

# 水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用

李曼胜

(广西壮族自治区贵港市港南区武思江水库管理中心, 广西 贵港 537132)

**摘 要** 我国水利工程建设快速发展, 边坡开挖支护技术在水利工程中的应用越来越广泛。该技术不仅影响着工程的整体质量和安全性, 还直接关系到施工进度和成本控制。本文以某具体水利工程项目为例, 详细探讨了边坡开挖支护技术的应用, 包括浆砌石施工、锚杆施工及挂网喷射混凝土等关键技术环节, 通过对施工材料的选择、工艺流程的设计以及质量检验措施的实施, 旨在对确保边坡结构的稳定性和可靠性有所裨益。研究结果表明, 合理选择和科学应用边坡开挖支护技术, 可以有效提升水利工程施工质量, 保障工程的安全运行。

**关键词** 水利工程; 边坡开挖支护技术; 浆砌石施工; 锚杆施工; 挂网喷射混凝土

中图分类号: TV551.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.07.019

## 0 引言

水利工程建设作为国家基础设施建设的重要组成部分, 对于促进区域经济发展、改善生态环境以及提高人民生活水平具有重要意义。然而, 在水利工程施工过程中, 边坡开挖支护技术是一项复杂且关键的任务。由于边坡地质条件复杂多变, 加之施工环境恶劣, 如何确保边坡结构的稳定性成为工程成败的关键因素之一。因此, 研究并应用有效的边坡开挖支护技术, 对提高水利工程的整体质量、减少施工风险具有重要的现实意义。近年来, 随着科技的进步和工程技术的发展, 各种新型边坡开挖支护技术不断涌现。然而, 不同地质条件下的边坡开挖支护技术要求各异, 施工难度较大, 需要根据具体情况灵活选择和调整施工方案。

## 1 工程概况

某水坝项目位于西南某省, 该项目旨在建设一座兼具防洪、灌溉和发电功能的综合性水利工程。本项目的核心是建设一座高约 70 米、长近 600 米的大坝, 以实现上游水源的有效控制。同时, 还将修建一条长约 5 公里的引水隧洞, 将水流引入下游的发电厂房。该工程占地面积约为 50 平方公里, 涉及的主要建筑物包括大坝、溢洪道、发电厂房及配套的输水系统等。该工程所处地理位置具有典型的山地特征, 地形复杂多变, 海拔高度介于 300 米至 800 米之间。区域内年平均降水量约为 1 200 毫米, 主要集中在夏季, 这给施工带来了较大的挑战。此外, 地质条件复杂, 包含

多种岩层结构, 如砂岩、页岩以及部分花岗岩, 增加了边坡开挖支护的技术难度。为了确保工程的安全性和稳定性, 在大坝两侧及周边区域需要进行大规模的边坡开挖作业, 并采取相应的支护措施, 以防止滑坡、塌方等地质灾害的发生。

## 2 边坡开挖支护技术的应用

### 2.1 浆砌石施工

1. 主要原材料。在进行浆砌石施工时, 主要原材料的选择至关重要。水泥应选用质量合格的 42.5 号普通硅水泥, 以确保其强度和稳定性; 砂料则优选中砂, 要求级配良好、质地坚硬且含泥量不超过规范规定; 片石的强度需达到 30 MPa 以上, 并且单个片石的厚度不小于 15 厘米。为了保证施工质量, 在砌筑前必须对片石进行充分的浇水润湿, 去除泥土和灰尘, 使片石表面保持洁净<sup>[1]</sup>。

2. 工艺流程。在水利工程施工中, 采用浆砌石作为边坡挡土墙基础的工艺流程如下:

(1) 首先需要进行充分的准备工作, 包括材料的选择、设备的检查以及场地的清理。确保所有原材料(水泥、砂、片石等)符合标准, 并且施工机械处于良好状态。

(2) 对边坡进行初步修整, 去除松动块石和浮土, 保证坡面平整。这一步骤对于后续的施工质量至关重要, 因为它直接影响到基础的稳定性和施工的安全性。

(3) 根据设计图纸的要求, 精确地进行基础开挖。开挖时要严格控制尺寸, 避免超挖或欠挖的情况发生,

以确保后续工序能够顺利进行。

(4) 在基础底部铺设一层砂砾垫层, 其作用是增强基础的承载能力和排水性能。砂砾垫层应均匀铺平, 并压实处理。

(5) 按照预定的设计要求, 从下至上逐层进行浆砌石的砌筑工作。每一层都要确保砂浆饱满, 并且接缝处用砂浆填塞密实。

(6) 片石砌筑时, 采用分层砌筑的方法, 每层厚度不宜过大, 通常控制在 30 厘米左右。同时要注意片石之间的咬合紧密度, 防止出现通缝或浮塞现象。

(7) 外露的浆砌石表面需进行勾缝处理, 使用 M10 强度等级的砂浆进行勾缝。施工前先用水润湿缝内砂浆, 以防后期脱落。

(8) 砂浆初凝后, 采取洒水、覆盖的方法对浆砌石进行 7 天至 14 天的养生。在此期间, 避免振动或受压, 确保砂浆充分硬化。

3. 施工要点。首先, 对于边坡开挖后的地基, 要彻底清理松散物质, 并进行必要的夯实或浇筑混凝土垫层, 以增强基础的承载能力。如果遇到地质条件复杂的地段, 则可能需要采取额外的地基加固措施, 如打桩或安装排水系统等, 来提高整个结构的稳定性。其次, 在砌筑工艺上, 需要注意几个核心步骤: 第一, 石块应分层错缝砌筑, 避免出现连续的垂直缝隙, 从而增加墙体的整体性; 第二, 每一层石块都需坐浆铺设, 即先铺一层砂浆再放置石块, 确保两者紧密结合; 第三, 利用小石块填充大石块之间的空隙, 并用砂浆充分填实捣固, 这样可以进一步增强结构的紧密性和抗压能力; 第四, 砌筑过程中要不断检查墙面的垂直度和平整度, 以及灰缝宽度的一致性, 确保最终形成的墙体既美观又牢固。完成砌筑后, 还需要做好养护工作, 比如及时覆盖并定期浇水, 保持砂浆湿润, 促进其正常硬化, 从而提升整体结构的稳定性和耐久性<sup>[2]</sup>。

## 2.2 锚杆施工

1. 材料选择。锚杆作为支护体系的主要承载构件, 通常选用 HRB400 钢筋, 这种钢筋具有较高的强度和良好的延展性。锚杆的连接方式多采用焊接, 确保接头的质量符合规范要求。水泥选用 42.5 号普硅水泥, 其各项性能指标均需满足现行规范标准的要求。该等级水泥具有良好的凝结硬化特性, 适合用于锚杆孔内的注浆作业。砂子应选择中细砂, 最大粒径不超过 2.5 毫米, 细度模数控制在 2.0 以内。砂浆的强度等级为 M25, 通过实验室配合比确定现场配制比例<sup>[3]</sup>。

2. 施工要点。首先, 进行锚杆施工之前, 必须完成详尽的地质勘查工作, 以准确了解边坡的岩土性质

和结构特征。设计阶段还需考虑边坡的安全系数、可能承受的最大荷载以及地下水条件等因素。此外, 制定详细的施工方案是不可或缺的, 包括钻孔、安装、灌浆等工序的具体操作流程和技术要求, 确保每一个步骤都符合工程规范和安全标准。接着进入钻孔作业阶段, 在钻孔前应根据设计图纸精确标定孔位, 并确保钻机稳定可靠地就位。钻孔过程中要严格控制孔径、孔深及倾角, 避免出现偏斜或塌孔现象。通常情况下, 孔径应略大于锚杆直径, 以便于后续的安装和灌浆作业; 孔深则需满足设计规定的嵌固段长度要求。针对复杂地质条件下的钻孔作业, 可以采用套管跟进、泥浆护壁等技术措施来保证钻孔质量。随后便是锚杆的安装与灌浆过程。锚杆安装前需对钻孔进行彻底清理, 去除孔内的碎屑和积水, 确保孔内干净整洁。然后将预先制作好的锚杆缓缓插入孔内, 并调整至正确的位置和角度。接下来就是灌浆作业, 它是决定锚杆能否有效发挥作用的关键环节。灌浆材料一般选用早强型水泥砂浆或混凝土, 必要时可添加适量的外加剂以改善其流动性和固化性能。灌浆时应注意控制压力和流量, 确保浆液能够充分填充整个钻孔空间并包裹住锚杆体。为了提高灌浆质量, 有时还会采取分段灌浆或二次灌浆的方法。最后, 在灌浆达到一定强度后, 对于预应力锚杆, 则需要进行张拉锁定操作。通过专用设备对锚杆施加预定的预应力值, 并将其固定在承压板上, 从而实现了对边坡的有效加固。为保护锚杆免受外界环境的影响, 延长其使用寿命, 还需对锚头部位进行防腐处理, 如涂抹防锈漆、包裹防水材料等。同时, 对于暴露在外的锚杆部分, 还应设置相应的标识和防护设施, 以防意外损坏。

3. 质量检验。首先, 在锚杆施工完成后, 需进行初步的质量检查。这包括对钻孔深度、直径以及倾角等参数的复查, 以确认这些关键指标是否符合设计要求。任何偏差都可能影响锚杆的实际承载能力, 因此必须严格控制在允许范围内。此外, 还需对锚杆材料进行抽检, 确保其材质和规格满足相关标准和设计规范。接下来是对锚杆安装及灌浆质量的详细检验。在锚杆安装方面, 重点在于检查锚杆位置的准确性及其与周围岩土体之间的紧密程度。通常采用非破坏性检测技术, 如超声波检测或拉拔试验来评估锚杆与岩土体间的粘结强度。对于灌浆质量, 则通过钻芯取样或压水试验来进行评价。钻芯取样能够直接观察到灌浆体的密实度和均匀性; 而压水试验则用于检测灌浆体的渗透性能, 判断是否存在裂缝或其他缺陷。最后, 针对预应力锚杆, 还需要特别关注张拉锁定后的预应

力损失情况。预应力锚杆在张拉锁定后可能会因为多种因素（如温度变化、时间效应等）导致预应力值下降。因此，在张拉锁定作业完成一段时间后，应再次测量锚杆的实际预应力值，并与初始设定值进行对比分析。如果发现预应力损失超过规定限值，则需要采取相应的补救措施，如重新张拉或增加额外的锚固段等。

### 2.3 挂网喷射混凝土

1. 施工材料。首先，水泥通常采用标号不低于 42.5 的普通硅酸盐水泥，以确保混凝土具有足够的早期和后期强度。砂子应选用坚硬、清洁、级配良好的天然或人工砂，其细度模数宜控制在 2.3 至 3.0 之间，避免使用含有泥土或其他杂质的砂料，以防影响混凝土的粘结力和耐久性。骨料则多采用坚硬且耐磨的碎石，粒径一般控制在 5 毫米到 10 毫米之间，并需经过严格筛选以保证粒径分布均匀。此外，为了提高混凝土的抗裂性能和工作性，通常会添加适量的粉煤灰或矿渣粉作为掺合料，以及高效减水剂来减少水的用量并改善流动性。对于挂网材料，常用镀锌钢丝网或塑料合成纤维网，它们不仅能够提供额外的拉伸强度，还能有效分散局部应力，防止裂缝扩展<sup>[4]</sup>。

2. 配合比。喷射混凝土的配合比设计直接影响到其质量和性能，必须通过实验室试验来确定最佳配合比，以满足边坡支护的需求。首先，为了减少水泥用量并降低水化热的产生，避免混凝土早期开裂，在确保混凝土各项指标（如初凝时间、终凝时间和强度）满足边坡支护施工需要的基础上，尽量优化配合比。通常情况下，初凝时间为 5 ~ 10 分钟，终凝时间不超过 30 分钟。混凝土的强度等级需达到设计要求，一般为 C20 或更高。实验室应根据具体情况调整配合比，以确保混凝土的各项性能指标达标。其次，如果采用速凝剂，应在拌制完成后立即进行喷射，并且要在 20 分钟内用完，否则应作废弃处理。

3. 工艺流程。首先进行的是边坡表面的清理工作，清除松动岩石、浮土和其他杂物，确保喷射面平整光滑，这一步骤对于提高喷射混凝土与边坡表面之间的粘结力至关重要。接着，根据设计方案布置锚杆孔位并进行钻孔作业，安装锚杆并完成灌浆，为后续挂网提供稳固支撑点。在锚杆施工完成后，铺设钢丝网或塑料合成纤维网，并将其牢固地固定在锚杆上，确保网片紧贴边坡表面且无明显松弛现象，此步骤有助于分散应力，防止裂缝扩展。接下来是喷射混凝土的关键工序，采用湿喷法或干喷法将预先调配好的混凝土均匀地喷

射到边坡表面，喷射过程中需控制好喷射角度和距离，以保证混凝土层厚度均匀且密实度达标。初次喷射后通常需要进行二次补喷，以达到设计要求的总厚度。最后，在喷射混凝土初凝后，要对其进行适当的养护，如覆盖保湿材料、定时洒水等措施，确保混凝土强度正常发展，避免因快速干燥而导致的收缩裂缝<sup>[5]</sup>。

4. 施工要点。首先是边坡表面的准备工作，需彻底清理松动的岩石和杂物，并对不平整处进行修整，以增强喷射混凝土与边坡表面之间的粘结力。锚杆孔的精确布置与钻孔作业同样关键，确保锚杆能够提供稳固支撑，为后续挂网创造条件。钢丝网或塑料合成纤维网铺设时，必须保证网片紧贴边坡并牢固固定于锚杆上，避免出现松弛现象，从而有效分散应力，减少裂缝产生。喷射混凝土时，无论是采用湿喷还是干喷法，都需要严格控制喷射角度、距离及厚度，确保混凝土层均匀密实。初次喷射后通常需要进行二次补喷，直至达到设计要求的总厚度。最后，喷射混凝土初凝后的养护工作也不容忽视，适当的保湿措施有助于防止混凝土因快速干燥而产生收缩裂缝，确保其强度正常发展。

### 3 结束语

边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用至关重要，其效果直接关系到工程的整体质量和安全性。通过科学合理地选择施工材料、严格控制工艺流程以及实施有效的质量检验措施，可以显著提升边坡结构的稳定性和可靠性。浆砌石施工、锚杆支护及挂网喷射混凝土等关键技术的应用，不仅确保了边坡的稳固性，还有效预防了滑坡、坍塌等地质灾害的发生。通过这些综合措施，本项目成功实现了边坡的有效支护，为水利工程的安全运行提供了坚实的基础。

### 参考文献:

- [1] 蒋海斌. 水利水电施工中边坡开挖支护技术研究[J]. 模型世界, 2024(11):123-125.
- [2] 周珣. 水利工程施工中边坡开挖支护技术研究[J]. 工程建设与设计, 2024(12):150-152.
- [3] 汪海波. 水利水电施工中边坡开挖支护技术分析[J]. 水上安全, 2024(14):169-171.
- [4] 董建虎. 边坡开挖支护技术在水利施工工程中的应用研究[J]. 水上安全, 2024(13):191-193.
- [5] 刘纹龙, 宋元意. 水利工程施工中边坡开挖支护技术应用研究[J]. 中州建设, 2024(01):61-62.