

主要江河水环境应急响应数学模型构建技术
规程

Technical Specification for the Construction of Mathematical Models for Emergency
Response of Water Environment in Major Rivers

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

目 次

前言	II
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 水环境应急响应模型计算条件分析	3
4.1 总体原则	3
4.2 总体要求	3
5 模型选择和适用性	3
5.1 模型选择	4
5.2 适用性	4
6 模型构建和测试	4
6.1 模型构建思路	4
6.2 现场调查	4
6.3 数据收集	4
6.4 模型数据质量评估	5
6.5 基础工作底图处理准备	7
6.6 模型构建	7
6.7 模拟效果分析	9
7 成果编制与验收	10
7.1 一般规定	10
7.2 专题报告	10
7.3 模型附件	10
7.4 验收内容	10
附录 A（规范性） 水环境应急响应模型评估验证指标体系和支撑技术	11
附录 B（资料性） 水环境应急响应模型评估验证技术清单	12
附录 C（资料性） 模型模拟效果评价指标及其精度参考值	14
附录 D（资料性） 专题报告篇章安排	16
附录 E（资料性） 典型流域水环境模型的适用条件	17

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由辽宁省水利厅提出并归口。

本文件起草单位：辽宁省河库管理服务中心（辽宁省水文局）、河海大学、辽宁省生态环境监测中心。

本文件主要起草人：王永宁、田英、谢志钢、王佳、陈鹏、惠婷婷、李长宏、姜曦、刘淑敏、吕宝阔、白伟桦、王世界、任万福。

本文件发布实施后，任何单位和个人如有问题和意见，均可以通过来电和来函等方式进行反馈，我们将及时答复并认真处理，根据实际情况依法进行评估和复审

归口部门通信地址：辽宁省水利厅（沈阳市和平区十四纬路5号），联系电话：024-62181367。

文件起草单位通信地址：辽宁省河库管理服务中心（辽宁省水文局）（沈阳市和平区十四纬路5号），联系电话：024-62181257。

主要江河水环境应急响应数学模型构建技术规程

1 适用范围

本文件规定了适用于辽宁省江河水环境应急响应模型构建的管理决策目标分析、模型选择和适用性、模型构建和测试、成果编制与验收等内容。

本文件适用于支持管理决策的水环境应急响应模型的构建及应用，其它类型和用途的水环境应急响应模型的构建可参照本文件执行。

注：本文件不适用于辐射事故、海洋污染事件、涉及军事设施污染事件、生物及微生物污染事件、重污染天气等应对工作的应急监测模型构建，相关应急监测工作可参照相关技术规范和标准执行。应急监测终止后进行的后续监测不适用本规程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

《环境保护法》

《水污染防治法》

《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的指导意见》

《水污染防治行动计划》

《国家突发环境事件应急预案》（国办函〔2014〕119号）

GB/T 8170数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 22482水文情报预报规范

GB/T 50138水位观测标准

GB 50179河流流量测验规范

HJ 493水质样品的保存和管理技术规定

HJ 494水质采样技术指导

HJ 495水质采样方案设计技术规定

HJ 819排污单位自行监测技术指南总则

HJ 915地表水自动监测技术规范（试行）

HJ 589突发环境事件应急监测技术规范

HJ 91.1污水监测技术规范

HJ 91.2地表水环境质量监测技术规范

HJ/T 91地表水和污水监测技术规范

SL 219水环境监测规范

SL 58水文测量规范

SL 59河流冰情观测规范

SL 196水文调查规范

SL 257水道观测规范

SL/T 278水利水电工程水文计算规范

SL 339水库水文泥沙观测规范
SL/T 784水文应急监测技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水环境应急响应模型 water environment emergency response model

应急响应条件下模拟地表水体及其集水区域中水、污染物、生物等迁移和转化过程的模型，通常包括水文、水动力、水质等功能模块。

3.2

模型概化 model conceptualization

抽象和简化模拟对象的系统组成、特征、行为、机理及其关键影响因素的过程。

3.3

模型评估验证 model evaluation

为确定模型及其结果质量是否适宜支持管理决策而收集和产生信息的过程。

3.4

变量 variable

描述模拟对象的系统状态以及输入和输出特征、随时间或空间变化且可观测或可估计的量。

3.5

参数 parameter

描述模拟对象系统过程特征而不依赖于时间或空间以及变量的常量。

3.6

参数率定 parameter calibration

在合理范围内调整模型参数取值，使模型输出结果与观测数据之间偏差达到一定要求的过程。

3.7

参数验证 parameter validation

利用参数率定得到的模型参数和独立于参数率定数据的观测数据，检验模型模拟效果的过程。

3.8

边界条件 boundary condition

描述模拟对象系统边界上变量及其变化率并对系统状态具有决定作用的数据集。

3.9

灵敏度 sensitivity

模型输出受模型假设、输入、参数等变化的影响程度。

3.10

不确定性 uncertainty

模型机理、参数取值、输入数据、观测误差等存在的知识空白。

3.11

可识别性 identifiability

在一定的模型结构和观测数据条件下，模型从理论上可求解并获得唯一或有限数量参数取值的能力。

3.12

稳健性 robustness

模型在其全部适用范围内均具有良好模拟性能的能力。

3.13

机理模型 mechanistic model

基于对模拟对象物理、化学、生物等过程的认识，建立的可定量表征模拟对象行为与内在机理之间因果关系的模型。

3.14

经验模型 empirical model

基于观测数据之间相关关系建立的可用于定量模拟对象行为的模型。

3.15

等效性 equifinality

不同的模型结构、参数取值等产生相同模拟效果的现象。

3.16

回顾评价 retrospective assessment

利用流域或水体的历史数据，分析水量、水质、水生态、污染物排放状况及其时空变化特征等，进而对污染源贡献、水环境容量、污染防治效果、自然环境变化等做出评价和决策的过程。

3.17

应急响应 emergency response

利用实时数据以及风险预警、污染溯源等机制，识别、预警流域或水体的自然灾害、事故污染等突发事件，预测突发事件演化趋势及其对生态环境、经济社会等的影响，评估应急预案效果，进而对突发事件影响、应急预案实施等做出针对性评价、决策和措施等响应的过程。

4 水环境应急响应模型计算条件分析

4.1 总体原则

4.1.1 水需求导向

水环境应急响应模型构建的目的是为了支持管理决策，不同的决策需求对模型功能要求不同，模型构建内容和技术要求应与决策需求相适应。

4.1.2 分类评估

水环境应急响应模型的模拟对象、建模方法、开发和应用基础、决策应用潜在的风险等存在差异，评估验证后根据内容和技术要求应结合实际、差别化处理。

4.1.3 应用支撑

水环境应急响应模型除了适宜支持管理决策的结论之外，还应结合评估验证过程得到的结果为模型在实际决策中的合理、规范应用提供技术建议。

4.2 总体要求

水环境应急响应模型在服务国家或地方相关主管部门的管理决策之前，应开展评估验证，评价其对相应管理决策目标的适用性，充分考虑并降低不确定条件下的管理决策风险。

水环境应急响应模型构建应包括计算条件分析、模型选择和适用性、模型构建和测试、成果编制与验收等步骤。

5 模型选择和适用性

5.1 模型选择

5.1.1 商业模型

结合水环境应急响应模型计算条件(见第4章),通过文献调研、市场调研等方式遴选候选的流域水环境模型,典型流域水环境模型及其适用条件可参考附录E。应评估候选模型的模拟变量、模拟方式、时间和空间精度、计算效率等与水环境应急响应模型计算条件的匹配程度,以及模型所需数据的可获得性。

5.1.2 自主开发模型

若候选模型不适用,但其具备二次开发条件且二次开发后可能适用,则可在完成二次开发后重新评估其适用性。候选模型或经过二次开发后的候选模型适用,则初步评估完成;反之,应重新选择候选模型,重复上述步骤。

5.1.3 选用的模型工具应满足下列条件:

- a) 流域水文水质模拟输入、输出数据的编辑;
- b) 流域水文过程模拟和污染负荷迁移模拟的计算模块;
- c) 水环境应急响应模型参数率定、验证和评价功能。

5.2 适用性

应明确水环境应急响应模型所需支持的管理决策目标,分析不同管理决策目标对模型应用的要求。用于预警应急决策的水环境应急响应模型宜符合以下规定:

- a) 模拟的时间精度宜达到日、小时或更短;
- b) 应对极值、时间分布、空间分布类指标具有较好的模拟效果;
- c) 应具有较高的计算效率。

6 模型构建和测试

6.1 模型构建思路

根据突发污染类别项、编制区域水流特性、工程情况及基础资料情况,选择能够反映实际情况变化影响和预测污染风险特征的机理模型进行污染物运移分析。

6.2 现场调查

现场调查主要是熟悉研究区域的基本情况,收集基础资料,对区域水系、水工建筑、污染源分布,河道水文情势及水质现状进行分析,为后续污染源分析计算和相关图件的编制提供扎实的基础和翔实的基本资料。

6.3 数据收集

6.3.1 基础地理信息

宜收集符合CH/T 1015.2-2007要求的数字高程模型数据,流域模型使用的数字高程模型空间分辨率不低于30 m,无法直接获取时,可通过地理空间数据云获取;1:10000、1:50000地形图及DEM数据、行政区划图、土地利用信息,包含具体水域、水系、河道断面数据等(或高精度的遥感影像或航片)。

6.3.2 水文、水质资料

宜收集流域内已有水文、水质监测站点历史数据和站点布置图。

6.3.3 土地利用资料

宜收集最新的土地利用调查数据。

6.3.4 应急监测资料

根据污染态势初步判别结果，结合应急监测方案进行应急监测。应急监测方案应根据相关法律、法规、规章、标准及规范性文件等要求进行编写，并在突发环境事件应急监测过程中及时更新调整。

6.3.5 污染源资料

宜收集流域内已有的污染源普查数据、环境统计数据或历史监测数据。

6.3.6 社会经济

社会经济资料主要从统计年鉴和有关部门刊布的统计资料、年报中提取。

6.3.7 建（构）筑物及工程调度资料

包括水工构筑物、排水涵闸资料、工程调度资料、相关规划资料。

6.3.8 洪涝灾害资料

包括模拟范围内历史典型大洪水、暴雨内涝造成的溃口、险工险段等情况。

6.3.9 水质灾害资料

包括模拟范围内历史水质灾害，突发水污染事件、污染造成的灾害损失情况、历史污染带、污染范围等。

6.3.10 历史监测资料

包括模拟范围内历史水质灾害的监测整编成果和常规监测成果，省考、国考断面监测成果。

6.3.11 调度决策信息

包括应急监测方案、应急预案、调度方案及其它调度决策信息。

6.4 模型数据质量评估

6.4.1 数据完备性

6.4.1.1 数据可获得性

- a) 应通过收集历史数据、采集实时数据、现场观测、实验室测定等方式获取模型输入、变量和参数等；
- b) 因客观条件限制，可获得的数据无法满足模型运行的基本要求而又亟需应用模型服务管理决策时，应采取合理的数据替代措施（见 6.4.4）；
- c) 模型数据的可获得性可采用附录 B 的同行评议技术评估。

6.4.1.2 数据代表性

- a) 用于模型构建和评估验证的数据应具有充分的代表性，包含模拟对象的主要组成、属性特征、系统过程等，涵盖典型时段和空间点位并达到管理决策目标要求的时间和空间精度，充分体现主要输入、变量等的变化范围；
- b) 若管理决策涉及特殊或极端环境条件，宜获取相似环境条件下的观测数据；
- c) 模型数据的代表性可采用附录 B 的同行评议技术评估。

6.4.2 数据质量

6.4.2.1 数据规范性

- a) 应优先采用国家或地方相关主管部门或权威机构提供的标准化数据，此类数据可认为符合规范性要求；
- b) 自行开展调查和监测获取数据时，应优先执行国家相关主管部门制定的技术标准；
- c) 通过国家或地方相关主管部门或权威机构之外的其他途径获取数据，或采用非标准方法自行开展调查和监测获取数据，应说明数据获取的具体来源、技术方法等并提供相关记录，以备查证。

6.4.2.2 数据匹配性

- a) 模型采用的不同类型数据宜在观测或统计的时刻、点位、时间长度、空间范围、时间和空间分辨率等方面相互匹配；
- b) 模型输入数据的时间和空间精度应不低于管理决策目标对模拟结果时间和空间精度的要求；
- c) 若模拟对象的特征在模拟时段内发生重大变化，应使用相应的输入数据，分阶段开展模型模拟；
- d) 模型数据的匹配性可采用附录 B 的同行评议技术评估。

6.4.3 定解条件

6.4.3.1 边界条件

- a) 应符合模拟对象的实际特征，并与现有理论和知识相符；
- b) 应根据管理决策目标的要求设置边界条件；
- c) 边界条件设定的合理性可采用附录 B 的同行评议技术评估。

6.4.3.2 初始条件

- a) 应符合模拟对象的实际特征，并与现有理论和知识相符；
- b) 应优先使用模拟对象的观测数据设定初始条件；
- c) 对于可开展连续模拟的模型，若初始条件的观测数据难以获取或存在较大不确定性，可通过在模拟时段前设置模型预热期，降低初始条件对后续模拟的影响；
- d) 初始条件设定的合理性可采用附录 B 的同行评议技术评估。

6.4.4 缺失数据

6.4.4.1 缺失数据评估

当可获得的数据无法满足模型运行的基本要求时，应采取合理的数据替代措施，并评估缺失数据对模型模拟结果的影响。在条件具备时，应及时开展全面调查和监测。

6.4.4.2 缺失数据替代

当模型的输入或模拟变量数据缺失时，可采取以下数据替代措施：

- a) 若模型的输入或模拟变量的部分数据缺失，可采用时间或空间插值等方法生成替代数据；
- b) 若待评估验证的模型的输入或模拟变量可由其他模型模拟得到，而后者已经过评估验证并且对前者可获得的数据模拟效果较好，则可使用后者的模拟结果替代缺失数据；
- c) 当模型参数缺少现场观测或实验室测定数据条件时，可采用相似事件的参数取值以及文献中参数取值、经验公式估算值替代，或者将其作为待率定参数处理。

6.5 基础工作底图处理准备

按照制图系统要求首先对收集到的图形数据进行投影处理，对水文、水质、水利工程设施等空间信息以及调查、测量补充的数据进行坐标和高程转换，按照制图要求分层处理，按点、线、面和注记分别编辑、整理并录入属性。每个图层包含要素类别、类别码、要素名称、编码等属性字段。对于有编码规范的地物按照规范进行相应编码。

6.5.1 基础地理信息加工处理

对基础地理资料的加工处理主要满足四个目的，分别是：作为计算结果的基础底图；作为水动力分析计算的地形数据；作为水质影响分析与损失评估的空间图层；作为应急监测部署分析与展示的空间图层。

6.5.2 数据库处理

所涉及到的河流、道路和土地利用类型等图形数据主要利用GIS的File Geodatabase进行存储管理，成果单独存储。

6.5.3 基础地图绘制

需将行政区划图、地形图、测站分布位置、水利工程分布图合成为工作底图。

6.6 模型构建

6.6.1 模型构建

6.6.1.1 一维水动力模型构建

针对模拟范围内涉及到的主要河道构建其河网模型，河道采用一维水力学模型模拟计算。

a) 断面概化

根据掌握资料的不同，断面的处理部分按如下两种方式分别进行。

1) 对有实测大断面资料的河道

直接将实测的断面数据整理成计算软件所需的横断面线导入格式，然后直接导入到软件中创建横断面。在此基础上，创建河岸（线）、河道边界、河岸连接等。

2) 对无实测断面的河道

采用地形文件来生成河道大断面。断面的切取遵循两个原则：一是要覆盖河道两岸的堤防，如果没有堤防，则将断面延伸到两岸高地；二是断面主河槽的方向要垂直于河道，而对于漫滩地区，则需要垂直于具体的水流流向。

b) 河道中心线

河道中心线为河段基本组成单元，通过空间位置与横断面线创建连接，两个断面的中心线长度即为两者之间的河流长度。

c) 水工建筑物

模型构建中所需概化的水工建筑物主要包括取水口、闸门、水库和堰坝等。

6.6.1.2 二维水动力模型构建

二维模型构建过程中，关键步骤有：地形处理、线状地物处理、区域降雨处理、网格剖分等。

a) 地形处理

收集适宜分辨率水下地形、DEM数据进行模型构建。

b) 线状地物处理

由于原始线状地物道路等节点间距不规则，划分网格时容易产生小网格，对模型计算不利，为此，需要对道路的节点进行均匀化，即抽稀处理。

c) 区域降雨处理

利用降雨径流模型，处理模拟范围内计算区域内的降雨。

d) 网格剖分

对模拟范围内计算区域进行网格划分，尽可能将影响水流的阻水建筑物作为网格边界，充分反映计算域的特征。

6.6.1.3 水质模型构建

水质模型构建过程中，关键步骤有：污染因子确定、本底值确定等。

a) 污染因子确定

污染因子的确定需要综合运用多种手段，包括现场调查、数据分析、数学模型和网络监测等。

b) 本底值确定

本底值的确定需要综合考虑主要研究目的、目标污染因子已有监测站点数量及位置分布，通过数学统计方法对其监测数据进行处理，最终确定数值。

6.6.1.4 耦合模型构建

将模拟范围内一维河网模型与二维湖库模型进行耦合，构建最终的一、二维水动力、水质分析模型。

6.6.2 模型率定和验证

6.6.2.1 参数率定方法

- a) 已通过现场观测或实验室测定获得模拟对象的相关参数时，可将其值直接代入模型；突发事件发生后应急监测获得的参数值可将其值直接代入模型，并根据最新的应急监测值进行修改；或将其作为待率定模型参数，为参数率定的初值设置或先验分布以及检验参数率定结果的合理性分析提供参考；
- b) 宜在参数率定前开展参数灵敏度分析(见 6.6.2)，识别并优先率定其中的灵敏参数，提高参数率定的计算效率；
- c) 参数率定可采用手动率定、自动率定或两者结合的方法，按照 ([方式进行：
 - 1) 手动率定可与附录 B 中模拟效果的图示评价技术联合使用；
 - 2) 自动率定可采用附录 B 中基于定向搜索和最优化的单一解识别技术，获得最优的模型参数组，也可采用基于采样和贝叶斯理论的多重解识别技术，获取各模型参数的后验分布；
- d) 应合理设置参数率定的初值或先验分布，利用不同系统过程、模拟变量、观测点位、环境条件的观测数据开展参数率定，选择不同类型的模拟效果评价指标等方法，规避或降低参数等效性的影响；

- e) 当模拟对象的不同系统过程之间存在变量、参数等调用关系时，宜优先率定前置系统过程涉及的参数；
- f) 当模型模拟值与观测值在部分时间或空间范围内出现系统偏差时，宜按照以下方式处理：
 - 1) 可分时段或分区域率定参数，获得不同时段或区域的参数取值；
 - 2) 若可从分时段或分区域率定的参数取值中识别模型输入、模拟变量等的影响，则可在分析模型机理合理性的基础上修正模型结构，重新率定模型参数。

6.6.2.2 参数率定结果

- a) 宜将参数率定结果与参数的现场观测值或实验室测定值、相同模型在同一流域或类似流域的参数取值、类似模型参数取值等可比数据进行比较，说明参数率定结果的合理性及其与可比数据出现偏差的原因；
- b) 参数率定结果的合理性可采用附录 B 的同行评议技术评估。

6.6.3 模型不确定性

6.6.3.1 灵敏度分析宜符合以下规定：

- a) 灵敏度分析覆盖的参数范围可按照以下原则确定：
 - 1) 结构简单的模型可针对全部参数开展灵敏度分析；
 - 2) 结构复杂的模型可在初步筛选的基础上针对部分关键参数开展灵敏度分析；
- b) 参数灵敏度分析可采用附录 B 的灵敏度分析技术和随机采样技术；
- c) 宜利用灵敏度分析结果和参数率定结果（见 6.6.2.2），评估模型结构的合理性以及模拟结果的可靠性，结果包括但不限于以下情形：
 - 1) 当高灵敏度参数对应的系统过程不是关键过程，或系统关键过程对应的参数不灵敏时，模型结构或参数率定结果可能存在问题；
 - 2) 当不灵敏或低灵敏度参数所占比例过高时，模型可能存在过参数化的问题；
 - 3) 当高灵敏度参数可直接观测或具有好的可识别性时，模型模拟结果的可靠性较高。

6.6.3.2 模型输入和参数不确定性表征宜符合以下规定：

- a) 模型输入的不确定性可依据输入变量统计特征、未来情景设计、其他模型输出结果等设定；
- b) 模型参数的不确定性可结合参数率定、参数灵敏度分析等结果设定；
- c) 根据管理决策目标需要和可获得的信息，模型输入和参数的不确定性可用概率分布、取值范围、离散取值、定性描述等形式表征；
- d) 模型输入和参数不确定性表征方式的合理性可采用附录 B 的同行评议技术评估。

6.6.3.3 模拟结果不确定性分析宜符合以下规定：

- a) 当模型输入或参数的不确定性以定性描述或离散取值表征时，可按其可能变化趋势设定若干取值或直接使用离散取值，采用附录 B 的灵敏度分析技术，评价模拟结果的变化趋势；
- b) 在条件具备时，可进一步解析模型输入和参数对模拟结果不确定性的贡献，并采用附录 B 的灵敏度分析技术，识别影响模拟结果及其不确定性的关键输入和参数，提出降低模拟结果不确定性和管理决策风险的措施；

6.7 模拟效果分析

6.7.1 模型模拟值与观测值之间的误差应满足管理决策目标要求。

6.7.2 模型模拟效果评价

- a) 参数率定阶段应结合率定得到的最优参数组或参数后验分布，评价模型的模拟效果；
- b) 参数验证阶段应基于率定得到的模型参数，利用独立于参数率定数据的观测数据，检验模型的模拟效果；
- c) 参数率定和参数验证两个阶段使用的观测数据可按时间、空间、环境特征等不同方式分配，以提高模型模拟性能的稳健性。

6.7.3 模型模拟效果评估技术和评价指标的选择。

- a) 应根据管理决策目标对不同类型指标模拟效果的需求（见第4章），选用附录B中对管理决策目标敏感的技术开展模型模拟效果评估；
- b) 模拟效果优劣可参照附录C提供的典型评价指标的精度参考值进行评价；
- c) 当模拟变量的观测频率为日及以下、观测数据存在较大不确定性时，模型的模拟精度要求可适当放宽。

7 成果编制与验收

7.1 一般规定

- a) 成果编制应包括专题报告和模型附件。
- b) 模型成果须通过专家论证，并提供明确的验收意见和验收报告。

7.2 专题报告

专题报告包括项目概况、资料收集、模型构建和测试、参数率定和模型验证、模型分析和应用等内容。专题报告篇章安排，参见附录D。

7.3 模型附件

模型附件包括模型说明文件和模型工程文件，可根据需要附加模型数据记录、实测数据记录和模型过程数据。

7.4 验收内容

7.4.1 模型验收审查主要内容

- 基础数据的完整性、准确性；
- 边界条件的合理性、科学性；
- 参数的合理性、科学性；
- 结果表达的准确性。

7.4.2 模型基础数据审查内容

地形数据的合理性，污染源数据的合理性，水文数据的合理性，气象数据的合理性，流域划分合理性等。

7.4.3 模型参数审查主要对模型结构和参数的选择合理性进行审查。

7.4.4 模拟结果表达应直观、准确，并满足项目要求。

附录 A

(规范性)

水环境应急响应模型评估验证指标体系和支撑技术

表A.1规定了水环境应急响应模型评估验证的指标体系和支撑技术。

表 A.1 水环境应急响应模型评估验证指标体系和支撑技术

评估验证内容		评价指标	支撑技术
模型结构特征评估	建模机理	模型概化	同行评议技术
		模型机理	
	数学表达	数学表达形式	
		变量和参数定义	
	求解算法	算法设计	
		算法精度	
模型数据质量评估	数据完备性	数据可获得性	数据质量评估技术
		数据代表性	
	数据质量	数据规范性	同行评议技术
		数据匹配性	
	定解条件	边界条件设定	
		初始条件设定	
模型模拟性能评估	模拟效果	模型模拟效果	模拟效果评估技术
	模型参数	参数率定方法	参数识别技术 随机采样技术
		参数率定结果	同行评议技术
		参数灵敏度	灵敏度分析技术 随机采样技术
	模型不确定性	模型输入和参数不确定性	同行评议技术
		模拟结果不确定性	不确定性分析技术 随机采样技术
模型决策功能评估	决策实用性	计算效率	同行评议技术
		数据条件	
		软硬件条件	
	应用便利性	操作便利程度	
		技术服务支撑	
		模型可扩展性	

附录 B

(资料性)

水环境应急响应模型评估验证技术清单

表B.1提出了水环境应急响应模型评估验证技术清单。

表 B.1 水环境应急响应模型评估验证技术清单

一级体系	二级体系	三级体系
1 同行评议技术	1.1 同行匿名评审 1.2 同行通讯评审 1.3 同行会议评审	-
2 数据质量评估技术	2.1 数据完备度评价技术	同1.1-1.3
	2.2 数据准确度评价技术	2.2.1 均值 2.2.2 中位数 2.2.3 众数
	2.3 数据精密度评价技术	2.3.1 范围 2.3.2 方差 2.3.3 标准偏差 2.3.4 变异系数 2.3.5 四分位距
3 模拟效果评估技术	3.1 图示评价技术	3.1.1 散点图 3.1.2 Q-Q 图 3.1.3 时间序列图
	3.2 误差评价技术	3.2.1 平均偏差 3.2.2 平均绝对误差 3.2.3 平均百分比绝对偏差 3.2.4 均方误差 3.2.5 均方根误差 3.2.6 百分比偏差 3.2.7 均方根误差与观测值标准偏差比 3.2.8 纳什效率系数 3.2.9 修正纳什效率系数
	3.3 无量纲评价技术	3.3.1 相关系数 3.3.2 斯皮尔曼秩相关系数 3.3.3 克林-古普塔效率系数 3.3.4 柯尔莫可洛夫-斯米洛夫检验统计量
	3.4 多模型评价技术	3.4.1 验证性评价 3.4.2 预测性评价

表B.1 水环境应急响应模型评估验证技术清单（续）

一级体系	二级体系	三级体系
4 参数识别技术	4.1 单一解识别技术	4.1.1 局部搜索技术 4.1.2 全局搜索技术
	4.2 多重解识别技术	4.2.1 Hornberger-Spear-Young 算法 4.2.2 广义似然不确定性估计方法 4.2.3 序列不确定性拟合方法 4.2.4 马尔可夫链蒙特卡洛方法
5 灵敏度分析技术	5.1 “一次一个”灵敏度分析方法 5.2 ornberger-Spear-Young算法 5.3 多元回归分析方法 5.4 Sobol 灵敏度分析方法	-
6 不确定性分析技术	6.1 Hornberger-Spear-Young算法 6.2 广义似然不确定性估计方法 6.3 序列不确定性拟合方法 6.4 马尔可夫链蒙特卡洛方法 6.5 ParaSol 方法	-
7 随机采样技术	7.1 简单随机采样 7.2 拉丁超立方采样 7.3 准蒙特卡洛采样 7.4 基于马尔科夫链的采样	-

附录 C

(资料性)

模型模拟效果评价指标及其精度参考值

表 C.1 提出了以月值数据为例的模拟效果典型评价指标及其精度参考值。

表 C.1 模拟效果评价指标及其精度参考值

评价指标	模拟变量	优	良	中	差
纳什效率系数	通用 (月值数据)	[0.75,1]	[0.65,0.75)	[0.5,0.65)	$(-\infty,0.5)$
百分比偏差	流量 (月值数据)	[-10%,10%]	[-15%,-10%)或 (10%,15%]	[-25%,-15%)或 (15%,25%]	[-100%,-25%)或 (25%, $+\infty$)
	沉积物 (月值数据)	[-15%,15%]	[-35%,-15%)或 (15%,35%]	[-55%,-35%)或 (35%,55%]	[-100%,-55%)或 (55%, $+\infty$)
	水质 (月值数据)	[-25%,25%]	[-40%,-25%)或 (25%,40%]	[-70%,-40%)或 (40%,70%]	[-100%,-70%)或 (70%, $+\infty$)
均方根误差与观测值标准偏差比	通用 (月值数据)	[0,50%]	(50%,60%]	(60%,70%]	(70%, $+\infty$)
决定系数	通用 (月值数据)	[0.8,1]	[0.65,0.8)	[0.5,0.65)	[0,0.5)

表C.1 模拟效果评价指标及其精度参考值（续）

说明：

纳什效率系数、百分比偏差、均方根误差与观测值标准偏差比、决定系数等指标的定义如下。

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - Y_i^{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \overline{Y^{obs}})^2}$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - Y_i^{obs})}{\sum_{i=1}^n Y_i^{obs}} \times 100\%$$

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - Y_i^{obs})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \overline{Y^{obs}})^2}} \times 100\%$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - \overline{Y^{sim}})(Y_i^{obs} - \overline{Y^{obs}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{sim} - \overline{Y^{sim}})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \overline{Y^{obs}})^2}} \right]^2$$

式中：

NSE ——纳什效率系数；

$PBIAS$ ——百分比误差；

RSR ——均方根误差与观测值标准偏差比；

R^2 ——决定系数；

Y_i^{sim} ——第 i 个数据点的模拟值；

Y_i^{obs} ——第 i 个数据点的观测值；

$\overline{Y^{sim}}$ ——所有模拟值的平均值；

$\overline{Y^{obs}}$ ——所有观测值的平均值；

n ——数据点数量。

附 录 D
(资料性)
专题报告篇章安排

A.1 项目概况

A.1.1 项目背景。

A.1.2 编制原则。

A.1.3 研究内容。

A.1.4 流域概况。

A.1.5 技术路线图。

A.2 现状调查分析

A.2.1 区域污染源调查分析。

A.2.2 区域水文情势分析。

A.2.3 区域水质现状调查及评价。

A.3 模型构建及率定验证

A.3.1 模型结构确定。

A.3.2 数据检查、数据标签设置、缺失数据推断。

A.3.3 模型概化说明。

A.3.4 模型参数设置。

A.3.5 模型稳定性测试。

A.3.6 参数率定和模型验证。

A.3.7 模型率定和验证标准说明。

A.3.8 结果比较及模型调整说明。

A.4 模型分析和应用

A.4.1 模型分析。

A.4.2 模型应用。

附录 E

(资料性)

典型流域水环境模型的适用条件

表E.1给出了典型的非点源污染模型和地表水体模型的适用条件。

表 E.1 典型流域水环境模型的适用条件

模拟对象	模型名称	模拟变量	模型输入	模拟方式	时间精度	其他条件
非点源 污染	Agricultural Non-Point Source model (AGNPS) / Annualized Agricultural Non-Point Source model (AnnAGNPS)	水位、流速、 流量、蒸散发 量、泥沙、水 温、氮、磷、 化学需氧量、 有机碳、农药 等	数字高程模 型、土地利用 分布、土壤分 布及属性、气 象数据、点源 排放量、农业 管理措施、水 文、水质等	连续、 事件	日及以下	农业用地为主 的流域
非点源污染	Hydrologic Simulation Program FORTRAN (HSPF) / Loading Simulation Program in C++ (LSPC)	水位、流速、 流量、蒸散发 量、泥沙、水 温、氮、磷、 生化需氧 量、 溶解氧、藻类、 细菌、农药等	数字高程模 型、土地利用 分布、土壤分 布及属性、气 象数据、污水 排放量和取水 量、污染负荷、 土地管理措 施、水文、水 质等	连续、 事件	日及以下	农业用地为主 的流域
非点源污染	MIKE SHE	水位、流速、 流量、蒸散发 量、泥沙、水 温、氮、磷、 生化需氧量、 溶解氧、藻类、 细菌、农药、 作物生长等	数字高程模 型、土地利用 分布、土壤分 布及属性、气 象数据、污染 负荷、土地管 理措施、水文、 水质等	连续、 事件	日及以下	农业用地为主 的流域

表E.1 典型流域水环境模型的适用条件（续）

模拟对象	模型名称	模拟变量	模型输入	模拟方式	时间精度	其他条件
非点源污染	Soil and Water Assessment Tool (SWAT)	水位、流速、流量、蒸散发量、泥沙、水温、氮、磷、生化需氧量、溶解氧、藻类、细菌、农药、作物生长等	数字高程模型、土地利用分布、土壤分布及属性、气象数据、污水排放量和取水量、污染负荷、土地管理措施、水文、水质等	连续、事件	日	农业用地为主的流域
非点源污染	Storm Water Management Model (SWMM)	水位、流速、流量、泥沙、自定义的水质指标等	数字高程模型、土地利用分布、排水管网布局及属性、气象数据、污水排放量和取水量、污染负荷、径流管理措施、水文、水质等	连续、事件	小时以下	城镇用地为主的流域
非点源污染	新安江模型	水位、流速、流量、蒸散发量、泥沙、氮、磷等	数字高程模型、土地利用分布、土壤分布及属性、气象数据、水文、水质等	事件	小时及以下	多种流域，包括资料相对缺乏的流域
地表水体	河流均匀混合模型	自定义的水文水质指标	河流流量和上游污染物浓度、污水排放量、污染物排放浓度等	零维	日、小时	污染物均匀混合的河流
地表水体	湖库均匀混合模型	自定义的水文水质指标	水体体积、单位时间污染物排放量、水量平衡时流入与流出湖库的流量等	零维	日、小时	水体交换充分、污染物分布均匀的湖库

表E.1 典型流域水环境模型的适用条件（续）

模拟对象	模型名称	模拟变量	模型输入	模拟方式	时间精度	其他条件
地表水体	狄龙(Dillon)模型	氮、磷	水体体积、单位时间和单位面积进入湖库的污染负荷、平均水深、单位时间流入与流出湖库的水量和污染物平均浓度等	零维	年	水体交换充分、污染物分布均匀的湖库
地表水体	纵向一维模型	水位、流速、流量、自定义的水文水质指标等	水下地形、气象、污水排放量和取水量、污染负荷、水文、水质等	纵向一维	小时及以下	污染物在沿程横断面上均匀混合的河流或河道型水库
地表水体	平面二维模型	水位、流速、流量、自定义的水文水质指标等	水下地形、气象、污水排放量和取水量、污染负荷、水文、水质等	平面二维	小时及以下	污染物在垂向上均匀混合的大河、湖库、河口及近海宽浅水体
地表水体	立面二维模型	水位、流速、流量、自定义的水文水质指标等	水下地形、气象、污水排放量和取水量、污染负荷、水文、水质等	立面二维	小时及以下	污染物在横向上分布差异不明显但垂向分层明显的深水河流和湖库
地表水体	三维模型	水位、流速、流量、自定义的水文水质指标等	水下地形、气象、污水排放量和取水量、污染负荷、水文、水质等	三维	小时及以下	污染物在垂向和平面上分布差异明显的河流、湖库、河口、近海等
地表水体	QUAL2K	水位、流速、流量、泥沙、水温、氮、磷、生化需氧量、底泥需氧量、溶解氧、藻类、细菌等	水下地形、气象、污水排放量和取水量、污染负荷、水文、水质等	纵向一维	稳态	污染物在沿程横断面上均匀混合的河流或河道型水库

表E.1 典型流域水环境模型的适用条件（续）

模拟对象	模型名称	模拟变量	模型输入	模拟方式	时间精度	其他条件
地表水体	MIKE HYDRO River/ MIKE 11	水位、流速、 流量、泥沙、 水温、盐度、 氮、磷、硅、 生化需氧量、 溶解氧、藻类、 细菌等，允许 自定义变量	水下地形、气 象、污水排放 量和取水量、 污染负荷、水 文、水质等	纵向一维	小时及以下	河流、水库、 河口等
地表水体	MIKE 21	水位、流速、 流量、泥沙、 水温、盐度、 氮、磷、硅、 生化需氧量、 底泥需氧量、 溶解氧、藻类、 细菌等，允许 自定义变量	水下地形、气 象、污水排放 量和取水量、 污染负荷、水 文、水质等	平面二维	小时及以下	河流、湖库、 河口、近海、 海洋等
地表水体	Delft3D	水位、流速、 流量、泥沙、 水温、盐度、 氮、磷、硅、 生化需氧量、 底泥需氧量、 溶解氧、藻类、 细菌、重金属 有机微污染物 等，允许自定 义变量	水下地形、气 象、污水排放 量和取水量、 污染负荷、水 文、水质等	三维及 以下	小时及以下	河流、湖库、 河口、近海等

表E.1 典型流域水环境模型的适用条件（续）

模拟对象	模型名称	模拟变量	模型输入	模拟方式	时间精度	其他条件
地表水体	Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC)	水位、流速、流量、泥沙、水温、盐度、氮、磷、硅、化学需氧量、溶解氧、藻类、活性金属等，允许自定义变量	水下地形、气象、污水排放量和取水量、污染负荷、水文、水质等	三维及以下	小时及以下	河流、湖库、河口、近海等
地表水体	Water Quality Analysis Simulation Program (WASP)	水位、流速、流量、泥沙、水温、盐度、氮、磷、硅、生化需氧量、底泥需氧量、溶解氧、藻类、细菌等，允许自定义变量	水下地形、气象、污水排放量和取水量、污染负荷、水文、水质等	三维及以下	小时及以下	河流、湖库、河口、近海等