

ICS

T/GXDSL

团体标准

T/GXDSL 308—2025

水资源调度模型构建与验证技术标准

Technical Standard for Water Resource Dispatch Model Construction and Verification

征求意见稿

2025 - - 发布

2025 - - 实施

广西电子商务企业联合会 发布

目 次

前 言 II

一、引言 1

二、范围 1

三、规范性引用文件 1

四、术语和定义 1

五、基本原则 3

六、模型构建通用要求 3

七、模型构建技术流程 3

八、数据采集与处理要求 4

九、模型验证与不确定性分析 4

十、模型应用与评估 5

十一、成果报告与文档管理 5

前 言

本文件依据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。

本文件由广西产学研科学研究院提出。

本文件由广西电子商务企业联合会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

水资源调度模型构建与验证技术标准

一、引言

在全球气候变化加剧和经济社会快速发展的双重压力下,水资源时空分布不均与供需矛盾日益突出,科学合理的水资源调度已成为保障区域水安全、支撑经济社会可持续发展、维护生态系统健康的关键技术手段。广西作为我国南方丰水地区,降水时空分布不均、岩溶地貌发育、季节性干旱与洪涝灾害并存,水资源调度面临复杂挑战。构建科学可靠的水资源调度模型,对于优化区域水资源配置、应对极端水文事件、支撑流域综合管理具有重大现实意义。然而,当前水资源调度模型在构建过程中存在理论基础不统一、数据标准不规范、参数率定随意、验证方法不完善、应用评估缺乏系统标准等问题,制约了模型决策支持的准确性和可靠性。为规范广西水资源调度模型的构建、验证与应用流程,提升模型技术的科学性与实用性,广西产学研科学研究院依据国家水资源管理相关法规与技术标准,结合广西喀斯特地貌、季节性丰枯变化、多目标用水竞争等区域特征,组织研制本技术标准。本标准的制定旨在为水资源调度模型的开发、验证、应用与评估提供统一的技术框架与操作规范,增强模型成果的可靠性、可比性与可移植性,为广西水资源优化调度与精细化管理提供标准化技术支撑。

二、范围

本标准规定了水资源调度模型构建与验证的术语和定义、基本原则、模型构建通用要求、模型构建技术流程、数据采集与处理要求、模型验证与不确定性分析、模型应用与评估以及成果报告与文档管理等方面的技术要求。本标准适用于广西壮族自治区内江河流域、区域、灌区、水库群、城市供水系统等水资源系统的调度模型的构建、验证与应用活动。水文模型、水质模型、地下水模型等相关模型的构建与验证可参照本标准执行。本标准可供政府部门、科研机构、规划设计单位及水资源管理相关企业在开展水资源调度模拟与决策支持系统开发时使用。

三、规范性引用文件

下列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/T 50095-2014 水文基本术语和符号标准
GB/T 22482-2008 水文情报预报规范
SL/T 278-2020 水资源评价导则
SL/T 341-2021 水文资料整编规范
SL/T 427-2021 水资源监控设备技术条件
SL/T 810-2021 水资源调度模型构建技术指南
GB/T 30944-2022 水文仪器可靠性技术要求
《中华人民共和国水法》(2016年7月2日修正)
《水资源调度管理办法》(水利部令第42号,2021年)
《广西壮族自治区水资源管理条例》(2020年修订)

四、术语和定义

GB/T 50095-2014、SL/T 810-2021 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

（一）水资源调度模型

基于水循环机理、系统动力学原理及运筹学方法，模拟和预测水资源系统在自然驱动力和人工调控作用下，其状态（如水位、流量、蓄量、水质）演变过程，并用于优化水资源配置与调度决策的计算机模拟工具。

（二）概念性模型

对实际水资源系统进行简化与抽象，通过一系列物理概念（如水库、河道、渠道、用水户、节点、连线）及其相互关系来描述系统结构与功能逻辑的模型表达形式。

（三）数学模型

在概念性模型基础上，用数学方程（组）或算法描述系统中各要素的状态变化及其相互作用的定量关系。

（四）模型参数

数学模型中需要根据实际系统特征或观测数据确定的系数或常数，用于反映系统的物理属性或经验关系。

（五）模型率定

利用历史观测数据，通过调整模型参数，使模型模拟结果与观测数据在允许误差范围内达到最佳拟合的过程。

（六）模型验证

使用独立于率定期数据的另一套观测数据（验证期数据），对已率定模型进行模拟测试，评估模型在未经率定数据上的模拟精度与可靠性的过程。

（七）不确定性分析

对模型输入数据、参数、结构及模拟结果中存在的各种不确定性来源、传播及影响程度进行识别、量化与评估的系统性方法。

（八）调度方案

基于模型模拟与优化分析，提出的关于水库泄流、闸门启闭、引调水工程运行等具体操作指令的时空安排计划。

（九）模型灵敏度

模型输出结果对输入数据或参数变化的响应程度。

（十）情景分析

通过设定不同的边界条件（如气候变化情景、经济社会发展情景、工程调度规则等），运用模型模拟分析未来可能出现的不同状况及其影响。

五、基本原则

水资源调度模型构建与验证应遵循以下基本原则：科学性原理，模型构建应以水文学、水动力学、水资源学等科学理论为基础，模型结构应能合理反映实际水资源系统的物理本质和关键过程。实用性目标，模型应面向具体的管理决策需求，如防洪调度、供水保障、生态补水、发电优化等，确保模型输出能有效支撑调度方案的制定与比选。系统性完整，模型应能完整表征所研究水资源系统的边界、组成要素（水源、工程、用户）、相互联系及主要约束条件，形成有机整体。可靠性核心，必须通过严格的数据质量控制、合理的参数率定、独立的模型验证及系统的不确定性分析，确保模型模拟结果具有可信度。透明性与可重复，模型结构、算法、参数、输入输出数据应清晰、完整地文档化，确保建模过程与结果可被第三方审查、理解和重复。适应性灵活，模型应具备一定的灵活性和扩展性，能够适应数据更新、系统变化（如新建工程）和不同分析场景的需求。规范性操作，模型构建、验证、应用的全过程应遵循本标准规定的技术流程与质量要求，确保工作的规范性与成果的可比性。

六、模型构建通用要求

在启动模型构建前，应明确模型的应用目标与具体任务，如长期水资源配置模拟、短期实时洪水调度、多目标优化调度等。根据目标任务，确定模型的时空尺度与分辨率。时间尺度可根据需求选择年、月、旬、日或更小步长；空间尺度应能清晰反映主要水源地、水利工程、重要控制断面、用水分区等关键节点的水情变化。应详细分析研究对象水资源系统的特性，包括：流域水系拓扑结构；主要水源类型（地表水、地下水、外调水等）及其相互转化关系；重要水利工程（水库、水闸、泵站、引调水工程）的分布、特征参数与调度规则；各类用水户（生活、工业、农业、生态等）的时空分布、需水规律及优先级；系统的主要约束条件，如工程能力约束、河道安全泄量约束、最小生态流量约束、政策法规约束等。应选择或开发与系统特性和应用目标相匹配的模型方法。对于水库群联合调度，可采用系统模拟模型（如水量平衡模型、水库调度模拟模型）或优化模型（如线性规划、动态规划、遗传算法等）；对于河道水动力过程模拟，可采用水力学模型（如一维、二维圣维南方程组求解）。鼓励采用成熟、经过广泛验证的模型平台或软件。

七、模型构建技术流程

模型构建应遵循系统化、结构化的技术流程。首先是问题定义与系统分析阶段，明确调度需求、决策目标、关注重点与约束条件，完成对研究对象水资源系统的详细调查与分析，绘制系统网络拓扑图，梳理水量平衡关系与调度逻辑。其次是概念模型建立阶段，基于系统分析，将实际系统抽象为由节点（如水库节点、分水节点、用水节点、汇流节点）、连线（如自然河道、人工渠道、输水管线）以及规则（如水库调度规则、分水规则、用水优先序）组成的系统网络图。定义各要素的属性与变量。第三是数学模

型构建阶段，为概念模型中的各类要素建立数学描述。包括：水源模块（如降水径流模型、地下水补给模型、外调水模型）；工程模块（水库水量平衡方程、泄流能力曲线、闸泵过流公式）；传输模块（河道演算、渠道输水损失计算）；用水模块（各类需水预测模型、耗水计算）；调度规则模块（以逻辑判断或数学表达式描述既定调度规则或优化目标函数）；系统耦合与求解算法（如模拟模型的顺序计算逻辑，优化模型的求解算法）。第四是数据准备与处理阶段，根据模型需求，全面收集、整理、处理与验证所需各类数据（见第7章）。第五是模型参数率定阶段，选择合适的率定期，利用该时段的历史观测数据（如入库流量、出库流量、水位、用水量等），通过手动调整或自动优化算法（如SCE-UA算法、遗传算法），确定模型关键参数的最优取值，使模拟结果与观测值的误差最小化。率定需使用恰当的目标准则（如纳什效率系数NSE、水量平衡误差、确定性系数等）进行评估。第六是模型验证阶段，选择独立于率定期的另一个时段（验证期），使用已率定参数的模型进行模拟，将模拟结果与验证期观测数据进行比较，评估模型的泛化能力和可靠性。第七是模型应用与分析阶段，利用验证后的模型，进行历史调度复盘分析、未来情景模拟、调度方案制定与比选、调度规则优化等应用研究。最后是模型维护与更新阶段，随着数据积累、系统变化或需求更新，适时对模型进行修正、率定和再验证。

八、数据采集与处理要求

高质量的数据是模型可靠性的基础。应根据模型构建需求，制定详细的数据清单与采集方案。所需数据通常包括：基础地理数据（流域边界、水系、地形、土地利用/覆被）；水文气象数据（长系列降水、蒸发、气温、径流、水位等观测数据，时间分辨率应满足模型步长要求，如日数据）；工程数据（水库的特征水位、库容曲线、泄流能力曲线、调度规程；水闸泵站的规模与设计参数；渠道/管线的输水能力与损失系数）；用水数据（历史分行业、分区域、分时段的取用水量、耗水量数据；现状与规划的需求预测数据）；生态与环境数据（重要生态敏感区的分布、生态流量（水位）要求、水质目标）；社会经济数据（人口、GDP、产业结构、灌溉面积等）。数据来源应可靠，优先采用国家基本水文站网、水资源监控体系、统计年鉴等官方数据。对收集到的原始数据必须进行严格的质量控制，包括：完整性检查（填补缺测值需说明方法，如线性插值、邻近站相关分析）；一致性检查（消除系统误差或单位不一致）；合理性检查（识别并剔除明显不合理或超出物理可能范围的异常值）。所有数据处理步骤应有明确记录。数据应按照SL/T 341等规范进行整编，形成结构化的模型输入数据集，并建立元数据文档，说明数据的来源、时段、处理方法、精度等信息。对于用于模型率定和验证的水文序列，应进行代表性、一致性、可靠性分析。在岩溶地区，需特别注意地下水与地表水交换量的估算与数据获取。

九、模型验证与不确定性分析

模型验证是评价模型性能的关键环节。验证期应独立于率定期，且具有足够的长度和代表性，一般不少于3-5年，应包含丰、平、枯不同水文年型。验证内容应包括水量平衡验证（模拟期总进水量与总出水量、蓄变量之间的闭合误差应在可接受范围内，如相对误差小于 $\pm 5\%$ ）和过程线拟合验证。过程线验证应使用多种统计指标进行定量评估，主要评估指标及其一般要求可包括：纳什效率系数（NSE），用于径流模拟时，NSE大于0.7通常认为模型性能“良好”，大于0.8为“非常好”，对于水库水位模拟可适当放宽；水量平衡误差（WBE），绝对值应小于 $\pm 5\%$ ；确定性系数（ R^2 ），应大于0.8；峰现时间误差，一般不超过一个计算时间步长；洪峰流量相对误差，宜小于 $\pm 15\%$ 。除定量指标外，还应通过过程线叠加图进行直观的定性比较，分析模拟与实测过程在峰型、涨落趋势、基流等方面的吻合程度。对于多目标调度模型，还需对供水满足率、生态流量保证率、发电量等调度目标的模拟结果进行验证。必须进行系统的不确定性分析，以了解模型结果的可靠程度。不确定性来源主要包括：输入数据不确定性（如降水、蒸发观测误差，用水数据统计误差）；参数不确定性（率定所得参数的非唯一性）；模型

结构不确定性（对物理过程的简化或错误描述）；未来情景不确定性（气候预测、经济社会发展预测的不确定性）。可采用的方法包括：参数敏感性分析，识别对输出结果影响显著的关键参数；参数不确定性分析（如 GLUE 方法、马尔可夫链蒙特卡洛方法），量化参数不确定性对模拟结果的影响范围；情景集合分析，通过输入多组可能的气象或用水情景，评估模拟结果的分布范围。不确定性分析结果应在模型报告中明确说明。

十、模型应用与评估

经验证合格的模型方可用于实际调度分析与决策支持。模型应用前，应根据具体的调度问题，设定清晰的模拟情景。情景可分为：复盘分析情景，用于复演历史调度过程，评估历史调度效果；预测预报情景，基于未来气象预报或预测，进行预泄、蓄水等前瞻性调度模拟；方案比选情景，设置不同的调度规则、工程运行模式或需求方案，模拟比较其效果；优化搜索情景，利用优化算法，在约束条件下自动寻找最优的调度策略。模型输出结果应进行全面、多维度的分析与评估。评估内容应紧扣调度目标，例如：防洪安全评估（最高水位、最大下泄流量是否超限）；供水保障评估（供水保证率、缺水程度与分布）；发电效益评估（发电量、保证出力）；生态效益评估（生态流量满足率、敏感期水位保障）；航运及其他评估。评估应采用科学的指标，如供水保证率（ $P=95\%$ ，即供水破坏年数不超过总年数的 5%）、缺水指数、生态流量达标率等。对不同调度方案进行比选时，应建立综合评价指标体系，可采用层次分析法、多目标决策方法等进行量化评判。模型应用过程中，应密切注意模型的适用边界和局限性，避免外推使用。对于重大的调度决策，建议采用多个独立模型进行交叉验证与比较分析，提高决策的稳健性。

十一、成果报告与文档管理

完整的模型构建与验证工作应形成系统化的技术成果和文档。最终成果报告应结构清晰、内容完整、论述严谨。报告内容至少应包括：项目背景与目标任务；研究区域概况与水资源系统分析；模型构建方法（模型选择、概念模型、数学模型、求解算法）；数据来源与处理；模型率定过程与结果（率定期、参数取值、率定效果评估）；模型验证过程与结果（验证期、验证指标与评估结论）；不确定性分析结果；模型应用分析（情景设置、方案模拟、结果评估与比选）；主要结论与建议；模型局限性说明。所有支撑模型运行的输入数据文件、参数文件、源程序代码（或可执行程序）、主要输出结果文件等应作为附录或独立电子文档归档保存。应建立详细的模型使用手册或说明文档，内容包括：模型安装与运行环境要求；数据输入格式说明；参数文件格式说明；操作步骤指南；常见问题解答等。所有文档（报告、数据、代码、手册等）应采用统一的版本管理，确保模型研发过程的可追溯性和成果的可复用性。文档应长期妥善保管。

本标准的实施，将有力规范广西水资源调度模型的研发与应用，提升模型成果的科学性、可靠性与实用性，为应对复杂多变的水资源挑战、实现水资源精细化管理与优化调度提供标准化、高质量的技术工具，最终服务于广西水安全保障和经济社会可持续发展。

