

# 根石探测技术在黄河水利中的应用与发展

王海燕 王顺生

濮阳黄河河务局范县黄河河务局 河南 濮阳 457000

**摘要:** 本文旨在探讨根石探测技术在黄河水利中的应用现状、发展历程及未来趋势。黄河作为中国的第二长河,其河道整治工程对于防洪安全具有重要意义。根石作为坝体安全的基础,其探测技术的提升直接关系到防洪工程的稳定性和安全性。本文将从黄河根石的声学特性、地球物理探测技术的应用,以及未来发展趋势三个方面展开详细论述。

**关键词:** 根石探测;黄河水利;应用;发展

## 引言

黄河河道整治工程是防洪工程的重要组成部分,主要包括控导工程和险工两部分。控导工程和险工由丁坝、垛(短丁坝)、护岸等建筑物组成,其中坝垛结构的安全直接关系到整个防洪体系的稳定性。根石作为坝垛结构的基础,其分布情况的及时探测是防汛抢险、确保防洪安全的关键工作之一。

## 1 黄河根石的声学特性

### 1.1 反射波特性和

黄河根石的声学研究表明,其反射波特性和十分独特。当声波遇到根石界面时,会发生反射现象,并产生多峰状的反射波。这种多峰状特征意味着反射波在频谱上呈现出多个明显的峰值,这些谱峰尖锐且具有一定的宽度。更重要的是,存在两个明显的频谱特征区,这两个区域在频谱上具有较高的能量和显著的谱峰。这些反射波特性和为根石的识别与定位提供了重要依据。由于反射波的多峰状特征和明显的频谱特征区,使得声波在根石界面上的反射信号具有丰富的频谱信息。通过对这些频谱信息的分析,可以有效地识别出根石的存在,并确定其位置。这对于黄河防洪工程中的根石探测和定位具有重要意义。

### 1.2 反射系数差异

在无干扰的理想状态下和有水底波动的实际情况下,水-根石界面的反射系数存在显著差异。理想状态下,水-根石界面的反射系数是一个固定的值,它代表了声波在垂直入射到根石界面时发生的反射程度。然而,在实际情况下,由于水底波动、水流冲刷等因素的影响,水-根石界面的反射系数会发生变化。研究表明,这种反射系数的差异通常很大,差距在两倍以上。这一特性对于根石探测来说非常重要。因为在复杂的河底环境中,存在各种沉积物和杂质,它们与水-根石界

面的反射系数存在差异<sup>[1]</sup>。利用这一特性,可以在复杂的河底环境中准确区分根石与其他沉积物,提高探测结果的准确性。

### 1.3 频谱特征分析

通过对反射波的频谱特征进行深入分析,可以进一步了解根石的物理性质和分布状态。根石的谱峰尖锐且能量集中,这一特征在频谱上表现为谱峰的高度和宽度都相对较大,且谱峰周围的能量较低。这种特征有助于在频域内对分子信号进行有效提取和识别。具体来说,可以利用频谱分析方法对反射波信号进行处理,提取出根石的频谱特征。通过对这些特征的分析,可以推断出根石的物理性质,如硬度、密度等。同时,还可以根据频谱特征的变化来判断根石的分布状态,如是否存在空洞、裂缝等。这些信息对于黄河防洪工程的安全性和稳定性评估具有重要意义。

## 2 根石探测技术在黄河水利中的应用:地球物理探测技术

### 2.1 地球物理探测技术简介

针对传统黄河根石探测方法的局限性,如探测范围小、速度慢、效率低以及危险性高等问题,黄河水利委员会(黄委)经过深入研究和实践,创新性地采用了大功率声呐技术,实现了小尺度水域的精细化探测。这一技术突破了传统方法的束缚,为黄河防洪工程的安全性和稳定性提供了有力保障。大功率声呐技术基于河水、沉积泥砂、根石界面之间的波阻抗差异,利用声波反射原理进行探测。当声波遇到不同介质的界面时,会发生反射现象,仪器通过接收和分析这些反射信号,可以获取水下根石的分布信息。同时,结合GPS定位系统,该技术能够实时同步探测数据与定位数据,确保探测结果的准确性和可靠性。

### 2.2 工作原理与现场应用

### 2.2.1 工作原理

大功率声呐技术的工作原理主要基于声波在不同介质界面上的反射现象。当声波从一种介质（如河水）传播到另一种介质（如沉积泥沙或根石）时，由于两种介质的波阻抗存在差异，声波会在界面上发生反射。反射的声波会被声纳仪器接收并记录下来。具体来说，声纳仪器会发射一束声波，这束声波会沿着设定的方向传播。当声波遇到水与沉积泥沙的界面时，一部分声波会反射回来，被仪器接收。同样地，当声波遇到沉积泥沙与根石的界面时，也会发生反射现象。通过记录和分析这些反射信号，可以确定根石的位置、形状和大小等信息。为了进一步提高探测的准确性，声纳仪器还会结合GPS定位系统进行工作<sup>[2]</sup>。GPS定位系统可以实时提供探测船的位置信息，使得声纳仪器能够将接收到的反射信号与具体的地理位置相对应。这样就可以得到水下根石的精确分布图。

### 2.2.2 现场应用

（1）前期准备：选择探测断面，确定探测范围和深度，准备探测船、声呐系统、GPS定位系统等设备和相关技术人员。（2）设备安装与调试：在探测船上安装声呐系统和GPS定位系统，并进行设备调试，确保各系统正常工作并能够实时同步数据。（3）现场探测：探测船沿预定断面行驶，声呐系统持续发射声波并接收反射信号，GPS定位系统实时记录探测船的位置信息。操作人员监控设备状态，确保数据准确采集。（4）数据初步处理：在探测过程中或探测结束后，对采集到的数据进行初步处理，如滤波、降噪等，以去除干扰信号，提高数据质量。（5）详细分析与结果呈现：将初步处理后的数据导入专业软件进行深入分析，提取根石相关信息。根据分析结果，生成根石分布图等可视化成果，展示探测结果。（6）成果应用与反馈：将探测成果应用于黄河河道整治工程、防洪抢险等实际工作中，为工程规划和决策提供数据支持。同时，根据实际应用效果对探测技术进行评估和改进，不断提升探测精度和效率。

### 2.3 应用效果与成果

地球物理探测技术在黄河河道整治工程中得到了广泛应用，并取得了显著的成果。该技术已经成功探测了数千道、万余个断面，为防洪抢险提供了准确的数据支持。探测结果的准确性和可靠性得到了广泛认可，为黄河防洪工程的安全性和稳定性评估提供了重要依据。此外，通过根石管理系统数据库的建立和完善，实现了探测成果的信息化管理。探测数据被及时录入数据库，并进行整理和分析。这不仅可以方便地查询和检索历史探

测数据，还可以对根石的变化趋势进行预测和分析，为防洪工程的规划和管理提供科学依据。

## 3 根石探测技术的未来发展趋势

### 3.1 技术创新与设备研发

#### 3.1.1 新型探测设备

未来，将研发更多适用于不同水域条件和作业环境的根石探测设备。这些设备将具备更强的环境适应性，能够在复杂多变的水文地质条件下稳定工作，提高探测的准确性和可靠性。例如，针对汛期水流湍急、泥沙含量高的特点，可以研发悬臂式根石探测装备，通过远程控制和稳定平台技术，减少人工干预，提高探测的安全性和效率。新型探测设备将趋向于多功能集成化，即一台设备能够完成多种探测任务。这不仅可以降低设备成本，还可以提高探测效率。例如，将声纳探测、电磁波探测、地质雷达等多种探测技术集成于一台设备中，根据实际需求选择合适的探测模式。随着无人机、无人船等无人化平台技术的成熟，未来根石探测将更多地采用无人化探测系统<sup>[3]</sup>。这些系统可以在恶劣环境下进行自主探测，减少人员风险，同时提高探测的灵活性和覆盖范围。

#### 3.1.2 智能化系统

结合人工智能、大数据等技术，开发智能化根石探测与管理将成为未来发展的重要方向。这些系统能够自动处理和分析探测数据，提取有用信息，并通过机器学习算法不断优化探测模型和参数设置。例如，利用人工智能技术对探测数据进行深度学习分析，可以自动识别根石类型、评估根石稳定性等。智能化系统将实现根石的实时监测与预警功能。通过在关键区域部署固定或移动式探测设备，实时监测根石的变化情况，一旦发现异常情况立即发出预警信号，为防洪抢险提供及时准确的信息支持。

### 3.2 数字化与信息化

#### 3.2.1 数字孪生黄河

数字孪生黄河是通过先进的数字技术，将黄河的物理实体及其运行过程进行高度模拟和虚拟化，构建一个与实体黄河相对应的虚拟黄河系统。这一技术的应用，旨在提升黄河治理的智能化水平，为根石探测、防洪抢险等提供科学依据和决策支持。具体来说，数字孪生黄河通过构建黄河的三维场景，能够真实再现黄河的地理环境、水流动态、工程设施等要素。在此基础上，可以模拟洪水发生过程，评估工程设施的薄弱环节，为防洪抢险提供精准预测和预案制定。技术实现主要包括：

（1）三维场景构建：利用GIS（地理信息系统）、遥感技术等手段，收集黄河的地理空间数据，构建高精度的

三维场景。这些场景不仅包含了地形地貌信息，还涵盖了水流、植被、工程设施等动态要素。(2) 模拟仿真引擎：自主研发如“云河地球”等数字孪生模拟仿真引擎，能够在三维场景中模拟洪水的发生、传播和消退过程。通过调整参数和模拟条件，可以实现对不同洪水情景的预测和分析。(3) 数据分析与评估：在模拟过程中，系统会实时收集和分析大量数据，包括水流速度、水位变化、工程设施受力情况等。通过对这些数据的分析，可以评估工程设施的薄弱环节和潜在风险点，为防洪抢险提供科学依据。

### 3.2.2 信息化平台建设

建立统一的根石探测与管理信息化平台，是实现根石探测数据实时上传、共享与查询的关键步骤。该平台应基于云计算、大数据等先进技术构建，具备高可用性、可扩展性和安全性等特点。通过物联网技术将根石探测设备与信息化平台相连接，实现探测数据的实时上传和自动处理。这不仅可以提高数据传输的效率和准确性，还可以减少人工干预和误差。信息化平台应具备数据共享和查询功能，支持多用户访问和数据交互。不同部门和单位可以通过平台共享探测数据和分析结果，实现协同工作和资源共享。同时，用户可以通过平台查询历史数据和分析结果，为工程规划和决策提供有力支持。结合人工智能和大数据技术，对上传的探测数据进行智能分析和处理。通过机器学习算法识别根石变化规律和潜在风险点，并提前发出预警信号。这有助于提高防洪抢险的响应速度和处置能力<sup>[4]</sup>。信息化平台的建设和应用，可以显著提升根石探测与管理的效率和水平。

## 3.3 标准化与规范化

### 3.3.1 制定技术标准

为了确保根石探测技术的准确性和可靠性，制定和完善相关的技术标准与规范是至关重要的。这些标准应涵盖探测设备的性能要求、探测方法的操作流程、数据处理与分析的方法等方面，以确保不同团队和机构在进行根石探测时能够遵循统一的标准，从而提高探测结果的一致性和可比性。首先要明确探测设备的性能要求，包括探测深度、分辨率、精度等，以确保设备能够满足不同水域条件和作业环境的需求。其次，应制定详细的

探测方法操作流程，包括设备校准、探测路线规划、数据采集与记录等，以确保探测过程的规范化和标准化。此外还要确立数据处理与分析的方法和技术要求，包括数据滤波、降噪、特征提取等，以确保探测结果的准确性和可靠性。

### 3.3.2 加强人员培训

除了制定技术标准外，加强探测人员的专业技能和安全意识培训也是至关重要的。通过培训，可以提高探测人员的专业素质，使他们能够熟练掌握探测设备和技术，并能够在复杂多变的作业环境中灵活应对。定期组织探测人员进行专业技能培训，包括设备操作、数据处理与分析、探测方法与技术等方面的内容，以提高他们的专业素质和探测能力。加强探测人员的安全意识培养，使他们能够充分认识到探测作业中的潜在风险，并采取有效的措施进行防范和应对，确保探测工作的顺利进行。通过实战演练和考核，检验探测人员的专业技能和安全意识水平，并根据演练和考核结果进行针对性地培训和提升，以确保他们能够在实际工作中发挥出色的表现。

## 结语

根石探测技术在黄河水利中的应用与发展，对于提高防洪工程的稳定性和安全性具有重要意义。随着技术的不断创新与设备的不断升级，根石探测技术将更加智能化、数字化和标准化，为黄河防洪事业提供更加坚实的技术支撑。未来，应继续加强技术研发与推广应用，不断提升根石探测技术的整体水平，为黄河的长治久安贡献力量。

## 参考文献

- [1]潘纪顺,王宾,王锐,等.黄河根石的声学特性研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2018,39(06):51-58.
- [2]马晓阳.基于根石探测技术黄河宁夏段丁坝冲深研究[J].中国水利,2014,(20):45-47.
- [3]郭木义,黄河根石探测装备与技术研究.河南省,华北水利水电大学,2013(2):12-30.
- [4]刘瑞银,刘璐.根石探测技术在黄河整治工程中的应用[J].山东水利,2012,(03):20-21.