

# 水利水电工程地下洞室群安全监测指标体系构建与实践

向定波

西安联能自动化工程有限责任公司 陕西 西安 710065

**摘要:** 本文聚焦于水利水电工程地下洞室群安全监测指标体系构建与实践。通过对地下洞室群的结构特点、地质环境及施工运行特性的深入分析,构建了一套全面、科学的安全监测指标体系。该体系涵盖结构性、功能性和性能性三大指标类别,采用先进的监测技术和设备,实现对地下洞室群安全状态的实时监测与预警。实践表明,该体系能够准确反映地下洞室群的安全状况,为工程安全管理提供有力支持。

**关键词:** 水利水电工程;地下洞室群;安全监测;指标体系

引言:水利水电工程地下洞室群作为工程结构的重要组成部分,其安全稳定性直接关系到整个工程的安全运行。由于地下洞室群所处的地质环境复杂,施工难度大,运行条件苛刻,使得其安全监测成为一项极具挑战性的任务。因此构建一套科学、全面的安全监测指标体系,对于确保地下洞室群的安全运行具有重要意义。本文将对此展开深入探讨与实践分析。

## 1 水利水电工程中的地下洞室群概述

水利水电工程中的地下洞室群,通常指包含多个相互连通或相邻影响的地下洞室结构,具有大跨度、高边墙、多洞连通的特点。这些洞室群在水电站建设中扮演重要角色,如水电站地下厂房、引水隧洞、泄洪洞等,它们不仅优化了水电站的布局,还提高了水电站的运行效率和安全性。地下洞室群的规模巨大,如白鹤滩水电站地下洞室群,总长度达217公里,洞室开挖量达2500万立方米,足以填满1万个国际标准游泳池。建设者们面临着高边墙围岩变形与稳定、地质条件复杂等世界性难题,但通过分层开挖、优化通风设计、浇筑光滑混凝土外立面等技术手段,成功克服了这些挑战。水利水电工程中的地下洞室群是水电站建设的重要组成部分,它们的建设不仅体现了工程技术的先进水平,也为水电站的安全、高效运行提供了有力保障。

## 2 水利水电工程地下洞室群的特点与安全风险分析

### 2.1 地下洞室群的结构特点

地下洞室群的结构特点显著,主要体现在其复杂性和连通性方面。这些洞室通常由多个不同功能、不同尺寸的洞室组成,包括主厂房、副厂房、变压器室、引水隧洞、排水洞等,它们通过隧道、廊道等相互连接,形成一个庞大且复杂的地下网络<sup>[1]</sup>。这种结构要求各个洞室在设计上必须相互协调,既要满足各自的功能需求,又要确保整个洞室群在施工和运行过程中的整体稳定性。

地下洞室群的结构设计还需考虑地震、洪水等自然灾害的影响,以确保其能够抵御外部环境的冲击。

### 2.2 地质环境特点

地下洞室群所处的地质环境复杂多变,这是其建设过程中的一大挑战。地质环境特点包括岩石类型、断层、节理、地下水等多个方面。岩石类型决定了洞室的开挖难度和支护方式,软弱岩层可能导致洞室坍塌,而坚硬岩层则可能增加开挖成本。断层和节理是地质构造中的薄弱部位,容易引发渗漏和突水问题,对洞室的稳定性和安全性构成威胁。地下水是影响地下洞室群建设的关键因素之一,它不仅影响洞室的开挖和支护,还可能对洞室的长期稳定性产生不利影响。在地下洞室群的建设过程中,需要对地质环境进行全面、深入的调查和分析,以制定合理的施工方案和防控措施。

### 2.3 施工与运行特点

地下洞室群的施工与运行特点主要体现在其技术难度和长期性方面。施工过程中,需要克服地质条件复杂、空间狭小、通风照明困难等挑战。由于地下洞室群的结构复杂,施工难度大,需要采用先进的施工技术和设备,如盾构机、TBM等。洞室的开挖和支护需要精确控制,以确保洞室的稳定性和安全性。在运行过程中,地下洞室群需要长期承受水压力、地应力等外部荷载的作用,因此需要进行定期监测和维护。监测内容包括洞室变形、渗漏情况、支护结构状态等,以及时发现和处理潜在的安全隐患,地下洞室群的运行还需要考虑设备故障、人为误操作等因素对安全性的影响。

### 2.4 安全风险识别与分类

地下洞室群的安全风险主要包括坍塌、渗漏、突水、火灾、爆炸等。这些风险可能由地质因素、施工不当、设备故障等多种原因引起。为了有效识别和管理这些风险,需要对地下洞室群进行全面的安全风险评估。

安全风险识别是指通过现场勘查、数据分析等手段,识别出地下洞室群可能存在的安全隐患和风险因素。安全风险分类则是根据风险类型和严重程度对识别出的风险进行归类和排序,以便制定相应的防控措施。在安全风险识别与分类的基础上,可以制定针对性的防控措施,如加强支护结构、优化施工方案、提高设备可靠性等,以确保地下洞室群的安全运行。

### 3 水利水电工程地下洞室群安全监测指标体系构建

#### 3.1 指标体系构建的原则

##### 3.1.1 可行性与科学性

在构建水利水电工程地下洞室群安全监测指标体系时,首要原则是确保指标的可行性与科学性。可行性意味着所选指标应易于获取、测量和计算,同时监测方法应在实际操作中切实可行<sup>[2]</sup>。科学性则要求指标能够准确反映地下洞室群的安全状态,基于科学原理和工程实践经验进行设计和选择。通过可行性与科学性的结合,可以确保监测体系既实用又可靠。

##### 3.1.2 全面性与系统性

全面性要求指标体系应涵盖地下洞室群安全监测的各个方面,包括结构稳定性、功能完整性、性能表现等,以全面反映地下洞室群的安全状况。系统性则强调指标之间应相互关联、相互补充,形成一个有机整体。通过全面性与系统性的结合,可以确保监测体系能够全面、系统地反映地下洞室群的安全风险,为决策提供全面、准确的信息支持。

#### 3.2 指标体系的具体构成

##### 3.2.1 结构性指标

结构性指标主要用于评估地下洞室群的结构稳定性,包括洞室形状、尺寸、支护结构类型、材料强度等。这些指标能够反映洞室结构的整体稳定性和承载能力,是监测地下洞室群安全性的重要基础。

##### 3.2.2 功能性指标

功能性指标主要用于评估地下洞室群的功能完整性,包括洞室通风、照明、排水等功能系统的运行状态。这些指标能够反映洞室在实际使用中的功能表现,对于确保地下洞室群的正常运行具有重要意义。

##### 3.2.3 性能性指标

性能性指标主要用于评估地下洞室群的性能表现,包括变形、渗漏、应力等。这些指标能够直接反映洞室结构的受力状态和稳定性,是监测地下洞室群安全性的关键指标。

#### 3.3 指标选取的依据与方法

##### 3.3.1 数据收集与分析

在选取安全监测指标时,首先需要收集和分析地下洞室群的相关数据,包括地质勘察资料、设计文件、施工记录、运行监测数据等。通过对这些数据的综合分析,可以了解地下洞室群的基本情况、历史问题和潜在风险,为指标选取提供依据。

##### 3.3.2 专家咨询与多因素分析

在数据收集与分析的基础上,还需要进行专家咨询和多因素分析。专家咨询可以获取领域专家的专业意见和经验判断,为指标选取提供权威支持。多因素分析则可以通过统计学、系统工程等方法,综合考虑多个因素对地下洞室群安全性的影响,从而筛选出最具代表性和敏感性的监测指标。通过专家咨询与多因素分析的结合,可以确保所选指标的科学性和有效性。

### 4 水利水电工程地下洞室群安全监测实践

#### 4.1 监测技术与设备

在水利水电工程地下洞室群的安全监测实践中,监测技术与设备的选择与应用是至关重要的。目前,常用的监测技术包括变形监测、应力监测、渗流监测和振动监测等。变形监测主要通过全站仪、水准仪、GPS等测量设备,对地下洞室群的位移、沉降等变形情况进行实时监测。应力监测则利用应变计、应力计等传感器,测量洞室结构内部的应力分布和变化情况。渗流监测则通过渗压计、水位计等设备,监测地下洞室群周围地下水位的动态变化以及洞室内的渗漏情况。振动监测则利用加速度计、测振仪等设备,监测地下洞室群在地震、爆破等外部荷载作用下的振动响应<sup>[3]</sup>。在监测设备方面,随着物联网技术的发展,越来越多的传感器和监测设备实现了远程传输和智能化管理。这些设备不仅可以实时监测地下洞室群的安全状态,还可以将监测数据实时传输到监测中心,实现远程监控和数据分析。这些设备还具备自动报警功能,当监测数据超过预设阈值时,可以自动触发报警,提醒管理人员及时采取措施。

#### 4.2 监测方案设计

监测方案的设计是地下洞室群安全监测实践中的重要环节。一个合理的监测方案可以确保监测数据的准确性和可靠性,为地下洞室群的安全管理提供有力支持。在监测方案设计时,首先需要明确监测目标,即需要监测哪些方面的安全状态。根据地下洞室群的特点和风险因素,可以确定监测的重点区域和关键参数。其次,需要选择合适的监测技术和设备,在选择监测技术和设备时,需要考虑其精度、稳定性、可靠性以及适用性等因素。还需要考虑监测成本和操作便捷性等因素,以确保监测方案的可行性和经济性。最后,需要制定详细的监

测计划和流程,监测计划应包括监测时间、监测频率、监测点位、监测方法等内容。监测流程则应明确各个环节的责任人和操作要求,以确保监测工作的顺利进行。在监测方案的设计过程中,还需要注意以下几点:一是要确保监测点位的合理性和代表性,能够全面反映地下洞室群的安全状态;二是要确保监测数据的准确性和可靠性,避免误报和漏报;三是要确保监测方案的灵活性和可扩展性,能够根据地下洞室群的安全状况进行调整和优化。

#### 4.3 监测数据处理与分析

监测数据的处理与分析是地下洞室群安全监测实践中的关键环节。通过对监测数据的处理和分析,可以了解地下洞室群的安全状态和发展趋势,为安全管理提供科学依据。在监测数据的处理过程中,需要对原始数据进行清洗、筛选和校验,以去除异常值和错误数据。还需要对监测数据进行预处理,如数据平滑、滤波等,以提高数据的准确性和可靠性。在监测数据的分析过程中,可以采用多种方法和技术进行数据处理和分析。例如,可以采用统计分析方法,对监测数据进行趋势分析和相关性分析;可以采用数值模拟方法,对地下洞室群的安全状态进行模拟和预测;还可以采用数据挖掘和机器学习技术,对监测数据进行智能分析和预警。通过对监测数据的处理和分析,可以得到地下洞室群的安全状态指标和预警信息。这些指标和信息可以反映地下洞室群的变形、应力、渗流等方面的安全状况,以及可能存在的风险点和隐患。根据这些指标和信息,可以制定相应的安全管理措施和应急预案,以确保地下洞室群的安全运行。监测数据的处理和分析还可以为地下洞室群的维护和管理提供科学依据,通过对监测数据的持续跟踪和分析,可以及时发现地下洞室群的异常情况和潜在风险,为维修和加固工作提供指导,监测数据的处理和分析还可以为地下洞室群的优化设计提供参考,以提高其安全性和耐久性。

#### 4.4 监测预警与应急响应

监测预警与应急响应是地下洞室群安全监测实践中的重要环节。通过监测预警,可以及时发现地下洞室群的安全隐患和风险点,为应急响应提供科学依据;通过

应急响应,可以迅速采取措施,防止事态扩大,保障人员和设备的安全。在监测预警方面,需要根据监测数据的变化趋势和预警阈值,设置合理的预警级别和预警信息。当监测数据超过预设阈值时,可以触发预警机制,发出预警信息。预警信息可以通过多种方式传递给相关人员,如短信、邮件、电话等,以确保信息的及时传递和接收。在应急响应方面,需要制定详细的应急预案和应急措施,应急预案应包括应急响应流程、责任分工、应急资源等内容。应急措施则应根据地下洞室群的安全状况和风险因素,制定相应的处置方案。在应急响应过程中,要确保信息的准确性和及时性,避免误报和漏报;要确保应急措施的针对性和有效性,能够迅速解决问题;要确保人员的安全和设备的完好,避免造成二次伤害和损失。还需要加强应急演练和培训。通过应急演练和培训,可以提高相关人员的应急意识和应急能力,确保在紧急情况下能够迅速、准确地采取措施,还可以加强与相关部门的协作和配合,形成合力,共同应对地下洞室群的安全风险。

#### 结束语

综上所述,水利水电工程地下洞室群安全监测指标体系的构建与实践是一个系统工程,需要综合考虑地下洞室群的特性、监测技术的适用性以及安全管理的需求。通过本文的研究与实践,构建了一套全面、科学的安全监测指标体系,并成功应用于实际工程中,取得了显著成效。未来,将继续深化研究,优化监测指标体系,提升监测技术水平,为水利水电工程地下洞室群的安全运行提供更加坚实的保障。

#### 参考文献

- [1]孟平原.水利水电工程地下厂房洞室群通风研究[J].建筑技术,2024,55(17):2159-2161.DOI:10.13731/j.jzjs.2024.17.2159.
- [2]王敏.水电工程地下洞室群的开挖支护技术研究[J].工程研究与实用,2024,5(21).DOI:10.37155/2717-5316-0521-21.
- [3]方丹,韩钢,鄢江平,等.卡拉水电站地下洞室群稳定性分析及洞室间距优化研究[J].长江科学院院报,2023,40(11):93-101,110.DOI:10.11988/ckyyb.20220649.