

学校编码: 10384
学 号: 32020131152875

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

可靠性优化的解耦方法研究

Researches of the decoupled method for reliability-based optimization

朱海燕

指导教师姓名: 袁修开副教授

专 业 名 称: 航空宇航推进理论与工程

论文提交日期:

论文答辩时间:

学位授予日期:

答辩委员会主席: _____

评阅人: _____

2016 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

可靠性优化设计方法是工程结构设计中的一种非常具有优势的设计方法，其中，该方法的求解效率和求解精度是研究的重点。解耦策略是解决结构可靠性优化设计中包含复杂或隐式极限状态、多设计变量、小失效概率问题的一种高效可行的办法，它的关键在于建立失效概率的近似表达式，也就是求解失效概率函数。因此，研究高效求解失效概率函数近似的方法，以及提高优化效率和精度的解耦优化策略对于解决工程结构中的可靠性优化设计问题具有重要的作用。本文围绕上述问题展开研究工作，主要内容包括如下几个部分。

1. 基于失效概率函数的概念，提出一种依据灵敏度信息构建指数函数的方法来快速得到局部失效概率函数的近似，并将获得的失效概率函数与解耦序列近似优化策略相结合对可靠性优化设计问题进行求解。首先，通过求得预先插值点的失效概率和可靠性灵敏度，可求解得到基于一次指数函数（或二次指数函数）近似的局部失效概率函数。这样仅需执行一次（或二次）传统的可靠性评估，就能够得到近似失效概率函数的估计，从而解决了原有方法中可靠性评估的次数随着设计变量的个数增多而迅速增多的问题。然后，通过得到的失效概率函数近似将原可靠性优化设计问题解耦为常规的确定性优化设计问题，接着就可以采用一般的优化方法对其进行求解。最后，结合具体算例验证了所提方法的适用性以及有效性。
2. 在已有的扩展重要抽样方法的基础上提出一种融合策略来求解可靠性优化问题，即在优化过程中，进行第 k 次优化迭代时，将基于前 k 次迭代设计点构建的局部失效概率函数估计进行加权融合，以此作为新的失效概率函数来解耦当次的可靠性优化问题。所提策略在解耦优化求解过程中将每次迭代得到的失效概率信息综合地利用起来，从而使失效概率函数局部近似的精度提高，进而使优化迭代次数减少，间接的达到减少计算量的目的。算例验证了所提融合策略的有效性和求解的高效性。
3. 提出一种扩展线抽样的方法来近似求解失效概率函数。所提方法将失效概率函数表达成线抽样中样本加权的形式，而设计变量对失效概率的影响将被包含在权重系数中，进而只需要抽取少量样本点进行一次的线抽样可靠

性分析就可以得到局部失效概率函数的近似。接着将其与解耦序列近似优化策略相结合来求解可靠性优化问题，并通过与前两种所提方法的对比，证明了该方法在可靠性分析及设计过程中的高效性。

关键词：可靠性优化；解耦方法；失效概率

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

Reliability-based Optimization is a most appropriate and advantageous methodology for structural design. And the efficiency and accuracy of the optimization is the focus of research. Decoupled method is effective and applicable to solve reliability-based optimization problems which contain multivariate design, small failure probability and complicated or implicit limit state functions in structural. The key issue of this method is that the construction of an approximate representation of the probabilities, that is, the solution of failure probability function (FPF). Therefore, it is of great significance for the structural design to search methods which can construct the approximation of FPF efficiently, and improve the efficiency and accuracy of the optimizing by the decoupled method. This paper is precisely centers on this kind of subject to launch the research work, and it includes the following parts.

1. Proposed a method which utilizes the sensitive information to construct an exponential function to approximate the local FPF fast, and use it to the decoupled and sequential approximation optimizing strategy to solve the reliability-based optimization problem. First, set interpolation points and solve the failure probability and sensitivity of them to obtain the single or quadratic exponential function to approximate the local FPF. It needs only once or twice reliability analysis to get the estimation of the FPF, and overcome the weakness that the reliability analysis time is increasing long with the number of design parameter. After that, decoupled the reliability optimal problem into a certainty optimal sub-problem by the local FPF, then it can be solved by normal optimal methods. Finally, several examples are taken to verify the applicability and effectiveness of the proposed method.
2. Based on the existing expanding important sampling method, an integration approach is proposed in this paper. That is, in the process of optimization, the FPF for decoupled in the k -th iteration is expressed as a weighted integration of failure probability functions constructed by k iterative design points. The integration approach makes the most use of the information of each iteration for the decoupled optimization, the approximating precision of the local FPF can be improved, and then the number of iteration will decrease in the optimal process.

Examples verified the validity and high efficiency of this proposed approach.

3. An extend line sampling method is proposed to construct the FPF. In this method, the FPF can be expressed as a weighted sum of the samples get through the line sampling, and the impact of design variables on FPF is included in the weighting coefficient. So the approximation of the local FPF can be obtained through just once reliability analysis with a small sample points. Next, combine the proposed method with decoupled sequential approximation optimization strategy to solve the reliability optimal problem. Through the example solved by the proposed three methods this paper, we can know the extend line sampling method is more efficient.

Keyword: reliability-based optimization; decoupled method; failure probability

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
目录.....	V
Content	VII
第一章 绪论	1
1.1 课题背景	1
1.2 可靠性优化设计的研究与发展状况	3
1.3 本文研究工作.....	6
第二章 基于指数近似的可靠性优化求解	9
2.1 可靠性优化问题的定义	9
2.2 基于指数近似求解失效概率函数	10
2.2.1 失效概率函数的定义.....	10
2.2.2 所提指数近似法基本思想	11
2.2.3 一次指数近似法	11
2.2.4 二次指数近似法	13
2.2.5 失效概率及其灵敏度的求解	14
2.3 基于指数近似的解耦及序列近似求解策略	16
2.3.1 解耦及序列近似求解策略	16
2.3.2 基于指数近似的可靠性求解	18
2.4 所提优化方法的流程	19
2.5 算例.....	20
2.5.1 算例 1.....	20
2.5.2 算例 2.....	26
2.5.3 算例 3.....	27
2.6 本章小结	30
第三章 基于加权融合的可靠性优化求解	33

3.1 可靠性问题的定义	33
3.2 基于融合策略的可靠性优化求解方法.....	34
3.2.1 基于融合的解耦优化求解	34
3.2.2 失效概率函数近似估计的建立	35
3.2.3 融合策略的权重的确定.....	36
3.2.4 序列近似优化求解	38
3.3 所提优化方法的流程	39
3.4 算例.....	40
3.4.1 算例 1.....	40
3.4.2 算例 2.....	44
3.4.3 算例 3.....	47
3.5 本章小结	50
第四章 基于扩展线抽样的可靠性优化求解.....	51
4.1 线抽样法估算失效概率	51
4.2 扩展线抽样求解近似失效概率函数	54
4.3 基于扩展线抽样的解耦及序列近似优化策略.....	57
4.4 所提优化方法的流程	58
4.5 算例.....	59
4.5.1 算例 1.....	59
4.5.2 算例 2.....	63
4.5.3 算例 3.....	65
4.6 本章小结	69
第五章 结论与展望.....	71
参考文献.....	73
发表论文与获奖情况.....	77
致谢	79

Content

Abstract	III
Content	VII
Chapter One Introduction.....	1
1.1 Background and Meaning	1
1.2 Researches and Development Conditions of Reliability-Based Optimization Design.....	3
1.3 Main Works of This Paper	6
Chapter Two Rreliability Optimization by the Exponential Approximation Method	9
2.1 Definition of the Reliability-Based Optimization	9
2.2 Obtain the FPF by the Exponential Approximation Method	10
2.2.1 Definition of the FPF	10
2.2.2 Basic Idea of the Proposed Method	11
2.2.3 Single Exponential Approximation Method	11
2.2.4 Quadratic Exponential Approximation Method	13
2.2.5 Solution of the FPF	14
2.3 Decoupled and Sequential Approximation Stratage Based on the Exponential Approximation	16
2.3.1 Decoupled and Sequential Approximation Method	16
2.3.2 Reliability Solution by the Exponential Approximation Method	18
2.4 The Flow of the proposed method.....	19
2.5 Example.....	20
2.5.1 Example 1	20
2.5.2 Example 2	26
2.5.3 Example 3	27
2.6 Conclusion of This Chapter.....	30
Chapter Three Reliability-Based Optimization By the Integration Approach.....	33
3.1 Definition of the Problem.....	33
3.2 Reliability Optimization Method Based on the Integration Approach	34
3.2.1 Decoupled the Reliability Optimization by the Integration Approach	34
3.2.2 Construction of the approximation of FPF	35
3.2.3 Determination of the Target Weight of Integration Approach	36
3.2.4 Optimal Solution by the sequential approximation strategy.....	38

3.3 The Flow of the proposed method.....	39
3.4 Example.....	40
3.4.1 Example 1	40
3.4.2 Example 2	44
3.4.3 Example 3	47
3.5 Conclusion of This Chapter.....	50
Chapter Four Rreliability Ooptimization By The Extend Line Sampling Method	51
4.1 Estimate the Failure Probability by the Line Sampling Method	51
4.2 Solve the Approximation of FPF by Extend Line Sampling Method	54
4.3 Decoupled and Sequential Approximation Stratage Based on the Extend Line Sampling Method	57
4.4 The Flow of the proposed method.....	58
4.5 Example.....	59
4.5.1 Example 1	59
4.5.2 Example 2	63
4.5.3 Example 3	65
4.6 Conclusion of This Chapter.....	69
Chapter Five Conclusions And Prospects	71
References	73
Published Articles and Awards	77
Acknowledgement	79

第一章 绪论

1.1 课题背景

可靠性设计和优化设计作为现代的设计方法，在工程实际中得到了广泛的应用，而且取得了良好的经济和社会效益。可靠性设计将结构的基本设计参数，如应力、强度以及尺寸等作为随机变量，以数理统计和概率论为基础，用在一定条件下和一定的时间内结构机构不发生失效的概率来进行参数的设计^[1]。与传统的设计方法相比，它较真实地反映了结构的实际情况，是设计理论的进步。优化设计将数学中的最优化理论应用于工程设计领域^[2]，从而在解决工程设计问题时，人们可以从无数设计方案中找到最优或尽可能完善的设计方案，极大的提高了工程设计的效率和质量。单纯的可靠性设计仅从参数的可靠性角度来设计参数，这样往往造成经济效益上的浪费。而常规优化设计没有考虑到设计参数的随机性，因而优化结果具有一定的局限性，并不是真正意义上的最优设计方案。基于以上情况，将可靠性设计与现代优化设计相结合的可靠性优化设计方法被提出了。

以可靠性为基础的优化设计是工程结构设计中的一种非常具有优势的方法^{[3][4]}，是基于一般的确定性优化设计方法发展起来的一种全新的优化设计方法。可靠性优化设计将可靠性理论与结构优化设计有机结合在一起，以可靠性要求作为追求的目标或者约束条件，运用优化方法得到结构在概率意义下的最优设计方案。它弥补了单纯可靠性设计和单纯优化设计的不足，既能定量表示结构工作过程中的可靠性指标，又能得到最好的设计方案，从而成为了一种更高层的结构优化设计方法。从工程实用的角度来看，基于可靠性的优化设计相比确定性的优化设计更合理且具有明显的经济效益。因此，可靠性优化设计已成为目前国内外学者积极探索和研究的重要领域之一。由于可靠性优化过程包括优化求解与可靠性估计的嵌套求解结构，其中可靠性估计本身就需要重复计算结构的响应值，而一般求解结构响应值需要耗费较大的计算量，特别是遇到含有限元模型分析求解的隐式极限状态函数情形时，计算代价将显著增大，这就导致可靠性优化求解的效率很低。因此，要将它广泛地应用到实际工程问题中还存在诸多的难点，其中可靠性评估是决定整个设计过程效率的关键。

由于在随机模拟法和近似解析法这两类可靠性分析方法中, 近似解析方法的求解效率较高, 因此将近似解析法与优化方法相结合是解决可靠性优化设计问题常用的手段。然而, 由于工程中对设计精度的要求不断提高, 工程问题的复杂程度也越来越大, 可靠性优化问题中遇到的如高维随机变量、小失效概率、复杂极限状态函数等因素对可靠性分析方法和优化方法提出了更高的要求。目前的结构优化大部分都只考虑确定性情况, 即在构建模型时, 结构的作用载荷和全部参数均被当作确定性的量。这种方式建立的模型由于没有考虑到参数和载荷的随机性对结构动力特性的影响, 所得的优化结果并不能达到最优, 而这些客观因素在结构设计中是不容忽视的。在考虑结构和载荷的随机性后, 该问题往往就成了高维小失效概率问题。常用的结合近似解析方法的双循环和单循环优化求解方法在求解上述问题时往往存在计算精度低或者根本不适用的问题, 已经不能满足以上求解需求。因此发展高维、小失效概率情况下的可靠性优化设计方法对于解决基于概率的结构优化设计问题具有重要的理论和实际意义。这些也是现在研究的热点和难点所在^[5]。

解耦方法是求解可靠性优化问题的一个高效可行的方法, 可以有效地解决包括高维、小失效概率、复杂或隐式极限状态函数的可靠性优化问题。它采用关于设计变量的显式表达式来近似包含于可靠性优化问题中的失效概率, 这样原问题就被转化成为常规的确定性优化问题, 然后通过一般的优化算法就可对其进行求解。其中, 失效概率近似表达式的建立, 也就是求解失效概率函数是解耦策略的关键。所以, 想要高效的解决可靠性优化设计问题必须寻求构建失效概率函数的高效方法。同时, 在采用解耦方法求解可靠性优化问题的迭代过程中, 失效概率函数的精度越高, 优化迭代的收敛速度就越快, 即优化求解的效率更高。因此, 探索精度更高的解耦优化方法对于解决工程结构的可靠性优化设计问题也具有重要的作用。

综上所述, 本文将针对工程结构中包含复杂或隐式极限状态、高维随机变量、小失效概率以及多设计变量可靠性问题的失效概率函数高效求解方法进行研究, 并探索精度更高的解耦迭代失效概率函数构建方法, 以提高可靠性优化解耦求解的效率和精度。

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.