

指导性文件

**GUIDANCE NOTES**

**GD031-2025**



中国船级社

# 海上移动平台结构状态评估 技术指南 2025

2026年1月1日生效

北京

# 目 录

<b>第 1 章 通 则</b> .....	<b>1</b>
第 1 节  一般规定 .....	1
<b>第 2 章 结构状态定期评估检验</b> .....	<b>3</b>
第 1 节  一般规定 .....	3
第 2 节  老龄移动平台特殊要求 .....	5
<b>第 3 章 结构状态评估内容</b> .....	<b>6</b>
第 1 节  一般规定 .....	6
第 2 节  结构状态定期评估 .....	6
第 3 节  点位作业适应性评估 .....	9
第 4 节  结构改造评估 .....	11
第 5 节  应急响应支持 .....	12
<b>第 4 章 结构状态评估方法</b> .....	<b>14</b>
第 1 节  一般规定 .....	14
第 2 节  自升式平台结构状态评估方法 .....	14
第 3 节  柱稳式平台结构状态评估方法 .....	24
<b>附录 1. 结构完整性管理</b> .....	<b>28</b>
第 1 节  概述 .....	28
第 2 节  完整性管理要素 .....	28
<b>附录 2. 移动平台结构全生命周期管理系统</b> .....	<b>31</b>
第 1 节  概述 .....	31
第 2 节  系统构成 .....	31
第 3 节  系统功能及特点 .....	33
第 4 节  系统应用 .....	34

# 第 1 章 通则

## 第 1 节 一般规定

### 1.1.1 一般要求

1.1.1.1 本指南是中国船级社（以下简称“CCS”）为授予 MSER 附加标志的海上移动平台结构状态评估提供技术服务的指导性文件，其他海工设施的结构状态评估可根据业主的委托参照使用。

1.1.1.2 依据中国海事局《海上移动式平台检验规则》（2023）中的相关要求，船龄 25 年及以上的中国籍海上移动平台应开展结构状态定期评估和加强检验，其范围应满足本指南 3.2.6 和第 2 章第 2 节中的相关要求。

1.1.1.3 本指南规定了海上移动平台结构状态评估的技术要求，当本指南的规定与平台适用法规、规则及规范的要求不一致时，以平台适用法规、规则及规范的要求为准。

1.1.1.4 本指南中的结构状态评估系移动平台结构完整性管理的重要组成部分，其相关运行原理详见附录 1。

1.1.1.5 结构状态评估一般应根据评价类型选取适用的法规、规则、规范、指南以及国际/国内公认的标准。必要时，经 CCS 同意可结合新技术、新方法的应用。

1.1.1.6 本指南适用于海上移动平台的结构状态评估，以确定其适用性，具体包括结构状态定期评估、点位作业适应性评估、结构改造评估及应急响应支持。

1.1.1.7 本指南主要的应用场景包括：

（1）为平台管理方提供一个与平台结构和维持平台正常作业有关的平台实际状态技术文件和声明，以证实平台是否符合法规、标准和船级社规范规定的技术要求，可供业主在作业时提供有关方使用以及指导验船师现场检验工作；

（2）平台在移位前通过对平台结构校核，以判定其在目标海域作业是否可行；

（3）当平台遇到突发事件时，可对平台实际结构状态进行快速计算评估，并提供应急响应措施，为平台管理方决策提供技术支持；

（4）为平台结构的合理使用而进行的改造、修理和保养提供技术支持。

### 1.1.2 引用规范标准

1.1.2.1 本指南主要引用的法规、规则、规范、指南以及国际/国内公认的标准包括：

（1）中国海事局《海上移动式平台检验规则》；

（2）中国海事局《海上移动式平台技术规则》；

（3）IMO Code for the Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units；

（4）CCS《海上移动平台入级规范》（2023）以下简称《移规》，适用于其他版本《移规》的平台，可见对应版本《移规》中的相关要求；

（5）CCS《海洋工程结构物屈曲强度评估技术指南》；

（6）CCS《海洋工程结构物疲劳强度评估技术指南》；

（7）CCS《工程临界评定技术服务指南》；

（8）CCS《船体测厚指南》；

（9）CCS《海上移动平台腐蚀极限及换新衡准应用指南》；

（10）CCS《半潜式平台总强度直接计算技术指南》；

（11）IACS UR W33。

### 1.1.3 定义

1.1.3.1 海上移动平台结构完整性管理：为保证海上移动平台从投入运营到退役期间全生命周期过程的适用性评估，并为平台的结构损伤评估、适用性评估、检验计划、维护和修理等提供一个合理的框架程序。

1.1.3.2 老龄移动平台：系指 25 年及以上船龄的移动式平台，船龄从其建造完工的年份算起迄今所过去的年限。

1.1.3.3 结构状态定期评估：根据对平台的详细检查、厚度测量、性能测试，通过分析计算对平台实际状态开展的一项独立评估。其评估内容一般包括：整体性能和强度分析、定位能力分析（柱稳式平台适用）、局部强度分析、疲劳强度分析及稳性分析。

1.1.3.4 点位作业适应性评估：海上移动平台前往新海域进行作业时，尤其是当环境载荷接近操作手册规定的极限条件时，需要对其结构状态进行评估，以判定其在新海域作业的可行性。其评估内容一般包括：自升式平台的桩腿强度及整体性能分析等，柱稳式平台的定位能力、峰隙及整体强度分析等。

1.1.3.5 结构改造评估：根据平台改造内容开展的结构性能评价，包括改造前对改造涉及范围及可行性进行的分析，以及改造后对移动平台结构完整性管理模型进行的更新。其评价内容需根据改造的范围进行确认。

1.1.3.6 应急响应支持（简称 MOU-ERS）：海上移动平台发生突发事件（如桩腿穿刺，意外碰撞、锚链断裂、结构损伤或裂纹等），需对平台结构安全快速做出评判，并给出应急响应措施。其评价的内容根据发生损伤的位置及构件进行确认。

1.1.3.7 移动平台结构全生命周期管理系统（简称 MSER）：将本指南给出的海上移动平台的结构完整性管理思想、结构状态评估内容及方法，以计算机软件程序为实现载体的管理系统，本指南第 4 章描述的状态评估内容推荐依托该系统进行实现，详见附录 1。

### 1.1.4 图纸和资料

1.1.4.1 对于海上移动平台的结构状态评估，需收集相关图纸和资料。如发生图纸和资料的缺失，则需要实地测量，申请人向 CCS 提供的数据应准确、可靠和完整。

1.1.4.2 对于海上移动平台的应急响应支持，申请方向 CCS 提供突发事件的详细描述、当时的外部条件以及平台的具体损伤情况。

1.1.4.3 对于海上移动平台的点位作业适应性评估，申请方向 CCS 提供作业点位的环境条件，包括水深、风、浪、流及海底土壤条件（必要时）。

1.1.4.4 结构状态评估技术服务应依据平台的最新状态开展，因此评估前需收集平台的主要改造历史及平台最新的图纸资料，并经委托方确认。

## 第 2 章 结构状态定期评估检验

### 第 1 节 一般规定

#### 2.1.1 一般要求

2.1.1.1 本指南中涉及的检验均为海上移动平台结构状态定期评估检验，一般可结合船级检验一起进行，如特别检验或中间检验，也可根据实际情况进行临时的检验。

2.1.1.2 检验计划应根据评估结论制定，一般五年为一个周期，并在平台的生命周期内根据平台状况的变化做出适当的调整，且检验计划应满足平台结构评估需求。

2.1.1.3 在检验实施前，应由 CCS 及平台管理方，根据实际情况共同编制详细的检测和检验计划。

2.1.1.4 海上移动平台的检测和检验应根据检验计划实施，应全面地反映平台的实际状况，平台结构的检测和检验结果是对平台结构进行状态定期评估的重要依据。

2.1.1.5 CCS 船级海上移动平台的结构完整性管理检验应由 CCS 验船师实施。

#### 2.1.2 检验计划制定

2.1.2.1 在检验开始前，CCS 海洋工程技术中心应会同现场检验单位、平台管理方或营人及专业检测单位（如有时）制定一份书面的检验计划，检验计划应根据上次结构定期评估结论（如有时）制定，并根据平台生命周期内的状况变化做出适当的调整。检验计划的内容至少应包括：

- (1) 主要结构及连接部分的检查；
- (2) 主要结构和可疑区域的测厚和探伤检验；
- (3) 平台结构的腐蚀和变形情况检查；
- (4) 主要舱室的液压试验；
- (5) 内部与外部水密完整性检查；
- (6) 高应力区和重点关注部分的检查；
- (7) 加强或缓解措施方案(如适用)；
- (8) 特定平台类型的附加检验范围和其它特殊构件及关键结构区域的检查。

此外，测厚的范围和精度应满足评估建模所需的数据要求。

#### 2.1.3 结构检验实施

2.1.3.1 应对平台主体的暴露部分、甲板、甲板室、上层建筑、与甲板相连的结构包括钻井或处理装置的支撑结构（如有时）、井架支撑结构（如有时）、升降室、管架、直升机起降区域（如有时）、海水塔（如有时）、起重机基座及其他支撑结构、可进入的内部舱室作总体检查，并确认其处于满意状态。

2.1.3.2 全面检查可见的平台主体及其关闭装置，检查应能发现可能出现的显著腐蚀、重大变形、破裂、损坏或其他结构缺陷。

2.1.3.3 应对平台主要结构和特殊结构进行近观检查。

2.1.3.4 应对所有海水压载舱进行全面检查，对腐蚀和怀疑区域必要时进行测厚。

2.1.3.5 水密及风雨密完整性开口相关项目的检验，主要包括：

- (1) 检查上层建筑端壁和设于其上的开口及其关闭装置；
- (2) 检查在干舷和上层建筑甲板上的舱口及其他开口的风雨密紧固装置；
- (3) 检查通风筒和空气管，包括其围板和关闭装置，特别应检查空气管和甲板间连接

焊缝及所有露天甲板上的空气管头的外部；

- (4) 检查干舷甲板以下的任何舷侧开口的关闭装置的水密完整性；
- (5) 检查舷窗和风暴盖；
- (6) 检查锚链管和锚链舱永久性附装的关闭装置；
- (7) 海底阀箱等通海设施的密封性。

#### 2.1.3.6 水面式平台的附加检验范围

除 2.1.3.1 至 2.1.3.5 条适用的检验项目外，还应增加对月池周围的甲板结构及任何其他结构的变截面处、开口处、阶梯形处或甲板与主体开口处，主要结构构件的支撑结构或与主体相连的舷侧结构的检查。

#### 2.1.3.7 自升式平台的附加检验范围

除 2.1.3.1 至 2.1.3.5 条适用的检验项目外，还应增加：

- (1) 对全部桩腿，包括弦杆、斜撑和水平撑杆、扣板、齿条、节点以及桩腿导轨进行检查；对圆管或类似型式的桩腿应进行外部和内部检查，包括内部扶强材和销孔（适用时）；
- (2) 对升降室内、周围和下面的结构和桩腿围阱进行检查，对可疑部位可要求进行无损探伤检查；
- (3) 对桩腿提升系统和其它升降系统进行外部检查；
- (4) 对桩腿与底部沉垫或桩靴连接处进行近观检查及无损探伤检查；
- (5) 对喷冲管系或其他外部管件，特别是穿越沉垫或桩靴的管件进行检查；
- (6) 对沉垫或桩靴进行检查，如由于沉垫或桩靴部分或全部埋于泥线之下而使特别检验项目无法全部完成时，可将这些检验项目推迟到平台下一次移位前进行；
- (7) 对具有活动式钻井悬臂梁的平台，滑移悬臂梁及其支撑结构进行全面检查。

#### 2.1.3.8 柱稳式平台的附加检验范围

除 2.1.3.1 至 2.1.3.5 条适用的检验项目外，还应增加：

- (1) 对立柱及斜撑与上壳体和下壳体或片体的连接处的检查；
- (2) 对主要支撑结构、撑杆连接处以及扣板和肘板等部位的检查，及其内部延续结构或支撑结构的检查，可疑部位可要求进行无损探伤检查；
- (3) 对锚机基座、导缆器基座、锚链/钢丝绳及其附件、锚头等的目视检查或测量检验。

#### 2.1.3.9 坐底式平台的附加检验范围

除 2.1.3.1 至 2.1.3.5 条适用的检验项目外，还应增加对立柱、撑杆与上、下壳体的连接处以及抗滑桩的检查。可疑部位可要求进行无损探伤检查。

2.1.3.10 除上述检验项目外，还应对检验计划提到的重点区域进行检查。

#### 2.1.3.11 结构测厚与探伤一般要求

- (1) 应对包括关键结构区域在内的重要节点进行无损探伤检查；
- (2) 测厚可以参考 CCS《船体测厚指南》及《海上移动平台腐蚀极限及换新衡准应用指南》进行，测厚范围和精度应能够满足结构评估建模的相关要求。

#### 2.1.3.12 测厚

- (1) 测量位置应选择最有代表性的可能遭受最严重腐蚀的区域；
- (2) 测厚数值接近显著腐蚀或腐蚀衡准时，验船师应在该测厚区域进行近观检验和增加测厚点数量，以评估周围区域结构构件的腐蚀平均状况，以确认其结构完整性。显著腐蚀区域的板每  $1\text{m}^2$  测 5 点，骨材腹板和翼板在同一横截线上各测 3 点；
- (3) 构件存在显著腐蚀或验船师认为必要时可扩大厚度测量范围；
- (4) 厚度测量通常应由 CCS 认可的公司进行，测量可用超声波测量仪，该设备的精度应经验船师确认满意，测量人员应持有 CCS 认可的资格证书。

#### 2.1.3.13 无损探伤

- (1) 无损探伤通常应由 CCS 认可的公司进行,探伤人员应持有 CCS 认可的资格证书;
- (2) 应采用认可的国际\国内或行业标准进行无损探伤;
- (3) 无损探伤的方式应与其探伤的焊接接头适应;
- (4) 无损探伤的检查区域应去除影响其检测方法灵敏度的锈层、灰尘、油或油漆等污物;
- (5) 无损探伤报告宜参考 IACS UR W33 的要求。

## 第 2 节 老龄移动平台特殊要求

### 2.2.1 一般要求

2.2.1.1 平台结构检验除应按满足特别检验的相应范围与要求外,检测数据的采集应能满足结构状态定期评估所必需的要求。

2.2.1.2 如老龄移动平台未在坞期内完成结构状态定期评估的相关内容,现场检验单位应在签发证书时给出相关备忘,对业主进行提醒。

### 2.2.2 检验计划制定

2.2.2.1 首次按本指南要求实施检验前,CCS 应会同平台管理方或经营人、专业检测单位(如有时)制订尽可能详细的“结构检验计划”。计划应满足结构状态定期评估建模所需的数据采集需要。

2.2.2.2 第二次及以后按照本节要求实施检验前,CCS 应会同平台管理方或经营人、专业检测单位(如有时),根据上次结构状态定期评估的结论,对前次制定的“结构检验计划”进行修订。

### 2.2.3 结构检验实施

2.2.3.1 上述检验实施中,应严格按照联合制定/修订的“结构检验计划”实施检验和评估。必要时,验船师可根据现场情况,要求对重要构件的尺寸、变形以及平台底板基线进行测量,并可根据检验及探伤的情况,要求增加无损检测范围。

2.2.3.2 上述检验实施中,执行检验单位应结合检验,通过制定平台的检测监控计划,加强现场检测数据复核,保证检测数据的准确性。

## 第 3 章 结构状态评估内容

### 第 1 节 一般规定

#### 3.1.1 一般要求

3.1.1.1 根据海上移动平台结构完整性管理概念,对海上移动平台全生命周期过程的适用性评估,包括:

- (1) 根据平台结构状态变化开展的结构状态定期评估;
- (2) 根据平台特定作业点位开展的点位作业适应性分析;
- (3) 根据平台结构改造及预期载荷变化开展的结构改造评估;
- (4) 根据平台发生损伤情况开展的应急响应支持。

通过上述评估为海上移动平台结构全生命周期的安全作业提供支持和保障,整体流程图如图 3.1.1.1 所示。

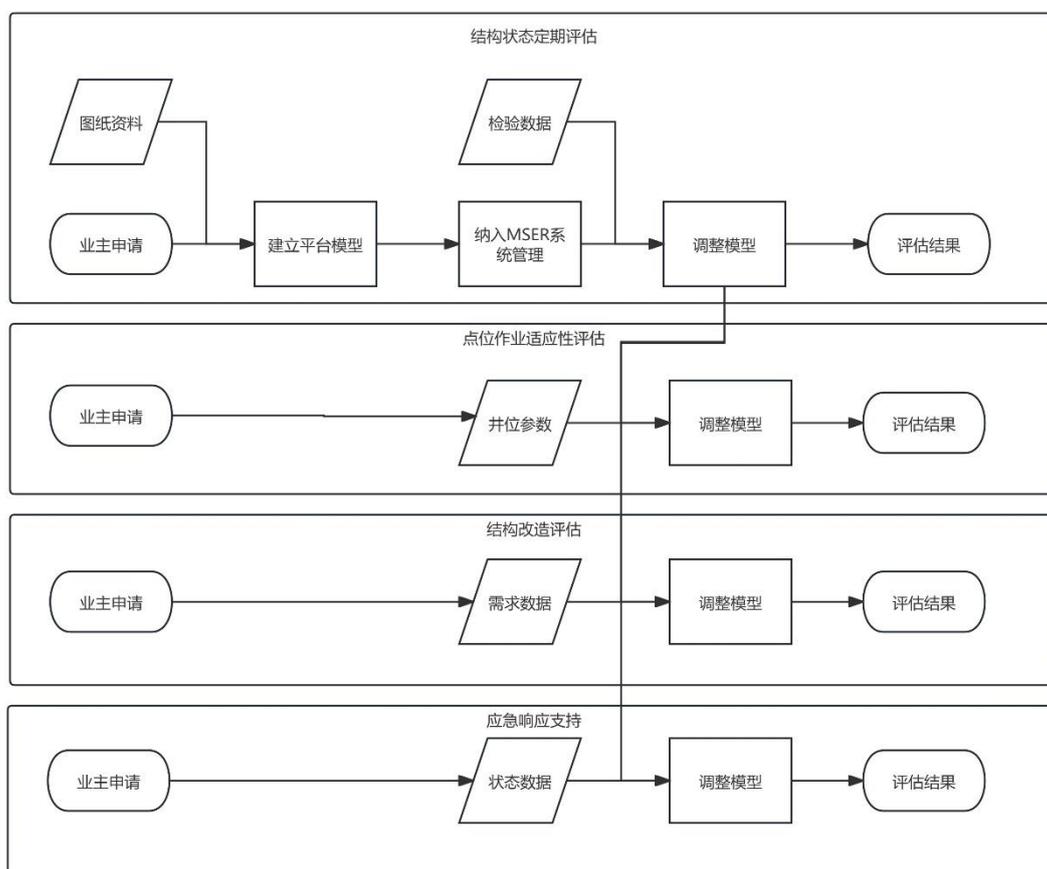


图 3.1.1.1 结构状态评估整体流程图

### 第 2 节 结构状态定期评估

#### 3.2.1 一般要求

3.2.1.1 结构状态定期评估一般应建立平台结构模型,根据现场检验、检测得到的最新平台状态数据(测厚等),按照平台操作手册规定的环境条件,对平台结构进行校核计算,以

判断平台结构的安全性及适用性。本节主要针对自升式及柱稳式平台，其他形式平台的整体性能和强度分析，应按照《移规》第 2 篇，第 7 章至第 10 章中的相关要求开展。

3.2.1.2 结构状态定期评估一般以五年为一个周期，可结合平台的坞检进行。

3.2.1.3 结构状态定期评估一般应依据建造或重大改建（如有时）时依据的法规、规则、规范、指南以及国际/国内公认的标准等实施。

3.2.1.4 结构状态定期评估一般包括平台整体性能和强度分析、局部强度分析、疲劳强度分析以及稳性分析，必要时仍需考虑按照《移规》开展构件尺寸校核。

3.2.1.5 委托方应提供以下所述的平台图纸和资料：

特征数据：型线图/型值表（如有时）、总布置图、锚泊布置图（柱稳式平台适用）、舱容图/表、基本结构图、构件分类图、甲板载荷图、舱室布置图、静水力表、稳性计算书、载重线标志图、操作手册及相关建造数据等。

状态数据：历次改造数据、检验数据、历次评估资料等。

3.2.1.6 对于老龄移动平台，应按照达到 3.2.6 要求的结构状态定期评估实施。

### 3.2.2 整体性能和强度分析

3.2.2.1 海上移动平台整体性能和强度分析的目的主要是分析平台各方面性能和整体强度在目前状态下是否满足规范和平台作业安全要求。

3.2.2.2 自升式平台的整体性能分析为对各模式下的整体安全进行分析，包括以下内容：

（1）锁紧/升降系统的极限保持能力校核：通过有限元分析得到的锁紧/升降系统受力，不得大于其极限保持能力；

（2）桩靴结构承载性能及地基稳定性校核：通过有限元分析得到的最大桩腿反力，不得大于桩靴结构承载能力，且地基稳定性满足 4.2.6 中的相关要求；

（3）预压载性能校核：对平台的舱室布置能否提供足够的压载能力进行校核，预压载模式下桩腿承受的静压力一般不得小于设计的预压载载荷；

（4）升降系统预压载保持能力校核：计算自升式平台在达到设计压载量时齿轮所受载荷，不得大于齿轮预压载保持能力。

3.2.2.3 自升式平台的整体强度分析是分析船体及桩腿等是否具有足够的强度和刚度，抵御环境载荷及功能载荷产生的不利影响，校核内容为各模式下船体板梁及桩腿的屈服、屈服强度，模型范围应涵盖平台的主船体、桩腿以及参与总体强度的主要附属结构等。

（1）作业模式下，应重点关注大型设备支撑结构、桩腿、固桩与围阱结构及其连接的主要承载舱壁的强度；

（2）自存模式下，应重点关注桩腿、固桩与围阱结构及其连接的主要承载舱壁的强度；

（3）迁移模式下，应重点关注桩腿和固桩结构的强度；

（4）预压载模式下，应重点关注船体压载舱舱壁、甲板、桩腿、固桩与围阱结构及其连接的主要承载舱壁的强度。

3.2.2.4 柱稳式平台整体性能分析主要是对平台的运动特性进行评估，主要包括以下内容：

（1）运动性能分析：基于平台最新空船重量及不同设计工况下装载状态，对平台的运动性能进行分析，获得平台运动响应结果，并为峰隙分析、锚泊系统分析及整体结构强度分析提供输入。柱稳式平台的运动性能预报一般采用频域的方法进行计算。

（2）峰隙分析：基于平台运动性能和设计环境条件，对柱稳式平台在各种设计工况下上壳体底部与波峰之间的距离进行计算分析。除上壳体底部及侧壁结构是按照能承受波浪冲击设计并为 CCS 认可外，在各种设计工况下，考虑平台与波面相对运动后，上壳体底部与

波峰之间应有合理的间隙。

3.2.2.5 柱稳式平台的整体强度分析是分析平台目前整体结构状态在重量载荷、作业载荷及环境载荷的作用下是否满足规范结构强度要求。一般采用设计波分析方法确定设计波参数，模型范围应涵盖平台的所有主体结构，包括整个上下壳体、立柱、撑杆以及参与总体强度的主要附属结构等。总体结构强度分析通常考虑作业模式、自存模式以及结构冗余度等。

3.2.2.6 柱稳式平台系泊系统分析是根据系泊系统状态，对平台在不同设计工况下的定位能力进行分析校核，判定平台系泊系统布置方案及目前状态是否满足规范要求，校核内容通常包括平台位移、系泊索最大张力、系泊索长度及锚抓力等。柱稳式平台使用动力定位系统作为定位装置时，应与锚泊定位设备具有同等安全水平。

3.2.2.7 坐底式平台的整体强度分析，应重点关注坐底面积的丧失和平台的峰隙，具体要求详见《移规》第 2 篇第 6 章。

### 3.2.3 局部强度分析

3.2.3.1 局部强度分析主要针对平台作业过程中所受载荷较大、结构较为复杂的局部结构单独进行建模分析，判定局部结构目前状态是否满足规范要求。

3.2.3.2 自升式平台的局部结构强度分析一般包括：固桩区、桩靴、直升机甲板、吊机支撑结构、悬臂梁、井架基座及其它主要设备支撑结构等部位的强度分析。

3.2.3.3 柱稳式平台的局部结构强度分析一般包括：吊机支撑结构、锚机基座、导链轮基座、井架基座、直升机甲板、主机基座及其它主要设备支撑结构等部位的强度分析。载荷应包括平台运动产生的惯性力。

3.2.3.4 坐底式平台的局部结构强度分析一般包括：沉垫、吊机支撑结构、井架基座、直升机甲板、主机基座及其它主要设备支撑结构等部位的强度分析。

3.2.3.5 其他形式平台的局部结构强度分析可参考《移规》第 2 篇第 7 节中的相关规定开展。

### 3.2.4 疲劳强度分析

3.2.4.1 移动平台的疲劳强度分析一般根据该平台一个/多个历史工作海域的波浪散布图及实际使用时间，采用谱疲劳分析方法，对容易产生疲劳的结构部位进行疲劳强度分析，预测其剩余疲劳寿命。

3.2.4.2 疲劳强度分析的校核一般包含的范围如《移规》第 2 篇，3.5.1.6 中所示，以及平台实际检验中频繁出现疲劳裂纹的位置。

3.2.4.3 如平台结构已发现裂纹或使用 S-N 曲线方法计算平台疲劳寿命不足时，可依据 CCS《工程临界评定技术服务指南》分析结构的剩余强度，必要时减小探伤检验周期。

### 3.2.5 稳性分析

3.2.5.1 稳性分析一般包括平台的完整稳性、破损稳性、抗倾覆稳性和沉浮稳性分析。

3.2.5.2 完整稳性和破损稳性分析一般应根据平台目前实际状态，包括受风面积、水密划分、风雨密划分及进水点位置等，计算分析平台的完整稳性和破损稳性，判定是否满足规范要求。

3.2.5.3 坐底稳性分析一般应根据平台目前实际状态，包括受风面积、风力作用中心及重心位置等，分析具有坐底模式平台（如自升式平台和坐底式/坐底箱型平台等）的抗倾覆稳性，判定衡准详见《移规》第 3 篇第 2 章第 5 节。

3.2.5.4 沉浮稳性分析一般指坐底式/坐底箱型平台在整个下沉过程中，判定经自由液面修正后的初稳性高是否满足规范要求。

3.2.5.5 不同平台类型可按表 3.2.5.1 所列开展稳性分析。

表 3.2.5.1 移动平台稳性校核工况分布表

平台类型		要求校核的稳性			
		完整稳性	破损稳性	抗倾覆稳性	沉浮稳性
自升式平台		√	√	√	—
柱稳式平台/圆筒式平台		√	√	√ (如适用)	√ (如适用)
坐底式平台/坐底箱形平台		√	√	√	√
水面式平台	船式平台	√	√	—	—
	驳船式平台	√	√	—	—

### 3.2.6 老龄移动平台特殊要求

3.2.6.1 老龄移动平台每次进行换证检验，都需根据现场测厚、探伤结果等结构实际状态进行结构状态定期评估，找出结构薄弱或危险区域，用以指导验船师现场检验和业主对平台结构的维护保养。

3.2.6.2 考虑到老龄移动平台结构状态定期评估需要较长的模型准备周期，应在平台达到 25 年船龄的首次换证检验前完成模型的建立，宜提前 6 个月启动模型准备工作。

3.2.6.3 老龄移动平台结构状态定期评估内容应覆盖 3.2.3 至 3.2.4 所述的相关内容，其中局部结构强度分析范围还应包括由于使用频率较高产生严重磨损的部位，以及高应力或出现严重腐蚀的区域，也可在整体模型中进行细化校核。

## 第 3 节 点位作业适应性评估

### 3.3.1 一般要求

3.3.1.1 点位作业适应性评估，是指根据委托方提供的点位数据，在移位前通过对平台结构校核，以判定其在目标海域作业是否可行。本节主要针对自升式及柱稳式平台，其他平台形式可参考使用。

3.3.1.2 点位作业适应性评估基于数据的准确和完整性，委托方有责任提供详细、准确的平台资料、海洋环境资料以及地质勘察资料，并且应充分考虑海上移动平台的船龄、平台实际结构状况以及船级社签发的证书、检验记录等，必要时应进行实际勘验。

3.3.1.3 点位作业适应性评估结构强度分析中采用的自存模式环境条件重现期建议不小于 50 年，系泊强度分析自存模式环境条件通常应满足不低于 5 年或 10 年一遇重现期要求，如有详细数据建议按照预计作业的月份窗口期前后各增加 1 个月进行选择。

3.3.1.4 点位作业适应性评估一般应依据建造或改造时依据的法规、规则、规范、指南以及国际/国内公认的标准等。

3.3.1.5 委托方可根据需求选择点位作业适应性评估的具体内容。

3.3.1.6 委托方应提供以下所述的平台图纸和资料：

特征数据：型线图/型值表（如有时）、总布置图、锚泊布置图（柱稳式平台适用）、舱容图/表、基本结构图、构件分类图、甲板载荷图、舱室布置图、静水力表、稳性计算书、载重线标志图、操作手册及相关建造数据等。

状态数据：历次改造数据、检验数据、历次评估资料等。

点位数据：点位环境条件、地质参数及相关作业需求（如气隙等）。

### 3.3.2 自升式平台

3.3.2.1 自升式平台一般应建立包含简化船体及详细桩腿的有限元模型，环境载荷主要包括风、海冰（必要时）、波浪及海流载荷以及波浪惯性力载荷，并考虑由轴向压力和桩腿整体侧向位移联合作用所产生的力和力矩（详见《移规》第 2 篇 4.7.1.6）。

3.3.2.2 分析内容一般为桩腿强度及整体性能分析，整体性能分析主要包括以下内容：

- (1) 峰隙：应满足《移规》第 2 篇第 4 章 4.3.1 中的相关要求；
- (2) 桩腿长度：应满足《移规》第 2 篇第 4 章 4.7.1.8 中的相关要求；
- (3) 锁紧/升降装置的承载性能：详见 3.2.2 中的相关要求；
- (4) 桩靴结构承载性能：详见 3.2.2 中的相关要求；
- (5) 预压载性能：详见 3.2.2 中的相关要求；
- (6) 抗倾稳性：详见 3.2.2 中的相关要求；
- (7) 地基稳定性：详见 4.2.6 中的相关要求。

3.3.2.3 分析流程可参照执行图 3.3.2.1。

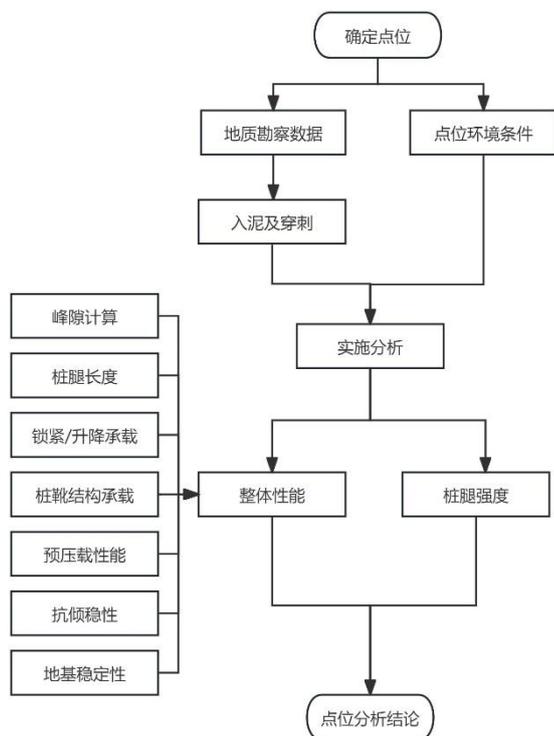


图 3.3.2.1 自升式平台点位作业适应性评估流程

### 3.3.3 柱稳式平台

3.3.3.1 分析内容一般包括：

(1) 水动力分析：按照 4.3.1 所述方法预报柱稳式平台在目标点位的运动响应和波浪脉动压力；

(2) 系泊强度分析：基于目标点位的环境条件，按照 4.3.3 所述方法，进行系泊系统的强度评估；

(3) 峰隙分析：基于目标点位的环境条件，按照 4.3.4 所述方法，进行柱稳式平台的峰隙计算；

(4) 整体结构强度分析：基于目标点位的环境条件，利用水动力分析计算得到的波浪载荷以及其他环境载荷，施加到柱稳式平台的整体有限元模型上，进行整体结构的强度评估；

(5) 局部主要结构强度分析：基于目标点位的环境条件，利用水动力分析计算得到运动响应所产生的惯性力，对平台局部主要结构进行强度评估，如吊机支撑结构、锚机基座、井架基座、主机基座和其它设备支撑结构等。

### 3.3.3.2 点位作业适应性分析流程

柱稳式平台的点位安全评估流程如图 3.3.3.1 所示。统一更新为峰隙分析。

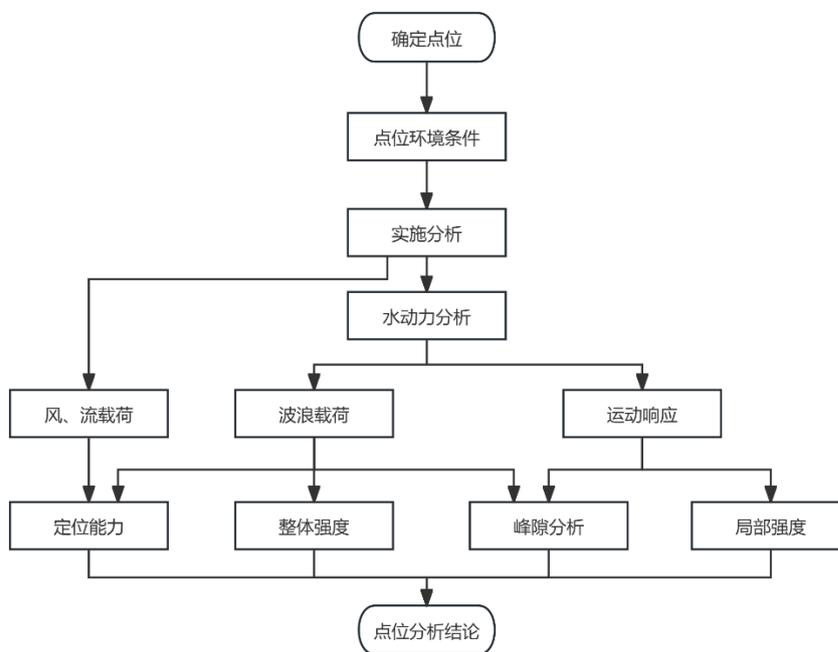


图 3.3.3.1 柱稳式平台点位安全评估流程

## 第 4 节 结构改造评估

### 3.4.1 一般要求

3.4.1.1 结构改造评估，是指根据委托方的需求及改造时适用的法规、规则、规范、指南以及国际/国内公认的标准，在改造前对改造的涉及范围及可行性进行分析，在改造后对完整性管理系统中的相关模型进行更新，实现模型与实际结构的一致性。

3.4.1.2 结构改造评估，需根据平台改造范围判断是否涉及到重大改建，以确认改造适用的法规、规范和标准等。

3.4.1.3 委托方应提供以下所述的平台图纸和资料：

特征数据：型线图/型值表（如有时）、总布置图、锚泊布置图（柱稳式平台适用）、舱容图/表、基本结构图、构件分类图、甲板载荷图、舱室布置图、静水力表、稳性计算书、载重线标志图、操作手册及相关建造数据等与改造相关的材料。

状态数据：历次改造数据、检验数据、历次评估资料等。

需求数据：改造需求说明材料。

### 3.4.2 结构改造可行性评估

3.4.2.1 结构改造可行性评估，为改造实施前对结构改造实施的可行性进行评估，为后续工作的开展提供科学的判断依据，该工作不能替代设计公司的具体设计工作。

3.4.2.2 改造目标确定，为根据委托方使用需求梳理改造的具体目标，包括布置、结构及载荷的变化等。

3.4.2.3 改造范围初步划定，根据改造目标对可能影响到的范围进行初步划定。

3.4.2.4 根据平台改造范围的初步划定结果，确定适用的法规、规范和标准等。

3.4.2.5 改造评估执行，根据适用的法规、规范和标准划定结构状态评估的范围，开展平台结构状态评估，以确定在初步划定的改造范围内平台各项性能是否可以满足相关要求。

3.4.2.6 改造范围调整，根据结构状态的评估结果判断前期划定改造范围合理性，必要时对改造范围进行调整，并从 3.4.2.4 重新开展相关工作，直至判定前期划定改造范围合理。

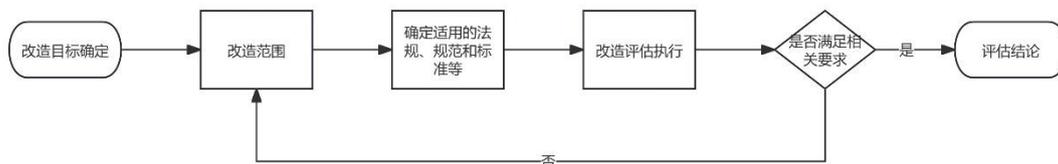


图 3.4.2.1 结构改造评估流程图

### 3.4.3 结构改造模型更新

3.4.3.1 根据改造设计及施工资料对移动平台结构完整性管理系统相关模型进行更新。

## 第 5 节 应急响应支持

### 3.5.1 一般要求

3.5.1.1 应急响应支持是指按照委托方和岸上服务机构（如船级社）预先预定的应急响应支持协议，对于已建立稳性和结构强度应急响应数据库的平台，在其处于紧急状态（如发生碰撞、桩腿穿刺、锚链断裂等事故）时，应委托方申请，岸上服务机构启动应急响应数据库，按要求提供破损稳性、破损强度、剩余能力等方面的计算分析，从而为协助平台脱离危险提供技术支持，为委托方最终决策提供参考意见。

3.5.1.2 应急响应支持一般应依据建造或改造时依据的法规、规则、规范、指南以及国际/国内公认的标准等。

3.5.1.3 当突发事件发生时，委托方应提供以下所述的平台图纸和资料：

特征数据：型线图/型值表（如有时）、总布置图、锚泊布置图（柱稳式平台适用）、舱容图/表、基本结构图、构件分类图、甲板载荷图、舱室布置图、静水力表、稳性计算书、载重线标志图、操作手册及相关建造数据等。

状态数据：历次改造数据、检验数据、损伤评估数据、历次评估资料等。

### 3.5.2 应急响应支持的种类

3.5.2.1 应急响应支持的种类一般包括：

- (1) 完整稳性和破损稳性分析；
- (2) 浮态分析；
- (3) 自升式平台的桩腿穿刺分析；
- (4) 柱稳式平台的锚链断裂分析；
- (5) 抗台风分析；
- (6) 碰撞剩余强度分析；
- (7) 其它应急分析。

### 3.5.3 应急响应支持的一般程序

3.5.3.1 应急响应支持的一般程序为发生紧急情况时,委托方通知岸上服务机构启动应急响应程序,岸上服务机构在收到委托方提供的事故信息后,按照如图 3.5.3.1 所述流程向委托方提供应急响应支持服务。

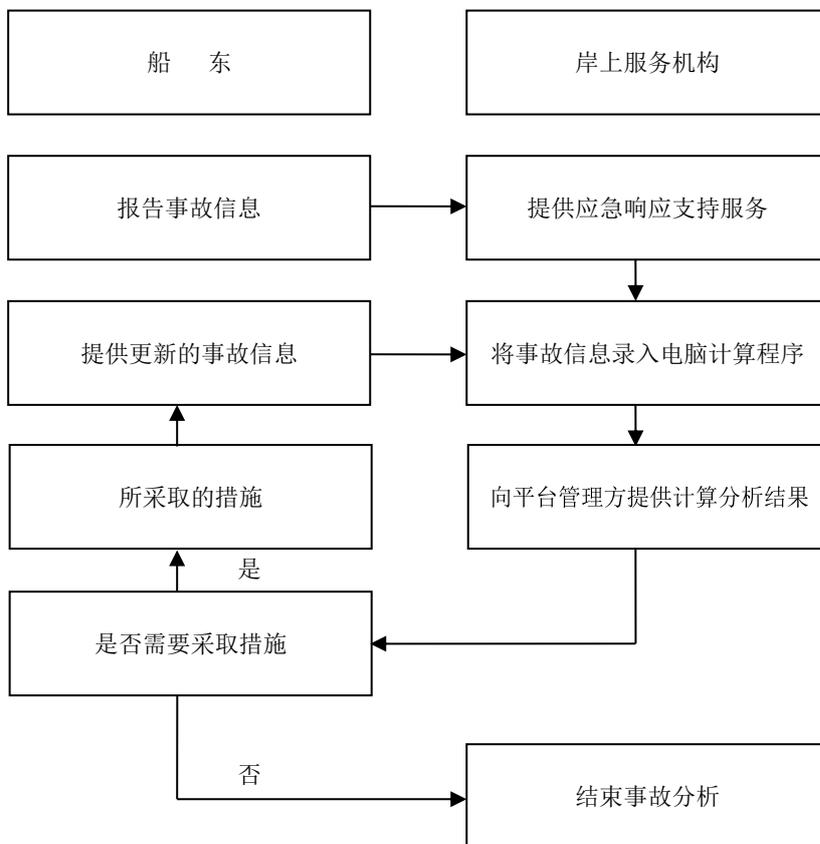


图 3.5.3.1 海上移动平台应急响应支持一般流程

### 3.5.4 应急响应支持的后管理

3.5.4.1 岸上服务机构应完成最终的《应急响应支持技术报告》,报告中应包括平台概况、事故概况、应急响应处理过程、事故处理技术总结等内容,并根据需要提供给平台管理方。

3.5.4.2 岸上服务机构宜继续跟踪事故的后续处理情况,包括维修方案、修理情况、坞内检验信息的收集与分析等。

## 第 4 章 结构状态评估方法

### 第 1 节 一般规定

#### 4.1.1 一般要求

4.1.1.1 本章主要阐述自升式平台、柱稳式平台结构状态评估方法，其他平台形式可参考使用。

4.1.1.2 海上移动平台结构状态评估使用软件应为业界通用或经 CCS 认可。

### 第 2 节 自升式平台结构状态评估方法

#### 4.2.1 结构模型建立

4.2.1.1 桩腿模型一般采用相当刚度的梁进行模拟，此梁的刚度应与实际桩腿一致，包括：截面面积、截面惯性矩、剪切面积和扭转惯性矩。齿条板在考虑齿根处横截面积外，可考虑 10% 齿高对其横截面积及整体刚度的影响。

4.2.1.2 船体模型可采用简化或详细模型。简化模型通常在分析桩腿强度和整体性能中使用，详细模型通常在船体结构强度分析中使用。

(1) 简化模型通常采用等效梁/板单元模拟船体，考虑实际船体结构的纵横舱壁、各层甲板及外板，等效梁/板的总体刚度应满足：截面面积与船体结构一致、截面惯性矩与船体结构一致、剪切面积与船体结构一致、扭转惯性矩与船体结构一致。

(2) 详细模型通常采用板、梁单元组合完全模拟平台甲板、外板、舱壁及支撑结构，单元属性应与平台实际结构基本一致。

4.2.1.3 模型中应模拟桩腿与船体连接刚度，模拟刚度系数计算方法见 4.2.3。

4.2.1.4 模型中边界条件一般可按照《移规》第 2 篇 4.4.1.6 中的要求设置，如具备详细的土壤资料可考虑模拟基础刚度，其各向刚度可按 4.2.5 所述方法计算。

4.2.1.5 模型重量分布应准确反应实际平台结构的重量分布，主要包括：

- (1) 举升重量，包括船体重量、设备重量及可变载荷重量；
- (2) 桩腿重量，包括桩腿本身重量及桩腿内水的重量；
- (3) 桩靴重量，包括桩靴本身重量及桩靴内水的重量。

#### 4.2.2 桩腿的水动力载荷计算

4.2.2.1 自升式平台桁架式桩腿的水动力模型可以采用详细模型和等效模型两种方法。

(1) 详细模型：桩腿所有相关构件分别使用各自的莫里逊特征值 ( $C_D D = C_{D_i} D_i$ ,  $C_M A = C_{M_i} \pi D_i^2 / 4$ ) 来进行建立，见 4.2.2.3。

(2) 等效模型：桁架式桩腿的一个节距的水动力模型由一个位于实际桩腿几何中心位置处的垂直管构件进行等效，相应的等效莫里逊特征值  $C_D D = C_{D_e} D_e$ 、 $C_M A = C_{M_e} A_e$ 。

$$C_{D_e} D_e = D_e \sum C_{D_{ei}}$$

$$C_{D_{ei}} = [\sin^2 \beta_i + \cos^2 \beta_i \sin^2 \alpha_i]^{3/2} C_{D_i} \frac{D_i l_i}{D_e s}$$

式中： $C_{D_e}$ ——桩腿等效拖曳力系数；

$D_e$ ——桩腿的等效直径，m， $D_e = \sqrt{(\sum D_i^2 l_i) / s}$ ；

$C_{D_{ei}}$ ——独立构件*i*的拖曳力系数的等效值；

- $C_{D_i}$ ——独立构件*i*的拖曳力系数，见 4.2.4.2;
- $D_i$ ——构件*i*的特征尺度，m，见 4.2.4.2;
- $l_i$ ——构件*i*节点中心到节点中心的长度，m，单位;
- $S$ ——桩腿一个节距的长度，m;
- $\alpha_i$ ——水流动方向和构件轴线投影到一个水平面后的之间的夹角，°，见图 4.2.2.1;
- $\beta_i$ ——构件从水平面倾斜的角度，°，见图 4.2.2.1;
- $\Sigma$ ——桩腿一个节距中所有构件的和。

对于水平和垂直构件， $C_{D_{ei}}$ 可进行适当简化：垂直构件（如弦杆）： $C_{D_{ei}} = C_{D_i}(D_i/D_e)$ ；  
 水平构件： $C_{D_{ei}} = \sin^3 \alpha C_{D_i}(D_i l_i / D_e s)$ 。

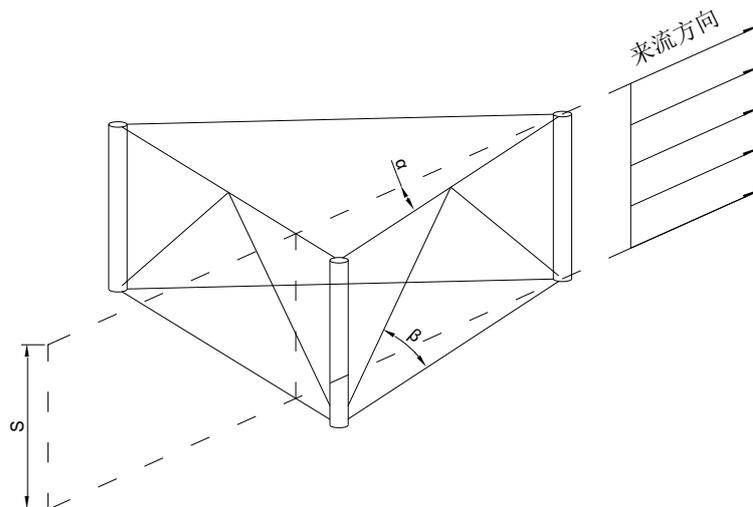


图 4.2.2.1 桁架式桩腿水动力计算示意图

$$C_{M_e} A = A_e \Sigma C_{M_{ei}}$$

$$C_{M_{ei}} = [1 + (\sin^2 \beta_i + \cos^2 \beta_i \sin^2 \alpha_i)(C_{M_i} - 1)] \frac{A_i l_i}{A_e s}$$

- 式中： $C_{M_e}$ ——等效惯性力系数；  
 $A_e$ ——桩腿单位高度上的等效面积，m<sup>2</sup>，可计算为 $(\Sigma A_i l_i) / s$ ；  
 $C_{M_{ei}}$ ——独立构件*i*的惯性力系数的等效值；  
 $C_{M_i}$ ——独立构件*i*的惯性力系数，见 4.2.2.2；  
 $A_i$ ——独立构件*i*的等效面积，m<sup>2</sup>，可计算为 $\pi D_i^2 / 4$ ，见 4.2.2.2。
- 4.2.2.2 圆管构件的水动力系数，圆管构件（直径<1.5m）的水动力系数的推荐值见表 4.2.2.1。

表 4.2.2.1 圆管构件的水动力系数

构件表面状况	$C_{D_i}$	$C_{M_i}$
光滑	0.65	2.0
粗糙	1.00	1.8

如考虑海生物厚度对水动力系数的影响，构件的特征尺度为：

$$D_i = D_{original} + 2t_m$$

- 式中： $D_{original}$ ——构件的原始特征尺度，m；  
 $t_m$ ——海生物的厚度，m。

4.2.2.3 桁架式桩腿节点板的水动力系数，位于垂直平面内的节点板产生的波流荷载可使用拖曳力系数 $C_{D_i} = 2.0$ 来计算，应用于来流方向上可见的节点板投影部分。与之对应，节点板的特征尺度 $D_i$ 和相应的长度 $l_i$ 见图 4.2.2.1 所示， $A = D_i l_i$ ， $D_i = l_i$ 。在等效模型中，节点板可视为其面内长度为 $l_i$ 、 $C_{M_i}$ 为 1.0 的水平构件。

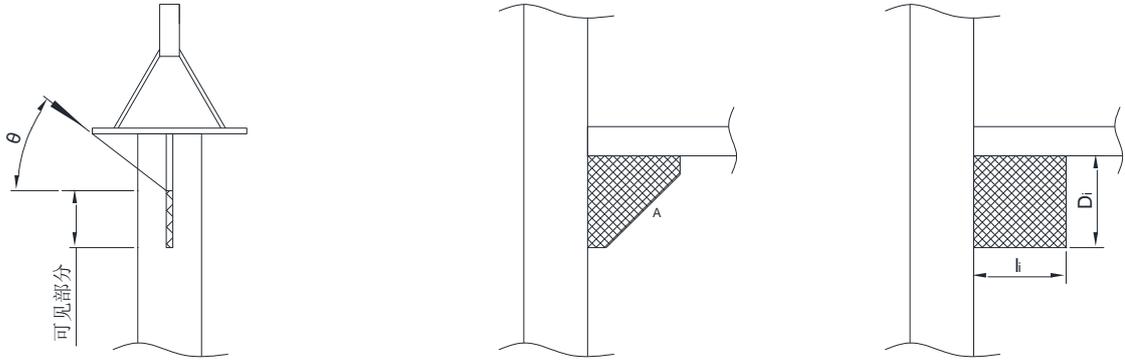


图 4.2.2.2 桁架式桩腿节点板

4.2.2.4 对于图 4.2.2.3 所示的剖开管型桁架式桩腿弦杆，相对于特征尺度 $D_i$ ，拖曳力系数 $C_{D_i}$ 可按下式计算：

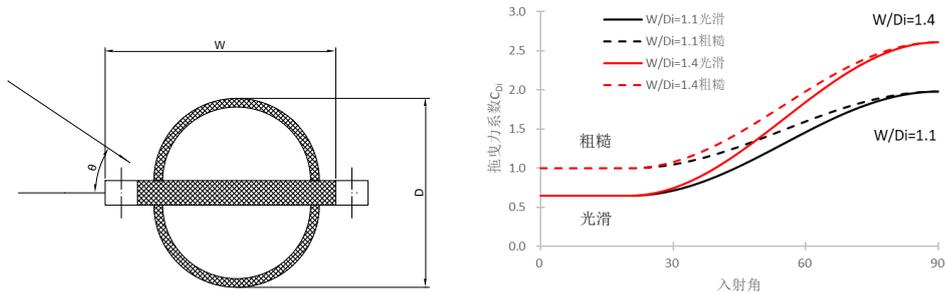


图 4.2.2.3 剖开管型桩腿弦杆和 $C_{D_i}$ 典型值

$$C_{D_i} = \begin{cases} C_{D_0} & 0^\circ < \theta \leq 20^\circ \\ C_{D_0} + (C_{D_1} W/D_i - C_{D_0}) \sin^2[(\theta - 20^\circ)9/7] & 20^\circ < \theta \leq 90^\circ \end{cases}$$

式中： $\theta$ ——波浪入射角度， $^\circ$ ，如图 4.2.2.3；

$C_{D_0}$ ——管构件的拖曳力系数，按表 4.2.2.1 取值；

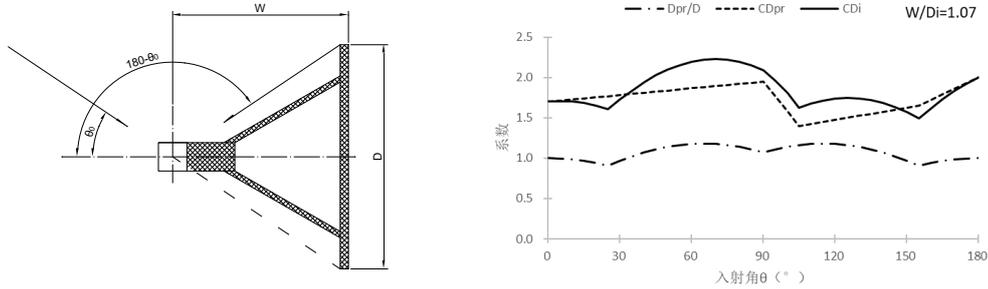
$C_{D_1}$ ——相对于投影直径  $W$ ，在垂直于齿条板的水流方向上的拖曳力系数，可按下式进行取值：

$$C_{D_1} = \begin{cases} 1.8 & W/D_i < 1.2 \\ 1.4 + 1/3 \left( \frac{W}{D_i} \right) & 1.2 < W/D_i < 1.8 \\ 2.0 & 1.8 < W/D_i \end{cases}$$

构件的等效面积取 $\pi D_i^2/4$ 时，所有入射角度和构件表面状况惯性力系数可取 $C_{M_i}=2.0$ 。

4.2.2.5 对于图 4.2.2.4 所示的三角型桁架式桩腿弦杆，相对于特征尺度 $D_i = D$ （背板的宽度），拖曳力系数 $C_{D_i}$ 可按下式计算：

$$C_{D_i} = C_{D_{pr}}(\theta)D_{pr}(\theta)/D_i$$

图 4.2.2.4 三角型桩腿弦杆和 $C_{D_i}$ 典型值

式中： $D_{pr}(\theta)$ ——投影直径，m，可按下列式计算：

$$D_{pr}(\theta) = \begin{cases} D\cos(\theta) & 0 < \theta < \theta_0 \\ W\sin(\theta) + 0.5D|\cos(\theta)| & \theta_0 < \theta < 180 - \theta_0 \\ D|\cos(\theta)| & 180 - \theta_0 < \theta < 180 \end{cases}$$

$\theta_0$ ——遮蔽一半背板时的角度， $^\circ$ ， $\theta_0 = \tan^{-1}(D/(2W))$ 。

$C_{D_{pr}}$ ——针对投影直径的拖曳力系数，可按下列式计算（对于中间角度可进行线性插值）：

$$C_{D_{pr}} = \begin{cases} 1.70 & \theta = 0^\circ \\ 1.95 & \theta = 90^\circ \\ 1.40 & \theta = 105^\circ \\ 1.65 & \theta = 180^\circ - \theta_0 \\ 2.00 & \theta = 0^\circ \end{cases}$$

构件的等效面积取 $\pi D_i^2/4$ 时，所有入射角度和构件表面状况惯性力系数可取  $C_{M_i}=2.0$ 。

4.2.2.6 对于其它截面类型及尺寸构件的水动力系数，应依据相关的文献资料或合适的模型试验来确定。模型试验应考虑合适的构件表面相对粗糙度、库尔根-卡培数（Keulegan-Carpenter）和雷诺数（Reynolds）。

### 4.2.3 船体与桩腿连接刚度计算

#### 4.2.3.1 上下导向结构与桩腿的连接模拟

上下导向结构与桩腿的连接可以模拟为主弦杆与导向结构之间的弹簧，并根据二者之间的接触方向考虑自由度释放。评估桩腿弦杆强度时，至少应考虑下导向结构位于桩腿节点上和桩腿两节点之间跨距正中间两种位置。

#### 4.2.3.2 升降齿轮与桩腿的连接模拟

升降齿轮应基于制造厂商提供的齿轮刚度以弹簧/悬臂梁方式，模拟成抵御垂直荷载和相应的水平荷载。在弹簧/悬臂梁自由端产生单位位移的荷载值应等于制造厂商提供的升降齿轮刚度。齿轮和齿条的接触点相对主弦杆中性轴的偏离也应在模型中适当考虑。

#### 4.2.3.3 锁紧系统与桩腿的连接模拟

锁紧系统应基于锁紧系统的垂直、水平支撑刚度以弹簧或悬臂梁方式，模拟成抵御垂直荷载和水平荷载。以下方法可用于模拟锁紧系统与桩腿连接的整体弹簧刚度的计算。

$$K_{ry} = \frac{1}{1/K_{ry\_fix} + 1/K_{ry\_leg}}$$

$$K_{rz} = \frac{1}{1/K_{rz\_fix} + 1/K_{rz\_leg}}$$

$$K_v = \frac{1}{1/K_{v\_fix} + L_1/EA}$$

式中： $K_{ry}$ ——锁紧系统与桩腿连接的 y 向转动刚度系数， $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ；

$K_{rz}$ ——锁紧系统与桩腿连接的 z 向转动刚度系数， $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ；

$K_v$ ——锁紧系统与桩腿连接的垂向位移刚度系数， $\text{kN}/\text{m}$ ；

$E$ ——桩腿弹性模量， $\text{kPa}$ ；

$A$ ——桩腿截面面积， $\text{m}^2$ ；

$K_{ry\_fix}$ ——锁紧系统的 y 向转动刚度系数， $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ， $K_{ry\_fix} = 3EI_{leg\_y}/L_1$ ；

$K_{rz\_fix}$ ——锁紧系统的 z 向转动刚度系数， $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ， $K_{rz\_fix} = 3EI_{leg\_z}/L_1$ ；

$K_{ry\_leg}$ ——桩腿的 y 向转动刚度系数， $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ， $K_{ry\_leg} = 3EI_{leg\_y}/L_2$ ；

$K_{rz\_leg}$ ——桩腿的 z 向转动刚度系数， $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ， $K_{rz\_leg} = 3EI_{leg\_z}/L_2$ ；

$K_{v\_fix}$ ——锁紧系统的垂向位移刚度系数， $\text{kN}/\text{m}$ ，可由锁紧系统实际结构形式计算得到；

$I_{leg\_y}$ ——上、下导向结构间桩腿的 y 轴截面惯性矩， $\text{m}^4$ ；

$I_{leg\_z}$ ——上、下导向结构间桩腿的 z 轴截面惯性矩， $\text{m}^4$ ；

$L_1$ ——锁紧系统的垂向长度， $\text{m}$ ，见图 4.2.3.1；

$L_2$ ——下导向结构距离锁紧系统的长度， $\text{m}$ ，见图 4.2.3.1。

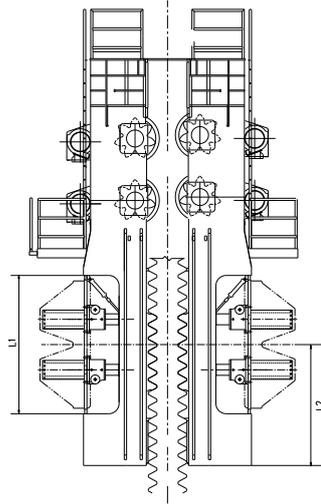


图 4.2.3.1 锁紧系统与下导向结构

4.2.3.4 缓冲垫与桩腿的连接模拟，一般在每个固桩室的顶部和底部各设置一套缓冲垫，升降系统在接触上下缓冲垫前可自由地垂向运动，平台站立时升降系统和上缓冲垫接触，平台漂浮时升降系统和下缓冲垫接触。缓冲垫应基于制造厂商提供的刚度数据，模拟成仅能抵御垂直荷载。应注意缓冲垫的刚度特性可能是非线性的。

4.2.3.5 固桩结构及相关支撑对上导向结构抵御水平荷载的能力有直接影响，应基于其真实刚度来进行模拟。

#### 4.2.4 动力响应计算

4.2.4.1 自升式平台由于波浪或波浪和流共同作用产生的动力效应，可使用《移规》第 2 篇 4.4.1.7 中的单自由度方法（SDOF）来考虑，简化为作用于主船体重心处的惯性力载荷：

$$F_{in} = (DAF - 1) \frac{(BS_{(Q-S)Max} - BS_{(Q-S)Min})}{2}$$

式中： $DAF$ ——动力放大系数；

$BS_{(Q-S)Max}$ ——最大准静力波浪及海流基底剪力，kN；

$BS_{(Q-S)Min}$ ——最小准静力波浪及海流基底剪力，kN；

$F_{in}$ ——惯性力载荷，kN。

说明：对以下情况，此单自由度方法可能不保守：

(1)  $\frac{T_n}{T} > 0.5$ ，且 $T_n$ 落在平台基底剪力传递函数峰值所对应的周期值附近；

(2) 相对高海流值的海域。

4.2.4.2 动力放大系数  $DAF$  也可用详细随机动力响应分析方法（频域方法或时域方法）得到。

#### 4.2.5 地基刚度模拟

4.2.5.1 在未确定具体点位及无具体土壤参数时，可按照《移规》第 2 篇 4.4.1.5 及 4.4.1.6 中的要求设置边界条件。

4.2.5.2 当平台有限元模型中考虑桩腿与土壤的相互作用时，桩腿与土壤间的弹性支撑约束可按下列 3 个方向的刚度系数来进行考虑：

垂向刚度系数： $K_1 = \frac{2G_v B}{(1-\nu)}$ ，kN/m

水平刚度系数： $K_2 = \frac{16G_h B(1-\nu)}{(7-8\nu)}$ ，kN/m

转动刚度系数： $K_3 = \frac{G_r B^3}{3(1-\nu)}$ ，kN·m/rad（需通过迭代计算来确定）

式中： $G_v$ ——针对垂向荷载的土壤剪切模量，kPa；

$G_h$ ——针对水平荷载的土壤剪切模量，kPa；

$G_r$ ——针对转动荷载的土壤剪切模量，kPa；

$B$ ——桩靴和土壤接触的承载面的最上部分的有效直径（对于矩形桩靴， $B$  为宽度）；

$\nu$ ——土壤泊松比。

转动刚度系数 $K_3$ 需通过如下的迭代计算过程来进行确定：

(1) 采用 4.2.5.2 中技术所得刚度作为初始弹性刚度应用于平台模型中，分析平台在重力、环境力及惯性力作用下的响应；

(2) 由上述 (1) 计算得到桩脚三个方向的反力，即垂向力 $Q_v$  (kN)、横向力 $Q_H$  (kN)、和旋转力矩 $Q_M$  (kN·m)、后，代入失效比率 $r_f$ 的公式中进行分析，如果 $r_f > 1$ （意味着现有的载荷组合落在地基屈服面以外），则需手动调整转动刚度 $K_3$ ，重复对模型进行计算：

$$r_f = \sqrt{\frac{\left(\frac{Q_H}{H_{Lo}}\right)^2 + \left(\frac{Q_M}{M_{Lo}}\right)^2}{16(1-a)\left(\frac{Q_v}{V_{Lo}}\right)^2 \left(1 - \frac{Q_v}{V_{Lo}}\right)^2 + 4a\left(\frac{Q_v}{V_{Lo}}\right)\left(1 - \frac{Q_v}{V_{Lo}}\right)}$$

式中： $V_{Lo}$ ——预压载时单桩最大垂向荷载，kN；

$H_{Lo}$ ——最大水平承载能力，kN；

$M_{Lo}$ ——最大水平承载能力，kN·m。

对于砂土：

$$H_{Lo} = 0.12V_{Lo}, \quad M_{Lo} = 0.075V_{Lo}B;$$

对于粘土：

$$H_{Lo} = c_{uo}A + (c_{uo} + c_{ul})A_s, \quad M_{Lo} = 0.1V_{Lo}B;$$

式中：a——深度插值参数，当  $D < 2.5B$  时， $a = D/2.5B$ ，当  $D \geq 2.5B$  时  $a = 1$ ；

D——从泥面到桩靴最大承载面的距离，m；

$c_{uo}$ ——最大承载面（泥面以下 D）处的土壤不排水粘性剪切强度，kPa；

$c_{ul}$ ——桩靴最底部处的土壤不排水粘性剪切强度，kPa；

A——桩靴有效承载面积，取桩靴和土壤接触的承载面的最上部分的横截面的面积， $m^2$ ；

$A_s$ ——桩靴埋深区域的侧向投影面积， $m^2$ ；

(3) 重复 (2) 的计算，直到平台每个桩靴计算得到的  $r_f \leq 1$ ，如  $Q_M$  减小到零， $r_f$  仍大于 1，则地基稳定性无法满足要求；

(4) 如果 (1) 中首次计算得到的  $(Q_v, Q_H, Q_M)$  即可得到  $r_f \leq 1$ ，则最终应用于平台模型中的转动刚度  $K_3 = f_r \frac{G_r B^3}{3(1-\nu)}$ ，即乘以刚度减小系数  $f_r$  进行修正：

$$f_r = \sqrt{(1 - r_f) + 0.1e^{100(r_f - 1)}}$$

#### 4.2.6 地基稳定性分析

4.2.6.1 自升式平台进入具体点位作业前，一般应做海底地质调查，并对地基进行稳定性分析，保证平台作业安全。自升式平台的地基稳定性分析流程如图 4.2.6.1 所示。

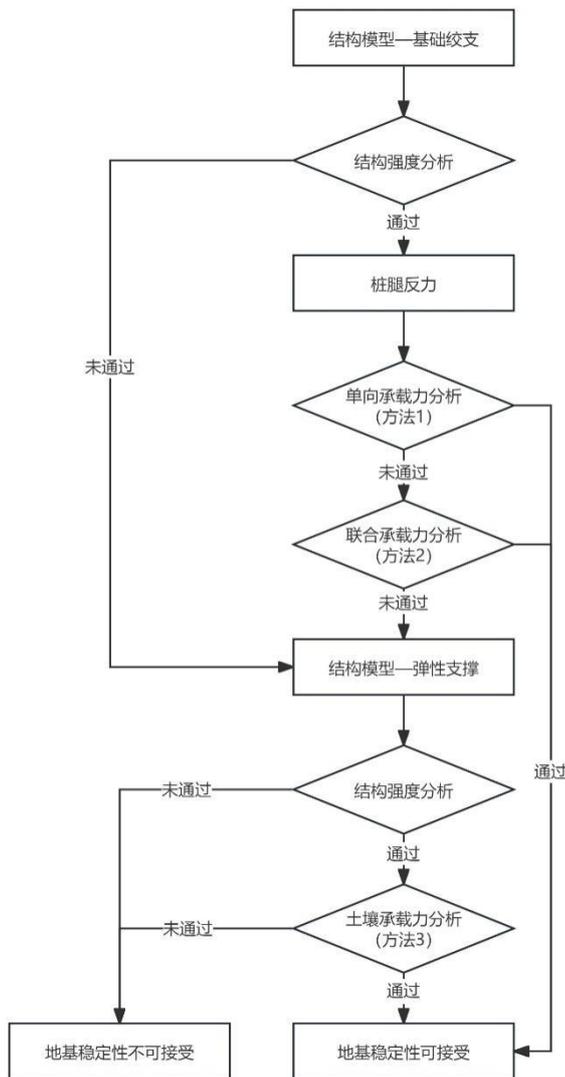


图 4.2.6.1 地基稳定性分析流程

4.2.6.2 单向承载力分析-基础铰支（方法 1）

单向承载力分析基于所有桩腿的边界条件为铰支约束模型计算得到的支反力开展，包括下风向桩腿的垂向承载能力及迎风向桩腿的水平承载能力。

(1) 下风向桩脚处的土壤承载力

下风向桩脚处的土壤承载力应基于预压载能力，即：

$$Q_v \leq \phi_s V_{L0}$$

式中： $\phi_s$ ——许用系数，可取为 0.9；

$V_{L0}$ ——单桩预压载量，kN；

$Q_v$ ——平台站立状态下的下风向桩脚反力，kN，可由以下公式计算：

$$Q_v = V_D + V_L + V_E + V_{Dn}$$

式中： $V_D$ ——船体重量引起的桩脚反力，kN；

$V_L$ ——最大可变载荷引起的桩脚反力，kN；

$V_E$ ——风、浪、流及 P- $\Delta$  效应引起的桩脚反力，kN；

$V_{Dn}$ ——波浪惯性力引起的桩脚反力，kN；

(2) 迎风向桩脚处的土壤承载力

迎风向桩脚处的土壤承载力应满足抗滑移要求, 即:

$$Q_H \leq \phi_s F_H$$

式中:  $Q_H$ ——抗滑力, kN;

$\phi_s$ ——许用系数, 砂土取为 0.8, 粘土取为 0.64;

$F_H$ ——地基横向承载能力, kN, 即:

$$F_H = Q_V \tan \delta + 0.5\gamma'(k_p - k_a)(h_1 + h_2)A_s \quad \text{— 砂土}$$

$$F_H = A c_{u0} + (c_{u0} + c_{u1})A_s \quad \text{— 粘土}$$

#### 4.2.6.3 联合承载力分析-基础铰支 (方法 2)

联合承载力分析是指对地基是否能够抵抗自升式平台桩脚在横向、垂向联合载荷作用下的下沉、滑移能力进行分析。本节提供的方法适用于平台模型边界条件为铰支的情况。

(1) 桩脚处的地基应满足如下公式:

$$\vec{Q}_{VH} \leq \phi_s \vec{F}_{VH}$$

式中:  $\phi_s$ ——许用系数, 可取为 0.9;

$\vec{Q}_{VH}$ ——下风向桩脚的横向、垂向反力向量, kN, 可按如下公式计算:

$$\vec{Q}_{VH} = \vec{VH}_D + \vec{VH}_L + \vec{VH}_E + \vec{VH}_{Dn}$$

式中:  $\vec{VH}_D$ ——船体重量引起的横向、垂向桩脚反力向量, kN;

$\vec{VH}_L$ ——最大可变载荷引起的桩脚横向、垂向反力, kN;

$\vec{VH}_E$ ——风、浪、流及 P- $\Delta$  效应引起的桩脚横向、垂向反力, kN;

$\vec{VH}_{Dn}$ ——波浪惯性力引起的桩脚横向、垂向反力, kN;

$\vec{F}_{VH}$ ——海底地基的横向、垂向承载能力向量, kN,  $\vec{F}_{VH} = (F_V, F_{VH})$ 。

(2) 垂向承载力分量  $F_{VH}$  可按如下公式计算:

$$F_{VH} = A \left\{ 0.5\gamma' B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \left[ 1 - \left( \frac{F_H}{F_{VH}} \right)^* \right]^{m+1} + p_o' N_q s_q d_q \left[ 1 - \left( \frac{F_H}{F_{VH}} \right)^* \right]^{m+1} \right\} \text{— 砂土}$$

$$F_{VH} = A \left\{ N_c c_u s_c d_c [1 - (1.5 F_H^* / N_c A c_u)] + p_o' N_q s_q \left( 1 - \left( \frac{F_H}{F_{VH}} \right)^* \right)^{1.5} \right\} \text{— 粘土}$$

式中:  $A$ ——桩靴与土壤接触投影面积,  $m^2$ ;

$\gamma'$ ——土壤密度,  $kN/m^3$ ;

$B$ ——桩靴直径,  $m$ ;

$N_\gamma$ 、 $N_q$ ——承载力系数;

$s_\gamma$ 、 $s_q$ 、 $s_c$ ——承载力形状系数;

$d_\gamma$ 、 $d_q$ 、 $d_c$ ——承载力深度系数;

$c_u$ ——土壤不排水粘性剪切强度,  $kPa$ ;

$p_o'$ ——积土压力,  $kPa$ , 当没有土壤回填时,  $p_o'$  为 0;

$m$ ——桩靴支撑形状系数, 圆形桩靴一般取为 1.5;

$(F_H/F_{VH})^*$ ——可取一系列假设值, 如 0.00、0.04、0.08、0.12 等;

$F_H^*$ ——可取  $F_H^* = (F_H/F_{VH})^* * F_{VH}$ , kN。

(3) 横向承载能力分量  $F_H$  可按如下公式计算:

$$F_H = F_H^* + 0.5\gamma'(k_p - k_a)(h_1 + h_2)A_s \quad \text{— 砂土}$$

$$F_H = F_H^* + (c_{u0} + c_{u1})A_s \quad \text{— 粘土}$$

式中:  $k_p$ ——为被动土压系数;

$k_a$ ——为主动土压系数，与  $k_p$  互为倒数；

$h_1$ ——为桩靴最大面积处入泥深度，m，如桩靴没有完全入泥，取为 0；

$h_2$ ——为桩靴尖端入泥深度，m；

$A_S$ ——为入泥桩靴侧向投影面积， $m^2$ ；

$c_{uo}$ ——桩靴最大面积处不排水粘性剪切强度，kPa；

$c_{ul}$ ——桩靴尖端处的不排水粘性剪切强度，kPa。

由上述两式可得到地基垂向-横向联合承载能力曲线，即  $F_{VH} - F_H$  曲线，再乘以  $\phi_S$  后可得到容许承载能力曲线，当求得各桩脚处的垂向、横向力后，与  $F_{VH} - F_H$  曲线比较，当位于曲线包络范围内，则认为地基稳定性是可靠、安全的。

#### 4.2.6.4 土壤承载力分析-弹性支撑（方法 3）

当平台计算模型考虑桩脚与土壤的相互作用时，边界条件应定义为弹性支撑。采用弹性支撑时，需考虑 3 个方向的刚度系数，即垂向刚度系数  $K_1$ ，水平刚度系数  $K_2$ ，旋转刚度系数  $K_3$ ，具体计算方法和过程见 4.2.5。

#### 4.2.6.5 桩靴位移校核

当按照方法 3 进行校核，其结果仍无法满足要求时，经 CCS 同意，可考虑地基过载引起桩靴发生少量位移。分析得出的位移应满足以下要求：

- (1) 桩靴的垂直和水平位移不应导致不可接受的倾覆或强度风险；
- (2) 平台的倾斜角度不应超过操作手册规定的限制，且不得导致与任何临近结构发生接触风险的明显提升。

### 4.2.7 稳性分析

4.2.7.1 完整稳性及破损稳性模型主要包含主船体静水力模型、风模型、舱室模型及相关参数设置，计算风速依据《移规》第 3 篇第 2 节至第 4 节相关规定设置。

4.2.7.2 静水力模型包含：主船体、圆柱式桩腿（能够产生浮力部分）以及桩靴；考虑到桁架式桩腿水下产生的浮力较小，一般不计入静水力模型。

4.2.7.3 风模型包含：桩腿、主甲板以上受风作用的上层建筑、悬臂梁、钻台、井架、固桩室、甲板室、直升机平台、起重机、救生艇等；依据《移规》设置受风构件形状系数，高度系数一般由稳性分析软件自动计入。

4.2.7.4 舱室模型包含：主船体内所有水密舱室以及桩靴等，依据《移规》设置舱室渗透率。

4.2.7.5 稳性分析中应按以下要求设置相关参数：

- (1) 选择全部漂浮吃水范围，包括迁移模式吃水；
- (2) 除系泊约束对平台稳性有不利影响外，一般可假设平台处于无系泊约束的漂浮状态；
- (3) 如平台装备了推进器，需考虑其影响；
- (4) 操作手册所列各模式下桩腿长度、桩靴充水状态及桩靴下放位置；
- (5) 平台各模式吃水对应的许用重心高度；
- (6) 风入射角范围为  $0 \sim 360^\circ$ ，且间隔不大于  $45^\circ$ ，如静水力模型、进水点及水密舱室（针对破损稳性）均对称时，可根据对称性适当缩减风入射角度范围。

4.2.7.6 完整稳性分析除应按照 4.2.7.5 中的要求设置相关参数外，还应根据水密完整性要求，选取平台无保护开口作为进水点。

4.2.7.7 破损稳性分析包含碰撞破损及单舱浸水剩余稳性分析，除应按照 4.2.7.5 中的要求设置相关参数外，还应按照以下要求设置相关参数：

- (1) 根据水密及风雨密完整性要求，选取平台无保护开口及风雨密保护开口作为进水

点；单舱浸水剩余稳性，不计入进水点；

(2) 计算单舱浸水剩余稳性时不计入风速；

(3) 计算碰撞破损稳性时，应假定有效水密舱壁之间的破损范围，选取单个或组合破损舱室；单舱浸水剩余稳性应选取平台单个水密舱室。

4.2.7.8 抗倾覆稳性判定衡准详见《移规》第 3 篇第 2 章第 5 节，抗倾覆力矩  $M_k$  与倾覆力矩  $M_q$  的计算公式如下：

$$M_k = M_D + M_L + M_S$$

式中： $M_D$ ——平台举升重量产生的恢复力矩， $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

$M_L$ ——桩腿、桩靴重量产生的恢复力矩， $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

$M_S$ ——海床对桩靴吸附、摩擦产生的恢复力矩， $\text{kN}\cdot\text{m}$ ，此力矩除针对具体点位有详细的计算外，一般不予考虑。

$$M_q = M_E + M_{Dn} + P_{\Delta}$$

式中： $M_E$ ——风、浪、流对平台产生的倾覆力矩， $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

$M_{Dn}$ ——波浪惯性力产生的倾覆力矩， $\text{kN}\cdot\text{m}$ ；

$P_{\Delta}$ ——为船体 P- $\Delta$  效应产生的倾覆力矩， $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

4.2.7.9 抗滑移稳性判定衡准详见《移规》第 3 篇第 2 章第 5 节，考虑到独立桩靴自升式平台的受力特点，可考虑以 4.2.6 中的校核方式进行替代。

### 第 3 节 柱稳式平台结构状态评估方法

#### 4.3.1 水动力分析

4.3.1.1 柱稳式平台水动力幅值响应算子 (RAO) 的计算通常假定在单位波幅规则波作用下的平台运动和波浪力，并假定与波高呈线性关系。

4.3.1.2 柱稳式平台水动力计算建立水动力湿表面模型时应遵循以下规则：

(1) 建模范围应包含水下与外部海水接触的船体/杆件外表面；

(2) 湿表面单元推荐采用四边形单元，为保证单元质量局部也可采用三角形单元，湿表面单元特征长度不应大于最小规则波波长的 1/7；

(3) 依据波浪力的作用特性，板壳和杆件结构的水动力模型分别采用面板模型 (Panel model) 和莫里逊模型 (Morison model) 模拟；

(4) 莫里逊模型杆件以等效圆截面形式输入，对于圆形构件水动力系数推荐取值范围：光滑杆件  $C_D = 0.6$ ， $C_M = 2.0$ ，粗糙杆件  $C_D = 1.2$ ， $C_M = 1.3$ ；

(5) 平台质量属性可通过质量模型或质量属性数据(重量大小、重心位置及惯性半径或转动惯量)的形式输入。

4.3.1.3 柱稳式平台水动力计算环境参数输入时应遵循以下规则：

(1) 规则波频域计算时浪向角间隔应不大于  $45^\circ$ ，浪向角范围为  $0\sim 360^\circ$ ，如湿表面利用单面或双面对称性建模浪向角范围可为  $0\sim 180^\circ$  或  $0\sim 90^\circ$ ；

(2) 规则波频域计算时波浪周期或频率至少应覆盖整个波频范围，应充分反映 RAO 曲线随周期或频率的变化趋势和最大响应幅值。

4.3.1.4 规则波频域计算完成后，应核对以下内容：

(1) 输入参数，如重量大小、重心位置、惯性半径、水深、波浪周期和方向角等；

(2) 由水动力模型得到的排水体积、浮心位置、水线面积、水表面积；

(3) 计算得到的初稳性高、固有周期等。

4.3.1.5 规则波频域计算完成后，应核对以下内容：

- (1) 平台附加质量和势流阻尼；
- (2) 平台各方向运动 RAO；
- (3) 一阶波频载荷 RAO；
- (4) 平均漂移力载荷 RAO；
- (5) 指定剖面载荷 RAO。

4.3.1.6 规则波频域计算完成后，如需结构强度分析，还应进行运动/载荷短期统计预报得到各方向运动/载荷的频域响应最大值统计结果。

### 4.3.2 整体结构强度分析

4.3.2.1 柱稳式平台结构整体强度分析方法可参考 CCS《半潜式平台总强度直接计算技术指南》的相关要求。

4.3.2.2 平台撑杆等小尺度构件除建立湿表面单元模型外，必要时还应建立莫里逊分析模型，以考虑拖曳力的影响。莫里逊模型由模拟撑杆系统的梁单元组成，相关参数可按以下方法设置：

(1) 水动力分析模型中，拖曳力系数 $C_D$ 应根据截面形状设置，质量系数一般可不考虑。为减小重复计算浮力带来的影响，可将莫里逊梁单元的直径设置为一个小值。例如将构件直径设为实际直径的 1/1000，对应地，为了正确计算拖曳力，实际施加的 $C_D$ 系数应相应放大至 1000 倍。平台粘性阻尼可根据模型试验结果或参考类似平台予以考虑。

(2) 结构分析模型应与水动力分析模型结合使用，以正确传递作用在撑杆上的莫里逊载荷。

(3) 结构分析模型中，可在结构模型中建立梁单元用于接收拖曳力载荷，该单元应将刚度和壁厚设置为可忽略的小值，以尽量减少该部分梁单元对结构强度的影响。为模拟莫里逊模型与面单元结构模型之间的耦合，可用多个分布为“轮辐”形的虚拟杆/梁单元或节点耦合形式进行载荷传递模拟，单个“轮辐”形载荷传递如图 4.3.2.1 所示。

(4) 当分析类似环形或双船体下壳体柱稳式平台时，由于其截面特征尺度较大，拖曳力载荷不显著，在模型中可不包括莫里逊模型。

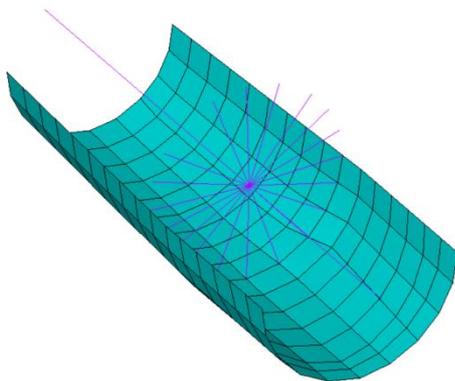


图 4.3.2.1 “轮辐”形的虚拟杆/梁单元示意图

4.3.2.3 边界条件除可采用《半潜式平台总强度直接计算技术指南》4.3.1 中推荐的边界条件外，也可采用惯性释放方法，并根据具体软件的要求施加虚拟约束。为得到精度更高的计算结果，其初始加速度设置应与水动力载荷及此时平台的质量分布相对应。

### 4.3.3 系泊系统分析

4.3.3.1 系泊分析计算环境条件、分析方法、计算工况及校核衡准等应遵守《移规》第 9

篇第 3 章的相关要求。在开展点位作业分析时，如有可靠的现场环境调查结果，也可按风、浪、流实际可能最严重的组合进行考虑。

4.3.3.2 系泊分析时应考虑风、浪、流环境力及其它可能的外力作用。

(1) 风力推荐采用 1 小时最大平均风速与风谱叠加的形式来模拟，也可直接采用 1 分钟最大平均风速产生的风力来模拟。平台的风力系数可通过模型试验或《移规》中的规定计算得到；

(2) 波浪应采用合适的波浪谱，进行随机波分析时对于产生随机波时历的种子数量一般不应少于 5 个。

(3) 随机波波浪模拟时间不小于 3 小时，时间步长不大于 0.25s。

(4) 系泊分析中平均漫漂力和波频力都应予以考虑。

(5) 流力系数一般应通过模型试验或《移规》中规定公式计算得到，如使用其它方法应得到 CCS 的认可。

(6) 动力分析时系泊缆的几何非线性、水动力效应及与海底的摩擦作用应予以考虑。

(7) 系泊缆上如设有配重或浮筒，应考虑其水动力作用。

4.3.3.3 系泊分析时应考虑锚链的腐蚀作用，锚链剩余破断强度可按以下公式换算得到。

$$P_{corr} = P_B \cdot \left( \frac{D_{corr}}{D_{new}} \right)^2$$

式中： $P_{corr}$ ——腐蚀后的锚链最小破断负荷，kN；

$P_B$ ——锚链初始最小破断负荷，kN；

$D_{corr}$ ——锚链腐蚀后测量得到最小平均直径，mm；

$D_{new}$ ——锚链初始直径，mm。

4.3.3.4 系泊分析衡准如下：

(1) 平台位移应满足规定要求，业主/设计者应根据作业水深、环境条件、钻井/生产隔水管系统，对钻井作业或生产作业的许用平均偏移和许用最大偏移做出规定；

(2) 锚泊分析评估中系泊缆的最大张力应不小于《移规》中对锚泊分析系泊索安全系数要求。

(3) 如果采用大抓力锚，则系泊索应具有足够的舷外长度，以使系泊系统达到破损条件下最大偏移时系泊索仍有一段与海底相切。对具有其他锚系统（如锚桩）的系泊系统，可采用较短的系泊索，并对锚系统进行校核。

(4) 业主/操作者有责任确保锚系统具有足够的抓力，及适合于预定作业地点的海床状况。

#### 4.3.4 峰隙分析

4.3.4.1 除上壳体底部及侧壁结构是按照能承受波浪砰击设计并为 CCS 认可外，在各种漂浮状态下，考虑柱稳式平台相对于海面运动后，上壳体底部与波峰之间应有合理的间隙。

4.3.4.2 进行柱稳式平台峰隙计算时，需考虑以下因素：

(1) 波浪与结构的相互响应；

(2) 波浪的不对称影响；

(3) 平台刚体运动（含二阶低频运动影响）；

(4) 系泊系统的影响；

(5) 波浪在立柱处的冲高影响。

4.3.4.3 峰隙计算时应选取具有充分代表性的目标点，至少应考虑：

(1) 上壳体底部与立柱连接处；

(2) 上壳体底部各方向边界处。

4.3.4.4 柱稳式平台的峰隙计算一般采用时域或频域的方法进行，通过计算平台在波浪中的运动，考虑平台足够数量的目标点，确保与波峰间的距离间隙满足《移规》要求。

### 4.3.5 稳性分析

4.3.5.1 完整稳性及破损稳性模型主要包含主船体静水力模型、风模型、舱室模型及相关参数设置，计算风速依据《移规》第 3 篇第 2 节至第 4 节相关规定设置。

4.3.5.2 静水力模型包含：上壳体、立柱、下壳体、撑杆及附加浮箱等。

4.3.5.3 风模型包含：立柱、撑杆、上壳体及其主甲板以上受风作用的上层建筑、钻台、井架、甲板室、直升机平台、起重机、锚机、救生艇等；依据《移规》设置受风构件形状系数，高度系数一般由稳性分析软件自动计入。

4.3.5.4 舱室模型包含：下壳体、立柱及附加浮箱内所有水密舱室，依据《移规》要求设置舱室渗透率。

4.3.5.5 稳性分析中应按以下要求设置相关参数：

- (1) 选择全部漂浮吃水范围，包括迁移、作业及风暴自存模式吃水；
- (2) 除系泊约束对平台稳性有不利影响外，一般可假设平台处于无系泊约束的漂浮状态；
- (3) 如平台装备了推进器，需考虑其影响；
- (4) 平台各模式吃水对应的许用重心高度；
- (5) 风入射角范围为  $0\sim 360^\circ$ ，且间隔不大于  $45^\circ$ ，如静水力模型、进水点及水密舱室（针对破损稳性）均对称时，可根据对称性适当缩减风入射角度范围。

4.3.5.6 完整稳性分析除应按照 4.3.5.5 中的要求设置相关参数外，还应根据水密完整性要求，选取平台无保护开口作为进水点。

4.3.5.7 破损稳性分析包含碰撞破损及单舱浸水剩余稳性分析，除应按照 4.3.5.5 中的要求设置相关参数外，还应按照以下要求设置相关参数：

- (1) 根据水密及风雨密完整性要求，选取平台无保护开口及风雨密保护开口作为进水点；
- (2) 计算单舱浸水剩余稳性时不计入风速；
- (3) 计算碰撞破损稳性时，应假定有效水密舱壁之间的破损范围，选取单个或组合破损舱室；单舱浸水剩余稳性，作业或迁移模式下，选取全部或部分处于所考虑水线以下的水密舱室，这些舱室可以是泵舱、设有海水冷却系统机械的舱室或与海水相邻的舱室。

## 附录1. 结构完整性管理

### 第 1 节 概述

#### 1.1.1 完整性管理意义

1.1.1.1 当平台发生改造、损伤、载荷变化、作业点位变化、超设计寿命使用及应急响应时，海上移动平台结构完整性管理系统可实现对平台结构快速、连续的评估。

1.1.1.2 通过引入结构完整性管理概念，依托数据、评估、检验计划及检验实施四要素为循环的管理模式，实现平台的结构损伤评估、适用性评估、检验计划、加强和缓解措施等要求，为平台的安全运营和科学管理提供全生命周期的技术保障。

### 第 2 节 完整性管理要素

#### 1.2.1 组成要素

1.2.1.1 海上移动平台的结构完整性管理核心思想包括 4 个基本要素，即数据、评估、检验计划和检验实施，海上移动平台的结构完整性管理核心程序如附图 1.2.1.1 所示。



附图 1.2.1.1 海上移动平台结构完整性管理框架程序

#### 1.2.2 数据

1.2.2.1 最新、准确的数据是保证结构完整性管理的基础，数据可分为特征数据和状态数据。

1.2.2.2 特征数据主要包括平台完工初始状态时的信息，如完工图纸和文件资料、建造数据等。

1.2.2.3 状态数据主要包括反映平台在其寿命周期内特征数据变化的信息，如平台历次改造数据、检验数据、损伤评估数据、测厚数据、腐蚀数据、平台评估资料、加强/改造/修理数据等。

1.2.2.4 特征数据及状态数据应能全面、真实地反映平台的实际结构状况。应建立有效的数据管理系统对特征数据和状态数据进行保存、修改和更新。

#### 1.2.3 评估

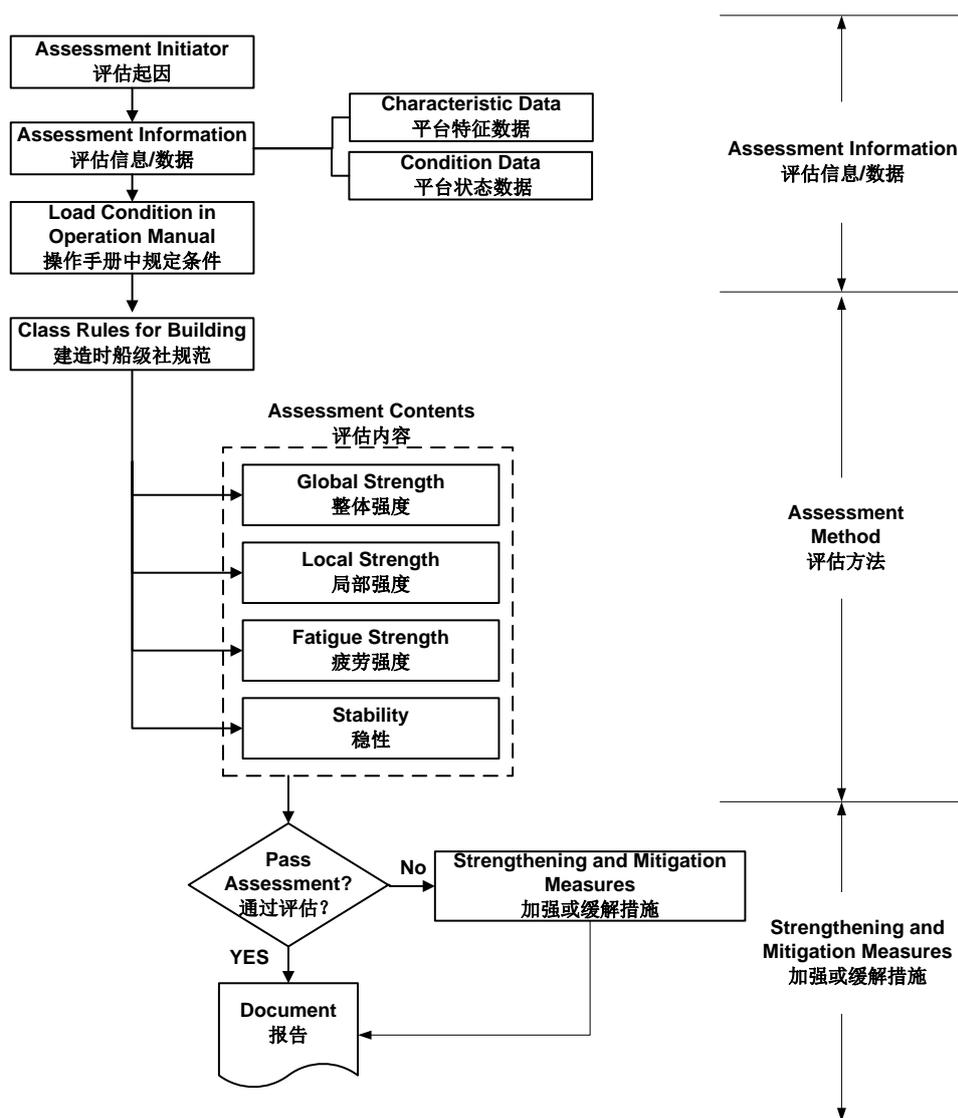
1.2.3.1 评估是根据最新得到的平台数据对平台结构完整性管理影响进行评价的过程，包括在必要时进行的平台结构计算评估以表明平台结构的适用性，同时为调整平台的检验、

监测及维修等计划提供输入。

1.2.3.2 海上移动平台结构设计一般是根据某特定海洋环境条件(如水深、峰隙、风、浪、流等)，采用直接计算模型为主、规范经验公式为辅的模式进行，因此，对于平台的结构评估一般应建立平台结构的有限元模型及稳性计算模型，直接计算模型是评估的核心。

1.2.3.3 当初始评估结果不满足规范要求而平台仍计划开展作业时，需对平台采取性能加强或载荷减缓措施(包括降低可变载荷、使用环境条件等)后再次进行评估。

1.2.3.4 评估流程如附图 1.2.3.1 所示。



附图 1.2.3.1 海上移动平台结构评估流程

## 1.2.4 检验计划

1.2.4.1 海上移动平台结构完整性管理的结构检验一般可在特别检验或修理检验时完成，可结合船级检验的要求进行，也可根据实际情况进行临时检验。检验计划应根据评估结论制定，是平台检验的总体性和策略性的安排，包括检验的范围安排，并在平台的生命周期内根据平台状况的变化做出适当的调整。

### 1.2.5 检验实施

1.2.5.1 根据检验计划的要求，完成相应的现场检验工作，通过结构状态定期评估将最终的检验数据反馈到完整性管理的数据系统中，并对平台结构的维护、修理及加强和缓解措施提出建议，从而维持平台数据的最新状态，实现结构完整性管理的循环。通过定期的此种循环，可实现对海上移动平台全生命周期的结构完整性管理。

## 附录2. 移动平台结构全生命周期管理系统

### 第1节 概述

#### 2.1.1 系统概述

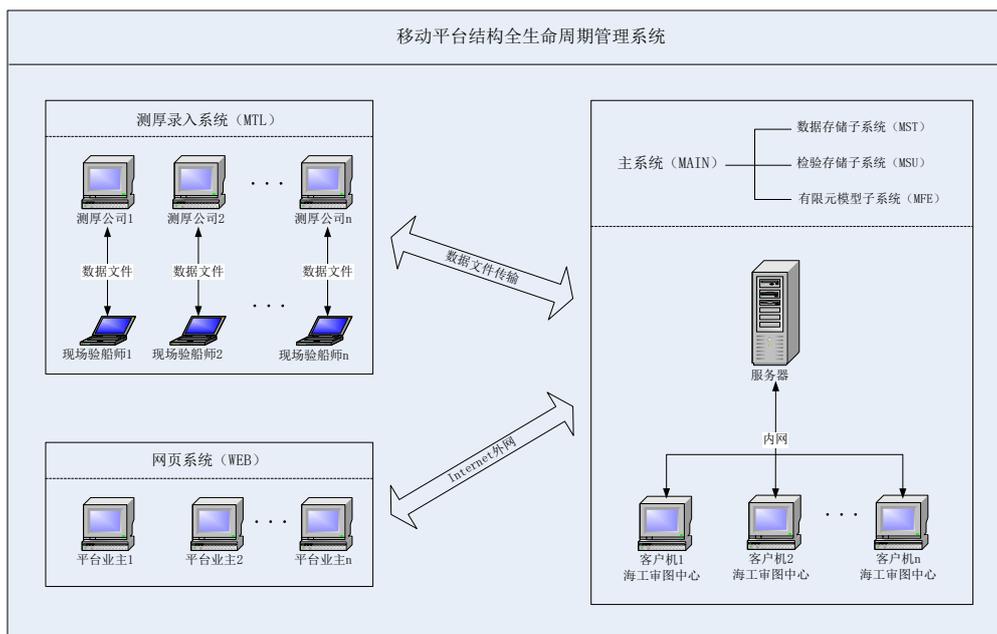
2.1.1.1 移动平台结构全生命周期管理系统(简称 MSER 系统, Model, Survey, Emergency Response), 为中国船级社基于结构完整性管理思想开发。

2.1.1.2 MSER 系统以海上移动平台的结构有限元模型为核心, 以数据、评估、检验计划和检验实施 4 要素的结构完整性管理理念为构架, 集数据管理、计算评估、规范校核、检验计划管理和发布于一身, 可实现对移动平台从设计、建造、检验、改造到日常运营的全生命周期结构安全管理, 为平台管理者的科学决策、平台的定期维修保养、主管部门的检验等提供技术支持, 对平台的安全运营和科学管理具有重要意义。

### 第2节 系统构成

#### 2.2.1 系统网络结构

2.2.1.1 系统的网络结构如附图 2.2.1.1 所示。



附图 2.2.1.1 系统网络结构图

#### 2.2.2 系统功能模块

2.2.2.1 主系统 (MAIN 系统) 的用户为 CCS 海洋工程技术中心, 包括以下几个部分:

(1) 数据存储子系统 (MST 子系统), 存储移动平台原始建造以及历次改造图纸资料、记录、数据, 还可存储各海域的作业点位的海洋环境条件资料以及平台作业历史资料, 以方便用户积累、查看、下载平台的相关技术资料。

(2) 检验存储子系统 (MSU 子系统), 存储移动平台历次测厚、无损探伤等检测资料、现场验船师的历次检验资料, 使用户方便的了解平台目前结构状态, 并重点关注平台腐蚀严重区域、变形严重区域等危险位置, 为平台维护、保养提供指导。

(3) 有限元模型子系统 (MFE 子系统), 使用 MST 中平台图纸资料建立平台的有限元

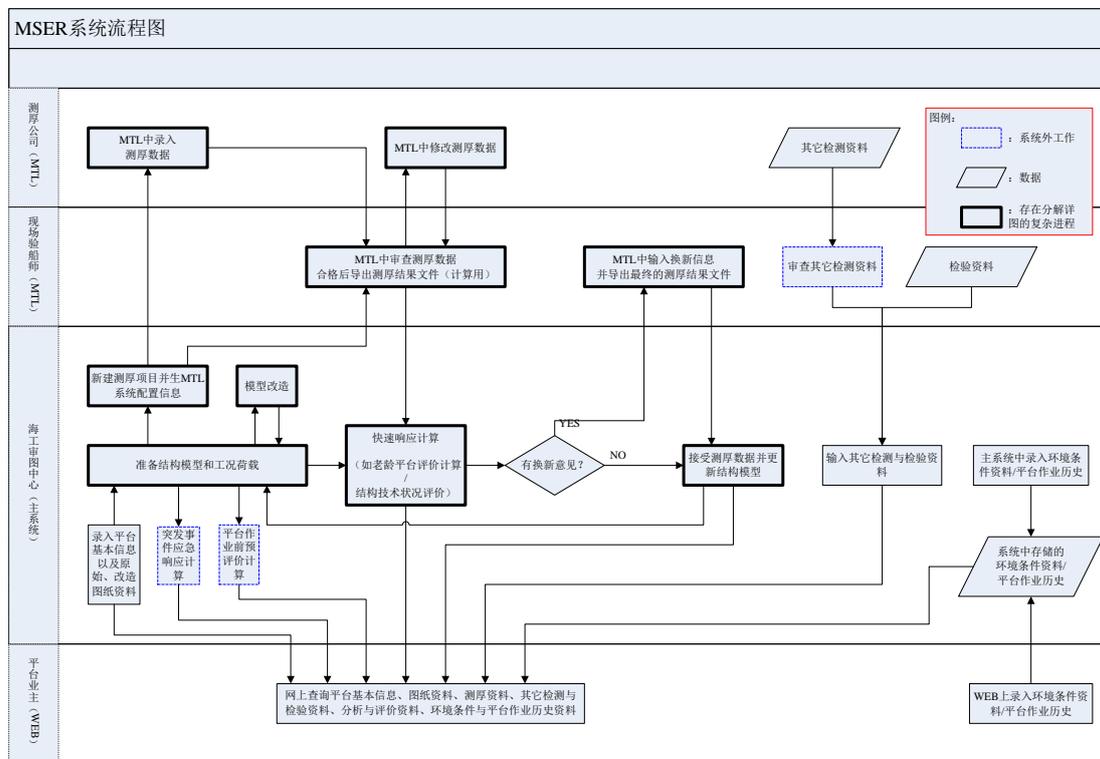
模型，经过初始化流程后存储在 MFE 子系统之中，当启动一个老龄移动平台结构评估计算或平台结构技术状况评价工作时，系统可调用 MTL 系统获取的平台测厚数据自动更新平台有限元模型，基于平台最新状况进行结构强度计算，并且还可利用系统的规范校核功能自动输出规范校核计算结果，从而使系统的有限元计算具备了快速响应能力。同时，利用系统中存储的平台有限元模型，可随时进行突发事件应急响应支持和平台作业前预评价计算。当平台进行大的改造时，基于改造情况可对平台有限元模型进行相应的升级改造，从而保证系统中的有限元模型与平台现状实时对应、处于随时立即可用状态。所有分析与评价计算的计算模型、规范校核结果、计算报告等资料均可存储在系统之中，以方便用户查询。

(4) 检测计划生成子系统

根据具体平台结构形式以及评估结论，系统可自动生成检验计划，包括具体检验内容和测厚计划，可供现场检验人员下载、使用。最终检验完成并经状态数据录入系统录入后，系统可自动生成检验报告和测厚报告，供用户查阅和参考。

2.2.2.2 状态数据录入系统 (MTL 系统) 的用户为测厚公司和现场验船师，它采用单机版式数据库，状态录入系统与主系统之间通过数据文件传输的形式来实现两者之间的通讯。当启动一个新的测厚项目时，主系统中首先生成针对某平台的 MTL 系统配置信息文件，并和 MTL 安装程序一起递交给指定的测厚公司，测厚公司安装 MTL 程序并导入配置信息后，就可使用 MTL 系统来采集平台构件的当前厚度数据，现场验船师也使用 MTL 系统审查测厚数据，如合格后提交给主系统用于平台的有限元计算，现场验船师结合计算反馈的换新意见以及现场本身的换新要求决定换新范围，现场换新之后可在 MTL 中输入换新信息，主系统得到这些信息之后可自动更新 MFE 子系统中的有限元模型。同时主系统中也存储了平台的历次测厚资料，方便用户了解平台构件的腐蚀历史。

2.2.2.3 系统的主要流程图如图附图 2.2.2.1 所示。



附图 2.2.2.1 系统流程图

本系统的软件核心技术为移动平台测厚数据与平台有限元模型的无缝对接。实现此核心技术，关键在于解决了以下几个问题：

(1) 保证测厚录入系统之中的平台各构件与有限元模型中的对应构件始终同步、一一对应、互相指引。为此,先建立起平台的有限元模型,并抽取模型的点线面等几何信息,在系统中重构一个平台几何模型,基于此几何模型录入测厚数据,再来更新平台有限元模型中的构件厚度值。系统中的平台几何模型在任何时候都保证是有限元模型的最新镜像。

(2) 保证测厚录入系统采集数据的准确性和快速性。系统中将平台空间几何模型按一个树状层次结构拆分成各层甲板、各道舱壁、各局部特殊构件等平面图形,并可自动对各平面图上的板、骨材按合理顺序组织成测厚数据表格。这样,系统就事先定制好了一对一、个性化的测厚范围、图纸和报表,测厚公司只需进行数据的简单输入即可。系统还提供了图表对照式的录入环境以及助理录入员同时录入、小键盘快速录入、双人互校录入、数据正确性校验等功能,并还设定了现场验船师的审查环节。从而使测厚数据能够在录入系统中被合理、有序、准确、快速地输入。

(3) 未测构件的厚度计算用值的合理推测。在实际测厚工作中,某一次的测厚不可能对平台每个部位的构件全部测到,对于未测到的构件的厚度,在测厚数据导入有限元模型时,也应推测一个合理的计算用值。系统中考虑了三种厚度推测策略:

时间策略: 追溯以前的测厚值;

空间策略: 借鉴同一舱室空间同类构件的腐蚀量;

腐蚀速率策略: 借鉴同一舱室空间同类构件的腐蚀速率。

(4) 建模软件必须具有良好的开放性。此系统的开发需要对有限元专业软件内部数据进行读取、识别、处理、回写等操作,这就要求有限元软件具有很好的开放性,允许外部程序对它进行访问和操作。

(5) 规范、统一有限元模型的建立原则。对于有限元模型的精细程序,本系统统一要求所建模型细化到板格(平台板架结构中由桁材、骨材、板相交形成的最小方格)层次,测厚公司的测厚数据同样精细到板格层次,以更精细、合理地评价平台的结构强度,特别是遭受腐蚀之后平台的剩余强度,也有利于测厚时平台构件与有限元模型中构件的准确、有序对位。同时,本系统还对模型的坐标系统、几何模型的建立方法、模型网格划分方法等建立了一套统一的作法。

### 第 3 节 系统功能及特点

#### 2.3.1 系统功能

2.3.1.1 通过数据存储、计算评估、检验计划和检验实施 4 个管理程序的集成,可实现对海上移动平台的结构完整性管理。

2.3.1.2 对海上移动平台实现连续、动态、智能化结构评估及检验,可及时、全面反映平台结构实际状态,找出存在的结构安全隐患。

2.3.1.3 通过对老龄移动平台的持续跟踪及周期性的结构安全评价,为老龄移动平台的定期维修保养提供技术支持,实现对老龄移动平台的安全运营管理。

2.3.1.4 通过系统提供的移动平台结构技术状况评价结果及现场重点检验建议,从而实现验船师的现场检验指导。

2.3.1.5 针对突发事件(如桩腿穿刺,平台拖航碰撞、锚链断裂等),对移动平台结构安全快速做出评判,并给出应急响应措施。

2.3.1.6 通过作业点位的抗风暴能力分析功能,可对移动平台能否适应新的环境条件作业做出评判,帮助平台管理者快速做出决策。

2.3.1.7 对移动平台从设计、建造、检验、改造到日常营运实现全生命周期的结构安全分析、跟踪、监控与管理。

### 2.3.2 系统特点

2.3.2.1 有限元计算具备快速响应能力。系统基于后台数据传输技术，实现了测厚数据与平台有限元计算模型的无缝对接，从而使系统的平台有限元计算具备了快速响应能力，能够及时有效地将计算分析的结论、建议反馈给平台的修理或改造施工。当平台出现突发事件时，可快速做出结构安全评判，给出应急响应措施。

2.3.2.2 使测厚工作标准、规范、高效化。系统提供了一个针对测厚的统一工作平台，并事先定制好了一对一、个性化的测厚范围、图纸和报表，从而实现了测厚工作的标准化、规范化、高效化。

2.3.2.3 移动平台结构安全的全生命周期管理。系统集中了平台的原始设计、历次改造/修理的图纸资料以及历次检验检测数据、有限元模型、历次计算分析资料等，基于这些完备、齐全的技术资料以及系统的结构技术状况评价、平台作业前预评价、突发事件应急响应、老龄移动平台的评价与管理等功能，从而实现了移动平台结构的全生命周期管理。

2.3.2.4 系统对各种类型的移动平台具有良好的通用性。本系统是一个通用的系统，对于不同类型的平台，如自升式平台、坐底式平台、柱稳式平台、水面式平台等由有限元软件建立的结构模型，此系统均可实现处理。

## 第 4 节 系统应用

### 2.4.1 应用实践

2.4.1.1 此系统自 2011 年开发完成以来，经过多年的应用实践，共完成海上移动平台的结构状态定期评估与检验支持 80 余座次、点位作业适应性分析 200 余次、结构改造分析 10 余次及应急响应分析 50 余次，证明系统运行稳定、结论可靠，为平台作业者创造了巨大的经济效益。

### 2.4.2 应用前景

2.4.2.1 海上移动平台结构完整性管理理论及系统开创了海上移动平台结构安全管理的新模式，必将有力促进海上移动平台的安全营运和科学管理。

### 2.4.3 申请及责任

2.4.3.1 申请加入 MSER 系统的海上移动平台，应由 CCS 建立结构状态评价有限元模型，并纳入 MSER 系统，供日后向平台管理方提供相关技术服务。

2.4.3.2 未申请加入 MSER 系统的海上移动平台，如需要应用本指南所提供的服务，均需由申请人向 CCS 提交书面申请，并提供本项服务所需的图纸和技术文件。

2.4.3.3 申请人应至少于检验及检测开始前 3 周通知 CCS，并根据 CCS 提供的检验计划安排检验所必需的条件。

2.4.3.4 申请人应根据本指南的有关要求，安排相应的检测和检验。CCS 应对超声波测厚、无损探伤、水下检测、设备检查和实验等活动进行监督，以协助平台管理方保证检测数据和检验结果的正确性和公正性。

2.4.3.5 申请人应为 CCS 提供必要的工作条件，以及实施现场检验和监督的便利，并有义务要求其分包方配合 CCS 的工作。

2.4.3.6 申请人需按合同支付有关费用。