



## HUNAN UNIVERSITY

毕业论文

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **设计论文题目：** | | 结构频率拓扑优化理论 |
|  |  | 研究和分析 |
|  | 学生姓名： | 郭缔 |
|  | 学生学号： | 201212070105 |
|  | 专业班级： | 结构1201 |
|  | 学院名称： | 机械与运载工程学院 |
|  | 指导老师： | 黄晓东 |
|  | 学院院长： |  |

2016年3月21日



湖南大学毕业设计(论文)第 页



湖南大学毕业设计(论文)第 Ⅰ 页

结构频率拓扑优化理论研究和分析

摘 要

在工程中，结构优化问题广泛存在，研究高效可靠的结构优化方法具有重要理论意义和应用价值。结构拓扑优化是一种高效智能的优化方法，它通过逐步消去设计域中“低效”的材料来达到以最少的材料最优的材料分布来实现结构的最佳性能的目的。

本文首先对渐进结构拓扑优化法（Evolutionary Structural Optimization，简称ESO算法）的原理进行了介绍，并对实现该算法过程在出现的各种问题进行了分析，分别提出了解决办法。在此基础上，本文建立了基于模态频率最大化的拓扑优化模型，推导出敏度计算公式，把该方法运用到以基频最大化为目标的结构拓扑优化中。以Matlab为平台编写了基于双向渐进结构优化方法(BESO方法)的结构频率拓扑优化程序，并对若干算例进行了优化。算例显示优化效果显著。

本文还将对程序进行简要解释。为提高程序的灵活性，本程序被分成多个函数的形式进行编写。各个函数相对独立，可以对其进行移植或者修改以用于其他目标的拓扑优化

**关键词：**结构拓扑优化；结构频率优化；Matlab；



湖南大学毕业设计(论文)第 Ⅰ 页

**The operator ordering problem in quantum Hamiltonian for some**

**constraint systems**

**Abstract**

According to surface theory in differential geometry, the two-dimensional surface is parameterized by two variables. This is, when a particle moves on the surface, only two variables suffice to describe the motion of the particle. However, when examining the same problem in the physical point of view, the motion of the particle can also be described in the three-dimensional Cartesian coordinates. Explicitly, the relation between kinetic energy and Hermitian Cartesian momentum is speciously



which holds either for the system being free of constraint or for the system in classical limit. Moreover, under constraint, above expression should be replaced by,



where are the non-trivial functions. This paper utilizes quantum motions on the torus surface, paraboloid of revolution, hyperboloid of revolution of one sheet, charged planar and spherical rotator etc., to demonstrate the existence of the function.

Since different vector potentials lead to different kinetic energies, the relationship between these kinetic energies and the gauge phase factors, are studied. Results show that the gauge phase factor can appear in the kinetic operator naturally.

**Key Words：** quantum mechanics; operator ordering; Hermitian operator; canonical quantization; gauge transformation



湖南大学毕业设计(论文)第 Ⅰ 页

**目 录**

**1** 绪论………………………………………………………..………………..……………….1

1.1 课题背景及目的………………………………………………………………………1

1.2 国内外研究状况………………………………………………………………………2

1.3 课题研究方法…………………………………………………………………………3

1.4 论文构成及研究内容…………………………………………………………………4

**2 I** 级叶/盘协调转子固有振动特性分析…………………………………………………...5

2.1 基础知识………………..…………………………………………………………. .5

2.1.1 有限元法……………………………………….…………………………….5

2.1.2 循环对称结构的分析方法……….………………………………………… 6

2.2 I级叶/盘转子振动特性的有限元分析……………….…….………………………..7

2.2.1 计算模型……………………………………….……………………….…...7

2.2.2 有限元计算结果及分析………………………………………………….…8

**3 I** 级叶/盘转子错频方案的对比分析…………………………...………………………....15

3.1 计算模型及主要分析思路…………………………………………………………...15

3.2 基本原理……………………………………………………………………………...17

3.2.1 多自由度系统的固有频率和振型…………………………………………...17

3.2.2 多自由度系统的振动响应…………………………………………………...19

3.3 协调系统的模拟……………………………………………………………………...19

3.4 错频方案的拟定……………………………………………………………………...21

3.5 多自由度系统的强迫响应分析……………………………………………………...23

3.5.1 动态响应的计算方法………………………………………………………. .23

3.5.2 强迫响应分析前的准备工作…….…………………………………… ….....25

3.5.3 动态响应的计算结果与分析……………………………. ….……… .……..27



湖南大学毕业设计(论文)第 Ⅱ 页

3.6 实际错频方案的动态响应分析…………………………………………………...34

3.6.1 实际错频转子叶片的频率分布…………………………………………...34

3.6.2 动态响应的计算结果与分析……………………………………………...36

**4** 结论………………………………………………………………………………………53

致谢…………………………………………………………………………………………..54

参考文献……………………………………………………………………………………..55

附录…………………………………………………………………………………………..56

附录A……………………………………………………………………………………56

附录B……………………………………………………………………………………57



湖南大学毕业设计(论文)第 Ⅰ 页

# 绪论

* 1. 引言

结构优化一门新技术，特别是在最近二十年得到了飞速发展。由于它的出现，设计者能从被动的分析、校核的被动设计转为主动的设计，这是结构设计上的一次飞跃。结构优化设计基于系统的、目标定向的方式进行设计，寻求即经济又满足设计要求的结构形式，以最少的材料、最低的造价实现结构的最佳性能。

本文首先对渐进结构拓扑优化法（Evolutionary Structural Optimization，简称ESO算法）的原理进行了介绍，并对实现该算法过程在出现的各种问题进行了分析，分别提出了解决办法。在此基础上，本文建立了基于模态频率最大化的拓扑优化模型，推导出敏度计算公式，把该方法运用到以基频最大化为目标的结构拓扑优化中。以Matlab为平台编写了基于双向渐进结构优化方法(BESO方法)的结构频率拓扑优化程序，并对若干算例进行了优化。算例显示优化效果显著。

本文还将对程序进行简要解释。为提高程序的灵活性，本程序被分成多个函数的形式进行编写。各个函数相对独立，可以对其进行移植或者修改以用于其他目标的拓扑优化