

中国航海学会团体标准
《自升式海上风电安装平台插拔桩作业标准》
(征求意见稿)
编制说明

标准编写组

2025 年 6 月

目录

一、工作简况 2

二、编制原则、主要内容依据 5

三、已开展的试验验证情况 11

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 11

五、重大分歧意见的处理经过和依据 11

六、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 12

七、废止现行有关标准的建议 12

八、标准性质的建议说明 12

九、涉及专利的有关说明 12

十、其他应予说明的事项 12

一、工作简况

（一）任务来源

根据中国航海学会 2024 年 10 月《关于印发中国航海学会 2024 年度第二批团体标准立项的通知》的要求，为规范自升式海上风电安装平台船插拔桩作业程序，提高海上风电安装工程作业效率与安全性，由三峡物资招标管理有限公司担任主编单位，联合中交海峰风电发展股份有限公司、天津港航工程有限公司等行业相关单位共同制定。

（二）背景、目的和意义

随着全球对可再生能源需求的不断增长，海上风电行业迎来了快速发展期。中国作为全球海上风电发展的领头羊，连续多年保持高速增长态势。据全球风能理事会（GWEC）统计，2024 年中国海上风电新增装机量达 6.8GW，占全球总量 52%。自升式海上风电安装平台作为核心安装装备，其插拔桩作业的安全性和效率直接影响到整个风电安装工程的进度和质量。

在自升式海上风电安装平台插拔桩作业过程中如遇到较硬粉砂层，尤其是密实、胶结良好的粉砂层，具有较高的抗剪强度和承载力，导致桩腿（桩靴）贯入阻力远大于预期，可能无法达到预定的贯入深度或需要极长的插桩时间，为了穿透硬层或达到足够的承载力，可能需要施加比设计或常规工况下更高的预压载荷（通过压载水增加平台重量），此时升降系统（齿轮齿条或液压缸）和桩腿结构本身可能承受接近或超过设计极限的载荷，存在结构损伤（如齿条变形、齿轮损坏、液压系统故障、桩腿\桩靴局部屈曲）的风险；另外硬粉砂层下方可能存在相对较软的土层（如粘土或松散砂），一旦桩靴突破硬层顶板，可能会发生突然的、不受控制的加速贯入（穿刺），导致平台突然下沉、倾斜，对平台结构、升降系统和甲板设备造成冲击损伤，甚至危及人员安全，这是最危险的情形之一。同时粉砂层渗透性相对较低，在拔桩过程中，桩靴下方可能形成显著的真空（负孔隙水压力），产生巨大的“吸附力”，使得拔桩阻力远超预期，强行拔桩可能导致升降系统过载损坏、桩腿或桩靴结构损坏、平台剧烈晃动。

在插拔桩作业过程中如果出现各桩腿入泥深度差异较大的情况，会直接导致

平台显著倾斜，较短的桩腿（贯入深、支撑在更硬或更深土层上的腿）承受远大于设计值的载荷。较长的桩腿（贯入浅、支撑在较弱土层上的腿）可能承载不足甚至部分悬空。这导致高负荷桩腿及其连接处的结构应力剧增，存在屈曲、变形或疲劳损伤风险，升降系统（尤其是高负荷腿）严重过载，可能导致齿轮/齿条损坏、液压系统故障。海上风电安装平台在倾斜状态下进行预压（增加重量）会加剧载荷不均和倾斜，极易导致结构过载或失稳。拔桩时拔桩顺序和同步控制变得异常复杂，风险更高。

截至 2025 年，国内在役自升式风电安装平台超 80 艘，插拔桩事故率高达 7%（欧洲为 2.5%），事故多为复杂海况下桩腿穿刺、滑移、结构损伤事故。然而，目前行业内尚缺乏统一、标准的插拔桩作业指导规范，桩腿操作人员依赖经验操作，导致在实际操作中存在诸多不确定性和安全隐患。因此，制定《自升式海上风电安装平台插拔桩作业标准》显得尤为重要。

本标准的制定旨在规范自升式海上风电安装平台插拔桩作业流程，量化关键作业参数，建立全流程技术规范，提高作业效率，降低作业风险。通过制定统一的作业标准，为行业内相关企业和人员提供一套科学、合理、可行的作业指导规范，确保插拔桩作业的安全性和高效性。

（三）起草单位和主要起草人及所做工作

主要起草单位：三峡物资招标管理有限公司

主要起草人及工作：崔慧斌、孟凡月、王怀刚、王鹏、王国庆、王子予、肖燕超、李亚光等。

承担的主要工作见表 1：

表 1 标准主要起草人及具体承担的工作

序号	姓名	工作单位	任务分工
1	崔慧斌	三峡物资招标管理有限公司	负责把握工作进度，统筹标准起草和征求意见，负责 2 规范性引用文件编写。
2	孟凡月	三峡物资招标管理有限公司	负责考察调研、标准起草、编制说明编写及标准征求意见，负责 5 升船作业程序、6 降船及拔桩作业程序编写，参与 1 范围、3 术语和定义、缩略语、4 基本要求编写。

3	王鹏	三峡物资招标 管理有限公司	组织协调起草组会议，负责制定编制方案，负责相关标准和技术资料的收集分析，1 范围编写，参与 4 基本要求编写。
4	王国庆	三峡物资招标 管理有限公司	负责 3 术语和定义、缩略语编写，参与考察调研、标准起草，参与 1 范围编写，参与 4 基本要求编写。
5	王怀刚	三峡物资招标 管理有限公司	负责相关设计文件、标准规范的收集分析，参与 2 规范性引用文件编写，参与 4 基本要求编写。
6	王子予	三峡物资招标 管理有限公司	参与标准起草，参与 5 升船作业程序编写
7	肖燕超	三峡物资招标 管理有限公司	参与标准起草，参与 6 降船及拔桩作业程序编写
8	李亚光	三峡物资招标 管理有限公司	参与标准起草，参与 5 升船作业程序、6 降船及拔桩作业程序编写
9	王徽华	中交海峰风电发 展股份有限公司	标准内容的校对和审查
10	赵雨来	天津港航工程有 限公司	标准内容的校对和审查

（四）主要工作过程

2024 年 10 月，成立标准编写组，确立编研工作总体目标，明确各成员职责和任务分工。本标准起草单位为三峡物资招标管理有限公司。

2024 年 11 月，调研国内外自升式海上风电安装平台插拔桩作业现状，收集相关资料和数据。

2025 年 1 月，编制标准大纲，明确标准的主要内容和结构。

2025 年 3 月，形成标准初稿，并组织内部讨论和修改。

2025 年 5 月，起草组在草案的基础上，编写了标准征求意见稿和征求意见稿编制说明。

2025 年 6 月，召开了标准的专家咨询会，形成会议纪要，专家意见修改说明见

表 1。

序号	专家意见	修改说明
1	“1 范围”本标准的适用条件笼统，应进一步明确船舶类型。	已处理。编写组根据专家意见修改了适用范围，明确了使用船舶类型。
2	规范性引用文件应在文中标注引用，未引用的不能出现在规范性引用文件中。	已处理。编写组根据专家意见对引用处做标记，并删除了未引用的规范性文件。
3	进一步完善“3 术语和定义”中名词解释，并标明来源。	已处理。编写组根据专家意见完善了名词解释，并标明来源。
4	“4 基本要求”修改为“4 一般要求”，并修改完善其内容。	已处理。编写组按照题目重新明确相关内容。
5	第 5 章和第 6 章的章节名称及内容应保持一致，章节内容应按照操作顺序依次展开。	已处理。编写组根据专家意见调整了第 5 章章节名称，并调整了节标题顺序和内容。
6	压载过程描述理解较难，建议添加示意图。	已处理。编写组根据专家意见增加了相关示意图。
7	编制说明中缺少对标准文本中关键指标的来源和出处。	已处理，编写组根据专家意见在编制说明中增加指标的来源和出处。

表1 专家咨询会专家意见修改说明

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，包括团体标准的结构、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：本标准基于自升式海上风电安装平台插拔桩作业的实际需求和技术特点，规定了国内自升式海上风电安装平台施工定位插拔操作基本要求，规范我国海上风电施工领域的自升式海上风电安装平台船插拔桩作业程序和方法，提升自升式海上风电安装平台定位效率和安全性。

2.规范性：本标准根据《中华人民共和国标准化法》及相关法律、规章，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》中的原则要求进行的，并参考了单位、符号、用语的相关标准，保障了标准文本编写的规范性。

3.一致性：标准制定过程查阅了与之相关的标准，确定的技术要求等内容按照国际标准、国家标准、行业标准的顺序优先引用或参考；保持与近年来出台以及即将出台的相关政策、法规以及新技术紧密结合，增强标准关联性、协调性、适用性和统一性，避免出现矛盾。

4.协调性：标准从自升式海上风电安装平台插拔桩作业技术要求出发，对自升式海上风电安装平台的插桩、拔桩作业方面开展相关研究，与现行规范框架一致，与工程实际一致，并优化作业流程管控指标，确保标准的整体性和系统性。

5.易用性：标准通过量化关键作业参数，建立全流程技术规范，提高作业效率，降低作业风险。满足国内自升式海上风电安装平台插拔桩作业的实际需求，确保标准的实用性和可操作性。

（二）标准主要内容依据

本标准的结构要素依据 GB/T 1.1-2020 确定，在制定标准过程中，工作组严格遵循以下标准化法律、法规、规范的规定，作为本标准起草的重要依据：

具体标准条款说明如下：

1.范围

本文件规定了自升式海上风电安装平台船插拔桩作业的一般要求，以及插桩及升船作业、降船及拔桩作业等的技术要求。

本文件适用于齿轮齿条式自升式海上风电安装平台船施工过程中插拔桩作

业，其他型式自升式风电安装平台船可参照执行。

2.规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本，包括所有的修改单适用于本文件。

GB/T 40788-2021《船舶与海上技术 海上风能 港口与海上作业》

GB/T 34000-2016《中国造船质量标准》

GB/T 37339-2019《自升式钻井平台桩腿结构设计指南》

GB/T 37457-2019《自升式钻井平台插桩工艺》

GB/T 36409-2018《自升式平台结构设计方法 载荷抗力系数设计法》

ISO 19905-1《石油天然气工业-自升式平台》

IMO《动力定位系统指南》

3.术语和定义

下列术语和定义适用于本文件

1) 地基承载力 **foundation capacity**

地基土单位面积上随荷载增加所发挥的承载潜力，或指地基在同时满足变形和强度两个条件时，单位面积所能承受的最大荷载。

[来源：ISO 19905-1，7.4，有修改]

2) 插桩 **spudcan penetration**

在平台船到达预定位置后，通过其升降系统，在平台船自重和压载水的作用下，使桩腿插入海底的过程，从而使平台船由漂浮状态达到预定气隙的站立状态。

[来源：GB/T 37457-2019，2.1，有修改]

3) 拔桩 **leveraging leg**

拔桩是指将平台船已经插入海底中的桩腿拔出，并提升至船底预定高度的过程。

4) 动力定位 **dynamic positioning**

动力定位是一种定位方法，具体是指利用自动控制系统，使自平台船利用其自身的动力抵御海上风、波浪和海流的影响，自动地保持在设定位置或方位上。

[来源：IMO《动力定位系统指南》，有修改]

5) 预压载 preload

在平台船插桩完成后、作业状态之前，通过向压载舱注入压载水或采取其他增加重量的措施，模拟平台船在作业过程中可能遭遇的环境载荷和重力载荷，使平台船桩靴的对地压力预先达到设计预压值的过程。

[来源：GB/T 37457-2019，2.4，有修改]

6) 穿刺 Punch-through

穿刺是指自升式平台船达到预定位置后，在定位与压载过程中遇到上硬下软的海底地层时，上部较硬地层被桩靴刺破后出现的一种桩靴失控快速沉降，刺入下一层较软地层的现象。

[来源：GB/T 36409-2018，6.1，有修改]

7) 气隙 air gap

气隙是指海洋平台船的下层甲板底部与水面之间的垂向间距。

[来源：GB/T 37457-2019，2.5，有修改]

4.基本要求

本章规定自升式平台船作业前的基本要求，且必须进行全面的作业环境分析，包括探明水深、海底地形地貌与地质情况，避开海底设施障碍物，并持续监测记录水文气象参数；平台船就位前需掌握未来 48 小时天气及潮汐趋势，并依据地质资料计算地基极限承载力、桩腿入泥深度、拔桩力及抗滑移稳性，其中粘性土需重点关注土壤凝聚力与剪切强度的影响；桩腿入泥深度应大于桩靴高度但不宜过大，深水作业需校核气隙高度。升船前必须确保平台船纵、横倾角均小于 0.3° ，实时环境条件满足风速小于 13.8m/s、最大波高小于 3.3m、表面流速小于 1.0m/s 的要求，并完成对船舶动力、配电系统、升降装置的全面检查与功能验证；指挥人员须明确各岗位职责，确保集控台、桩边、配电间通讯畅通、统一指挥，协调好与辅助船舶关系，并在升船前最终确认所有环境条件与准备工作均已满足安全作业要求。

【关键条款说明】

1) 关于 4.1.1 平台船就位前掌握包括预定升船时间在内的 48 小时天气变化

趋势和潮水变化情况。

平台船在就位升船前需掌握 48 小时内的天气和潮水变化趋势，主要是为了充分覆盖潜在天气系统的演变周期，确保识别即将到来的恶劣海况以及多个完整的潮汐周期，精准预判作业窗口期的高低潮位和流速变化，为复杂且高风险的升船作业提供足够的安全决策依据和应急响应时间。

2) 关于 4.2.1 确保平台船的纵倾和横倾角度均小于 0.3°

平台船升船前需将纵倾和横倾角度严格控制在 0.3° 以内，核心目的是确保四条桩腿均匀承载平台重量，避免因倾斜导致单桩腿过载引发结构损伤或升降系统不同步；同时，微小倾角是预防桩靴入泥深度差异触发地基穿刺事故的关键措施，尤其硬土层下伏软土层的风险，并为后续作业中可能遭遇的环境扰动预留安全裕度，最终保障平台从漂浮态安全过渡至站立态。该阈值综合了 CCS 规范强度要求、机械系统公差及土壤力学特性，是工程安全的最优解。

3) 关于 4.2.2 风速：小于 13.8m/s 、最大波高：小于 3.3m 、表面流速：小于 1.0m/s

平台船升船作业要求风速 $<13.8\text{m/s}$ 、波高 $<3.3\text{m}$ 、流速 $<1.0\text{m/s}$ ，本质是通过严控环境荷载上限来保障三大安全核心：一是维持平台动态稳性，防止平台倾覆，二是确保地基承载力不被水流削弱，防止插桩/拔桩失效，三是维持 DP 定位精度和升降系统同步性，防止机械损伤。这三项阈值是综合 CCS 规范、海洋流体力学及地质力学模型得出的临界值，任何一项超标都可能触发链式风险，如倾斜→穿刺→结构损坏，因此构成不可妥协的作业红线。

5.升船作业程序

升船作业程序规定：作业全程需通过 DP 系统保持船位稳定，按序执行降桩、姿态调整、预举升、预压载及最终升至工作位置。插桩举升时须低速操作，禁止单桩着底定位或扭转调向；遇倾斜需暂停高侧桩腿修正水平；船体离水时应等待 20 分钟防穿刺，桩腿触底时宜控制船体倾斜 $\leq 0.1^{\circ}$ 确保垂直度。动力定位下桩需先测水深，DP 稳定后对角下桩并实时监测深度，待四腿着地受力后关闭 DP 系统。预压载须严格对角成对执行，分主动压载（船升/腿降转移重量）和被动压载（船降/腿升转移重量）两种模式，均需在“压桩”工况下完成，每对桩腿达预压载荷后保压 5 分钟并重复 3 次。关键注意事项包括：全程监控四腿载荷均

匀性；倾斜超 0.3° 立即停止并调整；预压沉降异常时提船至 1m 气隙再操作；达预压载荷后保压观察 1 小时；入泥深度需大于桩靴高度但避免过深；双层地基须满足硬层穿刺安全系数 ≥ 1.5 。最终升船前确认预压达标，按波浪条件设定气隙高度，四桩同步升至预定位置完成作业。

【关键条款说明】

1) 关于 5.4.1 通过观察中控台上左前和右后桩腿的动态载荷监测，当其达到预压载载荷时，停止动作，等待 5 分钟，重复该操作 3 次。

预压载中“停 5 分钟、重复 3 次”的操作，本质是通过时间维度验证地基承载的可靠性：5 分钟等待允许黏性土孔隙水压力消散并释放机械系统弹性形变，而 3 次循环加载则检验土壤是否达到真实塑性稳定状态，确保后续作业中平台遭遇极端载荷时地基不发生失稳。该流程是土力学时效性与工程安全冗余设计的结合，直接关联平台站立态的安全寿命。

2) 关于 5.4.3 桩腿升降系统受力达到预压载载荷时，需保压观察 1 小时直到桩腿插深不再变化。

预压载后保压 1 小时并持续监测桩腿插深，本质是通过土壤固结周期和结构应力松弛时间，彻底排除地基渐进破坏与机械系统隐性故障：1 小时是观测初级固结沉降的临界时长，可捕捉滞后性穿刺风险，如硬层下伏软土；同步进行的全船检查则验证升降系统、压载舱、地基在持续载荷下的可靠性，确保平台从“试验载荷”安全过渡至“作业载荷”状态。该流程将土力学时效性与工程系统监控结合，构成预压载安全的终极防线。

6.降船及拔桩作业程序

本章介绍了降船准备、桩靴喷冲、拔桩操作、升桩作业和安全事项五个部分。降船作业需预先减轻平台重量、固定可移动设备与吊装部件，并估算航行吃水。拔桩前必须实施桩靴喷冲程序：先用高压水冲刷桩靴顶/底面，再用压缩空气喷冲底面，直至对角提桩确认松动。拔桩作业须严格选择高潮位进行，如遇低潮位立即暂停并升船待潮，确保全程保持 $\geq 1.0\text{m}$ 安全干舷；操作采用对角成对交替间隙拔桩，禁止单桩操作，特殊情况需按入泥深度由深至浅顺序执行，且须控制船体倾斜并通过对角压载水调整浮态。拔桩过程需同步降船增加吃水以提供拔桩力，但禁止仅靠无限吃水增力，须结合喷冲技术降低吸附阻力。桩腿拔松后，待船体

吃水稳定至航行吃水时启动升桩，严密监控桩腿高度，以警戒线为停升标志，升毕立即锁定升降装置刹车。关键安全要求包括：防止三桩同时离底导致船体旋转；主甲板严禁入水；潮位突变时启动熔断机制。

【关键条款说明】

1) 关于 6.4.3 平台船降至水中，需留有 1m 以上的干舷高度，确保平台船安全并具有足够的拔桩力。

保留 1m 以上干舷高度本质是为拔桩作业构建双重安全冗余：一是通过增大吃水深度显著提升浮力，使浮力抵消部分桩腿自重与土壤阻力，将拔桩负荷控制在升降系统设计极限内避免齿轮过载；二是利用干舷形成物理防淹屏障，在最大允许波高 3.3m 条件下，1m 干舷可抵御 95% 的波浪溅射与甲板上浪风险（基于 CCS 稳性规范浪溅概率模型），防止作业中海水涌入导致平台倾覆。该数值是浮力优化与稳性保障的工程平衡解。

三、已开展的试验验证情况

在标准制定过程中，我们进行了多次试验验证，包括模拟插拔桩作业、实际作业环境测试等，以确保标准的科学性和可行性。通过试验验证，我们验证了作业流程的合理性、技术要求的准确性以及安全规范的必要性。

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

本标准制定符合国家的有关法律法规，标准的编写按照《GB/T 1.1-2020 标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求，与其他相关标准没有冲突。目前，针对自升式海上风电安装平台插拔桩作业尚无国家标准与行业标准，本标准的制定填补了这一空白。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

在标准制定过程中，我们广泛征求了行业内外专家和单位的意见，对各方提出的意见进行了认真分析和讨论。对于重大分歧意见，我们组织了专题研讨会，邀请相关专家进行深入探讨，最终达成了共识。

六、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

《自升式海上风电安装平台插拔桩作业标准》在起草过程中未采用国际标准。

七、废止现行有关标准的建议

无。

八、标准性质的建议说明

建议本标准性质为推荐性标准，以鼓励行业内企业自愿采用，推动行业技术进步和规范发展。

九、涉及专利的有关说明

本标准不涉及专利等相关的知识产权问题。

十、其他应予说明的事项

无。