

所以就要结合移民本人意愿与社会需求进行技能培训。培训项目可涉及多种方面,比如农业生产技术、手工艺品加工、服务行业技能、网络销售等。

在培训方法上,要灵活多样,可以采取集中授课、现场教学、实训、网络教学等形式,以便更好地服务不同的移民。还要注意培训效果,让移民学到东西才是目的。而就业援助是技能培训的目的所在。政府以及有关单位要大力牵线搭桥,加强与企业联系,为移民创造更多就业机会。可以组织招聘会或者建立就业网站,及时公布招聘信息。还可以引导他们自主创业,在有意愿创业的人群中开展创业指导、政策帮助以及资金帮扶工作。通过技能培训及就业援助提升移民就业能力,使移民能找到工作并获得体面报酬,从而改善自身生活水平。

3.4 社会保障与后续扶持

社会保障是水利水电工程农村移民生产安置工作的重要组成部分,在保障移民基本生活、防范安置风险方面发挥着重要作用。水利水电工程移民搬迁安置之后,生活环境发生巨大变化,原有的保障关系、就业渠道以及生活方式都需要改变,如果不能很好地给予社会保障,容易导致移民生活不稳定、发展受阻的情况。因此,必须把社会保障贯穿到移民安置工作中去,在养老、医疗、失业、救济等方面使移民享受到与当地居民一样的权利和平等的机会,使保障关系顺利过渡,保障水平一样落实。良好的社会保障可以为移民提供基本的生活保障,在一定程度上解决移民在初期所面临的困难,消除其后顾之忧,让移民能够更加安心地开展生产和工作,更好地融入当地生活,为其将来的发展打下坚实的基础^[2]。

后续扶持是移民生产安置工作的继续和发展,更是移民能够稳定生活并最终富裕起来的重要手段。由于水利水电工程建设给移民的生活和生产带来的影响是长久而复杂的,在一次性补偿和短期内安置之后,移民在以后很长一段时间里还可能会遇到诸如发展产业、缺少技术、有沉重的家庭责任以及融入当地社区等一系列问题,因此需要长期、持续地给予他们帮助和支持。后续扶持不是短期应急之举,而是一项长期性工作,既要解决眼前困难,又要增强长远发展能力,

让移民实现从“搬得出”到“稳得住、有事做、能致富”。

后续扶持工作要以移民实际需要为主,在发展产业上继续给予移民技术指导、信息服务、市场对接及品牌打造等方面帮助,巩固前期产业扶持成果,使产业发展具有可持续性;在民生保障上加大对困难移民家庭援助力度,在生活救助、教育资助、医疗卫生等方面予以帮助,特别是要关注老年人、残疾人、困境儿童等特殊群体基本生活;在公共服务上进一步加强安置区交通、给排水、供电、通讯、环卫等设施建设,提高教育、医疗、文化和养老等公共服务能力,减少移民与当地群众之间公共服务差异。

社会保障和后续扶持相互配合、互相促进,形成水利水电工程农村移民全面保障格局。社会保障托底稳民心,后续扶持增收促发展。把统筹做好社会保障全覆盖以及后续扶持长效作为工作重点,可以切实提高移民生活水平,使移民更好地融入当地社会生活和发展,缓解社会问题,树立发展信心^[3]。从而达到移民生计有保障,发展有出路,生活有提高目的,推进水利水电工程移民安置向更高水平、更可持续发展方向。最终实现移民“搬得出、稳得住、能致富”,促进库区经济社会和谐稳定与长治久安。

4 结语

综上所述,水利水电工程农村移民生产安置是一项庞大而十分复杂的工作。上文中所提到的生产安置人口的概念以及其计算方式为安置计划奠定基础,但是规划前移、产业扶持、技能培训和社会保障等措施是做好生产安置的重要手段。利用以上措施可有效解决移民生产生活中遇到的问题,使移民得到更好发展。今后还需不断完善这些措施来满足日益发展的形势需要,促进水利水电工程建设与移民安置协调发展。

参考文献

- [1] 张臣,张兵,冯文强,等. 土地整治与水利水电工程农村移民生产安置规划的思考[J]. 产业与科技论坛, 2025, 24 (02): 224-226.
- [2] 孙奎. 浅谈新形势下水利水电工程移民生产安置[J]. 中华建设, 2023, (11): 27-29.
- [3] 张礼强,胡珏. 新时期农村特性转变下水利水电工程农村移民安置的思考[J]. 云南水力发电, 2023, 39 (07): 14-16.

Research on Precision and Influencing Factors Control of Non destructive Testing of Anchor Rod Grouting Density

Jiashan Wang¹ Mengqi Zhang² Jian Chen² Kaixuan Sun¹

1. Yellow River Institute of Hydraulic Research YRCC, Zhengzhou, Henan, 450005, China

2. CNNC Xinhua Huanglong Pumped Storage Power Generation Co., Ltd., Tianshui, Gansu, 741020, China

Abstract

Addressing the challenge of qualitative judgment-based anchor rod grouting compactness detection in pumped storage power stations, which is difficult to meet the requirements of refined quality control, a comprehensive quantitative discrimination index integrating wave velocity c , energy attenuation coefficient α , and reflection coefficient K is proposed. Through simulated anchor rod tests, a quantitative relationship between defect size, location, and waveform characteristic parameters is established. The influence of key process parameters such as water-cement ratio and grouting pressure on compactness is clarified, and the optimal process range applicable to hydraulic engineering is determined. Practice has shown that this method can achieve precise defect localization and severity assessment, providing a reliable basis for anchor rod construction quality control.

Keywords

anchor rod grouting; compactness; non destructive testing; refinement; stress wave reflection method.

锚杆无损检测量化判别与影响因素控制研究

王家善¹ 张孟七² 陈建² 孙凯旋¹

1. 黄河水利委员会黄河水利科学院研究院, 中国·河南 郑州 450005

2. 中核新华黄龙抽水蓄能发电有限公司, 中国·甘肃 天水 741020

摘要

针对抽水蓄能电站锚杆注浆密实度检测以定性判断为主、难以满足精细化质量控制的难题, 提出融合波速 c 、能量衰减系数 α 及反射系数 K 等综合量化判别指标。通过模拟锚杆试验, 建立缺陷尺寸、位置与波形特征参数的量化关系, 明确水灰比、注浆压力等关键工艺参数对密实度的影响规律, 确定适用于水利工程的最优工艺范围。实践表明, 该方法可实现缺陷精准定位与严重程度评估, 为锚杆施工质量控制提供可靠依据。

关键词

锚杆注浆; 密实度; 无损检测; 量化; 抽水蓄能电站

1 引言

锚杆支护技术是水利水电工程中加固地下洞室围岩、稳定高边坡的关键手段。在抽水蓄能电站建设中, 庞大的地下厂房、错综复杂的输水隧洞以及高大的边坡对支护结构的长期安全性与可靠性提出了更高要求。锚杆的支护效能直接取决于锚固段注浆体的密实程度, 注浆不饱满、存在空洞或离析等缺陷将显著削弱锚固力, 可能引发洞室收敛变形、衬砌开裂等严重后果。

目前, 应力波反射法无损检测已成为锚杆质量检测的主流手段。然而, 现行水利工程实践中, 检测多侧重于锚杆整体“饱满度”的定性判断, 主要存在以下局限: 首先, 难

以满足抽水蓄能电站对隐蔽工程“可知、可测、可控”的精细化管理需求, 无法精确识别缺陷的具体位置与尺寸; 其次, 难以量化评估缺陷的严重程度, 难以为修复决策提供依据; 最后, 定性结论无法为复杂地质条件下的施工工艺优化提供量化反馈。

冲击回波检测技术通过分析冲击产生的弹性波在锚杆—注浆体—围岩系统中的传播特性, 可检测注浆空洞、不密实区域等缺陷, 检测要点包括波速校准、信号采集、频率分析和缺陷定位。研究表明, 通过时域反射波法和小波分析可对缺陷进行定位, 应力波传播到不同锚固界面时小波波形幅值会发生突变, 设置阈值可描述该突变程度, 有效识别缺陷并减小误差。

本研究结合甘肃某抽水蓄能电站工程实践, 旨在建立锚杆注浆密实度量化判别方法, 为地下厂房、输水系统等关键部位支护结构可靠性提供技术保障。

【作者简介】王家善(1989—), 男, 中国河南商丘人, 助理工程师, 从事水利工程研究。

2 检测原理与量化判别指标体系

2.1 应力波反射法基本原理

应力波反射法检测锚杆的基本原理与低应变桩基完整性检测类似。在锚杆外露端施加瞬态冲击波，产生应力波沿杆体传播。当波传播遇到波阻抗变化的界面时，将产生反射波和透射波。当波在传播过程中遇到波阻抗发生变化的位置（如介质变化——完整砂浆与缺陷区的界面）时，将产生反射波和透射波。

波阻抗 Z 定义为介质密度 ρ 、波速 c 和截面面积 A 的乘积，即。注浆密实段波阻抗大，应力波能量易于向围岩耗散，反射信号弱；缺陷段波阻抗显著减小，形成强反射信号。通过传感器接收反射信号并分析时域波形，可根据反射波到达时间 Δt 判断缺陷位置（其中 c 为应力波波速），根据反射波极性判断缺陷性质，根据反射波幅值初步判断缺陷严重程度。

波的传播时间测量需达到微秒级精度以反映密实度变化，信号频率成分分析可识别注浆体内部缺陷引起的频率偏移，为密实度评估提供频谱依据。工程实践中，锚杆无损检测仪已完成 8743 根锚杆检测，曾成功发现 2.8 米处因碎石导致的锚固空腔，为工程排除重大隐患。

2.2 量化评价指标构建

为实现从定性到量化的跨越，需超越单一的波形形态、频谱信号的分析，可建立多维度的量化指标。

(1) 波速特征 (c): 完整锚杆完整锚杆波速相对稳定，存在缺陷时等效波速可能发生变化。通过测量应力波平均波速，通过测量应力波平均波速，可作为整体质量的辅助判别指标。波速计算需基于传播时间和已知距离进行校准，考虑环境因素如温度湿度的影响，确保波速值与注浆密实度呈正相关关系。

(2) 能量衰减系数 (α): 定义在特定长度内应力波能量的衰减率。注浆密实段能量衰减快，缺陷段能量衰减慢。通过计算信号时域或频域的能量衰减可量化密实度，如对比首次缺陷反射与入射波的能量比。信号衰减特性评估中，衰减系数过大可能指示注浆体存在裂隙或松散结构。

(3) 频谱特征参数 (f_0): 冲击波包含丰富的频率成分，高频分量对缺陷更为敏感且传播中衰减更快，密实锚杆接收信号主频较低且集中；存在缺陷时信号频谱发生变化，主频可能发生偏移，频带宽度增加，参数优化的变分模态分解方法可克服传统频谱方法难以分离高度耦合固有模态的困难，生成新的量化评价指标。

(4) 反射系数 (K): 通过对波形进行反射分析，可估算缺陷界面处的反射系数。该系数与缺陷的波阻抗变化直接相关，是量化缺陷严重程度的核心参数。

2.3 检测精度与误差控制

检测过程中需考虑仪器误差、操作偏差等因素的影响，

制定误差限值以提高结果的可比性。数据重复性验证应在同一检测点进行多次冲击测试，比较结果的一致性以排除随机误差并消除现场振动、电磁干扰等噪声，提高信号信噪比。

3 数据分析与规律研究

基于前期制作的模拟锚杆（系统改变缺陷位置 L_d 、缺陷长度 ΔL 、锚杆总长 L ）及采集的波形数据，开展量化关系分析。

3.1 缺陷定位精度验证

对不同锚杆长度的检测数据进行分析，确认了缺陷位置 (L_d) 与反射波走时 t 严格遵守 $L_d = c \cdot t / 2$ 的线性关系。通过对已知缺陷的模拟锚杆测试，标定了所用锚杆材料的波速 c ，为现场未知锚杆的缺陷定位提供了精确基准。计算波速的精度直接影响缺陷定位准确性，采用标定法与预设法相结合可有效提高波速计算精度。

3.2 缺陷尺寸与波形特征参数的量化关系

重点分析缺陷长度 ΔL 与波形特征参数的关系。

(1) 幅值特征: 在同一位置，随着空洞缺陷长度 ΔL 的增加，其反射波幅值 A_r 呈单递递增趋势。通过数据拟合，可建立 A_r / A_i (反射波与入射波幅值比) 与 ΔL 的经验公式，为缺陷尺寸的定量估算提供依据。基于应力波在锚固锚杆中的传播规律，对含缺陷锚固锚杆的加速度信息进行解析，通过频域分析中基频等参数可对锚固质量进行初步判断。

(2) 能量衰减: 定义“前段能量比”指标: β ，即缺陷反射波前一段信号能量与入射波能量之比。研究发现，相同位置的缺陷， ΔL 越大， β 值也越大，表明缺陷段越长则能量衰减越少，反射回的能量越多。

(3) 频谱响应: 对含有不同长度缺陷的信号进行 FFT 变换。结果表明，随着 ΔL 增大，信号的主频有向低频移动的趋势，且频带宽度增加。这可能是由于较长的缺陷相当于一个低通滤波器，并引入了更复杂的多次反射。频谱技术已广泛应用于评估注浆锚杆的注浆质量，参数优化的变分模态分解方法能够生成新的量化评价指标，相比传统的固有频率分析显著提升质量评估能力。

3.3 缺陷类型的波形识别

空洞与砂浆离析是两种常见缺陷，其波阻抗变化不同，导致波形特征存在差异:

空洞缺陷: 波阻抗变化剧烈，反射信号尖锐、幅值大，高频成分相对丰富;

离析缺陷: 波阻抗变化相对平缓，反射信号较宽钝，幅值中等，且由于离析砂浆的阻尼作用，高频成分衰减更为显著;

通过综合时域波形形态和频域特征的差异，可实现对缺陷类型的初步判别。研究发现，应力波传播到不同的锚固界面时小波波形幅值会发生突变，设置阈值可描述该突变程度，使用程序可有效识别缺陷并减小时域反射波法的误差。