 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i3.9814

Practical exploration of slope excavation and support technology in hydraulic engineering construction

Jiagan Li Chao Li Taihong Li

Lianyungang Mingyu Water Conservancy Construction and Installation Engineering Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222100, Chian

Abstract

Slope excavation and support technology belongs to structural and complex technology, and the system engineering system constructed by it has outstanding performance, which can improve the safety and stability of engineering construction. In the construction activities of water conservancy projects, due to the complex and varied construction techniques used, especially the high requirements for the stability of slope structures during construction, it is necessary to adopt real-time monitoring technology mechanisms and enrich the content of construction technology structures. This article discusses the inherent influencing factors of slope excavation and support technology in hydraulic engineering construction, and then delves into specific construction techniques. Finally, taking a construction project of a water conservancy project in Lianyungang area as an example, this paper explores in depth the application points of slope excavation and support technology.

Keywords

Slope excavation and support technology; Water conservancy engineering construction; Influencing factors; Rock blasting; Reinforcement laying

边坡开挖支护技术在水利工程施工中的实践探究

李加干 李超 李太洪

连云港铭禹水利建筑安装工程有限公司，中国·江苏 连云港，222100

摘 要

边坡开挖支护技术属于结构性、复杂性技术，它所构建的系统工程体系表现突出，可以提高工程建设的安全稳定性。在水利工程施工活动中，由于所采用的施工技术复杂多变，特别是施工中对边坡结构的稳定性要求极高，所以采用实时监测技术机制、丰富施工技术结构内容大有必要。本文泛谈了边坡开挖支护技术在水利工程施工中的固有影响因素，然后深度讨论具体施工技术方法。最后，以连云港地区某水利工程施工项目为例，深入实践探究边坡开挖支护技术的应用要点。

关键词

边坡开挖支护技术；水利工程施工；影响因素；石方爆破；钢筋铺设

1 引言

水利工程施工建设环境十分复杂，施工工作多遵循因地制宜基本原则，为各项技术应用提出了较高要求，如边坡开挖支护技术。该技术旨在保障边坡开挖稳定性，避免出现边坡坍塌等异常情况。为深度分析该施工技术，还必须思考影响其施工技术效果的外部因素。

2 边坡开挖支护技术施工的影响因素分析

边坡开挖支护技术施工难度较高、关键点多，为确保施工高质量还必须思考以下两点影响因素：

地质地基影响因素。水利工程项目所处地质情况复杂，大体可以归类为两种地质地基，即土质地基以及岩质地基。在两种地质地基施工中往往存在边坡失稳状况，具体表现为山体滑坡甚至崩塌，严重时可能造成施工人员安全事故，不容忽视。例如在某些水流湍急的急性水利工程项目中，针对施工现场的地质勘察工作难度更大，所要考虑的危险因素更多。当然，考虑到结构以及水文状况表现复杂，所以必须看重边坡的稳定性监测工作。结合多年的水利工程施工经验看，对边坡质量以及稳定性等因素的监控控制需要因地制宜、有的放矢。比较常见的地基边坡安全开挖与支护技术可以有效规避滑坡风险影响，通过施工持续强化边坡稳定性，这对边坡的防护质量改善帮助较大 [1]。

第二，边坡失稳变形影响因素更加重要。严格来讲，边坡的稳定性变化较大，人为或者自然因素都会影响边坡，引发安全风险问题。对边坡失稳问题的分析必须深入，例如分析其受压与支护变化情况（人为因素），适当调整开挖方

【作者简介】李加干（1984—），男，中国江苏连云港人，本科，工程师，从事水利水电工程研究。

式，另外讨论地震等自然因素所带来的负面影响，计算边坡安全系数调整情况，尽量杜绝边坡滑坡突发事件发生。

3 边坡开挖支护技术施工的实践方法

针对水利工程的边坡开挖与支护施工技术，顾名思义它包含边坡开挖以及支护两种施工技术，下文就二者的具体实践操作方法进行研究。

3.1 水利工程中的边坡开挖施工技术实践方法

3.1.1 不同地质地基的边坡开挖施工方法

首先，针对两种地质与地基的边坡开挖施工方法有所不同。土质边坡开挖属于水利工程的土方类挖掘施工范畴，施工人员所采用的是自上而下的分阶段边坡开挖技术。该技术的边坡开挖质量很高，施工中主要对边坡边缘的泥土进行特殊处理，边开挖边修整、加固开挖边坡位置。在开挖前，则要做好土方边坡的滑坡以及塌方等特殊情况防护处理工作，确保土质边坡开挖始终处于安全稳定状态中。

其次，针对岩质边坡开挖的施工控制技术则更为复杂，因为岩质地质更坚硬，勘察难度更高。施工中所采用的开挖方法通常为爆破法。在爆破作业前，深入了解施工现场岩层的地质特征情况很有必要，可以考虑采用钻爆法进行施工，科学评定爆破过程所需要的各种参数以及炸弹用量标准。另外，台阶式分层爆破法也是适用的，它可以更好地规避边坡由于爆破而坍塌状况。当然，薄层爆破开挖法则主要用于部分边坡高度 ≤10m 的施工现场，而且要求边坡开挖高度保持在 3m 以上 [1]。

3.2 边坡开挖施工技术的实践操作流程

3.2.1 施工准备

施工准备属于边坡开挖施工的核心基础，前期针对施工现场的详细地质的勘察与复核工作相当重要。施工人员可以参考具体设计图纸在现场复核，初步确定岩土层的分布状况、结构面情况等，如了解断层以及裂隙节点位置并标记备注。另外，施工准备阶段计算软弱夹层情况，必要时计算地下水浮动位置，为水利工程施工过程精细化技术参数。施工准备阶段的补充勘探主要围绕某些潜在滑裂段落、面层展开，对不稳定岩体的判断必须做到精准有效。考虑到水利工程中开挖工作面关乎工程生产运行状况，所以施工准备阶段必须注重“排水先行”黄金法则，选择在边坡开挖前同步开挖排水沟，施工中一旦有地下水渗水或者水利工程出水，则必须设计施工临时井点进行临时降水处理。

3.2.2 施工过程

参考上文所谈到的土质、岩质不同地质地基进行针对性施工。如采用分层分阶段开挖土质地质，避免在施工中掏底开挖或者“一坡到顶”开挖，因为两种开挖方式都会导致边坡地基空虚，造成边坡坍塌。如上文所述，遵循自上而下分层开挖边坡原则更为科学合理，每一层开挖深度都要参考具体岩性给出对应处理策略，确定施工支护要求。例如，如果是岩质边坡开挖，它的支护高度应该控制在 4m ~ 8m 范围内；如果是土质边坡，其支护高度应该控制在 2m ~ 4m 范围内。在每一层的开挖施工中，施工人员都要动态修理边坡，临时建立支护体系，确保每一层边坡施工稳定，经过科学评估后再进行下一层开挖施工工作。

如果所针对地质地基为岩质结构，采用爆破边坡开挖施工技术则更为合理，它主要针对微风化岩石或者坚硬岩石，开挖工作效率较高。爆破施工的关键技术包括光面与预裂两种，其中预裂爆破施工技术比较常用，它在岩层主体爆破之前在边坡边缘轮廓线钻孔（预裂孔），与主爆区衔接共同起爆，形成一条较长的预裂缝，保护岩层完整性。在主爆区施工中，则采用台阶深孔爆破技术方法。施工中由施工人员预先挖好倾斜孔或垂直孔，并计算分析孔网参数，合理规划排距与超深位置，与分层装药、间隔装药施工技术手段相互契合。

在精准钻孔施工中，施工人员时刻保证钻孔轮廓线布点和定向钻深处理到位，施工中多采用精度较高的露天钻机，并围绕钻孔布点、钻深进行定向施工处理，确保精准放样。施工中采用全站仪标记出所有炮孔位置，再展开施工活动。精准钻孔后，施工人员精细装炸药，根据预裂孔位置采用耦合装药技术方式，可以采用专用光爆炸药，施工中与导爆索连接，形成炸药串联结构，并放入孔口等待引爆。这一施工技术方法可以最大限度减少装药量，节省施工成本。

在爆破施工完毕后，对边坡进行善后修整，采用机械设备或者人工力量清除边坡上残留的松动石块或者贴面岩石碎块。同时，动态监测施工期间的边坡位移以及沉降情况，了解深层变形结果，必要时采用安全预警信息处理技术。如对地质条件变化进行信息化监测，提出具体的地质预报与支护参数、爆破参数动态调整机制，为随后的支护施工活动开展创造利好条件。

3.3 水利工程中的支护施工技术实践方法

针对水利工程的支护施工技术则包含悬臂挡土桩支护与锚杆支护，首先谈悬臂挡土支护，它采用木桩与钢材等材料负责加固支护，施工中将按照测量角度与深度将材料插入土体或者岩体中，形成支护结构。如果是土质地基，边坡的支护稳定性水平更高，可以配合设置挡土墙（设置高度范围为边坡的 6m ~ 12m 区间），进一步稳定边坡坚固程度。施工中还采用焊接以及扣件连接施工技术，进一步强化支护能力。

其次谈锚杆支护施工技术，锚杆支护的原理相当简单，而且更适用于岩石地基。在水利工程中，岩石岩层地基表现较多，但是边坡支护难点较大，施工人员多采用二级螺旋钢筋进行支护，支护高度为 10m ~ 12m。在支护前，必须对岩质地质进行钻孔处理，或者同样采用钻爆施工技术方式。

锚杆支护施工的关键点在于合理运用锚杆索，将锚杆索一端稳定于岩土地层中，另一端则直接衔接地下连续墙、

桩基等其它支护结构。可以考虑采用边开挖、边支护施工技术方式，满足分层施工要求。它的工艺流程为每开挖一层钻孔安装一层土钉，然后注浆挂网处理，开始混凝土喷射施工。在施工中，要合理放置钢绞线或者钢筋，且在施工后做好养护以及张拉索锁定工作 [2]。

4 水利工程边坡开挖与支护的施工案例

以连云港某地区水利工程项目为例，他们在项目中开展边坡开挖与支护施工，下文具体来谈：

4.1 工程项目概况

某水利工程项目为连云港地区项目它的控制流域面积达到 200km^2，属于防洪 + 灌溉的综合水利工程项目。该项目的建设内容为重力坝，重力坝为混凝土结构，坝体总高度达到 40m，长度为 300m，为土壤地质地基。围绕大坝岸边的边坡开挖施工技术要求较高，必须结合施工现场条件提出具体技术内容。

4.2 工程项目施工过程

4.2.1 土方开挖

考虑到某工程项目边坡开挖规模相对庞大，为有效杜绝当地雨季可能引发的边坡坍塌事故，在土体开挖前专门为工程大坝布设排水沟和截水沟，及时疏通排水，提高施工效率。土方开挖施工自下而上展开，有效预防地下水，自然提高排水效果。施工中采用挖掘机深挖边坡土体下层，采用分层开挖施工方法，每开挖一层，进行一次混凝土喷射跟进施工操作，并参考多个台阶层级进行逐步开挖。而下台阶部分则要求比上台阶部分多开挖超过 20m，有效规避土体边坡坍塌事故风险。

为进一步提升开挖施工效果，施工技术人员的现场开挖施工操作相当灵活，不但包含分层纵深开挖施工技术方法，还采用分段横挖施工技术方法，从不同角度、不同层次确保土方开挖绝对安全稳定和高效率。

4.2.2 铺设钢筋

在某水利工程项目中，采用钢筋铺设方法强化边坡开挖与支护技术流程，钢筋铺设质量高度对某项目的施工综合质量影响较大，获得了项目施工部门的高度重视。参考水利工程项目的长期安全稳定运行需求，针对边坡的钢筋铺设施工严格遵照工程实际建设需要，精确计算钢筋的铺设顺序以及铺设数量，确保为边坡建立稳固有效的支撑体系。

钢筋铺设施工首先要做好钢筋绑扎，从边坡一端按照设计间距套入箍筋，与边坡横梁、纵梁等所有主筋建立垂直机制，确保弯钩位置的梁角成功交叉布置。随后采用规格为 20cm ~ 22cm 的镀锌钢丝进行捆绑施工，满足所有交叉点捆绑要求，最后捆绑效果为“八”字形，避免钢筋网在混凝土绑扎过程中产生较大位移，同时将锚杆钢筋螺母位置主筋相互焊接（采用机械焊接方式），形成稳定传递锚固定力的关键节点。在施工中，还要专门处理加强节点部分，选择在横梁与纵梁的交叉节点位置密集布置钢筋，并按照钢筋增设标准确保节点强度水平有所提高。另外，施工中还要额外设置保护垫块，保护垫块主要设置于钢筋的顶面与侧面位置，垫块的厚度大约控制在 0.6m ~ 1.0m，并根据相同间距绑扎即可 [3]。这一施工环节的主要目的是杜绝钢筋接触边坡模板，确保混凝土保护层厚度足够，最大达到 60mm。

最后，对某项目的边坡支护钢筋绑扎结果进行验收，实施“三检”施工，具体为自检施工、互检施工以及专检施工。具体检查关键点包括绑扎牢固度、锚杆连接质量等，参考边坡支护整体结构与稳定性验收绑扎支模工序，提高项目边坡支护施工质量水平。

5 结语

在本文看来，结合大量理论研究以及案例实践分析，可以深刻解读当前水利工程项目建设中的边坡地质情况，如土体或岩体地质地基。根据不同地基地质，所采用的施工技术方式有所不同，例如岩石爆破法或者土体开挖法。因此，选择合理的边坡开挖以及支护施工技术颇有必要，要持续强化对施工细节的把控，确保水利工程项目的边坡施工质量水平持续提高，也为后续同类水利工程边坡施工提供有价值参考。

参考文献

[1] 江云霞.边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J].中国厨卫, 2025, 24(5):151-153.

[2] 董晔,胡胜,涂小龙.边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J].中国科技纵横, 2025(6):104-106.

[3] 张全荣.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用分析[J].水上安全, 2024(11):178-180.