

南宁市海绵城市规划设计导则

前 言

为了推进南宁市海绵城市规划建设，根据《中共南宁市委南宁市人民政府关于全面推进海绵城市建设的决定》（南发[2015]7号）、《南宁市人民政府办公厅关于印发南宁市海绵城市规划建设管理暂行办法的通知》（南府办[2015]11号）的要求，南宁市规划管理局组织编制了该导则。编制组经广泛调查研究，总结近年来本市雨水控制与利用工程的设计和实践经验，参考国内外相关标准和研究成果，对海绵城市规划设计中有关的设防标准、计算方法、内容要求、设计要点、模型评估等方面作出了规定和指引，并在广泛征求有关规划、设计、管理单位意见的基础上编制了本导则。

本导则共分九章，内容包括：1. 总则；2. 术语；3. 基础资料；4. 海绵城市规划设计标准；5. 海绵城市规划设计中的相关计算方法；6. 海绵城市规划；7. 海绵城市设计；8. 常用设施设计指引；9. 模型在海绵城市评估方面的应用。

本导则目前是试行版，由南宁市规划管理局负责管理，由中国城市规划设计研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国城市规划设计研究院（地址：北京市海淀区三里河路9号，邮政编码：100037）。

本导则主编单位：中国城市规划设计研究院

本导则参编单位：南宁建筑设计研究院，南宁市城乡规划设计院

本导则主要起草人员：王家卓，李帅杰，李婧，王晨，张春洋……

本导则主要审查人员：

目录

前 言	1
1 总则	1
1.1 编制目的	1
1.2 生效时限	1
1.3 实现目标	1
1.4 参考资料	1
1.5 适用范围	1
1.6 导则定位	1
1.7 与其他标准的一致性	2
1.8 规范引用	2
1.9 标准参考	2
2 名词术语	4
3 基础资料	9
4 海绵城市规划设计标准	11
4.1 总体要求	11
4.2 强制性标准	11
4.3 引导性标准	12
4.4 其他相关标准	13
5 海绵城市规划设计中的相关计算方法	14
5.1 设计参数	14
5.2 水量计算	17
5.3 渗透设施计算	19
6 海绵城市规划	21
6.1 总体规划中的海绵城市规划	21
6.2 控制性详细规划中的海绵城市规划	23

6.3	修建性详细规划中的海绵城市规划	26
6.4	海绵城市专项规划	27
6.5	其他相关专项规划中的海绵城市规划	29
6.6	海绵城市规划的组织编制和实施管理	33
7	海绵城市设计	35
7.1	一般规定	35
7.2	设计程序	35
7.3	建筑与小区	37
7.4	城市道路	39
7.5	绿地与广场	41
7.6	河流水系	42
8	常用设施设计指引	44
8.1	技术类型分类与选型	44
8.2	设计中常见的问题	44
8.3	常见设施设计要点	49
8.4	常见设施的组合设计	59
附件 A	模型在海绵城市建设方面的应用	61
1.1	模型在海绵城市建设中的作用	61
1.2	常见模型	61
1.3	模型构建	62
1.4	海绵城市规划设计中的模型应用	68

1 总则

1.1 编制目的

为指导和规范南宁市海绵城市规划设计工作，全面贯彻生态文明建设要求和低影响开发的理念，加强城市雨水径流源头控制，合理确定海绵城市建设的总体控制目标和详细的开发控制指标，合理制定以小规模的分散式源头生态控制技术为规划引导的开发模式，因地制宜的设计“渗、滞、蓄、净、用、排”等工程措施，特制定本规划设计导则。

1.2 生效时限

本导则是南宁市区各种类型用地进行海绵工程规划设计方案编制、审批及行业管理的指导性文件。导则自批准公布之日起生效。

1.3 实现目标

通过新建和改建区域的海绵化开发建设，实现南宁市新建、改扩建项目建设后雨水径流污染负荷不大于建设前，年均雨水径流外排量和峰值流量不大于建设前，全面削减开发建设项目内因雨水径流导致的面源污染，保障建设区域及其周边地区的排水防涝安全，改善南宁市的水环境现状。

1.4 参考资料

本导则借鉴美国低影响开发、英国可持续排水系统和澳大利亚水敏感型城市设计等相关研究报告和规划设计手册，参考了其中的相关技术和参数设计要求，并以我国海绵城市建设和生态文明建设需求为出发点，协调了相关标准规范及多专业规划设计要求，吸纳了我国政策法规的要求和低影响开发雨水系统的工程实践经验，结合南宁市实际情况，编制完成该规划设计导则。

1.5 适用范围

本导则适用于指导南宁市在中心城区相关城市规划的编制过程中落实海绵城市建设的理念和要求，指导新建、改建、扩建项目中海绵城市相关内容的设计。中心城区与新高速环道之间的地区参照执行。

1.6 导则定位

本导则主要用于解决海绵城市建设过程中雨水的源头控制问题，指导城市排水（雨水）市政管网之前的渗滞、净化与利用。

1.7 与其他标准的一致性

南宁市海绵城市规划设计除应符合本导则外，尚应符合国家现行有关标准、规范的规定。

1.8 规范引用

本导则内容引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本导则。

《建筑与小区雨水利用工程技术规范》（GB50400-2006）

《绿色建筑评价标准》（GB/T50378-2006）

《民用建筑绿色设计规范》（JGJ/T229-2010）

《室外排水设计规范》（GB50014-2006）（2014版）

《城市用地分类与规划建设用地标准》（GB50137-2011）

《建筑给水排水设计规范》（GB50015-2003）

《种植屋面工程技术规程》（JGJ155-2013）

《透水砖路面技术规程》（CJJ/T 188-2012）

《屋面工程技术规范》（GB50345）

《坡屋面工程技术规范》（GB50693）

《屋面工程质量验收规范》（GB50207）

《园林绿化工程施工及验收规范》（CJJ 82）

《地下工程防水技术规范》（GB50108）

《建筑结构荷载规范》（GB50009）

《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB50300）

《地下防水工程质量验收规范》（GB50208）

《建筑屋面雨水排水系统技术规程》（CJJ142-2014）

《城市道路工程设计规范》（CJJ37-2012）

《城市绿地设计规范》（GB50420-2007）

1.9 标准参考

本导则在编制过程中，参考了以下城市的地方标准规范：

北京市地方标准《雨水控制与利用工程设计规范》（DB11/685-2013）

深圳市标准化指导性技术文件《低影响开发雨水综合利用技术规范》

《嘉兴市低影响开发规划设计导则》

《武汉市排水防涝系统规划设计标准》

2 名词术语

2.1 海绵城市 sponge city

城市在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”，其本质是要科学的考虑城市生态需求并改善城市的水循环过程，让水在城市的迁移、转化和转换等过程中更加“自然”，下雨时下垫面能够有效地吸水、蓄水、渗水、净水，需要时又可经适当的迁移和转化作用，将蓄存的水“释放”并加以利用。

2.2 低影响开发 low impact development

基于模拟自然水文条件原理，采用源头控制和延缓冲击负荷的理念，通过构建微型分散式生态处理技术实现雨水径流总量和污染控制、开发后的水文特性与开发前基本一致的城市规划与建设模式。

2.3 低影响开发设施 low impact development facilities

依据低影响开发原则设计的“渗、滞、蓄、净、用、排”等多种工程设施的统称，包括透水铺装、渗井、渗渠、入渗池、生物滞留设施、植草沟、下沉式绿地、屋顶绿化、干塘、湿塘、人工湿地、雨水罐、调蓄池、植被缓冲带、砂滤系统等。

2.4 多年平均径流总量控制率 volume capture ratio of annual rainfall

雨水通过自然和人工强化的入渗、滞蓄、调蓄和收集回用，场地内累计一年得到控制的雨水量占全年总降雨量的比例。

2.5 年径流污染削减率 annual runoff pollution removal rate

雨水经过预处理措施和低影响开发设施物理沉淀、生物净化等作用，场地内累计一年得到控制的雨水径流污染物总量占全年雨水径流污染物总量的比例。

2.6 下沉式绿地 depressed green

低于周边地面标高、可积蓄、下渗自身和周边雨水径流的绿地。

2.7 下沉式绿地率 depressed green ratio

下沉式绿地面积占绿地总面积的比例。

2.8 绿色屋顶 green roof

表面铺装一定厚度滞留介质，并种植植物，底部设有排水通道的构筑物屋面。根据种植基质深度和景观复杂程度，绿色屋顶又分为简单式和花园式。

2.9 绿色屋顶覆盖率 green roof ratio

绿色屋顶面积占屋顶总面积的比例。

2.10 透水铺装地面 pervious pavement

可渗透、滞留和渗排雨水并满足一定要求的地面铺装结构。

2.11 合流制溢流 combined sewer overflow (CSO)

合流制排水系统降雨时，超过截流能力的水排入水体的情况。

2.12 下凹桥区 underpassing road

与桥梁交叉，采用下穿形式设计的道路区域，通常用于缓桥身坡度等原因。

2.13 雨水收集回用 rain harvesting

利用一定的集雨面收集雨水作为水源，经过适宜的处理并达到一定的水质标准后，通过管道输送或现场使用方式予以利用的全过程。

2.14 下垫面 underlying surface

降雨受水面的总称。包括屋面、路面、绿地、水面等。

2.15 土壤渗透系数 permeability coefficient of soil

单位水力坡度下水的稳定渗透速度。

2.16 流量径流系数 discharge runoff coefficient

形成峰值流量的历时内产生的径流量与降雨量之比。

2.17 雨量径流系数 pluviometric runoff coefficient

设定时间内降雨产生的径流总量与总雨量之比。

2.18 面源污染 non-point sources pollution

溶解和固体的污染物从非特定地点，在降水或融雪的冲刷作用下，通过径流过程而汇入受纳水体（包括河流、湖泊、水库和海湾等）并造成受纳水体污染的过程。

2.19 初期雨水径流 first flush

一场降雨初期产生的一定厚度的降雨径流。

2.20 雨水滞留 rainwater retention

将雨水存储下来予以入渗、蒸发、蒸腾的过程。

2.21 雨水滞流 rainwater detention

将雨水存储下来缓慢排放的过程。

2.22 雨水滞流控制量 rainwater detention volume for peak flow control

为满足低影响开发外排峰值流量控制目标而需要滞流的雨水量。

2.23 径流污染控制径流深度 precipitation depth for NPS control

为满足低影响开发面源污染控制目标而需要控制的径流深度。

2.24 汇流时间 concentration time

雨水从相应汇水面积的最远点地面径流到雨水管渠入口的时间。

2.25 水质预处理设施 pretreatment practices

为满足低影响开发设施进水要求，用于初步处理雨水径流的设施。

2.26 生物滞留设施 bioretention

通过土壤的过滤和植物的根部吸附、吸收等作用去除雨水径流中污染物，延缓雨水的人工设施。包括入渗型、过滤型及植生滞留槽三种类型。

2.27 穿孔管 perforated pipe

管壁按照一定规则分布有细小孔隙的管道，用于过滤收集下渗后的雨水，孔隙直径与排水层土壤粒径相关，通常在 1~3mm 之间。

2.28 清淤立管 cleanout pipe

用于清除穿孔管内淤积泥沙的立管，通常用于带地下穿孔管的低影响开发设施中。

2.29 孔隙率 void ratio

土壤或砾石等材料中可存水部分体积与总体积之比。

2.30 蓄水模块 rainwater storage module

以聚丙烯为主要材料，采用注塑工艺加工成型，并能承受一定外力的矩形镂空箱体。

2.31 不透水地面 impervious surface

通过人工行为使自然地面硬化形成的不透水或弱透水路路面。

2.32 透水铺装 permeable pavement

可渗透、滞留雨水的地面铺装结构。包括透水砖、透水水泥混凝土和透水沥青混凝土。

2.33 透水垫层 base course

透水路面中用水存储雨水的级配砾石层。

2.34 保护层 protection layer

绿色屋顶中置于防渗层上，用于防止植物根系刺穿防渗层。

2.35 植草沟 grassed swale

一种收集雨水、处理雨水径流污染、排水并入渗雨水的植被型草沟。包括排水型和入渗型两种类型。

2.36 入渗设施 infiltration practices

使雨水分散并被渗透到地下的人工设施。包括渗透井管、渗透洼地、渗透沟等。

2.37 渗井 infiltration well

雨水通过侧壁和井底进行入渗的设施。

2.38 观察孔 observation well

用于观察入渗设施和过滤设施运行状况的检视装置。

2.39 过滤设施 filtration practices

采用沙、土壤或泥炭等介质过滤雨水达到低影响开发目标的设施。

2.40 滞留（流）设施 retention & detention practices

通过滞留或滞流雨水、沉淀等方式达到低影响开发目标的设施。

2.41 人工湿地 constructed wetland

通过模拟天然湿地的结构，以雨水沉淀、过滤、净化和调蓄以及生态景观功能为主，人为建造的由饱和基质、挺水和沉水植被、动物和水体组成的复合体。

2.42 底部渗排 underdrain

为疏导入渗的雨水，在生物滞留设施、透水铺装等具有雨水下渗功能的低影响开发设施底部设置穿孔管或开槽管将雨水排向下游。

2.43 断接 disconnection

通过切断硬化面或建筑雨落管的径流路径，将径流合理连接到绿地等透水区域，通过渗透、调蓄及净化等方式控制雨水径流的方法。

2.44 前池 forebay

设置在低影响开发设施前，对雨水径流的水位和流量起到调节作用的构筑物。

3 基础资料

3.1 降雨

南宁市多年平均(1980-2014年)降水量为1298毫米。4月至9月的降水量达1032毫米，占全年降水量的79.5%；冬半年（10月至翌年3月）降水总量266毫米，占全年降水总量的20.5%。

3.2 土壤情况

南宁土壤类型，0-100cm为黄红壤粘土。在无实测资料时，可参照下表确定各种土壤层的渗透系数：

表 3-1 各种土壤层的渗透系数

土壤层	土壤渗透系数 (m/s)
砂土	$> 5.83 \times 10^{-5}$
壤质砂土	$1.70 \times 10^{-5} \sim 5.83 \times 10^{-5}$
砂质壤土	$7.20 \times 10^{-6} \sim 1.70 \times 10^{-5}$
壤土	$3.70 \times 10^{-6} \sim 7.20 \times 10^{-6}$
粉质壤土	$1.90 \times 10^{-6} \sim 3.70 \times 10^{-6}$
砂质黏壤土	$1.20 \times 10^{-6} \sim 1.90 \times 10^{-6}$
粘壤土	$6.35 \times 10^{-7} \sim 1.20 \times 10^{-6}$
粉质粘壤土	$4.23 \times 10^{-7} \sim 6.35 \times 10^{-7}$
砂质粘土	$3.53 \times 10^{-7} \sim 4.23 \times 10^{-7}$
粉质粘土	$1.41 \times 10^{-7} \sim 3.53 \times 10^{-7}$
粘土	$3.00 \times 10^{-8} \sim 1.41 \times 10^{-7}$

3.3 全年蒸发量应依据实测数据确定，缺乏资料时可参照表 5-3 取值。

表 3-2 南宁地区多年平均逐月蒸发量与降雨量 (mm/月)

月份	蒸发量(mm)	降雨量(mm)
1	58.6	40.1
2	55.1	45.4
3	76.9	62
4	109.4	89.2
5	147.7	176.6
6	156.7	217.5
7	170.4	241.7
8	170	181.4
9	160.5	125.6
10	136.6	51.6
11	98.5	45

12	80.6	23.3
合计	1421	1299.4

注：以上数据为 1981-2010 年气候均值。蒸发为蒸发皿蒸发量。

4 海绵城市规划设计标准

4.1 总体要求

4.1.1 南宁市海绵城市的规划设计标准包括强制性标准、引导性标准和其他相关标准。其中，强制性标准包括多年平均径流总量控制率、年径流污染削减率、单位硬化面积调蓄容积和城市雨水利用水质标准；引导性标准包括下沉式绿地率、透水铺装率、绿色屋顶率；其他相关标准包括排水标准、内涝防治标准、初期雨水径流污染控制标准、合流制溢流污染控制标准和内涝防治标准。

4.1.2 强制性标准为本导则适用范围内所有新建、改建、扩建项目必须遵守的标准；引导性标准为各个项目规划设计时参考的标准，各项目在设计时，可以采用下沉式绿地、透水铺装、绿色屋顶等措施，通过这些措施的组合，达到多年平均径流总量控制率的要求，也可因地制宜采取其他措施，达到多年平均径流总量控制率的要求。

4.1.3 绿色屋顶的规划设计标准为规划标准，主要针对控制性详细规划管理单元，不针对具体项目。其他均为各个单项项目规划设计时需要遵守的标准。

4.2 强制性标准

4.2.1 多年平均径流总量控制率

建筑与居住小区，新建不低于 80%，改建不低于 70%。

道路用地，新建不低于 75%，改建不低于 60%。

绿地及广场用地，新建不低于 90%，改建不低于 85%。

4.2.2 年径流污染削减率

年径流污染削减率（一般以年 SS 总量去除率计）不低于 50%。

4.2.3 单位硬化面积调蓄容积

对于政府投资的新建公共建筑，单体屋面正投影面积超过 2000 m² 的，每 1000m² 硬化面积，应配建不小于 25m³ 的雨水调蓄设施。

对于工业项目，屋面正投影面积超过 5000m² 的，每 1000 m² 硬化面积应配建不小于 25 m³ 的雨水调蓄设施。

雨水调蓄设施包括具有调蓄空间的景观水体、降雨前能及时排空的雨水收集池、雨水桶、雨水调蓄池等，但不包括下沉式绿地。

4.2.4 雨水利用水质标准

4.2.4.1 雨水利用水质标准根据实际用途确定，COD_{Cr} 和 SS 指标应满足下表要求，其余指标应符合国家现行的相关标准规定。

4.2.4.2 雨水同时用于多种用途时，其水质应按照《建筑与小区雨水利用工程技术规范》（JB50400-2006）执行。

4.3 引导性标准

初步设计时，可参考引导性标准，自主选择以下或其他有效措施组合，以达到强制性标准要求。

4.3.1 下沉式绿地率

既有居住区改造，下沉式绿地率不宜低于 30%；新建居住区下沉式绿地率不宜低于 50%。

4.3.2 透水铺装率

既有居住区改造，除机动车道以外的硬化地面，透水铺装率不宜低于 30%；新建居住区，除机动车道以外的硬化地面，透水铺装率不宜低于 75%。改建道路人行道透水铺装率不宜低于 40%，新建道路人行道透水铺装率不宜低于 60%。

4.3.3 绿色屋顶率

新建区建筑绿色屋顶绿化率不宜低于 20%。

4.4 其他相关标准

4.4.1 管网排水标准

雨水管渠设计重现期采用 3~5 年一遇，对于重要地区和一般地区内的重要道路采用 5 年一遇，其他地区采用 3 年一遇。

4.4.2 内涝防治标准

内涝防治标准采用 50 年一遇。发生 50 年一遇以内降雨时，城市不出现严重内涝灾害，发生超标降雨时保障城市运转基本正常，不造成重大财产损失和人员伤亡。

4.4.3 初期雨水径流污染控制标准

一般屋面取 2mm，小区路面取 3~5mm，市政路面取 4~8mm。

4.4.4 合流制溢流污染控制标准

典型降雨年，近期合流制排水系统年均溢流频率不超过 15%，远期合流制排水系统年均溢流频率不超过 10%。改建的截留管网的截留倍数不小于 3 倍。

4.4.5 城市防洪标准

中心城区防洪堤按 50 年一遇标准建设，郊区防洪堤按 20 年一遇标准建设。百色水利枢纽完全发挥防洪功能后，通过堤库结合，中心城区防洪标准提高到 100 年一遇；郁江中油老口水利枢纽建成后，滞洪消峰，中心城区防洪标准达到 200 年一遇。

5 海绵城市规划设计中的相关计算方法

5.1 设计参数

5.1.1 南宁市降雨量统计分析采用 1980~2014 年共 35 年的 4541 场 24 小时降雨资料，多年平均径流总量控制率与设计降雨量的对应关系如图 5-1 及表 5-1 所示。

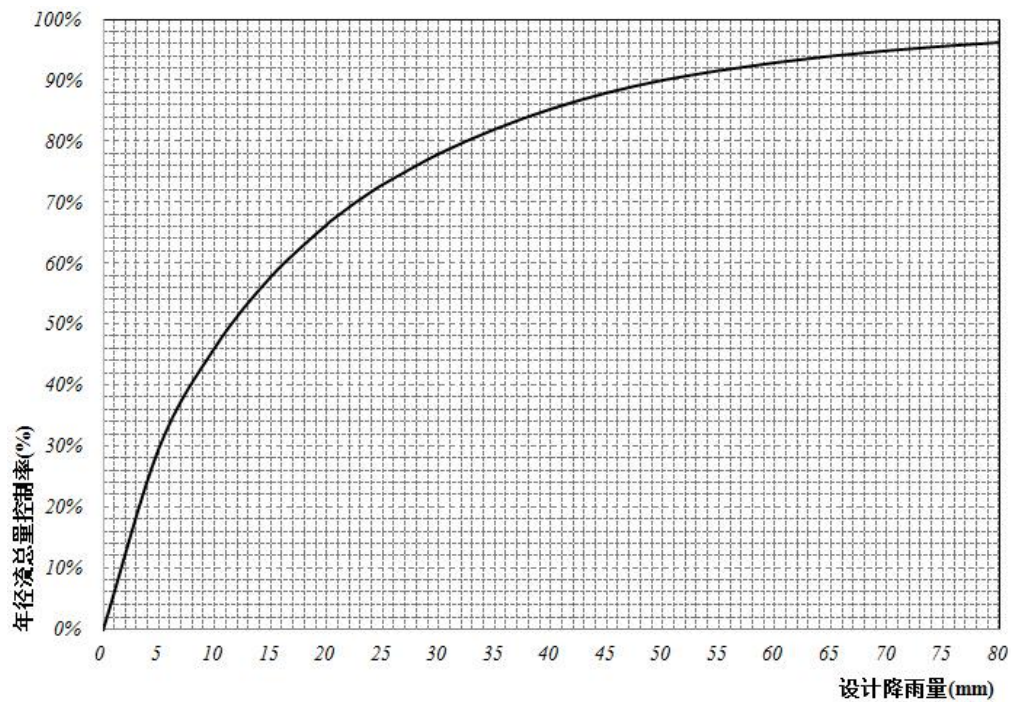


图 5-1 多年平均径流总量控制率与设计降雨量对应关系曲线

表 5-1 多年平均径流总量控制率对应的设计降雨量

多年平均径流总量控制率(%)	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
设计降雨量(mm)	10.7	13.8	16.9	19.8	22.7	26.0	33.4	40.4	54.5	66.5

5.1.2 南宁市暴雨强度公式如下所示：

$$i = \frac{63 \times (1 + 0.707 \lg P)}{t + 21.1P^{0.119}}$$
$$q = \frac{10500 \times (1 + 0.707 \lg P)}{t + 21.1P^{0.119}}$$

式中：

i—暴雨强度 (mm/min)；

q—暴雨强度 (L/s·ha)；

P—重现期 (a)；

t—降雨历时 (min)。

5.1.3 雨水管渠的设计降雨历时，应按下式计算：

$$t = t_1 + mt_2$$

式中：

t—降雨历时 (min)；

t₁—汇水面汇水时间 (min)，视距离长短、地形坡度和地面铺装情况而定 (屋面一般取 5min；道路路面取 5~15min)；

m—折减系数，取 m=1；

t₂—管渠内雨水流行时间 (min)；

在规划或方案设计时，建筑小区设计降雨历时可按 10~15min 计算。

5.1.4 不同种类下垫面的径流系数应依据实测数据确定，缺乏资料时可参照表 5-2 取值，综合径流系数应按下垫面种类加权平均计算：

$$\psi_z = \frac{\sum F_i \psi_i}{F}$$

式中：

ψ_z —综合径流系数；

F—汇水面积 (m²)；

F_i —汇水面上各类下垫面面积 (m^2);

ψ_i —各类下垫面的径流系数。

表 5-2 径流系数

汇水面种类	雨量径流系数 ϕ	流量径流系数 ψ
绿化屋面 (绿色屋顶, 基质层厚度 ≥ 300 mm)	0.30-0.40	0.40
硬屋面、未铺石子的平屋面、沥青屋面	0.80-0.90	0.85-0.95
铺石子的平屋面	0.60-0.70	0.80
混凝土或沥青路面及广场	0.80-0.90	0.85-0.95
大块石等铺砌路面及广场	0.50-0.60	0.55-0.65
沥青表面处理的碎石路面及广场	0.45-0.55	0.55-0.65
级配碎石路面及广场	0.40	0.40-0.50
干砌砖石或碎石路面及广场	0.40	0.35-0.40
非铺砌的土路面	0.30	0.25-0.35
绿地	0.15	0.10-0.20
水面	1.00	1.00
地下建筑覆土绿地 (覆土厚度 ≥ 500 mm)	0.15	0.25
地下建筑覆土绿地 (覆土厚度 < 500 mm)	0.30-0.40	0.40
透水铺装地面	0.08-0.45	0.08-0.45
下沉广场 (50 年及以上一遇)	—	0.85-1.00

注：以上数据参照《室外排水设计规范》(GB50014)和《雨水控制与利用工程设计规范》(DB11/685)。

5.2 水量计算

5.2.1 径流总量计算公式

$$W = 10\psi_{zc} h_y F$$

式中 W -----径流总量 (m³);

ψ_{zc} -----雨量综合径流系数;

h_y -----设计降雨量 (mm);

F -----汇水面积 (hm²)。

5.2.2 设计流量计算公式

$$Q = 10\psi_{zm} qF$$

式中, Q -----设计流量 (L/s);

ψ_{zm} -----流量综合径流系数, 见表 3.1.4;

q -----设计暴雨强度[L/(s hm²)]

5.2.3 雨水回用于景观水体的日补水量应包括水面蒸发量、水体渗漏量以及雨水处理设施自用水量:

(1) 日平均水面蒸发量应依据实测数据确定, 缺乏资料时可按下式计算。

$$Q_{zh} = 52.0S(P_m - P_a)(1 + 0.135V_{m-d})$$

式中,

Q_{zh} -----水池的水面蒸发量 (L/d);

S -----水池的表面积 (m²);

P_m -----水面温度下的饱和蒸汽压 (Pa);

P_a -----空气的蒸汽分压 (Pa);

V_{m-d} -----日平均风速 (v/s)。

(2) 水体日渗漏量可以根据以下公式进行计算：

$$Q_s = S_m \cdot A_s / 1000$$

式中

Q_s ——水体的日渗透漏失量， m^3/d ；

S_m ——单位面积日渗漏量， $1L/(m^2 \cdot d)$ ；不大于 $1L/(m^2 \cdot d)$ ；

A_s ——有效渗透面积，指水体常水位水面面积及常水位以下侧面渗水面积之和， m^2 。

(3) 雨水处理系统采用物化及生化处理设施时自用水量占总处理水量的 5%-10%；当采用自然净化方法时可不考虑自用水量。

5.2.4 绿化灌溉用水定额见下表。

表 5-3 绿化灌溉年均用水定额(m^3/m^2)

草坪种类	用水定额		
	特级养护	一级养护	二级养护
冷季型	0.66	0.50	0.28
暖季型	—	0.28	0.12

绿化灌溉最高日用水定额应根据气候条件、植物种类、土壤理化性状、浇灌方式和管理制度等因素确定，当无相关资料时，可按 $1.0L/m^2 \cdot d$ - $3.0L/m^2 \cdot d$ 计算。

5.2.5 道路广场浇洒用水定额根据路面性质按下表取值：

表 5-4 浇洒道路用水定额 ($L/m^2 \cdot 次$)

路面性质	用水定额
碎石路面	0.40-0.70
土路面	1.00-1.50
水泥或沥青路面	0.20-0.50

道路和广场浇洒用最高日用水定额可按 $2.0L/m^2 \cdot d$ - $3.0L/m^2 \cdot d$ 计。

5.2.6 汽车冲洗用水定额，应根据车辆用途、道路路面等级，以及采取的冲洗方式，按表 5-5 确定。

表 5-5 汽车冲洗用水量定额 (L/辆·次)

冲洗方式	高压水枪冲洗	循环用水冲洗	抹车、微水冲洗	蒸汽冲洗
轿车	40-60	20-30	10-15	3-5
公共汽车、载重汽车	80-120	40-60	15-30	-

5.2.7 建筑物循环冷却水补水量应根据气象条件、冷却塔形式确定，一般可按循环水量的 1.0%-2.0% 计算。

5.2.8 雨水用于冲厕等的用水量按照《建筑给水排水设计规范》GB50015 和《建筑中水设计规范》GB50336 中的用水定额及用水百分率确定。

5.2.9 初期弃流量宜按照式 3.2.11 进行计算。当有特殊要求时，可根据实测雨水径流中污染物浓度确定。

$$W_i = 10 \times \delta \times F$$

式中： W_i -----初期弃流量 (m³)；

δ -----初期径流厚度 (mm)。

5.3 渗透设施计算

5.3.1 渗透设施的渗透量按下式计算：

$$W_s = \alpha K J A_s t_s$$

式中： W_s ——渗透量(m³)；

α ——综合安全系数，一般取 0.5~0.6；

K ——土壤渗透系数(m/s)；

J ——水力坡度，一般取 1；

A_s ——有效渗透面积(m²)；

t_s ——渗透时间(s)，当计算调蓄时应 ≤ 12h，渗透池（塘）、渗透井、湿地可 ≤ 72h，其他 ≤ 24h。

5.3.2 渗透设施进水量按下式计算：

$$W_c = \left[60 \frac{q_c}{1000} (F_y \times \psi + F_0) \right] t_c$$

式中： W_c ——渗透设施进水量(m^3)；

F_y ——渗透设施受纳的集水面积(ha)；

F_0 ——渗透设施的直接受水面积((ha)，埋地渗透设施取 0)；

t_c ——渗透设施产流历时(min)；

q_c ——渗透设施产流历时对应的暴雨强度[L/(s ha)]。

5.3.3 渗透系统产流历时内的蓄积雨水量按下式计算：

$$W_p = \text{Max}(W_c - W_s)$$

式中： W_p ——产流历时的蓄积雨水量(m^3)，产流历时经计算确定，不宜大于 120min。

6 海绵城市规划

6.1 总体规划中的海绵城市规划

6.1.1 编制要求综述

城市总体规划要从战略高度明确海绵城市建设的目标与方向，并在现有城市总体规划编制的框架下，将海绵城市的规划内容系统地融入到规划的目标、指标、空间布局以及城市排水专业规划等相关内容中。

6.1.2 编制技术要点

6.1.2.1 城市定位

城市功能定位和发展目标中适当突出生态、绿色等和海绵城市相关的内容。将生态、绿色等相关内容纳入城市的功能定位和发展目标中，将海绵城市的建设作为城市发展的重要目标和战略，予以明确。

6.1.2.2 四区划定

切实落实保护优先的原则，科学划定城市禁建区和限建区。在城市用地选择中，要切实落实保护优先的原则，科学分析城市规划区内的山、水、林、田、湖等生态资源，尤其是要注意识别河流、湖泊、湿地、坑塘、沟渠等水生态敏感区，并纳入城市非建设用地（禁建区、限建区）范围。分析识别城市局部低洼地区、潜在湿地建设区、内涝高风险地区，并尽可能划定为城市限制建设区。

6.1.2.3 规划指标体系构建

将和海绵城市相关的指标，尤其是城市透水面积比例、绿地率、水域面积率、天然水面保持率、多年平均径流总量控制率、城市内河水体水质目标等相关指标纳入到城市规划的指标体系中，并根据城市发展目标，分别提出各类指标近、中、远期的目标值。

6.1.2.4 用地空间布局

在城市用地空间布局中，要切实落实保护优先的原则，从用地选择的源头确保城市开发建设对原有的自然生态系统的破坏和原有水文过程的影响降低到最小。

划定为禁建区的，不得布置城市建设用地。划定为限建区的，应在明确限制因素的前提下，尽可能减小开发量。水敏感区域应以保护为主，确需建设的，优先布置为绿地、广场等用地。根据城市地形标高和河流水系，识别城市排水通道，并和城市道路交通规划和城市排水防涝规划进行有效衔接。

6.1.2.5 蓝线划定

对于城市规划区内的河湖、坑塘、沟渠、湿地等需要划定蓝线的对象进行分析，提出蓝线控制的宽度，划定城市蓝线，以保护城市河湖水系。城市蓝线划定时应考虑与雨水的源头径流控制、雨水管渠系统及超标雨水径流排放系统相衔接。

6.1.2.6 生态修复

对于水生态功能受损以及过度硬化的河道，在满足防洪要求的前提下，应进行生态修复，并和两岸用地规划进行充分衔接。

6.1.2.7 新建河湖水系

根据城市排水防涝的需要和城市景观建设需求，分析识别规划区域内尤其是城市规划新建地区需要新开挖的水系，并和用地规划相协调，确保这些水系在总规中得以落实。

6.1.2.8 在城市排水规划的章节增加海绵城市的内容

在目前传统的排水规划的章节，增加海绵城市的内容。根据地区的水安全、水资源、水环境和水生态的状况和实际需求，因地制宜的提出本城市海绵城市建设的策略、重点方向和相关的技术指标，明确新建地区单位硬化面积的雨水调蓄容积、透水铺装比例、绿色屋顶比例、下沉式绿地率等，合理控制城市不透水面积比例，明确海绵城市建设的重点区域和建设时序。

将海绵城市作为城市面源污染控制和合流制溢流污染控制的重要举措和技术手段加以明确，并因地制宜的布局初期雨水弃流设施和合流制溢流污染控制设施，并注意落实相关用地需求，尤其是大型调蓄设施的用地。

6.1.2.9 在污水处理厂的规模安排中充分考虑城市面源污染治理的需求。

在城市总体规划中，计算城市污水处理厂的规模时应充分考虑城市面源污染治理，尤其是初期雨水污染治理的需求，并在污水处理厂的用地需求中予以落实。

6.2 控制性详细规划中的海绵城市规划

6.2.1 编制要求综述

控制性详细规划编制阶段应结合南宁市资源、水文条件等影响因素，落实上层规划及相关规划中海绵城市的目标、指标和要求，具体应包含以下内容：

- (1) 分析规划范围内海绵城市建设存在的问题，结合上层规划及相关规划，提出解决思路；
- (2) 在控制性详细规划管理单元层面，根据城市各类用地的比例进行海绵城市建设相关指标分解，并将控制指标落实到基本地块，确保整个控制性详细规划管理单元满足控制指标要求；
- (3) 落实蓝线，明确地表水体保护和控制的地域界线（蓝线）及控制要求，保护水文敏感区域；
- (4) 结合排水防涝（雨水）综合规划，明确内涝高风险地区，采用综合措施达到排水防涝的规划标准；
- (5) 落实绿线，提升绿色开敞空间的生态品质，融入雨水的渗、滞、蓄、净、用等复合功能；
- (6) 在确定道路横断面形式时，应考虑本地道路雨水径流量与水质控制设施的布局要求；

- (7) 制定低影响开发设施建设时序及重点，明确规划管理措施，根据实际情况提出分期实施的策略。
- (8) 在控制性详细规划图则中，应给出相关低影响开发措施的建设内容指引。

6.2.2 编制技术要点

6.2.2.1 落实上层次规划确定的水生态安全格局，优化和细化水体、湿地、洼地、自然径流通道、洪泛区等水生态敏感区，通过保护水系统的关键空间格局来维护水文过程的完整性，并结合用地功能和布局，明确蓝线及绿线控制范围，给出界址、规模。

6.2.2.2 海绵城市控制指标

在上层次规划及相关规划的指导下，明确南宁市海绵城市相关的强制性指标和引导性指标。

(1) 强制性指标

在总体规划确定的海绵城市建设目标的指导下，根据城市用地分类和特点进行分类分解，制定具体的分区、分类用地降雨径流总量控制率目标。

(2) 引导性指标

结合建筑密度、绿地率、容积率、多年平均径流总量控制率等控制指标，提出地块的下沉式绿地率、透水铺装率、绿色屋顶率等指标，通过设施优化组合，确保多年平均径流总量控制率满足要求。并将上述指标纳入地块规划设计要点，并作为土地开发建设的指导性指标，指导下层次的修建性详细规划或建筑设计。

6.2.2.3 用地布局

结合海绵城市总体规划及排水防涝（雨水）综合规划等相关规划，通过地表竖向分析及排水分区研究，结合区域排水分区，GIS 等数据分析，进一步明确低洼易涝高风险区域，对规划控制单元内地块的用地性质、开发强度、竖向等方面进行调整优化，综合采用降低城市建设开发可能面临的风险。

6.2.2.4 竖向规划

竖向规划应保护原有的地形地貌，尊重自然排水方向，保护和修复自然径流通道，统筹协调开发场地、城市道路、绿地、水系的布局和竖向，使场地及道路径流有组织地汇入周边绿地和水系。

6.2.2.5 易涝风险区治理

在用地布局、竖向规划优化调整的基础上，采用综合措施减少城市内涝灾害发生频率，提高城市防灾减灾能力。

有条件情况下，还可开展地形 GIS 分析，结合地势低区设置超标地表雨水漫流的行洪通道，使超标雨水安全、快速排出。

6.2.2.6 其他相关要求

(1) 严格保护禁建区，并对区内的裸地、荒草地、闲置土地进行综合整治，减少自然灾害和水土流失，增强水保能力。

(2) 位于山体周边的城市建设区，应布局山体截洪系统，降低汛期山洪对城市建设区的危险性。

(3) 城市建设区内的生态廊道和绿地，应结合场地竖向，增强其雨水入渗、滞蓄能力，并可作为城市建设区雨水径流调蓄、排放的辅助通道。

(4) 对于城市水系，应统筹考虑流域、竖向、水资源、河流水体功能、水环境容量等因素，结合河道沿线绿地、蓝线、滞洪区，优先落实植被缓冲带、人工湿地、生物浮岛、生态型雨水排放口等低影响开发设施，提出水系断面形式。

(5) 结合道路建设特点及本地道路雨水径流水质，在确保道路安全的前提下，明确适宜南宁市的低影响开发道路断面形式。城市道路系统宜利用道路中分带、侧分带，建设植草沟和生物滞留设施，并通过合理的竖向设计确保雨水径流有组织汇入。

(6) 基于绿地系统的竖向、建设形态、功能要求，结合城市设计与城市景观，在保障绿地景观和公共空间功能的基础上，增强绿地雨水的渗、滞、蓄、净、用等复合功能，消纳、净化自身径流，并考虑周边地块雨水径流。

(7) 结合公园、街头绿地和广场的改造建设，增加雨水花园、下沉式绿地、人工湿地、透水铺装等低影响开发技术措施。

6.3 修建性详细规划中的海绵城市规划

6.3.1 一般规定

应按照控制性详细规划的约束条件，细化、落实上位规划确定的低影响开发控制指标，并与城市道路、园林景观、内涝防治、环境保护等专项规划相协调。采取有利于促进建筑与环境可持续发展的设计方案，通过对场地的平面布局和竖向设计，采用水文、水力计算或模型模拟等技术手段，落实和细化控制性详细规划中海绵城市建设的开发控制指标。

6.3.2 编制技术要点

6.3.2.1 建设条件分析

通过对自然气候、水文及水资源、地形地貌、排水分区、河湖水系、水环境现状和用水供需情况进行深入调查，分析场地现状，识别竖向、市政管网、园林绿地等方面的主要问题。

6.3.2.2 平面布局与设计

在考虑地形地貌、景观、现状建设情况等因素的基础上，对不透水面进行合理分割，结合屋顶绿化、渗水道路、绿地、水系等，合理组织径流路径，布局相关设施，并计算和校核控制性详细规划提出的海绵城市控制目标和指标。

6.3.2.3 依据不同的绿地类型、规模、土壤渗透能力以及地下水位，选择不同的绿地布局模式。有条件的地方应将绿地设计为植草沟和生物滞留设施。

6.3.2.4 宜采用绿色屋顶滞蓄、净化雨水。

6.3.2.5 综合考虑地域特点、植物特性、环境景观等方面的因素，选择合适的植物配置，优化场地的绿地系统。

6.3.2.6 布局低影响开发设施时，应控制积水时间，避免产生蚊蝇滋生等环境问题。

6.3.2.7 低影响开发设施设计

(1) 保护优先，合理利用场地内原有的湿地、坑塘、沟渠等。

(2) 通过水文、水力计算或模型模拟，确定建筑、道路、绿地等工程中低影响开发设施的类型、空间布局及规模等，落实控制性详细规划中海绵城市开发建设的总指标以及各分项指标。

(3) 景观水体设计时，在满足水体基本景观功能的基础上，应考虑雨水调蓄功能，根据降雨规律、水面蒸发量、雨水回用量等因素确定景观水体规模。进入景观水体的雨水，宜采用植被过滤带进行净化。

(4) 应采用非硬质池底及生态驳岸，为水生动植物提供栖息或生长条件。可通过水生动植物对水体进行净化，或采取人工土壤渗滤等辅助手段对水体进行循环净化。

6.3.2.8 道路设计

在满足道路功能与安全、景观要求的前提下，应充分考虑面源污染控制和地表径流削减，宜采用雨水渗滞、净化、调蓄等措施。

6.3.2.9 竖向设计

尊重原有的地形地貌，尽量依靠自然排水。建筑、道路、绿地等竖向设计应有利于径流汇入低影响开发设施。

6.4 海绵城市专项规划

6.4.1 海绵城市专项规划的主要规划内容

(1) 城市概况

描述城市区位、地形地貌、经济社会发展情况等。

(2) 城市水环境、水资源、水安全、水生态、水文化的历史与现状

城市水环境的基本情况，水体水质，污染物排放，污水处理厂，合流制管网分布，合流制溢流口情况，城市面源污染情况等，简要描述变化趋势。

城市水资源利用情况，不同保证率下的可利用水资源量，非常规水资源包括城市再生水、雨水等资源化利用情况，水资源的需求情况，水资源的供需矛盾情况及水资源配置，简要回顾城市水资源的变化情况。

城市防洪、排水和内涝的风险情况，主要高风险区和薄弱区域的分布情况，城市主要的排水防涝和防洪设施的规划设计标准及其分布情况，描述城市历史洪水和内涝灾害情况。

城市水生态的基本情况，尤其是城市地下水水位情况、海水入侵情况等，城市地下水漏斗的分布情况等。

城市水文化情况。描述城市历史上的与水相关的文化、习俗等，以及近些年随着城市发展，对这些水文化的影响情况。

（3）海绵城市建设的需求分析

从经济社会发展、人民需求、经济建设等角度分析本市在海绵城市建设方面的需求情况。

（4）城市降雨情况分析

分析城市多年平均降雨（不少于 30 年），分析降雨量，降雨场次和降雨总量之间的对应关系，分析得出城市多年平均径流总量控制率和降雨量之间的关系曲线。

（5）城市地下水及土壤情况分析

分析城市地下水位的空间分布，尤其是汛期时水位的空间分布情况。

分析城市土壤的空间分布特征，及本地主要土壤的渗透能力。

（6）海绵城市建设拟解决的重点问题分析

分析研究本市海绵城市建设需要解决的重点问题，到底是城市水安全，水资源还是水环境和水生态的问题。

（7）海绵城市建设重点方向

根据本市拟解决的重点问题，分析海绵城市建设重点方向，是合流制的溢流污染控制，排水防涝，城市面源污染治理，补充地下水，还是作为非常规水资源加以收集利用。

（8）海绵城市建设的现状

描述海绵城市建设的基本情况，包括体制机制、管理规定、技术标准、实施机构、工程建设及其空间分布，分析当前存在的主要问题和挑战。

（9）海绵城市建设的原则和目标

因地制宜的提出本地海绵城市建设的原则。

根据降雨情况和国家相关规定，确定本地海绵城市建设的近中远期目标，尤其是多年平均径流总量控制率和年径流污染削减率等重要目标。

（10）海绵城市建设的重点区域识别

本着示范先行，全面带动的原则，根据建设的难易程度，识别出本市海绵城市建设的重点区域，并提出具体的建设方向和要求。

（11）海绵城市建设分区及建设指引

根据城市功能区划和用地的空间分布，结合土壤、植被和河流水系的分布情况及其需求和拟解决的重点问题，对本市的海绵城市建设进行分区，并且针对每一个分区提出规划建设的指引。

（12）对用地空间布局等内容提出建议

根据海绵城市建设的要求，提出用地空间的建议，并对道路交通、河流水系和绿地系统的规划提出相关建议。

（13）海绵城市建设的时序安排

结合城市发展预期、旧城改造等方面的信息和资料，对本市的海绵城市建设的时序进行安排，提出近中远期分别要实施空间范围。

（14）海绵城市建设的规划管控

针对海绵城市建设的需求，从城市规划、建设、管理方面提出管控的政策和技术要求，确保海绵城市能够顺利实施。

（15）海绵城市建设的近期实施计划

提出海绵城市近期要建设的主要内容及主要工程项目。

6.5 其他相关专项规划中的海绵城市规划

6.5.1 城市水系规划中的海绵规划

6.5.1.1 一般规定

城市水系规划应在水系保护、水系利用、水系新建、涉水工程协调等方面落实海绵城市规划建设的相关要求。

6.5.1.2 主要规划内容

（1）基础研究与评价

分析水系在流域、城市、生态体系中的定位和作用，明确水面率、水系连通、水安全、水环境、水生态等方面的现状及问题。

（2）水系保护

依据城市总体规划的水面率目标，明确受保护水域的面积和基本形态。保护水体完整性，进行蓝线划定，并提出控制要求。

（3）水系利用

统筹水体、岸线和滨水区之间的功能，在促进城市水系多功能复合利用的同时，尽量保护与强化其对雨水径流的自然渗透、净化与调蓄功能，优化城市河道、湖泊和湿地等水体的布局，并与其他相关规划相协调。岸线利用应体现保护优先的原则，划定生态岸线，并对受破坏的岸线进行生态修复。

在生产性、生活性岸线周边，应结合地块开发功能及建设形态，合理布局植被缓冲带，优先采用自然岸线。

（4）规划新建水系

新增水体应兼顾城市排水防涝及景观功能，并考虑周边地块的雨水径流控制要求。

（5）涉水工程协调

应与给水、排水、防洪排涝、水污染治理、再生水利用、道路等工程进行综合协调，以促进城市水系的保护和提高城市水系的利用效率，减少各类涉水工程设施的布局矛盾。

6.5.2 城市绿地系统规划中的海绵规划

6.5.2.1 一般规定

城市绿地应明确低影响开发控制目标，在满足生态和景观功能的基础上，通过合理的竖向设计，优化布局低影响开发设施，实现复合生态功能。

6.5.2.2 规划技术要点

(1) 提出不同类型绿地的低影响开发控制目标和指标。根据绿地的类型和特点，明确公园绿地、附属绿地、生产绿地、防护绿地等各类绿地低影响开发规划建设目标、控制指标（如下沉式绿地率及其下沉深度等）和适用的低影响开发设施类型。

(2) 合理确定城市绿地系统低影响开发设施的规模和布局。应统筹水生态敏感区、生态空间和绿地空间布局，落实低影响开发设施的规模和布局，充分发挥绿地的渗滞、调蓄和净化功能。

(3) 城市绿地应与周边汇水区域有效衔接。在明确周边汇水区域汇入水量，提出预处理、溢流衔接等保障措施的基础上，通过平面布局、竖向控制、土壤改良等多种方式，将低影响开发设施融入到绿地规划设计中，尽量考虑接纳周边雨水。

(4) 应符合园林植物种植及园林绿化养护管理技术要求。可通过合理设置绿地下沉深度和溢流口、局部换土或改良增强土壤渗透性能、选择适宜乡土植物和耐淹植物等方法，避免植物受到长时间浸泡而影响正常生长，影响景观效果。

(5) 合理设置预处理设施。径流污染较为严重的地区，可采用初期雨水弃流、沉淀、截污等预处理措施，在雨水径流进入绿地前将部分污染物进行截流净化。

(6) 充分利用多功能调蓄设施调控雨水径流。有条件地区可布局湿塘、雨水湿地等大型低影响开发设施，对超标降雨进行调蓄。

6.5.3 城市排水防涝规划中海绵规划

6.5.3.1 一般规定

城市排水防涝是海绵城市的重要组成部分。城市排水防涝综合规划在满足《城市排水工程规划规范》(GB50318)、《室外排水设计规范》(GB50014)等相关要求的前提下,应明确海绵城市的建设目标与建设内容。

6.5.3.2 主要规划内容

(1) 明确年径流总量控制目标与指标。通过对排水系统总体评估、内涝风险评估等,明确年径流总量控制目标,落实城市总体规划中海绵城市建设目标,并与海绵城市专项规划进行衔接。

(2) 确定径流污染控制目标及防治方式。应通过评估、分析径流污染对城市水环境污染的贡献率,根据城市水环境的要求,结合悬浮物(SS)等径流污染物控制要求确定多年平均径流总量控制率,同时明确径流污染控制方式并合理选择低影响开发设施。

(3) 明确雨水资源化利用目标及方式。应根据水资源条件及雨水回用需求,确定雨水资源化利用的总量、用途、方式和设施。

(4) 低影响开发设施应与城市雨水管渠系统或超标雨水径流排放系统相衔接。最大限度地发挥低影响开发雨水系统对雨水径流的渗滞、调蓄、净化等作用。

(5) 优化低影响开发设施的平面布局与竖向控制。应利用城市绿地、广场、道路等公共开放空间,在满足各类用地主导功能的基础上合理布局低影响开发设施;其他建设用地应明确低影响开发控制目标与指标,并衔接其他内涝防治设施的平面布局与竖向控制,共同组成内涝防治系统。

6.5.4 城市道路交通规划中的海绵规划

6.5.4.1 一般规定

城市道路是海绵城市规划建设的重要组成部分和载体,在城市道路交通专项规划中要保障交通安全和通行能力的前提下,尽可能通过合理的横、纵断面设计,结合道路绿化分隔带,充分滞蓄和净化雨水径流。

6.5.4.2 主要规划内容

(1) 确定各等级道路低影响开发控制目标。

充分利用城市道路自身及周边绿地空间落实低影响开发设施，结合道路横断面和排水方向，利用不同等级道路的中分带、侧分带、人行道和停车场建设下沉式绿地、植草沟、雨水湿地和透水铺装等低影响开发设施，通过渗滞、调蓄和净化等方式，实现道路低影响开发控制目标。

城市道路中非机动车道、人行道、步行街、停车场可采用透水铺装。

市区路段道路、郊区公路应利用道路隔离带、周边绿地，建设下沉式绿地、植草沟、雨水湿地等设施。

下穿式道路应利用周边场地，结合汇水区建设调蓄池等设施。

(2) 协调道路与周边场地竖向关系，充分考虑道路红线内外雨水汇入的要求，通过建设下沉式绿地、透水铺装等低影响开发设施，提高道路径流污染及总量等控制能力。

(3) 提出各等级道路低影响开发设施类别、基本选型及布局等内容，合理确定低影响开发雨水系统与城市道路设施空间衔接关系。

6.6 海绵城市规划的组织编制和实施管理

6.6.1 规划组织编制

6.6.1.1 规划行政主管部门应制定海绵城市相关规划编制计划，分层、分批编制。

6.6.1.2 在各层级新编的用地布局、道路建设、水系建设、绿化建设规划中，应优先将海绵城市相关指标纳入编制体系；在对已编制规划进行整合或修编时，应增加海绵城市内容。

6.6.1.3 规划方案技术审查时，应增加海绵城市相关内容的技术审查。

6.6.1.4 已批准的海绵城市总体规划和相关专项规划，未经法定程序不得修改。

6.6.2 建设项目监察与审批程序规定

6.6.2.1 一般规定

在土地出让和一书两证发放过程中，增加海绵城市相关控制要求。

6.6.2.2 主要内容

(1) 建设项目规划设计条件应明确海绵城市的建设控制要求。规划国土部门在制定地块出让用地条件时，应在土地出让公告或合同中增加海绵城市建设的规划设计条件及控制要求。

(2) 在“一书两证”发放中落实海绵城市的建设要求
建设项目选址意见书和建设用地规划许可证应加入海绵城市建设强制性指标。

建设工程规划许可证阶段，应核算低影响开发设施及其组合系统设计内容是否满足强制性指标要求。对于不满足强制性指标要求的，不予发放建设工程规划许可证。

7 海绵城市设计

7.1 一般规定

7.1.1 设计阶段

海绵城市的设计一般分为场地评估，初步设计和详细设计三个阶段。场地评估阶段主要是评估场地的土壤、坡度、地下水位等自然特性。初步设计阶段主要是根据场地特征和海绵城市建设的目标，结合场地内建筑、道路、绿地和水系的布局，选择低影响开发设施类型，并初步选定设施的位置。详细设计阶段主要是对各类设施进行布局，划分汇水区，并进行规模结算校核，并且对各类设施的类型、布局和规模进行优化组合。

7.1.2 设计原则

海绵城市的设计应遵循以下几个原则：

- (1) 水敏感性地区保护优先
- (2) 尊重自然，顺应自然，结合自然
- (3) 生态型设施优先
- (4) 高效、经济、美观
- (5) 源头、小型、分散的设施优先
- (6) 低成本、易于维护的设施优先
- (7) 尽可能减小不透水面积
- (8) 使用低影响开发设施对不透水地面进行分割

7.2 设计程序

7.2.1 新建地区的一般设计程序

7.2.1.1 场地评估

- (1) 明确需求与外边界条件

明确场地在总规、控制性详细规划中的用地性质、控制性详细规划给出的控制指标、土地出让条件、规划设计条件及相关管理规定；确定海绵城市设计中需要重点考虑的问题，场地进行海绵城市设计时面临的限制和制约因素，场地内部基础设施的情况以及场地外部河流水系、绿地广场、道路和排水设施等相关信息。

（2）场地调查

重点调查土壤类型、土壤层深度、密度、粒度分布、阳离子交换容量（Cation exchange capacity, CEC）、pH、土壤的营养物含量、土壤初始渗透能力、饱和渗透能力、基岩深度、地下水位和地下水水质等要素。

（3）保护水敏感区域

根据控制性详细规划及相关规划，识别场地中的蓝线和绿线范围，明确场地中需要被保护或者修复的区域。

7.2.1.2 初步设计

（1）分析场地的竖向条件

对场地的竖向进行分析，明确汇水通道和低洼地区，对于局部竖向不利于海绵城市建设和低影响开发设施布局的，提出竖向调整建议。

（2）初步选择低影响开发设施的类型

根据场地内建筑、道路、绿地和水系的分布情况，初步选择低影响开发设施类型，并利用将不透水地面分割断开的办法，布局低影响开发设施

7.2.1.3 详细设计

（1）划定排水分区

根据场地竖向，对场地内拟布局的低影响开发设施的收水范围进行划定和测量。

（2）确定各低影响开发设施的规模

根据多年平均径流总量控制率的要求，结合可利用的空间，计算各低影响开发设施的规模和径流控制量。

（3）核算场地内多年平均径流总量控制指标

对各单项设施的控制量进行加和，计算场地内多年平均径流总量，并核算是否达到要求。对于不能达到要求的，调整设施类型、布局和规模，直至多年平均径流总量控制率满足要求为止。

（4）设施优化组合

综合考虑经济和环境要求，对场地内的低影响开发设施进行优化组合。

（5）最终设计

将海绵城市设计与传统雨水设施有效融合，并进行设施的安全性检查。

7.2.2 改建地区的设计程序

对于改建地区，宜在现有绿地广场内布局低影响开发设施，并重点考虑经济性和可实施性。相关设计和计算参考新建地区的设计程序。

7.3 建筑与小区

7.3.1 建筑与小区包括民用建筑（居住建筑、公共建筑）和工业建筑项目，以及这些建筑项目所在建设用地的红线范围。

7.3.2 一般规定

7.3.2.1 建筑与小区的规划设计标准应满足海绵城市相关规划所规定的指标要求。

7.3.2.2 建筑与小区的低影响开发系统应结合建筑与小区的地形、地质情况、规划指标、多年平均径流总量控制率指标、相邻市政设施、河湖水系和绿地广场等要素统一规划设计。

7.3.2.3 建筑与小区的径流总量控制无法满足要求，或项目有雨水回用要求时，应按照《建筑与小区雨水利用工程技术规范》设置雨水回用系统。

7.3.2.4 对于政府投资的新建公共建筑，单体屋面正投影面积超过 2000 m² 的，每 1000m² 硬化面积，应配建不小于 25m³ 的雨水调蓄设施。
对于工业项目，屋面正投影面积超过 5000m² 的，每 1000 m² 硬化面积应配建不小于 25 m³ 的雨水调蓄设施。

- 7.3.2.5 应根据项目的实际情况优先利用低洼地设置下沉式绿地减少外排雨量。
- 7.3.2.6 设置在小区道路、广场及建筑物周边的绿地宜优先采用下沉式做法，并采取措施将雨水引至绿地。
- 7.3.2.7 建筑宜采取措施将屋面排水引入周边的低影响开发设施，或通过植草沟、雨水管渠将雨水引入场地内的集中调蓄设施。

7.3.3 技术设施

7.3.3.1 工艺流程

建筑与小区的海绵系统建设一般采用的系统流程如下，宜优先采用以下两种模式：

- (1) 雨水汇集→滞蓄及径流污染控制设施→入渗→排放→处理利用
- (2) 雨水汇集→入渗→调蓄→排放→处理利用

7.3.3.2 可采用的低影响开发技术设施主要有：

- (1) 渗滞设施：包括透水铺装、绿色屋顶、生物滞留设施、植草沟；
- (2) 储存设施：包括储水池、雨水桶等；
- (3) 调节设施：包括调节塘（池）等；
- (4) 转输设施：包括转输型植草沟、渗管（渠）等；
- (5) 净化设施：包括植被缓冲带、初期雨水弃流设施和人工湿地等；

7.3.3.3 建筑和小区内的景观水体、草坪绿地和低洼地应具有雨水储存或调节功能，景观水体可建成集雨水调蓄、水体净化和生态景观为一体的多功能生态水体。

7.3.4 安全要求

7.3.4.1 建筑与小区的低影响开发设施建设应在确保安全的前提下进行，不应对人体安全、建筑安全、地质安全、地下水水质、环境卫生等造成不利影响。

7.3.4.2 雨水入渗系统不得对建筑基础、道路路基等的安全性构成影响。下列场所不得采用雨水入渗系统：

- (1) 雨水入渗可能导致陡坡坍塌、滑坡灾害的危险场所；
- (2) 雨水入渗对居住环境以及自然环境构成危害的场所；
- (3) 自重湿陷性黄土、膨胀土和高含盐等特殊土壤地质场所。

7.3.4.3 有雨水入渗系统的区域，应适当加强建筑墙体、地下室顶板等的防渗措施。

7.3.4.4 建筑与小区内下沉式绿地、人工湿地等附近应有相应的警示标识。

7.3.4.5 建筑与小区的景观水体、调蓄池等水体深度应满足有关规范要求，一般不应大于 0.5m，当水体深度大于 0.5m 时必须设置防护措施。

7.3.4.6 低影响开发设施所选植被的根系不得对防水层、基础构造层的安全稳定性构成不利影响。

7.3.4.7 地面易累积污染物的化工厂、制药厂、金属冶炼加工厂、医院、油气库等特殊污染源地区，应采取以滞蓄、净化为主的低影响开发设施，防止雨水污染地下水。

7.4 城市道路

7.4.1 城市道路应在满足道路基本功能的前提下达到相关规划提出的海绵城市控制目标与指标要求。为保障城市交通安全，在低影响开发设施的建设路段，城市雨水管渠和泵站的设计重现期、径流系数等设计参数应按《室外排水设计规范》（GB50014）中的相关标准执行。

7.4.2 在满足同等道路功能的前提下，道路横断面设计应充分考虑低影响开发设施建设需求，优先选用含绿化带的横断面形式。

7.4.3 道路中分、侧分带的低影响开发设施建设，应结合道路功能、道路竖向和景观要求，合理组合，优化布局。

7.4.4 道路人行道可采用透水铺装，新建区轻荷载的非机动车道和机动车道可采用透水沥青路面或透水水泥混凝土路面，透水铺装设计应满足国家有关标准规范的要求。

- 7.4.5 道路红线内的中央分隔带或机非分隔带宜建设为植草沟和生物滞留设施；道路周边绿地宜建设植草沟、生物滞留设施、雨水塘和人工湿地；行道树池宜设计成为生态树池，人行道部分雨水可引入树池内。
- 7.4.6 路面雨水宜首先汇入道路红线内绿化带，当红线内绿地空间不足时，可由政府主管部门协调，将道路雨水引入道路红线外城市绿地内的低影响开发设施进行处理。当红线内绿地空间充足时，也可利用红线内低影响开发设施处理道路红线外空间的雨水径流。
- 7.4.7 道路横断面设计应优化道路横坡坡向、坡度，充分考虑路面与道路绿化带及周边绿地的竖向关系，便于雨水径流汇入。
- 7.4.8 道路低影响开发设施应通过溢流排放系统与城市雨水管渠系统相衔接，保证上下游排水系统的顺畅。
- 7.4.9 城市道路绿化带内低影响开发设施应采取必要的侧向防渗措施，防止雨水径流下渗对道路路面及路基的强度和稳定性造成破坏。对于底部不适宜下渗的路段，还应采取底部防渗措施。
- 7.4.10 易积水路段可利用道路周边洼地与公共用地的地下空间建设调蓄设施，雨水调蓄设施应与市政工程管线设计相协调。
- 7.4.11 规划为超标雨水径流行泄通道的城市道路，其断面及竖向设计应满足相应的设计要求，并与区域整体内涝防治系统相衔接。
- 7.4.12 下凹桥区的排水形式应采用泵站排水与调蓄相结合的方式，雨水调蓄设施宜结合雨水泵站的前池进行建设。

7.4.13 城市道路穿越水源保护区或其他对水质要求较高的水域时，宜结合道路竖向及断面形式，布置初期雨水弃流设施或对雨水径流污染具有较强净化功能的低影响开发设施。

7.5 绿地与广场

7.5.1 城市绿地与广场应在满足自身功能条件下，充分利用大面积的绿地与景观水体，设置雨水渗滞、调蓄、净化为主要功能的低影响开发设施，消纳自身及周边区域雨水径流，达到相关规划提出的控制目标与指标要求。

7.5.2 广场与停车场规划设计时宜配套布局绿化用地，形成适当的分隔，以便于将雨水引入绿地进行综合处置。

7.5.3 条件允许时，城市广场可设计为下沉式广场，作为超标降雨的调蓄空间。

7.5.4 城市广场和地面公共停车场的硬化地面应优先选用透水铺装，并配建蓄水模块等蓄水设施，对经过分隔绿带和透水铺装等低影响开发设施过滤、净化后的雨水进行收集，并用于洗车、广场冲洗和绿地浇洒。

7.5.5 在符合景观要求和微地形设计的基础上，城市绿地宜做成下沉式，以消减峰值流量，延缓峰值时间，净化雨水径流。

7.5.6 城市绿地中的景观水体、草坪绿地和低洼地的建设宜和海绵城市建设要求相衔接，设计为集雨水调蓄、净化和生态景观为一体的多功能生态设施。

7.5.7 城市绿地与广场的规划设计，应充分利用生物滞留设施、雨水湿地和植被缓冲带等低影响开发设施对雨水径流进行净化。

- 7.5.8 在场地条件允许的地块,可将绿地周边道路和地块的雨水径流引入绿地进行处理和调蓄,其收水区范围应结合绿地的面积、场地竖向和周边的河流水系等要素进行划定。
- 7.5.9 周边区域雨水径流进入城市绿地内的生物滞留设施、雨水湿地前,应利用沉淀池、前置塘、植草沟和植被过滤带等设施对雨水径流进行预处理。
- 7.5.10 下沉式广场、湿塘、雨水湿地和蓄水池等以调蓄为主要功能的设施,应设置溢流排放系统,并与城市雨水管渠系统和超标雨水径流排放系统相衔接。
- 7.5.11 湿塘、雨水湿地、景观湖和下沉式广场等调蓄设施应建设预警标识和预警系统,保障暴雨期间人员的安全撤离,避免事故的发生。

7.6 河流水系

- 7.6.1 根据蓝线规划,保护现状河流、湖泊、湿地、坑塘、沟渠等城市自然水体。对于硬质护岸和河床的河道,在满足防洪安全的前提下,应结合城市用地布局,进行生态修复和恢复。
- 7.6.2 根据城市水系的功能定位、水环境功能区划、岸线及滨水区利用情况,充分利用滨河绿带、护岸、景观水体对雨水进行调蓄、净化和安全排放,达到相关规划提出的控制目标及指标要求。
- 7.6.3 雨污分流地区的湖泊应承担雨水调蓄功能,雨污合流地区的湖泊不宜承担管网设计标准内调蓄功能,但可作为超管网设计标准时降雨的调蓄空间。
- 7.6.4 河道护岸宜优先采用生态型护岸,设置滨河植被缓冲带;结合滨水公共绿地宜设置生物滞留设施等具有净化功能的低影响开发设施。

- 7.6.5 雨水排出口附近应设置雨水前池、格栅和除沙装置，并因地制宜地选用雨水湿地、生物浮岛等生态储存和净化设施。
- 7.6.6 滨河道路与绿带，在满足安全的前提下，可通过合理的竖向设计，使得城市雨水径流以地表潜流的方式排入河道。
- 7.6.7 城市水系低影响开发雨水系统的设计应满足《城市防洪工程设计规范》（GB/T50805）中的相关要求。
- 7.6.8 滨河、滨湖的调蓄空间应建设预警标识和预警系统，保障暴雨期间的人员安全，避免事故发生。

8 常用设施设计指引

8.1 技术类型分类与选型

低影响开发设施往往具有补充地下水、集蓄利用、削减峰值流量及净化雨水等多个功能，可实现径流总量、径流峰值和径流污染等多个控制目标，因此应根据城市总规、专项规划及详规明确的控制目标，结合汇水区特征和设施的主要功能、经济性、适用性、景观效果等因素灵活选用低影响开发设施。

表 8-1 低影响开发设施比选一览表

单项设施	功能					控制目标			处置方式		经济性		污染物去除率 (以 SS 计, %)	景观效果
	集蓄利用雨水	补充地下水	削减峰值流量	净化雨水	转输	径流总量	径流峰值	径流污染	分散	相对集中	建造费用	维护费用		
透水砖铺装	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	80-90	—
透水水泥混凝土	○	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	√	—	高	中	80-90	—
透水沥青混凝土	○	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	√	—	高	中	80-90	—
绿色屋顶	○	○	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	高	中	70-80	好
下沉式绿地	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	—	一般
简易型生物滞留设施	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	—	好
复杂型生物滞留设施	○	●	◎	●	○	●	◎	●	√	—	中	低	70-95	好
渗透塘	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	—	√	中	中	70-80	一般
渗井	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	√	低	低	—	—
湿塘	●	○	●	◎	○	●	●	◎	—	√	高	中	50-80	好
雨水湿地	●	○	●	●	○	●	●	●	√	√	高	中	50-80	好
蓄水池	●	○	◎	◎	○	●	◎	◎	—	√	高	中	80-90	—
雨水罐	●	○	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	80-90	—
调节塘	○	○	●	◎	○	○	●	◎	—	√	高	中	—	一般
调节池	○	○	●	○	○	○	●	○	—	√	高	中	—	—
转输型植草沟	◎	○	○	◎	●	◎	○	◎	√	—	低	低	35-90	一般
干式植草沟	○	●	○	◎	●	●	○	◎	√	—	低	低	35-90	好
湿式植草沟	○	○	○	●	●	○	○	●	√	—	中	低	—	好
渗管/渠	○	◎	○	○	●	◎	○	◎	√	—	中	中	35-70	—
植被缓冲带	○	○	○	●	—	○	○	●	√	—	低	低	50-75	一般
初期雨水弃流设施	◎	○	○	●	—	○	○	●	√	—	低	中	40-60	—
人工土壤渗滤	●	○	○	●	—	○	○	◎	—	√	高	中	75-95	好

注：1 ●——强 ◎——较强 ○——弱或很小；

2 SS 去除率数据来自美国流域保护中心（Center For Watershed Protection, CWP）的研究数据。

各类用地中低影响开发设施的选用应根据不同类型用地的功能、用地构成、土地利用布局、水文地质等特点进行，可参照下表选用。

表 8-2 各类用地中低影响开发设施选用一览表

技术类型 (按主要功能)	单项设施	用地类型			
		建筑与小区	城市道路	绿地与广场	城市水系
渗透技术	透水砖铺装	●	●	●	⊙
	透水水泥混凝土	⊙	⊙	⊙	⊙
	透水沥青混凝土	⊙	⊙	⊙	⊙
	绿色屋顶	●	○	○	○
	下沉式绿地	●	●	●	⊙
	简易型生物滞留设施	●	●	●	⊙
	复杂型生物滞留设施	●	●	⊙	⊙
	渗透塘	●	⊙	●	○
	渗井	●	⊙	●	○
储存技术	湿塘	●	⊙	●	●
	雨水湿地	●	●	●	●
	蓄水池	⊙	○	⊙	○
	雨水罐	●	○	○	○
调节技术	调节塘	●	⊙	●	⊙
	调节池	⊙	⊙	⊙	○
转输技术	转输型植草沟	●	●	●	⊙
	干式植草沟	●	●	●	⊙
	湿式植草沟	●	●	●	⊙
	渗管/渠	●	●	●	○
截污净化技术	植被缓冲带	●	●	●	●
	初期雨水弃流设施	●	⊙	⊙	○
	人工土壤渗滤	⊙	○	⊙	⊙

注：●——宜选用 ⊙——可选用 ○——不宜选用。

8.2 设计中常见的问题

8.2.1 种植土壤

8.2.1.1 一般规定

如果原始土壤满足渗透能力大于 1.3cm/h，有机物含量应该大于 5%，pH 6~8，阳离子交换能力大于 5meq/100g 等条件，生物滞留设施、渗透型植草沟、植物池等低影响开发设施中的种植土壤尽量选用原始土壤，以节省造价。对于不能满足条件的，应换土。

8.2.1.2 对于需要换土的，土壤一般采用 85%的洗过的粗砂，10%左右的细沙，有机物的含量 5%，土壤的 d50 不宜小于 0.45mm，磷的浓度宜为 10~30ppm，渗透能力不小于 2.5cm/h。

8.2.1.3 土壤厚度

生物滞留设施、渗透型植草沟、植物池等低影响开发设施中的种植土壤一般不宜小于 0.6m，不宜大于 1.2m。土壤层的厚度的确定取决于三个因素：

- (1) 种植的植物：对于植草的，土壤厚度一般为 0.6m；种植灌木和乔木的，最小土壤层厚度应达到 0.9m。
- (2) 需要去除的污染物：重金属、SS、总磷和病原菌的去除需要 0.6m 的土壤厚度，如果需要去除总氮，土壤的厚度一般不低于 0.75m。
- (3) 可用厚度：对于有地下室顶板或者其他地下构筑物限制，导致底部不能完全入渗的，土壤层的厚度一般为 0.6m。

8.2.2 防渗

8.2.2.1 侧向防渗

对于靠近道路、建筑物基础或者其他基础设施，或者因为雨水浸泡可能出现地面不均匀沉降的入渗型低影响开发设施，需要考虑侧向防渗。

8.2.2.2 底部防渗

对于以下情况，还需采取底部防渗措施：

- (1) 因土壤过饱和可能出现沉降或者塌陷；
- (2) 底部是地下室或者其他基础设施；
- (3) 距离建筑物基础过近的。

8.2.3 路缘石开口

8.2.3.1 在道路和停车场等不透水率较高的区域进行低影响开发设施设计时，一般应设置路缘石开口。

8.2.3.2 路缘石的开口设计要点如下：

- (1) 路缘石的开口形式可以为垂直开口或者 45 度倒角；
- (2) 路缘石开口的底部应该朝向低影响开发设施，确保雨水能够顺流进入低影响开发设施；
- (3) 路缘石开口入口处应设置消能设施，以防止侵蚀；
- (4) 对于需要跨越步行通道的路缘石开口，应采取加盖等防护措施。



图 8-1 路缘石开口

8.2.4 管道入流入口处消能

以管道集中入流方式进入低影响开发设施的，入口处应采取散流和消能措施，具体的方式包括：

- (1) 前池溢流
- (2) 卵石或者碎石
- (3) 围堰
- (4) 弯头消能



图 8-2 消能措施

8.2.5 底部渗排

8.2.5.1 一般规定

对于地基渗透能力低于 1.3cm/h 的生物滞留设施或者是底部进行了防渗处理的其他入渗为主的低影响开发设施，底部应设置排水管。

8.2.5.2 渗排管设置的一般要求

- (1) 最小直径为 100mm；
- (2) 渗排管可以采用经过开槽或者穿孔处理的 PVC 管或者 HDPE 管；
- (3) 渗排管的最小坡度为 0.5%；
- (4) 每 75-90m 应设置未开孔的清淤立管；

(5) 采用碎石的底部排水层应与种植土壤层隔离,隔离的材料可选用土工布或细砂等。

8.2.6 低影响开发设施应尽量避让市政基础设施,对于确实不能避让的,应做好防渗。对于市政设施需要穿越低影响开发设施防渗层的,应在穿越处做好密封。

8.3 常见设施设计要点

8.3.1 透水铺装

8.3.1.1 透水铺装按照面层材料可分为透水砖铺装、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。



图 8-3 透水铺装

- 8.3.1.2 透水砖铺装和透水水泥混凝土铺装主要适用于广场、停车场、人行道以及车流量和荷载较小的道路，如建筑与小区道路、市政道路的非机动车道等。透水沥青混凝土路面还可适用于轻型荷载的机动车道和非机动车道。
- 8.3.1.3 透水面层渗透系数应大于 $1 \times 10^{-4} \text{m/s}$ ，可采用透水面砖、透水混凝土、草坪砖等，当采用可种植植物的面层时，宜在下面垫层中混合一定比例的营养土。透水面砖的有效孔隙率应不小于 8%，透水混凝土的有效孔隙率应不小于 10%。
- 8.3.1.4 透水找平层宜采用细石透水混凝土、干砂、碎石或石屑等，渗透系数及有效孔隙率应不小于面层，厚度宜为 20~50mm。
- 8.3.1.5 透水垫层厚度应根据蓄存水量要求及蓄存雨水排空时间确定，透水垫层厚度不宜小于 150mm，孔隙率不应小于 30%。
- 8.3.1.6 透水路面坡度不宜大于 2.0%。当透水路面坡度大于 2.0%时，沿长度方向应设置隔断层，隔断层顶端宜设置在透水面层下 2~3cm，隔断层可采用大于 16mm 的 HDPE 或 PVC 防渗膜或者混凝土。
- 8.3.1.7 道路雨水径流进入透水铺装前，应利用小型沉淀池、前置塘等进行预处理，防止雨水径流对透水铺装造成堵塞。
- 8.3.1.8 透水铺装路面结构应便于施工，利于养护并减少对周边环境及生态的影响，应满足《透水水泥混凝土路面技术规程》CJJ/T135、《透水沥青路面技术规程》CJJ/T190、《透水砖路面技术规程》CJJ/T188 的相关规定。

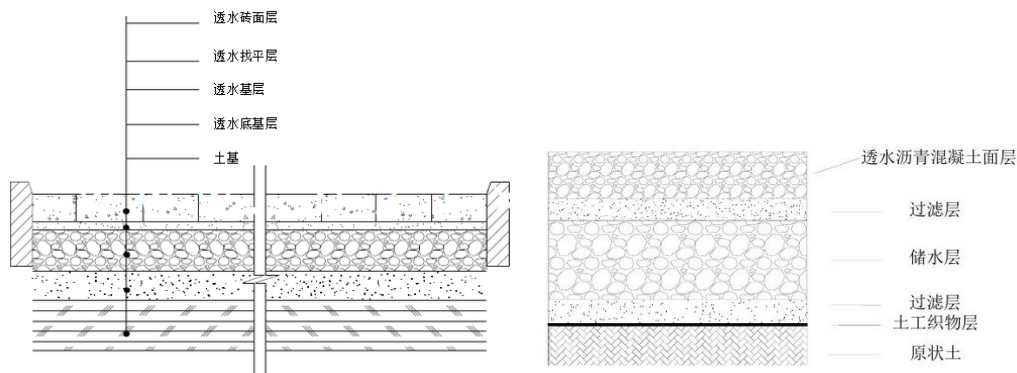


图 8-4 透水铺装结构图

8.3.2 植草沟

8.3.2.1 植草沟类型

植草沟一般分为草渠、干草沟、湿草沟和渗透草沟四类。草渠只用作传输设施；干草沟的种植土层渗透性相对较好，底部埋有渗排管；湿草沟作用与线性浅湿地相似，种植湿地植物，具有较好的污染物去除效果；渗透草沟可大量传输和入渗径流，占地面积较大，通常设置在市郊公路旁边。



图 8-5 植草沟

8.3.2.2 适用条件

植草沟适用于建筑与小区内道路，广场、停车场等不透水地面面的周边，城市道路及城市绿地等区域，也可作为生物滞留设施、湿塘等低影响开发设施的预处理设施。植草沟也可与雨水管渠联合应用，场地竖向允许且不影响安全的情况下也可代替雨水管渠。

8.3.2.3 不适用条件

植草沟不适用于地下水位高的、坡度大于 15% 的区域。

8.3.2.4 预处理设施

在植草沟入口处宜设置植草过滤缓冲带去除雨水径流中粒径较大的污染物。

8.3.2.5 尺寸设计

植草沟的上游收水区面积不应大于 0.8ha, 植被草沟宽度宜为 0.6~2.4m, 深度宜为 0.1~0.3m, 沟长不宜小于 30m。

8.3.2.6 断面形状

断面形式宜采用倒抛物线形、三角形或梯形。

8.3.2.7 坡度要求

植草沟的边坡坡度(垂直:水平)不宜大于 1:3。纵向坡度不宜超过 4.0%, 超过 4.0%时, 应设置分级控制结构将坡降控制在 4.0%以内。

8.3.2.8 介质层设计

植草沟介质层通常包括种植土壤层、过滤层、入渗/存储层。种植土壤层设计深度应不小于 300mm、过滤层设计深度宜取 100mm、入渗/存储层设计深度应不小于 450mm。

8.3.2.9 土壤属性

植草沟内土壤介质的渗透能力应不低于 1.3cm/h。对于种植草的植草沟, 土壤层的厚度最低为 0.6m; 对于种植树木和灌木的植草沟, 土壤层厚度最低为 0.9m。

8.3.2.10 流速要求

植草沟覆盖层入流速度不宜大于 0.3 米/秒, 植被层的入流速度不宜大于 0.9 米/秒。植草沟内最大流速应小于 0.8 m/s, 曼宁系数宜为 0.2-0.3。

8.3.2.11 溢流设计

植草沟应设置有分流或内部溢流措施, 用于排除超过设计标准的雨水。

8.3.2.12 排空时间

植草沟内蓄积雨水应在 24 小时内入渗到土壤层, 对环境品质和安全要求较高的地区, 宜采用 12 小时完全入渗。植草沟内蓄积雨水 48 小时内应完全渗透到土壤层以下 0.6~0.9m 的深度。

8.3.2.13 种植要求

植草沟宜种植密集的草皮草，不宜种植乔木及灌木植物，植被高度宜控制在 0.1~0.2m。

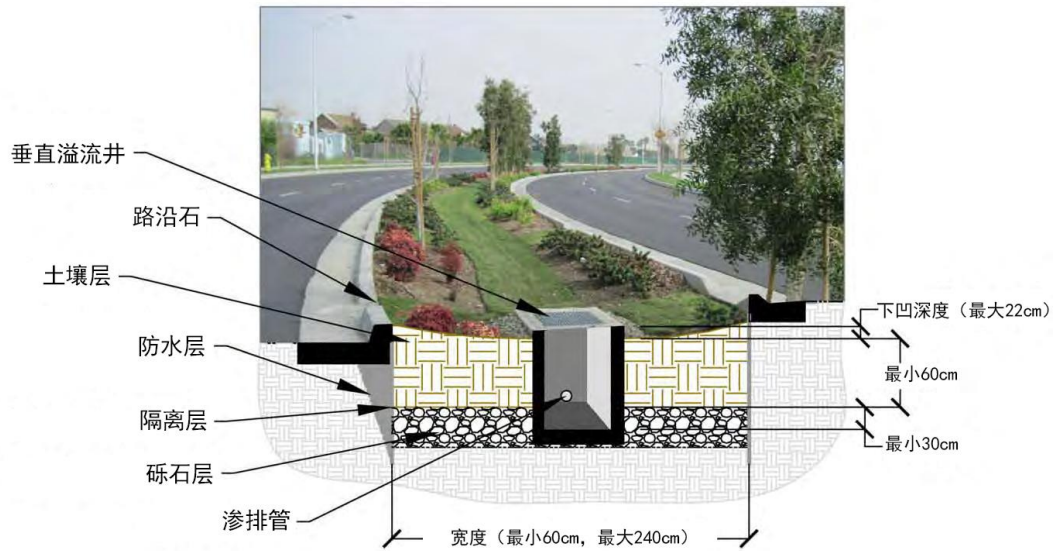


图 8-6 植草沟结构图

8.3.3 生物滞留设施

用于临时滞留和净化雨水，通过自然蒸发、土壤渗透、过滤、吸附、植物截留、生物降解，能够有效减少径流量、削减峰值流量和净化雨水，一般用于处理城市屋顶、机动车道、人行道以及其他不透水铺装表面上形成的雨水径流。按照覆盖类型，生物滞留设施分为植被、植草和盖料的三种类型。



图 8-7 生物滞留设施

8.3.3.1 适用条件

生物滞留设施通常布置在产生径流的源头区域，包括道路绿化带、停车场、密集建筑等附近区域。

8.3.3.2 不适用条件

生物滞留设施不宜建造在地面坡度大于 20% 的区域和需挖除成熟树木置换建设场地的区域。

8.3.3.3 坡度要求

生物滞留设施宜设计为平底，不宜采用垂直边坡。设计边坡应小于 1: 2（垂直距离：水平距离），宜为 1: 4；植被边坡的设计坡度应小于 1: 3。

8.3.3.4 预处理设施

道路、广场、停车场等区域的雨水径流汇入前，宜设置植草沟或植被过滤带等雨水预处理设施。

8.3.3.5 选址要求

生物滞留设施选址应综合考虑周边建筑、地下设施、坡度、底层土壤的渗透性和地下水位深度等因素，一般应布置在行人和车流较少的区域以减轻构造介质承受过多荷载而被压密。

8.3.3.6 设计规模

生物滞留设施的设计表面积应根据上游收水区面积及不透水率计算确定,建设面积不宜小于 2m^2 、生物滞留设施上游收水区范围不应大于 2ha 。

8.3.3.7 介质要求

生物滞留设施通常包括蓄水层、覆盖层、种植土壤层、隔离层、排水/入渗层。蓄水层厚度一般为 $200\sim 300\text{mm}$, 并设置 100mm 的超高; 覆盖层厚度一般为 $70\sim 80\text{mm}$; 种植土壤层厚度一般为 $600\sim 1200\text{mm}$; 隔离层厚度一般为土工布或不小于 100mm 的砂层(粗砂和细砂); 排水/入渗层厚度一般为 $300\sim 1000\text{mm}$ 。

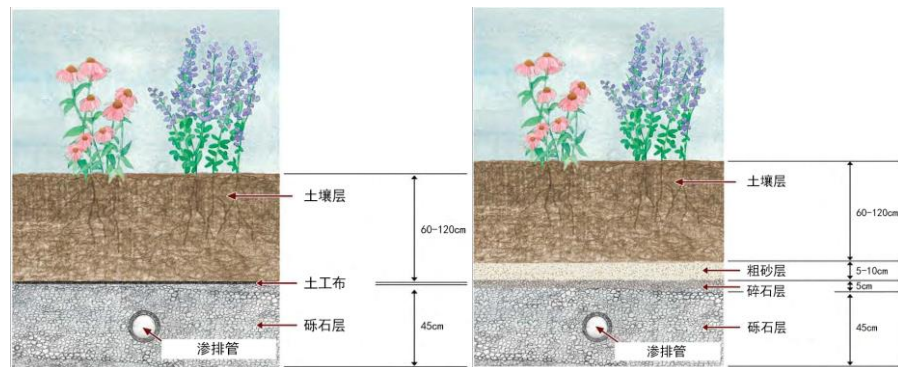


图 8-8 生物滞留设施介质结构

8.3.3.8 入流流速限制

盖料型生物滞留设施雨水入流流速不应大于 0.3m/s , 植被、植草型生物滞留设施雨水入流流速不应大于 0.9m/s 。

8.3.3.9 溢流口设计

生物滞留设施蓄水层顶部一般应设置溢流口, 溢流口与蓄水层设计水面之间最大高差不宜超过 100mm 。

8.3.3.10 排空时间

生物滞留设施内蓄积雨水应在 24 小时内入渗到种植土壤层, 对环境品质和安全要求较高的地区, 宜采用 12 小时完全入渗。生物滞留设施内蓄积雨水 48 小时内应完全渗透到种植土壤层以下 $0.6\sim 0.9\text{m}$ 的深度。

8.3.3.11 植物选择

优先选择耐旱、耐淹、抗性强、易维护的乡土植物, 并和景观要求相结合。

8.3.4 绿色屋顶

8.3.4.1 适用范围

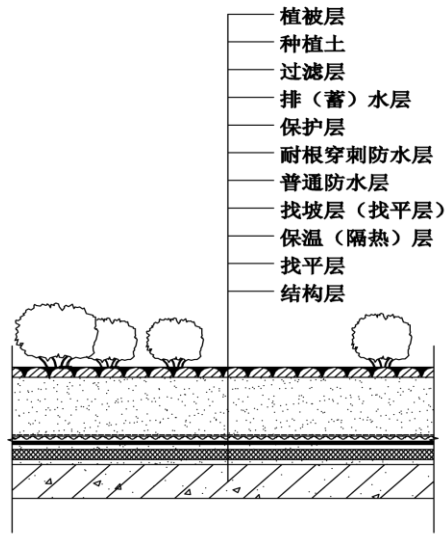
绿色屋顶适用于结构安全、符合防水条件的平屋顶和坡度不大于 15 度的坡屋顶建筑，优先布置在多层建筑及面积较大的建筑裙楼。



图 8-9 绿色屋顶

8.3.4.2 绿色屋顶的构成

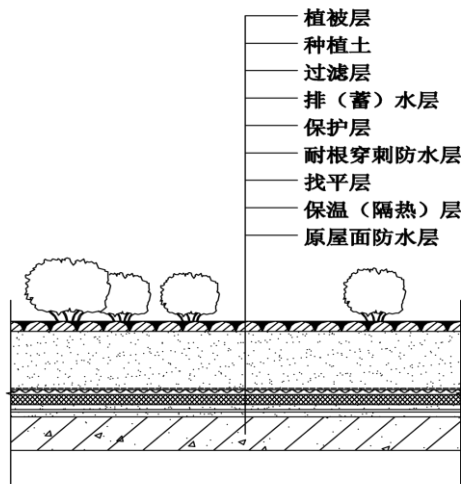
绿色屋顶的基本构造(自上而下)包括植被层、种植土、过滤层、排(蓄)水层、保护层、耐根穿刺防水层、普通防水层、找平层、找坡层、保温(隔热)层、找平层和结构层。



平屋面种植屋面基本构造

8.3.4.3 既有建筑屋面改造种植绿色屋顶

既有建筑屋面改造为绿色种植屋面时，必须经有资质的设计单位和检测部门鉴定，核算结构承载力，并根据结构承载力确定其构造及种植形式，应选用轻质种植土和地被植物。



既有建筑种植屋面基本构造

8.3.4.4 绿色屋顶设计的基本规定

- (1) 绿色屋顶设计应遵循“防、排、蓄、植并重，安全、环保、节能、经济，因地制宜”的原则，并考虑施工环境和工艺的可操作性。
- (2) 种植设计应与生态和景观相结合。

(3) 绿色屋顶种植土宜选用改良土或无机复合种植土，禁止使用三合土、石渣、膨胀土等土壤作为栽植土。种植土厚度不宜小于 150mm。

(4) 绿色屋顶的雨水排水系统设计应满足《建筑屋面雨水排水系统设计规程》(CJJ142-2014) 要求。

(5) 绿色屋顶的排水坡度宜为 1%~2%，单向坡长大于 9m 时宜采用结构调坡。

8.3.4.5 绿色屋顶的材料要求

(1) 普通防水材料的选用应符合现行国家标准《屋面工程技术规程》(GB50345-2012)、《种植屋面工程技术规程》(JGJ155-2013)。

(2) 耐根穿刺防水材料的选用应符合国家相关标准的规定，并由具有资质的检测机构出具合格检验报告。

(3) 排(蓄)水材料不得作为耐根穿刺防水材料使用。

8.3.4.6 绿色屋顶植物选择

(1) 遵循植物多样性和共生性原则，以生长特性和观赏价值相对稳定、滞尘控温能力较强的本地常用和引种成功的植物为主，优先选择低矮灌木、草坪、地被植物等。

(2) 应尽量减少对屋面排水系统的影响，宜选择四季常青、落叶较少、易于维护的植物。

(3) 不宜选用根系穿刺性较强的植物，防止植物根系穿透建筑防水层。

(4) 选择抗污性强，可耐受、吸收、滞留有害气体或污染物质的植物。

8.3.4.7 绿色屋顶排水设计

(1) 绿色屋顶应按规范设置相应的排水系统和溢流系统。

(2) 屋面雨水管排入绿地等设施时，应视具体情况设置减少雨水冲击力的缓冲消能措施。

(3) 绿色屋顶的排水收集口应能有效排除屋顶表面径流和种植土下的排水层的渗流，可设置在雨水收集沟内。

8.3.4.8 绿色屋顶安全性要求

(1) 植物荷重设计应按植物在该环境下生长 10 年后的荷重估算。

(2) 花园式绿色屋顶种植的布局应与屋面结构相适应，乔木类植物等荷载较大的设施，应设在承重墙或柱的位置。如不可能，则必须采取相应的结构安全措施。

8.4 常见设施的组合设计

低影响开发设施的选择应结合不同区域水文地质、水资源等特点，建筑密度、绿地率及土地利用布局等条件，结合汇水区特征和设施的主要功能、经济性、适用性、景观效果等因素选择效益最优的单项设施及其组合系统。组合系统的优化应遵循以下原则：

(1) 组合系统中各设施的适用性应符合场地土壤渗透性、地下水位、地形等特点。在土壤渗性能差、地下水位高、地形较陡的地区，选用渗透设施时应进行必要的技术处理，防止塌陷、地下水污染等次生灾害的发生。

(2) 组合系统中各设施的主要功能应与规划控制目标相对应。

在内涝严重的地区，应优先选择径流峰值控制能力较强的设施；其他地区宜优先选择对雨水径流中污染物具有良好去除效果的设施。

在选择雨水径流净化设施时，应先去除粒径较大的颗粒物，然后去除粒径较小的颗粒物，最后去除溶解性的污染物。

不同粒径的污染物的处理工艺及措施分别参见图 8-10 和 8-11。

污染物颗粒	应对的问题					处理措施
	感官	沉淀	有机物	营养物	重金属	
固体悬浮物 >5000 μm	垃圾	碎石	植物碎屑			格栅
中粗颗粒物 5000 μm - 125 μm		泥沙				沉淀
细颗粒物 125 μm - 10 μm				颗粒物	颗粒物	强化沉淀
极细颗粒物/胶体 10 μm - 0.45 μm	浊度		天然和人工物质	可溶性营养物	胶体	粘附和过滤
溶解性固体						生物吸收

图 8-10 不同粒径污染物去除工艺选择图

(资料来自：澳大利亚墨尔本市水敏感城市设计指南)

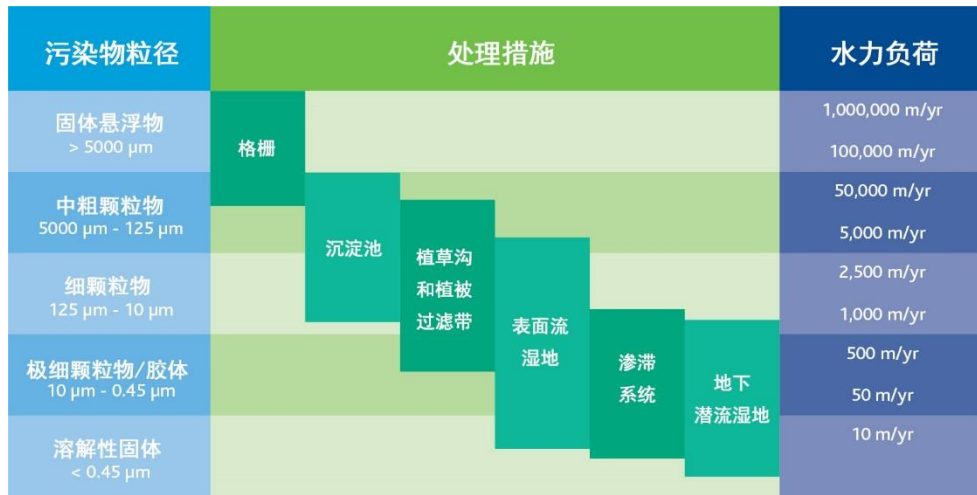


图 8-11 不同粒径污染物去除措施选择图

(资料来自：澳大利亚墨尔本市水敏感城市设计指南)

8.5 设施优化

在满足控制目标的前提下，综合考虑环境效益、社会效益和经济效益，对各项设施的组合进行优化。场地条件允许时，优先选用景观效果较优的设施。

附件 A 模型在海绵城市建设方面的应用

1.1 模型在海绵城市建设中的作用

低影响开发模型是模拟城市降雨、产汇流、污染物消纳、雨水滞蓄等一系列内容的工具，以支撑海绵城市规划、设计和运行管理的科学决策。

1.2 常见模型

模型计算会产生大量以复杂形势存储的计算结果，地理信息系统(GIS)技术的发展为模型模拟可视化提供了强有力的技术支持，将复杂数据图形化，方便了用户对模拟结果进行直观的理解和分析。目前，国内外有众多的基于GIS的排水管网模拟软件供使用者选择。包括暴雨管理模型(SWMM)、储存处理和漫流模型(Storage Treatment Overflow Runoff Model, STORM)等共享软件，以及DHI MIKE系列、Wallingford城市综合流域排水模型系统(InfoWorks ICM)、eWater MUSIC(Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualisation)、XPdrainage大量商业软件。

SWMM模型是一个对城市区域排水系统的水量和水质变化规律进行综合模拟分析的模型。采用非线性水库模型模拟地表径流，圣维南方程演算管网的输送过程，累积-冲刷模式模拟地表径流的污染。SWMM模型可用于城市区域降雨径流、合流制管道、污水管道和其它排水系统的规划设计、情景分析和方案评估等多个方面，包括为控制城市内涝而设置各类排水设施的选择与设计、为减少合流制管网溢流(Combined Sewer Overflow, 简称CSO)而制定管理策略、为掌握入流和入渗对污水管溢流的影响而进行系统评估、为开展城市非点源污染研究以减少雨季非点源污染负荷而制定控制措施等。在基础数据满足建模要求的前提下，SWMM模型也可应用于非城市区域的分析与模拟。

STORM 模型是由美国陆军工程兵团水文工程中心开发，能够模拟城市或农村地区的地表径流和污染物负荷等对降雨的响应，既可进行单场降雨模拟，也可用于以小时为时间步长的连续模拟，一般用于工程规划中对流域长期径流过程的模拟。该模型可以模拟径流、蓄水、溢流、污染物去除和土壤侵蚀等过程。在进行径流模拟时，根据地表特性将汇水区分为透水区和不透水区，径流量的计算可利用径流系数法和径流曲线数值（curve number，简称 CN）法，或将两种方法进行组合，在不透水区采用径流系数法，而在透水区采用 CN 法。采用径流系数法时，径流量可视为降雨量减去截流量的线性函数，不透水区所占比例、透水区和不透水区的径流系数等均是可变的参数。采用 CN 法时，根据土壤的类别和土地利用特征等资料，可通过 CN 值计算出土壤的潜在蓄水量（potential storage）。利用 STORM 模型可计算出一系列水质参数（如可悬浮/可沉淀固体、BOD、总氮、总磷和总大肠杆菌）的浓度和负荷，从而为控制降雨径流和土壤侵蚀的存储和处理设施的尺寸设计提供数据支持。同时，由于该模型的径流估算采用经验公式，也可计算非城市区域的地表冲刷过程。

1.3 模型构建

1.3.1 数据收集

1.3.1.1 数据需求

数据的准确与完整是模型构建的基础。低影响开发模型所需主要数据内容和类型如下表，也可参考《城市排水防涝设施普查数据采集与管理技术导则》（建城[2013]88号）以及相应模型说明文档。

附表 1：模型数据类型及用途

类别	数据名称	详细内容	用途
气象数据	降雨数据	降雨强度、降雨量、降雨历时	确定降雨过程曲线
	蒸发数据	蒸发量、蒸发速率	确定汇水区地表水、地下水、蓄水设施中的蒸发量
下垫面数据	现状下垫面数据	土地利用状况 土壤渗透属性 河湖水面情况	分析汇水区的不透水区比例、洼地蓄积量等参数 确定排水出路及受纳水体
	数字高程模型(DEM)	地表高程信息	识别汇水区，提取坡度、坡向等属性
	土地利用规划	城市总体规划或详细规划的土地利用规划图	规划模型汇水区划分与参数设定
	道路与场地竖向规划	城市总体规划或详细规划的道路与场地竖向规划图	
管网/构筑物数据	排水管网数据	节点（检查井、雨水口、排放口、闸、阀、泵站、调蓄池）、管线（排水管、排水渠）的数据	构建管网拓扑关系
	排水设施性能数据	水泵曲线、调蓄设施蓄水曲线等	描述排水设施（水泵、调蓄设施等）的性能和调控参数
	低影响开发设施数据	类型、位置、尺寸、进出流量、调蓄容积、污染物去除效率等	完善与管网等设施拓扑关系、描述低影响开发设施性能
监测数据	流量监测数据	管网/设施液位、流量监测数据	率定和验证模型参数
	水质监测数据	河湖、管网、设施水质监测数据（COD、TP、TN、SS等）	率定和验证模型参数 确定水质控制目标
	水量使用数据	供水情况、排水情况	确定水量控制目标
其他数据	规划文本	城市总体规划、详细规划及相关规划的文本资料	设定规划情景下的模型相关参数
	工程造价	各类设施基础造价	优化设施组合
	其他	各类相关数据	—

1.3.1.2 数据精度

根据不同规划设计尺度，模型所需要的数据精度也不尽相同，保证精确性的同时，应兼顾模型运行的稳定性与经济性。数据精度推荐如下。

附表 2：模型数据精度要求

设计阶段	推荐精度
总体规划阶段	1:5000~1:10000
控制性详细规划阶段	1:500~1:1000
修建性详细规划阶段	1:100~1:500
施工图设计阶段	1:100~1:500
专项规划阶段	1:100~1:1000

1.3.2 模型建立

1.3.2.1 数据整理

按模型数据格式需求，将收集数据进行数字化整理，并转换为模型可识别的类型，本导则以基于 GIS 类型的数据（库）格式作为示例。

（1）下垫面

下垫面数据应按附表 3 中的数据格式要求进行整理。

附表 3：汇水区数据格式及内容要求

序号	中文字段名	英文字段名	推荐数据类型	说明
1	汇水区标识码	CatchmentID	字符	唯一编码
2	下垫面类型	Landuse	索引字符	1-屋面；2-一般路面；3-透水路面；4-一般绿地；5-低势绿地；6-水面；7-广场；8-停车场；9-其它
3	面积	Area	双精度	应与多边形要素的几何面积一致，单位：平方米
4	平均坡度	Slope	双精度	可以通过 DEM 等数字高程数据统计计算，百分数
5	平均地表高程	Elevation	双精度	可以通过 DEM 等数字高程数据统计计算
6	不透水区比例	Imperv	双精度	不透水区域所占百分比，可根据下垫面类型进行估算
7	出水口编码	OutletID	字符	接纳汇水区地表径流的雨水口、检查井或另外一个汇水区编码
8	曼宁系数	Manning	双精度	可根据下垫面类型进行估算
9	最大渗透系数	MaxInfilRate	双精度	该汇水区最大渗透系数，单位：毫米/小时
10	饱和渗透系数	MinInfilRate	双精度	该汇水区饱和状态下的渗透系数，单位：毫米/小时
11	数据来源	DataSource	字符	1-自动识别；2-手工绘制；3-其它，并注明来源
12	数据获取时间	Record_Date	时间字符	格式：yyyy-m-d，数据来源的具体日期

序号	中文字段名	英文字段名	推荐数据类型	说明
13	备注	Remark	字符	相关事项说明

其中，汇水区不透水率可通过**实测**或汇水区的土地利用比例获得。土地利用分类按照《土地利用现状分类（GB/T 21010-2007）》共分为 12 个一级类，57 个二级类，下表给出了不同土地利用类型的不透水率的典型参考取值，具体取值还需要根据研究区实际情况而定。不透水率计算采用加权平均法，计算公式如下：

$$P = \frac{\sum_{i=0}^n P_i A_i}{\sum_{i=0}^n A_i}$$

式中： P ——汇水区的不透水率（%）；

P_i ——不同土地利用类型的不透水区率（%）；

A_i ——不同土地利用类型的占地面积（ m^2 ）。

附表 4：不透水率参考取值

一级类		二级类	不透水率 (%)
编码	名称	名称	
1	耕地	水田、水浇地、旱地	0-10
2	园地	果园、茶园、其他园地	0-10
3	林地	有林地、灌木林地、其他林地	0-10
4	草地	天然牧草地、人工牧草地、其他草地	0-10
5	商服用地	批发零售用地、住宿餐饮用地、商务金融用地、其他商服用地	85-100
6	工矿仓储用地	工业用地、采矿用地、仓储用地	40-75
7	住宅用地	城镇住宅用地、农村宅基地	50-95
8	公共管理与公共服务用地*	机关团体用地、新闻出版用地、科教用地、医卫慈善用地、文体娱乐用地、公共设施用地、公园与绿地、风景名胜设施用地	70-100
9	特殊用地	军事设施用地、使领馆用地、监教场所用地、宗教用地、殡葬用地	60-80
10	交通用地	铁路用地、公路用地、街巷用地、农村道路、机场用地、港口码头用地、管道输送用地	80-100
11	水域及水利设施用地	河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、沿海滩涂、内底滩涂、沟渠、水工建筑用地、冰川及永久积雪	0-10
12	其他用地	空闲地、设施农用地、田坎、盐碱地、沼泽地、沙地、裸地	0-10

(2) 管网数据

管网数据分为节点数据和管段数据，具体数据格式与内容要求可参考《城市排水防涝设施普查数据采集与管理技术导则》。

(3) 河湖水系数据

河湖水系数据需要将实测不规则的断面数据概化为较为规则的几何形状，河湖水系数据应按附表 5 中的数据格式要求进行整理。

附表 5：水系数据格式及内容要求

序号	中文字段名	英文字段名	推荐数据类型	说明
1	河道名称编码	RiverName	字符	区分河道
2	河段编码	RiverID	字符	唯一编码，区分河道不同区段
3	河段长度	River_Length	双精度	应与线要素的几何长度一致，单位：米
4	断面编码	ShapeID	字符	唯一编码
5	断面形式	ShapeType	索引字符	1-圆形；2-梯形；3-三角形；4-椭圆形；5-矩形；6-不规则形状
6	断面尺寸 1、2...	ShapeData1、2...	双精度	对应断面形式填写直径、上口宽、下口宽、边坡坡度等数据
7	断面水质 1、2..	ShapePollution1、2..	双精度	单位对应于不同水质参数
8	初始流量	InitialQ	双精度	河道初始流量
9	初始水位	InitialDepth	双精度	河道初始水位
10	断面流量	ShapeQ	双精度	断面输入、输出流量
11	粗糙系数	Roughness	双精度	若无数据，则根据材质确定
12	湖泊名称编码	LakeName	字符	区分湖泊
13	湖泊面积	LakeArea	双精度	湖泊面积，单位：平方米
14	湖泊深度	LakeDepth	双精度	湖泊平均深度，单位：米
15	输入流量	InputQ	双精度	湖泊进入流量
16	输出流量	OutputQ	双精度	湖泊排泄流量
17	湖泊水质 1、2..	LakePollution1、2..	双精度	单位对应于不同水质参数

(4) 低影响开发设施数据

低影响开发设施数据应按附表 6 中的数据格式要求进行整理。

附表 6：低影响设施数据格式及内容要求

序号	中文字段名	英文字段名	推荐数据类型	说明
1	设施编码	LID_ID	字符	唯一编码
2	设施类型	LID_Type	索引字符	类型参考第 8 章，常用设施设计指引
3	设施面积	LID_Area	双精度	单位：平方米
4	渗透速率	InfilRate	双精度	渗透系数，单位：毫米/小时，调蓄池为 0
5	调蓄深度	Stor_Depth	双精度	单位：毫米
6	调蓄容量	Stor_Vol	双精度	单位：立方米
7	粗糙系数	LID_Rough	双精度	转输设施粗糙系数

1.3.2.2 数据输入

不同类型数据通过坐标校正、分层处理后输入模型，并对河网、下垫面、管网、低影响开发设施等模块进行连接。

1.3.2.3 拓扑关系检查

数据整理转换完成后，需进行数据准确性以及拓扑关系检查。主要包括管网、河湖水系、低影响开发设施以及相互之间相对位置与连接关系检查。

以管网拓扑关系检查为例，在管网模型中对管线错接、节点空间位置偏移、管线反向、连接管线缺失、管线逆坡、环状管网或断头管、管线重复、管线中间断开等常见拓扑问题进行核查，对于存在拓扑错误的区域需要及时进行现场补测和重新勘察，保证排水管网数据的有效性和真实性。在数据校核后，将数据处理为模拟软件需要的输入文件格式。

1.3.3 参数的验证率定

1.3.3.1 确定性参数

对于管长、管径、地形等确定性参数，通过现场实测等手段验证所收集整理数据的可靠性。

1.3.3.2 不确定参数

针对难以测量，资料缺失的参数，可通过研究区域的大量相关数据，结合经验进行参数取值范围的设定，并通过模型结果与实际结果进行对比识别与率定参数，以使模型更加真实的反映排水管网的排水规律。

1.3.3.3 参数率定

参数率定是将模型计算结果与实测数据比较以优化参数的过程。一般采用人工试错法以及基于优化思想的参数自动优化方法。基于建模数据的准确度和模拟分析的精度要求，确定合适的目标函数评价准则，对于多参数组合情况，推进采用参数自动优选法，并利用多个目标函数进行多目标决策分析，提高模拟结果的可靠性。

优化准则（参数可接受程度）采用目标函数确定，其中目标函数有方差、标准差、绝对差、相关系数等，具体参见附表 7。

附表 7：常用目标函数表

目标函数	公式	说明	评价准则
总和误差	$DTV = \sum_{t=1}^N (q_t(\theta) - q_t^{obs})$	模拟值和实测值之间差异的总和	DTV 值越小，可信度越高
标准差	$D = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^N (q_t(\theta) - q_t^{mean})^2}$	模拟值和实测值均值之间的偏离程度	D 值越小，可信度越高
百分标准偏差	$PBIAS = \frac{\sum_{t=1}^N (q_t(\theta) - q_t^{obs})}{\sum_{t=1}^N q_t^{obs}} \times 100\%$	模拟平均值和实测值在对应时间序列 n 阶时间步长的相对百分比差额	PBIAS 约接近 0，可信度越高
相关系数	$R = \frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q^{mean})(q_t(\theta) - q(\theta)^{mean})}{\sqrt{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q^{mean})^2 \sum_{t=1}^N (q_t(\theta) - q(\theta)^{mean})^2}}$	模拟值与实测值之间规律的相近程度	R 越接近 1，模拟结果越好通常 R≥0.8 为高相关性
Nash-Sutcliffe 效率系数	$NS = \max(0, 1 - \frac{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q_t(\theta))^2}{\sum_{t=1}^N (q_t^{obs} - q^{mean})^2})$	通过对比过程线来衡量模拟值和实测值的吻合度	NS 越接近 1，模拟结果越好

注： $q_t(\theta)$ 为模型在参数组 θ 下 t 时刻的模拟值， q_t^{obs} 为 t 时刻的观测值， q^{mean} 为观测值的平均值。

1.4 海绵城市规划设计中的模型应用

1.4.1 前评估

规划设计前，首先利用模型对现场进行评估，通过 GIS 空间地理分析技术，对研究区域进行下垫面分析，获取用地分类与土壤等数据，并确定汇水分区，识别低洼地段。结合降雨、河道、管网、低影响开发设施等模块，通过模型模拟计算研究区域的现状径流总量与径流系数，评估现状问题与风险。

1.4.2 确定初步方案

通过对比模型结果与年平均径流总量控制率、年径流污染削减率目标，分析海绵城市建设目标的可达性，并优化控制指标。

对于城市总体规划与控制性详细规划层次的海绵城市规划设计方案，模型可用于辅助指标分解。由于各区域、地块之间存在差异，为保证控制指标的可实施性，需要进行大量的方案组合与试算，推荐利用模型工具实现低影响开发设施选择与建设规模等参数自动计算，并与分区、地块进行匹配，提高计算效率。

对于修建性详细规划与设计层次的海绵城市规划设计方案，重点根据控制指标布置低影响开发设施，并结合模型进行设施组合优选。模型重点输出径流总量、污染物总量与各设施设计参数，以完成控制率核算与设施设计。

1.4.3 评估与优化方案

利用模型对规划设计方案进行流量与污染物总量计算，核算控制目标，并定量分析方案洪涝控制、污染控制、雨水利用、经济成本等主要方面所能达到的效果。控制率不满足的需重新调整设计方案，直到控制率达到相应要求。在控制目标达到要求的基础上，低影响开发设施布局应充分结合地形、用地、经济成本等进行优化。