

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2023.08.006

圆渐开线变截面涡旋压缩机型线的参数优化

彭斌, 陶耀辉, 刘慧鑫

(兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:圆渐开线变截面涡旋压缩机的优化设计均以几何性能为目标。为了得到在几何性能和力学性能方面更为优越的涡旋压缩机,文章建立圆渐开线变截面涡旋压缩机压缩比和轴向气体力的数学模型,分析压缩比和轴向气体力随型线参数的变化趋势;结合几何性能和力学性能,以压缩比倒数和轴向气体力为目标函数,利用多目标遗传算法对其进行优化,得到不同参数变化下的非劣解集。对优化型涡旋盘与未优化涡旋盘进行的定量分析结果表明,优化型涡旋盘的压缩比提高了 16.14%,轴向气体力降低了 5.62%,证明了优化的可行性。该研究为圆渐开线变截面涡旋压缩机设计时型线参数的选取提供了一定的参考。

关键词:变截面;涡旋压缩机;压缩比;轴向气体力;多目标优化

中图分类号:TH455 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-5060(2023)08-1046-07

Parameters optimization of circular involute scroll compressor with variable cross-section profile

PENG Bin, TAO Yaohui, LIU Huixin

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The optimization design of circular involute scroll compressor with variable cross-section profile focuses on geometric performance. In order to obtain a scroll compressor with superior geometric and mechanical performance, the mathematical models of the compression ratio and axial gas force of the circular involute scroll compressor with variable cross-section profile were established, the changing trends of the compression ratio and axial gas force with profile parameters were analyzed. Combining with geometric and mechanical performance and taking the reciprocal of compression ratio and the axial gas force as objective functions, a set of non-inferior solutions under different parameter changes were obtained by the optimization using the multi-objective genetic algorithm. Optimized scroll and non-optimized scroll were quantitatively analyzed, and the results showed that the compression ratio of the optimized scroll increased by 16.14% and the axial gas force decreased by 5.62%, thus verifying the feasibility of optimization. This research provides reference for the selection of profile parameters in the design of the circular involute scroll compressor with variable cross-section.

Key words: variable cross-section; scroll compressor; compression ratio; axial gas force; multi-objective optimization

涡旋压缩机因效率高、噪声低、振动小、体积小等优点而被广泛应用于制冷、空调等领域。变截面涡旋压缩机由于能以较少的圈数实现高压

比的优势,一直是研究的热点。文献[1]对变径基圆渐开线涡旋盘的结构进行了优化;文献[2]基于控制体积法建立了变壁厚涡旋压缩机的几何模

收稿日期:2021-11-22;修回日期:2022-05-27

基金项目:国家重点研发计划“科技助力经济 2020”重点专项资助项目(SQ2020YFF0420989);国家自然科学基金资助项目(51675254;51966009);甘肃省科技计划资助项目(20YF8GA057)和兰州市人才创新创业资助项目(2020-RC-23)

作者简介:彭斌(1976—),男,新疆伊宁人,博士,兰州理工大学教授,博士生导师。

型;文献[3]对变截面涡旋压缩机的结构及其性能优势进行了分析;文献[4]提出一种圆渐开线-高次曲线-圆弧组合的变截面型线,构建了涡旋压缩机的整体数学模型并进行了试验研究;文献[5]利用变径基圆构建了一种变壁厚涡旋齿,改善了涡旋齿的受力变形,得到在介质压力作用下的应力分布及变形规律;文献[6]基于泛函理论对变壁厚涡旋型线进行优化,建立了优化数学模型,得到了优化型线;文献[7]利用 NSGA-II 算法对变截面涡旋压缩机进行了优化,并对优化模型与传统变截面涡旋盘进行了对比;文献[8]基于 Frenet 标架建立了圆渐开线变截面压缩机的数学模型,推导了工作腔容积计算公式,并对传统变截面涡旋压缩机做了定量分析;文献[9]提出一种新型圆渐开线变截面涡旋齿构建理论,并给出了通用模型几何参数;文献[10]分析了圆渐开线变截面涡旋压缩机的几何性能;文献[11]利用 MATLAB 遗传算法工具箱优化了圆渐开线截面涡旋盘的几何性能;文献[12]利用遗传算法对 2 种变截面涡旋盘的几何性能进行了优化,并得出优化后涡旋盘几何参数的非劣解集。

圆渐开线变截面涡旋压缩机几何性能优异,在压缩比、行程容积和面积利用系数方面比其他变截面涡旋压缩机优势更大。在圆渐开线变截面涡旋压缩机的优化方面,只考虑了几何性能的优化,忽略了力学性能对涡旋压缩机的影响,而涡旋压缩机所受气体力是引起压缩机振动、噪声和泄漏的一个主要原因,尤其当涡旋压缩机所受的轴向气体力过大时,会增大压缩机的轴向间隙,使径向泄漏量增加,严重影响压缩机的性能。因此有必要对涡旋压缩机进行几何性能和力学性能的综合优化,以构建在压缩比和轴向气体力方面都有优势的圆渐开线变截面涡旋机。

1 型线母线的建立

涡旋齿的母线由 3 段圆渐开线组成,其中第 1 段渐开线和第 3 段渐开线的基圆半径相同,第 2 段渐开线基圆半径比其余 2 段渐开线的基圆半径大。

第 1 段圆渐开线母线方程如下:

$$\begin{cases} x_1 = x_0(\varphi_0) + \int_0^\varphi \rho_1(\varphi) \cos \varphi d\varphi, \varphi \in [0, \varphi_1]; \\ y_1 = y_0(\varphi_0) + \int_0^\varphi \rho_1(\varphi) \sin \varphi d\varphi, \varphi \in [0, \varphi_1] \end{cases} \quad (1)$$

第 2 段圆渐开线母线方程如下:

$$\begin{cases} x_2 = x_1(\varphi_1) + \int_{\varphi_1}^\varphi \rho_2(\varphi) \cos \varphi d\varphi, \varphi \in [\varphi_1, \varphi_2]; \\ y_2 = y_1(\varphi_1) + \int_{\varphi_1}^\varphi \rho_2(\varphi) \sin \varphi d\varphi, \varphi \in [\varphi_1, \varphi_2] \end{cases} \quad (2)$$

第 3 段圆渐开线母线方程如下:

$$\begin{cases} x_3 = x_2(\varphi_2) + \int_{\varphi_2}^\varphi \rho_3(\varphi) \cos \varphi d\varphi, \varphi \in [\varphi_2, \varphi_c]; \\ y_3 = y_2(\varphi_2) + \int_{\varphi_2}^\varphi \rho_3(\varphi) \sin \varphi d\varphi, \varphi \in [\varphi_2, \varphi_c] \end{cases} \quad (3)$$

为保证型线的连续性和光滑性,曲率半径需满足以下条件:

$$\rho_1(\varphi) = \int_0^\varphi a d\varphi \quad (4)$$

$$\rho_2(\varphi) = \rho_1(\varphi_1) + \int_{\varphi_1}^\varphi a_1 d\varphi \quad (5)$$

$$\rho_3(\varphi) = \rho_2(\varphi_2) + \int_{\varphi_2}^\varphi a d\varphi \quad (6)$$

其中: φ_1 为第 1 段圆渐开线最大展角; φ_2 为第 2 段圆渐开线最大展角; φ_c 为第 3 段圆渐开线最大展角; a 为第 1 段和第 3 段圆渐开线基圆半径; a_1 为第 2 段圆渐开线基圆半径。为方便计算取 $x_0(\varphi_0) = a, y_0(\varphi_0) = 0$ 。

由渐开线母线方程生成的母线如图 1 所示。

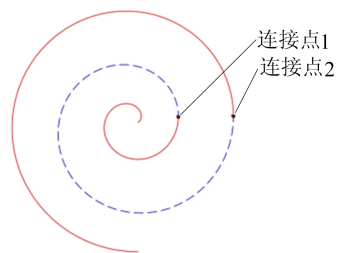


图 1 圆渐开线变截面涡旋齿母线

利用法向等距线法^[13]由母线生成圆渐开线变截面涡旋齿,对生成的变截面涡旋齿的齿头采用双圆弧修正,双圆弧修正过程如图 2 所示。

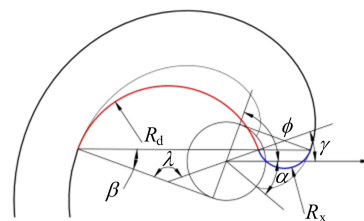


图 2 双圆弧修正

图 2 中: γ 为修正角; ϕ 为修正展角; λ 为圆弧中心角; β 为修正底角; R_d 、 R_x 分别为大、小圆弧半径。以上参数中只有 1 个参数是独立的, 只要确定 1 个, 即可确定出其他参数。其中 γ 、 λ 、 ϕ 、 β 的关系为:

$$\gamma = \phi - \lambda + \pi/2 \quad (7)$$

$$\lambda = \pi - 2\beta \quad (8)$$

$$\phi = \cot \beta - \pi/2 \quad (9)$$

修正后的圆渐开线变截面涡旋齿如图 3 所示。

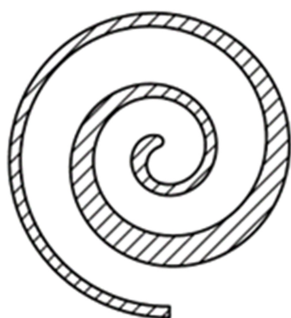


图 3 圆渐开线变截面涡旋齿

2 优化数学模型的构建

2.1 压缩腔容积计算

圆渐开线变截面涡旋压缩机腔体如图 4 所示, 由内到外分别是第 1 压缩腔、第 2 压缩腔和第 3 压缩腔。

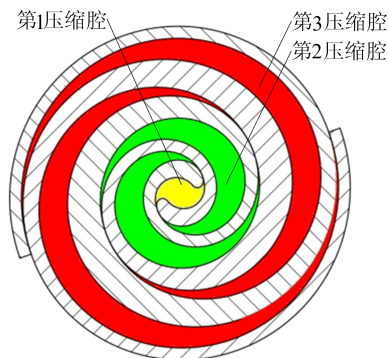


图 4 涡旋压缩机腔体

2.1.1 第 3 压缩腔容积

当第 3 压缩腔由第 2 段和第 3 段圆渐开线组成时, 第 3 压缩腔母线长度为:

$$L_3 = \int_{\varphi_e - 2\pi - \theta}^{\varphi_2} \sqrt{x_2'^2 + y_2'^2} d\varphi + \int_{\varphi_2}^{\varphi_e - \theta} \sqrt{x_3'^2 + y_3'^2} d\varphi \quad (10)$$

第 3 压缩腔投影面积为:

$$A_3(\theta) = 2R_{or}[L_3 + R_t(\varphi_e - 2\pi) - R_t(\varphi_e)] \quad (11)$$

第 3 压缩腔容积为:

$$V_3(\theta) = hA_3(\theta) \quad (12)$$

其中: R_{or} 为回转半径; h 为涡旋盘齿高。

2.1.2 第 2 压缩腔容积

当第 2 压缩腔由第 1 段和第 2 段圆渐开线组成时, 第 2 压缩腔母线长度为:

$$L_2 = \int_{\varphi_e - 4\pi - \theta}^{\varphi_1} \sqrt{x_1'^2 + y_1'^2} d\varphi + \int_{\varphi_1}^{\varphi_e - 2\pi - \theta} \sqrt{x_2'^2 + y_2'^2} d\varphi \quad (13)$$

第 2 压缩腔投影面积为:

$$A_2(\theta) = 2R_{or}[L_2 + R_t(\varphi_e - 4\pi) - R_t(\varphi_e - 2\pi)] \quad (14)$$

第 2 压缩腔容积为:

$$V_2(\theta) = hA_2(\theta) \quad (15)$$

2.1.3 第 1 压缩腔容积

1) 当第 1 压缩腔由第 1 段圆渐开线和修正圆弧组成时, 第 1 压缩腔面积为:

$$A_{11}(\theta) = \frac{1}{3}a^2[(\theta + \pi/2 - \delta)^3 - (\theta - \pi/2 + \delta)^3 + (\phi + \pi + \delta)^3 - (\phi + \pi - \delta)^3] - a^2(\pi - 4\delta) - 2A_m \quad (16)$$

修正齿头轴向投影面积 A_m 为:

$$A_m = \frac{1}{6}a^2[(\phi + \pi + \delta)^3 - (\phi + \delta)^3] + \frac{\pi}{2}a^2 - \frac{\lambda}{2}(R_d^2 - R_x^2) \quad (17)$$

第 1 压缩腔容积为:

$$V_{11}(\theta) = hA_{11}(\theta) \quad (18)$$

2) 当第 1 压缩腔完全由修正圆弧组成时, 第 1 压缩腔面积为:

$$A_{12}(\theta) = (R_d^2 - R_x^2)[(\theta - \gamma) - \sin(\theta - \gamma)] \quad (19)$$

此时第 1 压缩腔容积为:

$$V_{12}(\theta) = hA_{12}(\theta) \quad (20)$$

其中: δ 为渐开线发生角; γ 为修正角; ϕ 为修正展角; λ 为圆弧中心角; R_d 为大圆弧半径; R_x 为小圆弧半径。

2.2 轴向气体力

涡旋压缩机涡旋盘上承受的轴向气体力是涡旋盘上承受的最重要的气体力, 也是涡旋压缩机的一个主要缺点。动涡旋盘上承受的轴向气体力越大, 动涡旋盘将沿轴向脱离静涡旋盘, 增加涡旋盘之间的轴向间隙, 导致压缩机径向气体泄漏量

增加。因此,涡旋盘所受轴向气体力越小,对涡旋压缩机的力学性能越有利。

轴向气体力为:

$$F_a(\theta) = \begin{cases} p_3 A_3 + p_2 A_2 + p_1 (A_{11} + A_{12}), & \theta \in [0, \theta^*) \\ p_3 A_3 + p_1 (A_{11} + A_{12}), & \theta \in [\theta^*, 2\pi) \end{cases} \quad (21)$$

其中, p_1 、 p_2 、 p_3 分别为第 1、第 2、第 3 压缩腔的压力,计算公式如下:

$$p_i(\theta) = p_s \left[\frac{A_3(0)}{A_i(\theta)} \right]^k, \quad i = 1, 2, 3 \quad (22)$$

其中: p_s 为吸气压力; k 为气体等熵指数。

2.3 压缩比

压缩比是衡量涡旋压缩机几何性能的一个重要指标,压缩比越大,涡旋压缩机容积效率越高。

压缩比为:

$$v = \left[\frac{V_3(0)}{V_{11}(\theta^*)} \right]^k \quad (23)$$

其中, θ^* 为开始排气角, $\theta^* = 1.5\pi - \gamma$ 。

2.4 型线参数影响分析

由式(21)、式(23)可知,涡旋压缩机所受轴向气体力和压缩比都与连接点 1 处 φ_1 、连接点 2 处 φ_2 、修正底角 β 有关,下面利用控制变量法分别将各个型线参数对轴向气体力和压缩比的影响进行分析。

圆渐开线变截面涡旋压缩机第 1 段、第 2 段渐开线连接点 1 处 φ_1 与压缩比 v 、轴向气体力 F_a 的关系如图 5 所示。

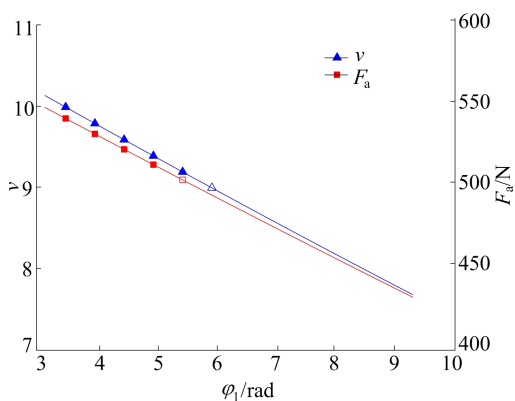


图 5 φ_1 与压缩比、轴向气体力的关系

由图 5 可知,随着连接点 1 处 φ_1 逐渐增大,圆渐开线变截面涡旋压缩机的压缩比和所受轴向气体力都逐渐减小,其中轴向气体力的减小速度小于压缩比的减小速度,说明 φ_1 对轴向气体力的影响小于压缩比。因为压缩比的大小直接影响涡

旋压缩机的几何性能,轴向气体力下降的同时,压缩比减小,不利于涡旋压缩机的几何性能,因此需要寻求两者的非劣解。

圆渐开线变截面涡旋压缩机第 2 段、第 3 段渐开线连接点 2 处 φ_2 与压缩比 v 、轴向气体力 F_a 的关系如图 6 所示。

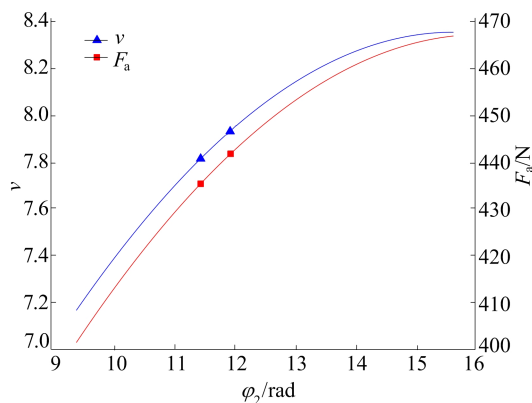


图 6 φ_2 与压缩比和轴向气体力关系

由图 6 可知,随着连接点 2 处 φ_2 逐渐增大,圆渐开线变截面涡旋压缩机的压缩比和所受轴向气体力都逐渐增大,其中轴向气体力的增加速度大于压缩比的增加速度,说明 φ_2 对轴向气体力影响较大。因为轴向气体力的大小与涡旋压缩机的力学性能相关,所以轴向气体力越小,涡旋压缩机力学性能越好。但是压缩比增加的同时,轴向气体力也增加,涡旋压缩机的径向泄漏也增加,力学性能变差,因此需要寻求两者的非劣解。

修正底角 β 与压缩比和轴向气体力的关系如图 7 所示。

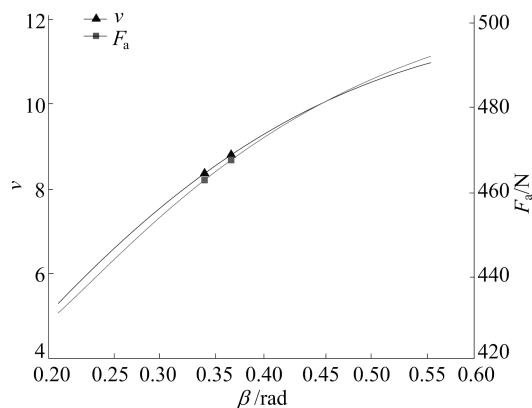


图 7 β 与压缩比和轴向气体力关系

与图 5、图 6 对比可知, β 对压缩比的影响明显大于 φ_1 、 φ_2 对压缩比的影响,对轴向气体力的

影响小于 φ_1 。

由图 7 可知,随着修正底角 β 的增大,圆渐开线变截面涡旋压缩机的压缩比和轴向气体力都逐渐增大,但是压缩比和轴向气体力的增速都逐渐减小,即随着修正底角的增大,对压缩比的影响和轴向气体力的影响逐渐减小。同样,压缩比增加的同时轴向气体力也增加,径向泄漏增加,对涡旋压缩机的力学性能不利,因此需要寻求两者的非劣解。

3 多目标遗传算法

3.1 多目标遗传算法

多目标遗传算法是利用仿生学中的选择、交叉、变异 3 个遗传算子,利用随机选择的父代对子代基因进行随机的交叉和变异,形成新的种群;并在新种群中利用适应度函数进行排序,选择出适应度较好的个体进行下一次迭代,直至得到最优解。

3.2 目标函数、优化变量和约束条件的选取

由图 5、图 6、图 7 可知,压缩比和轴向气体力在同一参数的区间变化上呈现相同的变化趋势,当其中一个目标性能变优的同时,另一个目标性能变差,因此需寻求两者的非劣解集。因为遗传算法优化默认的是最小值优化,所以目标函数选择为压缩比倒数($1/v$)最小和 $\theta=\theta^*$ 时轴向气体力(F_a)最小。由于圆渐开线变截面涡旋压缩机的轴向气体力和压缩比有多个初始参数共同作用,因此在优化时,优化变量选择了相互独立的变量,即连接点 1 处 φ_1 、连接点 2 处 φ_2 和修正底角 β 。

综上,得到目标函数、优化变量和约束条件的关系如下:

$$\begin{cases} F_a = F_a(\varphi_1, \varphi_2, \beta), \\ 1/v = 1/v(\varphi_1, \varphi_2, \beta), \\ \pi < \varphi_1 < 3\pi, \\ 3\pi < \varphi_2 < 5\pi, \\ \pi/15 < \beta < \pi/6 \end{cases} \quad (24)$$

3.3 单初始参数的优化

3.3.1 φ_1 、 φ_2 的优化

由图 5、图 6 可知, φ_1 、 φ_2 都与轴向气体力和压缩比的性能好坏成相反的关系,因此利用多目标遗传算法对目标函数进行优化。分别对 φ_1 、 φ_2 利用多目标遗传算法进行优化,结果如图 8、图 9 所示。

从图 8、图 9 可以看出,随着 φ_1 、 φ_2 的变化,两

目标函数呈现相反的变化趋势。

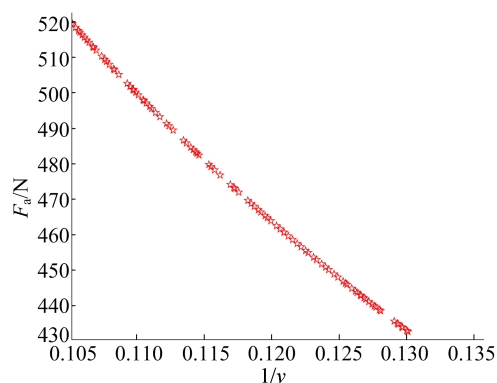


图 8 优化连接点 1 处 φ_1

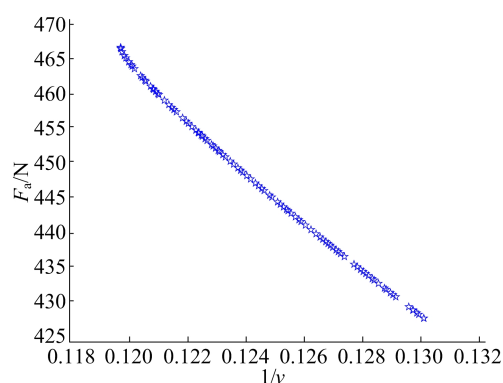


图 9 优化连接点 2 处 φ_2

各自选取部分非劣解集见表 1、表 2 所列。由表 1、表 2 可知,随着连接点的变化,两优化目标的性能无法同时达到最优,而两表中 φ_1 、 φ_2 的取值则考虑了两优化目标性能的最优性。

表 1 多目标优化下连接点 1 处 φ_1 的非劣解集

φ_1/rad	$1/v$	F_a/N
4.712 4	0.105 2	519.479 9
5.905 6	0.110 7	497.110 2
6.839 4	0.115 4	479.794 0
7.935 8	0.121 2	459.680 9
9.411 6	0.130 0	432.992 6

表 2 多目标优化下连接点 2 处 φ_2 的非劣解集

φ_2/rad	$1/v$	F_a/N
10.995 6	0.130 1	428.614 2
12.151 1	0.125 4	443.822 3
13.040 3	0.122 9	452.976 8
14.754 8	0.120 1	464.273 1
15.173 6	0.119 8	465.752 0

3.3.2 β 的优化

对修正底角 β 利用多目标遗传算法进行优

化,结果如图 10 所示。

从图 10 可以看出,随着 β 的变化,两目标函数呈现相反的变化趋势。与连接点处 φ_1 、 φ_2 的优化结果对比可知,修正底角 β 对压缩比的影响较大,对轴向气体力的影响较小。这同 φ_1 、 φ_2 、 β 与压缩比和轴向气体力的关系相对应,证明了优化结果的合理性。

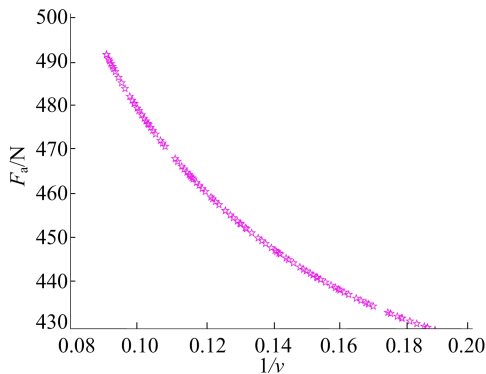


图 10 优化 β

选取部分非劣解集见表 3 所列。由表 3 可知,随着修正底角的变化,两优化目标的性能无法同时达到最优,而表 3 中 β 的取值则考虑了两优化目标性能的最优性。

表 3 多目标优化下 β 的非劣解集

β/rad	$1/v$	F_a/N
0.225 7	0.176 0	434.221 8
0.323 3	0.126 8	456.948 9
0.452 2	0.100 6	479.281 7
0.491 0	0.096 4	484.192 8
0.566 7	0.090 8	491.768 5

3.4 多初始参数的优化

连接点处 φ_1 、 φ_2 和修正底角 β 同时变化时对两目标函数的取值进行优化,结果如图 11 所示。由图 11 可知,相对于单目标初始参数优化,多目标初始参数优化中轴向气体力和压缩比倒数的范

围都更广,这为圆渐开线变截面涡旋压缩机设计时参数的取值提供了更大的选择空间。

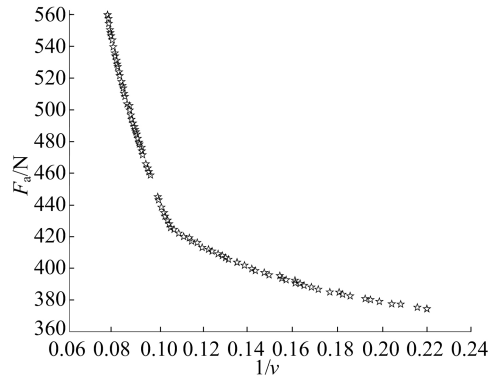


图 11 优化 φ_1 、 φ_2 和 β

当 φ_1 、 φ_2 、 β 同时优化时,选取部分非劣解集见表 4 所列。

由表 4 可知,两优化目标无法同时达到最优,而表 4 中 φ_1 、 φ_2 、 β 的取值则同时考虑了两优化目标性能的最优性。

表 4 多目标优化下 φ_1 、 φ_2 和 β 的非劣解集

φ_1/rad	φ_2/rad	β/rad	$1/v$	F_a/N
4.832 5	13.870 4	0.566 5	0.079 7	548.516 0
5.041 3	11.036 0	0.564 3	0.085 8	510.246 8
7.4975	11.232 9	0.561 9	0.095 6	465.915 4
9.332 3	11.031 7	0.437 7	0.118 7	416.393 2
9.349 1	11.090 3	0.300 7	0.155 7	395.5400

3.5 优化前、后对比

在相同基圆半径和终端展角下,在多初始参数的非劣解集中选取一组优化型解集与未优化涡旋盘在压缩比和轴向气体力方面进行对比,结果见表 5 所列。

表 5 对比结果表明,经过多目标优化之后的优化型涡旋盘压缩比提升了 16.14%,而轴向气体力减小了 5.62%,有效改善了圆渐开线变截面涡旋盘的几何性能和力学性能。

表 5 多目标优化前、后涡旋盘参数对比

涡旋盘	a/mm	φ_e/rad	φ_1/rad	φ_2/rad	β/rad	v	F_a/N
优化前	2.069	18.850	7.854	14.137	0.338	8.279	461.109
优化后	2.069	18.850	8.962	11.056	0.556	9.615	435.200
变化率/%						16.14	5.62

4 结 论

本文以圆渐开线变截面涡旋压缩机为优化对

象,分析得到连接点 1 处 φ_1 与轴向气体力和压缩比负相关,连接点 2 处 φ_2 、修正底角 β 都与轴向气
(下转第 1078 页)

- International Conference on Medical Image Computing and Computer-assisted Intervention. [S. l.]: Springer, 2015: 234-241.
- [10] MENZE B H, JAKAB A, BAUER S, et al. The multimodal brain tumor image segmentation benchmark (BRATS) [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2015, 34(10):1993-2024.
- [11] TUSTISON N J, AVANTS B B, COOK P A, et al. N4ITK: improved N3 bias correction[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2010, 29(6): 1310-1320.
- [12] DICE L R. Measures of the amount of ecologic association between species[J]. Ecology, 1945, 26(3): 297-302.
- [13] DONG H, YANG G, LIU F, et al. Automatic brain tumor detection and segmentation using U-net based fully convolutional networks[C]//Medical Image Understanding and Analysis. [S. l. : s. n.], 2017: 506-551.
- [14] YI D, ZHOU M, CHEN Z, et al. 3-D convolutional neural networks for glioblastoma segmentation[EB/OL]. [2019-10-29]. <https://arxiv.org/abs/1611.04534>.
- [15] ZIKIC I, LOANNOU Y, CRIMINISI A, et al. Segmentation of brain tumor tissues with convolutional networks [C]//MICCAI Workshop on Multimodal Brain Tumor Segmentation Challenge. [S. l. : s. n.], 2014: 36-39.
- [16] 张本健, 林辉, 郭栋, 等. 基于卷积神经网络的放疗脑肿瘤靶区分割方法研究[C]//2019 放射肿瘤物理学年会. [出版地不详: 出版者不详], 2019: 224-225.
- [17] PEREIRA S, OLIVEIRA A, ALVES V, et al. On hierarchical brain tumor segmentation in MRI using fully convolutional neural networks: a preliminary study[C]//2017 IEEE 5th Portuguese Meeting on Bioengineering. [S. l.]: IEEE, 2017: 1-4.

(责任编辑 李 凯)

(上接第 1051 页)

体力和压缩比正相关;结合几何性能和力学性能对优化对象进行优化,利用多目标遗传算法分别在单初始参数和多初始参数条件下对目标函数进行优化,得到 F_a 和 $1/v$ 的非劣解集;并得出在多初始参数优化下,目标函数的取值比单初始参数优化下范围更大;从定量角度将非劣解集中的优化型涡旋盘和未优化涡旋盘所受的轴向气体力和压缩比进行对比。结果表明,优化型涡旋盘在压缩比提升 16.14% 的同时,轴向气体力降低了 5.62%,证明通过算法优化可以有效改善变截面涡旋盘的几何性能和力学性能。

因此,进行圆渐开线变截面涡旋压缩机设计时,可以根据相关性能的要求选取满足设计要求的型线参数,以得到兼顾几何性能和力学性能的圆渐开线变截面涡旋盘。

[参 考 文 献]

- [1] LIU Y G, TANG Y H, CHANG Y C, et al. Optimum design of scroll profiles created from involute of circle with variable radii by using finite element analysis[J]. Mechanism and Machine Theory, 2012, 55(9): 1-17.
- [2] BRYCE R S, ECKHARD A G. Variable wall thickness scroll geometry modeling with use of a control volume approach[J]. International Journal of Refrigeration, 2013, 36(7): 1809-1820.
- [3] MURRAY C. Variable wall thickness boosts scroll compressor's performance [J]. Design News, 1997, 53(5): 116-117.
- [4] 彭斌, 孙迎. 变截面涡旋压缩机数学模型及试验研究[J]. 机械工程学报, 2015, 51(14): 185-191.
- [5] 王君, 查海滨, 张晓慧, 等. 一种渐变啮合间隙的变壁厚涡旋齿型线研究[J]. 工程热物理学报, 2013, 34(8): 1453-1456.
- [6] 王立存, 陈进, 张贤明, 等. 基于泛函的制冷涡旋压缩机变壁厚涡旋型线理论及形状优化[J]. 中国机械工程, 2010, 21(16): 1898-1901.
- [7] 刘涛, 赵睿琦, 孙永吉. 基于自适应 NSGA II 算法的变截面涡旋盘优化[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(3): 63-68.
- [8] 侯才生, 刘涛. 基于 Frenet 标架的变截面涡旋压缩机型线的研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(2): 76-80.
- [9] 张朋成, 彭斌, 张宇波. 基于圆渐开线建立变截面涡旋齿的方法与理论[J]. 吉林大学学报(工学版), 2022, 52(4): 789-798.
- [10] 张朋成, 彭斌, 张宇波. 圆渐开线变截面涡旋压缩机几何性能综合分析[J]. 机械工程学报, 2020, 56(23): 118-128.
- [11] 刘涛, 侯富勇, 李传恒. 三段基圆渐开线涡旋型线的多目标遗传算法优化[J]. 流体机械, 2015, 43(8): 32-35.
- [12] 彭斌, 蒋龙. 变壁厚涡旋膨胀机型线参数的优化分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2021, 44(1): 7-13.
- [13] 刘涛, 郭再新, 刘振全. 法向等距线法生成涡旋压缩机型线的研究[J]. 机械工程学报, 2004, 40(6): 55-58.

(责任编辑 胡亚敏)