

JTS

中华人民共和国行业标准

JTS / T 231-2-2010

海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程

Technical Regulation of Modelling for Tidal Current
and Sediment on Coast and Estuary

2010-05-24 发布

2010-09-01 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业标准

海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程

JTS/T 231—2—2010

主编单位：交通运输部天津水运工程科学研究所

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2010 年 9 月 1 日

人民交通出版社

2010 · 北京

关于发布《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》 (JTS/T 231—2—2010)的公告

2010 年第 19 号

现发布《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》。本规程为推荐性行业标准,编号为 JTS/T 231—2—2010,自 2010 年 9 月 1 日起施行。原《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》(JTJ/T 233—98)同时废止。

本标准由部组织交通运输部天津水运工程科学研究所等单位编制完成,由部水运局负责管理和解释,由人民交通出版社出版发行。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部

二〇一〇年五月二十四日

修 订 说 明

本规程是在《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》(JTJ/T 233—98)基础上通过深入调查研究,总结我国近年来海岸与河口潮流泥沙模拟技术的理论和实践经验,广泛征求有关单位和专家意见,并结合我国水运工程模拟技术的现状和发展编制而成。本规程主要包括潮流定床物理模型试验、潮流泥沙物理模型试验、波浪潮流泥沙物理模型试验、波浪沿岸输沙物理模型试验、平面二维潮流泥沙数值模拟、三维潮流泥沙数值模拟、平面二维波浪潮流泥沙数值模拟和波浪沿岸输沙数值模拟等技术内容。

本规程主编单位为交通运输部天津水运工程科学研究所,参编单位为南京水利科学研究院、中交天津港湾工程研究院有限公司和河海大学。

《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》(JTJ/T 233—98)自1999年5月1日正式实施以来,对指导和规范海岸与河口潮流、泥沙试验研究方法和模拟技术,提高研究成果的质量发挥了积极作用。随着我国海岸及港口工程建设的迅速发展,以及泥沙问题理论研究和试验技术的进步,对海岸与河口潮流泥沙模拟技术也提出了新的要求。为此,交通运输部水运局组织交通运输部天津水运工程科学研究所等单位对该规程进行了修订。

本规程共分11章73节和4个附录,并附条文说明。本规程编写人员分工如下:

- 1 总则: 吴以喜
- 2 术语: 李华国
- 3 基本规定: 吴以喜
- 4 潮流定床物理模型试验: 韩西军
- 5 潮流泥沙物理模型试验: 徐 群
- 6 波浪潮流泥沙物理模型试验: 杨 华
- 7 波浪沿岸输沙物理模型试验: 陈国平 刘子琪
- 8 平面二维潮流泥沙数值模拟: 李 蓓
- 9 三维潮流泥沙数值模拟: 李孟国
- 10 平面二维波浪潮流泥沙数值模拟: 李孟国
- 11 波浪沿岸输沙数值模拟: 张东生

附录A~附录C: 李孟国

附录D: 杨 华 吴以喜

本规程于2009年2月12日通过部审,于2010年5月24日发布,2010年9月1日起实施。

本规程由交通运输部水运局负责管理和解释。请各有关单位在执行过程中,将发现的问题和意见及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街11号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规程管理组(地址:天津市塘沽区新港二号路2618号,交通运输部天津水运工程科学研究所,邮政编码:300456),以便再修订时参考。

目 次

1 总则	(1)
2 术语	(2)
3 基本规定	(4)
3.1 一般规定	(4)
3.2 模拟试验研究大纲	(5)
3.3 仪器设备	(5)
3.4 模型试验记录	(5)
3.5 资料整理与分析	(5)
3.6 模拟试验研究报告	(6)
3.7 技术资料归档	(6)
4 潮流定床物理模型试验	(7)
4.1 基本资料	(7)
4.2 模型设计	(7)
4.3 模型制作的准备工作	(9)
4.4 模型制作	(10)
4.5 模型试验设备	(11)
4.6 模型验证试验及精度控制	(11)
4.7 模型水流特性试验	(12)
4.8 方案试验	(12)
4.9 试验成果分析	(13)
5 潮流泥沙物理模型试验	(14)
5.1 基本资料	(14)
5.2 模型设计和模型沙的选择	(14)
5.3 模型制作	(16)
5.4 模型试验设备	(16)
5.5 模型验证试验及精度控制	(16)
5.6 方案试验及精度控制	(17)
5.7 试验成果分析	(17)
6 波浪潮流泥沙物理模型试验	(19)
6.1 基本资料	(19)
6.2 模型设计	(19)
6.3 模型制作	(20)

6.4	模型试验设备	(20)
6.5	模型验证试验及精度控制	(21)
6.6	方案试验及精度控制	(21)
6.7	试验成果分析	(21)
7	波浪沿岸输沙物理模型试验	(22)
7.1	基本资料	(22)
7.2	模型设计	(22)
7.3	模型制作	(24)
7.4	模型试验设备	(25)
7.5	模型验证及冲淤时间比尺的确定	(25)
7.6	方案试验	(25)
7.7	试验成果分析	(26)
8	平面二维潮流泥沙数值模拟	(27)
8.1	基本资料	(27)
8.2	基本方程	(27)
8.3	计算模式	(28)
8.4	计算域的确定及网格剖分	(28)
8.5	初始条件和边界条件	(29)
8.6	基本参数的确定	(30)
8.7	验证计算及精度控制	(31)
8.8	方案计算	(31)
8.9	成果分析	(31)
9	三维潮流泥沙数值模拟	(32)
9.1	基本资料	(32)
9.2	基本方程	(32)
9.3	计算模式	(33)
9.4	计算域的确定及网格剖分	(33)
9.5	初始条件和边界条件	(34)
9.6	基本参数的确定	(36)
9.7	验证计算及精度控制	(36)
9.8	方案计算	(36)
9.9	成果分析	(37)
10	平面二维波浪潮流泥沙数值模拟	(38)
10.1	基本资料	(38)
10.2	基本方程	(38)
10.3	计算模式	(39)
10.4	计算域的确定及网格剖分	(39)

10.5	初始条件和边界条件	(40)
10.6	基本参数的确定	(41)
10.7	验证计算及精度控制	(43)
10.8	方案计算	(43)
10.9	成果分析	(43)
11	波浪沿岸输沙数值模拟	(44)
11.1	基本资料	(44)
11.2	基本方程	(44)
11.3	计算模式	(45)
11.4	网格剖分	(45)
11.5	边界条件	(46)
11.6	计算波要素及水位的确定	(46)
11.7	验证计算	(46)
11.8	方案计算	(47)
11.9	成果分析	(47)
附录 A	ADI 法计算模式	(48)
附录 B	三角元法计算模式	(54)
附录 C	三维潮流泥沙垂向坐标变换法的计算模式	(57)
附录 D	本规程用词用语说明	(64)
附加说明	本规程主编单位、参加单位、主要起草人、总校人员和管理组人员名单	(65)
附 条文说明		(67)

1 总 则

1.0.1 为规范海岸与河口潮流、泥沙模拟技术,提高研究成果的质量,为水运工程建设提供科学依据,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于海岸与河口水运建设工程项目的潮流、泥沙模拟研究。

1.0.3 海岸与河口潮流泥沙模拟研究工作除应符合本规程规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 海岸

以海洋动力作用为主的近岸地带。

2.0.2 河口

海洋动力和河流动力共同作用的区域。

2.0.3 模拟技术

模仿自然界物质运动和变化规律的技术,包括物理模型和数值模拟两种方法。

2.0.4 物理模型

将研究对象按满足一定相似条件或相似准则缩制而成的模型,又称实体模型。

2.0.5 数值模拟

针对研究对象和需要研究问题的数学方程式,按给定的定解条件进行数值求解的方法,又称数学模型。

2.0.6 潮流定床物理模型

模拟潮汐水流运动的定床物理模型。

2.0.7 潮流泥沙物理模型

模拟在潮流动力作用下泥沙运动的物理模型。按模型床面的可动性可分为定床模型与动床模型;按模拟泥沙运动形态可分为悬沙模型、底沙模型和全沙模型。

2.0.8 潮流悬沙淤积定床物理模型

模拟在潮流动力作用下研究区域发生悬沙淤积变化的定床物理模型。

2.0.9 潮流泥沙动床物理模型

床面铺有适当厚度的模型沙,模拟在潮流动力作用下床面冲淤变化的物理模型。

2.0.10 波浪潮流泥沙物理模型

床面铺有适当厚度的模型沙,模拟在波浪、潮流共同作用下床面冲淤变化的物理模型。

2.0.11 波浪沿岸输沙物理模型

床面铺有适当厚度的模型沙,模拟在波浪动力作用下沿岸输沙的物理模型。

2.0.12 模型比尺

原型与模型各对应物理量间的比例关系。

2.0.13 正态模型

长、宽、高都按同一几何比尺缩小的物理模型。

2.0.14 变态模型

水平比尺大于垂直比尺的物理模型。

2.0.15 模型变率

模型水平比尺与垂直比尺之比值。

2.0.16 几何相似

模型与原型的线性度量之间保持固定的比例关系。

2.0.17 重力相似

模型与原型内惯性力与重力在相应方向上的分量比值相等。

2.0.18 阻力相似

模型与原型内阻力与重力在相应方向上的分量比值相等。

2.0.19 动力相似

两个几何相似体系的液流中,相应质点所受性质相同的作用力保持着固定的比例关系,即力场的几何相似。

2.0.20 运动相似

两个几何相似体系的液流中,相应质点迹线几何相似,而且质点流过相应线段所需的时间保持固定的比例关系,即速度场的几何相似。

2.0.21 床面冲淤变形相似

模型床面在一定相应时段内与原型床面冲淤部位和冲淤变化相似。

2.0.22 模型沙

物理模型中按相似条件模拟悬沙和底沙的固体颗粒材料,有天然沙和轻质沙两种。

2.0.23 边界条件

物理模型或数值模拟中边界上水位、水流、波浪和泥沙等控制条件。

2.0.24 初始条件

模型试验或数值模拟开始时所采取的水位、水流、波浪和泥沙等起始状态。

2.0.25 加糙

调整物理模型床面糙率以满足模型水流阻力相似条件的措施。

2.0.26 密排加糙

将沙、砾或卵石等紧密排列在模型床面上的加糙方式。

2.0.27 有间距加糙

将砾、卵石或人工块体等按一定间距排列、均匀粘牢在模型床面上的加糙方式。

2.0.28 桩点法

根据规则的网格节点高程塑造模型地形的制模方法。

2.0.29 断面法

根据断面地形变化塑造模型地形的制模方法。

2.0.30 验证试验和验证计算

物理模型和数值模拟中为检验和校正模型与原型相似程度的试验或计算。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 模拟研究应根据工程项目情况、研究目的和要求收集工程海区的气象、水文、波浪、泥沙运动等自然条件和人类活动影响等相关资料,必要时应进行相关的勘测。

3.1.2 模拟方法应根据海岸与河口不同工程性质、研究阶段和当地的水文、泥沙、地形等自然条件确定。重要工程应同时采用物理模型和数值模拟两种方法进行研究。

3.1.3 研究海岸与河口各种工程措施对工程区域及其附近水域的潮位、流场的影响宜采用潮流定床物理模型。

3.1.4 研究工程区域及其附近水域的泥沙冲淤变化程度及分布,宜在潮流定床模型方案试验研究的基础上采用泥沙物理模型。

3.1.5 泥沙物理模型动床部分应根据研究目的和工程影响范围确定,并应覆盖工程关注的影响范围。

3.1.6 泥沙物理模型宜根据泥沙输移动力、泥沙输移形态和床面冲淤变化的特点,按下列情况选择:

(1)当工程区域潮流动力较弱且周围波浪掩护条件较好,工程区域床面地形以悬沙淤积为主时,采用悬沙淤积淀床物理模型;

(2)当工程区域潮流动力较强,周围波浪掩护条件相对较好,床面冲淤变化以悬沙为主,采用悬沙动床物理模型;当床面冲淤变化以底沙运移为主,采用底沙动床物理模型;

(3)当工程区域潮流动力和波浪掀沙作用较强,床面有冲淤变化,并以悬沙运动为主,采用波浪潮流泥沙物理模型。

3.1.7 研究以波浪作用为主的沙质海岸的岸滩演变问题,宜采用波浪沿岸输沙物理模型。

3.1.8 海岸与河口潮流数值模拟根据工程性质、技术要求和工程区域潮流、径流具体情况,可采用平面二维潮流数值模拟计算,局部潮流流态较为复杂的区域可采用三维潮流数值模拟计算。

3.1.9 海岸与河口的泥沙数值模拟根据工程性质、技术要求和工程区域潮流、径流和波浪动力及泥沙运动具体情况可采用平面二维泥沙数值模拟计算,潮流流态及泥沙运动复杂的局部区域可采用三维泥沙数值模拟计算。

3.1.10 沙质海岸由波浪作用引起的岸滩演变和工程泥沙冲淤变化宜采用波浪泥沙数值模拟计算。

3.1.11 在考虑潮汐大、中、小潮作用时,河口及其附近海域潮流模拟应同时考虑与河口

下泄不同频率径流的组合作用。

3.1.12 河口及其附近海域泥沙模拟应同时考虑河道下泄泥沙对工程区域泥沙冲淤的影响。

3.2 模拟试验研究大纲

3.2.1 模型试验应根据试验的目的和要求编制模拟试验研究大纲。

3.2.2 物理模型试验研究大纲主要内容应包括项目概况、研究目的和要求、依据的技术标准、技术路线、研究方法和内容、模型设计、基本资料、设备及量测仪器、主要研究人员、研究进度计划、预期目标和研究成果。

3.2.3 数值模拟研究大纲主要内容应包括项目概况、研究目的和要求、依据的技术标准、技术路线、研究方法和内容、基本资料、主要研究人员、研究进度计划、预期目标和研究成果。

3.2.4 重要工程试验研究大纲应包括国内、外研究水平等内容。

3.3 仪器设备

3.3.1 模型试验设备和测量仪器应根据试验研究要求和内容、量测精度确定。

3.3.2 模型试验设备的选择应满足波浪、潮流、泥沙物理模型试验研究的要求。

3.3.3 模型试验测量仪器应包括水位、流速、流向、流量、波高、含沙量、温度、盐度、地形和流场等测量仪器,并应根据试验要求、测量精度、模型布置确定模型使用测量仪器的种类、型式和数量。

3.3.4 试验使用的测量仪器应通过检验和率定,其技术指标应满足试验精度和稳定性的要求。

3.4 模型试验记录

3.4.1 模型试验记录应根据不同试验要求和内容制定相应的表格,并按归档要求填写。记录值发生错误应划掉重写,不应涂改,原始记录不应重抄。记录应及时整编、校核和装订成册。

3.4.2 采用计算机控制、采集和数据处理的试验记录,应根据试验要求和内容编制不同的文件程序块,将试验过程中间和最终成果分别保存或按一定表格形式输出打印,最终应形成数据档案文件。

3.4.3 模型试验记录应包括关键部位工程前后的录像和照像资料。

3.5 资料整理与分析

3.5.1 研究资料的整理与分析应包括原型资料和模拟试验资料两部分。

3.5.2 收集、整理和分析原型资料的范围应根据研究目的、要求和内容确定,其范围应包括下列内容:

(1)工程及邻近海域的地理位置、地貌特征、海岸与河口演变状况、已建和拟建工程的情况;

(2)工程及邻近地域的气象资料,主要包括风要素的特征值及其频率,台风和寒潮大风的路径、强度、历时和影响次数的统计;必要时还包括历史天气图等;

(3)河口附近工程区域河道径流及输沙特征值资料;

(4)工程及邻近海域的波浪及其特征值;

(5)工程及邻近海域的潮汐、潮流特征;

(6)工程及邻近海域的泥沙运动及冲淤变化特征;

(7)工程及邻近海域床面沉积物类型及泥沙物理力学特征值;

(8)工程及邻近海域物理模型验证试验或数值模拟验证计算采用的潮位、流速、流向、含沙量和地形等资料。

3.5.3 模拟研究应对收集的资料进行整理与分析,并论证采用资料的可靠性和代表性。

3.6 模拟试验研究报告

3.6.1 试验报告应包括下列内容:

(1)封面,主要包括报告全称、编号、编制单位名称和日期等;

(2)单位资质和质量管理体系认证证书;

(3)扉页,主要包括单位负责人、单位技术负责人、报告审查人、项目负责人、主要参加人、报告编写人等;

(4)摘要;

(5)目次;

(6)正文;

(7)参考文献和资料。

3.6.2 试验报告正文应包括下列基本内容:

(1)前言,包括项目背景、研究工作目的、依据、工作内容、主要工作方法、所采用的基本资料和其他需要说明的问题;

(2)工程海域自然条件,阐述工程及邻近海域的自然条件及其特征等;

(3)模型设计或数值模拟方法;

(4)模型制作或建立;

(5)模型验证资料选取及验证试验;

(6)试验方案、方案试验或模拟计算及成果分析;

(7)结语,对研究成果的概括、总结,提出结论性的意见和建议。

3.7 技术资料归档

3.7.1 工作完成后技术资料应及时归档。

3.7.2 归档资料应按项目招标书、投标书、中标书、合同、技术要求,研究大纲、技术资料,模型设计、验证试验或验证计算、方案试验或方案计算、终结试验或终结计算、研究成果报告,报告成果审批表、项目技术评审意见书等进行整理。

3.7.3 归档资料应符合国家科技档案归档的有关规定。

4 潮流定床物理模型试验

4.1 基本资料

4.1.1 水深地形图资料应符合下列规定。

4.1.1.1 制模应采用近期有代表性的水深测图资料,用图范围应超出研究区域。

4.1.1.2 测图时间宜与水文测验时间相近,地形相对稳定的研究水域,时间间隔可适当放宽。

4.1.1.3 测图比尺宜采用 1/5000 ~ 1/25000,其中试验区测图比尺宜采用 1/2000 ~ 1/10000,测图应换算为统一的高程基准面和坐标系。

4.1.1.4 分析研究用图应包括试验研究工程区域在内的历次测图和海图。

4.1.2 水文泥沙资料应符合下列规定。

4.1.2.1 全潮同步水文、泥沙测验资料应满足下列要求:

(1)模型试验范围内水文测点垂线数量、垂线布置根据试验区地形特征、潮流复杂程度、范围大小和验证试验要求确定,测点垂线不少于 5 条,重要控制断面测点垂线不少于 3 条;

(2)水文测点垂线处进行洪、枯季或代表性季节大、中、小潮全潮同步水文泥沙测验;

(3)模型试验范围内潮位站不少于 2 个,潮位观测时间与全潮水文测验同步;

(4)水文测点垂线和潮位站布置、观测内容、方法和要求以及使用的仪器设备按试验研究要求确定,并满足现行行业标准《水运工程测量规范》(JTJ 203)的有关规定;采用 ADCP 等声学、激光测流、测沙仪器时,进行必要的率定和比对工作。

4.1.2.2 邻近河口或河口有径流汇入的模型应包括河道洪水期在内的水文泥沙资料和相应于全潮同步水文测验期的径流量、输沙量资料。

4.1.2.3 在河口或海域有水流分汊时,模型试验范围内应有断面流量及流量分配资料,并应有大潮或中潮期的涨、落潮流路和相应的潮位观测资料。

4.1.3 基本资料应有工程设计方案及其说明。

4.2 模型设计

4.2.1 潮流定床物理模型应满足几何相似、重力相似和阻力相似条件,相应比尺应按下列公式计算:

$$\text{平面比尺} \quad \lambda_l = \frac{l_p}{l_m} \quad (4.2.1-1)$$

$$\text{垂直比尺} \quad \lambda_h = \frac{h_p}{h_m} \quad (4.2.1-2)$$

$$\text{流速比尺} \quad \lambda_v = \lambda_h^{1/2} \quad (4.2.1-3)$$

$$\text{糙率比尺} \quad \lambda_n = \frac{\lambda_h^{2/3}}{\lambda_l^{1/2}} \quad (4.2.1-4)$$

$$\text{水流时间比尺} \quad \lambda_{t_1} = \frac{\lambda_l}{\lambda_h^{1/2}} \quad (4.2.1-5)$$

$$\text{流量比尺} \quad \lambda_Q = \lambda_l \lambda_h^{3/2} \quad (4.2.1-6)$$

$$\text{潮量比尺} \quad \lambda_w = \lambda_l^2 \lambda_h \quad (4.2.1-7)$$

式中 λ_l ——平面比尺;

l_p ——原型长度;

l_m ——模型长度;

λ_h ——垂直比尺;

h_p ——原型水深;

h_m ——模型水深;

λ_v ——流速比尺;

λ_n ——糙率比尺;

λ_{t_1} ——水流时间比尺;

λ_Q ——流量比尺;

λ_w ——潮量比尺。

4.2.2 模型设计应符合下列规定。

4.2.2.1 模型水流雷诺数应大于 1000。

4.2.2.2 模型试验浅滩段最小水深应大于 2.0cm。

4.2.2.3 模型糙率宜控制在 0.012 ~ 0.030。

4.2.3 模型范围应符合下列规定。

4.2.3.1 在潮汐模型中,模型试验段周围应有过渡段。在单边界或双边界生潮模型中,试验段两侧均应有过渡段;在四周为敞开海域作为边界时,则四周均应有过渡段。过渡段宽度及长度应保证试验段水流运动相似。

4.2.3.2 模型试验段范围应根据试验目的、要求和现场潮流具体情况确定,其范围应包括工程及其可能影响区域。当试验段有建筑物时,岸滩范围的宽度和长度宜大于 3 倍建筑物的凸出部分长度。

4.2.4 模型比尺应符合下列规定。

4.2.4.1 海岸与河口潮流模型宜采用变态模型,模型变率可取 3 ~ 10。

4.2.4.2 模型平面比尺应根据模型范围、试验目的和要求、试验场地大小和布置确定,模型平面比尺宜在 1000 以内。

4.2.4.3 模型垂直比尺应根据模型相似准则和设计规定、仪器测验精度等,结合生潮设备生潮能力、径流设备供水能力和水库蓄水量等因素综合确定。当模型需进行泥沙试

验时,垂直比尺应兼顾模型沙的选择。

4.2.5 模型糙率应通过原型床面糙率和糙率比尺计算确定。当模型床面材料糙率达不到要求时,宜采用有间距加糙或密排加糙等。

4.2.6 模型潮汐控制方式应符合下列规定。

4.2.6.1 在河口或邻近河口海域整体潮流模型中,下边界应采用潮位控制,上边界宜用扭曲水道模拟潮区界段的长度和容积。

4.2.6.2 在河口或海域潮流模型中,试验段较长且上、下边界采用潮位控制时应采取减小潮波反射影响的措施。

4.2.6.3 在河口潮流模型中,试验段较短、局部工程需放大时,下边界宜采用潮位控制,上边界宜采用流量控制。

4.2.6.4 工程试验区域有旋转流时,下边界宜采用流量控制,上边界宜采用流量或潮位控制。

4.2.7 模型平面布置应符合下列规定。

4.2.7.1 模型边界条件应与天然潮流情况相吻合,生潮应根据工程要求、现场潮流方向、边界情况和模型试验场地、试验设备等具体情况采用单边、双边或多边的控制方式。

4.2.7.2 在有径流汇入的河口和海岸,模型下边界宜采用潮位控制,上边界可采用扭曲河段模拟纳潮量,并在扭曲河段末端施放径流,也可采用流量控制方法控制其纳潮量和径流量。

4.2.7.3 当模型范围仅为河口一段或靠岸一侧,涨、落潮流为往复流时,应采用双边界生潮控制。

4.2.7.4 当模型试验范围处于海岸或河口的开敞部分且流态复杂时,应扩大模型范围或进行三面边界流量调节模拟控制。

4.2.7.5 当模型试验范围处于海域当中,且水流状况较复杂时,模型应以涨、落潮主流向方向布置,两端采用流量或水位控制,模型两侧进行边界流量调节模拟控制。

4.2.7.6 在模型生潮进出口处和河口边界处应满足模型进出口段水流平顺、潮位变化连续的要求。模型生潮方向应与天然涨、落潮潮流方向基本一致,若不一致可采用人工方法进行调整,但需要调整的角度不宜大于 15° 。

4.2.7.7 当模型中有径流下泄或余流较强时,在模型边界外应配置水量平衡调配管路和控制系统,及时将多余水量调出到模型外水库(蓄水池),保证模型试验用水量的正常循环。

4.3 模型制作的准备工作

4.3.1 模型平面布置图应根据模型设计绘制,并应包括生潮设备、供水循环系统、管路、阀门位置等。

4.3.2 模型制作施工组织计划应根据模型设计及模型平面布置编制。

4.3.3 平面控制导线和水深控制断面的布设、断面数据的摘取应在整理与拼接的水深图上进行。

4.3.4 平面控制导线的布设应符合下列规定。

4.3.4.1 弯曲、分汊河道模型宜采用三角形导线网或平行导线控制。

4.3.4.2 顺直河口和海岸宜采用直导线控制。

4.3.4.3 模型中除应布置主导线外还应布置辅导线,导线应能够覆盖控制模型内全部位置。

4.3.5 模型地形控制根据地形变化复杂程度,可采用断面法、桩点法或等高线法,也可几种方法混合使用。地形的控制应符合下列规定。

4.3.5.1 变化剧烈、滩槽交错、坡度较大的地形应采用断面法控制,断面布设宜垂直于主、辅导线,断面间距宜采用0.5~1.0m;地形复杂的地方可适当加密。

4.3.5.2 较规则、起伏变化不大、岸线较平顺的地形可采用桩点法控制,桩点间距宜采用1.0m。

4.3.5.3 断面或桩点间的特殊地形可采用等高线法控制。

4.3.6 导线长度及导线点至各断面距离应与坐标网络计算值一致,不一致时,应对量取距离按坐标计算值进行修正。

4.3.7 断面或桩点应依次进行编号,水深应沿断面线摘取。

4.3.8 模型断面板可采用三合板或镀锌板等材料制作。断面板应标明断面号、水深点水深及距离、主辅导线位置。断面裁剪应与断面线平齐,允许偏差应为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

4.3.9 当断面处于方案挖深或局部动床处时,断面宜做成双层,其厚度应按工程方案或冲刷深度要求确定。

4.4 模型制作

4.4.1 模型场地地基不均匀沉降不应超过制模精度,模型场地的设置应考虑风、雨等自然条件对试验的影响。

4.4.2 模型制作应进行导线放样,固定主辅导线点,并进行平差计算,断面或桩点放样应在主辅导线间进行。

4.4.3 模型制作应设置2~3个固定水准点,固定水准点应设置在模型范围外便于观测、不易碰撞且不沉降的地点。试验场地地坪的起始基面应根据模型最大水深或开挖水深加5~10cm确定。

4.4.4 模型边墙应按模型规划断面宽度砌筑,并应高于模型最高潮位10~15cm。

4.4.5 断面或桩点应按放样断面线或桩点位置架设固定,其高程应采用水准测量控制。

4.4.6 模型宜采用易密实的砂、煤灰等材料充填并充分压实,并按断面或桩点高程预留水泥砂浆粉面及加糙厚度。

4.4.7 模型水泥砂浆粉面宜分刮制粗模、粉面两次进行,并应注意施工缝搭接和与边墙的连接。

4.4.8 断面或桩点位置和高程应在模型刮制粗模后进行复核,微地形应符合测图,断面或桩点位置和高程应在制模完成后进行校核,并有完整的记录。

4.4.9 制模断面和桩点高程允许偏差应为 $\pm 1.0\text{mm}$,平面位置允许偏差应为 $\pm 1.0\text{cm}$ 。

4.4.10 加糙应满足模型糙率设计要求。

4.5 模型试验设备

4.5.1 潮流模型试验主要设备应包括生潮系统、供水循环系统和微机控制、采集及处理系统,以及潮位、流速、流向和表面流场测量仪器等,模型试验辅助设备应包括流速仪率定水槽、波流水槽等。

4.5.2 模型生潮系统应根据试验场地固定设备状况、模型边界条件与布置要求选择一种或多种形式组合使用。生潮系统的生潮能力应满足模型中涨、落潮最大流速变化和最大潮量的要求。

4.5.3 生潮系统应配置相应的生潮设备、潮水箱或水库。生潮设备的生潮能力、潮水箱或水库的贮水量可分别按下列公式估算:

$$Q_m > (V_{\max})_m \times (h_{\max})_m \times B_m + Q_0 \quad (4.5.3-1)$$

$$W > B_m \times l_m \times [(h_{\max})_m - (h_{\min})_m] + W_0 \quad (4.5.3-2)$$

式中 Q_m ——模型中流量(m^3/s);

$(V_{\max})_m$ ——模型中最大流速(m/s);

$(h_{\max})_m$ ——模型中最大水深;

$(h_{\min})_m$ ——最小水深(m);

B_m ——模型过水断面宽度(m);

Q_0 ——使生潮尾门或潮水箱阀门处于正常状态而需要的富裕泄水量(m^3);

W ——潮水箱或水库的贮水量(m^3);

l_m ——模型长度(m);

W_0 ——潮水箱或水库与供水、回水系统容积的富裕量(m^3)。

4.5.4 供水循环系统应满足模型或水槽试验用水量 and 循环的要求,并有一定的富裕量;有双边或多边界生潮时,潮流模型应设置水量循环调配系统。

4.5.5 模型应根据试验要求配备微机控制、采集及处理系统。模型生潮系统应采用计算机自动控制,生潮控制潮位站应设置在靠近生潮设备处。

4.5.6 潮位仪、流速仪或流速流向仪应根据原型潮位、潮流站观测位置进行设置。

4.5.7 供水系统和流量控制方式应根据模型径流量大小和场地具体布置情况选择。供水系统供水流量应大于模型生潮流量,并设置适当的集水系统。

4.5.8 仪器设备应在安装完毕、单独检查和调试后联合调试运转。

4.6 模型验证试验及精度控制

4.6.1 模型生潮控制站应有边界潮汐水位过程或流量过程。当缺乏此类资料时,可采用邻近站位资料推算或用数值模拟计算资料。

4.6.2 模型潮汐时间过程应按水流时间比尺控制,潮位变化应按模型垂直比尺控制。

4.6.3 模型应根据现场观测资料进行验证试验,内容应包括潮位、流速、流向、流路和局部流态。

4.6.4 模型验证试验必须重复进行 2~3 次,并应取有效测次的平均值作为成果。成果应以图、表等形式表示。

4.6.5 模型验证试验偏差换算成原型数值应满足下列精度要求:

(1)潮位,高低潮时间的相位允许偏差为 $\pm 0.5\text{h}$,最高最低潮位值允许偏差为 $\pm 10\text{cm}$;

(2)流速,憩流时间和最大流速出现的时间允许偏差为 $\pm 0.5\text{h}$,流速过程线的形态基本一致。测点涨、落潮段平均流速允许偏差为 $\pm 10\%$;

(3)流向,往复流时测站主流流向允许偏差为 $\pm 10^\circ$,平均流向允许偏差为 $\pm 10^\circ$;旋转流时测站流向允许偏差为 $\pm 15^\circ$;

(4)流路与原型观测资料趋向一致;

(5)断面潮量允许偏差为 $\pm 10\%$ 。

4.6.6 当模型验证试验个别测站流速、流向、潮位结果超出允许偏差时,应对比现场实测资料,分析产生偏差的原因,并采取相应的措施。当模型范围较大,验证测站较多,自然条件较复杂时,模型验证超出允许偏差的测站不得超过总验证测站的 20%,且其位置不得集中在试验研究的关键部位。

4.7 模型水流特性试验

4.7.1 水流特性试验的测站布置应符合下列规定。

4.7.1.1 潮位、流速观测站应根据试验要求布设。

4.7.1.2 拟建港池、航道、导堤等工程区域及上、下游断面应布设流速测站,其位置和数量应能反映工程前、后流场变化和工程影响范围。

4.7.1.3 工程区上、下游不同地点应设置潮位站。

4.7.2 水流特性试验宜选用实测的代表潮型,观测内容可包括潮位、流速、流向、流路、流态等。

4.7.3 水流特性试验必须重复进行 2~3 次,并应取有效测次的平均值作为试验结果,且高、低潮位允许偏差应为 0.10m,潮段平均流速允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。

4.8 方案试验

4.8.1 方案试验应按工程设计方案、代表潮型和径流组合依次进行,并应根据试验结果进行调整、优化。

4.8.2 方案试验观测的内容和方法应符合第 4.7 节的规定。测站的数量可随方案的位置适当增减。

4.8.3 方案试验的成果应包括下列内容:

(1)河口及河道水域各潮位站潮位变化,包括最高、最低潮位的变化量,潮汐相位的变化;

(2)各测站流速、流向的变化,包括各方案涨、落潮潮段平均流速值和变化量,流向变化量,涨、落潮最大流速及变化量、历时和平面分布图;

- (3) 流路及流态的变化,包括主要方案工程附近流路或流态的变化;
- (4) 必要时增加各方案潮量或流量的变化。

4.9 试验成果分析

4.9.1 潮流定床物理模型试验应根据试验结果,按照项目试验目的和要求,结合现场潮流泥沙水力特性、波浪、风况等自然条件以及地形变化等具体情况,从潮位、流速、流向、流态等方面综合分析论证各方案的优劣,提出优化方案或推荐方案,以及具体实施中可能出现的问题与解决问题的办法。

5 潮流泥沙物理模型试验

5.1 基本资料

5.1.1 潮流泥沙物理模型所需要的制模地形、水流等资料应符合第 4.1 节的规定。

5.1.2 泥沙资料应包括下列内容：

- (1) 研究区域与水文全潮测验同步的各站分层含沙量观测资料；
- (2) 研究区域每个控制性水边界至少有一条测站与试验区水文全潮同步的洪、枯季大、中、小潮潮流、含沙量同步观测资料；
- (3) 河口及邻近河口水域河道多年的各月径流量及输沙量资料；
- (4) 工程区不同风况和波浪条件下实测的含沙量分布资料；
- (5) 研究区域洪、枯季或夏、冬季底沙和悬沙粒径及级配资料；
- (6) 研究区域底沙、悬沙的沉降速度和起动流速等资料。

5.1.3 研究区域内针对研究的对象至少应有 2 次具有一定代表性的水下地形图资料。地形图比尺宜为 1:2000 ~ 1:5000；当研究对象范围较大时，地形图比尺可放宽至 1:10000；当地形变化较明显时，可采用固定断面测量资料。

5.1.4 河口地区盐度资料应按不同季节、不同潮型进行收集。

5.1.5 工程区域应有波浪观测及分析、计算成果资料，并应包括多年平均波要素、不同波向频率及波高波向频率，不同重现期、不同方向的设计波要素和风暴潮资料等。

5.2 模型设计和模型沙的选择

5.2.1 模型设计应按下列要求做好准备工作：

- (1) 收集与分析研究区域河道径流及输沙、风、浪、潮汐、潮流、底质、泥沙运动、地形地貌、人类活动等资料，掌握研究区域动力条件和地形冲淤变化规律；
- (2) 根据试验的目的和要求，分析研究区域海岸类型、泥沙运动形态，确定采用泥沙模型的类别。

5.2.2 潮流泥沙物理模型中泥沙运动及输移宜满足下列相似条件：

(1) 泥沙起动相似

$$\lambda_{v_0} = \lambda_v \quad (5.2.2-1)$$

(2) 泥沙扬动相似

$$\lambda_{v_f} = \lambda_v \quad (5.2.2-2)$$

(3) 泥沙沉降相似

$$\lambda_{\omega} = \lambda_v \frac{\lambda_h}{\lambda_l} \quad (5.2.2-3)$$

(4) 泥沙悬浮相似

$$\lambda_{\omega} = \lambda_{u_*} \quad (5.2.2-4)$$

(5) 悬沙挟沙能力相似

$$\lambda_s = \lambda_{s_*} \quad (5.2.2-5)$$

(6) 底沙单宽输沙率相似

$$\lambda_G = \lambda_{G_*} \quad (5.2.2-6)$$

(7) 悬沙床面变形相似

$$\lambda_{t_2} = \frac{\lambda_{r_0}}{\lambda_s} \lambda_{t_1} \quad (5.2.2-7)$$

(8) 底沙床面变形相似

$$\lambda_{t_3} = \frac{\lambda_{r_0} \lambda_l \lambda_h}{\lambda_G} \quad (5.2.2-8)$$

式中 λ_{v_0} ——泥沙起动流速比尺；

λ_v ——流速比尺；

λ_{v_f} ——泥沙扬动流速比尺；

λ_{ω} ——泥沙沉降速度比尺；

λ_l ——平面比尺；

λ_h ——垂直比尺；

λ_{u_*} ——模阻流速比尺；

λ_s ——含沙量比尺；

λ_{s_*} ——挟沙力比尺；

λ_G ——底沙输沙率比尺；

λ_{G_*} ——底沙输沙力比尺；

λ_{t_2} ——悬沙冲淤时间比尺；

λ_{t_1} ——水流时间比尺；

λ_{r_0} ——泥沙干容重比尺；

λ_{t_3} ——底沙冲淤时间比尺。

5.2.3 潮流泥沙模型设计除按第 4.2 节的规定执行外,尚应根据研究要求选择第 5.2.2 条中的相似条件。

5.2.4 悬移质泥沙运动相似应满足沉降相似和悬浮相似。变态模型可根据研究问题的性质在沉降相似和悬浮相似中选择主要的相似条件,或在两者之间折中处理;研究分水分沙问题时,泥沙运动相似应以满足泥沙起动、扬动、悬浮、挟沙能力和悬沙床面变形的相似要求为主;研究沉降性质问题时,泥沙运动相似应以满足泥沙起动、扬动、沉降、挟沙能力和悬沙床面变形的相似要求为主。

5.2.5 悬沙淤积定床物理模型泥沙运动相似应满足泥沙沉降和悬沙床面变形相似要求。

- 5.2.6 动床泥沙物理模型泥沙运动相似应满足第 5.2.2 条规定的相似要求。
- 5.2.7 泥沙物理模型中水流挟沙能力和床面变形相似条件可按地形验证情况进行一定的调整。
- 5.2.8 模型沙应根据原型泥沙粒径、水力特性、挟沙能力或输沙率等特征,按模型比尺和试验要求选择。以淤积为主的悬沙淤积物理模型宜按沉降相似选沙;悬移质动床物理模型宜按沉降相似为主并兼顾起动相似条件选沙;推移质动床物理模型宜按起动相似条件选沙;全沙模型宜按悬沙沉降相似和推移质起动相似选沙。
- 5.2.9 模型沙的密度、重度、粒径大小和沉降速度、起动流速等性能指标应通过预备试验测定。
- 5.2.10 原型沙的沉速、起动流速宜采用现场取底质表层泥样通过试验测定,有经验时也可采用合适的公式计算。
- 5.2.11 模型沙材料的力学性能和几何特性应保持稳定。

5.3 模型制作

- 5.3.1 模型制作应符合第 4.3 节和第 4.4 节的有关规定。
- 5.3.2 模型动床范围宜做成固定底层和可动面层两层。固定底层应充分考虑模型可能出现的最大冲刷深度,其高程宜低于最大冲刷深度 5~10cm。
- 5.3.3 模型动床的范围应覆盖工程需要的范围,定床与动床之间应设置过渡带。
- 5.3.4 模型的深槽部分应预留充、排水孔。
- 5.3.5 模型加糙宜按第 4.2.5 条的规定执行,动床部分的床面糙率不足时可在水面或水中加铅丝等物加大糙率。

5.4 模型试验设备

- 5.4.1 模型试验设备应符合第 4.5 节的有关规定。
- 5.4.2 泥沙物理模型试验应设置浑水加沙系统,并应配备测沙仪、泥沙颗粒分析仪、地形仪和其他的淤积量测量设备等。
- 5.4.3 采用地形仪观测地形冲淤变化时,模型试验段的两侧应安置水平导轨。

5.5 模型验证试验及精度控制

- 5.5.1 潮流泥沙物理模型试验应在潮流定床物理模型试验的基础上进行,潮流定床物理模型试验应符合第 4.6 节至第 4.9 节的规定。
- 5.5.2 潮流泥沙物理模型的泥沙验证试验应包括试验段的泥沙运动与床面冲淤变化的相似性。
- 5.5.3 模型试验时进水与退水不应破坏床面地形。
- 5.5.4 模型试验应根据原型泥沙运动情况合理设置加沙断面,加沙断面应距试验段有一定距离。
- 5.5.5 模型加沙量的控制应满足下列要求:

(1) 悬沙淤积、悬沙冲淤动床模型根据天然的含沙量过程线,按含沙量及时间比尺估算模型进口加入的沙量,实际加沙量要经过床面冲淤验证最后确定;

(2) 根据地形验证,调整含沙量或输沙量比尺和冲淤时间比尺;

(3) 底沙动床模型根据实测资料或经验公式,预估底沙输沙量,其数量、过程和相应比尺由地形验证最后确定。

5.5.6 模型验证试验应随时测定模型中含沙量及相应的有关参数。

5.5.7 模型的试验潮型和试验时间控制应满足下列要求:

(1) 模型试验选择合适的大、中、小潮或混合潮作为代表潮型;

(2) 模型试验按水流时间比尺控制潮汐水流过程,按泥沙冲淤时间比尺控制泥沙试验时间。

5.5.8 模型试验区域内的地形冲淤量和冲淤变化应分区段测量。

5.5.9 模型的冲淤部位应与原型基本符合,总冲淤量的允许偏差应为 $\pm 20\%$,单纯淤积的模型允许偏差应为 $\pm 15\%$ 。

5.5.10 当一次试验获得模型的冲淤地形和冲淤量与原型基本相似之后,模型应进行重复试验,两次试验的偏差不得大于 10% 。

5.6 方案试验及精度控制

5.6.1 方案试验应按验证试验确定的水、沙条件进行比选和优化。推荐方案应进行不同水沙组合试验。

5.6.2 潮汐河口的不同水沙条件应包括中水年、枯水年及丰水年 3 种,重要的工程还应包括特大洪水年和风暴潮的影响。

5.6.3 河口及邻近河口区域,泥沙淤积形态为河道径流输沙时,可将泥沙动床改变为定床铺沙,观测在动力作用下泥沙的冲淤变化,定性比较各方案的优劣。

5.6.4 方案试验时,模型加沙量控制应满足下列要求:

(1) 一个全潮周期断面的底沙输沙量允许偏差为 $\pm 20\%$,全试验期总输沙量允许偏差为 $\pm 5\%$;

(2) 测站在一个涨落潮周期内悬沙含沙量的允许偏差为 $\pm 30\%$,总输沙量的允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

5.6.5 模型试验应记录潮位、流量、沙量控制的状态,并观察水流与泥沙运动状态受工程建筑物影响的情况。

5.6.6 方案试验的测量方法和精度控制应与验证试验相同,选择的推荐方案应做重复试验。

5.7 试验成果分析

5.7.1 试验出现异常数据应进行重复试验。

5.7.2 潮流泥沙物理模型应分析泥沙的冲淤变化、各部位冲淤量、平均冲淤厚度和最大冲淤厚度,并比较各工程方案的优劣。

5.7.3 试验方案应说明工程布置特点,并应对工程前、工程初期和工程后期的地形、流速、流向和流态进行比较。

5.7.4 物理模型应从水流、泥沙运动、地形冲淤变化等方面进行综合分析,提出推荐方案。

6 波浪潮流泥沙物理模型试验

6.1 基本资料

- 6.1.1** 波浪潮流泥沙物理模型试验所需要的地形、水流、泥沙等资料应符合第 4.1 节和第 5.1 节的有关规定。
- 6.1.2** 研究区域应有风浪条件下的水体含沙量及分布资料。
- 6.1.3** 研究区域或临近海域应有一年或多年的波浪观测统计资料。
- 6.1.4** 当仅有不同季节的短时资料时,研究区域波浪观测资料应与邻近海域长期波浪观测站观测资料建立同步相关关系。
- 6.1.5** 工程区域应有不同年份与季节的水深测量或断面资料,并应有台风、寒潮大风等恶劣气象条件下海区含沙量资料和海床冲淤地形变化的测量资料。

6.2 模型设计

- 6.2.1** 模型设计前的资料分析、研究应包括下列内容:

- (1) 工程水域潮汐、潮流运动、波浪动力的特征值统计、分析;
- (2) 工程水域含沙量平面、垂线分布特征以及泥沙运动的形态;
- (3) 工程水域泥沙输移、地形冲淤变化与水动力条件的关系;
- (4) 年平均代表波向、代表波高及频率的确定,恶劣气象条件下的波向、代表波高等参数的确定。

- 6.2.2** 波浪潮流泥沙物理模型设计除应符合第 4.2 节和第 5.2 节的规定外,尚应满足下列相似条件:

- (1) 波浪运动相似

波浪折射、波浪陡度、波浪传播速度相似

$$\lambda_L = \lambda_H = \lambda_h \quad (6.2.2-1)$$

$$\lambda_{C_w} = \lambda_L^{1/2} = \lambda_h^{1/2} \quad (6.2.2-2)$$

$$\lambda_T = \lambda_h^{1/2} \quad (6.2.2-3)$$

$$\lambda_{u_w} = \lambda_h^{1/2} \quad (6.2.2-4)$$

$$\lambda_{U_T} = \lambda_{C_w} = \lambda_h^{1/2} \quad (6.2.2-5)$$

波浪绕射、波浪反射相似

$$\lambda_L = \lambda_l = \lambda_h \quad (6.2.2-6)$$

- (2) 波浪破波水深与破波波高相似

$$\lambda_{H_h} = \lambda_{h_h} = \lambda_h \quad (6.2.2-7)$$

(3) 沿岸流相似

$$\lambda_{u_l} = \lambda_h^{1/2} \quad (6.2.2-8)$$

(4) 波浪破波类型相似

$$I_r = \frac{\tan(\beta)}{(H_0/L_0)^{1/2}} \quad (6.2.2-9)$$

式中 λ_L 、 λ_H 、 λ_h ——分别为波长、波高和水深比尺；

λ_{C_w} ——波浪传播速度比尺；

λ_T ——波周期比尺；

λ_{u_w} ——水质点运动速度比尺；

λ_{U_T} ——波浪传质速度比尺；

λ_{H_h} 、 λ_{h_h} ——分别为波浪破碎波高和破碎水深比尺；

λ_{u_l} ——沿岸流流速比尺；

I_r ——波浪破波波型判别数, 当 $I_r < 0.5$ 时为崩破波波型、当 $0.5 < I_r < 3.3$ 时为卷破波波型, 当 $I_r > 3.3$ 时为激破波波型；

H_0 、 L_0 、 $\tan(\beta)$ ——分别为深水波高、波长和岸滩坡角。

6.2.3 海岸与河口波浪潮流泥沙模型, 在满足模型沙选择的条件下, 模型几何比尺的变率不宜过大, 宜在 3~6 之间, 岸滩坡度较平坦的海域模型可选择较大值。

6.2.4 模型垂直比尺应满足模型波高大于 2.0cm, 波周期大于 0.5s 的要求。

6.2.5 模型沙应根据研究区域的底质分布状况和研究问题的性质, 按泥沙沉降相似和起动相似选择粒径、种类。

6.2.6 泥沙模型冲淤时间比尺应根据现场实测含沙量或输沙率资料, 在确定其含沙量或输沙率比尺的情况下经地形冲淤验证, 按达到与原形相似的时间要求确定。

6.2.7 模型中造波机造波的方向应按年平均代表波向和强波向分别布置, 当年平均代表波向和强波向基本一致时可按强波向方向布置。

6.2.8 造波机造波范围应覆盖模型中试验研究的工程区, 并包含邻近水域的动床部分。

6.2.9 造波机距工程区的距离应大于 6 倍波长, 且不影响模型中潮流运动和流场变化。模型中垂直边壁应进行消波处理。

6.3 模型制作

6.3.1 模型制作应符合第 4.3 节、第 4.4 节和第 5.3 节的有关规定。

6.3.2 造波机位置处应设置沟槽, 面向造波方向沟槽应做成斜坡, 两侧应设置透空导墙, 背侧应设置消波材料。

6.4 模型试验设备

6.4.1 模型试验设备应符合第 4.5 节和第 5.4 节的有关规定。

6.4.2 波浪潮流泥沙物理模型试验应配备造波系统和波浪测量系统。研究波浪运动、泥

沙或模型沙在波浪作用下起动、岸滩平衡剖面时,尚应配备波浪水流槽等设备。

6.4.3 造波机产生的波形应平稳、重复性好。测波传感器不应破坏波形和流场。

6.5 模型验证试验及精度控制

6.5.1 模型验证试验及精度控制应符合第4.6节和第5.5节的有关规定。

6.5.2 试验中的波浪应采用工程区水域的代表波浪要素,并进行固定潮位下的观测率定。

6.5.3 当进行正常情况下的波浪潮流泥沙冲淤验证时,验证试验宜分为代表潮型下潮流作用的泥沙试验和与代表波高、波向下波流共同作用的泥沙试验两部分穿插进行。试验时间和含沙量应符合下列规定。

6.5.3.1 代表潮型下潮流作用的泥沙试验时间应按试验工程海域波浪有效波高小于等于0.5m出现的频率计算,试验含沙量应按工程海域相应波浪条件下观测的含沙量控制。

6.5.3.2 波流共同作用下的泥沙试验时间应按试验工程海域波浪有效波高大于0.5m出现的频率计算,试验含沙量应按有效波高大于0.5m各级波高出现的频率与相应的含沙量加权平均值控制。

6.5.3.3 验证试验时间应按模型冲淤试验计算或按调整的时间控制。两个试验阶段的平均含沙量应通过试验含沙量与时间频率加权平均计算。

6.5.4 强浪下的泥沙冲淤验证宜进行代表潮型下潮流与短时强浪组合的试验,其历时应按原型强浪可出现的历时为1~3天控制,试验含沙量应采用强浪时实测的含沙量或推算值控制。

6.6 方案试验及精度控制

6.6.1 方案试验及精度控制应符合第4.7节、第4.8节和第5.6节的有关规定。

6.6.2 方案试验应按验证试验的代表潮型与代表波浪组合的时间、含沙量进行。

6.7 试验成果分析

6.7.1 试验成果分析应符合第4.8节和第5.7节的有关规定。

7 波浪沿岸输沙物理模型试验

7.1 基本资料

7.1.1 研究区域应有大浪期、小浪期的水深图和典型岸滩剖面图,测图比尺宜采用 1:2000 ~ 1:10000,宜收集工程建筑物附近的岸线变化和海岸演变的历史资料。

7.1.2 研究区域应有年平均高潮位、年平均潮位和年平均低潮位,或者应有全年潮位观测资料。

7.1.3 研究区域应有一年以上波高、波向、波周期及观测点水深等资料;当研究区域缺乏长年实测波浪资料时,应有临时测波站连续 3 个月实测波浪资料及相邻海域长期波浪观测资料。

7.1.4 研究区域应有水体含沙量分布、泥沙粒径分布及级配资料,有条件时应有现场实测沿岸输沙率资料。

7.1.5 研究区域在有条件时应有沿岸流流速、流向资料和破波带范围的资料。

7.1.6 模型试验资料应有工程设计图及说明。

7.2 模型设计

7.2.1 波浪沿岸输沙模型相似律应包括几何相似、波浪运动相似、波浪对岸滩作用相似、泥沙运动相似和地形冲淤变化相似。模型各项相似比尺可分别由下列各式确定:

(1) 几何相似

$$\lambda_l = \frac{l_p}{l_m} \quad (7.2.1-1)$$

$$\lambda_h = \frac{h_p}{h_m} \quad (7.2.1-2)$$

(2) 波浪运动相似

波浪折射、波浪陡度、波浪传播速度相似:

$$\lambda_L = \lambda_H = \lambda_h \quad (7.2.1-3)$$

$$\lambda_C = \lambda_T = \lambda_h^{1/2} \quad (7.2.1-4)$$

波浪绕射、波浪反射相似:

$$\lambda_L = \lambda_l = \lambda_h \quad (7.2.1-5)$$

(3) 波浪对岸滩作用相似

浅水波底部轨迹速度、沿岸流速度相似:

$$\lambda_{u_b} = \lambda_{u_l} = \lambda_h^{1/2} \quad (7.2.1-6)$$

(4) 泥沙运动相似

泥沙沉降速度相似

$$\lambda_{\omega} = \lambda_h^{3/2} / \lambda_l \quad (7.2.1-7)$$

泥沙颗粒加速度相似

$$\lambda_{(dv/dt)} = \lambda \left(\frac{v_s - v}{\rho} \right) = 1 \quad (7.2.1-8)$$

泥沙起动相似

$$\lambda_{V_o} = \lambda_{u_b} \quad (7.2.1-9)$$

沿岸输沙量相似

$$\lambda_{QT} = \frac{(Q_T)_p}{(Q_T)_m} \quad (7.2.1-10)$$

(5) 床面冲淤变化相似

冲淤时间比尺:

$$\lambda_{t_o} = \frac{\lambda_{r_o} \lambda_l^2 \lambda_h}{\lambda_{QT}} \quad (7.2.1-11)$$

式中: λ_l, l_p, l_m ——分别为平面比尺、原型长度和模型长度; λ_h, h_p, h_m ——分别为垂直比尺、原型水深和模型水深; $\lambda_L, \lambda_H, \lambda_h$ ——分别为波长、波高和水深比尺; λ_C, λ_T ——分别为波浪传播速度比尺和波周期比尺; $\lambda_{u_b}, \lambda_{u_i}$ ——分别为水质点运动速度比尺和沿岸流速比尺; λ_{ω} ——泥沙沉降速度比尺; $\lambda_{(dv/dt)}$ ——泥沙颗粒加速度比尺; λ_{V_o} ——泥沙起动流速比尺; λ_{QT} ——沿岸输沙量比尺; λ_{t_o} ——海岸床面冲淤时间比尺。**7.2.2** 泥沙起动波高、起动水深和沿岸输沙量宜通过试验确定,也可通过经验公式确定。**7.2.3** 模型设计应根据现场资料 and 需要解决的问题,以满足地形冲淤变化相似为主要条件,合理地选取模型沙和模型比尺。**7.2.4** 波浪沿岸输沙模型试验宜采用不规则波。采用规则波时,试验波要素及试验水位应符合下列规定。**7.2.4.1** 代表波向可采用下式计算:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sum P_i H_i^2 T_i \sin 2\alpha_i}{\sum P_i H_i^2 T_i} \quad (7.2.4-1)$$

式中 $\bar{\alpha}$ ——代表波向; H_i, T_i, P_i, α_i ——分别为大于泥沙起动的第 i 级有效波高所对应的波周期及出现频率与波向角。**7.2.4.2** 代表波高可采用下式计算:

$$\bar{H} = \left(\frac{\sum H_i^2 P_i}{\sum P_i} \right)^{1/2} \quad (7.2.4-2)$$

式中 $\bar{H}$ ——代表波高(m);

H_i ——大于某级泥沙起动的有效波高(m);

P_i ——对应 H_i 波级的频率(%)。

7.2.4.3 代表波周期可选用与代表波高相对应的周期。

7.2.4.4 试验水位可按下列规定选取:

(1) 潮差不大的海域取平均潮位;

(2) 潮差较大的海域取平均高潮位、平均潮位和平均低潮位,试验按其所占的历时比例依次进行。

7.2.4.5 在有明显的两个方向输沙时,应以岸线的垂线为界划分两个方向并分别确定两个方向的代表波向、波高及其他相应的波要素进行试验。

7.2.5 波浪沿岸输沙模型试验宜采用正态模型,当试验条件受限时也可采用变态模型。模型几何比尺应符合下列规定:

7.2.5.1 模型平面比尺应根据模拟的范围、试验目的和要求以及试验场地的大小确定,平面比尺不宜大于 300。

7.2.5.2 模型垂直比尺应满足模型波高大于 2.0cm 和模型波周期大于 0.5s 要求。

7.2.5.3 模型变率不应大于 3.0。

7.2.5.4 模型垂直比尺宜通过波浪槽岸滩平衡剖面预备试验确定。

7.2.6 模型沙可按泥沙淤积或岸滩冲淤变形相似要求选用天然沙或轻质沙。

7.2.7 模型平面布置及边界条件应符合下列规定。

7.2.7.1 模型试验的范围应根据现场实测资料和研究目的确定;模型输沙方向首、尾端应有过渡段,其长度应大于 5 倍波长。

7.2.7.2 模型动床范围应根据波浪作用下泥沙起动水深确定。动床模型沙厚度应大于最大冲刷坑深度。

7.2.7.3 造波机应按试验采用的代表波向布置,与工程建筑物的距离不宜小于 6 倍波长。

7.2.7.4 消波装置应设置在波浪水池尾部和两侧,与建筑物的距离应大于 2 倍波长。模型四周宜设置回流槽。

7.2.7.5 集沙槽或集沙盒应设置在试验段尾部,基本垂直于岸线;集沙槽或集沙盒在满足拦截全部沿岸输沙的前提下形状应窄浅。

7.2.7.6 模型设计应绘制模型总平面布置图,图中应包括模型的范围、工程布置、有关仪器设备的位置和模型导线等。

7.3 模型制作

7.3.1 模型制作应符合第 4.3 节、第 4.4 节和第 5.3 节的有关规定。

7.3.2 变态模型中防波堤、码头等对反射影响较大的建筑物,宜按正态模型制做,当采用

变态的模型建筑物时可在模型建筑物表面增加糙度或采取增加孔隙率的消能措施。

7.3.3 模型中的建筑物可用金属、木材、塑料、有机玻璃或水泥等材料制作。建筑物模型应做防水处理,浸水后不变形,尺寸允许偏差应为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。

7.4 模型试验设备

7.4.1 模型试验应在波浪水池中进行。水池可为混凝土结构,底部及池壁应作防水处理。

7.4.2 试验设备应按模型设计要求布置、安装和调试。

7.4.3 模型中用于量测的各种仪器传感器不应破坏波形及流场。

7.5 模型验证及冲淤时间比尺的确定

7.5.1 海域波况的验证应符合下列规定。

7.5.1.1 原始波控制点应设在水深不小于0.5倍波长,且海底地形较平缓的水域。

7.5.1.2 破波带水域沿岸线方向应布置三个及以上测波点测量破碎波波高;口门、港池、堤后波影区等工程建筑物附近及航道应布置测波点测量波高。

7.5.1.3 控制点处原始波要素应取试验水位条件下,未放置工程建筑物模型时三次测量的平均值,三次测量的允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。

7.5.1.4 各控制点的波高平均值与模型试验要求的波高值的允许偏差应为 $\pm 5\%$ 。

7.5.2 破波带位置应进行验证,并应与原型基本相似。

7.5.3 沿岸流速验证时,模型与原型的允许偏差应为 $\pm 10\%$ 。

7.5.4 各测点破碎波波高和破波角验证时,模型与原型的允许偏差应为 $\pm 10\%$ 。

7.5.5 岸滩剖面验证试验应按照岸滩形态相似原则调整和确定模型波浪要素比尺或模型沙。对海岸的长期演变和因风暴引起的短期变化,应分别验证。

7.5.6 沿岸输沙量应在岸滩形态基本相似前提条件下,上游加沙点和下游集沙点之间岸滩形态基本稳定、且加沙量接近于集沙量的情况下进行测定。

7.5.7 冲淤时间比尺应根据输沙量比尺确定。

7.6 方案试验

7.6.1 方案试验应分别测取下列各项资料:

- (1)代表波作用下不同年限的冲淤地形;
- (2)工程研究区域不同冲淤年限对应的冲淤量、冲淤强度;
- (3)特殊天气条件下地形冲淤分布和冲淤量。

7.6.2 方案试验应在分析各方案的合理性和可行性后进行。

7.6.3 各方案试验应进行两次或两次以上,其试验结果的允许偏差应为 $\pm 20\%$,并取有效试验结果的平均值作为试验结果。

7.7 试验成果分析

7.7.1 波浪沿岸输沙物理模型试验应对所有试验资料进行系统分析,提出各方案试验成果。试验成果应包括不同年限冲淤地形图,工程研究区域不同年限对应的冲淤量、冲淤强度以及冲淤变化趋势曲线图,特殊天气下工程区域地形冲淤分布、冲淤量和冲淤强度,工程研究区域的波浪场等主要内容。

7.7.2 波浪沿岸输沙物理模型试验应阐明各方案的特点,对各方案的波浪场分布和地形冲淤变化等进行综合比较,提出优化方案或推荐方案。

8 平面二维潮流泥沙数值模拟

8.1 基本资料

8.1.1 基本资料除应符合第 5.1 节的规定外,尚应补充工程海域以外计算域的水深图或海图、底质粒径分布图等资料。

8.1.2 关键性控制边界应有潮位资料。

8.2 基本方程

8.2.1 潮流运动可按下列方程控制:

(1) 连续方程

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [(h + \zeta)u]}{\partial x} + \frac{\partial [(h + \zeta)v]}{\partial y} = 0 \quad (8.2.1-1)$$

(2) x 向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = \\ -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gu \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2(h + \zeta)} + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (8.2.1-2)$$

(3) y 向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = \\ -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gv \sqrt{u^2 + v^2}}{c^2(h + \zeta)} + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (8.2.1-3)$$

式中 t ——时间(s);

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的分量(m/s);

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m);

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深(m);

N_x, N_y —— x, y 向水流紊动粘性系数(m^2/s);

f ——科氏参量;

g ——重力加速度(m/s^2);

c ——谢才系数, $c = \frac{1}{n}(h + \zeta)^{\frac{1}{6}}$, n 为曼宁糙率系数。

8.2.2 悬沙输移扩散可按以下方程控制:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + v \frac{\partial s}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial s}{\partial y} \right) + \frac{F_s}{h + \zeta} \quad (8.2.2)$$

式中 t ——时间(s);

s ——含沙量(kg/m^3);

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的分量(m/s);

D_x, D_y —— x, y 向悬沙紊动扩散系数(m^2/s);

F_s ——泥沙源汇函数或泥沙冲淤函数($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$);

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m);

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深(m)。

8.2.3 床面冲淤变化可按以下方程控制:

$$\gamma_o \frac{\partial \Delta h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = F_s \quad (8.2.3)$$

式中 t ——时间(s);

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

Δh ——冲淤厚度(m);

q_x —— x 向底沙单宽输沙率($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$), 在淤泥质海岸 $q_x = 0$;

q_y —— y 向底沙单宽输沙率($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$), 在淤泥质海岸 $q_y = 0$;

γ_o ——泥沙干容重(kg/m^3);

F_s ——泥沙源汇函数或泥沙冲淤函数($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)。

8.2.4 根据计算方法的不同,亦可选用等价的基本方程。**8.3 计算模式**

8.3.1 依据计算区域地形特征和工程方案等具体情况,计算模式可采用有限差分法、有限体积法或有限元法等。

8.3.2 有限差分法中的 ADI 法计算模式可按附录 A 的规定执行。

8.3.3 有限差分法中的三角元法计算模式可按附录 B 的规定执行。

8.4 计算域的确定及网格剖分

8.4.1 计算域的确定应符合下列规定。

8.4.1.1 计算域应足够大,能反映工程海区整体流场特征,其开边界处的水文要素应不受域内工程方案的影响。

8.4.1.2 开边界宜选在流场比较均匀、冲淤基本平衡的断面。

8.4.2 计算域网格应根据计算模式的要求剖分,网格剖分应符合下列规定。

8.4.2.1 网格的疏密应根据计算域内不同部位的工程要求和计算要求确定。

8.4.2.2 网格结点水深应能反映水下地形特征和工程前后水深变化。

8.4.2.3 模型网格应能概化岸线边界和工程方案的固边界。

8.5 初始条件和边界条件

8.5.1 初始条件可按下列方法确定：

$$\zeta(x, y, t) |_{t=0} = \zeta_0(x, y) \quad (8.5.1-1)$$

$$u(x, y, t) |_{t=0} = u_0(x, y) \quad (8.5.1-2)$$

$$v(x, y, t) |_{t=0} = v_0(x, y) \quad (8.5.1-3)$$

$$s(x, y, t) |_{t=0} = s_0(x, y) \quad (8.5.1-4)$$

式中 u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的分量(m/s)；

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m)；

s ——含沙量(kg/m^3)；

t ——时间(s)；

ζ_0, u_0, v_0, s_0 ——分别为 ζ, u, v, s 初始条件下的已知值。

8.5.2 固边界可按下列方法确定：

(1) 法向流速为零：

$$\vec{V} \cdot \vec{n} = 0 \quad (8.5.2-1)$$

(2) 法向泥沙通量为零：

$$\frac{\partial s}{\partial \vec{n}} = 0 \quad (8.5.2-2)$$

式中 $\vec{n}$ ——固边界法向矢量；

$\vec{V}$ ——流速矢量；

s ——含沙量(kg/m^3)。

8.5.3 开边界可按下列方法确定：

(1) 潮流用已知潮位或流速控制：

用潮位时

$$\zeta(x, y, t) |_{\Gamma} = \zeta^*(x, y, t) \quad (8.5.3-1)$$

用流速时

$$\vec{V}(x, y, t) |_{\Gamma} = \vec{V}^*(x, y, t) \quad (8.5.3-2)$$

(2) 悬沙按入流和出流情况分别控制：

入流时

$$s(x, y, t) |_{\Gamma} = s^*(x, y, t) \quad (8.5.3-3)$$

出流时

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u_n \frac{\partial s}{\partial n} = 0 \quad (8.5.3-4)$$

式中 Γ ——开边界；

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m)；

ζ^* ——已知潮位(m);

$\vec{V}$ ——流速矢量;

$\vec{V}^*$ ——已知流速矢量(m/s);

s ——含沙量(kg/m^3);

s^* ——已知含沙量(kg/m^3);

u_n ——法向流速分量(m/s);

$\vec{n}$ ——开边界法向矢量;

t ——时间(s)。

8.5.4 当计算域内存在潮间浅滩、潜堤或其他透水建筑物时,宜采用动边界技术处理。

8.6 基本参数的确定

8.6.1 水流紊动粘性系数宜由试验确定,也可通过验证计算确定,其值可取 $0 \sim 100\text{m}^2/\text{s}$ 。

8.6.2 悬沙紊动扩散系数可取与相应的水流紊动粘性系数相同数值。

8.6.3 泥沙源汇函数可按下列方法确定:

(1)挟沙能力法

$$F_s = \alpha \omega (s_* - s) \quad (8.6.3-1)$$

(2)切应力法

底部切应力

$$\vec{\tau}_b = \frac{g}{c^2} \rho |\vec{V}| \vec{V} \quad (8.6.3-2)$$

当 $\tau_b \leq \tau_d$ 时水中泥沙处于落淤状态

$$F_s = \alpha \omega s \left(\frac{\tau}{\tau_d} - 1 \right) \quad (8.6.3-3)$$

当 $\tau_d < \tau_b < \tau_c$ 时床面处于不冲不淤状态

$$F_s = 0 \quad (8.6.3-4)$$

当 $\tau_b \geq \tau_c$ 时床面泥沙起动

$$F_s = M \left(\frac{\tau_b}{\tau_c} - 1 \right) \quad (8.6.3-5)$$

式中 F_s ——泥沙源汇函数或泥沙冲淤函数($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$);

α ——泥沙沉降机率;

ω ——泥沙沉降速度(m/s);

s_* ——水流挟沙能力(kg/m^3),可采用经验公式或试验确定;

s ——含沙量(kg/m^3);

τ_b ——底部切应力(N/m^2);

$\vec{V}$ ——流速矢量;

- ρ ——海水密度(kg/m^3);
 g ——重力加速度(m/s^2);
 c ——谢才系数;
 τ_a ——临界淤积切应力(N/m^2),宜由试验确定,也可通过验证计算确定;
 τ_c ——临界冲刷切应力(N/m^2),宜由试验确定,也可通过验证计算确定;
 M ——冲刷系数($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),宜由试验确定,也可通过验证计算确定。

8.7 验证计算及精度控制

- 8.7.1 验证工作应包括率定和验证计算,模型的相关参数应通过率定确定。
8.7.2 验证计算应满足计算结果与实测结果基本相符的要求。
8.7.3 验证计算应包括潮位、流速、流向、含沙量过程和床面冲淤变化等内容。
8.7.4 潮位、流速、流向的验证计算精度应符合第4.6.6条的规定。含沙量过程趋势应一致,潮段平均含沙量允许偏差应为 $\pm 30\%$ 。
8.7.5 验证计算应对计算与实测的流场及含沙量场合理性进行分析。
8.7.6 床面冲淤验证应满足冲淤部位和冲淤趋势相似的要求,计算与实测平均冲淤厚度允许偏差应为 $\pm 30\%$ 。

8.8 方案计算

- 8.8.1 方案计算中有关参数以及控制边界条件均应与验证计算的相同。
8.8.2 方案计算应给出潮位、流速、流向、含沙量及床面冲淤变化等结果,并应以相应图表表示。

8.9 成果分析

- 8.9.1 平面二维潮流泥沙数值模拟应根据工程方案前后潮位、流场、床面冲淤强度和分布等方面的变化论证方案优劣,并应通过综合分析提出推荐方案。
8.9.2 重要工程的数值模拟应有可视化动态显示。

9 三维潮流泥沙数值模拟

9.1 基本资料

9.1.1 基本资料除应符合第 8.1 节的规定外,尚应增加分层的流速、流向和含沙量资料。

9.2 基本方程

9.2.1 潮流运动可按下列方程控制:

(1) 连续方程

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (9.2.1-1)$$

(2) x 向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (9.2.1-2)$$

(3) y 向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f u = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (9.2.1-3)$$

(4) z 向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = \\ - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) - g \end{aligned} \quad (9.2.1-4)$$

或

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \quad (9.2.1-5)$$

式中 x, y, z ——原点 o 置于某一水平基面, z 轴垂直向上的直角坐标系坐标;

u, v, w ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, z 方向的速度分量 (m/s);

P ——水压力 (kg/m^2);

N_x, N_y, N_z —— x, y, z 向水流紊动粘性系数 (m^2/s);

g ——重力加速度 (m/s^2);

ρ ——海水密度(kg/m^3);

t ——时间(s);

f ——科氏参量。

9.2.2 悬沙输移扩散可按以下方程控制:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial s}{\partial z} \right) + \omega \frac{\partial s}{\partial z} \quad (9.2.2)$$

式中 s ——含沙量(kg/m^3);

t ——时间(s);

x, y, z ——原点 o 置于某一水平基面, z 轴垂直向上的直角坐标系坐标;

u, v, w ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, z 方向的速度分量(m/s);

D_x, D_y, D_z ——悬沙沿 x, y, z 方向的紊动扩散系数(m^2/s);

ω ——泥沙沉降速度(m/s)。

9.2.3 床面冲淤变化可按以下方程控制:

$$\gamma_0 \frac{\partial \Delta h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} - \omega s = D_z \frac{\partial s}{\partial z} \quad (9.2.3)$$

式中 Δh ——床面冲淤厚度(m);

γ_0 ——泥沙干容重(kg/m^3);

t ——时间(s);

x, y, z ——原点 o 置于某一水平基面, z 轴垂直向上的直角坐标系坐标;

q_x —— x 向的底沙单宽输沙率($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$), 在淤泥质海岸 $q_x = 0$;

q_y —— y 向的底沙单宽输沙率($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$), 在淤泥质海岸 $q_y = 0$;

ω ——泥沙沉降速度(m/s);

s ——含沙量(kg/m^3);

D_z ——悬沙沿 z 向的紊动扩散系数(m^2/s)。

9.3 计算模式

9.3.1 依据计算区域地形特征和工程方案等具体情况, 计算模式可采用有限差分法、有限体积法或有限元法等。

9.3.2 垂向分层可采用 σ 坐标、 z 坐标等方法。

9.3.3 有限差分法中 σ 坐标变换法的计算模式可按附录 C 的规定执行。

9.4 计算域的确定及网格剖分

9.4.1 计算域的确定应符合第 8.4.1 条的规定。

9.4.2 垂向分层和平面网格剖分应根据计算域地形特征、工程方案计算要求等进行。平面可采用矩形网格或三角形网格, 剖分应符合第 8.4.2 条的规定。垂向分层不宜少于 10 层。

9.5 初始条件和边界条件

9.5.1 初始条件可按下列公式确定:

$$\zeta(x, y, t) \big|_{t=0} = \zeta_0(x, y) \quad (9.5.1-1)$$

$$u(x, y, z, t) \big|_{t=0} = u_0(x, y, z) \quad (9.5.1-2)$$

$$v(x, y, z, t) \big|_{t=0} = v_0(x, y, z) \quad (9.5.1-3)$$

$$w(x, y, z, t) \big|_{t=0} = w_0(x, y, z) \quad (9.5.1-4)$$

$$s(x, y, z, t) \big|_{t=0} = s_0(x, y, z) \quad (9.5.1-5)$$

式中 u, v, w ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, z 方向的速度分量 (m/s);

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位 (m);

s ——含沙量 (kg/m^3);

t ——时间 (s);

$\zeta_0, u_0, v_0, w_0, s_0$ ——分别为 ζ, u, v, w, s 初始条件下的已知值。

9.5.2 固边界的边界条件可按下列方法确定:

(1) 法向流速为零:

$$\vec{V} \cdot \vec{n} = 0 \quad (9.5.2-1)$$

(2) 法向泥沙通量为零:

$$\frac{\partial s}{\partial n} = 0 \quad (9.5.2-2)$$

式中 $\vec{n}$ ——固边界法向矢量。

s ——含沙量 (kg/m^3);

$\vec{V}$ ——流速矢量。

9.5.3 开边界的边界条件可按下列方法确定:

(1) 潮流运动用已知潮位或分层流速过程控制:

用潮位时

$$\zeta(x, y, t) \big|_{\Gamma} = \zeta^*(x, y, t) \quad (9.5.3-1)$$

用流速时

$$\begin{cases} u(x, y, z, t) \big|_{\Gamma} = u^*(x, y, z, t) \\ v(x, y, z, t) \big|_{\Gamma} = v^*(x, y, z, t) \end{cases} \quad (9.5.3-2)$$

(2) 分层含沙量按入流、出流两种情况控制:

入流时

$$s(x, y, z, t) \big|_{\Gamma} = s^*(x, y, z, t) \quad (9.5.3-3)$$

出流时

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u_n \frac{\partial s}{\partial n} = 0 \quad (9.5.3-4)$$

式中 Γ ——开边界；

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m)；

ζ^* —— ζ 的已知值(m)；

u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的速度分量(m/s)；

u^*, v^* —— u, v 的已知值(m/s)；

s ——含沙量(kg/m^3)；

s^* —— s 的已知值(kg/m^3)；

t ——时间(s)；

u_n ——开边界法向流速；

$\vec{n}$ ——开边界法向矢量。

9.5.4 水面边界条件可按下列公式确定：

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (9.5.4-1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (9.5.4-2)$$

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (9.5.4-3)$$

$$\omega s + D_z \frac{\partial s}{\partial z} = 0 \quad (9.5.4-4)$$

式中 x, y, z ——原点 o 置于某一水平基面, z 轴垂直向上的直角坐标系坐标；

u, v, w ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, z 方向的速度分量(m/s)；

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m)；

ω ——泥沙沉降速度(m/s)；

s ——含沙量(kg/m^3)；

D_z ——悬沙沿 z 向的紊动扩散系数(m^2/s)。

9.5.5 床面边界条件可按下列公式确定：

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau_{bx}}{\rho N_z} \quad (9.5.5-1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\tau_{by}}{\rho N_z} \quad (9.5.5-2)$$

$$w = -u \frac{\partial h}{\partial x} - v \frac{\partial h}{\partial y} \quad (9.5.5-3)$$

$$-D_z \frac{\partial s}{\partial z} - \omega s = \begin{cases} M \left(\frac{\tau_b}{\tau_e} - 1 \right) & \tau_b \geq \tau_e \\ 0 & \tau_d < \tau_b < \tau_e \\ \omega s \left(\frac{\tau_b}{\tau_d} - 1 \right) & \tau_b \leq \tau_d \end{cases} \quad (9.5.5-4)$$

式中 x, y, z ——原点 o 置于某一水平基面, z 轴垂直向上的直角坐标系坐标;

u, v, w ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, z 方向的速度分量 (m/s);

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深 (m);

N_z —— z 向水流紊动粘性系数 (m^2/s);

ω ——泥沙沉降速度 (m/s);

s ——含沙量 (kg/m^3);

D_z ——悬沙沿 z 向的紊动扩散系数 (m^2/s);

τ_b ——底部切应力 (N/m^2);

τ_{bx}, τ_{by} ——分别为底部切应力矢量 $\vec{\tau}_b$ 沿 x, y 向的分量 (N/m^2);

τ_d ——临界淤积切应力 (N/m^2), 宜由试验确定, 也可通过验证计算确定;

τ_c ——临界冲刷切应力 (N/m^2), 宜由试验确定, 也可通过验证计算确定;

M ——冲刷系数 ($kg/(m^2 \cdot s)$), 宜由试验确定, 也可通过验证计算确定。

9.5.6 当计算域内存在潮间浅滩、潜堤或其他透水建筑物时, 宜采用动边界技术处理。

9.6 基本参数的确定

9.6.1 水平方向的水流紊动粘性系数和悬沙紊动扩散系数宜采用试验或经验公式确定, 可取 $0 \sim 100m^2/s$ 。

9.6.2 垂向水流紊动粘性系数和垂向悬沙紊动扩散系数宜采用试验或经验公式确定。

9.6.3 临界淤积切应力、临界冲刷切应力和冲刷系数与底质密实度、底质粒径等因素有关, 宜由试验确定; 缺乏试验资料时可根据经验选取, 并经验证计算确定。

9.7 验证计算及精度控制

9.7.1 验证计算应满足计算结果与实测结果基本相符的要求。

9.7.2 验证计算应包括下列内容:

- (1) 潮位过程线;
- (2) 分层流速、流向、含沙量过程线;
- (3) 垂线平均流速、流向、含沙量过程线或流速、流向、含沙量的垂向分布;
- (4) 底床冲淤变化。

9.7.3 潮位、分层流速和流向、垂线平均流速和流向的验证计算精度应符合第 8.7.4 条的规定; 含沙量过程趋势应一致, 潮段平均含沙量允许偏差应为 $\pm 30\%$ 。

9.7.4 验证计算应对计算与实测的流场及含沙量场合理性进行分析。

9.7.5 床面冲淤验证应满足冲淤部位和冲淤趋势相似的要求, 计算与实测平均冲淤厚度允许偏差应为 $\pm 30\%$ 。

9.8 方案计算

9.8.1 方案计算的内容和要求除应符合第 8.8 节的规定外, 还应给出流速、流向、含沙量

的空间分布。

9.9 成果分析

9.9.1 成果分析内容和要求除应符合第 8.9 节的规定外,尚应分析工程方案实施后不同水层的流速、流向、含沙量的变化及其对工程的影响。

10 平面二维波浪潮流泥沙数值模拟

10.1 基本资料

10.1.1 基本资料除应符合第 8.1 节的规定外,尚应有波浪场资料。波浪场资料可采用波浪场数学模型计算值。

10.1.2 波浪场的计算水位、代表波高和波向应根据研究目的和要求确定。

10.2 基本方程

10.2.1 潮流运动可按下列方程控制:

(1) 连续方程

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [(h + \zeta)u]}{\partial x} + \frac{\partial [(h + \zeta)v]}{\partial y} = 0 \quad (10.2.1-1)$$

(2) x 向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = & -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho(h + \zeta)} - \frac{1}{\rho(h + \zeta)} \\ & \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{wx}}{\rho(h + \zeta)} \end{aligned} \quad (10.2.1-2)$$

(3) y 向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = & -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho(h + \zeta)} - \frac{1}{\rho(h + \zeta)} \\ & \left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{wy}}{\rho(h + \zeta)} \end{aligned} \quad (10.2.1-3)$$

式中

t ——时间(s);

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的分量(m/s);

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m);

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深(m);

N_x, N_y —— x, y 向水流紊动粘性系数(m^2/s);

f ——科氏参量;

g ——重力加速度(m/s^2);

ρ ——海水密度(kg/m^3);

$S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$ ——波浪辐射应力张量的四个分量(N/m);

τ_{bx}, τ_{by} ——波浪、潮流共同作用下的底部切应力矢量 $\vec{\tau}_b$ ($|\vec{\tau}_b| = \sqrt{\tau_{bx}^2 + \tau_{by}^2}$) 沿 x 、 y 方向的分量 (N/m^2)；

τ_{wx}, τ_{wy} ——风应力矢量 $\vec{\tau}_w$ ($|\vec{\tau}_w| = \sqrt{\tau_{wx}^2 + \tau_{wy}^2}$) 沿 x 、 y 方向的分量 (N/m^2)。

10.2.2 悬沙输移扩散可按以下方程控制：

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + v \frac{\partial s}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial s}{\partial y} \right) + \frac{F_s}{h + \zeta} \quad (10.2.2)$$

式中 t ——时间 (s)；

s ——含沙量 (kg/m^3)；

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标；

u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的分量 (m/s)；

D_x, D_y —— x, y 向悬沙紊动扩散系数 (m^2/s)；

F_s ——泥沙源汇函数或泥沙冲淤函数 ($kg/(m^2 \cdot s)$)；

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位 (m)；

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深 (m)。

10.2.3 床面冲淤变化可按以下方程控制：

$$\gamma_0 \frac{\partial \Delta h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = F_s \quad (10.2.3)$$

式中 t ——时间 (s)；

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标；

Δh ——冲淤厚度 (m)；

q_x —— x 向底沙单宽输沙率 ($kg/(m \cdot s)$)，在淤泥质海岸 $q_x = 0$ ；

q_y —— y 向底沙单宽输沙率 ($kg/(m \cdot s)$)，在淤泥质海岸 $q_y = 0$ ；

γ_0 ——泥沙干容重 (kg/m^3)；

F_s ——泥沙源汇函数或泥沙冲淤函数 ($kg/(m^2 \cdot s)$)。

10.2.4 根据计算方法的不同，亦可选用等价的基本方程。

10.3 计算模式

10.3.1 依据计算区域地形特征和工程方案等具体情况，计算模式可采用有限差分法、有限体积法或有限元法等。

10.3.2 有限差分法中的 ADI 法的计算模式可按附录 A 的规定执行。

10.3.3 有限差分法中的三角元法的计算模式可按附录 B 的规定执行。

10.4 计算域的确定及网格剖分

10.4.1 计算域的确定应符合第 8.4.1 条的规定。

10.4.2 计算域网格剖分应符合第 8.4.2 条的规定。

10.5 初始条件和边界条件

10.5.1 初始条件可按下列公式确定:

$$\zeta(x, y, t) |_{t=0} = \zeta_0(x, y) \quad (10.5.1-1)$$

$$u(x, y, t) |_{t=0} = u_0(x, y) \quad (10.5.1-2)$$

$$v(x, y, t) |_{t=0} = v_0(x, y) \quad (10.5.1-3)$$

$$s(x, y, t) |_{t=0} = s_0(x, y) \quad (10.5.1-4)$$

式中 u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的分量 (m/s);

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位 (m);

s ——含沙量 (kg/m^3);

t ——时间 (s);

ζ_0, u_0, v_0, s_0 ——分别为 ζ, u, v, s 初始条件下的已知值。

10.5.2 固边界可按下列方法确定:

(1) 法向流速为零:

$$\vec{V} \cdot \vec{n} = 0 \quad (10.5.2-1)$$

(2) 法向泥沙通量为零:

$$\frac{\partial s}{\partial n} = 0 \quad (10.5.2-2)$$

式中 $\vec{n}$ ——固边界法向矢量;

$\vec{V}$ ——流速矢量;

s ——含沙量 (kg/m^3)。

10.5.3 开边界可按下列方法确定:

(1) 潮流用已知潮位或流速控制:

用潮位时

$$\zeta(x, y, t) |_{\Gamma} = \zeta^*(x, y, t) \quad (10.5.3-1)$$

用流速时

$$\vec{V}(x, y, t) |_{\Gamma} = \vec{V}^*(x, y, t) \quad (10.5.3-2)$$

(2) 悬沙按入流和出流情况分别控制:

入流时

$$s(x, y, t) |_{\Gamma} = s^*(x, y, t) \quad (10.5.3-3)$$

出流时

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u_n \frac{\partial s}{\partial n} = 0 \quad (10.5.3-4)$$

式中 Γ ——开边界;

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位 (m);

ζ^* ——已知潮位(m);

$\vec{V}$ ——流速矢量;

$\vec{V}^*$ ——已知流速矢量(m/s);

s ——含沙量(kg/m^3);

s^* ——已知含沙量(kg/m^3);

u_n ——法向流速分量(m/s);

$\vec{n}$ ——开边界法向矢量;

t ——时间(s)。

10.5.4 当计算域内存在潮间浅滩、潜堤或其他透水建筑物时,宜采用动边界技术处理。

10.6 基本参数的确定

10.6.1 水流紊动粘性系数宜由试验确定,也可通过验证计算确定,其值可取 $0 \sim 100\text{m}^2/\text{s}$ 。

10.6.2 悬沙紊动扩散系数可取与相应的水流紊动粘性系数相同数值。

10.6.3 波浪辐射应力张量的分量应按下列公式确定:

$$S_{xx} = \frac{\rho g H_w^2}{8} \left[\frac{C_g}{C} (1 + \cos^2 \theta) - \frac{1}{2} \right] \quad (10.6.3-1)$$

$$S_{xy} = \frac{\rho g H_w^2}{8} \frac{C_g}{C} \sin \theta \cos \theta \quad (10.6.3-2)$$

$$S_{yx} = \frac{\rho g H_w^2}{8} \frac{C_g}{C} \sin \theta \cos \theta \quad (10.6.3-3)$$

$$S_{yy} = \frac{\rho g H_w^2}{8} \left[\frac{C_g}{C} (1 + \sin^2 \theta) - \frac{1}{2} \right] \quad (10.6.3-4)$$

式中 H_w 、 θ 、 C 、 C_g ——分别为波高、波向与 x 轴之夹角、波速和波群速,由波浪数学模型确定。

10.6.4 波浪、潮流共同作用下的底部切应力分量可按下列公式确定:

$$\tau_{bx} = \frac{g}{c^2} \rho |\vec{V}| u + \frac{\pi}{8} \rho f_w |\vec{V}_w| u_w + \frac{B\rho}{\pi} \left(\frac{2gf_w}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}} |\vec{V}| u_w \quad (10.6.4-1)$$

$$\tau_{by} = \frac{g}{c^2} \rho |\vec{V}| v + \frac{\pi}{8} \rho f_w |\vec{V}_w| v_w + \frac{B\rho}{\pi} \left(\frac{2gf_w}{c^2} \right)^{\frac{1}{2}} |\vec{V}| v_w \quad (10.6.4-2)$$

式中 τ_{bx} 、 τ_{by} ——波浪、潮流共同作用下的底部切应力矢量 $\vec{\tau}_b$ ($|\vec{\tau}_b| = \sqrt{\tau_{bx}^2 + \tau_{by}^2}$) 沿 x 、 y 方向的分量(N/m^2);

c ——谢才系数;

g ——重力加速度(m/s^2);

ρ ——海水密度(kg/m^3);

$\vec{V}$ ——流速矢量;

u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的分量 (m/s);

$\vec{V}_w$ ——波浪底部水质点最大速度矢量;

u_w, v_w —— $\vec{V}_w$ 沿 x, y 方向的分量 (m/s);

B ——为波、流相互作用系数,当波流同向时, $B = 0.917$,当波流相互垂直时, $B = -0.1983$,当波、流夹角为其他角度时, $B = 0.359$;

f_w ——波浪底摩阻系数,通常取值为 $0.01 \sim 0.02$ 。

10.6.5 风应力可按下列公式确定:

$$\tau_{wx} = C_w \rho_a W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (10.6.5-1)$$

$$\tau_{wy} = C_w \rho_a W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (10.6.5-2)$$

式中 W_x, W_y ——分别为海面上 10m 处风速矢量 $\vec{W}$ 沿 x, y 方向的分量 (m/s);

C_w ——为风应力系数,取值 0.0015;

ρ_a ——空气密度,取值 1.2 kg/m^3 。

10.6.6 源汇函数可按下列方法确定:

(1) 挟沙能力法

$$F_s = \alpha \omega (s_* - s) \quad (10.6.6-1)$$

(2) 切应力法

当 $\tau_b \leq \tau_d$ 时水中泥沙处于落淤状态

$$F_s = \alpha \omega s \left(\frac{\tau_b}{\tau_d} - 1 \right) \quad (10.6.6-2)$$

当 $\tau_d < \tau_b < \tau_c$ 时床面处于不冲不淤状态

$$F_s = 0 \quad (10.6.6-3)$$

当 $\tau_b \geq \tau_c$ 时床面泥沙起动

$$F_s = M \left(\frac{\tau_b}{\tau_c} - 1 \right) \quad (10.6.6-4)$$

式中 F_s ——泥沙源汇函数或泥沙冲淤函数 ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$);

α ——泥沙沉降机率;

ω ——泥沙沉降速度 (m/s);

s_* ——波、流挟沙能力 (kg/m^3),可采用经验公式或试验确定;

s ——含沙量 (kg/m^3);

τ_b ——底部切应力 (N/m^2);

τ_d ——临界淤积切应力 (N/m^2),宜由试验确定,也可通过验证计算确定;

τ_c ——临界冲刷切应力 (N/m^2),宜由试验确定,也可通过验证计算确定;

M ——冲刷系数 ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),宜由试验确定,也可通过验证计算确定。

10.7 验证计算及精度控制

10.7.1 验证计算及精度控制应符合第 8.7 节的规定。

10.8 方 案 计 算

10.8.1 方案计算应符合第 8.8 节的规定。

10.9 成 果 分 析

10.9.1 成果分析应符合第 8.9 节的规定。

11 波浪沿岸输沙数值模拟

11.1 基本资料

11.1.1 基本资料除应符合第7.1节的规定外,尚应包括下列内容:

- (1) 计算区域内突堤、丁坝或丁坝群平面布置图;
- (2) 计算区域内主要入海河流的输沙量;
- (3) 人工补沙或人工采沙的位置和数量。

11.1.2 水下地形图的比尺可采用 1:10000 ~ 1:50000。

11.2 基本方程

11.2.1 模型可按以下基本方程控制:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0 \quad (11.2.1)$$

式中 y ——岸线位置坐标(m);

x ——沿岸线方向的距离坐标(m);

D ——计算剖面高度(m),宜取波浪作用下泥沙起动水深处至波浪爬高最高点间的垂直距离;

Q ——通过某一断面的沿岸输沙率(m^3/s);

q ——计算域内河流入海或人工采(补)沙引起进出计算域的单宽输沙率($\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$)。

11.2.2 破波带内总的沿岸输沙率可按下列各式计算:

$$Q = \frac{EC_b n_b}{(\rho_s - \rho)g(1 - P)} \left(K_1 \sin \alpha_b \cos \alpha_b - \frac{K_2}{\tan \beta} \cos \alpha_b \frac{\partial H_b}{\partial x} \right) \quad (11.2.2-1)$$

$$\alpha_b = \alpha_x - \arctan \frac{\partial y}{\partial x} \quad (11.2.2-2)$$

式中 Q ——总的沿岸输沙率(m^3/s);

P ——泥沙孔隙率,可取 0.4;

H_b ——破碎波高(m),计算时采用有效波高;

C_b ——破碎波速(m/s);

ρ_s ——泥沙颗粒密度(kg/m^3);

ρ ——水体的密度(kg/m^3);

g ——重力加速度(m/s^2);

$$n_b \text{——波能传递速度系数, } n_b = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\frac{4\pi h_b}{L_b}}{\sinh\left(\frac{4\pi h_b}{L_b}\right)} \right];$$

L_b ——破碎波长(m),计算时采用平均周期;

h_b ——破碎水深(m);

α_b ——波浪破碎时波峰线与岸线的夹角($^\circ$), α_b 恒小于 90° ;

α_x ——波浪破碎时波峰线与 x 轴的夹角($^\circ$);

$\tan\beta$ ——滩面坡度;

E ——波能, $E = \frac{1}{8} \rho g H_b^2$;

K_1, K_2 ——输沙率系数,宜根据实测沿岸输沙率确定;在缺少实测沿岸输沙率资料时,可取 $K_1 = 0.385$ 。当波浪绕射显著时, $K_2 = 1.0K_1$,当波浪绕射不显著时,可取 $K_2 = 0$ 。

11.3 计算模式

11.3.1 计算模式可根据计算域的地形特征和工程方案等具体情况选用显式差分或隐式差分格式。可按下列方法控制:

(1) 显式差分格式

$$y_{i+1}^{n+1} = y_{i+1}^n - \frac{1}{2D\Delta x} \Delta t (Q_{i+2}^n - Q_i^n) \quad (11.3.1-1)$$

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x^2}{2v_{\max}} \quad (11.3.1-2)$$

(2) 隐式差分格式

$$y_{i+1}^{n+1} = y_{i+1}^n + \Delta t \left\{ \frac{1}{2} \left[-\frac{1}{D} \frac{Q_{i+2}^n - Q_i^n}{2\Delta x} \right] + \frac{1}{2} \left[-\frac{1}{D} \frac{Q_{i+2}^{n+1} - Q_i^{n+1}}{2\Delta x} \right] \right\} \quad (11.3.1-3)$$

式中 下标 i 代表第 i 个断面;上标 n 代表第 n 时步;

y ——岸线位置坐标(m);

x ——沿岸线方向的距离坐标(m);

D ——计算剖面高度(m),宜取波浪作用下泥沙起动水深处至波浪爬高最高点间的垂直距离;

Q ——通过某一断面的沿岸输沙率(m^3/s);

Δt ——岸滩演变计算的时间步长。

$$v_{\max} = \left(\frac{K}{D(\rho_s - \rho)g(1 - \rho)} \frac{1}{8} \rho g H_b^2 n_b c_b \right)_{\max}$$

11.4 网格剖分

11.4.1 模型应沿岸线选定基线,基线宜与沿岸线方向的距离坐标轴重合,并对基线进行

剖分。岸线位置的计算点与输沙率计算点应相间布置。

11.4.2 网格点间距应根据模拟岸线的长度、岸线形态的复杂程度、模拟精度和模型稳定性要求等因素确定。

11.4.3 形态比较简单的岸线,网格间距可取 100 ~ 200m;岸线形态比较复杂或有海岸建筑物,可取 25 ~ 50m;也可在不同的区域采用不同的计算网格。

11.5 边界条件

11.5.1 海岸演变数值模拟宜采用计算区域两端断面的输沙率作为边界条件。

11.5.2 边界断面的输沙率可按以下三种情况确定:

(1) 计算域一端断面有岬头、较长的防波堤、突堤、堤岸或水下深槽,边界外的沿岸输沙在边界处完全受阻不能进入研究区域,边界处的沿岸输沙率为零;

(2) 边界处海岸线位置不随时间变化,海滩在长时段中处于平衡状态,沿岸输沙率梯度为零;

(3) 边界处有丁坝等建筑物,丁坝等拦截部分沿岸输沙,沿岸输沙率按下式确定:

$$Q_b = Q_0 \left(1 - \frac{h_g}{h_s} \right) \quad (11.5.2-1)$$

式中 Q_b ——有丁坝时的沿岸输沙率(m^3/s);

Q_0 ——没有丁坝时的沿岸输沙率(m^3/s);

h_g ——丁坝坝头处水深(m);

h_s ——波浪作用下泥沙起动水深(m)。

11.6 计算波要素及水位的确定

11.6.1 波浪要素可按下列资料确定。

11.6.1.1 波浪要素宜采用不少于一年的连续波浪观测资料。当缺乏实测资料时,可根据风资料推算。

11.6.1.2 代表波的波向、波高和波周期可按第 7.2.4 条要求确定。

11.6.2 计算水位可按下列规定选取:

(1) 潮差不大的海域取平均潮位;

(2) 潮差较大的海域取平均高潮位、平均潮位和平均低潮位,计算按其所占的历时比例依次进行。

11.7 验证计算

11.7.1 验证计算应满足计算结果与实测结果基本相符的要求。

11.7.2 验证计算应包括沿岸输沙率和岸线变形内容。

11.7.3 波浪沿岸输沙验证计算的结果与实测结果的允许偏差应为 $\pm 20\%$;岸线变形验证计算的冲淤部位和冲淤变化趋势与实测结果应基本一致。

11.8 方案计算

11.8.1 方案计算采用的参数应与验证计算的参数一致。

11.8.2 方案计算成果应包括沿岸输沙沿程分布、岸线演变变化的趋势,并绘制有关的图表。

11.9 成果分析

11.9.1 成果分析应对工程前后岸线位置、岸线变化及原因进行分析,提出优化或推荐方案。

附录 A ADI 法计算模式

A.1 差分网格

A.1.1 基本方程离散时,流速、水位、水深在矩形网格中应采用交错排列。

A.2 基本方程的离散及数值求解

A.2.1 水流方程的离散及数值求解应按下列要求进行:

(1) 将一个时间步长 Δt 分为两个半步长,在每半个时间步长内,依下述求解过程计算潮位及 x 向 y 向流速;

(2) 在 $n\Delta t \rightarrow (n + \frac{1}{2})\Delta t$, 即前半个时间步长内,将水流方程离散为式 (A.2.1-1) ~ 式 (A.2.1-3),联立式 (A.2.1-1) 与式 (A.2.1-2),采用追赶法按 x 方向逐行求解 $u^{n+1/2}$ 和 $\zeta^{n+1/2}$,利用式 (A.2.1-3) 逐点求出 $v^{n+1/2}$;

$$AZ1u_{i-1/2,j}^{n+1/2} + BZ1\zeta_{i,j}^{n+1/2} + CZ1u_{i+1/2,j}^{n+1/2} = DZ1 \quad (\text{A.2.1-1})$$

$$AU1\zeta_{i,j}^{n+1/2} + BU1u_{i+1/2,j}^{n+1/2} + CU1\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} = DU1 \quad (\text{A.2.1-2})$$

$$v_{i,j+1/2}^{n+1/2} = FV1/EV1 \quad (\text{A.2.1-3})$$

(3) 在 $(n + \frac{1}{2})\Delta t \rightarrow (n+1)\Delta t$ 内,即后半个时间步长内,将水流方程离散为式 (A.2.1-4) ~ 式 (A.2.1-6),联立式 (A.2.1-4) 与式 (A.2.1-6),采用追赶法按 y 方向逐行求解 v^{n+1} 和 ζ^{n+1} ,利用式 (A.2.1-5) 逐点求出 u^{n+1} ;

$$AZ2v_{i,j-1/2}^{n+1} + BZ2\zeta_{i,j}^{n+1} + CZ2v_{i,j+1/2}^{n+1} = DZ2 \quad (\text{A.2.1-4})$$

$$u_{i+1/2,j}^{n+1} = FU2/EU2 \quad (\text{A.2.1-5})$$

$$AV2\zeta_{i,j}^{n+1} + BV2v_{i,j+1/2}^{n+1} + CV2\zeta_{i,j+1}^{n+1} = DV2 \quad (\text{A.2.1-6})$$

式中 u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的分量 (m/s);

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位 (m);

i, j ——矩形网格节点坐标;

n ——时间层;

$$AZ1 = -\frac{\Delta t}{2\Delta x}(h_{i-1/2,j} + \zeta_{i-1/2,j}^n)$$

$$BZ1 = 1$$

$$CZ1 = \frac{\Delta t}{2\Delta x}(h_{i+1/2,j} + \zeta_{i+1/2,j}^n)$$

$$DZ1 = \zeta_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{2\Delta y} [(h_{i,j+1/2} + \zeta_{i,j+1/2}^n) v_{i,j+1/2}^n - (h_{i,j-1/2} + \zeta_{i,j-1/2}^n) v_{i,j-1/2}^n]$$

$$AU1 = -\frac{\Delta t}{2\Delta x} g$$

$$BU1 = 1 + \frac{\Delta t}{4\Delta x} (u_{i+3/2,j}^n - u_{i-1/2,j}^n)$$

$$CU1 = \frac{\Delta t}{2\Delta x} g$$

$$DU1 = u_{i+1/2,j}^n - \frac{\Delta t}{4\Delta y} v_{i+1/2,j}^n (u_{i+1/2,j+1}^n - u_{i+1/2,j-1}^n) + \frac{\Delta t}{2} f v_{i+1/2,j}^n +$$

$$\frac{\Delta t}{2\Delta x^2} N_x (u_{i+3/2,j}^n - 2u_{i+1/2,j}^n + u_{i-1/2,j}^n) +$$

$$\frac{\Delta t}{2\Delta y^2} N_y (u_{i+1/2,j+1}^n - 2u_{i+1/2,j}^n + u_{i+1/2,j-1}^n) -$$

$$\frac{\Delta t}{2} \frac{g}{(c^2)_{i+1/2,j}^n} \frac{u_{i+1/2,j}^n \sqrt{(u_{i+1/2,j}^n)^2 + (v_{i+1/2,j}^n)^2}}{h_{i+1/2,j} + \zeta_{i+1/2,j}^n}$$

$$EV1 = 1 + \frac{\Delta t}{4\Delta y} (v_{i,j+3/2}^n - v_{i,j-1/2}^n) +$$

$$\frac{\Delta t}{2} \frac{g}{(c^2)_{i,j+1/2}^n} \frac{\sqrt{(u_{i,j+1/2}^n)^2 + (v_{i,j+1/2}^n)^2}}{h_{i,j+1/2} + \zeta_{i,j+1/2}^n}$$

$$FV1 = v_{i,j+1/2}^n - \frac{\Delta t}{4\Delta x} u_{i,j+1/2}^{n+1/2} (v_{i+1,j+1/2}^n - v_{i-1,j+1/2}^n) -$$

$$\frac{\Delta t}{2} f u_{i,j+1/2}^{n+\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{2\Delta y} g (\zeta_{i,j+1}^n - \zeta_{i,j}^n) +$$

$$\frac{\Delta t}{2\Delta x^2} N_x (v_{i+1,j+1/2}^n - 2v_{i,j+1/2}^n + v_{i-1,j+1/2}^n) +$$

$$\frac{\Delta t}{2\Delta y^2} N_y (v_{i,j+3/2}^n - 2v_{i,j+1/2}^n + v_{i,j-1/2}^n)$$

$$h_{i+1/2,j} = \frac{1}{2} (h_{i+1/2,j-1/2} + h_{i+1/2,j+1/2})$$

$$\zeta_{i+1/2,j}^n = \frac{1}{2} (\zeta_{i,j}^n + \zeta_{i+1,j}^n)$$

$$h_{i-1/2,j} = \frac{1}{2} (h_{i-1/2,j-1/2} + h_{i-1/2,j+1/2})$$

$$\zeta_{i-1/2,j}^n = \frac{1}{2} (\zeta_{i-1,j}^n + \zeta_{i,j}^n)$$

$$h_{i,j+1/2} = \frac{1}{2} (h_{i-1/2,j+1/2} + h_{i+1/2,j+1/2})$$

$$\zeta_{i,j+1/2}^n = \frac{1}{2} (\zeta_{i,j}^n + \zeta_{i,j+1}^n)$$

$$h_{i,j-1/2} = \frac{1}{2}(h_{i-1/2,j-1/2} + h_{i+1/2,j-1/2})$$

$$\zeta_{i,j-1/2} = \frac{1}{2}(\zeta_{i,j-1}^n + \zeta_{i,j}^n)$$

$$h_{i,j-1/2} = \frac{1}{2}(h_{i-1/2,j-1/2} + h_{i+1/2,j-1/2})$$

$$\zeta_{i,j-1/2}^n = \frac{1}{2}(\zeta_{i,j-1}^n + \zeta_{i,j}^n)$$

$$v_{i+1/2,j}^n = \frac{1}{4}(v_{i,j-1/2}^n + v_{i+1,j-1/2}^n + v_{i,j+1/2}^n + v_{i+1,j+1/2}^n)$$

$$u_{i,j+1/2}^{n+1/2} = \frac{1}{4}(u_{i-1/2,j}^{n+1/2} + u_{i+1/2,j}^{n+1/2} + u_{i-1/2,j+1}^{n+1/2} + u_{i+1/2,j+1}^{n+1/2})$$

$$AZ2 = -\frac{\Delta t}{2\Delta y}(h_{i,j-1/2} + \zeta_{i,j-1/2}^{n+1/2})$$

$$BZ2 = 1$$

$$CZ2 = \frac{\Delta t}{2\Delta y}(h_{i,j+1/2} + \zeta_{i,j+1/2}^{n+1/2})$$

$$DZ2 = \zeta_{i,j}^{n+1/2} - \frac{\Delta t}{2\Delta x}[(h_{i+1/2,j} + \zeta_{i+1/2,j}^{n+1/2})u_{i+1/2,j}^{n+1/2} + (h_{i-1/2,j} + \zeta_{i-1/2,j}^{n+1/2})u_{i-1/2,j}^{n+1/2}]$$

$$AV2 = -\frac{\Delta t}{2\Delta y}g$$

$$BV2 = 1 + \frac{\Delta t}{4\Delta y}(v_{i,j+3/2}^{n+1/2} - v_{i,j-1/2}^{n+1/2})$$

$$CV2 = \frac{\Delta t}{2\Delta y}g$$

$$DV2 = v_{i,j+1/2}^{n+1/2} - \frac{\Delta t}{4\Delta x}u_{i,j+1/2}^{n+1/2}(v_{i+1,j+1/2}^{n+1/2} - v_{i-1,j+1/2}^{n+1/2}) - \frac{\Delta t}{2}fu_{i,j+1/2}^{n+1/2} +$$

$$\frac{\Delta t}{2\Delta x^2}N_x(v_{i+1,j+1/2}^{n+1/2} - 2v_{i,j+1/2}^{n+1/2} + v_{i-1,j+1/2}^{n+1/2}) +$$

$$\frac{\Delta t}{2\Delta y^2}N_y(v_{i,j+3/2}^{n+1/2} - 2v_{i,j+1/2}^{n+1/2} + v_{i,j-1/2}^{n+1/2}) -$$

$$\frac{\Delta t}{2} \frac{g}{(c^2)_{i,j+1/2}^{n+1/2}} \frac{v_{i,j+1/2}^{n+1/2} \sqrt{(u_{i,j+1/2}^{n+1/2})^2 + (v_{i,j+1/2}^{n+1/2})^2}}{h_{i,j+1/2} + \zeta_{i,j+1/2}^{n+1/2}}$$

$$EU2 = 1 + \frac{\Delta t}{4\Delta x}(u_{i+3/2,j}^{n+1/2} - u_{i-1/2,j}^{n+1/2}) +$$

$$\frac{\Delta t}{2} \frac{g}{(c^2)_{i+1/2,j}^{n+1/2}} \frac{\sqrt{(u_{i+1/2,j}^{n+1/2})^2 + (v_{i+1/2,j}^{n+1/2})^2}}{h_{i+1/2,j} + \zeta_{i+1/2,j}^{n+1/2}}$$

$$FU2 = u_{i+1/2,j}^{n+1/2} - \frac{\Delta t}{4\Delta y}v_{i+1/2,j}^{n+1/2}(u_{i+1/2,j+1}^{n+1/2} - u_{i+1/2,j-1}^{n+1/2}) +$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\Delta t}{2} f v_{i+1/2,j}^{n+1/2} - \frac{\Delta t}{2\Delta x} g (\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}) + \\
& \frac{\Delta t}{2\Delta x^2} N_x (u_{i+3/2,j}^{n+1/2} - 2u_{i+1/2,j}^{n+1/2} + u_{i-1/2,j}^{n+1/2}) + \\
& \frac{\Delta t}{2\Delta y^2} N_y (u_{i+1/2,j+1}^{n+1/2} - 2u_{i+1/2,j}^{n+1/2} + u_{i+1/2,j-1}^{n+1/2}) \\
h_{i+1/2,j} &= \frac{1}{2} (h_{i+1/2,j-1/2} + h_{i+1/2,j+1/2}) \\
\zeta_{i+1/2,j}^{n+1/2} &= \frac{1}{2} (\zeta_{i,j}^{n+1/2} + \zeta_{i+1,j}^{n+1/2}) \\
h_{i-1/2,j} &= \frac{1}{2} (h_{i-1/2,j-1/2} + h_{i-1/2,j+1/2}) \\
\zeta_{i-1/2,j}^{n+1/2} &= \frac{1}{2} (\zeta_{i-1,j}^{n+1/2} + \zeta_{i,j}^{n+1/2}) \\
h_{i,j+1/2} &= \frac{1}{2} (h_{i-1/2,j+1/2} + h_{i+1/2,j+1/2}) \\
\zeta_{i,j+1/2}^{n+1/2} &= \frac{1}{2} (\zeta_{i,j}^{n+1/2} + \zeta_{i,j+1}^{n+1/2}) \\
h_{i,j-1/2} &= \frac{1}{2} (h_{i-1/2,j-1/2} + h_{i+1/2,j-1/2}) \\
\zeta_{i,j-1/2}^{n+1/2} &= \frac{1}{2} (\zeta_{i,j-1}^{n+1/2} + \zeta_{i,j}^{n+1/2}) \\
v_{i+1/2,j}^{n+1} &= \frac{1}{4} (v_{i,j-1/2}^{n+1} + v_{i+1,j-1/2}^{n+1} + v_{i,j+1/2}^{n+1} + v_{i+1,j+1/2}^{n+1}) \\
u_{i,j+1/2}^{n+1/2} &= \frac{1}{4} (u_{i-1/2,j}^{n+1/2} + u_{i+1/2,j}^{n+1/2} + u_{i-1/2,j+1}^{n+1/2} + u_{i+1/2,j+1}^{n+1/2})
\end{aligned}$$

Δt ——时间步长(s);

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深(m);

N_x, N_y —— x, y 向水流紊动粘性系数(m^2/s);

$\Delta x, \Delta y$ —— x, y 向空间步长(m);

c ——谢才系数;

f ——科氏参量;

g ——重力加速度(m/s^2)。

A.2.2 悬沙输移扩散方程的离散及数值求解应按下列要求进行:

(1) 将一个时间步长 Δt 分为两个半步长, 在每半个时间步长内, 依下述求解过程计算含沙量;

(2) 在 $n\Delta t \rightarrow (n + \frac{1}{2})\Delta t$ 内, 即前半个时间步长内, 将泥沙输移扩散方程离散为式

(A.2.2-1), 对其采用追赶法按 x 方向逐行求解 $s^{n+\frac{1}{2}}$;

$$AS1s_{i-1,j}^{n+1/2} + BS1s_{i,j}^{n+1/2} + CS1s_{i+1,j}^{n+1/2} = DS1 \quad (\text{A.2.2-1})$$

(3) 在 $\left(n + \frac{1}{2}\right)\Delta t \rightarrow (n+1)\Delta t$ 内 (即后半时间步长) 内, 将悬沙输移扩散方程离散为式 (A.2.2-2), 对其采用追赶法按 y 方向逐列求解 s^{n+1} 。

$$AS2s_{i,j-1}^{n+1} + BS2s_{i,j}^{n+1} + CS2s_{i,j+1}^{n+1} = DS2 \quad (\text{A.2.2-2})$$

式中 s ——含沙量 (kg/m^3);

i, j ——矩形网格节点坐标;

n ——时间层;

$$AS1 = -c_x \frac{1}{2} (u_{i,j}^n + |u_{i,j}^n|) \frac{1}{\Delta x} - (1 - c_x) u_{i,j}^n \frac{1}{2\Delta x} - D_x \frac{1}{\Delta x^2}$$

$$BS1 = \frac{1}{\frac{1}{2}\Delta t} + c_x \left[-\frac{1}{2} (u_{i,j}^n - |u_{i,j}^n|) \frac{1}{\Delta x} + \frac{1}{2} (u_{i,j}^n + |u_{i,j}^n|) \frac{1}{\Delta x} \right] + D_x \frac{2}{\Delta x^2}$$

$$CS1 = c_x \frac{1}{2} (u_{i,j}^n - |u_{i,j}^n|) \frac{1}{\Delta x} + (1 - c_x) u_{i,j}^n \frac{1}{2\Delta x} - D_x \frac{1}{\Delta x^2}$$

$$DS1 = \frac{1}{\frac{1}{2}\Delta t} s_{i,j}^n - c_y \left[\frac{1}{2} (v_{i,j}^n - |v_{i,j}^n|) \frac{s_{i,j+1}^n - s_{i,j}^n}{\Delta y} + \frac{1}{2} (v_{i,j}^n + |v_{i,j}^n|) \frac{s_{i,j}^n - s_{i,j-1}^n}{\Delta y} \right] -$$

$$(1 - c_y) v_{i,j}^n \frac{s_{i,j+1}^n - s_{i,j-1}^n}{2\Delta y} + D_y \frac{s_{i,j+1}^n - 2s_{i,j}^n + s_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} + \frac{Fs_{i,j}^n}{h_{i,j} + \zeta_{i,j}^n}$$

$$u_{i,j}^n = \frac{1}{2} (u_{i-1/2,j}^n + u_{i+1/2,j}^n)$$

$$v_{i,j}^n = \frac{1}{2} (v_{i,j-1/2}^n + v_{i,j+1/2}^n)$$

$$AS2 = -c_y \frac{1}{2} (v_{i,j}^{n+1/2} + |v_{i,j}^{n+1/2}|) \frac{1}{\Delta y} - (1 - c_y) v_{i,j}^{n+1/2} \frac{1}{2\Delta y} - D_y \frac{1}{\Delta y^2}$$

$$BS2 = \frac{1}{\frac{1}{2}\Delta t} + c_y \left[-\frac{1}{2} (v_{i,j}^{n+1/2} - |v_{i,j}^{n+1/2}|) \frac{1}{\Delta y} + \frac{1}{2} (v_{i,j}^{n+1/2} + |v_{i,j}^{n+1/2}|) \frac{1}{\Delta y} \right] + D_y \frac{2}{\Delta y^2}$$

$$CS2 = c_y \frac{1}{2} (v_{i,j}^{n+1/2} - |v_{i,j}^{n+1/2}|) \frac{1}{\Delta y} + (1 - c_y) v_{i,j}^{n+1/2} \frac{1}{2\Delta y} - D_y \frac{1}{\Delta y^2}$$

$$DS2 = \frac{1}{\frac{1}{2}\Delta t} s_{i,j}^{n+1/2} -$$

$$c_x \left[\frac{1}{2} (u_{i,j}^{n+1/2} - |u_{i,j}^{n+1/2}|) \frac{s_{i+1,j}^{n+1/2} - s_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta x} + \frac{1}{2} (u_{i,j}^{n+1/2} + |u_{i,j}^{n+1/2}|) \frac{s_{i,j}^{n+1/2} - s_{i-1,j}^{n+1/2}}{\Delta x} \right] -$$

$$(1 - c_x) u_{i,j}^{n+1/2} \frac{s_{i+1,j}^{n+1/2} - s_{i-1,j}^{n+1/2}}{2\Delta x} + D_x \frac{s_{i+1,j}^{n+1/2} - 2s_{i,j}^{n+1/2} + s_{i-1,j}^{n+1/2}}{\Delta x^2} + \frac{Fs_{i,j}^{n+1/2}}{h_{i,j} + \zeta_{i,j}^{n+1/2}}$$

$$h_{i,j} = \frac{1}{4} (h_{i-1/2,j-1/2} + h_{i+1/2,j-1/2} + h_{i-1/2,j+1/2} + h_{i+1/2,j+1/2})$$

$$u_{i,j}^{n+1/2} = \frac{1}{2}(u_{i-1/2,j}^n + u_{i+1/2,j}^n)$$

$$v_{i,j}^{n+1/2} = \frac{1}{2}(v_{i,j-1/2}^n + v_{i,j+1/2}^n)$$

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

c_x, c_y —— x 向和 y 向迎风差分格式与中心差分格式的权系数。

Δt ——时间步长(s);

$\Delta x, \Delta y$ —— x, y 向空间步长(m);

D_x, D_y —— x, y 向悬沙紊动扩散系数(m^2/s);

F_s ——泥沙源汇函数或泥沙冲淤函数($kg/(m^2 \cdot s)$)。

A.2.3 地形变化方程的离散及数值求解应按下列要求进行:

(1) 在 $n\Delta t \rightarrow (n+1)\Delta t$ 内, 将地形变化方程离散为以下方程:

$$\Delta h_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} = \Delta h_{i+1/2,j+1/2}^n - \frac{\Delta t}{\gamma_0} \left[\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} \right)_{i+1/2,j+1/2}^n + \left(\frac{\partial q_y}{\partial y} \right)_{i+1/2,j+1/2}^n - F_{s,i+1/2,j+1/2}^n \right] \quad (A.2.3-1)$$

(2) 对式(A.2.3-1)显式求解 Δh^{n+1} 。

式中 Δh ——冲淤厚度(m);

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

q_x —— x 向底沙单宽输沙率($kg/(m \cdot s)$);

q_y —— y 向底沙单宽输沙率($kg/(m \cdot s)$);

γ_0 ——泥沙干容重(kg/m^3);

Δt ——时间步长(s);

F_s ——泥沙源汇函数或泥沙冲淤函数($kg/(m^2 \cdot s)$)。

A.3 时间步长的确定

A.3.1 潮流计算的时间步长可按式确定:

$$\Delta t \leq \frac{a \min(\Delta x, \Delta y)}{\sqrt{g H_{\max}}} \quad (A.3.1-1)$$

式中 Δt ——时间步长(s);

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

$\Delta x, \Delta y$ —— x, y 向空间步长(m);

$\min(\Delta x, \Delta y)$ ——空间步长 $\Delta x, \Delta y$ 中的小值(m);

$H_{\max}$ ——计算域中最大水深(m);

g ——重力加速度(m/s^2);

a ——系数, 取值介于 1 ~ 3 之间。

A.3.2 悬沙输移扩散及床面冲淤计算的时间步长可采用 1 ~ 10 倍的潮流计算时间步长。

附录 B 三角元法计算模式

B.1 偏导数的求法

B.1.1 一阶偏导数的求法可按下列过程进行:

(1) 将计算域剖分成若干个任意三角形, 每一个三角形的水文变量一阶近似表达式为:

$$F = a + bx + cy \quad (\text{B.1.1-1})$$

(2) 每一个三角形的水文变量一阶偏导数表达式为:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = b \quad (\text{B.1.1-2})$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} = c \quad (\text{B.1.1-3})$$

(3) 在平面域中 m 个三角形的顶点为同一个点, 该点的一阶偏导数为这 m 个三角形在该点的一阶偏导数的加权平均值, 其表达式为:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_m = \left(\sum_{i=1}^m b_i Se_i \right) / \left(\sum_{i=1}^m Se_i \right) \quad (\text{B.1.1-4})$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_m = \left(\sum_{i=1}^m c_i Se_i \right) / \left(\sum_{i=1}^m Se_i \right) \quad (\text{B.1.1-5})$$

式中 F ——水文变量;

a, b, c ——系数;

m ——三角形的顶点为同一个点的三角形个数;

Se_i ——第 i 个三角形的面积。

B.1.2 将一阶偏导数作为变量, 水文参量的二阶偏导数可采用与求解一阶偏导数相同的方法求出。

B.2 基本方程的离散及数值求解

B.2.1 水流方程的离散及数值求解应按下列要求进行:

(1) 在 $n\Delta t \rightarrow (n+1)\Delta t$ 内, 潮流方程离散为下列方程:

$$\zeta_i^{n+1} = \zeta_i^n - \Delta t \left\{ \left[\frac{\partial(h + \zeta)u}{\partial x} \right]_i^n + \left[\frac{\partial(h + \zeta)v}{\partial y} \right]_i^n \right\} \quad (\text{B.2.1-1})$$

$$u_i^{n+1} = \left\{ u_i^n - \Delta t \left[v_i^n \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_i^n - f v_i^n + g \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} \right)_i^{n+1} - N_x \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_i^n - N_y \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)_i^n \right] \right\} /$$

$$\left\{ 1 + \Delta t \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_i^n + \frac{g}{(c^2)_i^{n+1}} \frac{\sqrt{(u_i^n)^2 + (v_i^n)^2}}{h_i + \zeta_i^{n+1}} \right] \right\} \quad (\text{B.2.1-2})$$

$$v_i^{n+1} = \left\{ v_i^n - \Delta t \left[u_i^n \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_i^n + f u_i^n + g \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y} \right)_i^{n+1} - N_x \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right)_i^n - N_y \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)_i^n \right] \right\} /$$

$$\left\{ 1 + \Delta t \left[\left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_i^n + \frac{g}{(c^2)_i^{n+1}} \frac{\sqrt{(u_i^n)^2 + (v_i^n)^2}}{h_i + \zeta_i^{n+1}} \right] \right\} \quad (\text{B.2.1-3})$$

(2) 依式(B.2.1-1) ~ 式(B.2.1-3), 逐点求出 ζ^{n+1} 、 u^{n+1} 和 v^{n+1} 。

式中

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的分量(m/s);

N_x, N_y —— x, y 向水流紊动粘性系数(m^2/s);

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m);

f ——科氏参量;

i ——三角形网格节点坐标;

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深(m);

n ——时间层;

Δt ——时间步长(s);

c ——谢才系数;

g ——重力加速度(m/s^2)。

B.2.2 悬沙输移扩散方程的离散及数值求解应按下列要求进行:

(1) 在 $n\Delta t \rightarrow (n+1)\Delta t$ 内, 悬沙输移扩散方程离散为以下方程:

$$s_i^{n+1} = s_i^n - \Delta t \left[u_i^n \left(\frac{\partial s}{\partial x} \right)_i^n + v_i^n \left(\frac{\partial s}{\partial y} \right)_i^n - D_x \left(\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} \right)_i^n - D_y \left(\frac{\partial^2 s}{\partial y^2} \right)_i^n - \frac{F s_i^n}{h_i + \zeta_i^n} \right] \quad (\text{B.2.2})$$

(2) 依式(B.2.2), 逐点求出 s^{n+1} 。

式中 s ——含沙量(kg/m^3);

i ——三角形网格节点坐标;

n ——时间层;

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

u, v ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y 方向的分量(m/s);

Δt ——时间步长(s);

D_x, D_y —— x, y 向悬沙紊动扩散系数(m^2/s);

Fs ——泥沙源汇函数或泥沙冲淤函数($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)。

B.2.3 地形变化方程的离散方程及数值求解应按下列要求进行:

(1) 在 $n\Delta t \rightarrow (n+1)\Delta t$ 内, 地形变化方程离散为以下方程:

$$\Delta h_i^{n+1} = \Delta h_i^n - \frac{\Delta t}{\gamma_0} \left[\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} \right)_i^n + \left(\frac{\partial q_y}{\partial y} \right)_i^n - F s_i^n \right] \quad (\text{B.2.3})$$

(2)依式(B.2.3),逐点求出 Δh^{n+1} 。

式中 Δh ——冲淤厚度(m);

i ——三角形网格节点坐标;

n ——时间层;

x, y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标;

q_x —— x 向底沙单宽输沙率($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$);

q_y —— y 向底沙单宽输沙率($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$);

γ_0 ——泥沙干容重(kg/m^3);

Δt ——时间步长(s);

F_s ——泥沙源汇函数或泥沙冲淤函数($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)。

B.3 时间步长的确定

B.3.1 潮流计算的时间步长可按下式确定:

$$\Delta t \leq \frac{a \Delta L_{\min}}{\sqrt{g H_{\max}}} \quad (\text{B.3.1})$$

式中 Δt ——时间步长(s);

$\Delta L_{\min}$ ——三角形网格中最小边长(m);

$H_{\max}$ ——计算域中最大水深(m);

g ——重力加速度(m/s^2);

a ——系数,取值介于1~3之间。

B.3.2 悬沙输移扩散及床面冲淤计算的时间步长可采用1~10倍的潮流计算时间步长。

附录 C 三维潮流泥沙垂向坐标变换法的计算模式

C.1 潮流泥沙基本方程

C.1.1 潮流运动可按下列方程控制:

(1) 连续方程

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}H}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}H}{\partial y} = 0 \quad (\text{C.1.1-1})$$

(2) x 向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial uH}{\partial t} + \frac{\partial u^2H}{\partial x} + \frac{\partial uvH}{\partial y} + \frac{\partial uW}{\partial \sigma} = & -gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(N_z \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + \\ & H \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + H \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + fHv \end{aligned} \quad (\text{C.1.1-2})$$

(3) y 向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial vH}{\partial t} + \frac{\partial uvH}{\partial x} + \frac{\partial v^2H}{\partial y} + \frac{\partial vW}{\partial \sigma} = & -gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(N_z \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + \\ & H \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + H \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) - fHu \end{aligned} \quad (\text{C.1.1-3})$$

(4) σ 向和 z 向的速度分量方程

$$W = \frac{\partial}{\partial x} \left[H(\bar{u}(\sigma + 1) - \int_{-1}^0 u d\sigma) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[H(\bar{v}(\sigma + 1) - \int_{-1}^0 v d\sigma) \right] \quad (\text{C.1.1-4})$$

$$w = W + u \left(\sigma \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial \zeta}{\partial x} \right) + v \left(\sigma \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial y} \right) + (\sigma + 1) \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad (\text{C.1.1-5})$$

式中 x, y, z ——原点 o 置于某一水平基面, z 轴垂直向上的直角坐标系坐标;

u, v, w ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, z 方向的速度分量 (m/s);

$\bar{u}, \bar{v}$ —— u, v 的垂线平均值 (m/s);

N_x, N_y, N_z —— x, y, z 向水流紊动粘性系数 (m²/s);

g ——重力加速度 (m/s²);

t ——时间 (s);

f ——科氏参量;

H ——实际水深 (m), $H = h + \zeta$;

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m);

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深(m);

W —— σ 向流速分量(m/s);

σ —— σ 坐标, $\sigma = \frac{z - \zeta}{H}$ 。

C.1.2 悬沙输移扩散可按以下方程控制:

$$\frac{\partial Hs}{\partial t} + \frac{\partial uHs}{\partial x} + \frac{\partial vHs}{\partial y} + \frac{\partial sW}{\partial \sigma} = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(D_z \frac{\partial s}{\partial \sigma} \right) + \omega \frac{\partial s}{\partial \sigma} + HD_x \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + HD_y \frac{\partial^2 s}{\partial y^2} \quad (\text{C. 1. 2})$$

式中 x, y, σ ——原点 o 置于某一水平基面, σ 轴垂直向上的 σ 坐标系坐标;

u, v, W ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, σ 方向的速度分量(m/s);

s ——含沙量(kg/m^3);

t ——时间(s);

D_x, D_y, D_z ——悬沙沿 x, y, σ 方向的紊动扩散系数(m^2/s);

ω ——泥沙沉降速度(m/s);

H ——实际水深(m), $H = h + \zeta$;

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m);

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深(m)。

C.1.3 床面冲淤可按以下方程控制:

$$\gamma_0 \frac{\partial \Delta h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} - \omega s = \frac{D_z}{H} \frac{\partial s}{\partial \sigma} \quad (\text{C. 1. 3})$$

式中 Δh ——床面冲淤厚度(m);

γ_0 ——泥沙干容重(kg/m^3);

t ——时间(s);

x, y, σ ——原点 o 置于某一水平基面, σ 轴垂直向上的 σ 坐标系坐标;

q_x —— x 向的底沙单宽输沙率($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$), 在淤泥质海岸 $q_x = 0$;

q_y —— y 向的底沙单宽输沙率($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$), 在淤泥质海岸 $q_y = 0$;

ω ——泥沙沉降速度(m/s);

s ——含沙量(kg/m^3);

D_z ——悬沙沿 σ 向的紊动扩散系数(m^2/s)。

C.2 初始条件和边界条件

C.2.1 初始条件可按下列各式确定:

$$\zeta(x, y, t) \big|_{t=0} = \zeta_0(x, y) \quad (\text{C. 2. 1-1})$$

$$u(x, y, \sigma, t) \big|_{t=0} = u_0(x, y, \sigma) \quad (\text{C. 2. 1-2})$$

$$v(x, y, \sigma, t) \big|_{t=0} = v_0(x, y, \sigma) \quad (\text{C. 2. 1-3})$$

$$W(x, y, \sigma, t) \big|_{t=0} = W_0(x, y, \sigma) \quad (\text{C. 2. 1-4})$$

$$s(x, y, \sigma, t) \big|_{t=0} = s_0(x, y, \sigma) \quad (\text{C. 2. 1-5})$$

式中 x, y, σ ——原点 o 置于某一水平基面, σ 轴垂直向上的 σ 坐标系坐标;

u, v, W ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, σ 方向的速度分量 (m/s);

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位 (m);

s ——含沙量 (kg/m^3);

$\zeta_0, u_0, v_0, W_0, s_0$ ——分别为 ζ, u, v, W, s 的已知值。

C. 2. 2 固边界和开边界的边界条件应分别符合第 9. 5. 2 条和第 9. 5. 3 条的规定。

C. 2. 3 水面边界条件可按下列各式确定:

$$\frac{\partial u}{\partial \sigma} = 0 \quad (\text{C. 2. 3-1})$$

$$\frac{\partial v}{\partial \sigma} = 0 \quad (\text{C. 2. 3-2})$$

$$W = 0 \quad (\text{C. 2. 3-3})$$

$$\omega s + \frac{D_z}{H} \frac{\partial s}{\partial \sigma} = 0 \quad (\text{C. 2. 3-4})$$

式中 u, v, W ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, σ 方向的速度分量 (m/s);

σ ——原点 o 置于某一水平基面, σ 轴垂直向上的 σ 坐标系坐标;

s ——含沙量 (kg/m^3);

ω ——泥沙沉降速度 (m/s);

D_z ——悬沙沿 σ 方向的紊动扩散系数 (m^2/s);

H ——实际水深 (m), $H = h + \zeta$;

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位 (m);

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深 (m)。

C. 2. 4 床面边界条件可按下列各式确定:

$$\frac{\partial u}{\partial \sigma} = \frac{\tau_{bx} H}{\rho N_z} \quad (\text{C. 2. 4-1})$$

$$\frac{\partial v}{\partial \sigma} = \frac{\tau_{by} H}{\rho N_z} \quad (\text{C. 2. 4-2})$$

$$W = 0 \quad (\text{C. 2. 4-3})$$

$$-\frac{D_z}{H} \frac{\partial s}{\partial \sigma} - \omega s = \begin{cases} M \left(\frac{\tau_b}{\tau_e} - 1 \right) & \tau_b \geq \tau_e \\ 0 & \tau_d < \tau < \tau_e \\ \omega s \left(\frac{\tau_b}{\tau_d} - 1 \right) & \tau_b \leq \tau_d \end{cases} \quad (\text{C. 2. 4-4})$$

式中 u, v, W ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, σ 方向的速度分量 (m/s);

σ ——原点 o 置于某一水平基面, σ 轴垂直向上的 σ 坐标系坐标;

s ——含沙量 (kg/m^3) ;

ω ——泥沙沉降速度 (m/s) ;

N_z —— σ 向水流紊动粘性系数 (m^2/s) ;

D_z ——悬沙沿 σ 方向的紊动扩散系数 (m^2/s) ;

H ——实际水深 (m) , $H = h + \zeta$;

ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位 (m) ;

h ——相对于 xoy 坐标平面的水深 (m) 。

τ_b ——底部切应力 (N/m^2) ;

τ_{bx} 、 τ_{by} ——分别为底部切应力矢量 $\vec{\tau}_b$ 沿 x 、 y 向的分量 (N/m^2) ;

τ_d ——临界淤积切应力 (N/m^2) , 宜由试验确定, 也可通过验证计算确定;

τ_e ——临界冲刷切应力 (N/m^2) , 宜由试验确定, 也可通过验证计算确定;

M ——冲刷系数 ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) , 宜由试验确定, 也可通过验证计算确定。

C.3 潮流泥沙基本方程的离散及数值求解

C.3.1 潮流泥沙基本方程可采用有限差分方法离散及数值求解。

C.3.2 采用有限差分方法离散方程式 (C.1.1-1) ~ (C.1.1-4) 、(C.1.2) 、(C.1.3) 可得到下列差分方程:

(1) 潮位 ζ

$$\zeta_{ij}^* = \zeta_{ij}^n - \Delta t \left[\left(\frac{\partial H \bar{u}}{\partial x} \right)_{ij}^n + \left(\frac{\partial H \bar{v}}{\partial y} \right)_{ij}^n \right] \quad (\text{C.3.2-1})$$

$$\zeta_{ij}^{**} = \zeta_{ij}^n - \Delta t \left[\left(\frac{\partial H \bar{u}}{\partial x} \right)_{ij}^{n+1} + \left(\frac{\partial H \bar{v}}{\partial y} \right)_{ij}^{n+1} \right] \quad (\text{C.3.2-2})$$

$$\zeta_{ij}^{n+1} = \frac{1}{2} (\zeta_{ij}^* + \zeta_{ij}^{**}) \quad (\text{C.3.2-3})$$

(2) 流速分量 u 、 v 、 W 、 w

$$A_{ij,k}^{n+1} u_{ij,k-1}^{n+1} + B_{ij,k}^{n+1} u_{ij,k}^{n+1} + C_{ij,k}^{n+1} u_{ij,k+1}^{n+1} = DU_{ij,k}^n \quad (\text{C.3.2-4})$$

$$A_{ij,k}^{n+1} v_{ij,k-1}^{n+1} + B_{ij,k}^{n+1} v_{ij,k}^{n+1} + C_{ij,k}^{n+1} v_{ij,k+1}^{n+1} = DV_{ij,k}^n \quad (\text{C.3.2-5})$$

$$W_{ij,k}^{n+1} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[H(\bar{u}(\sigma + 1) - \int_{-1}^{\sigma} u d\sigma) \right] \right\}_{ij,k}^{n+1} + \left\{ \frac{\partial}{\partial y} \left[H(\bar{v}(\sigma + 1) - \int_{-1}^{\sigma} v d\sigma) \right] \right\}_{ij,k}^{n+1} \quad (\text{C.3.2-6})$$

$$w_{ij,k}^{n+1} = W_{ij,k}^{n+1} + u_{ij,k}^{n+1} \left(\sigma \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial \zeta}{\partial x} \right)_{ij,k}^{n+1} + v_{ij,k}^{n+1} \left(\sigma \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial y} \right)_{ij,k}^{n+1} + [(\sigma + 1) \frac{\partial \zeta}{\partial t}]_{ij,k}^{n+1} \quad (\text{C.3.2-7})$$

(3) 含沙量 s

$$SA_{ij,k}^{n+1} s_{ij,k-1}^{n+1} + SB_{ij,k}^{n+1} s_{ij,k}^{n+1} + SC_{ij,k}^{n+1} s_{ij,k+1}^{n+1} = SD_{ij,k}^n \quad (\text{C.3.2-8})$$

(4) 床面冲淤厚度 Δh

$$\Delta h_{i,j}^{n+1} = \Delta h_{i,j}^n + \Delta t \frac{\omega s_{i,j,0}^{n+1}}{\gamma_0} + \frac{\Delta t (D_z)_{i,j,0}^{n+1} (s_{i,j,1}^{n+1} - s_{i,j,0}^{n+1})}{H_{i,j}^{n+1} \gamma_0 \Delta \sigma} - \frac{\Delta t \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} \right)_{i,j}^{n+1}}{\gamma_0} - \frac{\Delta t \left(\frac{\partial q_y}{\partial y} \right)_{i,j}^{n+1}}{\gamma_0} \quad (\text{C. 3. 2-9})$$

式中

$$\begin{aligned} A_{i,j,k}^{n+1} &= \frac{(N_z)_{i,j,k+1}^{n+1} - (N_z)_{i,j,k-1}^{n+1}}{4H_{i,j}^{n+1} (\Delta \sigma)^2} - \frac{(N_z)_{i,j,k}^{n+1}}{H_{i,j}^{n+1} (\Delta \sigma)^2} - \frac{W_{i,j,k}^n}{2\Delta \sigma} \\ B_{i,j,k}^{n+1} &= \frac{H_{i,j}^{n+1}}{\Delta t} + \frac{W_{i,j,k+1}^n - W_{i,j,k-1}^n}{2\Delta \sigma} + \frac{2(N_z)_{i,j,k}^{n+1}}{H_{i,j}^{n+1} (\Delta \sigma)^2} \\ C_{i,j,k}^{n+1} &= \frac{W_{i,j,k}^n}{2\Delta \sigma} - \frac{(N_z)_{i,j,k+1}^{n+1} - (N_z)_{i,j,k-1}^{n+1}}{4H_{i,j}^{n+1} (\Delta \sigma)^2} - \frac{(N_z)_{i,j,k}^{n+1}}{H_{i,j}^{n+1} (\Delta \sigma)^2} \\ DU_{i,j,k}^n &= \frac{u_{i,j,k}^n H_{i,j}^n}{\Delta t} - \left(\frac{\partial u^2 H}{\partial x} \right)_{i,j,k}^n - \left(\frac{\partial uv H}{\partial y} \right)_{i,j,k}^n - g H_{i,j}^{n+1} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} \right)_{i,j}^{n+1} + f H_{i,j}^n v_{i,j,k}^n + \\ &\quad N_x H_{i,j}^{n+1} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_{i,j,k}^n + N_y H_{i,j}^{n+1} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)_{i,j,k}^n \\ DV_{i,j,k}^n &= \frac{v_{i,j,k}^n H_{i,j}^n}{\Delta t} - \left(\frac{\partial uv H}{\partial x} \right)_{i,j,k}^n - \left(\frac{\partial v^2 H}{\partial y} \right)_{i,j,k}^n - g H_{i,j}^{n+1} \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y} \right)_{i,j}^{n+1} - f H_{i,j}^n u_{i,j,k}^n + \\ &\quad N_x H_{i,j}^{n+1} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right)_{i,j,k}^n + N_y H_{i,j}^{n+1} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)_{i,j,k}^n \\ SA_{i,j,k}^{n+1} &= \frac{\omega}{2\Delta \sigma} + \frac{(D_z)_{i,j,k+1}^{n+1} - (D_z)_{i,j,k-1}^{n+1}}{4H_{i,j}^{n+1} (\Delta \sigma)^2} - \frac{(D_z)_{i,j,k}^{n+1}}{H_{i,j}^{n+1} (\Delta \sigma)^2} - \frac{W_{i,j,k-1}^n}{2\Delta \sigma} \\ SB_{i,j,k}^{n+1} &= \frac{H_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta t} + \frac{2(D_z)_{i,j,k}^{n+1}}{H_{i,j}^{n+1} (\Delta \sigma)^2} \\ SC_{i,j,k}^{n+1} &= -\frac{\omega}{2\Delta \sigma} - \frac{(D_z)_{i,j,k+1}^{n+1} - (D_z)_{i,j,k-1}^{n+1}}{4H_{i,j}^{n+1} (\Delta \sigma)^2} - \frac{(D_z)_{i,j,k}^{n+1}}{H_{i,j}^{n+1} (\Delta \sigma)^2} + \frac{W_{i,j,k+1}^n}{2\Delta \sigma} \\ SD_{i,j,k}^n &= \frac{H_{i,j}^n s_{i,j,k}^n}{\Delta t} - \left(\frac{\partial u H s}{\partial x} \right)_{i,j,k}^n - \left(\frac{\partial v H s}{\partial y} \right)_{i,j,k}^n + H_{i,j}^n D_x \left(\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} \right)_{i,j,k}^n + H_{i,j}^n D_y \left(\frac{\partial^2 s}{\partial y^2} \right)_{i,j,k}^n \end{aligned}$$

i, j, k ——网格节点坐标;

n ——时间层;

$\Delta \sigma$ ——垂向空间步长;

u, v, W, w ——流速矢量 $\vec{V}$ 沿 x, y, σ, z 方向的速度分量(m/s);

x, y, σ ——原点 o 置于某一水平基面, σ 轴垂直向上的 σ 坐标系坐标;

t ——时间(s);

Δt ——时间步长(s);

s ——含沙量(kg/m^3) ;
 Δh ——床面冲淤厚度(m) ;
 γ_0 ——泥沙干容重(kg/m^3) ;
 H ——实际水深(m) , $H = h + \zeta$;
 ζ ——相对于 xoy 坐标平面的水位(m) ;
 h ——相对于 xoy 坐标平面的水深(m) ;
 ω ——泥沙沉降速度(m/s) ;
 f ——科氏参量 ;
 q_x —— x 向的底沙单宽输沙率($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$) ;
 q_y —— y 向的底沙单宽输沙率($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$) ;
 $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ —— u 、 v 的垂线平均值(m/s) ;

N_x 、 N_y 、 N_z —— x 、 y 、 z 向水流紊动粘性系数(m^2/s) ;

D_x 、 D_y 、 D_z ——悬沙沿 x 、 y 、 z 方向的紊动扩散系数(m^2/s)。

C.3.3 差分方程的求解过程可按下列方法进行：

(1) 用式 (C.3.2-1) 显式计算出 $\zeta_{i,j}^*$ ，用式 (C.3.2-4) 和式 (C.3.2-5) 分别隐式计算出 $u_{i,j,k}^{n+1}$ 和 $v_{i,j,k}^{n+1}$ ，用式 (C.3.2-2) 显式计算出 $\zeta_{i,j}^{**}$ ，用式 (C.3.2-3) 计算出 $\zeta_{i,j}^{n+1}$ ，用式 (C.3.2-6) 和式 (C.3.2-7) 分别显式计算出 $w_{i,j,k}^{n+1}$ 和 $w_{i,j,k}^{n+1}$ ；

(2) 用式 (C.3.2-8) 隐式计算出 $s_{i,j,k}^{n+1}$ ；

(3) 用式 (C.3.2-9) 显式计算出 $\Delta h_{i,j}^{n+1}$ 。

C.3.4 水平方向空间偏导数的离散可按下列方法进行：

(1) 采用矩形网格时

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)_{i,j,k}^n = \frac{F_{i+1,j,k}^n - F_{i-1,j,k}^n}{2\Delta x} \quad (\text{C.3.4-1})$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)_{i,j,k}^n = \frac{F_{i,j+1,k}^n - F_{i,j-1,k}^n}{2\Delta y} \quad (\text{C.3.4-2})$$

$$\left(\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}\right)_{i,j,k}^n = \frac{F_{i+1,j,k}^n - 2F_{i,j,k}^n + F_{i-1,j,k}^n}{(\Delta x)^2} \quad (\text{C.3.4-3})$$

$$\left(\frac{\partial^2 F}{\partial y^2}\right)_{i,j,k}^n = \frac{F_{i,j+1,k}^n - 2F_{i,j,k}^n + F_{i,j-1,k}^n}{(\Delta y)^2} \quad (\text{C.3.4-4})$$

式中： F ——任一水文变量；

x 、 y ——原点 o 置于某一水平基面的直角坐标系坐标；

Δx 、 Δy —— x 、 y 向空间步长(m)；

i 、 j 、 k ——网格节点坐标；

n ——时间层；

(2) 采用三角形网格时参见附录 B。

C.3.5 潮流计算时间步长可按下列方法确定：

$$\Delta t \leq \frac{\alpha \Delta L_{\min}}{\sqrt{g H_{\max}}} \quad (\text{C.3.5})$$

式中 Δt ——时间步长(s)

$\Delta L_{\min}$ ——计算域内网格节点间的最短距离(m)；

$H_{\max}$ ——计算域内最大水深(m)；

g ——重力加速度(m/s^2)；

α ——系数,取值介于0.5~2.0之间。

C.3.6 悬沙输移扩散及床面冲淤计算的时间步长可采用1~10倍的潮流计算的时间步长。

附录 D 本规程用词用语说明

D.0.1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度的用词说明如下:

(1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”或“可”;

反面词采用“不宜”。

D.0.2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

附加说明

本规程主编单位、参加单位、 主要起草人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位：交通运输部天津水运工程科学研究所

参 加 单 位：南京水利科学研究院

中交天津港湾工程研究院有限公司

河海大学

主 要 起 草 人：吴以喜(交通运输部天津水运工程科学研究所)

杨 华(交通运输部天津水运工程科学研究所)

(以下按姓氏笔画为序)

刘子琪(中交天津港湾工程研究院有限公司)

李 蓓(交通运输部天津水运工程科学研究所)

李华国(交通运输部天津水运工程科学研究所)

李孟国(交通运输部天津水运工程科学研究所)

张东生(河海大学)

陈国平(河海大学)

徐 群(南京水利科学研究院)

韩西军(交通运输部天津水运工程科学研究所)

总校人员名单：胡 明(交通运输部水运局)

郑清秀(交通运输部水运局)

李德春(交通运输部水运局)

阚 津(交通运输部水运局)

吴敦龙(中交水运规划设计院有限公司)

张华庆(交通运输部天津水运工程科学研究所)

李华国(交通运输部天津水运工程科学研究所)

吴以喜(交通运输部天津水运工程科学研究所)

杨 华(交通运输部天津水运工程科学研究所)

李孟国(交通运输部天津水运工程科学研究所)

韩西军(交通运输部天津水运工程科学研究所)

董 方(人民交通出版社)

管理组人员名单: 张华庆(交通运输部天津水运工程科学研究所)

李华国(交通运输部天津水运工程科学研究所)

杨 华(交通运输部天津水运工程科学研究所)

李孟国(交通运输部天津水运工程科学研究所)

韩西军(交通运输部天津水运工程科学研究所)

中华人民共和国行业标准

海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程

JTS/T 231—2—2010

条文说明

目 次

1 总则 (71)

3 基本规定 (72)

 3.3 仪器设备 (72)

 3.5 资料整理与分析 (72)

4 潮流定床物理模型试验 (73)

 4.2 模型设计 (73)

 4.7 模型水流特性试验 (73)

5 潮流泥沙物理模型试验 (75)

 5.1 基本资料 (75)

 5.2 模型设计和模型沙的选择 (75)

 5.5 模型验证试验及精度控制 (75)

6 波浪潮流泥沙物理模型试验 (76)

 6.2 模型设计 (76)

8 平面二维潮流泥沙数值模拟 (77)

 8.2 基本方程 (77)

 8.3 计算模式 (77)

 8.6 基本参数的确定 (77)

9 三维潮流泥沙数值模拟 (78)

 9.2 基本方程 (78)

 9.3 计算模式 (78)

 9.6 基本参数的确定 (78)

10 平面二维波浪潮流泥沙数值模拟 (79)

 10.2 基本方程 (79)

 10.6 基本参数的确定 (79)

11 波浪沿岸输沙数值模拟 (80)

 11.2 基本方程 (80)

 11.5 边界条件 (81)

 11.6 计算波要素及水位的确定 (81)

1 总 则

1.0.1 海岸与河口地区受到海洋波浪、潮汐、潮流、河口径流及泥沙运移等多种自然因素和人类活动的作用和影响,且水流、泥沙的运动规律复杂,直到目前还不能充分的认识,直接影响到港口、航道等水运工程的安全使用与维护。工程泥沙环境及冲淤演变分析、物理模型和数值模拟是研究水流、泥沙运动以及水运工程与水流和海床相互作用的重要手段。为规范模拟技术,提高研究成果质量,对原规程进行了修订。

3 基本规定

3.3 仪器设备

针对不同的试验研究采用相应的基本设备和仪器。在我国这些仪器和设备一般批量不大,通常为某一单位生产或自制,并随研究的深入不断地改进。为不限制其发展,提出了试验仪器应经率定,其技术指标应满足试验精度和稳定性的要求,又能确保试验成果的质量。

3.5 资料整理与分析

指明了采用模拟技术时资料整理分析研究的范围、内容。试验结果的分析研究对于方案的对比、选择有着重要作用,但仅是一个方面,还需要与当地工程水文、泥沙环境紧密结合方能切实的解决工程问题,这是确保研究成果转化为工程应用的根本保证。

4 潮流定床物理模型试验

4.2 模型设计

4.2.2 本条为模型设计的限制条件。

规定模型水流雷诺数大于 1000 是为了保证模型水流处于阻力平方区,使模型与原型流态基本保持一致。

模型糙率随模型平面比尺和变率变化而变化,实践经验证明,当模型糙率满足本款规定时,模型加糙容易实现。

4.2.3 本条为确定模型范围的原则。

4.2.3.1 在模型水流进出口与试验段中间规定加过渡段,使模型水流经过渡段调整到试验段,能保证模型试验段水流运动相似。根据模型选择的生潮方式、模型潮流进出口段宽度及扩展程度、模型生潮方向与潮流间夹角大小等多种因素综合确定过渡段长度。在开敞式海域模型,边界人为处理较多,为便于模型边界情况的调整过渡段需要长一些。

4.2.3.2 模型试验段的范围与模型试验方案的范围。设计工程对水流影响的程度、模型流速、工程附近的自然条件等因素有关,本款规定是按试验影响范围最小的原则确定的,使用时需按具体情况确定。

4.2.4 本条为确定模型几何比尺的原则。

4.2.4.1 海岸与河口潮流模型要求试验范围都很大,而水深较小,受试验场地、供水、供电能力限制,一般要求水平比尺都很大,如采用正态模型,则模型水深就很小,难以保证模型水流流态和流场的相似,因此模型一般做成变态。模型变率随研究问题的性质、研究范围大小、模型加糙的可能性等因素确定。根据国内外经验,局部模型变率较小,整体模型变率较大,有的河口海域模型变率超过 10,因此,本款规定定床模型的变率为 3~10。

4.2.4.2 根据实践经验,局部模型平面比尺一般不大于 600,整体模型平面比尺一般在 1000 以内。

4.2.5 本条为模型糙率和加糙的方法。一般情况下制作模型材料采用水泥浆粉面压光拉毛或模型床面铺上模型沙时模型糙率约在 0.014 左右;当在床面采用密排或有间距加糙时,模型糙率最大约为 0.03。

4.7 模型水流特性试验

4.7.2 大潮潮差大,相对水流动力强,工程前后水流变化大,规律性较为明显,因此推荐选用实测大潮潮型作为代表潮型。对于潮差大的地区或某些重要工程增加实测中、小潮潮型作为代表潮型;在河口段的重要工程采用洪、枯季实测大、中、小潮潮型作试验的代表

潮型,以反映不同季节不同潮型的潮流场变化。

4.7.3 为避免水流脉动的影响和观测误差,提高试验结果的可靠程度,条文规定每组试验应重复观测 2 次,当 2 次测验结果误差大于 10% 或超出观测误差范围时,要进行第三次重复测验,并分析产生偏差的原因,取接近的 2 次结果的平均值作为测验结果。

5 潮流泥沙物理模型试验

5.1 基本资料

海岸与河口天然泥沙运动复杂,有悬沙运动、底沙运动或两者兼有,底沙又包括推移质与悬移质中的床沙质。悬沙和底沙运动是海岸与河口在潮流、波浪作用下常见的泥沙运动形式。研究的问题如港口布置、航道淤积、河口及拦门沙整治、海岸的防护等都会遇到不同的泥沙问题,故应根据泥沙运动的性质与需解决问题的实际情况,搜集与测量相关的资料。

5.2 模型设计和模型沙的选择

潮流泥沙模型设计与试验是运用泥沙运动理论,合理分析原型床面演变规律与泥沙运动形态,正确选择模型沙以及良好的运行操作的综合过程。模型先按已掌握的资料、知识和必要的辅助试验进行初步设计,在验证过程中允许有修改,完成验证即完成最后的设计。

5.5 模型验证试验及精度控制

5.5.7 模型潮型采用大、中、小潮的组合,模型试验时间较长。根据若干潮汐河口泥沙模型试验的经验,小潮造床的作用微弱,可以忽略。选用大潮或者大潮与中潮的组合也可达到冲淤地形变化的相似,故模型可选用大、中潮的组合,但此时要估算一个大潮、中潮的组合相当于多少个平均潮的作用,以便决定模型冲淤变形的试验时间。决定冲淤时间后,计算试验的加沙量。每次试验结束后,测量模型地形,并与原型实测数值比较,如果符合第5.5.9条要求,则模型动床验证完成。

6 波浪潮流泥沙物理模型试验

6.2 模型设计

波浪潮流泥沙物理模型与潮流泥沙物理模型相比增加了波浪动力,该波浪动力的作用是掀起床面泥沙并使之参加潮流运动,使工程水域水体含沙量增加,引起泥沙冲淤的变化。如何在变态的潮汐模型中模拟波浪动力条件以及波浪对建筑物的作用不致因模型变态而使局部水域地形发生失真,是模型设计的关键。

波浪潮流泥沙物理模型中,为保持波浪的正态,令波浪的波长比尺等于波高比尺,其波高比尺与其水深比尺相等,使得模型中波浪的波动速度、波浪传质速度、波浪产生的沿堤流速、破波水深等均与潮汐水流动力条件、模型垂直比尺保持相同的关系。使波浪的动力条件能在潮流泥沙模型中复演,达到两者一致的目的。为减小模型中建筑物对波浪的反射、折射作用,按不同部位对建筑物的边坡进行调整,或采用消能材料处理。

8 平面二维潮流泥沙数值模拟

8.2 基本方程

8.2.3 在式(8.2.3)中同时考虑了底沙和悬沙的影响,但潮流作用下底沙输沙目前研究得很不够,至今尚无有效的计算公式,一般都借用单向水流的研究成果,如 Meyer-Peter 公式、Englund 公式、窦国仁公式和武汉水利电力大学等公式进行计算。由于泥质海岸与河口的潮流底沙输沙量在总输沙量中所占比重很小,可以忽略不计。

8.3 计算模式

8.3.1 计算模式种类很多,按差分网格形状分有三角形、正方形、矩形、四边形、曲线坐标网格及各种形状网格组合等;按计算方法分,有显式、全隐式、半隐半显式;按模拟格式分有 ADI 法、三角元法、破开算子法、贴体坐标变换法和体积元法等。各种模式均有其实用条件和优缺点,根据其稳定性、收敛性、精度和实用效果选用。

8.3.2 ADI 法兼有显、隐式优点,是目前我国工程界中应用较广泛的一种模式。

8.3.3 三角元法原理简单、解法直观、编程容易、节省内存、布设随意,易拟合固定边界,有较好的稳定性、收敛性和精度,在海岸与河口二维潮流数值模拟中应用广泛。

8.6 基本参数的确定

8.6.3 源汇函数 F_s 的确定,是悬沙输移扩散计算的关键,由泥沙沉降和起动机理所决定,有多种形式表示和多种方法确定,条文中所列的两种方法是目前应用较广的方法。

9 三维潮流泥沙数值模拟

9.2 基本方程

9.2.1 ~ 9.2.3 给出了在空间直角坐标系中的三维潮流泥沙的基本方程, 方程形式为常用形式, 亦可写成其他的等价形式。基本方程适合于不受盐淡水交换影响的河口海岸水运工程三维潮流模拟。

在海岸与河口潮流中, 垂向流速 w 相对于水平方向的流速 u, v 一般很小, 其时间和空间的微分量级要比水平方向流速的微分量级小得多, 可以忽略其影响, 式(9.2.1-4)可近似写为式(9.2.1-5), 即假定潮流运动服从静水压强分布, 这一假定在三维潮流数值模拟中被广泛采用。

淤泥质海岸与河口的潮流底沙输沙量在总输沙量中所占比重很小, 通常可以忽略不计, 即 $q_x = 0, q_y = 0$ 。

9.3 计算模式

三维潮流数值模拟的垂向坐标变换法的计算模式是目前使用最为广泛的一种模式。

9.6 基本参数的确定

9.6.1 潮流水平紊动粘性系数和泥沙紊动扩散系数一般来说是时空变量, 但其时空变化量很小, 近似取为常值。

9.6.2 潮流垂向紊动粘性系数和泥沙垂向紊动扩散系数是三维潮流泥沙基本方程中十分重要的量, 垂向紊动粘性系数一般采用 Munk 型公式、Van Rees 型公式、混合长理论型公式等经验公式确定。在淤泥质海岸河口, 悬沙颗粒很细, 含沙量不大, 垂向紊动粘性系数和泥沙垂向紊动扩散系数值相近, 一般取同一数值。

10 平面二维波浪潮流泥沙数值模拟

10.2 基本方程

10.2.1 在式(10.2.1-2)、式(10.2.1-3)、式(10.2.2)和式(10.2.3)中,通过波浪辐射应力、波浪、潮流共同作用下的底部剪切应力和波流挟沙能力反映波浪对潮流运动和泥沙运动的影响,这种处理方法不关心波浪运动的瞬时变化,只考虑波浪场作用下产生的动力要素对潮流和泥沙运动的影响。

10.2.3 在式(10.2.3)中同时考虑了底沙和悬沙的影响,但潮流作用下底沙输沙目前研究得很不够,至今尚无有效的计算公式,一般都借用单向水流的研究成果,如 Meyer-Peter 公式、Englund 公式、窦国仁公式和武汉水利电力大学等公式进行计算。由于泥质海岸与河口的潮流底沙输沙量在总输沙量中所占比重很小,可以忽略不计,即 $q_x = 0, q_y = 0$ 。

10.6 基本参数的确定

10.6.2 由于在淤泥质海岸与河口悬沙颗粒很细,含沙量不大,潮流运动紊动粘性系数与悬沙紊动扩散系数数值相接近,所以规定采用同一值。

10.6.6 本条所列源汇函数的两种确定方法是目前广泛应用的,两种方法均反映了波浪和潮流的共同作用。

11 波浪沿岸输沙数值模拟

11.2 基本方程

11.2.1 式(11.2.1)为一维沙量平衡方程式,模型假定海滩剖面形状不变,在整个计算剖面内滩面坡度不变,海岸的演变表现为岸滩的前进与后退,只存在沿岸方向的纵向输沙,不考虑垂直于岸线方向的横向输沙,式中的输沙率是通过垂直于海岸线某一断面的总沿岸输沙率。

11.2.2 本条给出沿岸输沙率计算公式。

常用的沿岸输沙率公式分为流速法和波能流法两类。波能流法的基本假定是当波浪传入岸边引起破波带内泥沙运动时,总的沿岸输沙与波浪所具有的能量流的沿岸分量成正比。行业标准《海港水文规范》(JTJ 213)中“沙质海岸沿岸输沙率的估算方法”推荐波能流法和流速法。由于流速法计算繁杂,个别参数需根据图确定,不便于海岸演变数值模拟使用。因此,本条规定采用波能流法计算沿岸输沙率。

当海岸上修建建筑物后,波隐区波高的沿岸梯度变得显著起来,此时,既要考虑斜向入射波作用,又要同时考虑破碎波波高的沿岸梯度作用引起的沿岸输沙。

式(11.2.2-1)中的 $\frac{\partial H_b}{\partial x}$ 项,是用来描述建筑物的绕射作用导致的破碎波的沿岸变化对沿岸输沙率的影响。事实上,即使是没有建筑物的开敞海岸,破碎波波高的沿岸不等现象也是存在的,其对沿岸输沙率的影响也是存在的。但是,如果不存在波浪绕射,波高沿岸梯度的变化是随机的,且很小,式中第二项与第一项相比可忽略不计,因此条文中规定:“当波浪绕射不显著时,可取 $K_2=0$ ”。

从理论上讲,破波角沿岸不等对沿岸输沙也有影响,但研究表明,与另外两项比,其影响可以忽略不计,故在条文中未出现。

关于沿岸输沙率系数 K_1 ,Komar和Inman根据他们荧光示踪沙实验建议,当用均方根波高时,取 $K_1=0.77$,当采用有效波高时,系数 K_1 应乘以 $1/2$ 。美国海岸工程研究中心(Coastal Engineering Research Centre)CERC公式为 $Q=7500P_{ls}$ (yard³/year),相当于输沙率系数 $K_1=0.87$ 。

K_2 与 K_1 的比值可用来描述建筑物引起的波浪绕射产生的反向水流(Counter-Current)与斜向入射波在建筑物附近海滩上产生的平均沿岸流之间的相对强度。这种平衡取决于沿岸流的横向分布,而影响沿岸流分布的因素众多,如引起波浪绕射的建筑物的离岸距离,建筑物的走向,入射波波高、波周期以及入射角,岸线的平面形态,岸滩坡度等。

由于波浪计算和岸线变化模型中有不少近似和假设,加之现有计算沿岸输沙率公式

的不严格,将输沙率系数 K_1 与 K_2 处理为因地而变的参数比较适宜,即通过岸线模型的率定计算来确定 K_1 与 K_2 值。条文中表述为“宜根据实测沿岸输沙率确定”。

11.5 边界条件

11.5.2 说明波浪沿岸输沙率计算的三种边界情况。对于第(3)项中的情况,边界处有丁坝之类的建筑物,丁坝拦截了部分沿岸输沙,在丁坝坝头处有泥沙绕运,一般假定破波区内输沙率为矩形分布,绕运输沙量与丁坝坝头以外破波区的宽度成正比。

11.6 计算波要素及水位的确定

11.6.1 波浪泥沙数值模拟对波浪资料输入的顺序很敏感,采用定时长期连续波浪观测资料可使数值模拟的结果更接近实际。

沿岸输沙和岸滩演变计算的时间跨度一般较长。实际上,一个地区的风、浪和由波浪引起的岸滩演变在一定程度上是以一年为周期的循环过程。故本条文中要求连续波浪序列的长度一般不少于一年。

根据风资料推算波浪序列时,须用同期的短期实测波浪资料进行验证。计算代表波高时,可剔除对海岸冲淤演变起作用不大的波高。