(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103588303 B
(45)授权公告日 2015.04.08

(21)申请号 201310556146.X
(22)申请日 2013.11.11
(73)专利权人 武汉理工大学
地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路122号
(72)发明人 李晔 马啸 李柏林 邱泽东 周显 刘强 綦威
(74)专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限公司 42102
代理人 唐万荣
(51)Int.Cl.
C02F 3/32(2006.01)
(56)对比文件
CN 201224693 Y,2009.04.22,
CN 103112954 A,2013.05.22,
CN 102701545 A,2012.10.03,
CN 101643278 A,2010.02.10,
KR 100710859 B1,2007.04.25,
周进春.“修筑谷坊工程应注意的问题”.《中国新技术新产品》.2011,(第9期),
刘顺宗.“关于谷坊工程设计与应用的思考”.《中国水土保持》.1990,(第6期),
审查员 黄山

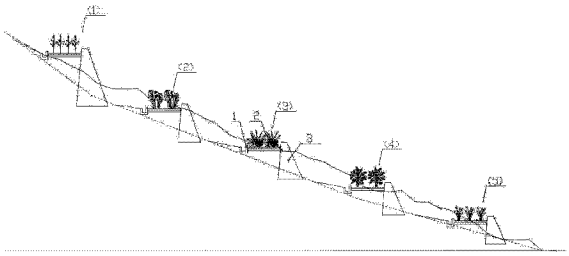
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统

(57)摘要

本发明涉及环境工程和生态工程领域。三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统,其特征在于:它由多级生态谷坊依山坡地呈从高至低的自然落差的梯形状分布;每一级生态谷坊由蓄水调节池、人工湿地和谷坊坝主体组成,三者按水流方向依次布置;蓄水调节池与上一级的谷坊坝主体上的溢流口相通。本发明可对流域山坡地沟壑农业面源污染进行有效拦截和控制,减少水土流失,集雨灌溉,降低坡地降雨前后沟道养分衰减,实现农业面源污染物生态拦截。



CN 103588303 B

1.三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，其特征在于：它由多级生态谷坊依山坡地呈从高至低的自然落差的梯形状分布；

每一级生态谷坊由蓄水调节池（1）、人工湿地（2）和谷坊坝主体（3）组成，蓄水调节池（1）、人工湿地（2）和谷坊坝主体（3）按水流方向依次布置；

每一级的蓄水调节池（1）由调节池（11）和储水池（12）组成，调节池（11）接受上方径流来水，调节池（11）的一侧或两侧设有储水池（12），储水池（12）与调节池（11）连通，储水池（12）同时与同一级的人工湿地（2）连通；

人工湿地（2）与同级的调节池（11）的出水衔接；

人工湿地（2）包括湿地植物（21）、湿地填料、集配水主管（24），集配水主管（24）上连接有集配水支管（25），集配水主管（24）和集配水支管（25）铺设在湿地填料上，集配水主管（24）与调节池（11）相连通，集配水主管（24）的末端连接出水集水池（26）；湿地填料分为上下两层填料区，上层填料区（22）填充 100 mm 厚土壤并在其上种植湿地植物（21），下层填料区（23）用砂石按反滤层分层铺砌，或选择渗透性较好的净化填料；

谷坊坝主体（3）与同级的人工湿地（2）的出水集水池（26）衔接，出水集水池（26）的水通过谷坊坝主体（3）上的溢流口（31）流入下一级的生态谷坊；

湿地植物（21）的类型从上而下按芦苇、再力花、水葱、空心菜、菖蒲、香蒲、美人蕉、茭白、风车草、灯芯草配置，植物种植密度为 10 ～ 20 株 /m^2。

2.根据权利要求 1 所述的三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，其特征在于：第一级生态谷坊的湿地填料区的湿地填料为粒径较大、通透性较好、价格低廉的基质，往后面的湿地填料粒径较小、吸附磷效果好的混合基质。

3.根据权利要求 1 所述的三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，其特征在于：所述谷坊坝主体（3）由浆砌石构成，为不规则梯形。

4.根据权利要求 1 所述的三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，其特征在于：所述的生态谷坊级数由 $n= I\cos\theta/L$ 确定，式中 I 为沟壑坡长，θ 为山体坡度；

两级相邻的生态谷坊间距 $L=H/(i- i')$，其中 H 为单级生态谷坊的底到其溢水口高度，单位为 m；i 为原沟床比降；i' 为淤满后比降。

5.根据权利要求 1 所述的三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，其特征在于：所述净化填料为沸石、砾石、石灰石、卵石或陶粒。

6.根据权利要求 1 所述的三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，其特征在于：集配水主管（24）两边均匀交错设置四排集配水支管（25），集配水支管（25）上布置四排直径为 10 mm 小孔用于均匀配水。

7.根据权利要求 1 所述的三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，其特征在于：在上层填料区、下层填料区间铺设防止上层土壤下漏的隔层。

三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统

技术领域

[0001] 本发明涉及环境工程和生态工程领域，尤其涉及一种兼具雨水收集储存和拦截净化流域山坡地农业面源N、P及水土流失的多级湿地和谷坊生态阻控技术系统。

背景技术

[0002] 三峡水库蓄水运行后，其干流水质稳定，次级河流在回水区水质有所下降，部分支流已出现“水华”现象。随着点源污染全防全控的加强，面源污染尤其是农业面源污染的影响日益凸显。近年来，三峡库区农业面源污染呈恶化趋势。一方面三峡库区历年来就是长江上游水土流失强侵蚀区域，生态环境十分脆弱。库区人均耕地面积0.81亩，不到世界平均水平的30%，而库区现有耕地资源以坡耕地和陡坡地为主，15° 以上的坡耕地面积占耕地总面积47.6%，是库区粮食与经济作物的重要载体。随着经济人口组成的改变和发展，化肥农药施用量的增加和土壤湿度肥力的下降，以及畜禽散养放养未经处理的粪便增加。而且三峡库区是我国暴雨中心之一，N、P等污染物会在降雨和灌溉的作用下，通过水土流失以表面径流、壤中流、农业排水、渗漏等形式进入库区水体。另一方面，三峡库区平均坡度大于25??，其中山地约占库区面积的64.1%，丘陵约占27.4%，在移民安置、城镇迁建、工矿企业搬迁、道路改线等工程实施过程中，不可避免地造成生态环境的破坏。

[0003] 陡坡地和坡耕地被认为是三峡库区水土和N、P流失入库面源污染的主要来源。三峡库区坡耕地平均侵蚀模数为7500 $t/km^2 \cdot yr$，年入库泥沙量达1890万t，占库区年入库泥沙总量的46.16%。根据现场小区径流泥沙监测值(TN含量为10.44 g/kg，TP含量为1.87 g/kg)换算由泥沙带入水库的TN为19.73万t，TP为3.53万t。而流域山坡地沟壑是农业面源污染流失的主要途径。

[0004] 流域山坡地水土和N、P等面源流失治理是近几十年来水土保持和环境保护工作的重点。农业面源污染主要采用前置库、谷坊、植物篱、人工湿地等技术来控制，这些技术的特点就是利用工程拦截或植物吸收来阻挡水土或降解N、P等污染物质提高进入水体的径流水质。传统的山坡地沟壑水土流失治理多采用沟头防护、谷坊以及淤地坝等工程措施(《水土保持综合治理 技术规范 沟整治理技术 GB/T 16453.3—2008》)。根据建筑材料不同，谷坊可分为土谷坊、石谷坊和植物谷坊，多适用于我国北方。但当处理南方多雨水气候山坡地的农业面源污染问题时，往往由于流域山坡地坡度大、径流流量大流速快、土壤组成松软高等原因，使得流域沟壑泥沙及N、P含量高，无法形成可对流入水体中N、P等营养物质进行吸收降解的微生物和水生植物系统。另外，中国专利号为ZL 200720188672.5，发明名称为“复合波式流人工山地湿地污水处理系统”公开了一种污水去除效果好，基建投资省，运行费用低的无动力山地污水处理系统，其构造物修建在山地上，不仅可以节约耕地面积，所建的钢筋混凝上构筑物和湿地植物还可以起到固坡和美化环境的作用。据调查，复合型人工湿地系统能有效的处理低污染负荷的农业面源污染水体，TN、TP去除率可达44.1%和49.5%，出水水质比进水可提高1～2个地表水水质等级。

[0005] 因此，开发既经济又具有稳定处理效果的适宜于小流域山坡地沟壑农业面源污染

阻控的生态谷坊系统，对敏感地区雨水收集、旱季灌溉、保土保肥、截流控污及水体水质提高的应用范畴具有重要的意义。

发明内容

[0006] 针对现有技术存在的上述不足，本发明的目的是提供一种三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，可对流域山坡地沟壑农业面源污染进行有效拦截和控制，减少水土流失，集雨灌溉，降低坡地降雨前后沟道养分衰减，农业面源污染物生态拦截。

[0007] 为实现上述目的，本发明采用的技术方案为：三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，其特征在于：它由多级生态谷坊依山坡地呈从高至低的自然落差的梯形状分布；

[0008] 每一级生态谷坊(即单级生态谷坊)由蓄水调节池 1、人工湿地 2 和谷坊坝主体 3 组成，蓄水调节池 1、人工湿地 2 和谷坊坝主体 3 按水流方向依次布置(即人工湿地 2 位于蓄水调节池 1 与谷坊坝主体 3 之间，蓄水调节池 1 位于同一级的人工湿地 2 之上)；蓄水调节池 1 与上一级的谷坊坝主体 3 上的溢流口 31 相通。

[0009] 所述的生态谷坊级数由 $n=I\cos\theta/L$ 确定，式中 I 为沟壑坡长，θ 为山体坡度。

[0010] 每一级的蓄水调节池 1 由调节池 11 和储水池 12 组成，调节池 11 接受上方径流来水(与上一级的谷坊坝主体 3 上的溢流口 31 相通，根据来水来沙量调节控制泥沙、径流以单次定量的方式进入人工湿地 2)，调节池 11 的一侧或两侧设有储水池 12 (储水池 12 接受暴雨过量径流，为旱季灌溉提供水源)，储水池 12 与调节池 11 连通。

[0011] 人工湿地 2 与同级的调节池 11 的出水衔接(人工湿地 2 承接上一级的生态谷坊的出水)；

[0012] 人工湿地 2 包括湿地植物 21、湿地填料、集配水主管 24，集配水主管 24 上连接有集配水支管 25，集配水主管 24 和集配水支管 25 铺设在湿地填料上，集配水主管 24 与调节池 11 相连通，集配水主管 24 的末端连接出水集水池 26；湿地填料分为上下两层填料区，上层填料区 22 填充约 100 mm 厚土壤并在其上种植湿地植物 21，下层填料区 23 可用砂石按反滤层分层铺砌，也可选择渗透性较好的净化填料，并在上下层填料区间铺设防止上层土壤下漏的隔层。所述净化填料可为沸石、砾石、石灰石、卵石或陶粒等。

[0013] ①为防止堵塞，第一级生态谷坊的湿地填料区的湿地填料为粒径较大、通透性较好、价格低廉的基质，往后面的湿地填料粒径较小、吸附磷效果好的混合基质。②湿地植物 21 的类型从上而下按芦苇、再力花、水葱、空心菜、菖蒲、香蒲、美人蕉、茭白、风车草、灯芯草等配置，单级人工湿地 2 根据水深也可按沉水植物、挺水植物、浮叶植物形成有效的时空配置，构成小型生态系统，植物种植密度为 10 ～ 20 株 /m^2，具有一定的经济效益和山地景观。③集配水主管 24 由调节池 11 引入，集配水主管(干管)24 两边均匀交错设置四排集配水支管 25，集配水支管 25 上布置四排直径为 10 mm 小孔用于均匀配水，集配水主管(干管)24 与湿地集流池 26 相通，集流池一侧为谷坊坝体 3，通过溢流口 31 排向下一级生态谷坊。

[0014] 谷坊坝主体 3 与同级的人工湿地 2 的出水集水池 26 衔接，出水集水池 26 的水通过谷坊坝主体 3 上的溢流口 31 流入下一级的生态谷坊。

[0015] 所述蓄水调节池 1 为砖石结构，为规则长方体，也可根据现场地形适当调整，由调节池 11 及其两侧储水池 12 构成，即 $V_{蓄}=V_{储}+V_{调}$，$V_{蓄}$ 表示蓄水调节池 1 的容积，$V_{储}$ 表示储

水池 12 的容积，$V_{调}$表示调节池 11 的容积。蓄水调节池 1 的容积 $V_{蓄}$（m^3）根据山体暴雨径流量设计，按公式 $V_{蓄}=V_{5min}/n$，V_{5min}为 5 min 内上方径流量，按公式 $V_{5min}=300Q$计算，n为生态谷坊级数，Q为设计流量 m^3/s，根据当地暴雨强度按式 $Q=0.278KIF$设计流量，其中 K为径流系数，取为 0.4；I为 10 年一遇 6 h 最大降雨强度 mm/h，F为沟头以上集水面积 km^2；两侧的储水池容积 $V_{储}=1/2V_{调}$，通过谷坊坝主体 3 上的溢流口与调节池相连，可以储存暴雨过量径流，也可补充旱季灌溉，为当地农民山坡地耕作提供便利。

[0016] 所述谷坊坝体 3 由浆砌石构成，为不规则梯形。①本发明选择沟底坡降较大（5～15% 或者更大）、沟底下切剧烈发展的沟段，选择“口小肚大”的地方系统的布设生态谷坊系统。根据沟底坡降，从下而上逐步拟定每座（每级）生态谷坊的位置，一般高 2～5 m，下一座生态谷坊的顶部大致与上一个谷坊的基部等高。②两级相邻的生态谷坊间距 $L=H/(i-i')$，其中 H为单级生态谷坊的底到其溢水口高度，m；i为原沟床比降；i'为淤满后比降；溢洪口 $Q=Mbh^{3/2}$，其中 Q为设计流量，m^3/s；b为底宽，m；h为水深，m；M为流量系数，取 1.55。③生态谷坊级数的选择，生态谷坊级数由 $n=I\cos\theta/L$确定，式中 I为沟壑坡长，θ为山体坡度。

[0017] 三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，外观为阶梯状的生态谷坊，也可称为梯级人工湿地，其特征是结合谷坊工程技术和人工湿地技术，相邻两级生态谷坊通过山坡地坡度比降及谷坊坝高确定，从而保证暴雨期坡沟径流逐次流经第 1、2、…、n 级生态谷坊、经 n级处理后进入水体。

[0018] 因地制宜地利用山坡地现有的沟壑，将其改造成阶梯式农业面源生态谷坊阻控系统，将携带污染物负荷量高的山坡地农业径流截入生态阻控系统中进行净化，净化后的水流入到河道，最大可能地去除泥沙、N、P 等污染物。

[0019] 本发明根据山坡地沟壑结构设计谷坊多级坝体阻流拦沙，梯级湿地土壤层的过滤、吸附，植物吸收利用及微生物降解综合作用去除污染物，阶梯蓄水调节池集雨节灌、调节水量，具有以下优点：

[0020] 1）系统无能耗、不易堵塞。

[0021] 生态谷坊阻控系统沿山坡地沟壑修建，利用山坡地原有坡度，径流污染靠重力流的方式进入系统处理后排放，系统阻力小，不需采用推流、搅拌等设备，无能耗。该系统采用蓄水调节池和人工湿地结合的方式，农业面源径流中颗粒性污染物先经调节池沉砂后进入湿地处理，减少了进入湿地的颗粒性物质，使人工湿地不易堵塞。

[0022] 2）建设投资少、运行管理方便。

[0023] 该系统因地制宜地利用山坡地现有的沟壑，不需重新开挖，土石方量少，工程投资小。附加投资为人工湿地填料系统、植物系统，以及谷坊坝体和蓄水调节池砌砖。而系统中的填料和植物均为当地易见，方便就近取材，且不会威胁当地生态系统。系统中的填料不仅具有较强的 N、P 吸附能力，其表面多孔隙的特性有利微生物的附着生长，有利于提高湿地系统的污染物去除能力。系统中的菱白、空心菜等具有较好的除污效果，还具有一定的经济价值。该系统在运行过程中也无需较高的管理水平，具有较为稳定的运行状态，是一项管理运行方便的技术。

[0024] 3）抗冲击负荷能力强。

[0025] 生态阻控系统中的调节池对进入系统的农业径流起到沉砂、消能和均匀配水的作

用。利用山坡地沟壑地形改造成平流式沉砂池与表面流人工湿地农业面源污染净化系统，最大可能地发挥对泥沙、N、P 的阻控削减效果。人工湿地采用坡向设计，不破坏原有农业径流形成和流动方向。湿地植物生态系统具有一定的固土阻沙作用，可以减缓水流对系统冲击能力。湿地下层填料粒径第一级最大、最后一级最小的设计也进一步减缓农业径流的水力负荷和污染物负荷冲击。

[0026] 4）综合效益好。

[0027] 本设计在传统水土保持谷坊工程基础上，整合低浓度污染湿地处理系统和农业水利资源储存调节系统，充分考虑当地山坡地沟壑地形特点，山地沟壑地形改造与农业生产活动相结合，操作简便易行，技术难度小，易普及推广，成本低，农民易于接受。人工湿地成型后表层可根据园林设计需要栽种相关植物，或在表面栽种当地湿地植物恢复滨水带生态景观，美观大方，与周围景观保持和谐。该方法环境、生态效益明显。

[0028] 5）可对流域山坡地沟壑农业面源污染进行有效拦截和控制，减少水土流失，集雨灌溉，降低坡地降雨前后沟道养分衰减，农业面源污染物生态拦截。

[0029] 总之，本发明根据山坡地沟壑的变化构建梯级农业面源生态阻控系统，可较好的对坡地农业污染物进行多重拦截和控制，达到减少营养盐进入地表水体的目的，同时通过栽种经济景观作物还可以提高当地山区人民的经济收入和景观效应。本发明可以广泛地应用于类似的流域沟道或河道污染物拦截与控制。适合在流域丘陵山地区特别是三峡库区推广。

附图说明

[0030] 图 1 本发明三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统的结构示意图（以五级为例）。

[0031] 图 2 本发明单级生态谷坊的构筑物剖面布置示意图。

[0032] 图 3 本发明单级生态谷坊的构筑物平面布置示意图。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图，通过实施例对本发明所述流域山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统构建方法做进一步说明，但实施例仅用于说明，并不能限制本发明的保护范围。

[0034] 三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统，它由多级生态谷坊依山坡地呈从高至低的自然落差的梯形状分布（构成阶梯状，如图 1 所示）；所述的生态谷坊级数由 $n= I\cos\theta/L$ 确定，式中 I 为沟壑坡长，θ 为山体坡度。

[0035] 每一级生态谷坊（即单级生态谷坊）由蓄水调节池 1、人工湿地 2 和谷坊坝主体 3 组成，三者按水流方向依次布置（即人工湿地 2 位于蓄水调节池 1 与谷坊坝主体 3 之间，蓄水调节池 1 位于同一级的人工湿地 2 之上）；蓄水调节池 1 与上一级的谷坊坝主体 3 上的溢流口 31 相通。

[0036] 每一级的蓄水调节池 1 由调节池 11 和储水池 12 组成，调节池 11 接受上方径流来水（与上一级的谷坊坝主体 3 上的溢流口 31 相通，根据来水来沙量调节控制泥沙、径流以单次定量的方式进入人工湿地 2），调节池 11 的一侧或两侧设有储水池 12（储水池 12 接受暴雨过量径流，为旱季灌溉提供水源），储水池 12 与调节池 11 连通，储水池 12 同时与同一级

的人工湿地 2 连通。

[0037] 人工湿地 2 与同级的调节池 11 的出水衔接(人工湿地 2 承接上一级的生态谷坊的出水);

[0038] 人工湿地 2 包括湿地植物 21、湿地填料、集配水主管 24,集配水主管 24 上连接有集配水支管 25,集配水主管 24 和集配水支管 25 铺设在湿地填料上,集配水主管 24 与调节池 11 相连通,集配水主管 24 的末端连接出水集水池 26;湿地填料分为上下两层填料区,上层填料区 22 填充约 100 mm 厚土壤并在其上种植湿地植物 21,下层填料区 23 可用砂石按反滤层分层铺砌,也可选择渗透性较好的净化填料,所述净化填料可为沸石、砾石、石灰石、卵石或陶粒等,并在上下层填料区间铺设防止上层土壤下漏的隔层。

[0039] ①为防止堵塞,第一级生态谷坊的湿地填料区的湿地填料为粒径较大、通透性较好、价格低廉的基质,往后面的湿地填料粒径较小、吸附磷效果好的混合基质。②湿地植物 21 的类型从上而下按芦苇、再力花、水葱、空心菜、菖蒲、香蒲、美人蕉、茭白、风车草、灯芯草等配置,单级湿地根据水深也可按沉水植物、挺水植物、浮叶植物形成有效的时空配置,构成小型生态系统,植物种植密度为 10 ~ 20 株 /m^2,具有一定的经济效益和山地景观。③集配水主管 24 由调节池 11 引入,干管两边均匀交错设置四排集配水支管 25,集配水支管 25 上布置四排直径为 10 mm 小孔用于均匀配水,集配水主管(干管)24 与湿地集流池 26 相通,集流池一侧为谷坊坝体 3,通过溢流口 31 排向下一级生态谷坊。

[0040] 谷坊坝主体 3 与同级的人工湿地 2 的出水集水池 26 衔接,出水集水池 26 并通过谷坊坝主体 3 上的溢流口 31 流入下一级的生态谷坊。

[0041] 所述蓄水调节池 1 为砖石结构,为规则长方体,也可根据现场地形适当调整,由调节池 11 及其两侧储水池 12 构成,即 $V_{蓄}=V_{储}+V_{调}$。蓄水调节池 1 的容积根据山体暴雨径流量设计,按公式 $V_{蓄}=V_{5min}/n$, V_{5min}为 5 min 内上方径流量,按公式 $V_{5min}=300Q$计算, n为生态谷坊级数,Q为设计流量 m^3/s,根据当地暴雨强度按式 $Q=0.278KIF$设计流量,其中 K为径流系数,取为 0.4;I为 10 年一遇 6 h 最大降雨强度 mm/h, F为沟头以上集水面积 km^2;两侧的储水池容积 $V_{储}=1/2\,V_{调}$,通过谷坊坝主体 3 上的溢流口与调节池相连,可以储存暴雨过量径流,也可补充旱季灌溉,为当地农民山坡地耕作提供便利。

[0042] 所述谷坊坝体 3 由浆砌石构成,为不规则梯形。①本发明选择沟底坡降较大(5 ~ 15% 或者更大)、沟底下切剧烈发展的沟段,选择“口小肚大”的地方系统的布设生态谷坊系统。根据沟底坡降,从下而上逐步拟定每座(每级)生态谷坊的位置,一般高 2 ~ 5 m,下一座生态谷坊的顶部大致与上一个谷坊的基部等高。②两级相邻的生态谷坊间距 $L=H/(i-i')$,其中 H为单级生态谷坊的底到其溢水口高度,m;i为原沟床比降;i' 为淤满后比降;溢洪口 $Q=Mbh^{3/2}$,其中 Q为设计流量,m^3/s;b为底宽,m;h为水深,m;M为流量系数,取 1.55。③生态谷坊级数的选择,生态谷坊级数由 $n=\ I\cos\theta/L$确定,式中 I为沟壑坡长, θ为山体坡度。

[0043] 实施例:

[0044] 结合国家水体污染控制与治理科技重大专项“库区小流域磷污染综合治理及水华控制研究与示范(2012ZX07104-002)”的子课题,在三峡库区香溪河流域建立三峡库区山坡地沟壑农业面源污染生态谷坊阻控系统。

[0045] 三峡库区地处四川盆地与长江中下游平原的结合部,气候类型为中亚热带湿润季

风气候，地貌以丘陵和山地为主，该区土地资源主要以坡耕地为主。实施例选取三峡库区库首宜昌市兴山县，为香溪河典型小流域，地理位置为东经 110° 15?? ～ 111° 05??，北纬 30° 57?? ～ 31° 36??，属构造地貌，土壤主要为石灰土、黄壤和黄棕壤，年均温 17.1℃，无霜期 214 d，日照时数 1682.9 h，日照率为 38%，年降雨量 966.5 mm，相对湿度 76%，该区耕地资源主要以坡耕地和陡坡地为主，平均坡度为 25° 。根据当地小流域的实际情况，选取山坡地沟壑坡度为 23° 设置生态谷坊系统。具体内容包括：

[0046] 1）谷坊坝体 3 的坝高设计为 3.8 m，顶宽为坝高 0.5 ～ 0.6 倍，迎水坡 1:0.1，背水坡 1:1。生态谷坊间距根据 $L=H/(i-i')$。式中 H 为单级生态谷坊的底到其溢水口高度，即 3.8 m，i 为原沟底天然沟床比降（沟底坡降），实地测量为 0.127，i' 为淤满后稳定沟底比降，根据坝后淤积土土质（现场为黏土）为 0.01。经计算，得谷坊间距 L=32.5 m。所述的生态谷坊级数由 $n=l\cos\theta/L$ 确定，式中 l 为沟壑坡长，即 318 m，θ 为山体坡度，即 23° ，则设计级数为 9 个【生态谷坊，图中显示了 5 级，第一级生态谷坊（1）、第二级生态谷坊（2）、第三级生态谷坊（3）、第四级生态谷坊（4）、第五级生态谷坊（5）】。根据当地暴雨强度（重现期 10 年）设计流量按式 $Q=0.278KIF$ 计算，其中 K 为径流系数，取为 0.4；I 为 10 年一遇 6 h 最大降雨强度 mm/h，根据公式 $q=[1108(1+0.731\lg P)]/t^{0.626}$，式中 q 表示单位为 L/s??hm^2 的暴雨强度，P 为暴雨重现期，设计为 10 年，t 为降雨历时 360 min，计算得 48.12 L/s??hm^2，换算成单位时间平均降雨深度，即 I 为 17.3 mm/h，F 为沟头以上集水面积，测量约 6 hm^2，故设计流量 Q 为 0.12 m^3/s。溢流口 31 的断面尺寸根据式 $Q=Mbh^{3/2}$ 计算，其中 Q 为设计洪峰流量，即 0.12 m^3/s，M 为流量系数，一般取为 1.55；b 为溢洪口底宽，设计底宽为 0.4 m；h 为溢洪口水深，经计算为 0.3 m。

[0047] 2）人工湿地 2（梯级人工湿地）

[0048] 在谷坊坝体阻截范围内设置人工湿地 2。湿地填料分为上下两层填料区，上层填料区 22 填充约 100 mm 厚土壤并在其上种植湿地植物 21，下层填料区 23 用渗透性较好的净化填料，并在上下层填料区间铺砌砂石按反滤层分层，防止上层土壤下漏的隔层。为防止堵塞，第 1 级湿地填充粒径较大、通透性较好的卵石，第 2、3、…、8 级湿地分别填充石灰石、砾石、小鹅卵石、碎石、炉渣、沸石、石英砂，第 9 级湿地填充粒径较小、吸附 P 效果好的陶粒。梯级湿地植物 21 类型从 1 级到第 9 级按芦苇、水葱、空心菜、菱白、美人蕉、香蒲、千屈菜等配置，单级湿地根据水深也可按沉水植物如狐尾藻、苦草、金鱼草、菱等，挺水植物如杏菜、慈菇、水芋等形成有效的时空配置，构成小型生态系统，植物种植密度为 10 ～ 20 株 /m^2，具有一定的经济效益和山地景观。集配水主管 24 由调节池 11 引入，PVC 干管 Φ 200 mm 两边均匀交错设置四排支管 25 Φ 90 mm，支管 25 上布置四排直径为 10 mm 小孔用于均匀配水，集配水主管 24 与湿地集流池 26 相通。湿地集流池 26 宽 0.3 m，深 0.5 m，湿地集流池 26 一侧为谷坊坝体 3，通过谷坊溢流口 31 排向下一级生态谷坊。

[0049] 3）蓄水调节池 1（阶梯蓄水调节池）

[0050] 蓄水调节池 1 为砖石结构，为规则长方体，也可根据现场地形适当调整，由调节池 11 及其两侧储水池 12 构成。单个蓄水调节池 1 的容积根据山体暴雨径流量设计，按公式 $V_{蓄}=V_{5min}/9$，V_{5min} 为 5 min 内上方径流量，即 36 m^3，则单个蓄水调节池为 4 m^3。其中调节池 11 长 2 m，宽 1 m，深 1 m，储水池 12 长 1 m，宽 1 m，深 1 m。储水池 12 设置在调节池 11 两侧，相邻挡墙上方留口收集暴雨期过量径流。两侧的储水池容积 $V_{储}=1/2V_{调}$，通过谷坊坝主

体 3 上的溢流口与调节池相连，可以储存暴雨过量径流，也可补充旱季灌溉，为当地农民山坡地耕作提供便利。

[0051] 4）系统农业面源污染去除效果

[0052] 在三峡库区梅雨季节一般降雨径流量时，各污染物出水浓度相对恒定，尤其是 TN、TP 最为明显。在夏季暴雨径流量时，各污染物出水浓度表现不稳定。系统能够稳定阻控 TN、TP 等污染物，去除率分别为 42%、65%。系统污染物出水浓度基本能够满足《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）Ⅲ类标准。

[0053] 5）系统优化运行和管理

[0054] 在系统构建过程及运行期，要对植物进行补植、收割、养护和植物生长监测，在运行期，除了对植被管理，对山坡地沟壑边坡坝体、引排水、沟体各类设置的维护、水质监测等。

[0055] 本发明提出的流域沟壑农业面源污染生态谷坊系统建造方法，其效果接近梯级湿地，将广泛采用的谷坊工程转变为梯级湿地和多级谷坊有机结合、并补充设置调节蓄水池的方法，保持原有的山坡地微地貌形态，并使其具有一定的山地景观效果，生态及环境效益显著，适合在流域丘陵山地区特别是三峡库区推广。

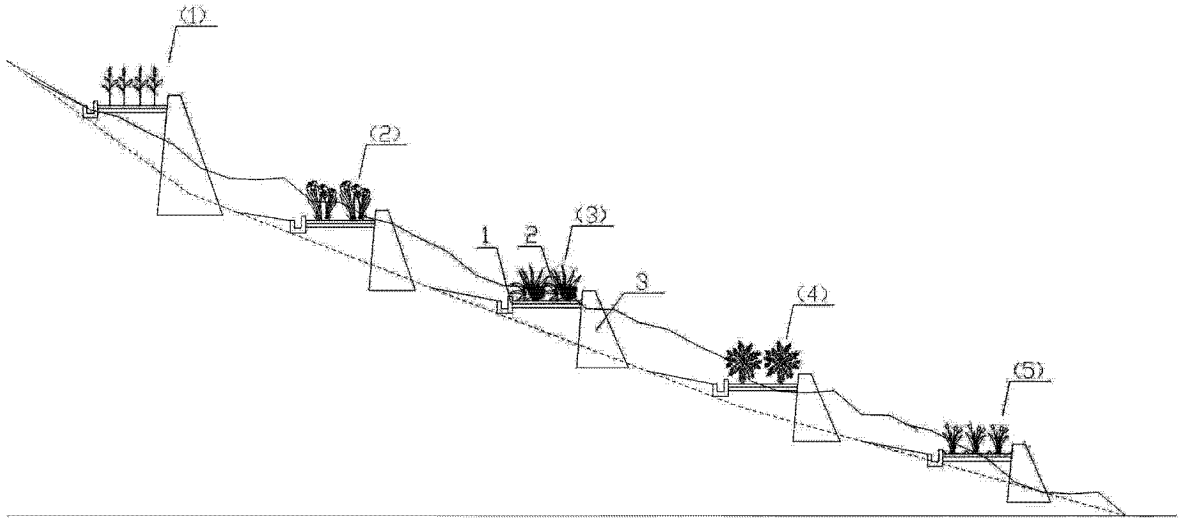


图 1

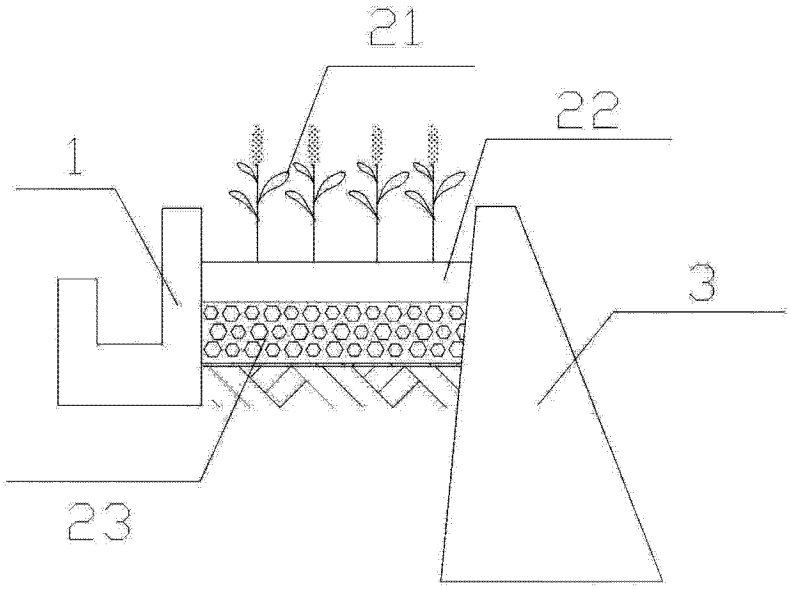


图 2

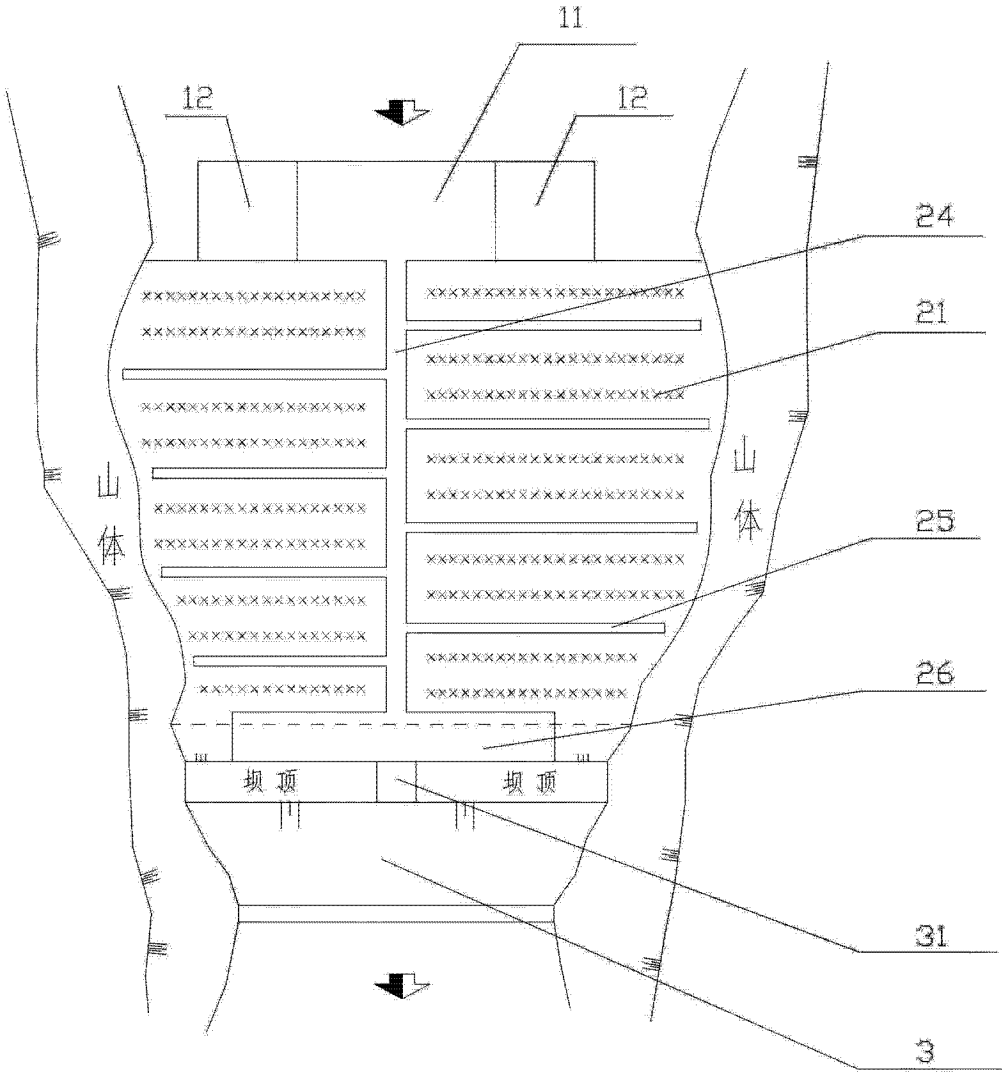


图 3