

湿热地区海绵校园生态景观设计*

——以广东生态工程职业学院为例

罗中¹ 覃俏梅¹ 黄东兵¹ 曾振宇² 彭莉霞¹

(1. 广东生态工程职业学院, 广东广州 510520; 2. 广东如春生态集团有限公司, 广东广州 510670)

摘要 广东省是我国城市内涝的重灾区, 海绵校园的研究开展和案例分析刻不容缓。文章以广东生态工程职业学院为案例, 对湿热地区海绵城市建设背景下的高校生态景观改造进行探讨。通过对该案例进行研究, 总结了校园内吸水、渗水、净水和蓄水方面的问题, 根据整体规划原则、可持续性原则和综合性原则进行生态景观总体规划和雨水管理系统规划, 将整个校园分为6个功能区, 其中3个功能区规划了绿色屋顶、透水铺装、下沉式绿地、植草沟、雨水花园等海绵设施, 其调蓄容积能够满足年径流总量控制率的要求。保留绿地部分则以生态护坡改造及植被修复为主, 确保校园的可持续发展。

关键词 海绵城市; 低影响开发; 雨水管理

中图分类号: TU992; TU984.14 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053(2020)06-0115-06

Ecological Landscape Design of Sponge Campus in the Humid Tropics of China——A Case Study of Guangdong Eco-engineering Polytechnic

LUO Zhong¹ QIN Qiaomei¹ HUANG Dongbin¹
ZENG Zhenyu² PENG Lixia¹

(1. Guangdong Eco-engineering Polytechnic, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Guangdong Ruchun Ecological Group Co., Ltd, Guangzhou, Guangdong 510670, China)

Abstract It is urgent to study on cases of sponge campus in cities of Guangdong province, which is under serious pressure of urban water-logging. In this paper, we take Guandong Eco-engineering Polytechnic as a case to investigate the ecological landscape design of campus in the humid tropics of China in the context of Sponge city. Here, we first analysis some existed problems, such as water absorption, seepage, water purification and water storage in the campus. Then we proposed an ecological landscape and rainwater management system planning. According to this planning, the whole campus is divided into six functional areas. Some sponge facilities, such as green roof, permeable pavement, depressed green and rain garden are arranged in three functional areas. The storage capacity of these sponge facilities can meet the whole requirements of the volume capture ration of annual rainfall. Finally, reserved green spaces are utilized for ensuring the sustainable development of campus by ecological slope protection and vegetation restoration.

Key words sponge city; low impact development; rainwater management

* 基金项目: 广东省高校优秀青年创新人才培养计划资助项目——特色类创新项目(自然科学)(2017GKTSCX044)。

第一作者: 罗中(1988—), 男, 助教, 主要从事园林教学和研究, E-mail: 1074913397@qq.com。

通信作者: 彭莉霞(1980—), 女, 副教授, 主要从事园林教学和研究, E-mail: 20186598@qq.com。

改革开放以来,我国快速城镇化,导致城市地面不断硬化,城市逐渐丧失了水生态系统功能,进而过度依赖城市雨水管网,城市内涝频繁发生。2014年,中华人民共和国住房和城乡建设部发布的《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》提出:海绵城市是指城市可以像海绵一样,在适应环境变化和面对自然灾害等方面具有一定的“弹性”,下雨时吸水、蓄水、渗水、净水,需水时将蓄存的水“释放”并加以利用^[1]。通过一系列的海绵城市建设措施,可以极大缓解城市内涝,增加城市雨水存储,促进自然水循环。

在海绵城市研究与实践方面,一些发达国家已经形成了相对完善的应用体系:美国LID——BMPs体系(LID, Low Impact Development; BMPs, Best Management Practices)从源头上对城市雨水进行控制,投入成本低,管控效果较好,因此被广泛采用;澳大利亚水敏感性城市设计(WSUD: Water Sensitive Urban Design)理念则将城市水循环作为整体进行规划设计分析,统筹管理,实现城市环境可持续发展;新西兰低影响城市设计与开发体系(LIUID: Low Impact Urban Design and Development)同时借鉴了美国和澳大利亚的模式,包含了低影响开发,同时对不同区域制定不同的排放规定;新加坡ABC水资源计划在该国修建了17个水库收集雨水,并将全国三分之二的地面作为雨水收集区^[2-3]。我国关于海绵城市的系统研究起步较晚。《城市景观之路:与市长们交流》一书最早提出“海绵城市”理念,并将“海绵”比喻为可以应对城市洪灾、旱涝等问题的河流、湿地等自然开放空间^[4]。伴随着城市雨水问题的日趋严重,我国政府从2014年开始重新审视和反思城市雨水管理的问题,相关政府职能部门着手开展城市雨水管理的相关法规建设,如《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》《关于推荐海绵城市建设的指导意见》和《广州市海绵城市专项规划(2016-2030)》等^[1,5-6]。

伴随着经济的快速发展和人民生活水平的日益提高,尤其是中国政府科教兴国战略的实施,推动了多层面面对高等教育需求的日益高涨,由此引发中国高等教育的大规模扩张,国内很多高校利用换建或扩建的方式购置大量的土地,用于自身发展需求,出现新校园建设高潮,与此同时也引发雨水管

理、水资源循环等问题,因此“海绵城市”理念被引入校园建设。国外关于“海绵城市”理念在校园内的研究、建设已累积几十年,形成了较为完善的校园可持续发展理论。我国最早将“海绵城市”理念和校园结合,首次提出“海绵校园”理念的是胡颖^[7],此后,关于“海绵校园”的研究逐年增加,研究内容主要有校园整体环境空间、水循环系统、景观元素等方面的规划设计,且多以北方地区的校园作为研究案例,湿热地区的校园研究案例非常少,仅许晓倩、王明洁等和潘俊洪等的研究涉及到海南、珠海和茂名某高校的规划设计研究^[3,8-9]。广东是我国城市内涝的重灾区,海绵校园的研究开展和案例分析刻不容缓。

本文从广东高校内涝的现实情况出发,以广州天河区广东生态工程职业学院为案例进行现存问题分析。根据海绵城市理念,校园内生态景观建设存在以下问题:(1)吸水渗水方面:校园西校区为师生活动主要区域,道路和广场均为硬化地面,容易积水。另外,校园内的建筑屋顶均无雨水集蓄系统,一般通过排水管排到地面,加剧积水;(2)净水蓄水方面:校园内较多区域存在边坡裸露问题,没有植被,净水蓄水功能低下、甚至缺失;东校区还有大片山体由于重新开发,新栽种的植物还未形成稳定的植物群落,难以发挥净化水质、防水土流失的作用。校园内缺乏雨水净化和集蓄系统,景观灌溉均使用自来水,没有形成自循环,水资源浪费较为严重。本文针对以上问题进行规划和改造设计,旨在解决校园内吸水渗水以及净水蓄水的问题,实现校园可持续发展。

1 广东生态工程职业学院概况

1.1 项目概况

广东生态工程职业学院位于广州市天河区广汕一路297号,校园占地面积约40万m²,紧邻广汕公路,附近有华南快速干线,交通便利。学院周边有广东省林业科学研究院、中国林业科学研究院热带林业研究所、广东省林业调查规划院、广东省龙眼洞林场等单位。

广东生态工程职业学院校园总体包含东、西两个校区,两个片区功能互补,其中东校区总用地面积27万m²,主要为生态林地,用于户外教学;西校区总用地面积近14万m²,主要为教学用地,用于日常教学、研讨与学生住宿。

1.2 气候条件

广州属亚热带季风气候, 年平均气温 22.2℃, 最高平均温度 28.7℃, 最低平均温度 9-16℃, 年平均温差小, 夏无酷暑, 冬无严寒, 雨热同期, 降雨充沛, 年平均降水量 1 300-2 600 mm^[8, 10], 降雨主要集中在 3—8 月^[11]。

2 项目总体规划原则、目标及定位

2.1 规划原则

2.1.1 整体规划原则 在符合标准的建设用地范围内进行整体统筹规划, 强调“海绵城市设计理念”, 对整个校园进行合理布局和设计。

2.1.2 可持续性原则 在尽量保留原有植物和绿地的情况下进行改造规划, 正确处理开发利用与生态保护的关系, 确保整个规划设计成果能可持续发展。

2.1.3 综合性原则 综合考虑学院的教学、生活、生产和生态功能, 充分满足不同人群对各个功能的需求, 同时考虑紧急和实际维护情况, 做到生态环保、经济节约。

2.2 规划目标

广东生态工程职业学院以教学办公和试验示范基地为基础, 以海绵生态为特色, 把校园风光和生态海绵结合在一起。规划目的在于体现海绵校园示范性, 同时为教师和学生提供教育、文化、生态、休闲等功能。

2.3 规划定位

针对项目现存问题, 我们结合“海绵城市”理念, 在渗、吸、净、蓄水几个方面提出相应措施, 以期打造具有生态特色的海绵校园。本规划将学院定位于以海绵型规划设计为主, 兼顾观光, 游憩相结合, 充分发挥海绵型校区的示范作用, 建设一个兼具生态、生产、生活于一体的海

绵型校园。立足对雨水的合理收集、处理、贮蓄, 通过下沉式绿地、绿色屋顶和雨水花园等各类弹性空间场地, 形成一个具有特色的“慢”、“回”、“弹”的海绵型校区。

2.4 项目规划依据

根据《广州市海绵城市规划设计导则——低影响开发雨水系统构建(试行)》表 4.2.1^[12], 本项目年径流总量控制率为 75%, 设计降雨量为 30.3 mm。

本项目汇水面情况和综合雨量径流系数见表 1。不同汇水面类型的综合雨量径流系数取值依据《广州市海绵城市规划设计导则——低影响开发雨水系统构建(试行)》表 4.2.7, 综合雨量径流系数通过不同下垫面雨量径流系数加权平均计算。

根据《广州市海绵城市规划设计导则——低影响开发雨水系统构建(试行)》, 需要计算规划区域内所有海绵设施的调蓄容积 $V_{规划}$ 和规划区域内所需要的调蓄容积 $V_{调}$ 。

根据《广州市海绵城市规划设计导则——低影响开发雨水系统构建(试行)》公式 4.2.2 计算可得 $V_{调}$ 为 1 042.14 m³。

根据《广州市建设项目雨水径流控制指引》^[13] 公式 6.6.2-3 计算透铺装容水量 W_p 为 67.5 m³, 其中透水人行道面层、基层、垫层的厚度分别不低于 100、200 和 150 mm, 有效孔隙率均不低于 15%。

根据《广州市建设项目雨水径流控制指引》^[13] 公式 6.3.2-2 计算雨水花园下凹区域蓄水量 U 为 275 m³, 其中设计的雨水花园积水区平均水深不低于 0.25 m, 种植土壤过滤层区域面积不低于 1 100 m²。

根据《广州市建设项目雨水径流控制指引》^[13] 公式 6.2.2-3 计算植草沟蓄水量 U 为 45 000 m³, 其中植草沟横断面积不低于 1 500 m², 总长度不低于 30 m。

表 1 汇水面情况和综合雨量径流系数

Table 1 The area of underlying surface and volumetric runoff coefficient

类型 Type	面积 /m ² Area	综合雨量径流系数 Volumetric runoff coefficient
绿色屋顶 Green roof	5 000	0.4
透水铺装 Permeable pavement	31 000	0.4
雨水花园 Rain garden	1 100	1
植草沟 Grass swale	1 500	0.15
下沉式绿地 Depressed green	80 000	0.15
合计 Total	118 600	
综合雨量径流系数(加权平均) Volumetric runoff coefficient (weighted average)		0.23

因此 $V_{规划}$ 为 $45\ 342.5\ m^3$ ，远大于规划区域内所需要的调蓄容积 $V_{调}$ ，因此该项目规划的海绵设施的调蓄容积能够满足年径流总量控制率的要求。

3 项目主要规划内容

3.1 生态景观总体规划

从图1可知本项目的海绵示范区集中在西校区，以透水铺装路面、广场、具有绿色屋顶的建筑群及雨水花园为主。东校区则以生态修复与水源涵养示范为主，其中一半面积为自然山体、人工湖和人工湿地，另一半则为实训实验室、试验温室群和试验示范地。

本项目主要分为6个功能区(图2)，即教学办公区、学生宿舍区、教工生活区、体育活动区、生态沟实训区及东部规划区。西校区的教工生活区基本维持现状，重点对教学办公区、学生宿舍区进行新建改造，包括下沉式绿地、绿色屋顶、透水铺装等海绵设施。东校区则依照重点保护原则，维护区域生态景观格局，保留原有的大片绿地，开展相关的水土防护、自然山体修复、人工湿地及生态沟示范等建设，仅在两处规划海绵设施。

3.2 雨水管理系统规划

结合原始地貌，合理规划了西校区学生宿舍区、教学办公区和东校区生态沟实训区及保留绿地的竖向设计，使校园内的雨水经绿色屋顶、透水铺装、下凹式绿地和植草沟等海绵设施，向雨水花园聚集，实现雨水蓄积(图1-3)。西校区的学生宿舍区的海绵设施以绿色屋顶和透水铺装为

主，教学办公区的海绵设施则以雨水花园为主。东校区在原有绿地基础上规划了生态植草沟及下沉式绿地。各个海绵设施之间以排水沟建立联系，引导雨水向西校区的雨水花园集中，并接入市政管网(图1)。

3.2.1 公共绿地改造规划 下沉式绿地可以有效的减少洪涝灾害，在降雨时，下沉式绿地可以将雨水进行滞留和储存，减少了雨水径流对市政排水管道的排水压力，有效缓解城市内涝灾害，而且下沉式绿地可以将雨水就地入渗，有效地补给地下水资源，同时也避免了频繁的浇灌绿地，节约城市中的水资源。

针对校园存在吸水渗水困难的问题，东校区保留绿地的局部改造为下沉式绿地，雨水通过生物滞留和生物净化完成生态水循环，同时利用溢水井将多余的雨水输送到排水系统(图4)。针对校园存在的净水蓄水问题，东校区的生态沟实训区改造为生态植草沟，将雨水进行收集、净化、储存，改善水质，便于二次利用。

此外，西校区地势北高南低，因此于教学办公区规划了大型雨水花园，承接校园内排水沟收集输送的多余雨水，构建节水环保的雨水循环系统。根据前文的项目规划依据，该雨水花园下凹区域蓄水量 U 为 $275\ m^3$ ，根据统计，本项目的绿化、场地清洗及相关设施用水量约 $114.2\ m^3/d$ 。雨水花园满载时，蓄积的雨水可供校内绿化、绿化、场地清洗及相关设施使用2天。

3.2.2 道路、广场改造规划 透水铺装可以使雨



图1 总体规划设计

Fig. 1 Comprehensive design



图 2 功能分区

Fig. 2 Functional zones

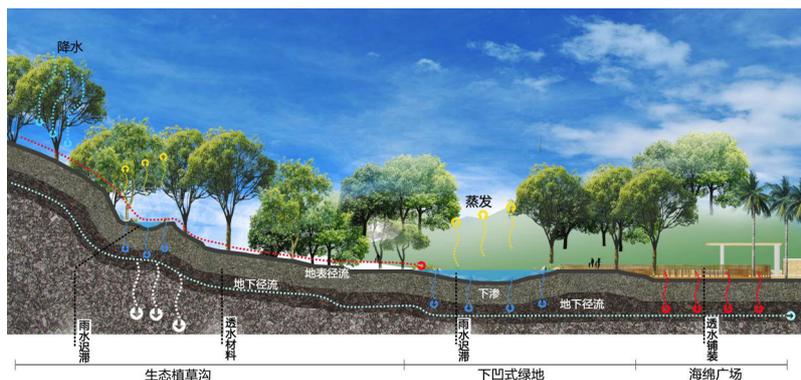


图 3 核心景观结构雨水管理示意

Fig. 3 Structure diagram of important landscape units

水进入透水铺装的内部，贮存适量的雨水或随内部的排水管道排出，减少洪峰流量，削减径流系数。学生宿舍之间的道路和有利于人员疏散的大面积的广场改造成透水混凝土铺装，增加雨水下渗、削减峰值径流。在条件许可的情况下，在透水铺装的基层设置 PVC 排水盲管，利用土基顶部 2% 的坡度，使多余的雨水顺着基层流入管道，使饱和的雨水顺利排出，减少对渗透铺装结构的破坏。

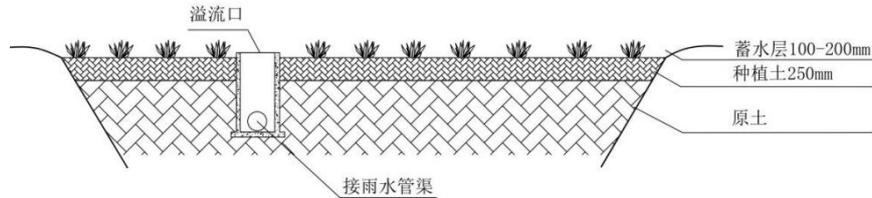
3.2.3 绿色屋顶改造规划 绿色屋顶指在建筑物的天台、屋顶以及露台上种植绿色植物，起到绿化和生态循环的一种绿化方式，主要包含结构层、防水层、根阻层、排水层、过滤层、蓄水层、种植基质层以及植被层几部分^[14]。

校园内的建筑物主要集中在西校区，均为平屋顶建筑，缺少雨水集蓄系统。针对此问题，将其改造为海绵式绿色屋顶，利用屋顶植物和生长基质吸收部分雨水，多余的雨水可通过管道系统

排到排水沟，有效减少屋顶径流负荷。美化校园、净化雨水的同时，也可作为绿色生态、节能减排的海绵景观示范区。

3.2.4 生态护坡改造及植被修复 生态护坡的植被有加筋固土、防止水土流失、改善环境的功能，由于校园内边坡裸露的位置地势高低错落，部分地段存在一定的高差，需要建设生态护坡，以满足对斜坡或边坡进行支撑保护的需求。小于 45° 的护坡种植速生耐贫瘠、根系发达的草本和灌木，坡度为 45-60° 的护坡则需要增加构架，坡度大于 60° 的则要在护坡下部建挡土墙，上部增加构架。

自然山体通过森林的林冠、枯枝落叶和森林土壤的生物物理作用，可减小地表径流量和径流速度，增加土壤拦蓄量，同时实现对雨水污染物的过滤和净化，以及对降水的水流量调节和水质改善功能。针对东校区山体改造、植被破坏的现状，在遵循适地适树原则下，尽量选择深根系、根量多、根域广、林冠层郁闭度高的树种，如铁



注：该图引自《海绵城市建设技术指南：低影响开发雨水系统构建（试行）》^[1]

Note: the figure is from *Technical Guide for the CONSTRUCTION OF SPONGE CITIES: Construction of Low Impact Development Rainwater Systems (trial)*

图4 下沉式绿地结构示意图

Fig. 4 Structure diagram of depressed green

冬青 *Ilex rotunda*、菩提树 *Ficus religiosa*、风铃木 *Handroanthus albus*、嘉宝果 *Plinia cauliflora*、澳洲坚果 *Macadamia integrifolia*、桃金娘 *Rhodomyrtus tomentosa* 等，栽植成地带性的群落结构。在山脚处结合区域开发，修建小型人工湖和人工湿地，构建东校区的雨水集蓄系统，增强东校区对暴雨的有效缓冲能力。

4 结语

尽管我国海绵城市建设刚刚起步，面临的雨洪问题也复杂多样，但国外基于低影响开发的雨洪管理理念依然对我国城市建设具有较高的适用性和借鉴。我国应结合校园特点和相应的排水要求，因地制宜地采用低影响开发措施，开展适合校园特点的低影响开发系统模型设计研究。

结合海绵城市建设要求和校园的特点，按照因地制宜和经济高效的原则选择径流总量控制为主要目标，从适宜性、控制目标、经济性、景观效果等多方面对各类低影响开发措施在校园层面的应用进行对比分析，校园的低影响开发设施包括透水铺装、绿色屋顶、下沉式绿地、植草沟等。

本文以广东生态工程职业学院为案例进行现存问题分析，针对校园内吸水、渗水、净水和蓄水方面的问题，进行相应的规划和改造设计，旨在解决其现存的问题，实现校园可持续发展。该案例可为海绵校园研究增加一定素材，为同类型校园建设和改造提供思路，也为广州市海绵城市建设提供一定的理论基础。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术

指南：低影响开发雨水系统构建(试行) [R]. 北京：中华人民共和国住房和城乡建设部，2014.

[2] 徐海顺, 蔡永立, 赵兵, 等. 城市新区海绵城市规划理论方法与实践[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2016：1-126.

[3] 许晓倩. 热带高校海绵校园景观规划设计研究：以海南大学为例[D]. 海南：海南大学，2019.

[4] 俞孔坚, 李迪华. 城市景观之路：与市长们交流[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2003：1-201.

[5] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见[J]. 中华人民共和国国务院公报，2015(30)：41-43.

[6] 广州市住房和城乡建设委员会. 广州市海绵城市专项规划(2016—2030) [R]. 广州：广州市住房和城乡建设委员会，2017.

[7] 胡颖. 基于低影响开发理念的海绵校园建设方案研究：以江苏城乡建设职业学院海绵城市示范项目为例[J]. 节水灌溉，2016(12)：112-119.

[8] 王明洁, 郑少鹏, 吴中平, 等. 海绵城市视角下的校园有机更新规划设计研究：以珠海某高校改扩建总体规划为例[J]. 建筑与文化，2020(7)：138-141.

[9] 潘俊洪, 罗泽伟, 顾亚辉, 等. 浅析茂名地区建设海绵高校的可行性：以广东石油化工学院为例[J]. 广东化工，2020, 47(02)：65-66; 86.

[10] 黄东兵, 覃俏梅, 苏伟业, 等. 广州发展公园花境植物综合评价[J]. 林业与环境科学，2020, 36(2)：72-83.

[11] 胡婷. 基于低影响开发理念的广州高密度旧街区雨水设施模式研究[D]. 广州：华南理工大学，2018.

[12] 广州市水务局, 广州市住房和城乡建设委员会, 广州市国土资源和规划委员会等. 广州市海绵城市规划设计导则：低影响开发雨水系统构建(试行) [R]. 广州：广州市水务局, 广州市住房和城乡建设委员会, 广州市国土资源和规划委员会等，2017.

[13] 广州市市政工程设计研究院. 广州市建设项目雨水径流控制指引[R]. 广州：广州市市政工程设计研究院，2014.

[14] 廖朝轩, 高爱国, 黄恩浩. 国外雨水管理对我国海绵城市建设的启示[J]. 水资源保护，2016(1)：42-45; 50.