



指导性文件

GUIDANCE NOTES

GD XX-2012

中国船级社

海上移动平台结构状态动态评价 及应急响应服务指南

**GUIDELINES FOR STRUCTURAL
CONTINUOUS ASSESSMENT AND
EMERGENCY RESPONSE SERVICE
OF MOBILE OFFSHORE UNITS**

2012

中国船级社

2013 年 4 月

目 录

第 1 章 通 则	1
1.1 适用范围.....	1
1.2 目的.....	1
1.3 图纸和资料.....	2
1.4 接受标准.....	2
1.5 申请及责任.....	2
第 2 章 海上移动平台结构完整性管理思想	4
2.1 定义.....	4
2.2 数据.....	4
2.3 评估.....	4
2.4 检验计划.....	6
2.5 检验实施.....	6
第 3 章 海上移动平台的结构检验	7
3.1 一般规定.....	7
3.2 结构的检验.....	7
第 4 章 海上移动平台结构状态动态评价内容	10
4.1 一般规定.....	10
4.2 整体性能和强度评价.....	10
4.3 局部强度评价.....	12
4.4 疲劳强度评价.....	13
4.5 稳性评价.....	14
第 5 章 海上移动平台结构状态动态评价方法	17
5.1 一般规定.....	17
5.2 自升式平台桁架桩腿的水动力计算.....	17
5.3 自升式平台船体-桩腿连接的有限元建模技术.....	20
5.4 自升式平台的深水动力响应计算.....	22
5.5 自升式平台桩腿与土壤的相互作用模拟计算.....	23
5.6 地基稳定性分析.....	24

5.7 半潜平台的水动力计算.....	27
5.8 半潜平台设计波的确定.....	28
5.9 半潜平台系泊分析.....	32
5.10 半潜平台气隙计算.....	34
第 6 章 海上移动平台井位作业安全评估	35
6.1 一般规定.....	35
6.2 海上自升式平台井位作业安全评估.....	35
6.3 海上半潜式平台井位作业安全评估.....	38
第 7 章 海上移动平台应急响应服务（MODU-ERS）	40
7.1 一般规定.....	40
7.2 应急响应的种类.....	40
7.3 应急响应的一般程序.....	40
7.4 应急响应服务的后管理.....	41
7.5 CCS 海上移动平台应急响应服务（CCS-MODU-ERS）介绍.....	41
第 8 章 MSER 系统介绍.....	44
8.1 系统简介.....	44
8.2 系统构成.....	44
8.3 系统功能及特点.....	48
8.4 系统应用实践.....	49
8.5 系统应用前景.....	49
附录 1. 自升式钻井平台井位作业安全评估案例	50

第 1 章 通 则

1.1 适用范围

1.1.1 海上移动平台在寿命期内需要定期进行结构状态评价以确定其适用性。这种状态评定通常起因于平台的改造、结构损伤，或者是由于平台载荷发生显著变化，如重量载荷或环境载荷发生变化等。

1.1.2 海上移动平台前往新的井位进行作业时，尤其是当环境条件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价，以判定是否满足新井位环境载荷的结构强度要求。

1.1.3 海上移动平台超过设计寿命进行延寿评估时，需对平台关键结构进行结构状态评价，以判定平台疲劳寿命是否满足要求。

1.1.4 海上移动平台发生突发事件（如桩腿穿刺，平台拖航碰撞、锚链断裂等），需对平台结构安全快速做出评判，并给出应急响应措施。

1.1.5 海上移动平台的结构状态动态评价及应急响应是为船东提供的技术支持服务，它是根据对平台的详细检查、厚度测量、性能测试以及分析计算等对平台实际状态进行评定的一项独立和完整的证明。

1.1.6 本指南给出了海上移动平台的结构完整性管理思想、结构状态动态评价内容及方法、井位作业安全评估流程、应急响应处理方法和程序以及海上移动平台结构全生命周期安全管理系统（以下简称 MSER 系统）的介绍。

1.1.7 本指南适用于海上移动平台的结构状态评定和应急响应计算。

1.1.8 平台龄超过 30 年的 CCS 级海上移动平台，其结构状态动态评价应满足 CCS 通函《关于加强老龄移动平台检验管理的规定》[海工营运（2009 年）通函第 3 号 总第 27 号]中的相关要求。

1.2 目的

1.2.1 海上移动平台结构状态动态评价的目的是为船东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。

1.2.2 海上移动平台应急响应计算的目的是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价，并提供应急响应措施，为船东决策提供技术支持。

1.2.3 海上移动平台结构状态动态评价也为平台结构的合理使用而进行的修理和保养提供技术依据。

1.2.4 海上移动平台结构完整性管理思想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，对平台的安全运营和科学管理具有重要意义。

1.2.5 MSER 系统通过引入结构完整性管理思想，可有效应用于海上移动平台，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。

1.3 图纸和资料

1.3.1 对于海上移动平台的结构状态动态评价，需收集相关的图纸和资料。如发生图纸和资料的缺失，则需要实地测量，申请人向本社提供的数据应准确、可靠，这些数据的测量和处理对于整体的、有计划的状态评价和维修方案极为重要。

1.3.2 对于海上移动平台的应急响应计算，申请方向本社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。

1.3.3 对于海上移动平台的井位作业安全评估，申请方向本社提供作业井位至少 50 年重现期的环境条件，包括水深、风、浪、流及海底土壤条件（需要时）。

1.3.4 所需的图纸和资料应包含：

- ① 特征数据，主要包括平台原始总体布置图、平台结构图、材料说明、甲板载荷图、操作手册及相关建造数据。
- ② 状态数据，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。

1.4 接受标准

1.4.1 海上移动平台的结构状态动态评价过程一般应依据入级船级社建造当时的规范、标准或指南。

1.4.2 海上移动平台的应急响应计算过程一般应依据入级船级社目前的规范、标准或指南以及国际、国内公认的规范、标准或指南。

1.4.3 海上移动平台的井位作业安全评估过程一般应依据入级船级社建造当时的规范、标准或指南以及国际、国内公认的规范、标准或指南。

1.5 申请及责任

1.5.1 申请加入 MSER 系统的海上移动平台，应由我社海工审图中心建立结构状态动态评价有限元模型，并纳入我社 MSER 系统，供日后向船东提供相关技术服务。

1.5.2 未申请加入 MSER 系统的海上移动平台，如需要本指南所提供服务，均需由申请人向本社海工审图中心提交书面申请，并需提供本项服务所需的图纸和技术文件。

1.5.3 申请人应至少于检验及检测开始前 3 周通知本社，并根据本社海工审图中心提供的检

验计划安排检验所必需的条件。

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

1.5.5 申请人应为本社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本社的工作。

1.5.6 申请人需按合同支付有关费用。

第2章 海上移动平台结构完整性管理思想

2.1 定义

海上移动平台结构完整性管理概念定义为保证海上移动设施从投入运营到退役期间全生命周期过程的适用性评价系统，当平台发生改造、损伤、载荷变化、井位抗风暴分析、延寿及应急响应时，此系统可实现对平台结构快速、连续及动态评估，并为平台的结构损伤评价、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。海上移动平台的结构完整性管理核心程序如图 2-1 所示。



图 2-1 海上移动平台结构完整性管理框架程序

从图 2-1 可以看出，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、评价、计划和执行。

2.2 数据

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。特征数据主要包括平台完工初始状态时的信息，完工图纸和文件资料、建造数据等；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。这些数据应能全面、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。

2.3 评估

评估是评价最新得到的平台数据对平台结构完整性管理影响的过程，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。评估可包括如下方面内容：① 平台改造，使得平台结构发生变化；② 平台结构发生损坏；③ 平台载荷发生显著变化，包括重量载荷或环境载荷；④ 平台作业井位的抗风

暴能力分析；⑤ 平台的延寿评估；⑥ 其它应急响应。

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、气隙、风、浪、流等)，采用有限元直接计算为主、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，有限元模型是评估的核心。

评估时应输入最新得到的平台数据，根据平台操作手册规定的环境条件对平台结构强度进行校核计算，依据的规范标准为建造时所入级的船级社规范、标准。

评估内容应包括平台的整体强度、局部强度、疲劳强度及稳性等内容。

当评估不能通过时，需对平台进行加强或采取减缓措施，包括降低可变载荷、降低使用环境条件等。

评估流程如图 2-2 所示。

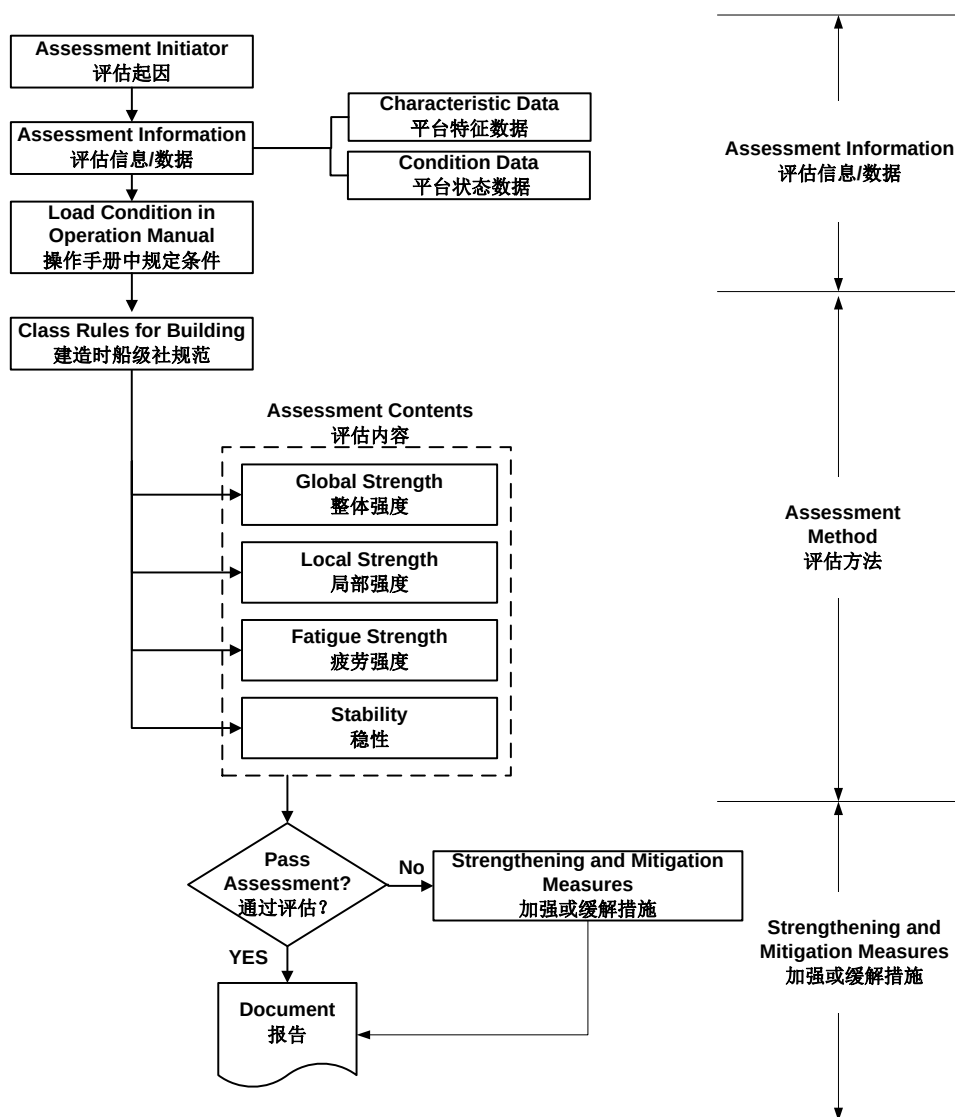


图 2-2 海上移动平台结构评估流程

2.4 检验计划

海上移动平台的结构检验一般可在坞检或修理检验时完成,可结合船级社的检验要求进行,也可根据实际情况进行临时的检验。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,包括检验的周期和范围安排,一般几年为一个周期,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。检验计划要求的范围至少应包括:

- ① 主要结构及连接部分的检查;
- ② 主要结构及连接部分的测厚及探伤;
- ③ 平台结构的腐蚀和变形情况;
- ④ 主要舱室的结构压力试验;
- ⑤ 内部和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;
- ⑧ 其它特殊区域检查。

此外,测厚的范围和精度应满足评估建模所需的数据要求。

2.5 检验实施

根据检验计划的要求,完成相应的现场检验工作,并完成对平台结构的维护、修理及加强和缓解措施,最终的数据应反馈到完整性管理的数据系统,从而维持平台数据的最新状态,实现结构完整性管理的一个循环。通过定期的此种评估循环,可实现对海上移动平台全生命周期的结构完整性管理。

综上所述,海上移动平台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价、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了全生命周期的技术保证。

第3章 海上移动平台的结构检验

3.1 一般规定

3.1.1 海上移动平台的结构检验一般可在坞检或修理检验时完成，可结合船级社的检验要求进行，也可根据实际情况进行临时的检验。

3.1.2 检验计划应根据评估结论制定，一般几年为一个周期，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。

3.1.3 本社海工审图中心应根据实际情况在检验之前会同业主编制详细的检测和检验计划。

3.1.4 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，对平台结构的检测和检验结果是对平台结构进行动态评价的重要依据。

3.1.5 海上移动平台的结构检验应在 CCS 验船师的监督下完成。

3.2 结构的检验

3.2.1 应对平台主体的暴露部分、甲板、甲板室、上层建筑、和与甲板相连的结构包括钻井或处理装置的支撑结构、井架底座、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。

3.2.2 应对平台外部结构有关项目进行检查。

3.2.3 应重点对海水压载舱进行全面外观检验，并对腐蚀区域进行测厚。

3.2.4 应对主要舱室进行结构液压试验。

3.2.5 载重线相关项目的检验，主要包括：

- ① 检查甲板线和载重线的位置；
- ② 检查主体或上层建筑影响确定载重线位置计算的任何改变；
- ③ 检查上层建筑端壁和设于其上的开口及其关闭装置；
- ④ 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；
- ⑤ 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；
- ⑥ 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；
- ⑦ 检查泄水孔、进水孔和排水孔；
- ⑧ 检查舷窗和风暴盖；
- ⑨ 检查舷樯，包括排水舷口的位置，应特别注意任何装有盖板的排水舷口；
- ⑩ 检查为保护平台人员和进出居住舱室及工作处所而设的栏杆、舷梯、通道

和其他设施。

3.2.6 水面式平台的附加检验范围

除上述适用的检验项目外，还应增加对井口（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进行检查。

3.2.7 自升式平台的附加检验范围

除上述适用的检验项目外，还应增加：

- ① 应对全部桩腿，包括弦杆、斜撑和水平撑杆、扣板、齿条、结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，应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应进行检查。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应进行外部检查；
- ④ 桩腿与底部沉垫或桩靴连接处应予以检查及无损探伤检查；
- ⑤ 应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 应对沉垫或桩靴进行检查。

3.2.8 半潜式平台的附加检验范围

除上述适用的检验项目外，还应增加对立柱及斜撑与上壳体和下壳体或片体的连接处进行检查，应对主要支承结构、斜撑、撑杆和水平撑以及扣板和肘板等结点进行检查，应对它们的内部延续结构或支承结构同时进行检查，可疑部位可要求进行无损探伤检查。

3.2.9 坐底式平台的附加检验范围

除上述适用的检验项目外，还应增加对立柱、撑杆与上、下壳体的连接处以及**抗滑桩**进行检查。可疑部位可要求进行无损探伤检查。

3.2.10 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。

3.2.10 结构测厚与探伤

3.2.10.1 一般要求

- ① 如发现结构的任何部位有显著腐蚀，对其厚度有怀疑时，均应进行测厚检查；
- ② 应对重要结点进行无损探伤检查；
- ③ 测厚范围和精度应能够满足结构评估建模的相关要求。

3.2.10.2 厚度测量

- 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 显著腐蚀区域的板以每 $1m^2$ 测 5 点，构件以每 1m 测 3 点，测量结果取平均值来确定腐蚀程度；
- ③ 如果构件存在显著腐蚀，则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 接受的资格证书；
- ⑤ 厚度测量通常应在验船师的监督下进行，以确定测量结果的准确性。验船师还可接受不在其监督下的厚度测量，但认为必要时应予抽测，以确定测量的准确性；
- ⑥ 厚度测量记录应标示测量位置、实测厚度、测厚设备的型号、测量日期、测量者签名和验船师签名。

第4章 海上移动平台结构状态动态评价内容

4.1 一般规定

4.1.1 海上移动平台结构状态动态评价一般应建立平台结构的有限元模型，根据现场检验、检测得到的最新平台状态数据，按照平台操作手册规定的环境条件对平台结构强度进行校核计算，依据的规范标准为建造时所入级的船级社规范、标准。

4.1.2 海上移动平台结构状态动态评价一般以几年为一个周期，可结合平台的坞检进行，以判定平台结构的适用性；当海上移动平台发生应急事件或有其它需求时，也可进行结构状态动态评价。

4.1.3 海上移动平台的结构状态动态评价一般包括平台整体性能和强度评价、局部强度评价、疲劳强度评价以及稳性评价。

4.2 整体性能和强度评价

4.2.1 海上移动平台整体性能和强度评价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。

4.2.2 海上自升式平台的整体性能评价主要是保证站立工作状态下的整体安全表现，包括桩腿强度、锁紧系统（升降系统）承载性能、桩靴承载性能、抗倾稳性、预压载性能及预压时齿轮的保持能力。

海上自升式平台的整体性能分析一般可采用有限元分析方法，模型可适当简化，如船体可采用相当刚度的梁进行模拟；桩腿的模拟既要保证刚度与实际桩腿刚度一致，又要保证其水动力系数 C_d 、 C_M 具有足够的精度。载荷主要分为功能载荷和环境载荷。功能载荷包括固定载荷和可变载荷；环境载荷主要包括风、波浪、海流载荷，P-Delta 效应载荷及波浪惯性力载荷，一般环境载荷要取 0 到 360 度多个方向。

桩腿强度评价主要根据有限元分析结果，根据规范要求校核屈服和屈曲校核。

锁紧系统（升降系统）的承载能力评价一般是在有限元模型中采用具有相当刚度的杆件模拟锁紧系统（升降系统），通过分析其受力大小，可校核锁紧系统（升降系统）的承载能力。

桩靴的承载能力评价是通过计算得到的最大桩腿反力，确保小于桩靴容许的压力，这样才能确保桩靴安全。

抗倾稳性是指平台在重量、浮力及海床对平台的联合作用下，抵抗因环境载荷作用而引起平台倾覆的能力。按 CCS《海上移动平台入级规范》（2012）中规定，自升式平台在作业

或自存条件下，抗倾安全系数不应低于 1.1。抗倾安全系数 K_s 可按如下公式计算，

$$K_s = \frac{M_s}{M_o}$$

式中，恢复力矩 M_s 、倾覆力矩 M_o 可表示为，

$$\begin{aligned} M_s &= M_D + M_L + M_S \\ M_o &= M_E + M_{Dn} + P\Delta \end{aligned}$$

其中， M_D 为平台自重（不包括桩腿、桩靴重量）产生的恢复力矩； M_L 为桩腿、桩靴重量产生的恢复力矩； M_S 为海床对桩靴吸附、摩擦产生的恢复力矩，此力矩除非有详细的计算，一般不予考虑； M_E 为风、浪、流对平台产生的倾覆力矩； M_{Dn} 为波浪惯性力产生的倾覆力矩； $P\Delta$ 为船体 P-Delta 效应产生的倾覆力矩。

预压载能力是评价平台最大压载能力对桩腿产生的压力是否能够达到预压载要求的能力。平台所需的压载量可按如下公式计算，

$$P_{Preload} = P_{reaction} \times 3 - W_{hull} - W_{L\&C} - W_{Variable}$$

其中， $P_{Preload}$ 为平台所需压载量； $P_{reaction}$ 为有限元计算得到的最大桩腿反力； W_{hull} 为空船（不包括桩腿、桩靴重量）重量； $W_{L\&C}$ 为桩腿、桩靴重量； $W_{Variable}$ 为可变载荷重量，平台预压载能力应留有一定的安全余量。

预压时齿轮的保持能力评价是指自升式平台在最大预压载时，分析齿轮所受载荷是否超过齿轮承载极限，确保齿轮安全工作。

4.2.3 海上自升式平台的整体强度评价是分析船体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。船体强度的失效形式主要为船体板或梁发生屈服、屈曲，受力主要工况可分为站立工况和拖航工况。站立工况下，预压载和悬臂梁外伸状态，船体受力最大，预压载时，船体压载舱和甲板的应力较高；悬臂梁外伸作业时，悬臂梁底座处主甲板及舱壁受力较大，且围阱周围的结构应力较高；拖航工况下，桩腿和固桩结构的应力较高。

4.2.4 海上半潜式平台的运动性能分析是按照平台设计的环境条件，如操作手册规定的随机波谱，预报平台短期时间内的运动响应最大值以及平台的水动力载荷，为平台整体或局部结构设计提供输入。半潜平台的运动性能预报一般采用频域或时域的方法进行计算。

4.2.5 海上半潜式平台的整体强度评价是分析平台目前整体结构状态在重量载荷及环境载荷

的作用下是否满足规范结构强度要求。海上半潜式平台的整体强度评价一般采用设计波分析方法, 首先应根据平台结构载荷特性, 即横向分离力、纵向剪力、扭矩、上甲板纵向加速度、上甲板横向加速度及上甲板垂向加速度, 确定使得各自变量达到最大值的设计波; 然后根据设计波计算得到的水动力载荷加载到平台的有限元模型上, 分析平台在各工况下的应力响应; 最后依据规范校核平台结构的屈服和屈曲强度。

4.2.6 海上半潜式平台的系泊评价是针对半潜平台的系泊系统进行强度分析, 判定系泊目前状态是否满足规范强度要求。海上半潜式平台的系泊分析一般采用频域或时域分析方法, 计算系泊系统受到的最大拉力及平台的最大偏移, 依据规范要求和作业安全要求, 判定系泊系统的作业安全性。

4.2.7 海上半潜式平台的气隙分析是对半潜平台在各种工况下, 上船体与波峰间的距离进行计算分析, 确保平台具有足够气隙, 防止上船体受到波浪冲击。海上半潜式平台的气隙分析一般采用频域或时域分析方法, 在平台上船体下部选取典型的计算点, 分析波峰与计算点的距离, 确保满足规范要求。

4.2.8 海上坐底式平台的整体强度评价是分析坐底平台在坐底工况下, 目前结构状态在重量载荷及环境载荷的作用下是否满足规范结构强度要求。坐底平台在坐底工况下所受载荷主要为重量载荷和环境载荷, 环境载荷主要为风、浪、流载荷, 计算工况主要为作业工况和自存工况。坐底平台的整体强度评价中应特别注意 20%海底冲刷对沉垫结构强度的影响以及立柱、撑杆的强度, 此外, 还应计算分析坐底平台的坐底稳定性, 包括海底的抗沉、抗滑稳性, 确保安全系数满足规范要求。

4.3 局部强度评价

4.3.1 海上移动平台局部强度评价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。局部结构的模型应能反映足够的结构范围, 有限元模型网格的划分应足够详细, 边界条件的设置应满足实际条件, 施加的外部载荷应能够反映实际载荷状态。海上移动平台局部结构强度应满足规范屈服、屈曲强度要求。

4.3.2 海上自升式平台的局部结构强度评价一般包括固桩区、桩靴、生活楼、直升机甲板、吊机底座、悬臂梁、钻台、主机基座、其它设备底座等部位的强度分析评估。

4.3.3 海上半潜式平台的局部结构强度评价一般包括吊机底座、锚机基座、井架基座、生活楼、直升机甲板、主机基座、其它设备底座等部位的强度分析评估。半潜平台局部结构强度评价中对于载荷的考虑应包括由于平台运动产生的惯性力。

4.3.4 海上坐底式平台的局部结构强度评价一般包括沉垫、吊机底座、井架基座、生活楼、直升机甲板、主机基座、其它设备底座等部位的强度分析评估。

4.4 疲劳强度评价

4.4.1 海上移动平台的疲劳强度评价一般根据工作海域的波浪散布图,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。

4.4.2 海上自升式平台进行疲劳评价的部位一般为桁架式桩腿的焊接节点、桩腿与桩靴的连接节点;海上半潜式平台进行疲劳评价的部位一般为立柱与上、下浮体的连接节点、撑杆与立柱、浮体的连接节点;海上坐底式平台进行疲劳评价的部位一般为立柱与上、下浮体的连接节点。

4.4.3 谱疲劳强度分析的一般过程如下:

(1) 应力幅随机变量的短期分布

一般将某一海况条件下下的交变应力过程作为均值为零的窄带平稳随机过程,则根据随机过程理论可知,其应力幅服从 Rayleigh 分布,概率密度函数为,

$$p_s(S) = \frac{S}{\sigma_x^2} \exp\left(-\frac{S^2}{2\sigma_x^2}\right) \quad 0 \leq S < +\infty$$

式中, S 表示应力幅; σ_x 为应力幅过程的标准差。

(2) 应力幅变量的响应谱及其数字特征

设上述结构应力幅响应谱为 $G_{xx}(\omega)$, 其值可由谱分析方法得到,

$$G_{xx}(\omega) = |H_\sigma(\omega)|^2 \cdot G_{\eta\eta}(\omega)$$

式中, $|H_\sigma(\omega)|^2$ 为应力幅频率传递函数, $G_{\eta\eta}(\omega)$ 为波能谱, 一般可采用 P-M 谱, 即,

$$G_{\eta\eta}(\omega) = \frac{H_S^2}{4\pi} \left(\frac{2\pi}{T_Z}\right)^4 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{1}{\pi} \left(\frac{2\pi}{T_Z}\right)^4 \omega^{-4}\right)$$

设 m_0 , m_2 分别为应力幅响应谱的 0 次矩和 2 次矩, 则有,

$$m_n = \int_0^{+\infty} \omega^n G_{xx}(\omega) d\omega \quad n = 0, 2$$

则根据随机过程理论, 应力幅变量的标准差可表示为,

$$\sigma_x = \sqrt{\int_0^{+\infty} G_{xx}(\omega) d\omega} = \sqrt{m_0}$$

应力幅单位时间内的出现次数为,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}}$$

(3) Miner 疲劳累计损伤

当疲劳载荷谱是用相应于一定时间期间的连续概率密度函数表示时, 疲劳累积损伤度的计算可表示为,

$$D = \int_L \frac{dn}{N} = \int_0^{+\infty} \frac{N_j p_s(S) dS}{N} = N_j \int_0^{+\infty} \frac{p_s(S)}{N} dS$$

其中, N 是应力范围为 S 的单一循环载荷作用下达到破坏所需的循环次数, N_j 是一年期间内第 j 个海况下应力范围的总循环次数, 其值一般可表示为,

$$N_j = 31536 \times 10^3 \times P\% \times f_0$$

其中, $P\%$ 为波浪散布图中第 j 个海况出现的概率。

对于 S-N 曲线可根据计算节点的不同位置按规范进行选取。

考虑波浪入射方向为艏向、斜向和垂向, 且出现频次各占 1/4、1/2 和 1/4, 并根据一年中工作海域的波浪散布图, 可累计得到平台的疲劳损伤, 即,

$$D = \frac{1}{2} \sum_j \left(N_j \int_0^{+\infty} \frac{p_s(S)}{N} dS \right)_{Diagonal} + \frac{1}{4} \left[\sum_j \left(N_j \int_0^{+\infty} \frac{p_s(S)}{N} dS \right)_{Bow} + \sum_j \left(N_j \int_0^{+\infty} \frac{p_s(S)}{N} dS \right)_{Beam} \right]$$

因此, 其疲劳寿命为,

$$T_{life} = 1/D$$

4.5 稳性评价

4.5.1 海上移动平台的稳性评价一般包括平台的完整稳性评价、破损稳性评价、坐底稳性和沉浮稳性。

4.5.2 本节提到的稳性衡准要求为 CCS《海上移动平台入级规范》(2012) 中的要求。

4.5.3 海上移动平台的完整稳性和破损稳性评价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、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。海上移动平台的完整稳性衡准要求为：

- (1) 对自升式平台，至第 2 交点或进水角处的复原力矩曲线下的面积中的较小者，至少应比至同一限定角处风倾力矩曲线下面积大 40%；
- (2) 对柱稳式平台，至第 2 交点或进水角处的复原力矩曲线下的面积中的较小者，至少应比至同一限定角处风倾力矩曲线下面积大 30%；
- (3) 对坐底式平台，至第 2 交点或进水角处的复原力矩曲线下的面积中的较小者，至少应比至同一限定角处风倾力矩曲线下面积大 40%；
- (4) 复原力矩曲线从正浮至第 2 交点的所有角度范围内，均应为正值。且在所有漂浮作业工况的整个吃水范围内，经自由液面修正后的初稳性高度应不小于 0.15m。

海上移动平台的破损稳性衡准要求为：

- (1) 对自升式平台应具有足够的干舷、储备浮力和稳性，以便在任何作业或迁移工况下，任何舱室受到规定的破损，并在来自任何方向，风速为 25.8m/s (50kn) 的风倾力矩作用下，计及下沉、纵倾和横倾的联合影响后，破损水线应低于可能导致发生继续进水的任何开口的下缘。

- (2) 自升式平台在经受任何单个舱室浸水后的剩余稳性应满足下式要求，

$$RoS = \theta_m - \theta_s \geq \max \left\{ \left(7^\circ + 1.5\theta_s \right), 10^\circ \right\}$$

式中， RoS 为稳性范围； θ_m 为稳性消失角； θ_s 为单个舱室进水后的静倾角。

- (3) 对半潜式平台应具有足够的干舷和水密分隔以提供足够的浮力和稳性，使其在任何作业或迁移工况下，在受到来自任何方向、风速为 25.8m/s (50kn) 的风倾力矩作用下仍能符合下述要求：

- ① 按规定的破损后，平台倾角应不大于 17° ；
- ② 位于破损水线以下的开口应为水密，破损水线以上 4m 范围内的开口应为风雨密；
- ③ 在经受上述规定的破损后，复原力矩曲线从第 1 交点至满足②所要求的风雨密完整性范围或第 2 交点（取较小者）应至少有 7° 的范围。且在此范围内于某同一角度量得的复原力矩应至少达到风倾力矩的 2 倍。

- (4) 对坐底式平台应具有足够的干舷、储备浮力和稳性，以便在任何作业或迁移工况下，任何舱室受到规定的破损，并在来自任何方向，风速为 25.8m/s (50kn) 的风倾力矩作用下，计及下沉、纵倾和横倾的联合影响后，破损水线应低于可能导致发生继续进水的任何开口的

下缘。

4.5.4 除了完整稳性和破损稳性评价外，还应计算平台的 KG 曲线，确保平台装载安全。

4.5.5 海上移动平台的坐底稳性主要针对自升式平台和坐底式平台。

4.5.5.1 抗倾覆稳性。在坐底工况时，平台在相应工况的环境载荷作用下应具有足够的抗倾覆能力，抗倾安全系数如表 4-1 所示。计算倾覆力矩时，力臂铰接点的选取要求：

(1) 对无桩靴的自升式平台，应以泥面下 3m 处作为铰接点，也可以根据实际插桩方式合理选取铰接点；对有桩靴的自升式平台，应以预计最大入泥深度的一半处或桩靴高度的一半处（两者取小者）作为铰接点。

(2) 对具有沉垫的自升式平台、坐底式平台及其他类型平台，应以泥面处作为铰接点。

表 4-1 抗倾安全系数

工 况	自升式平台	坐底式平台
作 业	1.1	1.6
自 存	1.1	1.4

4.5.5.2 抗滑移稳性。在坐底工况时，平台在相应工况的水平载荷作用下应具有足够的抵抗水平滑动的能力。对海床土质较差的海域，其滑动面应选为沉垫或下壳体与土壤的交界面或轮廓面，不考虑地基深层滑动。平台的抗滑移稳性应满足下述要求：

$$\frac{R_H}{F_H} \geq K_H$$

式中， R_H 为抗滑力，包括土壤的粘聚力、摩擦力、被动土压力、抗滑装置产生的抗滑力；

F_H 为滑移力，包括作用在平台上所有的水平力； K_H 为抗滑安全系数，正常作业工况时应不小于 1.4，自存工况时应不小于 1.2。

4.5.5.3 地基承载力。在坐底工况时，平台在相应工况的环境载荷和重力载荷作用下，其海床地基应力应小于地基承载能力，并应防止过大的不均匀沉陷。

4.5.6 海上移动平台的沉浮稳性主要针对坐底式平台，沉浮稳性的衡准要求为：

(1) 在整个下沉过程中，经自由液面修正后的初稳性高，对均匀沉浮应不小于 0.15m，对倾斜沉浮应不小于 0.05m；

(2) 沉浮稳性计算中的计算水深应计入平台陷入海床的深度。

第5章 海上移动平台结构状态动态评价方法

5.1 一般规定

5.1.1 本章主要阐述自升式平台、半潜式平台结构状态动态评价的主要关键技术点的解决方法，坐底式平台的评价计算也可参考部分内容。

5.2 自升式平台桁架桩腿的水动力计算

5.2.1 波流荷载

作用在 $\lambda > 5D$ 的小尺度构件上的波浪和海流荷载可用如下莫里逊(Morison)公式计算。

$$\Delta F = \Delta F_{drag} + \Delta F_{inertia} = 0.5\rho DC_D v_n |v_n| + \rho C_M A \dot{u}_n$$

其中，拖曳力如下：

$$\Delta F_{drag} = 0.5\rho DC_D v_n |v_n|$$

惯性力如下：

$$\Delta F_{inertia} = \rho C_M A \dot{u}_n$$

式中， ΔF 为构件垂直于其轴线方向单位长度上的波浪力； ΔF_{drag} 为构件垂直于其轴线方向单位长度上的拖曳力； $\Delta F_{inertia}$ 为构件垂直于其轴线方向单位长度上的惯性力； λ 为波长； D 为构件截面的特征尺度，如管构件的直径； ρ 为海水密度； C_D 为拖曳力系数； C_M 为惯性力系数； $v_n = u_n + V_{c_n}$ ，为垂直于构件轴线方向上的波浪水质点的速度矢量和海流速度矢量之和，即组合水质点速度； u_n 为垂直于构件轴线方向上的波浪水质点的速度； V_{c_n} 为垂直于构件轴线方向上的海流速度； $\dot{u}_n$ 为垂直于构件轴线方向上的水质点加速度； A 为构件的横截面面积。

5.2.2 自升式平台桩腿水动力模型

自升式平台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自己的莫里逊特征值（ $C_D D = C_{D_i} D_i$ ， $C_M A = C_{M_i} \pi D_i^2 / 4$ ）来进行建立，见 5.2.3。

(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来进行等效，相应的等效莫里逊特征值 $C_D D = C_{D_e} D_e$ 、 $C_M A = C_{M_e} A_e$ 。

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

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

式中： C_{D_e} 为等效惯性力系数； D_e 为桩腿的等效直径，建议取 $\sqrt{(\sum D_i^2 l_i) / s}$ ；

$C_{D_{ei}}$ 为独立构件 i 的拖曳力系数的等效值； C_{D_i} 为独立构件 i 的拖曳力系数，见 5.2.3； D_i

为构件 i 的特征尺度，见 5.2.3； l_i 为构件 i 节点中心到节点中心的长度； s 为桩腿一个节距的长

度； α_i 为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 5-1； β_i 为构件从水平面倾斜的角度，见图 5-1； Σ 为一个桩腿节距中所有构件的和。

对于水平和垂直构件， C_{Dei} 可进行适当简化：

垂直构件（如弦杆）， $C_{Dei} = C_{Di}(D_i/D_e)$ ；

水平构件： $C_{Dei} = \sin^3 \alpha C_{Di}(D_i l_i / D_e s)$ 。

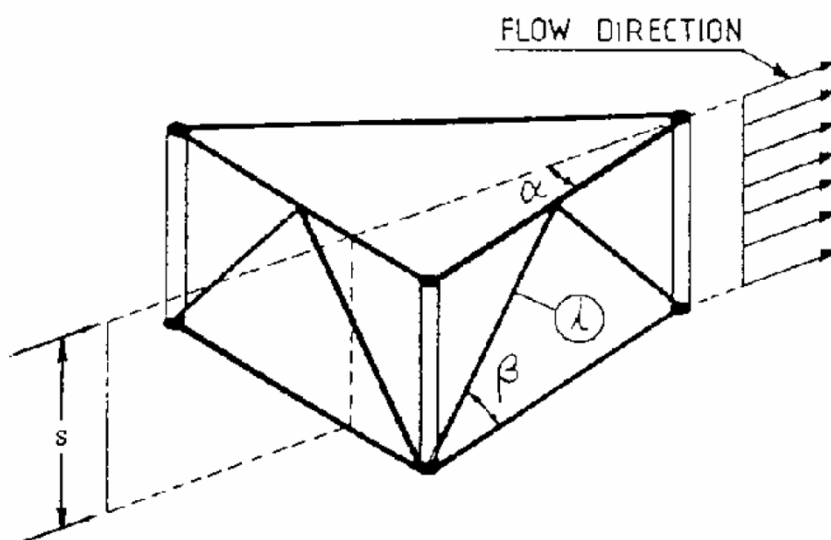


图 5-1 桁架式桩腿水动力计算示意图

$$C_{Me} A = A_e \Sigma C_{Mei}$$

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

式中， C_{Me} 为等效惯性力系数； A_e 为桩腿单位高度上的等效面积，可计算为 $(\Sigma A_i l_i)/s$ ； C_{Mei} 为独立构件 i 的惯性力系数的等效值； C_{Mi} 为独立构件 i 的惯性力系数，见 5.2.3； A_i 为独立构件 i 的等效面积，可计算为 $\pi D_i^2/4$ ，见 5.2.3。

5.2.3 自升式平台桩腿构件的水动力系数

5.2.3.1 圆管构件（直径 $< 1.5\text{m}$ ）的水动力系数的推荐值见表 4-1。

表 5-1 圆管构件的水动力系数

构件表面状况	C_{Di}	C_{Mi}
光滑	0.65	2.0
粗糙	1.00	1.8

如果考虑海生物厚度对水动力系数的影响，构件的特征尺度为：

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

式中， D_{original} 为构件的原始特征尺度， t_m 为海生物的厚度。

5.2.3.2 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,应用于水流方向上可见的节点板投影部分。与之对应,节点板的特征尺度和相应的长度见图 5-2 所示, $A = D_i l_i$, $D_i = l_i$ 。 $C_{M_i} = 1.0$, 忽略海生物厚度。

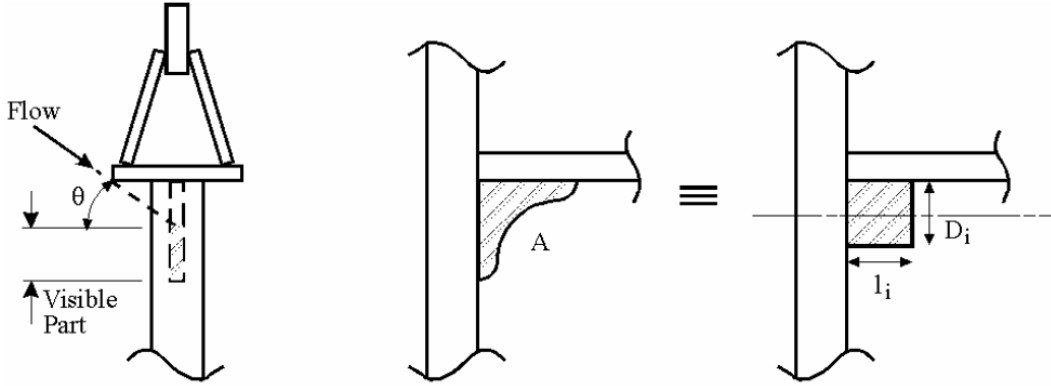
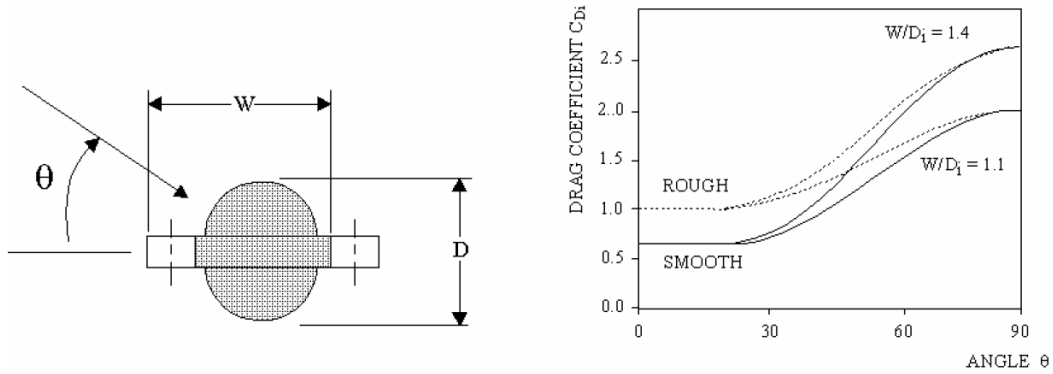


图 5-2 桁架式桩腿节点板

5.2.3.3 剖开管型桁架式桩腿弦杆的水动力系数

图 5-3 剖开管型桩腿弦杆和 C_{D_i} 典型值

对于图 5-3 所示的剖开管型桁架式桩腿弦杆, 相对于特征尺度 $D_i = D + 2t_m$, 拖曳力系数 C_{D_i} 可按下式计算:

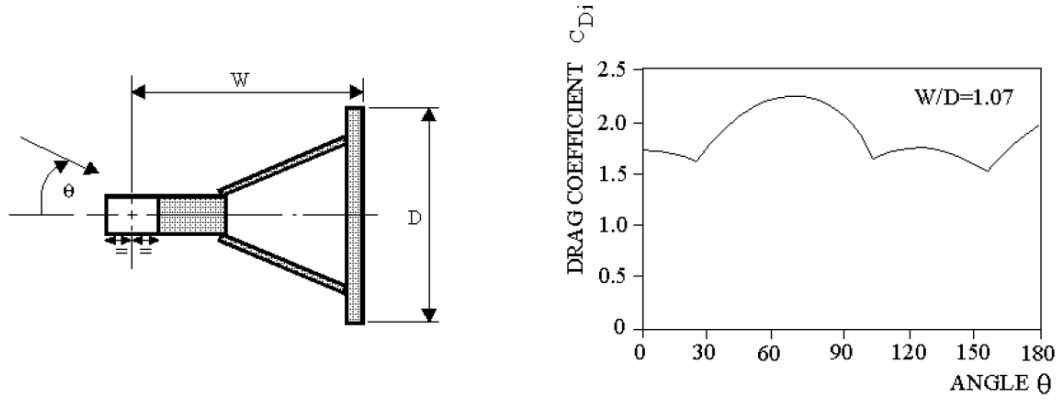
$$C_{D_i} = \begin{cases} C_{D_0} & ; 0^\circ < \theta \leq 20^\circ \\ C_{D_0} + (C_{D_1} W/D_i - C_{D_0}) \sin^2[(\theta - 20^\circ)9/7] & ; 20^\circ < \theta \leq 90^\circ \end{cases}$$

式中: θ 为波浪入射角度, 如图 5-3; C_{D_0} 为管构件的拖曳力系数, 按表 5-1 取值; C_{D_1} 为相对于投影直径 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 $\pi D_i^2/4$, 惯性力系数 $C_{M_i} = 2.0$, 可应用于所有水流入射角度和构件表面状况。

5.2.3.4 三角型桁架式桩腿弦杆的水动力系数

图 5-4 三角型桩腿弦杆和 C_{D_i} 典型值

对于图 5-4 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} 可按式计算：

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

投影直径 $D_{pr}(\theta)$ ，可按式计算：

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

遮蔽一半齿条板时的角度 $\theta_o = \tan^{-1}(D/(2W))$ 。

针对投影直径的拖曳力系数 $C_{D_{pr}}$ ，可按式计算：

$$C_{D_{pr}} = \begin{cases} 1.70 & ; \quad \theta = 0^\circ \\ 1.95 & ; \quad \theta = 90^\circ \\ 1.40 & ; \quad \theta = 105^\circ \\ 1.65 & ; \quad \theta = 180^\circ - \theta_o \\ 2.00 & ; \quad \theta = 0^\circ \end{cases} \quad (\text{对于中间角度可进行线性插值})$$

相对于构件的等效面积 $\pi D_i^2/4$ ，惯性力系数 $C_{M_i} = 2.0$ （当作一平板），可应用于所有水流入射角度和构件表面状况。

5.2.3.5 对于其它截面类型的桩腿弦杆的水动力系数，应依据相关的文献资料和/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）。

5.3 自升式平台船体-桩腿连接的有限元建模技术

5.3.1 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应以线性弹簧或自由度释放方式，模拟成约束主弦杆、导向结构相接触的水平方向上的位移。下导向结构相对桩腿的名义位置可由桩腿入泥深度、水深、

气隙的总和来决定,但当评估桩腿的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跨距正中间的这两种位置。

5.3.2 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线性弹簧或悬臂梁方式,模拟成抵御垂直荷载和相应的水平荷载。在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。

5.3.3 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、水平支撑刚度以线性弹簧或悬臂梁方式,模拟成抵御垂直荷载和水平荷载。下面推荐一种用于模拟锁紧系统与桩腿连接的线性弹簧刚度系数的计算方法:

$$K_{ry} = \frac{1}{1/K_{ry_fix} + 1/K_{ry_leg}}$$

$$K_{rz} = \frac{1}{1/K_{rz_fix} + 1/K_{rz_leg}}$$

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

其中,

$$K_{ry_fix} = 3EI_{leg_y}/L_1$$

$$K_{rz_fix} = 3EI_{leg_z}/L_1$$

$$K_{ry_leg} = 3EI_{leg_y}/L_2$$

$$K_{rz_leg} = 3EI_{leg_z}/L_2$$

式中, K_{ry} 为锁紧系统与桩腿连接的 y 向转动刚度系数; K_{rz} 为锁紧系统与桩腿连接的 z 向转动刚度系数; K_v 为锁紧系统与桩腿连接的垂向位移刚度系数; E 为弹性模量; A 为桩腿截面积; K_{ry_fix} 为锁紧系统的 y 向转动刚度系数; K_{rz_fix} 为锁紧系统的 z 向转动刚度系数; K_{ry_leg} 为桩腿的 y 向转动刚度系数; K_{rz_leg} 为桩腿的 z 向转动刚度系数; K_{v_fix} 为锁紧系统的垂向位移刚度系数, 可由锁紧系统实际结构形式计算得到; I_{leg_y} 为上、下导向结构间桩腿的 y 轴截面惯性矩; I_{leg_z} 为上、下导向结构间桩腿的 z 轴截面惯性矩; L_1 为锁紧系统的垂向长度, 见图 5-5; L_2 为下导向结构距离锁紧系统的长度, 见图 5-5。

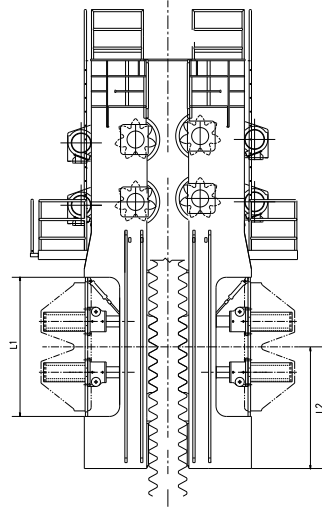


图 5-5 锁紧系统与下导向结构

5.3.4 缓冲垫与桩腿的连接模拟

浮式升降系统一般在每个升降房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向上、向上运动，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。

5.3.5 升降房及相关支撑与桩腿的连接模拟

升降房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。

5.4 自升式平台的深水动力响应计算

5.4.1 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，可使用如下的单自由度方法（SDOF）来考虑：

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{\left\{1 - \left(\frac{T_n}{T}\right)^2\right\}^2 + \left(2\xi\frac{T_n}{T}\right)^2}}$$

$$F_{in} = (DAF - 1)BS_{Amplitude} \quad (\text{作用于主船体重心处})$$

$$BS_{Amplitude} = \frac{(BS_{(Q-S)Max} - BS_{(Q-S)Min})}{2}$$

式中， DAF 为动力放大系数； T_n 为自升式平台的自振周期； T 为波浪周期（ $T = 0.9T_p$ ）； T_p 为峰值波浪周期； ξ 为阻尼比，一般取不大于 7%。 F_{in} 为作用于主船体重心处的惯性力；

$BS_{Amplitude}$ 为一个波浪周期内准静力基底剪力的幅度值； $BS_{(Q-S)Max}$ 为最大准静力波浪/海流基底剪力； $BS_{(Q-S)Min}$ 为最小准静力波浪/海流基底剪力。

说明：对以下情况，此 SDOF 方法可能是不保守的：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。

5.4.2 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。

5.5 自升式平台桩腿与土壤的相互作用模拟计算

5.5.1 在正常情况下，自升式平台的桩腿应假定在反弯点处铰接。

- (1) 对于带沉垫的自升式平台，反弯点可考虑位于沉垫底板的下部。
- (2) 插桩式桩腿应按海底泥面下 3m 处铰支来模拟其有限元模型的边界条件。
- (3) 对于带独立桩靴的自升式平台，作用在每条桩腿下部区域上的水平和垂直荷载的反弯点应设置于桩腿/桩靴几何垂直轴线上从桩靴底部往上的以下的一个距离值处：

- 1) 当桩靴部分入泥时，最大入泥深度的一半；
- 2) 当桩靴全部入泥时，桩靴高度的一半。

5.5.2 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：

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

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

$$\text{转动刚度系数: } K_3 = \frac{G_r B^3}{3(1-\nu)} \quad (\text{需通过迭代计算来确定})$$

式中， G_v 为针对垂向荷载的土壤剪切模量； G_h 为针对水平荷载的土壤剪切模量； G_r 为针对转动荷载的土壤剪切模量； B 为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）； ν 为泊松比。

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：

$$(1) \text{ 采用 } K_1 = \frac{2G_v B}{(1-\nu)}, K_2 = \frac{16G_h B(1-\nu)}{(7-8\nu)}, K_3 = \frac{G_r B^3}{3(1-\nu)} \text{ 作为初始弹性刚度应用于平台模型中,}$$

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 、横向力 Q_H 和旋转力矩 Q_M 后，代入下面的 F_y 公式中进行分析，如果 $F_y < 0$ ，则减小旋转刚度，重复对模型进行计算：

$$F_y = 16 \left[\frac{Q_v}{V_{Lo}} \right]^2 \left[1 - \frac{Q_v}{V_{Lo}} \right] \left[\left[1 - \frac{Q_v}{V_{Lo}} \right] - \left[\frac{Q_H}{H_{Lo}} \right]^2 \left[\frac{Q_M}{M_{Lo}} \right]^2 \right]$$

式中， V_{Lo} 为预压载时单桩最大垂向荷载；

对于砂土： $H_{Lo} = 0.12V_{Lo}$ ， $M_{Lo} = 0.075V_{Lo}B$ ；

对于粘土： $H_{Lo} = c_{uo}A + (c_{uo} + c_{ul})A_s$ ， $M_{Lo} = 0.1V_{Lo}B$ ；

c_{uo} 为最大承载面（泥面以下 D ， D 为从泥面到桩靴最大承载面的距离）处的土壤不排水粘

性剪切强度； c_{ul} 为桩靴最底部处的土壤不排水粘性剪切强度； A 为桩靴有效承载面积，取桩靴和土壤接触的承载面的最上部分的横截面的面积； A_s 为桩靴埋深区域的侧向投影面积；

(3) 重复(2)的计算，直到平台每个桩靴计算得到的 $F_y > 0$ ，如果 Q_M 减小到零，值 F_y 仍小于零，则此计算失败；

(4) 如果(1)中首次计算得到的 (Q_v, Q_H, Q_M) 即让 $F_y > 0$ ，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：

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

$$r_f = \frac{\left\{ \left[\frac{Q_H}{H_{Lo}} \right]^2 + \left[\frac{Q_M}{M_{Lo}} \right]^2 \right\}^{0.5}}{4 \left[\frac{Q_V}{V_{Lo}} \right] \left[1 - \frac{Q_V}{V_{Lo}} \right]}$$

当 $r_f > 1$ 时，表明依据 (Q_v, Q_H, Q_M) 计算的 $F_y < 0$ 。

5.6 地基稳定性分析

5.6.1 自升式平台进入井位作业前，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。

5.6.2 预压载分析

自升式海洋平台就位之后，需进行预压载。预压是通过压载水施加重量载荷，使平台桩靴的对地压力达到操作手册规定值。预压载分析是确保下风向桩脚处的地基稳定性，可按如下公式确定：

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

式中， ϕ_s 为许用系数，可取为 0.9； V_{Lo} 为单桩预压载量； Q_v 为平台站立状态下的下风向桩脚反力，可由以下公式计算：

$$Q_v = V_D + V_L + 1.15(V_E + V_{Dn})$$

其中， V_D 为船体重量引起的桩脚反力； V_L 为最大可变载荷引起的桩脚反力； V_E 为风、浪、流及 P-Delta 效应引起的桩脚反力； V_{Dn} 为波浪惯性力引起的桩脚反力；式中系数 1.15 是考虑环境因素的不确定性给出的放大系数。

5.6.3 土壤承载力分析-基础铰支

土壤承载力分析是指地基能够抵抗自升式平台桩脚在横向、垂向载荷作用下的下沉、滑移能力。本节提供的方法适用于平台模型边界条件为铰支的情况。

5.6.3.1 下风向桩脚处的土壤承载力

处于下风向桩脚处的地基应满足如下公式：

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

式中, ϕ_s 为许用系数, 可取为 0.9; 向量 $\vec{Q}_{VH}$ 为下风向桩脚的横向、垂向反力, 可按如下公式计算:

$$\vec{Q}_{VH} = \vec{VH}_D + \vec{VH}_L + 1.15(\vec{VH}_E + \vec{VH}_{Dn})$$

式中, 向量 $\vec{VH}_D$ 为船体重量引起的横向、垂向桩脚反力; $\vec{VH}_L$ 为最大可变载荷引起的桩脚横向、垂向反力; $\vec{VH}_E$ 为风、浪、流及 P-Delta 效应引起的桩脚横向、垂向反力; $\vec{VH}_{Dn}$ 为波浪惯性力引起的桩脚横向、垂向反力。

向量 $\vec{F}_{VH}$ 为海底地基的横向、垂向承载能力, 可按如下公式计算:

$$F_{VH} = A \left\{ 0.5\gamma' B N_\gamma S_\gamma d_\gamma \left[1 - (F_H / F_{VH})^* \right]^{m+1} + p_0' N_q S_q d_q \left[1 - (F_H / F_{VH})^* \right]^m \right\} \text{— 砂土}$$

$$F_{VH} = A \left\{ N_c c_u S_c d_c \left[1 - (1.5 F_H^* / N_c A c_u) \right] + p_0' N_q S_q \left[1 - (F_H / F_{VH})^* \right]^{1.5} d_q \right\} \text{— 粘土}$$

式中, A 为桩靴与土壤接触投影面积; γ' 为土壤密度; B 为桩靴直径; N_γ 、 N_q 为承载力系数; S_γ 、 S_q 、 S_c 为承载力形状系数; d_γ 、 d_q 、 d_c 为承载力深度系数; c_u 为不排水粘性剪切强度; p_0' 为积土压力, 当没有土壤回填时, p_0' 为 0; m 为桩靴支撑形状系数, 圆形一般取为 1.5。

横向承载能力可按如下公式计算:

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

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

其中, 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, 如桩靴没有完全入泥, 取为 0; h_2 为桩靴尖端入泥深度; A_s 为如泥桩靴侧向投影面积; c_{u0} 、 c_{u1} 分别为桩靴最大面积处、桩靴尖端处的不排水粘性剪切强度。

由上述两式可得到地基垂向-横向承载能力曲线, 即 $F_{VH} - F_H$ 曲线, 再乘以 ϕ_s 后可得到容许承载能力曲线, 当求得下风向桩脚处的垂向、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。

5.6.3.2 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, ϕ_s 为许用系数, 当砂土时取为 0.8, 当粘土时取为 0.64; F_H 为地基横向承载能力, 即:

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

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

5.6.4 土壤承载力分析-弹性支撑

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 5.5 节。最终得到的桩脚反力需满足①屈服极限函数值 F_Y 大于或等于零; ② Q_V, Q_H 应满足 5.6.3.1 节要求; ③抗滑力应满足 5.6.3.2 节要求; ④校核范围是平台的全部桩脚。

5.6.5 海上自升式平台的地基稳定性分析流程如图 5-6 所示。

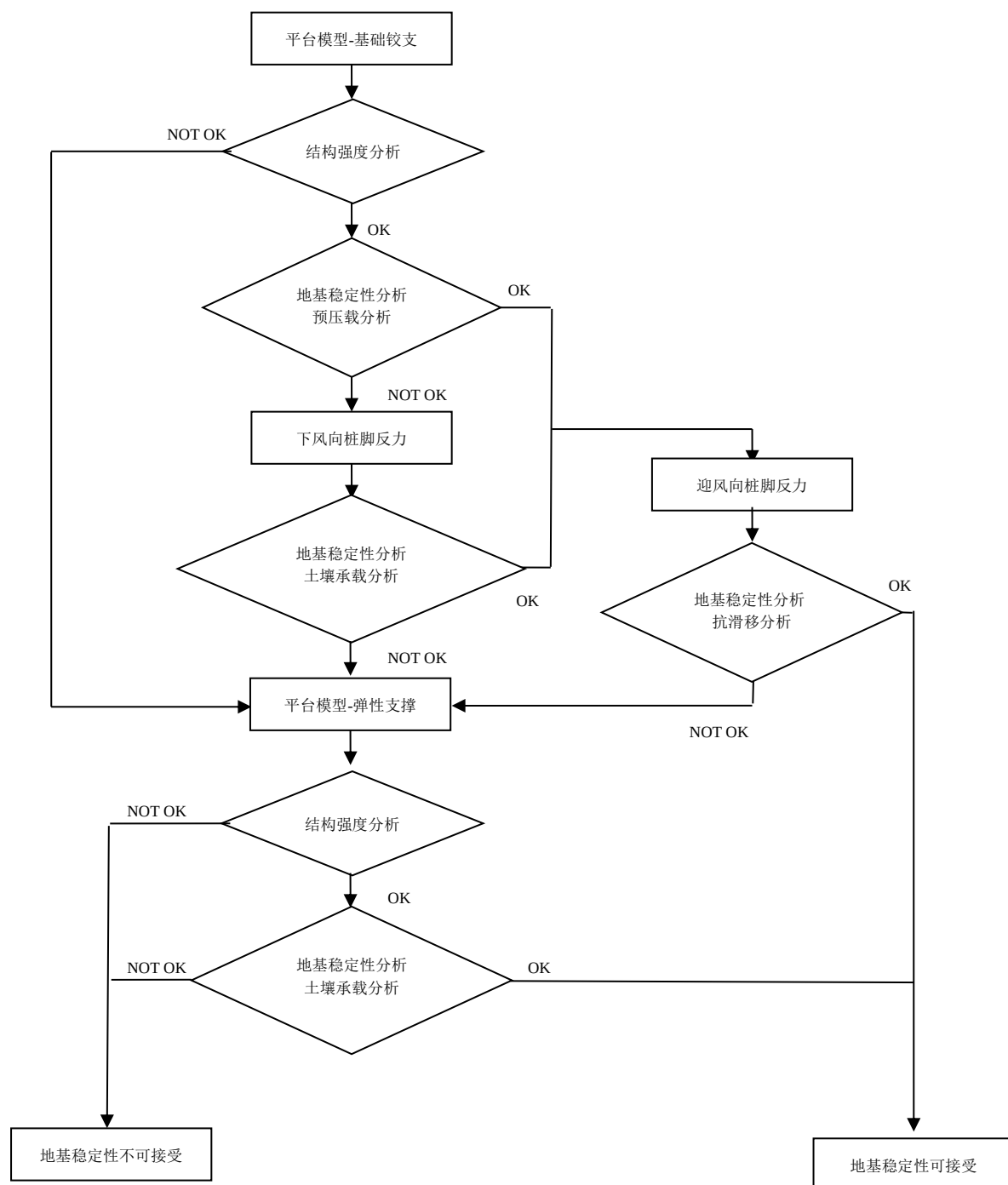


图 5-6 地基稳定性分析流程

5.7 半潜平台的水动力计算

5.7.1 半潜平台水动力 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。

5.7.2 半潜平台水动力计算应选择国际通用的水动力计算软件，建立水动力湿表面模型进行时应遵循以下规则：

- (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) 湿表面单元可推荐采用四边形单元, 为保证单元质量局部也可三角形单元形式, 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)和莫里森模型(Morison model)模拟;

(4) 莫里森模型杆件以等效圆截面形式输入, 对于水动力系数推荐: 光滑杆件 $C_d = 0.65$, $C_m = 1.6$, 粗糙杆件 $C_d = 1.05$, $C_m = 1.2$;

(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。

5.7.3 半潜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° , 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, 应充分反映传递函数曲线随周期或频率的变化趋势和最大响应幅值。

5.7.4 规则波频域计算完成后, 应核对以下内容进行验证:

- (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。

5.4.5 规则波频域计算完成后, 结果包括以下内容:

- (1) 平台附加质量和势流阻尼;
- (2) 平台各方向运动 RAO(传递函数);
- (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。

5.4.6 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向运动/载荷的频域统计结果。

5.8 半潜平台设计波的确定

5.8.1 半潜平台整体结构分析设计波的计算方法可分为随机性分析方法和确定性分析方法。

5.8.2 计算控制参数

半潜平台整体强度计算中的主要控制参数如下, 如图 5-7 所示。

- (1) 半潜平台浮箱间的分离力 F_S ;

- (2) 半潜平台浮箱间的纵向剪力 F_L ;
- (3) 半潜平台纵摇扭矩 M_T ;
- (4) 半潜平台垂向弯矩 M_B ;
- (5) 平台甲板中心纵向加速度 a_L ;
- (6) 平台甲板中心横向加速度 a_T ;
- (7) 平台甲板中心垂向加速度 a_V ;

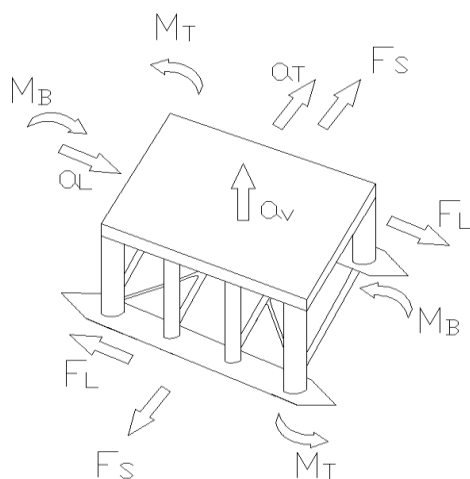


图 5-7 半潜平台的水动力响应参数

5.8.2.1 半潜平台浮箱间的分离力 F_S

当波长约为 $2B$ (B 为型宽) 横向波浪作用时, 浮箱间可能最大的分离力, 为以下结构的控制载荷:

- (1) 水平横撑;
- (2) 主甲板结构以及与立柱间的连接结构(无横撑时)。

5.8.2.2 半潜平台浮箱间的纵向剪力 F_L

当波长约为 $1.5D$ (D 为对角线长度) 的斜波作用时, 浮箱间可能产生最大的纵向剪力, 同时水平撑杆产生遭受最大弯矩作用。由于浮箱间产生最大的纵向剪力的同时还有分离力的作用, 在结构设计时应考虑多个浪向确定最危险的工况。

5.8.2.3 半潜平台纵摇扭矩 M_T

当波长约为 D (D 为对角线长度) 的斜波作用时, 浮箱间可能产生最大的纵摇弯矩, 为以下结构的控制载荷:

- (1) 水平斜撑和垂直撑杆;
- (2) 主甲板结构 (无横撑时)。

由于浮箱间产生最大纵摇扭矩的同时还有分离力的作用,在结构设计时应考虑多个浪向确定最危险的工况。

5.8.2.4 半潜平台垂向弯矩 M_B

当波长等于或稍大于 L (L 为型长)的纵波作用时,浮箱间可能产生最大的垂向弯矩,有两种可能情况:

- (1) 波峰在平台中横剖面;
- (2) 波谷在平台中横剖面。

5.8.2.5 平台甲板中心纵向加速度 a_L

最大纵向加速度产生在纵浪工况,典型半潜平台自存工况下纵向最大加速度通常为 $0.2\sim 0.25g$,操作工况下纵向最大加速度通常为 $0.1\sim 0.15g$ 。

5.8.2.6 平台甲板中心横向加速度 a_T

最大横向加速度产生在横浪工况,典型半潜平台自存工况下纵向最大加速度为 $0.15\sim 0.2g$,操作工况下纵向最大加速度通常为 $0.1\sim 0.15g$ 。

5.8.2.7 平台甲板中心垂向加速度 a_V

垂向加速度一般不会成为半潜平台控制因素,典型半潜平台自存工况下垂向最大加速度通常为 $0.2\sim 0.25g$ 。

5.8.3 随机性分析方法

5.8.3.1 不规则波波陡

不规则波的波陡定义如下:

$$S_s = \frac{2\pi H_s}{g T_z^2}$$

式中, g 为重力加速度, H_s 为不规则波有义波高, T_z 为不规则波跨零周期。

百年一遇海况不规则波波陡通常不超过以下公式确定的数值:

$$S_s = \begin{cases} \frac{1}{10}, & T_z \leq 6s \\ \frac{1}{15}, & T_z \geq 12s \\ \text{线性插值}, & 6s < T_z < 12s \end{cases}$$

5.8.3.2 特征波长 L_C 和特征周期 T_C 之间的计算公式如下:

$$L_C = \frac{g}{2\pi} T_C^2$$

5.8.3.3 规则波频域计算周期范围选取推荐位 $3\sim 25s$ 。在预计 T_C 附近周期应适当加密,周期间隔推荐为 $0.2\sim 0.5s$,以获得较为准确的 T_C ,并在较为准确 T_C 附近再次加密周期获得更准确的

T_C 。远离 T_C 的周期间隔可适当放大，推荐间隔 1~2s。

5.8.3.4 计算单位规则波波幅下的响应幅值(控制参数的 RAO)。

5.8.3.5 不规则波的确定

根据选取的波陡可确定一系列的不规则波谱，推荐不规则波跨零周期的范围为 3~18s，间隔为 0.5s 或 1s，有义波高由跨零周期和波陡确定。

5.8.3.6 计算不规则波能量谱

不规则波的能量谱由不规则波的有义波高和跨零周期计算得到，波谱形式依据作业区域海况特点可选择 JONSWAP、PM 或是其它适合波谱。

5.8.3.7 计算响应谱

响应谱由如下公式计算得到：

$$S_R(\omega) = [RAO(\omega)]^2 * S_W(\omega)$$

式中， $S_R(\omega)$ 为响应谱； $S_W(\omega)$ 为波浪谱。

5.8.3.8 计算最大响应

不规则波作用下的最大响应依据以下公式计算：

$$R_{max} = \sqrt{m_0} * \sqrt{2\ln(N)}$$

式中， m_n 是响应谱的 n 阶矩， $m_n = \int_0^\infty \omega^n * S_R(\omega) d\omega$ ，当 $n = 0$ 时为响应谱的零阶矩； N 为风暴条件持续时间内的循环次数， $N = D/T_a$ ； D 为持续时间，一般取 10800s (3 小时)； T_a 为响应的平均跨零周期， $T_a = 2\pi\sqrt{m_0/m_2}$ 。

5.8.3.9 计算设计波波幅

设计波波幅的计算公式如下：

$$A_D = F_{LOAD} * (R_{max}/RAO_C)$$
 在此处键入公式。

式中， F_{LOAD} 为荷载系数，依据不规则波浪谱对设计作业海域的适应程度，可选择 1.1~1.3； RAO_C 为 RAO 函数中周期 T_C 所对应的峰值。

因此， $2A_D$ 和 T_C 即为整体结构分析所采用的设计波高和周期。

5.8.4 确定性分析方法

5.8.4.1 规则波最大设计波高是基于规则波波陡计算得到，规则波的波陡一般由平台业主或设计者根据百年一遇规则波条件确定。

5.8.4.2 规则波波陡

规则波的波陡定义如下：

$$S = \frac{2\pi}{g} \frac{H}{T^2}$$

式中， g 为重力加速度， H 为规则波波高， T 为规则波周期。

规则波波陡通常不必超过以下公式确定的数值：

$$S = \begin{cases} \frac{1}{7}, & T \leq 6s \\ \frac{1}{7 + \frac{0.93}{H_{100}[T^2 - 36]}}, & T > 6s \end{cases}$$

式中， H_{100} 为百年一遇规则波最大设计波高。

5.8.4.3 确定特征波的方向和波长，由平台几何参数和荷载控制参数共同确定，见 5.8.2 节。

5.8.4.4 计算单位规则波波幅下的响应幅值(控制参数的 RAO)。

5.8.4.5 将 RAO 函数值与相应周期对应的波高（由周期和波陡 S 可确定波高）相乘，得到不同周期、波高下的响应值，波周期范围建议不必小于 3s 且不必超过 18s。

5.8.4.6 选取上述响应值的最大值所对应的波高和周期，即为半潜平台整体结构分析所采用的设计波高和周期。

5.9 半潜平台系泊分析

5.9.1 本节给出了半潜平台在风浪流等环境力及其它外力联合作用下的系泊系统的一般评估方法。系泊分析应采用公认的专业系泊分析软件进行，系泊分析还应遵守《海上移动平台入级规范》（2012）中关于系泊计算的相关要求。

5.9.2 评估方法

系泊系统评估方法可分为：

- （1）准静力分析法；
- （2）动力分析法，又可分为频域法和时域法。

5.9.3 计算工况

系泊系统评估应考虑下述工况：

- （1）完整作业工况
- （2）完整自存工况
- （3）破损作业工况
- （4）破损自存工况

当平台邻近有其他结构物存在时，还应对系泊平台在破损情况下的平台瞬态运动性能进行分析，包括：

- （1）瞬态作业工况

(2) 瞬态自存工况

5.9.4 环境力模拟

系泊分析时应考虑风、浪、流环境力及其它可能的外力作用。

5.9.4.1 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《海上移动平台入级规范》2012 中的规定计算得到。

5.9.4.2 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 3 个。

5.9.4.3 随机波波浪模拟时间不小于 3 小时，时间步长不大于 0.25s。

5.9.4.4 系泊分析中平均漫漂力和波频力都应予以考虑。

5.9.4.5 流力系数一般应通过模型试验的方式得到，如使用其它方法应得到 CCS 的认可。

5.9.4.6 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。

5.9.4.7 系泊缆上如有浮筒，应考虑它的水动力作用。

5.9.5 锚链腐蚀

系泊分析时应考虑锚链的腐蚀作用，在飞溅区附近的锚链和海底摩擦段的锚链直径每服役年减小 0.2-0.4 毫米；在余下的部分，锚链直径每服役年减小 0.1-0.2 毫米。

5.9.6 系泊分析衡准

5.9.6.1 偏移

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作出规定。

5.9.6.2 系泊缆张力

评估中系泊缆的最大张力应不小于以下表 5-2 中列出的安全系数。

表 5-2 系泊索安全系数

设计工况	准静力分析		动力分析	
	平台远离 其他结构物	平台邻近有 其他结构物	平台远离 其他结构物	平台邻近有 其他结构物
完整作业工况	2.70	3.00	2.25	2.47
完整自存工况	2.00	2.20	1.67	1.84
破损作业工况	1.80	2.00	1.57	1.73

破损自存工况	1.43	2.00/1.57*	1.25	1.37
瞬态作业工况	-	-	1.22	1.34
瞬态自存工况	-	-	1.05	1.16

注：*安全系数 2.0 适用于在保持系泊平台与邻近结构物隔开中起关键作用的系泊索。

5.6.9.3 系泊索长度

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。

5.6.9.4 锚系统的抓力

系泊缆靠锚端的张力不能超过锚的承载能力。

5.10 半潜平台气隙计算

5.10.1 在各种漂浮状态下，考虑半潜平台相对于海面运动后，上壳体底部与波峰之间应有一合理的间隙。

5.10.2 进行半潜平台气隙计算时，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
- （4）系泊系统的影响
- （5）波浪在立柱处的冲高影响

5.10.3 气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。

5.10.4 半潜平台的气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规范要求，平台甲板在各个工况下不会被波浪抨击。

第6章 海上移动平台井位作业安全评估

6.1 一般规定

6.1.1 海上移动平台前往新的井位进行作业时，尤其是当环境条件接近操作手册规定的极限条件时，按船东需求，需对平台结构状态进行评价，以判定是否满足新井位环境载荷的结构强度要求。

6.1.2 井位作业安全评估基于数据的准确和完整性，作业者有责任提供详细、准确的平台资料、海洋环境资料以及地质勘察资料，并且评估者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，必要时应上平台进行实际勘验。

6.1.3 目标井位海洋环境参数的确定，如风、浪、流、潮位等，对于海上移动平台的自存工况，重现期的选取一般应不低于50年。

6.2 海上自升式平台井位作业安全评估

6.2.1 结构完整性

按目标井位的环境条件对自升式平台进行结构完整性分析，一般应建立平台的有限元模型，应保证模型刚度、质量分布及载荷模拟与实际条件一致。

6.2.1.1 模型刚度

(1) 桩腿刚度

桩腿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：① 截面面积；② 截面惯性矩；③ 剪切面积；④ 扭转惯性矩。

(2) 船体刚度

船体刚度的模拟可采用简化或详细模型。简化模型可采用梁单元模拟船体，考虑实际船体结构的纵横舱壁、各层甲板及外板，可将船体模拟成为板架结构，每根梁的刚度应满足：

① 截面面积与船体结构一致；② 截面惯性矩与船体结构一致；③ 剪切面积与船体结构一致；④ 扭转惯性矩与船体结构一致。

详细模型是采用板、梁单元完全模拟平台甲板、外板、舱壁及支撑结构，单元尺寸和属性应与平台实际结构一致，此方法建模工作量较大。

(3) 桩腿-船体连接刚度

考虑平台依靠锁紧系统锁定桩腿，充分考虑桩腿和锁紧系统刚度，利用弹簧模拟桩腿与船体连接的刚度，弹簧刚度系数计算方法见第5章5.3节。

(4) 基础刚度

- ① 桩靴完全入泥情况下，基础刚度按在桩靴高度的二分之一处铰支；
- ② 桩靴未完全入泥情况下，基础刚度按入泥深度二分之一处铰支；
- ③ 如在铰支点加基础刚度模拟桩靴与土体接触，其转动刚度、垂向刚度、横向刚度可按第5章5.5节所述方法计算。

(5) P-Delta 效果

平台在环境载荷的作用下，重心会产生横向位移，重心的偏移对桩腿产生二次弯矩，船体会产生更大的横向位移。因此 P-Delta 效果减少了结构的整体刚度，即

$$K_{pd} = -W_g * L \quad \text{Nm/rad}$$

其中， K_{pd} 为桩腿支撑点的基础扭转减少刚度； W_g 为一个桩腿所承受的船体、桩腿重量； L 为桩腿支撑点到船体重心位置的垂向距离。

6.2.1.2 模型质量

模型质量分布应准确反应实际平台结构的质量分布，主要包括，

- (1) 空船质量，主要包括船体质量、设备质量及可变载荷质量；
- (2) 桩腿质量，包括桩腿本身质量、桩腿内水质量；
- (3) 桩靴质量，包括桩靴本身质量及桩靴内的水质量。

6.2.1.3 环境载荷

环境载荷主要包括风、波浪及海流载荷以及波浪惯性力载荷。环境载荷作用方向一般应取0到180度之间的多个方向。

6.2.1.4 结构完整性分析内容

井位作业的结构完整性分析内容应包括：

- (1) 桩腿强度。对桁架式桩腿的弦杆、横撑及斜撑进行屈服及稳定性校核，确保桩腿强度满足相关规范要求，应考虑齿条板10%面积对整体刚度的影响，但应力计算时不应考虑。
- (2) 锁紧装置/升降装置的承载性能。应确保最大环境条件下的锁紧装置/升降装置处所受载荷不大于锁紧装置/升降装置承载能力。
- (3) 桩靴的承载性能。应确保最大环境条件下的桩腿反力小于桩靴的设计承载能力。
- (4) 预压载性能及升降齿轮的保持能力。自升式平台的预压载能力是考核平台压载舱全部注满海水后，对桩腿产生的压力是否能够达到预压载要求的能力。预压时应确保作用于齿轮上的载荷重量不超过升降齿轮的保持能力。
- (5) 抗倾稳性。海上自升式平台在目标井位的抗倾稳性应满足第4章4.5的相关要求。

6.2.2 地基稳定性分析

地基稳定性分析是保证海床土壤能够抵抗平台桩脚在垂向、横向载荷作用下的下沉和滑移。一般自升式平台进入新的井位作业前，应进行详细的地质勘察，必要时进行工程地质取样及海底 CPT 测试。

基于完备的地质资料数据，可根据平台桩靴形状计算不同深度的土壤极限承载能力，计算公式表达如下：

$$Q = q_n A + \gamma_1 V$$

式中， Q 为土壤极限承载力； q_n 为桩靴的单位面积极限承载力； A 为桩靴平面最大投影面积； γ_1 为桩靴排出的土壤密度； V 为桩靴体积。

然后根据平台的桩脚压载量，可确定平台桩脚的入泥深度。

地基稳定性分析包括预压载分析、不同基础刚度下的土壤垂向、横向承载力分析，具体计算方法和流程可依照第 5 章 5.6 节所述方法。

此外，地基的稳定性分析一般还应包括穿刺分析，当目标井位海床存在潜在的穿刺风险时，作业者应对穿刺深度和穿刺后对平台结构损伤进行评估，并制定切实可行的穿刺应对预案。

6.2.3 其它考虑

6.2.3.1 气隙

气隙是指自升式平台在站立状态下，平台体下缘与静水面之间的净空距离。气隙一般应考虑以下两种情况：

① 探井

$$Gap = \min(C1, 1.2) + (H_1 + H_2 + H_3)$$

式中， $C1 = 0.1 * (H_1 + H_2 + H_3)$ ， H_1 为天文潮高； H_2 为风暴潮高； H_3 为设计高潮位以上的波峰高度，一般以重现期 50 年的波高计算。

② 开发井

考虑固定平台高度及井口与钻台转盘下方空间裕度。

6.2.3.2 作业水深

根据桩腿长度，自升式钻井平台作业适用水深可按如下公式计算：

$$h = L - (H + Gap + d + P)$$

式中， h 为平台可适用水深； L 为平台桩腿长度； H 为平台船体深度，指船体底板到上导向

顶部的距离； Gap 为气隙； d 为桩腿顶部预留长度，对于桁架式桩腿，当操作手册中有明确规定时，按操作手册规定预留长度，如操作手册中没有明确规定时，建议预留 1.5m 长度； P 为桩腿入泥深度。

6.2.4 井位安全评估流程

海上自升式平台的井位安全评估流程如图 6-1 所示。

6.2.5 案例

请见附录 1。

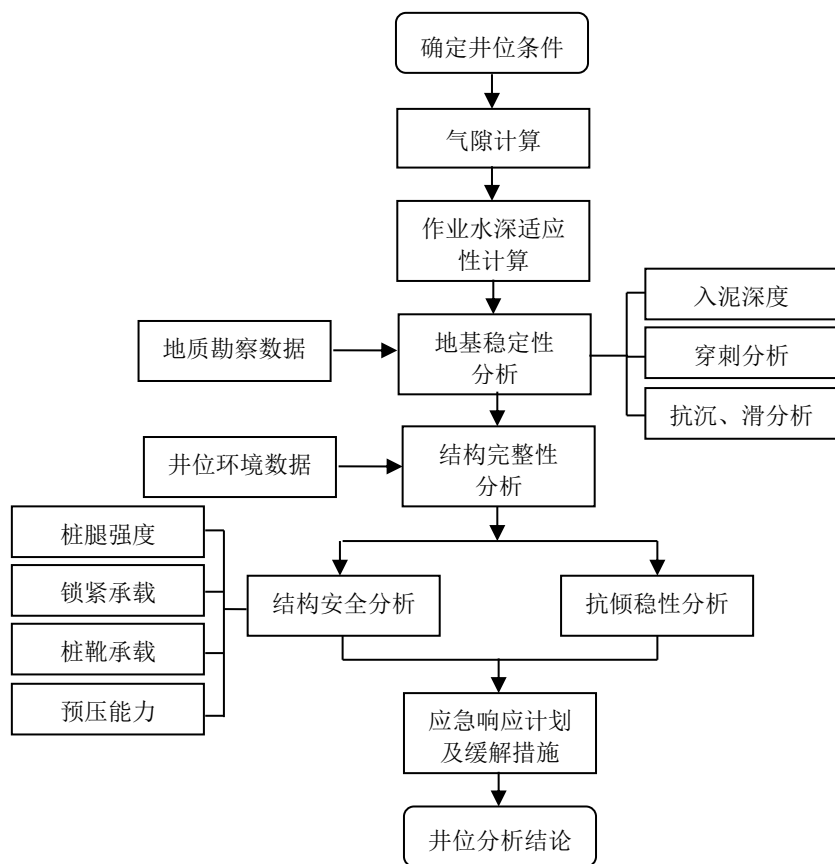


图 6-1 自升式平台井位安全评估流程

6.3 海上半潜式平台井位作业安全评估

6.3.1 海上半潜式平台的水动力计算。按照第 5 章 5.7 节所述方法预报半潜平台在目标井位的运动响应和波浪脉动压力。

6.3.2 海上半潜式平台的整体结构强度评估。利用计算得到的波浪载荷以及其他环境载荷，施加到半潜平台的整体有限元模型上，进行整体结构的强度评估。

6.3.3 海上半潜式平台局部主要结构强度评估。利用计算得到的半潜平台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，如吊机底座、锚机基座、井架基座、主机基座、其它设备底座等。

6.3.4 海上半潜式平台系泊强度评估。利用目标井位的环境条件，按照第5章第5.9节所述方法，进行系泊系统的强度评估。系泊强度评估中所采用环境条件的重现期如表6-1所示。

6.3.5 海上半潜式平台的气隙评估。利用目标井位的环境条件，按照第5章第5.10节所述方法，进行半潜平台的气隙计算，确保平台具有足够的气隙。

表 6-1 环境条件的重现期

半潜平台系泊评估	远离其它海上结构物	临近其它海上结构物
环境条件重现期（年）	5	10

6.3.6 海上半潜式平台稳性评估。利用目标井位的环境条件，对半潜平台的完整稳性和破损稳性进行评估。

6.3.7 井位安全评估流程

海上半潜式平台的井位安全评估流程如图6-2所示。

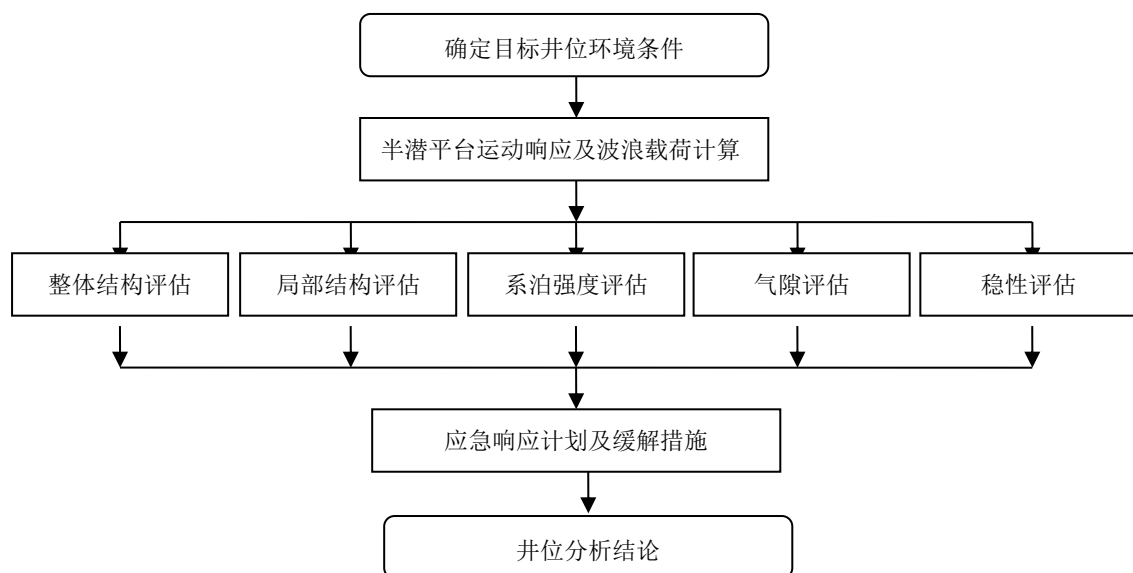


图 6-2 半潜式平台井位安全评估流程

第 7 章 海上移动平台应急响应服务（MODU-ERS）

7.1 一般规定

7.1.1 海上移动平台应急响应服务(MODU-ERS)是指按照船东和岸上服务机构(如船级社)预先预定的 ERS 协议,对于已建立稳性和结构强度有关的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,应船东申请,岸上服务机构迅速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,为船东最终决策提供参考意见。

7.1.2 申请方应向岸上服务机构提供第 1.3.4 节所述的平台图纸和资料,并当突发事件发生时,应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。

7.1.3 对岸上服务机构的要求

7.1.3.1 MODU-ERS 具备 24 小时应急响应机制,岸上服务机构应提供全年 365 天每天 24 小时全天候的海上移动平台应急响应服务。

7.1.3.2 岸上服务机构应为每个注册 MODU-ERS 的平台编制《应急手册》并提供给船东。《应急手册》包括船东启动应急响应服务的程序、船东注意事项和事故报告表等内容。

7.2 应急响应的种类

海上移动平台应急响应的种类一般包括:

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

7.3 应急响应的一般程序

发生紧急情况时,船东根据《应急手册》指导拨打岸上服务机构的 24 小时应急电话启动 MODU-ERS,岸上服务机构在收到船东提供的事故信息后,按照如图 7-1 所述流程向船东提供应急响应服务。

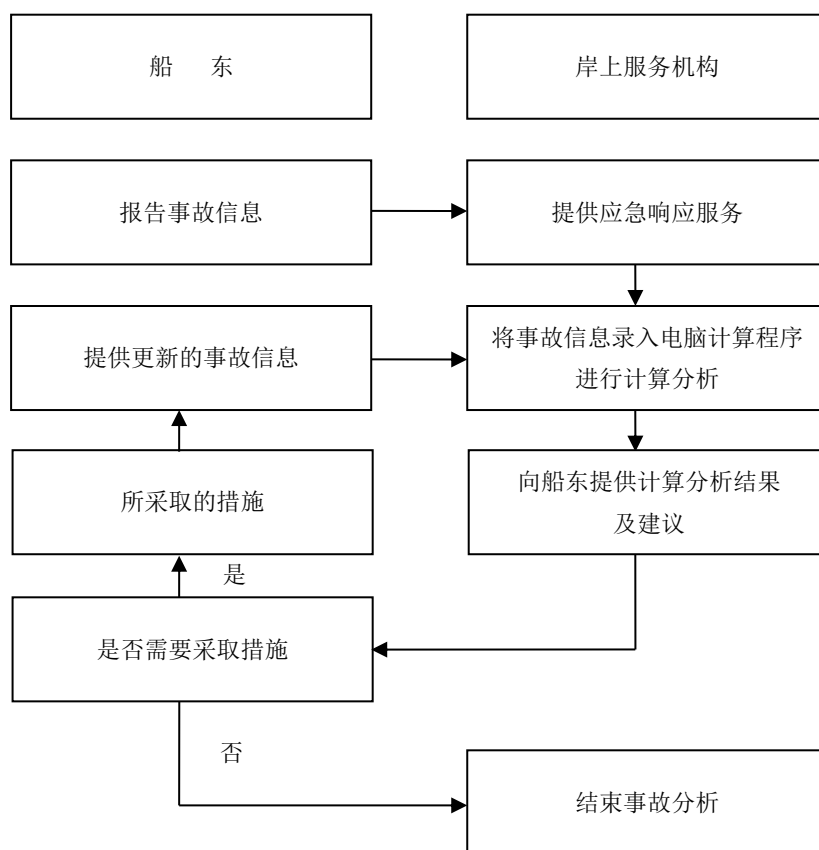


图 7-1 海上移动平台应急响应一般流程

7.4 应急响应服务的后管理

7.4.1 岸上服务机构应完成最终的《应急响应服务技术报告》，报告中应包括平台概况、事故概况、MODU-ERS 处理过程、事故处理技术总结等内容，并根据需要可提供给船东。

7.4.2 岸上服务机构有责任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。

7.5 CCS 海上移动平台应急响应服务（CCS-MODU-ERS）介绍

中国船级社（CCS）长期以来一直致力于为船舶和海洋平台应急遇险提供计算服务，并在船舶航运安全日益迫切的国际性需要的背景下，于 2005 年作为一个单独的服务产品正式推出了具有自己特色的“船舶应急响应服务”（Emergency Response Service），命名为 CCS-ERS。2010 年，CCS 继续推出了“海上移动平台应急响应服务”产品，命名为 CCS-MODU-ERS。

7.5.1 CCS-MODU-ERS 的服务特点

- （1）不分船旗和船级，面向所有海上移动平台的有偿服务；
- （2）24 小时应急响应机制，CCS-MODU-ERS 专家小组 365 天 24 小时全天候的海上移动平

台应急响应服务；

- (3) 应急响应服务启动只需要一个应急电话；
- (4) 帮助平台船东满足 IMO MODU、CCS MODU 和国家规定等的要求；
- (5) 协助平台船东提前做好海上移动平台的风险管理。

7.5.2 CCS-MODU-ERS 的服务内容见本章 7.2。

7.5.3 CCS-MODU-ERS 的专业软件。CCS 专门针对海上移动平台的 ERS 开发了专业软件-数据库 MSER 系统，该软件系统可对事故平台进行各项计算分析和评估，并向平台船东提供及时可靠有效的解决方案和建议。MSER 系统介绍见第 8 章。

7.5.4 CCS-MODU-ERS 的服务流程

当海上移动平台发生事故时，平台船东呼叫 CCS-MODU-ERS 应急响应服务电话，开始进入应急响应阶段，一般流程为：

- (1) 平台船东根据《应急手册》向 CCS-MODU-ERS 反馈事故现场资料；
- (2) CCS-MODU-ERS 针对事故基于稳性、强度等方面快速进行技术分析评估；
- (3) CCS-MODU-ERS 向平台船东提供技术分析结果和应急处理建议；
- (4) 平台船东参考技术分析结果和应急处理建议对平台事故进行处理并向 CCS-MODU-ERS 反馈事故处理信息；
- (5) CCS-MODU-ERS 完成《应急响应服务技术报告》和继续跟踪事故的后续处理情况。

CCS-MODU-ERS 的服务流程如图 7-2 所示。

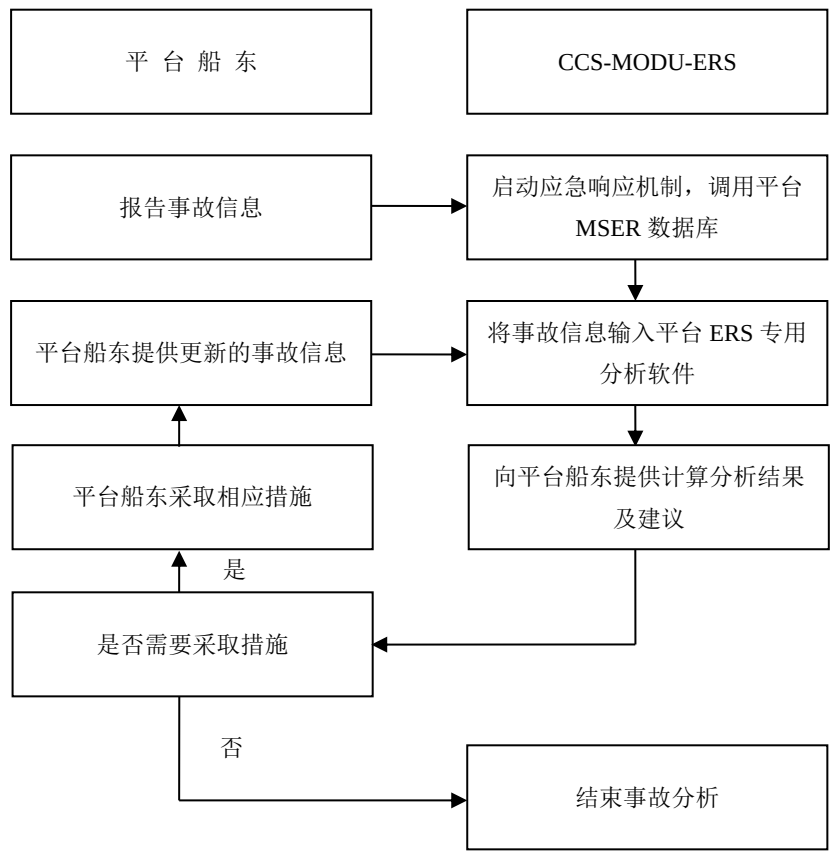


图 7-2 CCS-MODU-ERS 的服务流程

7.5.5 CCS-MODU-ERS 的组织机构

CCS-MODU-ERS 的组织机构如图 7-3 所示。

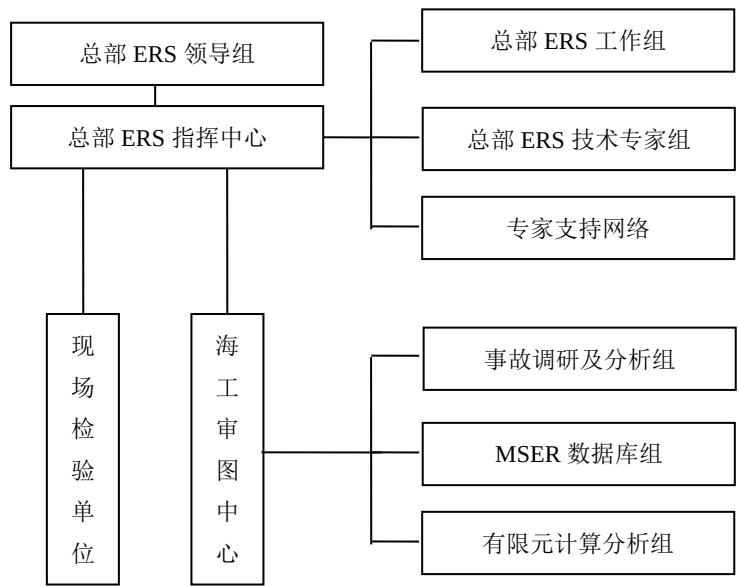


图 7-3 CCS-MODU-ERS 的组织机构图

第 8 章 MSER 系统介绍

8.1 系统简介

中国船级社（CCS）联合中海油田服务股份有限公司（COSL），基于结构完整性管理思想，开发了海上移动平台结构完整性安全管理系统（简称 MSER 系统，Model, Survey, Emergency Response）。此系统主要基于海上移动平台的结构有限元模型为核心，以数据、评价、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、计算评价、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。

8.2 系统构成

系统的网络结构如图 8-1 所示。

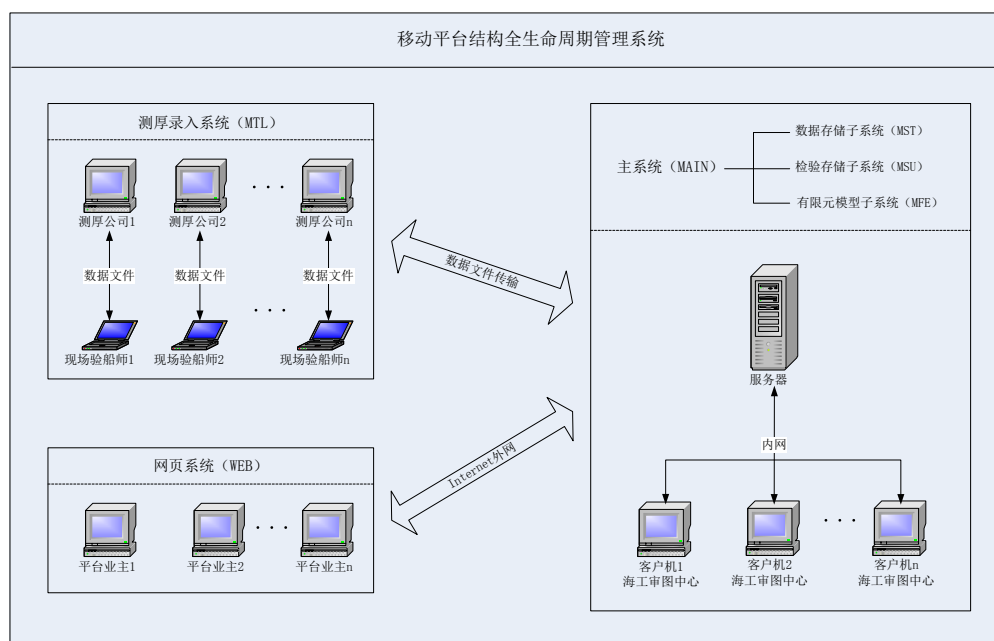


图 8-1 系统网络结构图

系统主要分为以下几个模块：

（1）主系统（MAIN 系统）

主系统的用户为 CCS 海工审图中心，包括以下几个部分：

① 数据存储子系统（MST 子系统）

MST 子系统可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井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）

MSU 子系统可存贮移动平台历次测厚、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（ANSYS 模型和 SACS 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 CCS、ABS、API 等规范校核计算结果，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计算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）状态数据录入系统（MTL 系统）

状态录入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。

（3）网页系统（WEB 系统）

网页系统的用户为各平台船东公司。

WEB 系统通过 Internet 网络访问本系统的服务器，各平台船东通过 WEB 系统在網上查詢平台基本信息、图纸资料、测厚资料、其它检测与检验资料、分析与评价计算资料、环境条件与平台作业历史资料。同时，平台船东也可在 WEB 系统中录入环境条件资料 and 平台作业历史资料。

图 8-2 为数据存储数据库典型界面；图 8-3 为某平台状态数据录入系统的典型界面；图 8-4 为经有限元模型子系统计算的应力云图；图 8-5 为中国海域的海洋条件数据库。

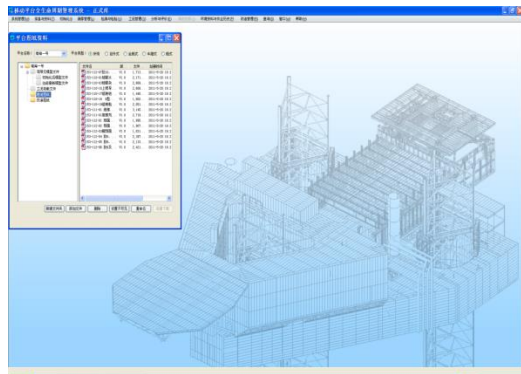


图 8-2 数据存储数据库

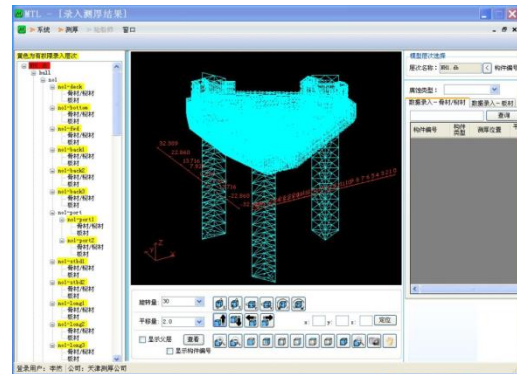


图 8-3 状态数据录入系统界面

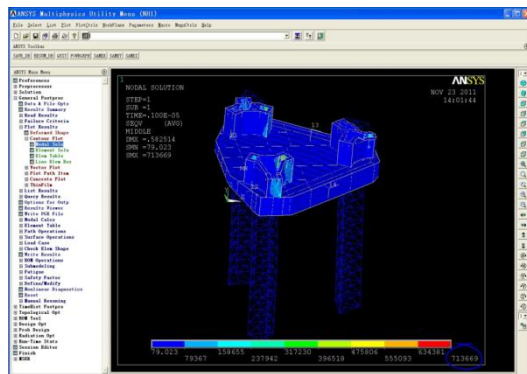


图 8-4 评估计算的应力云图



图 8-5 海洋环境条件数据库

系统的主要流程图如图 8-6 所示。

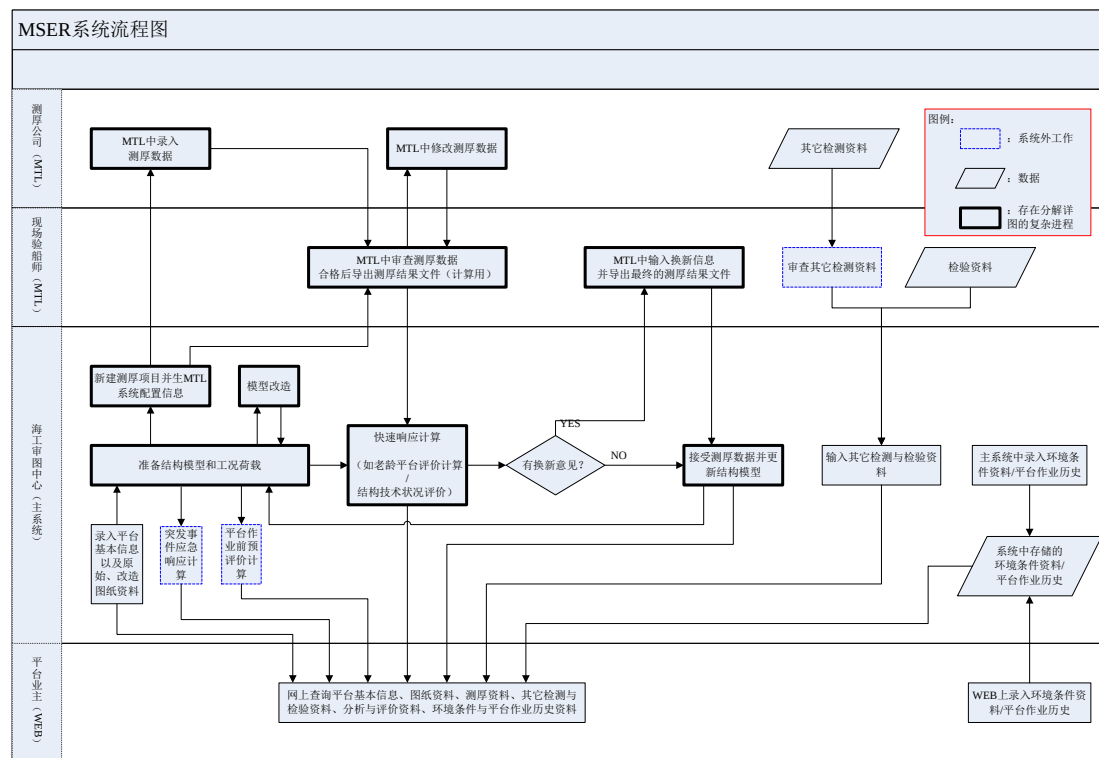


图 8-6 系统流程图

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 ANSYS 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 ANSYS 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 ANSYS 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：①时间策略：追溯以前的测厚值；②空间策略：借鉴同一舱室空间同类构件的腐蚀量；③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。ANSYS 允许进行二次开发，满足开发此系统的软件开放性要求。所以，此系统中需要与测厚数据无缝对接的平台有限元模型必须采用 ANSYS 来进行建立。

(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）这一个层次，测厚公司的测厚数据也精细到板格这一个层次，这样可以更精细、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 MESH 方法等建立了一套统一的作法。

8.3 系统功能及特点

8.3.1 系统的主要功能

(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) 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。

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

(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，从而实现对验船师的现场检验指导。

(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。

(6) 通过作业井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。

(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。

8.3.2 系统主要特点

(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, 能够在一次坞修档期内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) 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。

(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的管理。

(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, 无论是不同类型的平台, 如自升式平台、坐底式平台、半潜式平台、水面式平台, 还是同类型平台中的不同船型平台, 甚至是任何由 ANSYS 建立的结构模型, 此系统均可实现处理。

8.4 系统应用实践

此系统自开发完成, 经过 2 年的应用实践, 共完成 17 座海上移动平台的结构评估与检验、89 次移动平台的作业井位抗风暴分析及 11 次应急响应分析, 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。

8.5 系统应用前景

海上移动平台结构完整性管理理论及结构完整性管理系统, 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。

附录 1. 自升式钻井平台井位作业安全评估案例

案例中的平台为悬臂梁式自升式钻井平台，采用三角形箱形主船体，配有三个桁架式桩腿，艏一尾二；升降系统为电动齿轮、齿条升降系统，全船配有 9 套锁紧装置，在拖航及站立作业状态下，将桩腿弦杆齿条板锁死；每个桩腿带有一个圆形的桩靴，拖航时可收回船底；桩腿长度为 167 米，平台最大作业水深为 400 英尺。

案例平台的目标作业井位为南海东部的某一区域，为台风多发区域，经过先前调研和地址勘察勘查，此井位的环境条件和地质参数如表 1 所示。利用 SACS 计算软件建立的有限元模型如图 1 所示。

表 1 环境条件及地质参数

环境条件	台风季节	非台风季节	典型土壤参数	
水深(m)	110	110	土壤密度 γ' (MN/m^2)	0.012
最大波高(m)	20	16	土壤抗剪强度 c_u (MN/m^2)	0.047
相应波周期(s)	14	12.4	土壤摩擦角 $\delta(^{\circ})$	38
最大风速(m/s)	54	34	被动土压系数 k_p	4.215
流速(m/s) 表面	1.95	1.12	主动土压系数 k_a	0.240
底部	1.34	0.34	承载力系数 N_{γ} 、 N_q	80.26、49.36
气隙(m)	15	11		
空船重量(t)	116161	116161		
可变载荷(t)	29357	29357		
升船重量(t)	145518	145518		

1.1 桩靴入泥深度

根据案例平台的桩靴形状以及目标井位的海床土壤条件，可计算不同插桩深度的地基承载力，计算结果如图 2 所示。案例平台的单桩预压载荷为 112MN，由图 2 中可以查到，平台预压时桩靴入泥深度为 14.2 米。

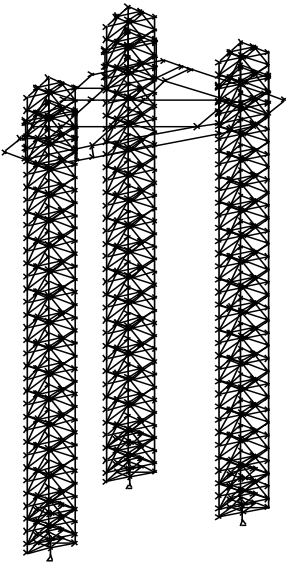


图 1 有限元模型

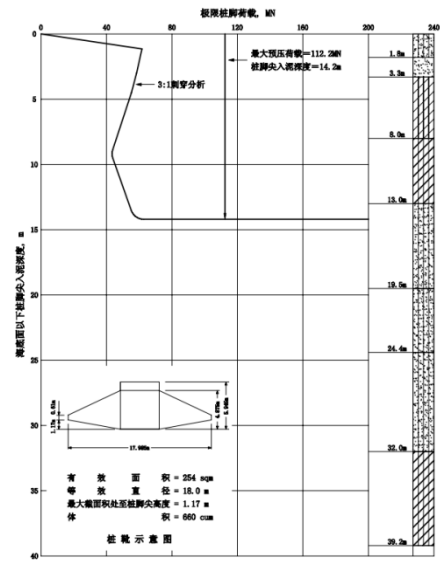


图 2 不同插桩深度下的土壤承载力

1.2 气隙和作业水深的适应性

案例平台作业时为打探井，因此根据公式可计算相应的气隙值，如表 6-2 所示。根据公式可计算得到平台的作业适应水深为 $h = 167 - (18.4 + 15 + 8 + 14.2) = 112m$ ，因此平台可适应目标井位的 110 米水深。

1.3 地基稳定性分析

根据图 6-1 的地基稳定性分析流程对案例平台目标井位进行分析，由计算结果可知，台风季节工况下的地基不满足稳定性要求，非台风季节工况下的地基满足稳定性要求。由图 2 可知，平台压载过程中不会产生桩腿穿刺风险。

1.4 结构完整性分析

建立案例平台的有限元模型，如图 1 所示。平台所受载荷主要为风、波浪、海流、波浪惯性力及 P-Delta 效应载荷，波浪惯性力载荷可采用 SDOF 方法计算得到。载荷汇总结果如表 2 所示。

按井位作业结构完整性分析要求，分别校核相应环境条件下的桩腿强度、锁紧装置承载能力、桩靴承载能力、预压载能力、预压时升降齿轮保持能力及抗倾稳性，计算结果如表 3 所示。由表 3 中内容可知，台风季节工况下的结构完整性分析各项均不能满足要求，非台风季节工况下的结构完整性分析各项均能满足要求。

表 2 载荷列表

	台风季节					非台风季节				
环境载荷方向	0 度	60 度	90 度	120 度	180 度	0 度	60 度	90 度	120 度	180 度
波浪、流载荷(KN)	12640	12738	12853	12861	12482	3987	3909	4018	4076	3784
风载荷(KN)	6311	6519	6939	7457	5970	2480	2575	2738	2933	2334
惯性力载荷(KN)	9301	11815	12003	10268	9433	3304	4091	4218	3665	3230
总和(KN)	28252	31072	31795	30585	27885	9772	10574	10974	10673	9348
弯矩										
波、流载荷(KN-m)	1103339	1115066	1124647	1125106	1089060	378947	373237	382077	388189	360497
风载荷(KN-m)	916152	951371	1010732	1084461	869265	354425	369738	391414	418259	334213
惯性力载荷(KN-m)	1202639	1527641	1552013	1327626	1219747	413052	511334	527267	458063	403757
P-Delta(KN-m)	578759	581477	571686	569870	569493	166416	178954	192324	178093	156351
总和(KN-m)	3800889	4175555	4259078	4107063	3747564	1312839	1433263	1493082	1442604	1254817

表 3 计算结果

结构完整性分析内容	台风季节	非台风季节
桩腿强度应力比(U.C.)	2.44	0.90
锁紧装置承载能力比(U.C.)	1.62	0.88
桩靴承载能力比(U.C.)	1.58	0.88
预压载能力比(U.C.)	1.45	0.87
升降齿轮保持能力比(U.C.)	1.42	0.91
抗倾稳性安全系数(S.F.)	0.98	1.71

注：前 5 项 U.C.小于 1 即为满足要求，第 6 项安全系数大于 1.3 即为满足要求。

1.5 结论

通过以上对案例平台目标井位的作业安全评估，主要包括了入泥深度、气隙和作业水深的适应性、地基稳定性及结构完整性分析等内容，计算结果表明，此平台只适合于此目标井位的非台风季节作业。

评估后，此案例平台按评估结论在非台风季节的目标井位安全钻井作业 4 个月，并在台风季节来临前安全撤离。