

强度计算的工程应用：船舶工程：船舶强度计算软件操作与实践

1 绪论

1.1 强度计算在船舶工程中的重要性

船舶工程中，强度计算是确保船舶安全、可靠和经济运行的关键环节。它涉及对船舶结构在各种载荷作用下的响应进行分析，包括但不限于波浪载荷、风载荷、自重、货物重量以及可能的碰撞和搁浅等极端情况。强度计算的目的是验证船舶结构是否能够承受这些载荷而不发生破坏，同时也要确保结构的变形在可接受的范围内，以维持船舶的航行性能和稳定性。

1.1.1 重要性分析

- **安全性：**强度计算确保船舶在设计寿命内能够安全地承受预期的载荷，避免结构失效导致的灾难性后果。
- **可靠性：**通过精确的强度计算，可以评估船舶在不同环境条件下的性能，确保其在各种情况下都能可靠运行。
- **经济性：**合理的强度计算有助于优化设计，减少不必要的材料使用，从而降低建造成本和运营成本。

1.2 船舶强度计算软件的发展历程

随着计算机技术的飞速发展，船舶强度计算软件经历了从简单的数值计算工具到复杂集成系统的演变。早期的软件主要依赖于有限元分析（FEA）技术，通过离散化船舶结构，使用网格划分和节点连接来模拟结构行为。然而，随着计算能力的提升和软件工程的进步，现代船舶强度计算软件不仅能够进行静态和动态载荷分析，还能进行优化设计、疲劳分析和断裂力学分析等高级功能。

1.2.1 发展阶段

1. **初步阶段（1960s-1970s）：**这一时期，船舶强度计算主要依赖于手工计算和简单的计算机程序，计算效率低，且精度受限。
2. **有限元分析的引入（1980s-1990s）：**随着有限元分析技术的成熟，船舶强度计算软件开始采用这一方法，显著提高了计算精度和效率。
3. **集成化与智能化（2000s-至今）：**现代船舶强度计算软件集成了多种分析工具，如结构优化、疲劳分析等，同时引入了人工智能和机器学习技术，以提高分析的自动化程度和预测准确性。

1.2.2 软件示例：ShipConstructor

虽然本教程不提供具体代码示例，但可以简要介绍一款在船舶工程领域广泛应用的软件——ShipConstructor。ShipConstructor 是一款基于 CAD 的船舶设计和建造软件，它不仅提供了船舶结构设计的工具，还集成了强度计算模块，能够进行初步的结构分析和优化。用户可以输入船舶的基本参数和结构细节，软件将自动进行网格划分，并使用有限元分析技术来评估结构的强度和稳定性。

1.2.3 使用案例

假设需要设计一艘长 100 米、宽 15 米的货船，其主要结构材料为钢。在 ShipConstructor 中，设计人员首先创建船舶的三维模型，然后定义材料属性、载荷条件和边界条件。软件将自动进行网格划分，将船舶结构离散为数千个节点和单元，每个单元代表一小部分结构。接下来，软件使用有限元分析技术来计算结构在不同载荷下的应力和应变分布，以及整体的变形情况。设计人员可以根据分析结果来调整结构设计，如增加或减少材料厚度，以达到最佳的强度和经济性平衡。

1.2.4 结论

船舶强度计算软件的发展极大地推动了船舶工程的进步，使得设计人员能够更精确、更高效地进行船舶结构分析和优化。未来，随着人工智能和大数据技术的进一步融合，船舶强度计算软件将更加智能化，为船舶设计和建造提供更强大的支持。

2 船舶结构基础知识

2.1 船舶结构概述

船舶结构设计是船舶工程中的关键环节，它涉及到船舶的安全性、经济性和使用寿命。船舶结构由多个部分组成，包括船体、甲板、舱壁、船首、船尾、船底、船舷等。这些部分共同作用，确保船舶在各种海况下能够保持稳定和安全。

2.1.1 船体结构

船体结构是船舶的主体，主要由龙骨、肋骨、横梁、纵梁、甲板和船壳组成。龙骨是船体的脊梁，承受船舶的纵向载荷；肋骨和横梁提供横向支撑，增强船体的刚性；纵梁则在纵向方向上增加强度，防止船体变形。

2.1.2 甲板结构

甲板是船舶的上层结构，用于承载货物、人员和设备。它由主甲板、次甲板和舱口盖组成。甲板的强度计算需要考虑其承载能力、稳定性以及在恶劣天

气下的抗风浪性能。

2.1.3 舱壁结构

舱壁用于分隔船舱，不仅起到防水、防火的作用，还增加了船舶的结构强度。舱壁的计算主要关注其在水压和火灾条件下的强度和稳定性。

2.2 材料属性与结构分类

船舶结构材料的选择直接影响到船舶的性能和成本。常见的船舶结构材料包括钢材、铝合金、复合材料等。每种材料都有其特定的物理和机械性能，如密度、弹性模量、屈服强度和抗拉强度等。

2.2.1 钢材

钢材是船舶建造中最常用的材料，具有良好的强度和韧性。其弹性模量约为 200 GPa，屈服强度和抗拉强度根据具体钢种而异，一般在 200 MPa 至 500 MPa 之间。

2.2.2 铝合金

铝合金比钢材轻，具有较高的强度重量比，适用于高速船和小型游艇。其弹性模量约为 70 GPa，屈服强度和抗拉强度也根据合金类型而变化，一般在 100 MPa 至 300 MPa 之间。

2.2.3 复合材料

复合材料，如玻璃纤维增强塑料（GRP）和碳纤维增强塑料（CFRP），在现代船舶设计中越来越受欢迎，尤其是在需要减轻重量和提高耐腐蚀性的场合。复合材料的性能可以通过改变纤维方向和树脂类型来调整，弹性模量和强度范围广泛。

2.2.4 结构分类

船舶结构可以分为以下几类：

1. **纵向结构**：包括龙骨、纵梁和甲板，主要承受船舶的纵向载荷。
2. **横向结构**：如肋骨和横梁，提供横向支撑，增强船体的刚性。
3. **垂直结构**：舱壁和桅杆等，用于分隔空间和提供垂直方向的支撑。

2.3 示例：计算船舶龙骨的强度

假设我们有一艘长 100 米的船舶，龙骨材料为钢材，屈服强度为 350 MPa。我们使用简单的公式来计算龙骨在特定载荷下的强度。

```

# 定义材料属性和船舶参数
yield_strength = 350e6 # 屈服强度, 单位: Pa
beam = 10 # 船宽, 单位: m
length = 100 # 船长, 单位: m
load = 1000e3 # 载荷, 单位: N

# 计算龙骨的截面模量 (简化模型)
# 假设龙骨为矩形截面, 宽度为船宽的 1/10, 高度为船宽的 1/5
width = beam / 10
height = beam / 5
section_modulus = (width * height**2) / 6 # 矩形截面模量公式

# 计算龙骨的最大应力
max_stress = (load * length) / (2 * section_modulus)

# 检查龙骨是否安全
if max_stress < yield_strength:
    print("龙骨在给定载荷下是安全的。")
else:
    print("龙骨在给定载荷下可能不安全。")

```

2.3.1 解释

在上述代码中, 我们首先定义了船舶的龙骨材料属性和基本参数。然后, 我们简化模型, 假设龙骨为矩形截面, 并计算其截面模量。接着, 我们使用船舶的长度和载荷来计算龙骨的最大应力。最后, 我们比较最大应力和材料的屈服强度, 以判断龙骨在给定载荷下是否安全。

这个例子展示了如何使用基本的力学原理和 Python 代码来评估船舶结构的强度。在实际工程应用中, 强度计算会更加复杂, 需要考虑更多的因素, 如材料的疲劳性能、腐蚀影响以及实际载荷的分布等。

3 软件介绍与安装

3.1 常用船舶强度计算软件介绍

在船舶工程领域, 强度计算是确保船舶安全性和结构完整性的关键步骤。本节将介绍几款常用的船舶强度计算软件, 它们在设计和评估船舶结构强度方面发挥着重要作用。

1. **SESAM** - SESAM 是一款由 DNV GL 开发的高级船舶和海洋结构设计软件。它提供了全面的解决方案, 包括结构分析、有限元分析和规范检查。SESAM 的模块化设计使其能够适应各种复杂结构的分析需求。

2. **SPAR** - SPAR 是美国 ABS (美国船级社) 开发的船舶结构分析软件。它特别适用于船舶和海洋平台的结构强度评估, 能够进行线性静力分析、

动力分析和疲劳分析。

3. SHIPSTRUC - SHIPSTRUC 是一款专为船舶结构设计和分析而开发的软件。它提供了直观的用户界面和强大的分析工具，适用于从初步设计到详细结构分析的各个阶段。

4. Ansys - Ansys 是一款通用的工程仿真软件，广泛应用于船舶工程中进行结构强度、流体动力学和热分析。其强大的计算能力和广泛的物理模型使其成为解决复杂工程问题的理想选择。

3.2 软件安装与配置

3.2.1 SESAM 的安装与配置

3.2.1.1 安装步骤

1. 下载 SESAM 安装包，通常可以从 DNV GL 官方网站获取。
2. 运行安装程序，按照屏幕上的指示进行操作。
3. 在安装过程中，选择合适的安装路径和组件。
4. 安装完成后，根据需要进行软件许可的激活。

3.2.1.2 配置环境

- **系统要求：**确保计算机满足 SESAM 的最低系统要求，包括操作系统版本、内存和处理器速度。
- **许可设置：**配置许可服务器，确保软件能够正确识别并连接到许可服务器。
- **环境变量：**设置环境变量，如 DNVGL_HOME，指向 SESAM 的安装目录。

3.2.2 SPAR 的安装与配置

3.2.2.1 安装步骤

1. 从 ABS 官方网站下载 SPAR 安装文件。
2. 运行安装程序，选择自定义安装以选择需要的组件。
3. 完成安装后，根据提供的指南激活软件许可。

3.2.2.2 配置环境

- **系统兼容性：**检查计算机是否满足 SPAR 的系统兼容性要求。
- **许可管理：**配置许可文件，确保软件能够访问许可。
- **用户界面设置：**根据个人偏好调整用户界面，如语言、主题和快捷键。

3.2.3 SHIPSTRUC 的安装与配置

3.2.3.1 安装步骤

1. 下载 SHIPSTRUC 安装包。
2. 运行安装程序，选择合适的安装选项。
3. 完成安装后，进行必要的许可激活。

3.2.3.2 配置环境

- **硬件检查：**确保硬件配置满足 SHIPSTRUC 的要求。
- **软件许可：**配置软件许可，使其能够正常运行。
- **初始化设置：**进行初始化设置，如单位系统、默认材料库等。

3.2.4 Ansys 的安装与配置

3.2.4.1 安装步骤

1. 从 Ansys 官方网站下载安装包。
2. 运行安装程序，选择合适的安装路径和组件。
3. 完成安装后，激活软件许可。

3.2.4.2 配置环境

- **系统要求：**检查计算机是否满足 Ansys 的系统要求。
- **许可服务器设置：**配置许可服务器，确保软件能够访问许可。
- **工作目录设置：**设置默认的工作目录，便于项目管理和文件保存。

3.2.5 示例：配置 SESAM 的许可服务器

```
# 设置环境变量
export DNVGL_LICENSE_FILE=27000@your.license.server.com

# 验证许可连接
sesam_license_check
```

在上述代码示例中，我们首先通过 `export` 命令设置了环境变量 `DNVGL_LICENSE_FILE`，指定了许可服务器的地址。然后，通过运行 `sesam_license_check` 命令来验证软件是否能够成功连接到许可服务器。

3.2.6 结论

安装和配置船舶强度计算软件是船舶工程设计流程中的重要步骤。确保软件正确安装并配置合适的环境，可以提高设计效率和准确性。每款软件的安装

和配置过程可能略有不同，但通常都涉及系统要求检查、许可设置和用户界面调整等基本步骤。遵循软件提供的安装指南，可以顺利完成软件的安装和配置。

请注意，上述内容是基于对船舶强度计算软件的一般理解编写的，具体操作可能需要参考各软件的官方文档和最新版本的安装指南。

4 强度计算的工程应用：船舶工程

4.1 基本操作与界面熟悉

4.1.1 软件界面解析

在船舶强度计算软件中，界面设计通常围绕着几个核心功能模块，包括**模型建立**、**载荷输入**、**分析设置**、**结果查看**和**报告生成**。每个模块都有其特定的工具栏和选项卡，以帮助用户高效地进行船舶结构的强度分析。

4.1.1.1 模型建立

- **主菜单**：提供创建新项目、打开现有项目、保存项目等功能。
- **工具栏**：包含用于添加、编辑和删除船舶结构部件的工具，如船体、甲板、舱室等。
- **属性面板**：显示当前选中部件的详细属性，允许用户修改材料属性、尺寸和形状。

4.1.1.2 载荷输入

- **载荷类型**：列出可选的载荷类型，如波浪载荷、风载荷、自重等。
- **载荷分布**：允许用户定义载荷在船舶结构上的分布方式，包括线性分布、均匀分布等。
- **载荷组合**：提供创建和编辑不同工况下的载荷组合功能，以评估船舶在各种条件下的强度。

4.1.1.3 分析设置

- **分析类型**：选择进行静力分析、动力分析或疲劳分析等。
- **网格划分**：设置用于分析的网格密度和类型，以确保计算精度。
- **求解器参数**：调整求解器的设置，如收敛准则、迭代次数等，以优化计算性能。

4.1.1.4 结果查看

- **应力云图**：以颜色编码的云图形式显示船舶结构上的应力分布。

- **变形图**：展示在载荷作用下船舶结构的变形情况。
- **安全系数**：计算并显示各部件的安全系数，评估结构的可靠性。

4.1.1.5 报告生成

- **自动生成报告**：根据分析结果，生成详细的强度分析报告。
- **报告定制**：允许用户自定义报告的格式和内容，包括添加注释、图表和分析结果。

4.1.2 基本操作流程

4.1.2.1 步骤 1：创建船舶模型

```
# 示例代码：使用 Python 创建船舶模型
# 导入船舶建模库
import ship_modeling_library as sml

# 创建新项目
project = sml.new_project("MyShip")

# 添加船体
hull = project.add_hull(length=100, width=20, height=10)

# 添加甲板
deck = project.add_deck(hull, height=5)

# 保存项目
project.save()
```

在上述代码中，我们首先导入了船舶建模库，然后创建了一个新项目，并指定了项目名称。接着，我们添加了船体和甲板的部件，定义了它们的尺寸。最后，我们保存了项目。

4.1.2.2 步骤 2：输入载荷

```
# 示例代码：使用 Python 输入载荷
# 导入载荷输入库
import load_input_library as lil

# 定义波浪载荷
wave_load = lil.define_wave_load(project, wave_height=5, wave_period=10)

# 定义风载荷
wind_load = lil.define_wind_load(project, wind_speed=20)
```

```
# 应用载荷
```

```
project.apply_loads([wave_load, wind_load])
```

这段代码展示了如何定义和应用波浪载荷与风载荷。我们首先导入了载荷输入库，然后定义了两种载荷的参数，最后将这些载荷应用到项目中。

4.1.2.3 步骤 3：设置分析

```
# 示例代码：使用 Python 设置分析
```

```
# 导入分析设置库
```

```
import analysis_setup_library as asl
```

```
# 设置分析类型为静力分析
```

```
analysis_type = asl.set_analysis_type(project, "static")
```

```
# 设置网格划分
```

```
mesh = asl.set_mesh(project, density=0.5)
```

```
# 运行分析
```

```
project.run_analysis(analysis_type, mesh)
```

在设置分析时，我们首先选择了分析类型为静力分析，然后设置了网格的密度，最后运行了分析。

4.1.2.4 步骤 4：查看结果

```
# 示例代码：使用 Python 查看结果
```

```
# 导入结果查看库
```

```
import result_view_library as rvl
```

```
# 显示应力云图
```

```
stress_cloud = rvl.show_stress_cloud(project)
```

```
# 显示变形图
```

```
deformation = rvl.show_deformation(project)
```

```
# 输出安全系数
```

```
safety_factor = rvl.get_safety_factor(project)
```

```
print("Safety Factor:", safety_factor)
```

通过结果查看库，我们可以显示应力云图和变形图，以及获取安全系数的数值。

4.1.2.5 步骤 5：生成报告

```
# 示例代码：使用 Python 生成报告
# 导入报告生成库
import report_generation_library as rgl

# 生成报告
report = rgl.generate_report(project)

# 输出报告
print(report)
```

最后，我们使用报告生成库来生成并输出强度分析报告。

通过以上步骤，用户可以熟悉船舶强度计算软件的基本操作流程，从创建模型到生成报告，全面掌握软件的使用方法。

5 船舶载荷分析

5.1 静水载荷计算

5.1.1 原理

静水载荷计算是船舶工程中的一项基础工作，主要涉及船舶在静止水中的浮力、重力平衡以及稳定性分析。这一过程通常包括确定船舶的排水量、重心位置、浮心位置以及初稳性高度（GM 值），以确保船舶在设计载荷下能够安全稳定地浮在水面上。

5.1.2 内容

- 排水量计算：**排水量是船舶在水中排开水的重量，等于船舶的总重量。计算排水量需要考虑船舶的形状、水线面面积以及水的密度。
- 重心位置确定：**船舶的重心位置直接影响其稳定性。通过计算船舶各部分的重量和位置，可以确定整个船舶的重心。
- 浮心位置计算：**浮心是船舶水线面以下部分的几何中心。浮心位置的计算对于分析船舶的浮态至关重要。
- 初稳性高度（GM 值）计算：**GM 值是船舶的重心（G）与浮心（M）之间的垂直距离。一个正的 GM 值表示船舶具有良好的稳定性。

5.1.3 示例

假设我们有一艘船舶，其主要参数如下：

- 船长（L）：100 米
- 船宽（B）：20 米

- 吃水深度 (D): 5 米
- 水的密度 (ρ): 1025 kg/m³

我们可以使用以下公式计算排水量:

$$\text{排水量} = L \times B \times D \times \rho$$

```
# 定义船舶参数
L = 100 # 船长, 单位: 米
B = 20 # 船宽, 单位: 米
D = 5 # 吃水深度, 单位: 米
rho = 1025 # 水的密度, 单位: kg/m³

# 计算排水量
displacement = L * B * D * rho
print("排水量为: ", displacement, "kg")
```

5.2 动态载荷与波浪影响

5.2.1 原理

动态载荷与波浪影响分析是船舶工程中评估船舶在海浪中性能的关键步骤。船舶在海上航行时, 会受到波浪的冲击, 产生动态载荷, 这可能影响船舶的结构完整性和航行安全。动态载荷分析通常包括波浪载荷的计算、船舶响应的预测以及结构强度的评估。

5.2.2 内容

- 波浪载荷计算:** 波浪载荷是波浪作用于船舶上的力, 其大小和方向随波浪的特性 (如波高、波长、周期) 以及船舶的运动状态而变化。
- 船舶响应预测:** 船舶在波浪中的响应包括横摇、纵摇、升沉等运动, 这些运动会影响船舶的载荷分布和稳定性。
- 结构强度评估:** 基于波浪载荷和船舶响应, 评估船舶结构的强度, 确保其能够承受海上的恶劣条件。

5.2.3 示例

假设我们想要计算船舶在特定波浪条件下的横摇力矩。我们可以使用以下公式:

$$\text{横摇力矩} = \frac{1}{2} \rho g A_w H_w^2 \sin(2\theta)$$

其中, A_w 是船舶的水线面面积, H_w 是波高, θ 是波浪与船舶的相对角度, g 是重力加速度。

```
import math

# 定义波浪和船舶参数
A_w = 2000 # 水线面面积, 单位: m²
```

```

H_w = 3 # 波高, 单位: m
theta = 30 # 波浪与船舶的相对角度, 单位: 度
rho = 1025 # 水的密度, 单位: kg/m³
g = 9.81 # 重力加速度, 单位: m/s²

# 将角度转换为弧度
theta_rad = math.radians(theta)

# 计算横摇力矩
rolling_moment = 0.5 * rho * g * A_w * H_w**2 * math.sin(2 * theta_rad)
print("横摇力矩为: ", rolling_moment, "Nm")

```

以上示例展示了如何基于船舶和波浪的参数计算横摇力矩，这对于评估船舶在动态条件下的性能至关重要。

6 结构强度计算

6.1 有限元分析基础

有限元分析（Finite Element Analysis, FEA）是一种数值方法，用于预测工程结构在给定载荷下的行为。它将复杂的结构分解成许多小的、简单的部分，称为“有限元”，然后对每个部分进行分析，最后将结果组合起来，以获得整个结构的性能。这种方法在船舶工程中尤为重要，因为它可以帮助工程师理解船体在不同环境条件下的应力分布，从而确保设计的安全性和可靠性。

6.1.1 原理

有限元分析基于变分原理和加权残值法。它通过将连续的结构离散化为有限数量的节点和元素，将偏微分方程转换为代数方程组。这些方程组可以通过计算机求解，以获得结构的应力、应变和位移。

6.1.2 内容

1. **离散化**：将结构分解为有限数量的单元，每个单元用节点来表示。
2. **选择单元类型**：根据结构的几何形状和材料特性，选择合适的单元类型，如梁单元、壳单元或实体单元。
3. **建立数学模型**：为每个单元建立力学模型，包括材料属性、几何尺寸和边界条件。
4. **求解**：使用数值方法（如直接求解法或迭代法）求解整个结构的方程组。
5. **后处理**：分析和可视化求解结果，如应力云图、位移矢量图等。

6.1.3 示例代码

以下是一个使用 Python 和 numpy 库进行简单有限元分析的例子。假设我们有一个简单的梁结构，需要计算其在给定载荷下的位移。

```
import numpy as np

# 定义材料属性和几何尺寸
E = 200e9 # 弹性模量, 单位: Pa
I = 0.05 # 惯性矩, 单位: m^4
L = 1.0 # 梁的长度, 单位: m
P = 1000 # 载荷, 单位: N

# 定义节点和元素
nodes = np.array([[0, 0], [L, 0]]) # 节点坐标
elements = np.array([[0, 1]]) # 元素连接的节点

# 定义边界条件
boundary_conditions = np.array([[0, 'fixed'], [1, 'free']]) # 节点 0 固定, 节点 1 自由

# 定义载荷
loads = np.array([[1, P, 0]]) # 在节点 1 施加垂直向下的载荷 P

# 计算刚度矩阵
def stiffness_matrix(E, I, L):
    k = (E*I/L**3) * np.array([[12, 6*L, -12, 6*L],
                               [6*L, 4*L**2, -6*L, 2*L**2],
                               [-12, -6*L, 12, -6*L],
                               [6*L, 2*L**2, -6*L, 4*L**2]])

    return k

# 组装整体刚度矩阵
K = np.zeros((4, 4))
for element in elements:
    node1, node2 = element
    k = stiffness_matrix(E, I, L)
    K[np.ix_([2*node1, 2*node1+1, 2*node2, 2*node2+1])] += k

# 应用边界条件
for node, condition in boundary_conditions:
    if condition == 'fixed':
        K = np.delete(K, [2*node, 2*node+1], axis=0)
        K = np.delete(K, [2*node, 2*node+1], axis=1)

# 应用载荷
```

```

F = np.zeros(4)
for load in loads:
    node, force, direction = load
    if direction == 'vertical':
        F[2*node+1] = force

# 求解位移
U = np.linalg.solve(K, F)

# 输出结果
print("节点位移: ", U)

```

6.1.4 解释

在这个例子中，我们首先定义了梁的材料属性和几何尺寸。然后，我们创建了节点和元素的列表，以及边界条件和载荷。接下来，我们计算了单个梁单元的刚度矩阵，并将其组装成整体结构的刚度矩阵。通过应用边界条件和载荷，我们最终求解了结构的位移。

6.2 船舶结构强度计算方法

船舶结构强度计算是船舶设计和分析的关键部分，它确保船舶在各种操作和环境条件下能够安全地承受载荷。船舶结构强度计算方法通常包括线性分析和非线性分析，以及疲劳和断裂分析。

6.2.1 原理

船舶结构强度计算基于结构力学和流体力学原理。它考虑了船舶在水中的浮力、波浪载荷、风载荷以及船舶自身的重量和载荷。通过有限元分析，可以计算出船体结构在这些载荷下的应力和应变，从而评估其强度和稳定性。

6.2.2 内容

1. **线性分析**：用于计算结构在静态载荷下的响应，如船体在静水中的应力和位移。
2. **非线性分析**：考虑材料的非线性行为和大变形效应，适用于极端载荷条件下的分析。
3. **疲劳分析**：评估结构在重复载荷下的疲劳寿命，这对于长期在海上运行的船舶尤为重要。
4. **断裂分析**：预测结构在特定载荷下的断裂行为，以确保设计的安全性。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/947026145053006160>