

王水源,李 伟,徐建刚. 基于低冲击开发理念的农业科教园区水景观生态化方法研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):189-194.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.01.067

基于低冲击开发理念的农业科教园区 水景观生态化方法研究

王水源,李 伟,徐建刚

(南京大学,江苏南京 210093)

摘要:近年来,全球气候变化加剧,极端天气增多,暴雨洪涝灾害频发,使得低冲击开发模式(LID)成为城市规划研究领域的前沿。以南京农业大学白马教学科研基地的开发为实证研究对象,以基地微地形数字地面模型(DTM)建模为分析基础,一方面通过暴雨径流模拟来确立水资源空间利用格局,另一方面通过对基地自然地理特征及其土地利用现状分析,结合园区发展定位与功能结构需求,运用地理信息系统(GIS)栅格叠置分析技术进行多种功能的适宜性分析和园区功能布局,对主要功能区用水需求进行定量估算,引入LID设计理念,进行水景观水量保持、水质保障等生态安全的科学化设计,尽最大可能实现入渗、过滤、蒸发、蓄流等方式以减少径流排水量,使开发区域的水文功能尽可能接近开发前的状况,实现人水和谐、绿色低碳的水生态安全景观格局,为农业科教园区的生态文明建设奠定基础。

关键词:低冲击开发(LID);农业科教园区;水景观;GIS空间分析;生态文明

中图分类号:TU984.14 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)01-0189-06

在全球气候变化加剧、城市化进程不断加快、人口持续增长的大背景下,土地资源日益紧张,水资源匮乏、污染严重,生态环境压力增大,尤其是近年来,极端天气增多,暴雨内涝频发,多个城市出现暴雨内涝问题,如2009、2010年广州暴雨和2012年北京特大洪水导致内涝等,使得低冲击开发(low-impact development,简称LID)模式引入到城市规划的各个领域,且迫在眉睫。低冲击模式反映城市发展与自然保护的和谐统一,既强调发展又注重生态保护,其核心思想是在城市化的进程中,采取各种手段减轻对生态环境的冲击和破坏,恢复和重建自然生态,对城市可持续发展具有重大意义。

在白马农业科教园区研究中,从“生态优先”和“可持续发展”出发,以园区内汉湖及河流改造工程为基础,将水资源利用、水景观建设与防洪排涝统筹考虑,将水生态与人造景观充分结合,以期在改善园区生态环境的同时,在节水、节能、恢

复水体环境和保护水资源等方面起到示范作用。面对当前社会转型的现状,在园区水资源利用和水景观规划设计中,如何科学地采用先进的低冲击开发理念及技术解决水环境突出的问题,是一个重大且具有挑战性的课题,这将为城市水资源利用和水景观规划设计构建一个新的理论方法体系,对建设“绿色城市”“生态城市”及城市可持续发展具有重大意义。

1 低冲击开发相关理论及应用

低冲击开发模式是20世纪90年代末在美国马里兰州开始使用的一种创新暴雨雨水管理和面源污染处理技术模式^[1],与传统技术如湿地、滞留塘、草沟等有所不同,LID技术是通过分散、小规模源头控制,达到对暴雨所产生的径流和污染的控制,使开发地区尽量接近于自然的水文循环^[2](图1)。低冲击开发模式核心理念主要包括3个方面:以生态系统为根基,促进城市与自然和谐共生;从暴雨径流源头开始管理,分区控制污染源;强调尊重和利用开发前的自然特性^[3]。

近年来,国外特别是美国已经将低冲击开发技术列为可持续发展技术核心之一;在国内,时任住房和城乡建设部(以下简称住建部)副部长仇保兴提出,推行低冲击开发(LID)模式是城市规划变革的重点之一,城市应以对环境更低冲击的方式进行规划、建设和管理。从低冲击开发模式基本理念出

收稿日期:2013-12-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:51278239)。

作者简介:王水源(1989—),男,福建三明人,硕士,主要从事城市规划与微流域水安全研究。E-mail:295847906@qq.com。

通信作者:徐建刚,教授,博士生导师,主要从事城市与区域规划、数字城市与规划研究。E-mail:xjg129@sina.com。

利用多元分析估算品种间的遗传距离并进行聚类分析,是近年来经常采用的且被大多数试验证明有效的一种测定遗传距离的方法。遗传距离的大小在一定程度上反映了品种间遗传差异的大小,分类的结果在百日菊杂种优势利用上有一定指导作用。从聚类分析图谱看,不同地理来源的样品也可分为同一类,可见,地理差异与遗传距离并无直接联系。育种选配亲本时,不能仅以双亲地理上的差异来判断双亲遗传差异的大小,而近缘品种由于选择方向不同可能成为遗传远缘;

遗传距离的研究结果表明,亲本遗传差异与地理差异无必然联系,不能将地理差异作为选配亲本的惟一指标。

参考文献:

- [1]姜永平,吴春芳,陈 惠. 12个鲜食大豆数量性状的主成分和遗传距离分析[J]. 中国农学通报,2007,23(8):193-197.
- [2]曾学礼,张祖新. 对湖北省20个玉米地方品种的数量性状分析和聚类分析[J]. 湖北农业科学,2001(5):35-38.

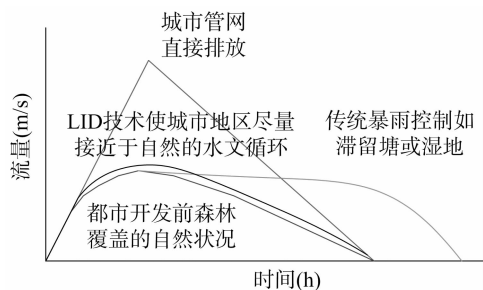


图1 传统暴雨控制和LID模式比较
改绘自何明磊的研究结果^[4]

发,该模式可以延伸到城市规划的各个领域。面临当前的社会转型,城市规划应尊重自然规律、重构自适应系统回归,从重空间物质规划向物质与生态共轭规划转变,低冲击开发模式的推行具有不可替代的意义^[5]。

常见的低冲击开发技术包括屋顶绿化、生物滞留槽(下凹绿地、草沟及草渠、雨水花园)、都市自然排水系统、绿色街道、雨水再生系统、透水性铺装等^[6]。LID 技术属于低成本和低能耗技术,合并了排水和景观建设费用,节约了土地,经济节约,同时减少了碳排放。

美国马里兰州最早试行 LID 排水系统,以减轻城市化及不透水地面的负面影响,针对单个 LID 模块研究取得了很好的效果^[7]。Dietz 等对 LID 排水系统与传统排水的差异进行分析^[8-9];Brander 等分别对不同 LID 单元进行模型模拟和实地试验,分析不同降雨频率下 LID 单元的雨水控制作用^[10-13]。国内城市雨洪控制利用系统性研究和应用开展得较晚,LID 应用处于起步阶段,研究尚不多。深圳市西坑水库是我国第 1 个 LID 试点,Zhang 等利用屋顶雨水收集、人工湿

地、地表等措施,研究 LID 在雨水径流量和水质净化等方面的作用^[14];晋存田等针对下凹式绿地的作用在北京市进行试点研究^[15]。2010 年,住建部与深圳市签订 LID 技术示范合约^[16],开展低冲击开发基础研究,深圳市光明新区(150 km²)作为中国第一个 LID 技术示范区,形成符合深圳市本地特征的低冲击开发技术体系^[17-18]。低冲击开发研究与应用,即使是在已经相对成熟的北美及欧洲等地,多集中在微观尺度的工程技术领域,在宏观和中观尺度的城市空间利用上,低冲击开发理论在资源利用、产业发展、生活模式和市政建设这 4 个方面的应用与实践较少。

2 研究区概况和技术路线

2.1 研究区概况

南京农业大学白马教学科研基地位于南京市溧水区白马农业高新技术产业园区(“农业硅谷”)北侧,临近高速公路、高铁、城市干道,具有交通便利的区位优势。基地内西部山丘曲线柔美,大小水塘散布其中;大片优质农田形成基地的自然绿色基底,灌木、乔木等其他绿化增加基底植被的层次感,与农田和水塘共同构成基底内良好的生态环境。矮丘、方田、密树、清塘是基地内最大的景观特色。基地规划以汉湖水景为核心,生态风景林为环境背景基调,以科技信息、科技成果、历史文物、国家交流与合作、新农村研究、校园文化及创新教育、展示观光等为功能和内涵,建设风景园林式的新型大学公共管理与服务园区。西部农业试验区内包含植物种植和动物饲养区,需要大量农业用水;南部汉湖需要大量景观用水,水面面积需达到 10 hm² 以上(图 2)。考虑到校园生态环境,须保证水质高于 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的规定。

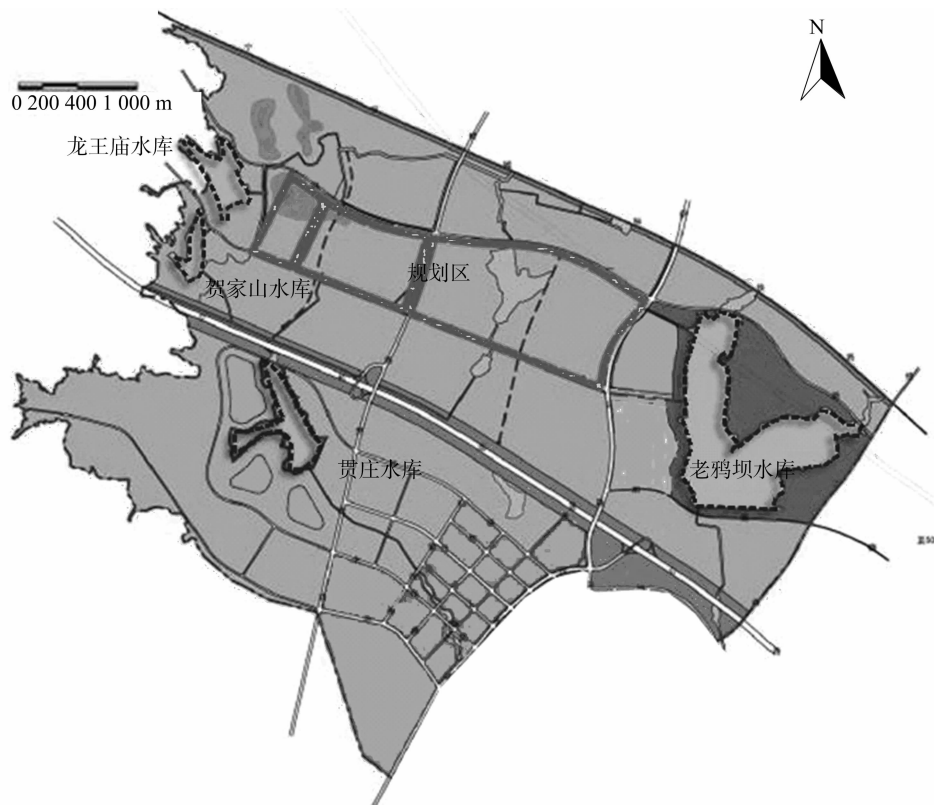


图2 白马农业科教园区基地水系及周边水库分布

2.2 技术路线和研究方法

本研究在对基地现状水系、土地利用等条件进行地理信息系统(geographic information system, GIS)建库的基础上,通过 GIS 工具进行基地微地形数字地面模型(digital terrain model, DTM)建构,运用水文分析进行微流域划分,确立水资源利用空间格局;对基地自然地理特征及土地利用现状进行分析,结合园区发展定位与功能结构需求,运用 GIS 栅格叠置分析技术进行多种功能用地的适宜性分析,并依此进行园区功能布局;对主要功能区用水需求进行定量估算,引入 LID 设计理念,对水景观水量保持、水质保障等生态安全进行科学设计,提出水源保障方案、生态型河道建设及汉湖湿地景观规划设计等引导性策略(图 3)。

3 园区微地貌模型构建与微流域划分

3.1 基于 Arcgis 平台的微地形模型构建

将研究区域的地形 CAD 数据导入 ArcGIS 中,利用 3D Analyst 分析模块生成数字高程模型(DEM),为后续基于 GIS 技术进行相应的水文分析研究提供基础数据。在 ArcScene

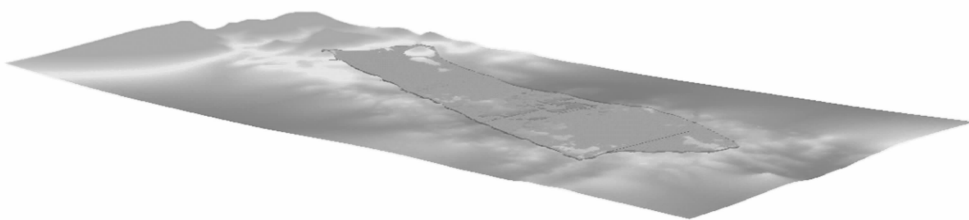


图4 白马农业科教园区基地范围的三维数字地形模型

3.2 基于水文分析的园区微流域划分

利用 DEM 模型作为数据源,根据流向分析原理,模拟水的流向,将科教园区基地依照山脊线划分成流域 A 和流域 B 2 个流域,流域面积分别为 329.68、240.57 hm^2 ;求出汇水边界线,生成基地区域汇水线,将规划区划分为多个子流域,子流域再划分为多个微流域;利用 Hydrology Modeling 模块进行流域分析,根据生成的汇水线形成微流域划分图(图 5)。



图5 白马农业科教园区最终流域划分

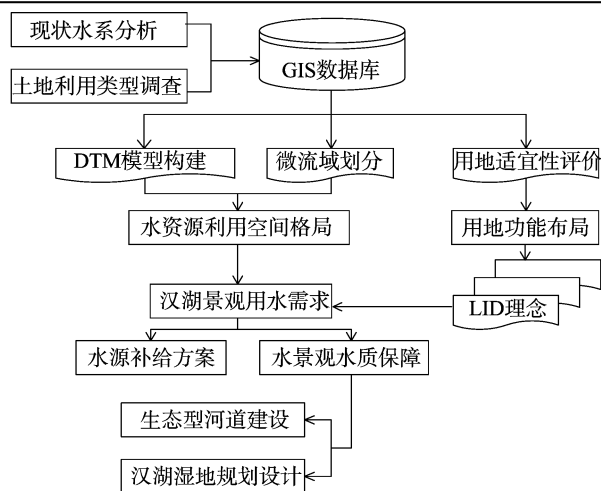


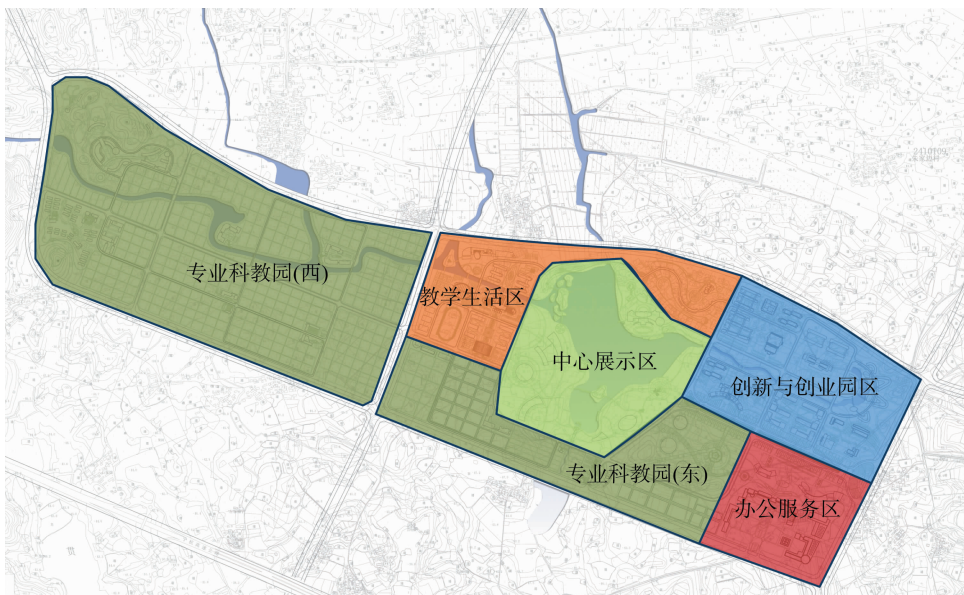
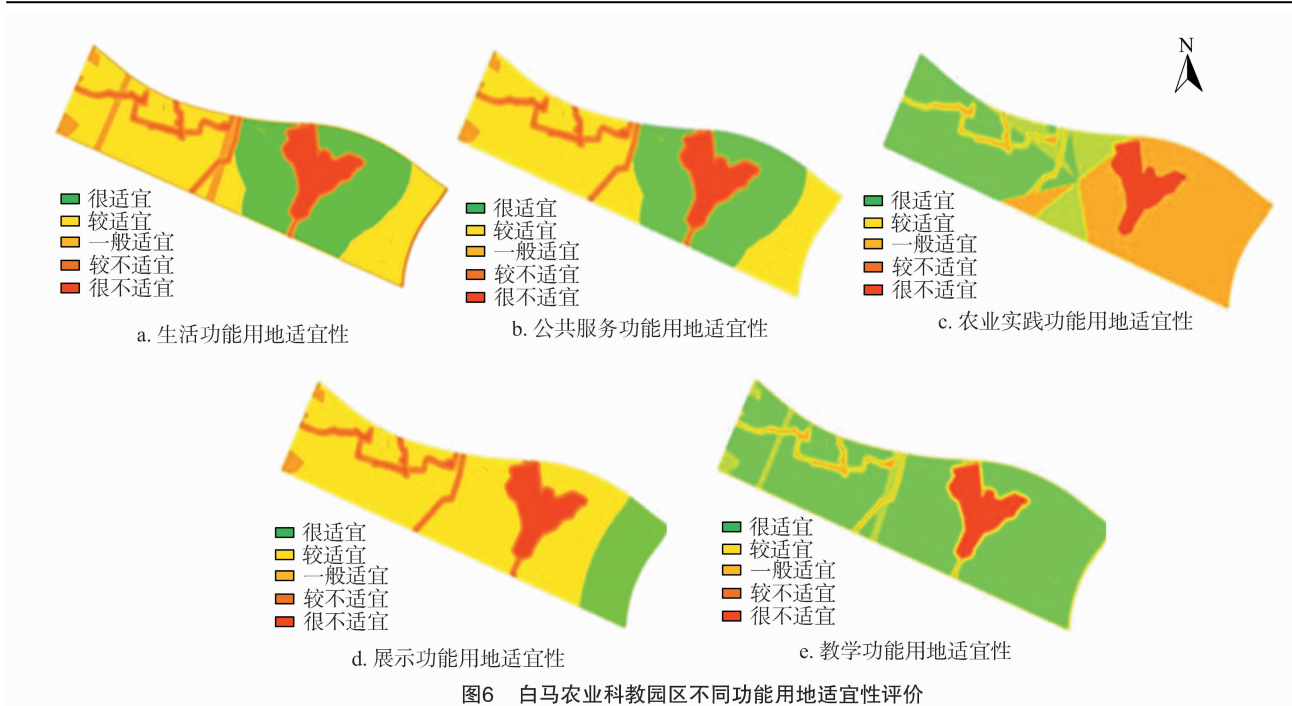
图3 白马农业科教园区水系建设技术路线

中将 DEM 三维可视化,可以清楚看出基地的地形地貌,除西部的低矮丘陵外,其余地区地势平坦,总体呈西高东低之势(图 4)。

4 基于 GIS-LID 模式的园区用地功能布局

LID 模式遵循“生态优先、尊重自然、分区控制”的原则,其核心目标是通过暴雨产生的径流和污染进行控制,使开发区域尽量接近于开发前的自然水文循环状态。本研究尊重原有地形地貌基底,规划充分保留江苏省南京市白马现代农业高新技术产业园上位规划中预留的生态廊道及河流水系,保证园区生态的可持续性。

本案例中,通过对基地自然地理特征及土地利用现状的分析,选取水域、风向、相对高程、坡度、噪声等限制性因子和到水库的距离、与城市干道的距离等鼓励性因子作为评价要素,对生活、公共服务、农业实践、展示、教学等功能各自选取相关要素进行叠加,运用 GIS 栅格叠置分析技术进行多种功能的适宜性分析,得出结论:生活功能用地较适宜安排在基地中部、水库周边且不紧邻道路的区域;公共服务功能用地较适宜安排在基地中部、水库周边地区;农业实践功能用地较适宜安排在基地西部;展示功能用地较适宜安排在基地东部;教学功能用地适宜范围相对较广,选择余地大,应综合其他用地适宜性评价结果进行选址(图 6)。基于 LID 理念,尊重自然,适应地形地貌和周围环境,将白马农业科教园区划分为教学生活区、中心展示区、创新与创业园区、办公服务区、科教园区(东区)和科教园区(西区)6 个组团(图 7),最终形成规划的总体结构。



5 基于 LID 理念的园区水景观水质和水量保障策略

5.1 汉湖景观用水需求分析

5.1.1 蒸散需水量 湖泊水面蒸发是湖泊水量消耗的重要方式之一,需要一定的水量维持湖泊正常的环境功能。当水面蒸发量高于降水量时,水面蒸发量与降水量的差值即为消耗于蒸发的净水量,称之为水面蒸发用水量,计算公式为: $W_E = (E - P)A, E > P; W_E = 0, E \leq P$ 。式中: W_E 为湖泊水面蒸散需水量, L ; E 为湖泊蒸发量, mm ; P 为湖泊降雨量, mm ; A 为湖泊水面面积, m^2 ^[19]。查阅溧水区水利局网站相关资料可知,溧水区多年平均蒸发量为 1 038 mm,小于多年平均降水量,因此汉湖蒸散需水量为 0。

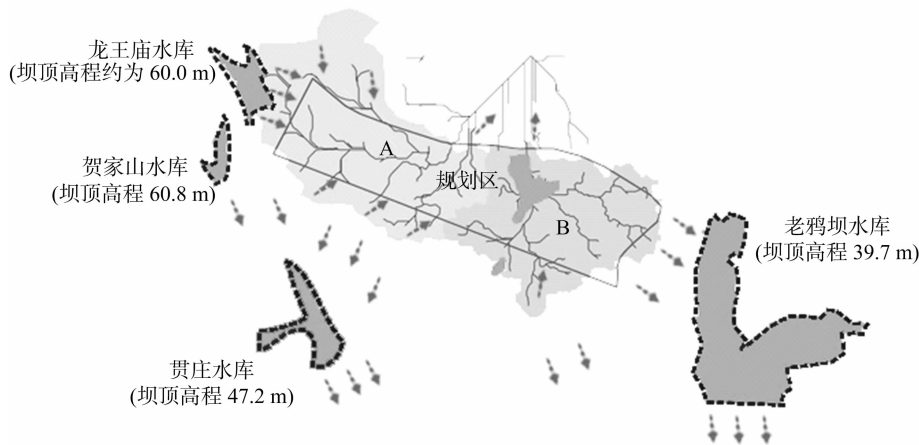
5.1.2 渗露需水量 渗露需水量计算公式为: $W_p = KV$ 。式中: W_p 为湖泊渗露需水量, m^3 ; K 为湖泊渗露系数,取经验值 1.2%; V 为湖泊常年蓄水量, m^3 ^[20]。汉湖正常库容为 51 万 m^3 ,经计算汉湖渗露需水量为 0.612 万 m^3 ,而流域 B 年降水量为 266 万 m^3 ,水资源量为 133 m^3 。汉湖若只靠微流域汇水,则换水周期长达半年,时间过久,因此需要采取其他措施为汉湖补水,使换水周期能缩短至 2 个月左右。

5.2 水源补给方案

对基地周边水源现状进行调查发现,周边共有 4 个水库,分别为老鸦坝水库、贯庄水库、贺家山水库、龙王庙水库(图 8)。笔者对这 4 个水库作为基地水源补给的可能性进行分析发现,从水流自然流向来看,4 个水库中只有龙王庙水库自

然汇流能进入规划区;从水面高程来看,龙王庙水库、贺家山水库、贯庄水库高程均超过规划区平均高程,其中龙王庙水库作为基地外来供给水源最具条件,贺家山水库、贯庄水库通过修渠引水可将水导入基地;若要老鸦坝水库供水,则必须建设

提水泵站(图 8)。因此,根据低冲击开发的理念和原则,龙王庙水库最适宜作为基地水源的补给方案,贺家山水库、贯庄水库次之,老鸦坝水库最不宜。



规划区平均高程 42.3 m, 其中东部流域 B 平均高程 40.6 m, 西部流域 A 平均高程 44.3 m

图8 白马农业科教园区基地周边水库高程与水流分析

5.3 基于 LID 理念的园区水景观水质保障策略

基于 LID 核心理念,以生态系统为根基,分区控制水源污染源,促进城市与自然和谐共生。本案例中,在原有河流域的基础上,遵从原有的河流域水流方向,构建生态化的河流域,恢复水生态,改善区域水文环境,营造多样化水景观,提高河湖自我调节和自我修复能力,使改造充分适应自然,尽量接近改造前的水文循环状态,同时控制水源面污染,为园区景观用水提供水质保障。

5.3.1 生态型河道设计引导 城市生态型河道是指根据城市生态文明建设需求及水环境功能区划,在河道蓝线内(包含水域、边坡、陆域等区域)实施保护河道生态健康发展的建设工程^[21]。该工程必须遵循安全、可靠、经济的原则,以满足资源、环境的可持续发展和多功能开发,逐步形成水质改善、具有多样水生物种相互依存的系统,达到自我净化和自我修复能力,且本身具有景观特性^[22-23]。

在白马基地中,园区具有大面积的农业用地,河网密布,水域面积较大,由于化肥、农药等的使用,水体极有可能遭受面源污染的影响,容易造成河流氮、磷富营养化问题。为此,各级排水沟道采用生态护坡技术,在保证河道边坡稳定的基础上,营造河道边坡系统的生物多样性,使排水河道满足防洪、排涝和稳定河岸的功能和景观作用,同时还具有拦截污染物、修复受污染的河流水体、提高河流自净能力的生态功能。

对河道进行生态化建设、利用植物进行护岸、台地增强生态效应的设计,应注意解决以下问题:(1)注重突出河道的天然自我净化作用。通过跌落,营造河流的水位落差及急流、缓流等,形成天然净化能力。(2)注重保持和营造河道的天然状态。岸边及河底用生态材料进行保护,冲刷较严重的地带,采用抛石、木桩护岸等方法;种植根系发达的植被,加固河堤,有效抵御汛期洪水的冲刷。(3)注重发挥水生动植物的净化作用。通过在河中种植芦苇、香蒲、水草等适宜当地水环境的

水生植物,同时注意保护天然形成的植被,吸附水中的有害物质、净化水体;可以放养水生动物,以恢复河道动植物的多样性,再造人水和谐的自然景观。

5.3.2 汉湖湿地景观设计引导 湿地被称为“生命的摇篮”“地球之肾”“鸟类的乐园”^[24],是地球上生物多样性丰富和生产力较高的生态系统。运用低冲击开发原理,通过景观生态设计,充分发挥湿地调节气候、涵养水源、降解水体污染、维持生物多样性、动植物栖息地保护、休闲娱乐等综合功能^[25],保证设计方案尽可能对环境的影响最小、资本投入少、生态效益最大^[26]。结合景观生态学相关原理,将湿地作为一种景观类型,由基质(湿地规划区)、斑块(湿地生物群落)、廊道(水面和进出水渠道)构成,设计时重点考虑生态承载力,最大限度地保护与节约资源资本,防止污染的产生及生物栖息地的丧失;以原生自然要素为背景,适应湖泊湿地的自然过程,将原有的水体、植物、地貌、土壤等自然要素及能量传输过程结合到设计中,选用乡土物种充分显示自然的原生态;强调湿地保护,维持生物多样性和动植物栖息地,重视休闲娱乐和生态旅游等多重功能,将湿地融入城市景观中,使人们亲近自然、感受自然回归,体现人与自然的和谐。

在白马基地中,由于基地内拥有大量农田,当含有农药等毒物和杂质的污水经过湿地时,湿地最主要的作用就是清除和转化毒物和杂质,湿地可使水流速度减慢,有利于毒物和杂质的沉淀和排除。因此,湿地充当小型生活和生产污水处理地的功能,有利于减少环境污染,有益于园区生活和生产。

在湖岸设计方面,可根据河流两侧不同功能特点设置景观驳岸、自然净化驳岸、人工驳岸等^[27]。大水面的驳岸采用缓坡入水的形式,即依据 LID 模式原理,湖面依照水面周边舒缓的地形向水中延伸,形成自然岸线,这有利于维持动植物的多样性^[28]。汉湖南边的生态小岛受空间限制没有足够的缓坡余地,其边缘采用块石或松木桩护坡,大小不一的自然块石

使驳岸自然生动,松木桩的“软性”质感更能与水体、植物融为一体,显得分外自然亲切。

在湿地植物配置方面,运用景观手法改善水质,利用植物吸收和过滤掉一部分由降水和农田用水带来的污染物质^[29]。在设计中,大量运用漂浮植物与浮叶根生植物,如浮萍、紫萍、莼菜、中华萍蓬草、白睡莲、泽泻等。不同的水深条件适合不同的水生植物,岸边适合选择大花萱草、千屈菜;浅水区选择鸢尾;沉水植物选用金鱼藻、亚洲苦草、菹草;挺水植物则选用莲、水芹、慈姑、菖蒲等^[30-31]。同时,在水生植物设计中强调水域分区的不同特色,于堤岸、水边草坡、栈道侧大量种植斑茅,成为十月芦荻扬花的主角;水生植物选择淡紫色花絮的再力花、蓝色花絮的海寿花、白色花絮的小鬼蕉、粉色花絮的红蓼及多花色的花菖蒲等,特意营造黄菖蒲群落、千屈菜群落和萍蓬草群落,突出展现“花”的景观特色和群体花色效果。

6 结论

本研究以基地微地形 DTM 建模为分析基础,尝试在农业科教园区发展定位、功能布局和详细设计的规划设计全过程中引入 LID 有效水文设计理念,从宏观战略角度对农业科教园区水景观规划设计方法进行探讨,使园区实现绿色低碳、城市与自然和谐共生的水生态安全格局。低冲击开发模式不仅是城市水资源可持续利用与雨洪控制的重要措施,还是建设资源节约型、环境友好型社会的重要理论方法依据。针对农业科教园区农业试验和教学科研等功能,根据园区生态系统,提出生态型河道和湖泊湿地的生态化设计手法,以期对农业科教园区的规划设计和生态文明建设奠定基础。

参考文献:

- [1] 王建龙,车 伍,易红星. 低影响开发与绿色建筑的水雨控制利用[J]. 工业建筑,2009,39(3):123-125,102.
- [2] 王雯雯,赵智杰,秦华鹏. 基于 SWMM 的低冲击开发模式水文效应模拟评估[J]. 北京大学学报:自然科学版,2012,48(2):303-309.
- [3] 俞 露. 低冲击开发模式综述[J]. 城市建设,2010(6):180.
- [4] 何明磊. 基于低冲击开发技术下城市暴雨内涝灾害的控制[J]. 工程设计与设计,2012(5):135-137.
- [5] 仇保兴. 复杂科学与城市规划变革[J]. 城市发展研究,2009,16(4):1-18.
- [6] United States Environmental Protection Agency(USPEA). Low impact development(LID)[R/OL]. [2014-10-03]. <http://water.epa.gov/polwaste/green/>.
- [7] Horner R R, Lim H, Burges S J. Hydrologic monitoring of the seattle ultra-urban stormwater management projects; summary of the 2000—2003 water years[D]. Seattle: Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington. 2004.
- [8] Dietz M E, Clausen J C. Stormwater runoff and export changes with development in a traditional and low impact subdivision[J]. Journal of Environmental Management, 2008, 87(4):560-566.
- [9] Bedan E S, Clausen J C. Stormwater runoff quality and quantity from traditional and low impact development watersheds[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2009, 45(4):998-1008.
- [10] Brander K E, Owen K E, Potter K W. Modeled impacts of development type on runoff volume and infiltration performance[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2004, 40(4):961-969.
- [11] Roy A H, Wenger S J, Fletcher T D, et al. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States[J]. Environmental Management, 2008, 42(2):344-359.
- [12] Abbott BSc C L, Comino-Mateos L. In-situ hydraulic performance of a permeable pavement sustainable urban drainage system[J]. Water and Environmental Journal, 2003, 17(3):187-190.
- [13] Scholz M. Best management practice: a sustainable urban drainage system management case study[J]. Water International, 2006, 31(3):310-319.
- [14] Zhang R, Zhou W B, Field R, et al. Field test of best management practice pollutant removal efficiencies in Shenzhen, China[J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2009, 3(3):354-363.
- [15] 晋存田,赵树旗,闫肖丽,等. 透水砖和下凹式绿地对城市雨洪的影响[J]. 中国给水排水,2010,26(1):40-42,46.
- [16] 住房和城乡建设部. 关于同意将深圳市光明新区列为全国低冲击开发雨水综合利用示范区的函[Z]. 2011.
- [17] 丁 年,胡爱兵,任心欣. 深圳市低冲击开发模式应用现状及展望[J]. 给水排水,2012,38(11):141-144.
- [18] 胡爱兵,任心欣,俞绍武,等. 深圳市创建低影响开发雨水综合利用示范区[J]. 中国给水排水,2010,26(20):69-72.
- [19] 贾宝全,慈龙骏. 新疆生态用水量的初步估算[J]. 生态学报, 2000, 20(2):243-250.
- [20] 李丽娟,郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算[J]. 海河水利,2003,55(1):6-8.
- [21] 温全平. 城市河流堤岸生态设计模式探析[J]. 中国园林,2004(10):22-26.
- [22] 陈 雪,徐海波,马继侠,等. 生态型河道建设概述[J]. 工程建设与设计,2006(7):77-80.
- [23] 李湖国,周祝林. 对于生态型河道建设的思考[J]. 中国水运, 2012, 12(5):108,111.
- [24] 李红艳,周 为. 杭州西湖湖西景区的湿地景观设计[J]. 中国园林,2004(10):40-42.
- [25] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [26] 俞孔坚,李迪华,吉庆萍. 景观与城市的生态设计:概念与原理[J]. 中国园林,2001(6):3-10.
- [27] 孙 鹏,王志芳. 遵从自然过程的城市河流和滨水区景观设计[J]. 城市规划,2000,24(9):19-22.
- [28] 季永兴,刘水芹,张 勇. 城市河道整治中生态型护坡结构探讨[J]. 水土保持研究,2001,8(4):25-28.
- [29] 张永泽,王 垣. 自然湿地生态恢复研究综述[J]. 生态学报, 2001, 21(2):309-314.
- [30] 尹 军,崔玉波. 人工湿地污水处理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [31] 于少鹏,孙广友,窦素珍. 人工湿地污水处理技术及其在东平湖水质净化中的运用[J]. 湿地科学,2004,2(3):228-233.