



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114002995 A

(43) 申请公布日 2022. 02. 01

(21) 申请号 202111217767.6

(22) 申请日 2021.10.19

(71) 申请人 中国航发沈阳黎明航空发动机有限  
责任公司

地址 110043 辽宁省沈阳市大东区东塔街6  
号

(72) 发明人 杨惠欣 徐俊凯 陈雷 闵祥禄  
周鑫

(74) 专利代理机构 沈阳优普达知识产权代理事  
务所(特殊普通合伙) 21234

代理人 陈曦

(51) Int. Cl.

G05B 19/19 (2006.01)

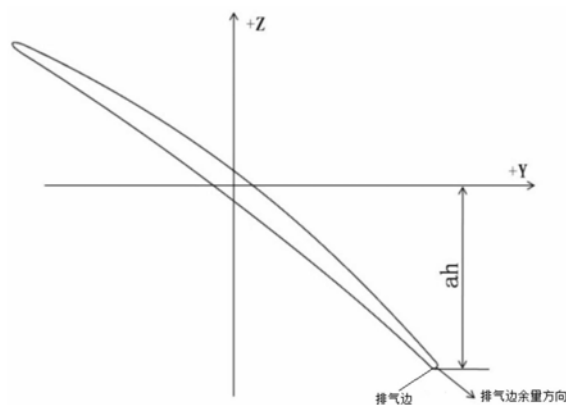
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

### (54) 发明名称

一种基于叶片截面加工误差的非均匀余量  
建模方法

### (57) 摘要

本发明的一种基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,基于叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,通过对叶型截面ah加工误差进行统计分析,结合工件材料、加工部位刚性及刀轴变化情况确定补偿值,根据补偿值对排气边轮廓点进行轴向偏置,并完成偏置后的非均匀余量模型构建,从而进行数控程序编制及加工验证,大大缩短加工试验周期,提升叶型截面ah加工精度。



1. 一种基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,其特征在于,包括:

步骤1:对整体叶盘叶型各待测截面的ah加工误差进行分析,确定各待测截面的ah加工误差值;

步骤2:根据整体叶盘零件材料、加工部位刚性及加工刀轴变化情况确定叶型各截面的补偿系数及补偿值;

步骤3:导入整体叶盘叶片设计模型,确定叶型排气边部位及形状;

步骤4:抽取排气边轮廓线,并读取该轮廓线与各个叶型截面线的交点坐标(X,Y,Z),即为叶型排气边轮廓点坐标值;

步骤5:根据步骤2确定的各截面的补偿值对叶型排气边轮廓点的Z向坐标值沿-Z向进行偏置,X、Y向坐标值不变,生成偏置后的排气边轮廓点坐标(X,Y,Z');

步骤6:在叶型截面线所在平面内构建分别与通过偏置后的排气边轮廓点且平行于Y轴的直线、叶盆轮廓线、叶背轮廓线相切的排气边圆弧;

步骤7:将步骤6构建的排气边圆弧与叶盆轮廓线的切点、叶背轮廓线的切点处进行裁剪与连接,形成补偿后闭合的叶型截面线;

步骤8:重复步骤6和7,完成其余截面排气边补偿与截面重构;

步骤9:根据所有重构的叶型截面线构建整体叶盘叶片非均匀余量模型;

步骤10:基于整体叶盘叶片非均匀余量模型进行数控铣削程序编制;

步骤11:应用步骤10输出的数控铣削程序编制进行加工试验,并对加工后的叶片型面进行三坐标检测,输出叶型截面ah值和排气边形状检测报告;

步骤12:根据检测报告对加工后的叶型截面ah值和排气边形状进行误差分析,并调整步骤2的补偿系数及补偿值;

步骤13:重复步骤5-12至加工后整体叶盘叶型截面ah值和排气边形状满足工序要求。

2. 如权利要求1所述的基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,其特征在于,所述步骤1具体为:

步骤1.1:将加工后的整体叶盘中各叶片相同位置截面的ah值与理论ah值进行对比,确定各叶片相同位置截面的ah误差值;

步骤1.2:将各叶片相同位置截面的ah误差值求平均值,获得整体叶盘叶型该待测截面的ah加工误差值;

步骤1.3:重复步骤1.2获得整体叶盘各个待测截面的ah误差值。

3. 如权利要求1所述的基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,其特征在于,所述步骤2中根据下式计算补偿值:

补偿值=补偿系数K×ah加工误差值,其中补偿系数K=0.8~1.3。

4. 如权利要求1所述的基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,其特征在于,所述步骤5具体为:

将叶型排气边轮廓点的Z向坐标值减去相应的补偿值,获得偏置后的Z向坐标值,X、Y向坐标值不变。

## 一种基于叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于航空航天数控加工技术领域,涉及一种基于叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法。

### 背景技术

[0002] 整体叶盘叶片成型工序主要包括数控铣削和振动光饰两道工序,在数控铣加工过程中虽然应用的模型为理论模型,但由于加工过程中叶型各部分的曲率、刚性、刀具接触点、刀轴角度等的不同,导致加工后叶型各部分相对于理论型面余量不一致,尤其是排气边形状及ah值(如图1所示,在叶片坐标系中ah值表示平行于Y轴且与排气边圆弧相切的直线的Z坐标值)易出现超差情况,再加上在振动光饰过程中排气边较叶型其它部位去除量也相对较大,从而导致整体叶盘最终叶型截面ah超差,因此需要在数控铣加工过程中为叶型截面ah预留一定的余量,以保证最终ah满足要求。

[0003] 如果直接在整体叶盘叶片数控铣削过程中增大排气边余量,因余量增大方向为排气边截面线法线方向,而叶型截面ah为轴线方向,如图1所示,排气边余量增大对叶型截面ah增长的效果并不明显,且如果排气边余量增大过多易导致排气边形状不满足要求。

### 发明内容

[0004] 为解决上述技术问题,本发明的目的是提供一种基于叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,通过依据叶型截面ah加工误差对排气边轮廓点进行轴向偏置,并完成偏置后的非均匀余量模型构建,从而进行数控程序编制及加工验证,大大缩短加工试验周期,提升叶型截面ah值及排气边形状加工精度。

[0005] 本发明提供一种基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,包括:

[0006] 步骤1:对整体叶盘叶型各待测截面的ah加工误差进行分析,确定各待测截面的ah加工误差值;

[0007] 步骤2:根据整体叶盘零件材料、加工部位刚性及加工刀轴变化情况确定叶型各截面的补偿系数及补偿值;

[0008] 步骤3:导入整体叶盘叶片设计模型,确定叶型排气边部位及形状;

[0009] 步骤4:抽取排气边轮廓线,并读取该轮廓线与各个叶型截面线的交点坐标(X,Y,Z),即为叶型排气边轮廓点坐标值;

[0010] 步骤5:根据步骤2确定的各截面的补偿值对叶型排气边轮廓点的Z向坐标值沿-Z向进行偏置,X、Y向坐标值不变,生成偏置后的排气边轮廓点坐标(X,Y,Z');

[0011] 步骤6:在叶型截面线所在平面内构建分别与通过偏置后的排气边轮廓点且平行于Y轴的直线、叶盆轮廓线、叶背轮廓线相切的排气边圆弧;

[0012] 步骤7:将步骤6构建的排气边圆弧与叶盆轮廓线的切点、叶背轮廓线的切点处进行裁剪与连接,形成补偿后闭合的叶型截面线;

[0013] 步骤8:重复步骤6和7,完成其余截面排气边补偿与截面重构;

- [0014] 步骤9:根据所有重构的叶型截面线构建整体叶盘叶片非均匀余量模型;
- [0015] 步骤10:基于整体叶盘叶片非均匀余量模型进行数控铣削程序编制;
- [0016] 步骤11:应用步骤10输出的数控铣削程序编制进行加工试验,并对加工后的叶片型面进行三坐标检测,输出叶型截面ah值和排气边形状检测报告;
- [0017] 步骤12:根据检测报告对加工后的叶型截面ah值和排气边形状进行误差分析,并调整步骤2的补偿系数及补偿值;
- [0018] 步骤13:重复步骤5-12至加工后整体叶盘叶型截面ah值和排气边形状满足工序要求。
- [0019] 在本发明的基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法中,所述步骤1具体为:
- [0020] 步骤1.1:将加工后的整体叶盘中各叶片相同位置截面的ah值与理论ah值进行对比,确定各叶片相同位置截面的ah误差值;
- [0021] 步骤1.2:将各叶片相同位置截面的ah误差值求平均值,获得整体叶盘叶型该待测截面的ah加工误差值;
- [0022] 步骤1.3:重复步骤1.2获得整体叶盘各个待测截面的ah误差值。
- [0023] 在本发明的基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法中,所述步骤2中根据下式计算补偿值:
- [0024] 补偿值=补偿系数 $K$ ×ah加工误差值,其中补偿系数 $K=0.8\sim 1.3$ 。
- [0025] 在本发明的基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法中,所述步骤5具体为:将叶型排气边轮廓点的Z向坐标值减去相应的补偿值,获得偏置后的Z向坐标值,X、Y向坐标值不变。
- [0026] 本发明的一种基于叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,至少具有以下有益效果:本发明首次提出面向航空发动机整体叶盘叶型截面ah值及排气边形状的基于叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,该方法能够大大缩短加工试验周期,提升叶型截面ah值及排气边形状加工精度。此项技术可应用于各类整体叶盘叶片数控铣削过程中,经济效益及社会效益巨大。加工试验表明:按照本发明方法对整体叶盘叶片排气边进行非均匀余量建模,优化叶型排气边区域余量分布,大大缩短加工试验周期,提升叶型截面ah加工精度。整体叶盘叶片加工后叶型截面ah值及排气边形状均满足工序要求。

## 附图说明

- [0027] 图1叶型截面ah值及排气边位置及排气边余量方向示意图;
- [0028] 图2是本发明的一种基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法的流程图;
- [0029] 图3为本发明的实施例中叶型各截面排气边轮廓点示意图;
- [0030] 图4为本发明的实施例中叶型截面排气边重构原理;
- [0031] 图5为本发明的实施例中补偿重构后的叶型截面线 $B_{S1}$ ;
- [0032] 图6为本发明的实施例中补偿重构后的叶型全部截面线;
- [0033] 图7为本发明的加工后排气边形状测量结果示意图。

## 具体实施方式

[0034] 如图2所示,本发明的一种基于整体叶盘叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,包括:

[0035] 步骤1:对整体叶盘叶型各待测截面的ah加工误差进行分析,确定各待测截面的ah加工误差值,所述步骤1具体为:

[0036] 步骤1.1:将加工后的整体叶盘中各叶片相同位置截面的ah值与理论ah值进行对比,确定各叶片相同位置截面的ah误差值;

[0037] 步骤1.2:将各叶片相同位置截面的ah误差值求平均值,获得整体叶盘叶型该待测截面的ah加工误差值;

[0038] 步骤1.3:重复步骤1.2获得整体叶盘各个待测截面的ah误差值。

[0039] 本实施例中,整体叶盘中每个叶片选取6个待测截面, $S_1-S_6$ 。经过步骤1.2的计算获得整体叶盘各个待测截面的ah误差值如下:

[0040]  $S_1$ 截面ah误差值:0.076mm;

[0041]  $S_2$ 截面ah误差值:0.063mm;

[0042]  $S_3$ 截面ah误差值:0.054mm;

[0043]  $S_4$ 截面ah误差值:0.047mm;

[0044]  $S_5$ 截面ah误差值:0.041mm;

[0045]  $S_6$ 截面ah误差值:0.033mm。

[0046] 步骤2:根据整体叶盘零件材料、加工部位刚性及加工刀轴变化情况确定叶型各截面的补偿系数及补偿值;

[0047] 具体实施时,根据下式计算补偿值:

[0048] 补偿值=补偿系数 $K \times$ ah加工误差值。补充系数 $K=0.8 \sim 1.3$ 。 $S_1$ 截面补偿值=补偿系数 $K \times S_1$ 截面ah误差值 $=1.15 \times 0.076=0.0874$  $S_2$ 截面补偿值=补偿系数 $K \times S_2$ 截面ah误差值 $=1.12 \times 0.063=0.07056$  $S_3$ 截面补偿值=补偿系数 $K \times S_3$ 截面ah误差值 $=1.09 \times 0.054=0.05886$  $S_4$ 截面补偿值=补偿系数 $K \times S_4$ 截面ah误差值 $=1.03 \times 0.047=0.04841$  $S_5$ 截面补偿值=补偿系数 $K \times S_5$ 截面ah误差值 $=0.98 \times 0.041=0.04018$  $S_6$ 截面补偿值=补偿系数 $K \times S_6$ 截面ah误差值 $=0.87 \times 0.033=0.02871$

[0049] 步骤3:导入整体叶盘叶片设计模型,确定叶型排气边部位及形状;

[0050] 步骤4:抽取排气边轮廓线,并读取该轮廓线与各个叶型截面线的交点坐标(X,Y,Z),即为叶型排气边轮廓点坐标值。如图3所示,6个叶型截面与排气边轮廓线的6个交点为 $P_1-P_6$ ,该6个叶型排气边轮廓点坐标值如下:

[0051]  $P_1(X,Y,Z) = (270, 8.9417, -7.7952)$

[0052]  $P_2(X,Y,Z) = (264, 11.4062, -8.4869)$

[0053]  $P_3(X,Y,Z) = (258, 11.5433, -8.9546)$

[0054]  $P_4(X,Y,Z) = (252, 10.3578, -9.3041)$

[0055]  $P_5(X,Y,Z) = (246, 9.6411, -9.9658)$

[0056]  $P_6(X,Y,Z) = (242, 8.0946, -10.4446)$

[0057] 步骤5:根据步骤2确定的各截面的补偿值对各叶型排气边轮廓点的Z向坐标值沿-Z向进行偏置,X、Y向坐标值不变,生成偏置后的排气边轮廓点坐标(X,Y,Z');

[0058]  $P_1'(X,Y,Z) = (270, 8.9417, -7.8826)$

[0059]  $P_2'(X,Y,Z) = (264, 11.4062, -8.5575)$

[0060]  $P_3'(X,Y,Z) = (258, 11.5433, -9.0135)$

[0061]  $P_4'(X,Y,Z) = (252, 10.3578, -9.3525)$

[0062]  $P_5'(X,Y,Z) = (246, 9.6411, -10.0060)$

[0063]  $P_6'(X,Y,Z) = (242, 8.0946, -10.4733)$

[0064] 具体实施时,将叶型排气边轮廓点的Z向坐标值减去相应的补偿值,获得偏置后的Z向坐标值,X、Y向坐标值不变。

[0065] 步骤6:在叶型截面线所在平面内构建分别与通过偏置后的排气边轮廓点且平行于Y轴的直线、叶盆轮廓线、叶背轮廓线相切的排气边圆弧;

[0066] 具体实施时,如图4所示,以 $S_1$ 截面为例,在 $X=270\text{mm}$ 平面内构建分别与通过偏置后的排气边轮廓点 $(270, 8.9417, -7.8826)$ 且平行于Y轴的直线 $L_{Y1}$ 、叶盆轮廓线、叶背轮廓线这3条线相切的排气边圆弧 $D_{TE1}$ ;

[0067] 步骤7:将步骤6构建的排气边圆弧 $D_{TE1}$ 与叶盆轮廓线的切点、叶背轮廓线的切点处进行裁剪与连接,形成补偿后闭合的叶型截面线 $B_{S1}$ ,如图5所示;

[0068] 步骤8:重复步骤6和7,完成 $S2$ 截面~ $S6$ 截面的排气边补偿与截面重构;形成补偿后闭合的叶型截面线 $BS2$ 、 $BS3$ 、 $BS4$ 、 $BS5$ 、 $BS6$ ,如图6所示;

[0069] 步骤9:根据所有重构的叶型截面线构建整体叶盘叶片非均匀余量模型,如图7所示;

[0070] 步骤10:基于整体叶盘叶片非均匀余量模型进行数控铣削程序编制;

[0071] 步骤11:应用步骤10输出的数控铣削程序编制进行加工试验,并对加工后的叶片型面进行三坐标检测,输出叶型截面ah值和排气边形状检测报告;

[0072] 步骤12:根据检测报告对加工后的叶型截面ah值和排气边形状进行误差分析,并调整步骤2的补偿系数及补偿值;

[0073] 步骤13:重复步骤5-12至加工后整体叶盘叶型截面ah值和排气边形状满足工序要求。

[0074] 经实际加工验证,按照本发明方法对整体叶盘叶片排气边进行非均匀余量建模,根据加工误差对排气边轮廓点进行轴向偏置,并完成偏置后的非均匀余量模型构建,从而进行数控程序编制及加工验证,大大缩短加工试验周期,提升叶型截面ah加工精度。整体叶盘叶片加工后叶型截面ah值及排气边形状均满足工序要求。

[0075] 本发明首次提出面向航空发动机整体叶盘基于叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法,成功将相关技术应用于某型号整体叶盘叶片数控铣削过程中,大大缩短加工试验周期,提升叶型截面ah加工精度。到目前为止,尚没有公开的用于航空发动机整体叶盘零件基于叶片截面加工误差的非均匀余量建模方法。此项技术可应用于各种整体叶盘叶片数控铣削过程中,具有较强的通用性和实用性,经济效果及社会效益巨大。

[0076] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明的思想,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

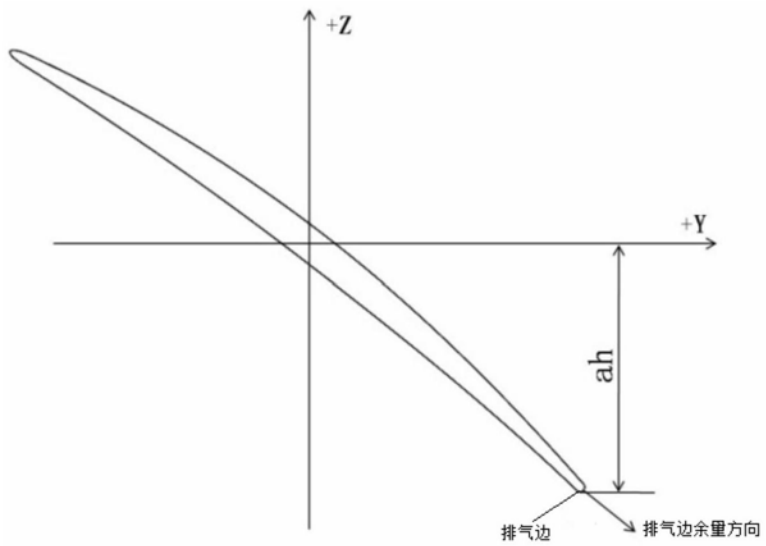


图1

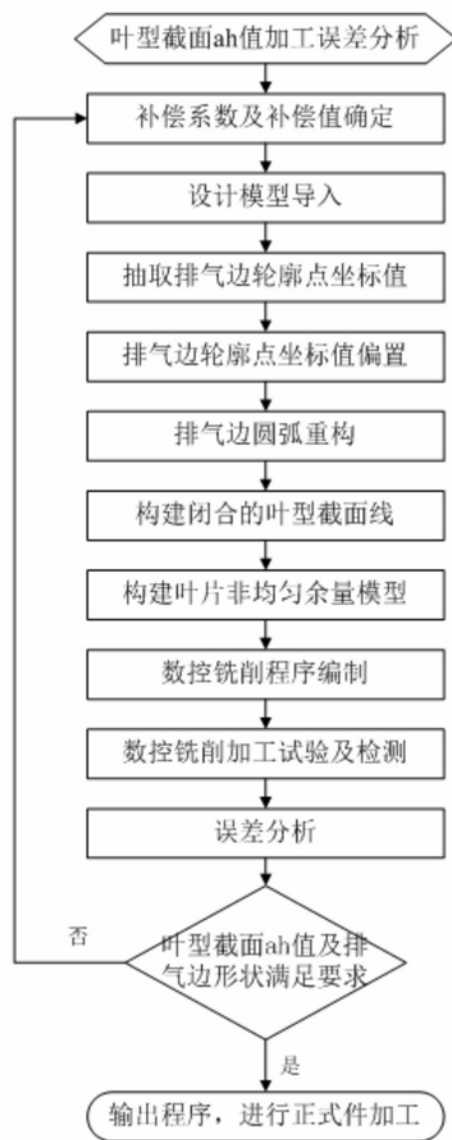


图2

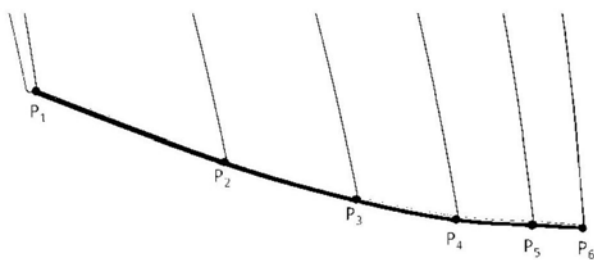


图3

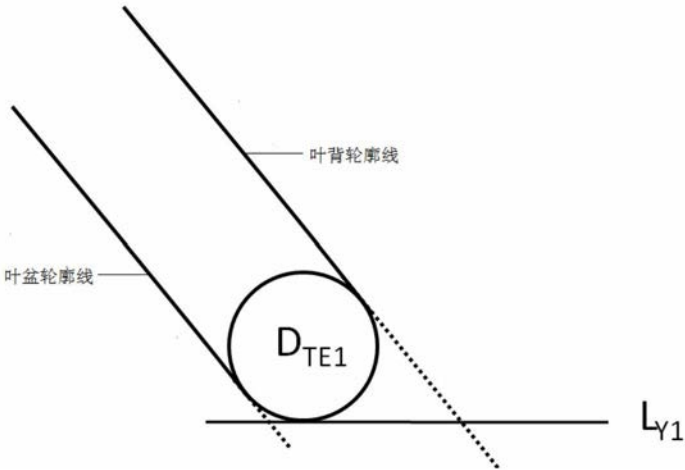


图4

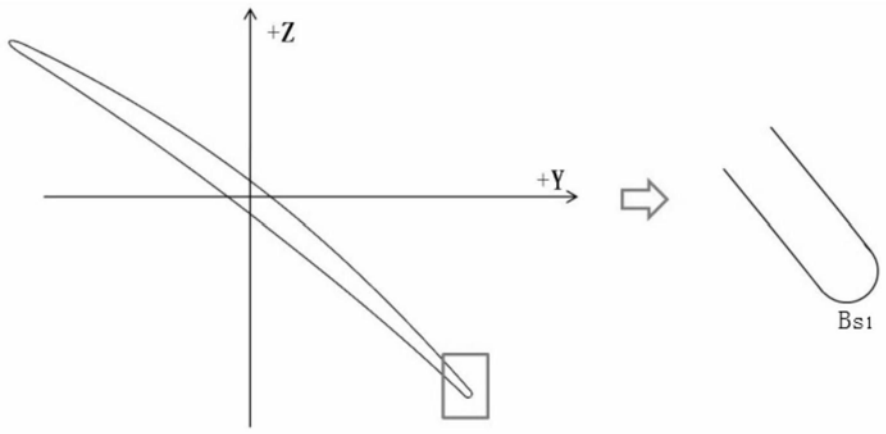


图5

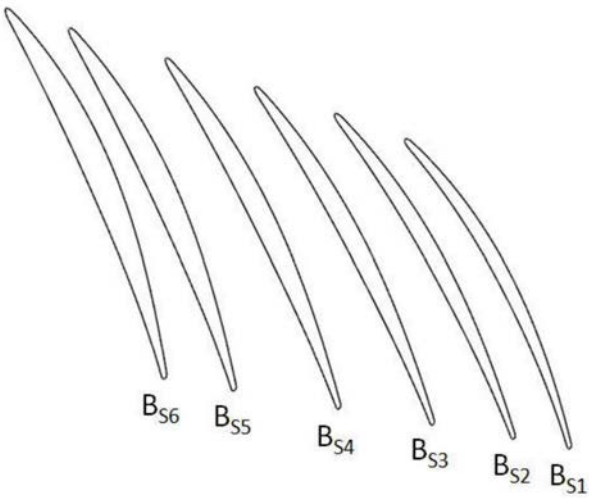


图6

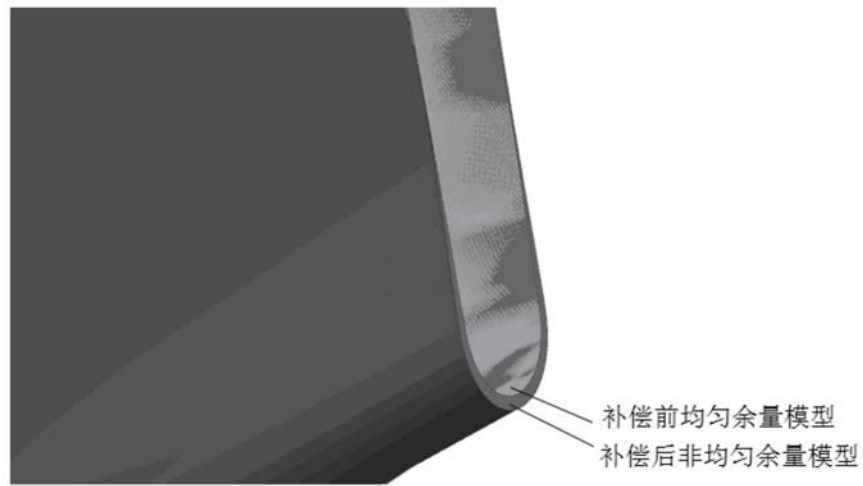


图7