

# 水利水电施工过程中的边坡开挖支护技术研究

李文达

江苏江淮水利集团有限公司 江苏 宿迁 223600

**摘 要：**边坡开挖支护，是水利水电工程施工里较为核心的技术环节，这项施工内容能够直接影响工程主体的结构稳固性，也能左右现场施工的安全状态。文章结合水利边坡的场地与地质特征，分析开挖工艺细节，介绍各类主流支护技术的原理与优势，梳理施工管控要点，能够有效减少边坡滑移、坍塌问题，提升边坡结构的耐久性能与整体施工质量。

**关键词：**水利水电工程；边坡开挖；边坡支护；施工工艺；质量控制

**引言：**多数水利水电工程的建设场地，都会处在地形复杂的山地、河谷区域，多变的地质条件，会让边坡施工成为工程全程的重点工序。边坡稳固性，会影响现场施工进度，也关系工程后续的运行安全；水利边坡需要应对水流冲刷、水体渗透等特殊工况，施工标准相对更高，本文探究边坡开挖支护的完整技术体系，细化管控细节，能够为边坡施工提质提供相应参考。

## 1 水利水电工程边坡施工的核心特性

水利水电工程边坡施工区别于建筑、道路等常规边坡施工，具备独特的工况属性与技术难点，整体施工复杂度更高。从地形条件来看，工程边坡多为自然山体改造形成，地形起伏大、坡面落差显著，原始岩土体结构完整性参差不齐，存在大量松散夹层与裂隙结构，天然稳定性较差。从环境条件分析，施工区域临近水系，岩土体长期受水体浸润、渗透作用影响，含水率偏高，岩土强度与抗剪切能力大幅下降，极易出现软化、崩解问题。从施工属性来讲，边坡施工与基坑开挖、坝体浇筑、河道整治等工序交叉开展，施工扰动频繁，叠加岩土体自身应力重新分布，易引发边坡变形、滑移等病害。同时，水利边坡兼具临时施工防护与永久工程支护双重属性，施工过程中需兼顾短期施工安全与长期结构稳定，对开挖分层、支护选型、工序衔接的精细化程度提出严苛要求，也是技术管控的核心难点所在<sup>[1]</sup>。

## 2 水利水电工程边坡开挖核心工艺

### 2.1 开挖前期勘察与坡面规划

边坡正式开挖作业开展之前，现场需要完成细致的场地勘察工作，也需要做好坡面参数的统筹规划，能够为后续工艺选择提供可靠依据；施工需要查清区域岩土属性、岩层走向、裂隙发育情况以及地下水分布等条

件，结合整体施工布局确定开挖坡度、分层厚度与开挖范围，对地质条件复杂的坡面优化施工方案，结合场地空间与设备作业范围规划施工顺序，让开挖工序可以和支持、排水施工顺畅衔接。

### 2.2 分层分段开挖施工工艺

分层分段施工是边坡开挖的主流工艺，该工艺能够放缓边坡变形速度，也可以让岩土内部应力平稳释放；分层厚度可以根据岩土硬度和稳定状态进行调整，硬质岩体可适当加厚，松散风化层则需要减小开挖厚度，施工需要自上而下逐段推进，禁止超挖和掏底施工，坡面凹凸位置要及时修整，高陡边坡可分级设置马道，以此分散坡面应力，为后续支护施工提供平整作业面<sup>[2]</sup>。

### 2.3 土石方清运与坡面修整

边坡开挖产生的渣土需要随产随清，坡顶堆积过多渣土会对坡面形成挤压，容易造成边坡沉降和滑移问题；清运作业需要和开挖进度保持同步，重型设备需要远离坡顶行驶，降低施工对岩土体的扰动，开挖结束后，现场要及时清理坡面浮渣与松散岩体，封堵表层裂隙，局部超挖区域可以采用同级填料分层夯实修补，保障坡面整体平整，适配后续支护施工。

### 2.4 开挖过程动态监测管控

边坡开挖的整个过程属于动态施工，岩土内部应力会随着开挖推进不断发生改变，全程动态监测工作就显得尤为重要；监测工作主要针对坡面位移、岩体开裂、地下水渗漏等情况展开，一旦监测数据出现异常波动，现场施工就要及时暂停，通过排查诱因、调整施工节奏、增设临时支护等方式处理隐患，待坡面状态稳定后，方可继续开展开挖作业。

### 3 水利水电工程边坡核心支护技术及施工管控

#### 3.1 喷锚支护技术

喷锚支护是水利水电边坡施工中普及度较高的轻型支护工艺, 这项技术具备操作简便、适用场景广泛、加固效果稳定的特点, 能够适配中风化、弱风化岩层以及密实土质边坡, 可满足大部分中低高度边坡临时防护和永久加固的施工需求。其支护原理较为清晰, 坡面表层会通过喷射混凝土实现封闭覆盖, 深层岩土体则依靠锚杆完成锚固固定, 两种施工方式相互结合, 能够构成表层封闭、深层锚固的复合支护体系; 该体系可以有效封堵坡面细微裂隙, 阻挡地表水渗入岩土体内部, 也能限制浅层岩土的松散变形, 让边坡整体结构的完整性与承载强度得到有效提升。现场施工有着标准化的作业流程, 施工前期需要彻底清理坡面表面的浮渣与松散碎屑, 保障混凝土材料可以和岩土面充分贴合; 施工过程中, 可依据设计标准确定钻孔位置, 规范把控钻孔的孔径、深度与倾斜角度, 清理干净孔内粉尘和杂物后即可植入锚杆, 通过注浆填充孔洞缝隙, 让锚杆与深部岩体紧密结合。锚杆施工结束后, 混凝土需要分层喷射施工, 严控材料配比、喷射厚度与均匀程度, 减少空鼓、漏喷、开裂等施工问题; 混凝土初步凝固后, 稳定性较差的坡面可加装钢筋网片, 以此提升坡面表层的整体性与抗裂能力。整体施工质量主要由锚杆锚固效果和混凝土喷射密实度决定, 锚杆需要深入完整稳定的岩层内部, 以此满足边坡应力承载标准, 均匀的喷射施工和后期养护作业, 能够有效延缓结构风化, 保障支护结构的长期使用效果<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 挡土墙支护技术

挡土墙支护是水利边坡施工中常用的刚性支护形式, 该结构主要依靠自身自重与整体刚度, 抵抗边坡岩土体产生的侧向推力, 能够有效抵御岩土滑移、坍塌等病害, 常常应用在河道沿线、坝体周边以及低矮高荷载的边坡场景, 比较适配稳定性较差的强风化岩层与松散土质边坡。现阶段水利工程常用的挡土墙结构分为重力式、悬臂式、扶壁式三类, 其中重力式挡土墙凭借构造简单、抗冲刷性能优异的特点, 在各类边坡防护工程中应用最为广泛。挡土墙施工包含基础开挖、地基处理、墙体浇筑、回填夯实、排水构造施工等关键工序, 基础开挖阶段需要精准控制基底尺寸与标高, 承载力不足的地基需要通过换填、夯实的方式优化处理, 避免墙体后期出现不均匀沉降。墙体浇筑作业需要分层开展、分层振捣, 保障结构整体密实度, 减少蜂窝、麻面等质量缺陷, 同时规范把控墙体垂直度、坡面坡度与顶面平整

度。墙体施工完成后, 墙后区域需要分层回填土石方并逐层夯实, 提升回填密实度, 降低岩土侧向压力。水利边坡挡土墙的施工重点集中在排水结构布设, 临水边坡极易在墙后形成积水并产生渗透压力, 合理布设泄水孔与反滤结构, 能够及时排出积水, 减轻水体对结构的破坏作用; 同时合理设置沉降缝与伸缩缝, 可适配岩体形变和温度变化, 有效防止墙体开裂破损, 维持刚性支护结构的长期稳定。

#### 3.3 框架锚索支护技术

框架锚索支护属于高强度深层主动支护方式, 比较适合应用在高陡坡面、受力荷载较大的复杂边坡场景, 在水利工程深挖方边坡、地质结构复杂的重点防护区域中, 有着十分广泛的应用。该支护结构可以把边坡浅层积累的应力, 传导至地层深处稳定性更强的岩体当中, 能够让坡面整体的受力状态变得更加均衡, 有效改善边坡局部应力集中的问题。整套支护结构主要由锚索构件、混凝土框架梁以及坡面防护面层共同组成, 工作原理依靠锚索张拉锁定产生的预应力, 能够主动约束岩土体的形变和位移, 搭配框架梁的整体受力结构, 可以全面提升边坡的抗滑移和抗倾覆性能, 从根本上强化高边坡的整体稳定程度。整套施工流程具备严格的先后顺序, 施工开展初期, 现场需要按照预设的网格尺寸确定锚索钻孔位置, 深孔钻孔作业需要保证孔道顺直、孔深达标, 以此适配锚索的安装布设要求; 钻孔工序结束之后, 孔内残留的杂物与粉尘需要清理干净, 高强度锚索可植入孔内, 高压注浆工艺能够填满整个孔道空间, 让锚索和深层岩体固化为一体结构。待注浆浆液硬化达到标准强度后, 锚索可以进行分级张拉与锁定处理, 张拉应力的数值需要精准把控, 应力数值过大容易造成岩体开裂, 应力数值偏小则会导致支护效果不足, 都会影响整体施工质量。锚索施工完成后, 现场可浇筑钢筋混凝土框架梁, 让框架结构和锚索体系紧密结合, 保障预应力可以均匀传递到整个坡面, 最后对框架网格内部的裸露坡面做封闭处理, 避免岩土体长期裸露出现风化破损。该技术的施工管控重点, 主要包含注浆饱满程度、锚索张拉精准度以及框架梁结构整体性, 高边坡施工需要严格把控各工序参数, 保证支护体系能够协同受力, 有效规避边坡局部变形、失稳等隐患, 保障支护结构长期稳定运行<sup>[4]</sup>。

#### 3.4 土工防护支护技术

土工防护支护是水利边坡施工中常用的柔性生态支护手段, 这类支护结构整体重量较轻, 具备良好的抗冲刷、抗腐蚀性能, 大多应用在水利工程临水坡面、河道

沿线坡面以及土质浅层边坡当中,主要用来抵御日常水流冲刷,减少坡面浅层岩土流失的问题,同时也可以改善坡面的生态状态,一般作为表层防护和辅助加固工艺投入使用。对比混凝土、挡土墙这类刚性支护结构,土工防护的施工步骤更加简单,整体施工周期更短,经济适用性也相对更高,结构本身可以适配岩土体的轻微形变,不会因为岩体微小位移出现开裂、破损等病害,适配性会更加灵活。现阶段水利边坡施工常用的土工防护材料,主要包含土工布、土工格栅以及生态防护网等几类,整套施工流程主要分为坡面修整、材料铺设、锚固固定、表层防护处理几个环节。正式铺设作业之前,施工区域的坡面需要做精细化修整,清理干净表层凸起石块和松散杂物,防止尖锐结构划破土工材料;材料铺设过程中,需要保持整体平整舒展,杜绝褶皱、松弛等问题出现,相邻材料的搭接宽度需要满足施工标准,搭配锚固构件完成固定作业,避免水流长期冲刷造成材料脱落、移位。材料铺设工作结束后,可根据工程实际需求开展覆土、植草等生态处理作业,同步实现边坡防护和水土保持的双重效果。这类柔性支护的质量管控重点,集中在材料搭接精度和锚固牢固程度,临水冲刷频繁的坡面,需要适当加大搭接宽度和锚固密度,提升整体抗冲击能力。施工期间也需要结合坡面岩土特性选择适配材料,松散浅层坡面可选用高抗拉强度的土工格栅,长期临水坡面可选用抗老化、耐腐蚀的防护材料,以此保障柔性支护结构的长期防护效果。

### 3.5 边坡支护综合施工质量管控要点

水利水电边坡支护的施工质量,能够直接影响边坡投入使用后的整体稳定状态,整套施工过程需要搭建全流程、精细化的管控模式,管控范围可以覆盖施工前期、施工中期以及施工后期的各个环节。支护施工开展之前,施工方案需要依托现场地质勘察数据确定支护工艺类型,避免直接套用通用施工方案,地质条件较为复杂的边坡,可以采用多种支护技术组合施工的方式,弥补单一支护工艺防护能力有限的缺陷。施工推进的过程中,现场需要严格管控各项工序的工艺参数,规范钻

孔、注浆、浇筑、张拉、材料铺设等核心作业流程,杜绝随意简化工序、违规施工的情况,让各层支护结构的施工质量都能够达到施工标准。

排水系统的施工管控,是水利边坡支护施工的核心内容,水体渗透和水流冲刷,是造成边坡结构破损的主要原因,施工现场需要配套搭建完整的坡顶、坡面、坡底排水设施,及时疏导场地内部的地表水与地下水,降低水体对支护结构和岩土体的侵蚀作用。施工完成后的养护与成品保护工作,同样需要落实到位,混凝土支护结构需要按照标准完成养护作业,柔性支护结构需要规避外力碾压、磕碰损坏,同时边坡变形监测工作需要持续开展,动态掌握支护结构的运行状态,及时排查并处理细微隐患,防止小问题发展为结构性病害。开挖作业和支护作业需要紧密衔接,严格遵循分层开挖、分层支护、随挖随支的施工原则,缩短岩土体的裸露时长,最大程度保留原始岩土结构的完整强度<sup>[5]</sup>。

**结束语:**边坡开挖支护,是水利水电施工中较为关键的支撑技术,适配复杂地形与水文条件的工艺管控,能够稳固边坡结构,也可以提升整体施工质量。本文梳理了水利边坡的施工特征,细化开挖、支护工艺要点,明确了全程管控重点;依托地质条件匹配施工技术,完善排水与监测机制,能够规避边坡隐患,保障水利工程建设与长期运行的稳定性。

### 参考文献

- [1] 李冰. 水利水电施工过程中的边坡开挖支护技术研究 [J/OL]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026,(4):067-070.
- [2] 王鹏. 边坡开挖支护施工技术在水利水电工程中的应用研究 [J]. 水上安全,2026,(6):103-105.
- [3] 陆佳,徐镇扬,花叶琦,等. 高边坡开挖支护技术在水利水电工程中的应用研究 [J]. 水上安全,2026,(1):43-45.
- [4] 李永禄. 水利水电工程施工中的边坡开挖与支护研究 [J]. 中国建筑金属结构,2026,25(1):103-105.
- [5] 周辉. 水利水电施工项目中的边坡开挖支护技术应用 [J]. 大众科学,2026,47(4):171-173.