**CECS XXX：20XX**

中国工程建设协会标准

**海绵城市低影响开发设施评价方法**

**Assessment Method of Sponge City Low Impact Development Facilities**

**（征求意见稿）**

20XX－XX－XX 发布 20XX－XX－XX 实施

中国工程建设协会标准

**海绵城市低影响开发设施评价方法**

**Assessment Method of Sponge City Low Impact Development Facilities**

**CECS XXX：20XX**

主编单位：清华大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2020年XX月XX日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2018]015号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准的主要技术内容是：1总则；2术语；3基本规定；4低影响开发设施比选。

本标准由中国工程建设标准化协会城市海绵城市专业委员会归口管理，由清华大学负责具体技术内容的解释。在执行过程中，请各单位注意总结经验和积累资料，并及时将意见和建议寄送解释单位（地址：北京市海淀区清华园1号清华大学环境学院；邮编：100084），以供今后修订时参考。

**主 编 单 位**：清华大学

**参 编 单 位**：悉地（苏州）勘察设计顾问有限公司

中规院（北京）规划设计公司

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

浙江清环智慧科技有限公司

北京清源华建环境科技有限公司

武汉大学

**主要起草人**：贾海峰 陈 嫣 韩素华 张 翔 由 阳 陈正侠

李骐安 刘滋菁 印定坤 孙朝霞 徐常青 郭宏凯

徐 特 翟明洋 高郑娟 杨 烨 曹倩男 陆敏博

钱冬旭 俞铭琦 马宇辉 史志广 王 盼 张 洋

李 爽 李文杰 闫 一 杨 柳 赵冬泉 李志一

李 萌 刘树模 杜志鹏 龙 瀛 侯静轩 肖 宜

徐 晶

**主要审查人**：

目 次

1 总则 1

2 术语 2

3 基本规定 3

4 低影响开发设施比选 5

4.1 一般规定 5

4.2 低影响开发设施分类 6

4.3 低影响开发设施场地特征初选 8

4.4 低影响开发设施综合效能评价指标比选体系 14

4.5 低影响开发设施综合效能指标属性 16

4.6 低影响开发设施综合效能指标权重 25

4.7 低影响开发设施综合效能评估 27

**本规程用词说明** 30

**引用标准名录** 31

Contents

1 General provisions 1

2 Terms 2

3 Basic requirements 3

4 Selection method of low impact development facilities 5

4.1 General requirements 5

4.2 Classification of low impact development facilities 6

4.3 Primary selection of site features 8

4.4 Selection system of comprehensive efficiency evaluation indicators 14

4.5 Attribute values of low impact development facility indicators 16

4.6 Weight values of low impact development facility indicators 25

4.7 Comprehensive efficiency evaluation of low impact development facilities 27

**Explanation of wording in this standard** 30

**List of quoted standards** 31

# 总则

**1.0.1** 为科学系统全域推进海绵城市建设，改善城市生态环境质量，提升城市基础设施环境效益、生态效益和经济效益，规范低影响开发设施的比选方法，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于海绵城市建设前低影响开发设施的比选。

**1.0.3** 低影响开发设施类别宜基于《海绵城市建设技术指南-低影响开发雨水系统构建（试行）》和中国目前试点城市已建的源头低影响开发设施种类，按其主导功能进行分类比选。

**1.0.4** 低影响开发设施的比选方法，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和地方有关标准的规定**。**

**【条文说明】**有关标准包括现行国家标准《室外排水设计规范》GB 50014、《城镇内涝防治技术规范》GB 51222、《城市绿地设计规范》GB 50420和《城市用地分类于规划建设用地标准》GB50137等。

# 术语

**2.0.1** 比选方法 selection method

通过总结、比较和分析，因地制宜选择低影响开发设施的方法。

**2.0.2** 下凹式绿地 depressed green

城市中低于周边地面标高、可积蓄、下渗自身以及周边雨水径流的绿地。

**2.0.3** 场地特征 site features

场地特征包括位置、土壤条件、地下水特征、地形地势、汇水区特征、空间需求等指标。

**2.0.4** 指标属性值 attribute value

指标体系中某一项指标自身具有的特定的特征或参数。

**2.0.5** 指标权重值 weight value

指标体系中某一项指标相对于其他指标的相对重要程度。

**2.0.6**  综合效能 comprehensive effectiveness

综合考虑低影响开发设施的各项指标和权重得到该设施的综合效能分值。

# 基本规定

**3.0.1** 不同地区结合所在地的气候、资源环境和社会经济等条件因地制宜进行海绵城市规划和建设。

**3.0.2** 不同地区在进行海绵城市规划和建设时，应按照本地条件选择合适的低影响开发设施。

**3.0.3** 低影响开发设施比选涉及多种决策因素，其重要性会随着所在地的气候、资源环境和社会经济等条件的不同而不同。可按照一定的综合评价方法，比较各种因素的重要性，为比选决策提供定量的依据。

**3.0.4** 低影响开发设施比选方法应按如下步骤进行：

**1** 对低影响开发设施的场地特征进行初选；

**2** 对低影响设施进行分类评价其主要功能和优缺点；

**3** 建立低影响开发设施比选指标体系；

**4** 确定低影响开发设施指标属性和权重；

**5** 整合计算低影响开发设施综合效能，比选出适宜的低影响开发设施。

**【条文说明】**低影响开发设施比选方法的技术路线如图 1所示。

图 1 低影响开发设施比选技术路线

# 低影响开发设施比选

## 一般规定

**4.1.1** 低影响开发设施的比选应分类评价各项设施的功能及优缺点。

**【条文说明】**国内外低影响开发设施种类名称较多，基于低影响开发设施现有的实践现状，针对其中所有小型源头设施（暂不考虑节点和末端设施），按其主导功能分为9类，分别为生物滞留设施、透水铺装、绿色屋顶、湿塘、雨水收集设施、干塘、植草沟、渗渠、植被缓冲带。

**4.1.2** 下凹式绿地作为一种海绵城市建设中具有很强自然存积、自然渗透、自然净化功能的手段，在城市规划和建设中时应根据城市绿地的布局能建尽建，发挥城市绿地的海绵功能，不列在此次低影响开发设施的比选范围内。

**【条文说明】**相对于城市道路、建筑等不透水下垫面，包括公园绿地、防护绿地、广场绿地、附属绿地等在内城市绿地是城市用地中具有很强生态价值的城市透水性下垫面，具有自然存积、自然渗透、自然净化的海绵功能，在进行海绵城市建设时，应尽可能使绿地高程低于周围地面，建成下凹式绿地，服务于周边降雨径流的控制。

## 低影响开发设施分类

**4.2.1** 低影响开发设施类型多、有不同特征，在进行海绵城市建设时，应基于各种低影响开发设施的结构、形式、施工要求等特点评价其优点和局限性。

**4.2.2** 对9类低影响开发设施的优缺点应基于其特征进行分类评价：

1. 生物滞留设施，按照建设位置和构造复杂程度不同又叫生物滞留槽、生物滞留带、雨水花园、生态树池、高位花坛等，是目前国内外广泛使用的一类低影响开发设施。它对雨水径流总量及水质均有较好的控制效果，且形式多样，可用于空间有限的高密度区域，加上合理的设计和妥善的维护，可以达到良好的景观效果，改善小区环境。
2. 透水铺装，根据其使用材料的差别，可分为透水混凝土、透水沥青、透水砖、植草砖等设施。堵塞是透水铺装的重要问题。透水铺装的堵塞物保持在距路面2 cm范围内为宜，且应定期清扫路面以保持路面渗透率。
3. 绿色屋顶，按照植物配置和建设复杂程度可分为拓展型绿色屋顶、密集型绿色屋顶（屋顶花园）、以及半密集型绿色屋顶等。绿色屋顶是削减城市暴雨径流量、缓解降尘污染的重要途径之一。它适用性广，可有效收集利用雨水径流，在削减屋面径流总量和缓解径流污染的同时，还能减轻大气污染和城市热岛效应，提高城市绿化率，改善居住小区的生态环境，美化城市景观。但其不适用于屋顶坡面较陡的老建筑物，而且在氮（N）、磷（P）污染较敏感的区域应慎用。
4. 湿塘，按体积大小又可分为人工湖泊和小型池体。其优点是有较好的滞洪和水质净化作用，且设施结构简单，初期投资费用和设施维护检修费用均较低但由于对占地面积的需求，难以应用于拥挤的城区中。
5. 雨水收集设施，按照设施形状不同包括雨水罐、雨水桶、雨水仓等，用于接受屋面径流雨水，并其储存、蓄积和利用。此类设施结构简单，形式多样，能有效地集蓄、利用屋面雨水资源，占地小，且投资费用和维护需求均较低，适用范围广。其局限在于对径流水质的控制有限，若屋面径流污染严重则需要在回用或排放前进行额外处理，对于水资源相对丰沛的区域实用性不高。
6. 干塘，根据设施结构和功能差异分为渗透塘、入渗池、渗井和调节塘等。其优点是能提供不同规模的滞蓄容积，结构简单，管理方便，并具有渗透、调节、净化、改善景观等多重功能。但其对于场地要求也比较高，最大坡度宜<15%，对污染物的去除效率不高，并有因孔隙堵塞而引起设施不能正常运作的风险。
7. 植草沟，按建设位置不同也叫植被浅沟，是一种很有效的路面雨水滞留净化和转输系统，设计变通性强，而且相比于其它路边雨水设施而言造价较低，设计得当还能具有一定的绿化景观价值。但局限性主要在于其只适用于小流量的汇水区域，对高密度居住区、商业区以及工业区等综合径流系数大产流多的区域的处理能力则显不足，且受地面坡度的限制。
8. 渗渠，按建设形状不同也称入渗沟，其优点在于设计简单，设施投资低，能够削减径流水量并且利用了表层土壤的过滤作用净化水质。其局限在于对设施选址的要求较高，受地面条件限制较多，不适用于粘性土、入渗沟底部与地下水季节性最高水位距离小的地区，不适宜在工业用地或者交通主干道使用，并且会因长期沉积物的累积而造成设施堵塞，无法达到建设目标。
9. 植被缓冲带，按建设形状不同也叫植被缓冲区和过滤草带，其作为一种自然净化措施，建造费用较低，自然美观，并能有效减少悬浮固体颗粒和有机污染物，并保护土壤，减少水土流失。但不适用于场地坡度较大的区域。

**4.2.3** 低影响开发设施的评价宜密切结合国内外技术的最新研究成果，评价应全面具体。

## 低影响开发设施场地特征初选

**4.3.1** 在进行海绵城市建设时，宜充分调查场地特征，根据场地特征初步选择适合的低影响开发设施种类。

**4.3.2** 低影响开发设施场地适用特征的初选应建立一个场地特征指标体系反映低影响开发设施的场地适用性。

**4.3.3** 低影响开发设施场地特征指标体系应包括区域位置、土壤条件、地下水特征、地形地势、汇水区特征、空间需求六个指标。

**【条文说明】**场地特征中区域位置、土壤条件、地下水特征、地形地势、汇水区特征、空间需求六个指标，分别反映低影响开发设施适宜布置的土地利用空间特征、土壤类型、地下水水位、坡度、汇水区特征、可用地面积等，如图 2所示。



图 2低影响开发设施适用场地特征指标体系

**4.3.4** 区域位置中的城市用地类型应考虑住宅区、公用设施区、工业区、对外交通、道路广场和绿地，不同用地类型可参考现行国家标准《城市用地分类与规划建设用地标准》GB 50137中的有关规定

**【条文说明】**依据现行国家《城市用地分类于规划建设用地标准》GB50137，归并整理功能相似的区域，不同用地类型所包含的范围和类别代码见表 1。其中，公用设施区包括行政、商业、体育、文化娱乐、教育等用地，对外交通包括高速公路、公路等，道路广场包括主干、次干道路，公共活动广场、公共停车场等。

表 1低影响开发设施适用的城市用地类型

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别代号 | 类别名称 | 范围 |
| R | 居住区 | 居住小区、居住街坊、居住组团和单位生活区等各种类型的成片或零星的区域 |
| U | 公共设施区 | 行政办公区、商业区、金融业区、文化娱乐区域、体育场馆、医院、疗养院、学校、科研设计区域 |
| M | 工业区 | 工矿企业的生产车间、库房及其附属设施所在区域，包括专用的铁路、码头和道路等 |
| T | 对外交通 | 铁路、公路、管道运输、港口和机场等城市对外交通运输及其附属设施 |
| S | 道路广场 | 市级、区级和居住区级的道路、广场和停车场 |
| G | 绿地 | 市级、区级和居住区级的公共绿地及生产防护绿地，不包括专用绿地、园地和林地 |

**4.3.5** 区域位置中应考虑一些低影响开发设施对于适用位置的特别需求。

**【条文说明】**一些低影响开发设施对距离建筑缓冲距离、是否需要需要靠近水体、是否需要沿路边设置等位置有特殊要求。

**4.3.6** 土壤条件宜通过土壤质地反映。

**【条文说明】**低影响开发设施一般与土壤介质直接接触，一些设施的控制效果与土壤质地密切相关。依据国际制土壤质地分类，将土壤质地类型分为A、B、C、D四类，不同质地类型土壤的渗透特性见表 2。

我国南方多为砂质壤土，北方多为壤土。以渗透功能为主的低影响开发设施一般要求透水性好的沙土或壤土，而以滞、蓄功能为主的设施则一般用于透水性较差的黏土，在选择过程中需要根据具体情况加以考虑。

表 2土壤质地类型分类及其渗透特性

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 土壤质地类型 | 特性 |
| A类 | 砂土、壤质砂土、砂质壤土 | 该类土壤径流系数小、渗透速率高，甚至在全部浸润的情况下仍然可以渗透雨水，由形状良好、非常深的排水性砂或者砂砾组成。 |
| B类 | 壤土、粉质壤土 | 在全部浸润的情况下，该类土壤渗透速率中等。由中等深度到较大深度，形状一般至形状良好的排水性土壤组成，质地较细、中度粗糙。 |
| C类 | 砂质黏壤土 | 当全完浸润时，该类土壤渗透速率较低。土壤呈现层状从而阻碍土壤内部水份流动，土壤质地较细。 |
| D类 | 黏质壤土、砂质黏土、粉质黏土、黏土 | 当完全浸润时，土壤渗透速率极低。土壤涨水性好、含水率高，土壤粘土层接近地表且类似不透水材料。 |

**4.3.7** 地下水特征宜通过地下水位反映，低影响开发设施底部必须高于地下水最高水位，以防止雨水入渗与地下水位间的相互影响。

**【条文说明】**一般地，在实施海绵城市建设时可以地下水季节性最高水位与低影响开发设施底部的距离作为设施的评价基准。

**4.3.8** 地形地势宜通过汇流坡度反映，低影响开发设施应根据其结构和功能特征布置在地形坡度适宜的区域，以防止由于坡度过大而影响设施的径流控制效果。

**4.3.9** 汇水区特征宜通过汇水区服务面积和下垫面不透水率两项指标反映，低影响开发设施应根据其结构和功能特征确定其汇水服务面积，以防止由于服务面积过大而影响设施的径流控制效果。低影响开发设施的选择也应考虑汇水区的不透水率，以防止由于汇水区不透水率过大而影响设施的径流控制效果。

**4.3.10** 空间需求宜通过低影响开发设施占地面积反映，低影响开发设施的选择应考虑城市各种下垫面的面积大小。对于空间资源紧缺的高建筑密度城市区域宜选择占地面积较小的低影响开发设施。

**4.3.11** 基于本标准第4.3.4~4.3.10条规定的六类场地特征指标的分析，建立不同种类低影响开发设施场地适用性评价指标基准，如表 4.3.11所示。

表 4.3.11 低影响开发设施场地特征评价指标基准

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 低影响开发设施 | 位置特点 | | 土壤条件 | 地下水特征 | 地形地势 | 汇水区性质 | | 空间需求 |
| 土地使用类型 | 特殊要求 | 土壤类型 | 地下水位深度（m） | 汇流坡度（%） | 服务面积（ha） | 不透水率（%） | 占地面积（ha） |
| 生物滞留设施 | R,U,S,G | 道路缓冲距离<30 m  河流缓冲距离>30 m  建筑物缓冲距离>3 m | A-D | >0.6 | <15 | <1 | 0-80 | 小 |
| 透水铺装 | R,S,U | — | A-B | >0.6 | <1 | <1.2 | >0 | — |
| 绿色屋顶 | R,U,M | 平屋顶、小坡度屋顶 | — | — | <4 | — | — | — |
| 湿塘 | R,U,S,G | 河流缓冲距离>30 m | A-D | >1.5 | <10 | >6 | >0 | 大 |
| 雨水收集设施 | R,U | 建筑缓冲距离<10 m | — | — | — | — | — | 小 |
| 干塘 | R,U,S,G | 高地势  河流缓冲距离>30 m | A-D | >1.5 | <10 | >4 | >0 | 大 |
| 植草沟 | R,U,S, T,G | 不透水地面周边  道路缓冲距离<30 m | A-D | >0.6 | 0.5-5 | <2 | >0 | 中 |
| 渗渠 | R,U,S,A,G | 建筑缓冲距离>3 m  河流缓冲距离>30 m | A-B | >3.0 | <15 | <2 | >0 | 中 |
| 植被缓冲带 | R,U,S,M,T,G | 不透水地面周边  道路缓冲距离<30 m | A-D | >0.6 | <5 | — | >0 | 中 |

**【条文说明】**参照国内外各城市降雨径流管理导则的相关要求和国内海绵城市建设初步实践应用的经验，结合各类低影响开发设施的结构、经济、技术特征，并征求行业专家的意见，建立目前应用较广泛的典型低影响开发设施的场地适用性评价指标基准。

## 低影响开发设施综合效能评价指标比选体系

**4.4.1** 低影响开发设施的综合效能应包括各类设施的径流控制功效、成本投入和景观价值三类关键指标。

**4.4.2** 应细化设施的径流控制功效、成本投入和景观价值三类关键指标，构建低影响开发设施综合效能评价比选指标体系（图 4.4.2），在此基础之上进行后续的定性、定量分析。



图 4.4.2 低影响开发设施综合效能比选指标体系

**【条文说明】**构建指标体系的方法较多，本次主要采用基于层次分析法（Analytic Hierarchy Process，简称AHP）指标体系构建：将与决策有关的元素分解成目标层、项目层、准则层和指标层等。

**4.4.3** 应对指标体系中指标层的各个指标进行指标含义解读。

**【条文说明】**低影响开发设施综合效能指标体系中各指标含义的解读如表 3所示。

表 3低影响开发设施功效筛选指标体系解读

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 目标层 | 项目层 | 准则层 | 指标层 | 指标解读 |
| 低影响开发设施功效比选指标体系 | 径流功效 | 径流流量控制 | 径流量削减 | 建设前后径流量减小程度 |
| 洪峰延滞 | 建设前后峰值出现时间的延后程度 |
| 流速减缓 | 建设前后对流速的减缓效果 |
| 径流水质控制 | 悬浮沉积物（SS）去除 | 建设前后以SS计的悬浮物处理效果 |
| 营养物质（N/P）去除 | 建设前后营养物质去除效果 |
| 重金属去除 | 建设前后重金属去除效果 |
| 成本投入 | 固定投入 | 建设成本 | 建造低影响开发设施的一次性固定资产投资。 |
| 运维成本 | 运行管理和维护 | 表征低影响开发措施在维护管理上的要求，包括清淤、修剪、除草、收割及其频次等。维护成本则反映了管理维护的人力和资金投入。 |
| 景观价值 | 景观优美度 | 绿化作用 | 低影响开发设施对场地的绿化景观作用。 |
| 空间活力 | 总人流量 | 空间吸引的总人流量。 |

## 低影响开发设施综合效能指标属性

**4.5.1** 参考《海绵城市建设技术指南-低影响开发雨水系统构建（试行）》、国内外低影响开发数据库，研究文献，以及低影响开发设施监测数据等理论研究和实际工程经验等，量化指标体系中的各项指标属性值。

**4.5.2** 径流流量控制功效指标属性的确定宜按如下步骤进行：

**1** 宜明确不同低影响开发设施的降雨径流控制机制；

【**条文说明**】不同低影响开发设施对降雨径流的控制机制包括滞蓄、沉淀、吸附、入渗、微生物降解、过滤、植物吸收、蒸发蒸腾等过程（图 3）。依据其结构、技术特点不同，以高、中、低及不适用表征不同设施对降雨径流的控制效果（表 4）。



图 3低影响开发设施的降雨径流控制机制

表 4不同低影响开发设施的降雨径流控制机制

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 设施种类 | 滞蓄 | 沉淀 | 吸附 | 入渗 | 微生物降解 | 过滤 | 植物吸收 | 蒸发蒸腾 |
| 生物滞留设施 | 中 | 中 | 中 | 中 | 中/高 | 中 | 中/高 | 低/中 |
| 透水铺装 | 低/中 | 低/中 | 中/高 | 高 | 低/中 | 中/高 | 低 | 低 |
| 绿色屋顶 | 中/高 | 低/中 | 中 | 低 | 中 | 中 | 中 | 低/中 |
| 湿塘 | 高 | 高 | 中 | 低/中 | 中 | 低 | 中 | 中 |
| 雨水收集设施 | 高 | 中 | 低 | 不适用 | 低 | 低/中 | 不适用 | 低 |
| 干塘 | 高 | 中/高 | 中 | 低 | 低/中 | 低 | 低 | 中 |
| 植草沟 | 中 | 低/中 | 中 | 中 | 低/中 | 中 | 中 | 低/中 |
| 渗渠 | 低/中 | 低/中 | 中/高 | 高 | 中 | 中/高 | 低 | 低 |
| 植被缓冲带 | 低/中 | 低 | 中 | 中 | 低/中 | 中 | 中 | 低/中 |

**2** 宜评估不同机制对径流控制功效指标的贡献；

【**条文说明**】不同控制机制对不同指标的贡献大小不同，本标准以高、中、低以及不适用表征不同机制对不同径流功效控制指标的贡献（表 5）。

表 5不同机制对各综合效能指标的贡献

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 控制指标 | 滞蓄 | 沉淀 | 吸附 | 入渗 | 微生物降解\* | 过滤 | 植物吸收 | 蒸发蒸腾 |
| 径流量 | 高 | 不适用 | 低 | 中/高 | 不适用 | 不适用 | 低 | 低 |
| 洪峰 | 高 | 不适用 | 低 | 中/高 | 不适用 | 低 | 低 | 低 |
| 流速 | 中/高 | 不适用 | 低 | 低 | 不适用 | 低 | 低 | 低 |
| SS | 低/中 | 高 | 中 | 中/高 | 低 | 高 | 不适用 | 不适用 |
| N | 低/中 | 高 | 高 | 高 | 低 | 高 | 高 | 不适用 |
| P | 低 | 低 | 低 | 低 | 低 | 低 | 高 | 不适用 |
| Cd | 不适用 | 低 | 低 | 低 | 低 | 低 | 低 | 不适用 |
| Cu | 不适用 | 中 | 中 | 低/中 | 低 | 中 | 低 | 不适用 |
| Ni | 不适用 | 低/中 | 中 | 低/中 | 低 | 低/中 | 低 | 不适用 |
| Pb | 不适用 | 中/高 | 高 | 中/高 | 低 | 中/高 | 低 | 不适用 |
| Zn | 不适用 | 低 | 低 | 低 | 低 | 低 | 低 | 不适用 |
| Cr | 不适用 | 低/中 | 低 | 低 | 低 | 低/中 | 低 | 不适用 |

**3** 宜量化不同低影响开发设施的径流功效控制指标；

【**条文说明**】量化不同低影响开发设施的径流功效控制指标是结合步骤1和步骤2，量化评估不同低影响开发设施通过其所具有的机制而实现的对各项径流功效指标的控制效果。为了实现这一目标，将两个原表（表 4和表 5）中所划分的高、中/高、中、低/中、低不同等级赋值为3、2.5、2、1.5和1，对不同降雨径流机制控制效果的强弱和不同低影响开发设施对各个降雨径流控制机制的侧重进行量化，对于“不适应”的情况，则赋值为0，N、P指标和重金属指标均进行了归类平均整合。量化后表 4和表 5分别为表 6和表 7。

表 6不同低影响开发设施对降雨径流控制机制侧重量化结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 设施种类 | 滞蓄 | 沉淀 | 吸附 | 入渗 | 微生物降解 | 过滤 | 植物吸收 | 蒸发蒸腾 |
| 生物滞留设施 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.5 | 2 | 2.5 | 1.5 |
| 透水铺装 | 1.5 | 1.5 | 2.5 | 3 | 1.5 | 2.5 | 1 | 1 |
| 绿色屋顶 | 2.5 | 1.5 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1.5 |
| 湿塘 | 3 | 3 | 2 | 1.5 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 雨水收集设施 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1.5 | 0 | 1 |
| 干塘 | 3 | 2.5 | 2 | 1 | 1.5 | 1 | 1 | 2 |
| 植草沟 | 2 | 1.5 | 2 | 2 | 1.5 | 2 | 2 | 1.5 |
| 渗渠 | 1.5 | 1.5 | 2.5 | 3 | 2 | 2.5 | 1 | 1 |
| 植被缓冲带 | 1.5 | 1 | 2 | 2 | 1.5 | 2 | 2 | 1.5 |

表 7主要降雨径流机制控制效果量化结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 控制对象 | 滞蓄 | 沉淀 | 吸附 | 入渗 | 微生物降解 | 过滤 | 植物吸收 | 蒸发蒸腾 |
| 径流量 | 3 | 0 | 1 | 2.5 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 洪峰 | 3 | 0 | 1 | 2.5 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 流速 | 2.5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| SS | 1.5 | 3 | 2 | 2.5 | 1 | 3 | 0 | 0 |
| N、P | 1.25 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0 |
| 重金属 | 0 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1 | 1.7 | 1 | 0 |

**4** 将表 6和表 7中相对应的数字相乘求和，得到每一项低影响开发设施通过各种降雨径流控制机制对每一类控制对象的功效得分。考虑到蒸发蒸腾这一机制相对于其他机制来说，对降雨径流控制所起的作用较小，因此取0.5的权重，其他的控制机制的权重均为1。例如，生物滞留设施对于径流量的控制功效的得分为：

最终计算结果见表 8。

表 8不同低影响开发设施对降雨径流量和径流水质控制功效计算得分

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 设施种类 | 径流流量控制 | | | 径流水质控制 | | | |
| 径流量 | 峰值 | 流速 | SS | N/P | 重金属 | 总分 |
| 生物滞留设施 | 16.25 | 18.3 | 14.3 | 26.5 | 28.5 | 18.2 | 122.05 |
| 透水铺装 | 16 | 18.5 | 13.3 | 28.25 | 25.38 | 18.05 | 119.48 |
| 绿色屋顶 | 14.75 | 16.8 | 14 | 22.75 | 24.13 | 14.85 | 107.28 |
| 湿塘 | 17.75 | 18.8 | 15 | 26.25 | 26.75 | 16.45 | 121 |
| 雨水收集设施 | 10.5 | 12 | 10.5 | 18 | 13.75 | 8.65 | 73.4 |
| 干塘 | 15.5 | 16.5 | 13.5 | 23 | 21.25 | 13.35 | 103.1 |
| 植草沟 | 15.75 | 17.8 | 13.8 | 24 | 25 | 15.85 | 112.2 |
| 渗渠 | 16 | 18.5 | 13.3 | 28.75 | 25.88 | 18.55 | 120.98 |
| 植被缓冲带 | 14.25 | 16.3 | 12.5 | 21.75 | 23.38 | 15 | 103.18 |

注：表中所采取的量化方式和最终的计算结果并不具有绝对的数值上的意义，而只是为了能够对不同低影响开发设施的控制功效的强弱进行比较和区分。上表中数字的大小只是为了表征不同低影响开发设施对于某个特定对象的控制功效排名的前后，而并不反应差异的程度。从表中可以看到，由于不同低影响开发设施所侧重的降雨径流控制机制不同，对于不同控制对象，各个低影响开发设施的功效也各有强弱。

**4.5.3** 成本投入指标属性的确定可参考国内外低影响开发实践经验，得到不同低影响开发设施的建设成本和运维成本。

**【条文说明】**不同种类低影响开发设施成本投入参考了《海绵城市建设技术指南-低影响开发雨水系统构建（试行）2014》、国内外低影响开发数据库，研究文献，以及实际工程经验等。目前国内外的低影响开发设施成本投入情况可用1、2、3、4、5，五个等级表示其成本投入情况，数值越大，说明成本相对较高，具体如表 9所示。

表 9低影响开发设施成本投入量化结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 设施种类 | 固定投资 | 运维成本 |
| 生物滞留设施 | 4 | 2 |
| 透水铺装 | 3 | 4 |
| 绿色屋顶 | 4 | 5 |
| 湿塘 | 3 | 2 |
| 雨水收集设施 | 5 | 4 |
| 干塘 | 3 | 5 |
| 植草沟 | 3 | 3 |
| 渗渠 | 2 | 2 |
| 植被缓冲带 | 1 | 1 |

注：表中所采取的量化方式并不具有绝对的数值上的意义，只是表示不同低影响开发设施成本投入的相对高低。表中数据根据随着经济的发展或地区差异各项参数应不断更新。

**4.5.4** 景观价值指标属性可用绿化作用和总人流量两项指标来衡量。

**【条文说明】**不同低影响开发设施的绿化作用和总人流量均可用高、中、低以及“不适用”表征，结果如表 10所示。

表 10低影响开发设施景观价值属性评价

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 设施种类 | 绿化作用 | 总人流量 |
| 生物滞留设施 | 高 | 低 |
| 透水铺装 | 低 | 高 |
| 绿色屋顶 | 中 | 不适用 |
| 湿塘 | 中 | 不适用 |
| 雨水收集设施 | 低 | 不适用 |
| 干塘 | 中 | 不适用 |
| 植草沟 | 高 | 低 |
| 渗渠 | 中 | 不适用 |
| 植被缓冲带 | 高 | 低 |

将各指标中“高、中、低、不适用”分别赋值为“3、2、1、0”分进行量化，结果如表 11所示。

表 11低影响开发设施景观价值属性量化评价结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 设施种类 | 绿化作用 | 总人流量 |
| 生物滞留设施 | 3 | 1 |
| 透水铺装 | 1 | 3 |
| 绿色屋顶 | 2 | 0 |
| 湿塘 | 2 | 0 |
| 雨水收集设施 | 1 | 0 |
| 干塘 | 2 | 0 |
| 植草沟 | 3 | 1 |
| 渗渠 | 2 | 0 |
| 植被缓冲带 | 3 | 1 |

**4.5.5** 为使低影响开发设施径流功效、成本投入及景观价值在同一尺度下进行综合比选，需对不同的评价指标进行归一化处理，统一在[0，1]的尺度内对设施各方面的性能表现进行评价，得到各项低影响开发设施综合效能评价指标总得分表。

**【条文说明】**对于某一项评价指标j，归一化采用公式如下：

;

式中，xij为第i种低影响开发设施在第j项指标上的原始值，rij则是其归一化后的指标得分。

对各低影响开发设施的评价指标进行线性归一的结果如表 12所示。

表 12低影响开发设施的比选指标属性线性归一化结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 设施种类 | 径流量 | 洪峰 | 流速 | SS | N/P | 重金属 | 固定投资 | 运维成本 | 绿化作用 | 总人流量 |
| 生物滞留设施 | 0.79 | 0.93 | 0.84 | 0.79 | 1.00 | 0.96 | 0.75 | 0.25 | 1.00 | 0.33 |
| 透水铺装 | 0.76 | 0.96 | 0.62 | 0.95 | 0.79 | 0.95 | 0.50 | 0.75 | 0.00 | 1.00 |
| 绿色屋顶 | 0.59 | 0.71 | 0.78 | 0.44 | 0.70 | 0.63 | 0.75 | 1.00 | 0.50 | 0.00 |
| 湿塘 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.77 | 0.88 | 0.79 | 0.50 | 0.25 | 0.50 | 0.00 |
| 雨水收集设施 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.75 | 0.00 | 0.00 |
| 干塘 | 0.69 | 0.66 | 0.67 | 0.47 | 0.51 | 0.47 | 0.50 | 1.00 | 0.50 | 0.00 |
| 植草沟 | 0.72 | 0.85 | 0.73 | 0.56 | 0.76 | 0.73 | 0.50 | 0.50 | 1.00 | 0.33 |
| 渗渠 | 0.76 | 0.96 | 0.62 | 1.00 | 0.82 | 1.00 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.00 |
| 植被缓冲带 | 0.52 | 0.63 | 0.44 | 0.35 | 0.65 | 0.64 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.33 |

对归一化后的指标进行加权求和：



式中，Ii为第i种低影响开发设施的比选指标加权总得分，fij为权重系数，根据拟建区域实际需求或通过专家打分得到。

假设个指标权重相同的情况下（fij=1），各项低影响开发设施径流功效、成本投入及景观价值三类标准下各项指标归一化后个指标加权求和为表 13所示。

表 13低影响开发设施综合效能比选指标属性总得分表

|  |  |
| --- | --- |
| 设施种类 | 指标总得分 |
| 生物滞留设施 | 7.65 |
| 透水铺装 | 7.28 |
| 绿色屋顶 | 6.09 |
| 湿塘 | 6.69 |
| 雨水收集设施 | 1.75 |
| 干塘 | 5.47 |
| 植草沟 | 6.69 |
| 渗渠 | 6.16 |
| 植被缓冲带 | 4.57 |

由各项低影响开发设施的指标总得分可以看出，在径流功效控制、成本投入和景观价值三类指标权重相同的情况下，生物滞留设施、透水铺装以及植被缓冲带总分排名前三。该结果是基于上述参数计算得到的结果，随着各地各类低影响开发设施径流功效、成本和景观价值三类指标的更新和完善，以及各地指标权重的变化，可以计算得到不同的属性比选排序。

## 低影响开发设施综合效能指标权重

**4.6.1** 低影响开发设施综合效能指标的各个属性值确定后，需确定各个指标的权重值。

**4.6.2** 在通过调查确定权重的过程中，应考虑下列因素：

**1**调查对象的组成、专业和背景宜具有代表性；

**2** 调查对象还宜考虑相关政府管理部门的决策者、不同相关领域的技术专家和当地公众代表等；

**3** 对调查得来的结果进行科学处理计算，必要的时候可进行多轮调查，最终得到各项指标的权重值。

**【条文说明】**指标权重值的确定可使用层次分析法、模糊综合评判法、TOPSIS评价法、灰色关联度分析法、主成分分析法等。指标的权重值应可反映不同群体对海绵城市建设的意愿和偏好。层次分析法（AHP）中计算指标权重的步骤为：

（1）将每一层次的各指标相对于上一层次的各指标进行两两比较判断，得出相对重要程度的比较权；

（2） 建立判断矩阵；

（3） 计算最大特征根以及相对应的特征向量，进行层次单排序；

（4） 得到各层指标相对于上一层某指标的重要性排序；

（5） 自上而下用上一层个指标的组合权重为权数，对本层次各指标的相对权重向量进行加权求和，进行层次总排序，得出各层次指标相对于系统总体目标的组合权重。

目前，已经有很多研究机构开发了基于AHP计算权重的软件，可输入调查结果，直接导出各个指标的权重。

以北京城市副中心海绵城市建设中低影响开发设施比选为例。在确定指标权重的过程中，为使低影响开发设施综合效能的评估符合北京城市副中心建设的实际情况，结合城市副中心建设管理人员、居民、研究学者等多方低影响开发设施建设参与或利益相关者，对低影响开发设施效能比选体系中不同指标之间的重要性进行问卷调查，从而得到具有城市副中心多方海绵城市建设参与方决策偏好的低影响开发设施适用性效能筛选指标。本案例参与调查的专家包括：建筑及景观学方向专家10名、环境及生态保护方向专家10名、当地政府海绵城市建设管理专家10名，北京城市副中心城市居民10名，共计40名专家，计算得到的专家权重打分结果如图 4所示。



图 4 北京城市副中心低影响开发设施综合效能指标权重值

## 低影响开发设施综合效能评估

**4.7.1** 低影响开发设施综合效能的评估应根据本标准第4.5和第4.6节得到的低影响开发设施的属性值和权重值相乘，得到不同设施的综合效能总得分。

**4.7.2** 低影响开发设施比选结果应参考本标准4.7.1节的不同设施的综合得分排名情况，优先选择综合效能得分靠前的低影响开发设施。

**【条文说明】**同样以北京城市副中心海绵城市建设低影响开发设施比选为例，不同种类低影响开发设施综合效能总得分由表 14中的指标属性和图 5中的指标权重相乘得到，具体如表 14所示，最右侧总分一栏即表示比选比选结果。得分较高的设施生物滞留设施、透水铺装和植草沟可优先推荐。

表 14 低影响开发设施综合效能的评估结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 设施种类 | 径流功效控制（权重0.43） | | | | | | 成本投入（权重0.31） | | 景观价值（权重0.26） | | **总分** |
| 径流水量控制功效（权重0.21） | | | 径流水质控制功效（权重0.22） | | | 固定投资(权重0.16） | 运维成本  (权重0.15) | 景观优美度  (权重0.15) | 空间活力  (权重0.11) |
| 径流量  (权重0.09） | 洪峰  (权重0.07） | 流速  (权重0.05) | TSS  (权重0.08) | TN/TP  (权重0.07) | 重金属  (权重0.07) | 建设成本  (权重0.16) | 运行管理与维护费用  (权重0.15) | 绿化作用  (权重0.15) | 总人流量  (权重0.11) |
| 生物滞留设施 | 0.79 | 0.93 | 0.84 | 0.79 | 1.00 | 0.96 | 0.75 | 0.25 | 1.00 | 0.33 | **0.72** |
| 透水铺装 | 0.76 | 0.96 | 0.62 | 0.95 | 0.79 | 0.95 | 0.50 | 0.75 | 0.00 | 1.00 | **0.67** |
| 绿色屋顶 | 0.59 | 0.71 | 0.78 | 0.44 | 0.70 | 0.63 | 0.75 | 1.00 | 0.50 | 0.00 | **0.61** |
| 湿塘 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.77 | 0.88 | 0.79 | 0.50 | 0.25 | 0.50 | 0.00 | **0.58** |
| 雨水收集设施 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.75 | 0.00 | 0.00 | **0.27** |
| 干塘 | 0.69 | 0.66 | 0.67 | 0.47 | 0.51 | 0.47 | 0.50 | 1.00 | 0.50 | 0.00 | **0.55** |
| 植草沟 | 0.72 | 0.85 | 0.73 | 0.56 | 0.76 | 0.73 | 0.50 | 0.50 | 1.00 | 0.33 | **0.65** |
| 渗渠 | 0.76 | 0.96 | 0.62 | 1.00 | 0.82 | 1.00 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.00 | **0.53** |
| 植被缓冲带 | 0.52 | 0.63 | 0.44 | 0.35 | 0.65 | 0.64 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.33 | **0.42** |

**本规程用词说明**

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本规程中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

**引用标准名录**

1 《室外排水设计规范》GB 50014

2 《城市用地分类于规划建设用地标准》GB50137

3 《城市绿地设计规范》GB 50420

4《城镇内涝防治技术规范》GB 51222