

工程项目验收行为。在建设工程合同执行上,地方人民政府、项目法人要加强多单位多部门协调,严格按照有关规定,加强项目验收管理,使工程验收制度化、规范化,共同促进移民工程项目验收的开展。在项目验收工作结束后,及时与运行管理单位对接办理移交手续,确保工程尽早发挥效益。

## 5 结语

大中型水库移民工程项目管理工作是压实移民管理机构主体责任的具体体现,通过项目的监督管理,可从根本上提高移民工程项目管理质量。本文通过对在建移民工程项目招标投标、工程监理委托与实施、计划及实施进度、验收及移交等四个方面呈现的各种问题表现形式、问题原因分析进行梳理和分析,研究提出了解决措施及建议,对移民安置实施机构在在建水库工程项目推进具有较强的借鉴意义。

## 参考文献

- [1] 刘冬顺. 新时代长江流域水利法治建设总体思路与路径 [J]. 中国水利, 2025, (04): 7-12.
- [2] 谢骝仕,罗勇. 水库移民安置实施组织与验收路径探索 [J]. 水上安全, 2025, (11): 25-27.
- [3] 刘冬顺. 长江流域用水权交易实践与制度体系建设探索 [J]. 人民长江, 2025, 56 (05): 1-4.
- [4] 俞超群. 基于DPSIR模型和SEM的水库运行绩效关键影响因素研究 [J]. 项目管理技术, 2025, 23 (06): 119-123.
- [5] 谢骝仕,罗勇. 水库移民安置实施组织与验收路径探索 [J]. 河南水利与南水北调, 2025, 54 (05): 15-17.
- [6] 曾艳菲. 水利工程移民大数据动态监测与精准管理技术探究 [C]// 重庆市大数据和人工智能产业协会. 人工智能与经济工程发展学术研讨会论文集(三). 浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司, 2025: 50-54.
- [7] 李俊峰,王琰青. 水利水电工程移民安置验收对策研究 [J]. 海河水利, 2025, (03): 94-98.
- [8] 崔洪梅,李家明. 水电工程移民项目代建制模式评价与发展趋势 [J]. 人民黄河, 2024, 46 (S2): 136-137+140.
- [9] 张永芳. 水库移民安置工作监督检查问题研究[D]. 华北水利水电大学, 2023.
- [10] 谭文,刘青,范敏,等. 创新水库移民监督管理工作,保障移民稳定与中长期发展[C]//中国水利经济研究会,水利部发展研究中心,长江水利委员会. 创新体制机制建设 强化水利行业监管论文集.水利部水库移民司;中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,2019:197-203.
- [11] 王仁艳. 浅析水电工程建设项目竣工档案验收及后续管理[J]. 大陆桥视野, 2024, (05): 132-134.
- [12] 程磊,姚开军,陈崇德. 水利工程建设施工监理的现场控制与管理 [J]. 农村经济与科技, 2017, 28(03): 85-87.
- [13] 刘江颖,陆夏轶,张晓明. 2023年度水利移民稽察工作回顾与思考 [J]. 山东水利, 2024, (12): 21-24.

# Slope support technology in hydropower engineering construction

Fangjing Shao

Chengdu Hydroelectricity Construction Engineering Co.,Ltd., ofSinohydro Bureau No.7 Company, Chengdu, Sichuan, 611130, China

## Abstract

In China's water conservancy and hydropower construction, slope support technology runs through the entire process of excavation, construction, backfilling, and monitoring, manifesting as a systematic and highly engineered technical system. This paper first starts from the basic connotation of slope support, systematically elaborating its technical requirements in the construction environment of water conservancy and hydropower projects; secondly, it analyzes the key role of slope support in water conservancy and hydropower construction; thirdly, based on the actual practice of China's projects, it proposes four operational points for the application of support technologies, covering geological assessment before excavation, the construction of anchor shotcrete structures, the layout of drainage and pressure relief systems, and the construction monitoring feedback mechanism, aiming to reflect the technical logic and implementation path of slope support in China's water conservancy and hydropower projects from the perspective of engineering practice.

## Keywords

water conservancy and hydropower engineering; construction; slope support technology; application; key points

## 水利水电工程施工中的边坡支护技术

邵方敬

中国水利水电第七工程局成都水电建设工程有限公司, 中国·四川·成都 611130

## 摘要

在我国水利水电工程施工中, 边坡支护技术贯穿于开挖、施工、回填及监测全过程, 体现为一项系统性并高度工程化的技术体系。本文首先从边坡支护的基本内涵出发, 系统阐述其在水利水电施工环境下的技术要求; 其次分析边坡支护于水利水电工程施工中的关键地位; 再次结合中国工程实际, 提出四项可操作的支护技术应用要点, 涵盖开挖前地质评估、锚喷结构构造、排水消压体系布设及施工监测反馈机制, 力求在工程实践视角下体现我国水利水电工程边坡支护之技术逻辑与实施路径。

## 关键词

水利水电工程; 施工; 边坡支护技术; 应用; 要点

## 1 引言

水利工程施工中边坡支护施工是一项重要的施工内容, 对工程的整体质量有着重要影响。水利工程中边坡具有复杂多变的特点, 施工作业难度较大, 在正式施工前需选择科学合理的支护施工技术, 对水利工程所在地的地质地貌、水文特点等进行深入分析, 确定最佳的边坡支护施工技术<sup>[1]</sup>。采用合适的边坡支护技术也可有效缩短施工时间, 提高施工的科学性和合理性, 确保水利工程施工的顺利开展。有鉴于此, 下文通过查阅相关文献资料并结合工作实践基础上围绕水利水电工程施工中的边坡支护技术应用要点展开探讨, 以供参考。

【作者简介】邵方敬(1984-), 男, 中国四川广安人, 本科, 高级工程师, 从事水利水电工程技术施工与管理。

## 2 边坡支护概述

边坡支护是指在开挖或自然山体坡面受到施工扰动或水利水电工程作用扰动后, 通过设置结构性或非结构性支架、锚固、喷射混凝土、格构梁板、排水体系及其他辅助措施, 以维持或提升坡体稳定性、减缓变形或防止滑移失稳方式的技术过程。在我国水利水电工程中, 受库岸、导流洞、边坡通道、溢洪道切坡等影响, 边坡通常处于复杂地质条件、扰动强烈且水文作用显著的环境中。支护形式可分为主动支护(如锚杆、锚索、预应力锚固系统)、被动支护(如喷锚网、混凝土喷射层、钢筋网、格构梁)、复合支护(如锚喷+钢支架+排水系统)以及辅助性措施(如坡脚挡墙、排水沟、缓坡、植被恢复等)。工程实施中应依据地质构造特征、岩体分级等级、开挖坡角、施工方法、施工阶段扰动效应、水位变化影响及雨洪作用等因素, 合理选配支护方案, 并结合

施工监测要求及时调整。概括而言,边坡支护技术是确保坡体结构安全的重要手段,其设计与施工必须与水利水电工程整体建设流程高度耦合,以保证坡体在施工、蓄水、运行各阶段的稳定性。

### 3 水利水电工程施工中边坡支护重要性

在我国水利水电工程施工过程中,边坡开挖量大、坡面扰动强、地质条件复杂、水文与土质交互作用显著,若未实施有效的边坡支护,则容易产生裂隙扩展、滑移破坏、崩塌变形及渗流冲刷等风险。首先,水利水电工程常设置在山地或峡谷地段,施工时需进行大规模边坡切削、导流洞、泵站及通道开挖,开挖坡面若失稳将直接影响工程施工安全与后续运行安全<sup>[2]</sup>。其次,蓄水后库岸边坡可能因水位变化、饱和状态改变及渗透流作用引发稳定性劣化,若前期支护措施薄弱,将导致库区滑坡或崩塌事件,进一步影响枢纽整体安全。再者,边坡失稳可能引起施工停滞、增加支护费用、延误工期,还可能引致水利设施破坏或控制功能失效,从而造成防洪、发电、灌溉等多重功能受损。由此,施工期及运行期边坡支护技术在水利水电工程中承载着施工安全、结构耐久、运营保障的关键职责。基于上述,工程设计阶段必须将边坡支护纳入整体施工方案,施工阶段须同步部署并执行专业化支护措施,确保边坡状态在各施工工序及水位变化阶段维持可控稳定。

## 4 水利水电工程施工中的边坡支护技术应用要点

### 4.1 开挖前地质与坡体条件综合评价

在实施支护结构之前,对坡体开展详尽的地质与坡体条件综合评价,可细化为如下若干技术环节:首先,应结合现场勘探孔资料开展系统性岩体探查,对钻孔资料中岩性、结构面类别及走向与倾向、岩体完整性与风化程度、节理与裂隙发育状况、地下水渗流通道及水头变化情况予以整理归类。从中应引入水利水电工程边坡设计规范等行业规范作为基准,对岩体或土体进行等级划分、失稳带识别与潜在落石体范围界定。其次,在坡体构造条件分析中,应重点识别结构面交汇、劈理、断层破碎带、裂隙集中区与含水层之间的相互作用,结合地下水渗流、饱和-非饱和变换、施工扰动(如爆破、挖掘、卸荷)以及雨洪入渗行为模拟,建立坡体潜在滑移面/崩塌面模型,推演深度、可能滑移方向与滑移量范围。其三,在支护设计参数导入阶段,应基于上述评价结果明确锚杆/锚索布置方式、锚固深度、预设张力、喷射混凝土或纤维网格层厚度、格构梁截面规格、排水构造(包括中低位孔隙排水、坡面暗排水、结构背后排水槽)位置及其导排功能。与此同时,应将坡体开挖、水位变化、施工顺序、雨洪补给、设备振动扰动等施工阶段效应纳入评价体系,对比不同阶段条件下的安全系数变化,构建支护构造与施工流程映射关系<sup>[3]</sup>。最后,在施工方案阶段,应将上述评价成果

转译为施工组织设计,明确探查→评价→设计→支护施工之间的流程逻辑,并在施工过程中对假定参数(如抗剪强度、结构面摩擦角、渗透系数等)进行现场复核,通过监测钻孔、结构面复核、地下水位测定、位移及变形观测等手段判断初设参数是否仍然适用,必要时动态调整锚杆布置、喷射层厚度及排水构造布置以适应实际现场坡体条件。

### 4.2 锚喷结构的构造与布局实施

水利水电工程边坡支护实践中,针对坡度大、切坡面或开挖扰动严重的部位,引入“锚固+喷射混凝土”(锚-喷)复合结构作为优先支护形式,其构造与布局实施要点如下。首先,在锚固装置构筑方面,预应力锚杆或锚索应沿拟破坏面方向布设,且布设间距、倾角与长度应根据地质结构、潜在滑移深度、裂隙发育及水文作用等因素计算确定。锚材在安装前必须经防腐处理(如热浸镀锌或环氧涂层),锚头宜采用锚锭或固结剂锚固形式,锚索端部加设监测件(如锚杆伸长计或锚索张力监测装置)用于施工及运行阶段变形状态实时监控。其次,在喷射混凝土层施工方面,应在锚固装置安装完成且浆液固结验收合格后立即进行,先清理坡面浮石、剔除松动体、冲洗并湿润处理,然后布设钢筋网或支撑架(通常为直径 $\Phi 5\sim 8\text{mm}$ 钢筋网片,网格尺寸约 $100\times 100\text{mm}$ 或 $150\times 150\text{mm}$ )以增强结构整体刚度和抗裂性能。随后采用湿喷或干喷方式喷射混凝土,厚度按坡体等级、裂隙发育、水文作用等条件确定,一般控制在 $50\text{mm}$ 至 $150\text{mm}$ 区间,并在施工中严格监控喷射速度(避免过快引起离析或喷层裂缝)、厚度均匀性、附着质量(通过拔锚试验或冲击锤测试)及泌水率指标。再次,在结构布置方面,锚杆(锚索)排布线应沿潜在破坏面方向设置,使其贯穿滑移深度的1.2倍以上,锚索长度原则上需超过潜在失稳面的预计滑移深度至少1.2倍;喷射混凝土层应向坡脚以上延伸至 $50\text{cm}$ 以上,并向坡顶适当延伸,形成连续支护面,避免局部裸露边缘形成应力集中<sup>[4]</sup>。最后,在施工流程方面,应同步开展边坡开挖、锚杆安装、钢筋网布设、喷射混凝土施工及脚手架或爬坡平台搭设等作业,以保证扰动初期即建立完整支护系统。施工期间还应依据《水利水电工程锚喷支护施工规范》进行监测与分项验收,确保锚固件与喷层协同工作。

### 4.3 排水消压体系的布设与控制

在水利水电工程边坡支护中,排水消压体系的布设与控制需结合地层渗透特征与水文地质条件综合实施。坡面排水应在喷射混凝土护层完成后立即设置排水带或反滤料层,宽度约 $0.5\sim 1.0\text{m}$ 、厚度约 $0.2\text{m}$ ,并沿坡向下倾 $2\%\sim 5\%$ ,使渗水经PVC集水管(直径 $100\sim 150\text{mm}$ ,外包土工布)汇入坡脚集水井定期排放。内部渗排孔宜沿顺坡向布置,钻孔直径 $76\sim 108\text{mm}$ 、深度 $3\sim 10\text{m}$ ,孔末端穿透裂隙含水带并采用塑料花管或不锈钢多孔管导排,孔间距宜 $2.0\sim 4.0\text{m}$ ,以形成连通的内部排水通道,减轻支护体及锚固区孔隙水压力。锚杆