

# 农村面源污染治理中生态沟渠的构建与运行机制

郭欣

珠江水资源保护科学研究所, 中国·广东 广州 510000

**摘要:** 农村面源污染是当前我国水环境治理中的突出问题, 其污染来源分散、过程隐蔽、治理难度大, 已成为影响农业可持续发展和农村生态安全的重要因素。生态沟渠作为一种集水力调控、生态净化与景观功能于一体的低影响治理措施, 在削减农业径流污染、改善农村水环境方面展现出良好应用前景。本文在系统分析农村面源污染形成机理及治理需求的基础上, 围绕生态沟渠的结构构建原理、功能配置及运行机制展开研究, 重点探讨其在污染拦截、传输调控与生态净化过程中的作用机理。同时, 从运行维护、管理模式及推广应用等角度, 对生态沟渠在农村面源污染治理中的适用性与可持续性进行综合分析, 以期对相关工程实践和政策制定提供理论参考。

**关键词:** 农村面源污染; 生态沟渠; 生态治理; 运行机制; 农业水环境

## Construction and Operation Mechanism of Ecological Ditches in the Control of Rural Non-point Source Pollution

Guo Xin

Scientific Institute of Pearl River Water Resources Protection, China Guangdong Guangzhou 510000

**Abstract:** Rural non-point source pollution is a prominent issue in the current water environment governance in China. Its pollution sources are scattered, the pollution process is concealed, and the control is difficult. It has become an important factor affecting the sustainable development of agriculture and the ecological security of rural areas. As a low-impact control measure integrating hydraulic regulation, ecological purification and landscape functions, ecological ditches have shown good application prospects in reducing agricultural runoff pollution and improving the rural water environment. Based on a systematic analysis of the formation mechanism and control requirements of rural non-point source pollution, this paper focuses on the structural construction principles, functional configuration and operation mechanism of ecological ditches, and discusses their role mechanisms in pollution interception, transmission regulation and ecological purification. At the same time, from the perspectives of operation and maintenance, management models and promotion and application, a comprehensive analysis of the applicability and sustainability of ecological ditches in the control of rural non-point source pollution is conducted, with the aim of providing theoretical references for related engineering practices and policy formulation.

**Keywords:** Rural non-point source pollution; Ecological ditch; Ecological governance; Operation mechanism; Agricultural water environment

## 0 引言

随着农业集约化程度不断提高, 化肥、农药及养殖废弃物的大量投入使农村面源污染问题日益凸显。与点源污染相比, 面源污染具有来源广泛、排放不稳定和难以监测控制等特点, 成为制约农村水环境质量提升的重要因素。传统治理手段多依赖工程性截污和末端处理, 存在投入成本高、运行维护难度大等问题, 难以在广大农村地区长期推广。生态沟渠作为一种基于自然过程的治理方式, 能够在不改变原有农田排水体系的前提下, 实现污染物削减与生态功能提升的协同目标。深入研究生态沟渠的构建模式

与运行机制, 对于推动农村面源污染治理由工程化向生态化转型具有重要现实意义。

## 1 农村面源污染的特征与生态沟渠治理的理论基础

### 1.1 农村面源污染的来源与形成机理

农村面源污染主要源于农业生产和农村生活活动, 其形成过程具有分散性和隐蔽性特征。在农业生产中, 化肥和农药为提高作物产量被大量施用, 但受作物吸收效率和施用方式影响, 往往存在明显剩余, 未被利用的养分易在降雨或灌溉条件下通过地表径流和土壤渗流进入周边水体。

同时, 畜禽养殖规模化发展过程中产生的粪污若缺乏有效收集和处理, 也会成为重要污染源。此外, 部分农村地区生活污水处理设施不完善, 生活污水直接排放或随意排放, 加剧了水体污染负荷。面源污染的发生具有显著的时空不均衡性, 其强度受降雨过程、耕作制度和作物生长阶段等因素共同影响, 呈现出“间歇性输入、累积性影响”的特点。这种非点状、非连续的污染模式, 使得污染监测和治理措施难以精准定位, 增加了治理复杂性。

### 1.2 传统治理方式的局限性

在农村面源污染治理实践中, 传统方法多侧重于工程性拦截和末端集中处理, 如硬质排水沟改造、沉淀池或简易处理设施建设等。这类措施在短期内能够削减部分污染物输出, 对改善局部水环境具有一定效果, 但其治理思路往往以“快速排放”和“集中处理”为主, 忽视了自然生态过程在污染削减中的作用。硬质化沟渠虽然提高了排水效率, 却加快了污染物向下游水体的输送速度, 反而可能扩大污染影响范围。同时, 传统工程设施建设和维护成本较高, 对技术和资金依赖性强, 在农村地区难以实现长期、稳定运行。随着设施老化和管养弱化, 其治理效果容易出现衰减, 难以满足农村水环境持续改善的需求。

### 1.3 生态沟渠治理理念的提出

在传统治理方式局限性日益显现的背景下, 生态沟渠治理理念逐渐受到关注。生态沟渠是在原有农田排水沟渠基础上, 通过引入生态工程和低影响开发理念, 对沟渠的断面形式、底质结构和植被配置进行系统优化, 使其在承担排水功能的同时具备污染拦截和生态净化能力。该治理方式强调充分利用植物吸收、微生物降解以及污染物物理沉积等自然过程, 实现对氮、磷等面源污染物的持续削减。与传统工程措施相比, 生态沟渠更加注重系统的自我调节和长期稳定运行, 建设和维护成本相对较低, 环境适应性更强。其理念契合农村地区资源条件和生态保护需求, 为农村面源污染治理提供了一条生态化、可持续的技术路径。

## 2 生态沟渠的构建模式与关键技术

### 2.1 沟渠结构与断面形式设计

生态沟渠的结构与断面形式设计是其发挥排水与净化双重功能的基础, 应在保障农田排水安全的前提下, 统筹考虑水力条件与生态需求。与传统硬质直线沟渠相比, 生态沟渠更强调断面的自然化与多样化。常见的梯形断面和复合断面通过加宽沟底、减缓边坡坡度, 可有效降低径流流速, 削弱水体冲刷能力, 从而减少沟渠侵蚀和塌陷风险。同时, 缓坡边坡和不规则断面为植物生长和生物附着提供

了更多空间, 有助于延长水体在沟渠中的停留时间, 增强污染物沉积与转化过程。合理的纵坡控制与局部跌水、滞水结构设置, 还可进一步改善沟渠内水动力条件, 提升系统整体稳定性和污染削减效率, 使生态沟渠在长期运行中保持良好的功能表现。

### 2.2 底质材料与功能层配置

沟渠底质是生态沟渠净化功能的重要载体, 其材料类型和结构配置直接影响污染物去除效果。通过在沟底铺设砂砾、卵石、沸石或富含有机质的基质材料, 可增强对水体中氮、磷及有机污染物的吸附与滞留能力。其中, 多孔性材料不仅有利于营养盐固定, 还为微生物群落的附着与繁殖提供了良好条件。采用分层底质结构, 将不同功能材料按照粒径和性能进行组合配置, 可在沟渠内形成多尺度净化空间, 实现对颗粒态、溶解态污染物的协同处理。底质功能层的合理设计, 有助于提升生态沟渠对复杂面源污染的综合应对能力, 并增强系统运行的稳定性和耐久性。

### 2.3 水生与湿生植物配置原则

植物配置是生态沟渠构建中的核心环节, 其类型选择和空间布局直接关系到沟渠的净化效率与生态功能发挥。在植物选择上, 应优先选用适应当地气候和水文条件的本地水生与湿生植物, 以提高成活率并降低后期维护成本。挺水植物、沉水植物与湿生植物的合理搭配, 有助于形成结构多样的植物群落, 增强对水体中氮、磷等营养盐的吸收能力。同时, 植物根际区可显著促进微生物活动, 加快有机物分解和营养盐转化过程。在配置过程中, 还需兼顾水力条件和景观效果, 避免单一物种过度扩张造成水流阻滞或生态失衡。通过科学配置植物群落, 可实现生态沟渠净化功能、生态稳定性与乡村景观价值的协同提升。

## 3 生态沟渠削减农村面源污染的运行机制

### 3.1 水动力调控与污染拦截机制

生态沟渠通过对沟渠断面形式、纵坡以及植被空间分布的系统优化, 显著改变传统农田排水沟渠中水流速度快、停留时间短的运行特征, 使农业径流在沟渠内形成缓流、分流或局部滞留状态。水动力条件的改善不仅降低了水体输送动能, 也为污染物削减创造了必要的物理环境。在流速减缓的条件下, 径流中携带的悬浮颗粒物更易发生沉降, 颗粒态氮、磷及附着型污染物得以在沟渠内被有效拦截, 从而减少其向下游水体的直接输入。同时, 沟渠内多级断面和植被阻滞作用能够延长水体停留时间, 增强污染物与底质、植物和微生物之间的接触频率, 使生态净化过程得以充分展开。通过这种以水动力调控为基础的拦截机制,

生态沟渠在源头环节实现对面源污染负荷的有效削减。

### 3.2 生物作用与物质转化过程

生态沟渠的污染削减不仅依赖物理过程,更依托植物—微生物系统的生物作用实现污染物的转化与去除。沟渠中配置的水生和湿生植物通过根系吸收水体中的氮、磷等营养盐,并将其转化为植物生物量,从而降低水体污染水平。与此同时,植物根际区域为微生物提供了适宜的附着基质和能量来源,促进硝化、反硝化等关键生物化学过程的发生,使溶解态氮素以气态形式释放。磷素则通过植物吸收、底质吸附以及沉积固定等多种途径实现削减。生物膜的形成进一步增强了有机物降解和营养盐转化效率,使生态沟渠具备持续、稳定的自净能力。这种以生物过程为核心的物质转化机制,是生态沟渠实现长期污染控制的重要基础。

### 3.3 多重生态功能的协同效应

生态沟渠在发挥污染削减功能的同时,还在农村生态系统中承担着多重生态服务功能。通过恢复沟渠内自然化结构和多样化生境条件,生态沟渠为水生生物、两栖动物及部分昆虫提供了适宜的栖息与繁殖空间,有助于提升区域生物多样性和生态系统稳定性。此外,沟渠内植被和缓流空间在暴雨条件下可起到一定的调蓄作用,削减径流峰值,缓解农田排水压力,对防洪减灾具有积极意义。在景观层面,生态沟渠改善了农村水系景观质量,与周边农田和村落环境形成协调统一的生态格局,增强了乡村环境宜居性。通过污染控制、生态修复与景观提升等功能的协同发挥,生态沟渠实现了环境效益、生态效益与社会效益的有机统一。

## 4 生态沟渠的运行管理与推广应用机制

### 4.1 运行维护与功能稳定性保障

生态沟渠作为一种以自然过程为核心的治理设施,其污染削减效果具有明显的过程性和累积性,长期稳定运行离不开科学、持续的维护管理。运行维护的重点在于保持沟渠水力条件与生态结构的相对稳定,其中定期清理沟底沉积物是防止沟渠淤积、保障过水能力和净化空间的重要措施。沉积物若长期堆积,不仅会缩小有效断面,还可能在扰动条件下重新释放氮、磷等污染物,削弱治理成效。植被管理同样关键,应根据植物生长周期和季节变化,适度修剪过密或衰败植株,既维持其对污染物的吸收能力,又避免因植被过度繁茂影响水流通畅。此外,还需防止生活垃圾、畜禽排泄物等外源污染物进入沟渠,通过设置简易拦截设施和加强日常巡查,降低人为干扰风险。通过建

立操作性强、成本可控的常态化维护制度,可有效保障生态沟渠净化功能的持续发挥,避免因管理缺位导致治理效果随时间衰减。

### 4.2 多主体协同管理模式

生态沟渠治理涉及农业生产方式、水环境保护和农村公共基础设施建设等多个领域,其运行管理不宜单纯依赖某一主体,而应构建多方参与、协同推进的管理模式。在实践中,政府部门可承担规划引导和制度保障职责,通过政策支持和资金投入推动生态沟渠建设与运行;村集体组织可作为日常管理的重要实施主体,负责协调农户参与、组织维护活动并落实具体管理措施;农户作为直接受益者,其参与程度在很大程度上决定生态沟渠运行效果的可持续性。通过明确各主体的权责边界,建立责任共担、利益共享的机制,有助于提升治理合力。同时,可结合农村人居环境整治、农业绿色发展等政策,引入补贴、奖励或以工代赈等激励方式,提高农民参与维护的积极性,推动生态沟渠由单一工程设施向共建共享的生态资产转变。

### 4.3 推广应用中的现实挑战与对策

尽管生态沟渠在农村面源污染治理中展现出良好潜力,但在推广应用过程中仍面临多方面挑战。一方面,不同地区在地形条件、气候特征和农业生产方式上差异显著,现有生态沟渠建设模式难以简单复制,若缺乏针对性设计,容易出现适应性不足的问题;另一方面,部分地区建设标准和技术规范尚不完善,导致工程质量和运行效果参差不齐,影响治理成效的稳定性。针对上述问题,应坚持因地制宜原则,在充分调查区域自然条件和污染特征的基础上,制定差异化技术方案,合理选择沟渠结构形式、底质材料和植物配置。同时,通过开展示范工程建设,总结不同类型区域的成功经验,逐步形成技术路径清晰、管理模式成熟的推广方案。在此基础上,加强技术培训和经验交流,有助于提升基层对生态沟渠治理理念和方法的认知水平,推动其在更大范围内规范、有序应用。

## 5 结语

农村面源污染治理是一项系统性、长期性的生态工程,单一技术难以从根本上解决问题。生态沟渠通过融合工程措施与生态过程,在削减农业径流污染、改善农村水环境方面展现出独特优势。本文从构建模式、运行机制与管理应用等方面,对生态沟渠在农村面源污染治理中的作用进行了系统分析。研究认为,在科学设计和规范管理的前提下,生态沟渠能够实现污染控制与生态修复的协同目标。未来,应进一步加强长期监测与多区域实践研究,不

断完善生态沟渠技术体系,为推进农村水环境治理和农业绿色发展提供坚实支撑。

**参考文献:**

[1] 韩朝阳. 农村面源污染治理的生态工程技术应用与效果评估[C]// 重庆市大数据和人工智能产业协会, 重庆建筑编辑部, 重庆市建筑协会. 智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(三). 唐山农业发展集团有限公司. 2025:251-254.

[2] 黄恺. MET 复合生态处理技术在农业面源污染治理

中的应用. 福建省, 厦门史帝福环保科技有限公司, 2023-06-20.

[3] 王瑶佳. 高效生态沟渠系统构建及其对典型农业面源污染物去除性能研究[D]. 北京化工大学, 2022.

[4] 孔令为. 基于填料改性的塘 / 生态沟渠面源污染控制技术研究. 浙江省, 浙江省环境保护科学设计研究院, 2017-03-09.

[5] 余红兵. 生态沟渠水生植物对农区氮磷面源污染的拦截效应研究. 湖南省, 湖南城市学院, 2014-11-01.