

山西省工程建设地方标准

煤矿采空区海绵城市建设技术标准

Technical standard for sponge city construction in coal mine goaf

DBJ04/T 502—2025

批准部门：山西省住房和城乡建设厅

主编单位：煤炭工业太原设计研究院集团有限公司

施行日期：2025 年 11 月 1 日

前 言

根据山西省住房和城乡建设厅《关于印发〈2022 年工程建设地方标准制（修）订计划〉的通知》（晋建科字〔2022〕152 号），编制组经广泛调查研究，认真总结国内各省市煤矿采空区海绵城市建设经验，参考国家相关标准，结合山西省现状，在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准主要技术内容包括：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.场地评价；5.设计；6.施工与验收；7.运行与维护。

本标准由山西省住房和城乡建设厅负责管理，由煤炭工业太原设计研究院集团有限公司负责具体技术内容解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送煤炭工业太原设计研究院集团有限公司（地址：山西省太原市青年路 18 号，邮政编码：030001）。

本 标 准 主 编 单 位：煤炭工业太原设计研究院集团有限公司

本 标 准 参 编 单 位：太原市城乡规划设计研究院
太原理工大学

本标准主要起草人员：孟 帅 张 波 张 飞 武建奎
范 晶 张 方 石春宇 胡海峰
宋 敏 宁亚平 张 凯 秦鑫鑫
冯 蕊 殷军练 马 亮 聂慧君
白 卓 周艳亮 李泽宇 闫舒茂
张永胜

本标准主要审查人员：唐秋元 杨利伟 曹 琰 宋 涛
吴圣林 刘振江 袁树君 白生云
宋 宁

目 次

| | | |
|-----|---------|----|
| 1 | 总则 | 1 |
| 2 | 术语 | 2 |
| 3 | 基本规定 | 3 |
| 4 | 场地评价 | 4 |
| 4.1 | 一般规定 | 4 |
| 4.2 | 勘察 | 4 |
| 4.3 | 评价 | 4 |
| 5 | 设计 | 7 |
| 5.1 | 一般规定 | 7 |
| 5.2 | 项目设计 | 8 |
| 5.3 | 设施设计 | 8 |
| 6 | 施工与验收 | 11 |
| 7 | 运行与维护 | 12 |
| | 本标准用词说明 | 14 |
| | 引用标准名录 | 15 |
| | 条文说明 | 17 |

Contents

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | General Provisions | 1 |
| 2 | Terms | 2 |
| 3 | Basic Requirements | 3 |
| 4 | Site Assessment | 4 |
| 4.1 | General Requirements | 4 |
| 4.2 | Geo-investigation | 4 |
| 4.3 | Assessment | 4 |
| 5 | Design | 7 |
| 5.1 | General Requirements | 7 |
| 5.2 | Project Design | 8 |
| 5.3 | Facility Design | 8 |
| 6 | Construction and Acceptance | 11 |
| 7 | Operation and Maintenance | 12 |
| | Explanation of Wording in This Standard | 14 |
| | List of Quoted Standards | 15 |
| | Explanation of Provisions | 17 |

1 总 则

1.0.1 为贯彻执行山西省系统化全域推进海绵城市建设工作要求，规范煤矿采空区海绵城市建设，提升煤矿采空区生态修复质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于山西省现有煤矿采空区内新建、改（扩）建的海绵城市建设项目的场地评价、设计、施工、验收和运行维护。

1.0.3 煤矿采空区海绵城市建设应遵循国家的有关方针政策，结合项目特点，采取有效的技术措施，做到安全可靠、生态优先、因地制宜、经济适用。

1.0.4 煤矿采空区海绵城市建设除应符合本标准的规定外，尚应符合国家、行业和山西省现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 煤矿采空区 coal mine goaf

煤炭资源开采后的空间及其围岩失稳而产生位移开裂、破碎垮落，直至上覆岩层整体下沉、弯曲所引起的地表变形和破坏的区域及范围。

2.0.2 采煤塌陷地 coal mining subsidence area

因地下煤炭开采活动导致地表岩层原始应力平衡被破坏，岩层和地表产生连续移动、变形及非连续变形所形成的塌陷区域。

2.0.3 导水裂隙带 diversion fissure zone

由于煤矿采空区覆岩弯曲带、裂隙带、冒落带发育等形成的可联系采空区与上部含水层、地表水体及蓄水设施的裂隙破碎带。

2.0.4 松散层 unconsolidated formation

第四系与新近系地层中未固结成岩的沉积层，主要由土质、砂、砾石、卵石层等组成。

2.0.5 生态修复 ecological restoration

对受到破坏和污染的各类生态环境采取人工措施，依靠生态系统的自我调节能力与自组织能力，逐步恢复与重建其生态功能。

2.0.6 海绵城市设施 sponge city facilities

采用自然或人工模拟自然生态系统控制城市降雨径流的设施。

3 基本规定

3.0.1 煤矿采空区海绵城市建设应符合城镇国土空间规划、矿区总体规划 and 海绵城市专项规划的要求，落实管控空间、用地竖向、采煤塌陷地治理、海绵城市建设指标等方面的相关要求。

3.0.2 煤矿采空区海绵城市建设应优先利用采煤沉陷形成的地形，避让其他不良地质区域，最大限度保留原生植被，科学营造水域湿地系统。

3.0.3 煤矿采空区海绵城市建设全过程严禁污染水环境、破坏水生态及引发水安全风险。

3.0.4 煤矿采空区开展海绵城市建设前，应对项目的建设适宜性进行评价。

3.0.5 煤矿采空区海绵城市建设应以生态涵养与恢复为主，优先采用“渗、滞、蓄、净”的技术手段，恢复和建设自然绿地、河道、水系及生态湿地。

3.0.6 煤矿采空区海绵城市项目的设计应与建筑、园林景观、给排水、道路、结构等专业相互配合、相互协调。

3.0.7 煤矿采空区海绵城市项目的施工应针对采空区的埋深、顶底板特征、充水条件等采取有效措施，减少施工过程对场地及其周边环境的扰动和破坏，并做好水土保持措施。

3.0.8 煤矿采空区海绵城市项目建成后应建立专业化运行和维护机制，宜同步对场地稳定性和地下水进行监测。

4 场地评价

4.1 一般规定

4.1.1 煤矿采空区海绵城市勘察应包括岩土工程勘察与采空区专项勘察。岩土工程勘察应符合国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

4.1.2 煤矿采空区海绵城市勘察一般采用调查与测绘、地球物理勘探、勘探与取样、地表变形监测、原位测试及室内试验等手段。

4.2 勘察

4.2.1 煤矿采空区海绵城市勘察应包括下列内容：

- 1 收集或测绘建设场地的地形地貌图、地质图；
- 2 查明建设场地的地表水、大气降水汇流；
- 3 查明采空区地表塌陷情况、沉陷盆地特征、采动裂缝特征等，并将勘察成果标于地形地貌图、地质图；
- 4 查明采空区分布范围、开采方式、开采程度、开采时间、顶板垮落程度、充水条件、导水裂隙带发育高度等采空区内部特征，并将勘察成果标于地形地貌图、地质图；
- 5 根据勘察成果对海绵城市建设适宜性进行评价，对评价结论为适宜性差的提出治理建议。

4.2.2 煤矿采空区海绵城市勘察应在资料收集、现场踏勘成果基础上，采用物探、钻探等手段开展勘察工作，并应符合国家现行标准《煤矿采空区岩土工程勘察规范》GB 51044 的有关规定。

4.3 评价

4.3.1 煤矿采空区海绵城市勘察的场地评价应包括场地稳定性评

价和建设适宜性评价。

4.3.2 煤矿采空区海绵城市建设场地稳定性划分为稳定、基本稳定及不稳定场地。场地稳定性评价应符合国家现行标准《煤矿采空区岩土工程勘察规范》GB 51044 的有关规定。

4.3.3 当导水裂隙带发育至松散层时，煤矿采空区海绵城市建设项目应进行专项论证。

4.3.4 煤矿采空区海绵城市建设适宜性评价应符合下列规定：

- 1 场地稳定性评价为稳定时，建设适宜性为适宜；
- 2 场地稳定性评价为基本稳定时，建设适宜性应根据建设内容和特征，按表 4.3.4 进行评价；

表 4.3.4 基本稳定场地海绵城市设施建设适宜性划分

| 单项海绵城市设施 | 建设适宜性 | | |
|----------|-------|------|------|
| | 适宜 | 基本适宜 | 适宜性差 |
| 透水铺装 | | √ | |
| 生物滞留设施 | | √ | |
| 下沉式绿地 | | √ | |
| 绿色屋顶 | √ | | |
| 渗透塘 | | √ | |
| 渗井 | | | √ |
| 蓄水池 | | | √ |
| 雨水罐 | √ | | |
| 调节塘（干塘） | | √ | |
| 湿塘 | | √ | |
| 地下调节池 | | | √ |
| 多功能调蓄设施 | √ | | |
| 植被缓冲带 | √ | | |
| 生态驳岸 | | √ | |
| 雨水湿地 | | √ | |

续表 4.3.4

| 单项海绵城市设施 | 建设适宜性 | | |
|----------|-------|------|------|
| | 适宜 | 基本适宜 | 适宜性差 |
| 植草沟 | √ | | |
| 渗管/渠 | | √ | |
| 管渠及附属构筑物 | | √ | |

3 场地稳定性评价为不稳定时，建设适宜性为适宜性差。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 煤矿采空区海绵城市设计应统筹水体、岸线和采煤塌陷地的空间布局，构建汇水区域雨水蓄滞系统，并与雨水管渠系统、超标雨水径流排放系统及下游水系相衔接。

5.1.2 煤矿采空区海绵城市设计应统筹考虑流域水系、水体功能、水环境容量、地下水深、排水口布局、场地竖向等因素，合理布局各类海绵城市设施。

5.1.3 煤矿采空区海绵城市设施布局，应符合区域生态安全和城镇防洪排涝要求，结合竖向、蓝绿空间和用地布局确定。

5.1.4 煤矿采空区海绵城市设施选择应统筹考虑项目的地理位置、流域特性、水系特征，平原、河网地区应以雨水滞蓄为主，山地、丘陵地区应以控制水土流失为主。

5.1.5 煤矿采空区海绵城市建设适宜性评价为适宜的场地，海绵城市设施可按照一般地区的规定设计。

5.1.6 煤矿采空区海绵城市建设适宜性评价为基本适宜的场地，海绵城市设施宜根据设施类别及构造、施工条件等因素，综合确定采取的建筑和结构措施。

5.1.7 煤矿采空区海绵城市建设适宜性评价为适宜性差的场地确需建设时，应进行采空区专项治理，治理后重新进行建设适宜性评价。

5.1.8 煤矿采空区海绵城市设施建设应避免对采空区既有建构筑物基础及结构、回填层及其他变形控制措施的扰动与破坏。

5.1.9 煤矿采空区海绵城市设施不宜采用深层雨水渗透设施。

5.1.10 煤矿采空区内未经处理达标的污、废水不得进入海绵城市设施。

5.2 项目设计

5.2.1 煤矿采空区海绵城市设计应与城市道路、工程管线、园林景观、城市排水和防洪防涝相协调。

5.2.2 煤矿采空区海绵城市建设应保持生态河床形态，避免对现有城市水生态系统的破坏，对导致原水生态系统自然特征显著改变的应同步设置补救措施。

5.2.3 煤矿采空区海绵城市建设应综合考虑水系、湿地连通的可行性、生物安全性和环境影响，恢复和保持河湖水系的自然连通，并开展人工连通，构建集防洪、排水、生态和景观于一体的水系网络。

5.2.4 煤矿采空区海绵城市建设场地排水宜利用地形，采用生物滞留设施、调节塘等分散式调蓄设施。

5.2.5 煤矿采空区海绵城市建设场地用于削减峰值流量时，应根据设计标准分析设施上下游的流量过程线，经计算确定调蓄量，并应优化竖向设计，确保设计条件下径流的排入和降雨后的有序排出。

5.2.6 煤矿采空区海绵城市建设场地作为雨水滞蓄空间时，客水汇入量不应超过场地的设计调蓄量。

5.2.7 煤矿采空区湿地宜利用现有塌陷空间格局，确定采空区湿地水域的布局、面积、形状、水深和水岸线。

5.2.8 煤矿采空区湿地不得存在安全和污染隐患，对存在的水文地质安全隐患、土壤及有害物质污染的区域，应治理达标。

5.3 设施设计

5.3.1 煤矿采空区海绵城市设施的类型应根据地质条件、景观要求、地表污染状况等因素选用，雨水入渗不应对场地稳定、地下水水质、土壤环境造成危害。

5.3.2 煤矿采空区海绵城市设施的位置应根据设施功能、管网布

置、下游水位高程和周围环境等条件综合确定，对地表变形要求高的设施应优先设置于场地内地表变形小且均匀的地段。

5.3.3 煤矿采空区海绵城市设施选择应符合下列规定：

- 1 对受采动影响的天然水系区域，宜恢复天然水系的调节作用；
- 2 对受采动影响的边坡区域，宜以植被缓冲带、生态驳岸等设施为主；

3 对地表形成采煤塌陷地的建设区域，宜以调节塘、湿塘、雨水湿地等设施为主。

5.3.4 煤矿采空区海绵城市设施的排水管渠应确保设计重现期下雨水的转输、调蓄和排放，并应考虑受纳水体水位的影响。

5.3.5 采煤塌陷地用于雨水调蓄设施时，应符合下列规定：

1 宜通过构建生态护坡、陆域缓冲带、水体边缘表流湿地等生态措施，削减进入采煤塌陷地的雨水径流污染；

2 护岸、护坡和雨水管渠出水口的设计应满足调蓄水位变动对结构的要求。

5.3.6 采煤塌陷地用于雨水调蓄设施时，排空方式应根据调蓄设施的类型和下游排水系统的能力综合确定，可采用渗透排空、重力排空、水泵排空或多种排空方式相结合的方式，并应符合下列规定：

1 具有渗透功能的调蓄设施，其排空时间应根据土壤稳定入渗率和当地蒸发条件，经计算确定；

2 采用绿地调蓄的设施，排空时间不应大于绿地中植被的耐淹时间；

3 采用重力排空的调蓄设施，出水管管径应根据排空时间确定，且出水管排水能力不应超过下游管渠排水能力。

5.3.7 海绵城市雨水收集设施应优先采用自然水体、坑塘、绿地等下沉空间，不宜采用地下雨水调蓄设施。

5.3.8 煤矿采空区海绵城市设施、排水管渠和附属构筑物应采取防

止不均匀沉降的措施。

5.3.9 煤矿采空区海绵城市设施结构层宜选用高强度、轻量化、可再生、抗变形的透水材料。

5.3.10 煤矿采空区海绵城市设施的植被宜选用根系发达、固土效果好的适宜植物种类，应进行不同地质类型和条件的植物配置、栽植及养护。

5.3.11 煤矿采空区湿地应构建由水生植物、动物和微生物组成的生态系统，通过物理、化学和生物等协同作用净化径流，恢复湿地生态功能。

5.3.12 煤矿采空区湿地可根据场地竖向构建梯级湿地，通过分级处理工艺，提升湿地水质。

5.3.13 煤矿采空区湿地的植物配置宜选择乔木+灌木+草本+水生植物的模式，并应符合下列要求：

- 1 应选择长期耐水湿的植物，宜利用当地野生的水生植物；
- 2 深水区宜选择沉水植物、浮水植物和部分根系发达的挺水植物；浅水区宜选择净化能力强、根系发达的挺水植物；缓冲区宜选择耐水湿的乔木或灌木。

5.3.14 煤矿采空区湿地宜根据预测沉降量采取相应的防渗措施。

5.3.15 煤矿采空区湿地宜根据水文条件的改变，动态调整植物群落。

5.3.16 煤矿采空区湿地水体近岸 2.0m 范围内的常水位水深大于 0.7m 时，应设置防止人员跌落的安全防护设施，并应有警示标识。

6 施工与验收

6.0.1 煤矿采空区海绵城市建设项目施工应符合国家现行标准《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》GB 55032 的有关规定。

6.0.2 煤矿采空区海绵城市建设项目前，施工单位应编制施工组织方案并按规定程序审批后实施。

6.0.3 大型涉水海绵城市设施施工应做好应急预案和相关防范措施，并应做好材料堆放、防雨、防冻及成品养护等工作。

6.0.4 煤矿采空区海绵城市建设项目施工应严格按规范及设计要求进行各项警示标志、预警系统建设，避免对公共安全造成危害。

6.0.5 煤矿采空区海绵城市建设项目所采用的材料、半成品、配构件、成品等产品的品种、规格、性能应符合国家有关标准的规定和设计要求，严禁使用国家明令淘汰、禁用的产品。

6.0.6 海绵城市设施各工序应按施工技术标准进行质量控制，每道工序完成后，应进行检查，并检查合格后再进行下道工序。

6.0.7 煤矿采空区海绵城市设施在施工过程中应加强对现状植被以及施工成品的保护。

6.0.8 海绵城市设施的材料、设备进入工地现场应进行验收，并应查验产品合格证。

6.0.9 煤矿采空区海绵城市设施与排水系统的衔接工程，应进行联动试运行验收。

6.0.10 利用采煤塌陷地建设的湿地、调蓄塘等设施，验收时宜提交植被覆盖度与根系发育检测报告。

6.0.11 煤矿采空区海绵城市建设项目验收应进行设施质量验收和项目整体验收，相关指标应达到设计要求。

7 运行与维护

7.0.1 煤矿采空区海绵城市设施运行维护应符合山西省现行标准《海绵城市设施运行维护及管理标准》DBJ04/T 482 中的相关规定。

7.0.2 煤矿采空区海绵城市设施维护管理应建立相应的管理机制和操作流程，维护人员应经过专业培训上岗，维护工作应有记录，并应建立纸质和电子档案。

7.0.3 煤矿采空区海绵城市建设项目的运行维护应包括日常巡视检查、汛期重点巡查、常规定期维护及损坏时应急处置。

7.0.4 护岸应定期进行巡查，检查护岸的稳定及安全情况，加强对护岸范围内植物的维护和管理。

7.0.5 护坡、护岸、雨水湿地、植被缓冲带、湿塘、调节塘、渗透塘等设施应在汛期前、后和大雨及以上级别降雨后进行巡查，降雨量等级划分按国家现行标准《降水量等级》GB/T 28592 的规定执行。

7.0.6 海绵城市设施汛期重点巡查应包含下列内容：

- 1 汛期来临前，应对各项设施进行全面巡查；
- 2 汛期期间，应定期检查设施运行状况，重点巡查隐患易发部位及区域，并及时维护检修；
- 3 汛期后，应检修设施的运行状况，对具备入渗功能的设施积水情况进行检查维护。

7.0.7 煤矿采空区海绵城市设施维护管理应确保岸坡稳定、水土保持。

7.0.8 煤矿采空区海绵城市设施的护栏、扶梯等安全防护措施应定期维护。

7.0.9 护坡、护脚、基础应定期检查维护，当受到冲刷破坏时，应及时修复加固。

7.0.10 湿地内的侵蚀区域应进行填补和压实。

7.0.11 湿地应根据暴雨、干旱、冰冻等不同情况及时调节水位，不得出现湿地进水端壅水、出水端淹没现象。

7.0.12 对可能有人进入的干塘、湿塘、湿地等场所，应确保各项安全防护设施、警示标识及预警系统完好可靠。

7.0.13 煤矿采空区海绵城市项目的监测宜包括场地稳定性监测和地下水监测。

7.0.14 场地稳定性监测宜对地表沉陷、地裂缝状况、边坡变形进行监测，监测应符合国家现行标准《煤矿采空区建（构）筑物地基处理技术规范》GB 51180 对变形监测的有关规定。

7.0.15 地下水的监测宜对地下水位、水质及动态特征进行监测，监测应符合行业现行标准《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164 的有关规定。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，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：

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：

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：

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，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 2 《煤矿采空区岩土工程勘察规范》GB 51044
- 3 《煤矿采空区建（构）筑物地基处理技术规范》GB 51180
- 4 《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》GB 55032
- 5 《降水量等级》GB/T 28592
- 6 《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164
- 7 《海绵城市设施运行维护及管理标准》DBJ04/T 482

山西省工程建设地方标准

煤矿采空区海绵城市建设技术标准

DBJ04/T 502—2025

条文说明

编制说明

《煤矿采空区海绵城市建设技术标准》DBJ04/T 502—2025 经山西省住房和城乡建设厅 2025 年 7 月 28 日以第 46 号公告批准、发布。

在本标准制定过程中，编制组结合山西省煤矿采空区特点及实际情况进行了广泛的调查研究，总结了山西省及国内其他地区海绵城市建设的相关实践经验，编制过程中还广泛征求了相关领域专业人员的意见。

山西省煤矿采空区开展海绵城市建设时，为便于有关单位和人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《煤矿采空区海绵城市建设技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。本条文说明不具备与标准正文同等法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

| | | |
|-----|-------|----|
| 1 | 总则 | 21 |
| 3 | 基本规定 | 22 |
| 4 | 场地评价 | 24 |
| 4.1 | 一般规定 | 24 |
| 4.2 | 勘察 | 24 |
| 4.3 | 评价 | 24 |
| 5 | 设计 | 26 |
| 5.1 | 一般规定 | 26 |
| 5.2 | 项目设计 | 27 |
| 5.3 | 设施设计 | 28 |
| 6 | 施工与验收 | 31 |
| 7 | 运行与维护 | 33 |

1 总 则

1.0.1 山西煤炭资源的地位一直排在全国的首位，煤炭是山西省最大的优势矿产资源。山西省现有矿井近千座。初步调查显示，目前全省因采煤造成的采空区面积约 5000km²（约占全省国土面积的 3%）。近年来，随着超大型矿井放顶综采等高强度技术开采的推广应用，山西省矿山地质环境破坏恶化形势日趋严峻，采空区面积仍持续扩大。山西省提出编制海绵城市建设系列标准，可以更好地规范煤矿采空区海绵城市的建设。

1.0.2 本标准的适用范围主要是指井工开采的煤矿采空区域，不包括露天开采的煤矿。

3 基本规定

3.0.2 煤矿采空区经长期自然沉降，常形成洼地、坑塘等特殊地形地貌，这些地形本身具备天然的雨水汇流和下渗条件。设计应优先利用这些自然形成的地形特征进行布局，这不仅能显著减少土方开挖和回填工程量，有效降低建设成本，更重要的是可以避免大规模的人工地形改造可能引发的场地二次扰动，降低诱发新的地质不稳定的风险。

鉴于采空区可能存在隐伏塌陷、地裂缝、边坡失稳等不良地质现象，必须明确划定不良地质区域的范围，项目的选址和边界应主动避让这些高风险区域，确保核心设施与不稳定区域之间保持足够的安全距离。

最大限度地保留场地原有植被具有多重重要价值。原生植被发达的根系网络能有效固土防蚀，降低采空区特殊地质条件下水土流失的风险；同时，本土植物经过长期自然选择，对采空区常见的土壤贫瘠、潜在重金属背景等环境压力具有更强的耐受性和适应性，有利于生态系统的自然恢复。此外，保留成熟的乔木群落具有显著的碳汇效益，其固碳能力远高于新种植被。

在科学营造水域湿地系统时，需综合实现雨水调蓄、水质净化、生态修复与景观营造等多重目标。具体而言，应利用洼地构建阶梯式蓄水单元，其调蓄容积需满足区域应对一定重现期降雨的需求；通过配置沉水植物、浮叶植物等形成净化群落，吸附沉降雨水中的悬浮物及可能存在的重金属离子；湿地形态应模拟自然，避免硬质渠化，保持较高的水生植物覆盖率以提升景观和生态效果。

3.0.3 煤矿采空区海绵城市建设面临特殊的地质与环境风险，全过程严禁污染破坏十分必要。采空区岩层受采矿活动破坏，形成复杂

裂隙网络，污染物易通过塌陷裂缝或导水裂隙带渗入深层地下水，且污染后修复难度较大。因此严禁任何可能污染水环境的行为。

通过水生态保护应对采空区生态基底脆弱性。严禁破坏经自然修复形成的稳定植被层，水域开挖须避让动物繁殖区。湿地植物配置应选用本土物种，禁止引入入侵物种。建设生态岸线，为水生生物保留迁徙廊道。

3.0.4 规定煤矿采空区海绵城市建设应对建设场地进行评价，煤矿采空区地质条件具有复杂性和特殊性，海绵城市建设前必须开展系统性建设适宜性评价，是保障工程安全性和生态有效性的根本前提。

3.0.5 这一原则的提出，主要基于采空区的特殊地质条件和海绵城市建设的实际需求。采空区地质条件复杂，地表稳定性差，通过滞留雨水，可以减少雨水对地表的冲刷作用，降低地表塌陷和滑坡等地质灾害的风险。采空区通过蓄水设施的建设，可以收集和储存雨水资源，为采空区的生态修复和绿化提供水源保障。采空区还可能因采矿活动导致的土壤和水体污染问题，通过净化雨水，可以减少污染物对采空区生态环境的进一步破坏，促进采空区的生态修复和可持续发展。因此提出海绵设施优先采用“渗、滞、蓄、净”的技术手段。

4 场地评价

4.1 一般规定

4.1.1 煤矿采空区海绵城市的建设场地既需要查明下伏采空区特征，也需要查明拟建海绵城市设施地基土特征。对于本标准而言，主要针对建设场地的采空区勘察及评价进行规定。对于岩土工程勘察部分，应按国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 中的规定执行。

4.1.2 煤矿采空区海绵城市建设勘察手段与常规采空区岩土工程勘察相近，均以查明采空区特征为最终目标。

4.2 勘察

4.2.1 采空区海绵城市建设是要在采空区建设场地实现海绵理念，场地勘察的主要任务是查明采空区特征，对采空区场地的稳定性及建设适宜性进行评价，进一步指导海绵城市建设。

4.2.2 采空区海绵城市勘察与一般采空区勘察的主要区别是海绵城市建设的特殊性，但对于勘察手段而言，二者无本质区别。在勘察中，根据海绵城市建设特征，应按国家现行标准《煤矿采空区岩土工程勘察规范》GB 51044 的规定执行。

4.3 评价

4.3.1 建设于采空区场地的海绵城市设施，无论其重要性如何，采空区场地本身的稳定性为先决条件，应首先评价。在此基础上，根据拟建海绵城市设施的建设要求，分析采空区剩余变形对拟建海绵城市设施及建设活动本身对采空区场地稳定性的影响程度，开展建设场地的稳定性评价和建设适宜性评价。

4.3.2 煤矿采空区海绵城市场地稳定性评价的评价对象为采空区场地，与所建项目特征无关，因此稳定性评价标准应按国家现行标准《煤矿采空区岩土工程勘察规范》GB 51044 中的有关规定执行。

4.3.3 当导水裂隙带发育至松散层时，地表降水可能顺导水裂隙带渗入下伏采空区，水体渗入加速岩层的风化，降低采空区的稳定性，甚者可导致采空区活化失稳。在此类场地上建设海绵设施时，需根据海绵设施的类型、海绵设施透水情况、采空区结构特征等多因素、多角度去综合判断建设适宜性，难以条文枚举其建设适宜性。因而，此类情况须进行专项论证。

4.3.4 煤矿采空区海绵城市的建设适宜性取决于场地稳定性及拟建海绵城市设施对场地的要求。对于不稳定的采空区场地，采空区继续塌陷失稳将引起海绵城市设施变形甚至损毁，建设适宜性为适宜性差。对于稳定的采空区场地，采空区沉降结束，上覆岩层稳定，海绵城市设施不再受采空区的影响，因而建设适宜性为适宜。对于基本稳定的采空区场地，采空区沉降基本结束，但仍存在小幅度下沉变形，因而该场地的建设适宜性主要取决于拟建海绵城市设施的抗变形能力，对于抗变形能力强的设施，建设适宜性为适宜；对于受采空区沉降影响发生形变易于修复的设施，建设适宜性为基本适宜；对于受采空区沉降影响发生形变而无法正常运行的设施，建设适宜性为适宜性差。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 煤矿采空区海绵城市设计需立足地质特殊性实现多维统筹。水体布局须顺应塌陷沉降形成的自然洼地格局，将沉降稳定区作为核心蓄滞空间，通过阶梯式水位设计兼顾旱季生态基流与雨季调蓄需求。水体规模应经计算确定，其有效调蓄容积需覆盖周边区域降雨径流量。

采煤塌陷地的利用遵循“分级治理、功能复合”原则。深层塌陷区可承担区域蓄洪功能，与上下游水系联动；浅层塌陷地可构建表面流人工湿地，净化径流污染物；边缘沉降缓坡带布设植草沟与生物滞留设施，形成径流传输廊道。

5.1.2 设计需立足流域整体性构建多层次海绵系统，分析区域水文特征与暴雨洪水路径，确保设施布局自然汇流，如将生物滞留设施布设于地表径流集中区，利用洼地建设雨洪调蓄枢纽。水体功能定位须统筹生态、景观与防洪需求：行洪河道则重点强化蓄排能力。

5.1.3 竖向设计需适应地质动态变化，场地平整保留一定的反向坡度，预防局部沉降积水。

5.1.4 平原、河网地区可通过建设湿塘、调蓄池等设施滞蓄雨水，结合河道疏浚提升行洪能力，实现“蓄排平衡”。低洼区优先采用海绵城市设施降低管网排水压力；河网区需预留行泄通道，保障暴雨期水流畅通。

山地、丘陵地区可通过阶梯式植草沟、植被缓冲带控制坡面径流，减少水土流失，降低滑坡风险。陡坡区可设置拦砂坝、石笼护坡等刚性防护设施，缓坡区可布局生物滞留设施等柔性措施。

5.1.6 基本适宜建设场地的海绵设施建设需采取分级加固策略，建筑措施着重柔性构造适应：线性设施（植草沟、管渠）可采用变形缝，水域设施的护坡可预留沉降缝。结构措施需提供冗余保障：对生物滞留池等浅层设施，可采用级配砂石换填、土工格栅；调蓄塘、湿地等承重设施可采用桩基，桩顶钢筋混凝土承台分散荷载；调蓄池可采用抗裂混凝土，管道接口可优先选用承插式橡胶圈，检查井可采用玻璃钢整体预制井筒。

5.1.7 建设适宜性为适宜性差的场地可经采空区专项治理提高其建设适宜性。经过专项治理后，对场地再次进行建设适宜性评价，根据评价结果确定海绵城市建设方案。

5.1.8 海绵设施应避开既有建构筑物基础一定范围内区域，防止开挖扰动引发地基变形。

5.1.9 煤矿采空区地质结构因采矿活动形成复杂裂隙网络，深层雨水渗透设施会加剧水文地质风险。采空区岩层中存在大量导水裂隙带，深层入渗雨水可沿裂隙快速下渗至深层地下水，可能活化地层变形。入渗水流冲刷填充采空区塌陷裂缝的碎屑物，削弱岩层自稳结构，诱发二次沉降。此外，水流持续下渗改变地下应力场，可能导致断层活化，威胁地面建筑安全。推荐采用地表生态设施、浅层调蓄系统替代，安全性和成本效益更优。

5.2 项目设计

5.2.2 海绵设施布局应优先利用采空区现有地形，保留自然汇水路径，避免截断或硬化天然河床，维持原有水文连通性；对因工程导致的水域面积减少或流速改变，需通过开挖人工湿地、增设生态跌水堰等进行补偿。

5.2.3 恢复河湖水系纵向（上下游）、侧向（河岸带）及垂向（地下水）的自然连通性，优先利用采空区塌陷形成的自然洼地、沟壑

作为生态廊道，避免硬化截断。对断裂的水系网络，可通过生态沟渠或地下涵管进行人工连通，确保水流连续性。

5.2.4 煤矿采空区地形受沉降影响形成破碎化洼地，传统集中式排水系统易因差异沉降而失效。分散式设施布局能有效适应这种特殊地貌：优先利用沉降稳定的浅洼地建设生物滞留设施，通过阶梯式串联形成径流消纳链；较大型塌陷塘则改造为多级调节塘，前置塘设置沉砂区，主塘配置浮岛植物带增强净化。这种模式可减少管网铺设，规避管道断裂风险。

5.2.6 客水调蓄空间的设计容积需根据设计重现期内的降雨量计算，并预留安全余量，确保极端降雨条件下不超载；客水汇入通道的标高应低于采空区调蓄设施最高水位，防止倒灌。

5.3 设施设计

5.3.2 海绵城市设施的位置选择需系统协调功能需求与场地条件。对地表变形敏感的设施必须优先布置在场地中地质稳定区域，防止外部荷载引发不均匀沉降。

5.3.3 天然水系区域的修复重在恢复水文连续性。采动导致的水系断流、渗漏问题，可通过柔性防渗与生态堰坝相结合的方式重建地表-地下水力联系。利用沉水植物修复河床生态基底，岸线采用根系固土能力强的植物群落稳定边坡。审慎采用硬质渠化河道。

采煤塌陷地的设施布局遵循“分级利用、动态适应”原则：积水深度较浅时可采用多级串联湿塘系统，前置塘沉淀悬浮物，主塘配置沉水植物净化径流；积水深度较深时可构建雨水湿地，通过浮岛等形成生物过滤带。

5.3.4 设计中应考虑受纳水体水位的最不利情况，以避免下游顶托造成雨水无法正常排除。

5.3.5 在调蓄区外围设置生态护坡、陆域缓冲带、水体边缘表流湿

地，通过土壤渗透和植物吸收过滤污染物。水体边缘的表流湿地可有效削减径流污染，填料可采用煤矸石改性材料。

5.3.7 采空区地质结构破坏严重，自然水体与坑塘可恢复原有水文循环，通过植物根系和土壤渗透实现雨水滞蓄，显著降低径流污染负荷。绿地与自然水体具有柔性特征，更能适应采空区的差异沉降，而地下雨水调蓄设施易因刚性结构导致开裂失效，发生渗漏时不能及时发现，且其建设成本及维护费用均高于绿色设施。

5.3.9 煤矿采空区地质变形风险要求材料具备卓越的抗变形能力，高强度轻量化材料可承受较大的不均匀沉降，能有效吸收地层应力。再生骨料（煤矸石掺量 $\leq 40\%$ ）透水混凝土、透水砖替代天然石材，既能减少结构自重，降低沉降风险，又实现固废资源化。

5.3.10 采空区海绵城市设施的植被需满足以下特性：土壤固持能力强，减少水土流失；通过密集根系网络稳定表层土体；改善土壤肥力。

提出采空区海绵城市设施的植被需结合地质情况进行差异化配置。

5.3.11 生态景观修复包括生境多样性营造、景观连通性。湿地配置多种微地形及植物，吸引鸟类等野生动物栖息；通过生态沟渠串联孤立水域，形成蓝绿交织的生态网络。

5.3.12 煤矿采空区梯级湿地构建需紧密依托沉降地形特征。优先利用串联洼地形成具有一定高程差的三级处理单元：高位区布置沉淀塘拦截粗颗粒悬浮物，通过重力流导入中位吸附塘；低位生态塘种植沉水植物与浮叶植物协同脱氮除磷。梯级间采用跌水堰衔接，跌水处设置消能措施，避免水流冲刷扰动底泥。

5.3.13 煤矿采空区湿地植物配置需统筹生态修复、污染净化和地质安全三重目标。长期耐水湿特性是基础要求，因采空区水位受降雨补给与沉降变形双重影响，年变幅较大。

优先选用本土野生种，其适应性显著优于引种物种，且能维持区域生物基因库的完整性。

5.3.14 柔性防渗措施选择可根据预测沉降量的大小选用不同的防渗措施及接缝处理工艺。

5.3.15 将采煤塌陷区改造为湿地，需考虑因地下水变化导致植被退化。在采空区塌陷地形成的湿地环境中，由于采煤活动导致的地面塌陷改变了原有地形地貌，进而影响了水文条件，如水位变化、水流速度、积水范围等。这些变化对湿地植物群落的生长和分布产生直接影响。因此，根据水文条件的改变动态调整植物群落，对于维护湿地生态系统的稳定和功能至关重要。

6 施工与验收

6.0.6 海绵城市设施的建设质量直接关系到城市雨水管理系统的运行效能，本条对施工过程的质量控制提出了明确要求。施工技术标准作为质量控制的根本依据，必须贯穿于各工序实施全过程，包括材料选用、工艺参数控制、构造做法等关键环节。施工单位应当建立完整的质量控制体系，配备专业技术人员，确保每道工序都符合设计要求和相关规范标准。

工序检查是保障施工质量的核心手段，要求实行“完成一道，检查一道”的质量控制模式。检查内容应当全面覆盖隐蔽工程验收、尺寸偏差检测、功能性测试等方面，特别要重视透水铺装孔隙率、生物滞留设施渗透速率等海绵设施特有指标的检测。检查过程应当形成规范的书面记录，作为质量追溯的依据。

任何未达到质量标准的工序都必须进行整改，直至符合要求。这种递进式的质量控制方式能够有效避免质量缺陷的累积，确保最终建成的海绵城市设施达到设计要求的功能。

6.0.7 海绵城市设施施工过程中，对现状植被的保护应当贯穿于工程建设全过程。施工前应详细勘察现场植被分布情况，特别是对古树名木、珍稀植物等重点保护对象，要制定专项保护方案。施工期间要设置明显的保护标识和隔离设施，避免机械碾压和人为破坏。对于需要迁移的植物，应当选择适宜季节，采用规范的移植技术，并做好后期养护工作，确保成活率。

施工成品的保护同样至关重要，包括已完成的基础设施、设备安装和绿化工程等。要建立成品保护责任制，明确保护范围 and 责任人。对透水铺装、生物滞留设施等易损部位，应当采取覆盖、围挡

等防护措施。特别要注意避免后续工序对已完工部分的污染和破坏，如重型机械通行造成的结构损伤、建筑材料堆放导致的透水孔隙堵塞等问题。

6.0.9 煤矿采空区水文地质复杂，差异沉降易导致管道接口错位、开裂。将联动试运行纳入验收项，可验证采空区复杂条件下多系统的协同效能，防止暴雨期系统崩溃失效。

6.0.10 煤矿采空区水土流失的风险通常较高，而植被根系是控制煤矿采空区水土流失的核心要素。将植被成活率、覆盖度纳入验收项，确保水体净化功能的持续性和根系固土、拦截地表径流的有效性。

7 运行与维护

7.0.3 煤矿采空区特殊地质条件下的海绵城市设施运行维护具有其特殊性。日常巡视检查是基础性工作，巡视过程中要特别关注采空区可能引发的地面沉降对设施的影响。

汛期重点巡查是保障设施安全的关键措施。在雨季来临前要对排水系统进行全面疏通，汛期对易积水的低洼区域、边坡防护设施等重点部位加大巡查频次。巡查中如发现地面塌陷、管道断裂等采空区典型问题，要立即启动应急预案。

常规定期维护时要特别注意采空区地质变化对设施结构安全的影响，必要时进行专业检测评估。

损坏应急处置要建立快速响应机制。发现设施损坏后，首先要设置安全警示标志，然后根据损坏程度分类处置：一般损坏应在 24 小时内修复；严重影响使用的重大损坏要立即采取临时排水措施，并在 3 日内完成修复；涉及地质安全的重大险情要立即疏散人员，并启动专项治理方案。

7.0.7 水土保持是采空区海绵设施维护的重点内容。要确保植被覆盖率达到设计要求，对裸露区域及时补植适生植物。排水系统要保持畅通，防止雨水集中冲刷造成水土流失。对已形成的冲沟要采取生态修复措施，如设置谷坊、种植固土植物等。雨季前要全面检查截排水设施，确保其完好有效。

7.0.12 防护设施要确保其完整性，特别是在临水区域设置防护栏杆，要定期检查其稳固性，特别是在雨季前后要重点检查基础是否牢固。

警示标志系统要科学设置。在入口处设置永久性警示牌，标明水深、危险区域等关键信息。危险区域要设置明显的禁止游泳、禁

止垂钓等警示标志，标志应采用反光材料，确保夜间可视。对于水位变化较大的湿塘，要设置水位变化预警标识。

预警系统要可靠运行。安装水位监测装置并与中央控制系统连接，当水位超过警戒线时能自动发出警报。

7.0.13 采空区海绵城市监测内容涵盖了多个方面，这些监测内容相互关联、互为补充，共同构成了采空区海绵城市监测的完整体系。采空区海绵城市建设的监测重点是地质安全的监测，因此强调地质稳定性的监测。

7.0.14 场地稳定性监测的规定，是确保采空区海绵城市建设与运营安全的重要保障。规定旨在通过系统、科学的监测手段，全面掌握地质稳定性的动态变化，为预防地质灾害、优化工程设计和保障城市安全提供重要依据。

7.0.15 对地下水位和水质的监测是地下水环境监测的核心内容。通过定期监测地下水位的变化，可以了解地下水资源的动态状况，为合理开发利用提供依据；而水质监测则可以及时发现地下水污染问题，确保地下水资源的安全性。监测方式及监测频次的确定应严格遵循现行行业标准《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164 的规定，以确保监测数据的准确性和可靠性。

其次，针对采空区的特殊性，本条文要求对其水位、水质及水的动态特征进行监测。采空区由于地下开采活动，往往存在地质结构破坏、岩层移动等问题，这些问题可能影响到地下水的赋存和流动状态。因此，对采空区的水文地质条件进行监测，有助于全面了解采空区对地下水环境的影响，为采取相应的防护措施提供依据。