

水库大坝工程建设中的常用护坡施工方法分析

张明珠

玉田县水利局

摘要：水库大坝工程中的护坡施工方法是确保大坝工程稳定性和安全性的关键环节。护坡施工旨在防止坡体土方的侧向滑动和坡面的冲刷侵蚀，同时能提供坡面的美化和生态恢复功能。针对不同地质条件和工程要求，常用的护坡施工方法主要包括混凝土护坡、砌石护坡、土工格栅护坡和植被护坡等。当前水库大坝护坡施工中还存在一些难点，需要积极采取相应措施进行完善与优化，保证水库大坝工程建设的质量。本文主要探讨了水库大坝工程建设中的护坡施工方法的相关内容。

关键词：水库大坝工程；护坡施工方法；分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.20.080

水库大坝工程建设中，护坡是保障大坝稳定性和防止坡面侵蚀的重要措施。不同的护坡施工方法在水库大坝工程建设中具有各自的特点和适用范围。在实际工程中，应根据水库地质条件、水流情况和工程要求等综合因素，选择合适的护坡施工方法，并注意施工过程中的监测和维护，确保大坝的安全稳定和长期可持续发展。

一、水库大坝护坡施工中存在的问题

（一）施工难度较大

水库大坝护坡施工的首要问题是施工难度较大。由于水库大坝通常位于陡峭的山地地形中，护坡施工面临的挑战较多。施工人员需要应对坡度陡峭、地质条件复杂、施工空间狭小等问题。同时，由于水库大坝高度较大，护坡施工需要使用大型机械设备进行施工作业，但在狭小的施工空间中操作这些设备存在一定的困难。

（二）施工周期长

水库大坝护坡施工中还存在着施工周期较长的问题。由于施工难度大，护坡施工需要经历一系列繁琐的工序，比如入土、排水、挖沟、锚固等，这些工序需要经过反复施工和检验，并且需要等待适宜的天气条件才能进行，导致整个护坡施工周期延长。长时间的施工周期可能会对工程进度造成影响，增加了工程的投资成本。

（三）成本较高

水库大坝护坡施工的成本较高也是一个不容忽视的问题。首先，护坡施工所需的材料成本较高。例如，石材作为常见的护坡材料，价格相对较高，采购和运输成本较大。其次，由于施工难度大，护坡施工需要使用大量的人力资源和机械设备，人工费用和设备租赁费用也会增加施工的总成本。^[1]

二、水库大坝工程建设中常用的护坡施工方法

（一）混凝土护坡施工方法

混凝土护坡是水库大坝工程中常用的一种护坡施工

方法，它可以有效地保护水库大坝的坡面免受水流冲刷和侵蚀，提高大坝的稳定性和安全性。

第一，前期准备阶段。在施工开始之前，首先需要进行一系列的前期准备工作，准备施工方案和设计图纸、组织施工人员和设备、采购所需材料等。此外，还需要对施工区域进行勘测和清理，确保施工环境的安全和整洁。

第二，模板安装阶段。模板安装是混凝土护坡施工的重要环节，需要根据设计要求和坡面形状，制作合适大小的木模板。然后，将木模板按照设计要求安装在护坡区域上，并固定好。在安装过程中，需要确保模板的平整度和垂直度，以保证混凝土浇筑时的均匀性和稳定性。

第三，混凝土浇筑阶段。首先，根据设计要求和实际情况，确定混凝土的配合比。配合比应包括水泥、骨料、掺合料和水的比例。其次，将事先准备好的水泥、骨料和掺合料按照配合比要求倒入搅拌车中，进行现场搅拌。搅拌时间通常需要控制在2-5分钟之间，以确保混凝土均匀且无明显团块。最后，使用泵车或倒料机将搅拌好的混凝土均匀地倒入模板中，从下至上逐层浇筑。应注意避免混凝土流失或堆积过多，以确保混凝土的均匀分布并填满整个模板。

第四，坡面处理阶段。在混凝土刚刚浇筑完毕后，需要对坡面进行处理，以保证其平整度和光滑度。要使用专用工具，如抹刀或抹子，在混凝土表面进行抹平操作，使其坡度和形状与设计一致。在混凝土未完全凝固之前，可以使用刷子或喷淋水对坡面进行湿润处理，以增加混凝土与坡面的附着力。

第五，模板拆除与修补阶段。当混凝土充分凝固后，即可进行模板的拆除。拆除时应注意避免对混凝土造成损坏。如果混凝土表面存在明显的缺陷或破损，应进行修补处理，以确保整个护坡层的质量和美观度。

第六，养护与检测阶段。在混凝土浇筑完毕后，需要采取一定的养护措施，包括覆盖塑料薄膜，定期进行水养护和湿润保持等，以促进混凝土的完全凝固和强度发展。在养护期结束后，需要对混凝土护坡层进行检测和评估，包括护坡层的强度测试、表面质量评估等。通过检测和评估，可以确保护坡层的质量符合设计要求。

混凝土护坡具有强度高、耐久性好、施工简便以及可靠性高的特点，适用范围非常广泛，特别适合于大坝、水库等需要较高抗压能力和耐久性的场所。此外，对于坡度较陡的地方，混凝土护坡能够提供更好的支撑作用，防止土方滑坡或坡面塌方。同时，在海岸、河岸等水域周边的工程中，混凝土护坡也能有效抵御水流冲

击和波浪侵蚀,保护工程结构的安全。^[2]

(二) 砌石护坡施工方法

砌石护坡是水库大坝工程中常用的一种护坡施工方法,它通过将石块逐层砌筑形成坡面结构,以保护大坝坡面免受水流冲刷和侵蚀,提高大坝的稳定性和安全性。

第一,地基处理阶段。在进行砌石护坡之前,需要对护坡区域的地基进行处理,包括清理和平整地表,清除松散土壤和植被,确保地基的坚实与稳定。

第二,基础层施工阶段。基础层是砌石护坡的基础,用于支撑上部的石块。需要在地基上铺设一层水泥砂浆,厚度一般为10-15厘米,用来提供均匀的支撑面。然后将大小适中的石子均匀地铺设在水泥砂浆上,覆盖整个基础面积。石子之间应保持适当的间隙,以便于后续的石块安放。

第三,砌筑阶段。砌筑是砌石护坡的核心环节,需要按照设计要求逐层砌筑石块。首先,选用质量好、形状规整的石块,石块的大小应根据设计要求进行选择,以保证砌筑的牢固性和美观度。其次,按照设计要求和坡面形状,将石块逐层砌筑在基础层之上。一般采用平砌或斜砌的方式,依次把石块紧密堆积,使其相互之间有一定的搭接和咬合。最后,在砌完每一层石块后,应及时对石块之间的缝隙进行填缝。填缝一般采用水泥砂浆或专用的石灰浆,填缝材料要充分填满缝隙,并使其与石块表面平整一致。

第四,坡面处理阶段。在完成砌筑工作后,需要对坡面进行处理,以保证其平整度和光滑度。一方面,使用锤子、凿子等工具对砌筑好的坡面进行修整,使其均匀、平顺。另一方面,清理坡面上的灰尘、碎石等杂物,保持坡面干净整洁。

第五,养护与检测阶段。在砌石施工完成后,采用喷水养护、覆盖塑料薄膜等养护措施,以促进水泥砂浆的凝固和强度发展。然后检测护坡的牢固性、缝隙的填充情况以及整体的外观质量。

砌石护坡具有美观性好、透水性好、规模可调以及施工灵活等特点,常见于山区、丘陵地带和海岸线等地,可以有效抵御较强的水流冲刷和波动力,提供稳定的保护作用。同时,在园林景观设计常常运用砌石护坡,创造自然美观的效果。^[3]

(三) 植被护坡施工方法

水库大坝工程建设中,植被护坡是一种常用的护坡方法。它通过种植适当的植被,形成自然的植被覆盖层,以保护大坝坡面免受水流冲刷和侵蚀,提高大坝的稳定性和安全性。

第一,准备及处理阶段。在进行植被护坡之前,需要做好准备及地基处理工作,保证地基的平整性与稳定性。

第二,土壤改良阶段。土壤改良是植被护坡的关键步骤,旨在提高土壤的肥力和透水性,为植物生长提供良好的环境。首先,使用挖掘机或手工工具对原土进行

深翻,翻松土层,去除碎石、杂草等不利于植被生长的物质。其次,根据土壤的情况,添加适量的有机肥料、腐殖质和矿物质等土壤改良剂,改善土壤结构和营养状况。最后,根据设计要求,合理调整土壤的酸碱度、盐碱含量等指标,以满足植物的生长需求。

第三,植物选择与种植阶段。植物的选择是植被护坡的核心环节,需要根据地理环境、气候条件和设计要求来确定适合的植物种类。首先,选择适应当地气候条件、耐旱、抗风、抗盐碱的植物,如灌木、草本植物等。其次,根据选定的植物种类,进行苗木的培育工作。可以通过种子播种、扦插繁殖等方式获得健康的苗木。最后,在土壤改良后的坡面上,按照设计要求和植物布置方案进行植物的种植。一般采用适当的行列间距和种植密度,使植物能够充分利用光线和水分资源。

第四,养护与管理阶段。植被护坡的成功还需要进行养护和管理工作,以确保植物的生长和护坡效果。首先,在植物种植后,及时浇水,保持土壤湿润,促进植物根系的生长和扎根。其次,根据土壤分析和植物需求,合理施肥,提供充足的营养供应。可使用有机肥料或控释肥料等,避免过量施肥导致植物生长不良。再次,定期清除坡面上的杂草,防止其与植物竞争养分和光线资源。同时,对发生病虫害的植物进行及时防治。最后,定期巡查护坡植被的生长情况,及时修剪过长或枯死的植物,保持护坡植被的整洁和美观。

植被护坡具有生态环保、适应性强、建设成本低以及美化环境的特点,适用于生态保护、景观设计和城市绿化等领域,特别适合于中低坡度的场所,能够有效减缓水流速度,减少水流对坡面的冲刷作用。植被护坡还能改善土壤环境,促进土壤结构的稳定,并为生态系统提供良好的生存条件。^[4]

(四) 土工格栅护坡施工方法

水库大坝工程中,土工格栅是一种常用的护坡材料,用于防止土壤侵蚀和保护坡面的稳定。

第一,坡面准备阶段。在进行土工格栅护坡之前,需要对坡面进行准备工作。首先,清除松散土壤、碎石、杂草等不利于土工格栅固定和铺设的物质。其次,使用平地机等设备对坡面进行修整,使其平整、光滑,并保证坡度符合设计要求。最后,根据设计要求,可以采取喷涂胶结剂、喷涂钢筋网等方式对坡面表面进行处理,增强土工格栅与坡面的黏结力。

第二,材料铺设阶段。铺设土工格栅是整个施工过程的关键步骤。首先,根据设计要求,使用测量仪器对土工格栅的位置和尺寸进行测量和标定,确定铺设的起点和终点。其次,在坡面起点处,使用地钉或锚杆等支护材料将土工格栅固定牢固,确保其能够承受后续施工的拉力。再次,从起点开始,逐层将土工格栅铺设在坡面上。可以采用横向交叠、竖向对接等方式,确保格栅之间的连接紧密且牢固。最后,在铺设过程中,使用钉子、U型钉或石笼网等固定材料固定土工格栅,使其与坡面充分结合,并提高整体稳定性。

第三，系统连接与修整阶段。在完成土工格栅的铺设后，需要进行系统连接和修整工作，以确保护坡效果的达到设计要求。需要使用连接杆、扣件、钢丝等材料将相邻的土工格栅进行连接，形成一个完整的护坡系统。确保连接牢固，防止格栅分离。然后，对铺设完成的土工格栅进行修整，确保其整齐、平直，并符合设计要求的几何形状。

第四，养护与监测阶段。土工格栅护坡施工完成后，还需要进行养护和监测工作，以确保护坡效果的稳定和可靠。首先，在施工后及时浇水，保持土工格栅周围的土壤饱水状态，促进植物生长和根系扎牢。其次，定期巡查土工格栅的状况，检查连接和固定情况，及时处理松动和损坏的部分。最后，对土工格栅的应力、变形等关键参数进行监测和记录，以便评估护坡系统的稳定性和安全性。

土工格栅护坡具有强度高、透水性好以及灵活性强等特点，常见于陡坡地区、高速公路边坡、河岸防护等场所，可以有效加固土坡，提供稳定的支撑作用，并减少土方滑坡和坡面塌方的风险。^[5]

三、水库大坝护坡施工质量提升策略

（一）建立一体化护坡施工技术管理体系

为了提升水库大坝护坡施工质量，建立一体化护坡施工技术管理体系是非常重要的。首先，建立明确的施工标准和规范。制定专门针对水库大坝护坡施工的标准和规范，明确各项工程指标和要求，需要综合考虑安全性、稳定性、耐久性以及环保要求，确保护坡结构在各种不利情况下都能够发挥良好的作用。其次，建立科学的施工工艺和施工流程。根据护坡结构的特点和施工条件，制定详细的施工工艺和施工流程，应包括施工方法、施工顺序、施工步骤等具体细节，确保施工过程中每个环节都能够得到科学合理的安排和实施。最后，建立健全的档案管理制度。建立完善的施工档案，记录施工过程中的关键信息和重要数据，为后续工作的开展提供参考，也便于对施工质量进行回溯和评估。

（二）加强施工前期调研和设计

水库大坝护坡施工前期调研和设计是确保施工质量的重要环节。首先，进行详细的地质勘测和工程调研。通过现场勘测和采样分析，了解施工区域的地质构造、土层性质以及地下水位等信息。同时，还需要了解当地的气候特点、降雨情况和水流情况。这些调研结果将为后续的设计和施工提供重要参考，有助于制定科学合理的护坡方案。其次，进行综合设计和优化设计。根据调研结果，结合工程要求和环境条件，进行综合设计。这包括选择合适的护坡结构类型、护坡材料和土工合成材料，确定护坡的尺寸和坡度等技术要求。再次，根据设计要求和施工条件，制定详细的施工方案，包括施工方法、施工步骤、施工顺序等方面的内容。施工方案应科学合理，确保施工过程中能够有效应对各种不利情况，并且符合相关的安全规范和质量要求。最后，在设计阶段，进行可行性研究，评估方案的可行性和技术经济

性，对潜在的工程风险进行评估，并制定相应的应对措施，以减少施工中的风险和质量问题。^[6]

（三）采用先进的施工技术和设备

在水库大坝护坡施工中，采用先进的施工技术和设备是非常重要的，能够进一步提高施工的质量与效率。首先，根据护坡结构的特点和施工条件，选择适合的施工方法和工艺。例如，可以采用机械挖掘、爆破、抛石等方式进行土方开挖和填筑，以提高工作效率和施工精度。同时，还可以采用预应力锚杆、喷射混凝土、土工格栅等先进的工艺，提高护坡结构的稳定性和耐久性。其次，利用智能化设备和机器人技术，可以提高施工效率和施工质量。例如，可以使用无人机进行航测和测量，获取精确的地形数据；使用全站仪进行土方开挖和护坡结构的布置，提高施工精度；使用自动化设备进行混凝土搅拌和输送，保证混凝土质量和均匀性。这些智能化设备和机器人技术可以减少人工操作，提高施工效率，同时也降低了人为失误的可能性。最后，建立水库大坝护坡施工的BIM模型，将设计、施工和管理等各个环节进行集成。通过BIM技术，可以实现施工过程的虚拟仿真和优化，预先发现并解决可能存在的问题。例如，可以通过BIM模型分析护坡结构的稳定性，调整材料的使用和坡度的设计，以提升施工质量和效率。

四、结语

综上所述，水库大坝护坡施工中存在施工难度大、施工周期长以及成本较高的问题。因此，在水库大坝工程建设中，要考虑到工程需求、地质条件、美观要求等多个因素选择混凝土护坡施工方法、砌石护坡施工方法、植被护坡施工方法、土工格栅护坡施工方法等合适的护坡施工方法，同时还要建立一体化护坡施工技术管理体系、加强施工前期调研和设计、采用先进的施工技术和设备，进一步提高水库大坝护坡施工质量，确保护坡结构的稳定性和安全性。

参考文献

- [1]康青建. 水库大坝工程建设中的常用护坡施工方法分析[J]. 工程建设与设计, 2023(11): 193-195.
 - [2]崔艳玲, 黄利伟. 龙泉水库除险加固工程大坝混凝土护坡施工质量控制[J]. 海河水利, 2011(02): 34-35.
 - [3]何桓, 罗小和, 杨金华. 西藏结巴水库工程大坝干砌石护坡施工技术[J]. 四川水利, 2020, 41(05): 49-51+63.
 - [4]何朝霞. 希尼尔水库大坝工程施工组织设计[J]. 水利技术监督, 2012, 20(02): 61-64.
 - [5]黄建勋, 于绍勇, 解运喜. 水库大坝常见护坡施工方法及应用[J]. 工程技术研究, 2022, 7(24): 59-61.
 - [6]高鲁燕, 李勇, 王春雨. 棘洪滩水库大坝护坡存在问题及对策[J]. 山东水利, 2009(22): 27-28.
- 作者简介: 张明珠(1990-), 女, 河北唐山, 汉, 本科, 水利水电工程师, 小型水库、河道治理。