

ICS 编号

CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX—20XX

数字孪生湖库 水质管理系统设计技术导则

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
3.1 湖库水质管理系统	2
3.2 水质预报	2
3.3 水质预警	2
3.4 水质预演	2
3.5 水质预案	2
4 总则	2
4.1 系统体系架构	2
4.2 其他规定	2
5 监测感知体系	3
5.1 水文监测	3
5.1.1 水位监测	3
5.1.2 流量监测	3
5.2 水质监测	3
5.2.1 一般规定	3
5.2.2 水质日常监测	3
5.2.3 水质应急监测	4
6 系统平台	4
6.1 数据底板	4
6.1.1 基础数据	4
6.1.2 地理空间数据	4
6.1.3 监测数据	4
6.1.4 业务管理数据	5
6.1.5 外部共享数据	5
6.2 模型库	5
6.2.1 一般规定	5
6.2.2 水环境评价模型	5
6.2.3 水环境机理模型	5
6.2.4 数据驱动模型	6
6.2.5 智能识别模型	6
6.2.6 可视化模型	7
6.3 知识库	7
6.3.1 预警规则库	7
6.3.2 历史场景库	7
6.3.3 预案管理库	7
7 业务功能设计	8
7.1 监测分析	8
7.2 预报	8
7.3 预警	8
7.4 预演	8
7.5 预案	9

7.5.1 应急监测管理	9
7.5.2 应急处置管理	9
附录 A (规范性) 湖库水环境专业模型	10

编制背景

湖泊和水库是我国饮用水水源地的重要组成部分，在我国的供水系统中占有重要地位。据统计，全国 1093 个市县级集中式饮用水源地中，湖库型水源地数量占比最高，达 40.6%。习近平总书记高度重视水源地保护和治理工作，始终坚持把水源涵养和水质保护作为头等大事来抓。然而，我国大部分湖库水源地监管能力不足，安全预警技术体系还不完善，导致水环境突发污染事件频发。

近年来，随着以云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能、数字孪生等为代表的新兴数字技术快速发展，在全国智慧水利、数字孪生流域建设进程加快推进的大背景下，如何利用信息化技术，强化水质预报、预警、预演、预案功能，提升湖库水环境保护的数字化、网络化、智能化水平，实现更有效的安全监管、更高效的水质保护，成为湖库水源地水质保护数字化转型的探索方向。

自 2021 年起，水利部组织编制了《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》《智慧水利建设顶层设计》《“十四五”智慧水利建设规划》《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》等系列文件，全面部署智慧水利建设，并将数字孪生流域建设作为构建智慧水利体系、实现“四预”的核心和关键。2022 年，围绕当前最迫切的数字孪生流域、数字孪生水利工程、水利业务“四预”等重点工作，水利部信息中心组织编制了《数字孪生流域建设技术大纲（试行）》《数字孪生水利工程建设技术导则（试行）》《水利业务“四预”基本技术要求（试行）》《数字孪生流域共建共享管理办法（试行）》等技术文件，为全面开展水利数字孪生试点建设工作奠定了基础。然而，水利部印发的数字孪生系列文件重点针对防洪、水资源调配等业务，在水质管理“四预”体系的规范化要求方面还较为薄弱，缺乏结合业务功能的整体框架设计，与实际需求存在差距、指导性不强。

2024 年 2 月，李国英部长在“研究面向新质生产力的水利标准体系建设”专题办公会议上提出“发展水利新质生产力必须从制修订水利技术标准做起”，深刻认识水利技术标准对加快发展水利新质生产力、扎实推进水利高质量发展的导向性、引领性、推动性、基础性作用，坚持统筹高质量发展和高水平安全，统筹水利勘测、规划、设计、建设、运行全生命周期，统筹物理工程与数字孪生，具备预报预警预演预案功能的基本原则，加快建设有利于发展水利新质生产力、扎实推进水利高质量发展的水利技术标准体系。

在此背景下，为切实做好数字孪生湖库水质管理系统顶层设计，明确建设内容、建设方法、建设指标，参照水利部印发的数字孪生流域建设技术大纲、技术导则、共建共享管理办法和水利业务“四预”基本技术要求，重点依据《数字孪生水网建设技术导则（试行）》《数字孪生水利工程建设技术导则（试行）》，编制本标准。本标准旨在作为数字孪生技术在湖库水质管理领域的应用指南，为水利行业的数字孪生标准化建设提供支持和补充。

本标准由长江水利委员会长江科学院组织编制，南水北调中线水源有限公司、水利部太湖流域管理局参加编制。本标准为试行版，各单位在使用过程中有意见和建议请及时反馈。

前 言

根据中国水利学会团体标准制修订计划安排，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。

本文件共分为 7 章和 1 个附录，主要内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、总则、监测感知体系、系统平台、业务功能设计等。

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这些专利的责任。

本文件由中国水利学会归口。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国水利学会（地址：北京市西城区白广路二条 16 号，邮编 100053），以便今后修订时参考。

本文件主编单位：长江水利委员会长江科学院。

本文件参编单位：南水北调中线水源有限责任公司、水利部太湖流域管理局。

本文件主要起草人：林莉、马水山、曹慧群、张金锋、唐文坚、曹俊启、靖争、郑学东、李晓萌、赵科锋、罗平安、唐见、翟文亮、金海洋、黄华伟、李勇涛、徐兆安。

数字孪生湖库水质管理系统设计技术导则

1 范围

本标准规定了数字孪生湖库水质管理系统体系架构、系统平台、监测感知、业务功能等设计工作的技术要求。

本标准主要适用于具有水质管理保护需求的湖库水体的数字孪生水质管理系统的设计工作，其他以水质安全保障为核心业务需求的数字孪生项目可参照设计。

2 规范性引用文件

本标准中引用的文件对于本标准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标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB 50179 河流流量测验规范
- GB/T 50138 水位观测标准
- GB/T 14581 水质 湖泊和水库采样技术指导
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 22240 信息安全技术 网络安全等级保护定级指南
- GB/T 25058 信息安全技术 网络安全等级保护实施指南
- GB/T 25070 信息安全技术 网络安全等级保护安全设计技术要求
- GB/T 43441.1 信息技术 数字孪生 第1部分：通用要求
- SL 58 水文测量规范
- SL 196 水文调查规范
- SL 219 水环境监测规范
- SL 365 水资源水量监测技术导则
- SL 395 地表水资源质量评价技术规程
- SL/T 701 水利信息分类与编码总则
- HJ 494 水质 采样技术指导
- HJ 495 水质 采样方案设计技术规程
- HJ 589 突发环境事件应急监测技术规范
- HJ511 生态环境信息化标准体系指南
- HJ/T 2.3 环境影响评价导则地面水环境
- HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范
- HJ/T 416 环境信息术语

3 术语和定义

3.1 湖库水质管理系统

以物理湖库水体为对象，以监测感知、数值模拟、系统开发等技术为手段，集成湖库地理信息、水文气象、水动力、水质、水利工程调度等多源数据，以水环境专业模型为核心、以水环境管理保护相关知识为驱动，实现湖库水质趋势预报、前瞻预警、模拟预演、科学决策的综合性管理系统。

3.2 水质预报

基于湖库水文水质历史数据和实时数据，采用水环境机理模型和数据驱动等专业模型，对未来不同预见期内目标水体水质状况的发展趋势进行定量或定性分析。

3.3 水质预警

依据湖库水源地水质保护目标和社会公众需求，设定水质超标风险指标和阈值，结合目标水体水质实时监测数据和趋势预测结果，识别水质超标风险并及时发出预警信息。

3.4 水质预演

应用水环境专业模型和计算机仿真技术，对典型历史事件、特定环境条件或管理处置措施下目标水体水质风险形势与影响进行模拟仿真。

3.5 水质预案

针对潜在或现有的水污染事件，根据水质风险态势评估和处置效果仿真演练结果，科学制定和优化水污染应急决策方案。

4 总则

4.1 系统体系架构

4.1.1 数字孪生湖库水质管理系统总体框架包括信息化基础设施、系统平台、业务应用、网络安全体系、保障体系等。

4.1.2 信息化基础设施包括监测感知设施、通信网络设施、自动化控制设施、信息基础环境等。

4.1.3 系统平台包括水质数据底板、模型库、知识库等。

a) 数据底板包括基础数据、监测数据、业务管理数据、外部共享数据、地理空间数据（含三维可视化场景）等。

b) 模型库包括水环境评价模型、水环境机理模型、数据驱动模型、可视化模型等。

c) 知识库包括水质预警规则库、水质历史场景库、水质预案管理库等。

4.1.4 业务应用包括监测分析、水质预报、水质预警、水质预演及水质预案等。

4.2 其他规定

4.2.1 本标准重点针对数字孪生湖库水质管理系统监测感知体系、系统平台和业务应用的设计工作进行规定，通信网络设施、自动化控制设施、信息基础环境以及网络安全、保障体系等其他建设内容参照水利行业数字孪生相关标准及文件执行，本标准中不再说明。

4.2.2 本标准旨在作为数字孪生技术在湖库水质管理领域的应用指南，为水利行业的数字孪生标准化建设提供支持和补充。

5 监测感知体系

5.1 水文监测

5.1.1 水位监测

5.1.1.1 宜共享流域管理机构、地方水行政主管部门水文站水位数据，有条件的可自建水位自动监测站。

5.1.1.2 水位监测断面应包括湖泊（水库）入流、出流边界及湖（库）区重要控制断面。新建水位自动监测站断面应满足下列要求：

a) 入流断面应布设在流量大于总入湖库流量 20%以上河流，或流量大于总入湖库流量 10%以上且水质低于湖库水质管理标准的河流汇入口。

b) 出流断面应布设在水库坝前流态平稳区域或湖泊主要出流口前的流态平稳区域。

c) 湖（库）区控制断面应根据湖库水体流动规律布设在连通性较差且水位变动较大的区域。

d) 水位自动监测频次宜不低于 1 小时一次。

e) 水位监测方法应符合 GB/T 50138 要求。

5.1.2 流量监测

5.1.2.1 宜共享流域管理机构、地方水行政主管部门相关水文站流量监测数据，有条件的可自建流量自动监测站。

5.1.2.2 流量监测断面应包括湖泊（水库）入流、出流边界。新建流量自动监测站断面应满足下列要求：

a) 入流断面应布设在流量大于总入湖库流量 20%以上河流，或流量大于总入湖库流量 10%以上且水质低于湖库水质管理标准的河流汇入口。

b) 出流断面应布设在水库或湖泊主要出口。

5.1.2.3 流量监测方案应以满足水动力水质预报精度需要为准进行选择，流量自动量测频次应根据设备及量测环境合理确定，水位-流量关系曲线换算频次宜与水位监测频次一致。

5.1.2.4 流量监测方法应符合 GB 50179 要求。

5.2 水质监测

5.2.1 一般规定

5.2.1.1 宜共享生态环境等部门的监测数据，有条件的可自建水质自动监测站。

5.2.1.2 一般情况下应开展常态化水质日常监测，发生突发水环境污染事故时应辅助开展水质应急监测。

5.2.1.3 水质监测方式应以自动监测为主，根据需要可采用卫星遥感、无人机、无人船、人工等手段辅助监测。

5.2.1.4 水质自动监测频次宜不低于 4 小时一次。

5.2.1.5 水质监测方法应符合 GB3838、SL 219 和 HJ/T 91 的相关规定。

5.2.2 水质日常监测

5.2.2.1 水质日常监测点位布设应满足以下要求：

a) 应充分考虑污染源分布、水环境敏感目标、水功能区划等因素，在湖泊（水库）入流、出流边界、深水区、浅水区、湖心区、岸边区等水域分别布设监测点位，并与水文监测断面相结合。

b) 湖泊（水库）水域若无明显水体功能区别，宜采用网格法均匀布设点位，网格大小

依据湖泊（水库）面积而定。

c) 湖泊（水库）水域若有不同水体功能区别，同一水体功能区应至少设置 1 个监测点位。

d) 针对河道型水库，应在水库上游或库尾、中游、近坝区及主要库湾回水区分别布设监测点位。

e) 湖泊（水库）的监测点位布设应与附近水流方向垂直；若流速较小或无法判断水流方向时，应以常年主导流向布设监测点位。

f) 若湖泊（水库）水体水质有垂向分层特征，宜分层采样监测，监测方法可按照 SL 219 相关内容执行。

5.2.2.2 湖泊（水库）水质监测指标按照“11+X”方式进行确定，其中“11”为基本指标，包括水温、pH、溶解氧、电导率、浊度、高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮、叶绿素 a 和透明度；“X”为特征指标，可结合水质超标情况及水质安全保障工作需求进行动态调整。

5.2.3 水质应急监测

5.2.3.1 突发性水环境污染事故水质应急监测分为事故现场监测和跟踪监测两部分，监测方式以人工监测为主。

5.2.3.2 应选择特征污染物作为监测指标，特征污染物一般是事件中排放量较大或超标倍数较高，对水生态环境有较大影响，可以表征事态发展的污染物。应根据事件类型、污染源特征、生产工艺等，并结合事件发生地沿线湖泊（水库）的水质本底值情况和应急监测初筛结果确定特征污染物。必要时可增加监测指标或开展水质安全分析监测。

5.2.3.3 水质应急监测频次、方法及断面布设可按照 HJ 589 相关内容执行。

6 系统平台

6.1 数据底板

6.1.1 基础数据

6.1.1.1 基础数据指湖库相关水利对象的主要属性数据，如流域、湖库、水文水质监测站、水利工程等基本属性数据。

6.1.1.2 基础数据特征属性宜参考 SL/T 809，应对所有对象进行统一编码。

6.1.1.3 基础数据宜根据业务需要实时或定期更新。

6.1.2 地理空间数据

6.1.2.1 地理空间数据应包括湖库数字高程模型、水下地形、三维可视化场景数据，主要用于水动力水质机理模型、水体可视化模型构建、空间分析等。

6.1.2.2 地理空间数据精度和更新频次应满足水质安全分析预警、预演调度等模型分析计算需求。

6.1.2.3 地理空间数据采集范围、数据格式等可参考水利部印发的数字孪生水利数据底板建设的相关文件要求。

6.1.3 监测数据

6.1.3.1 监测数据应包括湖泊（水库）水文、水质监测数据等。

6.1.3.2 水文监测数据应满足下列要求：

a) 水文监测数据应包括水位数据、流量数据等，主要用于水动力模型构建与率定验证。

b) 水文监测数据采集范围应包括湖泊（水库）入流、出流边界及湖（库）区重要控制

断面，此外可根据需要在湖（库）区设置水位自动监测站。

c) 水文监测数据建设与更新要求具体见 5.1 节。

6.1.3.3 水质监测数据应满足下列要求：

a) 水质监测数据应包括常规水质指标和目标水体特征水质指标，主要用于各类水环境专业模型构建与率定验证。

b) 数据采集范围应包括湖泊（水库）入流、出流边界及湖（库）区重要控制断面，此外可根据需要在湖（库）区设置水质自动监测站。

c) 水质监测数据建设与更新要求具体见 5.2 节。

6.1.4 业务管理数据

6.1.4.1 业务管理数据是指水质安全保障业务管理中产生的有关数据，宜包括水源地水质安全保障规划计划、水质管理制度、水污染事故与应急管理、监测/检测管理、供水计划管理等数据。

6.1.4.2 业务管理数据应根据业务需要同步更新。

6.1.5 外部共享数据

6.1.5.1 宜从地方政府相关部门及其他机构获取气象、遥感、取排水量、排污口、底泥内源、面源等数据，以及上级部门下达的调度指令、突发水污染事件等数据。

6.1.5.2 外部共享数据应根据业务需要同步更新。

6.2 模型库

6.2.1 一般规定

6.2.1.1 模型库宜包括水环境评价模型、水环境机理模型、数据驱动模型、可视化模型等，具体可视水体特点和实际业务需求选择合适的模型。

6.2.1.2 模型输入输出可采用界面、文件、数据库等方式，具体参考水利部数字孪生平台水利专业模型输入输出规定。

6.2.1.3 模型具体构建方法可参考附录 A。

6.2.2 水环境评价模型

6.2.2.1 水环境评价模型可分为水质评价模型、综合营养状态指数评价模型、水环境容量分析模型等。

6.2.2.2 水质评价模型评价方法包括单因子评价法、综合污染指数法、内梅罗指数法等。

6.2.2.3 水环境评价模型宜参考下列要求进行选择：

a) 目标水体单个点位的水质类别评价宜采用单因子评价法，评价方法应符合 GB 3838 要求；

b) 目标水体水质污染情况综合评价宜采用综合污染指数法或内梅罗指数法；

c) 目标水体富营养化程度评价宜采用综合营养状态指数评价模型；

d) 定量核算目标水体的水环境容量和纳污能力宜采用水环境容量分析模型。

6.2.3 水环境机理模型

6.2.3.1 水动力水质模型

a) 适用场景。水动力水质模型宜用于模拟湖库与入湖（库）河流水体氮磷等主要水质指标浓度时空变化，预测污染物在水体中的最大扩散范围、浓度变化趋势，以及对下游水质的潜在影响。

b) 模型选择。水动力水质模型可分为零维、一维、二维（包括平面二维及立面二维）以及三维模型。水动力水质模型宜参考下列要求进行选择：

- 1) 目标水体为水流交换充分、污染均匀的小型湖库的宜采用零维模型；
- 2) 目标水体为纵向污染均匀的河流或河道湖库的宜采用一维模型；
- 3) 目标水体为垂向分层不明显的浅水湖库的宜采用平面二维模型；
- 4) 目标水体为水平差异不明显的深水湖库的宜采用立面二维模型；
- 5) 目标水体为垂向和平面差异明显的深水湖库的宜采用三维模型。

c) 模型评价。水动力模型的水位模拟误差不宜超过 5%，水质模型模拟误差不宜超过 30%。

6.2.3.2 突发水污染模型

a) 适用场景。突发水污染模型宜用于模拟污染物质泄露后在水体中的扩散路径和速度。根据泄露量、物质特性以及当前水文气象条件，预测污染团运移轨迹、影响区域及可能对饮用水源地的威胁。

b) 模型选择。突发水污染模型可分为突发水污染预测模型、污染粒子轨迹示踪模型。突发水污染模型宜参考下列要求进行选择：

- 1) 模拟可溶于水的污染物在湖库的运移扩散规律宜采用突发水污染预测模型。
- 2) 模拟难溶于水的污染物粒子随着水流的运动轨迹宜采用污染粒子轨迹示踪模型。

c) 模型评价。模型模拟误差不宜超过 30%。

6.2.4 数据驱动模型

6.2.4.1 适用场景。宜基于数理统计和数据挖掘等技术，结合长序列历史监测数据，构建数据驱动模型，用于不同时间尺度的水质预报分析。

6.2.4.2 模型选择。数据驱动模型可分为统计模型、机器学习模型和深度学习模型等。应根据水质预报的时间尺度（短期、中期或长期）、水质指标以及数据类型和质量情况选择合适的模型。

a) 对于数据量较小或者需要模型具有较好的可解释性的情况，可采用统计模型，如自回归移动平均模型（ARIMA）或季节性自回归移动平均模型（SARIMA）。

b) 对于具有一定数据量且需要捕捉数据内在关联的问题，可采用机器学习模型，如随机森林、支持向量机或梯度提升机。

c) 对于数据量充足且需要处理复杂的非线性关系的问题，可采用深度学习模型，如卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）。

d) 对于需要考虑时间序列数据的季节性或趋势性变化的问题，可采用时间序列分解或趋势分析等方法，以更好地理解 and 预测水质的变化趋势。

e) 对于需要同时考虑多个数据源或多个水质指标的复杂问题，可以考虑使用多模型集成学习方法。

6.2.4.4 模型评价。水质预报误差不宜超过 30%。

6.2.5 智能识别模型

6.2.5.1 适用场景。应基于计算机视觉和机器学习技术，结合遥感、视频、图像等监测监控数据，构建用于水利对象识别、行为分析或事件检测的智能识别模型，用于湖泊（水库）水尺水位、水质参数、漂浮物、水体颜色异常等识别分析。

6.2.5.2 模型选择。水质智能识别模型主要包括视频图像智能识别模型和水质遥感反演模型。

a) 对于静态遥感影像或图像识别，宜选择卷积神经网络（CNN）。

b) 对于视频内容分析，宜选择结合 CNN 和时间序列处理的模型如 3D-CNN 或 CNN 结合长短期记忆网络（LSTM）

6.2.5.3 模型评价。对于图像识别模型，识别准确率应达到 85%以上；对于视频事件检测模

型，识别准确率应达到 75%以上。

6.2.6 可视化模型

6.2.6.1 适用场景。可视化模型包括流场仿真模型和浓度场仿真模型，主要用于流场和水质浓度场的二三维仿真展示。

6.2.6.2 模型选择。应针对不同应用场景选择相应的可视化模型：

a) 若关注水体流场和浓度场在平面上的变化，宜采用二维流场和浓度场仿真模型。

b) 若关注水体流场和浓度场在三维方向上的分布（如大型深水湖库），宜选择三维流场和浓度场仿真模型。

6.2.6.3 可视化模型建设要求参见数字孪生流域可视化模型规范。

6.3 知识库

6.3.1 预警规则库

6.3.1.1 预警规则库应包括水质预警等级及预警阈值，用以支撑水质超标风险识别及预警信息发布。

6.3.1.2 预警等级。实行红橙黄三级预警，一级预警红色，表示最高等级；二级预警为橙色，表示次高等级；三级预警为黄色，表示最低等级。

6.3.1.3 预警阈值。基于 GB3838 水质类别标准，结合目标水体水质现状及水质目标，水质预警阈值应按照以下方式确定：

a) 针对水质目标为Ⅱ类及以上的目标水域，劣Ⅴ类水按水质类别Ⅴ考虑，计算水质现状类别与水质目标类别的差值 N （若 N 小于等于 0，则判定为不超标），则预警等级为 $4-N$ ；

b) 针对水质目标为Ⅲ类及以下的目标水域，劣Ⅴ类水按水质类别Ⅵ考虑，计算水质现状类别与水质目标类别的差值 N （若 N 小于等于 0，则判定为不超标），则预警等级为 $4-N$ 。

6.3.2 历史场景库

6.3.2.1 历史场景库用以支撑相似场景的快速查找匹配，支撑预演预案模拟对比。

6.3.2.2 历史场景库应包括洪水、突发污染事故等历史场景的场景特征、处置过程及效果、经验等内容：

a) 洪水事件场景库应包括以下内容：

1) 场景特征：包括洪水发生的时间、持续时间、降雨量、流量峰值等基本水文信息。

2) 处置过程及经验效果：包括洪水期间实施的防洪措施、水库调度策略、疏散行动等，以及这些措施的实际效果和对水质的影响。

b) 突发水污染事件场景库应包括以下内容：

1) 场景特征：包括污染事件的类型、发生时间、影响区域、污染源和污染物种类及浓度。

2) 处置过程及效果：包括应急响应措施、污染源控制、污染物清除和水质恢复措施，以及这些措施的实施效果评估记录。

6.3.3 预案管理库

6.3.3.1 应急监测预案

宜针对不同污染事件设定的应急监测方案，包括增加监测频次、监测点位和监测指标等。

6.3.3.2 应急处置预案

处置措施一般应包括启动增氧设备、投加水质净化剂、实施临时截污、启用备用水源。

紧急通知取水户停止取水，启动污染物质隔离和污染控制工程。

6.3.3.3 应急调度预案

宜结合现有的水工程调度规程，制定针对不同污染物质特性的调度策略。对于不同类型和浓度的污染物，预设具体的排水量（或水库下泄水量）和排水时间参数，优化污染物的稀释和去除效率。

7 业务功能设计

7.1 监测分析

基于监测感知体系，接入多源监测数据，实时掌握湖库水体的水动力、水质监测现状。监测分析业务模块应具有以下基本功能：

- a) 数据展示：水文、水质等监测数据查询与可视化展示等。
- b) 数据统计与分析：水质类别、入库污染负荷、综合营养指数、综合污染指数、报表分析等。
- c) 业务管理：监测站网管理、实验室管理、监测设备管理、质量控制管理、运行维护管理等。

7.2 预报

通过动态获取入湖（库）河流实时流量、水质、坝（闸）前水位、出湖（库）流量等监测数据，自动调用模型库中水动力水质模型，开展湖（库）水体水质在线模拟计算，展示湖（库）水体关键水质指标浓度场的实时演进过程。水质预报业务模块应具有以下基本功能：

- a) 时间尺度预报
 - 1) 短期预报：预测未来 1-2 天内的水质变化。
 - 2) 中期预报：提供未来 3-7 天内的水质趋势分析。
 - 3) 长期预报：预测未来一个月以上的水质状况。
- b) 空间范围预报
 - 1) 点位预测：利用数据驱动模型，结合各监测站点的历史和实时数据，预测特定监测点的水质变化。
 - 2) 区域预测：通过调用机理模型，进行湖（库）全域的水质指标浓度场分布及变化趋势的模拟推演。

7.3 预警

结合水质实时监测及预报成果，评估水质要素超标风险，按照预警管理办法及时发布预警信息。水质预警业务模块应具有以下基本功能：

- a) 监测告警。基于实时监测数据，结合告警规则和阈值，设置监测站点超标个数、超标占比、超标指标、水质级别、水质级别占比、告警等级、告警断面位置等分析展示功能。
- b) 预测预警。基于水质模型计算结果，结合预警规则和阈值，设置水质超标面积、超标占比、超标指标、预警等级、预警区域位置等分析展示功能。
- c) 预警发布。按照红橙黄三级，确定预警信息内容，可通过短信、APP、平台等形式发布预警信息。

7.4 预演

基于水环境机理模型，推演典型情景下目标水体水质状况。水质预演业务模块应具有以下基本功能：

a) 预演方案设置。通过自定义设置污染事件的发生地点、时间、排放方式、污染类型等，快速构建突发污染模拟场景。

b) 预演仿真。结合三维可视化全景仿真和流场、浓度场渲染技术，模拟不同位置发生突发水污染事故、不同浓度污染团在水体中的输移扩散过程。

c) 预演结果分析。分析污染物扩散方向、速度、影响范围及程度，提供关键点位受污染影响程度研判等功能。

7.5 预案

水质预案管理包括应急监测管理、应急处置管理。水质预案业务模块应具有以下基本功能：

7.5.1 应急监测管理

a) 应急监测方案自动生成：依托突发水污染预演业务，结合水质预案库，自动生成应急监测方案，包括应急监测时间、监测指标、监测频次等，并支持方案的编辑调整。

b) 方案导出和 APP 联动：提供以 kml、文档等方式对方案进行导出，并与水质巡检 APP 进行联动，指导现场人员执行应急监测方案。

7.5.2 应急处置管理

a) 污染拦蓄：对污染物进行拦河坝、橡胶坝等拦蓄工程的模拟设置，模拟拦蓄对污染物的阻拦效果。

b) 污染削减：针对不同的污染源，提供不同水质净化絮凝剂投放方案设置，定量模拟评估处置效果。

c) 应急调度：提供水工程联合调度设置方案，定量模拟评估应急调度实施后的处置效果。

d) 方案对比：提供多种方案的效果对比，提出应急决策方案建议。

附录 A
(规范性)
湖库水环境专业模型

A.1 水环境评价模型

A.1.1 模型分类

(1) 水质评价模型

- ①单因子评价法
- ②综合污染指数法
- ③内梅罗指数法

(2) 综合营养状态指数法

(3) 水环境容量分析模型

A.1.2 模型构建基本步骤

- ①收集基础资料：收集区域范围、水文气象、水质等监测数据。
- ②模型计算：模型读取输入文件进行计算。
- ③分析评价结果输出：根据模型计算结果，开展分析评价。
- ④模型输入：水质指标浓度监测数据及水文气象等监测数据。
- ⑤模型输出：水质类别、超标倍数、综合污染指数、营养状态指数等评价指标。

A.1.3 模型选择要求

- ① 目标水体单个点位的水质类别评价宜采用单因子评价法，评价方法应符合GB 3838要求。
- ② 目标水体水质污染情况综合评价宜采用综合污染指数法或内梅罗指数法。
- ③ 目标水体富营养化程度评价宜采用综合营养状态指数评价模型。
- ④ 定量核算目标水体的水环境容量和纳污能力宜采用水环境容量分析模型。

A.2 水环境机理模型

A.2.1 水动力水质模型

水动力水质模型应用于模拟湖库与入湖(库)河流水体氮磷等主要水质指标浓度时空变化。通过输入水下地形数据、水文数据、气象数据、水质数据、污染源数据等，基于水流运动理论、物质在水体中迁移扩散原理，模拟输出目标水体全域全时刻污染物浓度分布及变化过程。

A.2.1.1 模型分类

(1) 零维模型

①河流均匀混合模型：

$$C = \frac{C_p Q_p + C_h Q_h}{Q_p + Q_h} \quad (A.1)$$

式中：

C ——污染物浓度，mg/L；

C_p ——污染物排放浓度，mg/L；

C_h ——河流上游污染物浓度，mg/L；

Q_p ——污水排放量，m³/s；

Q_h ——河流流量，m³/s；

②湖库均匀混合模型

$$V \frac{dC}{dt} = W - QC + f(C)V \quad (A.2)$$

式中:

V ——水体体积, m^3 ;

t ——时间, s ;

W ——单位时间污染物排放量, g/s ;

Q ——水量平衡时流入与流出湖(库)的流量, m^3/s ;

$f(C)$ ——生化反应项, $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$;

其余符号意义同前。

(2) 一维模型

①水动力数学模型基本方程:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\delta z}{\delta x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

式中:

Q ——断面流量, m^3/s ;

q ——单位河长的旁侧入流, m^2/s ;

A ——断面面积, m^2 ;

Z ——断面水位, m ;

C ——谢才系数, m ;

n ——河道糙率;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

x ——笛卡尔坐标系X向的坐标, m ;

其余符号意义同前。

②水温数学模型基本方程:

$$\frac{\partial(AT)}{\partial t} + \frac{\partial(uAT)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_{tx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + qT_L + \frac{BS}{\rho C_p} \quad (\text{A.4})$$

式中:

T ——水温, $^{\circ}\text{C}$ 。

E_{tx} ——水温纵向扩散系数, m^2/s ;

S_T ——温度源项, $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{s}$;

T_L ——旁侧出入流(源汇项)水温, $^{\circ}\text{C}$;

ρ ——水体密度, kg/m^3 ;

C_p ——水的比热, $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

S ——表面积净热交换通量, W/m^2 ;

其余符号意义同前。

③水质数学模型的基本方程:

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(QC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AE_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + Af(C) + qC_L \quad (A.5)$$

式中:

E_x ——污染物纵向扩散系数, m^2/s ;

C_L ——旁侧出入流(源汇项)污染物浓度, mg/L ;

其余符号意义同前。

(3) 二维模型

1) 平面二维基本方程

①水动力数学模型基本方程为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} &= hS \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -g \frac{\partial(h+z_b)}{\partial x} + fv - \frac{g}{C_z^2} \cdot \frac{\sqrt{u^2+v^2}}{h} u + \frac{\tau_x}{\rho h} + A_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -g \frac{\partial(h+z_b)}{\partial y} - fu - \frac{g}{C_z^2} \cdot \frac{\sqrt{u^2+v^2}}{h} v + \frac{\tau_{sy}}{\rho h} + A_m \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (A.6)$$

式中:

u ——对应于x轴的平均流速分量, m/s ;

v ——对应于y轴的平均流速分量, m/s ;

z_b ——河底高程, m ;

f ——科氏系数, $f=2\Omega \sin$, $1/s$;

C_z ——谢才系数, $m^{1/2}/s$;

τ_{sx} 、 τ_{sy} ——分别为水面上的风应力, $\tau_{sx} = r^2 \rho_a w^2 \sin \alpha$, $\tau_{sy} = r^2 \rho_a w^2 \cos \alpha$, r^2 为风应力系数, ρ_a 为空气密度, kg/m^3 , w 为风速, m/s , α 为风方向角;

A_m ——水平涡动粘滞系数, m^2/s ;

x ——笛卡尔坐标系X向的坐标, m ;

y ——笛卡尔坐标系Y向的坐标, m ;

S ——源(汇)项, s^{-1} ;

其余符号意义同前。

②水温数学模型的基本方程:

$$\frac{\partial(hT)}{\partial t} + \frac{\partial(uhT)}{\partial x} + \frac{\partial(vhT)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E_{tx} h \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_{ty} h \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{S_\phi}{\rho C_p} + hST_s \quad (4.7)$$

式中:

E_{tx} ——水温纵向扩散系数, m^2/s ;

E_{ty} ——水温横向扩散系数, m^2/s ;

S_ϕ ——水流界面净获得的热交换通量, 表示水流与外界(太阳、空气、河道边界)之间的热交换量, $J/(m^2 \cdot s)$;

T_s ——源(汇)项温度, $^\circ C$;

其余符号意义同前。

③水质数学模型的基本方程:

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(uhC)}{\partial x} + \frac{\partial(vhC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y h \frac{\partial C}{\partial y} \right) + hf(C) + hSC_s \quad (4.8)$$

式中:

C_s ——源(汇)项污染物浓度, mg/L ;

其余符号意义同前。

2) 立面二维数学模型水动力数学模型的基本方程

①水动力数学模型基本方程为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(Bu)}{\partial x} + \frac{\partial(Bv)}{\partial z} &= Bq \\ \frac{\partial(Bu)}{\partial t} + \frac{\partial(Bu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(Bvu)}{\partial z} + \frac{B}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(BA_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(BA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \frac{\tau_{wx}}{\rho} \\ \frac{\partial P}{\partial z} + \rho g &= 0 \end{aligned} \quad (4.9)$$

式中:

P ——压力, Pa;

A_h ——水平方向的涡粘性系数, m^2/s ;

A_z ——垂直方向的涡粘性系数, m^2/s ;

τ_{wx} ——边壁阻力, N;

q ——旁侧出入流(源汇项), $1/s$;

其余符号意义同前。

②水温数学模型的基本方程:

$$\frac{\partial(BT)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (BuT) + \frac{\partial}{\partial z} (BwT) = \frac{\partial}{\partial x} \left(BE_{tx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(BE_{tz} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial(B\Phi)}{\partial z} + BqT_L \quad (4.10)$$

③水质数学模型的基本方程:

$$\frac{\partial(BC)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (BuC) + \frac{\partial}{\partial z} (BwC) = \frac{\partial}{\partial x} \left(BE_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(BE_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + BqC_L + Bf(C) \quad (4.11)$$

(4) 三维模型水动力数学模型的基本方程

①水动力数学模型基本方程为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= S \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) + 2\theta v \sin \phi + Su_s \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) - 2\theta u \sin \phi + Sv_s \\ \frac{\partial P}{\partial z} + \rho g &= 0 \end{aligned} \quad (4.12)$$

式中:

θ ——地球自转角速度, ω/s ;

ϕ ——当地纬度, $^\circ$;

其余符号意义同前。

②水温数学模型的基本方程:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(uT)}{\partial x} + \frac{\partial(vT)}{\partial y} + \frac{\partial(wT)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E_u \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_u \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(E_u \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{q_r}{\rho C_p} + ST_s \quad (4.13)$$

③水质数学模型的基本方程:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} + \frac{\partial(vC)}{\partial y} + \frac{\partial(wC)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(E_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + SC_s + f(C) \quad (4.14)$$

A.2.2.2 模型构建基本步骤

- ①数据收集：收集目标水域的地形、水文、气象、水质等数据。
- ②网格划分：对模型水域进行划分，可采用结构化网格（矩形网格、正交曲线网格）、非结构化网格（三角网格）。
- ③初始条件输入：确定模型计算初始时刻的状态值（初始时刻的流场、水质浓度场）。
- ④边界条件输入：输入模型计算所需的边界条件，如入湖（库）流量边界、入湖（库）污染浓度边界、出湖（库）流量边界、湖泊（水库）水位边界等。
- ⑤模型参数设置：对模型的参数进行设置，如糙率、衰减系数等。
- ⑥模型率定验证：采用实测数据对模型开展参数率定和验证工作。
- ⑦模型输入：水下地形、水文、气象、水质、污染源、水工程调度等。
- ⑧模型输出：湖泊（水库）流场与水质浓度场分布及变化趋势。

A.1.3 突发水污染模型

突发水污染模型用于对突发水污染事故污染团浓度扩散过程及运动轨迹进行模拟。

A.1.3.1 模型分类

①突发水污染快速预测模型是基于水动力水质模型，实现湖（库）区和入湖（库）支流任意位置发生的突发水污染事故污染团浓度扩散过程模拟。

②污染粒子轨迹示踪模型是在突发水污染快速预测模型的基础上，通过拉格朗日质子示踪算法，进行时序粒子轨迹跟踪，模拟污染团或污染粒子迁移路径。

A.1.3.2 模型构建基本步骤：

a) 突发水污染快速预测模型

- ①数据收集：收集目标水域的地形、水文、气象、水质、污染源等数据。
- ②网格划分：对模型水域进行划分，可采用结构化网格（矩形网格、正交曲线网格）、非结构化网格（三角网格）。
- ③初始条件输入：确定模型计算初始时刻的状态值（初始时刻的流场、水质浓度场）。
- ④边界条件输入：输入模型计算所需的边界条件，如污染源位置与污染释放过程输入、出入湖（库）流量、湖库运行水位边界等。
- ⑤模型参数设置：对模型的参数进行设置，如糙率、衰减系数等。
- ⑥模型率定验证：采用实测数据（应急监测数据）对模型开展参数率定和验证工作。
- ⑦模型输入：水下地形、水文、气象、水质、污染源、水工程调度等。
- ⑧模型输出：污染物扩散过程及浓度分布变化。

b) 污染粒子轨迹示踪模型

- ①数据收集：收集目标水域的地形、水文、气象、水质、污染源等数据。
- ②网格划分：对模型水域进行划分，可采用结构化网格（矩形网格、正交曲线网格）、非结构化网格（三角网格）。
- ③初始条件输入：确定模型计算初始时刻的状态值（初始时刻的流场、水质浓度场）。
- ④边界条件输入：输入模型计算所需的边界条件，出入湖（库）流量、湖库水位边界等。
- ⑤模型参数设置：对模型的参数进行设置，如糙率、衰减系数等。
- ⑥粒子投放设置：根据研究对象以及收集的资料，在研究位置投放合适的粒子数量。
- ⑦模型输入：水下地形、水文、气象、污染物粒子位置及数量、工程调度等。
- ⑧模型输出：模拟对象的水动力场以及污染运移轨迹和沉降特征。

A.2 数据驱动模型

A.2.1 模型分类

分为机器学习模型和深度学习模型。

机器学习模型包括多元线性回归、门限回归、逐步回归、多元逐步回归、支持向量机、随机森林回归、梯度提升回归、均生函数等模型。

深度学习模型包括反馈神经网络(BP)、递归神经网络(RNN)、长短期记忆网络(LSTM)、门限循环网络(GRU)、广义回归神经网络(GRNN)等模型。

A.2.2 模型构建基本步骤

①数据收集：收集目标水域的水文、气象、水质监测数据。②数据归一化处理：对原始数据进行标准化归一化处理。

③训练样本构建：准备模型训练样本。

④预报模型构建：选择和构建适合的预报模型。

⑤模型训练及参数调整：对模型进行训练，调整模型参数，使其能够更好地适应数据。

⑥基于模型进行预报：采用训练后的模型，开展预报作业。

⑦模型输入：目标水域的水文（包括水位、流量、流向）、气象（包括气温、降水、光照、风力风向）、水质监测数据等长序列历史监测数据和实时监测数据。

⑧模型输出：典型监测断面/点位的水质浓度变化趋势。

A.3 智能识别模型

A.3.1 模型分类

①视频图像智能识别模型

视频图像智能识别模型通过构建多层网络，自动学习得到数据内部关系，提取图像重要特征，抽取关键信息，实现水面漂浮物、排污口排污、水体颜色异常、突发水污染、水华暴发等水质信息智能识别。模型主要算法包括DBN、DFN、CNN、RNN等，模型精度参照《数字孪生流域建设技术大纲》执行。

②水质遥感反演模型。

水质遥感反演模型基于卫星或无人机遥感影像，根据电磁波产生的遥感影像特征，结合地面监测数据或地物特征，训练智能反演模型，实现常规水质指标、面源污染、土地分布、排污口分布等反演功能，适用于时间、空间维度上水质流域分析、水质动态分析、污染成因溯源等。

A.3.2 模型构建基本步骤

①模型构建：图像或影像数据收集、标注，模型参数设置，模型训练，基于模型进行识别。

②模型输入：图像数据集、图像标注信息文件。

③模型输出：目标物像素位置、大小、种类等信息。

A.4 可视化模型

A.4.1 模型分类

①流场仿真模型。对水动力模拟数据进行信息筛选，抽取用于流场构建的信息要素，对提取的流场仿真信息进行分类表达，运用箭头、分级设色、粒子动画等方式呈现某一时刻流场的渲染效果。

②水质浓度场仿真模型。引入标量场（浓度场）在地理场景中的时序动态可视化算法，实现湖库主要关键水质指标浓度场二三维渲染展示。

A.4.2 模型构建基本步骤

①数据处理与转换：对水动力水质模拟计算结果按照规定的格式进行标准化转化。

②信息渲染与表达：将标准化数据输入仿真模型，实现流场与水质浓度的可视化表达。

③三维动态推演仿真：以动画形式实现流场与水质浓度场的三维动态推演仿真。

④模型输入：水动力水质模型的计算结果。

⑤模型输出：目标水体流场与浓度场的二三维仿真信息。

