

# 水利水电工程边坡及基础开挖支护施工技术应用

范智强

雅砻江流域水电开发有限公司，四川成都，610051；

**摘要：**在水利水电工程施工中，为确保施工安全、质量、进度，采取适当的支护措施能够保障工程施工的顺利开展。如果支护施工技术不合理，很容易出现滑坡等现象，在水利水电工程施工中应用边坡开发支护技术，应该注意到相应的施工难点，确保施工安全，提高整体工程质量。以下本篇就根据西部某水电站工程集鱼鱼道工程案例，开展水利水电工程边坡及基础开挖支护关键技术研究。

**关键词：**水利水电工程；边坡开挖；支护施工

**DOI：**10.69979/3029-2727.25.11.043

## 引言

随着我国经济的快速高质量发展，水利水电工程的建设已经成为不可或缺的一部分。在工程具体施工过程中，会出现非常多的的因素对水利水电工程产生影响，比如水文地质条件影响、环境保护生态要求、人文影响等。针对边坡复杂多变的地质条件，其施工作业不仅有很大的难度，而且也很容易影响工程工期。因此工程施工中技术的实施对工程质量有着决定性的作用。水利水电工程中的边坡开挖支护技术是确保施工安全和工程质量的核心环节。

## 1 工程案例

针对西部某水电站集鱼鱼道工程实例，可知鱼道开挖、支护以及后期混凝土浇筑施工需在临时围堰及高喷防渗墙保护下进行。鱼道开挖范围是上游至原索桥桥墩上游侧，下至某大桥下游侧；上游侧边坡坡比为1:1.5，靠进厂公路侧边坡坡比为1:0.3，鱼道基础大面开挖至1980.0m高程，局部开挖至1976.0m高程。计划石方开挖2.3万m<sup>3</sup>，边坡喷混凝土335m<sup>3</sup>，贴坡混凝土630m<sup>3</sup>，各类锚杆工程1392根。

## 2 边坡开挖支护技术

### 2.1 开挖技术

工程边坡分为土质边坡及岩质边坡，针对不同的边坡类型，采取的支护方式也不一样。土方开挖要求施工作业人员要熟练掌握施工机械设备的操作，控制边坡开挖的厚度，确保开挖作业的精准度，避免出现塌方、滑坡等事故发生。石方开挖时，需要对边坡进行爆破作业，要控制好施工范围<sup>[1]</sup>。由于岩质边坡的开挖范围大，不合理的操作流程可能会导致大面积滑坡和超欠挖现象，在施工前应做好方案编制、技术交底，施工时做好现场

警戒。

### 2.2 支护技术

边坡支护技术一共分为重力式支挡结构体系、悬臂-扶壁复合支挡体系、格构锚固生态防护体系和锚喷复合支护体系。

#### 2.2.1 重力式支挡结构体系

此类支护体系以静态平衡原理为核心，借助结构自重产生的抗倾覆力矩实现对土压力的平衡作用。作为国内岩土工程领域主流工法之一，其工艺优势体现在材料和构造的适配性上：可因地制宜选用毛石混凝土或浆砌块石等地方建材，具有施工流程标准化程度高、建造成本优势显著等特点。统计数据显示，该技术在交通基础设施建设（铁路路基防护占比38.7%）、水利枢纽工程（堤防结构占比27.3%）及矿山边坡支护等领域应用率达62%以上。

#### 2.2.2 悬臂-扶壁复合支挡体系

作为薄壁混凝土结构的典型代表，其构造特征表现为以带扶壁配筋的混凝土薄壁构件为主受力单元。技术经济性体现在三维受力优化设计方面：通过设置间距恰当的扶壁肋板，理论上可降低20%-30%的墙体厚度，使构件重量较重力式结构减轻40%-50%。该体系尤其适用于地基承载性能较弱（地基系数≤150kPa）的工程环境，且在软土地区的深基坑支护工程中展现出良好的材料强度利用率。

#### 2.2.3 格构锚固生态防护体系

该技术形成由纵横向钢筋混凝土梁柱构成的立体格子空间结构，通过与预应力锚杆协同作用实现坡面整体稳定。其技术突破体现在：

①结构功能复合化：将承载力要求与生态需求整合，网格内可采用三维植被网喷播技术，实现抗剪强度≥12kPa的复合护坡效果，提升工程生态环境保护。

②空间优化效应：经有限元分析显示， $4m \times 4m$  网格布置可使局部应力集中系数降低 25%。在矿山生态修复项目中应用后，植被覆盖率提升至 85%以上，相较于传统挡墙节约建设成本约 18%。

#### 2.2.4 锚喷复合支护体系

由岩土锚固体系与喷层结构共同构成主动支护系统，其作用机理包含三方面：

- ①通过界面摩擦效应调控围岩应力重分布；
- ②利用喷层封闭作用抑制塑性区扩展（试验数据表明可减少围岩松动圈 40%以上）；
- ③形成时空效应显著的承载拱结构。

该体系不仅适用于临时支护场景（如隧道初期支护作业），在地下洞室永临结合支护中有特殊应用价值。以某水电站引水隧洞为例，采用喷射钢纤维混凝土（CF 50 级）配合  $\Phi 25$  精轧螺纹钢锚杆，使洞周收敛量控制在设计值的 80%以内。

### 3 水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用

根据以上工程实例，在该水利水电工程的边坡开挖支护施工中应从以下几个方面进行：

#### 3.1 边坡及基础开挖

鱼道边坡及基础开挖主要为明挖，为保证结构线满足设计要求，石方明挖采用光面爆破+预留保护层（破碎锤及反铲处理）的方法进行开挖，边坡以及底部均预留不超过 1.5m 厚保护层。边坡开挖按照爆破开挖一层，保护层处理开挖一层的流程进行循环处理。开挖过程中严禁过量爆破，爆破后引起的松动岩石要及时清除。局部开挖至 EL. 1976m 高程部位施工工艺相同（轮廓成型同样采用光面爆破，设计参数相同，不再进行单独设计），上部爆破后，预留不超过 1.5m 厚度保护层，采用破碎锤或反铲进行处理，确保不发生超欠挖现象。

石方明挖应注意以下要点：开挖前，结合岩石品类，做好等级评定，详细调查岩石的稳定性，包括开口线外

对施工有影响的危石等；开挖应该按照自上而下的顺序开展，严禁采取自下而上或者造成边坡岩体倒悬的开挖方式<sup>[2]</sup>，避免发生安全事故。

岩石边坡设计轮廓面的开挖精度控制，在采用单次钻孔深度开挖工艺时，轮廓面偏差应控制在开挖高度的  $\pm 2\%$ ；在分台阶开挖时，整体偏差应满足设计要求；边坡开挖中出露不利断层、软弱夹层或卸荷松动体等不良地质情况时，应及时通知设计现场复核，必须按设计要求或监理工程师的指示及时进行处理；在施工期间直至工程验收过程中，应注意对边坡的稳定进行监测，若发现变形异常、拉裂、局部滑动等不利迹象时，应及时通知监理工程师，并按监理工程师指示进行处理；开挖到设计轮廓线后，应及时进行地质素描、编录，对不稳定体作鉴定评价，并完成地质竣工图绘制。

#### 3.2 边坡支护

边坡支护工序分为锚杆施工、挂网喷混凝土施工、排水孔施工，少部分位置需布置边坡衬砌或贴坡混凝土施工。

支护过程中应注意在大面开挖前完成相应锁口锚杆施工。其余边坡支护于边坡开挖完成后一次施工完成，若在开挖过程中，出现集中破碎体等不利情况，则先完成上层边坡支护工作后，再继续进行下层边坡开挖。

支护排架搭设采用 A48.3×3.6mm 钢架管搭设，脚手架立杆间排距为  $1.5m \times 1.5m$ ，步距为 1.8m，施工脚手架每隔两步三跨设置连墙件，连墙件应与系统锚杆连接。

##### 3.2.1 锚杆施工

锚杆采用“先插杆后注浆”的程序施工（见图 1）。插杆前，孔内岩粉必须通水或吹气，并吹洗干净，排除积水。锚杆注浆后的保护是确保支护工程质量的关键环节。施工中需严格遵循“初凝前禁止扰动”原则，并结合注浆工艺、环境条件和检测要求综合管理。在砂浆凝固前，禁止敲击、碰撞和拉拔锚杆<sup>[3]</sup>。

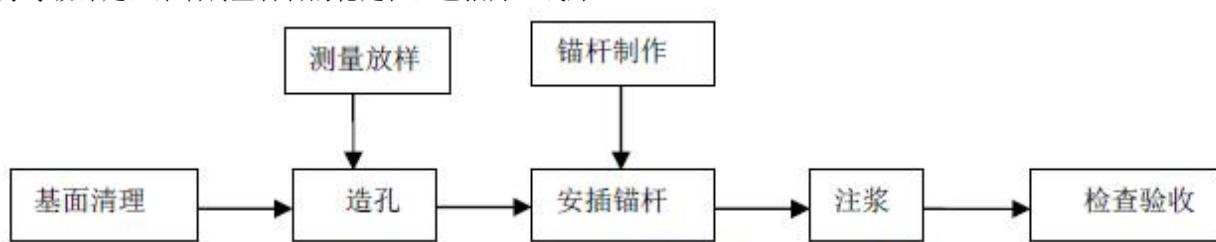


图 1 先查杆后注浆施工工艺流程图

在锚杆孔钻孔前，应及时清除边坡坡面上松动石块和碎石，同时应准备相关施工材料、钻孔注浆机具设备。

锚杆孔深为 6.0m、9.0m、12.0m，均采用 YXZ-50A 钻孔机进行造孔施工。开孔孔位偏差应小于 100mm，孔

斜不大于孔深的 2%，孔深须达到设计深度，偏差不超过 50mm。

为了保证注浆质量及锚杆施工整体质量，采用“先插杆后注浆”施工方法。注浆管应插入孔底，然后拔出

50mm~100mm开始注浆，在注浆过程中缓慢匀速拔出注浆管。切不可拔管过快，以免造成砂浆脱节，使得注浆不饱满。注浆完成后马上插入锚杆，二者要紧密配合。锚杆应对中、缓慢插入。插入过程中，如遇阻碍，不得倒退，可轻微旋转锚杆，使之插入，不得硬性敲击入孔。插入完毕后锚杆外露端头用重锤锤击3~4次，确保锚杆孔内浆体饱满、锚杆居中。锚杆应与注浆管采用同步绑扎方式协同安装。锚杆完成安装后，在锚固砂浆强度未达到设计强度70%的养护周期内，禁止对锚杆施加冲击、振动或外部荷载（包括敲击、碰撞及牵拉等行为）。锚杆养护期满后需进行抗拔力检测或无损检测，单根锚杆抗拔力不得低于设计值的90%，同组锚杆平均值应符合设计要求。常规部位永久锚杆无损检测数量不低于施工总数的10%，且单项工程不少于20根。

在注浆完成后，由监理人根据实际情况随机指定抽查锚杆，检查注浆密实度及锚杆长度等2项指标。注浆工序验收执行分层随机抽样制度，监理单位应根据不同施工单元划分检测批次，单批次锚杆抽检比例不应小于样本总量的10%；采用钻孔取芯法结合灌水法检测浆液密实度，单元工程合格标准为各测点密实度均 $\geq 80\%$ 。当抽查合格率大于80%时，认为抽查作业分区锚杆合格，对于检测到的不合格的锚杆应重新布设；当合格率小于80%时，将抽查比例增大20%，如合格率仍小于80%时，应全部检测，并对不合格的锚杆进行重新布设。锚杆长度验证方法：锚固工程质量控制技术要点应用应力波反射法（ASTM D5882标准）实施无损检测，作业区抽检率应满足每个工程分区不少于安装总量的10%；杆体有效嵌固长度需满足公式：

$$L_{\text{实际}} / L_{\text{设计}} \geq 0.98.$$

锚杆施工时要在锚杆端部增设定位支架，确保锚杆安装时处于锚杆孔中央；砂浆应拌和均匀，采用强制式双轴搅拌机拌合，水灰比控制误差 $\pm 0.02$ ；拌制完成的砂浆需在1h内完成使用，超时未使用的混合料必须作废弃处理；总注浆时间应控制在30min/延米以内。

### 3.2.2 挂网喷混凝土

根据设计图纸要求，对边坡进行系统挂网钢筋网，挂网钢筋为Φ6@15×15cm，钢筋网需贴合围岩表面实际起伏形状进行铺设，钢筋使用前清除污锈，钢筋网间排距应符合设计要求，钢筋网搭接长度不应小于35d，并应进行绑扎。网片需与锚杆或锚钉头多点焊接固定，必要时增设短锚钉辅助定位（长度100~150mm），以抑制喷射作业时的振动位移。锚钉锚固深度 $\geq 20\text{cm}$ ，端部弯钩长度 $\geq 20\text{cm}$ ，与主筋焊接形成整体受力体系。对于岩体破碎区域，需加密锚杆间距至 $1\text{m} \times 1\text{m}$ ，并采用注浆加

固工艺提升锚固可靠性<sup>[4]</sup>。

边坡喷射混凝土作业应分段分片进行，喷射顺序自下而上。初始喷射阶段需缩短喷头与受喷面间距（建议0.6~1.0m），并调整喷射倾角至60°~75°，确保钢筋网背侧混凝土填充密实。喷射气压宜为0.2~0.5MPa，水压 $\geq 0.15\text{MPa}$ ，掺加速凝剂使初凝时间 $\leq 10\text{min}$ 。

### 3.2.3 排水孔施工

边坡排水孔分为系统排水孔及随机排水孔。排水孔钻孔倾斜度偏差不大于1%，孔深偏差不大于2%，孔位偏差不超过10cm。

钻孔过程中如遇到揭露断层破碎带或软弱夹层时，需进行孔内成像检测，按监理指令采取注浆固结或安装滤管等处理<sup>[5]</sup>。如发生孔道堵塞时，应优先采用高压风水联合清孔工艺，清孔无效则按监理要求移位重钻（移位距离 $\geq 50\text{cm}$ ）。

## 4 结语

在水利水电工程建设中，边坡工程的施工占据关键地位，有时甚至处于工程的关键线路上。通过科学实施开挖与支护集成技术，可显著减少施工区域坍塌事故的发生概率，同时增强工程结构的整体稳定性。不同地区需要考虑不同的施工方法，所以在施工前应做好地质勘察工作，针对不同地质条件，实施不同支护形式，落实三级交底制度，对施工人员做好技术交底工作，主动了解施工过程中存在的问题，共同讨论施工技术；及时总结技术方案经验，合理利用监测数据，做好边坡变形监测工作。在水利水电工程施工中应用边坡开挖支护技术，能有效防范边坡岩体滑塌，确保边坡开挖尺寸，保障工程施工安全。

## 参考文献

- [1] 余怡雯. 水利水电施工工程中边坡开挖支护技术分析策略[J]. 智能城市, 2018, 4 (09) : 160-161.
- [2] 罗俊, 刘运凤, 秦敏. 水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用研究[J]. 珠江水运, 2015 (2) : 72-73.
- [3] 徐健. 浅谈水利水电工程中边坡开挖支护技术的实施[J]. 江西建材, 2016 (18) : 146, 150.
- [4] 邱礼帛. 水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用研究[J]. 黑龙江水利科技, 2017, 45 (05) : 161-163.
- [5] 成万龙. 分析水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J]. 珠江水运, 2014, (17) : 71-72.

作者简介：范智强(1992-)，男，汉族，福建福州人，工学学士，工程师，主要从事工程项目管理工作。