

## 自升式平台桩腿的局部开孔分析

姚艳萍<sup>1</sup> 蔡灿春<sup>2</sup> 李林斌<sup>1</sup> 任慧龙<sup>2</sup>

(1 中国船级社; 2 哈尔滨工程大学)

### 摘 要

某自升式平台为安装冲桩管线需要在桩腿上开孔, 因开孔位置无法避开桩腿高应力区, 故需对开孔部位进行局部强度和屈曲分析。本文应用 MSC/NASTRAN 和 ABAQUS 有限元分析软件, 对单根桩腿建立了详细的有限元模型, 除圆柱形桩腿的外壳以外, 还包括了内部纵桁、水平撑杆、桩靴细部结构以及开孔周围的加强结构等。边界条件的选取主要是基于平台整体分析得到的结果, 考虑到平台主体和桩腿之间的约束变形情况, 进行了适当的简化模拟。载荷考虑了自重、静水压力以及作业和自存工况下的风、浪、流载荷。为校核桩腿在整个服役期内是否满足要求, 本文所建模型扣除了 3mm 的腐蚀余量。分析结果表明: 桩腿开孔周围结构虽处于较高的应力水平, 但仍在许用应力范围之内, 并且桩腿的屈曲强度满足要求。

**关 键 词:** 自升式平台; 桩腿开孔; 局部强度分析; 屈曲分析

## 1 前 言

本文工作基于某自升式平台的桩腿开孔分析。该平台为悬臂自升式平台, 采用三角形箱形主船体, 配有三根圆柱形桩腿, 艏一艉二, 桩腿底部带有 5.7 m × 5.7 m 的桩靴。平台主体在与桩腿连接区域设立相应的围阱区, 并对围阱区纵横壁板进行加强, 使载荷合理地传到平台主体各区域。本平台桩腿采用长度为 60 m, 直径为 2.7m, 壁厚为 30~40 mm 的圆柱形结构。圆柱形结构内部设有纵向桁材和水平支撑, 圆柱形结构外部设有齿条, 使平台在升降过程中, 桩腿具有足够的强度和刚度。桩靴俯视呈八边形, 高度为 1.6 m, 侧围壁高 0.6 m。

该平台为安装冲桩管线需要在桩腿上开孔, 而开孔位置无法避开桩腿高应力区, 故需对开孔部位进行局部强度分析, 本文以艏桩为例, 在详细的有限元模拟基础上, 对平台桩腿开孔后的局部强度和屈曲强度进行了分析校核。

图 1-3 给出了桩腿的总体结构图(坐标系)、开孔周围相应的加强方案以及开孔的具体位置。

## 2 计算模型

结构有限元建模采用 MSC/NASTRAN, 求解则采用 ABAQUS 结构分析程序。根据桩腿结构的设计图纸和计算分析的要求, 确定计算模型情况如下:

### 2.1 坐标系的规定

坐标原点取在对应于平台整体分析的  $z=0$  的柱腿中心位置, 即平台基线处(见图 1), 各坐标轴

的正方向规定如下：

- X——沿平台长度方向，指向艏为正；
- Y——沿平台宽度方向，向左为正；
- Z——沿垂向，向上为正。

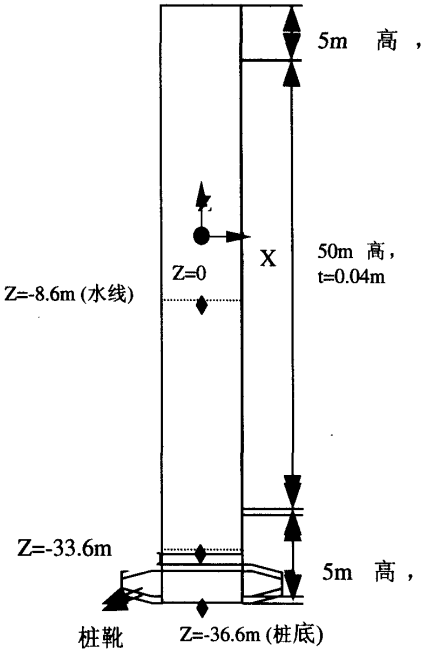


图 1 桩腿总体结构

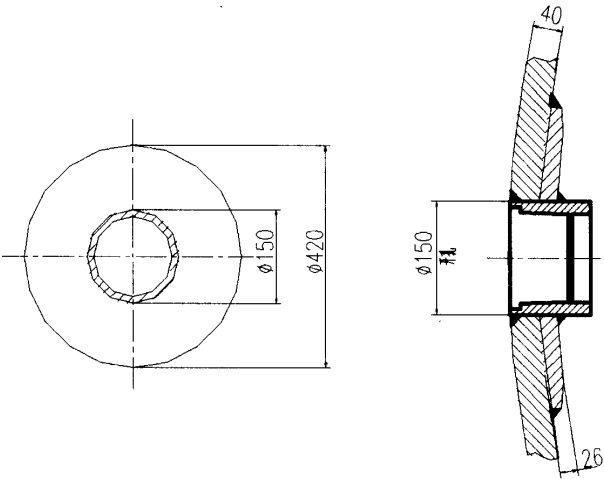


图 2 开孔内部加强图（尺寸单位为 mm）

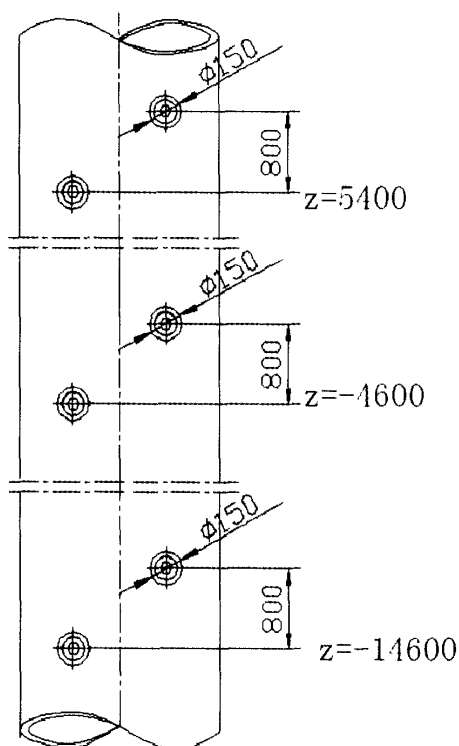


图3 开孔正面视图(尺寸单位为 mm)

## 2.2 模型的建立以及结构尺寸

所建结构模型对整个桩腿的各构件进行模拟,详细反映纵桁,水平撑杆以及桩靴内部结构,对桩腿喷冲接口的开孔位置以及开孔周围的加强结构进行了细致的模拟。所建模型扣除了 3mm 的腐蚀余量。

## 2.3 网格与单元类型

对整个桩腿模型都采用板壳单元,网格足够细密,桩腿的外壳沿圆周设置 52 个节点,其网格尺度大约为 163 mm。为更真实地反映喷冲接口开孔边缘的应力结果,其周围的网格划分更加细密,小孔周围布置 32 个节点,其网格尺度大约为 15 mm。

模型网格单元主要采用四边形板壳单元,局部区域采用三角形板壳单元。在纵向桁材和水平撑杆腹板以及肘板腹板上,沿垂直方向布置不少于 3 个板单元。图 4-8 给出了桩腿的有限元模型图。



图 4 船桩模型总图

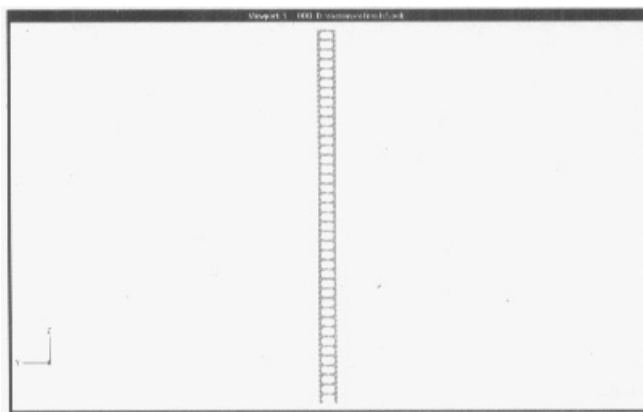


图 5 船桩纵向桁材与水平撑杆总体视图

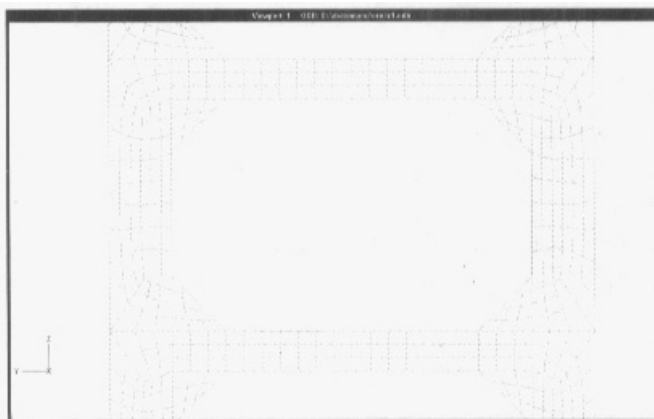


图 6 船桩纵向桁材与水平撑杆局部视图

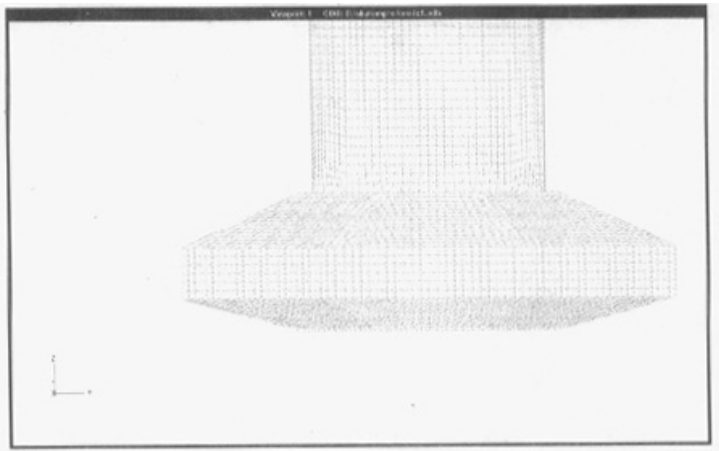


图 7 船桩桩靴正视图

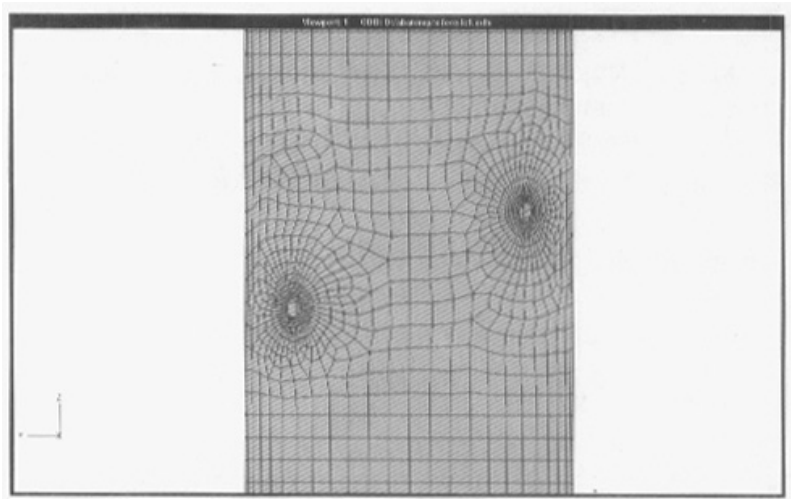


图 8 船桩开孔的局部视图

3 计算工况、边界条件和外载荷的确定

3.1 计算工况

针对平台整体分析结果所显示的危险工况，本次计算取如下的两种基本工况：

工况 1 (LC1)：作业工况，包括自重、静水压力以及操作条件环境载荷

工况 2 (LC2)：自存工况，包括自重、静水压力以及极端条件环境载荷

其中，环境载荷对应 69.16 度（与 X 轴正向夹角）的斜向入射，如图 9 所示。

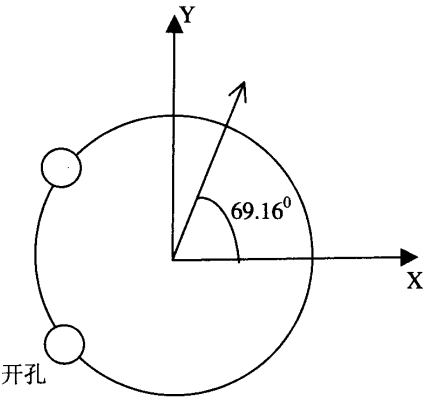


图 9 船桩的环境载荷入射角示意图

3.2 边界条件

根据平台整体分析计算得到的桩腿在  $z=1.8\text{ m}$  高程和  $z=10.5\text{ m}$  高程的位移结果以及  $z=-36.6\text{ m}$  处（即桩底处）的支反力结果，确定边界条件如下：

- （1）在桩腿  $z=1.8\text{ m}$  高程处约束三个方向的线位移，并根据整体分析的结果加强制角位移。
- （2）在桩腿  $z=10.5\text{ m}$  高程处加对于  $z=1.8\text{ m}$  高程处的相对线位移，并根据整体分析的结果加强制角位移。
- （3）在桩腿  $z=-36.6\text{ m}$  处（即桩腿底部）加支反力。

具体如表 1-3 所示：

表 1  $z=1.8$  高程处的位移边界条件

工况	$U_x$ (CM)	$U_y$ (CM)	$U_z$ (CM)	$R_x$ (Rad)	$R_y$ (Rad)	$R_z$ (Rad)
LC1	0	0	0	-0.0021870	0.0006862	0
LC2	0	0	0	-0.0034416	0.0010920	0

表 2  $z=10.5\text{m}$  高程处的位移边界条件

工况	$U_x$ (CM)	$U_y$ (CM)	$U_z$ (CM)	$R_x$ (Rad)	$R_y$ (Rad)	$R_z$ (Rad)
LC1	0.1834364	0.802964	-0.028241	-0.0005851	0.0000838	0
LC2	0.2042988	1.272952	-0.028477	-0.0009344	0.0000057	0

表 3  $z=-36.6\text{ m}$  处（即桩腿底部）的支反力

工况	$F_x$ (KN)	$F_y$ (KN)	$F_z$ (KN)
LC1	-296.232	-782.79	11053.613
LC2	-459.599	-1088.627	10916.223



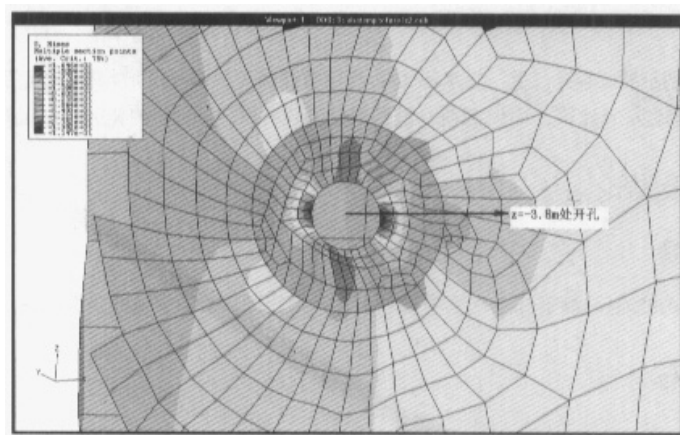
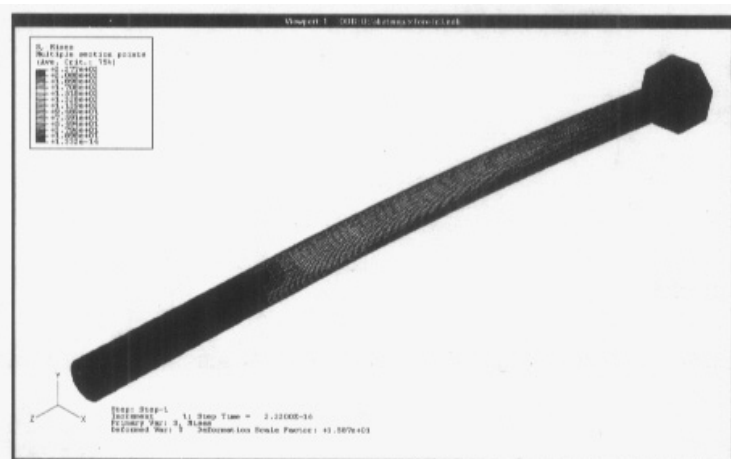
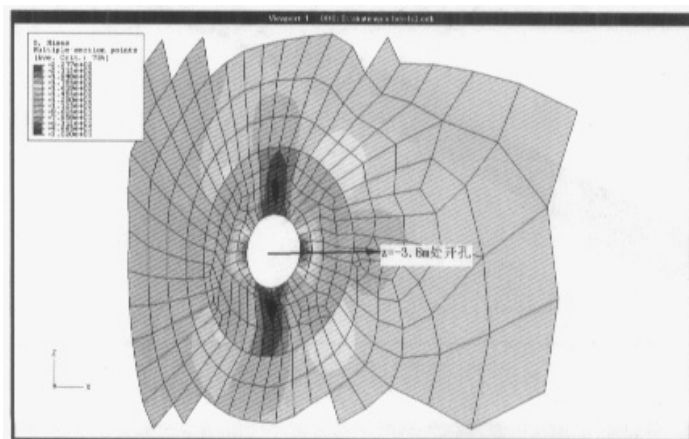
图 11 船桩工况 1 的  $z=-3.8\text{m}$  开孔周围局部应力图

图 12 船桩工况 2 的总体应力图

图 13 船桩工况 2 的  $z=-3.8\text{m}$  开孔周围局部应力图

从以上计算结果可以看出，桩腿各部位特别是开孔周围结构的应力水平均在许用应力范围内，所以满足强度要求。

5 屈曲分析及结论

5.1 屈曲安全因子λ

在屈曲计算中，屈曲安全因子 $\lambda = \frac{\text{临界屈曲应力}}{\text{实际应力}}$ ，所必需的最小屈曲安全因子为 1。当屈曲安全因子  $\lambda > 1$  时，即实际应力小于临界屈曲应力，认为结构不会发生屈曲，满足安全性要求。

5.2 屈曲分析结果

艏桩的屈曲分析计算结果如表 5 所示。

表 5 艏桩的屈曲分析计算结果

工况	屈曲安全因子 λ	[λ]	是否发生屈曲
LC1	9.27	1.0	否
LC2	9.3476	1.0	否

从上述分析结果可以看出，实际应力小于结构的临界屈曲应力，因此平台桩腿结构满足屈曲强度要求。

6 总 结

在详细有限元建模的基础上，本文对某自升式平台桩腿开孔后的局部强度和总体屈曲水平进行了直接校核，载荷主要考虑了自重、静水压力以及作业和自存工况下的风、浪、流载荷。分析结果表明：桩腿开孔周围结构虽处于较高的应力水平，但仍在许用应力范围之内，并且桩腿的屈曲强度满足要求。本文所描述的分析方法对于自升式平台桩腿的局部开孔分析具有一定的参考意义。

参 考 文 献

1

API RP 2A (WSD). Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms –Working Stress Design. Version 20<sup>th</sup>. 2000

2

海上移动平台入级与建造规范，中国船级社，北京，1992

3

ABAQUS/Standard 有限元软件指南，庄茁等译，清华大学出版社，1998.

## Local Strength Analysis of Legs with Holes for a Self-elevating Type Drilling Unit

YAO Yan-ing<sup>1</sup> CAI Can-chun<sup>2</sup> LI Linbin<sup>1</sup> REN Hui-long<sup>2</sup>

1 China Classification Society ; 2 Harbin Engineering University

### Abstract

Small holes needs to be opened on the leg surface of a Self-elevating Type Drilling Unit and local strength need to be checked near the holes. In the present paper, MSC/NASTRAN and ABAQUS finite element programs are used to simulate one typical leg. A detailed finite element model is developed including the external plating of cylindrical leg, the inner frames and the leg tank. The selection of boundary conditions is based on the results of global analysis, in which the connection of leg and hull is simplified properly. The loads mainly consist of dead loads, hydrostatic pressure and environmental loads, which include wind, wave and current forces. A 3mm of corrosion allowance is considered in the computer model. The analysis results indicate that the structures near the holes have higher stress level, but still within the allowable stress, and buckling will not occur under typical conditions.

**Key words:** Self-elevating type unit; Opening holes on legs; Local strength analysis; Buckling analysis

### 作 者 简 介

姚艳萍 女, 1974 年生, 高级工程师, 工学博士, 中国船级社。

蔡灿春 男, 1980 年生, 硕士研究生, 哈尔滨工程大学。

李林斌 男, 1973 年生, 工程师, 中国船级社。

任慧龙 男, 1965 年生, 教授, 工学博士, 哈尔滨工程大学。