 DOI: https://doi.org/10.12349/ptc.v4i1.4735

Practical research on highway engineering survey in mountainous areas under complex geological conditions

Jun Chen

Chongqing Luwei Civil Engineering Design Co., Ltd., Chongqing, 400060, China

Abstract

Road engineering in mountainous areas often includes large bridges, long tunnels, deep cuttings, high embankments, etc. The terrain along the project is complex. Therefore, in the survey process, a comprehensive approach combining geological mapping, geophysical exploration, drilling, pit exploration, and indoor testing is used to improve the scientific and reasonable exploration plan, effectively reduce risks during the construction process, and ensure the safety and stability of the project. At present, exploration methods are becoming increasingly mature, but in practice, it is still necessary to adopt comprehensive and flexible exploration methods based on different geological characteristics in order to fully grasp the specific situation of the project and propose reasonable construction plans. This article analyzes and discusses the practical exploration of highway engineering in mountainous areas under complex geological conditions.

Keywords

complex geological conditions; Mountain roads; Engineering survey; practice

复杂地质条件下山区公路工程勘察实践研究

陈俊

重庆路威土木工程设计有限公司，中国·重庆 400060

摘　要

山区道路工程多设置有大桥、长隧道、深路堑、高路堤等，工程沿线地形复杂，因此在勘察过程中，采用地质调绘、物探、钻探、坑探等与室内试验相结合的综合手段进行勘察工作，既有利于提升勘探方案的科学、合理，又能有效减少建设过程中的风险，保证项目的安全性和稳定性。目前勘探手段日趋成熟，但是在实践中仍然需要根据不同的地质特征采取综合灵活的勘探方法，才能充分把握工程的具体情况，并提出合理的建设计划。本文就复杂地质条件下山区公路工程勘察实践，展开分析和论述。

关键词

复杂地质条件；山区公路；工程勘察；实践

1 引言

随着我国社会发展水平不断提高，山区道路的建设显得越来越重要。但由于其特殊的地理环境，如山区地貌多变，难以预料，导致其工程地质情况极为复杂，其中包括断裂、滑坡、泥石流等，给道路的设计与建设带来极大困难，同时该类工程对勘测精度与综合性的需求也越来越大。在复杂的地质条件下，常规勘探手段难以有效应对，且存在着大量的数据缺失和错误判断等问题。为了保障山区道路建设的安全性和可持续发展，迫切需要对其进行深入的理论研究以及技术的实践应用，保证该类工程的因地制宜与可持续发展。

【作者简介】陈俊（1985–），男，中国四川遂宁人，本科，高级工程师，从事山区公路工程地质勘察研究。

2 复杂地质条件下山区公路工程的界定和特点

复杂地质环境其特点包括地质构造、岩土特性和水文地质等方面的多样性。①将地质状况划分为两种不同类型，即稳定性与非稳定性。所谓稳定性，就是在没有受到明显的风化和应力干扰的情况下，承载能力比较强的地层。而诸如滑坡、泥石流等非稳定性地质条件，往往与地质结构、断裂、褶皱、节理等不良地质结构、不利的水文地质（如地下水）等密切相关。②在对复杂地质情况进行刻画的基础上，提出了不同类型的地质结构、不同类型的岩土工程特性、复杂的水文地质环境，并对其进行分析。由于复杂岩体中包含了大量的岩体，并且经历了一定的风化、变质等因素，造成了岩体的非均质性。另外，地下水流的出现以及动态、静态的变化也会导致岩土工程的物理、力学特性发生显著的变化，从而增大了工程建设的不确定性与风险性。③在山区道路建设过程中，因地形起伏大、高低差异大，常需通过非稳定性地

层，或挖深路堑、隧洞等，给勘测与设计带来较高难度[1]。

因此，在复杂地质条件下山区公路工程进行地质勘探时，应综合运用地质雷达、三维地震等现代勘探手段，对地质环境进行精确监测。同时，在山区高速公路建设中，需要对工程中的地质情况进行实时监控，并通过设置应变计、倾斜仪等观测手段，及时对工程建设计划进行动态调整，以应对可能出现的地质灾害。比如为加强边坡及地基的稳定，可采取锚碇、加筋、抗滑桩及喷锚支护等措施，根据实际情况灵活应变，保证工程的安全与耐用。

3 复杂地质条件下山区公路的项目概况

项目背景：某山区高速公路处于一条典型的褶皱—断裂带上，该地区的地质结构类型繁多、是一条重要的地质断层。为了保证资料数据的完整性和准确性，应采取钻探、槽深和物探等多种勘查方式。勘探工作中，应充分考虑整个地区的地质特点和风险，特别是对容易发生的地质灾害地区进行了重点分析。该项目已完成 200 多个钻探，累计掘进 3500 余 m，包括 15 个物探、高密度测井，获取了大量的地质构造资料。①该项目的工程地质情况十分复杂，以山区和丘陵为主体，形成了一系列的切割峡谷、山区平原和喀斯特地貌。由于两条巨大的断层带控制了该地区的地质结构，使得该地区的地质结构不稳定，容易发生滑坡和崩塌等地质灾害。②该套地层为寒武系泥岩、石炭系泥灰岩及少数煤系，其沉积时代跨越时间较长，且具有较强的褶曲构造特征，实测资料表明，最大的厚度可以达到 5 m 以上。由于土体的高度变异性，导致其具有较高的收缩、较小的承载力，从而给地基带来安全隐患。一般情况下，砂土颗粒的密度在 1.8 克 / 厘米立方左右，且具有 5~10MPa 的抗压强度，说明颗粒状粘土更容易受荷。③该区大多数农田已进行了改良，其耕作深度以 30~50cm 为主，压实度在 85%~90% 左右。但是，由于耕地的土壤理化特性具有明显的区域差别，某些区域压实度可达 75%，严重影响到土壤的整体稳定性。④该区还发育有强烈的风化泥页岩、泥页岩及煤系地层。泥岩强风化后，岩石表现出较低的硬度，表层的风化速率加快，其单轴压缩强度普遍低于 10MPa；与之相比，泥灰具有比较好的结构性，其抗压强度一般为 20~30MPa。但是，这一地区的夹矸也增加了滑坡的危险性。⑤通过对该地区的调查，发现该地区的煤系地层厚在 0.5~2m 左右，部分区段内煤系较为集中，从而增大了该地区的滑坡危险性。

4 复杂地质条件下山区公路工程勘察实践

4.1 地质勘察技术的实践应用：地质测绘、地球物理勘探

结合上述工程概述，应用地质测量技术，是复杂地形山区公路工程建设的基本一步，利用 GPS 及卫星定位等方法来获得地球表面的地质结构、岩性分布以及地质构造样式等。在复杂的地质环境中，尤其是在断层带、岩溶区或滑坡区，对其进行高精度的测绘，往往利用高精度的卫星图像和 3D 地貌建模，准确把握其微观结构，保证对地质情况的整体把握。而物探技术可以是利用地震波、重、磁、电等物性参数的改变来进行深部构造的研究，是一种有力的辅助手段。其中，利用反射波法和瞬变电磁方法，对隐蔽断裂及地下水的勘探具有重要意义，其资料经反演后可获得米量级的物理性质，并可对地下结构及异常进行有效识别。

与此同时，钻井取样是实现地面勘查与物探成果转换的重要环节。针对复杂地质环境，采用正循环钻井、反循环钻探和岩心取样等方法，可在不破坏土体结构的前提下，对其进行取样，并对其进行岩石物理性质测试，并对其组成进行研究。利用 GIS、3D 模型等现代数据处理方法，实现对勘测成果的可视化显示，极大提高了测绘工作的辅助决策能力，保障了项目施工的安全性与经济性。（表 1：初次勘探结果参数）

表 1：初次勘探结果参数

勘察项目	数量 / 次	深度	测线长度	主要发现
钻探	200	3500 米	识别潜在滑坡体	岩层厚度变化明显
物探	15	-	确定断层位置	高密度测井显示岩层不连续区域
槽探	若干	-	补充钻探数据	-

4.2 遥感技术与三维建模技术的工程分析

结合工程地理实际，公路处于一条典型的褶皱—断裂带上，该地区的地质结构类型繁多、是一条重要的地质段，因此采用高科技勘探手段，其中以高光谱、多光谱图像为主要研究对象的遥感探测方法，可以实现对地物的快速、准确的辨识。比如，利用卫星遥感技术，可以利用地面反射系数的不同，迅速确定可能存在的危险性。该方法特别适用于大面积、不易到达的地区，为随后的地表调查工作提供了关键的决策支持。同时，GIS 是一种综合的空间分析手段，它可以整合和分析多源空间数据，以达到对地学信息的高效管理和仿真。地理信息系统不但可以建立准确的地理空间数据库，而且可以将地层、构造和水文等多个方面的信息进行叠加，从而达到对整个地下构造进行立体显示的目的。利用 GIS 对该地域进行综合评价，可以实现对矿床的精确描述，并对其进行储量预测。

与此同时，三维模型及解析方法将数学仿真与地质模型结合起来，为复杂地质问题的动力学研究和预报奠定基础。本项目拟采用数值计算、数值模拟、数值仿真等手段，研究围岩在各种受力状态下的受力特性，进而研究围岩的稳定及变形规律，研究人员可以通过建立相应的数值计算方法，实现对围岩的合理控制，以为工程规划、设计和施工等领域的发展奠定基础。

4.3 注重地质灾害的识别与防范

由于山区地貌和地质结构的变化，容易导致滑坡和泥石流等地质灾害的发生。为此，本项目拟采用高分辨率遥感与 DEM 相结合的方法，开展大尺度的区域地质灾害辨识，并结合 GIS 对地貌要素的综合分析，对可能发生的灾情进行判定。利用工程地质测绘与钻探、槽探相结合的方法，对重要断层带、软弱层及滑动面的位置、规模和活动性进行了详细的描述。在方法上，利用 ERT、瞬变电磁法等多种物探手段，查明滑坡中不同类型的地下水分布特征，揭示滑坡发育过程中的时空变化规律，为滑坡的预测预报和预测奠定理论基础。此外，将有限元法应用于滑坡力学模型，模拟不同降雨和地震作用下的坡体变形失稳机理，评价其稳定因子。

以典型滑坡为研究对象，开展滑坡等工程地质问题的研究，采用概率与统计学相结合的方法，对滑坡的危险性进行了定量评价。通过对该区的地质勘察，实测资料表明，该区域内的粉砂层从 1~5m 以上，存在较大的非均质性，导致土体具有较高的压缩强度、较小的承载力，从而增大了滑坡的危险性。此外通过对实际施工资料的统计，发现该地区粉土的平均密度为 1.8g/cm^3，且具有 5~10MPa 的抗压强度，说明该地区在受荷时具有较强的塑性变形能力。因此在 3.5m 以下的粉砂层，其失稳概率明显增大，最高可达 40%；对于 4.5m 以下的土层，这种可能性可以提高到 65%。所以提出主动防护网、锚索加固、挡墙等技术手段，完善监控与预警体系，实现对高风险区的动态分析与预警，提升防灾减灾的时效性与精度 [2]。

4.4 提高调查准确性和资料的可信度

在山区道路调查中，勘探的准确性和资料的可信度是评价与设计的关键依据。山区环境复杂多变，使得勘测工作中存在着大量的观测和资料的偏差。为提升勘探精度，需构建高密度勘探点网格，综合运用地质雷达、三维激光扫描等多种探测手段，精细描述地质构造。该方法不但可以获得精细的地层序列及构造，而且可以利用多源观测资料进行多源资料的整合与整合，提升资料的可信度。其中，地质雷达可以在不损伤地面的情况下，准确刻画 5~30m 以下地层的地层结构，适合评价弱地质地层的连续性，同时利用 3D 激光扫描获取厘米级以上的地貌信息，为滑坡、崩塌等灾害预报奠定基础。

但受山区高陡、地下水位动态变化、断层隐伏分布等复杂地质条件影响，常规勘探手段难以满足实际需求。这个时候，利用卫星图像分辨方法，对不同时期的卫星遥感资料进行分析，可以对地面形变和地下水流进行定量反演，弥补传统调查方法的缺陷。另外，为了保证资料的高可信度，需要将资料的不确定度进行研究。基于蒙特卡罗仿真与贝叶斯修正等方法，实现对岩土工程中各因素变化规律的研究，并对其进行定量描述，从而为工程设计提供理论依据。

在此基础上，对该区土壤性质和对项目施工产生的作用进行了较为详尽的研究。植被类型以泥质土，杂填土，第四系堆积土及残留堆积层为主。尤其是粉砂地层，其厚度有明显的差异，有些地段的土层厚度可达 5m 以上。通过一系列的实验与仿真，定量地分析了该结构在地基中的作用。①对砂土进行了密实度及抗压系数的测定。当压缩模量为 5~10MPa 时，其平均密度是 1.8g/cm^3。②采用有限元法对地基进行了变形计算，仿真时假定地基为 100m^2，外加 150kPa 的均匀载荷。③通过对各土层的压缩模量值进行估算，得到了各土层的沉降值。对于 5m 厚度最大的粉砂层，其沉降范围为 4.5~9cm，表现出显著的压缩系数差别。④模拟计算也显示，若将沙层的深度减至 3m，则可明显降低 3~5.5cm 的沉降量。⑤该产品以工程废弃物为主，其密度在 1.5g/cm^3 立方左右，具有 4MPa 的抗压强度。此外在资料处理上，利用地理资讯系统（GIS）技术，将勘测资料及施工过程中的实时监控资料进行融合，进而为项目的规划建设提供持续性支撑 [3]。

5 结语

综上所述，复杂地质环境其特点包括地质构造、岩土特性和水文地质等方面的多样性，因此，结合工程概述，应用地质测量技术，是复杂地形山区公路工程建设的基本一步，研究人员可以通过建立相应的数值计算方法，实现对围岩的合理控制，此外研究人员可以通过建立相应的数值计算方法，实现对围岩的合理控制，以及提高调查准确性和资料的可信度，提高调查准确性和资料的可信度具有实际作用。

参考文献

[1] 尚云. 公路工程勘察设计现状及应对策略[J]. 工程技术研究, 2022, 7 (8): 203-205.

[2] 黄星. 复杂地质条件下山区公路工程勘察实践[J]. 山西建筑, 2022, 48 (5): 54-57+60.

[3] 郝萌. 公路勘察设计新理念在山区公路设计中的应用[J]. 新型工业化, 2020, 10 (10): 70-71.