

# 滑坡勘查中钻孔布置密度对滑面识别准确性的影响

吴尧

中化地质矿山总局浙江地质勘查院 浙江 杭州 310002

**【摘要】**：钻孔布置密度是滑坡勘查中影响滑面识别准确性的核心因素，合理的密度配置可精准捕捉滑面空间分布特征，密度不足或过量均会降低识别可靠性。滑坡勘查的核心目标是明确滑面形态与分布，而钻孔作为直接获取地下岩土体信息的关键手段，其布置密度直接决定了岩土体力学参数、地层界面等基础信息的获取精度。密度不足易导致滑面关键段落遗漏，密度过高则造成勘查资源浪费且可能干扰滑坡体稳定性。通过优化钻孔布置密度，可实现滑面识别精度与勘查效益的平衡，为滑坡灾害防治提供可靠的地质依据。

**【关键词】**：滑坡勘查；钻孔布置密度；滑面识别；准确性；勘查优化

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.027

## 引言

滑坡作为常见的地质灾害类型，其滑面的精准识别是滑坡稳定性评价与防治工程设计的前提，直接关系到灾害防控成效与工程安全。滑坡勘查工作中，钻孔布置的科学性对滑面识别结果具有决定性作用，其中布置密度的合理性尤为关键。滑面的空间分布往往具有隐蔽性与复杂性，不同区域的滑面埋深、形态及物质组成存在差异，这对钻孔勘查的针对性与全面性提出了严格要求。精准识别滑面需依托足够数量且分布合理的钻孔获取完整地质信息，而钻孔布置密度的不当配置会直接影响信息获取的完整性与准确性，进而阻碍对滑坡灾害风险的有效研判。明确钻孔布置密度与滑面识别准确性的关联，探索合理的密度配置方式，对提升滑坡勘查质量具有重要意义。

## 1 滑坡勘查中钻孔布置密度与滑面识别的核心关联机理

滑坡勘查中，钻孔布置密度直接决定地下岩土体信息采样点分布，进而影响滑面信息获取的完整性<sup>[1]</sup>。滑面作为滑坡体与稳定坡体的界面，空间展布或连续或断续，不同段落的埋深、倾角及物质组成存在差异，适宜密度可确保采样点覆盖关键区域，完整捕捉滑面形态、延伸范围及地层接触关系；密度不足则会增大信息空白区，导致滑面信息碎片化，无法反映真实分布特征，合理密度可通过相邻钻孔信息互补构建完整信息链。滑面埋深判定、形态拟合、物质组成识别等核心精度指标均与钻孔密度密切适配，密度不足易引发各类误判。不同滑坡类型下两者关联存在差异，浅层滑坡滑面浅、形态简单，适宜密度即可精准识别；深层滑坡滑面深、形态复杂，需更高密度；黏性土滑坡滑面连续性好，岩质滑坡滑面受构造控制呈断续性，需结合地质特征优化密度以提升识别准确性。

## 2 滑坡勘查中钻孔布置密度不足对滑面识别的负面影响

### 2.1 低密度钻孔导致滑面关键特征信息遗漏的表现

低密度钻孔在滑坡勘查中易导致滑面关键特征信息的遗

漏，具体表现为多个方面。在滑面延伸方向上，若钻孔间距过大，可能错过滑面的转折区段，无法捕捉到滑面倾角、走向的突变特征，使得对滑面整体延伸趋势的判断出现偏差。对于存在分支滑面的滑坡体，低密度钻孔难以覆盖所有分支滑面的分布区域，易遗漏次要滑面信息，而这些次要滑面可能对滑坡体的整体稳定性产生重要影响。在滑面厚度方向上，密度不足的钻孔无法精准捕捉滑面软弱夹层的厚度变化，可能将厚薄不均的滑面误判为等厚界面，进而影响对滑面力学参数的准确获取。低密度钻孔还可能遗漏滑面与地下水的连通区域，无法明确地下水对滑面稳定性的影响机制。

### 2.2 低密度勘查下滑面形态误判的常见类型与成因

低密度勘查易引发多种滑面形态误判类型，其成因与信息获取不完整密切相关。将复杂弧形滑面误判为简单平面是常见类型之一，由于低密度钻孔仅能获取少量滑面点位数据，无法反映滑面的弧形起伏特征，只能通过线性插值拟合出平面形态，与实际滑面存在较大偏差<sup>[2]</sup>。另一种常见类型是遗漏多级滑面，将深层主滑面误判为单一滑面，成因在于低密度钻孔难以穿透深层滑面，仅揭示了浅层次级滑面，便以此作为整个滑坡体的主滑面。还可能出现滑面边界范围误判，将范围较小的滑面过度扩大，或遗漏滑面的延伸区段，成因均为钻孔覆盖范围不足，无法通过足够的点位数据精准界定滑面的边界。

### 2.3 滑面识别偏差对滑坡防治工程的潜在风险传导

滑面识别偏差会通过多个环节向滑坡防治工程传导潜在风险，影响工程的安全性与有效性。若将滑面埋深误判偏浅，会导致防治工程的锚固深度不足，无法有效固定滑坡体，在外界荷载或自然因素影响下，可能引发滑坡体再次滑动，造成工程失效。滑面形态的误判会影响抗滑桩、挡土墙等防治结构的布置位置与结构设计，若结构布置未针对滑面的实际形态，将无法充分发挥抗滑作用，降低防治工程的整体效果。滑面物质组成识别偏差会导致对滑面抗剪强度等力学参数的误判，进而影响防治工程的荷载计算，使得工程结构的承载能力无法匹配实际需求，长期使用中可能出现结构损坏、变形等问题，加剧

滑坡灾害风险。

### 3 滑坡勘查中钻孔布置密度过量的问题与合理阈值界定

#### 3.1 高密度钻孔带来的勘查资源浪费与效率损耗

高密度钻孔在滑坡勘查中会带来显著的勘查资源浪费与效率损耗。钻孔施工需要投入大量的人力、物力与财力，过量加密钻孔会使勘查成本大幅增加，而这些额外投入往往无法带来对应的识别精度提升，造成资源的无效消耗。在施工效率方面，过多的钻孔数量会延长勘查周期，无法及时为滑坡防治工程设计提供地质资料，可能延误工程施工时机，增加滑坡灾害发生的风险。过量钻孔还会产生大量的岩芯废弃物，处理这些废弃物需要额外的成本与精力，同时可能对周边环境造成一定扰动，进一步加剧了勘查工作的综合成本损耗。

#### 3.2 过量钻孔对滑坡体稳定性的扰动影响分析

过量钻孔会对滑坡体的稳定性产生显著扰动，这种扰动主要通过多个途径产生。钻孔施工过程中，钻孔机械的振动会传递至滑坡体内部，可能诱发滑坡体局部岩土体的松动，破坏原有岩土体的应力平衡状态。对于稳定性较差的滑坡体，这种振动扰动可能成为滑坡滑动的触发因素，加剧滑坡灾害的发展<sup>[3]</sup>。钻孔会形成贯穿滑坡体的孔洞，破坏滑坡体的整体性，使地下水更容易通过孔洞渗透，改变滑坡体内部的含水量分布，降低岩土体的抗剪强度，进一步削弱滑坡体的稳定性。过量钻孔还可能切断滑坡体内部的软弱夹层或结构面，破坏滑坡体的自身支撑体系，导致滑坡体稳定性下降。

#### 3.3 基于滑面识别需求的钻孔布置密度合理阈值确定依据

基于滑面识别需求的钻孔布置密度合理阈值确定，需综合考量多个核心依据。滑坡体的规模与复杂度是首要依据，大型滑坡体的滑面延伸范围广、形态复杂，需要较低的钻孔间距即较高的密度来确保信息覆盖完整；小型滑坡体则可适当增大钻孔间距，降低密度。滑面的埋深与形态特征也至关重要，深层滑面与复杂形态滑面需要更高的密度支撑识别精度，浅层简单形态滑面则可降低密度。区域地质条件也是重要参考，地质构造复杂、岩土体类型多样的区域，滑面分布不确定性较高，需提高钻孔密度；地质条件单一的区域则可适当降低密度。勘查阶段的不同也会影响密度阈值，初步勘查阶段可采用较低密度进行大范围排查，详细勘查阶段则需提高密度以精准识别滑面。

### 4 滑坡勘查中钻孔布置密度的优化策略与实施路径

#### 4.1 基于滑坡体规模与复杂度的密度分级配置方法

基于滑坡体规模与复杂度的密度分级配置，需结合滑坡体的具体特征制定差异化方案。对于小型简单滑坡体，其滑面范围小、形态单一，可采用较稀疏的钻孔布置，钻孔间距可控制在较大范围内，以实现勘查成本与精度的平衡。中型滑坡体的

滑面形态存在一定变化，需适度缩小钻孔间距，增加钻孔数量，确保覆盖滑面的关键转折区域与可能的分支滑面分布区。大型复杂滑坡体具有滑面延伸广、形态复杂、可能存在多级滑面等特征，需采用高密度钻孔布置，通过加密采样点全面捕捉滑面信息，同时可在滑面疑似突变区域进一步局部加密钻孔。分级配置过程中，需先通过前期地质调查初步判定滑坡体规模与复杂度，再针对性确定钻孔密度等级。

#### 4.2 结合前期地质调查成果的钻孔密度动态调整方案

结合前期地质调查成果的钻孔密度动态调整方案，可实现钻孔布置的科学性与针对性。前期地质调查可通过遥感解译、地面地质测绘、物探等手段，初步圈定滑坡体范围、识别潜在滑面区域及地质构造分布特征<sup>[4]</sup>。基于这些成果，在潜在滑面分布的核心区域，可初步采用较高密度钻孔布置，确保精准捕捉滑面信息；在滑坡体边缘及稳定性较好的区域，可采用较低密度钻孔，减少资源浪费。在勘查实施过程中，根据已完成钻孔的岩芯资料与测试数据，进一步验证前期判断的准确性，若发现滑面形态比预期更复杂，需及时加密对应区域的钻孔；若发现部分区域滑面特征清晰，可适当扩大后续钻孔间距，实现密度的动态优化调整。

#### 4.3 不同勘查阶段钻孔布置密度的适配性优化措施

不同勘查阶段对滑面识别的精度要求不同，需采取适配性的钻孔密度优化措施。初步勘查阶段的核心目标是初步查明滑坡体的基本特征与潜在滑面的大致分布，此时可采用较低密度的钻孔布置，通过少量钻孔获取关键地质信息，实现对滑坡体的整体把控，为后续勘查工作奠定基础。详细勘查阶段需精准识别滑面的埋深、形态、物质组成等核心特征，支撑防治工程设计，因此需大幅提高钻孔密度，确保钻孔能够全面覆盖滑面的各个关键区段，获取足够详细的地质数据。施工勘查阶段则需结合施工揭露的地质情况，针对前期识别的滑面关键区域进行补充钻孔，密度配置需根据施工需求灵活调整，确保对滑面信息的精准验证与修正，保障施工安全与工程质量。

### 5 钻孔布置密度优化下滑面识别准确性的保障体系构建

#### 5.1 密度优化与其他勘查手段的协同应用模式

钻孔布置密度优化需与其他勘查手段形成协同应用模式，才能更有效地保障滑面识别的准确性。物探手段具有覆盖范围广、探测效率高的优势，可在钻孔勘查前通过地震勘探、电法勘探等手段初步圈定滑面的分布范围与埋藏深度，为钻孔密度的优化配置提供精准依据，避免盲目加密钻孔<sup>[5]</sup>。遥感解译可从宏观上把握滑坡体的边界范围、地形地貌特征及植被分布变化，辅助判断滑面的可能延伸方向，为钻孔布置的空间分布优化提供支撑。地质测绘可详细记录滑坡体表面的裂缝、鼓包等变形特征，结合这些地表信息可精准定位钻孔布置的关键区

域,使密度优化后的钻孔能够更有针对性地捕捉滑面信息。通过多种手段的协同配合,实现优势互补,提升滑面识别的整体精度。

### 5.2 滑面识别过程中基于密度适配的质量管控要点

滑面识别过程中,基于密度适配的质量管控需聚焦多个核心要点。钻孔施工质量是基础保障,需确保钻孔深度达到设计要求,避免因钻孔深度不足无法揭示滑面,同时保证岩芯采取率,确保获取的岩芯能够真实反映地下岩土体特征。岩芯编录与分析需严格按照规范进行,详细记录岩芯的岩性、结构、软弱夹层等信息,精准判定滑面位置,避免因岩芯分析失误导致滑面识别偏差。数据整理与整合过程中,需对不同钻孔获取的滑面信息进行系统比对与验证,结合钻孔密度分布特征,判断是否存在信息遗漏或矛盾,若发现问题需及时补充钻孔或修正识别结果。还需加强对勘察全过程的质量监督,确保各环节工作符合密度优化与滑面识别的要求。

### 5.3 密度优化后滑面识别成果的验证与校准方法

密度优化后滑面识别成果的验证与校准,需采用多种科学方法确保成果的可靠性。交叉验证是常用方法之一,通过对比

不同钻孔获取的滑面信息,分析数据的一致性与偏差程度,若存在偏差需深入排查原因,结合钻孔密度分布特征判断是否为密度不足或局部密度过高导致,进而修正滑面识别结果。现场试验验证可通过原位剪切试验、渗透试验等手段,获取滑面岩土体的力学参数与水文地质参数,与滑面识别成果中的相关判断进行比对,验证识别结果的合理性。数值模拟分析可基于优化后的滑面识别成果构建数值模型,模拟滑坡体的稳定性状态,通过与现场实际变形监测数据的对比,校准滑面的形态、埋深等关键参数,确保识别成果能够真实反映滑坡体的实际情况。

## 6 结语

本文围绕滑坡勘察中钻孔布置密度对滑面识别准确性的影响展开研究,明确了两者的核心关联机理,剖析了密度不足与过量的负面影响,提出了基于多维度的密度优化策略及识别准确性保障措施。钻孔布置密度的合理配置是提升滑面识别精度的关键,需结合滑坡类型、勘察阶段等因素动态调整。研究成果可为滑坡勘察工作提供科学指导,通过优化钻孔布置密度,实现滑面的精准识别,为滑坡灾害防治工程提供可靠地质依据,有效降低滑坡灾害风险。

## 参考文献:

- [1] 唐文佳,阮凡,李军,等.深部位移监测在堆积层滑坡勘察治理中的应用研究[J].地下水,2025,47(05):134-136+280.
- [2] 姜英博,董清志,杨力龙,等.基于某滑坡浅析滑坡勘察过程中滑面确定方法[J].地下水,2025,47(03):152-153+233.
- [3] 郑超,乐清源.滑坡勘察水平钻孔在查明断裂构造方面的应用研究[J].科技资讯,2025,23(06):203-205.
- [4] 乔龙.信息化时代下的滑坡勘察及防治预警技术探讨[J].智能建筑与智慧城市,2024,(06):172-174.
- [5] 陈春阳.钻孔灌注桩在滑坡治理工程中的应用探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(30):76-78.