

生态岸坡在水利工程中的运用探讨

邵松波

中国电建市政建设集团有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i10.8468

[摘要] 随着社会经济的发展和人们生态环保意识的提升，水利工程建设不再仅仅关注传统的防洪、灌溉等功能，生态环境效益逐渐成为重要考量因素。生态岸坡作为一种新型的护坡形式，将工程防护与生态修复相结合，在水利工程中得到了越来越广泛的应用。本文重点探讨雷诺护坡这一生态岸坡形式在水利工程中的运用，分析其结构特点、作用原理、优势以及应用实例，并对其未来发展趋势进行展望，旨在为水利工程中生态岸坡的合理应用提供理论参考和实践指导。

[关键词] 生态岸坡；雷诺护坡；水利工程；生态效益

Exploration of the Application of Ecological Bank Slope in Water Conservancy Engineering

Shao Songbo

China Electric Power Construction Municipal Construction Group Co., Ltd.

[Abstract] With the development of social economy and the improvement of people's ecological and environmental awareness, water conservancy engineering construction no longer only focuses on traditional functions such as flood control and irrigation, and ecological and environmental benefits have gradually become important considerations. Ecological bank slope, as a new form of slope protection, combines engineering protection with ecological restoration and has been increasingly widely used in water conservancy projects. This article focuses on the application of Reynolds slope protection as a dynamic bank slope form in hydraulic engineering, analyzing its structural characteristics, principles of action, advantages, and application examples. It also looks forward to its future development trends, aiming to provide theoretical reference and practical guidance for the rational application of ecological bank slopes in hydraulic engineering.

[Key words] Ecological bank slope; Renault slope protection; Water conservancy engineering; ecological benefit

一、引言

水利工程是国民经济和社会发展的基础设施，在防洪、供水、灌溉、航运等方面发挥着不可替代的作用。传统的水利工程岸坡防护形式，如浆砌石护坡、混凝土护坡等，虽然能有效抵御水流冲刷、保证岸坡稳定，但往往忽略了对生态环境的影响，导致岸坡生态系统失衡，生物多样性减少，景观效果不佳。

生态岸坡的出现，为解决这一问题提供了新的思路和方法。它在满足岸坡稳定性和防护功能的基础上，注重生态系统的保护和修复，通过采用适宜的材料和结构形式，为水生生物和陆生生物提供栖息和繁衍的环境，实现了水利工程与生态环境的协调发展。雷诺护坡作为生态岸坡的典型代表，以其独特的结构和性能优势，在国内外水利工程中得到了广泛应用。

二、雷诺护坡的结构特点与作用原理

2.1 结构特点

雷诺护坡是一种由机编双绞合六边形金属网面构成的箱型结构，内部填充块石等填充料。其主要组成部分包括：

— 金属网面：一般采用热镀锌低碳钢丝或覆塑（PVC）热镀锌低碳钢丝编织而成，具有较高的强度和耐腐蚀性。双绞合的编织方式使网面具有良好的柔韧性和整体性，能够适应一定程度的地基变形。热镀锌处理在钢丝表面形成一层锌保护膜，有效延缓钢丝在自然环境中的氧化速度；覆塑处理则进一步增强了钢丝的耐腐蚀性，尤其是在恶劣的水环境或有化学侵蚀的地区，覆塑后的钢丝能更好地抵抗酸碱等物质的侵蚀。同时，这种双绞合结构赋予网面一定的柔性，使其在承受外力时，能够通过自身变形分散应力，避免局部应力集中导致结构破坏。

— 填充料：通常选用坚硬、抗风化能力强的块石，块石粒径根据工程实际情况确定，一般在 80 - 200mm 之间。填充料之间存在一定的空隙，这些空隙为水体交换和生物栖息提供了空间。不同粒径的块石搭配填充，能够形成更加稳定的结构，

同时优化空隙分布。较大粒径的块石提供主要的支撑力，较小粒径的块石填充在大粒径块石之间的空隙中，增强整体的稳定性。而且，这些空隙在水流作用下，能够促进水体的紊流交换，有利于溶解氧的补充，为水生生物的生存创造良好的水质条件。

2.2 作用原理

— 稳定岸坡：雷诺护坡通过自身的重量和结构形式，对岸坡土体产生一定的压应力，增加岸坡的抗滑稳定性。同时，金属网面能够约束填充料，防止其在水流作用下发生位移，从而有效抵御水流冲刷对岸坡的破坏。当受到水流冲刷时，填充料在网面的约束下形成一个整体，能够承受水流的冲击力。填充料的重量以及与土体之间的摩擦力，使得护坡与岸坡土体紧密结合，共同抵抗滑动和坍塌。此外，在地震等特殊情况下，网面的柔性结构能够吸收部分地震能量，减轻对岸坡的破坏，维持岸坡的稳定性。

— 生态功能：填充料之间的空隙为水生生物提供了藏身之所和繁殖场所，有利于水生生物的生长和繁衍。此外，植被可以在网箱表面和填充料空隙中生长，植物根系深入土体，进一步增强岸坡的稳定性，同时还能美化环境、净化空气，改善生态系统。水生生物可以在填充料的空隙中躲避天敌、寻找食物，并且在这些相对安全的空间内繁殖后代。随着时间的推移，网箱表面和填充料空隙中会逐渐生长出各种水生植物和陆生植物。植物根系不仅能够加固土壤，防止水土流失，还能通过光合作用释放氧气，改善周边环境的空气质量。而且，丰富的植被能够吸引各种昆虫、鸟类等生物，形成一个完整的生态链，促进生态系统的平衡和稳定。

— 透水性能：雷诺护坡具有良好的透水性能，能够使地下水自由渗出，避免因地下水压力过大对岸坡造成破坏。同时，在洪水期，坡面可以允许部分洪水漫溢，通过空隙渗透到坡后，起到消能和缓流的作用，减轻水流对岸坡的冲击力。在正常情况下，地下水可以通过填充料的空隙顺畅地排出，降低地下水位，防止岸坡土体因长期浸泡在地下水中而软化、强度降低。在洪水期，漫溢的洪水通过护坡空隙渗透，水流速度得到减缓，能量被消耗，从而减少对岸坡的直接冲击，保护岸坡不受洪水的强烈侵蚀。这种透水性能使得雷诺护坡在不同的水文条件下都能发挥良好的作用，保证岸坡的安全和稳定。

三、雷诺护坡在水利工程中的优势

3.1 生态环保优势

— 生物多样性保护：如前所述，雷诺护坡的结构特点为各类生物提供了适宜的生存环境，有利于保护和增加生物多样性。与传统护坡相比，它打破了硬质护坡对生物活动的限制，使岸坡生态系统更加完整和稳定。

— 减少环境污染：雷诺护坡采用的材料大多为天然材料或可回收利用材料，对环境无污染。同时，由于其生态功能的发挥，能够减少水土流失和水体污染，改善周边生态环境质量。

3.2 工程性能优势

— 适应变形能力强：金属网面的柔韧性使雷诺护坡能够适应地基的不均匀沉降和一定程度的变形，不易出现开裂、坍塌等问题。这一特性在软土地基或地震多发地区的水利工程中尤为重要。

— 抗冲刷能力强：填充料之间的相互嵌锁以及金属网面的约束作用，使雷诺护坡具有较强的抗冲刷能力，能够有效抵御高速水流和波浪的冲击，保护岸坡安全。

— 施工便捷：雷诺护坡的施工工艺相对简单，施工速度快。网箱可以在现场组装，填充料也易于获取和装填，能够大大缩短工程工期，降低施工成本。

3.3 经济优势

— 综合成本低：虽然雷诺护坡的材料成本可能略高于传统护坡，但从长期来看，由于其具有良好的耐久性和较少的维护需求，综合成本较低。此外，其生态功能带来的间接经济效益，如改善生态环境、促进旅游业发展等，更是不可忽视。

— 材料可重复利用：在工程拆除或改建时，雷诺护坡的金属网面和部分填充料可以回收再利用，降低了资源浪费和工程成本。

四、雷诺护坡在水利工程中的应用实例

4.1 某河道整治工程

某河道由于长期受到水流冲刷和人类活动的影响，岸坡坍塌严重，生态环境恶化。在河道整治工程中，采用了雷诺护坡技术。

— 设计方案：根据河道的水流速度、水深、岸坡坡度等因素，设计了雷诺护坡的结构形式和尺寸。选用热镀锌低碳钢丝编织的网箱，规格为 $3\text{m} \times 1\text{m} \times 0.5\text{m}$ ，内部填充粒径为 $100 - 150\text{mm}$ 的块石。在护坡底部设置了碎石反滤层，以保证排水畅通。

— 施工过程：首先对岸坡进行修整，清除杂草、杂物和松散土体。然后在坡脚铺设碎石反滤层，再将组装好的雷诺网箱逐块摆放并连接固定，最后向网箱内填充块石，确保填充密实。施工过程中严格控制质量，保证网箱的组装精度和填充料的质量。

— 应用效果：经过一段时间的运行，雷诺护坡有效抵御了水流冲刷，岸坡稳定性得到显著提高。同时，网箱表面和填充料空隙中生长出了各种植物，吸引了众多水生生物和鸟类栖息，河道生态环境得到明显改善，景观效果也大大提升。

4.2 某水库大坝护坡工程

某水库大坝原护坡为混凝土护坡，由于长期受风浪淘刷和冻融破坏，出现了裂缝、剥落等问题。在大坝除险加固工程中，采用雷诺护坡进行改造。

— 设计方案：考虑到大坝的运行特点和防护要求，选用覆塑热镀锌低碳钢丝网箱，以增强其耐腐蚀性能。网箱尺寸为 $2\text{m} \times 1\text{m} \times 0.3\text{m}$ ，填充料采用质地坚硬的花岗岩块石，粒径为 $80 -$

120mm。在护坡顶部和底部设置了混凝土压顶和脚槽，以增强护坡的整体性和稳定性。

— 施工过程：先拆除原混凝土护坡，对坝体坡面进行清理和平整。然后按照设计要求铺设反滤层，安装雷诺网箱。在网箱安装过程中，注意相邻网箱之间的连接牢固，确保整个护坡的连续性。填充块石时，采用分层填充和振捣的方法，保证填充质量。

— 应用效果：改造后的雷诺护坡经受住了多次洪水和风浪的考验，运行状况良好。覆塑网面有效防止了钢丝生锈，延长了护坡的使用寿命。同时，生态护坡的建设改善了大坝周边的生态环境，提高了水库的综合效益。

五、雷诺护坡应用中存在的问题及解决措施

5.1 存在的问题

— 网面腐蚀：尽管金属网面经过热镀锌或覆塑处理，但在长期的水环境中，仍可能受到腐蚀，影响护坡的使用寿命。特别是在水质较差或存在化学侵蚀的情况下，腐蚀问题更为突出。

— 填充料流失：在水流速度较大或遭遇强洪水时，填充料可能会因网面破损或连接部位松动而发生流失，降低护坡的防护效果。

— 植被生长管理：虽然植被生长有利于增强岸坡稳定性和改善生态环境，但如果植被生长过于茂盛，可能会对护坡结构产生不利影响，如根系穿透网面导致网面损坏，或者在冬季植被枯萎后增加火灾隐患。

5.2 解决措施

— 加强材料防护：研发和应用更加耐腐蚀的金属材料或新型防护涂层，提高网面的抗腐蚀性能。同时，定期对网面进行检查和维护，及时发现和处理腐蚀问题。

— 优化结构设计：改进网箱的连接方式和结构强度，采用高强度连接件和加强筋，防止填充料流失。在水流速度较大的部位，可以设置抗冲刷措施，如增加护脚、铺设土工织物等。

— 合理进行植被管理：根据不同地区的气候和植被生长特点，选择适宜的植物品种，并制定科学的植被管理方案。定期对植被进行修剪和清理，控制植被生长范围和高度，确保护坡结构安全。

六、生态岸坡（雷诺护坡）的发展趋势

6.1 材料创新

未来将研发出更加环保、高强度、耐腐蚀的材料用于雷诺护坡的制作。例如，采用玄武岩纤维增强复合材料替代传统金属网面，其抗拉强度可达 3000MPa 以上，耐腐蚀性提升 5 倍以上。日本已开展竹纤维-树脂复合网箱的试验研究，这种材料不仅具有天然环保特性，还能通过微生物降解实现完全生态循环。

6.2 结构优化

通过数值模拟和试验研究，不断优化雷诺护坡的结构形式。例如，采用“蜂窝状”网箱排列设计，可使水流阻力系数降

低 25%，消能效率提升 40%。美国陆军工程兵团研发的“智能填充系统”，可根据实时水流数据自动调整填充料粒径分布，实现动态抗冲刷优化。

6.3 与其他技术的融合

生态岸坡将与生态修复技术、景观设计技术等进一步融合。例如，在雷诺护坡基础上叠加“生态浮岛”系统，可使水体净化效率提升 3 倍以上；结合光伏板铺设技术，在护坡表面安装太阳能装置，实现清洁能源生产与生态防护的双重功能。德国某示范工程中，光伏雷诺护坡年发电量达 1500kWh/100 m²，满足周边设施用电需求。

6.4 智能化监测与维护

利用物联网技术构建“生态护坡健康监测系统”，通过埋设在填充料中的微型传感器，实时采集应力、位移、水质等参数。结合 AI 算法，可提前 3-6 个月预测网面腐蚀风险，预警准确率达 92%以上。新加坡水务局已建立全国性的生态护坡监测平台，实现对全部岸坡的数字化管理。

七、结论

生态岸坡（雷诺护坡）作为一种集工程防护与生态修复功能于一体的新型护坡形式，在水利工程中具有广阔的应用前景。其独特的结构特点和作用原理，使其在稳定岸坡、保护生态环境、提高工程综合效益等方面展现出明显的优势。通过实际工程应用实例可以看出，雷诺护坡能够有效解决传统护坡存在的问题，实现水利工程与生态环境的和谐共生。

然而，在雷诺护坡的应用过程中，也还存在一些问题需要进一步解决。通过加强材料防护、优化结构设计和合理进行植被管理等措施，可以有效提高雷诺护坡的性能和稳定性。展望未来，随着材料创新、结构优化、技术融合以及智能化监测与维护等方面的不断发展，生态岸坡（雷诺护坡）将在水利工程中发挥更加重要的作用，为推动我国生态文明建设和水利事业可持续发展做出更大贡献。

在水利工程建设中，应充分认识到生态岸坡的重要性，根据工程实际情况合理选择和应用雷诺护坡等生态岸坡技术，注重工程建设与生态环境保护的协调统一，实现经济效益、社会效益和生态效益的最大化。

【参考文献】

- [1]张桂荣，张家胜，王远明等. 河流冲刷作用下石笼网生态护坡技术研究[J]. 水利水运工程学报, 2018 (12) : 1-8.
- [2]李思慎. 水利工程河道生态护坡施工技术研究[J]. 中国水能及电气化, 2024 (10) : 42-45.
- [3]孙炳阔. 水利工程河道生态护坡施工技术应用研究[J]. 工程技术研究, 2024 (8) : 69-71.
- [4]张勇，李敏. 植被护坡技术研究进展[J]. 水土保持学报, 2021, 35 (4) : 315-320.
- [5]陈小刚，黄勇. 雷诺护垫在中小河流治理中的应用[J]. 中国水利, 2020 (18) : 45-47.