

林子琦,杨青娟. 基于灌溉渠水质保护的都江堰灌区斗渠廊道 LID 生态措施研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(24):252-259.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.24.047

基于灌溉渠水质保护的都江堰灌区斗渠廊道 LID 生态措施研究

林子琦, 杨青娟

(西南交通大学建筑与设计学院,四川成都 611756)

摘要: 尽管目前水环境治理的技术和方法在不断改进,但我国乡村水环境恶化的态势并未得到有效遏制。都江堰灌溉渠系及其廊道属于灌区乡村水环境的重要组成部分,不仅作为供水设施为居民提供生产、生活用水,还具有整合地区生态过程、提供多样性生态服务的功能。为缓解乡村水环境恶化、控制农村面源污染、建设新时代美丽乡村,以灌溉渠水质保护为目标,以都江堰灌区乡村末级渠系斗渠廊道为对象,研究其廊道及邻接空间 LID 生态措施的设计策略与方法。文章首先阐述了四川省都江堰灌区灌溉渠系概况,并进一步分析乡村末级渠系中斗渠的重要作用及相应特征,同时对当前灌区乡村内斗渠廊道周边存在的面源污染风险进行分类梳理,并总结了各类风险产生的原因及污染物特征。在此基础上,按照交通空间、生活空间、生产空间等邻接空间类别,将 LID 与斗渠廊道相结合,提出相应的设计策略,包括 LID 水文过程分析图、LID 设施选择布局示意图、LID 适宜措施选用表以及相应的设计要点,最后从乡村 LID 多功能复合的角度出发,进行一定的探讨。以期为乡村斗渠廊道的优化建设、乡村水环境的改善提供参考借鉴。

关键词: 乡村水环境;都江堰灌区;LID;灌溉渠;斗渠

中图分类号: TU983

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2020)24-0252-08

目前,乡村水环境问题已成为全球性危机。在我国,尽管乡村水环境治理的技术和方法在不断改进,但是乡村水环境恶化的态势并未得到有效遏制^[1]。位于四川省成都平原的都江堰水利工程由渠首工程和余下的干、支、斗、农、毛 5 级渠系共同构成,经过近 23 个世纪不断发展,已形成了庞大的灌排工程渠系。现有各级干渠 111 条,长 3 664 km;万亩(1 亩 = 667 m²)以上的支渠 260 条,长 3 234 km;支渠以下的末级渠道 34 000 km 以上^[2]。其将岷江之水引入川西平原,从而实现对水资源的调配,具有巨大的社会效益和丰富的文化价值,至今仍然保持着充足的活力和良好的发展势头,被誉为人与自然和谐相处的光辉范例^[2]。近年来,由于城市化进程加快、人口急剧增长以及基础设施建设落后等原因,日益严重的污染正在威胁着这座古老

工程效益的发挥,也严重影响着周边地区的发展^[3]。都江堰灌区中的斗渠将来自上游都江堰干渠、支渠的水体引入乡村中形成发达的乡村水网,并将水引导分配给农渠、毛渠,是整个灌溉渠系承上启下的关键环节。同时斗渠也是与乡村生产、生活、生态联系最为密切的一级灌溉渠系,易受到农村面源污染的威胁。因此如何正确认识斗渠的重要作用并寻求有效的治理方法来预防控制乡村面源污染进入斗渠,污染乡村水环境,具有尤为重要的现实意义。

低影响开发(LID)由美国的最佳管理(BMPs)措施发展而来,继承了 BMPs 微观尺度景观控制的核心,其目标是通过源头防控、途径净化与控制及终端处理与利用等途径实现雨水的净化和再利用,尽量减少技术措施对环境造成的不良影响,实现对雨水的可持续管理。目前 LID 体系已被越来越多的人和地区接受并应用,逐渐成为世界各地控制雨水径流及污染,保护正在开发和已开发流域、社区的有效方法^[4]。LID 作为控制面源污染的有效措施,同时也是一种生态工程措施,其立足于自然资源和生态系统自身的平衡,与传统技术相比,效果好、运行费用低,更有利于环境的可持续发展,是治理农村面源污染的有效方法之一,在控制农村面源污染

收稿日期:2020-04-24

基金项目:四川省哲学社会科学基地项目(编号:MD19E030);四川省科学技术厅重点研发项目(编号 2019YF50061);国家自然科学基金青年科学基金(编号:51408499)。

作者简介:林子琦(1996—),男,四川成都人,硕士研究生,主要从事景观生态设计的科研及设计工作。E-mail:915731001@qq.com。

通信作者:杨青娟,博士,教授,博士生导师,主要从事海绵城市、生态景观设计等方面的科研及设计工作。E-mail:yqj@swjtu.edu.cn。

中具有广阔的应用前景^[5]。故在面临农村面源污染严重、防治措施缺乏、生态环境退化等问题的灌区乡村地区,将 LID 与乡村斗渠相结合,对斗渠廊道进行地表径流优化处理,有助于更为科学合理有效地控制农村面源污染,缓解乡村水环境恶化。

1 都江堰灌区灌溉渠系及斗渠廊道特征

1.1 都江堰灌区堰渠体系及乡村末级渠系

如表 1、图 1 所示,整个都江堰灌区由渠首工程和余下的干、支、斗、农、毛 5 级堰渠体系构成,将岷江之水引入川西平原,从而实现对水资源的调配。川西平原分为内江和外江两大灌区。内江灌区分布着蒲阳河、柏条河、走马河、江安河四大干渠。外江灌区分布着金马河、黑石河和沙沟河 3 条干渠,每条干渠即 1 个小型灌区。由于干渠派生出灌区支渠,支渠连通斗渠,斗渠连通农渠,农渠连通毛渠,逐级

将水引致田间进行灌溉,最终形成了川西平原上垂直于等高线的树枝状灌溉水系^[6](图 2),现今整个都江堰灌区仍沿用此种灌溉方式。而在灌区的乡村内分布着以斗渠、农渠、毛渠为主体的密度高且发达的末级渠系,其将周边干渠、支渠的水引入乡村内部,供居民生产、生活使用。如图 1、表 1 所示,在乡村末级渠系中,斗渠具有输水、配水承上启下的作用。农渠、毛渠依附其周边,起到灌溉之用。

表 1 都江堰灌区各层级渠系功能^[6]

渠系层级	功能	备注
干渠	输水	天然河流
支渠	输水	天然河流、人工开凿
斗渠	输水、配水	人工开凿
农渠	灌水	人工开凿
毛渠	灌水	人工开凿



图1 各层级渠系实地调研实景

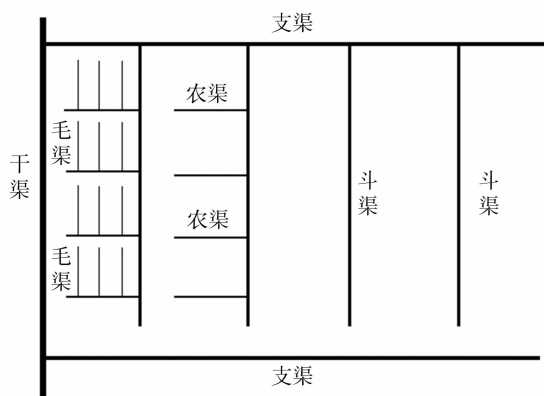


图2 渠系层级拓扑图^[6]

1.2 都江堰灌区乡村斗渠特征

在都江堰灌区堰渠体系中,斗渠属于乡村末级渠系,隶属 3 级水渠,其上通支渠下连农渠,承上启下,常年有水,是灌区乡村内部水网的重要组成部分,同时也是与乡村居民生产生活联系最为密切的水渠。常见的斗渠样式如图 3 所示,材料主要以混凝土、卵石为主,多为混凝土三面衬砌结构,宽度 2 m 左右,深度 1m 左右,沿渠上设有堰头、拦污设

施、分水设施、收水口等小型水利设施以及滨水台阶、桥、小广场等生活设施。随着灌区乡村的发展和人们生活水平的提高,目前斗渠除发挥其传统意义上的输水配水灌溉和提供日常生活用水功能外,还兼具了其他新的功能,如在乡村排水防洪中发挥着雨洪管理基础设施的功能;在乡村旅游中发挥着具有当地乡村特色、人文气息的乡土景观功能;在乡村生态环境营造、生物多样性保护中发挥着构建生态廊道、整合地区生态过程、提供多样生态服务的生态基础设施功能等。

经实地调研发现,目前灌区乡村内的部分斗渠由于管理不善、设计不周等原因受到了一定的破坏,包括生活垃圾污染、废弃填埋等(图 4),以至斗渠内部水体受到了一定程度的污染,水质不断恶化。同时由于斗渠高度人工化的标准工程改造以及混凝土、卵石等材料的使用,缺乏生态设计,导致其虽然是乡村中重要的生态廊道,却未能发挥出相应的生态功能,生态效益大大缺失,不利于乡村的生态环境建设。由于乡村斗渠与农村面源污染接触最为频繁、直接,是农村面源污染进入乡村水体的



图3 斗渠材质



图4 斗渠遭受破坏

重要途径之一,研究斗渠廊道的LID生态措施,对其进行生态改造,不但有助于控制乡村水体的面源污染,还有助于发挥斗渠廊道的生态价值,营造良好的生态环境。

1.3 都江堰灌区乡村斗渠廊道邻接空间特征

通过查阅相关文献以及对灌区内多个乡村进行实地调研发现,都江堰灌区乡村斗渠常常沿乡村道路分布,如天师村、画家村、岷江村等。其邻接空间一侧为乡村道路等交通空间,另一侧为居民房屋、院坝等生活空间或是田地、苗圃、菜园等生产空间(图5)。

1.3.1 邻接交通空间 如图6所示,斗渠廊道的邻接交通空间主要可分为村庄主要道路、村庄次要道路和宅前道路3类。村庄主要道路为联系各村庄组团间的重要道路,主要承载各村庄内部的车流和人流,一般为双向单车道,宽度在7 m左右,且道路与斗渠间绿化带宽度一般 ≥ 1.5 m。村庄次要道路是村庄内部组织生活生产活动的重要道路,主要承载内部人员流动和少量生产车辆,一般宽3~5 m。且

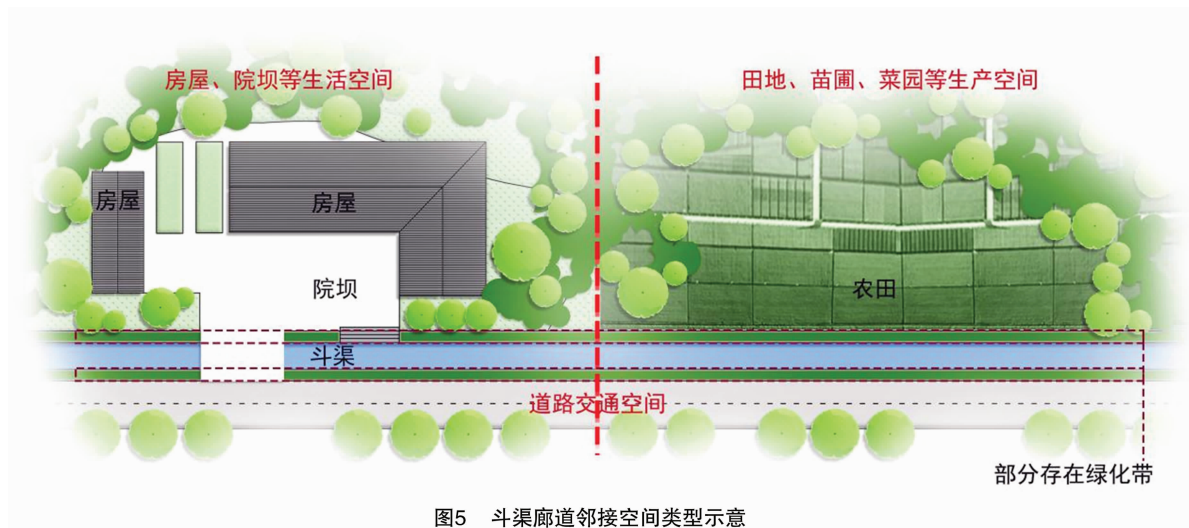


图5 斗渠廊道邻接空间类型示意

道路与斗渠间部分路段设有宽度在0.5~1.5 m的绿化带。宅前道路为村民住宅入户的道路,一般宽3 m左右。道路紧邻斗渠,二者间一般不存在绿化带。

1.3.2 邻接生活空间 如图7所示,斗渠廊道的邻接生活空间主要可分为居民房屋和院坝2种类型。斗渠一侧的房屋类型多为村民居住用房,当另一侧为村庄主要道路或村庄次要道路时,斗渠与房屋间一般存在较为宽阔的绿地;当另一侧为宅前道路时,房屋多紧邻斗渠,二者间无绿地,但在临近二者

周边一般存在一定面积的绿地。斗渠一侧的院坝多为村民自家宅前屋后的小尺度硬质广场,少数为村内公共休憩广场,当地称之为院坝。院坝设计简约,仅存在临水踏步、洗漱池、座椅等设施,内部一般无绿化。

此外,随着灌区乡村旅游的发展,少数村民将斗渠引入自家庭院中,满足自家生活用水的同时形成了独具特色的乡土景观。

1.3.3 邻接生产空间 如图8所示,斗渠廊道的邻接生产空间主要可分为田地、苗圃等大尺度生产空



村庄主要道路



村庄次要道路



宅前道路

图6 斗渠廊道邻接交通空间实景



房屋(有绿地/无绿地)



生活院坝 (1/2)



斗渠引入自家庭院

图7 斗渠廊道邻接生活空间实景

间和居民自家菜园等小尺度生产空间 2 种类型。斗渠一侧的田地、苗圃等大尺度生产空间一般距离斗渠有一定的距离,二者中间多为尺度较大、空间开阔的

绿地和植被缓冲带等。斗渠一侧的居民自家菜园等小尺度生产空间则多距离斗渠较近,且二者中间所存在的绿地具有尺度较小且空间狭长的特点。



田地、苗圃等大尺度生产空间



居民自家菜园等小尺度生产空间

图8 斗渠廊道邻接生产空间实景

2 都江堰灌区乡村斗渠廊道周边面源污染风险

2.1 交通空间一侧面源污染风险

斗渠廊道靠近道路交通空间一侧的面源污染风险主要为周边道路等硬质下垫面产生的地表径流所携带的面源污染。如图 9-a 所示,降雨时雨水冲刷道路形成地表径流,地表径流携带道路上的污染物通过自然排水的方式进入一旁的斗渠中,最终通过斗渠直接进入支渠等乡村水体,进而造成乡村水环境污染。国外众多研究表明,路面径流污染主要源于交通排放、人类活动和大气干湿沉降等产生的污染

物^[7],其中道路在施工和运行期间产生的轮胎磨损遗留物,车载泄露物及车辆排放的金属类、氮化物、硫化物等废弃污染物多数会随着地表流入陆域生态环境当中,从而加剧了水体、大气的污染^[8]。

2.2 生活空间一侧面源污染风险

如图 9-b 所示,斗渠廊道靠近居民房屋、院坝等生活空间一侧的面源污染风险主要为农村居民生活产生的生活污水直接排入或溢流入斗渠以及降雨所产生的地表径流。由于当前灌区乡村内的基础设施建设不健全、污水处理系统不完善以及村民环保意识缺乏等原因,导致村民直接将生活污水

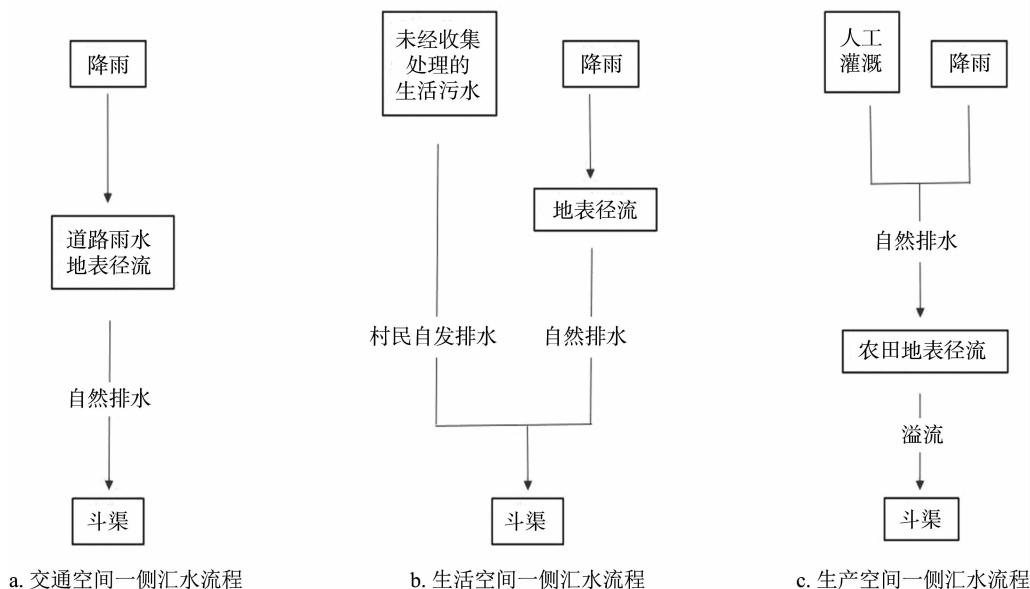


图9 斗渠廊道各类邻接空间面源污染汇水流程

排入斗渠内,进而造成水体污染。在未来很长一段时期内,农村居民生活产生的生活污水都会以此方式污染乡村水体^[9],而目前缺乏相应的保护预防措施。其污染形式主要为厨房污水、洗涤污水以及家禽养殖冲圈水等。这些污水中含有大量氮、磷以及醋酸、碘、钠等元素和化学物质,这些污染物未经处理进入水体,易引起水体富营养化^[10]。

2.3 生产空间一侧面源污染风险

如图9-c所示,斗渠廊道靠近田地、苗圃、菜园等生产空间一侧面源污染风险主要为在农业生产过程中化肥农药的使用,在降雨或人工灌溉时产生的农田地表径流携带大量农业面源污染通过溢流的方式进入一侧的斗渠,进而污染乡村水体。其污染物类型主要为农药包括除草剂及其降解产物,化肥中夹带的重金属、有毒有机物等。这些面源污染通过斗渠进入乡村水体,引起水体中悬浮物、氮、磷等污染物浓度升高,有毒有害物质含量增加,溶解氧减少,从而导致水体富营养化和酸化,最终将影响到人类本身。

3 都江堰灌区乡村斗渠廊道 LID 设计策略

3.1 基于斗渠廊道主要邻接空间的 LID 设计策略

基于对乡村斗渠廊道主要邻接空间特征、汇水特点以及面源污染风险等因素的分析,结合 LID 低影响开发理念和各类措施的技术要求,为斗渠廊道不同邻接空间提出了相应的 LID 设计策略。其中整体 LID 措施选用应以绿色生态设施为主(表2),同

时建议对有条件路段的斗渠进行生态改造,建设生态沟渠(图10)。生态沟渠主要通过植生材料和配置植物群落等生物措施,改善沟渠生态环境,不仅在暴雨时可以减缓雨水径流的流速,还可以强化其对于径流中含有的 N、P 等物质的拦截净化能力^[11]。此外,在植物选择上首选以乡土植物为主,其次植物要选择耐旱又能在一定时间内耐浸泡且根系发达的植物。

3.1.1 斗渠廊道邻接交通空间一侧 LID 设计策略

在对斗渠廊道邻接交通空间进行 LID 设计时,应根据道路与斗渠间可利用空间的大小,选取线性植草沟、雨水花园或植被缓冲带等设施,拦截雨水径流,净化面源污染,使地表径流一部分下渗补充地下水,另一部分净化后进入斗渠。具体的 LID 设施空间布局应结合斗渠廊道与道路的3种空间关系情景来设计(图11)。(1)斗渠廊道一侧为宅前道路时,道路紧邻斗渠,二者间一般不存在绿化带,此时应采用线性植草沟设施,在斗渠与道路间设置线性植草沟,将来自道路的地表径流进行截留并传输至临近雨水花园等设施中进行净化。(2)斗渠廊道一侧为村庄次要道路时,其与道路间部分路段设有宽度在0.5~1.5 m之间的绿化带,将此类绿地改造为生物滞留池或小型雨水花园等设施,将来自道路的地表径流进行收集净化后流入斗渠。(3)斗渠一侧为村庄主要道路时,其与道路间的绿化带宽度一般 ≥ 1.5 m,此时由于绿地面积较充裕,宜采用雨水花园和植被缓冲带组合的方式,以更好地对来自

表 2 LID 措施选用

斗渠廊道一侧空间类型	LID 措施						
	生态植草沟	雨水花园	生物滞留池	生态树池	雨水湿地	渗透塘	植被缓冲带
村庄主要道路	○	●	○	○	□	□	●
村庄次要道路	●	●	●	○	□	□	□
宅前道路	●	○	○	□	□	□	□
房屋	●	●	●	□	●	○	○
生活院坝	○	○	●	●	□	□	□
田地、苗圃等大尺度生产空间	●	○	□	□	●	●	●
村民自家菜园等小尺度生产空间	●	●	●	○	□	□	○

注：●表示宜选用；○表示可选用；□表示不宜选用。



图10 生态沟渠实景

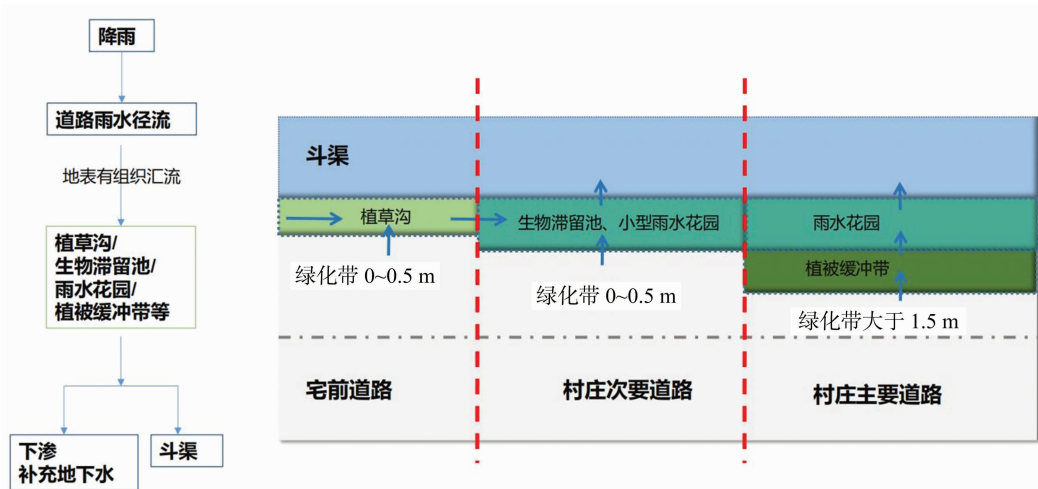


图11 邻接交通空间 LID 水文过程分析和 LID 设施布局示意

(2)斗渠廊道一侧为房屋建筑,且斗渠与房屋间存在较为宽敞的绿地空间时,可将二者间的绿地空间改造为小型雨水花园,居民家中地表径流可先通过生态植草沟进行截污传输后,到达雨水花园中进行净化,同时应合理设计溢流路径以避免在水量

道路的地表径流进行截污收集净化。

3.1.2 斗渠廊道邻接生活空间一侧 LID 设计策略

在对斗渠廊道邻接生活空间进行 LID 设计时,原则上应尽量运用 LID 措施对生活空间中的地表径流进行截污净化,使其滞留下渗,避免进入斗渠中污染乡村水体。具体的 LID 设施空间布局应结合斗渠廊道与生活空间的以下 3 种空间关系情景来设计(图 12)。

(1)斗渠廊道一侧为房屋建筑,且斗渠与房屋间无绿地或绿地空间狭小时,应将房屋周边的可利用绿地改造为雨水花园或小型雨水湿地,生活污水通过生态植草沟进行截污,传输到达小型雨水湿地中进行净化。同时可视房屋周边可利用绿地的大小来建造小型湿地,供周边 3~5 户居民共同使用,处理乡村院落生活空间中产生的地表径流。

超标时形成局部内涝。小尺度的雨水花园结构比较简单,相应技术要求见表 3。

(3)斗渠廊道一侧为院坝时,可在院坝中增设生物滞留池、生态树池等设施,降雨产生的地表径流以及居民与此处从事洗衣、洗菜等行为产生的部

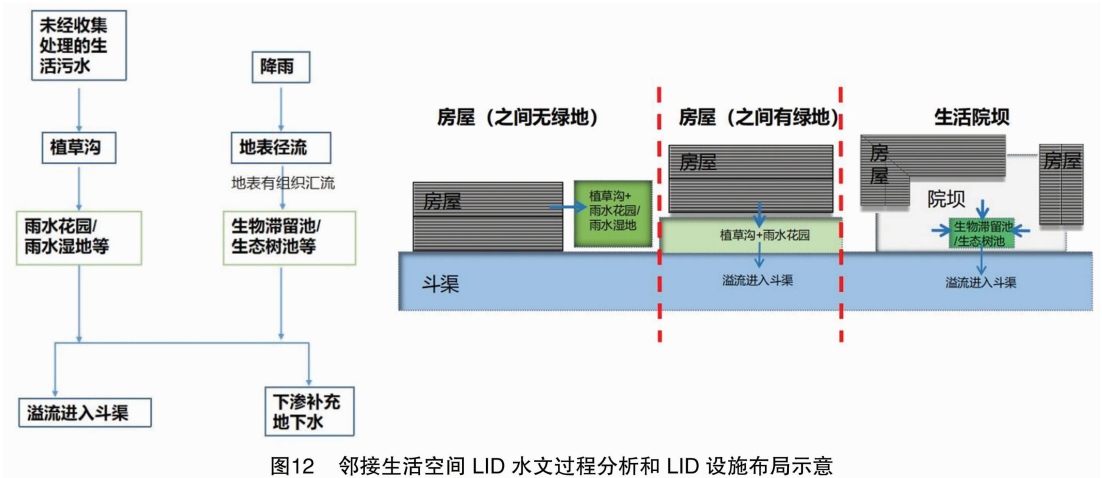


图12 邻接生活空间 LID 水文过程分析和 LID 设施布局示意

表 3 小尺度雨水花园相应技术要求

面积	坡度及深度	备注
居住区最合理的雨水花园面积范围为 9 ~ 27 m ² ^[12]	坡度 < 4%, 深度 10 cm 左右较合适; 坡度在 5% ~ 8% 之间, 深度 15 cm 左右较合适; 坡度在 9% ~ 12% 之间, 深度可以达到 20 cm ^[13]	1. 不可选在地下水位过高的位置和靠近饮用水源的地方 2. 应在远离建筑基础至少 2.5 m 处且向阳面 ^[14] 3. 为保持良好的下渗性, 需要定期清理沉积物, 对杂草及长势过快的植物进行修剪

分生活污水未经收集处理时,可排入生物滞留池、生态树池中净化。

3.1.3 斗渠廊道邻接生产空间一侧 LID 设计策略

在对斗渠廊道邻接生产空间进行 LID 设计时,原则上应尽量运用 LID 措施对由于降雨或人工灌溉导

致溢流进入斗渠中的农田地表径流进行截污净化,使其滞留下渗,避免进入斗渠中污染乡村水体。具体的 LID 设施空间布局应结合斗渠廊道与生产空间的以下 2 种空间关系情景来设计(图 13)。

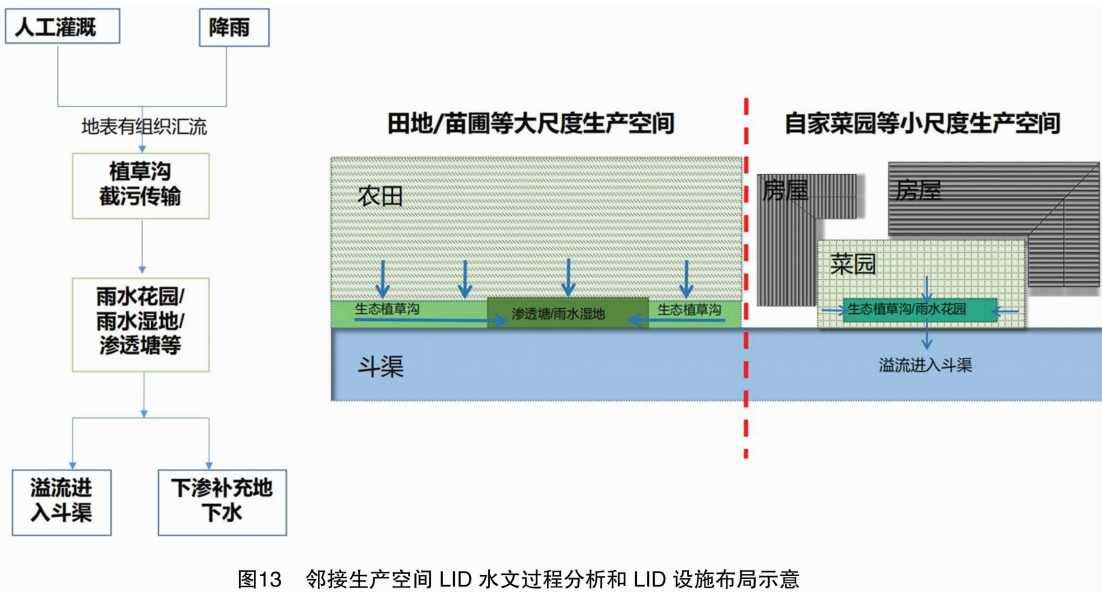


图13 邻接生产空间 LID 水文过程分析和 LID 设施布局示意

(1)斗渠廊道一侧为农田、苗圃等大尺度生产空间时,应先在斗渠与田地间设立线性植草沟,以此对生产空间溢流过来的农田地表径流进行截污传输,同时由于二者间的绿地尺度较大且空间开

阔,宜选用大型雨水湿地、渗透塘等占地较大、净化能力强的 LID 生态设施,设置在下游地势较低的区域,并与线性植草沟联通,溢流的农田地表径流通过植草沟的传输进入雨水湿地或渗透塘中进行净

化后补充地下水,避免其进入斗渠中污染乡村水体。

(2)斗渠廊道一侧为居民菜园等小尺度生产空间时,二者间的绿地尺度较小且空间狭长,故将此类绿地改造为小型雨水花园,降雨或浇灌时形成的地表径流通过植草沟截污传输,进入菜园的雨水花园中进行净化,同时考虑溢流路径。

3.2 基于斗渠廊道 LID 改造的复合多功能性设计思考

多功能景观这一概念包含了多种与水管理相关的景观设计元素^[14]。将 LID 低影响开发理念引入美丽乡村建设中,在满足农村生产及生活需求的基础上,还应从美观、效能等角度满足旅游功能,探索具有旅游、生产及生活等多元功能的雨水资源管理体系势在必行^[15]。故在对乡村斗渠廊道进行 LID 设计时,除实现对斗渠廊道周边面源污染的截污净化改善乡村水环境外,同时还应具有美化乡村环境、促进乡村旅游、优化区域生态等多种功能,旨在实现经济、环境与生态的多重收益。

环境方面,对斗渠廊道进行 LID 设计,建设雨水花园、生态沟渠、生态树池等设施,有利于净化乡村水环境、美化生活场景、创造局部微气候,进而营造舒适良好的人居环境。同时在材料选择、形式设计等方面应该结合乡村景观特点和传统文化元素,形成具有当地特色、人文气息的乡土景观。因此灌区斗渠与 LID 生态措施相结合,需要在凸显地域特征的同时形成生态与艺术相结合的新时代乡土景观。这对促进地域景观的健康可持续发展具有积极意义。

生态方面,整体的斗渠廊道 LID 措施选用以绿色生态设施为主,在实现对面源污染进行截污净化的同时还可以通过设计渠侧缓冲带的植物群落,优化乡村生境和生态廊道。有助于保护区域自然生境、修复区域自然水文功能、维护生物多样性,充分发挥良好的生态效益,缓解灌区乡村生产生活发展与生态保护之间的矛盾。

4 结论

为缓解乡村水环境恶化、控制农村面源污染、建设新时代美丽乡村,本研究以灌溉渠水质保护为目标,以四川省都江堰灌区乡村末级渠系中的斗渠廊道为空间载体,研究其与 LID 相结合的运用策略与方法,包括 LID 水文过程分析图、LID 设施选择布局示意图以及 LID 适宜措施选用表等设计要点。

在我国,农药化肥的施用、人畜粪便的随意排

放、固体废弃物的非定点抛弃等农业生产、生活等活动增强,农村面源污染的治理和控制却相对滞后,以致于我国农村面源污染问题日益突出,乡村流域水环境不断恶化^[16]。将都江堰灌区乡村内分布密度高且发达的斗渠廊道与 LID 生态措施相结合,进行优化设计。比起传统的工程改造而言,更为高效简洁,在节约了成本的同时改善美化了环境,有利于构建乡村生态廊道提高生态效益以及开展乡村旅游,建设美丽乡村,具有良好的社会效益、生态效益与景观效益。这对于改善都江堰灌区生态环境、控制灌区乡村面源污染、缓解乡村水环境恶化、建设新时代美丽乡村具有积极的现实意义,同时也能为我国其他灌区乡村发展提供借鉴。

参考文献:

- [1]王善勇.新形势下农村水污染的治理策略分析[J].绿色环保建材,2017(1):172.
- [2]旷良波.都江堰灌溉工程遗产体系、价值及其保护研究[J].中国防汛抗旱,2018,28(9):72-76.
- [3]杨春和.都江堰灌区水环境污染现状[J].水资源保护,1993(4):27-29.
- [4]严立军.基于 LID 的雨水径流管理初探[D].重庆:西南大学,2012:11-12.
- [5]周亚莉,钱小娟.农业面源污染的生态防治措施研究[J].中国人口·资源与环境,2010,20(5):201-203.
- [6]胡肖.川西平原堰渠体系独特性初探[J].四川建筑,2014,34(5):13-15.
- [7]吴亚刚.西安市文教区不同下垫面径流污染特征[D].西安:长安大学,2018.
- [8]陈延艺.基于低影响开发理念的西安市村庄道路景观规划策略研究[D].西安:长安大学,2019:57.
- [9]刘园园.我国农村面源污染防治法律制度研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [10]王永生,刘彦随.中国乡村生态环境污染现状及重构策略[J].地理科学进展,2018,37(5):710-717.
- [11]沈佳敏.低影响开发理念下的乡村规划设计初探[C].2019(第十四届)城市发展与规划论文集,2019:1127-1131.
- [12]韩羽,王楠,赫天缘,等.城市雨水花园综述[J].城市建设,2015(29):327,337.
- [13]王淑芬,杨乐,白伟岚.技术与艺术的完美统一——雨水花园建造探析[J].中国园林,2009,25(6):54-57.
- [14]杨青梅,梅瑞狄斯·弗朗西丝·多比.雨洪管理多功能景观文化生态系统服务的重要性—满意度研究[J].王胤瑜,译.景观设计学,2019(1):52-67.
- [15]陈考芬.基于 LID 理念的摩梭族民居客栈景观设计研究[D].成都:西南交通大学,2017.
- [16]李文腾.农村环境污染控制及对策研究[D].杭州:浙江大学,2017.