

中国航海学会团体标准
《海岸工程柔性结构模拟试验技术规范》
(征求意见稿)
编制说明

标准编写组

2024年2月

目 录

一、工作简况.....	1
二、编制原则、主要内容依据.....	4
三、已开展的试验验证情况.....	8
四、与有关现行法律、法规和强制性国家标准、配套推荐性标准的关系.....	9
五、与国际标准化组织、其他国家或地区有关法律法规和标准的比对分析.....	9
六、重大分歧意见的处理经过和依据.....	9
七、废止现行有关标准的建议.....	9
八、标准性质的建议说明.....	10
九、涉及专利的有关说明.....	10
十、其他应予说明的事项.....	10

一、工作简况

（一）任务来源

根据《中国航海学会团体标准管理办法》相关要求，经第四十二次理事长办公会审议，《海岸工程柔性结构模拟试验技术规范》符合立项要求，并于 2023 年 4 月 30 日公布立项。《海岸工程柔性结构模拟试验技术规范》由中国航海学会提出并归口，交通运输部天津水运工程科学研究所、大连理工大学、深圳中广核工程设计有限公司共同起草。

（二）背景、目的和意义

近年来，赤潮、浒苔等海洋生物灾害频发，同时近岸养殖业的发展进一步增加了海洋生物的富营养化现象。同时，大量海洋垃圾漂浮于海面，随潮流、波浪作用四处散逸，以上污染物降低了近岸水质，引发了一系列工程问题。我国现有数百个建设于滨海地区的电厂工程，一般采用近岸天然海水作为机组循环的冷却水源，在取水过程中，海洋污染物随之进入循环水前池，如堵塞率达到一定阈值，则会导致水泵无法正常取水，引起运营风险。因此，大多数电厂工程考虑在取水口门处设置柔性拦污网具，拦截海洋生物和垃圾，避免其直接随水流进入泵房。此外，海洋漂浮垃圾的清理是当前恢复“蓝色海湾”的重要措施，对垃圾的清理常用清污船的形式，并采用柔性拖网打捞漂浮垃圾。同时，在海岸工程施工中，例如防波堤及围堰建设、疏浚挖泥等工程，将会引起海床泥沙的起悬和扩散，对周边生态造成影响。近年来，在海洋生态文明的政策倡导下，对施工期悬浮泥沙扩散的管控愈加严格，较多项目开始采用柔性“拦沙幕帘”的方案，将施工海域和外部海域阻断，避免悬浮泥沙的飘逸。

综上所述，当前滨海工程中柔性拦污设施应用广泛。值得注意的是，以上设置大多采用墩台、网衣、网具、系泊绳索、锚碇块体等多种结构组合的形式。在实际海岸环境中，存在潮汐涨落、潮流运动和波浪等多种动力因子，并彼此耦合，柔性网具在水动力作用下发生复杂的动力响应，进而拉扯墩台与锚碇块体。对于这种复杂的“刚柔并存”结构体系的水动力响应模拟问题，无论是物理模拟还是数值模拟技术，现有试验规程中尚无有针对性的规范和指导。

本规范起草单位及主要起草人长期从事柔性结构的水动力相关模拟技术和设计研发工作，在实际工程经验中发展了柔性结构的物理与数值模拟技术，提出了相关的模型设计原则，开发了试验测量技术，并已成功应用于大量实际工程中，经受了现场考验。以物理模型和数值计算理论为基础，结合编制单位的长期工作实践和经验积累，提出科学合理、可操作性强的“海岸工程柔性结构模拟试验技术规范”团体标准具有重要的意义。

(三) 起草单位和主要起草人及所做工作

为了保证标准能够按照中国航海学会标准编制要求，高质量按时推进，标准修订主要承担单位专门成立了标准起草组。由交通运输部天津水运工程科学研究所负责整体编制内容和有关组织、协调各参编单位及调研等工作，并负责物理模型试验方法的编写工作。由大连理工大学、深圳中广核工程设计有限公司负责总体技术内容编制，标准架构和数学模型模拟方法的编写工作，其他人员负责标准具体各个细节讨论和修订，全体标准核心人员参与标准需求分析和内容研讨，对标准内容进行总体编写。

表 1 主要起草人员及分工

姓名	单位	主要工作
解鸣晓	交通运输部天津水运工程科学研究所	负责总体统筹标准编制工作，起草标准文本和编制说明。
许条建	大连理工大学	协助负责总体统筹标准编制工作，参与起草标准文本和编制说明。
侯志强	交通运输部天津水运工程科学研究所	协助负责总体统筹标准编制工作，组织协调调研工作。
孙振祥	交通运输部天津水运工程科学研究所	协助负责总体统筹标准编制工作，参与起草标准文本和编制说明。
王 恒	交通运输部天津水运工程科学研究所	参与起草柔性结构水动力响应物理模拟试验。
袁春光	交通运输部天津水运工程科学研究所	参与起草柔性结构水动力响应物理模拟试验。
崔 成	交通运输部天津水运工程科学研究所	参与起草柔性结构水动力响应物理模拟试验和编制说明。
李 泽	交通运输部天津水运工程科学研究所	参与起草柔性结构水动力响应物理模拟试验和编制说明。
潘文博	交通运输部天津水运工程科学研究所	参与起草柔性结构水动力响应物理模拟试验。
阳志文	交通运输部天津水运工程科学研究所	参与起草柔性结构水动力响应物理模拟试验。

马玉祥	大连理工大学	参与起草柔性结构水动力响应数学模型试验。
董国海	大连理工大学	参与起草柔性结构水动力响应数学模型试验。
唐鸣夫	大连理工大学	参与起草柔性结构水动力响应数学模型试验。
祝奇超	深圳中广核工程设计有限公司	参与起草模拟方法选择和编制说明。
罗岁丰	深圳中广核工程设计有限公司	参与起草模拟方法选择和编制说明。
吴庆旺	深圳中广核工程设计有限公司	参与起草模拟方法选择和编制说明。
陈 静	深圳中广核工程设计有限公司	参与起草模拟方法选择和编制说明。
陈文焕	深圳中广核工程设计有限公司	参与起草模拟方法选择和编制说明。

(四) 主要工作过程

为按期完成标准制修订任务，项目组提前开展了标准编制工作，主要工作过程如下：

2022年6月~2022年12月，成立标准项目组进行预研，确立编研工作总体目标。收集了相关法规、规范、标准、科技文献等资料，作为预研阶段，项目组开展标准计划项目建议的研究，进行了调研分析，提出标准计划项目建议。

2022年12月~2023年3月，项目组深入分析了相关法规、规范、标准、科技文献，整理规范编制单位以及相关单位多年积累的研究成果，对海岸工程柔性结构在物理模型试验、数值模型试验中模拟方法进行梳理总结，对比分析不同模拟方法的结果，科学的提出目前海岸工程柔性结构模拟的可行方案，并起草本次模拟技术规范的草案。

2023年4月，《海岸工程柔性结构模拟试验技术规范》团体标准正式立项，根据中国航海学会航学发 [2022]50号文件要求，起草单位交通运输部天津水运工程科学研究所正式组建了标准编写组，正式开展标准编制相关工作。

2023年4月~2024年1月，起草单位交通运输部天津水运工程科学研究所组织编写组成员单位再次系统研究了海岸工程柔性结构在物理模型试验、数值计算模型试验过程中的模拟方法，编写组根据系统研究结果，对标准讨论稿进行了修改，编写了标准征求意见稿和征求意见稿编制说明。

二、编制原则、主要内容依据

（一）标准编制原则

本标准按照 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》制定统一的标准编写原则，包括团体标准结构、起草表述方法、格式等内容，以提高团体标准的适用性。本标准的起草过程遵守“科学性、规范性、一致性、协调性、易用性”编写原则。

1. 科学性

本标准在编制的过程中以科学调研、资料查询汇总、理论分析和方法试算验证为依据，采用科学的方法对海岸工程中柔性结构的物理、数值模拟方法进行了总结。

2. 规范性

规范性要素的选择考虑标准化对象原则、文件使用者原则以及目的导向原则。为提高文件的适用性和应用效率，确保文件的及时完成发布，编制工作从开始到随后的所有阶段的文件草案均遵守 GB/T 1.1 的规定。

3. 一致性

文件结构及要素的表述应保持一致，相同的条款使用相同的用语，类似的条款使用类似的用语。同一个概念使用同一个术语，避免使用同义词。

4. 协调性

文件的起草与现行有效文件之间相互协调，没有重复，遵循现行基础规范的规定，如《水运工程模拟试验技术规范》（JTS/T 231-2021）、《海水重力式网箱设计技术规范》（GB / T 40749-2021）等。需要使用文件自身其他位置的内容或其他文件中的内容时，采取引用或提示的表述形式。

5. 易用性

文件内容的表述便于直接应用，并易于被其他文件引用或裁剪使用。通过规定清楚、准确和无歧义的条款，使得文件能够被未参加文件编制的专业人员所理

解且易于应用。

（二）标准主要内容依据

本标准结构要素依据GB/T 1.1-2020，包括6章和两个附录：第1章范围、第2章规范性引用文件、第3章术语和定义、第4章柔性结构水动力响应物理模拟试验、第5章柔性结构水动力响应数学模型试验、第6章参考文献。各章详细情况如下：

第 1 章 范围

界定了本文件规定的具体内容、动力条件和适用对象：

1、本标准明确了该规范主要适用于潮汐河口、海岸及近海等波流动力环境条件下的柔性结构模拟。

2、明确本规范的适用对象是主体为柔性网具的海岸工程柔性结构。

第 2 章 规范性引用文件

明确了本标准的引用文件，本标准引用GB/T 40749—2021《海水重力式网箱设计技术规范》、JTS 145—2015《港口与航道水文规范》、JTS/T 231—2021《水运工程模拟试验技术规范》、SC/T 4011—1995《拖网模型水池方法》中相关的术语表达、试验模拟理论、水文资料选择等相关内容。

第 3 章 术语和定义

第3.1条“柔性结构”，依据本规范中研究对象的特性提出柔性结构概念。

第3.2条“网衣”、3.3条“网纲”，根据网具编制行业默认方式，对网具的构成部分进行说明。

第3.4条“网具”，根据渔业及电力行业中的通用设施名称提出。

第3.5条“系泊绳索”，固定网具的位置的柔性结构。

第3.6条“锚泊构件”，参照GB/T 40749—2021《海水重力式网箱设计技术规范》中的相关表述提出。

第3.7条“网目群化”，使用等效网衣开展模拟试验的方法。

第 4 章 柔性结构水动力响应物理模拟试验

第4.1条，说明了柔性结构物理模型试验的基本资料，即除包括水工模型试验中要求的地形、水文、结构工程设计方案等资料外，还应涵盖柔性结构网具类型、网具材质、网具锚泊情况、网片及缆绳规格、网具封堵类型、封堵程度和其他有关资料。

第4.2条，说明柔性结构物理模拟试验设计内容。

第4.2.1款，提出柔性结构物理模拟试验的基本相似准则，包括几何相似、水流动力相似、波浪动力相似等。

第4.2.2款，提出了网具模拟的相似准则，包括网衣比尺、网衣密实度相似、网具浮重比相似。

第4.2.3款，提出了系泊绳索相似模拟，包括质量相似、弹性相似等。

第4.2.4款，提出了锚泊构件的相似模拟，包括桩(墩)台、锚碇块、浮球(筒)模拟相似准则，应参照JTS/T 231—2021《水运工程模拟试验技术规范》，满足基本的物理模型试验相似准则。

第4.2.5条，介绍网具堵塞相似模拟。

第4.2.5.1款，对于网具堵塞物的类型、分布以及堵塞程度进行说明，并针对不同海生物类型提出不同的相似模拟方法。

第4.2.5.2款，提出了平面型网具堵塞模拟，包括漂浮型、悬浮型堵塞物条件下的封堵模拟方式。

第4.2.5.3款，提出了网兜型网具堵塞模拟，即自网兜型网具自兜尾向前堵塞长度作为衡量标准。

第4.2.6条，提出试验类型选择，说明了整体模型试验、局部整体试验两种主要试验类型的选择条件和差异。

第4.2.7款，提出了模型比尺选取，分别对整体模型试验、局部模型试验及网衣比尺选择进行规定。

第4.2.8款，提出了试验模型范围的选择，说明整体模型试验、局部模拟试验模型范围选择的依据。

第4.2.9款，提出了水动力条件的模拟。

第4.3条，对物理模型制作给出相应规定，除满足相关规范JTS/T 231-2021对模型制作的要求外，提出了网具材质、装配工艺、锚碇以及锚环的模拟制作的相关规定。

第4.4条，提出了试验中的测量内容及量测要求，包括试验中柔性结构前后的水位、流速，系泊绳索的拉力，柔性结构的运动过程，桩（墩）台的总力等关键因素以及测量仪器的采样要求。

第4.5条，提出物理模型试验的其他说明，重点针对试验中比尺效应引起的试验结果偏差，给出系列比尺试验或原型试验的修正方法。

第 5 章 柔性结构水动力响应数学模型试验

第5.1条，规定数值模拟方法

第5.1.1款，明确了数值模拟方法，即宜采用集中质量法，可适应柔性网具大变形特性，又可兼顾计算效率。

第5.1.2款，提出网片模型的构建，通过集中质量点和无质量的弹簧进行连接。

第5.1.3款，提出网片动力学控制方程，根据牛顿第二定律，可以获得各个质量点的位移，最终得到网衣的运动和变形。

第5.1.4款，提出网片受力分析方法，包括网线弹性变形引起的目脚张力、网片所受水动力。

第5.2条，明确了水流作用下网片水动力分析，分别给出了水动力系数、水动力影响因素。

第5.3条，明确了波浪作用下网片水动力分析，分别给出了波浪力计算方法、水动力系数。

第5.4条，明确了网目群化的方法。在保证计算结果的准确性的前提下，进一步提高柔性结构数学计算效率，使得提出的数值模拟方案更具可操作性。

第 6 章 参考文献

本规范主要参考了JTS/T 231—2021水运工程模拟试验技术规范、SC/T 4011—1995拖网模型水池方法等相关规范的要求，还参考了滨海拦污设施水动力响应试验研究、波流联合作用下平面拦污网衣系泊动力响应特性研究、离岸组合式网箱水动力特征研究、波流作用下网结构水动力特性研究等文献的研究方法和结果。

三、已开展的试验验证情况

目前，对于包含有柔性网具的海岸工程结构，无论是物理模型试验模还是数值计算模型的试验模拟方法都尚未形成统一的标准。本标准填补了海岸工程柔性结构在物理模型试验、数学计算模型试验中的模拟方法标准的空白，可作为相关科研院所规范法规体系的补充，与我国相关现行的法律、法规和其他强制性国家标准相互协调。

针对本次技术规范的研究对象，即以柔性网具为主体的海岸工程柔性结构，本次技术规范的起草单位交通运输部天津水运工程科学研究所、大连理工大学、深圳中广核工程设计有限公司等都开展了大量的柔性拦截网具的物理模型试验和数学模型试验工程研究项目和科学研究探索。

第 1 起草单位交通运输部天津水运工程科学研究所为国内最早全面开展柔性拦截网具水动力响应物理模型试验的机构。主持开展了中央公益性科研院所科研基金项目《波流联合下取水明渠柔性拦截网具动力响应研究》，曾先后承担了山东石岛湾、山东海阳、辽宁红沿河、广东阳江等多个核电厂取水明渠的拦污网相关水动力响应物理模型试验研究，于国内首次开展了大比尺的波流宽型水槽局部模型试验，深入探究了柔性网具力学性能的特征参数及变化规律，分析了柔性网具力学特性试验中的相似准则及其适用性，成功支撑了广东阳江、辽宁红沿河

等多个核电厂柔性拦截网具的建设，成果经过了现场实际考验。基于以上大量研究成果分析探究和经验积累，完善了柔性结构物理模型试验技术，研究成果刊发在顶级国际学术期刊。基于此，对本次技术规范中柔性结构水动力响应物理模型试验部分中的试验设计、模型制作、数据测量等给出科学性和可操作性兼备的相关规定。

第2起草单位大连理工大学长期开展柔性网衣、拖网、养殖网箱的相关水动力响应数值模拟研究，主持开展了国家自然科学基金、国家重点研发计划专项等公益性基金项目，发展了基于集中质量点法的成熟数值模拟技术，成功应用于广东大亚湾核电厂的柔性拦截网具设计中，并投入应用。基于此，总结和凝练该数学模型试验的模拟方法，作为本规范中第五章的主要依据。

第3起草单位深圳中广核工程设计有限公司长期从事滨海核电厂柔性拦截网具的设计工作，对网具的选型、挂网结构的设计，以及网具的现场运维均具有丰富经验。基于此，对本次规范中的网具类型、挂网结构，以及网具堵塞物和堵塞的模拟方案给出了清晰的定义与规定。

四、与有关现行法律、法规和强制性国家标准、配套推荐性标准的关系

目前，国际上尚无海岸工程柔性结构模拟试验技术规范，也没有收集到直接相关的国外先进标准。本标准与国外相关现行的法律、法规和标准没有冲突。

五、与国际标准化组织、其他国家或地区有关法律法规和标准的比对分析

本标准符合国家现行法律、法规和强制性标准的要求。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

目前，在调研和编制范围及相关专家论证方面未见重大分歧意见。

七、废止现行有关标准的建议

不存在可废除的对应标准。

八、标准性质的建议说明

建议标准性质为团体标准。

九、涉及专利的有关说明

在标准编制过程中，尚未征集到涉及专利的信息。

十、其他应予说明的事项

无。