

附件 2

《洪水实时模拟技术规程》

(☒征求意见稿 ☐送审稿 ☐报批稿)

编制说明

主编单位： 珠江水利委员会珠江水利科学研究院

2020 年 12 月 31 日

编制说明

一、工作简况

包括任务来源、主编单位、参编单位主要工作过程、各阶段意见处理情况、主要起草人及其所做的工作等。

1、任务来源

目前洪水预报预警相关技术规范规程，例如《洪水风险图编制导则(SL 483-2017)》、《溃坝洪水模拟技术规程(SL 164-2010)》，在洪水分析方面主要集中于模型构建方法、率定验证要求、结果合理性分析要求等，尚无针对洪水实时模拟的技术标准，难以全面支撑洪灾实时预报预警工作。洪水实时模拟技术可为防汛决策提供动态、实时的洪水淹没及风险信息，是洪灾预报预警的重要手段。为规范洪水实时模拟的技术要求、技术方法和模型接口，提高洪水模拟成果的科学性、准确性、时效性和通用性，主编单位珠江水利委员会珠江水利科学研究院于2019年8月向中国水利学会申请编制本团体标准。

2、主编单位、参编单位主要工作过程

2019年8月，主编单位珠江水利委员会珠江水利科学研究院向中国水利学会提交本团体标准编制申请书；

2019年9月5-6日，中国水利学会在北京召开本团体标准立项论证会，经会议审查，专家组同意该标准立项；

2019年9月26日，中国水利学会以水学[2019]205号文批准本标准立项，同时以水学[2019]206号文征集本标准参编单位；

2019年10-11月，主编单位按照标准立项论证会审查意见，对本

标准进行了修改完善；

2019 年 12 月，主编单位先后赴中国水利水电科学研究院、中国科学院地理科学与资源研究所、长江水利委员会水文局交流调研，就洪水实时模拟技术现状、业务系统建设经验及应用情况、模型接口等方面进行了深入交流，并征集了本标准的编制建议和意见；

2020 年 1-2 月，主编单位根据交流调研情况，充分吸收各项建议和意见，对本标准进行了进一步修改完善；

2020 年 6 月 5 日，中国水利学会以水学[2020]74 号文公布了本标准候选参编单位；

2020 年 7-9 月，按照中国水利学会关于根据候选单位具体贡献情况确定是否纳入标准参编单位的指示，主编单位积极与各候选单位沟通联系，以视频会议形式就本标准内容开展了多次讨论，并对本标准进行了进一步修改完善；

2020 年 10-12 月，主编单位以“一对一”形式征集了国内相关领域多名专家的个人意见，并与各候选单位研讨标准修改方案，对本标准进行了进一步修改完善，编制完成《洪水实时模拟技术规程》（征求意见稿）。

3、各阶段意见处理情况

目前，本标准经历了立项论证会、单位交流调研、编制单位内部讨论、专家咨询等阶段，编制人员针对相关建议和意见，在充分讨论、吸收的基础上，对本标准进行了多次修改完善，各阶段意见均得到了较好的处理。其中，立项论证会建议的处理情况为：

① 标准名称修改为《洪水实时模拟技术规程》

修改情况：已修改。

② 加强调研，集思广益，把握好先进性与成熟度的平衡

修改情况：赴中国水利水电科学研究院、中国科学院地理科学与资源研究所、长江水利委员会水文局交流调研，就洪水实时模拟技术现状、业务系统建设经验及应用情况、模型接口等方面进行了深入交流，并相应地对本标准进行了修改完善。进一步，通过“一对一”形式征集了国内相关领域多名具有丰富经验的专家的个人意见，对本标准相关条文进行了进一步修改完善，充分平衡了先进性与成熟度。

4、主要起草人及其所做的工作

本标准包括总则、术语与定义、基础资料、模型及计算方法选择、洪水实时模拟模型构建、洪水实时模拟模型接口等 6 章及附录。主要起草人及其所做的工作见下表。

表 1 主要起草人及其所做工作情况表

序号	姓名	主要工作
1	陈文龙	总体负责
2	杨 芳	技术指导、沟通协调
3	胡晓张	技术负责；总则及术语与定义章节编制
4	宋利祥	洪水实时模拟模型构建章节编制
5	张金良	与相关标准的关系分析
6	吴志勇	洪水实时模拟模型构建章节编制
7	陈睿智	模型及计算方法选择章节编制
8	张 炜	洪水实时模拟模型接口章节编制
9	李 杰	基础资料章节编制
10	杨中华	模型及计算方法选择章节编制
11	刘 晋	基础资料章节编制
12	叶 磊	模型及计算方法选择章节编制
13	张 睿	洪水实时模拟模型接口章节编制
14	刘壮添	基础资料章节编制
15	王汉岗	基础资料章节编制

序号	姓名	主要工作
16	姜 宇	洪水实时模拟模型构建章节编制
17	罗秋实	洪水实时模拟模型构建章节编制
18	何 海	基础资料章节编制
19	彭 勇	基础资料章节编制
20	李肖男	模型及计算方法选择章节编制
21	窦身堂	模型及计算方法选择章节编制
22	王 明	基础资料章节编制

二、主要内容说明及来源依据

1. 技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等的论据（包括试验、统计数据）。修订类标准，还应增列新旧标准技术内容的对比情况。

① 关于一维河道模型的计算断面间距要求

本标准根据河段平均河宽设置不同的最大断面间距要求，既能保证较宽河段（河宽 $\geq 1000\text{m}$ ）的断面间距不会过大，也能保证较窄河段（河宽 $<100\text{m}$ ）的断面间距不会过小，较好的兼顾了模型精度与实测断面数量要求。

② 关于二维网格的最大尺度要求

本标准规定非建成区网格面积不应大于 0.05km^2 ，建成区网格面积不应大于 0.01km^2 ，即非建成区网格最大边长为 220m 、建成区网格最大边长为 100m （假设正方形网格），相关指标与实际经验相符，可兼顾模拟精度和计算效率。

③ 关于模型验证精度要求

本标准规定一维模型实测与计算最高水位之差小于 30cm ，与《洪水风险图编制导则(SL 483-2017)》规定的 20cm 相比，本标准的误差

允许范围较大，这是由于实时计算模型的边界条件更为复杂，影响实时计算模型精度的因素众多，故相关指标与实际情况相符。

④ 关于洪水实时模拟计算耗时控制要求

本标准规定，对于 24 小时洪水演进过程模拟，一维河道及河网模型要求在 5 分钟以内完成，二维或一维-二维耦合模型要求在 5~10 分钟以内完成。主编单位珠江水利委员会珠江水利科学研究院在西江浔江段防洪保护区、珠江三角洲网河区、东江流域重点地区防洪保护区等多个区域开展了洪水实时模拟，模型计算效率均可满足上述要求。相关指标兼顾了先进性与成熟度，是合理可行的。

2. 主要试验（或验证）的分析、综述，技术经济论证。

选取西江浔江河段防洪保护区作为研究区域，区域范围如图 1 所示。浔江河段防洪保护区涉及梧州、桂平、平南、藤县和苍梧等市（县），总面积约 1068km²，保护区内既有大量的村镇、耕地，也有人员密集、经济发达的城市。

（1）研究范围

研究范围内浔江河段集水面积在 500km² 以上的支流主要有大湟江、白沙河、蒙江、北流河。本项目一维河网模型范围包括郁江（贵港站以下）、黔江（武宣站以下）、浔江（郁浔江口至梧州），以及浔江两岸的大湟江、甘王水道、白沙河、蒙江、北流河，其余支流以点源形式进行概化。此外，模型考虑了长洲水利枢纽的调度运行，即通过闸坝概化的方式处理长洲水利枢纽调度规则。

研究范围内河道总长度约 400km，一维模型共设置了 473 个断面，

断面间距 100-1000m。结合浔江沿程 100 年一遇最高洪水位，并增加一定裕度，综合确定二维模型研究范围，共约 1500km²。采用三角形网格，网格边长控制在 20m-200m 之间，总网格数量约 30 万个。

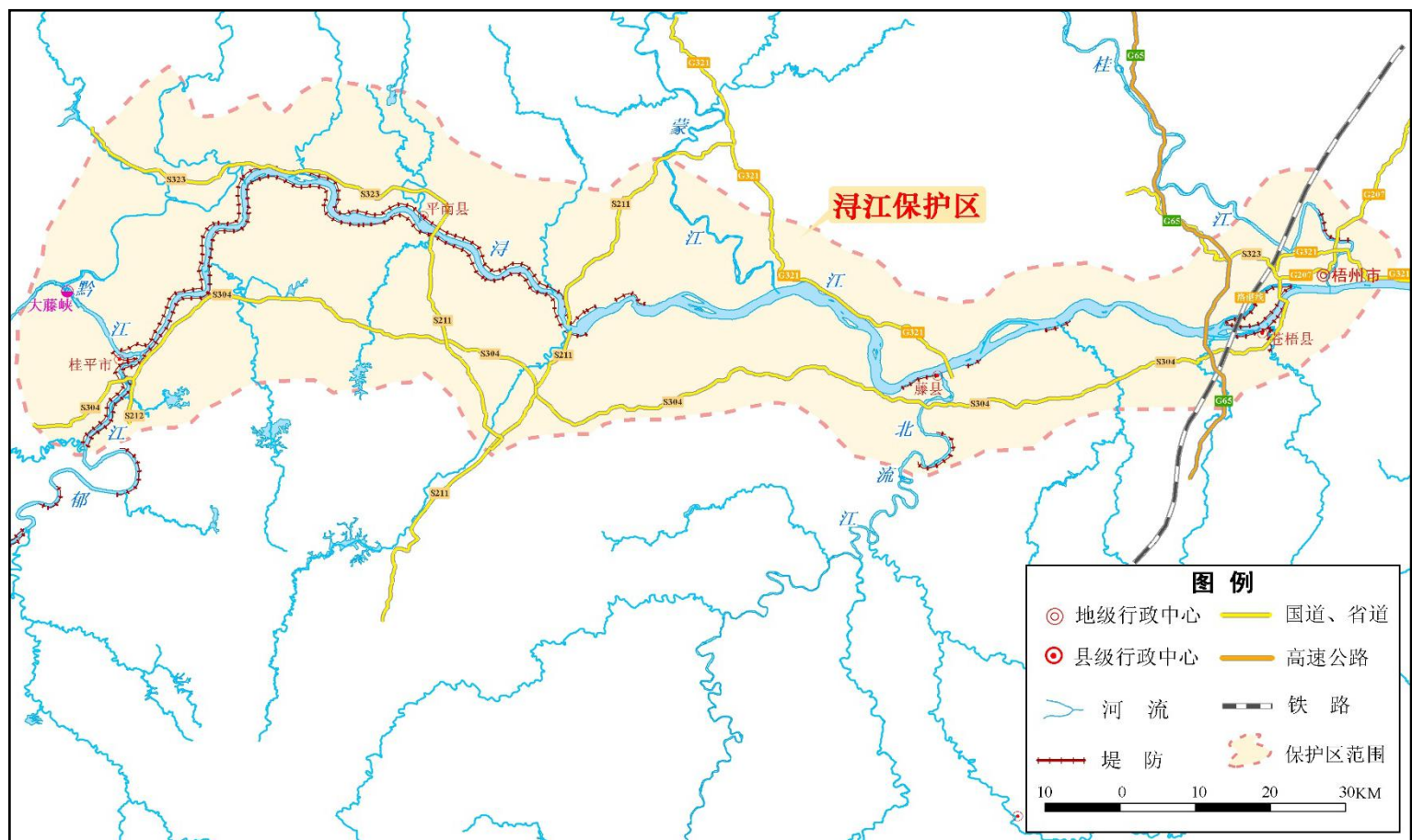


图 1 研究范围示意图

将一维-二维模型通过堤防进行侧向耦合，建立浔江河段防洪保护区漫堤及溃堤洪水演进计算模型，侧向耦合边界见图 2。

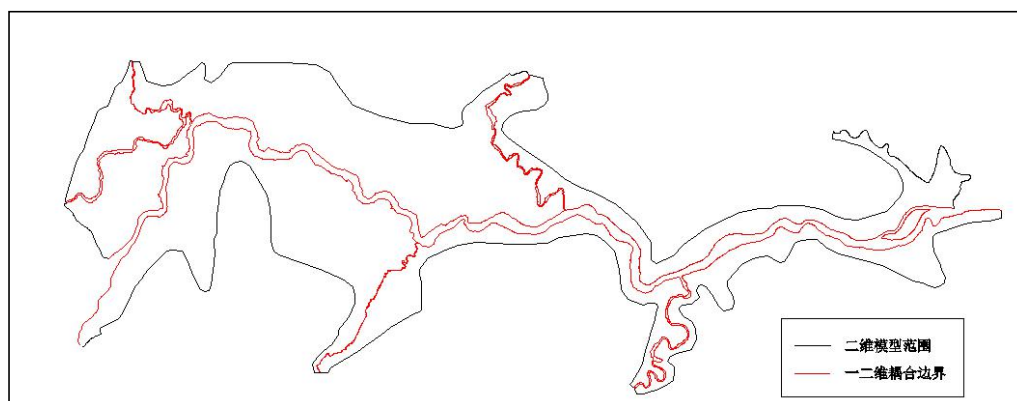


图 2 一维-二维模型耦合边界

(2) 参数率定、验证

浔江河段近 30 年来最大的洪水年份且洪水实测资料相对较全的是 1994 年、1996 年和 2005 年，大湓江口水文站最大洪峰流量分别为 $49100\text{m}^3/\text{s}$ 、 $46849\text{m}^3/\text{s}$ 和 $41800\text{m}^3/\text{s}$ ，约相当于 20~30 年一遇设计洪峰流量。因此选用该三个场次的洪水进行率定和验证较具有代表性。本次模型计算选用 1996 年洪水进行率定，采用率定参数对 1994 年、2005 年洪水进行验证。

① 率定结果

1996 年洪水参数率定结果见图 3。

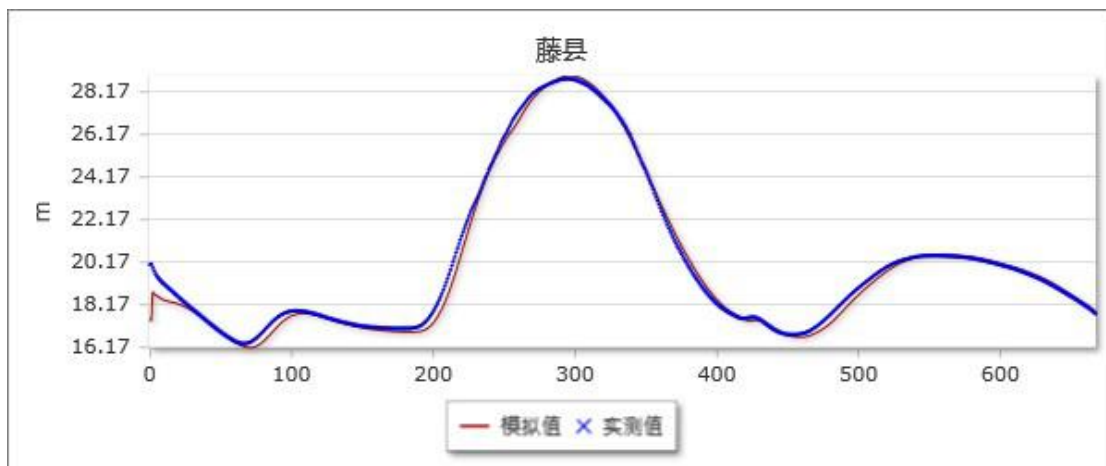


图 3(a) 1996 年洪水藤县水位率定结果

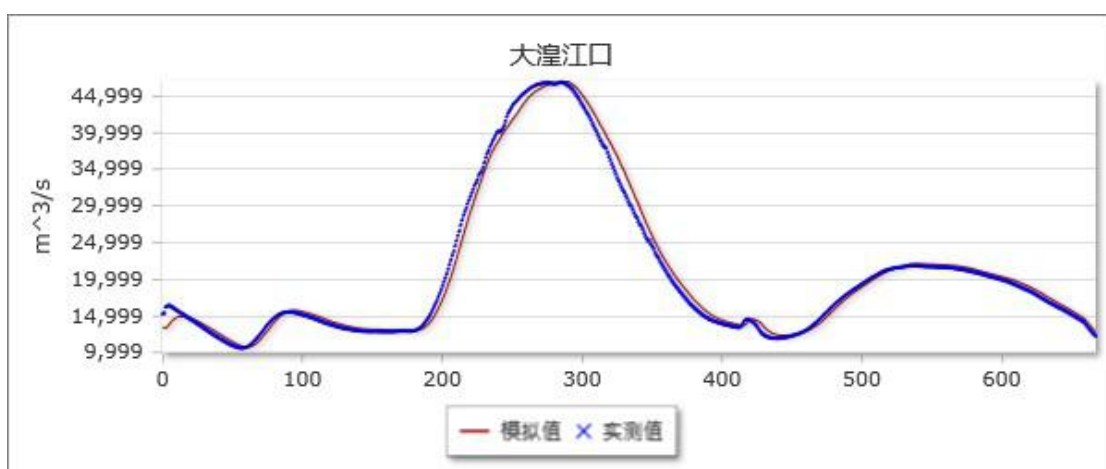


图 3(b) 1996 年洪水大湟江口流量率定结果

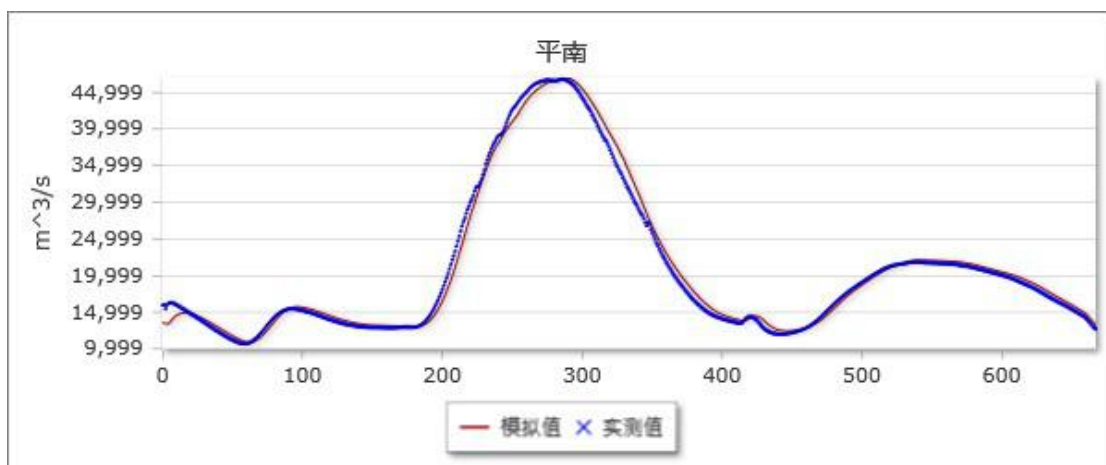


图 3(c) 1996 年洪水平南流量率定结果

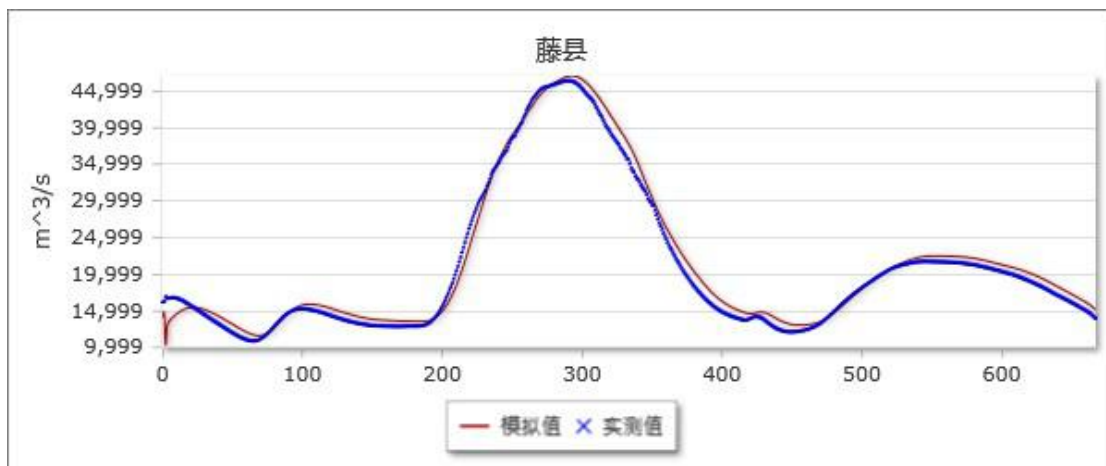


图 3(d) 1996 年洪水藤县流量率定结果

② 模型验证

参数率定后,采用 1994 年洪水和 2005 年洪水进行模型验证。1994 年洪水验证结果见图 4, 2005 年洪水验证结果见图 5。验证结果表明: 实测与计算最高水位之差小于 30cm; 实测与计算最大流量相对误差小于 10%; 实测与计算最大 1d、3d 和 7d 洪量相对误差小于 5%; 实测与计算洪水过程相位差小于洪水历时 5%, 同时相位差应小于 1h。综上,模型精度满足要求。

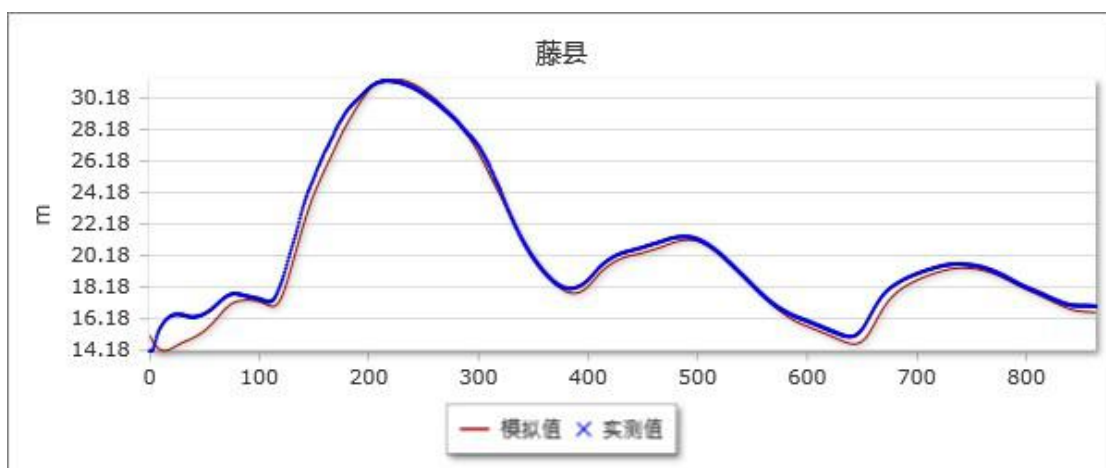


图 4(a) 1994 年洪水藤县水位验证结果

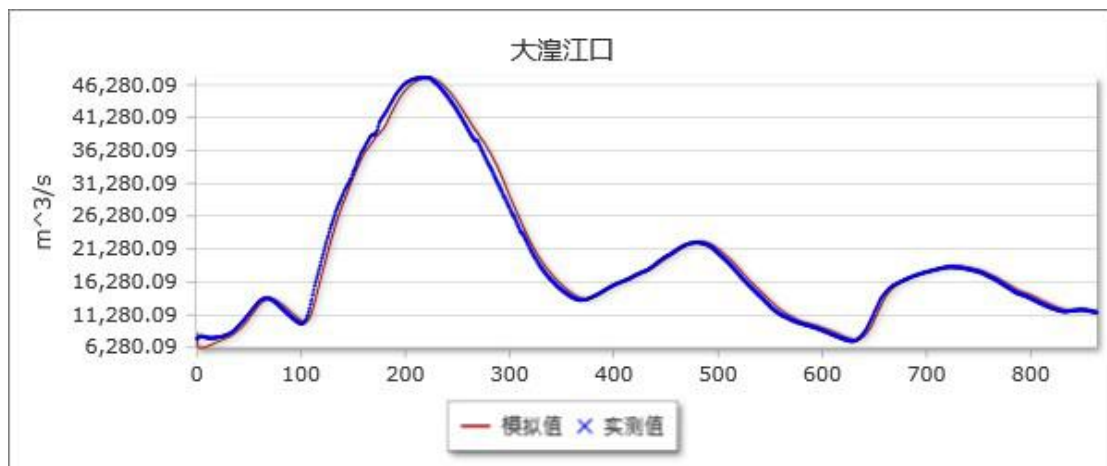


图 4(b) 1994 年洪水大湟江口流量验证结果

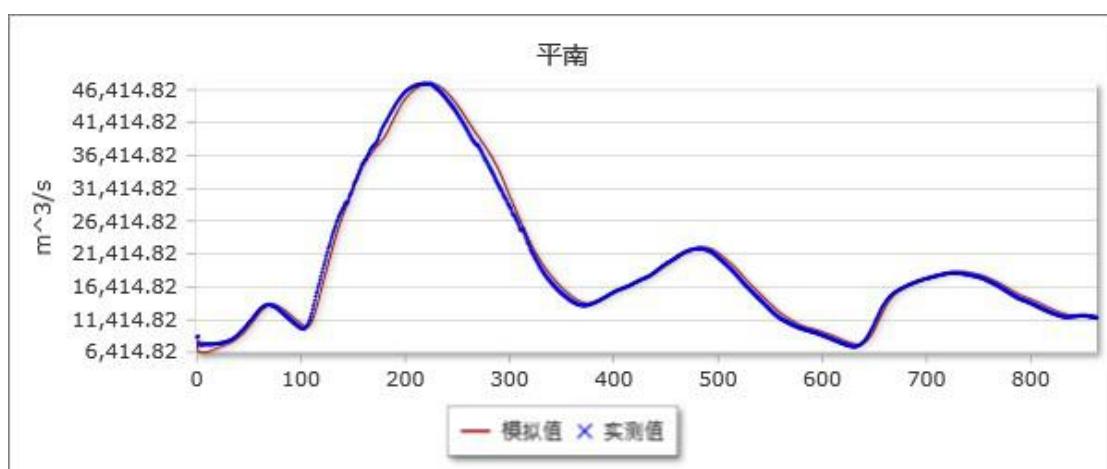


图 4(c) 1994 年洪水平南流量验证结果

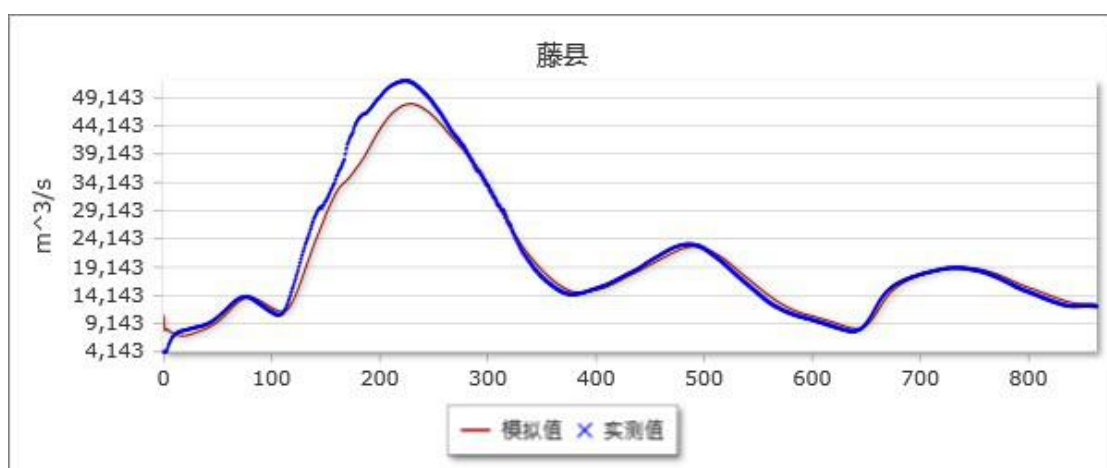


图 4(d) 1994 年洪水藤县流量验证结果

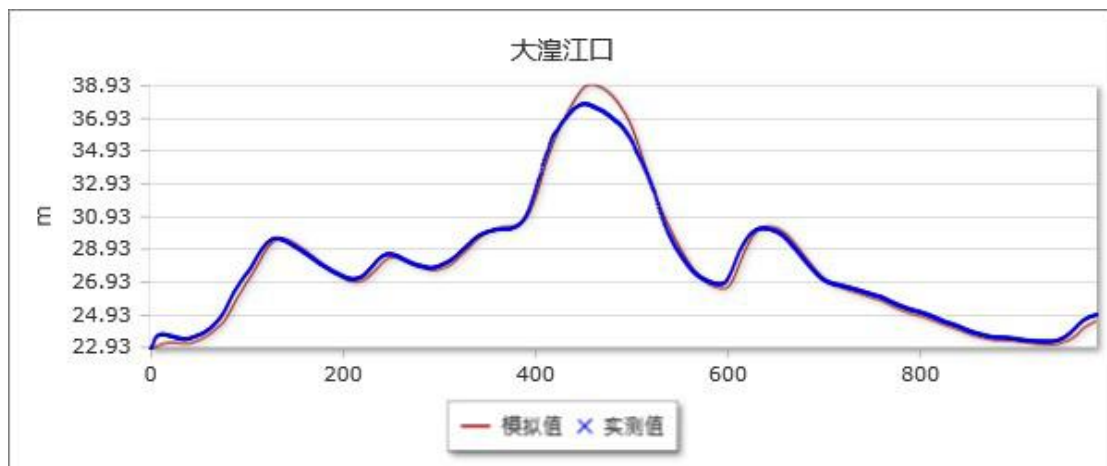


图 5(a) 2005 年洪水大湟江口水位验证结果

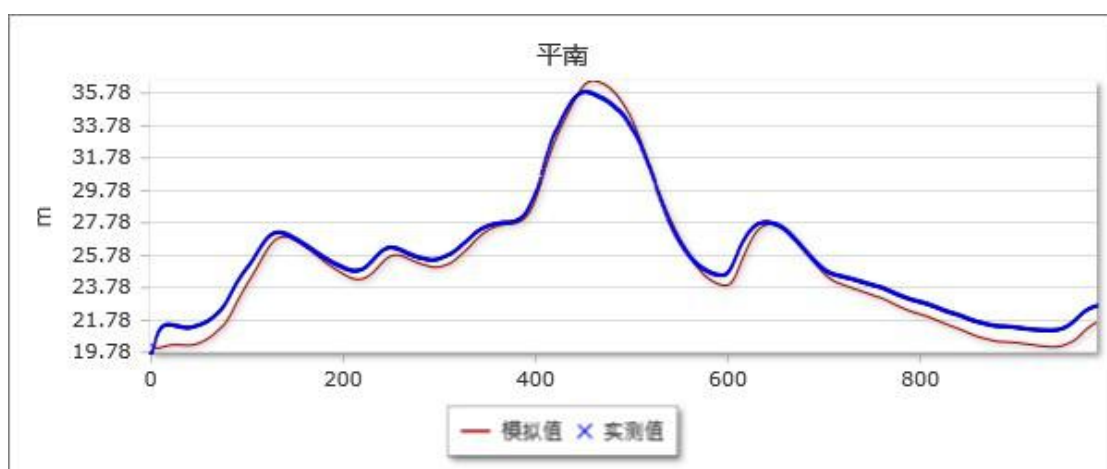


图 5(b) 2005 年洪水平南水位验证结果

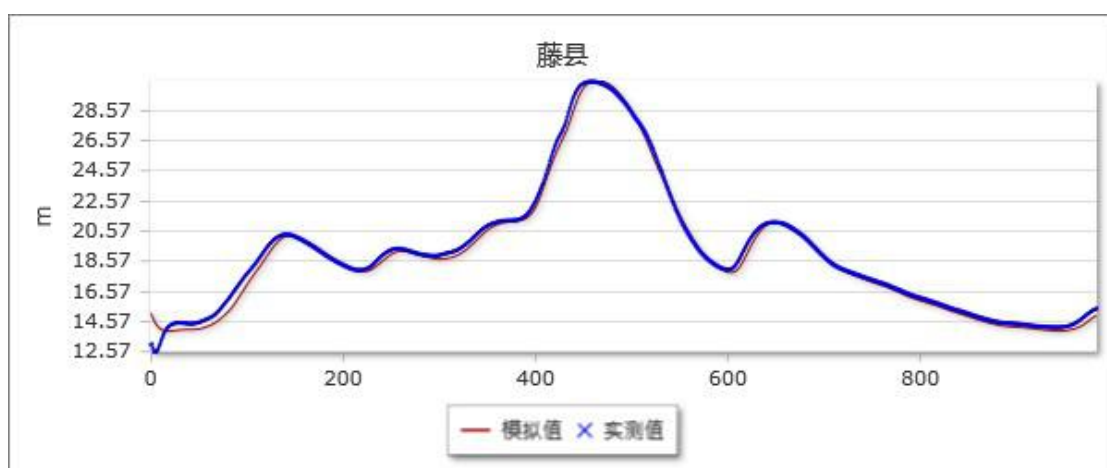


图 5(c) 2005 年洪水藤县水位验证结果

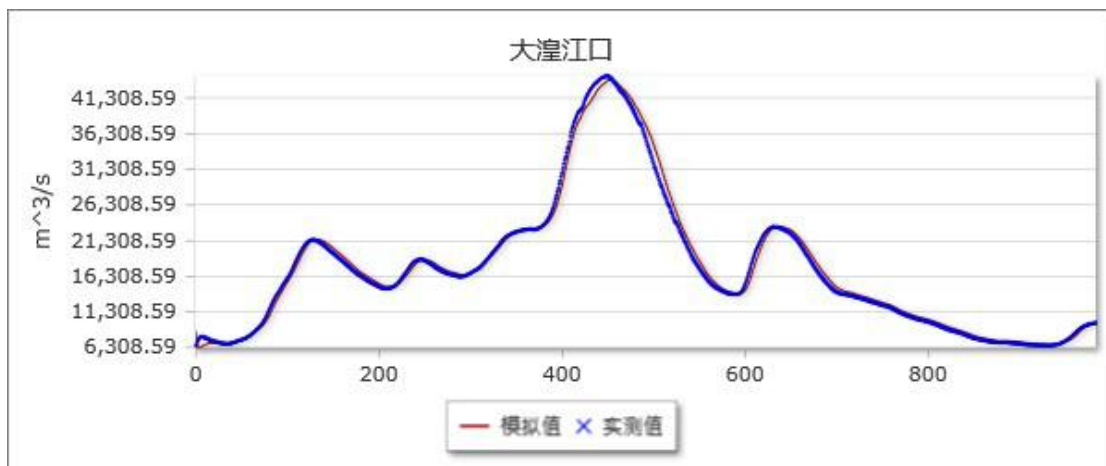


图 5(d) 2005 年洪水大湟江口流量验证结果

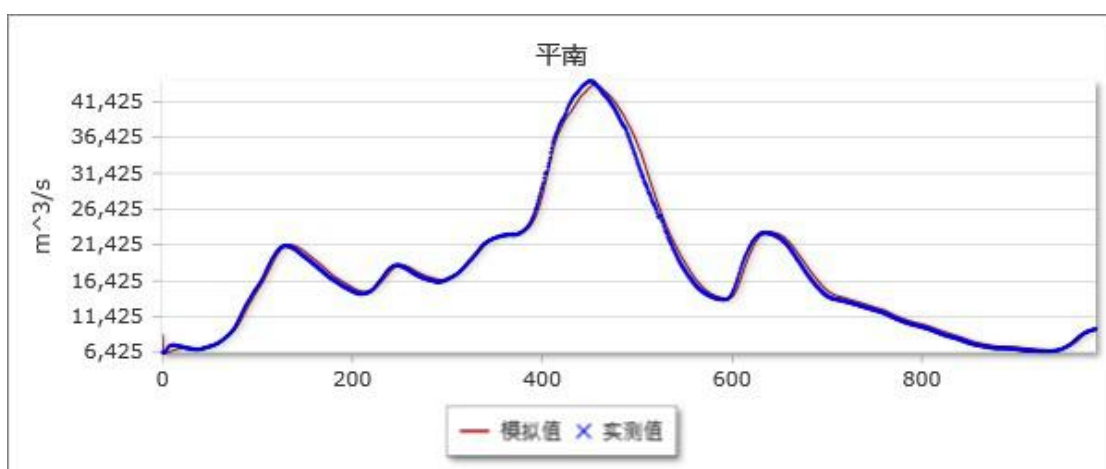


图 5(e) 2005 年洪水平南流量验证结果

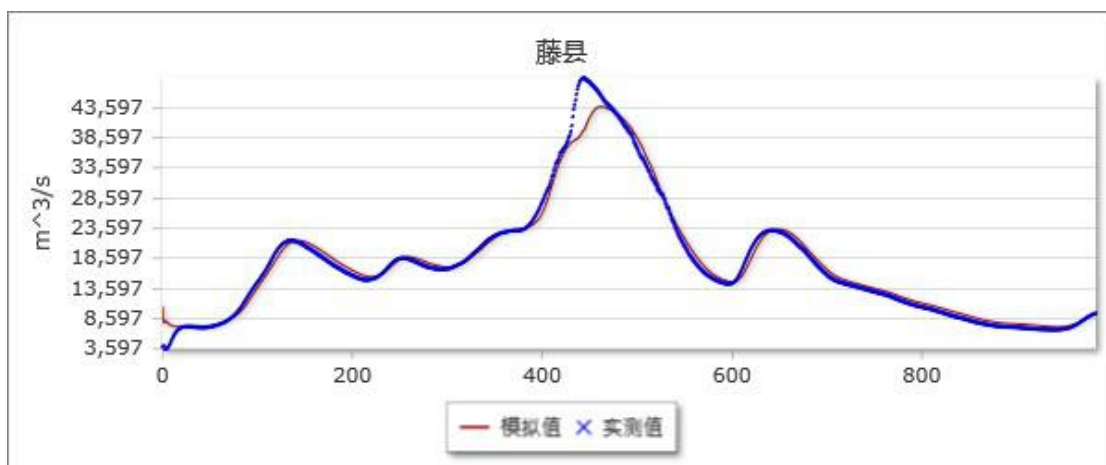


图 5(f) 2005 年洪水藤县流量验证结果

(3) 计算效率分析

选取 100 年一遇洪水计算方案。使用 Intel Xeon CPU E5-2609 v2

@ 2.50GHz 及专业计算显卡 Tesla K20 (2496 个 CUDA 核心, 时钟频率 706MHz) 并行计算。经统计, 模拟条件为 15 天 (360 小时) 洪水过程, 计算耗时为 0.25h, 即平均 1min 可完成 1 天的洪水演进过程模拟, 满足本标准规定的计算耗时控制要求。

三、专利情况说明

珠江水利委员会珠江水利科学研究院是水利部珠江水利委员会直属副局级事业单位, 为国家非营利科研机构。2001 年至今, 珠科院承担并完成了国家、省部级重大水利科研项目 200 余项, 获得了 60 项省部级以上科技奖励, 成为珠江流域 8 省 (区) 及港澳台地区的水利科技创新基地和推广中心。珠科院自 2019 年 8 月开始着手于《洪水实时模拟技术规程》的编制工作, 先后与中国水利水电科学研究院、中国科学院地理科学与资源研究所、长江水利委员会水文局等单位交流调研, 听取多方意见, 不断完善本标准, 最终编制完成《洪水实时模拟技术规程》。

《洪水实时模拟技术规程》主要内容是确定针对洪水实时模拟的技术标准, 以全面支撑防洪减灾实时预报预警工作。在以往的研究工作中由于缺少针对洪水实时模拟的技术标准, 洪水模拟成果的科学性、准确性、时效性以及通用性都难以达到预期效果。现珠科院通过编制《洪水实时模拟技术规程》对洪水实时模拟中的一维模型、二维模型等涉及到的相关技术指标与相关标准进行了确定, 并通过将西江浔江河段防洪保护区、珠江三角洲网河区、东江流域重点地区防洪保护区等多个区域作为研究区域进行了验证, 证实了《洪水实时模拟技术规

程》的合理可行性。

《洪水实时模拟技术规程》将给予洪水实时模拟工作标准化的流程和确实可行的标准规范，减少相关工作中的不确定性，保证洪水实时模拟的准确性、可操作性与高效性。

四、与相关标准的关系分析

1. 与国际、国外同类标准水平的对比情况

美国学者 Bassam A. Younis 与英国学者 P. D. Bates 等人在经过对于明渠流湍流与河流洪水的有限元方程的研究之后，确定了一维模型参数率定的标准，即进行参数率定时，模拟结果的最高水位与实测水位相差最大不得超过实测水位的 10%。

可见国外标准相较于本标准规定的一维模型计算最高水位与实测水位之差小于 30cm 而言表现较为灵活，在河流水深较浅时允许绝对误差小，在河流水深较深时允许绝对误差大。但国外标准对于水深过大或水深过小的河流的适用性存在一定的问题，水深过大的河流允许误差大，参数率定的结果不一定能够反应真实的河道情况，水深过小的河流误差允许小，根据掌握的资料不一定能够满足参数率定工作的要求。

同时，考虑到我国的防汛多以水位指标作为对河道控制站点防洪形势判断的直接依据。因此，对水位误差允许范围绝对值的规定可更好服务于防洪减灾的实时决策与判断。

本标准将误差允许范围定为 30cm，是经过反复计算验证的结果，无论是大江大河还是小江小河，本标准的适用性都较好，经过参数率

定后的计算结果也都能够满足计算精度要求，是符合我国河流实际情况的允许误差值。

2. 与国内相关标准协调性分析

本标准规定一维模型计算最高水位与实测水位之差小于 30cm，与《洪水风险图编制导则 (SL 483-2017)》规定的 20cm 相比，本标准的误差允许范围稍大。

对边界条件较为复杂的情况进行模拟计算时，在经过反复调整参数与对比拟合情况后发现并不是每次都能够满足 20cm 的误差要求，但是误差都能控制在 30cm 之内，并且经过参数率定后，河道糙率值与实际情况的相符程度也较好，从最终的计算结果来看，模拟计算结果的时间和空间精度与现实情况符合情况都较好，精度能够达到预期效果。因此将一维模型参数率定的水位误差标准定为 30cm 是合理可行的。

五、重大分歧或重难点的处理经过和依据

1、一维河道测量断面间距

对于宽度变化较大的河道，其测量断面的疏密程度会有较大的改变，而测量断面的疏密程度会影响到模型的精度，测量断面过密会导致工作量的大大增加，测量断面过疏会导致构建的模型精度不够。

为了使测量断面能够兼顾模型精度与数量的要求，充分考虑河道中的涉水建筑物、河岸堤防的建设情况以及测量断面间距问题，并结合《水利水电测量规范》与《水文普通测量规范》的相关硬性要求，确定多个测量断面布设方案，通过比较模拟计算结果与实测资料的拟

合情况，最终确定出既能满足规范要求又能充分反应现实河道情况的测量断面布设标准，实现了在满足模拟计算需要的同时又能够控制住测量断面的数量，为相关工作的开展提供了极大的便利。

2、二维模型网格尺度大小

二维网格剖分越小，模拟计算精度往往越好，但是计算耗时也会呈几何倍增长，这对于洪水实时模拟是极其不利的。

为了能够在满足计算耗时要求的同时满足计算精度的要求，在剖分二维模型网格时，将非建成区与建成区区别开来。非建成区的重要性要低于建成区，因此非建成区的网格剖分略粗于建成区网格，以此为基础确定多个网格剖分方案，通过比较模拟计算耗时与模拟计算结果和实际情况的匹配情况，最终确定出在满足计算精度要求情况下的网格剖分标准，为洪水实时模拟工作中二维模型网格划分提供了极大的便利。

3、模型验证精度

《洪水风险图编制导则(SL 483-2017)》中对于模型验证精度要求为一维模型模拟计算水位与实测最高水位相差不超过 20cm。对于实时洪水的模拟，要求在较短时间内实现快速模拟，同时考虑到未来洪水量级的不确定性，无疑增加了模拟的难度。因此，经过实际模拟计算发现，由于现实情况边界条件的复杂程度，要想每次都能实现误差不超过 20cm 的标准非常困难。

经过多次模拟计算发现，将误差标准放宽到 30cm 能够保证即使是在复杂的边界条件情况下模型仍然可以满足误差要求，且 30cm 与

《洪水风险图编制导则(SL 483-2017)》规定的 20cm 差距不大，采取 30cm 的误差标准在洪水实时模拟工作中仍然能够确保模型的精度要求。

六、预期效益（报批阶段填写）

《洪水实时模拟技术规程》对于洪水实时模拟相关的技术标准的确定将会为防洪减灾工作带来巨大效益，包括经济效益、社会效益和生态环境效益。

1、经济效益

在洪水防御过程中，《洪水实时模拟技术规程》提供的技术标准将提供高效、高精度的洪水模拟手段，为防洪减灾中洪水实时影响范围确定、洪水防御措施制定、人口财产转移等多方面提供决策支持，减免城镇工业、企业、公共设施等的固定资产和物资损失；减免农田、林地、牧场和其他用地的生产及其设施的损失；减免铁路、公路、电灯经济设施损毁或不能正常运行的损失；减免城乡居民住房倒塌和财产损失；减少防汛、抢险、救灾等的费用；减免恢复生产和修复各种设施的经济损失。

2、社会效益

为决策人员提供的技术支持，可及时辅助决策方案的制定，增信释疑，维持社会稳定。减免因洪灾致使农、林等减产失收，造成供应紧张，影响人民生活或引起饥荒等社会问题；避免因洪灾引起的工商企业停业停产，学校停课等，影响社会的正常秩序；减轻组织灾区居民安置救灾的负担；避免人口伤亡和财产损失给居民的精神打击，减

少抚恤、救济等负担；加强人民群众对政府的信心。

3、生态环境效益

避免洪灾引起水质和卫生条件恶化，造成疫病流行，居民健康水平下降；避免土地被冲刷、淤压，导致沙化荒废；避免地下水位上升，引起土地沼泽化或次生盐碱化；减免林、草被淹死亡，生态环境恶化。

七、其他说明事项

无。