

抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁结构安全监测技术应用

何双岸

长江三峡技术经济发展有限公司 北京 101100

【摘要】：抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁结构的安全性能对电站长期稳定运行具有关键意义。随着地下厂房规模的扩大和埋深的增加，岩锚梁结构受复杂地应力与围岩变形的共同作用，安全风险日益突出。本文围绕岩锚梁结构安全监测技术展开研究，提出基于多源数据融合的实时监测方法，结合应力应变、锚索受力、围岩变形及微震响应等多维监测手段，实现对结构运行状态的全面评估。通过对典型抽水蓄能电站工程实例的分析，验证了所提出技术在异常预警、隐患识别和安全控制中的有效性，为地下厂房岩锚梁结构的设计优化和长期稳定运行提供了技术支持。

【关键词】：抽水蓄能电站；地下厂房；岩锚梁结构；安全监测技术

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.046

引言

抽水蓄能电站作为能源结构转型的重要支撑，在调节电网负荷、提升能源利用效率方面发挥着关键作用。地下厂房岩锚梁结构因承载大型机组设备及围岩压力，成为影响工程稳定性的重要环节。随着建设规模的扩大和埋深的增加，复杂地质条件及动态水压作用使结构受力特征更加多样且不确定性增强。如何通过高效的安全监测技术，实时掌握岩锚梁结构状态，及时识别潜在风险，已成为工程设计与运行管理中的核心问题。

1 抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁结构安全风险分析

抽水蓄能电站地下厂房在复杂地质环境中建设，岩锚梁结构成为承载厂房上部荷载和维持围岩稳定的重要支撑体系。由于地下厂房埋深大，围岩受区域地应力场影响显著，岩锚梁结构在运行过程中往往承受多向不均匀荷载，极易出现受力集中和局部损伤。受地下水渗流、地质构造断裂及岩体节理发育等因素影响，锚梁与围岩间的协同作用存在不确定性，导致结构在长期服役中可能出现蠕变变形或强度衰减。这些因素叠加使得安全风险的复杂性增加，对电站长期稳定运行构成潜在威胁。

在实际运行中，岩锚梁结构的危险主要体现在锚索受力状态、围岩变形规律以及局部卸荷区的破坏模式。锚索受力的不平衡容易造成应力集中，从而引发滑移破坏或锚固失效，而围岩在高地应力条件下可能发生突变性变形，形成局部塌落或裂隙扩展。地下水动力作用进一步加剧了这一过程，水压波动和渗透破坏会导致结构受力体系的不稳定。加之施工过程中的扰动和荷载传递的不连续性，使得岩锚梁结构在长期服役阶段面临诸多不可忽视的安全隐患。

岩锚梁结构的安全风险不仅来源于外部环境因素，还与结构本身设计与材料性能密切相关。若锚索布置角度、锚固长度

或梁体截面设计不合理，极易引起受力分布的不均衡，导致局部构件提前进入极限状态。长期荷载作用下，锚固界面可能出现摩阻力衰减，梁体混凝土也可能因疲劳开裂而降低整体承载能力。若缺乏有效监测手段，风险隐患往往难以及时识别和处置，可能演化为突发性破坏事件。基于此，对抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁结构进行深入的安全风险分析，不仅能够揭示潜在失稳机理，还为后续安全监测技术的合理应用提供理论依据与工程参考。

2 基于多源数据融合的岩锚梁结构安全监测技术研究

岩锚梁结构在抽水蓄能电站地下厂房中承担着维持围岩稳定和传递荷载的重要作用，其安全状态直接关系到厂房整体结构的稳定性。为应对复杂的地应力环境和多变的围岩条件，基于多源数据融合的安全监测技术成为提高监测精度和实时性的关键手段。通过整合应力应变监测、锚索受力检测、围岩变形观测和微震响应分析等多维监测数据，可以形成对岩锚梁结构运行状态的多角度感知体系。多源数据的高效融合能够避免单一监测手段的局限性，全面反映结构受力与围岩稳定的动态变化，为风险识别提供精准的数据支撑。

在实际工程中，数据融合技术的核心在于建立统一的监测信息平台，将来自分布式光纤传感器、声发射监测仪、振弦应变计及高精度三维激光扫描系统的多源数据进行同步处理。通过多传感器信息交叉校准，能够实时捕捉锚索受力变化、梁体裂缝扩展及围岩形变趋势，并与地下水动力监测结果相互关联，实现对潜在不稳定区的提前预警。微震监测技术在系统中具有重要地位，通过分析岩体破裂声发射特征，能够识别深部微小损伤并预测可能的失稳行为。多源数据融合技术通过时间序列关联、空间数据拟合和机器学习模型的综合应用，使得岩锚梁结构安全监测从被动响应转向主动预防，提高了监测的准

确性与可靠性。

随着监测技术的不断发展,多源数据融合不仅实现了对岩锚梁结构安全状态的高精度感知,还推动了智能化监测体系的构建。在抽水蓄能电站地下厂房应用中,通过对实时监测数据的动态分析,可以快速识别异常工况并定位风险源区,为运行管理提供及时决策支持。同时,历史监测数据的积累与大数据分析相结合,有助于建立针对不同地质条件与结构形式的风险预测模型,实现对岩锚梁结构长期服役性能的趋势评估。该技术体系在实际工程中已展现出显著优势,为实现高埋深、复杂地质条件下地下厂房岩锚梁结构的精细化安全管理提供了可靠的技术路径。

3 岩锚梁结构安全监测在工程实例中的应用与验证

在抽水蓄能电站地下厂房的建设与运行过程中,岩锚梁结构的安全监测在实际工程应用中展现出关键作用。通过在典型工程实例中布设多类型传感器与监测设备,能够实现对梁体内部应力、锚索受力、围岩变形及地下水渗流等关键参数的实时采集。监测系统通过分布式光纤传感、振弦应变计、三维激光扫描和微震监测等技术手段协同工作,为获取全面、连续的动态数据提供了有力支撑。在某抽水蓄能电站工程中,通过高频数据采集实现了对岩锚梁结构在不同工况下受力状态的量化分析,有效揭示了深埋条件下结构受力与围岩应力释放之间的耦合关系,为设计优化与风险评估提供了直接依据。

在监测数据分析过程中,通过多源信息融合与数值模拟结果的对比,可以更加精准地验证结构安全性。针对梁体混凝土内部微裂缝扩展、锚固界面摩阻力衰减和围岩卸荷区变形等关键问题,监测系统将声发射技术与三维激光点云重建相结合,

形成动态可视化分析模型,实现对潜在损伤位置和发展趋势的早期识别。微震响应监测在应用中表现出高度灵敏性,通过对低能量破裂事件的波形分析,可以预判结构内部隐蔽性损伤并验证锚固系统的稳定性。在工程实例中,基于现场实测数据建立的监测—预警模型显著提升了异常工况的识别效率,使得在围岩塑性区扩展前即可采取针对性加固措施,从而降低整体结构失稳的风险。

在应用效果验证方面,通过对长期监测数据的统计分析对比评估,进一步确认了多源数据融合技术在实际工程中的可靠性与适应性。监测结果表明,在高地应力、强渗流及复杂地质条件下,岩锚梁结构在合理设计与动态监测的双重保障下保持了良好的稳定性。基于大量工程实例的应用成果,可以建立适用于不同地质环境和结构形式的安全评价体系,为抽水蓄能电站地下厂房的设计、施工及运营阶段提供技术参考。这种基于工程实践的验证过程不仅确保了监测技术的有效性,也为后续类似工程推广安全监测方法积累了宝贵经验。

4 结语

岩锚梁结构在抽水蓄能电站地下厂房中承担着维持围岩稳定和承载荷载的关键作用,其安全状态直接关系到工程整体的稳定与运行可靠性。基于多源数据融合的安全监测技术在工程实例中得到有效验证,通过多维度、动态化的监测手段实现了对结构受力、围岩变形和锚固系统状态的精细化感知。结合实际应用结果,该技术体系显著提升了风险识别效率和预警能力,为岩锚梁结构的设计优化与长期安全运行提供了坚实的技术支撑,并为类似工程的安全管理与监测策略提供了可借鉴的经验。

参考文献:

- [1] 王建国.抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁设计与稳定性分析[J].岩土工程学报,2020,42(3):487-495.
- [2] 李志强,陈伟.基于多源数据融合的地下厂房岩锚梁安全监测技术[J].水电能源科学,2021,39(5):72-79.
- [3] 周立新,赵国峰.抽水蓄能电站地下厂房围岩稳定性及锚固技术研究[J].岩石力学与工程学报,2023,38(8):1583-1592.