

中国航海学会团体标准  
港口码头结构整体安全性评估规范 高桩  
码头  
(征求意见稿)  
编制说明

标准起草组

2024年7月

# 目 录

一、工作简况.....	1
二、标准编制原则和确定标准主要内容的依据.....	3
三、已开展的试验验证情况.....	7
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.....	9
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，《港口码头结构整体安全可靠性评估规范 高桩码头》符合立项要求，并于 2022 年 12 月 30 日公布立项。《港口码头结构整体安全可靠性评估规范 高桩码头》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等单位共同起草。

### （二）背景、目的和意义

我国是港口大国，2021 年全球吞吐量前十位的港口我国占据八席。在近 40 年的大规模港口建设中，积累了丰富的建港经验与先进的建港技术，但港口服役寿命有待提升，距成为港口强国仍有差距。我国港口设计和建设使用寿命为 50 年，但由于港工建筑物服役环境恶劣、腐蚀严重，加之近年极端灾害频发、满荷甚至超荷作业频繁，导致实际寿命远低于设计寿命的问题十分突出，难以满足国家经济社会高质量发展的迫切需求。

2018 年年底，交通运输部印发《“平安百年品质工程”建设研究推进方案》，聚焦公路水运工程建设 7 大领域，启动平安百年品质工程建设研究工作。2019 年 9 月，中共中央国务院印发《交通强国建设纲要》，搭建了精品建造和精细管理的顶层架构，为平安百年品质工程建设注入了新的发展动力，明确了新的发展目标。2021 年 6 月，交通运输部印发第一批平安百年品质工程创建示范项目清单，鼓励示范项目建设单位通过开展技术创新和管理创新，形成一系列提升工程安全性和耐久性的创建成果。

目前，大型港口码头结构长期服役过程中材料性能退化等因素造成的结构安全性能降低问题尚缺乏系统、定量的研究分析，针对码头整体结构长期质量安全有待建立统一的评价标准。因此，制定《港口码头结构整体安全可靠性评估规范 高桩码头》，将填补高桩码头结构整体层次安全可靠性评估标准方面的空白，有利于促进我国高桩码头结构健康、持续发展，为行业推动平安百年品质工程建设提供有益支持。

### （三）主要工作过程

为高质量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 5 月~2022 年 11 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，研究了高桩码头结构整体极限承载力计算方法、高桩码头结构整体层次安全可靠性评估方法，起草了标准草案，提出标准计划项目建议。

2022年12月，根据中国航海学会航学发[2022]247号文件，《水运工程安全耐久可靠度高质量指标体系》团体标准立项。

2023年4月合同签订后，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5月~2024年6月，编写组将标准草案发给各参编单位，汇总各方意见，并组织了内部讨论会，整理形成了修改意见。标准起草组根据修改意见对草案进行了修改、完善，更名为《港口码头结构整体安全可靠性评估规范 高桩码头》，形成标准征求意见稿及其编制说明，并提交中国航海学会。

#### （四）标准起草单位、主要起草人及所做工作

本标准由交通运输部天津水运工程科学研究所为主要起草单位牵头组建项目组，参编单位为：宁波舟山港股份有限公司、浙江省海港投资运营集团有限公司、宁波镇海港埠有限公司、宁波舟山港股份有限公司北仑矿石码头分公司、浙江省交通运输科学研究院。

本标准主要起草人：薛润泽、任建乔、虞剑英、尹纪龙、周朝丰、李越松、吴青青、张干、袁海立、王宏锋、郭尚、陈世俊、袁良智、朱伟，所做工作见表1。

表1 标准主要起草人及所做工作

序号	姓名	单位	所做主要工作
1	薛润泽	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。
2	任建乔	宁波舟山港股份有限公司	负责并参与相关技术要求研究和工作方案确定，参与起草标准文本和编制说明。
3	虞剑英	浙江省海港投资运营集团有限公司	主要参与起草第1、2节和编制说明。
4	尹纪龙	交通运输部天津水运工程科学研究所	主要参与起草第3节和编制说明。
5	周朝丰	宁波舟山港股份有限公司	主要参与起草第4节和编制说明。

6	李越松	交通运输部天津水运工程科学研究所	主要参与起草第 5 节和编制说明。
7	吴青青	宁波舟山港股份有限公司	主要参与起草第 5 节和编制说明。
8	张干	交通运输部天津水运工程科学研究所	主要参与起草第 6 节和编制说明。
9	袁海立	宁波舟山港股份有限公司北仑矿石码头分公司	主要参与起草第 6 节和编制说明。
10	王宏峰	宁波镇海港埠有限公司	主要参与起草第 7 节和编制说明。
11	郭尚	交通运输部天津水运工程科学研究所	主要参与起草第 7 节和编制说明。
12	陈世俊	浙江省交通运输科学研究院	主要参与起草附录 A 和编制说明。
13	袁良智	交通运输部天津水运工程科学研究所	主要参与起草附录 B 和编制说明。
14	朱伟	浙江省交通运输科学研究院	主要参与起草附录 C 和编制说明。

## 二、标准编制原则和确定标准主要内容的依据

### （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调研、理论分析和方法试算验证为依据，采用科学的方法对高桩码头结构整体极限承载力计算方法、高桩码头结构整体安全状态分级标准进行了总结。

#### 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。本标准编写的内容和层次符合 GB/T 1.1-2020 规定的结构和要素。

#### 3.一致性

文件结构及要素的表述保持一致，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，遵循现行标准的规定，如 GB 50158《港口工程结构可靠性设计统一标准》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）标准主要内容的说明

本标准的结构要素依据 GB/T 1.1-2020，包括 7 章、3 个附录和参考文献：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 章评估工作流程、第 5 章评估前准备工作、第 6 章高桩码头结构整体极限承载力、第 7 章高桩码头结构整体安全状态评估、附录 A（资料性）考虑结构损伤的高桩码头整体数值仿真建模方法、附录 B（资料性）常用的分布检验方法、附录 C（资料性）验算点法计算可靠指标、参考文献。各章详细情况如下：

#### 第 1 章 范围

界定了本标准适用的范围。

#### 第 2 章 规范性引用文件

明确了本标准的引用文件。本标准引用了《港口工程结构可靠性设计统一标准（GB 50158）》《民用建筑可靠性鉴定标准（GB 50292）》《水运工程水工建筑物检测与评估技术规范（JTS 304）》《港口设施维护技术规范（JTS 310）》等规范中的术语、技术方法等。

#### 第 3 章 术语和定义

第 3.1 条，码头检测。参照《水运工程水工建筑物检测与评估技术规范（JTS 304-2019）》2.0.1 条。

第 3.2 条，安全性评估。《水运工程水工建筑物检测与评估技术规范（JTS 304-2019）》

2.0.9 条对安全性的定义为“结构在正常使用条件下，承受可能出现的各种作用的能力，以及在偶然事件发生时和发生后，仍保持必要的整体稳定性的能力”，本文件在该条的基础上提出了安全性评估定义。

第 3.3 条，极限状态。参照《港口工程结构可靠性设计统一标准（GB 50158- 2010）》2.0.8 条。

第 3.4 条，整体安全可靠性评估，指将高桩码头结构整体作为研究对象，通过计算其极限承载能力的可靠指标，从而评估高桩码头的整体安全状态。

#### **第 4 章 评估工作流程**

第 4.1 条，以流程图形式介绍了高桩码头整体安全性评估过程。

第 4.2 条，概述了评估前准备工作的内容与目的。本条内容在第 5 章有进一步详细介绍。

第 4.3 条，概述了整体安全可靠性评估计算与分级的工作内容。本条内容在第 6、7 章有进一步详细介绍。

#### **第 5 章 评估资料收集**

第 5.1 条，阐述了码头设计资料、维护资料收集工作重点与目的。资料内容应包括原勘察设计文件和竣工资料、码头的运营管理资料、码头检查和维护资料以及现场考察资料等。通过收集相关资料，获取码头使用荷载、码头结构尺寸、岸坡土体参数等设计参数。

第 5.2 条，提出了数值仿真计算所涉及的主要材料性能参数、试验确定方法、概率分布类型及其统计参数的经验取值。提出了数值仿真计算所涉及的主要结构几何尺寸参数、概率分布类型及其统计参数的经验取值。

第 5.3 条，鉴于轻微结构破损对于高桩码头整体承载能力影响较低，因此，本文件提出的结构损伤类型主要考虑码头构件严重开裂、钢筋锈蚀等。其中，码头构件严重开裂指基桩与横梁连接处存在明显开裂或错位，构件自身存在贯通裂缝或保护层剥落。

#### **第 6 章 高桩码头结构整体极限承载力计算**

第 6.1 条，阐述了数值仿真计算流程，在附录 A 中列出了考虑结构损伤的高桩码头整体数值仿真建模方法。

第 6.2 条，明确了样本容量、极限承载力判别方法。在水平荷载（船舶荷载）作用下，特征点荷载-位移曲线一般存在明显拐点，因此多以明显拐点处所对应的荷载为高桩码头结构极限承载力。在竖向荷载（码头面载）作用下，特征点荷载-位移曲线往往拐点不明显，采用数值过程中结构总体刚度矩阵奇异或迭代分析不收敛时对应荷载为高桩码头结构极限承载力。

第 6.3 条，提出了极限承载力样本的数据清洗步骤，包括数据修正、无量纲化、剔除异常值。

第 6.4 条，介绍了样本概率分布假设检验的一般方法，应根据假设检验结果选取相应的概率分布类型进行参数估计，并以正态分布样本为例，给出了极大似然估计法对极限承载力样本进行参数估计的具体公式。

## 第 7 章 高桩码头结构整体安全可靠评估

第 7.1 条，提出了高桩码头结构的功能函数表达式，明确了功能函数表达式不同取值范围与结构状态的对应关系。

第 7.2 条，提出了针对高桩码头结构整体承载力的失效概率计算方法。

第 7.3 条，根据已有研究成果，高桩码头的整体承载力功能函数一般服从正态分布，可以直接按公式计算结构可靠指标。当高桩码头的整体承载力功能函数不服从正态分布时，可通过迭代方法计算结构可靠指标，并在附录 C 中给出了验算点法计算可靠指标的过程。

第 7.4 条，以目标可靠指标及失效概率为基础，参考《港口工程结构可靠性设计统一标准（GB 50158）》《民用建筑可靠性鉴定标准（GB 50292）》中对于一般码头工程的可靠指标要求，建立在役高桩码头结构整体安全状态分级标准。以结构重要性等级二级为例， $\gamma_0 = 1.0$ ，现有结构承载力设计的目标可靠度指标约为 3.5；当结构重要性等级为三级时， $\gamma_0 = 0.9$ ，现有结构承载力设计的目标可靠度指标约为 3.0。根据《水运工程水工建筑物检测与评估技术规范（JTS 304）》，高桩码头主要构件及岸坡承载能力的安全性评估分级标准一致，其中 C 级与 D 级的分界标准为  $R_d / (\gamma_0 S_d) = 0.9$ 。因此，本文件综合考虑，将高桩码头结构整体安全性评估的 A 级与 B 级标准定义为

$\beta/\gamma_0=3.5$ ，B级与C级标准定义为 $\beta/\gamma_0=3.25$ ，C级与D级标准定义为 $\beta/\gamma_0=3.0$ ，相应的失效概率分别为 $2.33\times 10^{-4}$ 、 $5.77\times 10^{-4}$ 、 $1.35\times 10^{-3}$ 。

#### **附录 A （资料性）考虑结构损伤的高桩码头整体数值仿真建模方法**

总结了考虑结构损伤的高桩码头整体数值仿真建模技术要点，包括建模原则、模型计算域与边界、模型材料与单元、桩土作用模拟以及结构损伤模拟。

#### **附录 B （资料性）常用的分布检验方法**

介绍了针对样本指定分布的假设检验方法，主要有 $\chi^2$ 拟合优度检验、K-S检验、Lilliefors检验、C-M检验、A-D检验、Jarque-Beran检验、d'Agostino检验。

#### **附录 C （资料性）验算点法计算可靠指标**

介绍了采用验算点法迭代计算可靠指标的主要步骤。

#### **参考文献**

本规范主要参考了《码头结构设计规范（JTS 167）》《水运工程水工建筑物原型观测技术规范（JTS 235）》《水运工程混凝土结构设计规范（JTS 151）》《水运工程地基设计规范（JTS 147）》等规范中的术语定义、计算方法，以及“在役高桩码头结构整体安全性评估技术项目研究报告”等文献研究成果。

### **三、已开展的试验验证情况**

标准起草组通过国内首次高桩码头现场原型加载试验，开展了高桩码头结构整体安全可靠性评估的数值模拟建模方法、在役高桩码头结构整体安全度定量分级标准的分析验证。

#### **（一）基于现场原型加载试验的数值模拟建模方法验证**

标准起草单位和主要起草人员曾在现场对该高桩码头结构进行基桩承载力原型试验，该试验加载区域范围为 $14.0\text{m}\times 13.9\text{m}$ ，采用门机吊运铁矿石方式加载（见图1）。试验采用分级加载的方法模拟码头结构受到的堆货荷载，一共加载到 $10\text{MN}$ ，每级加载后测读竖向位移值。竖向位移值利用单点位移计测量，见图2。运用该试验得到的位移实测值可与本标准给出的数值模拟建模方法的计算结果进行对比。



图 1 原型试验加载效果照片



图 2 原型试验的单点位移计

根据原型试验获得数据和数值模型计算结果绘制 3#直桩的荷载-位移曲线, 如图 3。由图 3 可以看出, 原型试验与有限元模型中特征点的荷载-位移曲线非常接近, 可以认为有限元模型所得到的模拟结果能够真实反映实际结构的情况。

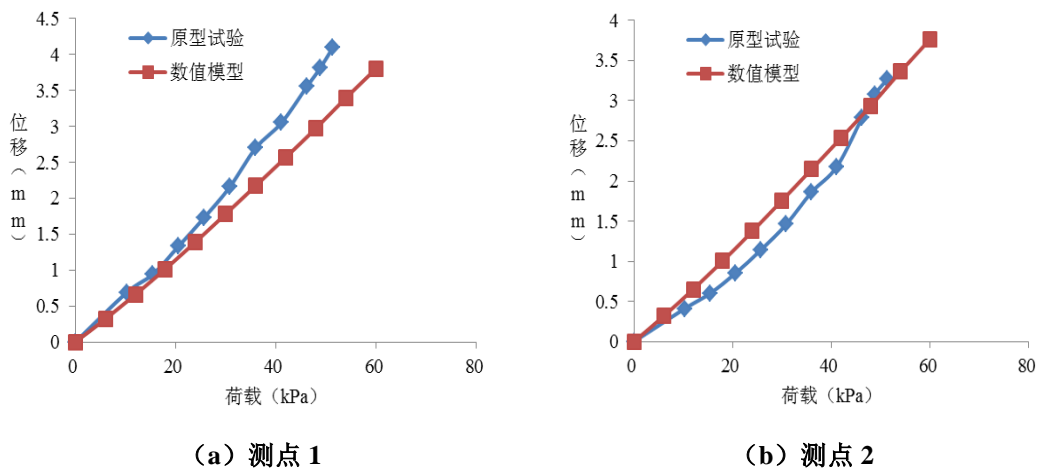


图 3 桩身荷载-位移曲线对比

## (二) 在役高桩码头结构整体安全度定量分级标准的分析验证

在《港口工程可靠性设计统一标准》(GB 50158-2010)中, 对不同安全等级的结构失效概率分别提出了要求, 并给出了与失效概率水平相对应的可靠指标。参照现行国家标准中结合失效概率数量级进行安全状态划分的方法, 本标准结合高桩码头各种损伤工况下失效概率数量级的变化, 建立了在役高桩码头结构整体安全状态分级标准。

以现场原型加载试验为例, 采用数值仿真计算、统计分析等手段针对高桩码头结构开展整体层次的安全可靠性评估工作。高桩码头结构在使用过程中实际所承受的作用力

较为复杂，标准起草组通过研究试算，分别选取撞击力和堆货荷载作为结构所受横向和纵向作用力的典型代表，综合考虑高桩码头结构受到水平和竖向两个方向的荷载作用时的承载性能，对结构安全状态进行分级。

上述试验验证了本规范提出的数值模拟建模方法、在役高桩码头结构整体安全度定量分级标准的可行性，为本规范的起草提供了实践基础。

#### **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，国内尚无针对高桩码头整体层次的安全可靠性评估规范。本规范是对国家标准《港口工程结构可靠性设计统一标准（GB 50158）》中相关可靠指标设计方法的具体应用，采用数值仿真计算、统计分析等手段针对高桩码头结构开展整体层次的安全可靠性评估工作，可作为现有行业标准的补充，与我国相关现行的法律、法规和他强制性国家标准相互协调，没有重复和冲突。

#### **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**

目前，编写组尚未收集到国际上针对高桩码头整体层次安全可靠性评估技术的相关规范标准。本标准与国外相关现行的法律、法规和标准没有冲突。

#### **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**

暂无。