

# 浙江省海绵城市建设 典型案例

ZHEJIANG PROVINCE SPONGE CITY CLASSIC CASES

## 渗 滞 蓄 净 用 排

内部资料（2019年度第一期）

主办单位：浙江省住房和城乡建设厅

编制单位：浙江省建筑设计研究院  
海绵城市设计研究院

## 前 言

自2013年12月12日习近平总书记在《中央城镇化工作会议》的讲话中强调“建设自然存积、自然渗透、自然净化的海绵城市”以来，党中央、国务院高度重视海绵城市建设，《国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见》（国办发〔2015〕75号）明确了海绵城市建设的定义和内涵，以及具体要求和措施；《国务院关于加强城市基础设施建设的意见》（国发〔2013〕36号）和《国务院办公厅关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知》（国办发〔2013〕23号）对有序推进海绵城市建设，有效防治城市内涝、保障城市生态安全等方面取得了积极成效。李克强总理在2017年的政府工作报告中明确了海绵城市的发展方向，让海绵城市建设不仅仅限于试点城市，而是所有城市都应该重视这项“里子工程”。为推进海绵城市建设，住房和城乡建设部在系统总结国内外实践经验的基础上，结合我国实际情况，印发了《海绵城市建设技术指南（试行）》。为了支持海绵城市建设工作，2015年和2016年财政部、住房城乡建设部、水利部开展了中央财政支持海绵城市建设试点工作，分两批支持了北京、上海、天津等30个城市。

近年来，我省积极贯彻落实国办发〔2015〕75号文和省委城市工作会议精神，以及《浙江省人民政府办公厅关于推进全省海绵城市建设的实施意见》（浙政办发〔2016〕98号），结合全省“五水共治”工作以及“山水林田湖草”是一个生命共同体理念，扎实推进全省海绵城市各项建设，嘉兴和宁波分别入选第一和第二批国家海绵城市建设试点城市，2016年绍兴市、衢州市、兰溪市、温岭市被列入省级海绵城市建设试点。通过国家和省级试点工作，强化以点带线、以线带面，经过努力已初步形成我省“国家级试点建设快速推进、省级试点建设稳步推进、其它城市的建设有序推进”的良好局面。海绵城市的建设理念已逐步被全社会广泛接受，社会各界对海绵城市建设的理解、认识和支持也在不断加强。建设海绵城市，任重道远，我们在探索中前行，也在实践中总结。

为贯彻落实省住房和城乡建设厅2018年2月11日下发的《关于开展全省“海绵城市建设精品示范项目”评选工作的通知》（函城字〔2018〕219号）精神，进一步更快、更好地推进我省海绵城市建设，充分发挥示范引领作用，“省海绵城市建设工程技术要点与典型案例课题组”受省住房和城乡建设厅委托，分三年

按季度汇编内刊《浙江省海绵城市建设典型案例》，总结推荐我省城市按照海绵城市建设理念和方法在建筑与小区、城市道路、城市绿地与广场、城市水系等方面的典型案例。案例从现状问题解析、设计思路与方法、工程措施、实施成效等方面进行了较为系统的介绍，这将对我省海绵城市建设顶层设计、行政管理与规划、勘察设计、建设、运维和管理，以及科研教学都有着良好的借鉴和参考价值。

本内刊编撰过程中，得到了浙江省住房和城乡建设厅、各设区市建委（建设局）等单位以及国家、省级海绵城市建设试点城市的大力支持，特此致谢。

限于编者水平有限和海绵城市建设的快速发展，本内刊疏漏乃至错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

课题组

首期创刊于 2018 年 4 月 15 日

## 目 录

<b>一、台州市水处理发展有限公司污水处理厂三期提标及配套工程海绵城市建设.....</b>	<b>1</b>
1 项目基本情况.....	1
1.1 项目区位.....	1
1.2 建设条件.....	2
2 问题与需求分析.....	2
2.1 问题分析.....	2
2.2 需求分析.....	3
3 海绵城市建设目标与原则.....	3
3.1 设计目标.....	3
3.2 设计原则.....	3
4 海绵城市建设方案设计.....	4
4.1 设计流程.....	4
4.2 设计降雨.....	4
4.3 总体设计方案.....	5
4.4 分区详细设计.....	9
4.5 内涝防治设计.....	13
4.6 典型设施节点设计.....	15
5 项目总结.....	16
5.1 施工难点及要点.....	16
5.2 项目实施.....	16
5.3 建设效果.....	17
5.4 项目意义.....	18
<b>二、嘉兴市万国路（320 国道～嘉桐大道）海绵城市建设工程.....</b>	<b>19</b>
1 现状基本情况.....	19
1.1 项目基本情况.....	19
1.2 排水系统规划.....	20
1.3 气候及场地基本情况.....	20
2 存在问题.....	20
3 海绵城市建设目标.....	20

3.1 海绵城市建设目标.....	20
3.2 改造原则.....	21
4 海绵城市系统设计.....	21
4.1 雨污水系统重新构建.....	21
4.2 源头低影响开发雨水系统构建.....	26
5 建成效果.....	28
5.1 实际效果.....	28
5.2 模型模拟.....	30
5.3 实测效果.....	32
5.4 经济分析.....	33
6 项目总结.....	34
6.1 项目难点.....	34
6.2 新材料、新工艺.....	34
6.3 项目施工.....	34
6.4 项目运维.....	34
6.5 项目成效.....	34
6.6 示范意义.....	35
<b>三、绍兴市上虞区 e 游小镇门户客厅海绵城市建设工程 .....</b>	<b>36</b>
1 项目背景.....	36
2 基本情况.....	37
2.1 项目概况.....	37
2.2 土质与地下水情况.....	38
2.3 气候与场地条件.....	38
3 问题分析.....	40
4 建设目标.....	41
4.1 建设目标.....	41
4.2 设计原则.....	42
5 工程设计.....	42
5.1 设计流程.....	42
5.2 设计方案.....	42
6 建成效果.....	46
6.1 工程实景.....	46
6.2 模型评估.....	46
6.3 经济分析.....	48

7 项目总结.....	49
7.1 项目难点.....	49
7.2 项目设计.....	49
7.3 工艺材料.....	50
7.4 项目施工.....	50
7.5 项目运维.....	50
7.6 项目成效.....	51
7.7 示范意义.....	51
<b>四、台州湾循环经济产业集聚区东部新区海城大道海绵城市建设 ..</b>	<b>52</b>
1 基本情况.....	52
1.1 项目背景.....	52
1.2 项目概况.....	53
1.3 建设条件.....	54
1.4 现状条件分析.....	55
2 问题与需求分析.....	56
3 海绵城市建设目标与原则.....	57
3.1 控制指标.....	57
3.2 设计原则.....	58
4 海绵城市建设方案设计.....	58
4.1 目标可达性分析.....	58
4.2 雨水径流组织模式.....	58
4.3 汇水分区划分.....	59
4.4 海绵设施选择.....	60
4.5 海绵城市设计计算.....	68
5 建设效果与经济性分析.....	69
5.1 建设效果.....	69
5.2 经济性分析.....	70
6 项目总结.....	70
6.1 项目难点.....	70
6.2 项目设计.....	70
6.3 海绵材料.....	71
6.4 项目建设.....	71
6.5 项目运维.....	71
6.6 项目预期成效.....	71

6.7 示范意义.....	71
<b>五、宁波市镇海区工农小区海绵化改造 .....</b>	<b>72</b>
1 总体概况.....	72
1.1 项目概况.....	72
1.2 项目建设必要性.....	72
2 海绵化改造.....	72
2.1 现状分析.....	72
2.2 海绵改造整体构思.....	75
2.3 海绵工程设计.....	76
2.4 景观提升.....	80
2.5 绿色廊道.....	82
2.6 投资估算.....	83
3 海绵化改造效果.....	83
4 项目总结.....	87
<b>六、杭政储出[2017]39 号地块海绵城市建设.....</b>	<b>88</b>
1 基本情况.....	88
1.1 区位分析.....	88
1.2 场地条件.....	89
2 问题与需求分析.....	89
3 设计原则和目标.....	90
3.1 建设原则.....	90
3.2 设计目标.....	91
3.3 设计依据.....	91
4 海绵城市方案设计.....	92
4.1 设计流程.....	92
4.2 总体方案设计.....	92
4.3 详细设计.....	94
5 建设目标校核.....	96
5.1 年径流总量控制率.....	96
5.2 年径流污染削减率（以 SS 计）.....	97
5.3 SWMM 模型模拟.....	97
6 建设成效及效益分析.....	99
6.1 建设成效.....	99

6.2 效益分析.....	100
7 项目总结.....	100
7.1 项目难点.....	100
7.2 项目设计.....	100
7.3 海绵材料.....	101
7.4 示范意义.....	101



# 1 台州市水处理发展有限公司污水处理厂三期提标及配套工程海绵城市建设

**项目位置：台州湾循环经济产业集聚区（现污水三期工程控制用地范围内）**

**项目规模：9.96 ha（含预留用地）**

**实施时间：2018 年 10 月**



台州市水处理发展有限公司污水处理厂三期提标及配套工程海绵城市建设项目是市政污水厂与海绵城市改造建设的结合。由于生产管线的复杂性，生产区主要以绿色源头 LID 设施设置为主。厂区综合楼周边管线相对简化，结合雨水管网设置，通过绿色源头 LID 设施与末端蓄水池系统调控，以期达到海绵城市绿色源头 LID 设施、灰色管网中间治理、灰绿蓄水池末端调控等三段化处理目标，实现雨水自然积存、自然渗透、自然净化和可持续水循环利用目的，同时提高了项目区域水生态系统的自然修复能力，维护了城市良好的生态功能。

## 1 项目基本情况

### 1.1 项目区位

项目位于台州湾循环经济产业集聚区，沿海高速东侧，总面积约 21.2 ha，北至聚洋大道，西至十塘路，东、南侧为规划用地边线。其中三期工程建设用地为 9.96 ha（含预留用地，预留面积为 18484 m<sup>2</sup>），屋顶硬化面积为 12493 m<sup>2</sup>，地面硬化面积为 17453 m<sup>2</sup>，露天水体（无屋顶构筑物）面积为 17452 m<sup>2</sup>。

## 1.2 建设条件

本工程为污水厂海绵城市建设改造项项目，厂区密布工艺污水、给水、雨水、消防、中水、加药、热力、污泥管线以及电缆沟等管网，为海绵城市改造带来较大难度。厂区采用封闭式管理，有2个出入口与市政道路相连，内部为双向车道，消防通道畅通，停车场分为地上与地下，综合楼下建有地下停车场。

厂区外标高为1.1 m~2.3 m，地势呈现西高东低之势，项目地块整体标高4.00 m以上，最高点为4.20 m，道路标高在4.05 m~4.15 m之间。

项目所在区域雨量充沛，年降水日数为132 d~171 d，年降水量介于1185 mm~2029 mm之间，多年平均降水量为1632 mm。

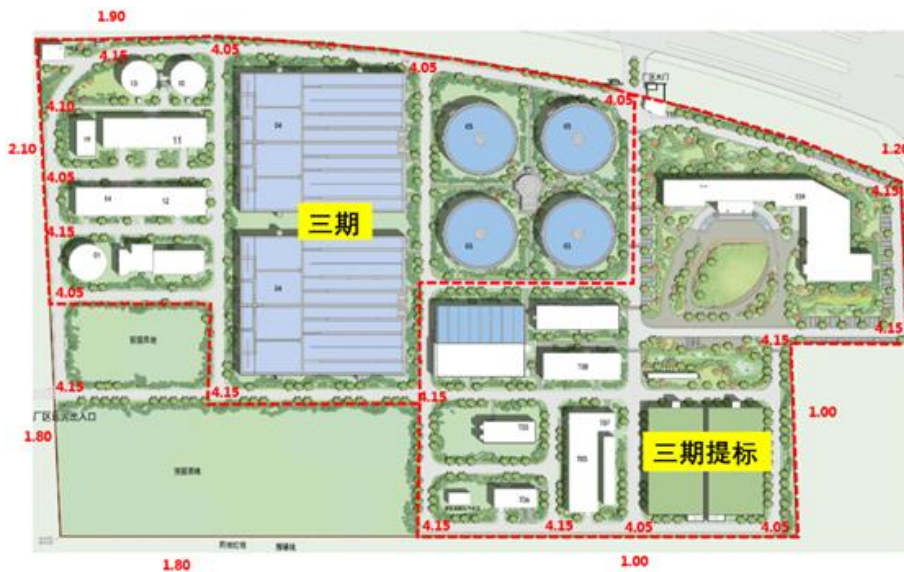


图1 工程分区及场地竖向图

## 2 问题与需求分析

### 2.1 问题分析

#### (1) 现状下垫面硬化面积较大

污水厂内硬化屋顶和硬化路面的面积较大，雨水径流污染较为严重，如何净化雨水水质、削减径流污染是项目需要解决的问题。

#### (2) 需综合考量地下管线配置

鉴于给水、消防、热力、中水、电力等管线特殊属性，LID设施及其雨水管道的布置应尽量避让相应管线，以达到场地工艺与海绵城市建设功能的耦合。

现状三期地块雨水管网改造与三期提标地块新建雨水管网相衔接，雨水管网断接，统筹兼顾，合理考虑。

## 2.2 需求分析

（1）考虑到市政污水厂项目构、建筑物特性，结合工艺构筑物露天、加盖以及覆土绿化等条件，合理划分、确定各汇水分区相关参数。

（2）地下水丰富、埋深较浅，抗浮设计水位绝对标高值为 3.774 m，需做好所建海绵设施的防渗设计。

（3）现状绿地浇灌补给全部使用自来水及中水回用，并未注重场地雨水资源的有效利用。海绵城市改造过程中需注重借助末端硅砂调蓄池等海绵设施滞蓄、净化供给绿地浇灌及景观水体，实现本区域内雨水的径流控制及雨水的合理利用。

## 3 海绵城市建设目标与原则

### 3.1 设计目标

作为台州湾集聚区第一个市政污水厂海绵城市建设项目，设计之初业主即给予较高定位，注重功能性与景观性的融合。具体设计目标如下：

（1）发挥台州湾集聚区东部新区海绵城市建设项目示范点效应。

（2）本项目年径流总量控制率不低于《浙江省海绵城市规划设计导则》中规定的 80%要求，对应设计降雨量为 34.9 mm，径流污染削减不低于 65%。

（3）排水管渠系统重现期达到 3 a 一遇以上。

（4）提升厂区内涝防治能力，有效应对 30 a 一遇降雨。

（5）雨水资源利用率 $\geq 1\%$ （以企业自来水量计）。

（6）塑造项目多元化景观设计，提升项目景观品质。

### 3.2 设计原则

（1）集中与分散相结合。结合末端硅砂调蓄池的设置与分散的附属绿地设置分散性处理设施，通过集中与分散相结合，系统化设计，优化建立市政污水厂的雨水排水系统。

（2）因地制宜。结合工程条件，科学选用适宜的生物滞留设施、植草沟等 LID 设施，根据需求进行技术优化。甄选适合当地气候特征的植物种类进行配置。合理利用地形、管网条件，充分发挥海绵设施、管网等相关附属设施的耦合作用。

（3）先绿色后灰色，先地上后地下。雨水径流首先通过地上绿色处理设施，实现雨水的渗透、转输、净化，多余雨水通过溢流设施排入市政排水管网。

（4）创新性。对选用的海绵设施进行结构、功能、布局形式的创新与优化，保障其适应本地气候和水文地质特征的同时，适合于市政污水厂特殊性，降低建设及后期运营维护难度。

## 4 海绵城市建设方案设计

### 4.1 设计流程

项目设计流程如下图所示。

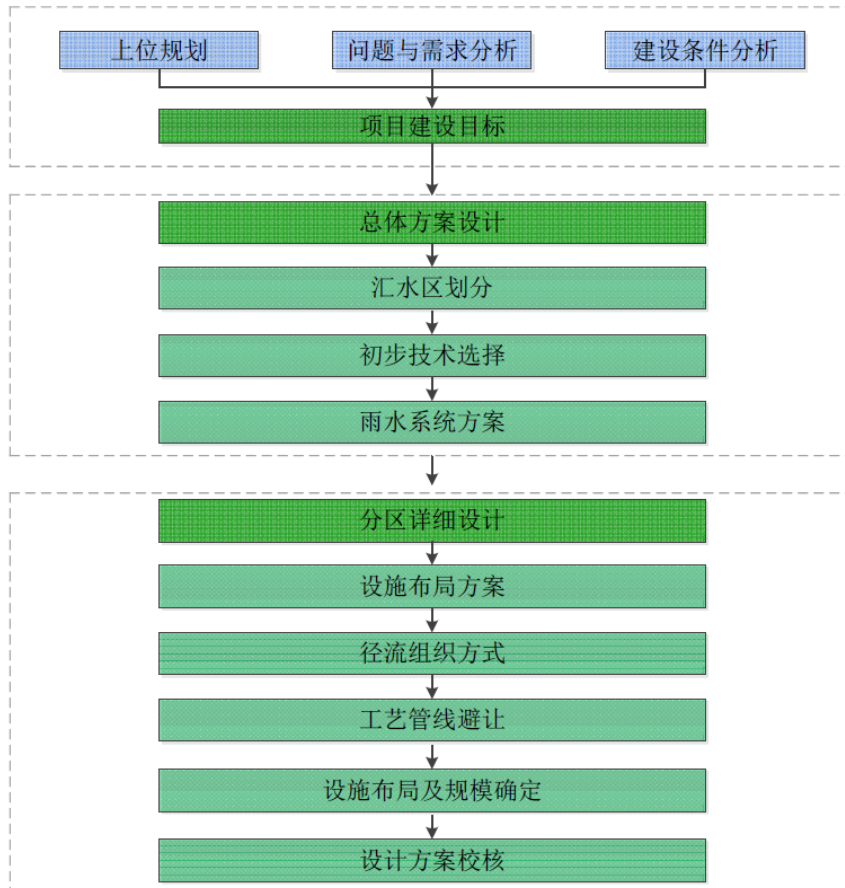


图2 工程设计流程图

### 4.2 设计降雨

根据浙江省《民用建筑雨水控制与利用设计导则》（2016年），该地区暴雨强度计算，设计暴雨强度公式如下：

$$q = \frac{(9.925 + 6.136 \log P)}{(t + 11.592)^{0.631}}$$

式中： $q$ ——设计暴雨强度（L/（s·hm<sup>2</sup>））；

$P$ ——设计重现期（年）；

$t$ ——降雨历时（min）。

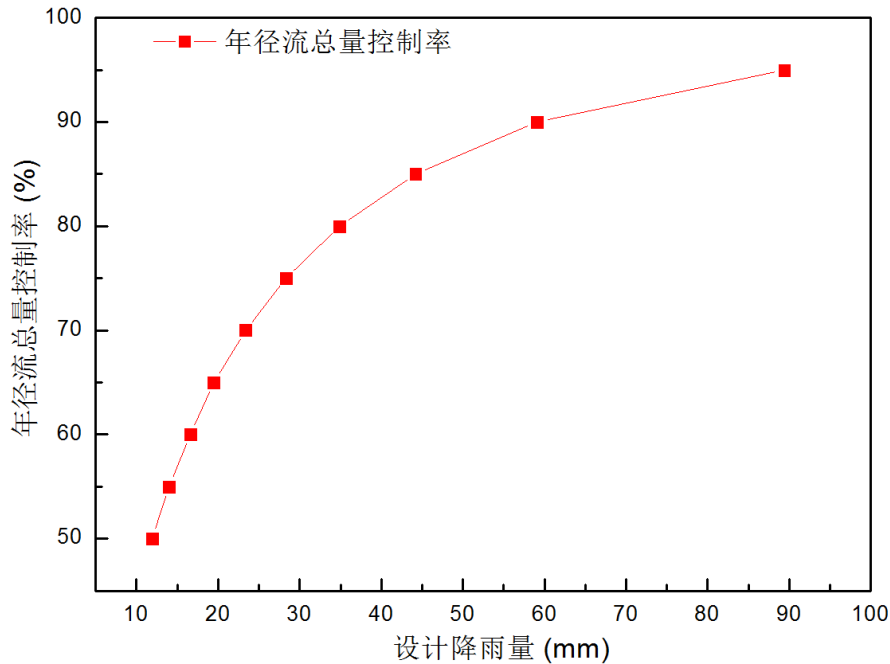


图3 台州市年径流总量控制率与设计降雨量对应关系图

### 4.3 总体设计方案

#### 4.3.1 设计径流控制量计算

根据地块用地类型和规模，参照《海绵城市建设技术指南》中各种下垫面雨量径流系数的参考值，结合项目场地自身特征，采用加权平均法，计算项目综合雨量径流系数。各类下垫面雨量径流系数见下表，经计算项目综合雨量径流系数为 0.46，设计径流控制量 829 m<sup>3</sup>。

表1 场地内下垫面性质统计表

用地汇总	总用地面积 (含预留用地)	屋顶硬化 面积	绿化 面积	地面硬 化面积	预留用地 面积	露天水体(无屋顶 工艺构筑物)
面积(m <sup>2</sup> )	99619	12493	33737	17453	18484	17452

按照《海绵城市建设技术指南》中径流雨量控制率计算方式，对七个汇水分区的径流雨量控制进行计算。通过因地制宜 LID 措施的设置，加权平均计算七个汇水分区的综合径流系数为： $\phi_1 = ((0.50 \times 1.4692) + (0.59 \times 0.904) + (0.34 \times 0.7168) + (0.59 \times 0.6153) + (0.46 \times 0.7923) + (0.32 \times 0.6938) + (0.38 \times 1.177)) / 6.36835 = 0.46$

则原场地径流雨量控制量为：

$$V_{\text{原径流}} = (81135.3 - 17452) \times 0.46 \times 28.3 / 1000 = 829 \text{ m}^3$$

### 4.3.2 竖向设计与汇水分区

根据场地竖向及排水组织关系，将项目区域划分为7个汇水分区，其中三期提标为1-4区，三期场地为5-7区，分区域进行控制。

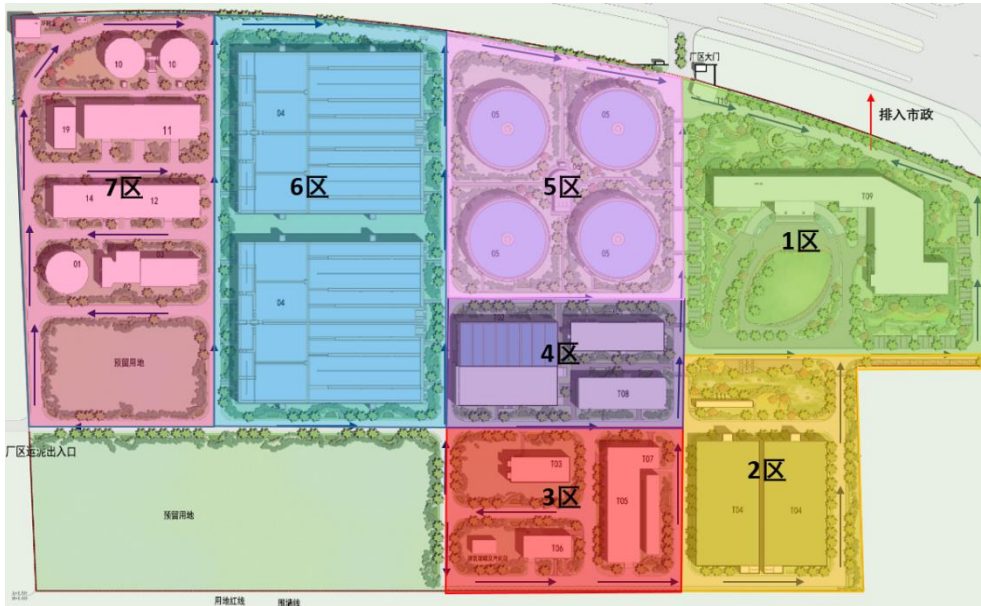


图4 设计汇水分区图

表2 各类下垫面统计表

汇水区号	占地面积 (m <sup>2</sup> )	绿地面积 (m <sup>2</sup> )	地面广场硬地面积 (m <sup>2</sup> )	屋顶硬化面积 (m <sup>2</sup> )	构筑物水体 (m <sup>2</sup> )	现状径流系数
1	14692	6844	5299	2549	0	0.44
2	9040	2861	2762	3417	0	0.58
3	7923	4126	2233	1474	0	0.46
4	6153	2002	1413	2738	0	0.59
5	11834	5066.6	1925	176	4666 (二沉池)	0.34
6	19418	5155	1784	0	12480 (生化池)	0.32
7	12076	7593	2037	2140	306 (曝气沉砂池)	0.37

### 4.3.3 设施选择与工艺流程

结合项目需求，从景观设计、建筑设计、市政设施等系统考虑，综合场地竖向及周围区域雨水设施的衔接需求。

#### (1) 提标区雨水系统运行流程

提标区雨水借助植草沟、生物滞流设施（雨水花园）、下凹式绿地、透水型广场及停车场等海绵设施的综合作用进行净化、渗透、滞留；超标雨水经溢流井

进入硅砂蓄水池，经雨水处理系统循环净化后供厂区绿化灌溉、道路冲洗及冲洗汽车，强降雨直接经溢流井进入雨水排水管网。

#### （2）三期生产区雨水系统运行流程

三期生产区雨水经过植草沟、下凹式绿地净化、渗透、滞留，超标雨水经溢流井进入生产区雨水管网，部分雨水汇流进入末端硅砂蓄水池，经雨水处理系统循环净化后供厂区绿化灌溉、道路冲洗及冲洗汽车，强降雨直接经溢流井进入雨水排水管网。

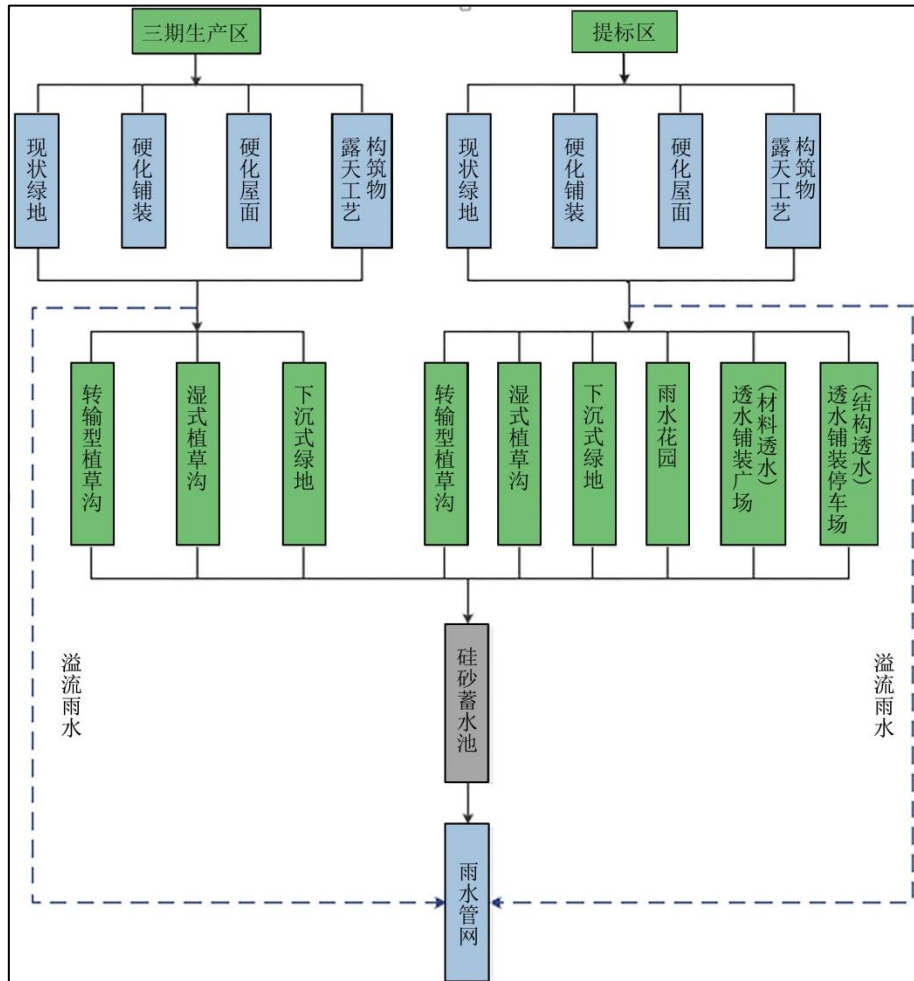


图5 雨水径流组织流程图

#### 4.3.4 总体布局

依据绿色优先、重视灰色，地上地下结合，景观与功能并行，集中与分散相结合的布置原则，结合场地竖向及管网排水方向因地制宜设置海绵设施，合理设计海绵设施与既有地形、管网的高程关系，保证各海绵设施功能的有效性。

结合业主需求，经方案比较，选取综合效益最优的方案完成项目海绵设施的设计布局，具体布置形式如下图所示。



图 6 总体布局图

表 3 LID 设施统计表

序号	名称	数量	单位
1	雨水花园	2817	m <sup>2</sup>
2	下凹式绿地	3288	m <sup>2</sup>
3	透水铺装停车场（结构透水）	786	m <sup>2</sup>
4	透水铺装（材料透水）	1663	m <sup>2</sup>
5	转输型植草沟	3184	m
6	湿式植草沟	248	m
7	模块蓄水池	100	m <sup>3</sup>
8	湿塘	589	m <sup>3</sup>
9	绿色屋顶	3464	m <sup>2</sup>

表 4 各分区 LID 设施统计表

汇水区号	雨水化园 /m <sup>2</sup>	下沉式绿地/m <sup>2</sup>	湿塘/m <sup>2</sup>	透水铺装停车场（结构透水）/m <sup>2</sup>	透水铺装广场（材料透水）/m <sup>2</sup>	转输型植草沟 /m	湿式植草沟 /m
1	1632	2500	0	666.25	1517	384	8
2	77	788	589	120	145.6	272	22
3	156	0	0	0	0	391	28
4	166	0	0	0	0	226	44
5	130	0	0	0	0	507	24
6	196	0	0	0	0	352	36
7	460	0	0	0	0	1052	86



## 4.4 分区详细设计

### 4.4.1 设施布局与径流组织

三期工程区域为现状改造，提标工程区域为新建工程，地块整体雨水管网相互衔接，项目雨水由唯一排口排入市政雨水管网。根据各分区设施布局图，计算各类设施的服务面积，明确各海绵设施竖向条件及溢流口位置，保证服务面积内雨水均可进入设施，溢流雨水由溢流口有组织流出。

### 4.4.2 汇水分区详细设计（以1、2、5、7区为例）

#### （1）汇水分区1、2区



图7 1、2区布局图

汇水分区1、2位于三期提标厂前区（即综合楼区域），综合楼周边人员进出频繁，为主要活动区域，是项目建设的关键示范性节点。构建厂前区主要下垫面为建筑屋面、道路、绿地等，位于2区中的清水池为全地下结构，上有覆土设有绿化，按绿地径流系数计算。

汇水区内建筑雨水经雨落管断接，道路雨水径流等形式接入绿地中设置的植草沟、下凹式绿地、雨水花园等海绵设施进行控制，超出控制能力雨水经溢流口接入蓄水池中，强降雨溢流至雨水管网。

表 5 1、2 区控制率计算表

汇水区号	雨水花园 /m <sup>2</sup>	湿塘 /m <sup>2</sup>	下沉式绿地 /m <sup>2</sup>	透水铺装停车场（结构透水）/m <sup>2</sup>	透水混凝土/m <sup>2</sup>	湿式植草沟 /m	实际调蓄量 /m <sup>3</sup>	分区综合径流系数	实际控制雨水径流量/mm	径流雨量控制率/%
1	1632	0	2500	666.25	1517	8	701.8	0.44	108.56	>95
2	77	589	788	120	145.6	22	723.7	0.58	138.03	>95

## (2) 汇水分区 5

汇水分区 5 为工艺构筑物二沉池所在区域，二沉池无屋顶水体露天，主要是绿地、道路径流雨水，通过绿地中设置的植草沟进行净化、转输、下渗，并在溢流井处设置一定面积的下凹式绿地以增加雨水过流面积。

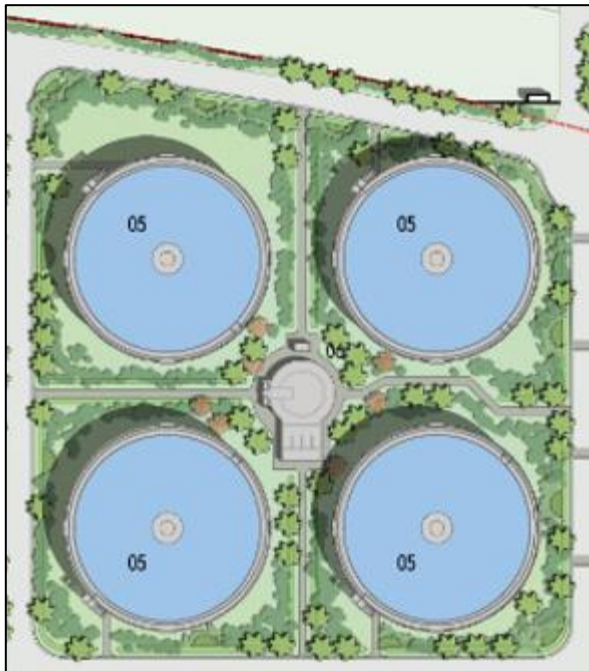


图 8 5 区布局图



图 9 7 区布局图

表 6 5 区控制率计算表

汇水区号	雨水花园 /m <sup>2</sup>	湿塘 /m <sup>2</sup>	下沉式绿地 /m <sup>2</sup>	透水铺装停车场（结构透水）/m <sup>2</sup>	透水混凝土 /m <sup>2</sup>	湿式植草沟 /m	实际调蓄量 /m <sup>3</sup>	分区综合径流系数	实际控制雨水径流量 /mm	径流雨量控制率/%
5	130	0	82	0	0	24	27.2	0.34	6.76	<50

## (3) 汇水分区 7

汇水分区 7 内下垫面主要是硬化屋顶、绿地、道路等。降雨径流通过绿地中设置的植草沟进行净化、转输、下渗，并在溢流井处设置一定面积的下凹式绿地，

以增加场地雨水调蓄能力。

表7 7区控制率计算表

汇水区号	雨水花园 (m <sup>2</sup> )	湿塘 (m <sup>2</sup> )	下沉式绿地 (m <sup>2</sup> )	透水铺装停车场(结构透水) (m <sup>2</sup> )	透水混凝土 (m <sup>2</sup> )	湿式植草沟 (m)	实际调蓄量 (m <sup>3</sup> )	分区综合径流系数	实际控制雨水径流量 (mm)	径流雨量控制率/%
7	460	0	288	0	0	86	96.3	0.37	21.55	<b>67.6</b>

#### 4.4.3 径流控制量计算与达标评估

##### (1) 径流雨量控制

场地内，雨水花园占地率（占用地面积）为 3.5%，下沉式绿地占地率（占用地面积）为 4.1%，透水铺装占地率（占铺装面积）为 14%，植草沟占地率（占用地面积）为 4.2%，绿色屋顶比率（占屋面（非工业建筑）面积）>70%。

表8 各汇水分区控制率计算表

汇水区号	雨水花园 /m <sup>2</sup>	湿塘 /m <sup>2</sup>	下沉式绿地/m <sup>2</sup>	透水铺装停车场(结构透水) /m <sup>2</sup>	透水混凝土/m <sup>2</sup>	湿式植草沟/m	实际调蓄量/m <sup>3</sup>	分区综合径流系数	实际控制雨水径流量 /mm	径流雨量控制率/%
1	1632	0	2500	666.25	1517	8	701.8	0.44	108.56	<b>&gt;95</b>
2	77	589	788	120	145.6	22	723.7	0.58	138.03	<b>&gt;95</b>
3	156	0	0	0	0	28	32.6	0.46	8.94	<b>&lt;50</b>
4	166	0	0	0	0	44	35.4	0.59	9.75	<b>&lt;50</b>
5	130	0	0	0	0	24	27.2	0.34	6.76	<b>&lt;50</b>
6	196	0	0	0	0	36	41.0	0.32	6.60	<b>&lt;50</b>
7	460	0	0	0	0	86	96.3	0.37	21.55	<b>67.6</b>

配置下沉式绿地、雨水花园、透水铺装、植草沟后，实际雨量综合径流系数为：

$$\varphi_2 = (0.44 \times 1.4692) + (0.58 \times 0.904) + (0.34 \times 0.7168) + (0.59 \times 0.6153) + (0.46 \times 0.7923) + (0.32 \times 0.6938) + (0.38 \times 1.177) / 6.36835 = 0.44$$

由于渗透铺装的设置降低了原场地综合径流系数，铺设渗透铺装后场地径流雨量控制量为：

$$V_{\text{控制径流}} = (81135.3 - 17452) \times 0.44 \times 28.3 / 1000 = 793 \text{ m}^3$$

本项目设置的 LID 设施有效调蓄容积计算如下表：

表9 各汇水分区控制率计算表

海绵设施	面积/m <sup>2</sup>	有效下凹深度/mm	有效调蓄容积/m <sup>3</sup>
雨水花园	2817	200	563.4
下凹式绿地	3288	150	493.2
湿式植草沟	248	100	12.4
湿塘	589	1000	589
蓄水池	42	2400	100

LID 设施有效调蓄量为： $V_{\text{有效}} = (2817 \times 0.2) + (3288 \times 0.15) + (248 \times 0.5 \times 0.1) + (100 \times 1) + 589 = 1758 \text{ m}^3$

设计降雨厚度为：

$$H = V_{\text{有效}} / (10 \times F \times \phi_2) = 1758 / (10 \times 6.36835 \times 0.44) = 60.01 \text{ mm} > 34.9 \text{ mm}$$

运用插值法计算可得年径流总量控制率为 90.2%。

## (2) 径流污染削减

城市径流污染物中，SS 往往与其他污染物指标具有一定的相关性，因此，一般可采用 SS 总量去除率作为径流污染物控制指标。根据《海绵城市建设技术指南》低影响开发设施对径流污染削减率（以 SS 计）如表所示：

表 10 低影响开发设施对污染物去除率一览表

单项设施	透水铺装	生物滞留设施
去除率范围(以 SS 计, %)	80~90	70~95
设计取值(以 SS 计, %)	85	75

根据“年 SS 总量去除率=年径流总量控制率×低影响开发设施对 SS 的平均去除率”，计算本项目各个汇水分区设计控制指标。

表 11 各汇水分区低影响开发设施对 SS 的去除率设施统计表

汇水区号	雨水花园 (m <sup>2</sup> )	透水铺装停车场 (结构透水) (m <sup>2</sup> )	透水铺装广场(材料透水)(m <sup>2</sup> )	SS 去除率
1	1632	666.25	1517	91.38%
2	77	120	145.6	85.00%
3	156	0	0	75.00%
4	166	0	0	75.00%
5	130	0	0	75.00%
6	196	0	0	75.00%
7	460	0	0	75.00%

加权平均计算各个汇水分区的 LID 组合设施对 SS 的去除率如下所示：

本项目中组合设施 SS 去除率= $((91.38\% \times 1.4692)+(85.00\% \times 0.904)+(75.00\% \times 0.7923)+(75.00\% \times 0.6153)+(75.00\% \times 1.1834)+(75.00\% \times 1.9418)+(75.00\% \times 1.2076))/8.1135=0.79$ 。

经年径流总量加权平均计算得出：

年径流污染削减率（以 SS 计）= $90.2\% \times 0.79=71.3\%>65\%$ 。

#### 4.5 内涝防治设计

根据场地汇水特征以及下垫面情况，通过 GIS 提取汇水分区特征参数（该地块地面高程等）。

采用台州市 120 min 芝加哥雨型，重现期 30 a 一遇降雨过程对地块以及设计管道进行 SWMM 模拟。经模拟，地块内无明显积水点，管道及雨水口均未有溢流情况发生。

对设置 LID 后的厂区进行模拟，设定相应 LID 设施结构层技术性，实现对地块径流控制、径流污染削减、径流峰值缓解的效果。对地块以及设计管道进行 SWMM 模拟后，地块内无明显积水点，可有效应对 30 a 一遇降雨。

本工程各建筑物有条件泄流涝水至周边道路，30 a 一遇以上暴雨重现期发生时，涝水可往周边道路径流，道路雨水汇入两侧绿地或透水铺装等设施，通过下渗、净化、转输雨水，继而进入厂区雨水管网系统。在本工程工艺设计中，部分雨水管道回流至粗格栅及提升泵房，进入厂区污水工艺处理系统，加快厂区雨水的转输，并且减少了后段雨水管道输水压力，降低径流污染。因此，厂区内不存在积水现象。

最后，根据当地年鉴显示，该厂区在实际暴雨事件期间，均未发生明显内涝情况，即无历史积涝点，满足 30 a 一遇的内涝要求。

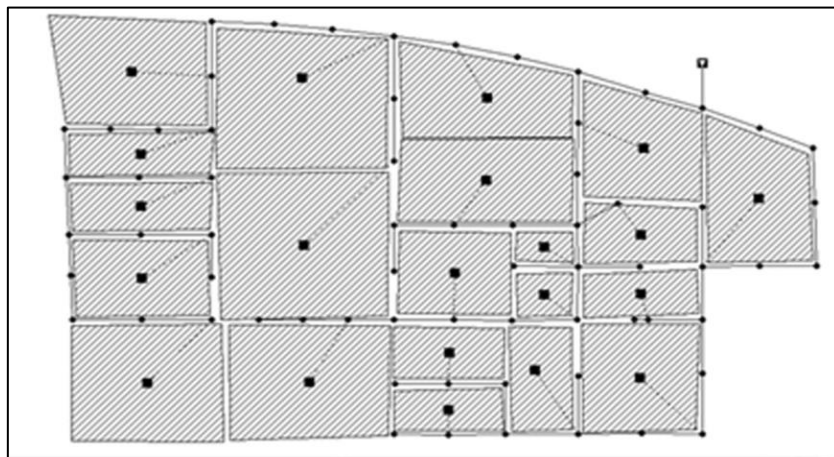


图 10 SWMM 模型构建图

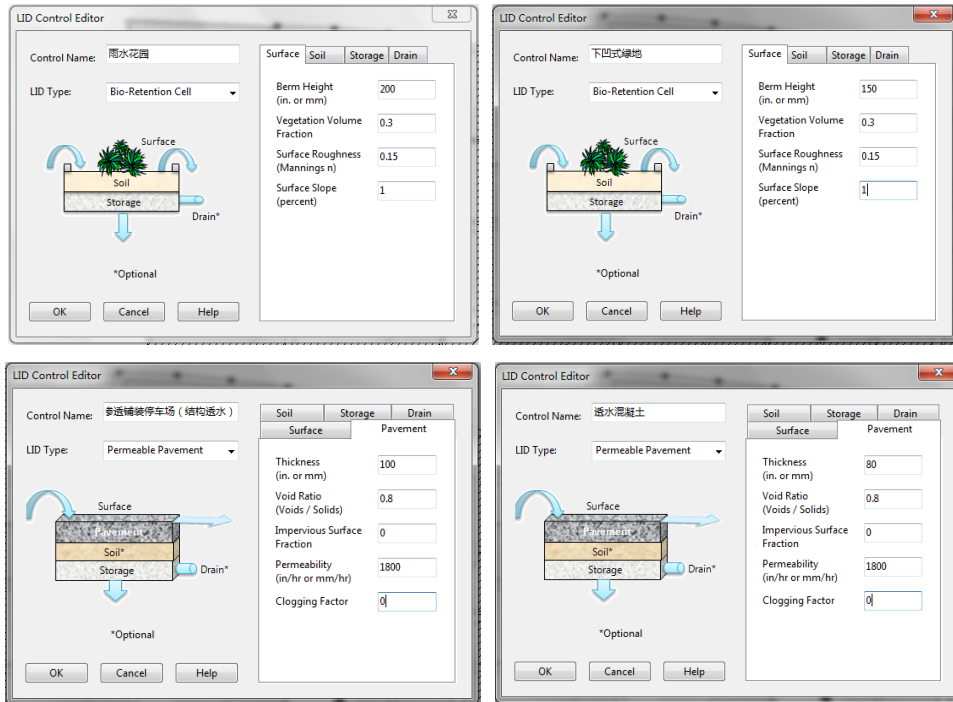


图 11 LID 设施设置图

对设置 LID 设施的厂区进行 SWMM 模型模拟，验证不同 LID 设施组成的海绵城市建设系统对地块径流控制、径流污染削减、径流峰值缓解的效果。对地块以及设计管道进行 SWMM 模拟后，地块内无明显积水点，可有效应对 30 a 一遇降雨。

其次，由于厂区地坪标高高于周边市政道路，暴雨时，厂区雨水一部分排至雨水管道，另一部分由厂区地表漫流排至市政道路进行行泄。因此，厂区不存在积水现象。

最后，根据当地年鉴显示，该厂区在实际暴雨事件期间，均未发生明显内涝情况，即无历史积涝点，满足 30 a 一遇的内涝要求。



图 12 行洪通道示意图

## 4.6 典型设施节点设计

### （1）雨水花园

屋面雨水经雨落管转输，与路面径流一并汇入雨水花园中，雨水花园较周边绿地深 200 mm，溢流标高 100 mm，改良换填介质土 500 mm，砾石蓄水层 300 mm，通过雨水花园内的植物、土壤和微生物系统进行协同控制，超出能力的雨水则通过溢流系统排放。



图 13 雨水花园示意图

### （2）透水铺装停车场

透水铺装停车场采用结构透水，主要收纳自身及道路径流雨水，采用 100 mm 透水砖，留缝 8 mm，瓜子片扫缝，砂基透水粘结层 30 mm，C20 无砂大孔混凝土基层 200 mm，砾石蓄水层 300 mm，底部铺有盲管、连接管，雨水经结构层净化、滞蓄后排入雨水管网。



图 14 透水铺装停车场示意图

### （3）植草沟

本工程植草沟主要有运输型与湿式两种。三期生产厂区屋面、道路、绿地雨水主要通过植草沟的运输、净化、滞蓄作用实现雨洪控制，超出能力的雨水则通过溢流系统排放，并在溢流井处设置一定面积的下凹式绿地，增加雨水净化过流面积。



图 15 植草沟示意图示意图

#### (4) 蓄水池

蓄水池作为项目排水系统的末端灰色设施储存、净化超量雨水，用作绿化灌溉浇洒用水以及景观补水。



图 16 蓄水池示意图

## 5 项目总结

### 5.1 施工难点及要点

(1) 由于生产区建成区工艺管线复杂密布，雨水设施及溢流井在设计及施工过程中对必要管线的避让，成为项目施工一大难点。

(2) 严格按照图纸施工，并对地下工程施工留下全部影像资料。

(3) 注意清扫口、溢流井周边清扫维护，避免堵塞。

### 5.2 项目实施

为满足海绵设施的实际收水及径流控制能力，本项目在海绵设施的建设初期，严格控制施工质量，在海绵设施建设实施过程及时进行技术指导，保证所建设施能有效发挥作用。





图 17 雨水花园施工过程图



图 18 透水铺装施工过程图

### 5.3 建设效果

本项目共投资 400 余万，折合单位造价约为 40 元/m<sup>2</sup>，最终改造目标为年径流总量控制率 90.2%，年净流污染削减率达到 71.3%。为保证项目的顺利实施，在设计阶段广泛征求相关意见，完善设计，因地制宜结合现场情况设置相应的海绵设施。通过海绵城市建设，达到源头治理、综合减排的同时，解决了厂区存在的水环境、水安全等问题，达到了景观性、功能性、建筑性的提升。



图 19 生产区建设效果图



图 20 办公区建设效果图

#### 5.4 项目意义

本项目以污水处理厂为建设对象，将污水处理与雨水控制进行有机结合。本项目的建设体现以下建设示范意义：

（1）多样化的海绵设计：海绵与市政污水厂结合项目，方案设计以末端蓄水池为调节主体建立多层次的雨水利用系统，结合建成区与新建区工程特点，实现雨水多层次、多用途的下渗、收集、处理、利用，并将景观功能与系统相结合，成为能够调节水资源、调节空间、调节景观的“海绵化”大系统。

（2）生态化的水处理：工程根据台州市具体水文特征种植了大量的水生植物，形成了稳定的生态系统。通过系统性生物及物理处理，达到了雨水生态化处理的预期目标。

（3）高效的动态调控：项目通过末端蓄水池、雨水管网、溢流设施，将收集的雨水在海绵设施系统中进行滞蓄、净化、处理、利用，在控制降雨径流的同时，实现雨水资源化利用。

# 2

## 嘉兴市万国路（320 国道～嘉桐大道） 海绵城市建设工程

**项目位置：**嘉兴市经济技术开发区，南起 320 国道，  
北至嘉桐线

**项目规模：**道路全长 2.9 km，道路红线宽度为 60 m，  
横断面为四幅路

**竣工日期：**2015 年 9 月



嘉兴市万国路（320 国道～嘉桐大道）（以下简称万国路）位于经济开发区南翼，周围集聚了先进制造业工业区、西南物流园区、嘉兴汽车客运中心和嘉兴机场等一大批重要工业，形成开发区西南新区的南北向主动脉，进一步完善西南新区主干道网络，完成规划布局，促进地区的发展，加快西部先进制造业区块开发。2011 年以“十二五”水专项为契机，在建设万国路的过程中，结合“低影响开发”相关理念，构建源头低影响开发系统、中途市政雨水管道和末端雨水调蓄措施。通过本项目的实施，可改变传统的处处是硬化路面，逢雨必涝，旱涝急转的现状，城市建由一个“雨水包袱”变成“城市解渴财富”的绿色城市。

### 1 现状基本情况

#### 1.1 项目基本情况

本项目为新建城市主干道，位于嘉兴市经济技术开发区，南起 320 国道，北至嘉桐大道。项目全长 2.7 km，道路红线宽 60 m。



图1 嘉兴市万国路（320国道~嘉桐大道）位置示意图

## 1.2 排水系统规划

根据《嘉兴市区城乡一体化排（雨）水工程规划》，该道路及沿线区域排水体制采用雨污分流制。万国路及周围街坊的雨水均通过市政雨水管道就近排入陈家桥浜、西河新村桥（新开河）、龙兴桥河和一号涵洞。

## 1.3 气候及场地基本情况

嘉兴市多年平均降水量 1199.2 mm，降水大部分集中在 3~9 月，月季分配呈现梅雨型和台风型的双峰型降水特征；嘉兴站多年平均水位 0.98 m，枯水位 0.46 m~0.66 m，可控制市区河道最高水位不超过 2.16 m；年平均气温 15.9°C，极端最高气温 40.5°C，极端最低气温-12.4°C；土层从上至下依次为填土层、粉质粘土层、淤泥质粉质黏土层，渗透系数约为 60 mm/d；市区内地势平坦，平均地面高程约 2.16 m，南部略高，约 2.66 m。

## 2 存在问题

(1) 嘉兴市地处江浙平原河网地区，具有降雨量大，地下水位高，土壤渗透能力差等问题；

(2) 本项目位于嘉兴中心城区防洪大包围之外，部分区域原地面高程较低，存在一定的内涝隐患。

## 3 海绵城市建设目标

### 3.1 海绵城市建设目标

根据“十二五”水专项的考核要求，确定万国路（320国道~嘉桐大道）年径流总量控制率为 75%，对应的降雨量为 20 mm，雨水径流污染总量（以 SS 计）削减不低于 40%，各项控制指标详见表 1。

表1 万国路建设目标

类别	水生态		水环境		水安全
指标	年径流总量控制率	雨水径流外排总量削减	雨水径流污染总量（SS）	污水收集率	雨水管渠重现期
目标	75%	≥30%	≥40%	100%	道路 1 a 一遇，街坊 0. a 年一遇

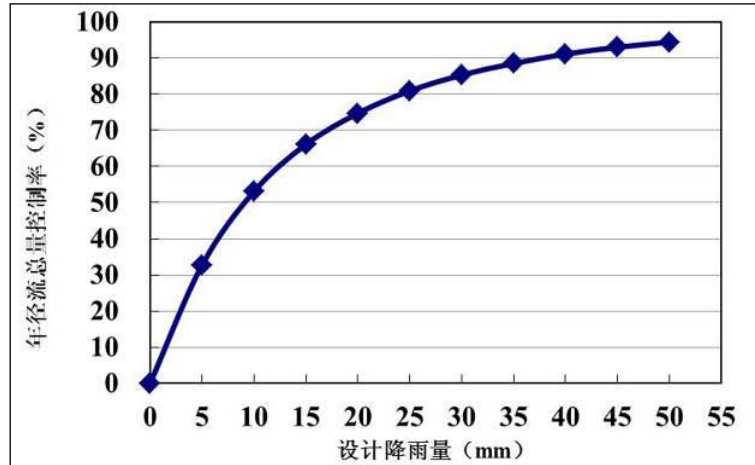


图2 嘉兴市年径流总量控制率与设计降雨量关系

### 3.2 改造原则

(1) 全面贯彻低影响开发理念，改变原有道路建设中将雨水径流直接引入市政排水管网的排水模式，通过源头低影响开发系统构建，削减面源污染和雨水径流量、缓解该片区因缺少圩区而导致内涝风险较大的问题；

(2) 系统治理：从源头削减、过程控制和末端调蓄净化综合考虑道路雨水的净化和排放；

(3) 最大程度上尊重项目原有生态本底，结合景观打造优质城市空间，提升城市品位，提高周边土地价值。

## 4 海绵城市系统设计

本工程从三个方面对万国路进行设计：

- (1) 雨污水系统的构建，按照雨污分流的原则，分别设计雨污水管道；
- (2) 源头低影响开发雨水系统的构建，削减面源污染和雨水径流量；
- (3) 重点打造低影响开发设施与景观的自然结合。

### 4.1 雨污水系统重新构建

- (1) 现状条件

道路设计范围内区域主要有农田、桑树地及村庄，地势较平坦，地面标高一般在 2.0 m~4.0 m。道路沿线河流水网发达，河水位标高 1.15 m 左右，水深 0.50 m~2.55 m。地下水位约为 1.2 m。万国路设计纵断面的设计起、终点标高为 4.0 m 和 3.18 m，车行道单向横坡采用 2.0%。



图3 现状河流



图4 现状嘉桐大道路口

### (2) 设计降雨量

本项目年径流总量控制总体目标为 75%，对应的设计降雨量为 20 mm。

### (3) 汇水区域的划分

据地形和河流位置，将该道路及周围区块划分为 12 个主要汇水区域，通过市政雨水管道和低影响开发系统将道路及地块雨水径流有组织地就近排入河道。

表2 汇水分区情况

汇水分区编号/不同下垫面	道路				地块 (m <sup>2</sup> )	综合径流系数	总面积 (m <sup>2</sup> )
	机动车道 (m <sup>2</sup> )	非机动车道 (m <sup>2</sup> )	人行道 (m <sup>2</sup> )	植被 (m <sup>2</sup> )			
1	4812	2406	1203	9989	25632	0.55	44042
2	4236	2118	1059	7719	13445	0.54	28577
3	3900	1950	975	6815	0	0.50	13640
4	4740	2370	1185	8355	0	0.50	16650
5	5772	2886	1443	10916	18662	0.54	39679
6	6480	3240	1620	11634	0	0.50	22974
7	8694	3604	1780	12236	0	0.52	26314
8	5914	3577	1439	10563	0	0.49	21493
9	7416	3708	1854	13229	0	0.50	26207
10	7260	3630	1815	14157	40819	0.55	67681
11	4140	2070	1035	7441	0	0.50	14686
12	3840	1920	960	7608	23912	0.55	38240
合计	67204	33479	16368	120662	122470	0.53	360183



图5 万国路汇水分区图

#### (4) 雨水径流组织

根据道路横断面的设计情况，地表径流主要产生在机动车道、非机动车道以及人行道区域，针对各区域的高程情况其径流组织情况分别如下：

① 机动车道雨水的径流组织：机动车道雨水→侧石开孔→预处理沉砂井→植草浅沟→雨水花园→超标雨水溢流→市政雨水总管→末端雨水塘→超标雨水溢流→河道。

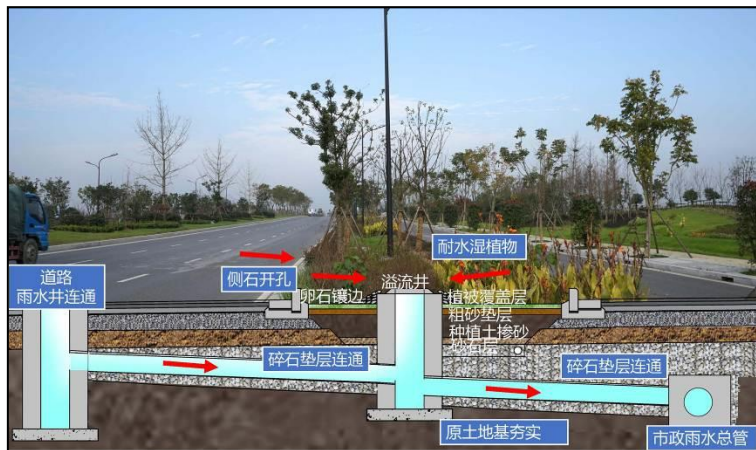


图6 机动车道雨水径流示意图

② 非机动车道雨水的径流组织：非机动车道雨水→生态树池(排水盲管)/人行道排水沟→市政雨水总管/植草浅沟→末端雨水塘→超标雨水溢流→河道。



图7 非机动车道雨水径流示意图

③ 人行道雨水的径流组织：人行道雨水→植草浅沟→雨水花园→末端雨水塘→超标雨水溢流→河道。



图8 人行道雨水径流示意图

(5) 雨水系统的设计

万国路雨水管线采用两侧布置，设置在道路两侧非机动车道下。雨水管道设计情况详见下表：

表3 万国路雨水管道设计情况

设计雨水管段	雨水管段设计情况			
	雨水管道排向	雨水排出口位置	管径	长度
320 国道～陈家桥浜	自南向北敷设	陈家桥浜	DN400*2～DN800	800m
陈家桥浜～西河新村桥	自北向南敷设	陈家桥浜	西侧，DN400	285m
			东侧，DN400～DN600	360m
西河新村桥（新开河）～纬五路	自北向南敷设	新开河	西侧，DN400～DN1000	470m
			东侧，DN400～DN800	440m



设计雨水管段	雨水管段设计情况			
	雨水管道排向	雨水排出口位置	管径	长度
纬五路~龙兴桥河	自南向北敷设	龙兴桥河	西侧, DN400~DN1350	580m
			东侧, DN400~DN600	435m
龙兴桥河~填埋断头浜	自北向南敷设	龙兴桥河	西侧, DN400~DN800	550m
			东侧, DN400~DN1200	435m
填埋断头浜~一号涵	自南向北敷设	一号涵内	西侧, DN400~DN600	320m
			东侧, DN400~DN800	271m



图9 雨水系统的构建

#### (6) 污水系统的设计

根据2010年12月《嘉兴市中心城区污水工程专业规划调整》，本道路污水管道属于经济开发区西南分区污水系统，万国路DN1200~DN1350污水管道为西南分区接入万国路污水泵站污水主干管，十分重要。

万国路污水管自北向南敷设，收集两侧地块污水及转输相交道路污水后排入320国道已建DN1500万国路泵站进水管，管位布置于道路东侧红线外，距道路

红线约 4.0 m 处，本段污水管管径 DN300~DN1350，主管管长约 3700 m。



图 10 污水系统的构建

## 4.2 源头低影响开发雨水系统构建

### 4.2.1 低影响开发设施布置

根据下垫面、竖向高程和汇水分区的实际情况，综合确定了低影响开发设施的类型与布局，分别在 12 个汇水分区内因地制宜地布置了低影响开发措施，并将雨水设施与景观设计相结合。

表 4 低影响开发设施

汇水分区	设施类型	面积 (m <sup>2</sup> )	功能	汇水分区	设施类型	面积 (m <sup>2</sup> )	功能
1	植草浅沟	884	转输、下渗	8	植草浅沟	1157	转输、下渗
	生态树池	77	下渗		卵石渠	214	转输
2	植草浅沟	821	转输、下渗		生态树池	92	下渗
	生态树池	68	下渗		雨水花园	1000	下渗
3	植草浅沟	914	转输、下渗		雨水塘	140	调蓄、净化
	生态树池	62	下渗	9	植草浅沟	1481	转输、下渗
4	植草浅沟	1010	转输、下渗		卵石渠	92	转输
	生态树池	76	下渗		生态树池	109	下渗
5	植草浅沟	1392	转输、下渗		雨水花园	300	下渗
	生态树池	106	下渗		雨水塘	170	调蓄、净化

汇水 分区	设施类型	面积 (m <sup>2</sup> )	功能	汇水 分区	设施类型	面积 (m <sup>2</sup> )	功能
6	植草浅沟	1251	转输、下渗	10	植草浅沟	1271	转输、下渗
	生态树池	98	下渗		卵石渠	94	转输
7	植草浅沟	1232	转输、下渗		生态树池	115	下渗
	卵石渠	215	转输		雨水花园	350	下渗
	生态树池	96	下渗	雨水塘	220	调蓄、净化	
	雨水花园	1200	下渗	11	植草浅沟	832	转输、下渗
雨水塘	230	调蓄、净化	生态树池		70	下渗	
12	植草浅沟	803	转输、下渗	12	生态树池	68	下渗

#### 4.2.2 措施规模计算

由于区块面积过大，仅以万国路中7号和8号两个大汇水分区为例进行措施规模的计算，根据竖向关系细化汇水分区。

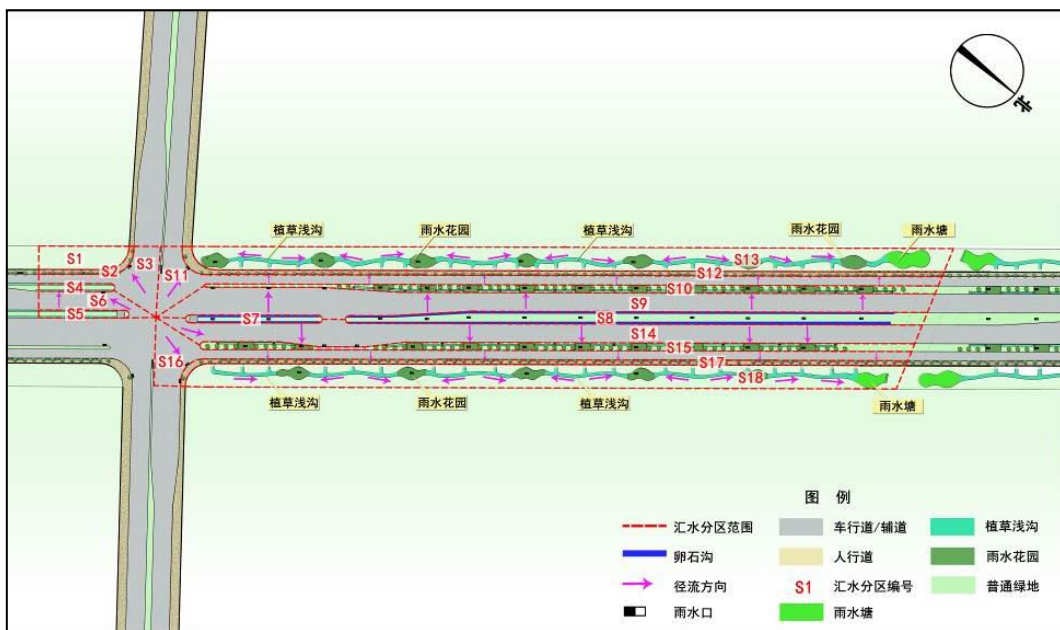


图 11 万国路 7 号、8 号汇水分区措施类型及径流组织图

表 5 各 LID 措施规模计算表（一）

编号	调蓄容积需求分析					
	汇水区域	类型	面积(m <sup>2</sup> )	径流系数	设计降雨量(mm)	设计调蓄容积(m <sup>3</sup> )
1	S1	绿化	822	0.52	20	276.03
	S2	铺装	225			

编号	调蓄容积需求分析									
	汇水区域	类型	面积(m <sup>2</sup> )	径流系数	设计降雨量(mm)	设计调蓄容积(m <sup>3</sup> )				
1	S3	沥青路面	1141	0.49	20	212.65				
	S4	绿化	241							
	S5	沥青路面	800							
	S6	绿化	286							
	S7-1	绿化	216							
	S8-1	绿化	1401							
	S9	沥青路面	6693							
	S10	绿化	2044							
	S11	沥青路面	3661							
	S12	铺装	1555							
	S13	绿化	7226							
	2	S7-1	绿化				216	0.49	20	212.65
		S8-1	绿化				1401			
S14		沥青路面	5914							
S15		绿化	2117							
S16		沥青路面	3577							
S17		铺装	1439							
S18		绿化	6829							

表6 各LID措施规模计算表（二）

编号	实际设计调蓄容积								总储水容积(m <sup>3</sup> )
	植草浅沟		生态树池		雨水花园		雨水塘		
	面积(m <sup>2</sup> )	储水容积(m <sup>3</sup> )	面积(m <sup>2</sup> )	储水容积(m <sup>3</sup> )	面积(m <sup>2</sup> )	储水容积(m <sup>3</sup> )	面积(m <sup>2</sup> )	储水容积(m <sup>3</sup> )	
1	1232	86.24	96	9.6	1200	84	230	115	294.84
2	1157	80.99	92	9.2	1000	70	140	70	230.19

## 5 建成效果

### 5.1 实际效果

万国路作为“十二五”水专项的配套示范工程，在设计中全面贯彻了雨水源

头及末端水量减排和污染控制的理念，为后续道路类海绵城市建设起到了良好的典型示范作用。

表 7 万国路（320 国道~嘉桐大道）建设后效果对比

阶段/控制指标	年径流总量控制率	雨水径流外排削减	雨水径流污染总量(SS)	污水收集率	雨水管渠重现期
设计目标	75%	≥30%	≥40%	100%	道路 1 a 一遇, 街坊 0.5 a 一遇
建设效果	83.6%	84.3%	97.16%	100%	2 a 一遇



图 12 植草浅沟施工中



图 13 植草浅沟完工后



图 14 人行道排水沟施工中



图 15 人行道排水沟完工后



图 16 机非分隔带施工中



图 17 机非分隔带完工后



图 18 生态树池施工中



图 19 生态树池完



图 20 雨水花园完工后



图 21 雨水塘完工后

## 5.2 模型模拟

SWMM 模型的主要参数包括降雨、蒸发/蒸腾资料和 LID 设施参数。长历时降雨资料采用了嘉兴市 2011~2015 年 1 min 步长的连续降雨资料。短历时降雨资料根据嘉兴市暴雨强度公式和芝加哥雨型计算得到。蒸发/蒸腾量采用多年实测平均值，蒸发量为 2.5 mm/d，蒸腾量为 1.8 mm/d。LID 设施参数详见表 8。

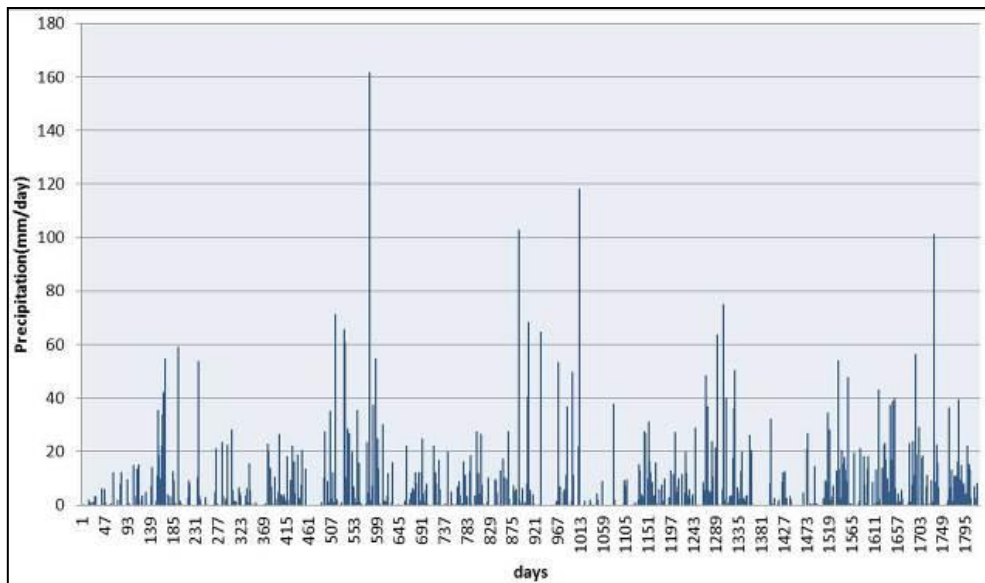


图 22 2011-2015 年逐日降雨量

表 8 植草浅沟、雨水花园、生态树池主要参数

LID 措施	表层	土壤层		蓄水层		排水层	
	蓄水深度 (mm)	厚度 (mm)	土壤类别	土壤渗透速率 (mm/h)	厚度 (mm)	孔隙率	盲管管位 (mm)
植草浅沟	100	300	壤土	2.5	0	0	-
雨水花园	150	300	壤土	20	700	0.30	6
生态树池	200	1000	壤土	20	300	0.30	6

雨水塘概化为调蓄池，雨水塘常水位为 1.0 m，溢流水位 1.5 m。

根据 SWMM 模型模拟，全面贯彻低影响开发理念完成施工后的万国路，在 1 a 一遇 2 h(52.7 mm)短历时降雨条件下，区域内雨水管道排水能力满足要求，通过模型模拟管道的排水能力可以满足 2 a 一遇 2 h (63.48 mm) 的排水能力要求。在 2011~2015 年长历时（1 min 步长）下，年径流总量控制率为 83.6%。

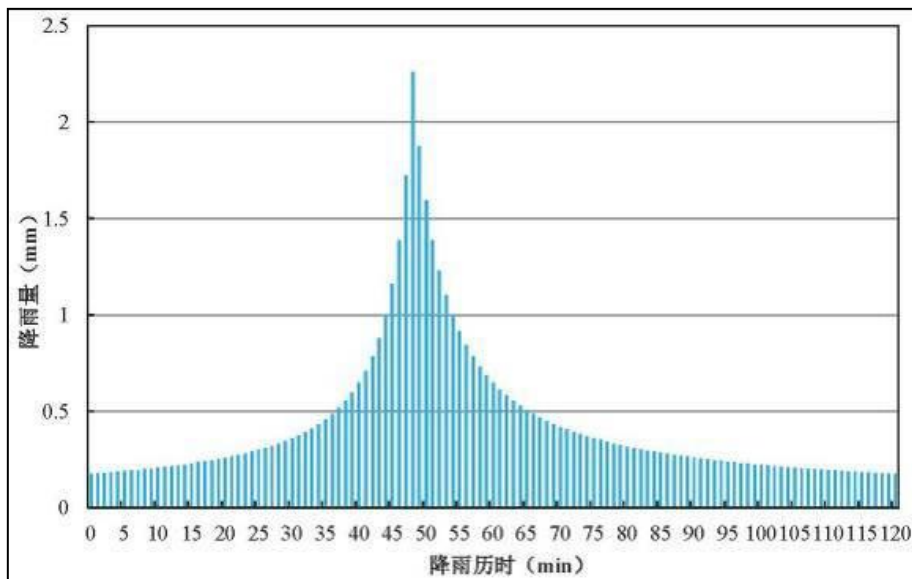


图 23 嘉兴市 1a 一遇 2h 设计暴雨

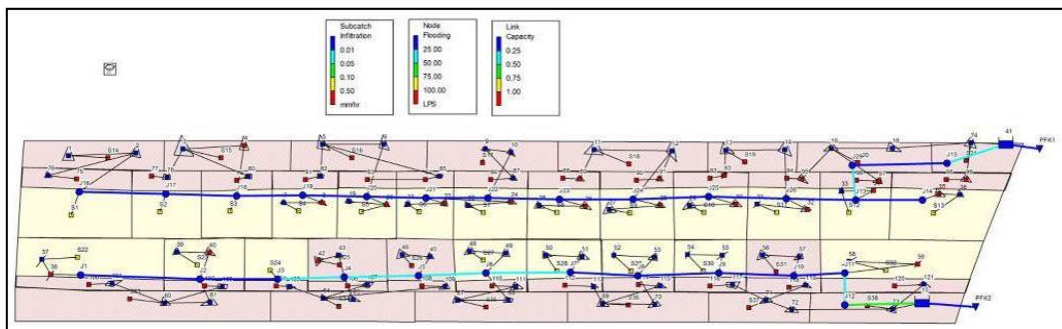


图 24 1a/2h 条件下雨水管道排水能力

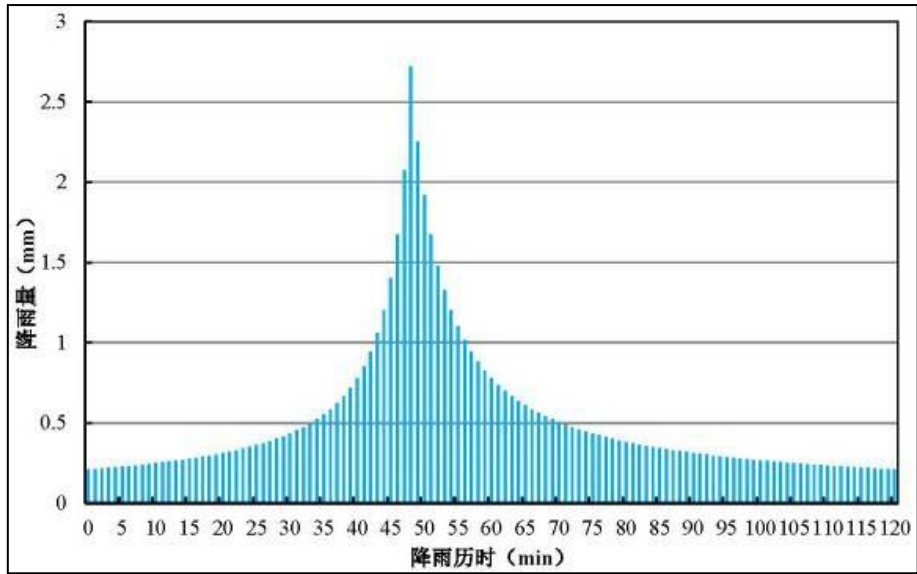


图 25 嘉兴市 2a 一遇 2h 设计暴雨

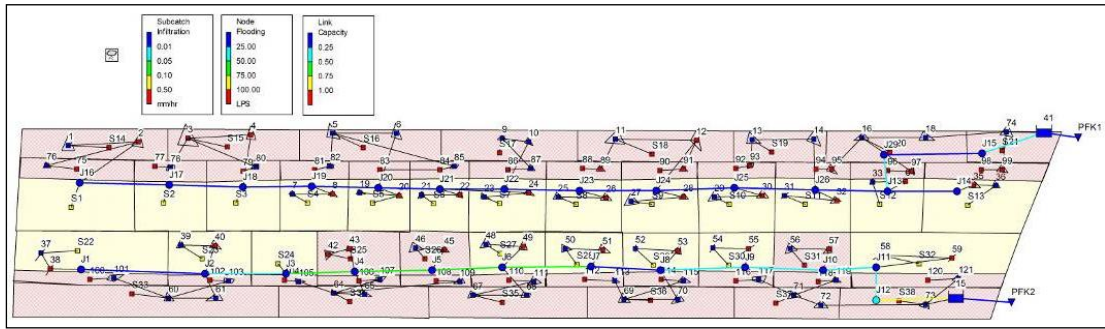


图 26 2a/2h 条件下雨水管道排水能力

### 5.3 实测效果

为监测万国路雨水低影响开发的建设效果，在万国路上设置了监测点，嘉杭路上设置了对照监测点。



图 27 万国路低影响开发建设监测点及对照监测点位置图





图 28 雨水塘溢流口监测点

2016年5月21日，根据万国路附近雨量站当天监测数据（当日0:00~次日0:00），该日降雨量为24.5 mm，而7号汇水区域雨水排出口仅为流量69.24m<sup>3</sup>，雨水径流外排削减率达到84.3%（详见下图）。同时根据对照点和该监测点的SS实测数据以及年污染负荷(以SS计)的削减方法核算，该处SS削减率为97.6%。

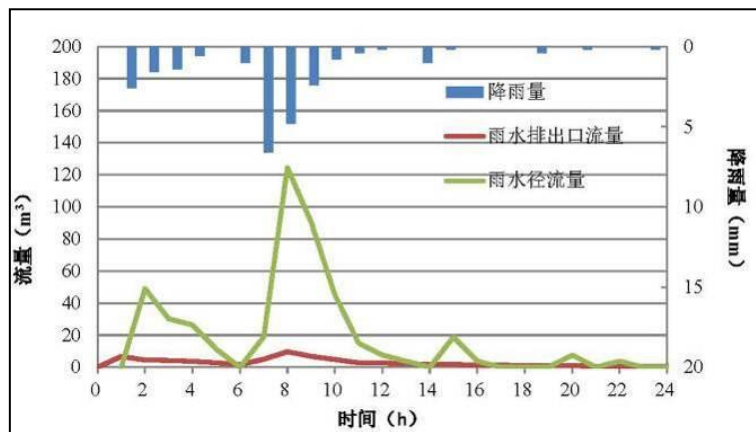


图 29 2016年5月21日降雨量与7号汇水分区雨水排出口流量关系图

表 9 对照点和监测点雨水径流水质、水量结果

位置\参数	年径流总量控制率	SS	雨水径流污染削减率 (以SS计)
监测点	83.6%	58.2 mg/L	97.6%
对照监测点	25%	6.36 mg/L	

#### 5.4 经济分析

本工程立项总投资 23132.83 万元，其中建安费 13219.9 万元，其他费用 8811.37 万元。本工程主要建设的海绵设施包括植草浅沟 13048 m<sup>2</sup>，雨水花园 2850 m<sup>2</sup>，生态树池 1037 m<sup>2</sup>，雨水塘 760 m<sup>2</sup>，与传统工程投资相比，采用低影响开发技术后增加的投资约 102.08 万元，仅占项目总投资的 0.44%，折合单位面积新增工程投资仅 3.91 元/m<sup>2</sup>（按道路占地总面积计算），详见下表：

表 10 海绵城市与普通做法投资对比

序号	海绵设施做法	投资 (元/m <sup>2</sup> )	传统做法	投资 (元/m <sup>2</sup> )	增加投资 (元)
1	植草浅沟	220	普通绿地	180	40
2	雨水糖	250	普通绿地	180	70
3	雨水花园	300	普通绿地	180	120
4	生态树池	200	普通树池	100	100

## 6 项目总结

### 6.1 项目难点

城市道路海绵工程的设计不同于传统道路设计中先道路后排水的设计过程，给排水专业介入设计的时机非常重要，越早介入越好。若道路竖向设计可以结合低影响开发雨水系统构建的要求，则可以达到在局部地段取消雨水管道，构建地表径流通道，从而降低工程造价。

在设计过程中还发现，给排水专业和景观专业配合至关重要。虽然万国路的景观效果相对其他工程较好，但是局部路段（雨水塘）因前期竖向设计两专业未进行有效对接，造成水塘较深，大大影响景观效果。

### 6.2 新材料、新工艺

在本工程的设计中充分应用了发明专利技术(专利号：ZL 2013 1 0341034.2)，将机动车道内的径流雨水引入机非分隔带内的沉淀设施，拦截雨水中较大颗粒的悬浮物如树叶、泥沙等，沉淀后的雨水流入植草浅沟，最后流入雨水花园；非机动车道和人行道内的雨水径流排入下凹式绿带内进行下渗、净化处理；雨水花园和下沉式绿地内的超渗雨水最后排入市政雨水管道。

### 6.3 项目施工

采用低影响开发理念设计的工程，需要施工方更精细地施工，特别在竖向施工方面，设计单位必须做好施工配合和指导工作，对施工成果严格把关，确保设计意图能够实现。

### 6.4 项目运维

雨水进入绿地前的预处理是十分必要的，从实际效果来看，万国路预处理并拦截下来的垃圾较多，有效保护了绿地的景观效果。

### 6.5 项目成效

通过在设计中融入低影响开发的相关理念，万国路在水安全、水生态、水环境等方面的表现均十分突出。

水安全：通过雨水系统和源头低影响开发雨水系统的构建，雨水管道排水能

力达到二年一遇以上，内涝防治重现期提升至 30 年一遇，从而提高了道路的排水能力。

水生态：各项低影响开发措施的设置，从源头上减少了雨水径流量和削减了雨水径流污染，实现了年径流总量控制率达到 75% 以上的设计目标，改善了周边区域的水环境质量。

水环境：通过污水系统的构建，实现了道路和区块的雨污分流。源头和末端低影响开发措施削减 SS 可达 97.6%。

## 6.6 示范意义

本工程的实施为今后道路类海绵城市建设提供了丰富的规划、设计和施工等方面的经验，以及详尽和丰富的低影响开发措施在降雨中实测数据。

# 3

## 绍兴市上虞区 e 游小镇门户客厅海绵城市建设工程

**项目位置：**浙江省绍兴市上虞区 e 游小镇

**项目规模：**用地面积 10.18 ha

**竣工日期：**2018 年 12 月



### 1 项目背景

上虞是著名的江南水乡，因水而生，因水而名，水是上虞的灵魂。而工业化、城市化之后，一度粗放式的发展方式使上虞的水环境遭到严重的破坏，水乡失去了其灵秀之气，海绵城市是生态文明建设的重要抓手，因此在生态文明建设的时代背景下建设海绵城市，改善水体水质，重建上虞水城，是势在必行的历史责任。绍兴市委市政府从 2006 年开始致力于水污染治理，采用河道清淤、换水活水、改变产业结构等多种方式治理河道。近年来随着五水共治、海绵城市、剿灭劣 V 类和 V 类水等行动，已基本重现水清岸绿的美丽风光，水乡重新焕发了光彩。绍兴市上虞区 e 游小镇门户客厅海绵城市建设工程坚持“示范先行、四周辐射、点线成面、全面覆盖”的总体思路，结合五水共治、海绵城市建设，推进工程治水向生态治水转变，将 e 游小镇打造成以“游戏产业”为特色，“江河田镇”为特质，融合游戏产业研发服务、会展竞技、特色旅游、商务商贸、文化休闲、生活居住等功能为一体的特色小镇。

## 2 基本情况

### 2.1 项目概况

e游小镇位于上虞经济开发区内，老城中心以西，北靠曹娥江，西邻杭甬运河，周边交通便利。门户客厅基地位于小镇西北部，属于项目的启动区块，东临四环路，南至复兴路，北接滨江路，西邻杭甬运河。规划以特色主题的业态为主，同时配合良好的景观系统。基地的设计包含中心广场，游戏众创服务中心，旅游商务综合服务，创投办公，VR体验馆以及停车服务等区域。分期建设，一期用地面积 112510 m<sup>2</sup>。二期为北侧酒店的商务服务以及南侧的极客街区。本次设计的范围为一期用地。

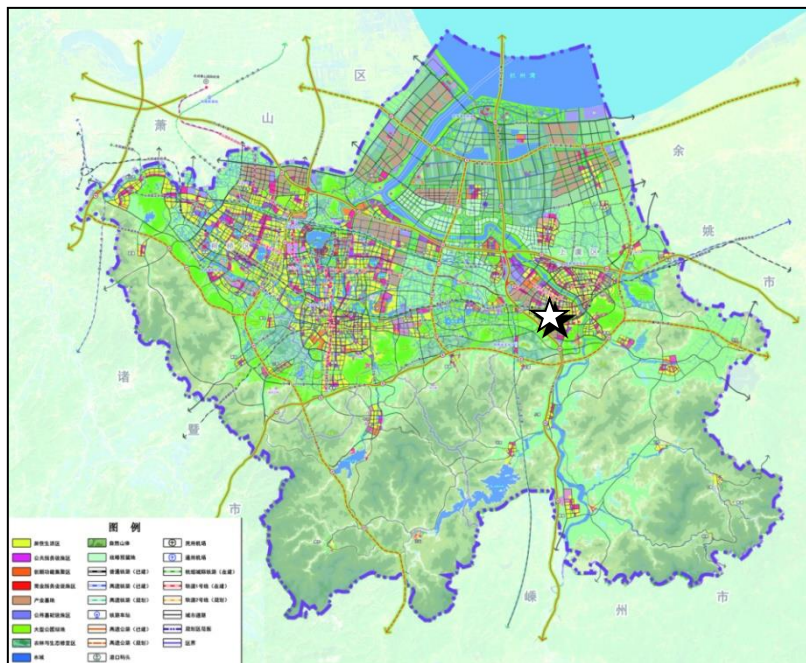


图 1 上虞区 e 游小镇平面区位图



图 2 项目位置图

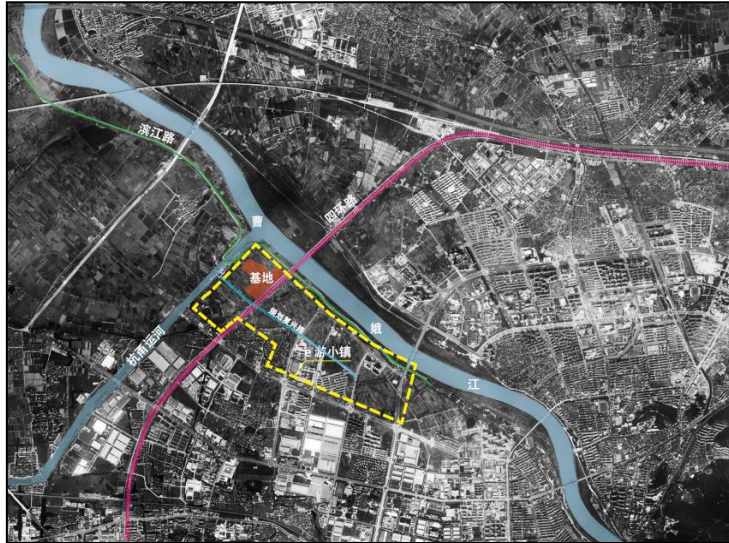


图3 项目位置影像图



图4 一期和二期范围图

## 2.2 土质与地下水情况

地层结构：1~7层土分别为杂填土、素填土、粘质粉土、砂质粉土、淤泥质粉质粘土、粘土、粉质粘土、粉砂、圆砾。地下水位最高水位低于周边道路0.50 m，周边道路标高为6.00 m，最高水位为5.50 m。

## 2.3 气候与场地条件

绍兴市上虞区春夏季（4~9月）受温暖湿润的热带海洋气团影响，秋冬季受干燥的北方大陆气团影响，气候温和、四季分明、雨量充沛。一年中，随着冬、夏季风逆向转换，天气状况均会发生明显的季节性变化，形成春多雨、夏湿热、秋气爽、冬干冷的气候特征，为典型的亚热带气候。本项目周边及内部水系丰富，

北邻曹娥江，西邻杭甬运河，内部还有小型水系穿过；基地生态环境良好，沿江的滨水生态公园已部分建成，光明村周边以及四环路西侧仍有大片农田。曹娥江常水位为 3.5 m~3.7 m，五十年一遇洪水位 9.7 m，百年一遇洪水位 9.89 m（黄海标高）。

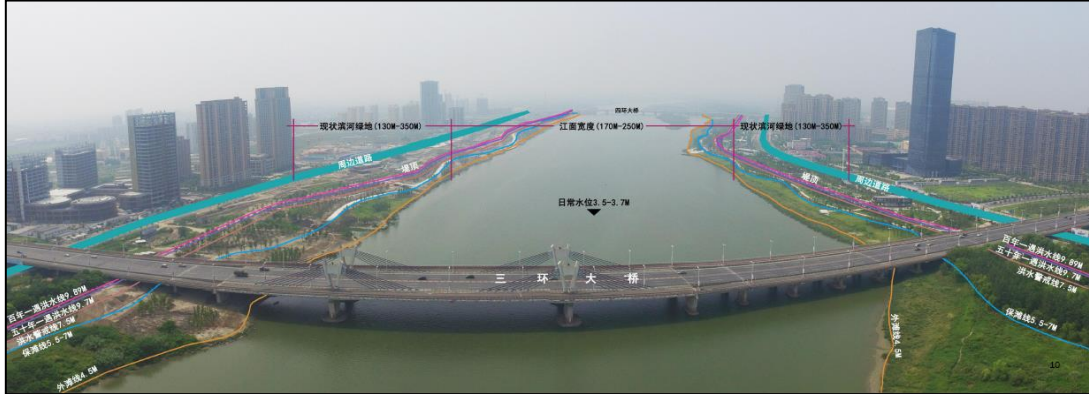


图5 项目北侧曹娥江水位图

从用地现状看，目前小镇处于半开发状态，大部分用地处于未开发和在开发状态，建设扩展空间较大。小镇的互联网游戏产业集聚区已雏形初现，浙大网新、惠普广场等正在如火如荼的建设中。基地对外交通便利，三环路和四环路为对外联系的两条纵向通道；但同时小镇的内部横向联系带来一定分割。区内道路框架基本成型，内部滨江路、复兴路、五星路、兴业路、博文路均基本建成。

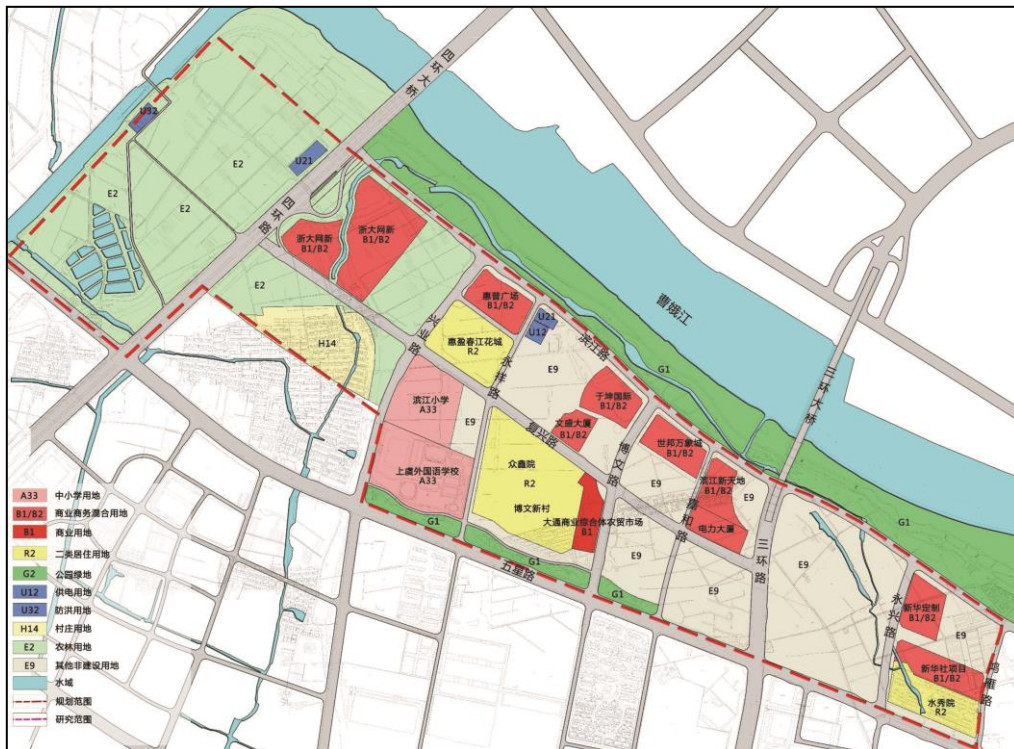


图6 土地利用现状图

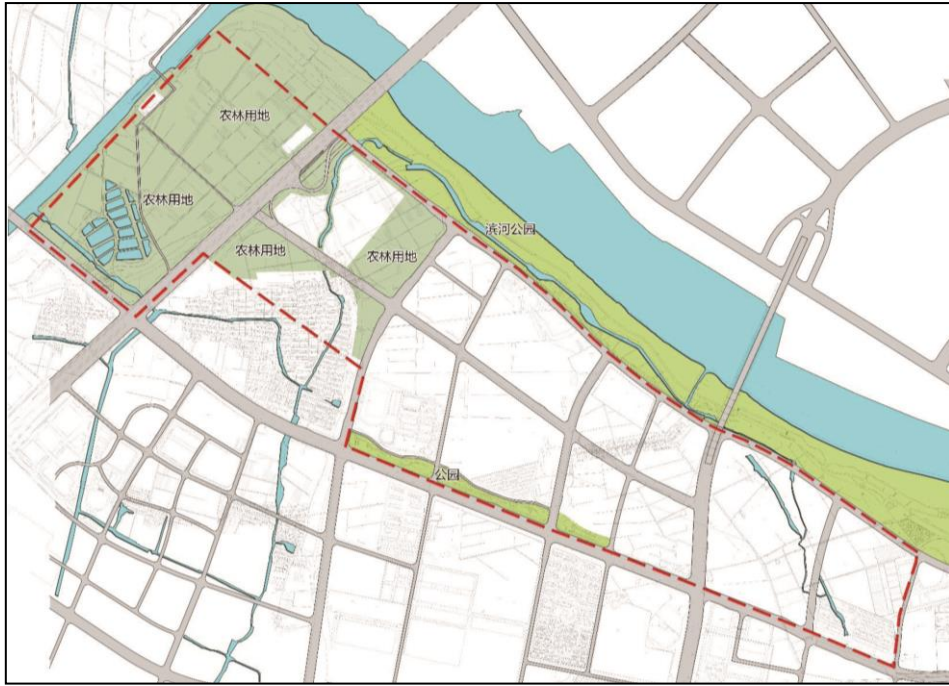


图7 现状绿地水系



图8 项目建设前现状图

### 3 问题分析

#### （1）水环境

本项目建设前地势低洼，地表径流直接进入田间沟渠，初期雨水污染问题突出。

#### （2）水安全

本项目建设前用地是农田用地，雨水径流系数低，如何控制保障开发建设后的整体的雨水径流系数与开发前持平或相近，以确保周边区块的排水防涝安全。

#### （3）水景观

本项目位于上虞区e游小镇的门户客厅区块，是游戏文化展示区内的重要节点。小镇客厅内部水系，以人工草坡堤岸为主，亲水性和景观效果需提升。





图9 人工草坡广场滨水空间断面

## 4 建设目标

### 4.1 建设目标

通过e游小镇门户客厅的海绵城市建设工程，改善水质、不新增周边排水压力、形成亲水景观带，同时具体指标符合《绍兴市区海绵城市专项规划》的要求。

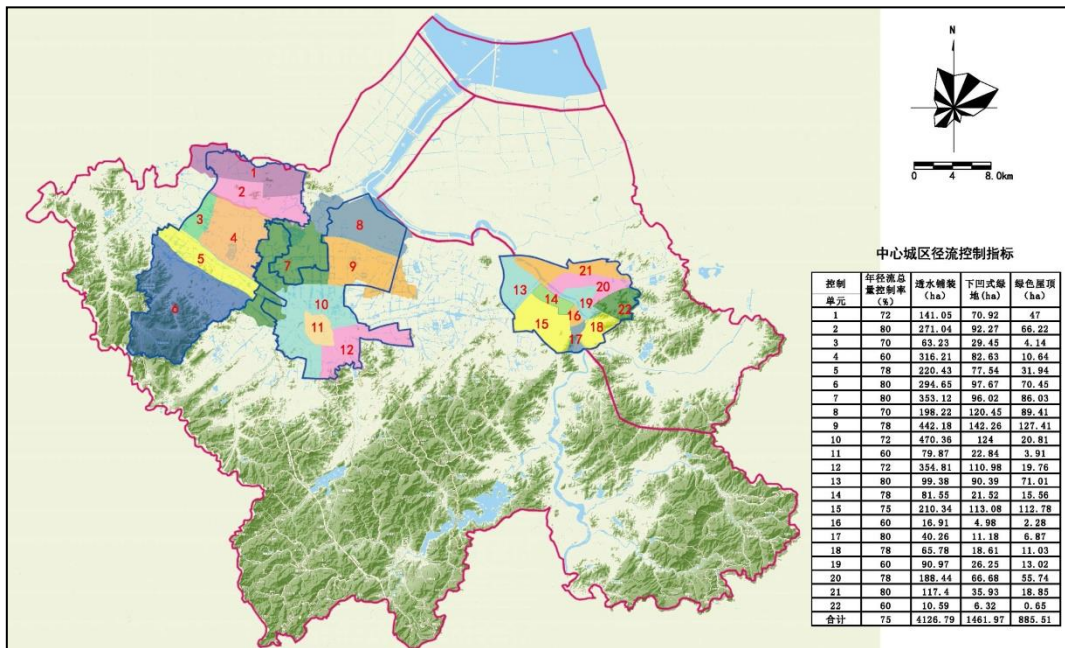


图10 绍兴市海绵城市管控单元划分

本项目属于海绵专规中的第14管控单元，根据该管控单元的目标要求，制定本项目相应的建设目标如下：

表1 本项目海绵城市建设目标

指标体系		本项目指标值
水生态	年径流总量控制率 (%)	≥70
	水生态岸线改造率 (%)	—
水安全	防洪标准	100 a 一遇

指标体系		本项目指标值
	排涝标准	30 a 一遇暴雨
	管网标准	≥ 3 a 一遇
水环境	水环境质量	III 类
	城市面源污染削减率 (以 SS 计) (%)	≥ 37
水资源	雨水资源利用率 (%)	≥ 4.9

## 4.2 设计原则

项目遵循海绵城市建设的“渗、滞、蓄、净、用、排”六字方针以及以下设计理念：

(1) 因地制宜。根据上虞区本地自然地理条件、水文地质特点、降雨规律等，在一期的以规划形成“一带四轴、五心相映”的总体空间景观结构。“一带四轴”为曹娥江滨水景观带及通江的四条特色功能景观轴；五心相映指小镇门户客厅、天空竞技场、水晶广场、城市阳台、大剧院五个特色建筑组群。保持绍兴独特的水乡风貌。

(2) 生态优先。始终遵循生态建设的原则，优先利用自然排水系统与低影响开发设施，实现雨水的自然积存、自然渗透、自然净化和可持续水循环，提高地区水生态的自然修复能力。

(3) 规划引领。建设程序中结合海绵城市低影响开发的原则，按照规划进行建设，体现规划的科学性和权威性，发挥规划的控制和引导作用。

## 5 工程设计

### 5.1 设计流程

按照汇水分区核算各个分区的径流控制率和设施规模，通过地面雨水就近消纳处置，采用低影响开发设施与管网排水相结合的方式，共同组成完整的工程技术体系，全面保障项目区内的水安全、水环境和水生态状况。

### 5.2 设计方案

#### 5.2.1 透水类铺装

场地内铺装采用透水混凝土铺装、生态陶瓷透水砖铺装、户外高耐竹铺装以及改性沥青铺装和花岗岩石材铺装，透水类铺装占总铺装面积的 80.6%。

表2 场地内铺装材料及面积

铺装类型	透水混凝土	生态陶瓷透水砖	户外高耐竹	改性沥青铺装和花岗岩石材	合计
占地面积 (m <sup>2</sup> )	33010	2309	864	8676.6	44859.6
占比 (%)	73.6	5.1	1.9	19.3	100

透水类铺装的主要作用包括：

- (1) 让雨水渗入地下，有效补充地下水，促进水体的自然循环；
- (2) 有效的降低初期雨水中携带的污染物以减少对周边水体影响；
- (3) 储存部分雨水，缓解高峰期雨水管网的压力。



图 11 生态陶瓷透水砖铺装实景图

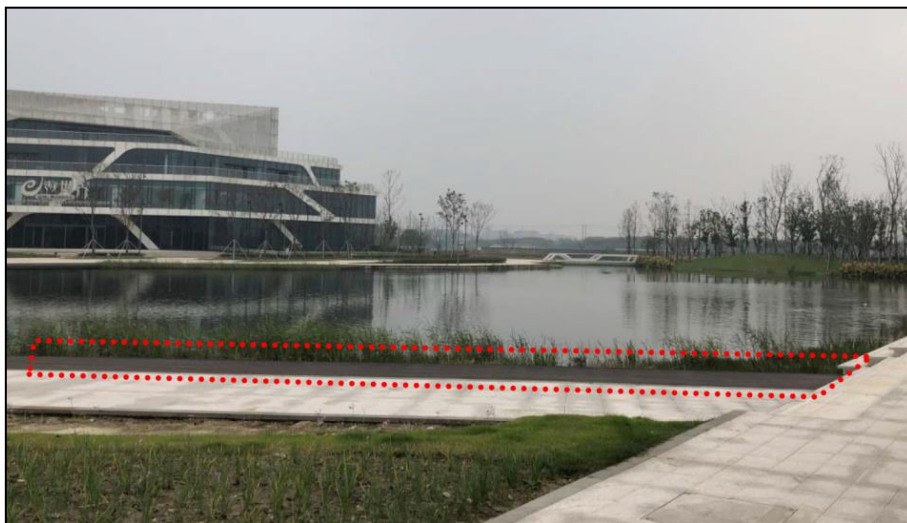


图 12 户外高耐竹铺装实景图

### 5.2.2 下沉式绿地

场地周边设置低于周边地面标高的下沉式绿地，绿地内植物以本土草本植物为主。下沉式绿地的成本较低，维护较简单，可利用其形成的开放空间承接和贮存雨水、下渗自身和周边雨水。

（1）下沉式绿地可改善城市小气候环境，提升周边景观，同时通过植物的蒸腾作用可以调节环境的温度和湿度，改善局部小气候；

（2）下沉式绿地可贮留和入渗雨水，通过下沉式绿地与路面雨水口一起构建蓄渗排放系统。将屋面、道路等雨水汇入绿地中，进行蓄渗，多余雨水经绿地雨水溢流口或雨水口排入市政雨水管网；

（3）下沉式绿地可有效除去径流中的悬浮颗粒、有机污染物、病原体等有害物质，同时增加土壤肥力。



图 13 下沉式绿地实景图

### 5.2.3 自净化景观水体

本工程设有大面积水体，自净化景观水体面积 10773 m<sup>2</sup>，水体调蓄高度设为 100 mm，调蓄容积为 1077 m<sup>3</sup>。水体周边设置水生植物滨岸带，用于净化地面径流，以保证景观水体水质。



图 14 自净化景观水体植物净化实景图

### 5.2.4 雨水回用系统

本工程室外设置雨水收集系统，雨水收集净化流程：雨水汇总管—安全分流井—截污挂篮装置—弃流过滤装置—模块蓄水池—雨水地埋一体机—阀门井—用水点。回用的雨水可用作室外道路冲洗、绿化浇洒、洗车用水，系统日用水量约为 66.8 m<sup>3</sup>/d，雨水收集池体积需要 200 m<sup>3</sup>，雨水收集池及回用系统设置在地块东南侧绿化带内。

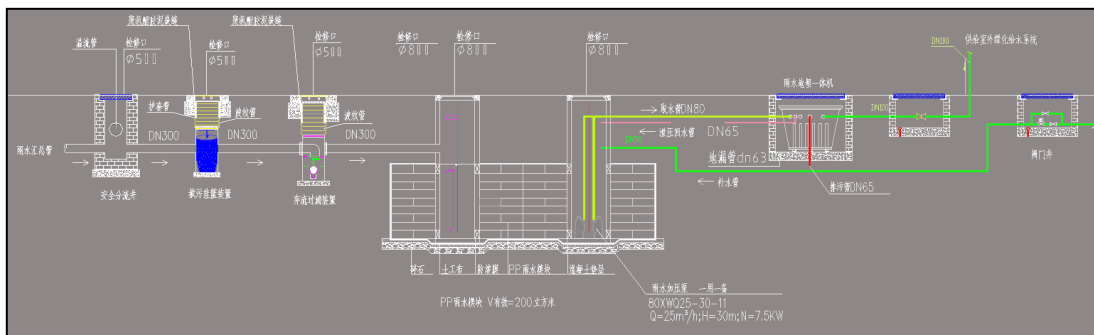


图 15 雨水回用系统图

## 6 建成效果

### 6.1 工程实景

工程竣工后实景如下图。



图 16 e 游小镇门户客厅建成实景图

### 6.2 模型评估

根据《绍兴市区海绵城市专项规划》，洋泾湖属于第 14 管控单元，其年径流总量控制率整体要求达到 78%。

搭建 SWMM 模型进行本项目建设前后的年径流总量控制率评估。加载降雨为上虞 2007.1.1~2017.12.31 共计 10 年连续分钟间隔降雨约 75 万多个数值。

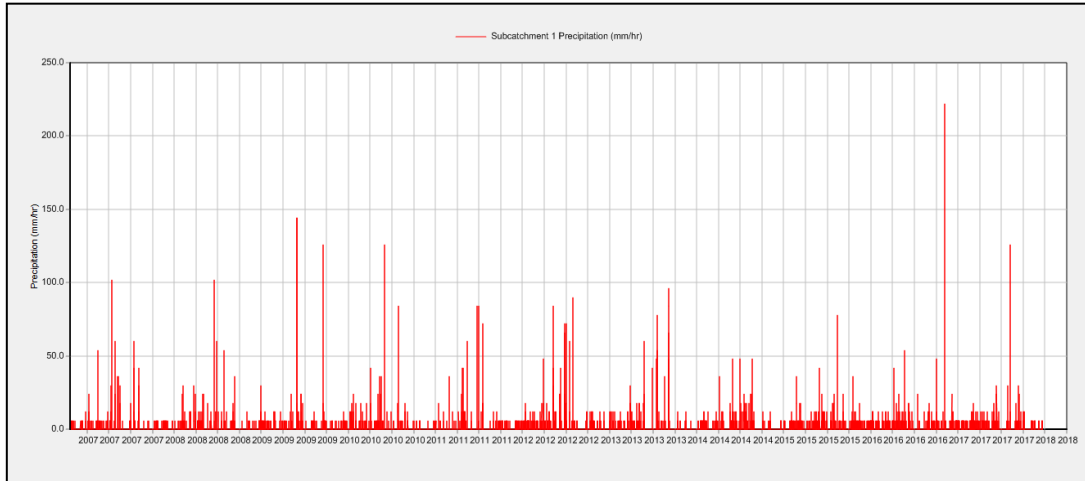


图 17 2007.1.1-2017.12.31 分钟降雨量

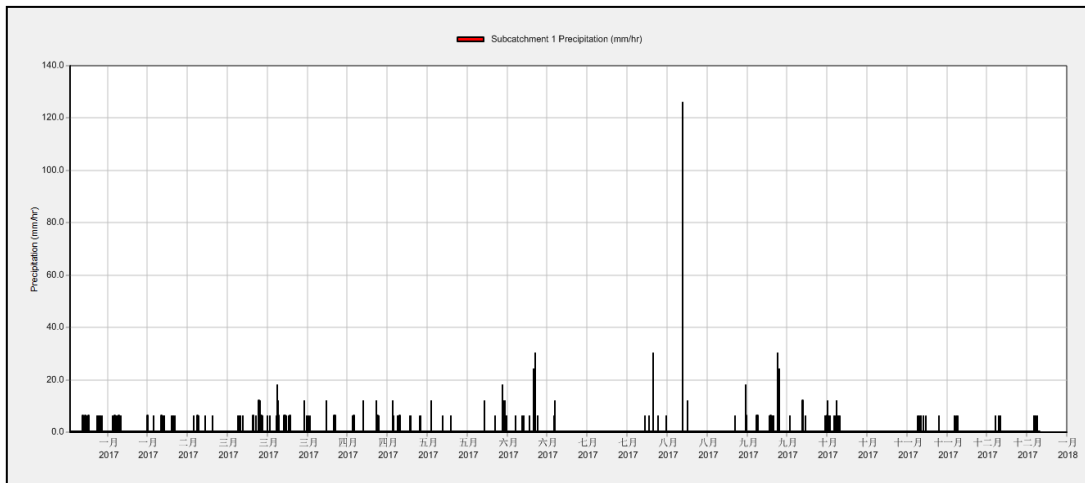


图 18 2017.1.1~2017.12.31 分钟降雨量

蒸发量采用上虞多年平均数值。

表 3 上虞区蒸发量数值表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
蒸发量 (mm)	47.9	43.8	63.4	80.5	105	83.7	103.7	108.7	83.3	75.2	48.7	47

入渗模型采用霍顿模型，按粘质粉土、植被茂密的情况，最大入渗速率取 114 mm/h；最小（饱和）入渗速率取 1.02 mm/h。

表 4 下垫面情况分析表

平面类型	道路、广场	建筑	水系	绿地	项目面积
占地面积(平方米)	44859.6	19099.5	7352.5	30562.1	101873.7
占比	44.0%	18.7%	7.3%	30%	100%

经过分析，本项目按传统开发模式下的硬化比例较高，不透水率约 63%，经模型评估，传统开发模式下的年径流总量控制率约 45%。

在建设过程中，由于采用了低影响开发措施，包括透水混凝土、生态陶瓷透水砖铺装、户外高耐竹铺装等，以及下沉式绿地海绵环，并设置自净化景观水体，以及雨水回用系统，避免了大量硬化铺装对场地雨水径流的改变，因此建设后的年径流总量控制率可以达到到 87%，满足绍兴市海绵专规要求，也达到了本项目原设定的目标 70% 以上。

表 5 建设前后的下垫面及年径流总量控制率计算表

传统开发模式	平面类型	道路、广场	建筑	水系	绿地	项目面积	
	占地面积(平方米)	44859.6	19099.5	7352.5	30562.1	101873.7	
	占比	44.0%	18.7%	7.3%	30%	100%	
	年径流总量控制率	45%					
海绵理念建设后	低影响开发措施	透水混凝土	生态陶瓷透水砖	户外高耐竹铺装	自净化景观水体	雨水收集池	下沉式绿地
	面积或体积	33010 m <sup>2</sup>	2309 m <sup>2</sup>	864 m <sup>2</sup>	10773 m <sup>3</sup> /调蓄 1077 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>	3000 m <sup>3</sup>
	年径流总量控制率	87%					

### 6.3 经济分析

本项目总投资费用 25652 万元，其中，建安投资 22869 万元。

表 6 工程投资汇总表

序号	工程或费用名称	估算(万元)	单位
一	建安工程费用	22869	万元
1-1	主体建筑	21099	万元
1-2	总图土建	56	万元
1-3	岸线整治	29	万元
1-4	室外道路停车及硬质铺装	833	万元
1-5	室外水电管线综合	246	万元
1-6	绿化	608	万元
二	工程建设其他费用	2036	万元



序号	工程或费用名称	估算（万元）	单位
三	预备费—基本预备费	747	万元
	工程总投资	25652	万元

与传统工程投资相比，本工程主要海绵设施增加的投资约 337 万元，在主体工程总投资中的占比为 1.3%。

表 1 海绵城市建设设施与传统做法投资比较分析表

序号	海绵设施 投资（元/平方米）		传统做法 投资（元/平方米）		LID 相比传统做法 增加费用（元/平方米）
1	透水混凝土路面	300	普通混凝土路面	200	100
2	透水砖路面	350	花岗岩铺装	320	30

## 7 项目总结

### 7.1 项目难点

（1）项目征地难度大：本项目原场地多为农田，因项目用地面积较大，前期征用土地工作量很大，工程前期准备时间很长。

（2）周边市政配套缺失：因外围全为新开发用地，道路、自来水、排水、电力等等配套设施不到位。

（3）项目地块地势低洼：项目整体地势低洼，易积水，积水较多时排水速度慢，需建立健全的排水系统。

（4）对海绵城市建设认识片面：江南地区雨水多，河道密布，排除积水便捷，不少人对海绵城市工程建设认识片面，需加强宣传及项目普及，让海绵城市新的建设发展理念深入人心。

（5）后期管理养护较难：本项目建设有大量透水类铺装，后期养护如不及时到位，可能造成路面透水孔隙度降低、透水率减少，无法满足设计目标要求，后期需加强透水路面的养护管理工作。

### 7.2 项目设计

本项目设计团队包含了规划、建筑、景观、市政等多专业，对海绵城市的“六字方针”有着较强的认识和实践，并在浙江省“海绵城市建设精品示范项目”典型案例现场考察中，对比了大量国家和省试点城市已建和在建项目的案例，吸取设计、材料、施工、运维和管理等多方面经验教训，较好地解决了海绵城市建设中功能与美观的结合，具体表现为以下几点：

（1）设置净化景观水体植物带，综合考虑景观水体对水质要求高和路面初雨水污染严重等实际因素，设计时设置了净化雨水的潜流水生植物带，把湖面、植物和广场路面三者空间关系进行了有效组合，既满足景观效果又体现海绵城市建设理念之一。

（2）场地内铺装面积的 80.7% 采用了透水类铺装，使雨水能更好的渗漏至土壤内，同时并在道路边侧设置传统的雨水篦子，超量雨水排入雨水篦子，绿色基础设施与灰色基础设施有机的结合，各司其职，分工协作。

（3）在场地周围设置了一圈下沉式绿地海绵环，不仅解决自身雨水净化和消峰问题，还能满足场地内溢流雨水的净化和消峰。

（4）雨水回用系统用于室外道路冲洗、绿化浇洒、洗车用水等。

### 7.3 工艺材料

本项目在实施过程中选用新技术、新材料、新工艺。比如雨水回用设施的调蓄池就摒弃了传统的钢筋混凝土结构，采用施工速度更快的蓄水模块。道路采用过滤储水式透水混凝土，在满足路面荷载的前提下，过滤并存储部分雨水。景观水体周边采用净化型的潜流植物，不仅有美化景观水体的效果，还有净化水质的效果。

### 7.4 项目施工

#### （1）景观水体

在施工过程中一定要严格控制景观水体的水深，确保植物的淹没水深，以便达到最好的净化效果，并保证长期有效。

#### （2）下沉式绿地

在施工过程中一定要严格遵守设计图纸，保证开挖深度，才能使改造效果满足预期要求；对换填土壤进行充分搅拌，以便达到最好的蓄水、滤水效果，并保证长期有效。

#### （3）透水类铺装

在施工过程中一定要确保透水类铺装的表面清洁，不能污染堵塞透水类铺装的空隙，才能使透水效果满足预期要求。

### 7.5 项目运维

后期养护主要包括道路、排水和园林等方面，各相关部门依据职责分工负责。

日常养护根据相关规定进行。如遇突发暴雨等情况，应及时监控水位情况，进行应急处理，将损失降至最低。定期对海绵设施进行专项检查，每年雨季前对溢流井进行检查，按正常养护程序持续性的开展，保证项目海绵功能的正常运行。

## 7.6 项目成效

**（1）水生态方面：**海绵城市的建设，提供了人与水的互动空间，增加了生物多样性；通过对原有农田的海绵城市理念开发建设，与原始的城市开发建设理念相比，能缓解城市热岛效应，能净化水体水质，能最大程度的对水系进行连通，增加水域面积率。

**（2）水环境方面：**海绵城市建设后，雨水径流污染得到控制，水质有明显提升。

**（3）水资源方面：**雨水有组织地排放至下沉式绿地以及潜流湿地中滞纳净化，因此部分雨水通过景观水渠中进行调蓄利用，有效地提高了雨水资源利用率；同时经过净化后的雨水用作景观补充水，节约城市自来水供应，减轻城市生活供水压力。

**（4）水安全方面：**通过径流组织将雨水引入景观水系蓄存，缓解市政雨水管网压力，降低积水风险和城市暴雨内涝灾害。

**（5）水景观方面：**在景观方面，由于海绵城市建设理念引入后，增加了景观植物的多样性，增加了景观视角的层次错落感。

**（6）水文化方面：**本工程作为e游小镇建设中的先期启动工程，通过宣传介绍海绵城市的相关知识，使得居民在游玩的同时，能够增加对海绵城市的了解，提高公众的环保意识，增加了人民群众的获得感，提高各方人士的参与性。

## 7.7 示范意义

本项目作为浙江创建特色小镇开发建设新模式的尝试和实践。同时，为e游小镇后续开发建设提供新理念、新方法、新样板。

# 4

## 台州湾循环经济产业集聚区东部新区 海城大道海绵城市建设

**项目位置：**台州市集聚区，起于月湖北路，止于台州湾大道

**项目规模：**设计长度 1484 m (规划红线宽度 50 m)

**实施时间：**2018年10月



台州湾循环经济产业集聚区东部新区海城大道海绵城市建设作为台州市城市道路类海绵城市建设项目，通过系统性分析，科学合理的编制了海绵城市建设方案。综合考虑“渗、滞、蓄、净、用、排”等技术措施，实现道路雨水的综合控制，同时展示较好的景观效果，突出技术功能性与景观协调性的统一，可为台州湾循环经济产业集聚区东部新区，乃至浙江省城市道路类，尤其是城市主干道海绵城市建设项目提供技术指导。

### 1 基本情况

#### 1.1 项目背景

为牢牢把握建设“山海水城”的战略目标，台州市政府高度重视学习吸收海绵城市建设理念，抓住中央大力推行海绵城市建设的历史机遇，先行先试，在市

内台州湾循环经济产业聚集区东部新区、温岭东部新区等重点区域率先开始了一批海绵城市建设。同时，积极组织编制了《台州市海绵城市专项规划》，作为城市规划管理的重要组成部分，统筹台州市海绵城市的规划建设。此专项规划明确了东部新区年径流总量控制率目标等核心控制指标，并将东部新区核心区列入台州市近期海绵城市建设重点区域。

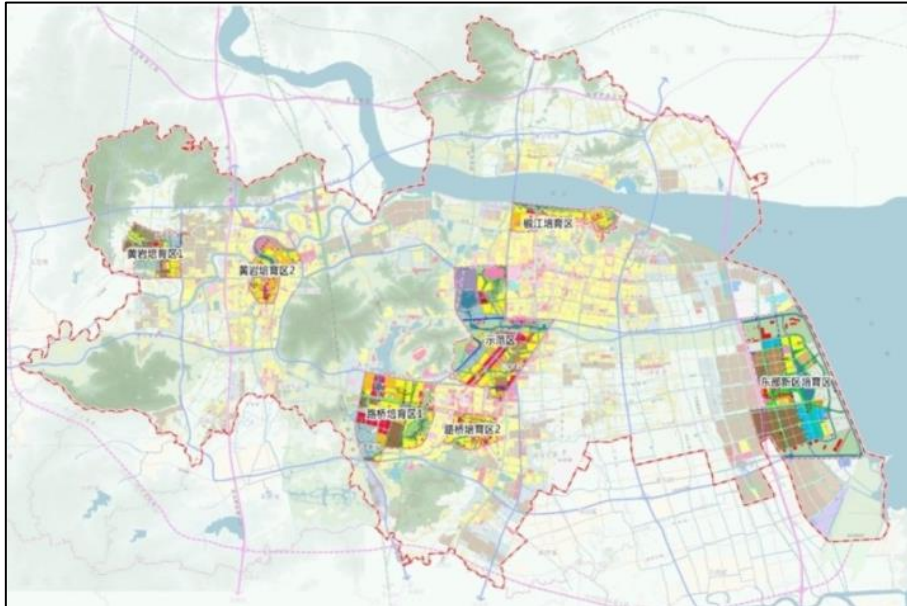


图1 台州市海绵城市建设示范区

东部新区地处金清河网平原的滨海滩涂区，本底生态环境脆弱：滩涂盐碱化严重，生态修复压力大；河网末端承泄区，水质水量受上游影响大；受风暴潮影响，城市安全保障要求高；海岸线长，海水入侵面广。因此，集聚区高度重视海绵城市规划建设，力求通过海绵城市建设，系统解决东部新区水生态、水环境、水安全、水环境问题，实现“生态水城、月湖绿岛、服务中枢”的目标。

这些目标的实现，必然要求全方位推进海绵城市的建设，以东部新区月湖及周边水系为骨架，向城市建设区每一个项目渗透和延伸，在屋面、场地、绿地、道路、水系、湖泊、湿地等项目中同步规划设计建设“海绵体”。

## 1.2 项目概况

海城大道位于台州市集聚区，设计起端为月湖北路，终端为台州湾大道，设计长度1484 m，规划红线宽度50 m，道路两侧绿化景观带宽约30 m，道路等级为城市主干路。

海城大道设计范围内主要相交道路主要有月湖北路、环湖东路、台州湾大道、1条红线宽24 m的规划道路以及2条红线宽16 m的规划道路，横跨月湖处宽度约113 m。



图2 项目区域位置示意图

### 1.3 建设条件

#### 1.3.1 地形地貌

产业集聚区背靠台州市主城区，地势由西向东缓坡倾斜，境内地貌以冲击平原、滩涂为主，东侧沿海地带带有绵长海岸线和众多岛屿。

规划区属典型的海积平原，地势平坦，除散落大小不等的陆屿孤丘外，海拔均在5.0 m以下，河道纵横密布，呈水乡泽国风貌。西片地势低平，地面标高在2.0 m~3.0 m。

围垦区位于椒江口南岸，东濒东海。围区涂面平坦宽阔，勘探范围涂面高程在-2.0 m~1.5 m间变化，西高东低呈缓坡状向大海延伸，属淤涨型滩涂。

#### 1.3.2 水文水系

项目区内雨量充沛，年降水日数132~171天，年降水量介于1185 mm~2029 mm之间，多年平均降水量1632 mm。年内降水集中在两个明显的雨期：5月下旬至6月下旬为“梅雨期”，降水量超300 mm，占全年降水量的20%，年际变化稳定，相对变率为30%；8月上旬至9月中旬，为“台风雨期”，降水量350 mm，占全年降水量的23%，年际变化比较稳定，相对变率为40%~60%之间。多年平均6~9月降水量占全年总量的54.8%。

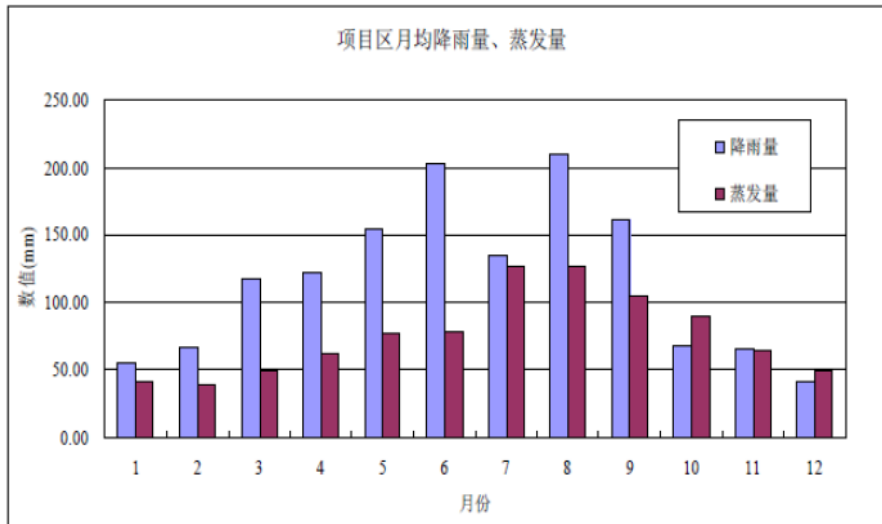


图3 项目区多年平均月降雨量、蒸发量图

### 1.3.3 土壤地质

区域位于椒江区东海岸、椒江口南岸，海域开阔，岸线较平直、潮滩发育，水深大多小于 10 m，属于河口近潮坪地貌类型。围区东濒东海，南连青龙浦，围区西侧为十塘坝、九塘坝，东侧为十一塘坝，北侧为台州湾大道北段。项目区涂面平坦宽阔，涂面高程在-1.99 m~1.73 m 间变化，属淤涨型海涂；拟建隔堤高程约为-2.00 m~1.00 m；已建海堤高程约为 8 m，堤顶宽度约为 6 m。项目建成后区域高程在 3.8 m~4.0 m 左右。

### 1.4 现状条件分析

项目所在区块具有以下特点：

- ① 地形平坦，本项目道路设计地面高程一般在 3.4 m~5.0 m。
- ② 河网水系发达，规划水面面积率大。
- ③ 汇水区域面积小，地块与河网联系紧密。
- ④ 地下水位及规划河道水位较高（10 年一遇涝水位 2.5 m 左右）。
- ⑤ 道路雨水管网系统排出口多采用淹没出流或半淹没出流。
- ⑥ 本项目位于海沙填筑区，局部区块石渣、渣土回填，部分地段为吹填区，淤泥层厚度大，决定了此地区土壤粘性较强，渗透性差（淤泥渗透系数一般为  $10^{-5}$  cm/s~ $10^{-8}$  cm/s）。
- ⑦ 极端天气多，具有强降雨天气多、长历时降雨、台风频率大等气候特点。



图5 海城大道建设现状场地图



图6 东部新区现状航拍图

## 2 问题与需求分析

### （1）水生态保持形势严峻

聚集区河道水系大部分为人工开挖河道，除去自然降水外，几乎没有外来补给自然水源，河水流动性较差，河道自然净化能力较弱，且东部新区大部分为高强度开发区，如果采用传统的建设模式，将会有较多的污染物进入水体，对水体造成严重污染。

### （2）水安全保障与水环境改善有待提高



本项目建设区为新填海区，创建海绵城区的目的旨在实现城市建设开发与自然保护的协调统一：在尊重本地水文特点的前提下，修复和保护自然生态，推广和应用低影响开发建设模式，加大城市径流雨水源头减排的刚性约束，建设生态排水设施，充分发挥城市绿地、道路、水系等对雨水的吸纳、蓄渗和缓释作用，有效缓解内涝、削减径流污染负荷、节约水资源、保护和改善城市生态环境，成为东部新区生态文明建设的重要组成。

海绵城市建设是落实习总书记生态文明建设号召的重要体现，是“治污水、防洪水、排涝水、保供水、抓节水”五水共治理念的顶层设计，对台州市乃至浙江省均有重要的示范意义。本设计通过径流组织将雨水导入 LID 设施积蓄，恢复项目建设前的雨水微循环，缓解雨水管网压力的同时打造集约用地、绿色友好的城市一体化空间，提升城市品质。

聚集区内河网水系发达，区域水系相对独立，根据《台州湾循环经济产业集聚区东部新区协同规划之水系统规划》，东部新区红线范围内（61.7 km<sup>2</sup>）水面总面积约为 7.41 km<sup>2</sup>，水面率达 12%，整体水系布局见下图。



图 7 聚集区水系布局图

### 3 海绵城市建设目标与原则

#### 3.1 控制指标

(1) 年径流总量控制率目标：根据《东部新区海绵城市专项规划》内的指标控制要求，海城大道年径流总量控制率设计目标为 83%。

(2) 年径流污染削减率目标：年径流污染削减率=年径流总量控制率×海绵城市设施对 TSS 的平均去除率。台州市年径流污染削减目标如下表：

表1 市政道路类建设项目雨水径流污染控制目标表

道路等级	污染物控制（以SS计）
城市支路	36%
城市主干道、城市次干道	40%

考虑到东部聚集区为高强度开发区，建设力度较大，污染物累计速率较快，本次设计将聚集区年径流消减目标提高到50%。

### 3.2 设计原则

（1）海绵城市设计结合红线内外绿地空间、道路纵坡和标准断面、市政雨水系统布局等，充分利用既有条件进行合理设计，确定海绵设施的形式与规模。

（2）在满足道路基本功能的前提下，达到相关规划和条文提出的海绵城市建设目标与指标要求。道路径流雨水进入道路红线内外绿地内海绵设施前，采取必要的措施对进入绿地内的径流雨水进行预处理，防止径流雨水对所建系统造成不利影响。

（3）绿化带布置充分考虑海绵城市建设要求，在满足径流控制的前提下，梳理优化设施布局，以打造较好的道路景观效果。

## 4 海绵城市建设方案设计

### 4.1 目标可达性分析

（1）海绵城市建设提倡推广和应用低影响开发建设模式，加大对城市雨水径流源头水量、水质的刚性约束，使城市开发建设后的水文特征接近开发前，有效缓解城市内涝、控制面源污染，最终改善和保护城市生态环境，实现新型城镇化建设与生态文明的协调发展。

（2）在“源头减排、过程控制、末端治理”的海绵城市建设全过程中，雨水的“渗、蓄、滞、净、用”等技术措施的综合效益，主要体现在城市降雨的体积控制等方面。

### 4.2 雨水径流组织模式

海城大道雨水径流组织设计中充分利用道路外侧绿化带，将人行道雨水引入到道路外侧雨水花园等海绵设施进行消纳，机动车和非机动车道雨水通过横坡直接排入下沉式绿化带，绿化带内雨水部分下渗，超标雨水通过绿化带内溢流雨水口溢流进排水管网。场地雨水径流组织模式如下图所示：

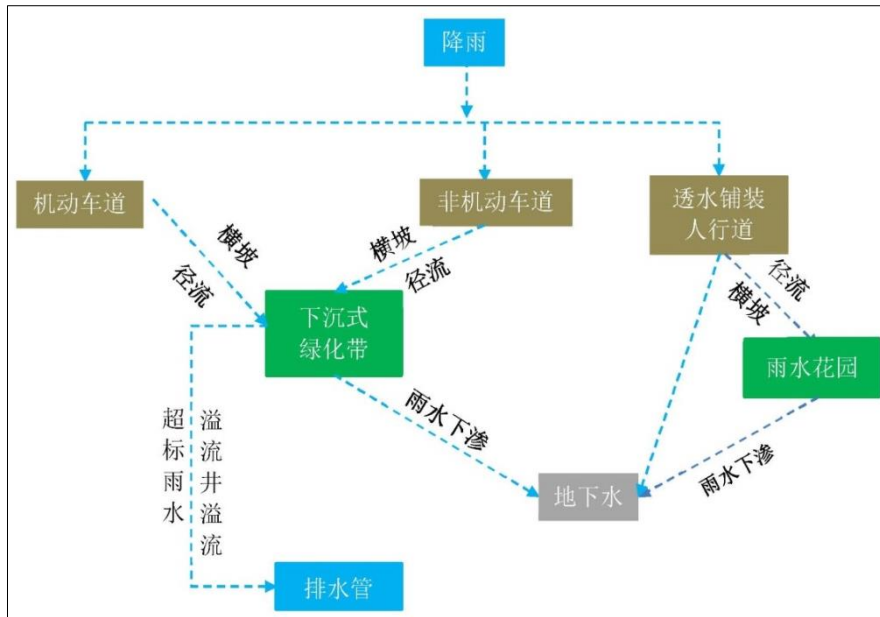


图8 海城大道雨水径流组织模式图

根据海城大道雨水径流组织模式布置海城大道海绵城市布局图，具体设置形式如下图所示。

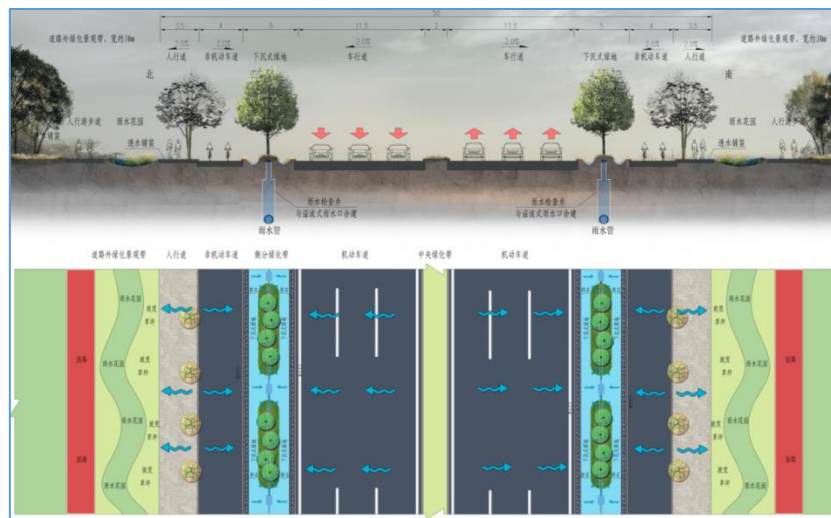


图9 海城大道海绵城市建设平面布局图

### 4.3 汇水分区划分

根据海绵设施设置情况，将海城大道分为7个不同汇水分区。海城大道汇水分区及海绵设施布置情况见下图表所示。

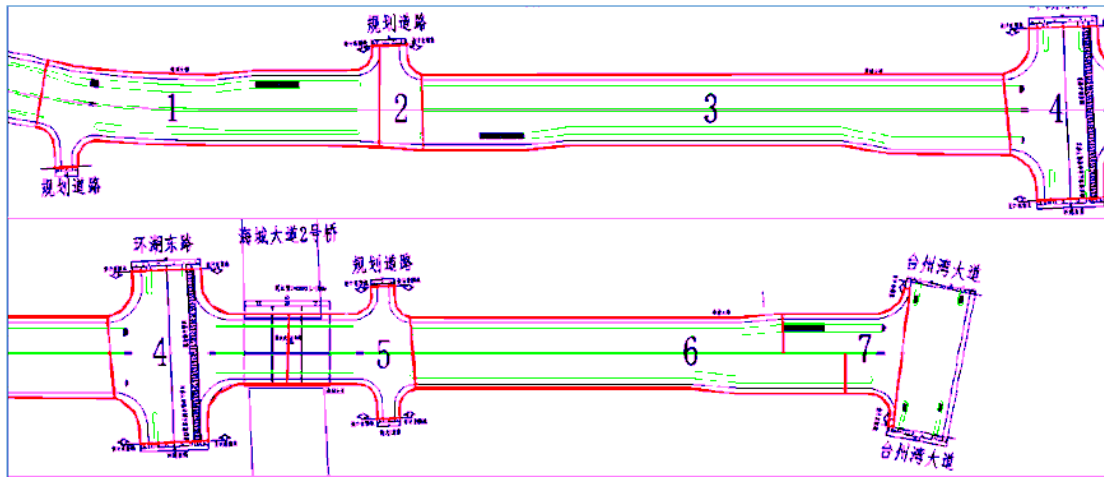


图 10 海城大道海绵城市建设分区

表 2 海城大道各个汇水分区海绵设施建设分析表

汇水分区	透水铺装面积 (m <sup>2</sup> )	下沉式绿地面积 (m <sup>2</sup> )	调蓄深度 (m)
分区 1	1648	500	0.3
分区 2	220	0	0.3
分区 3	2875.3	1464.8	0.3
分区 4	570	0	0.3
分区 5	376	0	0.3
分区 6	648.7	883.2	0.3
分区 7	500	0	0.3

#### 4.4 海绵设施选择

##### 4.4.1 透水铺装

透水铺装的多孔隙特性，为其过滤净化雨水、渗透雨水、存蓄滞留雨水、消纳周边雨水提供了良好的条件。既为城市景观布局提供了更宽松的规划条件，又能够达到削减径流、截污减排的目的，也可起到调温、调湿、减尘的作用。

考虑到透水沥青造价高且两侧收集管易堵塞，难检修等特点，本次设计暂不考虑采用透水沥青。本工程在道路人行道采用透水砖铺装，透水铺装结构应符合《透水砖路面技术规程》(CJJ/T 188)的规定，其中，设计人行道总厚度 39 cm：包含 6 cm 透水砖+3 cm 中粗砂+15 cm C20 透水混凝土+15 cm 级配碎石。

透水铺装路面设计同时满足路基路面强度和稳定性等要求。透水铺装的构造如下图所示。

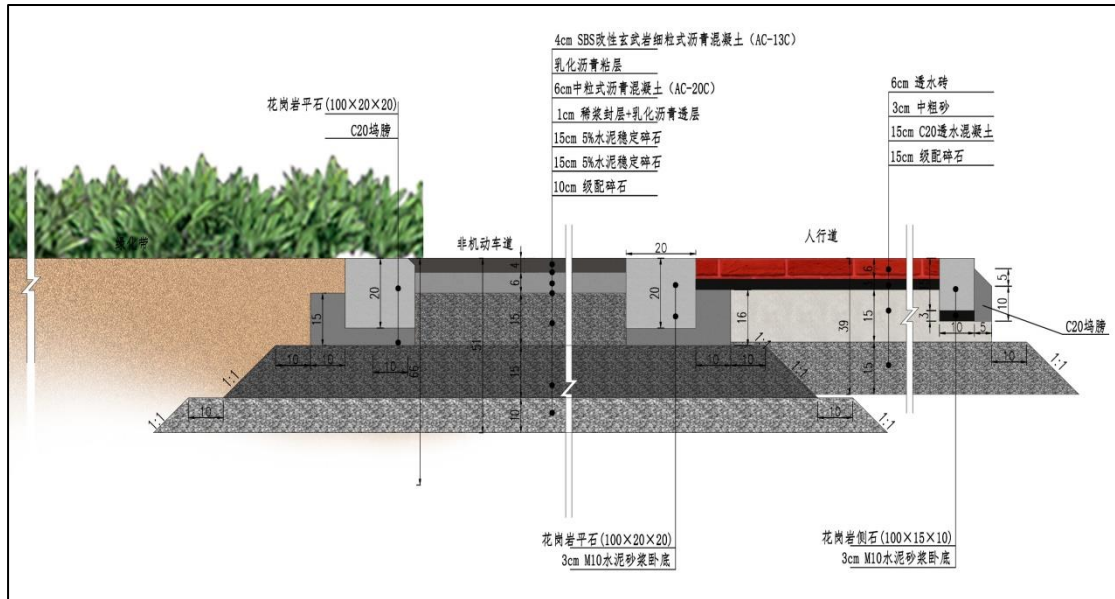


图 11 透水铺装设计

#### 4.4.2 下沉式绿地

常规的下沉式绿地做法虽然满足了海绵城市的功能需求，但是也间接影响了绿化的整体协调性，在目前台州东部已实施的海绵城市过程中，景观协调性问题也逐渐暴露出来，主要冲突点在于：侧分绿化带内及要满足绿化景观要求，同时也要兼顾海绵城市的功能性要求，如何协调统一。

其中，生物滞留设施是较复杂的下沉式绿地形式，是一种通过植物、土壤、填料和微生物系统蓄渗、净化路面径流雨水的设施。净化后的雨水渗透补充地下水或通过系统底部的穿孔收集管输送到市政系统或后续处理设施。

(1) 常规设计中主要突出问题如下：

- ① 绿化带内种植植物容易发生旱死与涝死情况。
- ② 实施海绵城市后，破坏了原有的景观效果。
- ③ 侧石局部开口，导致水流集中冲刷绿地，破坏植被，破坏景观效果。
- ④ 路面杂物、脏物容易通过侧石进入绿化带内，影响整体的景观效果。



图 12 东部新区已实施下沉式绿地做法



图 13 常见下沉式绿地做法示意图

(2) 本设计需解决的主要问题分为以下两部分：

① 初期雨水污染物含量较高，易出现于污染物附着在土壤表层，形成土壤板结问题。

为此，设置初期雨水弃流设施。初期雨水弃流指通过一定方法或装置将存在初期冲刷效应，污染物浓度较高的降雨初期径流予以弃除，弃流雨水应进行处理，如排入市政污水管网由污水处理厂进行集中处理。

本设计采用初期雨水弃流措施对初期雨水进行收集净化，净化后雨水再进入下沉式绿地进行二次净化处理，以提高的降雨径流中污染物去除率。

初期雨水弃流设施是指在达到消减径流峰值流量和延缓径流峰值出流时间的基础上，进一步延长雨水在调节设施内的放空时间（一般是 24 h~72 h 匀流缓排），以实现水质控制和下游河道保护的为目的的新型海绵设施，是延时调节工艺的一种应用方式；根据应用环境和具体条件，设施形式有多种选择，包括塘、池、沟、管等。设施设置于地表浅层，不影响地表景观表达；污染较重的前期雨水直接进入调蓄设施，不会对绿地环境造成破坏；设施底部沉积的污染物周期性自动排出，避免了因污染物长期积聚而造成的二次污染；整个系统可实现全自动运行，不需外部能量消耗，大大降低管理维护成本。

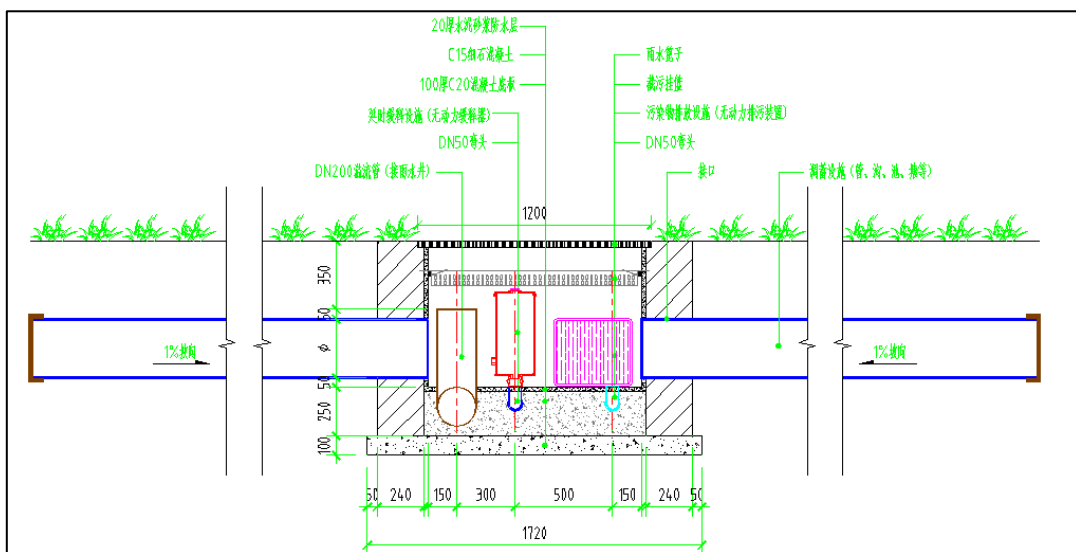


图 14 初期雨水弃流设施示意图

② 如何保证下沉式绿地内有较好的海绵功能，同时也能保证植物的景观效果。

整体考虑，侧分带分为两大功能区，中间以种植植物为主，每隔一段距离设置雨水花园作为集中雨水收集区，并在雨水花园内设置溢流式雨水口，超标雨水通过溢流雨水口进入雨水管道系统。

本设计中海城大道侧分带不做侧石，水力条件较好，雨水能较好的成线型流入到下沉式绿化带内，避免因侧石开口带来的水流集中冲刷影响，在下沉式绿地两侧设置碎石带，一方面可以截流部分进入绿地内的污染物，另一方面可避免下沉式绿带内的杂物的溢流。

结合景观设计，在雨水在侧分绿化带内两侧设置生物滞留带，海城大道两侧生物滞留带宽度分别为 1.5 m，海豪路两侧生物滞留带宽度约为 1.25 m。生物滞留带结构层为 600 mm 介质土+50 mm 碎石(碎石粒径 5-8 mm)+500 mm 碎石(碎石粒径 15 mm ~30 mm) +200 mm 砾石层（粒径 30 mm~50 mm）。中间为种植土层，主要种植景观绿化植物，底部种植土层可根据现场施工需要做一定的坡度倾斜。



图 15 侧分绿化带海绵城市效果图

下沉式绿地整体形成海绵功能与景观功能的有机结合，既可以满足海绵城市的基本功能要求，也避免了海绵设施建设对绿化景观的破坏。具体下沉式绿地示意图见图 16。

场地内采用两侧布置下沉式绿地，一是可以增加下沉式绿地的整体下面渗面积，以满足年径流总量的控制要求，二是分侧布置，可以与景观协调布置，以达到较好的整体景观的协调性。



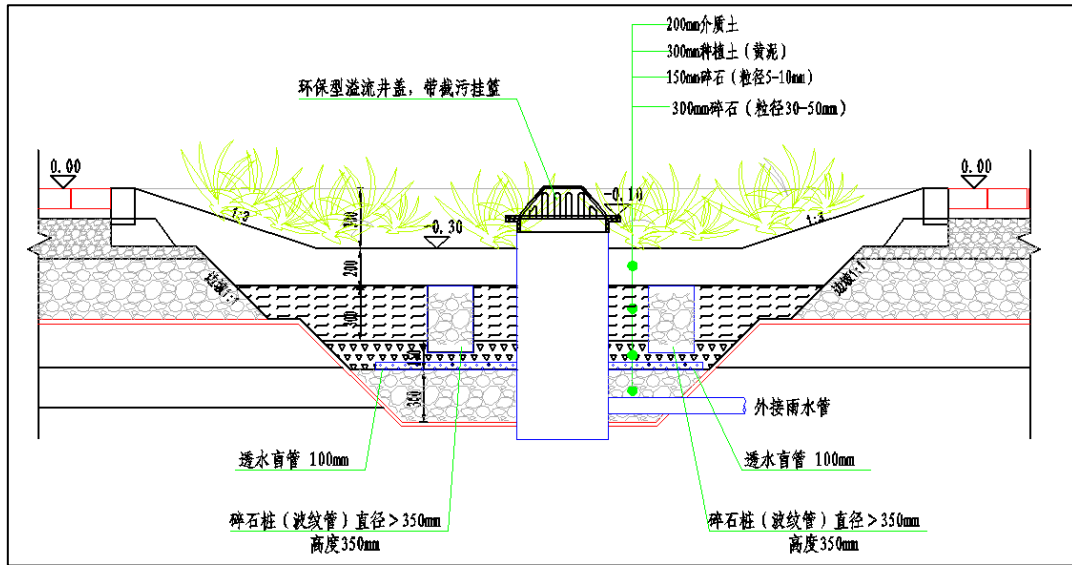


图 16 下沉式绿地示意图

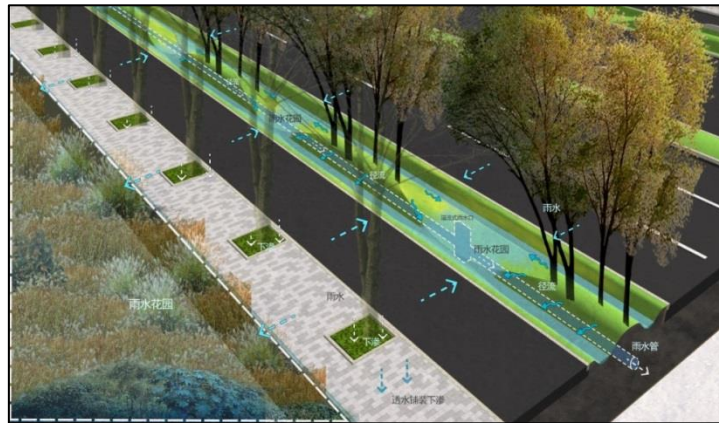


图 17 下沉式绿带径流模型分析图

#### 4.4.3 雨水花园

本设计中，雨水花园根据道路上雨水径流功能分区，分为道路侧分带下沉式绿地内的雨水花园与道路红线外的雨水花园。下沉式绿地内雨水花园：根据推荐方案设计，下沉式绿地内每隔一段距离设置雨水花园，一方面提升整体的景观效果，另一方面用以蓄积雨水下渗和排出超标雨水。同时在结构层内设置碎石桩，提高整体雨水下渗能力。溢流式雨水口井盖采用环保型井盖，如图 18 所示。

因海城大道道路外侧有可利用的绿化用地，考虑海城大道人行道雨水径流至道路外侧雨水花园内进行消纳。经测算，海城大道人行道径流至道路外侧的雨水花园的径流雨水量为  $78.12 \text{ m}^3$ ，考虑雨水花园设置宽度约为  $2.0 \text{ m}$ ，调蓄深度为  $30 \text{ cm}$ ，即设计调蓄容积为  $90 \text{ m}^3$ ，满足径流雨水的调蓄要求。路外侧雨水花园结合景观设计，可做成带状形式，形成良好的海绵景观带。



图 18 环保型井盖示意图



图 19 雨水花园示意图

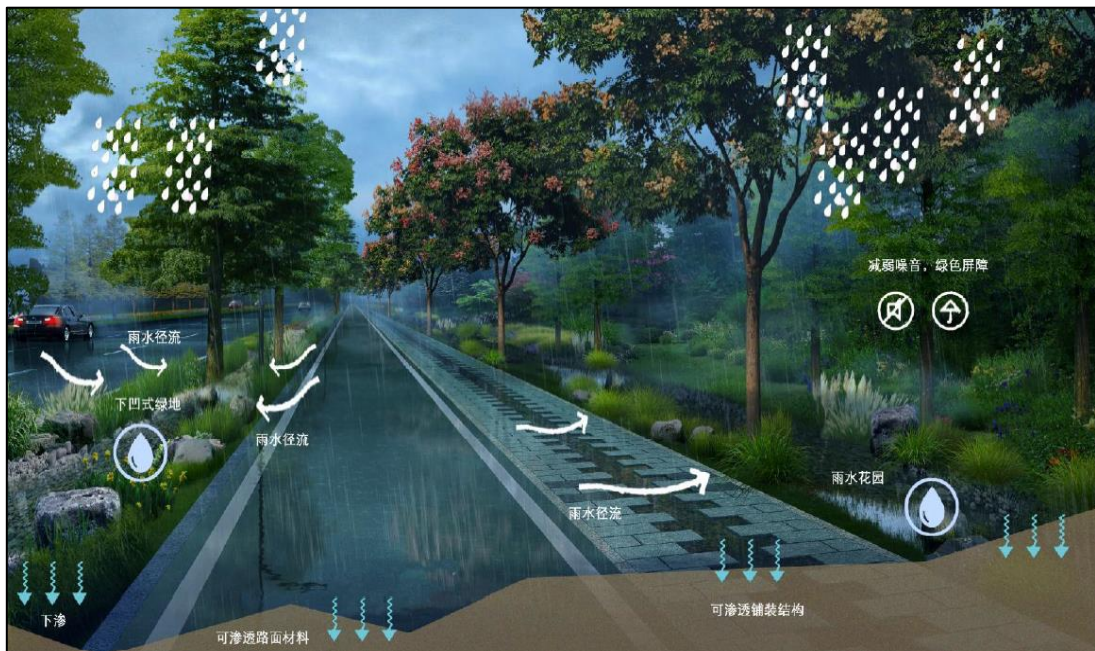


图 20 雨水花园接纳雨水径流示意图

#### 4.4.4 生态排出口/净化湿地

月湖片区水系作为东部新区主要的景观水系，对于水质的要求较高，且月湖水系整体生态修复能力不强，对于排入水系的污染物去除净化作用较慢。以海城大道排入星瑞泾雨水排出口为例，采用生态型排出口设计，根据星瑞泾水系周边绿化带宽度测算，星瑞泾两侧绿化带宽度约为 35 m，为生态排出口的设计提供了较好条件。

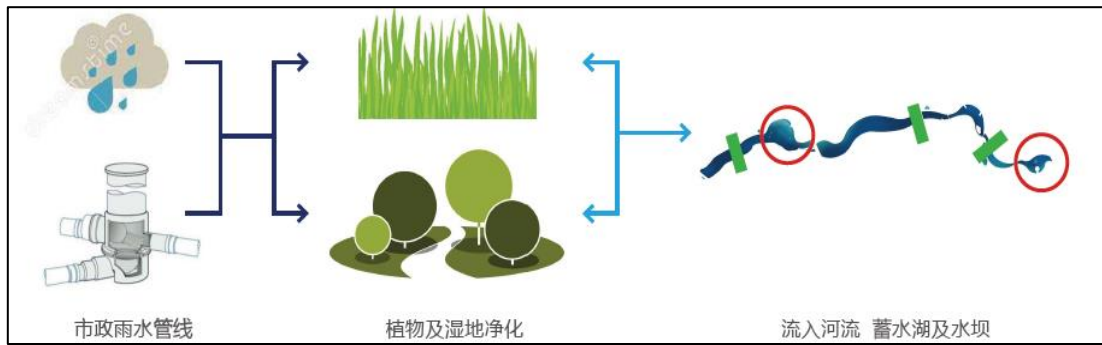


图 21 净化湿地平面示意图

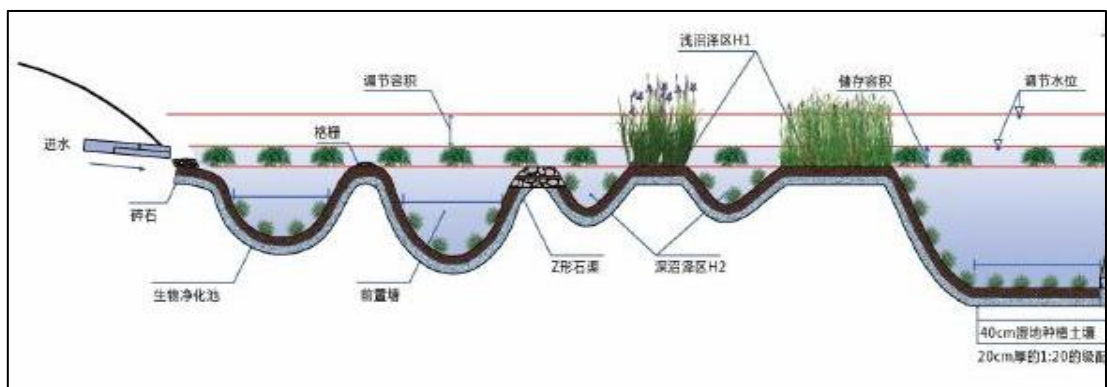


图 22 净化湿地剖面图

生态排出口位置根据雨水管线的布置情况进行设置，主要位于海城大道、海豪路在晨曦泾的排出口以及海豪路在星瑞泾的排出口。根据雨水管管道设计排水能力，取湿地表面水力负荷为  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ，所需湿地面积约为  $250 \text{ m}^2$ ，停留时

间为 4 d~8 d，湿地水深宜为 0.4 m~1.6 m，湿地的水力坡度宜为 0.5%~1%，湿地整体设计为深浅交替模式，更好地对污染物进行去除，降低进入水体的污染物含量。

#### 4.5 海绵城市设计计算

##### 4.5.1 年径流总量控制率计算与校核

结合雨水花园、透水铺装等海绵设施的布置，计算场地设计调蓄容积。

表 3 海城大道各个汇水分区海绵设施建设分析表

排水分区	透水铺装/m <sup>2</sup>	下沉式绿地面积/m <sup>2</sup>	调蓄深度(m)	综合径流系数	初期雨水弃流设施 V (m <sup>3</sup> )	调蓄容积 (m <sup>3</sup> )
汇水分区 1	1648	881.4	0.3	0.7	0	264.4
汇水分区 2	220	0.0	/	0.83	61.4	61.4
汇水分区 3	2875.3	2637.0	0.3	0.66	0	791.1
汇水分区 4	570	0.0	/	0.82	311.1	311.1
汇水分区 5	376	0.0	/	0.81	155.7	155.7
汇水分区 6	648.7	1590.0	0.3	0.71	0	477.0
汇水分区 7	500	0.0	/	0.72	100.1	100.1
汇总	8126.2	5108.3	0.3	0.72	0	<b>2160.8</b>

根据分区实际调蓄容积计算表可以得出，海城大道总调蓄容积为 2160.8 m<sup>3</sup>。

$$W=10\Psi_c \times h_y \times F$$

可得，海城大道径流控制深度为  $h_2=2160.8/(10 \times 0.72 \times 6.97)=43.1$  mm。

查阅多年平均径流总量控制率与设计降雨量对应关系曲线图，海城大道控制降雨为 43.1 mm，对应的实际年径流总量控制率为 85.6%，大于年径流控制率的目标 83%，并且海城大道在人行道外侧间隔布置雨水花园，部分人行道雨水能通过雨水花园下渗，实际年径流控制率略大于 85.6%，因而能够达到控制目标，满足规划要求。

##### 4.5.2 年径流污染削减率计算与校核

年径流污染削减率的计算可按下式计算：年径流污染削减率=年径流总量控制率×海绵城市设施对 TSS 的平均去除率。其中，确定所选海绵设施的污染物去除率时，需要根据设施特点，结合当地条件进行专门研究后提出。根据台州市《东部新区海绵城市建设专项规划》，当条件不具备时，可按照下表取值。

表4 海绵设施污染物去除率取值表

低影响开发设施	污染物削减率 (以SS计, %)	低影响开发设施	污染物削减率(以SS计, %)
透水砖铺装	80%~90%	蓄水池	80%~90%
透水混凝土	80%~90%	雨水罐	80%~90%
透水沥青	80%~90%	植草沟	35%~90%
绿色屋顶	70%~80%	渗透管/渠	35%~70%
生物滞留设施	70%~95%	植被缓冲带	50%~75%
湿塘	50%~80%	初期雨水弃流设施	40%~60%
人工土壤渗滤	75%~95%		

本次采用的生物滞留设施去除率取80%。海城大道所控制的雨水径流全部经过生物滞留设施，道路年径流污染削减率如下：年径流污染削减率=85.6%×80%=68.5%。根据计算结果，年径流污染削减率均满足50%污染物去除率要求。

## 5 建设效果与经济性分析

### 5.1 建设效果

经过海绵城市建设后，海城大道将成为城市道路类海绵城市建设项目的典型示范，在水生态、水环境、水安全、水资源等诸多方面得到提升，整体建设效果如下所示：



图21 海城大道建成后效果图

## 5.2 经济性分析

海绵城市建设在维持传统实施功能的基础上，适当增加海绵设施建设成本，总体实施造价把控，力求实现其经济性与技术性的统一。经计算，本项目单位长度建安造价为 5310 元/m，具体建设成本分析如下所示：

表 5 海城大道海绵城市建设项目工程造价表

序号	项目名称	费用（万元）	单位	数量	单价（元）
一	人行道透水铺装	175	m <sup>2</sup>	8272	220
二	初期雨水弃流设施	150	个	80	18750
三	溢流式雨水口	20	个	100	2000
四	景观绿化工程				
1	绿化	353	m <sup>2</sup>	18830	400
2	苗木	94	棵	188	5000
五	建安工程费	788		/	

## 6 项目总结

本项目为城市道路类海绵城市建设项目，海城大道是台州市东部新区主干路，也是台州市海绵示范区道路，具有一定的代表性，可为海绵建设提供参考样板。

### 6.1 项目难点

台州东部聚集区位于填海区，属于新开发区块，区域内初期降雨的污染较大，且聚集区地下水位较高，雨水下渗较困难，对道路建设海绵城市造成了一定影响，主要的难点如下：

（1）初期雨水带来的径流污染比较严重，特别对于新开发的区块内道路，径流污染很容易造成土壤板结的问题，需要对初期径流污染较大的雨水进行收集处理。

（2）下沉式绿带内景观容易形成旱死涝死的情况，如何解决海绵城市与景观的协调性是本项目的难点。

### 6.2 项目设计

针对台州特殊的水文气候条件，海城大道海绵城市设计过程中主要体现海绵设计理念中的“滞”、“净”、“排”等，考虑台州东部聚集区为新开发区块，雨水的初期污染严重，如果单纯采用下沉式绿地进行消纳降解，很容易造成绿地内土壤板结，雨水难以下渗等问题。本设计考虑初期雨水首先进入弃流设施进行固体污染物的沉淀，沉淀污染物排放至污水管道，上层雨水再进入绿地内进行蓄

积、净化和排放，这样可以极大的减少海绵设施的维护与管理费用。在海绵功能满足的前提下，对下沉式绿带内海绵设施与植物景观的搭配与构造进行进一步设计，避免了传统做法中海绵设施的建设容易破坏整体绿化景观的问题。同时，下沉式绿带采用功能分区的方法，将植物种植区与海绵功能区分开设置，5 m 宽绿化带内，其中，中间 2 m 作为景观植物种植区，两侧各 1.5 m 区域为下沉式绿地区，主要体现海绵功能性，这样使得植物景观更加容易搭配。每隔一段距离设置雨水花园，既丰富景观效果，也可以集中对雨水进行进一步的消纳。

### 6.3 海绵材料

本设计采用了多种海绵材料，人行道采用透水铺装，下沉式绿带内雨水花园加入碎石桩设计，可以加快雨水下渗。溢流时雨水口也采用海绵城市新型做法，溢流式雨水口采用环保型井盖。设计过程中侧分绿化带不考虑做侧石，雨水能通过线型排水方式进入下沉式绿地内，绿地两侧做卵石缓冲带，考虑采用透水混凝土加以固定。

### 6.4 项目建设

海城大道海绵城市建设项目在施工过程中要严格按照图纸施工，结合道路竖向设计，做好下沉式绿地内的施工工作。特别是雨水花园施工，注意里面碎石桩与各分层介质的相对关系，使得最终建成的效果能达到较好的海绵城市要求。

### 6.5 项目运维

组织专门的维护管理机构，定期对溢流式雨水口进行清理和检查，制定相关的管理规定，保证建成后的海绵设施正常运行。

### 6.6 项目预期成效

(1) 水环境：道路上海绵城市建成后，能对初期雨水污染物进行有效控制，污染物控制率计算达到 68.5%，有效改善区域水质。

(2) 水生态：侧分绿化带内海绵设施与景观绿化相互协调配置，能够打造较好的绿化景观效果，提升道路整体的景观品质。

(3) 水安全：道路上雨水进入侧分绿化带内进行消纳，能有效降低雨水径流峰值，缓解排水管网压力，有效降低积水风险。

### 6.7 示范意义

东部聚集区是台州市海绵示范区，海城大道作为东部聚集区主干路，海绵城市建成后将作为东部新区的示范性道路，对于区域海绵城市建设具有参考意义。本设计着重对侧分绿化带内景观效果与海绵功能的协调性进行优化探讨，同时对初期径流雨水预处理问题提供一种处理思路。项目建成后，将有效改善区域的水环境，对提高整个月湖水系的海绵景观品质具有重要意义。

# 5

## 宁波市镇海区工农小区海绵化改造

项目位置：宁波市江镇海区招宝山街道

项目规模：占地面积 38209 m<sup>2</sup>

竣工时间：2020 年底

### 1 总体概况

#### 1.1 项目概况

工农小区位于镇海区招宝山街道，小区内建筑 33 栋，该小区由食品公司职工宿舍、供电局施工宿舍、邮电局职工房、商品房组成，小区内建筑风貌迥异，各类配套设施建设标准不一。

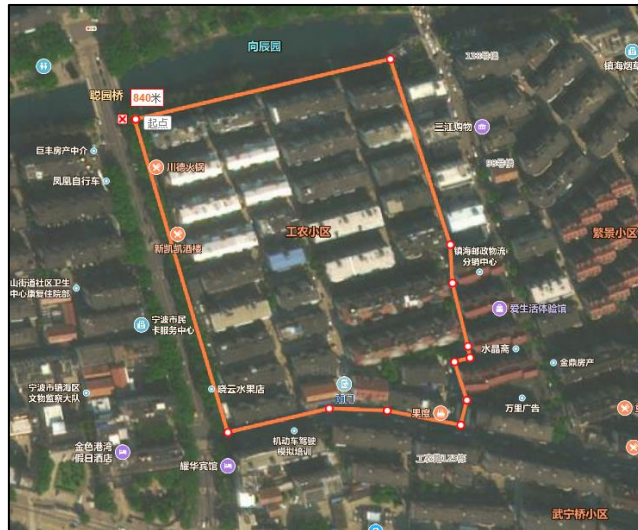


图 1 项目位置示意图

#### 1.2 项目建设必要性

为助力“剿灭劣 V 类行动”及老小区综合整治，对工农小区进行海绵化改造及雨污分流改造。以问题为导向，提升小区景观为基础，打造镇海第一个海绵化改造的综合提升样板项目。

### 2 海绵化改造

#### 2.1 现状分析

##### (1) 下垫面分析



工农小区现状建筑主要为 5 层的混凝土居民楼，建筑 33 栋，总占地面积 38209 m<sup>2</sup>，其中：房屋占地面积 14974 m<sup>2</sup>，砼路面 14583 m<sup>2</sup>，铺装面积 2157 m<sup>2</sup>，绿化面积 6495 m<sup>2</sup>。绿化覆盖率 17.08%，容积率 1.56。

表 1 工农小区改造前下垫面分析

总面积 (m <sup>2</sup> )	硬质屋面		混凝土地面		总绿化		普通砖 铺装路面		改造前综 合径流系 数	绿地 率%
	面积 (m <sup>2</sup> )	径流系 数	面积 (m <sup>2</sup> )	径流系 数	面积 (m <sup>2</sup> )	径流系 数	面积 (m <sup>2</sup> )	径流系 数		
38209	14974	0.85	14583	0.85	6495	0.25	2157	0.55	0.73	17%

(2) 竖向标高分析

小区地面高于外界，小区地势中间高两边低。

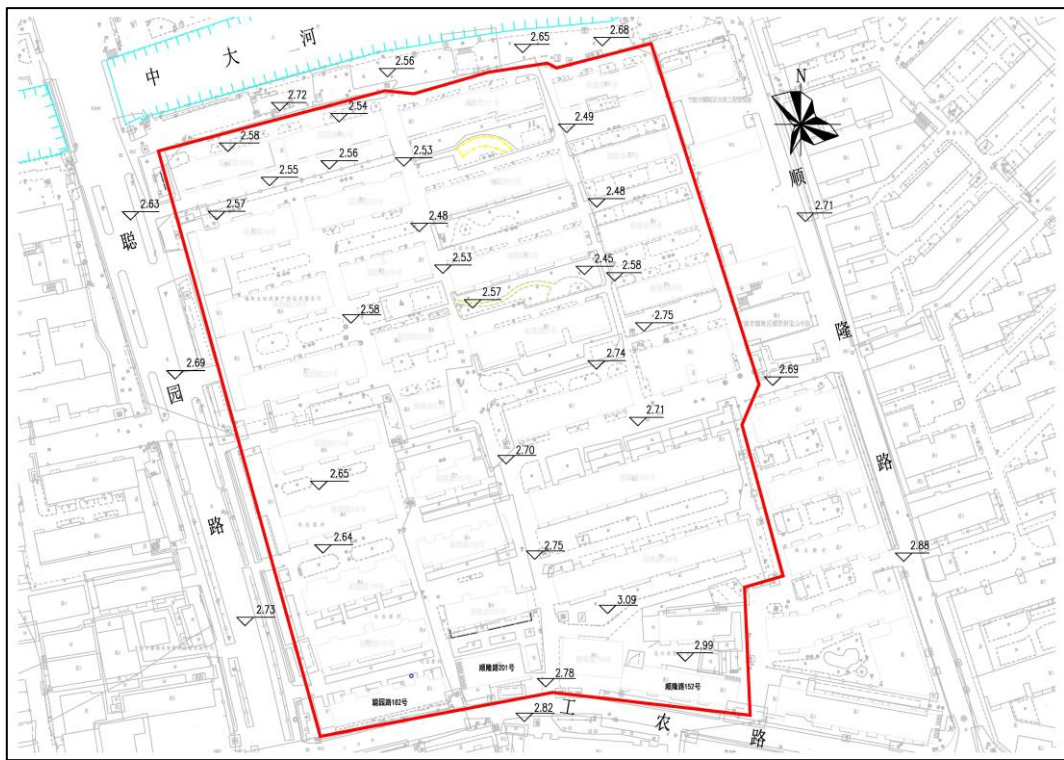


图 2 小区竖向标高

(3) 排水现状分析

小区建设于 2002 年，主要采用合流制排水，部分区域采用分流制。目前小区内部分雨水、污水立管已经破损，影响正常排水；部分区域无污水立管，导致污水接入雨水立管。南阳台缺少污水立管的情况尤为突出，导致洗衣废水无法排出，或者直接排入雨水立管中



图3 现场现状图

小区内地面坡度不平整，原状道路存在高差，部分区域地势较低，雨天易产生积水，影响居民的出行，具有一定的安全隐患。

#### （4）景观绿化现状

小区内植被绿化主要是以灌木、乔木、草坪为主，绿化面积较少且分散，现状植被长势一般，景观效果差。小型绿化带内主要是灌木和草皮；区域稍大的绿化带主要由乔木、灌木和草皮；小区西南角、东南角区块植物种植于 30 cm~50 cm 花坛，其内植物主要是乔木、灌木、草皮。

#### （5）现状停车位

小区原规划停车位为 160 个，缺失停车位 200 个左右，因此小区内违停现象屡禁不止，极大的影响了小区内交通和景观效果，需对现状用地进行改造增设一定数量停车位。



图4 景观绿化现状



图5 小区内停车现状

## 2.2 海绵改造整体构思

本项目是由政府全额出资项目和政府和居民共同出资项目。设计前期做了大量的社会调查，与社区、街道、物业、居委充分沟通，听取居民意见，了解居民诉求与建议。对小区内雨污管网进行分流改造，同时结合宁波市建设海绵城市的要求，设置LID设施，净化小区内的初期雨水，控制小区内污染物，助力“剿灭劣V类”，并将海绵城市建设融入到小区景观绿化改造中，提升小区内整体景观。

### (1) 雨水源头控制系统（径流量控制）

海绵城市的核心是合理地控制径流雨水，使雨水就地消纳和吸收利用。本项目设置高位花坛、下凹式绿地、透水铺装、雨水花园等设施，采用雨落管断接，使得屋面雨水散水排入 LID 设施内，低洼区域硬质铺装改造为透水铺装。通过下渗和植物吸附，对初期雨水中的 SS（悬浮物）及其他污染物进行净化处理。

### （2）雨水管道系统

现状合流制管道运行良好，将现状合流管道进行局部修复后作为污水管道使用，新建雨水管网。若现状管道运行不良，则新建雨水、污水管网系统。改造建筑外墙雨水立管为散水排放，接入 LID 设施。

### （3）定位构思

工农小区不仅考虑海绵化城市改造，同时将其整体环境的提升纳入到我们的设计中，保证做出“美丽的、令使用者信服的海绵”。

## 2.3 海绵工程设计

### （1）建设目标

工农小区属于老小区改造，根据《镇海区海绵城市专项规划实施方案》确定该小区的年径流总量控制率为 50%，设计降雨量 9.4 mm，年径流污染削减率为 40%。

### （2）汇水分区划分

根据屋面坡度、雨水管布置及雨水管收集区域将本项目划为 5 个汇水分区。

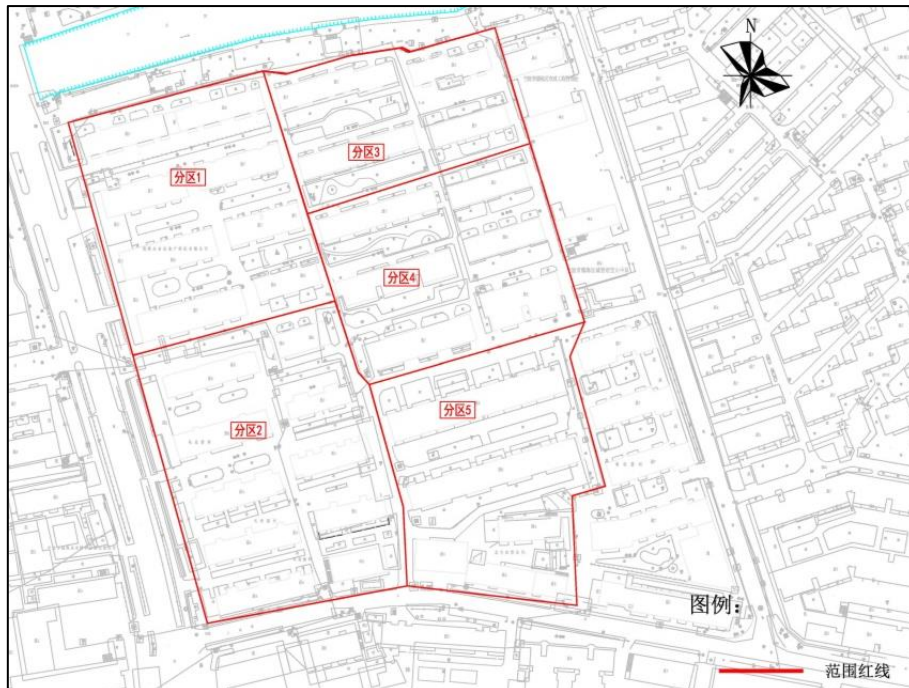


图 6 汇水分区图

### （3）LID 方案设计

本项目采用低影响开发设计理念，将雨水管网系统与 LID 设施相结合，以源头削减为主，综合中途转输、末端调蓄等手段。在此次海绵城市设计中，在不破坏原有景观效果的同时对原有功能景观设施进行改造，主要对基础土层、地表铺装及雨水管道进行结构性调整，使得雨水能够得到下渗或收集，从而达到设计目的。

小区内 LID 设施包括高位花坛、雨水花园及透水铺装。

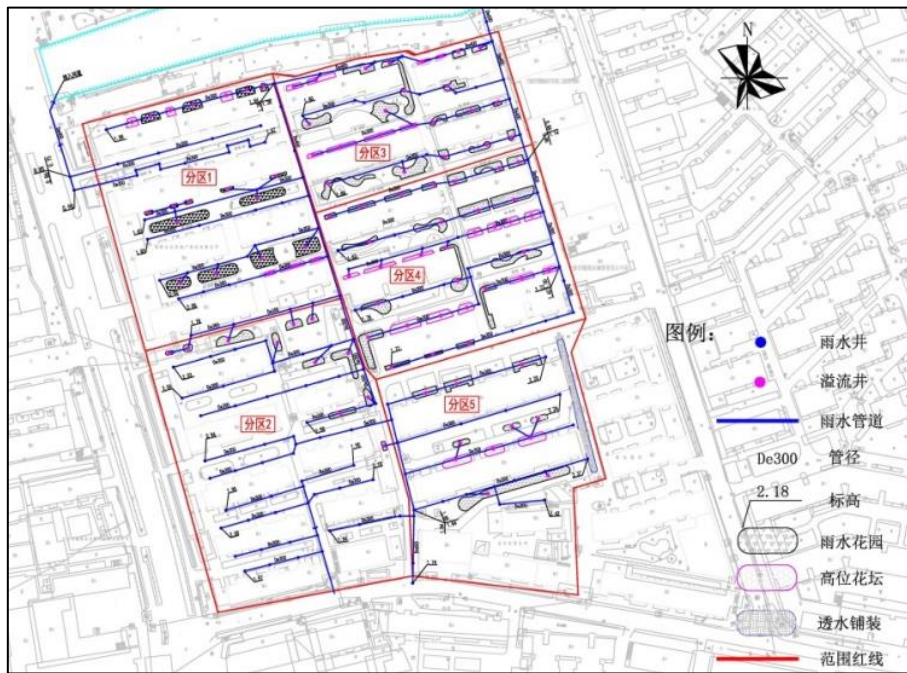


图 7 海绵设施平面布置图

本项目共设置雨水花园 2307 m<sup>2</sup>，高位花坛 567 m<sup>2</sup>，透水铺装 172 m<sup>2</sup>。

表 2 工农小区改造前下垫面分析

项目名称	分区 1	分区 2	分区 3	分区 4	分区 5	合计
区域面积 (m <sup>2</sup> )	8336	10003	5233	7005	7627	38209
建筑面积 (m <sup>2</sup> )	3186	3142	1636	2631	2567	13162
大块石铺砌路面面积 (m <sup>2</sup> )	120	278	50	105	208	761
绿地面积 (m <sup>2</sup> )	901	782	1155	1876	1250	5964
混凝土路面面积 (m <sup>2</sup> )	3499	5550	1795	1447	2984	15275
透水铺装面积 (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	172	172
下凹绿地面积 (m <sup>2</sup> )	552	256	485	684	331	2307
高位花坛面积 (m <sup>2</sup> )	78	0	112	262	116	567

项目名称	分区 1	分区 2	分区 3	分区 4	分区 5	合计
调蓄设施 (m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0
控制体积 (m <sup>3</sup> )	126	51.1	119.3	189.2	89.3	574.9
控制后综合雨量净流系数	0.72	0.78	0.61	0.56	0.68	0.69
需控制体积 (m <sup>3</sup> )	56.8	73.5	30.1	37	48.9	246.2
控制雨量 (mm)	20.85	6.54	37.29	48.05	17.18	21.95
年径流总量控制率 (%)	75.32	38.55	89.3	93.39	69.27	69.71
年径流污染削减率 (%)	60.26	30.84	71.44	74.71	55.41	55.77

经计算，小区进行海绵改造后，综合雨量径流系数为 0.69，年径流总量控制率为 69.71%，满足 50% 的指标要求。

(4) LID 设施做法

① 雨水花园

雨水花园分为蓄水层、换填层、碎石层三部分。

蓄水层用于积蓄雨水，厚度 30 cm；换填层厚度 60 cm，土壤下渗率不小于 80 mm/h，TSS 去除率不小于 75%；碎石层厚度 30 cm；上层砾石（厚 5 cm）粒径 5 mm~25 mm，余下部分砾石层粒径 20 mm~40 mm；雨水花园低点位置处设置溢流雨水口；碎石层内设置盲管，盲管采用 DN150 的开孔 PE 实壁管。

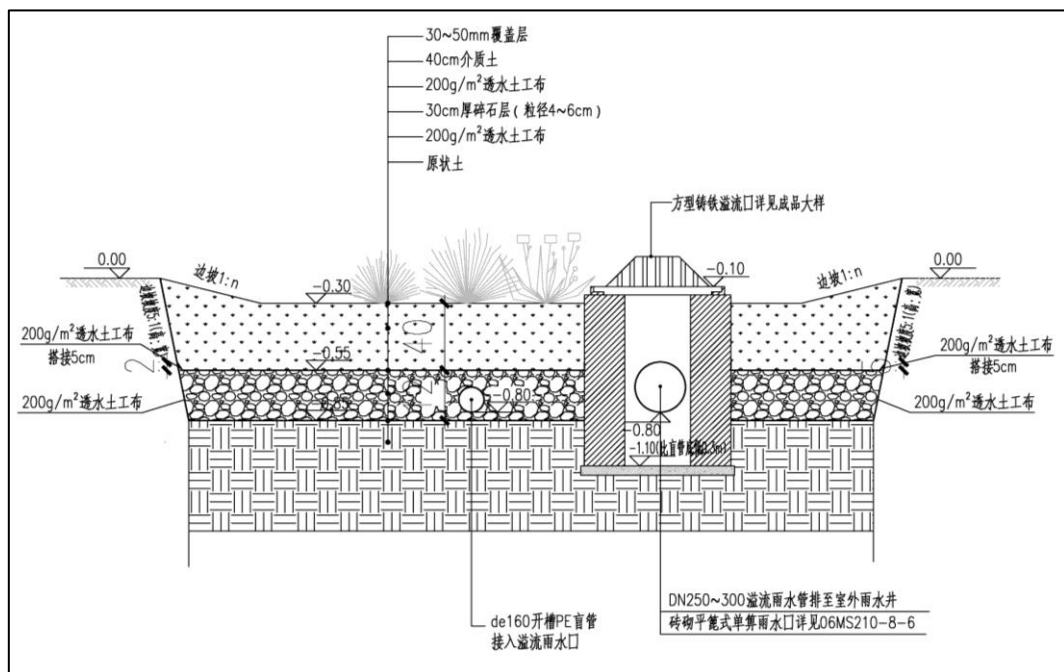


图 8 雨水花园大样图

### ② 透水铺装

透水铺装按照面层材料不同可分为透水砖铺装、透水水泥混凝土铺装和透水沥青混凝土铺装，嵌草砖、园林铺装中的鹅卵石、碎石铺装等也属于渗透铺装。透水铺装施工方便，可补充地下水并具有一定的峰值流量削减和雨水净化作用。

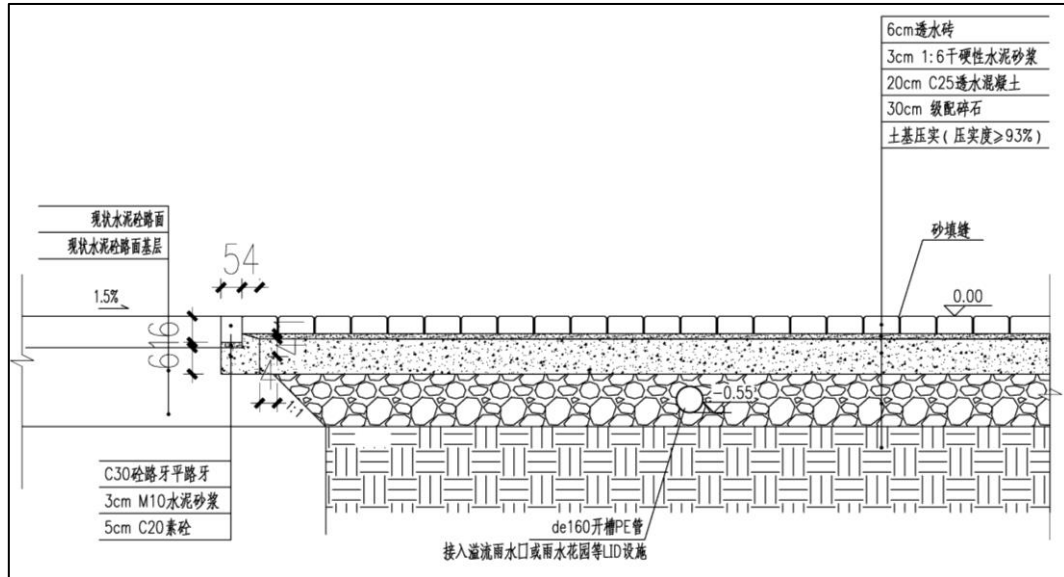
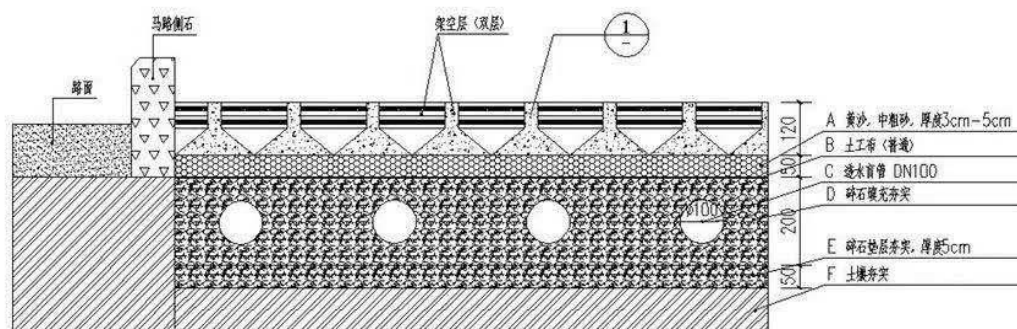


图9 透水铺装大样图

### ③ 结构性透水砖

本项目采用的结构性透水砖主要是架空砖，架空砖是针对城市生态建设需求所设计的新技术产品，架空砖的基础土壤的设置为泥土和碎石的拌和材料层，铺装是的找平层为细沙，具有优良的透水性。在自然空间和基础土壤间架空砖硬化面层的网状结构缝隙构成了空气和雨水的“自然”通道。架空砖的硬化面层的结构渗水、架空砖的架空蓄水空间和基层土壤的蓄渗水构成了全新的城市地层蓄渗水层面。

架空砖独特的拼装式结构是利用中国古人木榫结构原理形成模块化组合，施工简单、便捷、造价低，无需水泥硬化，且具有易开启性，养护较为容易。且施工过程中不使用水泥砂浆，减少污染。



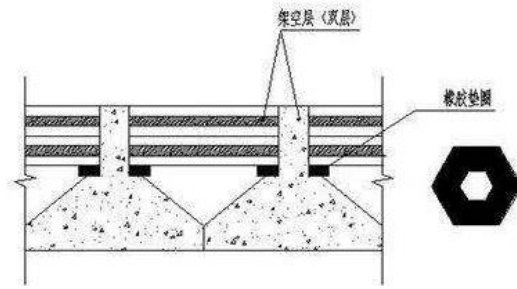


图 10 架空砖大样图

④ 高位花坛

在原有雨落管处设置散水石，雨落管断接处理，屋面雨水散水排入高位花坛进行滞蓄、净化。

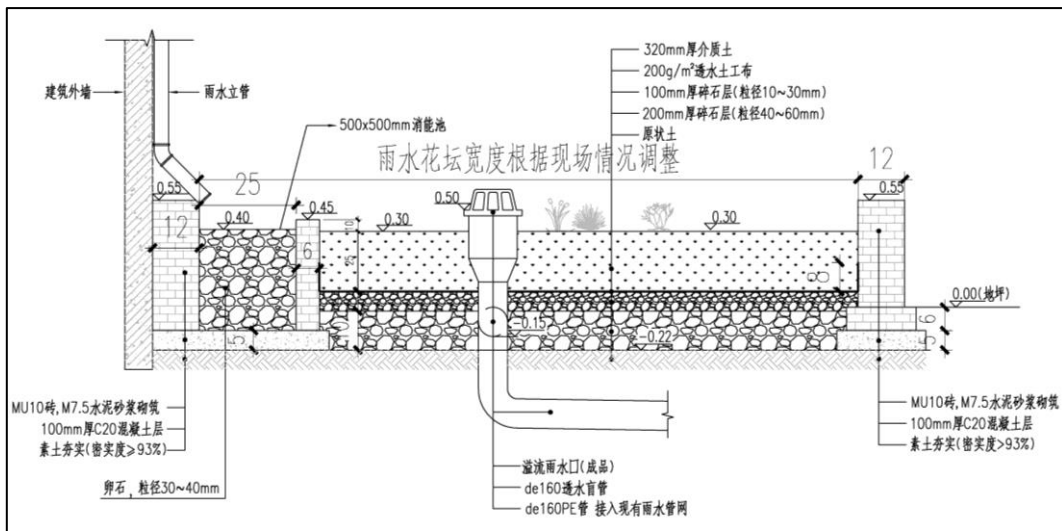


图 11 高位花坛大样图

2.4 景观提升

针对不同的海绵改造环境及生态排水设施，制定不同的绿化设计方案，如居住区绿地需要更为整洁、亲和的景观设计手法；雨水花园、下凹式绿地可选择相对密集、有高度的植物栽植手段，而传输型植草沟则选择低矮、疏松的植物栽植，以便于水流传导。海绵设施中要选择根系发达、枝叶繁茂，既耐涝又有一定的耐旱性，抗性相对较强的植物品种。

工农小区原有大部分上层乔木生长较良好，而下层植被已近乎衰败。在本次改造中要尽量保留原有乔木，局部节点可适当增加特色性的大乔木，下层植被重新种植。





图 12 总体结构布局

海绵化改造中用到的植物除要符合栽植环境的光照外, 还要考虑其水分要求, 由于生态排水设施易积水, 又不保水, 因此植物生态特性上既耐旱又耐湿, 还要有较强的抗性, 这对植物的筛选提出了较高的要求。

#### (1) 优先选用本土植物

本土植物对当地的气候条件、土壤条件和周边环境有很好的适应能力, 在雨水花园中能发挥很好的去污能力并使花园景观具有地方特色。

#### (2) 选用根系发达、茎叶繁茂、净化能力强的植物

植物对于雨水中污染物的降解和去除机制只要三个方面: 一是通过光合作用, 吸收利用氮、磷等物质; 二是通过根系将氧气输送到基质中, 在根系周边形成有氧区和缺氧区, 穿插存在的微处理单元, 使得好氧、缺氧、厌氧微生物均各得其所; 三是植物根系对污染物质, 特别是重金属的拦截和吸附作用。

#### (3) 选用既可耐涝又有一定抗旱能力的植物

因雨水花园中的水量与降雨量息息相关, 存在满水期与枯水期交替出现的现象, 因此种植的植物既要适应水生环境又要有一定的抗旱能力。因此根系发达、生长快速、茎叶肥大的植物能更好地发挥功能。

#### (4) 选用可相互搭配种植的植物, 提高观赏性

将根系泌氧性强与泌氧性弱的植物混合栽种, 构成复合式植物床, 创造出有

氧微区和缺氧微区共同存在的环境，从而有利于总氮的降解；可将常绿草本和落叶草本混合种植，提高花园在冬季的净水能力；可将草本植物与木本植物搭配种植，提高植物群落的结构层次性和观赏性。

上层植物选型：保留内部长势较好的上层乔木，并在合适的区域适当增加开花类小乔木、大灌木以及色叶乔木。

表3 上层植物选型

植物名称	耐寒	耐旱	对土壤要求	观叶	观花	观果	花期
香樟	√		沙壤土		√		5~6月
黄山栾树	√	√	保持湿润为宜		√	√	7~9月
银杏	√	√	适当保持湿润且排水良好	√		√	4月上旬至中旬
刺槐	√	√	沙土、粘壤土		√		4~6月
香花槐	√	√	耐瘠薄、耐盐碱		√		每年开4次花
红枫	√	√	不严	√			4~5月
紫荆	√	√	喜排水良好的土壤		√		3~4月
西府海棠	√	√	忌水涝		√	√	4~5月
樱花	√	√	不耐盐碱土		√		4月
石榴(花)	√	√	不严		√		5~10月

中层及下层植物选型：增加中层及下层植物，选择耐水湿、耐寒、耐干旱并可以在沙土中生长的植物。

表4 中层及下层植物选型

植物名称	湿生	水生	多年生	观花	花期	果期
紫花地丁			√	√		
黄菖蒲	√		√	√	5~6月	
兰花三七			√	√	7~8月	
狼尾草			√	√		
鸢尾	√		√	√	4~5月	6~8月
金叶苔草	√		√			
灯芯草	√		√			
美人蕉			√	√	3~12月	

## 2.5 绿色廊道

现场部分围墙存在剥落和破损现象，这在一定程度上影响了小区交通。综合

考虑现场实际情况，对部分围墙进行修补，拆除部分无用围墙，对拆除的围墙区域进行景观提升改造，结合海绵城市设施，打造小区绿色廊道，以便于小区内部交通出行。

## 2.6 投资估算

表5 改造前下垫面分析

序号	项目名称	单位	数量	金额（万元）	经济技术指标		占投资总额
1	下凹式绿地	m <sup>2</sup>	2307	149.96	650.0	元/m <sup>2</sup>	5.04%
2	高位花坛	m <sup>2</sup>	567	42.53	750.0	元/m <sup>2</sup>	1.43%
3	透水铺装	m <sup>2</sup>	172	8.60	500.0	元/m <sup>2</sup>	0.29%
	合计	万元	-	<b>201.09</b>	-	-	-

## 3 海绵化改造效果

### (1) 景观节点平面分布



图13 总平面图

### (2) 节点改造效果图



图 14 休闲节点一 现状图



图 15 休闲节点一 效果图



图 16 休闲节点一 剖面图



图 17 休闲节点二 现状图



图 18 休闲节点二 效果图



图 19 休闲节点二 剖面图



图 20 宅间绿地海绵改造图



图 21 宅间绿地海绵改造剖面图



图 22 节点三 现状图

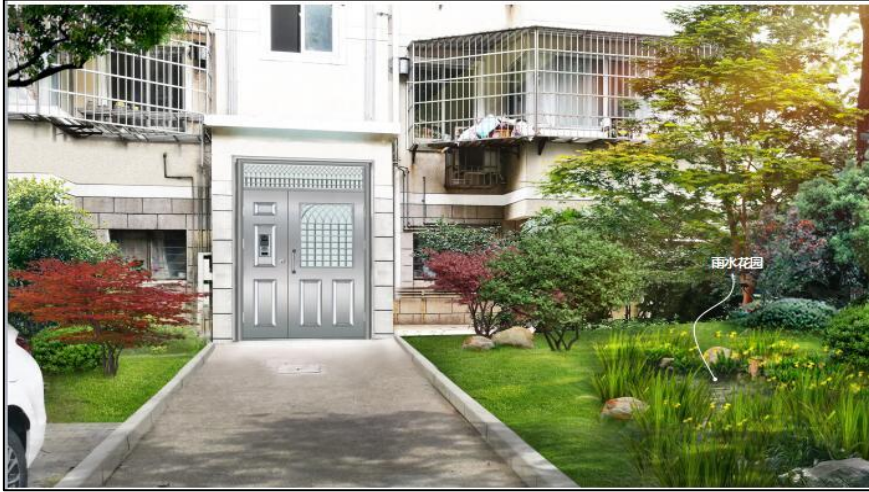


图 23 节点三 效果图

#### 4 项目总结

本项目以小区问题为导向，切实解决了小区停车难、雨污合流、景观观感差等问题，以海绵改造为契机，对小区进行综合整治提升。随着宁波海绵城市试点工作的展开，总结经验，打造海绵 3.0 版本，注重海绵的功能性、景观性改造，同时全面考虑海绵设施的后期养护，打造便于维护、功能性强、景观效果好的海绵小区。且工农小区地势极低，仅 3 米多，又位于甬江入海口，上游客水量巨大，防洪排涝压力极大，通过海绵城市建设，灰绿结合，对缓解入海口区域的地块的排水压力起到了积极的作用。

相对于传统海绵改造项目，本项目加入了新产品架空砖，此类结构性透水产品不仅强度高，前期施工容易，后期维护方便，不需要使用水泥砂浆，对生态环境比较友好，十分符合此次海绵设计理念。高位花坛采取灌木+草本植物的搭配，景观更加丰富，改变以往草本植物为主、景观效果难以持续的局面；雨水花园放坡更缓和，植物搭配和景观效果更容易处理。

# 6

## 杭政储出[2017]39号地块海绵城市建设

**项目位置：**东起文淙北路，西至春新路，南起凌云路，北至水云街

**项目规模：**占地面积 3.85 ha

**竣工时间：**2019 年底



杭州经济技术开发区积极探索从理念、方案、施工、验收到管理的全过程管控的海绵城市建设管理体系，积极把海绵城市理念融入到城市建设和生态环境保护中去。杭政储出[2017]39号住宅地块项目以积极建设生态宜居的新型海绵小区为目标，通过结合景观地形充分发挥下沉式绿地、透水铺装等 LID 设施对雨水的“渗、滞、蓄、净、用、排”等功能，削减雨水径流污染，提高雨水资源利用率，实现了水质净化、雨水利用和景观设计的多目标融合，为同类型的地块开发项目提供了有益的借鉴。

### 1 基本情况

#### 1.1 区位分析

杭政储出[2017]39号住宅地块项目位于杭州经济技术开发区板块，大学城北单元内，东至文淙北路，南至凌云路，西至春新路，北至水云街，占地面积约 3.85 ha。该项目由地上 18 栋住宅楼，地下一层地库组成，局部二层地下室，容积率不大于 2.4，建筑密度不大于 28%，绿地率不小于 30%。





图1 项目范围

## 1.2 场地条件

### 1.2.1 气候条件

开发区属亚热带季风气候，四季分明。春季温凉多雨，盛行风向以东风为主；夏季炎热湿润，以东及东南风为主；秋季先湿后干，以北及西北风为主；冬季寒冷干燥，以西北风为主。年平均气温 15.9℃~17.0℃，极端最高气温 39.8℃~42.9℃，极端最低气温-7.1℃~-15.0℃。

### 1.2.2 降雨

开发区降水丰沛，多年平均降雨量 1406.8 mm，日最大降雨量 339.2 mm，最大年降雨量 2018.2 mm，年最小降雨量 837.6 mm。全年平均降雨天数 155.3 天，年蒸发总量为 1355 mm。降水量年内分配不均，与多年平均相比，1月、3月、5月、9月、10月降水偏少，其他月份降水偏多。常年相对湿度 80%。

### 1.2.3 市政管网条件

项目周边道路水云街、文淙北路、春新路和凌云街均有城市雨水管道，允许本工程雨水排入。本项目雨水排放系统采用重力排放为主。雨水经由雨水斗、雨水管网、检查井等排入市政雨水管网。

## 2 问题与需求分析

就目前而言，大学城北单元未建地块相对较多，是海绵城市建设重点考虑发展对象，根据《杭州经济技术开发区海绵城市近期建设区域实施方案》分析，大学城北单元内绿化较少，通过建设海绵城市可以提高景观质量，同时有效解决周边雨水对于道路及周边居住、公建类用地的硬化冲刷的初期雨水污染。

表1 大学城北单元海绵城市功能建设指引

单元编号	单元名称	主要用地类型	主要问题导向	主要目标导向	建议主要考虑设施	备注
JS06	大学城北	居住、工业	绿化较少	景观、水质	雨水花园、生物滞留设施、雨水湿地、生态树池	增加绿化景观

通过现场踏勘发现，现状绿化本地情况较好，因此硬化过多后径流产流增加，无论对于水环境或水安全都是不利影响，因此有必要建设海绵设施。

该单元经模型分析内涝问题并不严重，但是实际调查其内涝问题较严重。因此经过分析，该片管道管径并不小，甚至按照管道淤积 30% 模拟后内涝情况仍然不太严重。究其原因原始地基较差，最早为煤渣堆填而成，管道破损严重，建议加快修复管道，确保管道基础和排水能力。因此，该地块的海绵城市建设是非常有必要的，通过海绵城市的建设，就地消纳和利用更多的雨水，供给绿地灌溉及景观水系，实现本区域雨水的径流控制及雨水的合理利用，同时构建强有力的排水防涝体系。

### 3 设计原则和目标

#### 3.1 建设原则

##### （1）生态优先

优先利用小区景观微地形进行雨水有组织汇流和调蓄，充分运用场地绿地系统，进行源头滞蓄，中途截留，末端调蓄，实现雨水的自然积存、自然渗透、自然净化，提升场地内雨水净化、滞蓄等功能，满足海绵城市建设标准。

##### （2）安全为重

采用海绵城市技术措施，构建源头雨水控制系统，充分考虑场地水文地质结构及其他市政基础设施的安全稳定性。做到功能性、经济性、实用性有机统一既实现雨水的缓释，又保证安全。

##### （3）因地制宜

根据当地的气候条件、水文地质特点、降雨规律、与内涝防治要求等，合理确定开发建设指标。

##### （4）统筹建设

科学规划布局和选用海绵城市设施及其组合系统，雨水设施应与主体工程同时规划设计、同时施工、同时投入使用。

##### （5）低成本

尽可能利用原有景观地形进行设计，减少土方开发和运输量，充分利用微地

形形成的局部低洼点来蓄滞雨水，并减少对小区景观的影响。

### （6）低维护

根据雨水设施类型、气候条件等，选择适宜当地的植物种类及种植形式，降低后期雨水设施的植物维护、养护成本，并充分发挥植物对雨水径流的截留、滞蓄、吸收作用。

## 3.2 设计目标

根据《杭州经济技术开发区海绵城市专项规划》（2016-2030）和《杭州经济技术开发区海绵城市近期建设区域实施方案》对大学城北单元的功能定位和指标要求，本项目海绵城市建设指标如下：

（1）项目年径流总量控制率不小于 81%，对应的设计降雨量为 26.3 mm。杭州市年径流总量控制率对应的设计降雨量曲线如图 2 所示。

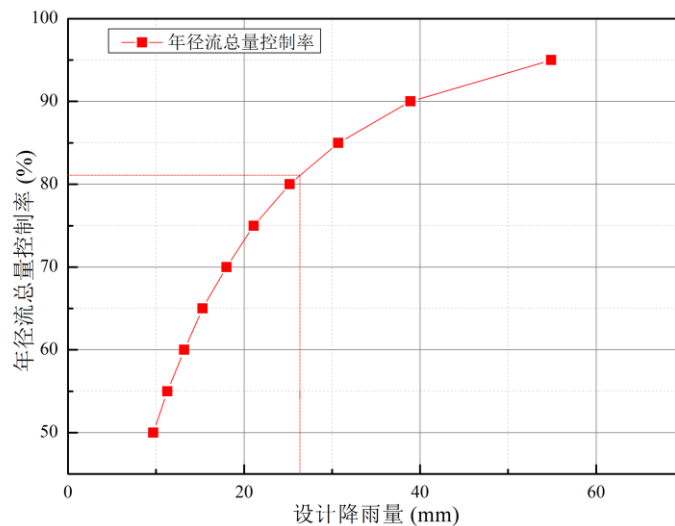


图 2 杭州市设计降雨量与控制率关系曲线

- （2）年径流污染削减率（以 SS 计）不低于 56%。
- （3）规划径流系数不高于 0.6。
- （4）排水管渠建设目标：排水能力达到 3 a 一遇标准。

## 3.3 设计依据

- （1）《浙江省海绵城市规划设计导则》（2017.1）；
- （2）《室外排水设计规范》GB 50014-2006（2016 年版）；
- （3）《杭州市海绵城市专项规划》（2017.4）；
- （4）《杭州市海绵城市低影响开发建设项目管理暂行规定》（杭建科发〔2016〕284 号）；
- （5）《杭州市海绵城市建设——低影响开发雨水系统技术导则》；

- (6) 《杭州经济技术开发区海绵城市专项规划（2016-2030）》；
- (7) 《杭州经济技术开发区海绵城市近期建设区域实施方案》（2017.5）；
- (8) 《杭州经济技术开发区水环境综合保护规划》（2016.7）；
- (9) 住房和城乡建设部科技与产业化发展中心文件《关于发布<海绵城市建设先进适用技术与产品目录（第一批）>的通知》（建科评〔2016〕6号）；
- (10) 江苏省工程建设企业技术标准《pds 防护虹吸排水收集系统应用技术规程》 Q/320683 HWSL003-2017；
- (11) 国家和杭州现行的有关规定、规范及设计标准。

## 4 海绵城市方案设计

### 4.1 设计流程

项目设计流程如下图所示：

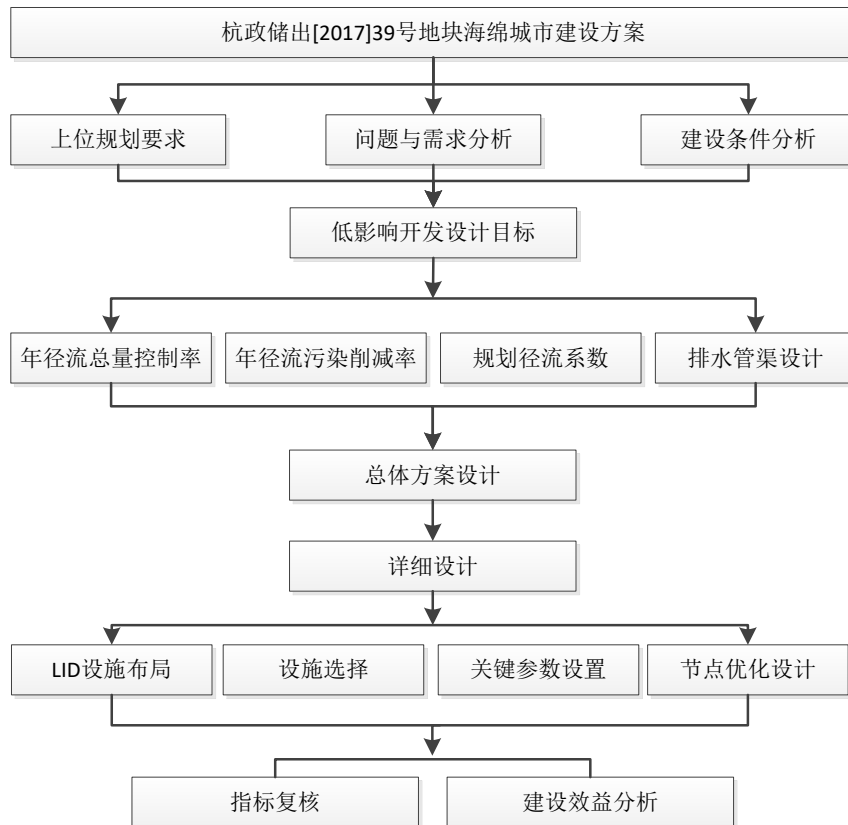


图 3 项目设计流程图

### 4.2 总体方案设计

#### 4.2.1 设计年径流量控制计算

本项目下垫面主要有绿地、道路及广场、透水铺装和硬质屋面，经计算，综合雨量径流系数为 0.60。

表2 项目地块综合雨量径流系数

下垫面形式	面积 (m <sup>2</sup> )	面积占比	综合雨量径流系数
绿地	9865.94	25%	0.15
道路及广场	7746.62	20%	0.80
透水铺装	5164.41	14%	0.25
硬质屋面	15734.03	41%	0.90
合计	38511	100%	0.60

低影响开发源头控制设施用于径流总量控制、水质控制或雨水利用时，源头控制设施的设计规模根据《海绵城市建设技术指南-低影响开发雨水系统构建》推荐的容积法进行计算：

$$V=10H\phi F$$

式中： $V$ —控制规模，m<sup>3</sup>；

$H$ —设计控制降雨量，mm；

$\phi$ —汇水面积内综合径流系数；

$F$ —汇水面积，hm<sup>2</sup>。

根据设计目标 81% 年径流总量控制率，对应设计降雨量为 26.3 mm，计算可得，所需要调蓄体积  $V=608.29$  m<sup>3</sup>。

#### 4.2.2 竖向条件与汇水分区

项目整体地势平坦，地形中间略高，四周低。项目地下均有防护虹吸排水收集系统相连通，故根据雨水管网布置情况，将项目场地分为 15 个汇水分区，具体范围如下图所示：



图4 汇水分区示意图

### 4.2.3 雨水径流组织

本工程受控雨水直接通过下沉式绿地、透水铺装等海绵措施进入防护虹吸排水收集系统；部分硬质屋面雨水经过断接后排至下沉式绿地进行源头控制，硬质地面就近排入下沉式绿地等，最终进入防护虹吸排水收集系统；超标雨水通过溢流口排至室外雨水管网；非受控雨水则通过室外设置的雨水篦子等进行收集，进入室外雨水管网。本工程室外雨水管最后均排至市政雨水管道。

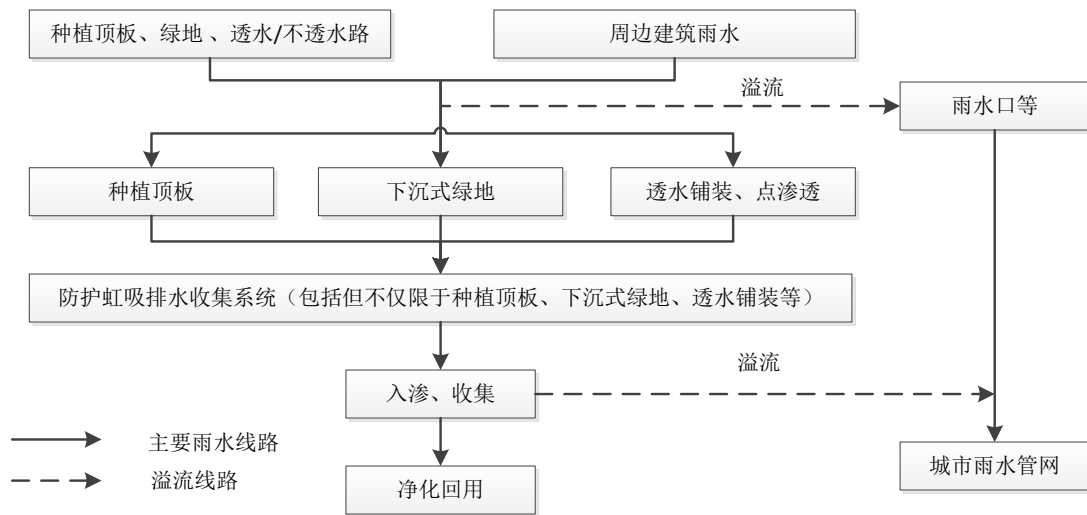


图 5 雨水径流组织图

### 4.3 详细设计

#### 4.3.1 设施平面布局

本项目海绵设施平面布局图如下图所示：

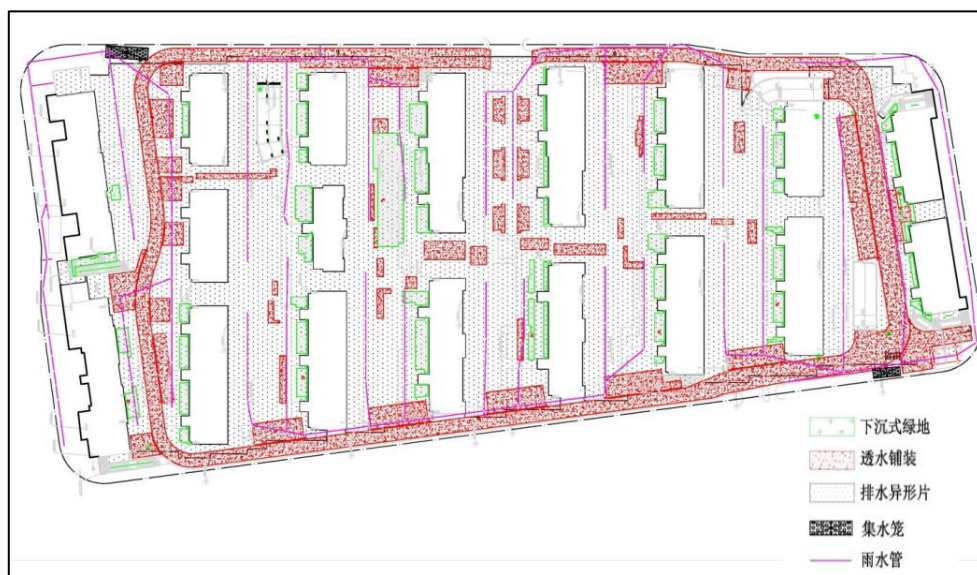


图 6 海绵设施平面布局图

### 4.3.2 设施主要节点设计

#### (1) 下沉式绿地

下沉式绿地是低于周围地面的绿地，其利用开放空间承接和贮存雨水，达到减少径流外排的作用，下沉式绿地可广泛应用于城市建筑与小区、道路、绿地和广场内，本项目下沉式绿地有效调蓄水深 150mm。



图 7 下沉式绿地

#### (2) 透水铺装

本项目地块内部分非机动车道路采用透水铺装。透水铺装可有效降低不透水面积，增加雨水渗透，同时对径流水质具有一定的处理效果。

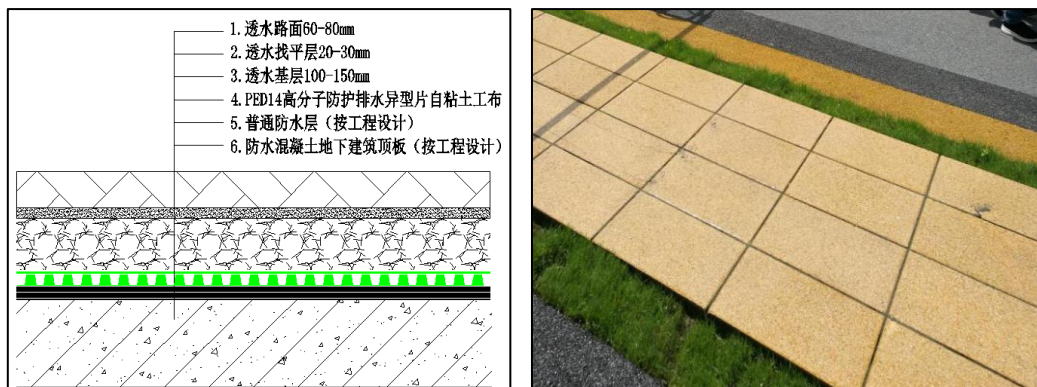


图 8 透水铺装

#### (3) 防护虹吸排水收集系统

入渗雨水通过高分子防护排（蓄）水异型片流至虹吸吸水槽，在虹吸排水槽上安装透气管，虹吸排水槽内的水在空隙、重力和气压作用下很快汇集到出水口，出水口通过管道变径的方式使虹吸直管形成满流从而形成虹吸，虹吸排水槽内的水不断被吸入观察井。经观察井排入雨水收集系统内，待晴天需要对绿化植物进

行浇灌时再对雨水进行循环利用。这样就从以往的被动排水转变成了现在的主动式排水，从而真正实现了零坡度、有组织排水及优质水资源的收集及回用。

雨水通过下沉式绿地等雨水设施渗、滞、蓄、净后，再经防护虹吸排水收集系统净化和收集，从而保障雨水池入流水质，降低末端接纳水体外源污染风险。

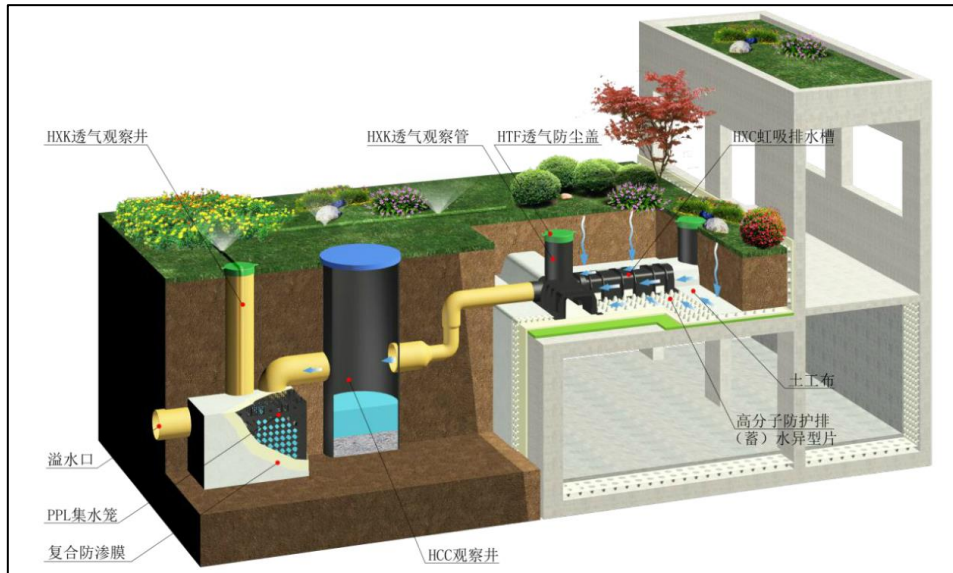


图9 防护虹吸排水收集系统

## 5 建设目标校核

### 5.1 年径流总量控制率

(1) 防护虹吸排水收集系统储水量  $Q_1$  计算

$$Q_1 = (60\% \times S \times H + L \times V)$$

式中： $S$ —实际铺设异型片面积，取  $22964 \text{ m}^2$ ；

$H$ —高分子防护排水异型片的高度，取  $0.014 \text{ m}$ ；

$L$ —铺设虹吸排水槽的长度，取  $2037 \text{ m}$ ；

$V$ —虹吸排水槽单位体积，取  $70 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ ；

60%—有效储水面积为实际铺设面积的 60%。

计算得： $Q_1 = 214 \text{ m}^3$

(2) 集水笼蓄水量  $Q_2$  计算

根据海绵设施布置，该项目使用两个集水笼，一个尺寸为  $9000 \text{ mm} \times 3000 \text{ mm} \times 2000 \text{ mm}$ ，体积为  $54 \text{ m}^3$ ，另外一个尺寸为  $14000 \text{ mm} \times 4000 \text{ mm} \times 2000 \text{ mm}$ ，体积为  $112 \text{ m}^3$ ，故  $Q_2 = 166 \text{ m}^3$ 。

(3) 下沉式绿地调蓄容积



下沉式绿地面积 1655 m<sup>2</sup>，调蓄深度 150 mm，有效调蓄容积 Q<sub>3</sub>=248 m<sup>3</sup>。

#### （4）总调蓄容积

本项目总调蓄容积  $Q=Q_1+Q_2+Q_3=617\text{ m}^3$ ，则场地有效控制降雨量为 26.7 mm，对应的年径流总量控制率为 81.4%，达到目标要求。

### 5.2 年径流污染削减率（以 SS 计）

各设施针对 SS 污染去除率取值如下表所示，通过海绵建设，场地内雨水径流污染物去除率可达到 64.7%，满足 60% 年径流污染削减率控制目标要求。

表 3 年径流污染削减率计算表

设施	防护虹吸排水收集系统	透水铺装	下沉式绿地
规模 (m <sup>2</sup> )	22964	5164.41	1667
去除率	80%	80%	70%
年径流污染削减率	<b>64.7%</b>		

### 5.3 SWMM 模型模拟

本项目采用 SWMM 模型构建地块水文水力模型，评估及验证控制年径流总量控制率及径流污染削减率目标的可达性。

#### 5.3.1 参数选取

##### （1）降雨数据

采用杭州市 2018.01~2018.12 实测小时降雨数据对地块海绵城市建设雨水径流总量控制建设效果开展模拟，总降雨量为 1678.1 mm，降雨序列详见下图。

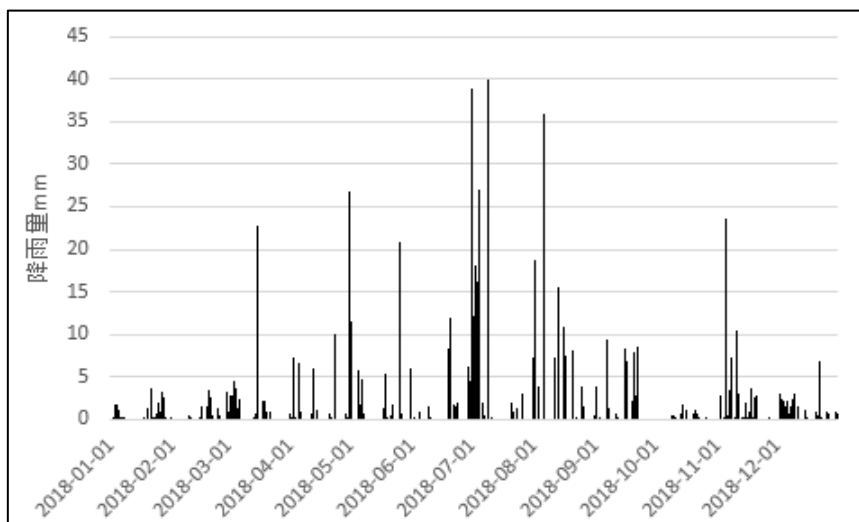


图 10 2018 年小时降雨序列

## （2）蒸发量

根据《浙江省海绵城市规划与设计导则》，选取杭州市多年平均每月蒸发量数据，月均蒸发量如下图所示。

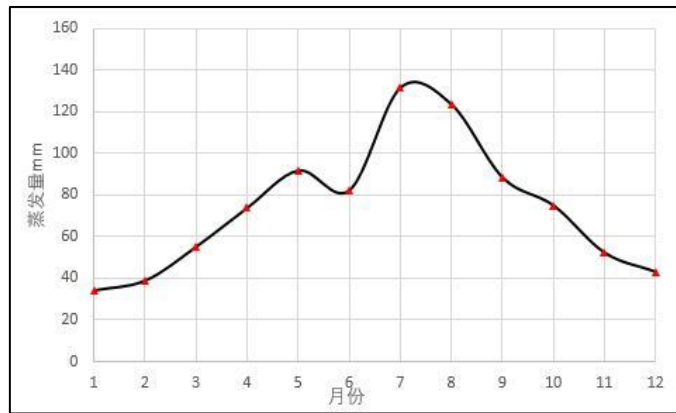


图 11 杭州市多年月均蒸发量

### 5.3.2 模型构建

采用 SWMM 模型构建地块水文模型，建模面积约 38511m<sup>2</sup>，子集水区 15 个，如下图所示：

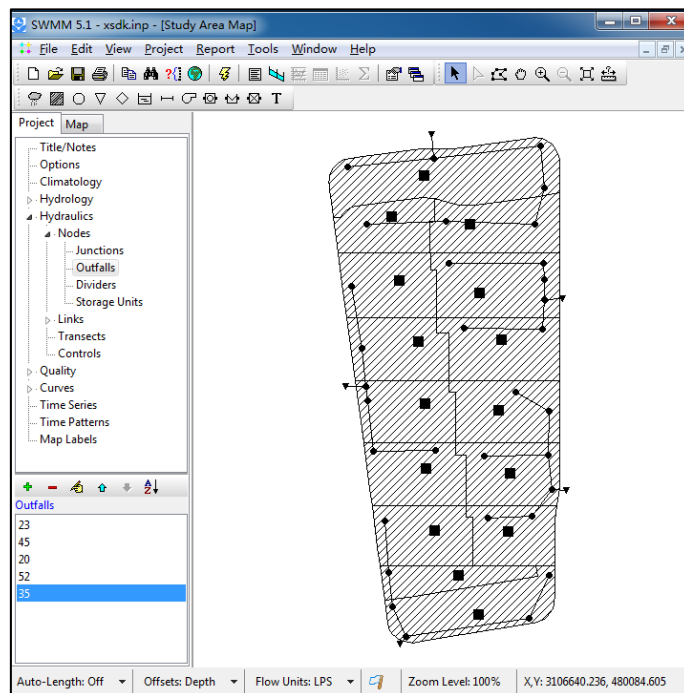


图 12 地块 SWMM 排水模型构建

### 5.3.3 效果评估

通过 SWMM 模型模评估与验证，该地块年径流总量控制率可达 84.37%，实现总体 81%的径流总量控制率目标。径流污染削减率可达 62.67%，实现 60%的径流污染削减率目标。

表 4 SWMM 模型模拟结果

降雨量 (mm)	径流量 (mm)	年径流总量控制率 (%)
1678.10	262.28	84.37
SS 冲刷量 (kg)	SS 外排量 (kg)	削减率 (%)
1661.30	620.16	62.67

## 6 建设成效及效益分析

### 6.1 建设成效

本项目正处于建设之中，计划 2019 年底竣工，该地块海绵城市的建设，为杭州经济技术开发区乃至浙江省的同类型的地块开发项目提供了有益的借鉴。



图 13 项目建成后鸟瞰图



图 14 项目建成后透水铺装效果图

## 6.2 效益分析

### 6.2.1 生态效益

本项目为新建的建筑与小区项目，将海绵城市建设理念融入开发建设的全过程，不仅能有效控制场地的雨水径流总量和初期雨水径流污染，对改善场地周边河道的水质、减小市政管网的排水压力起到了积极作用。

### 6.2.2 经济效益

通过海绵化建设，该地块雨水可通过渗入地下、收集回用和调控排放 3 类途径进行消纳和收集。对城市雨水径流的污染控制、利用或渗透处理，每年可以减少向市政管网排放雨水，减轻市政管网的压力，也减少市政管网的建设维护费用。

雨水回收的过程中，经过简单过滤的雨水主要用于绿化浇灌和道路浇洒，而防护虹吸排水收集系统作为一个大型的水处理再利用系统，经其处理的雨水不但可以用于绿化浇灌，同时可以为基础公共设施及小区住宅提供所需的中水，可以大大减少小区的水资源的浪费。

## 7 项目总结

### 7.1 项目难点

该项目 LID 设施如下沉式绿地中，植物的选择方法有别于一般的园林绿地，除了考虑景观功能以外，更重要的是植物在特殊环境下的生长状况以及在雨水设施中的特殊功能。植物选择与设计的总体目标是构建可持续的植物群落，符合生态和审美的双重要求。

尽管不同雨水设施的结构各不相同，但是在植物的选择方面有一些需要共同遵循的基本原则：

- 1) 优先选择适应场地环境的乡土植物，确保各植物物种之间不存在负面影响；选择对径流污染净化能力强的植物；
- 2) 选择耐污染、耐城市环境、抗性强的植物；优先选择多年生植物，以减少维护费用；
- 3) 不同物种搭配选择，提高群落稳定性、美学及生态价。

### 7.2 项目设计

本项目作为新建的建筑与小区，在设计时主要以“灰绿结合”为宗旨，将绿色海绵设施通过景观植物的搭配，巧妙地融入绿地系统而不显突兀，将灰色调蓄设施埋地而不占用地表空间。在径流组织、各类设施的布置的方面，更加强调项目设计的系统性，确保项目既有“里子”，也有“面子”。

### 7.3 海绵材料

该项目使用防护虹吸排水系统，该系统能够将高分子防护排蓄水异形片上多余的水有组织的通过虹吸排水槽排到集水井中，可以将雨水进行循环再利用。该系统打破了传统的雨水收集系统只能收集地表水及部分渗入水的诟病，将地表水、渗入水进行系统的收集，充分利用水资源。并且能够保持屋面水位处于较低水平，保持土壤的透气性及透水性，保证植物根系的正常生长。

### 7.4 示范意义

本项目采用新技术、新工艺，通过防护虹吸排水系统削减雨水径流污染，提高雨水资源利用率，实现了水质净化、雨水利用和景观设计的多目标融合，建设生态宜居的新型海绵小区，为同类型的地块开发项目提供了有益的借鉴。