

高密度电法勘探在工程勘察中的应用

苏 超

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037003

摘要：高密度电法勘探在工程勘察中展现出显著优势，包括高效率与高精度、高分辨率以及高度自动化等特点。该技术在岩土工程、水利工程、交通工程及环境地质调查等多个领域得到广泛应用。在岩土工程勘察中，能准确探测地质结构与地基性质；在水利工程中，有助于水库坝址选择与堤防隐患探测；在交通工程中，为交通设施设计与施工提供地质保障；在环境地质调查中，用于地下水、土壤污染监测及地质灾害预警。高密度电法勘探以其独特优势，成为工程勘察领域的重要技术手段。

关键词：高密度电法；工程勘察；应用

引言：工程勘察作为各类建设项目的基础性工作，对于确保工程质量与安全至关重要。在这一背景下，高密度电法勘探作为一种先进的地球物理勘探技术，凭借其独特的优势在工程勘察领域逐渐崭露头角。该技术通过测量地下介质的电阻率分布，能够精确描绘地质构造与地层特征，为工程项目的选址、设计与施工提供关键的地质信息。因此，深入研究和应用高密度电法勘探技术，对于提升工程勘察的准确性和效率，保障工程项目的顺利进行具有重要意义。

1 高密度电法勘探概述

高密度电法勘探是一种先进的地球物理勘探技术，它基于地下介质导电性的差异，通过向地下供电形成人工电场，并测量地表不同部位电场的变化，从而推断地下视电阻率分布及地质结构。该技术结合了电剖面法和电测深法的优点，采用高密度观测点和阵列勘探技术，实现了数据的快速自动采集，为地质勘探、工程勘察等领域提供了重要支持。高密度电法勘探的基本原理是利用地下岩土介质与周围介质之间的导电性差异。在勘探过程中，通过供电电极向地下供电，研究地下介质和管线存在引起的电场变化。与普通电阻率法不同，高密度电法设置了高密度的观测点，采用阵列勘探方法。这种方法利用程控电极转换开关和微机工程电测仪，可以实时显示并采集剖面中不同电极距、不同电极排列方式的数据。通过测量地表不同部位的人工电场，可以了解地下介质的视电阻率分布，进而推断地下地质结构。在工程勘察领域，高密度电法勘探具有广泛的应用^[1]。它可以用于煤田、矿山采空区的探测，铁路、公路、隧道的岩溶、地基勘察，以及基岩裂隙带探测、土壤含盐度和水质调查等。高密度电法勘探还可以用于垃圾掩埋场淋漓范围的勘测、污水管道的探测、水库和河流堤坝渗漏情

况的无损检测等。然而，高密度电法勘探也存在一定的局限性。例如，其最大探测深度和剖面长度受到限制，可能不适用于大深度勘探。此外，在混凝土路面、露头的基岩面等区域，因电极布设困难而应用较少。尽管如此，高密度电法勘探仍然是一种高效、高精度的地球物理勘探技术，在工程勘察领域具有广阔的应用前景。

2 高密度电法勘探的优势

2.1 高效率与高精度

高密度电法勘探在工程勘察领域展现出其独特的高效率与高精度优势，这一优势主要体现在以下几个方面：（1）数据密集采集：通过高密度电极阵列的布置，可以在短时间内采集到大量的地下电场数据。这种密集的数据采集方式不仅提高了勘探的覆盖率，还使得对地下地质结构的描述更为详尽，从而提高了勘探的精度。（2）快速响应能力：高密度电法勘探系统具有快速的响应能力，能够在短时间内完成数据的采集与处理。这使得该技术能够在紧急情况下快速提供地质信息，为工程设计和施工提供及时的支持。（3）灵活测量参数：高密度电法勘探的电极阵列可以灵活调整测量参数，如电极间距、测量深度等，以适应不同地质条件下的勘探需求。这种灵活性不仅提高了勘探的适用性，还使得勘探结果更为准确可靠。（4）减少干扰因素：高密度电法勘探在数据采集过程中，通过合理的电极布置和数据处理方法，可以有效地减少地表和浅层地质体的干扰因素。这有助于提高勘探结果的准确性，使得地下地质结构的特征得以更清晰地展现。（5）成本效益显著：尽管高密度电法勘探的设备和技术相对复杂，但其整体成本效益仍然较高。通过快速、准确的勘探，可以显著减少后续钻探等工作的盲目性，从而降低总体勘探成本。

2.2 高分辨率

高密度电法勘探在工程勘察领域以其高分辨率成像能力脱颖而出，这一特性极大地提升了地下地质结构探测的精确度和深度。高密度电法勘探通过密集的电极阵列布局，实现了对地下电场分布的精细捕捉。这种布局方式使得勘探数据在横向和纵向上均具有较高的分辨率，能够揭示出地下细微的地质结构变化。通过电阻率成像技术，高密度电法勘探能够将地下地质结构以图像形式直观展现，为地质学家提供了清晰、直观的地质信息。高分辨率成像特性使得高密度电法勘探在识别复杂地质构造方面具有显著优势，在地质条件复杂、地层交错、断层发育的地区，高密度电法勘探能够准确识别出不同地层之间的界限，以及断层的走向、倾角和规模。这对于工程勘察中的地层划分、断层活动性评估等至关重要。此外，高密度电法勘探的高分辨率成像能力还有助于识别地下异常体，如岩溶、古河道、地下水富集区等。这些异常体在电阻率图像上通常以明显的异常特征呈现，为地质学家提供了识别和分析的依据。

2.3 自动化程度高

高密度电法勘探以其高度的自动化程度，在地质勘察领域展现出了显著的优势，这一特点不仅提升了勘探效率，还确保了数据的准确性和可靠性，具有重要的实际意义。自动化采集系统的引入，使得高密度电法勘探在野外数据采集方面变得极为高效。与传统的电法勘探相比，高密度电法勘探无需人工逐点布置电极，而是通过预先设置的电极阵列，快速完成电极的布设和信号的采集。这不仅大大减少了人力投入和时间消耗，还提高了数据采集的一致性和稳定性。在数据处理方面，高密度电法勘探同样展现出了自动化带来的优势^[2]。内置的软件系统能够实时处理采集到的数据，自动进行数据质量检查、异常值剔除和地形校正等一系列操作。这种自动化处理流程不仅提高了数据处理的效率，还有效减少了人为因素可能引入的误差，确保了数据的准确性和可靠性。高密度电法勘探的自动化程度还体现在数据解释阶段，现代高密度电法勘探软件集成了多种反演算法和三维可视化技术，能够自动完成从数据到地质模型的转换。这使得非专业人员也能通过直观的图像理解地下结构，为工程决策提供了有力的支持。同时，高密度电法勘探设备的高度集成化和智能化水平也在不断提升，模块化设计使得设备能够快速组装和拆卸，适应不同的勘察环境和需求。智能化水平的提升则使得设备能够自动适应不同的地形条件，调整采集参数，确保在不同环境下都能获得高质量的数据。这些特点进一步增强了高密度电法勘探的实用性和适用性。

3 高密度电法勘探在不同工程勘察领域的应用

3.1 岩土工程勘察应用

高密度电法勘探在岩土工程勘察领域具有广泛的应用价值，主要体现在以下几个方面：（1）地质结构探测：在岩土工程勘察中，高密度电法勘探能够准确探测地下地质结构的分布和特征。通过电阻率成像技术，可以清晰地揭示出地层、断层、裂隙等地质构造，为工程设计和施工提供可靠的地质依据。（2）地基土性质评估：高密度电法勘探还能够评估地基土的物理力学性质，如承载力、压缩模量等。这些参数对于工程地基的处理和设计至关重要，有助于工程师选择合适的地基处理方案，确保工程的安全性和稳定性。（3）地下水探测：在岩土工程勘察中，地下水的分布和埋藏情况对于工程设计和施工具有重要影响。高密度电法勘探能够准确探测地下水的位置和埋深，为工程排水和防水设计提供依据。（4）不良地质现象识别：高密度电法勘探还能够识别潜在的不良地质现象，如滑坡、泥石流、岩溶等。这些不良地质现象对于工程安全构成威胁，通过高密度电法勘探的识别，可以提前采取相应的防治措施，降低工程风险。（5）工程适宜性评价：基于高密度电法勘探结果，可以对拟建场地的工程适宜性进行评价。通过综合分析地下地质结构、地基土性质、地下水情况等因素，为工程选址和设计提供科学依据。

3.2 水利工程勘察应用

3.2.1 水库坝址选择

在水库坝址选择中，高密度电法勘探发挥着至关重要的作用。它能精确探测坝址区域的地质构造，直观展示地层分布、断层走向及潜在不良地质体，通过电阻率成像技术揭示地下岩层的电性差异。这一技术不仅帮助工程师识别出影响大坝稳定性的关键地质因素，还能科学评估坝址区域的地基承载力，为坝体设计提供精确参数。借助高密度电法勘探，工程师能够确保大坝选址的合理性与安全性，为水库建设奠定坚实基础，保障水利工程的长期稳定运行。

3.2.2 堤防隐患探测

对于已建成的堤防工程，高密度电法勘探同样扮演着不可或缺的角色。它能够深入探测堤身和堤基的内部结构，通过精准测量堤防内部电性参数的变化，准确识别出堤身内部可能存在的空洞、裂缝以及软弱夹层等不良地质现象。这些关键信息对于堤防的加固与维护工作至关重要，它们如同堤防安全的“晴雨表”，能够直接反映堤防的健康状况。基于这些详实的数据，工程师能够制定出更加科学合理的修复方案，有效提升堤防的抗

洪能力，确保人民群众的生命财产安全。

3.2.3 水下地形与河床质探测

在水利工程领域，水下地形和河床质的精确探测对于航道的合理规划、水流模拟的准确性以及河床演变规律的深入研究具有举足轻重的作用。高密度电法勘探技术通过巧妙地在水下布置电极阵列，能够高效测量水下各层地质的电阻率分布，从而精确推断出水下地形的细微起伏和河床质的具体类型。这种创新的非接触式探测手段，不仅显著提升了探测工作的效率，还有效降低了探测成本，为水利工程的科学规划、精细管理以及可持续发展提供了强有力的技术支撑和决策依据。

3.3 交通工程勘察应用

高密度电法勘探技术，在交通工程勘察领域展现了其独特的优势与价值，这一技术通过地下电阻率的差异，为交通设施的建设提供了精准的地质信息。在公路、铁路等线性工程的选址与设计，高密度电法勘探成为不可或缺的工具。它能够深入探测地下岩溶、断层、软弱夹层等不良地质体，为工程师提供详细的地质构造图。这些关键信息有助于工程师规避潜在的地质风险，优化路线设计，确保交通设施的安全与稳定。此外，高密度电法勘探在桥梁工程的勘察中也发挥着重要作用。通过探测桥墩基础下方的地质结构，工程师可以评估地基的承载力与稳定性，为桥梁的设计与施工提供科学依据^[1]。这有助于确保桥梁的安全性能，延长其使用寿命。在隧道工程勘察中，高密度电法勘探同样展现出了其独特优势。它能够准确探测隧道穿越区域的地质构造，包括岩层分布、断层走向等关键信息。这些信息对于制定科学的隧道施工方案、确保施工安全至关重要。

3.4 环境地质调查

高密度电法勘探技术在环境地质调查领域中的应用，展现出了其高效、精确的勘探能力，该技术利用地下介质导电性的差异，通过电极向地下供电形成人工电场，并测量地表不同部位电场变化，从而推断地下视电

阻率分布及地质结构，为环境地质调查提供了强有力的技术支持。在地下水资源的调查与管理中，高密度电法勘探能够准确探测地下水的分布、埋藏深度以及含水层的性质，为水资源的合理开发与保护提供关键信息。同时，该技术还能用于监测地下水位的动态变化，为水资源管理和保护提供科学依据。在土壤污染监测方面，高密度电法勘探也展现出了其独特优势。该技术能够探测土壤电阻率的异常变化，从而判断土壤是否受到污染以及污染的程度和范围。这有助于及时发现并处理土壤污染问题，防止污染扩散，保护生态环境。高密度电法勘探还能用于地质灾害的预警与监测，通过探测地下地质构造的异常变化，该技术能够预测潜在的地质灾害风险，如滑坡、泥石流等，为地质灾害的预防和治理提供科学依据。

结语

未来，高密度电法勘探技术的潜力仍有待我们深入挖掘。我们应继续深化对这一前沿技术的研究与应用，致力于解决其在复杂地质条件下的应用难题，不断提高勘探的准确性和可靠性。同时，要积极推动高密度电法勘探在工程勘察领域的创新与发展，结合最新的科研成果和技术手段，如智能化数据处理、远程实时监测等，不断拓展其应用范围，提升其在工程建设中的实用价值。通过这些努力，我们必将为我国的工程建设事业注入更多活力，为国家的持续发展和繁荣做出更大贡献。

参考文献

- [1]卢鹏,盛威,戴雨,朱翔鹏,谢玉福,李辉,刘敏,朱柳琴.高密度电法在工程勘察中的应用[J].能源技术与管理,2024,49(2):171-174.
- [2]王斌,黄兴久,张朋.高密度电法在工程勘察中的应用研究[J].微型计算机,2024(6):145-147.
- [3]娄利.高密度电法在城市地基勘察中的应用[J].能源技术与管理.2021(10):86-87.