ICS 编号 CCS 编号

团体标准

T/CHES XXX-20XX

洪水演进水动力实时模拟技术规程

Technical regulation of real—time hydrodynamic simulation for

flood routing

(报批稿)

<u>20XX-XX-XX 发布</u>

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发布

目 次

前	言	V	ΊI
1	范围		. 1
2	规范性引	用文件	. 1
3	术语和定	三义	. 1
4	总则		. 2
5	基础资料	4准备	. 2
	5.1	基础资料	2
	5.1	至····································	· 2 2
	5.2	业地理实行门口人又不 水文与象资料内容及要求	.2
	5.5	不是资料内容及要求	·2 2
	5.5	工程贝尔门·日次贝尔 历史洪水资料内容及要求	۔ <u>م</u>
	5.6	补充测量与测验	.3
	5.7	基础数据更新	.3
6	模型及t	十算方法选择	. 3
	6.1	模型选择	. 3
	6.2	计算方法选择	.4
7	模型构建	建与应用	.4
	7.1	基本要求	.4
	7.2	建模范围确定	.4
	7.3	计算断面和网格剖分	.4
	7.4	边界条件、运行控制条件及初始条件设置	5
	7.5	模型率定验证	.6
	7.6	计算耗时控制	.6
	7.7	计算结果及合理性分析	.6
	7.8	洪水演进水动力实时模拟应用	.7
8	模型数据	居接口	. 7
	8.1	基本要求	. 7
	8.2	数据类型定义	. 8
	8.3	河网结构接口数据格式	.8
	8.4	网格地形接口数据格式	.8
	8.5	模型参数接口数据格式	.8
	8.6	水文气象接口数据格式	.8
	8.7	溃口设置接口数据格式	.8
	8.8	模拟结果接口数据格式	.8
	8.9	模型运行管理接口数据格式	.9

		8.10	模型驱动管理接口数据格式	9
附	录	Α		10
附	录	В		11
附	录	C		13
附	录	D		
附	录	Е		20
附	录	F		
附	录	G		
附	录	Н		
		H.1	河网结构接口数据格式	26
		H.2	网格地形接口数据格式	
		H.2	模型参数接口数据格式	
		H.4	水文气象接口数据格式	
		H.5	溃口设置接口数据格式	
		H.6	模型结果接口数据格式	
		H.7	模型运行管理接口数据格式	

图目录

图	D.1 一维—二维纵向耦合示意图	. 18
图	D.2 一维—二维水动力数学模型侧向耦合示意图	.18
图	E.1 Fork-Join 并行机制	.20
图	E.2 循环维度优化代码	. 21
图	E.3 循环优化代码示例	. 21
图	F.1 GPU 并行计算数据流程图	22
图	F.2 基于 OpenACC 的循环并行化实现示意图	23
图	F.3 基于 OpenACC 的代码并行化示意图	23
图	G.1 相邻区域界面网格分布示意图	24
图	G.2 分布式并行计算模式下各进程间消息传递	. 25
图	G.3 基于非阻塞通信方式的二维洪水数学模型求解流程图	. 25

表目录

表	1不同河宽河段的一维模型断面间距要求	5
表	2不同水深河口海域的风暴潮模型最大网格面积要求	5
表	C.1 水面风应力拖曳系数计算公式的经验系数值	. 26
表	H.1 河流文件接口内容说明	26
表	H.2 河段文件接口内容说明	26
表	H.3 断面文件接口内容说明	26
表	H.4 断面高程点文件接口内容说明	. 26
表	H.5 汊点文件接口内容说明	27
表	H.6 边界文件接口内容说明	27
表	H.7 节点文件接口内容说明	27
表	H.8 单元文件接口内容说明	27
表	H.9 河网实时边界数据接口内容说明	. 27
表	H.10 河网糙率数据接口内容说明	. 28
表	H.11 一维水动力模型初始场参数接口内容说明	. 28
表	H.12 河网模型计算参数接口内容说明	. 28
表	H.13 二维网格边界数据接口内容说明	. 28
表	H.14 网格糙率数据接口内容说明	. 28
表	H.15 二维水动力模型计算参数接口内容说明	. 29
表	H.16 二维水动力模型初始场数据接口内容说明	. 29
表	H.17 一维—二维水动力纵向耦合参数接口内容说明	. 29
表	H.18 一维—二维水动力侧向耦合参数接口内容说明	. 29
表	H.19 溃口参数接口内容说明	29
表	H.20 一维—二维水动力耦合模型计算参数接口内容说明	. 30
表	H.21 水文时间序列接口内容说明	. 30
表	H.22 水位—流量关系数据接口内容说明	. 30
表	H.23 站点数据接口内容说明	30
表	H.24 台风风场接口内容说明	30
表	H.25 降雨时间序列接口内容说明	. 31
表	H.26 降雨站点接口内容说明	31

表	H.27 溃口节点接口内容说明	.31
表	H.28 溃口发展过程接口内容说明	31
表	H.29 一维水动力模拟结果数据接口内容说明	31
表	H.30 二维水动力模型模拟结果数据接口内容说明	. 32
表	H.31 洪水风险要素数据接口内容说明	32
表	H.32 一维—二维水动力纵向耦合界面计算结果接口内容说明	. 32
表	H.33 一维—二维水动力侧向耦合界面计算结果接口内容说明	. 32
表	H.34 模型运行管理数据接口内容说明	33
表	H.35 模型驱动管理接口内容说明	33

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。

本文件共分为8章和8个附录,主要技术内容包括基础资料准备、模型及计算方法选择、 模型构建与应用、模型数据接口等。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本规程的发布机构不承担识别专利的责任。

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:珠江水利委员会珠江水利科学研究院

本文件参编单位: 黄河勘测规划设计研究院有限公司

长江勘测规划设计研究有限责任公司

河海大学

大连理工大学

武汉大学

本文件主要起草人:胡晓张、宋利祥、杨芳、张炜、张金良、吴志勇、陈睿智、张睿、 叶磊、杨中华、李旭东、李杰、罗秋实、胡豫英、张雪、查大伟、 何用、李肖男、何海、彭勇、谢冰绮、刘宇、陈嘉雷、丁武

洪水演进水动力实时模拟技术规程

1 范围

本文件规定了洪水演进水动力实时模拟的技术要求、技术方法和模型数据接口。

本文件适用于山区及平原河流洪水、河口风暴潮洪水、溃(漫)坝洪水、溃(漫)堤洪 水演进水动力实时数值模拟。

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。

JST 231—4 内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程 JTST 231—2 海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程 SL/T 164 溃坝洪水模拟技术规程 SL323 实时雨水情数据库表结构与标识符 SL483 洪水风险图编制导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

洪水演进水动力实时模拟 real-time hydrodynamic simulation for flood routing

基于当前及未来气象、水雨情,以及水利工程当前运行状态及调度方案,运用水动力模型对物理流域洪(潮)水在河道、河口内传播及地表上淹没的过程进行同步仿真计算。

3.2

河口沿海风暴潮模拟 simulation of storm surge in estuaries

运用风暴潮水动力数学模型,计算台风或温带气旋作用下潮水在河口沿海区的运动过程。

3.3

堤坝溃决(漫溢) dam/dike-break and overtopping

坝体、堤防出现溃口或洪水漫顶,包括溃坝、漫坝、溃堤、漫堤。

3.4

洪水风险区 flood risk area

受洪水威胁、存在洪水淹没风险的区域。

3.5

模型数据接口 model data interface

洪水演进水动力模型与相关业务应用系统进行数据通信的格式与渠道。

4 总则

4.1 洪水演进水动力实时模拟应遵循智慧水利、数字孪生水利、防洪"四预"等基本技术 要求。

4.2 洪水演进水动力实时模拟技术可实现流域尺度洪水过程的快速动态计算,为洪水预报 预警、洪灾损失评估、水工程防洪调度、防汛应急抢险等业务提供重要技术支撑。

4.3 洪水演进水动力实时模拟应兼顾模拟精度和计算效率。

5 基础资料准备

5.1 基础资料

洪水演进水动力实时模拟所需的基础资料应包括基础地理资料、水文气象资料、工程资 料、历史洪水资料。

5.2 基础地理资料内容及要求

- 5.2.1 基础地理资料主要包括以下内容:
 - a) 地形资料,包括河道、河口、湖泊的地形资料,洪水风险区地表地形资料;
 - b) 其它基础地理资料,包括交通道路、土地利用、遥感影像、线状阻水/导水建(构) 筑物等。
- 5.2.2 资料精度要求:
 - a) 河道水下地形图及河道断面比例尺不宜小于1:2000,湖泊、河宽大于1km的河道水下地形精度可放宽为不宜小于1:10000;
 - c) 洪水风险区陆域地形资料比例尺不小于1:10000;
 - d) 河口近岸区地形资料比例尺不小于1:10000;
 - e) 遥感影像宜采用分辨率不低于2m的正射影像。

5.3 水文气象资料内容及要求

5.3.1 水文气象资料主要包括降雨、水(潮)位、流量(来水及排水)、台风等实测、调查 及设计资料,水文站水位一流量关系等。

5.3.2 实测水文气象数据时间间隔宜小于或等于1h。

5.3.3 水文气象资料应满足可靠性、一致性和代表性要求。用于模型参数率定和模型验证时, 宜收集与地形资料年份接近的水文气象资料。

5.4 工程资料内容及要求

- 5.4.1 工程资料主要包括水利工程基础参数和工程调度资料。
- 5.4.2 水利工程基础参数主要包括:
 - a) 水库(水电站): 特征水位、库容曲线、泄流曲线等;
 - b) 水闸: 闸孔数量、净宽、闸底高程、泄流曲线等;
 - c) 泵站: 起排水位、止排水位、设计最高外水位、设计抽排流量等;
 - d) 堤防:堤顶高程、防洪标准、警戒水位、保证水位、设计水位、安全泄量等;
 - e)桥梁:结构型式、桥墩尺寸、梁底高程、桥面高程等;
 - f) 涵洞:结构型式、尺寸、底高程、顶高程等;
 - g) 堰坝: 类型、尺寸、顶高程等;

- h) 蓄滞洪区:水位一面积一容积曲线。
- 5.4.3 水利工程调度资料主要包括:
 - a) 水库(水电站)、蓄滞洪区、水闸、泵站等调度运用规则等;
 - b)防御洪水方案、洪水调度方案以及各级防洪预案;
 - c)工程资料应满足时效性和权威性要求。

5.5 历史洪水资料内容及要求

- 5.5.1 历史洪水资料包括洪水水文特征和工程调度运行情况。
 - a) 洪水水文特征:河道断面洪水流量和水位过程、河道沿程最高洪水位,洪水风险区 淹没范围、最大淹没水深、洪水到达时间及淹没历时等。
 - b) 工程调度运行情况:堤坝溃决(漫溢)情况、洪水发生当时的工程和工程调度情况 等。

5.5.2 历史洪水资料应满足可靠性要求。

5.6 补充测量与测验

当地形、水文资料范围和精度不能满足洪水演进水动力实时模拟建模要求时,应开展补 充测量和测验工作。

5.7 基础数据更新

当模拟区域内的地形、土地利用、工程建设及工程调度等发生变化、与已有基础资料不 一致时,应补充收集相关资料,并对模型基础数据进行更新。

6 模型及计算方法选择

6.1 模型选择

- 6.1.1 洪水演进水动力模型应满足下列要求:
 - a)模型稳定性应能适应复杂计算条件;
 - b)模型计算速度应能满足洪水同步仿真计算的时效性要求;
 - c)模型精度应能确保模拟结果能合理反映洪水演进及淹没的实际情况。

6.1.2 洪水演进实时模拟应根据不同对象和不同要求选用不同尺度的水动力模型。其中,湖 泊及湖泊型水库调蓄宜采用零维模型;河道及河网洪水模拟可参照附录 A 所列一维水动力 模型或附录 B 所列二维水动力模型;河口海域风暴潮模拟可参照附录 C 所列风—浪—流多 场耦合二维水动力模型;堤坝溃决(漫溢)洪水模拟可参照附录 D 所列一维—二维耦合水 动力模型或附录 B 所列二维水动力模型。

6.1.3 河道及河网水动力模型宜同时适应山区陡峭河道及平原河网,且在任意初始场和边界 条件下可快速计算收敛。

6.1.4 洪水风险区水动力模型应适应干湿边界转换和各种局部突变地形,能反映各类下垫面 阻、蓄、滞、导水影响。

6.1.5 河口海域风暴潮水动力模型宜考虑风—浪—流多场耦合作用,能合理反映河口海域不规则岸线及地形对潮流及风暴潮增水过程的影响。

6.1.6 堤坝溃决(漫溢)水动力模型宜能同时模拟急流和缓流,且应具备守恒性和激波捕捉能力。

6.1.7 水动力模型宜选用具有自主知识产权、适配国产软硬件环境,并通过实践检验的国产 模型或软件。

6.2 计算方法选择

6.2.1 洪水演进水动力模型数值求解方法可选择有限差分法、有限体积法、有限元法等, 宜采用计算网格动态调整、计算时间步长动态调整、并行计算等方法提高模型求解速度。6.2.2 二维水动力模型可根据洪水淹没干湿边界实时变化, 动态调整参与计算的网格。

6.2.3 二维水动力模型求解计算时间步长可选择全局时间步长和局部时间步长。全局时间步 长宜根据计算过程中各网格水深、流速状态自适应动态调整计算时间步长。当网格数量多且 存在局部加密网格时,可采用局部时间步长法。

6.2.4 一维水动力模型与二维水动力模型耦合求解时, 宜采用时间步长自适应匹配方法。
6.2.5 一维、二维水动力模型计算模式包括 CPU 串行计算模式、CPU 单机多核并行计算模式、GPU 单机并行模式、基于区域分解技术的分布式并行计算模式等, 应根据计算耗时控制选择合适的计算模式。CPU 单机多核并行计算模式可参照附录 E, GPU 单机并行计算模式可参照附录 F, 基于区域分解技术的分布式并行计算模式可参照附录 G。

- 6.2.6 并行计算模式设计要求如下:
 - a) CPU 多核并行化设计宜运用数组合并、循环交换、关键数据提取、循环合并等方 法提升 Cache 命中率;
 - b) GPU 并行化设计应减少 CPU 与 GPU 之间数据传递频次;
 - c) 分布式并行化设计应减少进程间消息传递的等待时间和通信时间。

7 模型构建与应用

7.1 基本要求

洪水演进水动力实时模拟主要技术流程应包括建模范围确定,计算断面和网格剖分,边 界条件、运行控制条件及初始条件设置,模型率定验证,计算耗时控制,计算结果分析及合 理性分析。

7.2 建模范围确定

7.2.1 洪水演进水动力模型建模范围应包括河道、河网建模范围,河口海域建模范围及洪水风险区建模范围,其要求如下:

- a) 河道、河网建模范围,以研究区域洪水来源河道(或河网)上游具备进行水文预报 条件的控制断面或水库坝址为上边界;以研究区域下游水文控制站、控制性水工建筑物、大水体(水库、湖泊、海域等)或具备稳定水位一流量关系的控制断面为下 边界;
- b) 河口海域建模范围,以河口水文控制断面、陆域岸线至不受径流影响、具备潮位预 报条件的海域计算边界;
- c)洪水风险区建模范围,可参考防洪区边界确定。

7.2.2 当研究区域具有一种以上的洪水来源时,建模范围以各类洪水建模范围包络的最大范围确定。

7.2.3 当模型用于洪水实时预报预警时, 宜根据洪水传播时间和预见期长度综合确定建模范围。

7.3 计算断面和网格剖分

7.3.1 一维河道计算断面设置要求如下:

a)一维河道模型的计算断面最大间距宜满足表1规定的最大断面间距要求;

4

衣 小问冲见冲我的一维候望时间问起安水					
河段平均河宽 W (m)	≥1000	$500 \leq W \leq 1000$	100≤W<500	<100	
最大断面间距 G(m)	与河宽相当,不大于 5000	1000	500	100	

表 1 不同河宽河段的一维模型断面间距要求

- b) 河道顺直河段,断面间距可加大1~2倍;
- c) 河道比降超过1%、河道轴向偏转角大于30°、相邻断面河宽变化超过较窄断面50% 等断面形态变化显著河段或重点关注河段应加密计算断面,跨河建筑物及上下游、 河道汇流或分流处、率定验证站点处应设置计算断面;
- d) 有堤防河道计算断面横向范围应覆盖堤防;无堤防河道计算断面横向范围应覆盖两 岸高程最高点。计算断面应体现河道深槽、浅滩等关键形态特征。
- 7.3.2 二维网格剖分要求如下:
 - a) 按照 SL 483 确定洪水风险区网格剖分控制面积;
 - b)风暴潮模型网格剖分尺度宜满足表 2 规定的最大网格面积要求;

表 7.2 不同水深河口海域的风暴潮模型最大网格面积要求

平均水深 H(m)	≥30	10≤H<30	<10
最大网格面积(km ²)	1	0.25	0.05

- c) 二维网格剖分单元可采用结构网格和非结构网格。当边界形状不规则时, 宜采用非结构网格;
- d) 对洪水演进有影响的、高于地面的道路、铁路、堤防等阻水线状地物,以及河渠、 低于两侧地面的道路等排水通道,应沿其边界进行网格剖分,并根据其实际高程概 化,反映其阻水(或行洪)作用;
- e) 对于建成区建筑物密集的区域,应合理概化主要建筑群阻水效果和街道行洪能力;
- f) 若选择基于区域分解技术的分布式并行计算模式,在网格剖分时,宜考虑负载平衡, 并减少各块之间的数据传递。

7.4 边界条件、运行控制条件及初始条件设置

7.4.1 洪水演进水动力模型边界条件类型包括降雨边界、水位(潮位)边界、流量边界、水 位一流量关系边界等。

7.4.2 洪水演进水动力模型应接入水文气象实时预报数据作为其边界条件。当无实时预报数据时,可采用降雨径流模型进行来水预报。洪水演进水动力实时模拟采用的水文预报数据应满足乙级以上精度要求。

- 7.4.3 边界条件设置规定如下:
 - a) 河道及河网洪水模拟的上边界(含区间入流边界)条件为预报流量过程,下边界宜 为出流控制断面的水位—流量关系或实时预报水位;
 - b)河道及河网下游连接非河道型水库工程时,宜采用考虑水库调度规则的零维模型计算得到的水库水位作为出流边界;
 - c)沿程汇入河道的区间入流宜采用侧向入流流量过程;以支流汇入的宜采用集中入流 方式;其它的宜采用分散入流方式;
 - d)风暴潮洪水计算的边界条件为模拟范围海域边界的预报潮位过程及台风预报数据。
- 7.4.4 运行控制条件设置规定如下:
 - a) 研究区域内若存在可能发生堤防(或大坝)溃决的情况,溃口的位置、尺寸、发展 过程等参数,应可进行实时定义;

T/CHES XXX-20XX

- b) 堰坝、涵洞等水工建筑物应根据其实际结构形式和尺寸,通过水力学经验公式概化 其过流能力;
- c) 扒口、堵口、临时堤防加高等防洪抢险工程措施,应可在模型中实时定义。

7.4.5 在采用预报数据进行洪水演进水动力实时模拟时, 宜采用由实测数据通过模型计算得 到的当前时刻水流状态作为模拟的初始场。

7.5 模型率定验证

7.5.1 模型构建期应基于洪水实测和调查资料进行模型参数率定和模型验证。

7.5.2 模型构建期宜选择多场次不同量级的历史实测洪水事件进行模型参数率定和模型验证。在资料条件缺乏时,宜选择至少3场以上的历史实测洪水事件,其中不少于2场用于参数率定,不少于1场用于模型验证。历史实测洪水事件宜优先采用近期洪水资料。

- 7.5.3 模型构建期的验证精度应满足下列要求:
 - a) 对于河道内洪水,平原河网实测与计算最高水位之差小于 0.1 m; 山区河道实测与 计算最高水位之差小于 0.2 m。实测与计算最大流量相对误差小于 10%; 实测与计 算最大 1 d、3 d 和 7 d 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 1 h;
 - b)对于河口海域风暴潮洪水,验证精度应执行 JTST 231—2 的规定;
 - c) 对于淹没区洪水,调查最大淹没范围与计算最大淹没范围相对误差小于 5%;重点关注区域特征点实测或调查水位与计算水位误差小于 20 cm。
- 7.5.4 模型应用期应结合实测洪水资料,定期对模型参数进行更新率定。

7.6 计算耗时控制

洪水演进水动力实时模拟计算耗时控制应满足下列要求:

- a) 一维河道及河网洪水演进水动力实时模拟模型要求在 5min 以内完成 24h 洪水演进 过程模拟;
- b) 二维或一维—二维耦合洪水演进水动力实时模拟模型计算耗时控制要求按二维模拟 区域面积划分为以下 3 个等级:
 - 1) 面积小于等于 100 km², 要求在 10 min 以内完成 24 h 洪水演进及淹没过程模 拟;
 - 2) 面积 100 km²~1000 km², 要求在 15 min 以内完成 24 h 洪水演进及淹没过程模 拟;
 - 3) 面积大于等于 1000 km², 要求在 30 min 以内完成 24 h 洪水演进及淹没过程模 拟;

注:以上计算耗时是指可能最大洪水条件下的洪水模拟时间。

7.7 计算结果及合理性分析

7.7.1 洪水演进水动力实时模拟模型输出结果应包含基础要素计算结果及洪水风险要素统计结果。

- 7.7.2 模型输出的基础要素计算结果应包含以下内容:
 - a) 各计算单元的水位、水深、流量、流速、流场变化过程;
 - b) 水工建筑物(堰坝、涵洞、闸门、泵站等)调度控制参数和水位、流量过程,堤(坝) 溃口尺寸、流量、水位过程,堤(坝)漫溢流量、水位过程。

7.7.3 模型输出的洪水风险要素统计结果应包含研究区域最大淹没范围,重点关注点最大淹没水深、洪水到达时间、最大淹没水深到达时间、淹没历时、最大单宽流量等结果。在进行

要素指标统计时, 宜在模型计算过程中逐个计算时间步长, 并进行统计, 避免基于输出结果 统计方法可能存在的采样误差。

7.7.4 应对模型计算结果进行合理性检查。若出现不合理处,应查明原因并做相应调整。合理性检查可从下几个方面进行:

- a)检查模型的水量平衡;
- b)检查模型计算是否稳定;
- c)检查河道水面线是否合理;
- d)检查溃口流量过程是否合理;
- e)检查总体流场分布是否合理;
- f)检查各类特征地物(阻水地物、行洪通道、水工建筑物等)处的局部流场特征;
- g)检查洪水淹没范围、洪水到达时间分布是否合理。

7.8 洪水演进水动力实时模拟应用

7.8.1 洪水演进水动力实时模拟模型应通过模型数据接口实现在业务系统中的集成应用,应用流程主要包括数据接入、数据转换、滚动计算、实时校正、结果输出五个环节。

7.8.2 数据接入环节,应通过模型数据接口接入水文气象监测、预报数据及用户输入的模型 计算控制参数。接入的水文气象监测、预报数据应实时刷新,确保模型计算边界的时效性。
7.8.3 数据转换环节,应将业务系统接入的水文气象实时数据格式转换为模型计算所需的初始条件和边界条件数据格式。

7.8.4 滚动计算环节,应根据实时水、雨、工情监测数据对模型初始条件、边界条件和水利 工程调度运行参数进行更新。模型滚动计算频次应根据水文气象实测及预报数据更新频次、 模型计算耗时等因素,由业务系统自动确定或者用户自行设置。滚动单次计算时长应根据水 文气象预报预见期、洪水传播时间、防汛指挥决策业务需求等综合确定。

7.8.5 实时校正环节,应采用实时水、雨、工情监测数据,对水位、流量等模型计算结果进行实时校正。

7.8.6 结果输出环节,应通过模型数据接口将洪水演进水动力实时模拟计算结果传输至业务 系统进行展示,其宜包括以下内容:

- a) 河道断面的水位、流量、流速过程,洪峰、洪量、峰现时间、洪峰历时、最高水位 等统计结果及动画展示;
- b) 发生溃(漫)堤的河道位置、长度、溃口(漫堤)流量过程等统计结果及动画展示;
- c) 洪水风险区的淹没面积、最大淹没水深、洪水到达时间、淹没历时、流速、流态、 洪水传播过程等统计结果及动画展示。

8 模型数据接口

8.1 基本要求

8.1.1 洪水演进水动力实时模拟模型数据接口应包括气象水文数据接口、河网结构数据接口、 网格地形数据接口、模型参数接口、模拟结果数据接口,内容宜包括数据类型定义和数据格 式等。

8.1.2 数据应统一平面投影坐标系、高程基面及计量单位,投影坐标系宜采用 2000 国家大 地坐标系 (CGCS2000),高程系统可采用国家标准高程系统或地方高程系统。无特殊说明 时,水位单位为 m,流量单位为 m³/s,长度单位为 m,面积单位为 m²,降雨强度为 mm/h, 时刻单位为 h,时间步长单位为 s。 8.1.3 洪水演进水动力实时模拟模型数据可分为静态数据与动态数据。静态数据主要为模型 配置数据,可包含河网结构、网格地形、模型参数数据等。静态数据只有当模型要更新时, 才应调用接口进行模型的配置更新;动态数据主要为基于时序的模型输入输出数据、模型运 行管理及模型驱动管理数据,其中,模型输入输出数据可包含水文气象数据、溃口设置数据、 模拟结果数据。

8.1.4 当洪水演进水动力实时模拟中需要考虑水库、水闸、泵站、蓄滞洪区等防洪工程调度时,可根据实际调度情景进行水利工程调度数据接口的设计与研发。

8.1.5 接口的组织及实现可为文本读写、函数调用、WebService、RESTful API等形式。接口形式、请求方式、请求参数、输出参数可根据模型及系统研发实际需求而定。当系统端与模型端为网间远程交互时, 宜采用微服务的形式进行接口实现。

8.1.6 当业务应用系统与洪水演进水动力实时模拟模型之间的接口数据传输处于网间状态 且涉及到涉密数据时,应对系统进行安全保护等级定级。

8.2 数据类型定义

本规程中使用的数据类型有字符串、数值、时间 3 种。数据类型定义应执行 SL 323 的 相关规定。

8.3 河网结构接口数据格式

河网结构数据包括河流文件、断面文件、断面高程点文件、汊点文件、边界文件等。河 网结构数据为模型的静态配置数据。各类数据接口内容及字段定义可参照附录 H.1。

8.4 网格地形接口数据格式

网格地形数据包括节点文件、单元文件。网格地形数据为模型的静态配置数据。各类数据接口内容及字段定义可参照附录 H.2。

8.5 模型参数接口数据格式

模型参数接口包括河网实时边界、河网糙率、一维水动力模型初始场、河网模型计算参数、二维网格边界、网格糙率、二维水动力模型计算参数、二维水动力模型初始场、一维— 二维水动力纵向耦合参数、一维—二维水动力侧向耦合参数、溃口参数、一维—二维水动力 耦合模型计算参数等。参数配置数据为模型的静态配置数据。各类数据接口内容及字段定义 可参照附录 H.3。

8.6 水文气象接口数据格式

水文气象数据包括水文时间序列、水位—流量关系、台风风场、降雨时间序列数据等。 主要为基于时序的动态输入数据。各类数据接口内容及字段定义可参照附录 H.4。

8.7 溃口设置接口数据格式

溃口设置数据包括溃口节点、溃口发展过程数据。溃口设置数据为模型的动态输入数据。 各类数据接口内容及字段定义可参照附录 H.5。

8.8 模拟结果接口数据格式

模型结果数据接口包括一维水动力模型模拟结果、二维水动力模型模拟结果、一维—二 维水动力纵向耦合界面计算结果、一维—二维水动力侧向耦合界面计算结果。结果的输出时 间间隔可在模型参数中进行配置。各类数据接口内容及字段定义可参照附录 H.6。模型结果接口设计宜参照实际业务系统需求进行调整。

8.9 模型运行管理接口数据格式

模型运行管理数据接口包含模型计算方案状态管理方面的内容。接口内容及字段定义可参照附录 H.7。

8.10 模型驱动管理接口数据格式

模型驱动管理数据接口包含模型驱动模式、驱动条件、滚动计算间隔方面的内容。接口 内容及字段定义可参照附录 H.8。

附录A

(资料性) 一维水动力模型

A.1 一维水动力模型采用圣维南方程组作为河道非恒定流控制方程,包括水流连续方程和水流运动方程。水流连续方程应按公式(A.1)计算,水流运动方程应按公式(A.2)计算:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial L} = \frac{q}{B} \tag{A.1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial Z}{\partial L} + \frac{\partial}{\partial L} (\beta u Q) + g \frac{|Q|Q}{c^2 A R} = 0$$
(A.2)

式中:

t ——时间 (s);

Z——水位 (m);

B——过水断面水面宽度(m);

Q——流量 (m³/s);

q——侧向单宽流量(m²/s),正值表示流入,负值表示流出;

g——重力加速度 (m/s²);

β——校正系数;

c——谢才系数, c=R^{1/6}/n, n 为曼宁糙率系数。

A.2 当模拟对象为河网时,应采用汊点连接方程,包括流量衔接条件和动力衔接条件。流 量衔接条件应按公式(A.3)计算,考虑汊点容积蓄水影响。动力衔接条件应按公式(A.4) 计算:

$$\sum_{i=1}^{m} Q_i = 0 \tag{A.3}$$

$$Z_1 = Z_2 = \dots = Z_m \tag{A.4}$$

式中:

Qi——汊点第 i 条支流流量, 流入为正, 流出为负;

Z_i——汊点第 i 条支流的断面平均水位;

m——汊点处的支流数量。

附录B

(资料性) 二维水动力模型

B.1 二维水动力模型采用守恒形式的二维浅水方程,应按公式(B.1)~公式(B.5)计算:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{E}^{\mathrm{adv}}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}^{\mathrm{adv}}}{\partial y} = \frac{\partial \mathbf{E}^{\mathrm{diff}}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}^{\mathrm{diff}}}{\partial y} + \mathbf{S}$$
(B.1)

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} h \\ hu_x \\ hu_y \end{bmatrix} \qquad \mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 \\ g(h+b)S_{0x} \\ g(h+b)S_{0y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -ghS_{fx} \\ -ghS_{fy} \end{bmatrix}$$
(B.2)

$$\mathbf{E}^{adv} = \begin{bmatrix} hu_{x} \\ hu_{x}^{2} + \frac{1}{2}g(h^{2} - b^{2}) \\ hu_{x}u_{y} \end{bmatrix} \qquad \mathbf{G}^{adv} = \begin{bmatrix} hu_{y} \\ hu_{x}u_{y} \\ hu_{y}^{2} + \frac{1}{2}g(h^{2} - b^{2}) \end{bmatrix}$$
(B.3)

U——守恒向量;

E^{adv}, *G^{adv}*——x、y方向的对流通量向量;

Ediff, Gdiff——x、y方向的扩散通量向量,洪水模拟中一般可忽略不计; S——源项向量。

h——水深;

- ux, uy ——垂直方向平均流速在 x、y 方向的分量;
 - *b* ——底高程;
 - v_t ——紊动粘性系数;
 - g ——重力加速度;

 S_{fx} , S_{fy} ——x、y方向的摩阻斜率;

 S_{0x} , S_{0y} ——x、y 方向的底坡斜率。

(B.5)

采用 Manning 公式(B.6)计算摩阻斜率:

$$S_{fx} = \frac{n^2 u_x \sqrt{u_x^2 + u_y^2}}{h^{4/3}} \qquad \qquad S_{fy} = \frac{n^2 u_y \sqrt{u_x^2 + u_y^2}}{h^{4/3}} \tag{B.6}$$

式中:

n—— Manning 系数,与地形地貌、地表粗糙程度、植被覆盖等下垫面情况有关,一般结合经验给定 Manning 系数值。

采用公式(B.7)计算紊动粘性系数:

$$v_t = \alpha \kappa u_* h \tag{B.7}$$

式中:

α——比例系数,一般取 0.1~0.2;

κ——卡门系数,取 0.4;

u_{*}——床面剪切流速。

附录C

(资料性) 风—浪—流多场耦合二维水动力模型

C.1 采用改进形式的二维浅水方程作为控制方程,并考虑海面气压场、台风场、波浪场的作用,计算公式如下:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{E}^{\mathrm{adv}}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}^{\mathrm{adv}}}{\partial y} = \frac{\partial \mathbf{E}^{\mathrm{diff}}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}^{\mathrm{diff}}}{\partial y} + \mathbf{S}$$
(C.1)

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} h, hu_x, hu_y \end{bmatrix}^T \tag{C.2}$$

$$\mathbf{E}^{\text{adv}} = \left[hu_x, hu_x^2 + 0.5g(h^2 - b^2), hu_x u_y\right]^T$$
(C.3)

$$\mathbf{G}^{\text{adv}} = \left[hu_{y}, hu_{x}u_{y}, hu_{y}^{2} + 0.5g(h^{2} - b^{2})\right]^{T}$$
(C.4)

$$\mathbf{E}^{\text{diff}} = \begin{bmatrix} 0, 2hv_{t} \partial u_{x} / \partial x, hv_{t} (\partial u_{x} / \partial y + \partial u_{y} / \partial x) \end{bmatrix}^{T}$$
(C.5)

$$G^{\text{diff}} = \left[0, hv_{t}(\partial u_{x}/\partial y + \partial u_{y}/\partial x), 2hv_{t} \partial u_{y}/\partial y\right]^{T}$$
(C.6)

$$\mathbf{S} = \mathbf{S}_{0} + \mathbf{S}_{f} = \begin{bmatrix} 0 \\ g(h+b)S_{0x} - ghS_{fx} + fhu_{y} + \tau_{x}^{s} + gh\frac{\partial p}{\partial x} - (\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}) \\ g(h+b)S_{0y} - ghS_{fy} - fhu_{x} + \tau_{y}^{s} + gh\frac{\partial p}{\partial y} - (\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}) \end{bmatrix}$$
(C.7)

式中:

- S_{0x} , S_{0y} ——x 和 y 方向的底坡,其表达式分别为 $S_{0x} = -\partial b/\partial x$ 和 $S_{0y} = -\partial b/\partial y$;
- S_{fx} , S_{fy} ——x 和 y 方向的摩阻坡降, 不考虑波流相互作用时, 其表达式分别为 $S_{fx}=n^2u_x(u_x^2+u_y^2)^{1/2}h^{-4/3}$ 和 $S_{fy}=n^2u_y(u_x^2+u_y^2)^{1/2}h^{-4/3}$;
- u_x , u_y ——x 和y方向的垂线平均流速;
 - b ——河底高程;
 - *n* ——糙率;
 - *t* ——时间;
 - g ——重力加速度;
 - v_t ——水平方向的紊动粘性系数, $v_t=\alpha\kappa u*h$;
 - *α* ——比例系数, *α*=0.2;
 - к ——卡门系数, к=0.4;
 - u* ——床面剪切流速;
 - f ——柯氏力系数, $f=2wsin\varphi$;
 - w ——地球自转角速度, w=7.29×10⁻⁵rad/s;
 - φ ——当地纬度;

τ^s ——水面风应力, τ^s=ρ_a/ρ_wC_d|u₁₀|;
 p——由于台风气压变化引起的海面静压升高;
 ρ_a, ρ_w ——分别为空气和水体的密度;
 C_d——风应力系数;

*u*₁₀——水面 10 m 高处的风速;

Sxx, Sxy——x方向波浪辐射应力;

Syx, Syy——y方向波浪辐射应力。

C.2 控制方程中考虑了大气压力、风应力、波浪辐射应力等动力因子,反映了海面气压场、 台风场、波浪场对潮流的驱动作用。在潮流模型的基础上增加气压项和风应力项,把天文潮 与风暴潮二种长波合在一起,控制方程中保留非线性项,即为天文潮和风暴潮的耦合模型。 C.3 水面风应力拖曳系数 C_d可取常数值(如 2.6×10⁻³)。考虑到阻尼系数随着风速的加大而 有一定增大的观测事实,宜表面风应力拖曳系数参数化成如下的线性形式:

$$C_{d} = 0.001 \times (a + b\sqrt{U_{w}^{2} + V_{w}^{2}})$$
(C.8)

式中:

a, *b*——经验系数,取值见表 C,由于观测的资料源不同,得到 a、b 值分散性很大,适用范围也不完全相同,绝大多数公式目前还只适用于 25 m/s 以下的风速范围;

 U_w 和 V_w ——代表 x、y方向上水面 10 m 高处的风速分量, m/s。

а	Ь	风速范围	来源	备注
1.300	0.000	[5.5, 7.9]	Rossby 和 Montgomery, 1935	-
2.6	0.000	[5.5, 7.9]	Sverdrup, 1942	-
1.00	0.070	[1.5, 13]	Deacon 和 Webb, 1962	-
0.800	0.065	[7.5, 50]	Wu, 1982	-
0.610	0.063	[5, 22]	Smith, 1980	推荐用于风暴潮数值模拟
0.750	0.067	[4, 21]	Garratt, 1977	-
0.577	0.085	[5, 25]	Geernaert, 1987	-
0.490	0.065	[11, 25]	LargeandPond, 1981	推荐用于浅水湖泊的风生流计算
0.50	0.071	[6, 26]	Yelland 和 Taylor, 1998	-

表 C.1 水面风应力拖曳系数计算公式的经验系数值

C.4 采用公式(C.9)计算波浪辐射应力:

$$\boldsymbol{F}_{S} = \begin{bmatrix} S_{xx} & S_{xy} \\ S_{yx} & S_{yy} \end{bmatrix} = \frac{E}{\rho_{w}} \begin{bmatrix} \gamma(\cos^{2}\alpha + 1) - \frac{1}{2} & \frac{\gamma}{2}\sin(2\alpha) \\ \frac{\gamma}{2}\sin(2\alpha) & \gamma(\sin^{2}\alpha + 1) - \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$
(C.9)

式中:

α——波浪传播方向与 x 轴的夹角;

E——单位水柱体一个波周期的平均波能, $E=\rho_w g h^2/8$;

γ——波群速度与相速度之比, γ=0.5[1+2kh/sinh(2kh)], k 为波数。

C.5 采用两维波作用密度谱平衡方程(C.10)作为波浪运动控制方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}N + \frac{\partial}{\partial x}C_{x}N + \frac{\partial}{\partial y}C_{y}N + \frac{\partial}{\partial\sigma}C_{\sigma}N + \frac{\partial}{\partial\theta}C_{\theta}N = \frac{S(\sigma,\theta)}{\sigma}$$
(C.10)

式中:

14

- N——波作用密度谱, N=N (σ, θ, x, y, t) =E (σ, θ, x, y, t) /σ, E (σ, θ, x, y, t)) /σ, E (σ, θ, x, y, t)) 为能谱密度;
- σ——波浪的相对频率(在随水流运动的坐标系中观测到的频率);
- θ——波向(各谱分量中垂直于波峰线的方向);
- C_x , C_y ——波浪传播速度的 x 和 y 向分量;
- C_{σ} , C_{θ} —— σ 和 θ 空间的波浪传播速度;
 - S——以谱密度表示的波浪生成、耗散及波波相互作用的源项,包括风能输入、波 与波之间的非线性相互作用和由于底摩擦、白浪、水深变浅引起的波浪破碎 等导致的能量耗散。

波浪传播速度均采用线性波理论进行计算,执行公式(C.11)~(C.14):

$$C_x = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] \frac{\sigma k_x}{k^2} + U_x \tag{C.11}$$

$$C_{y} = \frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] \frac{\sigma k_{y}}{k^{2}} + U_{y}$$
(C.12)

$$C_{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial\sigma}{\partial h} \left[\frac{\partial h}{\partial t} + \stackrel{\mathrm{T}}{U} \cdot \nabla d \right] - C_{g} \stackrel{\mathrm{T}}{k} \frac{\partial \stackrel{\mathrm{T}}{U}}{\partial s}$$
(C.13)

.

$$C_{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial m} + \frac{r}{k} \cdot \frac{\partial U}{\partial m} \right]$$
(C.14)

式中:

$$S = S_{in} + S_{dsw} + S_{dsb} + S_{dsbr} + S_{nl4} + S_{nl3}$$
(C.15)

式中:

- Sin ——风能输入;
- Sdsw——白浪耗散;
- Sdsb——底摩擦耗散;

Sdsbr——破碎耗散;

- Snl4——四组分波相互作用;
- Snl3——三组分波相互作用。
- C.6 台风理论气压场模型中常用以下 5 种气压公式:
 - a) V.Bjerknes 模型:

$$p(r) = p_{\infty} - \frac{\Delta p}{1 + (\frac{r}{R_0})^2}$$
(C.16)

T/CHES XXX-20XX

b) 高桥模型:

$$p(r) = p_{\infty} - \frac{\Delta p}{1 + \frac{r}{R_0}} \tag{C.17}$$

c) 藤田模型:

$$p(r) = p_{\infty} - \frac{\Delta p}{\sqrt{1 + (\frac{r}{R_0})^2}}$$
(C.18)

d) Myers 模型:

$$p(r) = p_0 - (1 - e^{-\frac{R_0}{r}})\Delta p$$
 (C.19)

e) Jelesnianski 模型:

$$p(r) = p_{0} - \frac{1}{4} \Delta p(\frac{r}{R_{0}})^{3} \qquad r \le R_{0}$$

$$p(r) = p_{\infty} - \frac{3}{4} \frac{\Delta p}{\frac{r}{R_{0}}} \qquad r > R_{0}$$
(C.20)

式中:

r——计算点至台风中心的距离; *p*(*r*)——距台风中心*r*距离处的气压; *P*₀——台风的中心气压; *P*_∞——台风的外围气压,为一常数,一般取为1013.3hpa;
Δ*p*——最大风速半径, Δ*p*=*p*_∞-*p*_r。

其中,V.Bjerknes公式不适用于台风外域的气压计算;高桥公式不适用于台风中心附近的气压计算;藤田的公式、Myers公式和Jelesnianski模型在台风内域或外域都能较好地吻合。

示例:采用Myers公式计算台风气压场,其中最大风速半径*R*₀采用公式(C.21)(Graham Nunn, 1959)计算:

$$R_0 = 28.52 \tanh\left[0.0873(\phi - 28)\right] + 12.22 / \exp\left[(p_{\infty} - p_0)/33.86\right] + 0.2V_t + 37.22 \quad (C.21)$$

式中:

台风风场由气压梯度和台风移动导致的风速合成而成:

1

$$W_{X} = C_{1}V_{tx} \exp\left(-\frac{\pi}{4}\frac{r-R_{0}}{R_{0}}\right) - C_{2}\left\{-\frac{f}{2} + \sqrt{\frac{f^{2}}{4} + \frac{(P_{\infty} - P_{0})}{\rho_{a}R_{0}^{2}}}\left[1 + \left(\frac{r}{R_{0}}\right)^{2}\right]^{-\frac{3}{2}}\right\}.$$
 (C.22)
$$\left[(x - x_{0})\sin a + (y - y_{0})\cos a\right]$$

$$W_{y} = C_{1}V_{ty} \exp\left(-\frac{\pi}{4}\frac{r-R_{0}}{R_{0}}\right) + C_{2}\left\{-\frac{f}{2} + \sqrt{\frac{f^{2}}{4} + \frac{(P_{\infty} - P_{0})}{\rho_{a}R_{0}^{2}}}\left[1 + \left(\frac{r}{R_{0}}\right)^{2}\right]^{-\frac{3}{2}}\right\}.$$
 (C.23)
$$\left[-(y - y_{0})\sin a + (x - x_{0})\cos a\right]$$

式中:

- W_x , W_y ——合成风速在 x、y 方向上的分量; V_{tx} , V_{ty} ——台风移动速度在 x、y 方向上的分量; C_1 , C_2 ——经验系数;
- - a ——考虑大气边界层影响之后梯度风的偏角(称为入流角); ρ_a ——大气密度。

附 录 D

(资料性) 一维—二维耦合水动力模型

D.1 一维河道与二维区域通过上下游型连接方式实现一维——二维水动力数学模型的纵向耦合,如图 D.1 所示。



图 D.1 一维—二维纵向耦合示意图

D.2 一维一二维耦合边界要求如下:

a)对于侧向耦合边界,当断面间距大于等于网格边长时,每相邻两个一维断面之间应 设置耦合边界。当断面间距小于网格边长时,宜根据网格边长设置耦合边界;

b)对于纵向耦合边界, 宜按一维断面宽度设置耦合边界。

D.3 纵向耦合界面处应满足水位、流量约束条件,即一维断面水位与二维边界网格平均水位相等;一维断面流量与二维边界网格总流量相等。

D.4 可采用水位预测—校正法或 Riemann 求解器的非迭代方法进行纵向耦合求解。

D.5 一维河道与二维区域通过堤防型连接方式实现一维—二维水动力数学模型的侧向耦合 如图 D.2 所示。



图 D.2 一维—二维水动力数学模型侧向耦合示意图

D.6 对于侧向耦合计算,在未发生溃堤或漫堤时,只进行一维河网非恒定流计算。当发生 溃堤或漫堤后,开始进行一维一二维耦合数学模型计算,即通过一维河网水动力学模型计算 将耦合界面处的水位传递给二维数学模型,进而根据二维水动力学模型计算得到耦合界面处 的流量,再传递回给一维数学模型作为旁侧入流边界。

D.7 对于溃堤洪水,溃口处的流态可近似为堰流。若溃口形状较为规则,且溃口处洪水的 流态与宽顶堰流较为接近,则可采用传统方法宽顶堰流公式(D.1)和公式(D.2)计算溃口 流量:

$$\begin{cases} Q = C_d L(z_1 - z_w)^{1.5} & \text{if } \frac{2}{3}(z_1 - z_w) \ge (z_2 - z_w) \\ Q = \frac{3^{1.5}}{2} C_d L(z_2 - z_w)(z_1 - z_2)^{0.5} & \text{if } \frac{2}{3}(z_1 - z_w) < (z_2 - z_w) \end{cases}$$
(D.1)

式中:

Q ——耦合界面的流量绝对值;

*z*_{1d}, *z*_{2d}——一维、二维模型在耦合界面处的水位, *z*₁=max(*z*₁d, *z*₂d), *z*₂=min(*z*₁d, *z*₂d); *z*_w——耦合界面的底高程;

Cd——流量系数;

L——矩形溃口的宽度。

若溃口形状复杂,则可采用 Riemann 求解器计算溃口流量。即在二维模型中,各耦合 边界被定义为独立的水位边界,其边界节点的水位值由相邻两个断面的水位按照反距离插值 得到。通过插值得到边界节点的流速,流速方向可默认为与耦合边界平行,也可设置流速与 耦合边界的夹角。不同于常规的基于 Riemann 不变量的水位边界通量计算方法,耦合边界 处通过构造 Riemann 问题计算数值通量,即将插值得到的边界水位与流速、耦合边界处二 维网格单元状态分别作为 Riemann 问题的左侧、右侧初始值,进而利用 HLL、HLLC、Roe 等算子进行求解。对耦合边界包括的二维模型水位边界边的物质通量进行求和,即得到该耦 合边界的流量。

D.8 一维—二维模型采用异步计算的方式进行耦合求解。一维模型运行 N 步,将河网状态 由当前时刻 t 更新至下一时刻 t+Δt1d;相应地,二维模型运行 M 步,其中,前 M—1 步的时

间步长 Δt_{2d}^i (*i*=1,2,…,*M*-1)由CFL条件控制,第M步的时间步长为:

$$\Delta t_{2d}^{M} = \Delta t_{1d} - \sum_{i=1}^{M-1} \Delta t_{2d}^{i}$$
 (D.2)

式中:

Δt1d——一维模型的固定时间步长;

Δt2d——二维模型的自适应时间步长;

M——运行步数,其应满足条件 $0 \le \Delta t_{2d}^M < \Delta t_{CFL}$, Δt_{CFL} 为由 CFL 条件动态控制的 二维模型最大时间步长。

附 录 E

(资料性) CPU 多核并行计算模式

E.1 CPU 多核并行属于共享存储模式,而 OpenMP 是共享存储编程模型的标准,是基于线程的并行编程模型。OpenMP 在并行程序执行时,采用的是 Fork—Join 的方式,如图 E.1 所示。程序开始只有一个主线程,程序中的串行部分都由主线程执行,并行部分通过派生从线程来执行;并行部分全部结束后才能执行后续的串行部分程序。



图 E.1 Fork-Join 并行机制

E.2 OpenMP 编程环境由编译指导语句、运行库函数和环境变量组成。其中,编译指导语句用于指示编译器如何将串行程序转换成并行程序;运行库函数主要包括执行环境函数、锁操作函数和时间操作函数,提供了获取和处理 OpenMP 线程信息、操作变量属性等功能;环境变量用于控制并行执行的方式。

E.3 缓存命中率是影响多核并行计算性能的主要因素。应运用数组合并、循环交换、关键数据提取、循环合并等方法进行缓存命中率优化设计,以提高 CPU 多核并行计算效率。

E.4 数组合并即将两个或多个串行数组合并为一个数组,以避免顺序范围各数组时可能产生的 Cache 冲突失效。该技术主要通过提高空间局部性来减少 Cache 失效次数。

数组合并示例:

合并前: int array1[N]; int array2[N];

合并后: struct merge {int array1; int array2}; struct merge array[N]。

E.5 循环交换即将循环维度进行优化调整。对于嵌套循环,程序可能没有按照数据在内存中的存储顺序访问。以按行存储为例,若要提高访存效率,则应根据存储顺序来访问。优化前的跳步访问代码如图 E.2 a)所示,优化后的顺序访问代码如图 E.2 b)所示。



E.6 关键数据提取可减少数据的重复存取,并减少 Cache 容量要求,降低其失效率。例如 在排序算法中,可以用关键字和指针来代替整个记录排序,使 Cache 无需存放其无关数据, 使 Cache 得到充分利用以存放更多的数据。

E.7 循环合并即将程序中几部分独立运算的相邻循环区域进行合并。如图 E.3 a)所示,程序可能存在相同循环访问同一数组,并对同一数组作不同运算。这样的结构可以合并在一起,合并后可获得更好的空间局部性,降低 Cache 失效。循环合并优化后如图 E.3 b)所示。

 $\begin{array}{c} For \ (i=0; \ i < N2; \ i++) \\ For \ (j=0; \ j < N1; \ j++) \\ \{ \\ A[i][j]=B[i][j]*C[i][j] \\ \} \\ For \ (i=0; \ i < N2; \ i++) \\ For \ (j=0; \ j < N1; \ j++) \\ \{ \\ D[i][j]=A[i][j]*C[i][j] \\ \} \end{array}$

a) 循环未优化的代码示例

For (i = 0; i < N2; i++)
For (j = 0; j < N1; j++)
{
$$A[i][j]=B[i][j]*C[i][j]$$

 $D[i][j]=A[i][j]*C[i][j]$

b) 循环优化后的代码示例 图 E.3 循环优化代码示例

附 录 F

(资料性) GPU 并行计算模式

F.1 进行 GPU 并行计算模式设计时,首先应分析模型的计算密集型区域,并针对该区域的 计算过程,设计适合并行计算的算法流程,以利用 GPU 数以千计的线程进行计算;其次, 应最大限度减少 CPU 与 GPU 之间的数据交换,以提高并行计算效率。

F.2 从程序实现角度,串行模型的 GPU 并行化改造工作主要包括数据管理和循环并行化两个方面。

F.3 在数据管理方面,为最大限度减少 CPU 与 GPU 之间的数据交换, CPU 完成数据初始 化后,在 GPU 中开辟全局变量空间,并将 CPU 全局变量值拷贝至 GPU;在 kernel 循环启 动计算时,不再涉及 CPU 与 GPU 数据传递;仅在需要输出计算结果的时候,将 GPU 的水 深、流速等计算结果拷贝回 CPU 主存空间。数据流程如图 F.1 所示。



图 F.1 GPU 并行计算数据流程图

F.4 在循环并行化方面,考虑数据依赖性,基于 OpenACC 的循环并行化实现可分为以下 2 种情况:

- a)不存在规约及原子操作的循环;
- 22

b)需要进行规约的循环。

并行化实现方法如图 F.2 所示。

Subroutine Comp1 Use Global, only : Flo2D Implicit none Integer*4 ::i !\$acc parallel loop present (Flo2D) Do i =1, edgesNum End do !\$acc end parallel loop	Subroutine Comp2 Use Global, only : Flo2D Implicit none Integer*4 ::i Real*8 ::speed !\$acc parallel loop present (Flo2D) !\$acc reduction(max: speed) Do i =1, edgesNum Speed=max(speed,Flo2D%speed(i)) End do !\$acc end parallel loop
End subroutine	!\$acc end parallel loop End subroutine

a) 不存在规约及原子操作的循环

b) 需要进行规约的循环

图 F.2 基于 OpenACC 的循环并行化实现示意图

F.5 基于 OpenACC 的代码并行化包括数据 CPU 端初始化、将数据由 CPU 拷贝至 GPU、GPU 端并行计算、将计算结果由 GPU 拷贝至 CPU 等主要步骤,如图 F.3 所示。

```
program main
 implicit none
 integer, parameter :: N = 256
 integer a(N), b(N), c(N)
 integer i
!CPU 端数据初始化
 do i = 1, N
 a(i) = 0
 b(i) = i
 end do
 ! 将数据由 CPU 拷贝至 GPU, GPU 端并行计算,
!计算完成后,将计算结果由 GPU 拷贝至 CPU
 !$acc kernels create(a) copyin(a, b) copyout(b)
 do i = 2, N
   a(i) = b(i-1) + b(i)*a(i)
 end do
 do i = 2, N
  b(i) = a(i)
 end do
 !$acc end kernels
 !输出计算结果
 print*, "b(N) = ", b(N)
```

附 录 G

(资料性) 基于区域分解的分布式并行计算模式

G.1 当计算网格数量大于 100 万时, 宜将整个模拟区域分解为若干个有或无水力耦合关系的子区域。

注:当计算网格数量大于 100 万时,普通的单机 CPU 多核并行或 GPU 并行的计算速度仍难以满足洪 水演进水动力实时模拟需求。

G.2 在每个计算时间步长内, 宜共享各相邻区域间边界位置的网格水深、流速等信息。相邻区域界面网格分布如图 G.1 所示。

注:一般情况下,二维数学模型多宜采用显式格式求解,单个计算时间步长内,单元之间界面的通量仅取决于界面两侧单元的水深、流速等。



图 G.1 相邻区域界面网格分布示意图

G.3 相邻区域界面网格带内各网格水深、流速等通过消息传递模式进行共享。当相邻区域 界面地形可阻隔洪水传播时,界面两侧网格实际无水力耦合关系,不应信息共享。

G.4 如图 G.2 所示,分布式并行计算编程的基本流程包括以下内容:

- a) 划分各子进程的并行计算任务,即将整个模拟区域分解为多个子区域,将整个区域 的洪水演进模拟转化为多个子区域的洪水演进模拟;
- b) 消息传递:包括主处理器与子处理器之间的传递及子处理器之间的传递,以进行下 一步计算而进行数据传递;
- c) 消息接受:每一个参与计算的子处理器接受主处理器传来的数据和指令,并开始计算;
- d) 结果汇总:将每个参与计算的主处理器的计算结果传递回主处理器进行汇总输出。 由图 G.2 可知,基于 MPI 的分布式并行计算模式设计时主要考虑减少进程等待时 间和通信时间。



图 G.2 分布式并行计算模式下各进程间消息传递

G.5 宜采用非阻塞通信方式进行进程间消息传递。即当主进程调用消息传递函数且不能立刻得到某子进程计算结果之前,该函数不会阻塞当前线程,而会立刻返回。基于非阻塞通信方式的二维洪水数学模型求解流程如图 G.3 所示。



图 G.3 基于非阻塞通信方式的二维洪水数学模型求解流程图

G.6 程序设计时应对整个程序中 CPU 间通信的数据量和次数进行统计, 删掉重复和非必须 的通信数据。将通信数据进行打包, 化零为整, 减少通信次数。

附录H

(资料性) 模型数据接口

H.1 河网结构接口数据格式

H.1.1 河流文件存储每条河流的数据,其属性表包含自然河流及河段的名称、编码、流向等信息。河流文件的接口内容及字段定义可参照表 H.1 及表 H.2。

表 H.1 河流文件接口内容说明					
字段名称	字段含义	字段类型	备注		
RVNM	自然河流名称	C (30)	-		
RVCD	自然河流编号	C (8)	-		
DF	自然河流流向	N (4)	-		
表 H.2 河段文件接口内容说明					
	1		1		

字段名称	字段含义	字段类型	备注
RSNM	河段名称	C (30)	-
RVCD	所属自然河流编号	C (8)	-
RVLT	河段长度	N (9, 3)	
DF	自然河道流向	N (4)	-

H.1.2 断面是进行河道概化的重要元素。断面文件属性包含所属自然河道名称、断面位置 信息。接口内容及字段定义可参照表 H.3。

字段名称	字段含义	字段类型	备注
CSCD	断面编号	C (8)	-
RVNM	所属自然河道名称	C (30)	-
LPX	断面起点 x 坐标	N (12, 4)	投影坐标
LPY	断面起点 y 坐标	N (12, 4)	投影坐标
RPX	断面终点 x 坐标	N (12, 4)	投影坐标
RPY	断面终点 y 坐标	N (12, 4)	投影坐标
LBTX	左堤顶 x 坐标	N (12, 4)	投影坐标
LBTY	左堤顶 y 坐标	N (12, 4)	投影坐标
RBTX	右堤顶 x 坐标	N (12, 4)	投影坐标
RBTY	右堤顶 y 坐标	N (12, 4)	投影坐标

表 H.3 断面文件接口内容说明

H.1.3 断面高程点文件属性仅记录位置及高程信息,接口内容及字段定义可参照表 H.4。

表 H.4 断面高程点文件接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
CSPCD	断面高程点编码	C (8)	-
PX	断面高程点 x 坐标	N (12, 4)	投影坐标
РҮ	断面高程点 y 坐标	N (12, 4)	投影坐标
PZ	断面高程点地形高程	N (12, 4)	-
CSCD	地形点所属断面编号	C (8)	-

H.1.4 汊点文件属性包含汊点位置、汊点处连接的自然河道名称、汊点处连接的自然河道 数量,接口内容及字段定义可参照表 H.5。

字段名称	字段含义	字段类型	备注
JCD	汊点编码	C (8)	-
RVNM	连接的自然河道名称	C (30)	-
РХ	汊点位置 x 坐标	N (12, 4)	投影坐标
РҮ	汊点位置 y 坐标	N (12, 4)	投影坐标
RVNB	连接的自然河道数量	N (8)	-

表 H.5 汊点文件接口内容说明

H.1.5 边界文件属性包含边界点的位置、边界类型、边界名称,接口内容及字段定义可参照表 H.6。

字段名称	字段含义	字段类型	备注
BCCD	边界编码	C (8)	-
BCNM	边界名称	C (30)	-
CSCD	断面编码	C (8)	边界所在
			断面编码
BCX	边界位置 x 坐标	N (12, 4)	投影坐标
BCY	边界位置 y 坐标	N (12, 4)	投影坐标
BCTP	边界类型	N (8)	-

表 H.6 边界文件接口内容说明

H.2 网格地形接口数据格式

H.2.1 节点文件记录网格节点位置及高程,接口内容及字段定义可参照表 H.7。

表 H.7 节点文件接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
NDCD	节点序号	N (8)	-
X	节点 x 坐标	N (12, 4)	投影坐标
Y	节点 y 坐标	N (12, 4)	投影坐标
NDB	节点地形高程	N (12, 4)	-

H.2.2 单元文件记录网格拓扑关系,接口内容及字段定义可参照表 H.8。

表 H. 8 单元文件接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
GCCD	单元序号	N (8)	-
TP	单元类型	N (8)	-
N1	顶点序号	N (8)	-
N2	顶点序号	N (8)	-
N3	顶点序号	N (8)	-
N4	顶点序号	N (8)	-

H.2 模型参数接口数据格式

H.2.1 河网实时边界数据接口内容及字段定义可参照表 H.9。

表 H.9 河网实时边界数据接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
BCCD	边界编号	N (8)	-

字段名称	字段含义	字段类型	备注
BCNM	边界名称	C (30)	-
BCX	边界位置X坐标	N (12, 4)	-
BCY	边界位置Y坐标	N (12, 4)	-
CSCD	边界所在断面编号	N (8)	-
ТМ	年/月/日 时:分:秒	Т	-
Z	水位	N (9, 3)	-
Q	流量	N (9, 3)	-
			值为"Z"代表水位边界,
ВСТР	边界类型	C(2)	值为"Q"代表流量边界,
		C (2)	值为 "ZQ" 代表水位流量
			关系边界

H.2.2 河网糙率数据接口内容及字段定义可参照表 H.10。

表 H.10 河网糙率数据接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
CSCD	断面编号	N (8)	-
MANNING	曼宁糙率系数	N (9, 3)	-

H.2.3 一维水动力模型初始场参数接口内容及字段定义可参照表 H.11。

表 H. 11 一维水动力模型初始场参数接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
CSCD	断面编号	N (8)	-
Z	断面水位	N (9, 3)	-
Q	断面流量	N (9, 3)	-

H.2.4 河网模型计算参数接口内容及字段定义可参照表 H.12。

表 H. 12 河网模型计算参数接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
GAMA	差分系数	N (9, 3)	-
TMSP	计算时间步长	N (9, 3)	-
STTM	计算起始时刻	N (9, 3)	-
EDTM	计算终止时刻	N (9, 3)	-
OPTMSP	结果输出时间步长	N (9, 3)	-

H.2.5 二维网格边界数据接口内容及字段定义可参照表 H.13。

表 H.13 二维网格边界数据接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
BCCD	边界编号	N (8)	-
BCNM	边界名称	C (30)	-
BCSNDCD	边界起始节点编号	N (8)	-
BCENDCD	边界终止节点编号	N (8)	-
BCTP	边界类型	C (1)	值为"Z"代表水位边界,值为"Q"代表流量边界
ТМ	时间	Т	年/月/日 时:分:秒
Z	水位	N (9, 3)	-
Q	流量	N (9, 3)	-

H.2.6 网格糙率数据接口内容及字段定义可参照表 H.14。

表 H.14 网格糙率数据接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
GCCD	网格序号	N (8)	-
MANNING	曼宁糙率系数	N (9, 3)	-

H.2.7 二维水动力模型计算参数接口内容及字段定义可参照表 H.15。

表 H.15	二维水动力模型论	†算参数接□	口内容说	兑明
字段名称	字段含义	字段类型	备注	
ORDER	计算格式精度	N (8)	-	
UFTS	计算时间步长模式	C (1)	-	
MLTSL	局部时间步长层数	N (8)	-	
TMSP	固定计算时间步长	N (9, 3)	-	
CFL	CFL 数	N (9, 3)	-	
STTM	计算初始时刻	N (9, 3)	-	
EDTM	计算终止时刻	N (9, 3)	-	
AODT	结果输出时间步长	N (9, 3)	-	
TOL	干湿边界水深阈值	N (9, 3)	-	
AK	紊动粘性系数	N (9, 3)	-	

H.2.8 二维水动力模型初始场数据接口内容及字段定义可参照表 H.16。

表 H.16	二维水动力模型初始场数据接口内	容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
GCCD	网格序号	N (8)	-
Н	水深	N (9, 3)	-
U	x方向流速	N (9, 3)	-
V	y 方向流速	N (9, 3)	-

H.2.9 一维一二维水动力纵向耦合参数接口内容及字段定义可参照表 H.17。

表 H.17	一维一二维水动力纵向耦	合参数接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
CBCD	纵向耦合界面编号	N (8)	-
CBNM	耦合界面名称	C (30)	-
ITEMAX	最大迭代计算次数	N (8)	-
CSCD	一维断面编号	N (8)	-
BCCD	二维水动力模型水位边界编号	N (8)	-
RATEQ	流量误差控制	N (9, 3)	-
MINQ	流量误差控制	N (9, 3)	-
MAXQ	流量误差控制	N (9, 3)	-

H.2.10 一维—二维水动力侧向耦合参数接口内容及字段定义可参照表 H.18。

表 H. 18 一维—二维水动力侧向耦合参数接口内容说明				
字段名称	字段含义	字段类型	备注	
CBCD	耦合界面编号	N (8)	-	
CBNM	耦合界面名称	C (30)	-	
MAXRATE	分洪流量最大分流比	N (9, 3)	-	
CSCD1	上游断面编号	N (8)	-	
CSCD2	下游断面编号	N (8)	下游断面编号	
BCCD	二维水动力模型水位边界编号	N (8)	-	

H.2.11 溃口参数接口内容及字段定义可参照表 H.17。

表 H.1/ 演口参数接口内容说明				
字段名称	字段含义	字段类型	备注	
BCD	溃口编号	N (8)	溃口编号	
BNM	溃口名称	C (30)	溃口名称	
ТМ	时间	Т	年/月/日 时:分:秒	
NDCD	溃口处网格节点编号	N (8)	溃口处网格节点编号	
NDB	溃口处网格节点高程	N (9, 3)	溃口处网格节点高程	
LCOE	有效网格长度系数	N (9, 3)	有效网格长度系数	
WL	溃决水位	N (9, 3)	溃决水位	

H.2.12 一维一二维水动力耦合模型计算参数接口内容及字段定义可参照表 H.18。

表 H.18	一维——二维水动力耦合模型计算参数接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
1D_2D_TMSP	一维—二维水动力模型同步时间间隔	N (9, 3)	一维——二维水动力模型同步时间间隔

H.4 水文气象接口数据格式

H.4.1 水文时间序列接口内容及字段定义可参照表 H.19;水位一流量关系数据接口内容及字段定义可参照表 H.20;表 H.1 与表 H.2 中站点信息数据接口内容可参照表 H.21。

			11 2 11 2 11 1	1 1 00.01
字段名称	字段含义	字段类型	索引序号	备注
STCD	站点编码	C (8)	1	-
TM	时间	Т	2	年/月/日 时:分:秒
Z	水位/潮位	N (9, 3)		-
Q	流量	N (9, 3)		-

表 H. 19 水文时间序列接口内容说明

化 … 20 小庄 加圭八小妖加这日门口心?	表	H. 20	水位—流量关系数据接口内容说明
------------------------	---	-------	-----------------

字段名称	字段含义	字段类型
STCD	站点编码	C (8)
MDTM	水位一流量关系数据所属年份	Т
Z	水位	N (9, 3)
Q	流量	N (9, 3)

表 H. 21 站点数据接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型
STCD	站点编码	C (8)
STNM	站点名称	C (30)
LGTD	站点位置经度(度分秒)	C (16)
LTTD	站点位置纬度(度分秒)	C (16)

H.4.2 台风风场数据接口内容及字段定义可参照表 H.22。

	表 H.22 台风风	场接口内容	说明
字段名称	字段含义	字段类型	备注
TPCD	台风编码	C (8)	-
TPNM	台风名称	C (12)	-
TM	时间	Т	年/月/日 时:分:秒

字段名称	字段含义	字段类型	备注
LGTD	台风中心经度(度分秒)	C (16)	-
LTTD	台风中心纬度 (度分秒)	C (16)	-
V	移行风风速	N (5, 2)	-
P0 台风中心气压		N (8)	-

H.4.3 降雨时间序列数据接口内容及字段定义可参照表 H.23,降雨站点信息接口内容及字段定义可参照表 H.24。

表 H.23 降雨时间序列接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
STCD	站点编码	C (8)	-
ТМ	时间	Т	年/月/日 时:分:秒
DRP	时段降水量	N (6, 2)	-
INTV	时段长	N (8)	-

表 H.24	降雨站点接口内容说明
--------	------------

字段名称	字段含义	字段类型
STCD	站点编码	C (8)
STNM	站点名称	C (30)
LGTD	站点位置经度(度分秒)	C (16)
LTTD	站点位置纬度(度分秒)	C (16)

H.5 溃口设置接口数据格式

H.5.1 溃口节点接口内容及字段定义可参照表 H.25。

表 H.25 溃口节点接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
BRCCD	溃口编码	N (8)	-
BRCNM	溃口名称	C (30)	-
NDCD	网格节点序号	N (8)	-

H.5.2 溃口发展过程接口内容及字段定义可参照表 H.26。

表 H. 26 溃口发展过程接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
BRCCD	溃口编码	N (8)	-
TM	时间	Т	-
NDCD	网格节点序号	N (8)	-
			对应时间下
NDB	节点高程	N (12, 4)	网格节点的
			新高程

H.6 模型结果接口数据格式

H.6.1 一维水动力模拟结果数据接口内容及字段定义可参照表 H.27。

± 11 07

衣	п. 27 —	维小切刀候	以后未奴促	按口内谷坑明
字段名称	字段含义	字段类型	索引序号	备注

从七十十进业中的新国教育中的资源。

子权石协	于权百义	于权关室	系列庁ち	
CSCD	断面编号	N (8)	1	-
ТМ	时间	Т	2	年/月/日 时:分:秒

Q	流量	N (9, 3)	-
Z	水位	N (9, 3)	-
U	流速	N (9, 3)	-

H.6.2 二维水动力模型模拟结果数据接口内容及字段定义可参照表 H.28。 素 H.28 二维水动力模型模拟结果数据接口内容说明

表 R. 20 二维小切力候空候孤纪未数据按口内各成功					
字段名称	字段含义	字段类型	索引序号	备注	
GCCD	网格编号	N (8)	1	-	
ТМ	时间	Т	2	年/月/日 时:分:秒	
Н	水深	N (9, 3)		-	
Z	水位	N (9, 3)		-	
VX	x 方向流速	N (9, 3)		-	
VY	y 方向流速	N (9, 3)		-	
V	流速	N (9, 3)		-	
AG	流速方向	N (9, 3)		_	

H.6.3 洪水风险要素数据接口内容及字段定义可参照表 H.29。

表 H. 29 洪水风险要素数据接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注	
GCCD	网格编号	N (8)	-	
MAXH	最大淹没水深	N (9, 3)	-	
MAXZ	最大淹没水位	N (9, 3)	-	
MAXV	最大洪水流速	N (9, 3)	-	
MAXHV	最大单宽流量	N (9, 3)	-	
AT	洪水到达时间	N (9, 3)	-	
MAXHT	最大淹没水深到达时间	N (9, 3)	-	

H.6.4 一维一二维水动力纵向耦合界面计算结果接口内容及字段定义可参照表 H.30。 麦 H.30 一维一二维水动力纵向耦合界面计算结果接口内容说明

表	表 H.30 一维—二维水动力纵向耦合界面计算结果接口P				
	字段名称	字段含义	字段类型	备注	
	CBCD	耦合界面编号	N (8)	-	
	CBNM	耦合界面名称	C (30)	-	
	TM	时间	Т	年/月/日 时:分:秒	
	Z	耦合界面水位	N (9, 3)	-	
	Q	耦合界面流量	N (9, 3)	-	

H.6.5	一维一二维水动力侧向耦合界面接口内容及字段定义可参照表 H.31。
-------	-----------------------------------

表 H.31 一维—二维水动力侧向耦合界面计算结果接口内容说明

दर्ग. अ	一—————————————————————————————————————			
字段名称	字段含义	字段类型	备注	
CBCD	耦合界面编码	N (8)	-	
CBNM	耦合界面名称	C (30)	-	
ТМ	时间	Т	年/月/日 时:分:秒	
Z1	耦合界面上游断面水位	N (9, 3)	-	
Z2	耦合界面下游断面水位	N (9, 3)	-	
Q1	耦合界面上游断面流量	N (9, 3)	-	
Q2	耦合界面下游断面流量	N (9, 3)	-	
Q	耦合界面流量	N (9, 3)	-	

H.7 模型运行管理接口数据格式

模型运行管理数据接口内容说明及模型驱动管理接口内容说明可参照表 H.32 和表 H.33。 表 H.32 模型运行管理数据接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
PJCD	模拟方案编号	N (8)	
PJNM	模拟方案名称	C (30)	
PJST	模拟方案状态	C (10)	
PJDC	模拟方案说明	C (1000)	
SSTM	模拟起始时刻时间	Т	
TH	模拟总时长(小时)	N (9, 3)	
СТМ	方案创建时间	Т	年/月/日 时:分:秒
PJPT	方案计算进度	N (4, 3)	

表 H. 33 模型驱动管理接口内容说明

字段名称	字段含义	字段类型	备注
RM	模型运行模式	C (1)	可为"A","M","T"。A代表固定时间间隔下的
			滚动运算; M 代表用户主动创建方案进行运算; T
			代表面累计雨量阈值触发模式。
TMSP	固定时间间隔	N (4, 2)	单位为小时,当处于固定时间间隔下的滚动运算模
			式时,该参数生效
AP	累计面雨量阈值	N (6, 2)	当处于雨量阈值触发模式时,该参数生效