

基于非概率可靠性的桁架结构拓扑优化设计

罗阳军 亢 战

(大连理工大学 工业装备结构分析国家重点实验室, 大连 116024)

结构拓扑优化与尺寸和形状优化相比具有更大的效益, 也是结构优化领域最具挑战性的课题。考虑非概率可靠性的拓扑优化对于非确定结构参数和荷载条件下结构的概念设计具有重要意义, 有关研究国内外少见报道。本文基于非概率凸模型理论, 利用基结构方法, 针对桁架结构拓扑优化设计问题建立了以杆件截面积为设计变量、结构重量极小化为目标、具有非概率可靠性指标约束的桁架拓扑优化数学模型。对文中提出的数学模型, 采用基于梯度的数学规划算法求解, 数值算例结果令人满意。数值计算结果提示, 对于作用荷载和结构参数具有非概率不确定性的结构, 常规的拓扑优化结果往往是不可靠的。本文工作表明了桁架结构非概率可靠性拓扑优化设计的可行性和所提出算法的有效性。

关键词 拓扑优化, 桁架, 凸模型, 非概率可靠性

基于弹性动力学的连杆机构可靠性分析¹⁾

拓耀飞 陈建军 陈永琴

(西安电子科技大学机电工程学院, 西安 710071)

考虑杆长、截面尺寸、质量密度和弹性模量等几何、物理参数的随机性, 对连杆机构进行了基于弹性动力学的动态刚度和动应力分析之后, 分别构建了机构的动态刚度与强度的可靠性分析模型, 并给出了同时考虑刚度和强度失效的机构可靠度的界限估计。最后通过算例考查了机构中各随机参数对系统可靠性的影响, 获得了相关结论。

关键词 弹性动力学, 连杆机构, 刚度, 强度, 可靠性分析

¹⁾国防预研基金(51421060505DZ0155)和陕西省自然科学基金(2005A009)资助项目

复合材料可靠性设计的序列优化方法

葛 锐 陈建桥 魏俊红

(华中科技大学力学系, 武汉 430074)

在复合材料的结构可靠性分析中, 存在多种不确定性因素。当有足够的信息描述这些不确定因素的分布时, 可以用随机变量来描述不确定性因素。然而, 在工程实际中, 能够提供描述不确定性的信息是有限的, 信息往往以非完整的形式出现, 如果人为地假定随机变量的分布, 此时分布类型会对结构可靠性分析和优化设计的结果产生很大的影响, 使设计结果不准确, 有时可能会带来巨大的损失。另外, 对于复杂工程问题, 传统的可靠性设计方法的计算量巨大, 只有提高计算效率, 才能适应实际工程设计的需求。因此, 必须发展新的结构可靠性设计模型和方法, 使之既可以合适地描述多种不确定因素的影响, 又具有实际可行的计算效率。

本文针对非完整信息下的复合材料可靠性设计, 建立区间变量和随机变量共存时复合材料可靠度分析模型和优化设计模型; 并结合可靠度分析逆解法和序列优化环方法, 将可靠性优化问题中的优化问题和可靠度分析进行解耦, 将多重可靠性优化转化为序列优化环。在层合板结构系统可靠度一定的情况下, 以总厚度最小为目标, 对复合材料的纤维方向角和相对厚度进行优化设计, 优化算法采用粒子群方法 (PSO)。算例表明, 在区间变量和随机变量共存时, 采用序列优化和PSO相结合的方法, 可以有效地解决复合材料可靠性设计的计算效率问题, 并保证相应的精度和收敛性。

多轴特种车辆底盘车架多工况分析与优化

朱学斌 张 生

(北京航天发射技术研究所, 北京 100076)

对于多轴特种车辆底盘而言, 车架是基础的承力机构。不但要承受上装设备的各种工况载荷, 而且还要保证各种行驶工况的刚度、强度要求。此外, 作为整车重量构成中比例最大的总成, 必须进行减重设计。本文以 HTF 八轴特种汽车底盘车架为例, 通过整车动力学分析获得了各行驶工况下车架的载荷条件, 利用 ANSYS 和 WORKBENCH 软件完成了结构力学分析和多工况优化。优化结果综合协调了各工况对车架力学特性的要求, 达到了减轻结构重量的目的。

关键词 多轴特种汽车, 车架, 多工况优化

考虑统计与模型不确定性的结构统计可靠度理论

吕大刚¹⁾ 宋鹏彦 王光远

(哈尔滨工业大学土木工程学院, 哈尔滨 150090)

结构工程中的随机性包括物理不确定性、统计不确定性和模型不确定性, 物理不确定性是指各种物理量(如荷载、材料强度、结构尺寸等)的客观变异性; 统计不确定性是由于对物理量进行统计分析时缺乏足够的样本信息而产生的; 模型不确定性源于对复杂物理现象进行数学建模时的理想化假设。经典的结构可靠度理论属于随机可靠度理论, 因为它处理的主要是物理不确定性问题。目前, 在结构可靠度的研究领域, 对于考虑统计与模型不确定性的结构统计可靠度问题, 则研究得很不充分。本文将综合考虑物理不确定性、统计不确定性和模型不确定性, 以Bayes统计理论为数学工具, 对结构的统计可靠度问题进行深入细致的研究。

本文首先对Bayes统计理论进行了概括和总结, 采用该理论对结构工程中的统计不确定性和模型不确定性进行了Bayes建模与分析。然后研究考虑统计与模型不确定性的结构可靠度分析方法, 给出考虑统计与模型不确定性的各种结构可靠性测度(包括点估计、区间估计和预测估计测度), 并详细研究了综合考虑主观不确定性与客观不确定性的整体式与分离式可靠度计算方法。最后通过两个算例, 分别分析了统计不确定性和模型不确定性对结构可靠度的影响。

通过本文的研究, 发现统计与模型不确定性对结构的可靠度具有显著的影响。同时发现, 结构的统计可靠度理论可以广泛地应用于结构的安全评定、健康监测、结构设计等一系列工程实践问题中。

考虑随机性与模糊性的结构广义可靠度理论

吕大刚^{*, 1)} 宋鹏彦^{*} 刘玉斌^{**} 王光远^{*}

^{*}(哈尔滨工业大学土木工程学院, 哈尔滨 150090) ^{**}(大连民族学院土木工程系, 大连 116600)

随机性和模糊性是结构工程中的两种主要不确定性, 过去将只考虑模糊性的结构可靠度理论(称为“模糊可靠度理论”)以及同时考虑随机性与模糊性的结构可靠度理论(称为“模糊随机可靠度理论”)统称为“广义可靠度理论”。本文发现, 结构广义可靠度理论的内容还可以做进一步拓展: (1)经典的结构可靠度理论只考虑随机性中的物理不确定性, 而同时考虑统计和模型不确定性的结构统计可靠度理论事实上属于“双重随机可靠度理论”, 它也是一种广义的结构可靠度。(2)含有模糊参数的模糊变量也可以引发结构的模糊可靠性问题, 本文称其为“双重模糊可靠度理论”。(3)以往的研究通常将同时考虑随机性和模糊性的“随机模糊性”与“模糊随机性”混为一谈, 通过本文的研究, 发现这是两种完全不同的混合不确定性。“随机模糊性”针对的是“随机的模糊事件”, 所采用的“随机模糊变量”是从可能性空间到随机集类的映射, 其实质是一个取值为随机量的模糊变量, 这也就是Zadeh所定义的模糊事件的概率问题。“模糊随机性”针对的是“模糊的随机事件”, 所采用的“模糊随机变量”是从概率空间到模糊集类的映射, 其实质是一个取值为模糊数的随机变量, 这也就是一般文献所说的随机事件的模糊概率(或语言值概率)问题。区分开这两种不同的混合不确定性以后, 将产生两种不同的混合广义可靠度理论: “随机模糊可靠度理论”和“模糊随机可靠度理论”。对于前者, 可以采用我们所提出的基于随机模糊事件满足度的模糊概率法进行求解; 对于后者, 可以采用我们所提出的基于模糊随机变量理论的表现定理和序关系进行求解。

¹⁾E-mail: ludagang@hit.edu.cn

基于随机有限元的结构疲劳寿命稳健性优化设计

孟广伟 李 锋 赵云亮

(吉林大学机械科学与工程学院, 长春 130022)

由于材料特性、构件的几何特性、载荷历程和环境条件等随机因素的影响, 结构的疲劳寿命表现出较大的分散性, 造成结构的结构寿命往往远远偏离结构的设计寿命。因此, 需要对结构采用稳健性优化设计, 使结构寿命对这些随机因素的变化灵敏性降到最低。

自从20世纪70年代Taguchi提出了旨在减少不确定因素对产品质量的影响的三次设计法后, 稳健设计在众多领域得到了推广应用。目前稳健设计的方法大体上可以归纳为两类: 以经验或半经验设计为基础的传统稳健设计方法和以工程模型为基础, 并与优化技术相结合的工程稳健设计法。当结构影响因素较多时, 传统的稳健性设计试验次数将大幅增加, 造成计算量大、计算效率低、试验成本增大。而现代计算机技术的发展为工程稳健性设计提供了有利条件, 一些学者提出了各种结构稳健性优化模型。从目前的文献来看, 对于结构疲劳寿命稳健性设计的研究仍然很少, 已有的疲劳稳健设计也是基于Taguchi概念的试验设计方法, 这种方法不够完善, 计算效率低, 并存在统计上的缺陷。

本文基于随机有限元法, 建立了在构件尺寸、材料参数及载荷等参数随机变化下的结构疲劳寿命稳健性设计模型。该模型考虑了平均应力对结构疲劳寿命的影响, 在区间寿命约束下, 以结构疲劳寿命均值和标准差作为优化目标。最后通过承受脉冲载荷的平面10杆桁架结构疲劳寿命稳健性优化算例显示了本文方法的有效性。

本文方法可以有效地降低结构疲劳寿命对设计变量的敏感性, 提高结构疲劳寿命安全可靠, 减少疲劳寿命的分散性, 为结构疲劳寿命的稳健性设计提供了一种高效实用的方法。

随机变量和区间变量共存条件下的复合材料可靠性设计

陈建桥 曹 莹 魏俊红 葛 锐

(华中科技大学力学系, 武汉 430074)

在复合材料的结构可靠性分析中, 存在多种不确定性因素。当有足够的信息描述这些不确定因素的分布时, 可以用随机变量来描述不确定性因素。在工程实际中, 能够提供描述不确定性的信息是有限的, 如果人为地假定随机变量的分布, 此时分布类型会对结构可靠性分析和优化设计的结果产生很大的影响, 使设计结果不准确, 有时可能会带来巨大的损失。本文在复合材料的可靠性和可靠性优化分析中, 提出用区间变量来描述某些不确定性因素, 并研究了同时存在区间变量和随机变量情况下的可靠度分析及可靠性设计的模型和方法。

水电站大型起重平衡梁的安全检测与复核

张永恩^{*,**} 余忠华^{**} 李兴林⁺

^{*} (水利部产品质量标准研究所, 杭州 310012) ^{**} (浙江大学机械与能源工程学院, 杭州 310027)

⁺ (杭州轴承试验研究中心国家检测实验室 (CNAL No. L0309), 杭州 310002)

平衡梁是关乎安全生产的起重专用吊具, 国家标准体系却较少提及具体的安全检测评价内容。本文以某水电站桥式起重机并车抬吊使用的大型平衡梁系统为例, 对其进行了全面的安全检测与复核, 获取了有效的数据与信息, 并据此对平衡梁的安全状况进行了评估, 检测内容与方法可供同类吊具的安全检测参考。

关键词 桥式起重机, 平衡梁, 安全检测, 复核

车辆后桥应力分析及改进

蔡志武

(江铃汽车股份公司产品开发技术中心, 南昌 330001)

采用三维设计软件 UG 建立了某型车后桥壳的数值模型, 通过数据接口转入有限元分析软件 ANSYS, 经修复及网格化后形成有限元计算模型并进行了计算, 得到了桥壳的整体应力分布, 指出了桥壳存在的不足及影响因素。研究表明: 平衡杆支座板的布置对桥壳的强度有重要影响。通过对平衡杆支座板的几种改进方案的分析比较, 为支座板改进设计提供了重要的理论依据。

关键词 后桥, 有限元, 应力, 强度

基于或然性理论的可靠性分析

魏俊红 陈建桥 葛 锐

(华中科技大学力学系, 武汉 430074)

概率方法一直以来被认为是处理不确定现象的最有效的方法。传统的概率可靠性模型建立在随机变量的分布函数基础上, 需要较完整的数据信息。在结构设计问题中, 有关载荷、抗力等影响因素的统计数据一般是稀少的或缺乏的, 信息往往以非完整的形式出现。本文对非完整的信息, 在或然性理论的基础上, 用模糊数进行表示, 研究了模糊数的隶属度函数的具体表达形式。在此基础上, 研究了结构的基于或然性理论的可靠性模型, 给出了蒙特卡洛数值模拟的方法。将此方法用于复合材料结构的可靠性分析和设计中, 算例说明了本文提出方法的有效性。

辐照蠕变对弥散型燃料元件力学可靠性的影响

丁淑蓉 霍永忠

(复旦大学力学与工程科学系, 上海 200433)

核能作为可替代化石类能源的清洁燃料已受到世界各国的重视, 我国也将其列入重点发展的新型能源。反应堆是和平利用核能的最主要的设施。反应堆的核心是核燃料元件。弥散型燃料是由核裂变颗粒(如铀、钚等的化合物)分布在金属、陶瓷或石墨基体中构成, 在结构上类似于颗粒增强复合材料。燃料元件分板型和棒状两种。

金属基弥散型燃料具有高燃耗和高热导, 适合于制造高比功率的小堆芯反应堆, 除了在研究试验堆中应用之外, 主要用于舰船核动力堆中。国际原子能机构确认的为防止核扩散、降低研究和试验反应堆用燃料富集度研究计划(RERT), 使得对弥散型燃料的研究与开发成为近年来核燃料研究领域的一个热点问题。

核能一方面能够解决人类亟需的能源问题, 另一方面, 高放核废料的安全处置给科学、技术和工程带来了重大挑战。欧盟在陶瓷基弥散型核燃料用于储放核军工和核电站带来的高放核废料方面开展了一些研究。将废燃料做成棒状弥散型燃料元件的形式, 放置在传统的核反应堆中, 使其能够充分燃烧掉, 则是处理核废料的另一种方式。美国正在加强这方面的研究。我国也将核废料处理问题作为当前和今后核能源领域的重要研究课题。

要保证弥散型燃料在国防、国民经济和高放核废料处理方面的安全应用, 须确保燃料元件的完整性, 使放射性裂变产物不泄漏; 并且要保证其尺寸的稳定性(板型元件在厚度方向不要产生过大的变形, 棒状元件在径向的变化符合要求), 使冷却剂能够正常地流动。所以要确保燃料元件在其寿命内具有足够的强度和刚度, 以保证其可靠性。由于辐照实验研究十分耗时, 成本也很高, 还很难在线观察。为设计制备长寿命的弥散型核燃料元件, 也为了减少实验的盲目性, 建立合适的理论模型并进行数值模拟十分必要。

弥散型燃料是一种特殊的复合材料, 由于其处于复杂的堆内环境, 使其具有复杂的堆内行为: 燃料颗粒裂变产生裂变热; 燃料颗粒裂变产生固体裂变产物, 在晶粒与晶界中产生惰性气体裂变产物, 使其随燃耗增长不断地产生体积膨胀(肿胀), 在高燃耗下肿胀的程度很高, 导致燃料元件内部出现大变形和弹塑性变形问题; 燃料颗粒裂变产生快中子流则会导致基体材料随时间硬化变脆和辐照蠕变。

本研究初步建立了弥散型燃料元件的理论模型, 针对板型弥散型燃料元件的具体几何特征, 借鉴颗粒复合材料细观力学的研究思路, 沿厚度方向选取代表性体元, 对弥散型燃料元件的力学可靠性进行了数值模拟。理论模型中初步考虑了裂变热、裂变肿胀、弹塑性、辐照蠕变和大变形的影响。由于板型弥散型燃料长度和宽度方向的尺寸远大于厚度方向的尺寸, 假设燃料颗粒在长度和宽度方向存在一定的周期性, 沿厚度方向选取代表性体元作为数值模拟的几何模型。利用热膨胀和颗粒裂变肿胀的相似性, 模拟了燃料颗粒的裂变肿胀行为。针对所选取的辐照蠕变模型, 考察了燃料颗粒达到一定的燃耗情况下, 不同快中子流所导致的辐照蠕变对弥散型燃料元件力学可靠性的影响, 并揭示了辐照蠕变可能导致的不同损伤形式。