

取值 1.12;

$$\frac{p_0}{p_f} = \frac{0.1013}{2.03} = 0.05$$

$$\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{2}{1.12+1}\right)^{\frac{1.12}{1.12-1}} = 0.58$$

$$\frac{p_0}{p_f} = 0.05 < \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = 0.58$$

## 5.2 安全阀泄放面积计算

根据上述临界条件采用:

$$A = 13.16 \frac{W_s}{C K p_f} \sqrt{\frac{Z T_f}{M}}$$

式中:

C—气体特征系数,  $C = 520 \sqrt{K \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} = 329$ ;

K—泄放系数, 准确由制造厂家提供。一般全启式  $K = 0.6 \sim 0.7$ , 微启式  $K = 0.4 \sim 0.5$ ; 取值 0.6。

Z—气体压缩系数, 泄放压力为 1.68MPa, 临界压力 1.83MPa, 对比压力为 0.83,

泄放温度 50℃, 临界温度 96.8℃, 对比温度为 0.52。

气体压缩系数取值  $Z = 1.05$ ;

$T_f$ —泄放温度, 按设计温度 50℃ 取值,  $T_f = 273.15 + 50 = 323\text{K}$ ;

M—气体摩尔质量, kg/kmol; 丙烷 44.1kg/kmol; 丁烷 58.12 kg/kmol, 占比基本相同, 取均 51.11 kg/kmol;

$$A = 13.16 \times \frac{4946}{329 \times 0.6 \times 2.03} \sqrt{\frac{1.05 \times 323}{51.11}} = 419 \text{ mm}^2$$

## 5.3 安全阀选型

①公称直径: 选用安全阀泄放面积不应小于计算面积。

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 419}{3.14}} = 23 \text{ mm}$$

经计算安全阀喉径为 23mm, 考虑到一定的裕度, 选择公称直径 DN80 安全阀。

②公称压力: 安全阀开启压力 1.68MPa, 选用公称压力 PN4.0 MPa。

③安全阀数量: 液化石油气 100m<sup>3</sup> 以上 (含) 的储罐, 安全阀设置两个或两个以上, 型号和规格应采用相同规格, 安全阀至少一个备用。混烃组分同液化石油气相似, 本次设计 100m<sup>3</sup> 混烃储罐选择 2 个 DN 80 的全启式安全阀。

## 5.4 安全阀型号

根据《阀门型号编制方法》(GB/T32808-2016) 规定, 选取安全阀型号: A48H-40C。

## 6 安全阀安装

安全阀的可靠性, 关系到人身安全和生产的正常运行。安全阀正确安装是保证安全阀正常工作、保证安全生产的必

要条件。

安全阀就地放空时, 放空出口应不小于操作人员 1 m 以上, 不得朝向 15 m 以内的明火地点和高温设备; 容器内有气、液两种物料时, 安全阀首先应装在上部气相部分; 泄放可燃液体时, 安全阀的出口管线应与事故储罐相连接。

安全阀出口连接管道其截面积不得小于安全阀的进口截面积; 若干个安全阀使用一个出口管道时, 出口管道的截面积应大于安全阀的进口之和截面积; 设备与安全阀之间, 无不特殊要求并经技术负责人批准, 不得装设截止阀门; 如果安装了截止阀, 截止阀在生产正常运行期间, 必须保持全开, 截止阀应锁定或加铅封。

安全阀装设排放管时, 排放管不宜急转弯和曲折, 尽量减少摩阻。排放管要保证排汽畅通并有足够的流通截面积, 直通安全地点; 对于排放物质能产生化学反应的安全阀, 不能共用一根排放管; 当安全阀安装在有可燃气体或腐蚀性的设备上, 还应采取防腐蚀措施;

野外安装的安全阀, 要有防止气温低于 0℃ 时安全阀内所含介质水分结冰, 影响安全阀排放的保温措施。

安全阀安装完毕, 为了防止随便改变已调整好的状况, 使用单位应加以铅封。每年安全阀检维修时, 工作人员应在拆卸阀门之前, 做好标记, 记录下调整螺杆和调节圈的具体位置, 方便检维修后的安全阀的调整工作。操作人员在检维修改造完成后, 安全阀应再次铅封防止误操作。

## 7 结语

安全阀是石油企业最常用的一种安全泄压装置。本文仅对盛装液化气体的容器有完整保温层的泄放量进行了计算, 对计算过程中涉及到的多组分气体的压缩系数、绝热系数、液体汽化潜热、气体摩尔质量等计算过程中遇到的细节问题进行了分析。对无保温层储罐泄放量没有进行示例计算, 对盛装压缩气体或水蒸气的容器安全泄放量也没有进行示例计算, 但三者原理基本相似, 计算中所用到的参数基本相同, 唯一区别的泄放条件下的介质密度, 在计算时要考虑设定的温度和设定的压力。

总之, 容器的安全泄放量是安全阀泄放面积选取的依据, 安全泄放量计算中使用的参数, 在计算过程中要看清介质是单组分还是多组分, 单位是否需要换算, 特别要考虑参数使用的压力、温度和其他条件。

## 参考文献

- [1] 文昱舜. 浅谈安全阀在石油化工及管道上的安装设置[J]. 贵州化工, (2006) 5-0047-03.
- [2] 《压力容器 第1部分 通用要求》(GB150.1-2011)
- [3] 周震《安全阀》[M]. 北京 中国标准出版社 2002

# Joint Optimization Analysis of Mechanical Component Topology and Parameters for Performance Enhancement

Hongbo Liu

Guizhou Aerospace Tianma Electromechanical Technology Co., Ltd., Zunyi, Guizhou, 563000, China

## Abstract

Mechanical components serve as the core unit of equipment manufacturing. Currently, the mechanical properties such as strength and stiffness of mechanical components directly affect the operational efficiency and stability of the entire equipment. This paper proposes a combined optimization analysis method for mechanical component topology and parameters. This method integrates topological optimization structures and precisely regulates parameter optimization design, enabling structural optimization. By determining the material configuration within the domain, screening size optimization variables based on this, and combining genetic methods for parameter optimization design, it achieves collaborative improvement. The results of engineering practice show that this method can effectively enhance mechanical stiffness, strength, and other mechanical properties. When compensating for the limitations of single optimization design, it provides certain references for the high-performance design of mechanical components.

## Keywords

Performance improvement; Mechanical components; Topology and parameters; Joint optimization

## 面向性能提升的机械构件拓扑与参数联合优化分析

刘洪波

贵州航天天马机电科技有限公司, 中国·贵州 遵义 563000

## 摘要

机械构件作为装备制造的核心单元, 目前来说, 机械构件的强度、刚度等力学性能直接影响整体装备的运行效率以及稳定性。本文提出机械构件拓扑与参数联合优化分析方法, 该方法通过融合拓扑优化结构, 在进行参数优化设计的精准调控时, 能够结构优化。通过确定域内材料构型, 以此为基础进行尺寸优化变量筛选, 结合遗传方法做好参数优化设计, 从而实现协同提升。经工程实践研究表明, 该方法能够有效提升机械刚度、强度等力学性能, 在弥补单一优化设计瓶颈时, 为机械构件高性能设计提供一定参考。

## 关键词

性能提升; 机械构件; 拓扑与参数; 联合优化

## 1 引言

当前装备制造领域的基础单位即为机械构件, 其广泛应用于航空航天以及汽车制造领域, 除此之外, 新能源装备等多有应用。现阶段现代工业向高精度、高可靠化方向不断发展, 因此各领域对于机械构件性能要求也在不断增加, 传统经验设计法难以满足工程需求。在机械构件优化设计中, 应用较为广泛的方法为拓扑优化以及参数优化, 二者各有优势, 同时也存在一定局限性。拓扑优化从源头结构进行创新, 在进行材料调整和设计时, 给予参数优化, 能够实现构件性能的精准调控, 优化结果良好。基于此, 本文通过机械构件拓扑以及参数联合优化体系, 在明确优化流程设计以及核心要点时, 弥补单一优化方式的不足, 以此来提升优化设计的

实用性。

## 2 机械构件拓与参数联合优化设计

拓扑与参数联合优化的关键即为“以拓扑优化定结构、以参数优化精性能”, 在突破单一优化方式的局限时, 从而形成完整流程。各阶段通过逐级递进、相互关联以此进行参数调控, 能够保证结构设计的创新性, 因此机械构件性能综合提升, 整体优化结果符合生产要求。

### 2.1 设计问题

联合优化的基础环节即为设计核心问题, 明确构件实际应用要求, 设定工作划定范围, 避免理论和实际应用脱节。第一, 在机械构件工作中, 应明确构件承载的载荷类型以及工作环境, 保证优化设计符合实际场景。第二, 结合行业标准以及整体设备要求优化相关目标, 以刚度达标为核心要求, 兼顾加工工艺和制造成本, 避免出现制造成本过高的问题。确定联合优化的相关条件, 尺寸符合规范、体积不超过

【作者简介】刘洪波(1993-), 男, 中国贵州遵义人, 硕士, 工程师, 从事机械设计研究。

预设范畴，明确工作设定边界。

## 2.2 拓扑优化阶段

联合优化的结构基础为拓扑优化，在设计领域过程中，选取工程中较为成熟、实用的材料作为优化对象。本阶段核心优化目标为实现构件刚度最大值，结合体系约束等条件，通过进行工具的优化分解，从而使材料设计实现最优分布结果，保证材料集中在力学路径上，实现初步设计。对于直接拓扑优化结果来说存在一些问题，不利于后续的参数优化以及加工，因此应做好后续处理。通过平滑构件边界、修复几何构型，从而弥补模型的微小缺陷，为后续参数优化提供可靠依据<sup>[1]</sup>。

## 2.3 参数优化阶段

参数优化作为性能精调环节，主要以提升构建精准度为主要目标。以拓扑优化后基础构型为研究对象，通过分析灵敏度，筛除构建刚度，并以关键尺寸作为参数以此来优化

变量。关键尺寸包含圆角半径、受力部分壁厚以及安装孔孔径、连接部位尺寸，这些微小变化将会直接影响力学性能，同时也是核心对象。通过采用响应面法简化变量、性能指标关系，在模拟二者关联规律时提升优化效率。结合遗传算法开展目标参数优化，在满足位移等约束条件前提下，实现最优参数组织，完成精细化调控。

## 2.4 验证和迭代

验证和迭代作为联合优化的关键环节，核心点即为检验优化结果是否和预设要求相符合。通过将联合优化后的拓扑构成、参数组合进行整合，从而形成完整构件方案。使用专业分析工具进行性能复核，结合加工工艺进行方案评估。如果性能指标未达到要求，应继续进行拓扑优化，随后调整体积，重新进行参数筛选，做好二次优化。如果性能达到设计值，确定最终方案，完成流程优化。

表 1 机械构件拓扑与参数联合优化整体流程

优化阶段	核心任务	关键操作
设计问题明确	贴合实际工况，设定优化目标与约束	确定载荷类型 / 工作环境、优化目标（刚度为核心）、边界条件（尺寸 / 体积）
拓扑优化阶段	确定材料最优分布，搭建基础结构	变密度法建模、材料分布优化、构型后处理（平滑边界 / 修复缺陷）
参数优化阶段	精细化调控尺寸，提升性能精准度	灵敏度分析筛选变量、构建响应面模型、遗传算法求解最优参数
验证和迭代	检验优化效果，完善方案	性能复核、工艺评估、二次优化（若不达标）

## 3 基于变密度法的拓扑优化实施要点

### 3.1 变密度法核心原理

变密度法的核心思路即为将构件设计离散为有限单元，为单元赋予相对密度值，该数值处于 0-1 之间，数值趋近于 0、数值 1 分别代表该单元为空洞、实体材料。通过优化各单元密度值，让材料集中于力学传力路径上，在降低构件质量时保证基础刚度以及强度，兼顾基础性能。为避免优化结果处于 0-1 之间模糊不清，此方法引入惩罚机制，从而让优化过程中的密度值趋向于 0 或 1，从而构建合理拓扑结果，保证优化结果的实用性，为后续参数优化奠定一定基础。

### 3.2 拓扑优化的建模要点

拓扑优化结果直接决定结果的有效性，在建模过程中应符合实际情况，同时满足构件的工作要求。通过合理设计域、非设计域，将构件中结果进行划定。设计域为结构创新部分，安装面、连接部分为不可改动部分，从而避免构件影响使用。选择合适的材料参数，确保构件复核实际使用要求。明确材料的弹性模量、应力等参数，保证建模和实际要求一致。通过合理进行网格划分，网格精度过高将会增加计算量、精度过低直接影响结果准确性。依据构件结构选择尺寸适中网络，实现效率、结果精度平衡。

### 3.3 拓扑优化结果处理原则

拓扑优化结果处理为提供工艺的关键，直接决定优化构型是否作为基础，在后续处理中应保证实用性、力学性以及工艺性原则。实用性要求构型应保证构件的核心功能，其

不影响部件装配<sup>[2]</sup>。工艺性要求去除微小单元，构型应符合机械加工要求，保证符合工艺加工规范。力学性能要求在处理过程中应不破坏构件路径，避免由于构型调整导致力学性能下降。在保证上述原则时，拓扑优化构型应满足力学性能要求，保证实用性。

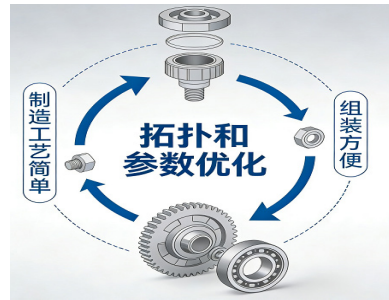


图 1 拓扑和参数优化优势图

## 4 基于遗传算法的参数优化要点

参数优化作为性能优化的核心环节，本次研究选用遗传算法开展参数优化，该算法作为全局优化算法，能够有效处理多种问题，适合求解机械构件的相关优化问题。

### 4.1 设计变量筛选

参数优化的前提即为进行设计变量的筛选，其直接决定优化的效果。筛选原则为可控性、敏感性、工艺性。敏感性是指构件刚度、强度等核心性能，其直接影响参数的调整以及性能的提升。可控性是指在实际加工过程中进行的尺寸