**湖南省城市排水系统数字模型建设导则**

**Guidelines for digital model development of urban drainage system**

 **in Hunan Province**

湖南省住房和城乡建设厅

二零二三年六月**前 言**

为规范湖南省城市排水系统数字模型的建设和应用，提高湖南省城市排水工程的数字化、信息化管理水平，推进城市水安全、水环境治理体系和治理能力现代化转型，推动排水行业高质量发展，制定本导则。

本导则主要技术内容包括：1、总则；2、术语；3、建设内容；4、建设要求；5、模型构建；6、模型应用；7、软硬件要求；8、模型运行维护；9、安全保障。

根据住房和城乡建设部《工程建设标准涉及专利管理办法》（建办标〔2017〕3号）文件要求，主编单位声明：本导则不涉及任何专利情况，如在使用过程中发现涉及专利技术请及时与编制组联系。

本导则由湖南省住房和城乡建设厅负责管理，由中机国际工程设计研究院有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中机国际工程设计研究院有限责任公司（地址：长沙市雨花区韶山中路18号，邮政编码：410007）。

|  |  |
| --- | --- |
| 主编单位： | 中机国际工程设计研究院有限责任公司湖南省城乡建设行业协会 |

主要起草人：陆先镭贺卫宁 包正铎 王晓东 陈世洋 吴 航 戢 茜

 蓝 翔 石 勇 吴羽璇 樊 佳 蒋剑虹 王 莉

主要审查人：许仕荣 罗惠云 尹华升 王 巧 喻 勇

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc25513)

[2 术 语 2](#_Toc17282)

[3 建设内容 5](#_Toc4169)

[4 建设要求 8](#_Toc12848)

[5 模型构建 9](#_Toc3128)

[5.1 一般规定 9](#_Toc30101)

[5.2 数据要求 12](#_Toc28429)

[5.3 模型搭建 15](#_Toc20014)

[5.4 模型测试 17](#_Toc18850)

[5.5 参数率定和验证 17](#_Toc23150)

[5.6 模型验收 18](#_Toc30079)

[6 模型应用 19](#_Toc30492)

[6.1 一般规定 19](#_Toc2116)

[6.2 排水系统评估诊断应用 20](#_Toc10117)

[6.3 排水系统规划设计应用 20](#_Toc21386)

[6.4 排水系统运行管理应用 21](#_Toc27729)

[6.5 排水系统应急响应应用 22](#_Toc23785)

[7 软硬件要求 23](#_Toc26116)

[7.1 一般规定 23](#_Toc22269)

[7.2 硬件要求 23](#_Toc18536)

[7.3 软件要求 23](#_Toc11155)

[8 模型运行维护 25](#_Toc3707)

[8.1 一般规定 25](#_Toc26744)

[8.2 运行维护 25](#_Toc6803)

[9 安全保障 26](#_Toc11129)

[附录A 城市排水管网系统不同精度尺度水力模型的资料收集精度 27](#_Toc3285)

[附表A-1 资料收集详细级别 27](#_Toc20364)

[附表 A-2 不同精度尺度模型下典型资料收集的详细程度推荐表 29](#_Toc10802)

[本导则用词说明 30](#_Toc27724)

[规范性引用文件 31](#_Toc16523)

[条文说明 33](#_Toc542)

#  总 则

**1.0.1** 为规范湖南省城市排水系统数字模型的建设和应用，提高湖南省城市排水工程的数字化、信息化管理水平，推进城市水安全、水环境治理体系和治理能力现代化转型，结合湖南省实际情况，制订本导则。

**1.0.2** 本导则适用于湖南省县以上城市（含县城）排水系统数字模型的建设规划、建设管理、项目实施和运行维护等。

**1.0.3** 城市排水系统数字模型建设应遵循信息化、可视化、智慧化、实时化的原则。

**1.0.4** 城市排水系统数字模型建设应结合业务应用场景与现有信息化基础，统筹规划、合理设计、科学实施、精心运维。

**1.0.5** 城市排水系统数字模型建设应与市政排水管网数据采集和地理信息系统建设、城市信息模型（CIM）建设、城市智慧水务建设等城市相关平台建设充分融合，实现数据资源整合，以满足数据汇聚、信息联动和业务协同的要求。

**1.0.6** 城市排水系统数字模型建设除应符合本导则外，尚应符合国家、行业现行有关标准的规定和湖南省的有关管理规定。

#  术 语

**2.0.1** 城市排水系统数字模型 digital model of urban drainage system

基于城市排水区域气候气象、地形地貌、下垫面情况、排水管网地理信息系统（GIS）等，运用数理逻辑方法和数学语言结合工程模型，对城市排水系统进行动态模拟分析，由此获得城市排水系统的水位、流量、流速、污染物浓度、地面积水等水文、水力、水质等信息。

**2.0.2** 排水工程 wastewater engineering

收集、输送、处理、再生污水和雨水的工程。

**2.0.3** 排水系统 wastewater engineering system

 由排水工程各关联设施所组成的总体。

**2.0.4** 排水设施 wastewater facilities

排水工程中的管道、构筑物和设备等的统称。

**2.0.5** 数字排水 digital drainage

利用先进信息技术实现城市排水系统设施及要素、排水管理业务的全方位信息化支撑。其主要建设内容包含动态感知、数据资源、网络与基础环境、支撑平台、业务应用、安全体系、标准体系、运行维护体系等。

**2.0.6** 市政排水管网地理信息系统 geographic information system of municipal drainage pipeline network

利用地理信息系统技术，实现对市政排水管网设施空间与属性数据的显示、编辑、查询、统计等功能的数据管理系统。

**2.0.7** 智慧排水与污水处理信息系统 Intelligent drainage and sewage treatment information system

基于在线监测、数字模型、地理信息系统等先进技术，实现排水、污水处理设施的数据维护、运行管理、情景模拟、风险评估、指挥调度、动态决策等功能的排水行业应用系统。

**2.0.8** 城市信息模型 city information model (CIM)

以建筑信息模型（BIM）、地理信息系统（GIS）、物联网（IoT）等技术为基础，整合城市地上地下、室内室外、历史现状和未来多维多尺度信息模型数据和城市感知数据，构建三维数字空间的城市信息有机综合体。

**2.0.9** 城市信息模型基础平台 basic platform of city information

城市信息模型基础平台是在城市基础地理信息的基础上，建立建筑物、基础设施等三维数字模型，表达和管理城市三维空间的基础平台，是城市规划、建设、管理、运行工作的基础性操作平台，是智慧城市的基础性、关键性和实体性信息基础设施。

**2.0.10** 城市排水管网系统水力模型 hydrodynamic model of drainage network system

模拟城市排水管网系统（含排水管渠、河湖水体）中水流输送过程的数学模型。

**2.0.11** 城市排水管网系统水质模型 Water quality model of drainage network system

模拟城市排水管网系统（含排水管渠、河湖水体）中水污染物输移、衰减过程的数学模型。

**2.0.12** 拓扑结构 topological structure

把实体抽象成与其大小、形状无关的“点”，把连接实体的线路抽象成“线”，通过借用几何学中的点与线，抽象地表示实体相互之间点、线连接关系的图。

**2.0.13** 模型测试 model testing

评判模型计算稳定性的过程。

**2.0.14** 参数率定 calibration

采用实测数据推定模型参数或选择最优参数，使得模拟结果与实测数据偏差达到精度要求的过程。

**2.0.15** 模型验证 validation

采用实测数据，评价模型模拟结果准确性的过程。

**2.0.16** 模型验收 model acceptance check

评价模型构建中基础数据、边界条件、参数设置、结果表达等完整性、合理性和科学性的过程。

**2.0.17** 容灾管理 disaster recovery management

采用管理手段，保证在自然灾害、设备故障、人为操作破坏等的灾难发生时，在生产系统的数据尽量少丢失的情况下，保持生存系统的业务不间断地运行。

#  建设内容

### **3.0.1** 城市排水系统数字模型建设应做好体系建设顶层设计。

### **3.0.2** 城市排水系统数字模型的建设内容可参考图3.0.2系统建设框图，包括管理体系建设和技术体系建设，两者应相互支撑，并贯穿于确定目标、建设规划、建设管理、项目实施和运行维护全过程。



图3.0.2 系统建设框图

### **3.0.3** 城市排水系统数字模型建设管理体系包括组织体系和制度体系。管理体系的建设内容可按本导则第3.0.4条和第3.0.5条的规定确定。

### **3.0.4**  城市排水系统数字模型建设的组织体系建设主要包括以下内容：

### 1 落实城市排水系统数字模型建设工作总体部署、目标制定、任务分解、重大事项研究决策和组织协调工作的归口管理责任主体部门；

### 2 明确相关部门职能分工，将城市排水系统数字模型建设规划、建设管理、项目实施、运行维护、资金保障等纳入相关部门的日常管理工作职能职责。

### **3.0.5** 城市排水系统数字模型建设的制度体系建设可参考图3.0.5，主要包括以下内容：

1 梳理并完善城市排水系统数字模型建设管理工作流程，建立城市排水系统数字模型建设与应用的规划管控、建设管理机制和制度，并应将城市排水系统数字模型建设项目实施的立项审批、方案审查、初步设计审查、施工图审查、竣工验收等关键环节和运行维护工作纳入综合管控范畴。

2 建立健全与城市排水系统数字模型建设全生命周期相关的保障、监督、考核、评估等机制。根据实际情况，制定与城市排水系统数字模型建设全生命周期相关的管控、激励和考核等管理办法或规定。



图3.0.5 制度体系建设框图

### **3.0.6** 城市排水系统数字模型建设的技术体系建设可参考图3.0.6，主要包括以下内容：

1 应按国家现行标准《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》GB/T51187和《湖南省市政排水管网数据采集和地理信息系统建设技术导则》的规定，建立城市排水管网地理信息系统和城市排水管网数据库，完善城市排水管网信息化管理；

2 结合各地气候气象、地形地貌、水文地质等因素，加强城市水安全、水环境、水生态、水资源相关基础研究，重点开展城市气象水文特征、防洪排涝风险、排水系统污染排放特征等研究；

3 针对排水系统规划、设计、评估、日常管理、灾情预判、辅助决策和运行调度等不同需求，建设本地化的城市排水系统数字模型和应用系统；

4 制订排水系统数字模型的构建、验收、应用、运行维护等方面技术标准；

5 加强技术支撑能力建设，建设城市排水系统数字模型专家库，培育本地技术团队，加强对模型专业技术人员的培训，为城市排水系统数字模型建设和应用提供技术支撑；

6 建设单位可聘请技术支撑服务团队，开展技术研发、方案审查、模型建设、成果验收和绩效考核等工作，为城市排水系统数字模型建设提供全过程技术服务。



图3.0.6 技术体系建设框图

#  建设要求

**4.0.1** 城市排水系统数字模型建设应定位于城市数字化排水建设的关键组成部分和决策支撑体系核心，由地方排水主管部门主导建设，全面协调和统筹管理。

**4.0.2** 县级及以上城市建成区应将城市排水系统数字模型建设纳入排水、雨水专项规划，统筹规划，分步实施；其他有条件的城镇宜开展城市排水系统数字模型的建设和应用。

**4.0.3** 应成立城市排水系统数字模型建设领导小组，负责重大事项的决定，确定体制机制的建设，落实项目建设资金，协调项目各相关单位的协作关系，决定项目组成员的调整，及时听取项目建设过程的进展情况，对项目的执行情况进行宏观监督和指导。

**4.0.4** 城市排水系统数字模型建设项目应以需求为导向、以应用为核心，确定建设目标、总体架构与实施路径等。

**4.0.5** 应明确城市排水系统数字模型建设项目总负责人，负责整个项目建设全过程的所有管理职责，保证项目总体进度和工作质量，督查各组工作质量和进度，定期向领导小组汇报进展情况及需要确认的重大事项。

**4.0.6** 应建议统一设置数字模型管理组和信息系统管理组，负责城市排水系统数字模型建设专职队伍建设，编制各岗位管理制度，并组织培训。

**4.0.7** 应设立城市排水系统数字模型建设系统组，负责城市排水系统数字模型建设项目的系统运行环境和应用系统的建设与协调，包括网络部署、硬件配置，数据库建设、系统软件配置和应用软件研发，信息安全系统建设等工作。

#  模型构建

## 5.1 一般规定

### **5.1.1** 应根据实际需求和建设目标选择适用的城市排水系统数字模型软件，开展城市排水系统数字模型的建设和应用。

### **5.1.2** 按照建模目的和应用对象，城市排水系统数字模型可分为城市排水管网系统模型、城市排水处理系统模型和其他特殊功能模型等。

### **5.1.3** 城市排水管网系统模型适用于城市排水管网系统的水量、水动力和水质变化模拟仿真，根据模拟目标可分为水力模型和水质模型。

### **5.1.4** 用于城市排水管网系统的水力条件模拟时，应构建城市排水管网系统水力模型。按照其应用目的、概化程度和范围尺度，城市排水管网系统水力模型一般可划分为框架模型、分区模型和精细模型，不同精度尺度的城市排水管网系统模型的构建和应用宜符合下列规定：

1 框架模型宜用于城市总体规划及分区规划方案研究，模拟对象宜包括城市建成区下垫面、河湖水体、排水（雨水/合流）主干管渠、调蓄池、泵站等；

2 分区模型宜用于特定集水区专项规划和研究，模拟对象宜包括城市下垫面、河湖水体、片区内排水（雨水/合流）管渠、调蓄池、泵站及末端设施等排水设施、水利工程构筑物等；

3 精细模型宜用于片区排水工程的设计和评估，模拟对象宜包括模拟范围内下垫面、河湖水体、排水（雨水/合流）管渠、调蓄池、泵站、低影响开发设施等排水设施；

4 同一项目中，根据项目目的、重要性、数据可获取性及模型构建的难易程度，可采用不同的模型尺度。

### **5.1.5** 用于城市排水管网系统的污染物排放、迁移、扩散及水环境评估等水质相关研究时，应在城市排水系统水力模型的基础上构建城市排水系统水质模型，其建模范围应与水力模型一致。

### **5.1.6** 城市排水管网系统水质模型应用于流域水污染综合评估和规划等时，应尽量减少管网概化，以提高模拟准确度。模型构建宜包括流域内的全部管网元素及与水质相关的参数。

### **5.1.7** 城市排水处理系统模型适用于污水处理厂（站）工艺系统及工艺构筑物的数值模拟，可分为工艺系统模型和流体力学仿真模型。应根据实际需求和应用目标构建适宜的模型系统。

### **5.1.8**  其他特殊功能模型应根据实际需求和应用目标，参照该模型系统的相关说明、要求和规定，构建适宜的模型系统。

### **5.1.9** 城市排水系统模型构建和应用时，应根据实际需求和建设目标，选择适用的城市排水系统数字模型软件。

### **5.1.10** 城市排水系统数字模型的构建应符合下列基本规定：

1 模型中使用的空间数据所采用的平面坐标和高程系统应协调一致；

2 模型采用的计算方法、基础数据精度和准确度、率定与验证的标准应取决于模型的目标；

3 根据建模目的，模型基础数据的输入、模型参数的选取和边界条件的设置，应能较好地反映城市排水系统的实际情况或规划条件；

4 应完整记录模型构建的工作流程和数据文件，并说明模型主要参数的选择依据和确定方法。

### **5.1.11** 根据建模目的，城市排水系统数字模型构建所选用的建模工具应符合下列规定：

1 具备外部数据输入、构建模型、执行模拟、结果输出和可视化等功能；

2 城市排水管网系统模型应具备降雨模拟、地表产汇流模拟、管网水力模拟、河湖水体水力模拟等水文水动力模拟功能。涉及污染物计算时应具备面源污染排放模拟、低影响开发设施水质模拟、排水户污染排放模拟、管网污染物转输模拟和河湖水体水质模拟等功能；

3 城市排水处理系统模型应包括目标污水处理系统所涉及的主要工艺仿真计算功能；

4 其他特殊功能模型应能实现主要目标功能，如城市压力排水管道系统数字模型应提供水锤分析功能；厂、站、网的运行成本分析模型应结合排水管网、泵站和污水处理厂的设置和运行进行方案对比和成本分析；内涝预警模型应结合降雨情况对城市内涝进行预警；排口水质超标预警模型应针对排口水质变化数据进行预警。

## 5.2 数据要求

### **5.2.1** 构建城市排水系统数字模型应根据模型软件要求、建模目标等收集基础数据。

### 1 城市排水管网系统模型涉及的主要数据信息包括：气象数据（主要为降雨数据、蒸发数据等）、地面高程数据、下垫面数据、排水管网和附属设施数据（含低影响开发设施）、河湖水体数据、流量和水位监测数据、运行资料、边界条件、水质监测数据等；

### 2 城市排水处理系统模型涉及的主要数据信息包括：污水处理厂处理工艺和运行参数、关键工艺构筑物参数、关键水质参数等；

### 3 其他特殊功能模型应根据模型用户手册或技术指南相关要求收集基础数据。

### **5.2.2** 降雨数据包括设计暴雨数据和实测数据，应符合下列规定：

1 评估通过径流峰值流量的设施时，应采用短历时设计暴雨或短期实测降雨数据，且数据间隔时长不宜大于5min；

2 评估通过或容纳降雨径流总量的设施，或评估区域内涝风险时，宜采用长历时设计暴雨或长期实测降雨数据，且数据间隔时长宜小于10min，不应大于1h；

3 实测资料应包含不同降雨历时的降雨时间。

### **5.2.3** 短历时设计暴雨雨量可根据各市最新暴雨强度公式进行计算。

**5.2.4** 模型应用城市应结合本地的降雨特征和排水系统模型的目标，选择合适的设计暴雨雨型。

### **5.2.5** 构建城市排水系统数字模型所需的地面高程数据的精度应根据构建的模型等级确定。

1 精细模型地面高程数据的测绘图比例尺不宜小于1:500，分区模型不宜小于1:5000，框架模型不宜小于1:10000；

2 当需要评估排水系统的局部内涝情况时，应根据区域面积大小，对风险区和敏感区（如地下室、下穿隧道等局部洼地）加密地面高程数据，如标高缺失，应补充测量。

### **5.2.6** 下垫面数据应包括下垫面的用地类型、集水区面积、不透水率、粗糙系数、坡度、下渗能力。

### **5.2.7** 低影响开发设施数据应包括设施类型、集水区面积、不透水率、粗糙系数、坡度、下渗能力。

### **5.2.8** 排水管网和附属设施数据除应符合现行国家标准《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》GB/T51187的有关规定外，管网数据保有率应不低于60%，且不同尺度模型对管网数据保有率的要求应满足表5.2.8的规定。

表5.2.8 不同尺度模型对管网数据保有率的要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 模型等级 | 管网数据保有率指标（%） | 备注 |
| 大管 | 中管 | 小管 | 综合 |
| 框架模型 | 70~80 | 60~70 | 50~60 | 60~70 | 未知管线可简化，或插值计算 |
| 分区模型 | 80~90 | 70~80 | 60~70 | 70~80 | 非重点管段可省略，重点管段保留 |
| 精细模型 | 90~100 | 80~90 | 70~80 | 80~90 | 边缘管段省略，多数管段保留 |
| 全管网模型（水质模型） | 90~100 | 90~100 | 80~90 | 90~100 | 基本达到全管网数据建模程度 |

注：（1）小管：管径≤400mm；中管：400mm<管径<900mm；大管：管径≥900mm；（2）管网数据保有率低于60%，不能满足建立水力模型的最低要求。

**5.2.9** 城镇河道、明渠、湖泊及水利工程应包括下列资料：

1 河道、明渠的属性资料，包括高程、断面、糙率、水位、流量资料，重点河道还应收集河道的特征水位数据；

2 湖泊水库应包括高程、面积、库容、水位、溢流口资料；

3 涵洞、闸坝、主要跨河建（构）筑物和排涝泵站应包括几何尺寸、运行水位、水闸和泵站的运行规则；

### **5.2.10** 历史易涝区资料应包括易涝点的位置、高程及历史受涝记录等。

### **5.2.11** 城市排水系统的流量和水位监测数据应符合现行国家标准《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》GB/T51187的有关规定，并应符合下列规定：

1 监测点密度应符合下列规定：

1. 框架模型每10km2至少应布置1个监测点；
2. 分区模型每5km2至少应布置1个监测点；
3. 精细模型每个汇水分区至少应布置1个监测点，若汇水分区面积超过1km2，应每1km2至少布置1个监测点，重点排口、易涝区等重点区域的监测点应加密。

2 雨季流量监测时，应至少选择3场不同雨量等级的独立降雨事件，获得完整的降雨过程流量监测曲线，流量监测记录应与降雨过程记录匹配。

### **5.2.12** 应收集雨水调蓄池、排口闸门或阀门、雨水和排渍泵站、河道水闸和污水处理厂进水设施等附属设施的运行数据和运行模式等运行资料。

### **5.2.13** 应收集管道、检查井沉积物厚度数据，地下水入渗数据，管道坍塌信息，以及闸门、阀门、泵站故障信息。

### **5.2.14** 应收集排水系统外部入流和排水系统排放口（下边界）水位等模型边界资料，并应符合下列规定：

1 执行管道能力评估模拟分析时，管道模型下游边界条件应按设计自由出流设定；

2 执行内涝风险分析时，管道模型下游边界条件应按实测数据、河道模拟数据或规划要求设定；

3 执行实况事件模拟时，管道模型下游边界条件应按实测数据设定。

### **5.2.15** 收集的水质监测数据应与排水系统水质模型模拟的污染物数据相对应。

### **5.2.16** 根据城市排水系统资料详细程度，可将收集的资料分为4级：级别A、级别B、级别C和级别D，其中级别A代表最高准确级别，级别D代表最低准确级别。每类数据及其准确级别的详细叙述见附录A。

### **5.2.17** 构建的城市排水系统模型的精细尺度应与城市排水系统收集资料的精度相匹配，不同级别下资料收集详细程度推荐值可见附录A。如基于较低级别数据进行较高级别模型构建，则需要补充数据，加强模型率定验证。

### **5.2.18** 应对采集的相关数据进行分析和处理，以满足模型建设要求，数据处理应包括下列内容：

1 评估甄别异常数据，进行修正或剔除；

2 检查并验证系统拓扑关系；

3 根据模型目标和尺度，对收集数据存在的缺失进行补充测量；

4 难以补测的数据，应根据已有数据，进行合理推断补充；

5 记录数据来源。

### **5.2.19** 物联网感知数据宜满足以下规定：

1 感知数据与模型设计数据采用的规则尽可能一致；

2 采集数据统一频率：水力监测数据不宜大于5分钟，水质监测数据不宜大于120分钟；

3、统一零点校正，监测数据尽可能设置为同步采集。

## 5.3 模型搭建

### **5.3.1** 模型搭建应包含数据录入、数据检查、对象概化、建立拓扑结构和选择参数。

### **5.3.2** 根据建模目的，城市排水管网系统模型建模对象可包含集水区、管网、排口、沟渠、河道等排水设施的不同要素组合。

### **5.3.3** 集水区划分应考虑地形、地貌、地表覆盖情况、雨水管网及合流制管网分布情况，开展集水区划分，确定子集水区参数。

### **5.3.4** 应根据模型尺度和建模目的对排水系统进行合理概化，模型概化范围和概化程度应保证模型结果能够实现建模目的，并满足精度要求。

### **5.3.5** 应根据建模目的，选择适宜的城市排水系统数学模型计算方法及参数，计算方法的选择应符合下列规定：

1 排水管网、河道水力模型宜采用动力波法进行模拟。简单排水系统模型在不影响模型计算稳定性的前提下，可采用运动波法模拟；

2 河道模型宜采用一维模型，需要评估河道断面上的水动力变化或污染物扩散时，宜采用二维模型；

3 湖泊水库模型根据实际需要可选择采用零维、一维、二维或三维模型；

4 城市排水处理系统工艺系统模型根据实际需求选择能够进行沉淀过滤、生物化学反应过程等工艺仿真的模型；

5 城市排水处理系统流体力学仿真模型根据实际需求选择能够实现城市排水处理系统反应器流体力学仿真功能的模型。

### **5.3.6** 搭建排水系统规划模型时，模型参数应根据现行国家标准的有关规定和规划设计工况合理确定。

## 5.4 模型测试

### **5.4.1** 模型搭建后应首先进行严格的稳定性测试，保证模型运行的稳定性。

### **5.4.2** 应运行多个具有显著差异的典型工况，进行模型稳定性测试。

### **5.4.3** 城市排水管网系统模型更新及测试过程中改变管径、标高等参数变化超过10%时，应重新进行模型稳定性测试。

## 5.5 参数率定和验证

### **5.5.1** 模型参数率定和验证流程宜包括初始参数设置、参数敏感性分析、实测数据质量评估、模型参数率定、模型验证及编写报告。

### **5.5.2** 参数率定和验证应采用相互独立的多套实测数据，且实测数据应来源于物理特征一致的城市排水系统。

### **5.5.3** 城市排水管网系统模型的参数率定和验证宜采用流量、水位等实测数据；当缺少实测数据时，可参考历史相关记录。在规划设计阶段，因缺乏实测数据无法率定，需要说明参数的取值依据。

### **5.5.4** 城市排水管网系统模型采用实测数据进行参数率定和模型验证时，宜至少采用2套独立的降雨实测数据作为基础数据，并应至少对2套实测数据和模拟结果进行对比，数据偏差应符合下列标准之一：

1 模拟和实测的总水量偏差不应大于20%，时间序列数据模拟和实测的峰现时间偏差不应大于1h，峰值偏差不应大于25%；

2 模拟和实测时间序列数据的纳什效率系数不应小于0.5。

### **5.5.5** 城市排水管网系统模型采用历史记录进行参数率定和模型验证时，模拟结果应与实际内涝积水和溢流状况一致。

### **5.5.6** 城市排水处理系统工艺模型应采集系统运行数据，进行模型化学计量学系数和动力学参数的率定和验证。

### **5.5.7** 城市排水处理系统流体力学仿真模型应根据模型应用目的进行验证。

## 5.6 模型验收

### **5.6.1** 应制订模型验收相关技术标准，明确模型验收的审查内容和标准。

### **5.6.2** 应由模型使用部门或委托单位实施模型验收。可组织具有相关技术能力的第三方单位实施模型验收，并出具明确的验收意见和验收报告。

### **5.6.3** 模型构建单位应提供场地、模型运行环境、模型文件等，协助开展模型运行测试和模型文件的审查。

#  模型应用

## 6.1 一般规定

### **6.1.1** 城市排水系统数字模型应用应与城市排水系统业务紧密结合，宜包括排水系统规划设计、排水系统运行评估和问题诊断、排水系统应急调度等业务上的应用。

### **6.1.2** 城市排水系统数字模型的业务应用应遵循目标性、真实性、完整性和再利用性原则。

### **6.1.3** 城市排水系统数字模型应用流程应包括确定服务对象、模型选择、模型构建、模型校核、模型应用等内容，具体内容如图6.1.3所示。



图 6.1.3 城市排水系统数字模型业务应用流程

## 6.2 排水系统评估诊断应用

### **6.2.1** 排水管理单位应建立城市排水系统数字模型在城市排水系统现状评估、问题诊断等业务中的应用机制。

### **6.2.2** 城市排水管网系统模型在现状排水系统评估诊断业务的应用宜包括下列内容：

1 区域整体排水情况分析。结合气候变化与城市土地利用现状，评估不同重现期下区域整体排水现状，包括排水管网的整体排水能力评估，城市内涝风险评估，情景工程统计，超载情况统计等，以反映建模区域整体排水情况；

2 排水管网运行评估和问题诊断。结合排水设施数据、监测数据与管网运行的水力、水质模型数据，对排水系统存在的高水位运行、溢流、雨污混接、淤塞、水质异常、管网渗漏和渗入等问题进行诊断，动态分析和评估城市排水系统中管网运行状态；

3 排水系统水力负荷评估。评估污水系统、雨水系统和合流制系统的水力负荷，以及对系统存在的水力负荷缺陷问题进行诊断。

### **6.2.3** 城市排水处理系统模型在排水系统评估诊断业务的应用宜包括下列内容：

1 雨水、污水处理系统工艺运行问题诊断和分析评估；

2 雨水、污水处理系统处理提升改造能力评估；

3 单体工艺构筑物运行问题诊断和分析评估；

4 雨水、污水处理系统处理效率、能耗、药耗分析评估。

### **6.2.4** 宜结合《室外排水设计标准》GB50014，使用城市排水管网系统水力模型对现有排水管网、泵站和调蓄池等排水设施进行模拟，分析评估城市排水系统现状排水能力，并结合利用排水管网、泵站、污水处理厂等系统突发事件应急处置资料、城市易涝点“一点一档”资料等进行综合分析。

### **6.2.5** 宜结合《室外排水设计标准》GB50014、《城镇内涝防治技术规范》GB51222，使用城市排水管网系统水力模型开展城市内涝灾害风险评估。

## 6.3 排水系统规划设计应用

### **6.3.1** 排水管理单位应建立城市排水系统数字模型在城市排水系统规划设计中的应用机制。

### **6.3.2** 城市排水系统数字模型在城市排水系统规划设计中的应用宜包括以下方面：

1 排水管网、排水泵站、雨水调蓄系统、合流制溢流控制等规划设计方案的论证和优化；

2 雨水、污水处理厂规划设计方案的论证和优化；

3 城区开发、大规模开发项目建设对现有排水系统的管网设施排水能力的影响评估；

4 城市排水系统管网改造方案评估、比选和优化；

5 海绵城市建设规划方案评估优化等。

### **6.3.3** 宜使用城市排水管网系统模型对排水管网系统设计方案进行评估及优化等，包括：

1 针对区域性排水管渠、雨水调蓄及合流制溢流控制、泵站、构筑物等排水设施工程设计方案，进行分析、比较和优化；

2 针对确定的排水设施设计方案，在满足水力负荷的条件下，结合地理信息系统（GIS）的其他障碍物情况，比如综合管线、地铁等重要设施，在竖向标高允许的条件下，优化设计尺寸、标高、坡度等设计变量。

### **6.3.4** 对于集雨面积大于2km2的城市排水管段，应使用城市排水管网系统水力模型对雨水管渠的规划方案进行校核优化。

### **6.3.5** 宜使用城市排水管网系统水力模型对城市排水防涝设计方案进行方案比选、分析和设计优化，对涝水的汇集路径进行分析，结合城市竖向、受纳水体分布及城市内涝防治标准，合理布局涝水行泄通道。

### **6.3.6** 宜使用城市排水处理系统模型对雨水、污水处理系统及工艺构筑物设计方案进行方案比选、分析和设计优化。

## 6.4 排水系统运行管理应用

### **6.4.1** 排水管理单位宜建立城市排水系统的厂、站、网智能化联合管理调度机制。在厂、站、网的基础数据和运行监控数据的基础上，依托城市排水系统数字模型，优化排水系统运行调度，辅助城镇污水系统的科学管理与调度。

### **6.4.2** 宜使用城市排水管网系统水力模型开展城市排水系统性能评估，结合排水系统历史运行数据开展排水态势分析，优化排水设施运行方案。

### **6.4.3** 宜结合城市排水系统数字模型，开展排水系统水质超标排放预警及智能化管理应用，宜包括下列辅助功能：

1 污水超标排放预警功能；

2 排水户的超排、偷排监控。

3 污染源追溯功能；

4 支持受纳水体的水环境容量计算和预测、水质趋势预测等功能。

### **6.4.4** 宜结合城市排水系统数字模型，实施排水系统运行过程优化和效益优化。

## 6.5 排水系统应急响应应用

### **6.5.1** 省会城市和地级市市政府所在城市应建立基于在线城市排水系统数字模型的智慧防涝应急调度应用，辅助城市防涝决策制定和运行调控优化。

### **6.5.2** 排水管理单位宜结合城市排水系统数字模型，依托在线监测体系，实时反映管网内的运行情况，模型应能预判突发事件，开展城市水污染应急响应应用，实现城市河湖水体水质超标预警，辅助水环境管理决策。

### **6.5.3** 排水管理单位宜将城市排水管网监测系统与排水系统数字模型进行集成建设和融合应用，为排水系统风险预警、决策分析、问题诊断及智慧调度提供及时可靠的依据。

#  软硬件要求

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 模型应用单位应配备计算机、数据库系统、模型软件等软硬件系统，其中规划、设计部门应配备历史数据库，运行管理、应急响应部门，须配备实时数据库。

**7.1.2** 模型应用单位应设立系统管理员，负责城市排水系统数字模型系统的账户管理与软硬件系统维护，建立数据备份机制，保证数据安全。

## 7.2 硬件要求

**7.2.1** 根据系统运行需求，配备相应的硬件，宜包括下列硬件设施：

1 数据库服务器（双机热备份），用于存储模型基础数据、运行分析过程及结果数据；

2 高性能图形工作站，用于实现模型的高效运算与模拟结果的图形快速显示。

**7.2.2** 根据下列需求，宜配备高性能计算机及网络系统：

1 对于大规模排水管网系统建模及二维建模，宜配置高性能计算机系统；

2 对于网络版模型，模型应部署在应用单位内部局域网系统中，供相关部门访问和使用。对于具备公众Web发布功能的模型软件，应具备访问Internet的网络环境。

## 7.3 软件要求

**7.3.1** 模型应用软件应采用国内外知名、成熟通用或开源模型平台，选择建模工具时应考虑下列因素：

1 模型应用的定位目标与层次、排水系统规模；

2 软件性能，包括用户界面友好性、软件功能完善程度、数据预处理复杂程度等；

3 模型接口、配套软硬件要求、模型软件二次开发兼容性；

4 技术支持和培训服务完备性；

5 城市排水系统数据安全等。

**7.3.2** 宜根据模型软件的数据库配置要求，配备相应的数据库管理软件；宜通过数据库实现模型数据的统一管理，可分别配置客户端和服务器端等不同版本，以满足规划设计、绩效评价、运行调度、预警决策和维护管理等不同职能部门的模型使用需求。

#  模型运行维护

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 应建立城市排水系统数字模型更新维护工作机制，制定工作计划，定期动态更新数字模型要素数据，定期验证、校核数字模型的运行性能，加强各类数据的整合和应用。

**8.1.2** 运行维护对象包括配置管理、故障诊断、软件升级、远程支持、安全管理、容灾管理等，保障模型安全可靠有效运行。

**8.1.3** 应对城市排水系统数字模型定期、及时、规范化地进行运行维护管理。

### **8.1.4** 城市排水系统数字模型的数据库更新后，及时进行数据备份，以防数据丢失或损坏。

## 8.2 运行维护

**8.2.1** 应制定包含模型运行管理规定、维护操作规程等的城市排水系统数字模型系统运行维护和更新机制。

**8.2.2** 城市排水系统数字模型管理部门应定期备份模型数据库，备份方式及频次宜符合下列规定：

1 自动全备份宜每月1次，且在模型升级补丁前宜进行人工备份；

2 自动增量备份宜每日1次。

**8.2.3** 城市排水系统数字模型的数据库更新周期不应超过1年；当排水系统发生结构性改变或功能性改变时，数据库应及时更新。

**8.2.4** 当城市排水系统数字模型采用的技术标准更新时，应根据新标准及时对模型进行更新修正。

**8.2.5** 应建立专业、稳定的城市排水系统数字模型运维团队，执行模型运维。

#  安全保障

**9.0.1** 城市排水系统数字模型的建设和应用应符合国家相关法律法规、政策和标准规范的安全要求。

**9.0.2** 城市排水系统数字模型系统安全应按相关现行国家标准的规定执行，并应符合下列规定：

1 网络安全建设应与平台建设“同步规划、同步建设、同步使用”。

2 应综合评估信息安全设计方案和各类信息安全风险，并进行网络安全等级保护定级和备案。

3 应按照网络安全等级保护标准要求建立包含安全网络边界、安全通信网络、安全计算环境和安全管理中心的安全保障体系。

4 应制定平台安全防护策略，建立包含物理安全、主机安全、网络安全、应用安全、数据安全等的安全管理体系，加强安全认证、安全审计等安全管理措施，保障平台安全、稳定运行。

**9.0.3** 城市排水系统数字模型的数据采集、处理、传输、存储、交换和共享应符合相关现行国家标准和现行行业标准的规定。

* 1.

附录A 城市排水管网系统不同精度尺度水力模型的资料收集精度

## 附表A-1 资料收集详细级别

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 资料内容 | 级别 A | 级别 B | 级别 C | 级别 D |
| 管道资料 |
| 基础数据来源 | 对所有管道进行彻底勘察或重新勘察 | 地面标高和管底标高尽可能从现有记录中获取 | 多数地面标高，管底标高和管径从现有记录中获取 | 使用现有记录 |
| 缺失数据处理 | 实地勘测补充缺失数据 | 偶尔利用临近检查井或管段数据对缺失的数据来估计或用内插法计算，采用数据范围不超过两个连通的检查井，不超过总量的5% | 根据地形图离散标高点估计或内插法计算缺失的地面标高数据；根据覆土深度或埋深估计缺失的管底标高，如果没有可用资料，可以假设埋深；缺失的管径根据上下游管径来估算 |  |
| 排水管记录数据检查 | 对记录数据的连贯性进行检查，实地测量部分检查井以核实现有记录数据的准确性。对于有明显错误的地方，要进行重新测量 | 使用前，对记录数据的连贯性进行彻底检查 | 检查代表性的数据；有显著矛盾的数据，现场检查 | 一般不需要对输入数据进行常规检查，除非模拟过程中出现问题 |
| 附属构筑物（合流制系统溢流井和泵站）数据获取 | 对于所有主要的附属构筑物进行实地勘测 | 从竣工图中获取资料。对于不清楚的构筑物进行现场调查。 | 参考设计图或记录清单或现场调查 | 对主要的构筑物参考设计草图或记录清单或现场调查。其他构筑物数据可以根据经验估计。 |
| 产流区资料 |
| 非渗透性区域确认 | 详细勘测，确定是否是非渗透性区域 | 参考排水系统记录图和抽样勘察 | 参考记录图和经验 | 使用流量测量数据来估计 |
| 产流区范围 | 现场踏勘 | 重点区域现场踏勘 | 参考排水系统图，部分区域现场踏勘 | 参考排水系统记录图 |
| 产流区面积 | 地理信息分析或地形图测量 | 地理信息分析或地形图测量 | 地理信息分析或地形图测量 | 地理信息分析或地形图测量 |
| 非渗透性面积 | 硬化地面、屋顶等加权计算 | 硬化地面、屋顶等加权平均 | 硬化地面、屋顶等加权平均 |  |
| 运行记录 |
| 临时运转改动 | 咨询运行人员 | 咨询运行人员 | 咨询运行人员 | 咨询运行人员 |
| 洪水和超标准资料 | 收集洪水和超标准记录；执行超载勘测 | 收集洪水和超标准记录 | 收集洪水和超标准记录 | 收集洪水和超标准记录获取主要洪水泛滥点的信息 |
| 厂、站、网的水质、水量等运行数据 | 收集监测数据 | 收集监测数据 | 收集监测数据 | 收集监测数据 |
| 入渗流量 |
| 稳定流量 | 依据详细的渗透监测数据和长期的排放口流量记录 | 长期的排放口流量记录 | 依据有关标准 | 使用相关研究推荐数据 |
| 季节变化 | 依据详细的渗透监测数据和长期的排放口流量记录 | 依长期的排放口流量记录 | 长期的排放口流量记录 | 不包含在内 |
| 降雨介入变化 | 依据详细的渗透监测和长期的排放口流量监测 | 依据长期的排放口流量记录详细分析 | 不包含在内 | 不包含在内 |
| 平面分配 | 详细的渗透监测数据 | CCTV 资料和部分监测来估算 | CCTV 资料和部分监测来估算 | 平均分配 |
| 边界水文条件 |
| 河流水位 | 连续长期的监测数据 | 连续长期的监测数据 | 定期水位数据 | 异常水位数据 |
| 管道摩擦系数 |
| 依据 CCTV 记录确定管道摩擦系数和水力问题 | 已知管道条件较差的地方，使用CCTV 勘察确定 | 假设 | 假设 |  |
| 沉积物高度资料 |
| 依据 CCTV 记录确定沉积物高度 | 已知有沉积物问题的地方，依据CCTV 记录确定沉积物高度 | 已知有沉积物问题的地方，假设沉淀物高度 | 不考虑沉积物问题 |  |

## 附表 A-2 不同精度尺度模型下典型资料收集的详细程度推荐表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 模型类型 | 框架模型 | 分区模型 | 精细模型 |
| 管道数据 | D | C | B |
| 管段记 录资料的复查 | D | B | A |
| 附属构筑物资料 | C | B | A |
| 产流区资料 | C/D | C | B |
| 运行资料 | C | A | A |
| 边界条件资料 | 取决于该边界条件对模型结果的影响程度 |
| 管道摩擦系数 | D | B | B |
| 管网沉积物资料 | D | B | B |

# 本导则用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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”。

# 规范性引用文件

下列规范性文件对于本导则的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本导则。凡是不注日期的引用标准，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本导则。

《室外排水设计标准》GB50014；

《城镇内涝防治技术规范》GB51222；

《城市排水工程规划规范》GB50318；

《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》GB/T51187；

《城镇排水管渠与泵站运行、维护及安全技术规程》CJJ 68；

《城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程》T/CECS 647；

《数字城市地理信息公共平台建设要求》CHT 9013；

《计算机信息系统安全保护等级划分准则》GB17859；

《公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求》GB 28181；

《信息安全技术 信息系统安全管理要求》GB/T 20269；

《信息安全技术 网络基础安全技术要求》GB/T 20270；

《信息安全技术 信息系统通用安全技术要求》GB/T 20271；

《信息安全技术 智慧城市安全体系框架》GB/T 37971；

《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239；

《信息安全技术 网络安全等级保护定级指南》GB/T 22240；

《信息安全技术 数据安全能力成熟度模型》GB/T 37988；

《数据管理能力成熟度评估模型》GB/T 36073；

《信息安全技术 个人信息安全规范》GB/T 35273；

《物联网 信息交换和共享》GB/T 36478；

《信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求》GB/T 37025；

《信息技术 云数据存储和管理》GB/T 31916.1；

《信息技术备份存储 备份技术应用要求》GB/T 36092；

《信息安全技术 云存储系统安全技术要求》GA/T 1347；

《城镇排水系统厂、站、网一体化运行监测与智能化管理技术规程》T/ACEF 030；

《城市信息模型基础平台技术标准》CJJ/T315。

**湖南省城市排水系统数字模型建设导则**

**Guidelines for digital model development of urban drainage system**

 **in Hunan Province**

# 条文说明

**目 录**

[1 总 则 35](#_Toc17004)

[3 建设内容 36](#_Toc27646)

[4 建设要求 37](#_Toc5985)

[5 模型构建 38](#_Toc11935)

[5.1 一般规定 38](#_Toc10148)

[5.2 数据要求 39](#_Toc8074)

[5.4 模型测试 40](#_Toc29030)

[5.5 参数率定和验证 40](#_Toc26584)

[6 模型应用 43](#_Toc13922)

[6.1 一般规定 43](#_Toc4943)

[6.2 排水系统评估诊断应用 43](#_Toc18522)

[6.3 排水系统规划设计应用 43](#_Toc5497)

[6.4 排水系统运行管理应用 44](#_Toc14924)

[6.5 排水系统应急响应应用 44](#_Toc29806)

[7 软硬件要求 45](#_Toc9383)

[7.3 软件要求 45](#_Toc11984)

[8 模型运行维护 47](#_Toc23492)

[8.1 一般规定 47](#_Toc24273)

[8.2 运行维护 47](#_Toc13154)

[9 安全保障 48](#_Toc27191)

#  总 则

**1.0.1** 说明制定本导则的目的。城市排水系统是一个结构复杂、规模庞大、随机性强的巨型网络系统。面对复杂的城市排水系统，传统以人工经验为主的粗放式管理方式，已经难以适应现代化城市建设与管理的要求，更难以给出系统、科学、准确、及时的规划与管理建议。使用信息化技术提高排水系统的规划建设、运营维护管理及服务水平是实现现代化城市排水系统科学管理的趋势。其中，城市排水系统数字模型是集排水工程、计算机、信息化为一体的新技术，通过建立排水系统模型，利用计算机技术进行数值计算，仿真排水系统的运行工况，辅助排水系统的规划设计、科学管理与决策，应大力推广应用。

**1.0.2** 规定本导则的适用范围。本导则适用范围涵盖湖南省县以上城市（含县城）排水系统数字模型的建设规划、建设管理及项目的设计、施工、验收、运行管理与维护等建设全生命周期。

**1.0.3** 随着计算机技术和新一代信息技术的迅速发展，排水系统的管理与信息技术结合得越来越紧密。以信息化、可视化、智慧化、实时化为主要特征的智慧排水是以排水设施工程信息和动态监控信息为基础，利用感知监测网、物联网、云计算、大数据、人工智能、GIS、BIM等新一代信息技术和专业模型，全方位感知城市排水设施及要素实时运行状态，以及排水管理业务运行情况，通过地理空间信息可视化管理，最终形成支撑排水管理单位各业务单元运行、管理和决策分析于一体的排水系统综合管控系统。其中，建立排水系统数字模型是整个系统功能实现的核心基础。

**1.0.4** 规定了城市排水系统数字模型建设和应用应遵守的重要原则。

**1.0.5** 规定了城市排水系统数字模型建设应与数字中国、智慧城市建设衔接，符合城市信息模型（CIM）基础平台规划建设的基本要求，提供数据接口和二次开发接口等。《城市信息模型基础平台技术标准》（CJJ/T315-2022）规定了城市信息模型基础平台的建设、管理和运行维护相关标准。

**1.0.6** 明确在执行本导则的同时，还应遵守国家、行业、地方现行的有关标准、规范和规定。

#  建设内容

**3.0.6** 技术体系建设主要包括城市排水系统基础数据库建设、基础研究、模型建设、模型技术标准体系建设和模型技术支持团队建设等内容。

#  建设要求

**4.0.1** 明确了城市排水系统数字模型建设的定位。

**4.0.2** 住房和城乡建设部印发的《城市排水（雨水）防涝综合规划编制大纲》（建城〔2013〕98号）明确了城市排水（雨水）防涝系统数字模型的建设要求。按照住房和城乡建设部《城市排水防涝设施普查数据采集与管理技术导则（试行）》（2013年6月），结合现状普查，加强普查数据的采集与管理，确保数据系统性、完整性、准确性，为建立城市排水数字信息化管控平台创造条件。直辖市、省会城市和计划单列市及有条件的城市要尽快建立城市排水防涝数字信息化管控平台，实现日常管理、运行调度、灾情预判和辅助决策，提高城市排水防涝设施规划、建设、管理和应急水平；其他城市要逐步建立和完善排水防涝数字化管控平台。

#  模型构建

## 5.1 一般规定

**5.1.2** 城市排水系统是一个结构复杂、规模庞大的巨型系统。根据不同属性分类，城市排水系统数字模型可形成不同类型体系。本导则仅从数字模型的建模目的和应用对象进行分类。

**5.1.4** 水力模型一般依照其的建立和模型用途进行区分。

1. 框架模型——也称为简化模型，主要用于整个流域，或大流域内某个局部的某些特定的规划用途，以及实时控制应用。一般只包括中等管径（400mm）以上的干管，而400mm以下的支管除个别积水黑点地区外均被忽略。这种模型能够满足相对准确地模拟干管系统或截留管系统的水力条件的使用要求，但不足以准确地模拟流域内的可能出现的积水区范围和积水的严重程度，也不能用于详细的全流域排水规划研究和支线管段的设计评估。
2. 分区模型——也称为规划模型，可直接通过建模或从简化模型升级得到。主要用于全流域排水系统详细规划研究。这种级别的模型应用非常普遍，它们能够相对准确地模拟管网中、大口径管线系统的水力条件，以及相对准确地模拟流域内的可能出现的积水区范围和积水的严重程度，但对局部地区的水力负荷评估有其使用局限性，不能用于支线管段的设计评估。
3. 精细模型——也称为设计模型，在规划模型的基础上，进一步增加目标地区的管线详细程度，以便用于目标地区中等口径以下，支线管段的水力负荷评估和设计方案比较。这种模型能够满足几乎全部水力负荷评估要求，可准确地模拟目标地区可能出现的积水区范围和积水的严重程度，但它们还不能用于模拟管网内污染物分布和变化的评估要求。

**5.1.6** 水质模型属于全管网模型，其详细程度和精确度要求最高。它们除包含了流域内几乎能被包括在模型内的全部管网元素外，还增加了用于模拟管网内水质变化的全部参数。管网水质模型通常与下游河流或水体的水质模型以及污水处理厂运行模型相结合，进行全流域水污染综合评估和规划。

**5.1.7** 城市排水处理系统是一套复杂的运行体系，传统活性污泥法是目前国内外污水处理系统采用的主体工艺，除此之外，还有氧化沟工艺、两段活性污泥法、前置反硝化生物脱氮工艺、A/O生物除磷工艺及A2/O生物脱氮除磷工艺等；此外雨水处理系统通常采用调蓄、沉淀、一级强化处理以及人工湿地等生态化处理工艺等。

采用城市排水处理系统工艺模型，有助于描述和理解污水处理系统的沉淀过滤机理、生物化学反应过程等，模拟工艺系统能耗、药耗和水力条件的动态变化和对各项水质指标的影响，对系统设计及设备选型提供理论指导，并能指导实际生产运行，提高管理效能。当前，以机理模型为主的活性污泥动态模型是工艺系统模型的主流，活性污泥数学模型起源于1988年，其主要分为3种。第一种是Andrews模型，其特点是引入底物的存储—代谢机理，合理解释了有机物的“快速去除”现象、微生物增长速率随底物浓度变化的滞后效应以及耗氧速率随底物浓度变化的滞后效应；第二种是WRc模型，其认为存活力并非生物活性的先决条件，强调了非存活细胞的生物代谢作用使有机物的降解可以在不伴随微生物量增加的情况下发生，以此解释在应用Monod动力学根据有机物的去除预测微生物量增长时出现的问题；第三种是IAWQ系列模型，包括有活性污泥1号模型（Activated Sludge Model No.1，简称ASM1），及其后迭代模型活性污泥2号（ASM2）、包含反硝化聚磷菌的ASM2D模型，以及活性污泥3号模型（ASM3）等。

计算流体力学（Computational Fluid Dynamics）是流体力学的一个重要分支，其通过数值求解流体运动（单相流动或多相流动）控制方程来获取流场的基本信息。随着计算机技术的推广普及和计算方法的改进，近年来CFD技术领域蓬勃发展。目前，CFD技术在污水处理系统中主要应用于固液分离反应器、生物处理反应器和化学处理反应器等的设计和优化。由于数值模拟相对实验研究具有成本低、周期短等优点，可快速模拟出污水处理系统实际运行过程中各种状态的数据，对于设计、改造等技术方案的确定有重要的指导作用，因此，CFD技术得到了越来越多的应用。

**5.1.10** 《城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程》（T/CECS 647-2019）明确了城市排水系统数字模型的构建和应用的相关要求。

## 5.2 数据要求

**5.2.8** 李明琦（2006）在《城市排水管网水动力学模型的建立与应用》中提出，管网数据保有率是指已掌握的管网数据的比例，与模型模拟的详细程度和模拟结果的精确度高度相关。管网数据保有率有高低，是确定模型尺度级别的关键因素。

**5.2.12** 应收集对城市排水系统的水力特性有显著影响的附属设施信息。

**5.2.13** 应收集排水系统所有对系统流量变化有明显影响的环境信息。

## 5.4 模型测试

**5.4.1** 明确模型测试的作用和实施阶段。

**5.4.2** 运行具有显著差异的多个典型工况开展模型测试，能够全面反映模型的完整性、合理性、科学性和稳定性。例如在城市排水管网系统模型测试时，应选择运行多场不同降雨量的降雨事件：一场旱季流量事件，一场低强度多峰值的降雨事件，一场5年重现期的60分钟降雨历时的设计降雨，一场50年重现期的60分钟降雨历时的设计降雨等。在城市排水处理系统模型测试时，应选择多种典型工况。其他特殊功能模型应根据其要求选择合适的测试条件。

## 5.5 参数率定和验证

**5.5.4** 模型模拟精度判别在直观观察的基础上，以监测数据为对照，选定精度判别指标，计算对应指标值，综合判断模型模拟的准确性。判别指标一般可选用相关性系数（*R2*）、纳什效率系数（*NSE*）以及平均相对偏差（*BIAS*）。

相关性系数（*R2*）是衡量模拟结果曲线与监测结果曲线的拟合程度，是对二者线性相关性的表征，能够反映出模型模拟结果与实际情况均势是否一致。相关性系数通过以下公式进行计算：

 （1）

式中：为第*t*时刻实测值；为第*t*时刻模拟值；为实测时序数据的平均值；为模拟时序数据的平均值。

纳什效率系数（Nash-Sutcliffe efficiency coefficient, *NSE*）一般用于验证模型模拟结果整体效果。纳什效率系数通过以下公式进行计算：

 （2）

式中：*NSE*取值为负无穷至1。*NSE*接近1，表示模拟结果与观测值较为一致，模拟质量好，模型可信度高；*NSE*接近0，表示模拟结果接近观测值的平均值水平，即总体结果可信，但过程模拟误差较大；*NSE*远远小于0，则表示模型不可信。

平均相对偏差（BIAS）侧重分析模拟与实际情况结果局部精确性的表征，如在流量过程模拟中，可用来判别峰值模拟的精确程度。平均相对偏差通过以下公式进行计算：

 （3）

**5.5.6** 运用城市排水处理系统工艺模型进行工艺计算时，部分参数因工艺和时空地域变化存在明显波动，应根据现场采集化验数据和在线监测数据，并结合同地区类似城市排水处理系统经验参数值，对模型进行化学计量学和动力学参数校正。

**5.5.7** Saguat and Deck (2009) 在《CFD modeling for Wastewawter Treatment Processes》中认为，城市排水处理系统流体力学仿真模型的模型可行度评估可根据其复杂性和精细度分为6个层级。具体如下：

层级1：综合指标验证，常用的有剪切力和拖拽力等变量的均值。该方法常见于膜生物反应器的验证，常采用电泳扩散测定来获取剪切应力剖面数据。

层级2：采用参数的一阶统计分析（例如，平均速率，持气率，污泥浓度等）验证。其中平均速率参数较为容易获取，是CFD模型验证中最广泛使用的一个变量。另一个广泛应用的方法是开展示踪研究。

层级3：采用剪切应力、流体热能以及组分参数等的二阶统计分析（通常表达为均值和均方根差（RMSE）值等）验证。为了获取时间尺度统计数据，CFD软件需要能够提供时序数据采集功能。由于污水处理系统更多关注均值参数，且该方法在真实污水处理系统中使用耗时较多，应用较少。

层级4，5，6：采用分布曲线分析和更高阶统计分析进行验证。当对从瞬态解获得的时序数据进行解译时，有必要分析参数的频率分布。例如，计算生物膜表面特定点的剪切应力分布，或通过获取的间歇式系统（例如好氧生物反应器或厌氧消化池）的脉动流速来计算涡流动能分布。该方法常使用快速傅里叶变换算法进行此类时序数据的解译。基于大量实验数据实施严格的验证程序，可实现两点分析（层级5）和非线性耦合分析（层级6），在此基础上可完成传统的分布曲线分析（层级4）。

层级6：当前对CFD模型预测能力提升和应用的需求逐渐增大。通过耦合生物动力学模型（ASM/ADM1模型）、污泥沉降模型、群体平衡模型（PBM）框架、离散单元模型、流变模型以及传质模型等，可以拓展和提升CFD模型预测能力。叠加耦合新模型也可能会引入新的误差和不确定性。

对于极其复杂的系统模型，目前较为推荐的验证方法为采用结构单元模块方法，其将一套复杂的系统分为4级梯度简化系统：全流程系统（complete system）→子流程实例（subsystem cases）→基准实例（benchmark cases）→工艺单元问题（unit problems）。自上而下，污水处理系统测量数据的误差和不确实性逐渐下降，而初始条件和边界条件的完整性逐渐升高。采用该策略，可在不同复杂度层级上评估模型结果与实验数据的准确性。

#  模型应用

## 6.1 一般规定

**6.1.2** 明确城市排水系统数字模型的业务应用应遵循的基本原则：

**1** 目标性原则。应根据业务应用目的选择适宜的城市排水系统数字模型、计算方法和关键参数。

**2** 真实性原则。模型基础数据的输入、模型参数的选取和边界条件的设置，应能反映城市排水系统规划条件或实际情况；城市排水系统数字模型应能够真实、客观、有效地反映城市排水系统的运行状态。

**3** 完整性原则。应完整记录和说明模型构建的所有工作程序和数据文件。

**4** 再利用性原则。对于已经建设的模型，可在仔细校核无误或更新后重新应用；新模型构建过程，宜存档并保留完整记录，为后续模型的更新、再利用提供基础条件。

## 6.2 排水系统评估诊断应用

**6.2.2** 本条是关于城市排水管网系统模型在现状排水系统评估诊断业务的应用。

**3** 污水系统对应不同行业、排水户的流量排放变化曲线，计算和分析管网各部分水力负荷，如排放口、泵站、截留管或干管系统等，以及诊断引起大面积或局部管网水力问题的成因；雨水系统和合流制系统评估雨天条件下的滞水情况，以及汇入流、渗入流和溢流情况，确定管网水力负荷缺陷。

**6.2.4** 应在排水防涝设施普查的基础上，使用城市排水管网系统水力模型对城市排水系统现状排水能力进行分析评估。

**6.2.5** 通过模拟获得雨水径流的流态、水位变化、积水范围和淹没时间等信息，采用单一指标或多个指标叠加，综合评估城市内涝灾害的危险性；结合城市区域重要性和敏感性，对城市内涝风险等级进行划分。

## 6.3 排水系统规划设计应用

**6.3.6** 在工程设计阶段，构建模型对各种设计方案进行模拟，从而评估对比各种设计方案的优劣。活性污泥数学模型经历了20多年的发展，在污泥处理工艺的选择、改造、优化运行、工艺研究等方面的作用日益突出；CFD模型已经广泛应用于调蓄池、沉淀池、水处理反应器、水处理膜过滤等设施的设计流场的数值模拟，优化设施设计。

## 6.4 排水系统运行管理应用

**6.4.4** 在排水系统运行过程，系统往往存在一些时变因素，如生产负荷的变化，操作的变化等，应用模型可以动态优化排水系统的运行过程。动态优化是以在线辨识所得到的动态模型为基础，对动态模型的定态形式实现优化，或者以在线辨识得到的包括过程时变性的动态模型为基础实现长时间范围内的优化。此外，利用模型有助于使排水系统的处理效率维持在最佳水平，降低能耗和运行费用，取得最大的经济效益和环境效益。

## 6.5 排水系统应急响应应用

**6.5.1** 利用城市排水系统数字模型、计算机、物联网、3S等现代信息技术开发建设智慧排水信息云平台，可以更科学地满足排水行业对城市排水防涝数据信息化处理、排水防涝设施养护管理和排水防涝业务管理的要求，提高城市排水防涝设施规划、建设、日常管理、运行调度、灾情预判和应急响应能力，为城市排水防涝提供应急处置方案及技术支撑，提高城市防灾减灾能力和安全保障水平。

**6.5.2** 为了掌握水质随时间和空间演变状况及发展态势，在水质发生恶化前发出预警预报，以便及时采取措施对其加以有效抑制、减缓、控制和整治，以期降低危害程度，系统根据采集的水质数据、水文数据，采用二维水动力学水质扩散模型对河流水质进行演进模拟，实现对实时污染源（排污口）正常排放下污染物的时空变化的模拟计算；计算某一污染源的影响区域，及影响区域的浓度分布；推算河湖水体中某一点位的浓度随时间的变化，并利用GIS展示，为用户提前掌握河湖水体水质发展与变化情况，判断是否采取保护措施提供数据支持。

#  软硬件要求

## 7.3 软件要求

**7.3.1** 现有市场主流的城市排水管网系统模型应用软件有SWMM、InfoWorks、MIKE，详见表1。此外，国内学者也开展了一系列排水管网模型研究，如岑国平等建立了雨水管网计算和设计模型SSCM，周玉文建立了排水管网非恒定流模拟模型CSPSM，清华大学规划院开发了数字排水软件 DigitalWater等。

基于ASM1模型的Simulation of Single Sludge Process（SSSP）是公认的第一个活性污泥工艺软件，此后发展迅速，出现了GPS-X、WEST、EFOR、SIMBA、BioWin、TH-ASSS、SUMO、ODSS、gPROMS、FCASM3、STOAT、AQUASIM等各种商业、非商业的污水处理厂模型软件产品。徐承志等（2021）综述了活性污泥数学模型在污水处理中的研究进展，归纳了不同工艺模型软件在国内外污水处理厂的应用，详见表2。

目前，在城市排水处理系统中应用较广的流体动力学仿真软件有PHOENICS、CFX、STAR-CD、FIDIP、FLUENT等。

表7.3.1 城市排水管网系统模型主要应用软件对比

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 模块 | SWMM | InfoWorks | MIKE |
| 气象信息、入流信息输入 | 降雨、温度、蒸发、风速、融雪、节点入流 | 降雨、温度、蒸发、风速、融雪、节点入流 | 降雨、温度、蒸发、风速、融雪侧向入流、节点入流 |
| 产流模块 | Green-Ampt模型、Horton模型、SCS曲线 | 固定比例径流模型、Wallingford固定径流模型、新英国径流模型、SCS曲线、Green-Ampt模型、Horton模型、固定渗透模型 | 时间面积曲线、运动波、线性水库、单位线、长系列模拟（额外流量；RDI模型） |
| 汇流模块 | 美国非线性水库模型 | 双线性水库模型（Wallingford）、大面积贡献面积径流模型、SPRINT径流模型、Desbordes径流模型，SWMM径流模型 |
| 地下水模块 | 两层地下水模型 | 无 | 地下水库（RDI）模型 |
| 渠道模块 | 稳定流、运动波、动力波 | 圣维南方程组（Preissmann求解） | 动力流、扩散波、运动波 |
| 水质模块 | 地表径流水质污染物运移 | 生活、工业污水、污染物运移 | 地表径流水质、废污水污染物运移、降解 |
| 泥沙沉积 | 无 | 永久沉积和泥沙运移（管道） | 地表沉积、管道沉积、泥沙运移 |
| 旱流模块 | 节点入流定义旱流量（不涉及水质），渠道入渗，人工设定模拟步长 | 居民生活污水、工业废水、渠道入渗，自动设定模拟步长 | 废污水、渠道入渗、人工设定模拟步长（线性水库） |
| 工程措施 | 管道、堰、孔、闸门、蓄水池、泵站 | 管道、堰、孔、闸门、蓄水池、泵站 | 管道、堰、孔、闸门、蓄水池、泵站 |
| 二维模块 | 无 | 二维地面洪水演算模型 | 二维地表模型 |
| 数据接口 | 与图片对接 | 与GIS、AutoCAD、Google Earth对接 | 与GIS、AutoCAD、Google Earth对接 |
| 授权（免费/付费） | 免费 | 付费 | 付费 |

表7.3.2 城市排水处理系统模型应用软件案例应用

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 运行工艺 | 运行规模（104m3/d） | 研究方法 | 优化对象 | 优化结果 |
| 倒置AAO | 2 | Prosee软件 | 污泥龄、污泥回流比、硝化液回流比、溶解氧调控 | 通过对优化对象的模拟调节，满足一级A排放标准，对设备控制优化及降低能耗 |
| 传统AAO | 小试规模 | Biowin软件 | 曝气池溶解氧 | 有效降低空气流量23.8%~38.1%，氧转移效率提高7.2%~11.7% |
| A+AAO | 3.5 | FCASM3模型 | 溶解氧调控、污泥回流比、硝化液回流比 | 脱氮效率提升15.91%，同时保证出水COD和总磷达标，且运行成本最低 |
| Bardenpho | 6 | Biowin软件 | 硝化液回流比、碳源投加 | 设计内回流和碳源动态投加耦合方案，有效提升工艺稳定性和抗冲击负荷能力 |
| 奥贝尔氧化沟 | 4 | ASM2d模型 | 污泥回流比、BOD5污泥负荷率 | 脱氮效率提升20.7%，除磷效率提升30%~40%，有效提升了污染物去除率 |
| 卡罗赛尔氧化沟 | 3 | Biowin软件 | 污泥负荷率 | 研究了污泥符合率对工艺的影响，并对其原因进行了分析 |
| CASS | 中试规模 | MATLAB平台 | COD/N、有机负荷、污泥龄、温度、反应池容积 | 观察不同条件下的微生物群落变化，引入相互作用机制，修正后的ASM1更加有效 |
| SBR | 4 | GPS-X软件 | 反应池容积 | 有效指导了污水处理厂工艺设计和升级 |

# 模型运行维护

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 明确了城市排水系统数字模型建设关于更新维护的要求。充分考虑城市排水系统数字模型的实用性和可持续性。

**8.1.3** 应根据现行国家标准《信息安全技术 信息系统安全运维管理指南》GB/T 36626、《信息技术服务 运行维护 第1部分：通用要求》GB/T 28827.1、《信息技术服务 运行维护 第4部分：数据中心服务要求》GB/T 28827.4、《信息技术服务 运行维护 第6部分：应用系统服务要求》GB/T 28827.6等相关要求，对城市排水系统数字模型进行运行维护管理。

## 8.2 运行维护

**8.2.2** 模型管理部门应对模型数据库进行备份，以防数据丢失或损坏。

**8.2.3** 模型构建是一个持续改进的过程，当排水系统发生变化时（结构性改变或功能性改变），管理部门应及时更新其数据库，方便模型的后续使用。参考现行国家标准《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》GB/T 51187的有关规定，模型数据的更新周期不应超过1年。

# 安全保障

**9.0.1** 明确了城市排水系统数字模型建设关于安全性的要求。城市排水系统数字模型建设和应用中涉及数据采集、处理、传输、存储、交换和共享等，应符合国家相关法律法规、政策和标准规范的安全要求。

**9.0.2** 城市排水系统数字模型系统安全应按《计算机信息系统安全保护等级划分准则》GB17859、《信息安全技术 信息系统安全管理要求》GB/T 20269、《信息安全技术 网络基础安全技术要求》GB/T 20270、《信息安全技术 信息系统通用安全技术要求》GB/T 20271、《信息安全技术 智慧城市安全体系框架》GB/T 37971和《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》GB/T 22239等国家标准执行。

**2** 网络安全等级保护定级和备案应按《信息安全技术 网络安全等级保护定级指南》GB/T 22240的要求执行。

**9.0.3** 城市排水系统数字模型的数据采集、处理、传输、存储、交换和共享应符合现行国家标准《信息安全技术 数据安全能力成熟度模型》GB/T 37988、《数据管理能力成熟度评估模型》GB/T 36073、《信息安全技术 个人信息安全规范》GB/T 35273、《公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求》GB 28181、《物联网 信息交换和共享》GB/T 36478、《信息安全技术 物联网数据传输安全技术要求》GB/T 37025、《信息技术 云数据存储和管理》GB/T 31916.1、《信息技术备份存储 备份技术应用要求》GB/T 36092和现行行业标准《信息安全技术 云存储系统安全技术要求》GA/T 1347的相关规定。