌东德水电站实施勘察之际,除去钻探取样外,还采用了多样原位测试手段,诸如重型动力触探、旁压试验、抽水检测与声波测定等,借助这些方法可在现场直接测量岩土体物理力学参数。依靠多源数据融合,可更全面地呈现覆盖层的实际性质,为水利工程设计及施工提供可靠凭据。

#### (六) 结果的可视化与报告撰写

数据可视化旨在凭借直观形式呈现分析成果,助力工程技术人员领会与运用,诸如绘制地质剖面图、等值线图、构建三维地质模型等,皆是常见可视化手段,于地质雷达探测实践中,借助二维抑或三维雷达图像的绘制,能够清晰地展现覆盖层厚度变动、地下水位分布状况以及地层结构等相关信息。而报告撰写工作,是对分析结果予以系统梳理,为水利工程设计及施工环节供给详尽地质依据。报告内容理应涵盖勘察目标、数据采集途径、分析流程、结果阐释以及针对工程所提建议等方面。

### 结语

深厚覆盖层区域的水利工程勘察技术在保障工程安全与稳定程度上起到关键作用,依仗对钻探技术、地质雷达等手段的实施与增进,可更精准地搜集地质数据,应对传统勘察途径不能覆盖的难题,精准处理数据分析结果,为水利工程设计给予有力辅助,促成了工程项目在实操阶段能够躲开潜在风险隐患。

### 参考文献

- [1] 杨会杰,陈玉龙.拖木沟深厚覆盖层形成机理分析[J].水科学与工程技术,2024,(03):78-80.
- [2] 邱子源,张兴杰,罗玉龙,等.考虑天然地层间保护影响的深厚覆盖层允许水力坡降研究[J].岩石力学与工程学报,2024,43(04):1026-1039.
- [3] 张剑.深厚覆盖层坝基帷幕灌浆技术及工程应用研究[J].工程与建设,2023,37(04):1299-1302.
- [4] 侯立柱.基于三维计算模型的深厚覆盖层渗流状态量化计算[J].吉林水利,2023,(04):23-27.

作者简介:王茂才,男,汉族,1984-04,海南省临高县人,本科(学士学位),高级工程师,海南省水利水电勘测设计研究院有限公司地勘事业部主任,研究方向:工程地质勘察。