

1. 一种用于叶片的有限元单元划分方法,所述叶片包括叶盆面和叶背面,其特征在于,所述有限元单元划分方法包括:

步骤S01:沿所述叶片的高度方向取得所述叶片的多个截面,每个截面均包括位于所述叶背面上的叶背叶形点集和位于所述叶盆面上的叶盆叶形点集,在所述叶盆叶形点集上按顺序取多个第一点(I_{ppi}),在所述叶背叶形点集上按顺序取多个第二点(I_{ppi'}'),在各个所述截面的所述叶背叶形点集上所取的第二点(I_{ppi'}')和在各个所述截面的所述叶盆叶形点集上所取的第一点(I_{ppi})的数量相同;

步骤S02:连接各个所述截面的所述叶盆叶形点集上对应的一组所述第一点(I_{ppi})形成位于叶盆上的一条第一叶高样条曲线,分别连接所述叶盆叶形点集上的每组对应的第一点(I_{ppi})以得到多条所述第一叶高样条曲线;连接各个所述截面的所述叶背叶形点集上对应的一组所述第二点(I_{ppi'}')形成位于叶背上的一条第二叶高样条曲线,分别连接所述叶背叶形点集上的每组对应的第一点(I_{ppi'}')以得到多条所述第二叶高样条曲线;

步骤S03:在每个所述第一叶高样条曲线上取多个第一叶高辅助点,在每个所述第二叶高样条曲线上取多个第二叶高辅助点;

步骤S04:沿所述叶片的宽度方向连接对应的一组所述第一叶高辅助点以得到一条第一叶宽样条曲线,分别连接每组对应的所述第一叶高辅助点以得到多条所述第一叶宽样条曲线;沿所述叶片的宽度方向连接对应的一组所述第二叶高辅助点以得到一条第二叶宽样条曲线,分别连接每组对应的所述第二叶高辅助点以得到多条所述第二叶宽样条曲线;

步骤S05:在每个所述第一叶宽样条曲线上取多个第一叶宽辅助点,在每个所述第二叶宽样条曲线上取多个第二叶宽辅助点;

步骤S06:连接对应的所述第一叶宽辅助点和所述第二叶宽辅助点,得到多个沿所述叶片的厚度方向的叶厚样条线作为单元厚度边;

步骤S07:在每个所述叶厚样条线上取多个结构点作为网格节点;

步骤S08:取多个所述网格节点,构成一个六面体,形成一个所述有限元单元,将所述叶片划分为多个相连接的所述有限元单元。

2. 根据权利要求1所述的有限元单元划分方法,其特征在于,所述步骤S08还包括:

由位于所述叶盆面上的起始位置的所述网格节点开始,沿所述叶片的宽度方向连接相邻的多个所述网格节点,从连接的最后一个所述网格节点开始,沿所述叶片的高度方向连接相邻的多个所述网格节点;

再由位于所述叶盆面上的起始位置的所述网格节点开始,沿所述叶片的高度方向连接相邻的多个所述网格节点,从连接的最后一个所述网格节点开始,沿所述叶片的宽度方向连接相邻的多个所述网格节点,构成一个第一四边形,所述第一四边形的每个角均具有一个所述网格节点;

由每个位于所述第一四边形的四个角的所述网格节点开始,沿叶片的厚度方向连接相邻的多个所述网格节点,构成一个六面体,所述六面体具有与所述第一四边形对应的第二四边形;

连接所述第二四边形的每个棱边上的全部的所述网格节点,以形成一个所述有限元单元。

3. 根据权利要求1所述的有限元单元划分方法,其特征在于,所述步骤S03还包括:确定

所述叶片的高度方向需要划分的有限元单元个数为NH,则在每个所述第一叶高样条曲线上取的所述第一叶高辅助点的个数为 $2NH+1$ 以及在每个所述第二叶高样条曲线上取的所述第二叶高辅助点的个数为 $2NH+1$ 。

4. 根据权利要求1所述的有限元单元划分方法,其特征在于,所述步骤S03还包括:采用样条插值法在每个所述第一叶高样条曲线上取多个所述第一叶高辅助点以及在每个所述第二叶高样条曲线上取多个所述第二叶高辅助点。

5. 根据权利要求1所述的有限元单元划分方法,其特征在于,所述步骤S05还包括:确定所述叶片的宽度方向需要划分的有限元单元个数为NW,则在每个所述第一叶宽样条曲线上取的所述第一叶宽辅助点的个数为 $2NW+1$ 以及在每个所述第二叶宽样条曲线上取的所述第二叶宽辅助点的个数为 $2NW+1$ 。

6. 根据权利要求1所述的有限元单元划分方法,其特征在于,所述步骤S05还包括:采用样条插值法在每个所述第一叶宽样条曲线上取多个所述第一叶宽辅助点以及在每个所述第二叶宽样条曲线上取多个所述第二叶宽辅助点。

7. 根据权利要求1所述的有限元单元划分方法,其特征在于,所述步骤S07还包括:确定所述叶片的厚度方向需要划分的有限元单元个数为NT,则在每个所述叶厚样条线上取的所述结构点的个数为 $2NT+1$ 。

8. 根据权利要求1所述的有限元单元划分方法,其特征在于,所述步骤S07还包括:采用样条插值法在每个所述叶厚样条线上取多个所述结构点。

9. 根据权利要求1所述的有限元单元划分方法,其特征在于,所述步骤S07还包括:在每个所述叶厚样条线上取三个所述结构点,分别位于所述叶厚样条线的两端和中点处,其中位于所述叶厚样条线的两端的两个结构点分别与第一叶宽辅助点和第二叶宽辅助点重合。

10. 根据权利要求1至9中任一项所述的有限元单元划分方法,其特征在于,所述步骤S08还包括:每个所述有限元单元均是一个由20个网格节点构成的六面体,包括8个顶点和12个棱边中点。

11. 一种叶片的检测方法,包括对叶片进行有限元分析,其特征在于,对叶片进行有限元分析包括采用权利要求1至10中任一项所述的用于叶片的有限元单元划分方法对叶片进行有限元单元划分。

12. 根据权利要求11所述的检测方法,其特征在于,对叶片进行有限元分析包括对叶片进行强度校核和/或几何构型校核。

用于叶片的有限元单元划分方法和叶片的检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及工程强度设计和检测技术领域,具体而言,涉及一种用于叶片的有限元单元划分方法和叶片的检测方法。

背景技术

[0002] 叶片包括轴流风扇叶片、压气机叶片、离心叶片和轴流涡轮叶片等,均属于不规则造型,因此设计叶片时需要配合有限元分析来对叶片进行检测。

[0003] 现有的有限元分析将待分析的结构分割为多个如图1所示的10节点4面体的有限元单元,该单元的划分过程较简单,但根据该有限元单元进行的计算误差较大,不适合用于叶片结构分析。

发明内容

[0004] 本发明的主要目的在于提供一种用于叶片的有限元单元划分方法和叶片的检测方法,以解决现有技术中的10节点4面体的有限元单元不适合划分叶片的网格问题。

[0005] 为了实现上述目的,根据本发明的一个方面,提供了一种用于叶片的有限元单元划分方法,叶片包括叶盆面和叶背面,有限元单元划分方法包括:步骤S01:沿叶片的高度方向取得叶片的多个截面,每个截面均包括位于叶背面上的叶背叶形点集和位于叶盆面上的叶盆叶形点集,在叶盆叶形点集上按顺序取多个第一点,在叶背叶形点集上按顺序取多个第二点,在各个截面的叶背叶形点集上所取的第二点和在各个截面的叶盆叶形点集上所取的第一点的数量相同;步骤S02:连接各个截面的叶盆叶形点集上对应的一组第一点形成位于叶盆上的一条第一叶高样条曲线,分别连接叶盆叶形点集上的每组对应的第一点以得到多条第一叶高样条曲线;连接各个截面的叶背叶形点集上对应的一组第二点形成位于叶背上的一条第二叶高样条曲线,分别连接叶背叶形点集上的每组对应的第二点以得到多条第二叶高样条曲线;步骤S03:在每个第一叶高样条曲线上取多个第一叶高辅助点,在每个第二叶高样条曲线上取多个第二叶高辅助点;步骤S04:沿叶片的宽度方向连接对应的一组第一叶高辅助点以得到一条第一叶宽样条曲线,分别连接每组对应的第一叶高辅助点以得到多条第一叶宽样条曲线;沿叶片的宽度方向连接对应的一组第二叶高辅助点以得到一条第二叶宽样条曲线,分别连接每组对应的第二叶高辅助点以得到多条第二叶宽样条曲线;步骤S05:在每个第一叶宽样条曲线上取多个第一叶宽辅助点,在每个第二叶宽样条曲线上取多个第二叶宽辅助点;步骤S06:连接对应的第一叶宽辅助点和第二叶宽辅助点,得到多个沿叶片的厚度方向的叶厚样条线作为单元厚度边;步骤S07:在每个叶厚样条线上取多个结构点作为网格节点;步骤S08:取多个网格节点,构成一个六面体,形成一个有限元单元,将叶片划分为多个相连接的有限元单元。

[0006] 进一步地,步骤S08还包括:由位于叶盆面上的起始位置的网格节点开始,沿叶片的宽度方向连接相邻的多个网格节点,从连接的最后一个网格节点开始,沿叶片的高度方向连接相邻的多个网格节点;再由位于叶盆面上的起始位置的网格节点开始,沿叶片的高

度方向连接相邻的多个网格节点,从连接的最后一个网格节点开始,沿叶片的宽度方向连接相邻的多个网格节点,构成一个第一四边形,第一四边形的每个角均具有一个网格节点;由每个位于第一四边形的四个角的网格节点开始,沿叶片的厚度方向连接相邻的多个网格节点,构成一个六面体,六面体具有与第一四边形对应的第二四边形;连接第二四边形的每个棱边上的全部的网格节点,以形成一个有限元单元。

[0007] 进一步地,步骤S03还包括:确定叶片的高度方向需要划分的有限元单元个数为NH,则在每个第一叶高样条曲线上取的第一叶高辅助点的个数为 $2NH+1$ 以及在每个第二叶宽样条曲线上取的第二叶宽辅助点的个数为 $2NW+1$ 。

[0008] 进一步地,步骤S03还包括:采用样条插值法在每个第一叶高样条曲线上取多个第一叶高辅助点以及在每个第二叶高样条曲线上取多个第二叶高辅助点。

[0009] 进一步地,步骤S05还包括:确定叶片的宽度方向需要划分的有限元单元个数为NW,则在每个第一叶宽样条曲线上取的第一叶宽辅助点的个数为 $2NW+1$ 以及在每个第二叶宽样条曲线上取的第二叶宽辅助点的个数为 $2NW+1$ 。

[0010] 进一步地,步骤S05还包括:采用样条插值法在每个第一叶宽样条曲线上取多个第一叶宽辅助点以及在每个第二叶宽样条曲线上取多个第二叶宽辅助点。

[0011] 进一步地,步骤S07还包括:确定叶片的厚度方向需要划分的有限元单元个数为NT,则在每个叶厚样条线上取的结构点的个数为 $2NT+1$ 。

[0012] 进一步地,步骤S07还包括:采用样条插值法在每个叶厚样条线上取多个结构点。

[0013] 可替换地,步骤S07还包括:在每个叶厚样条线上取三个结构点,分别位于叶厚样条线的两端和中点处,其中位于叶厚样条线的两端的两个结构点分别与第一叶宽辅助点和第二叶宽辅助点重合。

[0014] 进一步地,步骤S09还包括:每个有限元单元均是一个由20个网格节点构成的六面体,包括8个顶点和12个棱边中点。

[0015] 根据本发明的另一个方面,还提供了一种叶片的检测方法,包括对叶片进行有限元分析,对叶片进行有限元分析包括采用上述的用于叶片的有限元单元划分方法对叶片进行有限元单元划分。

[0016] 进一步地,对叶片进行有限元分析包括对叶片进行强度校核和/或几何构型校核。

[0017] 采用本发明提供的有限元单元划分方法能够根据叶片的长度、宽度和厚度三个特征划分出20节点6面体的有限元单元,从而能够更好的模拟叶片的结构,对该有限元单元的受力及形变分析也更加准确,贴近叶片的真实情况,更有利于工程人员及时发现叶片的缺陷,进而及时改进。

附图说明

[0018] 构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0019] 图1示出了现有技术中的10节点4面体的有限元单元示意图;

[0020] 图2示出了本发明中的20节点6面体的有限元单元示意图;

[0021] 图3示出了本发明中的有限元单元划分方法的步骤S02中取第一点和第二点的示意图;

[0022] 图4示出了本发明中的有限元单元划分方法的步骤S02中做叶高样条曲线的示意图；

[0023] 图5示出了本发明中的有限元单元划分方法的步骤S08中将叶片划分为多个相连接的有限元单元的示意图；

[0024] 图6示出了本发明中的有限元单元划分方法中的样条插值法的示意图；

[0025] 图7A示出了本发明中的压气机离心叶轮叶片划分为有限元单元的示意图；

[0026] 图7B示出了本发明中的压气机轴流叶片划分为有限元单元的示意图；以及

[0027] 图7C示出了本发明中的涡轮轴流叶片划分为有限元单元的示意图。

具体实施方式

[0028] 需要说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

[0029] 根据本发明的一个方面，提供了一种用于叶片的有限元单元划分方法，叶片包括叶盆面和叶背面，有限元单元划分方法包括：步骤S01：沿叶片的高度方向取得叶片的多个截面，每个截面均包括位于叶背面上的叶背叶形点集和位于叶盆面上的叶盆叶形点集，在叶盆叶形点集上按顺序取多个第一点I_{ppi}，在叶背叶形点集上按顺序取多个第二点I_{ppi'}，在各个截面的叶背叶形点集上所取的第二点I_{ppi'}和在各个截面的叶盆叶形点集上所取的第一点I_{ppi}的数量相同；步骤S02：连接各个截面的叶盆叶形点集上对应的一组第一点I_{ppi}形成位于叶盆上的一条第一叶高样条曲线，分别连接叶盆叶形点集上的每组对应的第一点I_{ppi}以得到多条第一叶高样条曲线；连接各个截面的叶背叶形点集上对应的一组第二点I_{ppi'}形成位于叶背上的一条第二叶高样条曲线，分别连接叶背叶形点集上的每组对应的第二点I_{ppi'}以得到多条第二叶高样条曲线；步骤S03：在每个第一叶高样条曲线上取多个第一叶高辅助点，在每个第二叶高样条曲线上取多个第二叶高辅助点；步骤S04：沿叶片的宽度方向连接对应的一组第一叶高辅助点以得到一条第一叶宽样条曲线，分别连接每组对应的第一叶高辅助点以得到多条第一叶宽样条曲线；沿叶片的宽度方向连接对应的一组第二叶高辅助点以得到一条第二叶宽样条曲线，分别连接每组对应的第二叶高辅助点以得到多条第二叶宽样条曲线；步骤S05：在每个第一叶宽样条曲线上取多个第一叶宽辅助点，在每个第二叶宽样条曲线上取多个第二叶宽辅助点；步骤S06：连接对应的第一叶宽辅助点和第二叶宽辅助点，得到多个沿叶片的厚度方向的叶厚样条线作为单元厚度边；步骤S07：在每个叶厚样条线上取多个结构点作为网格节点；步骤S08：取多个网格节点，构成一个六面体，形成一个有限元单元，将叶片划分为多个相连接的有限元单元。

[0030] 采用本发明提供的有限元单元划分方法能够根据叶片的长度、宽度和厚度三个特征划分出如图2所示的20节点6面体的有限元单元，即将叶片划分成如图5所示的多个有限元单元，从而能够更好的模拟叶片的结构，对该有限元单元的受力及形变分析也更加准确，贴近叶片的真实情况，更有利于工程人员及时发现叶片的缺陷，进而及时改进。

[0031] 图3示出了经由本发明的有限元单元划分方法的步骤S01取得的叶片的某一截面，图3中位于该截面上方的是由多个叶盆叶形点集构成的曲线，下方的是由多个叶背叶形点集构成的曲线，在叶盆叶形点集中取多个第一点I_{ppi}，在叶背叶形点集中取多个第二点I_{ppi'}，例如图3中第一点I_{pp1}与第二点I_{pp1'}相对应，而另一个第一点I_{ppn}与另一个第二点

I_{ppn}' 相对应。

[0032] 图4示出了经由本发明的有限元单元划分方法的步骤S02中得到的叶高样条曲线，图4中横向的多跟曲线是不同截面上的多组叶盆叶形点集构成的曲线，每个叶盆叶形点集上都具有多个第一点 I_{ppi} ，例如位于最上方的叶盆叶形点集上的两个第一点 I_{ppn} 、 I_{ppn+1} ，连接不同的叶盆叶形点集中对应的同一组第一点 I_{ppi} ，例如与第一点 I_{ppn} 对应的一组第一点 I_{ppi} ，从而得到叶高样条曲线，即图4中纵向的曲线。

[0033] 图5则示出了经由本发明的有限元单元划分方法最终得到的4个相邻的有限元单元，从图5中可以看出每个有限元单元均呈六面体状，每个六面体的有限元单元均包括20个网格节点，例如位于左上侧的有限元单元，该有限元单元包括网格节点1、2、3、4、5、6、7、8、14、15、16、17、20、21、22、23、24、25、26、27，其中网格节点1、3、6、8、20、22、25、27为六面体的8个顶点，而网格节点2、4、5、7、14、15、16、17、21、23、24、26则分别是六面体的12个棱边的中点，由此生成20节点六面体作为有限元单元。在上述的有限元单元中，网格节点1、3、4、5、6、8、14、15、16、17、20、22、23、24、25、27均为与叶宽辅助点重合的结构点，即结构点包括所有的叶宽辅助点，因此在取构成有限元单元的节点时，只需要从结构点中取点作为网格节点即可。此外，网格节点2、7、21、26为不与叶宽辅助点重合的结构点。

[0034] 需要注意的是，在一个有限元单元中，共有7个结构点处于隐藏状态，这些隐藏的结构点并不作为网格节点，并不参与有限元计算。

[0035] 还需要注意的是，某些结构点会被选取多次，以便作为不同的有限元单元的网格节点，例如作为网格节点23的结构点被选取两次，作为网格节点25、26、27的结构点则被选取四次。

[0036] 进一步地，在图5中，网格节点1、4、6、9、11所在的曲线是某一条叶宽样条曲线，网格节点3、5、8、10、13所在的曲线是另一条叶宽样条曲线，并且这两条叶宽样条曲线是分别位于叶盆面和叶背面上的两条对应的叶宽样条曲线，因此其中对应的网格节点的连线为叶厚样条线，例如网格节点1、3间的连线。应用本发明的限元单元划分方法，能够将叶片划分为多个20节点六面体的有限元单元，例如图7A示出了压气机离心叶轮叶片划分为有限元单元的示意图，图7B示出了压气机轴流叶片划分为有限元单元的示意图，图7C示出了涡轮轴流叶片划分为有限元单元的示意图。需要注意的是，压气机离心叶轮叶片和压气机轴流叶片在叶片的厚度方向上均只有一组有限元单元，即每个叶厚样条线上取3个网格节点，而涡轮轴流叶片在叶片的厚度方向上具有两组有限元单元，即每个叶厚样条线上取5个网格节点。为了便于计算，叶厚样条线为直线。

[0037] 在利用本发明的限元单元划分方法对叶片进行有限元单元划分需要特别注意，多数叶片的叶根处的形状会发生突变，例如图7A中的压气机；离心叶轮叶片，图7B中的压气机轴流叶片和图7C中的涡轮轴流叶片，在对叶根部分进行有限元单元划分时，可以采用其他手段划分，例如现有技术中的10节点4面体单元划分方法，也可以单独对叶根部分应用本发明的20节点六面体式的限元单元划分方法。

[0038] 优选地，步骤S08还包括：由位于叶盆面上的起始位置的网格节点开始，沿叶片的宽度方向连接相邻的多个网格节点，从连接的最后一个网格节点开始，沿叶片的高度方向连接相邻的多个网格节点；再由位于叶盆面上的起始位置的网格节点开始，沿叶片的高度方向连接相邻的多个网格节点，从连接的最后一个网格节点开始，沿叶片的宽度方向连接

相邻的多个网格节点,构成一个第一四边形,第一四边形的每个角均具有一个网格节点;由每个位于第一四边形的四个角的网格节点开始,沿叶片的厚度方向连接相邻的多个网格节点,构成一个六面体,六面体具有与第一四边形对应的第二四边形;连接第二四边形的每个棱边上的全部的网格节点,以形成一个有限元单元。

[0039] 优选地,步骤S03还包括:确定叶片的高度方向需要划分的有限元单元个数为NH,则在每个第一叶高样条曲线上取的第一叶高辅助点的个数为 $2NH+11$ 以及在每个第二叶宽样条曲线上取的第二叶宽辅助点的个数为 $2NW+1$ 。

[0040] 优选地,步骤S03还包括:采用样条插值法在每个第一叶高样条曲线上取多个第一叶高辅助点以及在每个第二叶高样条曲线上取多个第二叶高辅助点。

[0041] 优选地,步骤S05还包括:确定叶片的宽度方向需要划分的有限元单元个数为NW,则在每个第一叶宽样条曲线上取的第一叶宽辅助点的个数为 $2NW+1$ 以及在每个第二叶宽样条曲线上取的第二叶宽辅助点的个数为 $2NW+1$ 。

[0042] 优选地,步骤S05还包括:采用样条插值法在每个第一叶宽样条曲线上取多个第一叶宽辅助点以及在每个第二叶宽样条曲线上取多个第二叶宽辅助点。

[0043] 优选地,步骤S07还包括:确定叶片的厚度方向需要划分的有限元单元个数为NT,则在每个叶厚样条线上取的结构点的个数为 $2NT+1$ 。

[0044] 优选地,步骤S07还包括:采用样条插值法在每个叶厚样条线上取多个结构点。

[0045] 可替换地,步骤S07还包括:在每个叶厚样条线上取三个结构点,分别位于叶厚样条线的两端和中点处,其中位于叶厚样条线的两端的两个结构点分别与第一叶宽辅助点和第二叶宽辅助点重合。

[0046] 图6示出了上述样条插值法的取点示意图,即计算并得到样条插值法的预期值 ΔS_b ,并在待取点的曲线上每隔 ΔS_b 的距离即选取一个点作为目标节点。

[0047] 优选地,如图5所示,步骤S09还包括:每个有限元单元均是一个由20个网格节点构成的六面体,包括8个顶点和12个棱边中点。

[0048] 本发明的有限元单元划分方法的逻辑流程如下:

[0049] 首先确定沿叶片高度、宽度、厚度三个方向有限元网格的划分个数,设分别为NH、NW、NT。

[0050] 进行叶片造型,输出点集坐标叶型数据,设Npt为各截面叶盆(或叶背,叶盆、叶背点数相同)点数,保存点集坐标叶型数据。

[0051] 输入以下控制参数:NH、NW、NT、NR、ND和R,其中NR为叶根圆弧段划分的单元数;ND为前后缘圆弧段沿叶片宽度方向的单元数;R为叶根圆弧半径,若R=0则叶根不倒圆。

[0052] 将叶片造型的坐标分别存于数组xp(isc,ip),yp(isc,ip),zp(isc,ip),xb(isc,ip),yb(isc,ip),zb(isc,ip),其中iec为截面号,ip为点号。

[0053] 设要生成的有限元网格的当前节点的编号iNode=0,当前单元编号iElem=0。

[0054] 设网格截面ih=0,1,...,2NH,进行以下循环计算(下次循环时ih增加1,直到ih=2*NH为止):

[0055] 计算高度比值RH,若R等于0,即叶根不倒圆,RH等于ih/NH;否则若ih小于或等于NR,即对于叶根处的截面RH等于ih/NR;否则RH等于 $(ih-NR) / (NH-NR)$ 。

[0056] 根据高度比值RH,并由Ns个截面的原始叶型点集坐标数据,采用样条插值法计算

ih 网格截面叶形叶盆坐标 $Up[ip], Vp[ip], Wp[ip]$;叶背坐标 $Ub[ip], Vb[ip], Wb[ip]$ 。

[0057] 以叶背为例给出具体计算过程如下:

[0058] 分别在各截面叶背叶形点集上,将 $ip (p=0, 1, 2, \dots, Npt)$ 点取出,构成一条沿叶高方向的曲线,称为叶型叶高线;由此获得 Npt 条叶型叶高线。以叶高线为样条插值的原始曲线,以高度比值 RH 为插值结点值(区别于有限元网格的节点),通过样条插植获得 $Ub[ip], Vb[ip], Wb[ip]$;由此获得 Npt 个点;有这些点构成一条叶宽样条曲线。设 $iw=0, 1, \dots, 2NW$,进行以下循环计算(下次循环时 iw 增加1,直到 $iw=2*NW$ 为止):

[0059] 计算宽度比值 RW ;若 ND 等于0,即不考虑前后缘圆弧, RW 等于 iw/NW ;否则,若 ih 小于或等于 ND ,即对于前缘圆弧段, RW 等于 iw/ND ;否则,若 ih 大于或等于 $NW-2ND$,即对于后缘圆弧段, RW 等于 iw/ND ;否则, RH 等于 $(iw-ND) / (NW-2ND)$;以 RW 作为给定弧长参数,以坐标数组(叶盆) Up, Vp, Wp ;(叶背) Ub, Vb, Wb ,构成的叶宽样条曲线上,调用3次样条函数进行插值,分别计算与 iw 对应的叶盆点的坐标: $iwXp, iwYp, iwZp$;叶背点的坐标: $iwXb, iwYb, iwZb$;设 $it=0, 1, \dots, 2NT$,进行以下循环计算(下次循环时 it 增加1,直到 $it=2*NT$ 为止):若 iw 为奇数且 it 为奇数,计算下一个 it ;否则计算厚度比值, $RT=it/NT$;采用以下线性插值公式计算节点*iNode*的坐标:

[0060] $X[iNode] = iwXp + RT \times (iwXb - iwXp);$

[0061] $Y[iNode] = iwYp + RT \times (iwYb - iwYp);$

[0062] $Z[iNode] = iwZp + RT \times (iwZb - iwZp)。$

[0063] 计算新节点编号: $iNode = iNode + 1$ 。

[0064] 其中样条插值方法简略介绍如下:

[0065] $sintp(n, m, P, Q, S, F);$

[0066] 其中: n 为原曲线结点数(区别于有限元网格的节点),大于1的整数,若等于2,则为线性插值; m 为要计算的插值点数,大于或等于1的整数; P 为原曲线结点参数数组,双精度数组,一般可用曲线的(归1化)弧坐标; Q 为原曲线结点函数数组,双精度数组,可分别为原曲线的 X, Y, Z 坐标; S 为需插值计算的结点参数数组,双精度数组,可以是一数组; F 为需插值计算的结点函数值数组,双精度数组,与 Q 对应,可分别为插值点的 X, Y, Z 坐标。

[0067] 本发明将弧长坐标作为样条插值的参数,以叶背为例给出各点的弧长坐标计算公式如下:

[0068] $Sb[0] = 0;$

[0069] $Sb[ip] = Sb[ip-1] + \Delta Sb, (ip=1, 2, \dots, Npt-1);$

[0070] $\Delta Sb = \sqrt{((Ub[ip] - Ub[ip-1]) * (Ub[ip] - Ub[ip-1])) +}$

[0071] $(Vb[ip] - Vb[ip-1]) * (Vb[ip] - Vb[ip-1]) +$

[0072] $(Wb[ip] - Wb[ip-1]) * (Wb[ip] - Wb[ip-1]));$

[0073] 作归1化运算:

[0074] $Sb[ip] = Sb[ip] / Sb[Npt-1], (ip=1, 2, \dots, Npt-1)。$

[0075] 根据本发明的另一个方面,还提供了一种叶片的检测方法,包括对叶片进行有限元分析,对叶片进行有限元分析包括采用上述的用于叶片的有限元单元划分方法对叶片进行有限元单元划分。

[0076] 优选地,对叶片进行有限元分析包括对叶片进行强度校核和/或几何构型校核。

[0077] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明可以有各种更改和变化。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。

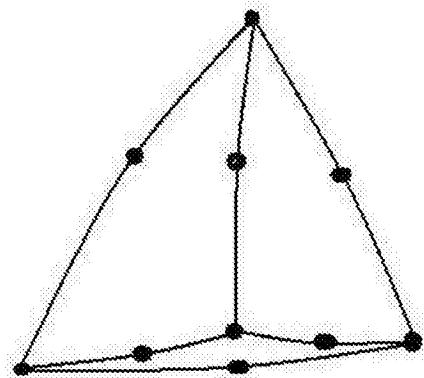


图1

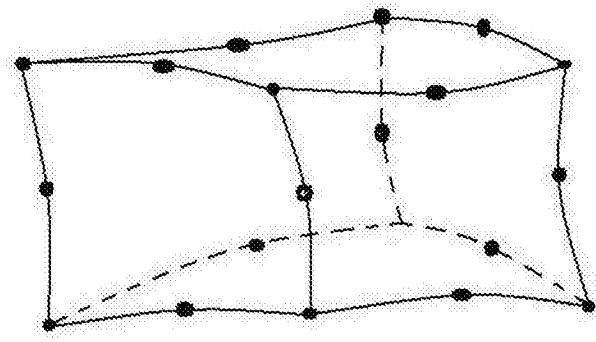


图2

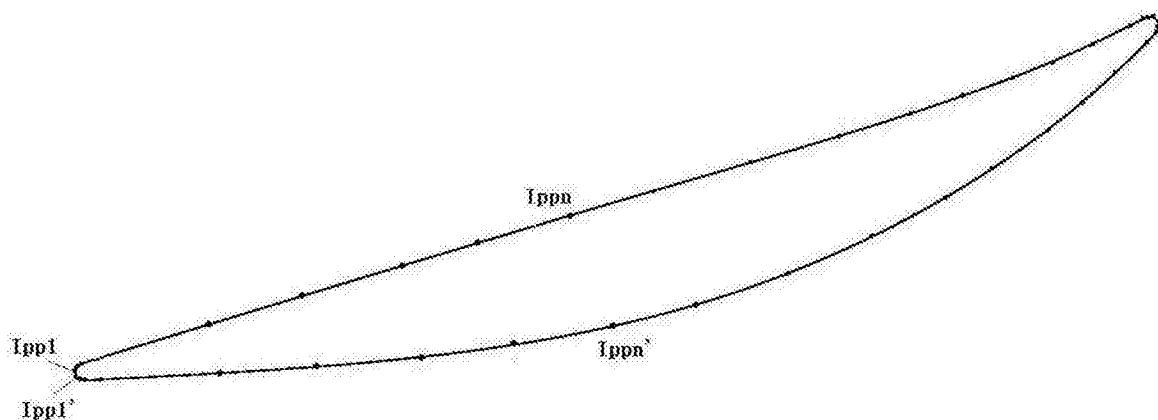


图3

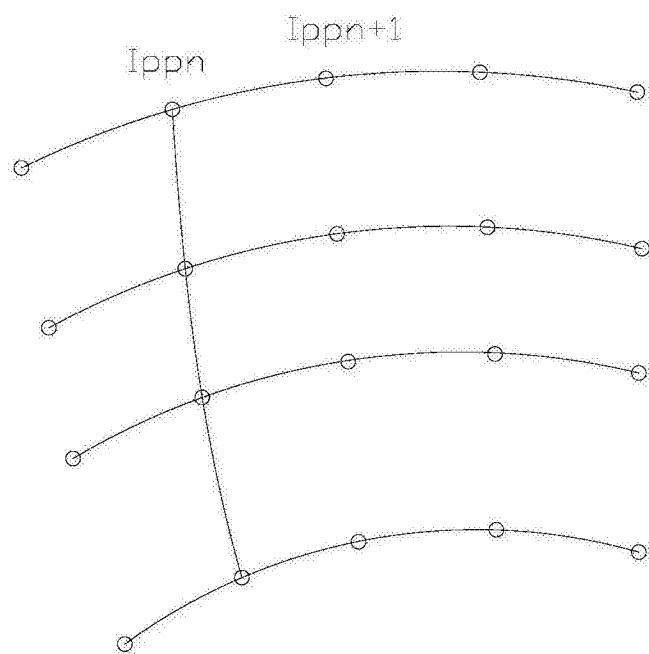


图4

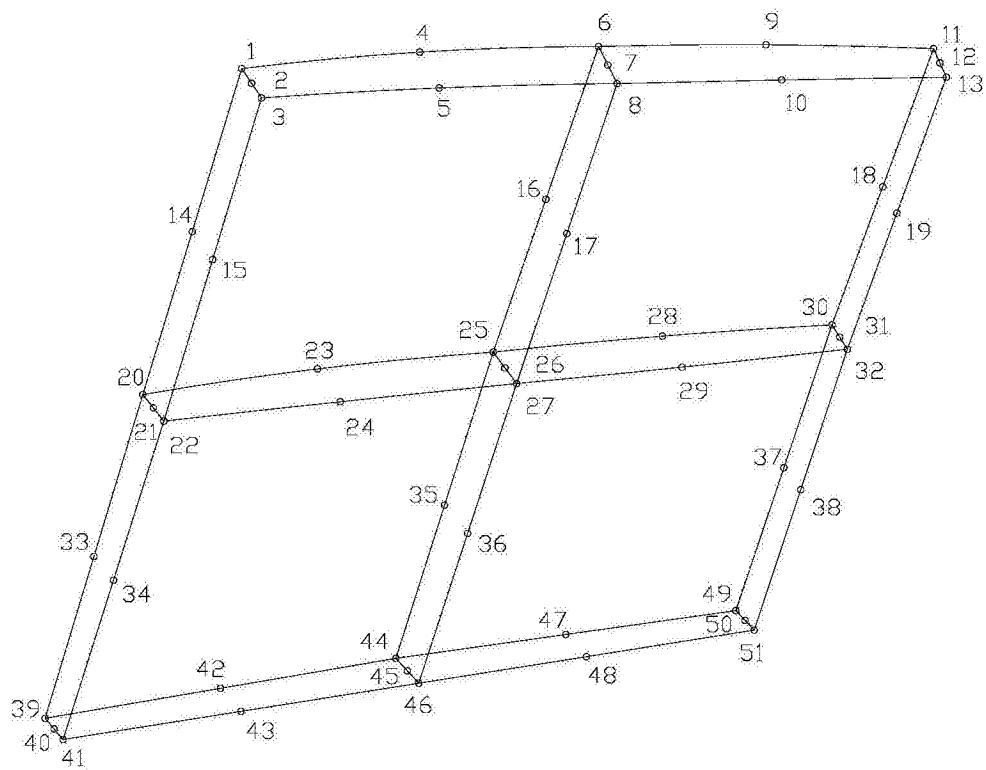


图5

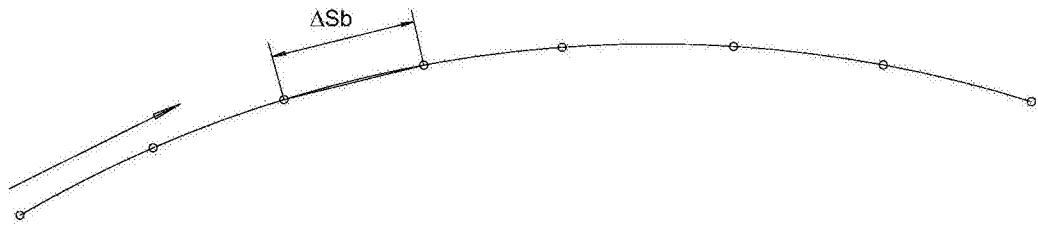


图6

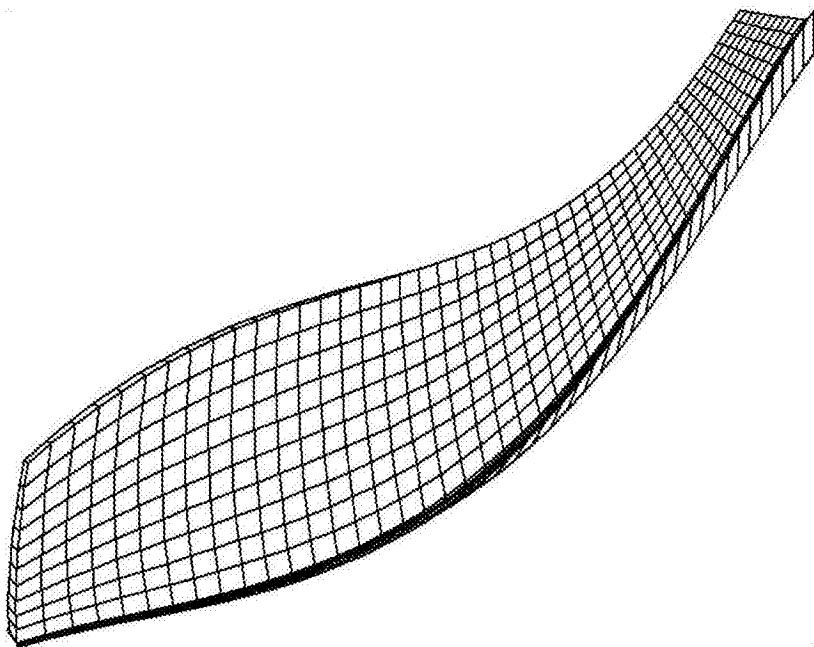


图7A

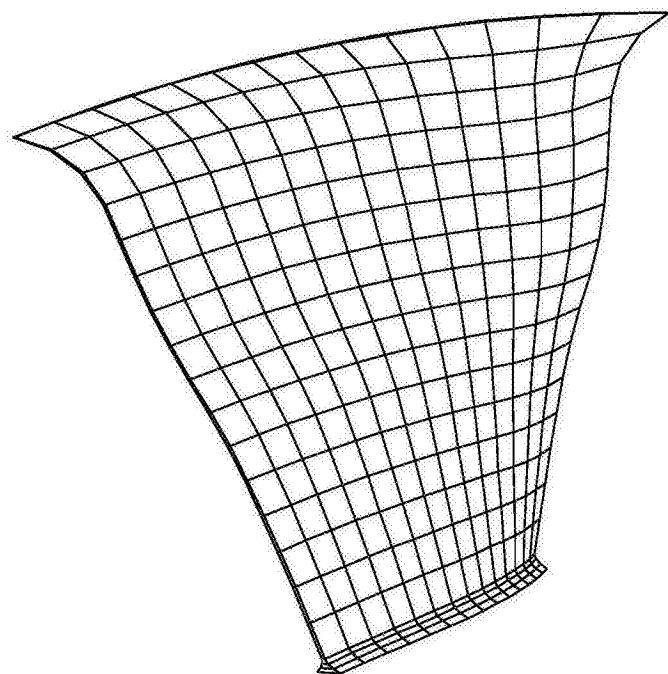


图7B

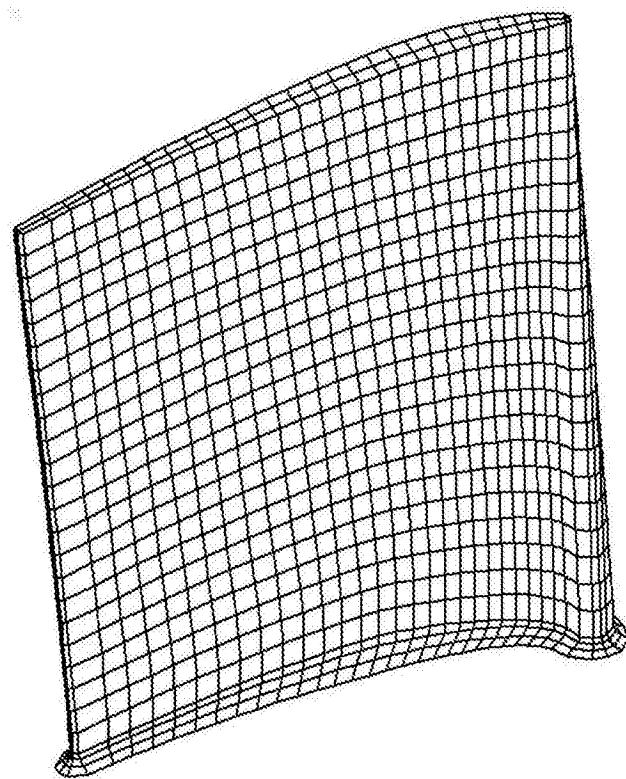


图7C