

团体标准

T/CUWA *****—2023

城市内涝风险评估技术标准 (征求意见稿)

Technical regulations for urban flooding risk assessment

2024-**-**发布

2024-**-**实施

中国城镇供水排水协会 发布

目 次

前 言 1

1.总则..... 2

2.术语..... 3

3 基本规定..... 4

4 降雨分级..... 5

5 模型模拟..... 6

 5.1 一般规定 6

 5.2 基础数据 6

 5.3 模型构建 7

 5.4 模拟结果..... 8

6 风险评估..... 9

 6.1 一般规定 9

 6.2 评估内容 9

 6.3 评估结果..... 10

7 应对与保障措施..... 11

附录 A 模拟结果例图 12

附录 B 风险评估例图 15

前 言

本标准编制单位承诺该项标准不侵犯他人专利。若标准中涉及必不可少的专利，编制单位承诺确保专利权人或者专利申请人同意在公平、合理、无歧视基础上，免费许可任何组织或者个人在实施该标准时实施其专利。

本标准由中国城镇供水排水协会标准化工作委员会归口。

本标准由北京雨人润科生态技术有限责任公司负责技术内容的解释。如有意见或建议，请寄送至北京雨人润科生态技术有限责任公司（地址：北京市东城区黄化门街 4 号）。

本标准主编单位：北京雨人润科生态技术有限责任公司，北京城市排水集团有限责任公司。

本标准参编单位：北京建筑大学

北京市城市规划设计研究院

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

武汉市水务科学研究院

中国城市规划设计研究院

北京北排水务设计研究院有限公司

北京首创生态环保集团股份有限公司

中持水务股份有限公司

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

1. 总则

1.0.1 为规范推进城市内涝风险评估工作，提升城市内涝灾害的应对能力，编制本标准。

1.0.2 本标准适用于对城市内涝风险的评估与风险图编制。

1.0.3 城市内涝风险评估工作，除应执行本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2. 术语

2.0.1 城市内涝 Urban Pluvial Flooding

强降雨或连续性降雨产生径流超过城市本地排水能力，导致城市地面或地下空间产生积水灾害的现象。

2.0.2 城市内涝风险评估 Urban Flooding Risk Assessment

基于历史记录数据与模型模拟等手段，评估不同降雨条件下城市可能发生内涝积水的范围、水深、流速与时间等，以及对城市居民安全和建筑、道路等基础设施可能造成的影响。

2.0.3 地表径流路径 Overland Flow Path

强降雨或连续性降雨产生地表径流后，雨水径流在地表的流向与流行路线分布。

2.0.4 低洼区 Depressed Area

城市地表局部区域高程低于周边区域而形成的洼地区域。

2.0.5 排水分区 Urban Catchment

以地形地貌或排水管渠界定的地面径流雨水的集水或汇水范围。

2.0.6 城市水文模型 Urban Hydrological Model

模拟城市降雨产流与汇流水文过程的数学模型，主要可分为集总式模型、半分布式模型和分布式模型。

2.0.7 城市水动力模型 Urban Hydraulic Model

模拟城市降雨径流在管网、河道的汇流过程，以及地表漫流过程的数学模型，主要可分为城市管网（河道）一维（1D）模型、城市地表二维（2D）模型、城市管网（河道）一维与地表二维耦合（1D/2D）模型。

3 基本规定

3.0.1（总体要求）应针对城市新建城区与已建城区分别进行内涝风险评估，支撑城市新建城区总体规划、相关专项规划编制和开发建设，已建城区内涝风险区域的改造和城市内涝应急管理。

3.0.2（评估内容）应通过构建城市水文与水动力模型，模拟得到不同降雨条件下的城市排水设施运行与地表积水数据，结合城市内涝历史记录数据，评估城市排水设施的排水能力、主要内涝点/片区分布，以及内涝对城市建筑与道路等城市基础设施的影响，划分内涝风险等级。

3.0.3（评估年限）城市新建城区的评估应与城市国土空间规划的编制同步开展，城市已建城区均应开展内涝风险评估工作，初次评估完成后应结合城市建设与更新工作要求进行局部复评，宜每 10 年进行重评。

4 降雨分级

4.0.1（总体分级）应基于《室外排水设计标准》（GB50014）规定的雨水管渠设计重现期降雨、内涝防治设计重现期降雨，以及超过内涝防治设计重现期的超标降雨，分别进行评估。

4.0.2（针对不同降雨分级分别评估）针对不同等级降雨的评估应符合以下要求：

1. 针对城市雨水管渠设计重现期降雨，应重点评估城市雨水管渠实际排水能力，以及未达标区域在该降雨条件下的内涝风险。
2. 针对城市内涝防治设计重现期降雨，应重点评估城市实际内涝防治能力，以及未达标区域在该降雨条件下的内涝风险。
3. 针对超过城市内涝防治设计重现期的超标降雨，应重点评估城市整体区域在该降雨条件下的内涝风险。

4.0.3（不同区域进一步区分临界降雨）不同城市应基于对其实际雨水管渠排水能力与内涝防治能力的评估，进一步明确不同区域内涝风险对应的临界降雨。

5 模型模拟

5.1 一般规定

5.1.1（模型类型选择）应根据不同等级降雨的评估要求合理选择相应的城市水文与水动力模型类型。

5.1.2（模拟内容）应基于城市水文与水动力模型模拟，得到城市地表径流路径、低洼区与排水分区、城市管网（河道）排水能力、城市地表积水水深与流速等数据结果。

5.2 基础数据

5.2.1（数据分类）应获取全面和准确的基础数据用于模型构建，基础数据资料应满足时效性、现实性与可靠性的要求，主要数据类型应包括：

1. 降雨数据
2. 高精度城市地形数据
3. 排水防涝设施数据
4. 城市地表覆盖数据
5. 城市河道及相关水利设施数据
6. 历史降雨、积水及相关监测数据
7. 相关基础地理信息数据

5.2.2（降雨数据）降雨数据应符合以下要求：

1. 降雨资料应包括设计降雨（降雨量、雨型等）与历史监测降雨数据。
2. 应根据评估区域范围和模拟要求合理选择短历时或长历时雨型。
3. 降雨雨型应优先基于本地历史降雨资料统计获取，在缺乏资料的情况下可通过芝加哥雨型等方法得到设计雨型用于模型模拟。
4. 宜收集当地已发生积水内涝事件对应的场次降雨数据，支撑模型参数的率定与验证。

5.2.3（地形数据）地形数据应符合以下要求：

1. 数据类型宜为雷达测绘生成的栅格数据，应完整覆盖评估区域及相关汇水分区和排水边界。
2. 城市内涝风险评估的地形数据平面网格精度宜不低于 2m。
3. 应对原始地形测绘数据进行处理，重点去除树木等可能对水流造成不真

实阻挡的地物。

5.2.4（排水设施数据）排水设施数据应符合以下要求：

1. 排水设施数据应包括雨水口，检查井，管道，排放口，泵站与调蓄池等，数据信息的格式和要求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）的要求。
2. 应包括城市雨洪调蓄公园、雨水湿地等与内涝风险评估相关的绿色雨水设施数据。

5.2.5（城市地表覆盖数据）城市地表覆盖数据应至少包括建筑、道路、绿地、水系等不同类型用地范围。

5.2.6（城市河道及相关水利设施数据）城市河道及相关排涝设施数据应包括河道典型断面、运行水位、主要水工构筑物信息及其调度规则等。

5.2.7（历史降雨及相关监测数据）历史降雨监测数据宜包括降雨量、排水设施的液位与流量等监测数据，以及积水点的空间位置、积水范围、积水深度与退水时间等。

5.2.8（相关基础地理信息数据）基础地理信息资料宜包括评估区域的行政区划、交通道路、铁路、河流水系等地理信息。

5.3 模型构建

5.3.1 构建城市水文模型，合理选择产流与汇流方法，模拟城市降雨径流过程。有条件的城市应明确当地城市水文模型适用的产汇流方法与参数标准。

5.3.2 通过构建城市水文模型，可基于城市高精度地形数据模拟识别城市地表径流路径、低洼区与地表排水分区。

5.3.3 针对不同等级降雨，可通过构建**城市管网一维（1D）水动力模型**，模拟得到管网水位与流量等运行数据，可进一步统计城市管网满管与检查井冒溢结果，支撑管网排水能力评估。

5.3.4 针对不同等级降雨，可通过构建**城市河道一维（1D）水动力模型**，模拟得到河道水位与流量等运行数据，可进一步统计城市河道堤防达标结果与不达标区域的淹没情况，支撑城市河道排涝能力评估。

5.3.5 针对城市内涝防治设计重现期降雨及超过内涝防治设计重现期的超标降雨，可通过构建**城市地表二维（2D）水动力模型**，并根据评估区域特征合理概

化城市管网（河道）排水能力，模拟得到城市地表积水深度与流速等数据，快速模拟识别城市内涝重点区域。

5.3.6 针对内涝重点区域可以排水分区为单元构建**城市管网（河道）一维与地表二维耦合（1D/2D）水动力模型**，进一步模拟重点区域的管网（河道）运行与地表积水数据。

5.3.7 有条件的区域宜优先直接构建**城市管网（河道）一维与地表二维耦合（1D/2D）水动力模型**，针对不同等级降雨进行模拟评估。

5.3.8 针对城市新建城区，模型参数应根据相关设计工况和当地气候、地理、水文等条件合理确定，不需要进行参数率定与模型验证。

5.3.9 针对城市已建城区，模型参数宜根据历史降雨监测数据进行率定与验证，积水内涝区域、积水深度与时间等应与实际基本相符。

5.4 模拟结果

5.4.1 模拟结果应至少包括城市地表径流路径、低洼区与地表排水分区模拟结果图、城市管网（河道）运行模拟结果图、城市地表积水水深与流速模拟结果图。

5.4.2 城市地表径流路径、低洼区与地表排水分区模拟结果图可以基础地理信息数据为底图，叠加不同等级的地表径流路径分布、低洼区分布与排水分区边界，也可针对城市地表径流路径、低洼区、排水分区分别出图。可参照附录 A-1。

5.4.3 城市管网（河道）运行模拟结果图可以基础地理信息数据为底图，叠加管网（河道）设施数据，通过不同颜色设置体现不同管段是否超载、检查井是否冒溢与不同河道堤防是否漫溢，以及漫溢河段对应的淹没区域范围与积水深度。可参照附录 A-2。

5.4.4 城市地表积水水深与流速模拟结果图可以基础地理信息数据为底图，分别叠加最大积水深度结果数据与地表径流路径提取的最大流速结果数据，最大积水深度与流速可以不同颜色分级表示。可参照附录 A-3。

6 风险评估

6.1 一般规定

6.1.1（基于模拟结果与历史数据进行评估）应优先基于模型模拟结果进行城市内涝风险评估，暂无模拟结果的区域可结合历史内涝记录数据进行初步评估。

6.1.2（新城）针对城市新建城区，应将现状评估结果作为城区规划的支撑条件，且应对规划后的区域内涝风险进一步评估。

6.1.3（老城）针对城市已建城区，应对区域现状内涝风险进行评估，支撑区域改造方案的制定，且应结合改造方案，对改造后的区域内涝风险进一步评估。

6.2 评估内容

6.2.1（管网/河道排水能力）应基于城市管网（河道）设施运行模拟结果，评估城市管网最大排水（排涝）能力。

6.2.2（内涝积水点/片区）应基于城市积水水深与流速模拟结果，评估筛选城市主要内涝积水点/片区。

6.2.3（建筑风险）针对城市主要内涝积水点/片区周边潜在受影响的建筑，应基于不同积水深度划分不同风险等级，并对可能造成人员伤亡的建筑、影响城市区域正常运行的建筑和有文物遗产等特殊保护要求的建筑等进行识别。

6.2.4 城市内涝建筑风险评估宜基于不同积水深度划分风险等级，积水深度分级应符合以下要求：

1. 积水大于等于 15cm 以上的判定为内涝点；
2. 积水深度小于 27cm 属于较低风险区域；
3. 积水深度大于等于 27cm 但小于 40cm 属于中等风险区域；
4. 积水深度大于等于 40cm 但小于 60cm 属于较高风险区域；
5. 积水深度大于等于 60cm 属于高风险区域。

6.2.5（道路风险）针对城市主要内涝积水点/片区周边潜在受影响的城市道路，应结合不同积水深度和流速对城市交通运行，以及行车和行人安全的影响分析，评估不同道路的内涝风险。

6.2.6 城市内涝道路风险评估宜基于不同积水深度与流速划分风险等级，积水深度与流速分级应符合以下要求：

1. 积水深度小于 27cm，且积水深度与流速乘积小于 $0.4\text{m}^2/\text{s}$ 属于较低风险

区域；

2. 积水深度小于 40cm，且积水深度与流速乘积大于 $0.4\text{m}^2/\text{s}$ 但小于 $0.6\text{m}^2/\text{s}$ 属于中等风险区域；
3. 积水深度大于等于 40cm，且积水深度与流速乘积大于 $0.6\text{m}^2/\text{s}$ 属于高风险区域；
4. 其他情况参照 6.2.4 按积水深度划分风险等级。

6.3 评估结果

6.3.1（风险图包括）应基于城市内涝风险评估结果编制城市内涝风险图与评估报告，城市内涝风险图宜包括城市排水管网（河道）排水能力评估图、城市内涝积水点/片区分布图、城市内涝风险等级分布图（宜包括建筑风险与道路风险）。

6.3.2（排水能力评估图）城市排水管网（河道）排水能力评估图应通过不同颜色设置体现不同管段超载、检查井节点冒溢与不同河段漫溢对应的临界降雨。可参照附录 B-1。

6.3.3（内涝积水点/片区分布图）城市内涝积水点/片区分布图应在积水深度与流速模拟结果上叠加筛选的主要积水点（片区）分布。可参照附录 B-2。

6.3.4（城市内涝建筑风险等级）城市内涝建筑风险等级分布图应通过不同颜色设置体现较低风险、中等风险、较高风险与高风险区域分布，并标注受影响的重点建筑分布。可参照附录 B-3。

6.3.5（城市内涝道路风险等级）城市内涝道路风险等级分布图应通过不同颜色设置体现较低风险、中等风险与高风险道路区域分布。可参照附录 B-4。

6.3.6（城市内涝风险评估报告）城市内涝风险评估报告应包括评估区域概况、资料情况、模型构建、参数率定与验证、排水能力评估、积水点/片区分析、建筑与道路内涝风险分级等主要内容。

7 应对与保障措施

7.0.1（新建城区）应结合各城市新建城区规划编制要求，建立城市内涝风险评估支撑城市新建城区规划编制的流程与方法。

7.0.2（已建城区）应建立城市内涝风险评估对已建城区更新改造与防汛应急管理的支撑保障。

7.0.3（改造计划）应基于城市内涝风险评估结果，针对不同风险区域制定改造计划，确定近期与远期实施计划。且应制定具体的应急管理预案，明确不同区域对应内涝风险临界降雨条件下的避险区域、道路封闭与撤离路线等。

7.0.4（近期可实体改造）针对近期可进行排水系统改造的区域，应符合以下要求：

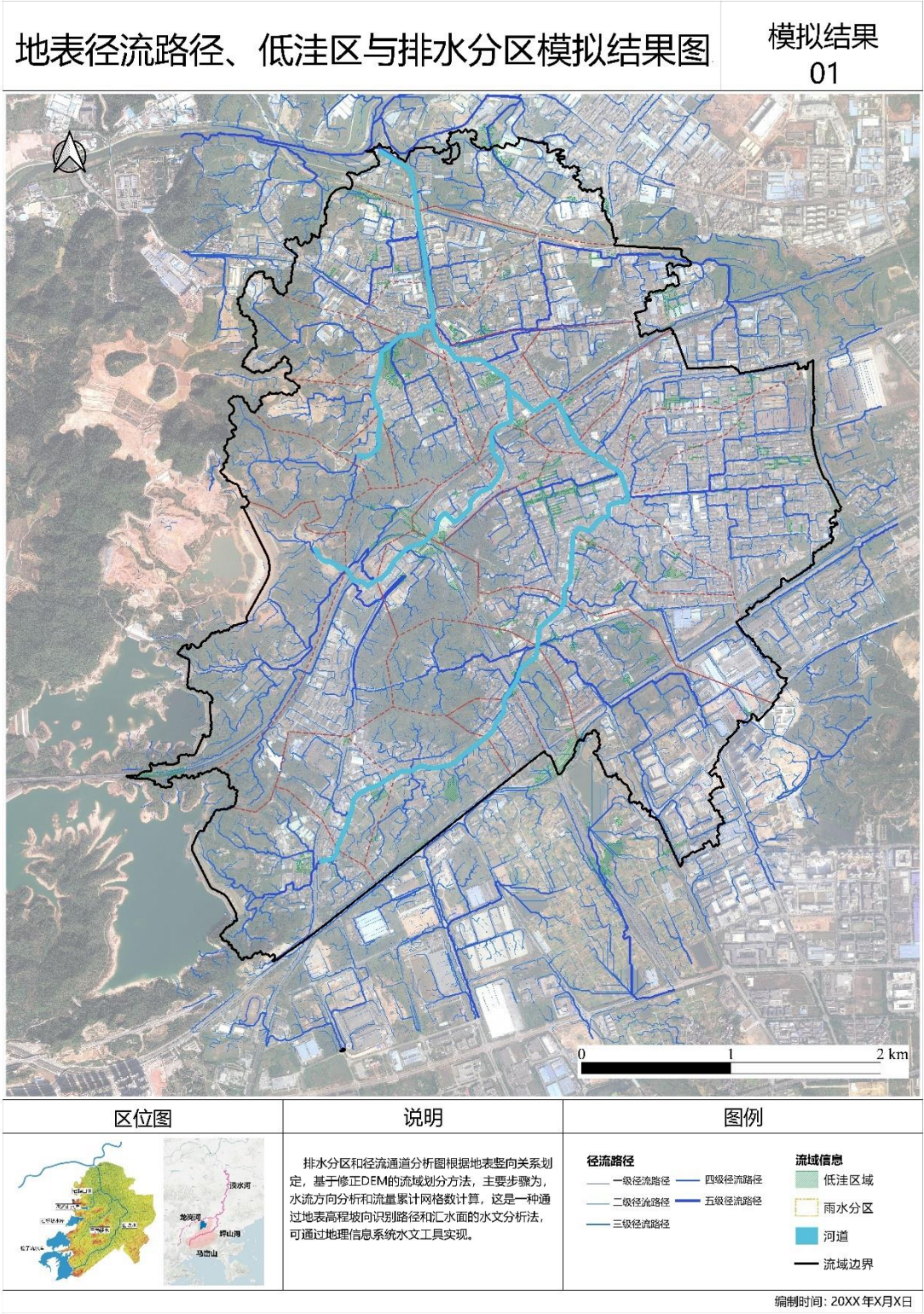
1. 应结合近期改造方案，模拟评估区域改造前后的内涝风险。
2. 近期改造后应同步结合非工程性措施进一步提高区域内涝防治能力，并针对超过内涝防治能力后的不同情景制定相应的应急管理预案。

7.0.5（近期不可实体改造）针对近期不可进行排水系统改造的区域，应符合以下要求：

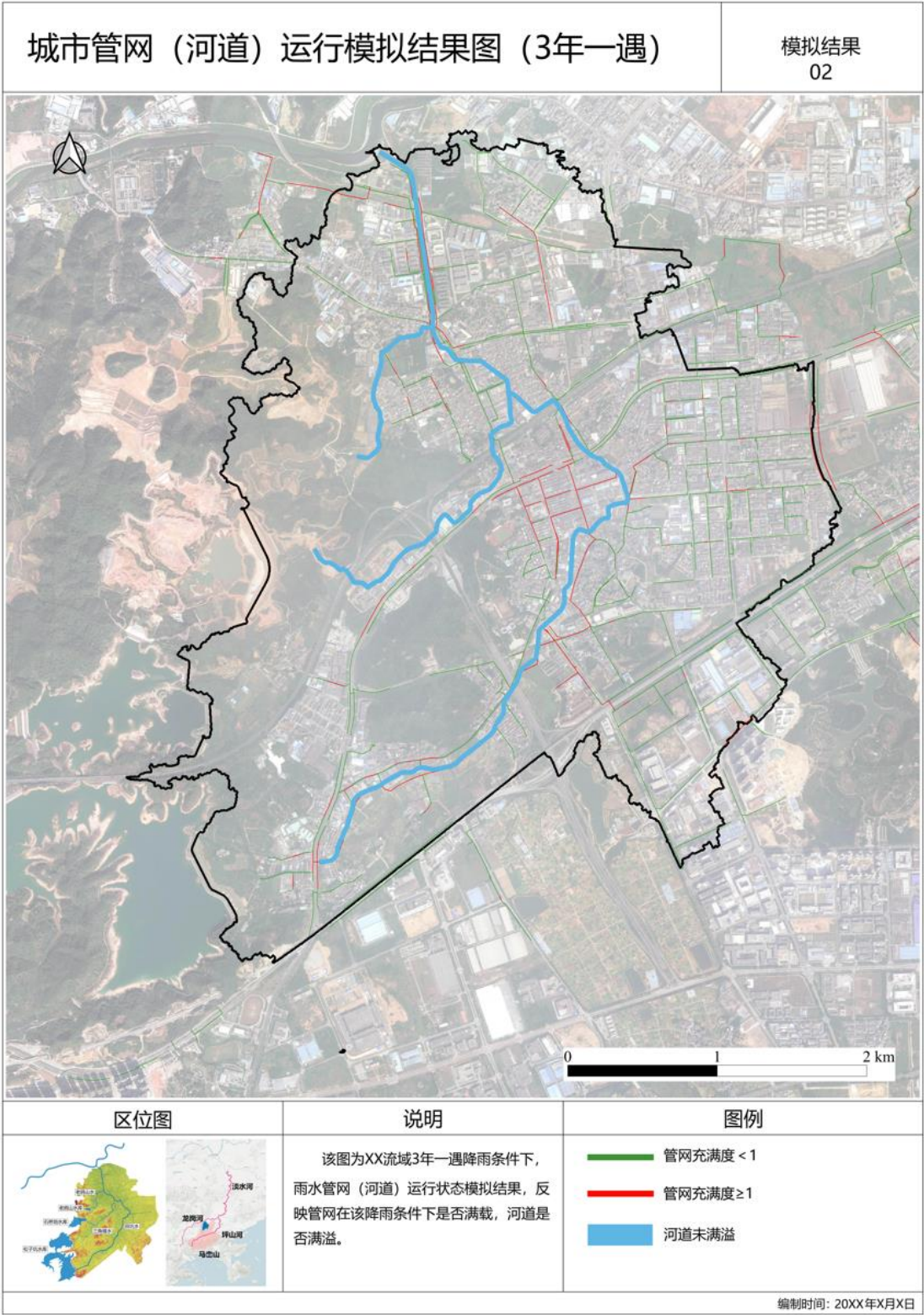
1. 应制定近期非工程性应对措施，并针对超过内涝防治能力后的不同情景制定相应的应急管理预案。
2. 应模拟评估远期改造方案实施后的区域内涝风险。

附录 A 模拟结果例图
(资料性)

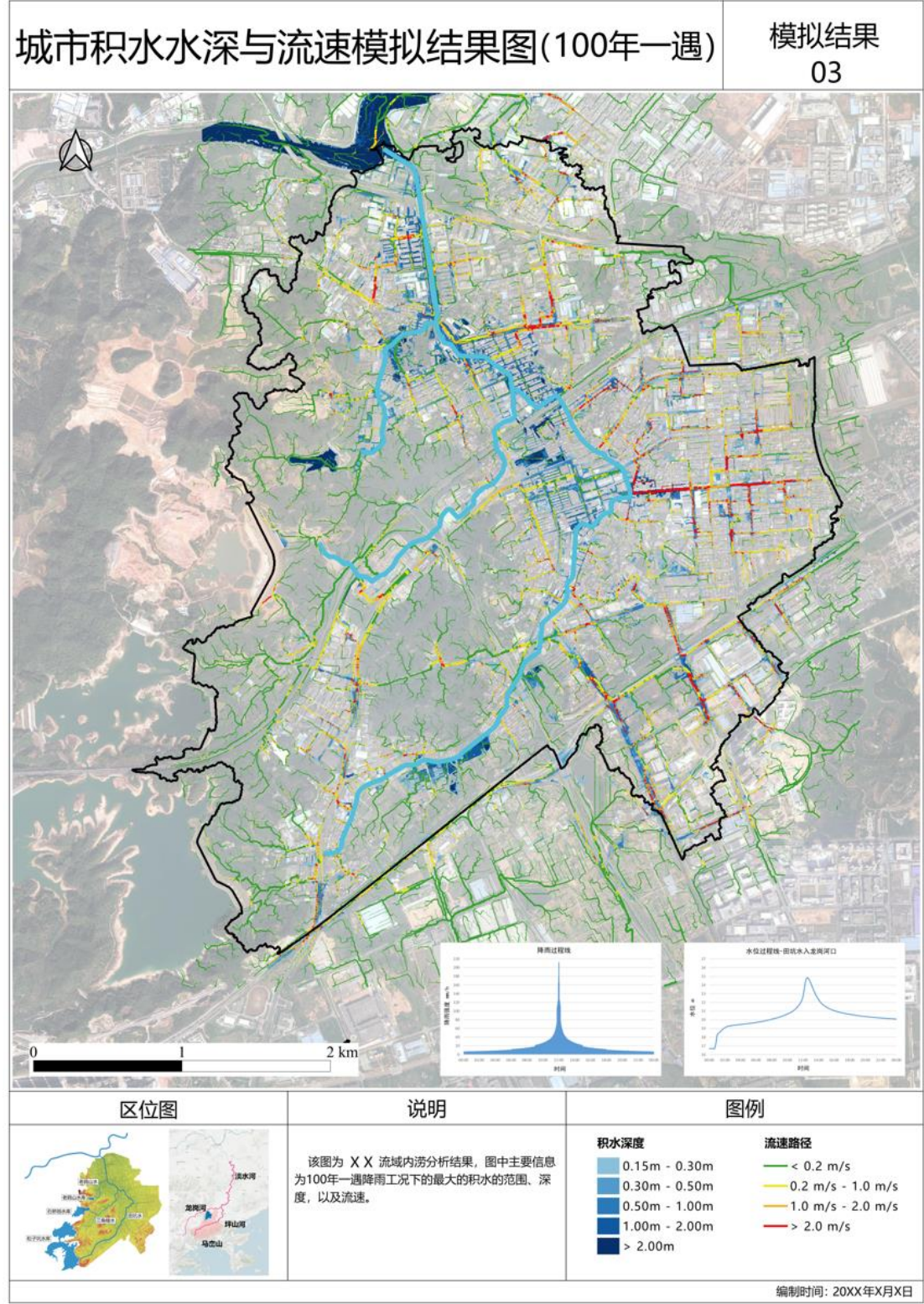
A-1 地表径流路径、低洼区与排水分区模拟结果图



A-2 城市管网（河道）运行模拟结果图

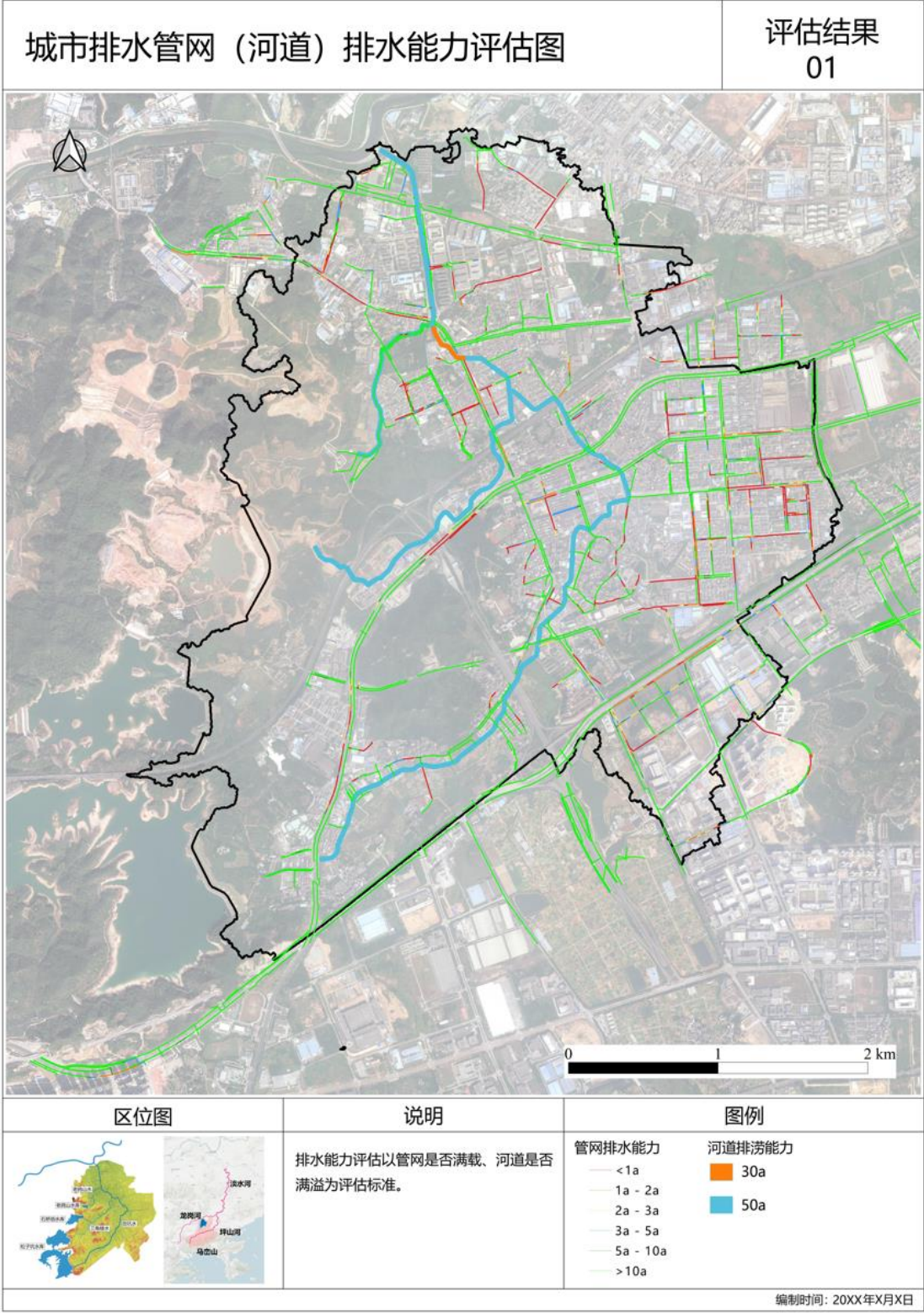


A-3 城市积水水深与流速模拟结果图

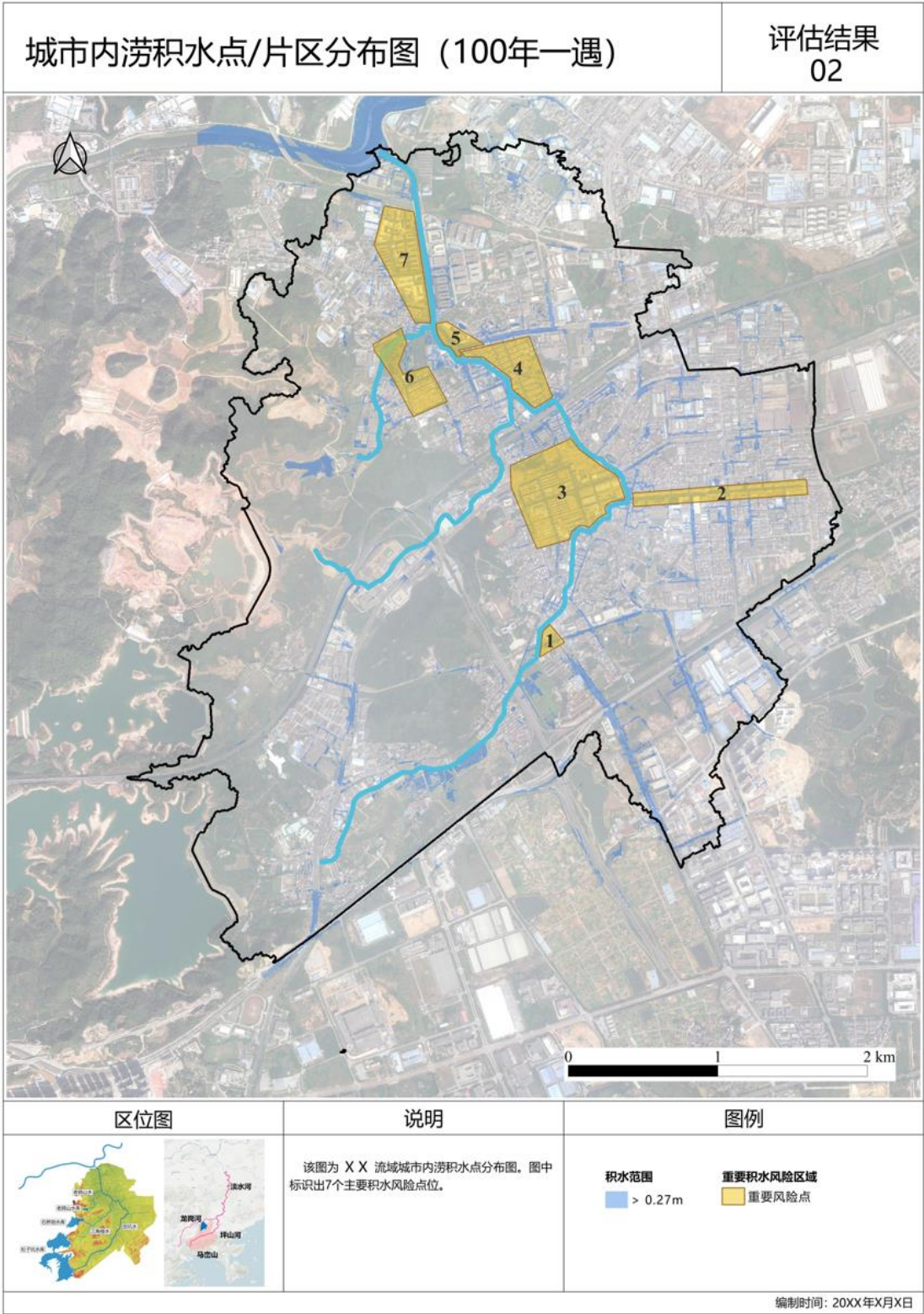


附录 B 风险评估例图
(资料性)

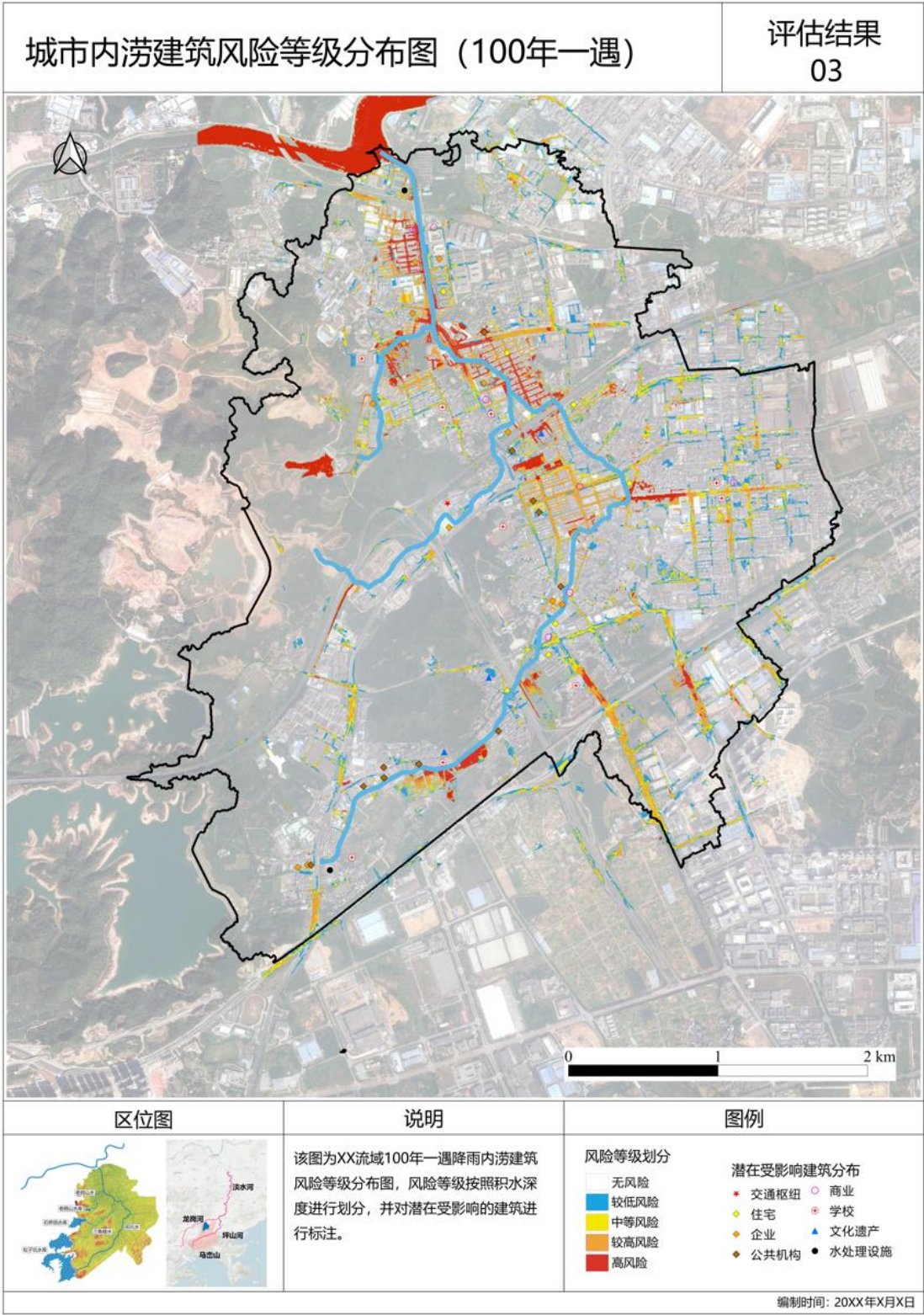
B-1 城市排水管网（河道）排水能力评估图



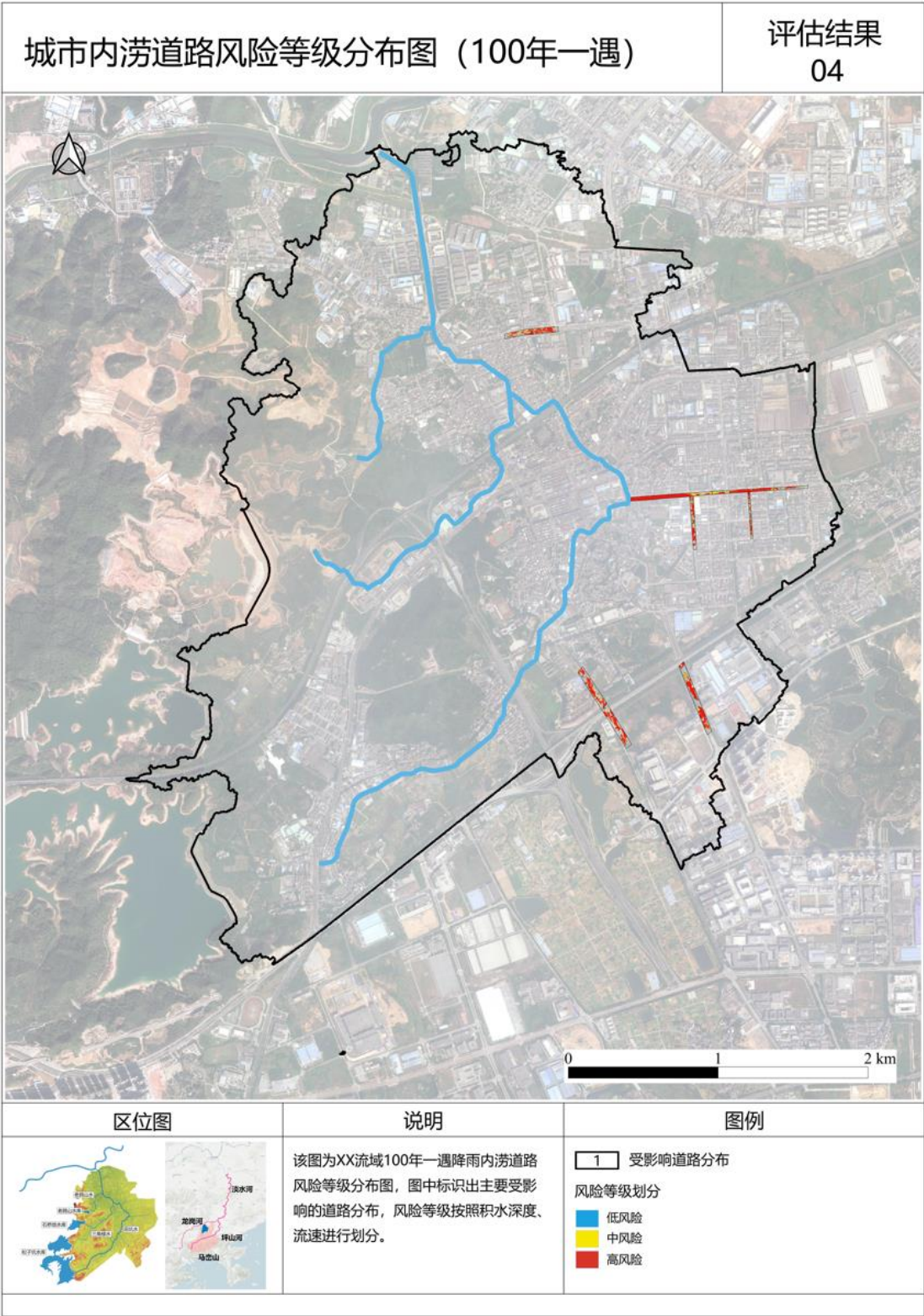
B-2 城市内涝积水点（片区）分布图



B-3 城市内涝建筑风险等级分布图



B-4 城市内涝道路风险等级分布图



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：

正面词用“必须”，反面词用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词用“应”，反面词用“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：

正面词用“宜”，反面词用“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.....的有关规定”或“应按.....执行”。

引用标准名录

《室外排水设计标准》GB 50014

《城镇内涝防治技术规范》GB 51222

《城市排水工程规划规范》GB 50318

《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》GB/T 51187

《城镇内涝防治系统数学模型构建和应用规程》T/CECS 647

团 体 标 准

城市内涝风险评估技术标准

T/CUWA *****—202*

条 文 说 明

编制说明

《城市内涝风险评估技术标准》T/CUWA ****—2024 经中国城镇供水排水协会 年 月 日以第 号公告批准、发布。

本标准编制过程中，编制组主要围绕如何规范和指导我国城市内涝风险评估工作的开展而编制，通过国际相关标准调研与经验总结，结合国内多个城市案例，总结了大量实践经验和成熟理论，从降雨分级、模型模拟、风险评估、应对与保障措施等方面做出了规定。

为便于有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《城市内涝风险评估技术标准》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、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1. 总则	24
2. 术语	25
3 基本规定.....	27
4 降雨分级.....	28
5 模型模拟.....	29
5.1 一般规定	29
5.2 基础数据	29
5.3 模型构建	31
5.4 模拟结果	36
6 风险评估.....	37
6.1 一般规定	37
6.2 评估内容	37
7 应对措施与管理保障.....	39

1. 总则

1.0.1 评估城市内涝风险，编制城市内涝风险图，是进一步加强城市内涝治理的一项重要支撑性工作。北京、武汉等城市虽已尝试在汛期前发布城市内涝风险图，但目前风险图的内容仍以积水淹没范围分布和历史易涝点分布为主，对于不同等级风险的识别与避险指导，以及如何利用风险图支撑具体的风险点改造方案与防汛预案制定，尚未建立统一的工作标准。为此，中国城镇供水排水协会组织编制了本技术标准，目的是为规范推进城市内涝风险评估工作提供技术依据。

2. 术语

2.0.1 在《室外排水设计标准》(GB50014)内涝定义的基础上进行了优化,更加明确降雨径流超过城市本地建设区域排水能力而产生的积水灾害,由于外河、山洪等外洪入城导致的积水不属于内涝范畴。此外,除造成地面积水外,城市地下空间的积水也纳入内涝范畴。

2.0.2 城市内涝风险评估需要针对不同的降雨条件进行评估,如30年一遇,50年一遇,100年一遇等,需要基于水文水动力模型等手段,获取不同降雨条件下评估区域的内涝情景,包括发生积水的区域范围、积水水深、流速、时间等具体指标,然后基于不同的积水情景,分析积水对城市建筑、道路等基础设施的影响,包括对基础设施功能的影响,以及潜在造成的人员安全和财产损失影响,根据影响的不同来区分不同的内涝风险等级。

2.0.3 当降雨形成地表雨水径流后,雨水径流延地表基于地形坡度自高处向低处进行汇流与排放,地表径流路径即雨水径流在地表的流向与流行路线,反映了城市地表雨水径流的上下游汇流关系。

2.0.4 由于城市地表局部区域高程明显低于周边区域而形成的洼地区域,当降雨形成地表雨水径流后,雨水径流延地表径流路径优先汇流至低洼区,当低洼区填满后进一步向下游汇流。

2.0.5 排水分区可基于城市地形地貌进行划定,可通过城市水文模型进行自动识别,若针对排水管渠覆盖的城市区域,可地形地貌的基础上进一步基于管渠的分布划定。

2.0.6 城市水文模型可分为集总式模型、半分布式模型和分布式模型,所谓集总式模型是将整个流域作为一个均匀的单元,如假设降水量在全流域均匀分布等;半分布式水文模型假设子流域或每一块计算面积是均匀的;分布式水文模型则将整个流域分为很多基本单元面积,例如,矩形网格,水流从上游到下游沿每一个计算单元流动。城市内涝模拟主要应用半分布式水文模型和分布式水文模型,半分布式水文模型即以划分的排水分区为单元模拟降雨径流过程,分布式水文模型即将降雨过程直接输入至模拟计算网格进行产汇流计算。

2.0.7 水动力模型可分为城市管网(河道)一维(1D)模型、城市地表二维(2D)模型、城市管网(河道)一维与地表二维耦合(1D/2D)模型。城市管网

（河道）一维（1D）模型通常采用完全或简化求解的一维圣维南方程组进行模拟计算。一维圣维南方程组将水流在管渠内的运动简化为一维运动，忽略垂直方向的速度和加速度，通过分别构建水量平衡方程和能量守恒方程进行运动过程的描述。一般采用动力波方法模拟，以提高模拟精度。城市地表二维（2D）模型通常需先基于规则网格的地形数字高程模型 (DEM) 构建非结构性网格模型 (Mesh)，通过二维水动力学方法 (如二维圣维南方程组的数值模拟)，实现对积水内涝动态过程的数值拟。城市管网（河道）一维与地表二维耦合（1D/2D）模型，模拟雨水在管渠系统和地表之间通过雨水口、检查井的传输，以及地表漫流与管网（河道）的衔接。

3. 基本规定

3.0.1 针对城市新建城区，内涝风险评估结果可以支撑城市总体规划和排水防涝相关专项规划中关于用地和竖向规划，以及对雨水径流调蓄空间和行泄通道等排水防涝设施用地的预留。针对城市已建城区，可以基于内涝风险评估的结果确定区域改造的优先级，并对改造前后的风险改善情况进行模拟对比分析，从而支撑改造方案的调整与完善，以及具体应急管理预案的制定。

3.0.2 水文水动力模型模拟是获取城市内涝积水数据的重要手段，在此基础上进一步开展内涝风险评估工作。城市内涝风险评估的具体对象主要为城市建筑、道路等基础设施，评估不同降雨条件下的内涝积水对城市基础设施功能的影响，以及潜在造成的人员安全影响和经济损失，以此作为风险分级的主要依据。

3.0.3 随着城市的开发与建设与基础设施更新，城市下垫面条件、排水系统设施均发生变化，对应应对城市内涝风险的能力也随之变化。因此，需要根据城市建设和基础设施的更新改造情况，定期对评估区域的城市内涝风险进行局部复评或整体重评。

4. 降雨分级

4.0.1 《室外排水设计标准》(GB50014)中规定了城市雨水管渠设计重现期标准与内涝防治重现期标准,城市内涝风险评估需要对应考虑不同等级的降雨。评估降雨通常应包括1年一遇、3年一遇、5年一遇、10年一遇、20年一遇、30年一遇、50年一遇、100年一遇,以及其他极端降雨事件,如1000年一遇设计降雨。

4.0.2 不同等级的降雨评估有不同的侧重,城市雨水管渠设计重现期标准以内的降雨,重点评估雨水管网系统的运行情况,城市内涝防治重现期标准以内的降雨,重点评估城市防涝除险设施的运行情况,超过城市内涝防治重现期标准的超标降雨,重点评估城市的积水内涝情况。

4.0.3 通过降雨分级可以进一步明确评估区域城市雨水管网排水能力、内涝防治能力对应的临界降雨,以及超标暴雨条件下对应不同等级风险的临界降雨,可以进一步将不同等级的临界降雨与城市内涝预警与应急响应分级进行对应。

5 模型模拟

5.1 一般规定

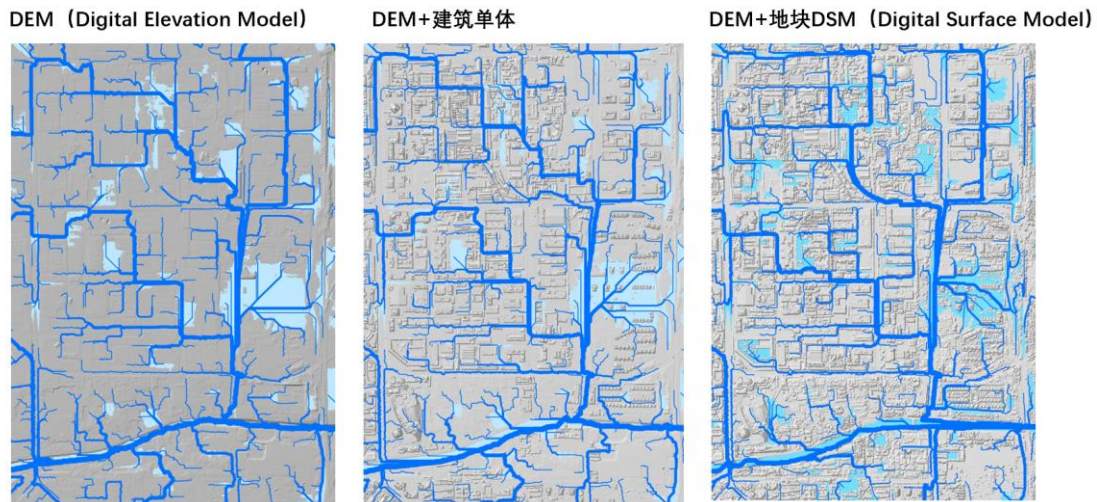
5.1.1 城市内涝模拟需要构建城市水文与水动力模型，需要根据不同等级降雨评估对应的评估内容、成果要求、应用场景等合理选择不同的模型类型。

5.2 基础数据

5.2.2 设计降雨构建应包括各历时设计雨量大小和设计雨型。设计雨量大小可以根据各城市现行暴雨强度公式和水文手册进行计算。设计雨型是反映降雨强度随时间变化的典型降雨过程，分为长历时设计雨型和短历时设计雨型。短历时暴雨雨型的历时可采用 60、90、120、180min 等，通常以 1min 或 5min 为单位时段；长历时暴雨雨型的历时可采用 6、12、24h 等。根据水文计算原理，设计降雨总历时不应小于模拟系统的完整汇流时间。

考虑到降雨分布的时空不均匀性，有条件的城市应根据不同区域雨量站监测数据的统计分析，统计得到不同范围对应点雨量转化为面雨量的折减系数，以面降雨数据作为模型的输入降雨。

5.2.3 在进行一维管渠建模时，可以根据地形数据辅助划分汇水区域以及提取模型模拟需要地形因子，如汇水区域的平均坡度、节点地表高程、地表汇流路径等信息。在进行二维地表建模时，由于植被、桥梁等地形会对水流运动造成不真实阻挡的影响，因此需对地形数据按照内涝模拟的要求进行处理，保留建筑、围墙、挡墙等对水流真实阻挡的地物信息，对树木、桥梁等的影响进行修正，以最大限度保证模拟的地表漫流过程与实际相符。为了保证地表漫流模拟的精度，地形栅格数据平面网格精度应不大于 2m。



不同类型地形数据模拟地表径流路径结果对比



10m 网格精度（左）与 2m 网格精度（右）地表径流路径模拟结果对比

5.2.4 应对收集的排水设施数据进行标准化处理并检查，包括评估缺失和可疑数据以及拓扑结构的连接性检查，必要时可进行数据推断，并记录对数据所作的修改。

5.2.5 基于不同下垫面分布，确定不同下垫面的不透水面积比例、径流系数、糙率等数据，用于城市水文模型的构建。

5.2.6 城市河道资料主要包括河道流域范围、断面高程数据、河道断面分区粗糙系数或综合粗糙系数、水位和流量资料。高程数据用于描述水流流经区域的几何形态(如河道的横、纵断面)，以便计算水流运动过程中的各个水力要素;分区粗糙系数是反映水流流经区域因过水断面形状、组成材质、水流状态等因素对水流产生阻力大小的重要参数;水位和流量数据主要用作模型的初始条件和边界条件设置，或者用于模型的参数率定。其他相关设施资料主要包括:设施结构尺寸、运行规则等。

5.2.7 当缺乏积水监测数据或有效数据不足时,可充分利用防汛办发布的历年积水数据,并充分借助网络舆情挖掘手段,获取多源积水数据资料,调查积水深度、积水时间、积水范围等指标,辅助模型进行准确性的验证,明晰重点关注区域和核心问题。积水点调查应重点关注下凹桥区、地铁出入口、主干道路以及城市重要基础设施(如地下式变电站、医院、学校、人防工程)所在的区域。

5.2.8 基础地理信息资料便于辅助确定识别评估风险区域的位置。

5.3 模型构建

5.3.1 城市水文模型包括产流模型和汇流模型。产流模型主要可分为两大类,一类是参数具有真实物理意义的,其代表为初损后损法;另一类是参数没有真实物理意义的,其代表就是径流系数法(固定径流系数法或者变径流系数法,变径流系数法国内相关基础研究匮乏,应用较少)。从国内外的应用实践来看,两类方法都得到了广泛的应用和推广,而且都取得了良好的效果。推理公式法在产流过程中采用了固定径流系数法,多年来也有效指导了国内的排水管渠系统规划、设计,而且鉴于国内基础数据匮乏,采用径流系数法,可以参照已有规范,有利于模型技术的推广与应用。但是,由于径流系数法是统计意义上的参数,其随降雨历时、降雨强度、流域下垫面等都会发生变化,因此随着基础资料的普及,基于具有真实物理意义参数的模型在使用上将会更为便捷。

流域内的降雨经过扣除损失形成净雨后,从流域各处向流域出口断面汇集的过程称为流域汇流。径流有着不同的径流成分。因此,流域汇流模拟又可分为地表径流汇流模拟和地下径流汇流模拟。汇流模拟包括水文响应单元或汇水区域的汇流计算和洪水演算。洪水演算在当前的模型软件架构中,通常是通过管渠(河道)的水动力学模型实现,城市水文模型所指的汇流模拟主要是指水文响应单元或汇水区域内的汇流计算,即对净雨-径流关系的模拟。由于地表径流和地下径流汇流特性存在较大差异,所以在进行自然流域汇流模拟时,应分别进行地表汇流模拟和地下汇流模拟。在城市区域,针对汇入雨水管渠的小型汇水区域可不考虑地下汇流。地表汇流水文学计算常用的方法包括:等流时线法、时段单位线法;水动力学方法的数学模型属于物理性模型,模型参数具有明确的物理意义,主要根据地形和地貌数据经测量和分析获取,当前应用较多的是非线性水库法。

有条件的城市应进一步明确当地适用的产流与汇流计算方法，建立一致性的城市水文模型标准，以支撑模型应用的标准化，减小模型的不确定性。

5.3.2 城市水文模型可以基于城市高精度地形数据模拟识别出城市地表径流路径、低洼区与地表排水分区，可作为后续内涝风险评估的基础数据。

5.3.3 5.3.4 城市管网一维（1D）水动力模型可主要用于评估城市管网系统的排水能力。管渠内水流运动过程通常可采用完全或简化求解的一维圣维南方程组进行模拟计算。一维圣维南方程组将水流在管内的运动简化为一维运动，忽略垂直方向的速度和加速度，通过分别构建水量平衡方程和能量守恒方程进行运动过程的描述。

城市河道一维（1D）水动力模型可主要用于评估城市河道的排涝能力。河道水流是典型的明渠非恒定流，可采用一维圣维南方程组的数值模拟计算方法。

水动力学模型涉及的主要参数包括管渠/河道粗糙系数和节点局部水头损失系数，粗糙系数应根据管渠材质或河道表面特征合理选用，并充分考虑设施在实际运行时的排水效率；针对阻水特征明显的构筑物上下游节点（如倒虹吸、闸坝、堰和断面突变处等），其局部水头损失系数应根据实测数据分析确定，不宜将其纳入沿程损失系数概化考虑。

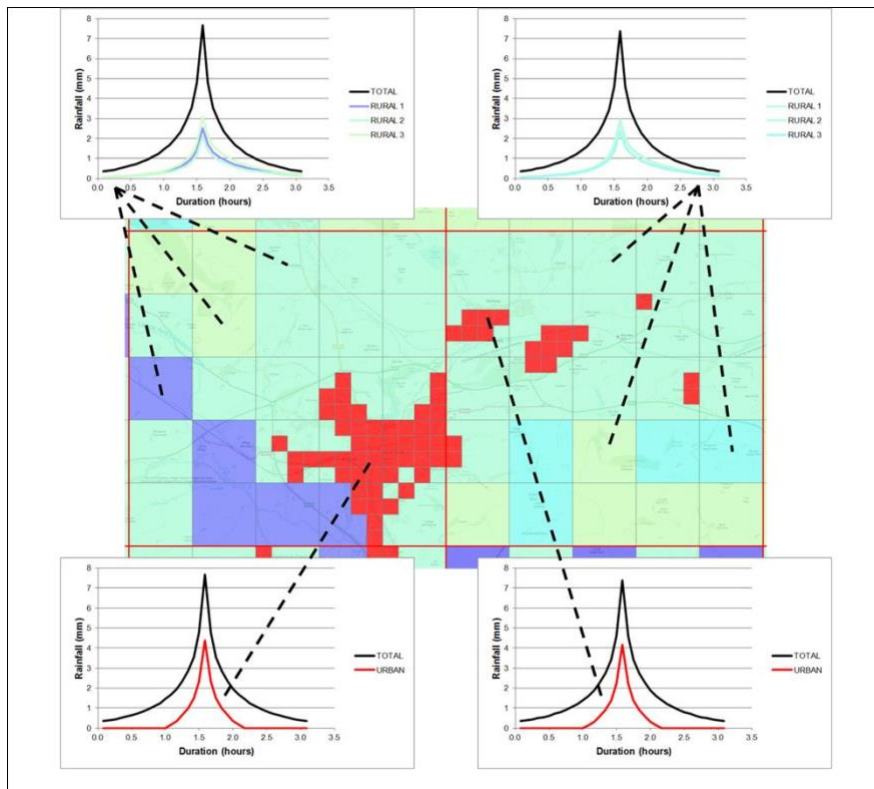
水动力学模型的数值求解一般采用有限差分法或有限体积法，不同软件采用不同求解方法进行迭代求解，但求解都需满足收敛性、稳定性等要求。完整的圣维南方程组求解称为动力波方法，扩散波方法忽略了能量守恒方程中的惯性项因此忽略了管渠中的回水影响，运动波法忽略了扩散项和惯性项，因此在不考虑下游回水影响的同时，管渠中的流量过程演算将不会产生衰减。应根据模型应用的目的，选择合适的模型计算方法。一般情况下宜采用动力波方法模拟，以提高模型模拟的精度。

5.3.5 城市地表二维（2D）模型主要用于模拟超过城市排水防涝设施设计标准的超标暴雨条件下，城市地表的积水情况。地表的二维水动力学模拟方法以城市地表高程为基础，综合考虑建筑物、道路、绿地等不同地形地貌特征对地表坡面运动过程的影响，从而模拟分析地表积水深度、积水时间、积水范围等参数的动态变化，模型构建时往往需特别注意地形刻画的精度，需准确述城市区域典型的地貌特征，如建筑物分布、小区围墙、道路以及高填方的铁路、公路

等。

城市地表二维（2D）模型可直接模拟净雨在地表的坡面运动过程，不需要预先划分排水分区进行汇流计算。此外，模型中可对管网系统进行一定程度的概化，通常采用的方法如只保留主干系统，还可将管网排水量在降雨中直接扣除或采用下渗与蒸发的方法进行概化。

例如，英国环境署（UK Environment Agency）在编制城市内涝风险图（Surface Water Flood Maps）时，提出地表二维（2D）模型中将管网排水能力在降雨中概化扣除的方式进行模拟，如下图所示，不同区域的排水能力不同，对应降雨扣除量有所区别，英国环境署给出平均按 12mm/h 进行扣除的建议。

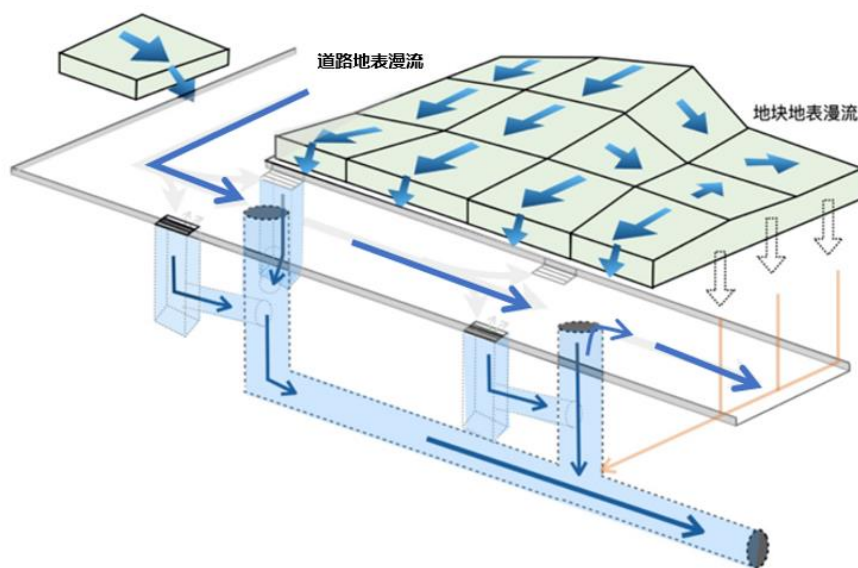


英国地表二维模型降雨扣除管网排放量示意

5.3.6 二维地表漫溢模型通过与管渠和河道一维模型相互耦合,模拟雨水在管渠系统和地表之间通过雨水口的传输,以及地表漫流与沟、渠、河道和箱涵等的衔接与一维管渠模型耦合计算时,需根据实测数据和管网概化情况,合理设置节点通量(管网耦合节点与地表二维网格的最大交换流量限值),避免由于节点通量设置不合理,造成地表形成大量积水而管渠内无水或水量很小的不合理结论。

5.3.7 城市管网（河道）一维与地表二维耦合（1D/2D）水动力模型可以更完整的反映城市管网与地表径流的耦合过程，对于排水能力与地表积水情景的评估更为准确，有条件的情况下优先构建耦合模型进行模拟评估。但耦合模型的构建需要更精细的数据支撑，需要分别处理地表地形数据与地下管网数据，并需要合理确定耦合模式，基础数据处理和模型构建更为复杂、耗时更长，同时模拟运算时间也更长，城市整体区域全部构建详细的一维与二维耦合模型通常需要较长的周期。总体上，可先构建评估区域完整的管网一维模型与地表二维模型，评估管网排水能力与超标暴雨下的地表积水风险，由此识别出城市排水能力不足，同时积水风险较高的区域，针对重点区域，可构建局部的一维与二维耦合详细模型，进一步详细评估，从而更精细化支撑重点区域的设施改造与应急管理预案的制定。

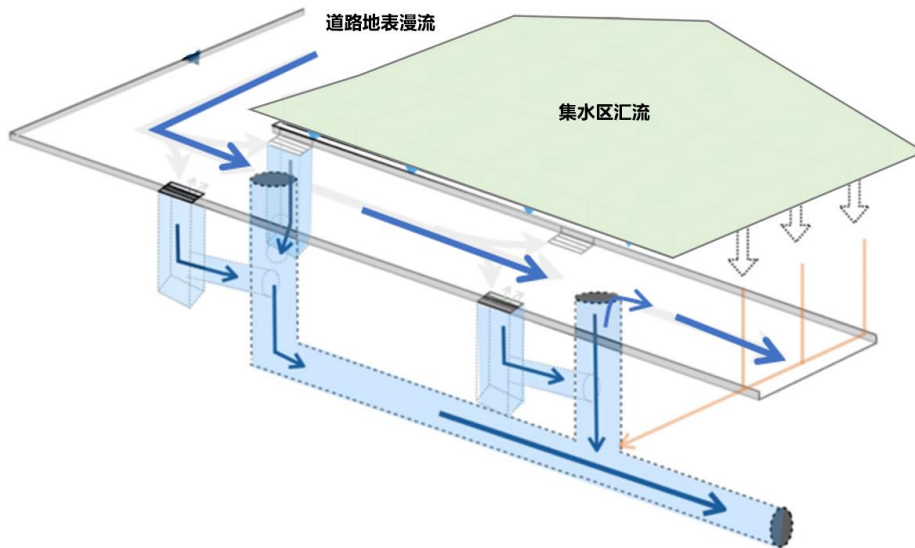
在建筑小区或地块中的雨水管网资料充足的情况下，可采用地块和道路均划分精细网格的全分布耦合模型，基于精细地表网格，将降水产汇流过程和径流演进过程统一计算，物理机制明确。



道路和地块均采用精细网格的全分布模型示意

资料不足的情况下，同时综合考虑运算效率等因素，可采用道路区域划分精细网格，地块采用划分子排水分区的水文概化方法的分区模型，即在道路区域进行网格剖分建立地表模型，在地块区域划分子汇水区建立概化模型，同时，构建包括雨水口的管网模型，建立雨水节点与地表网格和子汇水区的对应关系。该耦合模式的径流路径为：① 同时在二维地表模型和概化子汇水区上进行降水和产汇流计算；② 将二维地表

模型和概化子汇水中产生的水量输入各自连接的雨水口中；③ 管网模型进行汇流演进计算。此耦合模式结合了半分布耦合模式和全分布耦合模式的优点，既克服了地块中管网数据难以获取的困难，又减少地表模型的计算量，且整体径流路径与实际物理过程一致。



道路采用精细化网格，地块划分排水分区的分区模型示意

5.3.8 针对新建城区模型构建，其规划设计方案是由一系列设计参数组合而成的特殊场景，是来自实践的经验总结，可通过实际降雨径流事件进行类比、评估，不断修正设计参数，而无法通过“参数率定与模型验证”进行模型分析成果的修正和验证。因此，新建城区模型的参数设置应符合相关设计标准，无需进行实际降雨的率定与验证。

5.3.9 参数率定与模型验证时所需的降雨与积水数据，宜采用现场监测数据。如果缺乏现场监测数据，可采用遥感数据、历史记录或当地经验辅助进行参数率定与模型验证。

针对不同类型模型的参数率定与模型验证，其监测数据需求如下：

(1) 管渠水动力模型：历史场次降雨过程的雨量监测数据以及降雨发生前和整个降雨事件过程中的检查井水位监测数据、管渠流量和流速监测数据、管渠排放口处的水位、流量和流速监测数据。

(2) 地表水动力模型：如果模型模拟区域为相对闭合的汇水区域，需要区域内积水点位置、积水深度、积水时间和积水范围等监测数据。如果模型模拟区域为非闭合汇水区域，还需要模拟区域边界处的入流流量、水位等监测数据。

(3)对于包含下凹桥和低洼区域的模型,需要下凹桥和低洼区域的积水深度、时间等监测数据。

(4)对于包含天然或人工河道的模型,需要降雨发生前和整个降雨事件过程中的河道断面水位、流量和流速等监测数据。

(5)对于包含闸门、泵站等调控设施的模型,需要降雨发生前和整个降雨事件过程中的闸门、泵站运行调度数据,包括闸门启闭过程、流量、水位等监测数据,水泵启闭过程、前池水位、排水流量等监测数据。

参数率定指通过合理调整模型的参数,将模拟结果与实测数据进行对比最终使模拟结果满足模型要求。模型验证指将参数率定后的模型输入另外独立的实测降雨事件进行模拟,对比模拟结果与实测数据,如果模拟计算结果与实测值的误差未达到允许的范围,需重复参数率定过程,直到率定的参数满足模型验证的要求。

模型参数率定时,应依据灵敏度分析结果,从灵敏度较高的参数开始调整一般情况下,可首先对模型产、汇流参数进行率定,再进行管渠(河道)水动力学模型参数的率定。对比时间序列的拟合程度时,可先依据水量平衡,将总水量结果进行拟合调整(对比总水量的结果时,可考虑剔除可信度较低的时间段数据),其次比对时间序列的峰值和峰现时间,保证序列数值大小相符合、峰现的时间相近。

5.4 模拟结果

5.4.4 积水深度是影响人行、车行及一层建筑物进水的主要因素,模拟结果应根据相关标准设定相应的阈值范围。除了积水深度,还应同时考虑积水流速对行人和汽车安全风险的影响,流速数据可以不同颜色的箭头显示,或者可用地表径流路径数据提取积水流速的模拟结果,由于不同等级的地表径流路径数据本身反映了地表雨水径流的汇流流向与路线,提取流速数据后即可在流向和流线的基础上进一步显示出流速。

6 风险评估

6.1 一般规定

6.1.1 由于模型的构建、调整和模拟分析工作需要一定的周期，可首先基于历史内涝记录数据和对评估区域排水系统的梳理，快速评估内涝重点区域，待模拟数据完成后，结合模拟结果进一步详细评估。

6.1.2 在城市新建城区规划阶段，基于内涝风险评估，识别内涝高风险区域，支撑用地规划以及预留相关排水防涝设施建设所需用地。同时对规划方案对应的内涝风险进行评估，进一步支撑确定区域地表竖向高程控制要求、排水防涝方案与设施规模等。

6.1.3 通过内涝风险评估支撑内涝积水区域整治方案的确定，并根据内涝风险等级的不同确定不同区域的整治优先级，并对改造方案的预期效果进行评估。

6.2 评估内容

6.2.3 可将潜在受影响的重点建筑分为三大类，第一类为人员居住为主的建筑，包括住宅小区、医院、学校等，需重点评估内涝积水可能对人员安全造成的影响；第二类为公共设施建筑，例如供水厂、电厂、污水处理厂等，重点评估内涝积水造成的对城市公共设施运行的影响，以致可能对城市正常运行的影响和财产损失等；第三类是针对建筑遗产等有特殊保护要求的建筑。

6.2.4 参照北京市水务局 2023 年发布的《北京城市积水内涝风险地图》，风险等级按积水深度划分，积水深度阈值划分为 15 厘米、27 厘米、40 厘米和 60 厘米。

将 15 厘米作为积水和内涝区分的界限。积水深度小于 15 厘米的判定为轻微积水，大于等于 15 厘米的判定为内涝，因为市政道路路缘石的高度通常 15-20 厘米左右，积水不超过 15 厘米时不影响行人和机动车辆通行，基本不会对公众出行产生灾害，积水大于 15 厘米时，行人和汽车驾驶员难以辨别地面情况和车道位置，容易造成行人安全和驾驶隐患，因此定义为内涝，这也与《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）和《城镇内涝防治技术规范》（GB 51222-2017）的规定保持一致。

将 27 厘米作为较低风险和中等风险区分的界限。因为积水深度超过 27 厘

米时会淹没排气管造成车辆熄火（普通轿车排气口距地面的高度为 20-30 厘米，SUV 汽车为 30-40 厘米，），造成局部交通节点（下凹桥、交叉路口等）拥堵，根据《道路交通防汛专项分指挥部工作方案》（京交安全发〔2022〕539 号）文件要求，下凹式立交桥区积水线达到 27 厘米及时封闭交通，并通过新闻媒体及网络向广大市民发布绕行路线的提示。

将 40 厘米作为中等风险和较高风险区分的界限。因为积水深度超过 40 厘米可能造成部分一层建筑进水。根据《民用建筑设计统一标准》（GB50352-2019），民用建筑场地设计标高一般高出道路 20 厘米，一层建筑踏步距离地面不宜超过 15 厘米，加上路缘石 15-20 厘米的高度，基本上高于道路最低处 40 厘米以上。因此积水深度超过 40 厘米时一层建筑有进水风险。

将 60 厘米作为较高风险和高风险区分的界限。因为积水深度超过 60 厘米可能对人身安全造成威胁，造成汽车进气口进水、地铁进水。一般情况下，水深超过 60 厘米成年人难以站稳，摔倒坐立时口鼻位于水面以下，导致人身安全受到极大威胁。汽车行驶安全方面，普通轿车进气口高度为 65-80 厘米左右，考虑到行驶过程中产生的水浪，水深超过 60 厘米时进气口容易进水，会导致车辆熄火，甚至将水吸进发动机而造成永久性损坏；另有研究认为水深超过 60 厘米时，车会被水流裹挟移动，增加逃生困难。此外，《地铁设计规范》（GB 50157）规定地铁出入口地面标高应出该处室外地面 30-45 厘米，加上人行道高度高于道路 15-20 厘米，当积水深度高于 60 厘米时，地铁存在进水风险。

6.2.5 6.2.6 道路内涝风险主要应基于积水深度和流速数据判断对道路行人和行车安全的影响。例如欧美发达国家系列指南规定，为了防止行人在暴雨条件下被道路上的水流冲倒，在街道和主要径流通道的流速和深度的乘积一般不应超过 $0.4\text{m}^2/\text{s}$ ；流速和深度的乘积不超过 $0.3\sim 0.4\text{m}^2/\text{s}$ ，且水深不超过 0.27m 时，对成年人和汽车来说总体处于安全水平；流速和深度的乘积在 $0.4\sim 0.6\text{m}^2/\text{s}$ ，且水深不超过 0.4 米时，对儿童、老年人以及小型车辆将产生危险；流速和深度的乘积超过 $0.6\text{m}^2/\text{s}$ 时，对于儿童是极为危险的，对成年人和车辆也具有一定的危险性。因此可以参考将积水深度和流速的乘积 $0.4\text{m}^2/\text{s}$ 、 $0.6\text{m}^2/\text{s}$ 作为道路风险分级界限。

7 应对与保障措施

7.0.1 7.0.2 城市内涝风险评估支撑新建城区的规划与已建城区的改造需要建立对应体制机制的保障。

7.0.3 基于内涝风险评估结果明确具体的改造方案与应急管理预案，通过工程性与非工程性措施的结合，综合提升城市韧性。