

水利枢纽工程溢洪道高边坡处理技术

卢金龙 张大勇

长江勘测规划设计研究有限责任公司 湖北 武汉 430010

摘要：泄洪渠是水利枢纽施工中的关键基础设施，对维护施工安全有着特殊作用。该文探讨了水利枢纽施工中泄洪渠道的滑坡处理的技术，着重介绍了泄洪渠道上段和下段的特殊地貌条件以及对边坡稳定性的影响。针对较高边坡稳定性问题，提供了以锚喷支护技术为基础的解决方法，并详尽介绍了从地面测量施工放线至混凝土喷浆浇筑的边坡稳定处理流程。结合了合理施工方法和精细化工艺，有效提升了溢洪道边坡的整体稳定性，为水利枢纽工程的安全运行提供了坚实保障。

关键词：水利枢纽；工程溢洪；道高边坡；处理技术

引言：水利枢纽建设是自然资源合理利用的重大基础设施，对于防洪、灌溉、水力发电和航运等领域都有着难以取代的重要功能。但是，在水利枢纽建设过程中，由于溢洪道是重要泄流构筑物，因此其中高边坡的安全性问题始终是对其工程安全性的主要关注点。尤其是在复杂地质环境下，怎样有效解决超高边坡，保障施工安全，是亟待解决的技术难题。我们试图通过对溢洪道超高边坡解决方法的研究，为类似工程提供有益的参考和借鉴。

1 水利枢纽工程的重要性

水利枢纽工程，作为人类智慧与自然和谐共生的杰出代表，其重要性不言而喻。它们不仅是国家水资源管理与调配的基石，更是防洪减灾、水力发电、农业灌溉、航运交通以及生态环境改善等多功能于一体的综合性基础设施。在防洪减灾方面，水利枢纽工程如同自然界的守护者，通过调节和控制水流，有效减轻洪水对下游地区生命财产安全的威胁。在雨季，它们能够蓄积多余水量，削减洪峰流量，保护沿岸居民免受洪水侵袭；在旱季，则能适时释放储存的水资源，缓解旱情，保障农业灌溉和居民生活用水需求。水力发电作为清洁能源的重要组成部分，水利枢纽工程在这一领域同样扮演着关键角色。它们利用水流产生的巨大能量转化为电能，不仅为国家能源结构优化和节能减排做出了重要贡献，还促进了地方经济的发展和人民生活水平的提高。同时，这些工程还促进了航运交通的发展。通过建设船闸、升船机等通航设施，使得大型船舶能够顺利穿越河流峡谷等天然障碍，极大地提高了内河航运的效率和通达性，为区域间的物资交流和经济社会发展，带来了全新的动力。更加重要的是，水利枢纽工程的修建和运营也带动着城市自然环境的巨大改变。经过合理设计与控

制，这些工程项目在实现经济效益与社会效益的同时，也更重视了对自然环境的保护和恢复，从而达到了人与自然的和谐共存^[1]。

2 高边坡优化方案

2.1 溢洪道上段情况分析

溢洪道上段段长为100m，覆盖层厚5~10m，最厚的区域厚度约为15m，主要是由破积块碎土石组成。这一段溢洪道的内侧高边坡岩层向溢洪道内侧倾斜25°~35°，下部坡脚的位置主要是剪切破碎带和粉砂岩夹煤质页岩等较为软弱的岩层，边坡的稳定性较差。在对这部分结构进行切割等施工处理时，很容易引起岩质边坡顺着软弱层滑动，导致整体边坡失稳。因此，在高边坡开挖的过程中就须要施加临时以及永久性的支护措施。

项目	荷载类型		
	持久	短期	必然
引水发电洞进口边坡	1.3~1.35	1.05	1.01
引水发电洞出口边坡	1.3	1.05	1.01
泄洪洞进、出口边坡	1.3	1.05	1.01
导流洞进口边坡	-	1.05	1.01
冲砂洞出口边坡	1.3	1.05	1.01
溢洪道边坡	1.3	1.05	1.01
场内临时公路边坡	-	1.05	1.01
其他边坡	1.2	1.05	1.01

图1 高边坡安全系数取值

此段溢洪道的地基部分主要是由剪切破碎带和粉砂岩夹煤质页岩组成，岩质软弱易破碎。在高边坡建成后产生的侧向应力作用下，这部分岩体的抗崩解能力较差，易产生突起变形，须要针对这部分地基采取加固措施专门处理^[2]。

2.2 溢洪道下段情况分析

溢洪道下段作为水利工程中至关重要的泄流结构，其310米的长度不仅承载着巨大的水流冲击力，还需面对复杂的地质条件挑战。该段底板及挑流鼻坎的构筑基础，主要扎根于由风化卸荷作用形成的粉砂岩、中细粒砂岩及泥质粉砂岩等混合岩体中，这些岩体虽归类为III~IV类，具备一定的承载力，但仍需细致考量其长期稳定性和抗变形能力。鉴于岩体的物理力学特性，为确保溢洪道下段结构的安全与稳定，必要的抗变形加固措施不可或缺。这包括但不限于采用高性能混凝土增强底板与岩体的结合强度，以及设置合理的排水系统以减少地下水对岩体的不利影响。同时，针对地形尤为陡峭的区段，还需特别关注防滑问题，可能通过增设防滑齿槽、使用高摩擦系数的铺面材料或构建防滑结构层等措施来应对^[3]。

3 溢洪道高边坡处理的技术要点

3.1 锚喷支护技术的处理方案设计

在锚喷支护技术的处理方案设计中，我们首先精确定位了需进行加固处理的高边坡区域，并明确了具体的处理范围，这是确保后续工作准确无误的基础。随后，依据边坡的地质条件、设计荷载及稳定性要求等关键工程参数，我们审慎决定将锚杆长度设定为4.5米，这一长度旨在深入稳定岩层，提供足够的锚固力。同时，为了形成有效的支护网络，我们将锚杆间距精心布置为3米×3米的梅花形阵列，这样的布局既能保证支护的均匀性，又能提高边坡的整体稳定性。在锚喷作业阶段，我们严格遵循加固需求，对喷浆厚度进行了精细控制。在本工程中，大多数区域采用了10厘米左右的喷浆厚度，这一厚度在保证结构强度的同时，也兼顾了经济性和施工效率。然而，在识别出的特殊地段，如岩层破碎严重或存在潜在滑移面的区域，我们特别采取了挂设钢筋网的措施，以增强喷浆层的整体性和抗裂性能，确保这些区域的支护效果达到设计要求。此外，为了有效排除边坡内部的积水，防止水压力对边坡稳定性造成不利影响，我们在泄槽周边区域精心设置了排水系统。排水孔的深度同样为4.5米，与锚杆长度相匹配，间距则控制在3米，这样的布置能够确保排水孔覆盖整个边坡区域，及时将地下水排出，降低边坡的渗透压力，进一步提升边坡的稳定性与安全性^[4]。

3.2 边坡处理的工艺流程

3.2.1 测量放线

为了保证路基设计的有效性，在实施前期，必须对路基结构的有关技术参数作出合理确定，主要包括锚索

配置情况、钻孔的位置、格构柱和排水沟等。另外，也可在边坡的一定部位设有监测点，以保证在挖掘施工中，不致对边坡稳定性产生很大干扰。对基准点的坐标位置及其标高数据都要加以多次核实，在确定数据绝对准确的基础上，再根据基准点位置进行放线作业。进行格构梁设计之前，必须事先明确了纵向和横向二条中心线，并同时为中心点的相应地方安装模板，以便实施格构梁设计。在纵向格构梁设计时，对中心点距离的确定，应根据工作缝的位置情况，规定可以的间隔，并分别布置格构柱结构。对排水沟的设计，应当利用全站仪技术，对其方位作出精确定位，从根本上提高边坡的效率，为溢洪道功能的合理实现提供了保证。

3.2.2 土方挖掘现场

因高边坡经过处理后，如果土方施工条件不好就极易出现高边坡结构损坏的事故，对工程环境产生了很大危害，因此，在具体实施中，最好采用分期施工的方法，在解决好阶段的开挖施工问题后，才能实施下一阶段的挖掘施工。将各段施工宽度限制在十五m为宜，按照施工设计方案，对各段的施工深度加以适当限制，进深过大或过小都将对开挖施工的总效率产生负面影响，进而大大降低边坡管理的效果。当出现了施工深度差很大的施工坡段时，可适当实行分级施工，每层水深确定在1.0m以下。根据外部的环境条件以及土壤的自身分布情况，可以合理选用连续挖掘施工和跳层开挖的方法^[5]。

3.2.3 孔位分布

在锚喷支护技术实施过程中，孔位的精确布置是确保支护效果的关键环节。完成支护工作面的初步成型后，专业测量团队将运用高精度的测量仪器，如经纬仪、全站仪等，配合传统的皮尺复核，严格按照设计方案中的孔位布局图进行实地放样。这一过程中，不仅要求操作人员具备丰富的测量经验和严谨的工作态度，还需确保测量设备处于良好校准状态，以减少人为误差和设备误差。通过精细的测量与调整，每一个锚杆孔的位置都将被精确锁定，确保孔位之间的相对位置关系符合设计要求，且其绝对位置误差严格控制10厘米以内。这一严格的误差控制标准，不仅是对工程质量的严格要求，更是对边坡长期稳定性的有力保障。

3.2.4 钻孔安装

科学设置钻头，保证其稳固度，防止其受力出现偏移或摆动现象。通过科学合理的设计，复测钻头位置、倾角、水平度以及开孔钻头落差点等，使故障率减至最低。利用孔口定位仪对打洞时进行协助，避免在打洞中先晃动范围过大，出现孔位偏离现象。在将锚杆钻孔位

置选定后,再根据具体的设计方案,钻进成洞。其中,钻孔孔径以12cm为宜。施工初期,应结合施工现状和条件,合理地调节角度,使其最大偏差控制在 $\pm 1^\circ$ 以内。开展钻进检查工作后,应严格作好有关的记录工作,一旦发现重大异常,及时与有关设计部门沟通。上述工艺结束时,必须通过高压空气装置对孔内的灰尘加以有效清除,避免孔内灰尘的产生,对注浆液的凝固效果以及与孔壁的有效连接产生重大影响^[6]。在钻孔施工中,当发生泄流现象后,要及时采用注浆液胶结的方法,对溢流兰加以合理密封,以便达到提高锚固管长度效果的目的,同时避免了泥浆和水体流进入钻孔内,对注浆液的黏稠性产生冲击,从而影响后期的质量。

3.2.5 锚杆安装

锚杆安装是锚喷支护技术中的核心步骤,直接关系到支护结构的强度和稳定性。在安装前,必须确保塌孔、掉块等潜在问题已得到彻底清洗和处理,以提供一个干净、稳固的钻孔环境。安装过程中,首先需对锚杆的保护层进行细致检查,一旦发现损坏,应立即采取措施进行修复,以防保护层在后续安装过程中进一步受损。安装初期,需特别注意控制螺栓的紧固力度,确保受力均匀,防止因局部应力聚集而引起的保护层开裂。另外,在推动锚索时,要平稳且匀速,不得推动锚索做回转作业,以防损伤钻机内部及锚索自身的构造完整性。如在工作过程中出现压力过高、锚索不能顺畅推动等异常情况,需立即暂停工作,将锚索小心拔出,再次查看保护层有无破损及钻机内是否干净无杂质。

3.2.6 注浆

注浆是锚喷支护技术中至关重要的一环,它直接关系到锚杆与岩体的有效粘结及长期稳定性。在锚杆安装完毕后,立即启动注浆作业,旨在隔绝空气,防止锚杆因暴露而锈蚀,同时增强锚杆与周围岩体的整体性和承载能力。注浆过程中,我们精心选用M25水泥砂浆作为注浆材料,其优异的流动性和粘结力确保了注浆效果。为优化施工效率,考虑到工程整体工期,注浆作业分两次进行,并在配比中适量添加减水剂,以提高浆液的可泵性和流动性,减少注浆时间。具体操作时,采用专用的注浆管将配制好的浆液匀速送至孔底,同时缓慢提升注浆管,确保浆液自下而上均匀填充孔内空间^[7]。注浆过程中,控制注浆管埋深在5cm左右,以保证浆液能够充分渗透并排出孔内空气。若遇到注浆孔中存在积水的情况,

需灵活调整浆液稠度,确保注浆质量不受影响。

3.2.7 砼喷浆

在完成地基施工后,再进行格构梁。竖格构柱和锚索浇筑初期,进行基础预留,建立垂直式构柱,继而进行横格构柱浇筑。安装板钢筋直径时,基模无流土和流石处理。将短钢锚索安装于边坡上,可以同时水泥保护层砂浆垫片的制备。优选为普通硅酸盐材料,并要求粗、中砂等细骨材含水率、粗骨材粒度和混凝土骨料层配等。科学选用了外加剂和速凝剂,速凝剂的凝固时间一般在5-10min左右为宜,而钢纤维体积的最大抗拉强度则要达到380MPa以上。通过侵入的振动棒对砼进行每点的浇注,每点停留时间以10-30s为宜,直到开始泛砂并无气泡。砼浇注施工过程中,保留足够的钢筋保护层,保证钢筋长度的适当^[8]。

结束语

水利枢纽工程溢洪道高边坡处理技术的深入研究与应用,不仅提升了工程的安全性与稳定性,也为类似地质条件下的边坡治理提供了宝贵经验。通过精细化的设计与施工,结合锚喷支护等先进技术,我们有效应对了高边坡的复杂挑战,确保了水利枢纽工程的顺利运行与长期效益。未来,随着科技的不断进步与工程实践的深入,溢洪道高边坡处理技术将更加成熟与完善,为水利事业的发展贡献更大力量。

参考文献

- [1]彭振宇.水利枢纽工程溢洪道高边坡处理技术[J],黑龙江水利科技,2018(08)
- [2]卢印.水利枢纽工程溢洪道高边坡处理技术[J],黑龙江水利科技,2013(11)
- [3]单威;李建东.隆盛水库溢洪道高边坡FLAC3D数值模拟稳定性分析[J],资源环境与工程,2016(05)
- [4]穆红波.水利枢纽工程溢洪道高边坡处理技术[J],黑龙江水利,2018(05)
- [5]邹骏.紫坪铺水利枢纽工程溢洪道控制段机翼形堰水力特性研究[J].四川水利,2020,41(06):101-104.
- [6]颜达涛.金佛山水利工程溢洪道差动式挑坎体型研究和水力特性分析[J].中国水利,2020(S1):43-45.
- [7]姬春利,石月红.水利工程中水库溢洪道设计研究[J].地下水,2020,42(03):233-234.
- [8]蒋露.关于水库溢洪道施工技术在水利工程中的应用[J].建材与装饰,2020(09):290-291.