



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105787217 B

(45)授权公告日 2019.07.12

(21)申请号 201610231176.7

(22)申请日 2016.04.14

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105787217 A

(43)申请公布日 2016.07.20

(73)专利权人 上海易天无人飞行器科技有限
公司

地址 201204 上海市浦东新区浦建路1432
号319室

专利权人 同济大学

(72)发明人 李军 朱若愚 卢博威

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限
公司 31225

代理人 叶敏华

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

(56)对比文件

CN 1080608 A,1994.01.12,
CN 101885381 A,2010.11.17,

审查员 胡丽丽

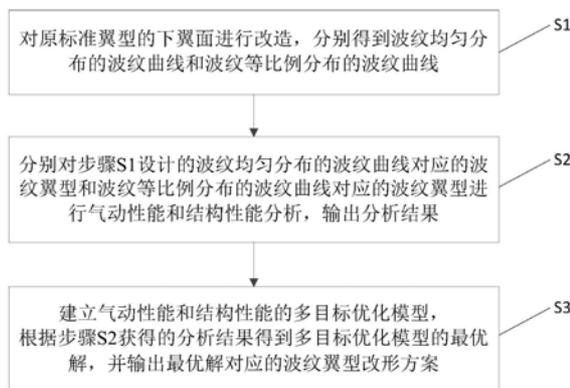
权利要求书3页 说明书10页 附图7页

(54)发明名称

一种飞机用波纹翼型的优化设计方法

(57)摘要

本发明涉及一种飞机用波纹翼型及其优化设计方法,通过在原标准翼型基础上改造得到,该波纹翼型的下缘曲线除前后缘部分的中间部分为由多段波纹头尾连接形成的波纹曲线,每段波纹均包括一个波峰和一个波谷,所述波纹曲线中的波纹均匀分布或等比例分布,波纹均匀分布是指:每段波纹的波纹长度均相等,波纹等比例分布是指:每段波纹的波纹长度与该波纹对应位置处的翼型厚度的比值相等。与现有技术相比,本发明可以改善低速翼型的升阻性能和结构性能,能够在相同任务载荷条件下减小结构尺寸和重量,增加燃油经济性和飞行性能。



1. 一种飞机用波纹翼型的优化设计方法,所述波纹翼型通过原标准翼型基础上改造得到,该原标准翼型为圆头尖尾形翼型,其特征在于,所述波纹翼型的下缘曲线除前后缘部分的中间部分为由多段波纹头尾连接形成的波纹曲线,每段波纹均包括一个波峰和一个波谷,所述波纹曲线中的波纹均匀分布或等比例分布,波纹均匀分布是指:每段波纹的波纹长度均相等,波纹等比例分布是指:每段波纹的波纹长度与该波纹对应位置处的翼型厚度的比值相等;

所述优化设计方法包括以下步骤:

S1:对原标准翼型的下翼面进行改造,分别得到波纹均匀分布的波纹曲线和波纹等比例分布的波纹曲线;

S2:分别对步骤S1设计的波纹均匀分布的波纹曲线对应的波纹翼型和波纹等比例分布的波纹曲线对应的波纹翼型进行气动性能和结构性能分析,输出分析结果;

S3:建立气动性能和结构性能的多目标优化模型,根据步骤S2获得的分析结果得到多目标优化模型的最优解,并输出最优解对应的波纹翼型改形方案;

所述步骤S1具体为:

11:获取原标准翼型的下缘曲线和弦长,设置波纹总数,并在原标准翼型的下缘曲线上均匀采样得到原始数据点的集合AF;

12:根据波纹均匀分布的定义,根据原标准翼型的集合AF、弦长和波纹总数得到波纹曲线中每段波纹的真实起始位置和波纹长度;

13:根据波纹等比例分布的定义,根据原标准翼型的集合AF、弦长和波纹总数得到波纹曲线中每段波纹的真实起始位置和波纹长度;

14:根据每段波纹对应位置处的翼型厚度设置波纹的波纹幅值,根据每段波纹的真实起始位置、波纹长度和波纹幅值采用三点画弧的方法得到对应的波纹曲线;

所述步骤12具体为:

121:设置波纹总长度L,并根据L得到理论波纹长度 λ_{ideal} ,满足以下公式:

$$L = (1 - w_1) * C$$

$$\lambda_{ideal} = L / N$$

式中, w_1 为比值参数, $0 < w_1 \leq 10\%$,C表示原标准翼型的弦长,N表示波纹总数;

122:获取每段波纹的理想起始位置,满足以下公式:

$$X_{ideal}(1) = w_2 * C$$

$$X_{ideal}(i) = X_{ideal}(1) + (i - 1) * \lambda_{ideal}$$

式中, w_2 为比值参数, $0 < w_2 \leq 5\%$, $1 \leq i \leq N + 1$, $X_{ideal}(i)$ 表示第*i*段波纹的理想起始位置,第*N*+1段波纹的理想起始位置即为第*N*段波纹的理想终点位置;

123:获取每段波纹的真实起始位置,满足以下公式:

$$k = \text{Find}\{AF(?) . x < X_{ideal}(i) \text{ And } AF(?+1) . x > X_{ideal}(i)\}$$

$$X_{start}(i) = \begin{cases} AF(k).x & , \quad |AF(k).x - X_{ideal}(i)| < |AF(k+1).x - X_{ideal}(i)| \\ AF(k+1).x & , \quad |AF(k).x - X_{ideal}(i)| > |AF(k+1).x - X_{ideal}(i)| \end{cases}$$

式中, $X_{start}(i)$ 表示第*i*段波纹的真实起始位置,第*N*+1段波纹的真实起始位置即为第*N*段波纹的真实终点位置,函数Find{•}表示求取满足{•}内条件的?处数值,AF(k)表示集合

AF中第k个原数据点,And表示其前后函数为并列的两个条件,AF(k).x表示原数据点AF(k)的横坐标;

124:根据每段波纹的真实起始位置获取每段波纹的波纹长度。

2.根据权利要求1所述的一种飞机用波纹翼型的优化设计方法,其特征在于,所述波纹曲线中每段波纹的波谷与原标准翼型的下缘曲线相切。

3.根据权利要求1所述的一种飞机用波纹翼型的优化设计方法,其特征在于,所述波纹曲线中每段波纹的波峰与波谷中心对称分布在原标准翼型的下缘曲线内外两侧。

4.根据权利要求1所述的一种飞机用波纹翼型的优化设计方法,其特征在于,所述波纹曲线中每段波纹的波纹幅值与该波纹对应位置处的翼型厚度的比值均相等。

5.根据权利要求1所述的一种飞机用波纹翼型的优化设计方法,其特征在于,所述波纹曲线由多段圆弧连续相切得到,或者所述波纹曲线由多段正弦曲线连续相切得到。

6.根据权利要求1所述的一种飞机用波纹翼型的优化设计方法,其特征在于,所述步骤13具体为:

131:设置波纹总长度L,并根据L得到理论波纹长度 λ_{ideal} ,满足以下公式:

$$L = (1-w_1) * C$$

$$\lambda_{ideal} = L/N$$

式中, $0 < w_1 \leq 10\%$,C表示原标准翼型的弦长,N表示波纹总数;

132:设置第一段波纹的理想起始位置 $X_{ideal}(1)$ 和第N段波纹的真实终点位置,第N段波纹的真实终点位置即为第N+1段波纹的真实起始位置 $X_{ideal}(N+1)$,满足以下公式:

$$X_{ideal}(1) = w_2 * C$$

$$X_{ideal}(N+1) = (1-w_2) * C$$

式中, $0 < w_2 \leq 5\%$;

133:根据 $X_{ideal}(1)$ 得到第一段波纹的真实起始位置 $X_{start}(1)$ 以及与 $X_{start}(1)$ 对应的索引值 I_1 ,并根据 $X_{ideal}(N+1)$ 得到第N段波纹的真实起始位置 $X_{start}(N+1)$ 以及与 $X_{start}(N+1)$ 对应的索引值 I_{N+1} ,满足以下公式:

$$k_1 = \text{Find} \{ AF(?) . x < X_{ideal}(1) \text{ And } AF(?+1) . x > X_{ideal}(1) \}$$

$$I_1 = \begin{cases} k_1 & , \quad |AF(k_1).x - X_{ideal}(1)| < |AF(k_1+1).x - X_{ideal}(1)| \\ k_1+1, & |AF(k_1).x - X_{ideal}(1)| > |AF(k_1+1).x - X_{ideal}(1)| \end{cases}$$

$$X_{start}(1) = AF(I_1) . x$$

$$k_{N+1} = \text{Find} \{ AF(?) . x < X_{ideal}(N+1) \text{ And } AF(?+1) . x > X_{ideal}(N+1) \}$$

$$I_{N+1} = \begin{cases} k_{N+1} & , \quad |AF(k_{N+1}).x - X_{ideal}(N+1)| < |AF(k_{N+1}+1).x - X_{ideal}(N+1)| \\ k_{N+1}+1, & |AF(k_{N+1}).x - X_{ideal}(N+1)| > |AF(k_{N+1}+1).x - X_{ideal}(N+1)| \end{cases}$$

$$X_{start}(N+1) = AF(I_{N+1}) . x$$

式中,函数 $\text{Find} \{ \bullet \}$ 表示求取满足 $\{ \}$ 内条件的?处数值,AF(k_1)、AF(k_{N+1})分别对应表示集合AF中第 k_1 、 k_{N+1} 个原数据点,AF(k_1).x、AF(k_{N+1}).x分别对应表示原数据点AF(k_1)、AF(k_{N+1})的横坐标;

134:获取第a段波纹的理想起始位置 $X_{ideal}(a)$, $1 < a \leq N$,并根据 $X_{ideal}(a)$ 得到第a段波纹

的真实起始位置 $X_{\text{start}}(a)$ 以及 $X_{\text{start}}(a)$ 对应的索引值 I_a ,满足以下公式:

$$X_{\text{ideal}}(a) = X_{\text{start}}(1) + (a-1) * \lambda_{\text{ideal}}$$

$$k_a = \text{Find} \{ \text{AF}(?) . x < X_{\text{ideal}}(a) \text{ And } \text{AF}(?+1) . x > X_{\text{ideal}}(a) \}$$

$$I_a = \begin{cases} k_a, & |\text{AF}(k_a).x - X_{\text{ideal}}(a)| < |\text{AF}(k_a+1).x - X_{\text{ideal}}(a)| \\ k_a+1, & |\text{AF}(k_a).x - X_{\text{ideal}}(a)| > |\text{AF}(k_a+1).x - X_{\text{ideal}}(a)| \end{cases}$$

$$X_{\text{start}}(a) = \text{AF}(I_a) . x$$

式中, $\text{AF}(k_a)$ 表示集合AF中第 k_a 个原数据点, $\text{AF}(k_a) . x$ 表示原数据点 $\text{AF}(k_a)$ 的横坐标;

135:获取每段波纹对应原标准翼型位置处的厚度与该波纹的波纹长度的比值 r_j , $1 \leq j \leq N$,并获取所有 r_j 的平均值 \bar{r} ,满足以下公式:

$$r_j = \text{avr}(\text{AF}(I) . y) / (X_{\text{start}}(j+1) - X_{\text{start}}(j)), I_j \leq I \leq I_{j+1}$$

$$\bar{r} = \text{avr}(r_j), 1 \leq j \leq N$$

式中,函数 $\text{avr}(\cdot)$ 表示求 (\cdot) 内所有参数的平均值, $\text{AF}(I)$ 表示集合AF中第 I 个原数据点, $\text{AF}(I) . y$ 表示原数据点 $\text{AF}(I)$ 的纵坐标;

136:求取每段波纹的比值 r_j 与平均值 \bar{r} 的差值 E_j , $E_j = r_j - \bar{r}$,将差值 E_j 中最大值对应的波纹的索引值 I_{errormax} 记为FlagI,下标 errormax 表示差值 E_j 中最大值对应的波纹的编号,并记录差值 E_j 中最大值的正负号为FlagS;

137:判断符号FlagS是否为正号,若是, I_{errormax} 减小1, $I_{\text{errormax}+1}$ 增加1,若否, I_{errormax} 增加1, $I_{\text{errormax}+1}$ 减小1,当 $I_{\text{errormax}}=1$,则 I_{errormax} 不变,当 $I_{\text{errormax}}=N$,则 $I_{\text{errormax}+1}$ 不变;

138:跳转步骤135,执行下一次的循环,循环终止的条件为:相邻两次循环的FlagI数值相同,且符号FlagS不等;

139:循环结束后,得到每段波纹的索引值,根据每段波纹的索引值得到每段波纹的真实起始位置以及每段波纹的波纹长度。

7.根据权利要求1或6所述的一种飞机用波纹翼型的优化设计方法,其特征在于,参数 w_2 取值为2.5%。

一种飞机用波纹翼型的优化设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种飞机用翼型结构,尤其是涉及一种飞机用波纹翼型及其优化设计方法。

背景技术

[0002] 在飞机的各种飞行状态下,机翼是飞机承受升力的主要部件,而立尾和平尾是飞机保持安定性和操纵性的气动部件。一般飞机都有对称面,如果平行于对称面在机翼展向任意位置切一刀,切下来的机翼剖面称作为翼剖面或翼型。翼型是机翼和尾翼成形重要组成部分,其直接影响到飞机的气动性能和飞行品质。

[0003] 对于不同的飞行速度,机翼的翼型形状是不同的,例如:

[0004] 对于低亚声速飞机,为了提高升力系数,翼型形状为圆头尖尾形;

[0005] 对于高亚声速飞机,为了提高阻力发散Ma数,采用超临界翼型,其特点是前缘丰满、上翼面平坦、后缘向下凹;

[0006] 对于超声速飞机,为了减小激波阻力,采用尖头、尖尾形翼型。

[0007] 机翼后缘几何修改可以改善特点情况下的气动性能,这在跨音速飞机设计中受到广泛重视。大多数的改形都采用局部改形设计,同时大多数的改形结果都使得机翼结构变弱。上下两面凹凸不平的充气翼型有其气动特点,上翼面整形的充气翼型具有显著的气动优势。由于充气飞机本就属于新兴技术,同时波浪状结构在传统金属机翼上很难实现,因此还未见在刚性机翼中使用下翼面波浪状翼型的结构。

发明内容

[0008] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种飞机用波纹翼型及其优化设计方法,可以改善低速翼型的升阻性能和结构性能,能够在相同任务载荷条件下减小结构尺寸和重量,增加燃油经济性和飞行性能。

[0009] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0010] 一种飞机用波纹翼型,通过在原标准翼型基础上改造得到,该原标准翼型为圆头尖尾形翼型,该波纹翼型的下缘曲线除前后缘部分的中间部分为由多段波纹头尾连接形成的波纹曲线,每段波纹均包括一个波峰和一个波谷,所述波纹曲线中的波纹均匀分布或等比例分布,波纹均匀分布是指:每段波纹的波纹长度均相等,波纹等比例分布是指:每段波纹的波纹长度与该波纹对应位置处的翼型厚度的比值相等。

[0011] 所述波纹曲线中每段波纹的波谷与原标准翼型的下缘曲线相切。

[0012] 所述波纹曲线中每段波纹的波峰与波谷中心对称分布在原标准翼型的下缘曲线内外两侧。

[0013] 所述波纹曲线中每段波纹的波纹幅值与该波纹对应位置处的翼型厚度的比值均相等。

[0014] 所述波纹曲线由多段圆弧连续相切得到,或者所述波纹曲线由多段正弦曲线连续

相切得到。

[0015] 一种上述飞机用波纹翼型的优化设计方法包括以下步骤：

[0016] S1:对原标准翼型的下翼面进行改造,分别得到波纹均匀分布的波纹曲线和波纹等比例分布的波纹曲线；

[0017] S2:分别对步骤S1设计的波纹均匀分布的波纹曲线对应的波纹翼型和波纹等比例分布的波纹曲线对应的波纹翼型进行气动性能和结构性能分析,输出分析结果；

[0018] S3:建立气动性能和结构性能的多目标优化模型,根据步骤S2获得的分析结果得到多目标优化模型的最优解,并输出最优解对应的波纹翼型改形方案。

[0019] 所述步骤S1具体为：

[0020] 11:获取原标准翼型的下缘曲线和弦长,设置波纹总数,并在原标准翼型的下缘曲线上均匀采样得到原始数据点的集合AF；

[0021] 12:根据波纹均匀分布的定义,根据原标准翼型的集合AF、弦长和波纹总数得到波纹曲线中每段波纹的真实起始位置和波纹长度；

[0022] 13:根据波纹等比例分布的定义,根据原标准翼型的集合AF、弦长和波纹总数得到波纹曲线中每段波纹的真实起始位置和波纹长度；

[0023] 14:根据每段波纹对应位置处的翼型厚度设置波纹的波纹幅值,根据每段波纹的真实起始位置、波纹长度和波纹幅值采用三点画弧的方法得到对应的波纹曲线。

[0024] 所述步骤12具体为：

[0025] 121:设置波纹总长度L,并根据L得到理论波纹长度 λ_{ideal} ,满足以下公式：

$$[0026] \quad L = (1-w_1) * C$$

$$[0027] \quad \lambda_{ideal} = L/N$$

[0028] 式中, $0 < w_1 \leq 10\%$,C表示原标准翼型的弦长,N表示波纹总数；

[0029] 122:获取每段波纹的理想起始位置,满足以下公式：

$$[0030] \quad X_{ideal}(1) = w_2 * C$$

$$[0031] \quad X_{ideal}(i) = X_{ideal}(1) + (i-1) * \lambda_{ideal}$$

[0032] 式中, $0 < w_2 \leq 5\%$, $1 \leq i \leq N+1$, $X_{ideal}(i)$ 表示第i段波纹的理想起始位置,第N+1段波纹的理想起始位置即为第N段波纹的理想终点位置；

[0033] 123:获取每段波纹的真实起始位置,满足以下公式：

$$[0034] \quad k = \text{Find} \{ AF(?) . x < X_{ideal}(i) \text{ And } AF(?+1) . x > X_{ideal}(i) \}$$

$$[0035] \quad X_{start}(i) = \begin{cases} AF(k).x, & |AF(k).x - X_{ideal}(i)| < |AF(k+1).x - X_{ideal}(i)| \\ AF(k+1).x, & |AF(k).x - X_{ideal}(i)| > |AF(k+1).x - X_{ideal}(i)| \end{cases}$$

[0036] 式中, $X_{start}(i)$ 表示第i段波纹的真实起始位置,第N+1段波纹的真实起始位置即为第N段波纹的真实终点位置,函数 $\text{Find}\{\cdot\}$ 表示求取满足 $\{\}$ 内条件的?处数值,AF(k)表示集合AF中第k个原数据点,AF(k).x表示原数据点AF(k)的横坐标；

[0037] 124:根据每段波纹的真实起始位置获取每段波纹的波纹长度。

[0038] 所述步骤13具体为：

[0039] 131:设置波纹总长度L,并根据L得到理论波纹长度 λ_{ideal} ,满足以下公式：

$$[0040] \quad L = (1-w_1) * C$$

[0041] $\lambda_{ideal} = L/N$

[0042] 式中, $0 < w_1 \leq 10\%$, C 表示原标准翼型的弦长, N 表示波纹总数;

[0043] 132: 设置第一段波纹的理想起始位置 $X_{ideal}(1)$ 和第 N 段波纹的真实终点位置, 第 N 段波纹的真实终点位置即为第 $N+1$ 段波纹的真实起始位置 $X_{ideal}(N+1)$, 满足以下公式:

[0044] $X_{ideal}(1) = w_2 * C$

[0045] $X_{ideal}(N+1) = (1-w_2) * C$

[0046] 式中, $0 < w_2 \leq 5\%$;

[0047] 133: 根据 $X_{ideal}(1)$ 得到第一段波纹的真实起始位置 $X_{start}(1)$ 以及与 $X_{start}(1)$ 对应的索引值 I_1 , 并根据 $X_{ideal}(N+1)$ 得到第一段波纹的真实起始位置 $X_{start}(N+1)$ 以及与 $X_{start}(N+1)$ 对应的索引值 I_{N+1} , 满足以下公式:

[0048] $k_1 = \text{Find}\{AF(?) . x < X_{ideal}(1) \text{ And } AF(?+1) . x > X_{ideal}(1)\}$

[0049]
$$I_1 = \begin{cases} k_1, & |AF(k_1).x - X_{ideal}(1)| < |AF(k_1+1).x - X_{ideal}(1)| \\ k_1+1, & |AF(k_1).x - X_{ideal}(1)| > |AF(k_1+1).x - X_{ideal}(1)| \end{cases}$$

[0050] $X_{start}(1) = AF(I_1) . x$

[0051] $k_{N+1} = \text{Find}\{AF(?) . x < X_{ideal}(N+1) \text{ And } AF(?+1) . x > X_{ideal}(N+1)\}$

[0052]
$$I_{N+1} = \begin{cases} k_{N+1}, & |AF(k_{N+1}).x - X_{ideal}(N+1)| < |AF(k_{N+1}+1).x - X_{ideal}(N+1)| \\ k_{N+1}+1, & |AF(k_{N+1}).x - X_{ideal}(N+1)| > |AF(k_{N+1}+1).x - X_{ideal}(N+1)| \end{cases}$$

[0053] $X_{start}(N+1) = AF(I_{N+1}) . x$

[0054] 式中, 函数 $\text{Find}\{\cdot\}$ 表示求取满足 $\{\}$ 内条件的? 处数值, $AF(k_1)$ 、 $AF(k_{N+1})$ 分别对应表示集合 AF 中第 k_1 、 k_{N+1} 个原数据点, $AF(k_1) . x$ 、 $AF(k_{N+1}) . x$ 分别对应表示原数据点 $AF(k_1)$ 、 $AF(k_{N+1})$ 的横坐标;

[0055] 134: 获取第 a 段波纹的理想起始位置 $X_{ideal}(a)$, $1 < a \leq N$, 并根据 $X_{ideal}(a)$ 得到第 a 段波纹的真实起始位置 $X_{start}(a)$ 以及与 $X_{start}(a)$ 对应的索引值 I_a , 满足以下公式:

[0056] $X_{ideal}(a) = X_{start}(1) + (a-1) * \lambda_{ideal}$

[0057] $k_a = \text{Find}\{AF(?) . x < X_{ideal}(a) \text{ And } AF(?+1) . x > X_{ideal}(a)\}$

[0058]
$$I_a = \begin{cases} k_a, & |AF(k_a).x - X_{ideal}(a)| < |AF(k_a+1).x - X_{ideal}(a)| \\ k_a+1, & |AF(k_a).x - X_{ideal}(a)| > |AF(k_a+1).x - X_{ideal}(a)| \end{cases}$$

[0059] $X_{start}(a) = AF(I_a) . x$

[0060] 式中, $AF(k_a)$ 表示集合 AF 中第 k_a 个原数据点, $AF(k_a) . x$ 表示原数据点 $AF(k_a)$ 的横坐标;

[0061] 135: 获取每段波纹对应原标准翼型位置处的厚度与该波纹的波纹长度的比值 r_j , $1 \leq j \leq N$, 并获取所有 r_j 的平均值 \bar{r} , 满足以下公式:

[0062] $r_j = \text{avr}(AF(I) . y) / (X_{start}(j+1) - X_{start}(j)), I_j \leq I \leq I_{j+1}$

[0063] $\bar{r} = \text{avr}(r_j), 1 \leq j \leq N$

[0064] 式中, 函数 $\text{avr}(\cdot)$ 表示求 (\cdot) 内所有参数的平均值, $AF(I)$ 表示集合 AF 中第 I 个原数据点, $AF(I) . y$ 表示原数据点 $AF(I)$ 的纵坐标;

[0065] 136: 求取每段波纹的比值 r_j 与平均值 \bar{r} 的差值 E_j , $E_j = |r_j - \bar{r}|$, 将差值 E_j 中最大值对应的波纹的索引值 I_{errormax} 记为FlagI, 下标errormax表示差值 E_j 中最大值对应的波纹的编号, 并记录差值 E_j 中最大值的正负号为FlagS;

[0066] 137: 判断符号FlagS是否为正号, 若是, I_{errormax} 减小1, $I_{\text{errormax}+1}$ 增加1, 若否, I_{errormax} 增加1, $I_{\text{errormax}+1}$ 减小1, 当 $I_{\text{errormax}} = 1$, 则 I_{errormax} 不变, 当 $I_{\text{errormax}} = N$, 则 $I_{\text{errormax}+1}$ 不变;

[0067] 138: 跳转步骤135, 执行下一次的循环, 循环终止的条件为: 相邻两次循环的FlagI数值相同, 且符号FlagS不等;

[0068] 139: 循环结束后, 得到每段波纹的索引值, 根据每段波纹的索引值得到每段波纹的真实起始位置以及每段波纹的波纹长度。

[0069] 参数 w_2 取值为2.5%。

[0070] 与现有技术相比, 本发明具有以下优点:

[0071] 一、在标准翼型的基础上, 将下翼面宏观形状改形为波浪形, 改形后的波纹翼型由于在下翼面的波纹中会产生涡流, 形成气流的微分离, 可以改善低速翼型的升阻性能, 特别是能提高小攻角时的升力系数, 并且阻力系数没有显著上升, 因此翼型的升阻有比较明显的提高, 同时这种波纹结构改形设计增加了机翼的有效厚度, 能显著增加机翼的强度, 改善机翼的结构性能, 特别是抗弯和抗扭性能的改善。升阻性能的提升与结构性能的改善结合, 能够在相同任务载荷条件下减小结构尺寸和重量, 增加燃油经济性和飞行性能。

[0072] 二、提出了一种实现波纹翼型的均匀分布波纹设计与等比例分布波纹设计的方法, 可以快速构建翼型控制曲线, 进行计算流体力学和机翼结构有限元计算, 便于进行不同类型波纹翼型的设计, 其中, 均匀分布的工艺性更好, 波长更小气动性能相对更好, 幅值更大结构性能相对更优。

[0073] 三、提出了气动性能和结构性能的多目标优化模型, 可以通过多目标优化设计完成翼型波浪状下翼面改形的非劣最优解计算, 获得确定对象的优化设计翼型, 从而选取合适条件下最优的波纹的分布、波长和幅值。

[0074] 四、该波纹翼型可以应用于采用复合材料结构机翼的低速通用飞机和无人机, 提高飞机的升阻性能和结构效率, 应用广泛。

附图说明

[0075] 图1为圆头尖尾形翼型的结构示意图;

[0076] 图2为本发明方法的流程图;

[0077] 图3为均匀分布波纹设计的流程图;

[0078] 图4为等比例分布波纹设计的流程图;

[0079] 图5a为理想条件下每段波纹内圆弧的关系示意图;

[0080] 图5b为图5a中圆弧的等效示意图;

[0081] 图5c为翼型实际设计时每段波纹处圆弧关系图;

[0082] 图6a为CLARK Y标准翼型的结构示意图;

[0083] 图6b为波纹均匀分布的CLARK Y标准翼型改形设计示意图;

- [0084] 图7a为NACA 16018标准翼型的结构示意图；
- [0085] 图7b为波纹等比例分布的NACA 16018标准翼型改形设计示意图；
- [0086] 图8为本发明波纹翼型与原标准翼型的增升效果对比示意图；
- [0087] 图9为本发明波纹翼型与原标准翼型的结构对比示意图。

具体实施方式

[0088] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0089] 一种飞机用波纹翼型,通过在原标准翼型基础上改造得到,该原标准翼型如图 1 所示为圆头尖尾形翼型,该波纹翼型保留原标准翼型上翼面的原始光滑曲线,同时将下翼面改形,设计为波纹形状,下翼面改形具体是指:该波纹翼型下翼面的前后缘部分保留原始翼型的曲线,即非波纹处于原标准翼型的结构重合,而下翼面的中间部分为波纹结构,即下翼面对应的下缘曲线除前后缘部分的中间部分为由多段波纹头尾连接形成的波纹曲线,每段波纹均包括一个波峰和一个波谷,波峰在下翼面向内凹陷,波谷在下翼面向外凸起,波纹曲线中的波纹均匀分布或等比例分布,波纹均匀分布是指:每段波纹的波纹长度均相等,波纹等比例分布是指:每段波纹的波纹长度与该波纹对应位置处的翼型厚度的比值相等。

[0090] 其中,波纹曲线中每段波纹的波谷与原标准翼型的下缘曲线相切,例如:每段波纹的起始位置从波谷开始,经过波峰后到波谷结束。或者,波纹曲线中每段波纹的波峰与波谷中心对称分布在原标准翼型的下缘曲线内外两侧,例如:每段波纹的起始位置从波峰与波谷之间的中间点开始,依次经过波峰、波谷,到博风雨波谷之间中间点结束。波纹曲线的设计可以有效改善翼型的升阻性能。

[0091] 波纹曲线中每段波纹的波纹幅值与该波纹对应位置处的翼型厚度的比值均相等。相比原标准翼型,改善翼型的升阻性能的同时能增加翼型的有效厚度,保证机翼的强度。

[0092] 波纹曲线由多段圆弧连续相切得到,或者波纹曲线由多段正弦曲线连续相切得到。以圆弧或正弦曲线进行波纹曲线设计,设计效果好,下翼面的波纹结构更加光滑,并不会增加阻力系数,且更加方便快捷。波纹曲线还可以是多段类似圆弧、正弦曲线的其他曲线连续相切或者是不连续线段连接。

[0093] 因为波纹的分布、波长和幅值不存在哪一种更优的单一选择项,相对而言均匀分布的工艺性更好,波长更小气动性能相对更好,幅值更大结构性能相对更优。但是改形设计都需要根据翼型生成算法,通过气动性能和结构性能多目标优化设计方法计算确定,因此,提出了一种上述飞机用波纹翼型的优化设计方法,如图2所示,包括以下步骤:

[0094] S1:对原标准翼型的下翼面进行改造,分别得到波纹均匀分布的波纹曲线和波纹等比例分布的波纹曲线,具体为:

[0095] 11:,建立坐标系,以弦线为x轴,以前缘为原点,过原点作与x轴垂直的y轴,获取原标准翼型的下缘曲线和弦长C,下缘曲线可用弦线商都的相对坐标的函数表示,设置波纹总数N,并在原标准翼型的下缘曲线上均匀采样得到原始数据点的集合AF;

[0096] 12:根据波纹均匀分布的定义,根据原标准翼型的集合AF、弦长和波纹总数得到波纹曲线中每段波纹的真实起始位置和波纹长度;

[0097] 13:根据波纹等比例分布的定义,根据原标准翼型的集合AF、弦长和波纹总数得到波纹曲线中每段波纹的真实起始位置和波纹长度;

[0098] 14:根据每段波纹对应位置处的翼型厚度设置波纹的波纹幅值,根据每段波纹的真实起始位置、波纹长度和波纹幅值采用三点画弧的方法得到对应的波纹曲线。

[0099] S2:分别对步骤S1设计的波纹均匀分布的波纹曲线对应的波纹翼型和波纹等比例分布的波纹曲线对应的波纹翼型进行气动性能和结构性能分析,输出分析结果。

[0100] S3:建立气动性能和结构性能的多目标优化模型,根据步骤S2获得的分析结果得到多目标优化模型的最优解,并输出最优解对应的波纹翼型改形方案。

[0101] 波纹均匀分布设计是指根据波纹数N求出每个波纹的长度值,要求每个波纹的长度相同,因此,提出一种波纹均匀分布设计算法,可以由原标准翼型的集合AF、弦长和波纹总数得到波纹曲线中每段波纹的真实起始位置和波纹长度,具体包括以下步骤:

[0102] 121:设置波纹总长度L,并根据L得到理论波纹长度 λ_{ideal} ,满足以下公式:

$$[0103] \quad L = (1-w_1) * C$$

$$[0104] \quad \lambda_{ideal} = L/N$$

[0105] 式中, w_1 为比值参数, $0 < w_1 \leq 10\%$,C表示原标准翼型的弦长,N表示波纹总数,本实施例中参数 w_1 取值为5%;

[0106] 122:获取每段波纹的理想起始位置,满足以下公式:

$$[0107] \quad X_{ideal}(1) = w_2 * C$$

$$[0108] \quad X_{ideal}(i) = X_{ideal}(1) + (i-1) * \lambda_{ideal}$$

[0109] 式中, w_2 为比值参数, $0 < w_2 \leq 5\%$, $1 \leq i \leq N+1$, $X_{ideal}(i)$ 表示第i段波纹的理想起始位置,此处参数i为整数,表示波纹的编号,第N+1段波纹的理想起始位置即为第N段波纹的理想终点位置,本实施例中参数 w_2 取值为2.5%;

[0110] 123:获取每段波纹的真实起始位置,满足以下公式:

$$[0111] \quad k = \text{Find}\{AF(?) .x < X_{ideal}(i) \text{ And } AF(?+1) .x > X_{ideal}(i)\}$$

$$[0112] \quad X_{start}(i) = \begin{cases} AF(k).x, & |AF(k).x - X_{ideal}(i)| < |AF(k+1).x - X_{ideal}(i)| \\ AF(k+1).x, & |AF(k).x - X_{ideal}(i)| > |AF(k+1).x - X_{ideal}(i)| \end{cases}$$

[0113] 式中, $X_{start}(i)$ 表示第i段波纹的真实起始位置,第N+1段波纹的真实起始位置即为第N段波纹的真实终点位置,函数 $\text{Find}\{\cdot\}$ 表示求取满足 $\{\}$ 内条件的?处数值,AF(k)表示集合AF中第k个原数据点,此处参数k为整数,表示原数据点的编号,AF(k).x表示原数据点AF(k)的横坐标;

[0114] 124:根据每段波纹的真实起始位置获取每段波纹的波纹长度,满足以下公式:

$$[0115] \quad \lambda(j) = X_{start}(j+1) - X_{start}(j)$$

[0116] 式中, $1 \leq j \leq N$, $\lambda(j)$ 表示第j个波纹的波纹长度,此处参数j为整数,同参数i的定义。

[0117] 波纹均匀分布设计算法的算法流程图如图3,其实质是寻找和理想起始位置距离最近的AF的横坐标x值,作为真实的波纹起始位置,这些真实的波纹起始位置相减得到相应每个波纹的真实长度,图3中, X_{ideal} 为理想情况下每个波纹的起始位置,为N+1维的向量,i、j、k为中间参数, X_{start} 为真实的每个波纹的起始位置,为N+1维的向量, λ 为真实的每个波纹

的长度值,为N维的向量,Find{条件}语句为找出符合条件的?处的值,符合条件的?的值返回到等号左边,AF(?) .x表示AF中第?个数据点的横坐标x值,例如AF(15) .x表示第15个数据点的x值。

[0118] 波长对翼型厚度等比分布设计是指根据波纹数N求出每个波纹的长度值,翼型越厚的地方的波纹长度越长,其长度和对应位置的厚度成正比。因此,提出一种波纹等比例分布算法,可由原标准翼型的集合AF、弦长和波纹总数得到波纹曲线中每段波纹的真实起始位置和波纹长度,具体包括以下步骤:

[0119] 131:设置波纹总长度L,并根据L得到理论波纹长度 λ_{ideal} ,满足以下公式:

$$[0120] \quad L = (1-w_1) * C$$

$$[0121] \quad \lambda_{ideal} = L/N$$

[0122] 式中, $0 < w_1 \leq 10\%$,C表示原标准翼型的弦长,N表示波纹总数,本实施例中参数 w_1 取值为5%;

[0123] 132:设置第一段波纹的理想起始位置 $X_{ideal}(1)$ 和第N段波纹的真实终点位置,第N段波纹的真实终点位置即为第N+1段波纹的真实起始位置 $X_{ideal}(N+1)$,满足以下公式:

$$[0124] \quad X_{ideal}(1) = w_2 * C$$

$$[0125] \quad X_{ideal}(N+1) = (1-w_2) * C$$

[0126] 式中, $0 < w_2 \leq 5\%$,本实施例中参数 w_2 取值为2.5%;

[0127] 133:根据 $X_{ideal}(1)$ 得到第一段波纹的真实起始位置 $X_{start}(1)$ 以及与 $X_{start}(1)$ 对应的索引值 I_1 ,索引值I即为波纹真实起始位置取值的AF内原数据点的编号,索引值I的下标为索引值的编号,即为波纹的编号,并根据 $X_{ideal}(N+1)$ 得到第一段波纹的真实起始位置 $X_{start}(N+1)$ 以及与 $X_{start}(N+1)$ 对应的索引值 I_{N+1} ,满足以下公式:

$$[0128] \quad k_1 = \text{Find}\{AF(?) .x < X_{ideal}(1) \text{ And } AF(?+1) .x > X_{ideal}(1)\}$$

$$[0129] \quad I_1 = \begin{cases} k_1 & , \quad |AF(k_1).x - X_{ideal}(1)| < |AF(k_1+1).x - X_{ideal}(1)| \\ k_1+1, & |AF(k_1).x - X_{ideal}(1)| > |AF(k_1+1).x - X_{ideal}(1)| \end{cases}$$

$$[0130] \quad X_{start}(1) = AF(I_1) .x$$

$$[0131] \quad k_{N+1} = \text{Find}\{AF(?) .x < X_{ideal}(N+1) \text{ And } AF(?+1) .x > X_{ideal}(N+1)\}$$

$$[0132] \quad I_{N+1} = \begin{cases} k_{N+1} & , \quad |AF(k_{N+1}).x - X_{ideal}(N+1)| < |AF(k_{N+1}+1).x - X_{ideal}(N+1)| \\ k_{N+1}+1, & |AF(k_{N+1}).x - X_{ideal}(N+1)| > |AF(k_{N+1}+1).x - X_{ideal}(N+1)| \end{cases}$$

$$[0133] \quad X_{start}(N+1) = AF(I_{N+1}) .x$$

[0134] 式中,Find{•}表示求取满足{}内条件的?处数值,AF(k_1)、AF(k_{N+1})分别对应表示集合AF中第 k_1 、 k_{N+1} 个原数据点, k_1 、 k_{N+1} 为中间变量,AF(k_1) .x、AF(k_{N+1}) .x 分别对应表示原数据点AF(k_1)、AF(k_{N+1})的横坐标;

[0135] 134:获取第a段波纹的理想起始位置 $X_{ideal}(a)$, $1 < a \leq N$,a为波纹的编号,并根据 $X_{ideal}(a)$ 得到第a段波纹的真实起始位置 $X_{start}(a)$ 以及与 $X_{start}(a)$ 对应的索引值 I_a ,满足以下公式:

$$[0136] \quad X_{ideal}(a) = X_{start}(1) + (a-1) * \lambda_{ideal}$$

$$[0137] \quad k_a = \text{Find}\{AF(?) .x < X_{ideal}(a) \text{ And } AF(?+1) .x > X_{ideal}(a)\}$$

$$[0138] \quad I_a = \begin{cases} k_a, & |AF(k_a).x - X_{ideal}(a)| < |AF(k_a+1).x - X_{ideal}(a)| \\ k_a+1, & |AF(k_a).x - X_{ideal}(a)| > |AF(k_a+1).x - X_{ideal}(a)| \end{cases}$$

[0139] $X_{start}(a) = AF(I_a).x$

[0140] 式中, $AF(k_a)$ 表示集合 AF 中第 k_a 个原数据点, k_a 为中间变量, $AF(k_a).x$ 表示原数据点 $AF(k_a)$ 的横坐标;

[0141] 135: 获取每段波纹对应原标准翼型位置处的厚度与该波纹的波纹长度的比值 r_j , $1 \leq j \leq N$, j 为波纹的编号, 并获取所有 r_j 的平均值 \bar{r} , 满足以下公式:

$$[0142] \quad r_j = \text{avr}(AF(I).y) / (X_{start}(j+1) - X_{start}(j)), I_j \leq I \leq I_{j+1}$$

$$[0143] \quad \bar{r} = \text{avr}(r_j), 1 \leq j \leq N$$

[0144] 式中, $\text{avr}(\cdot)$ 表示求 (\cdot) 内所有参数的平均值, $AF(I)$ 表示集合 AF 中第 I 个原数据点, $AF(I).y$ 表示原数据点 $AF(I)$ 的纵坐标;

[0145] 136: 求取每段波纹的比值 r_j 与平均值 \bar{r} 的差值 E_j , $E_j = |r_j - \bar{r}|$, 将差值 E_j 中最大值对应的波纹的索引值 $I_{errormax}$ 记为标记值 $FlagI$, 下标 $errormax$ 表示差值 E_j 中最大值对应的波纹的编号, 并记录差值 E_j 中最大值的正负号为符号 $FlagS$;

[0146] 137: 判断符号 $FlagS$ 是否为正号, 若是, $I_{errormax}$ 减小 1, $I_{errormax+1}$ 增加 1, 若否, $I_{errormax}$ 增加 1, $I_{errormax+1}$ 减小 1, 当 $I_{errormax} = 1$, 则 $I_{errormax}$ 不变, 当 $I_{errormax} = N$, 则 $I_{errormax+1}$ 不变;

[0147] 138: 跳转步骤 135, 执行下一次的循环, 循环终止的条件为: 相邻两次循环的 $FlagI$ 数值相同, 且相邻两次循环的符号 $FlagS$ 不等;

[0148] 139: 循环结束后, 得到每段波纹的索引值, 根据每段波纹的索引值得到每段波纹的真实起始位置以及每段波纹的波纹长度, 同步骤 124 的公式。

[0149] 波纹均匀分布设计算法的算法流程图如图 4, 其实质是预先设置合适的 AF 的横坐标 x 值作为波纹的起始位置, 通过循环多次实现波纹对应原标准翼型位置处的厚度与该波纹的波纹长度的比值的等比例, 最后将循环结束后获得的 AF 的横坐标 x 值作为真实的波纹起始位置, 这些真实的波纹起始位置相减得到相应每个波纹的真实长度, 图 3 中, a 、 $FlagI$ 、 $FlagS$ 、 j 、 $errormax$ 等为中间参数, $\max(\cdot)$ 语句为找出“ (\cdot) ”内数值的最大值, $\text{Find}\{\max(?)\}$ 语句为找到取“ (\cdot) ”内数值的最大值时对应的?的值, 并将?的值返回到等号左边, $\text{sign}(\cdot)$ 表示取“ (\cdot) ”中数值的符号, $\text{avr}(\cdot)$ 表示取“ (\cdot) ”内数或者数组的平均值。

[0150] 上述波纹等比例分布算法和波纹均匀分布设计算法可以得到每段波纹的真实起始位置和波纹长度, 再假设波纹曲线中每段波纹的波纹幅值与该波纹对应位置处的翼型厚度的比值均相等, 则可以得到每段波纹对应位置处的翼型厚度设置波纹的波纹幅值, 由每段波纹的真实起始位置、波纹长度和波纹幅值采用三点画弧的方法得到对应的波纹曲线, 以便确定圆弧将其画出(三点画弧的方法可以保证计算机绘制过程中, 圆弧之间、圆弧与前方后方的样条曲线的连续性, 而其他方法又有计算的数据是离散的, 会有一定的误差导致不连续)。

[0151] 以波纹曲线中每段波纹的波谷与原标准翼型的下缘曲线相切的情况为例, 一段波纹中内三段圆弧的几何关系如图 5a 所示, O_1 、 O_2 为圆弧的圆心, A 、 B 为标准翼型与波纹翼的切

点,为便于计算,将AB段近似成为直线段,AB我们称之为波峰连线,C、D为圆弧与圆弧的切点。

[0152] 出于演示目的,将弧AC接到DB后端,如图5b所示。但由于机翼轮廓中绝大多数位置波峰连线都不与弦长方向平行,存在一个夹角,所以,大多数情况的情形是如图5c所示,可以证明, $\triangle DEF \sim \triangle GDF$,则 $FG \cdot FE = FD^2$,进而得到:

$$[0153] \quad R(i) = \frac{\lambda(i)(k'(i)^2 + 1) + 4h(i)^2}{16h(i)}$$

[0154] 式中, i 为波纹的编号, $R(i)$ 表示第 i 段波纹中波峰对应的半径, $2R(i) = FG$, $\lambda(i)$ 表示第 i 段波纹的波纹波长, $\lambda(i) = CH$, $k'(i)$ 表示第 i 段波纹的波峰连线的斜率, $k'(i) = \tan \theta$, θ 为波峰连线与水平线(弦线)的夹角,即 $\theta = \angle HCA$, $h(i)$ 表示第 i 段波纹对应的波纹幅值(即波高,波峰到波谷的距离), $h(i) = 2EF$ 。

[0155] 进一步可以得到:

$$[0156] \quad x_0 = x_{O_2} - R(i) \sin \theta$$

$$[0157] \quad y_0 = y_{O_2} + R(i) \cos \theta$$

[0158] 式中, (x_0, y_0) 表示图5c中第 i 段波纹中圆心 O 的坐标, (x_{O_2}, y_{O_2}) 表示图5a中第 i 段波纹中圆心 O_2 的坐标。

[0159] 得到每一段波纹对应的三个圆弧的圆心后,根据勾股定理,求出圆弧上的三个点,作为三点画弧的输入数据。

[0160] 经验算,本发明的翼型几何构造方法误差在 10^{-4} 数量级甚至更低,足够保证翼型气动性能和结构性能仿真计算所需的几何精度。

[0161] 基于不同翼型的改形设计,在不同边界条件下性能有较大差异,优化设计需要大量的基础数据计算。为了高效的进行仿真计算,本发明确定了高效的计算流程,利用代码化进行批处理,由于仿真时间成本大,操作量大,每个算例达到收敛需要迭代数千次甚至更多,每个改形设计需要上千个算例,工作量数量非常大,采用人工输入的手法效率太低,因此本发明采用代码化的方法,分别录制Gambit、Fluent 和Ansys的journal文件,利用journal文件进行自动化处理,journal文件中只有格式化的文本是自动生成的,其余的都是参数,所有参数都是根据每个算例的具体要求而设定的,以保证每个算例结果的有效性。代码化的过程是通过Matlab来实现的,Matlab可以输出任意形式固定和不固定的文本,不固定的文本只需编辑好文本的规则就可以输出。

[0162] 要实现代码化,首先需要完成一次正确的Gambit网格化操作和Fluent、Ansys 下相应的journal文件,分析journal文件中语句的含义,找出相应参数的设置语句,根据需要的算例,对其进行编辑,得到需要的代码,进行批处理,则高效率的多目标优化设计过程为:

[0163] a) 快速构建改形设计后的翼型曲线;

[0164] b) 设计了完整的程序代码,根据翼型几何曲线自动划分有限元网格,分别采用Fluent和Ansys软件自动计算不同翼型的气动性能和结构性能并输出结果;

[0165] c) 采用多目标优化算法,求解气动性能和结构性能多目标优化设计的非劣解,确定设计方案,完成翼型改形和优化设计。

[0166] 采用本发明方法分别对CLARK Y标准翼型和NACA 16018标准翼型进行波纹结构的改形,改性前后的结构如图6a、图6b、图7a和图7b所示,经过试验验证,将下翼面宏观形状改形为波浪形后,在下翼面的波纹中会产生涡流,形成气流的微分离,其结果是能显著提高翼型的气动性能,特别是在小攻角范围内,如图8和图 9所示,虚线为没有波纹的标准翼型,左上角的n为波纹数, C_L 表示升力系数, C_D 表示阻力系数, C_L/C_D 表示升阻比,从在不同波纹数下升力系数-攻角曲线、阻力系数-攻角曲线以及升阻比-攻角曲线中可以看出:在小攻角范围内,波纹数越多,升力系数和升阻比越大,并且阻力系数没有显著上升,而在攻角增大到后,涡流被前方来流吹平,因此将逐渐失去增升作用。

[0167] 综上,波纹翼改形能有效改善翼型的升阻性能,同时这种改形设计增加了机翼的有效厚度,能显著增加机翼的强度。两者结合,能够在相同任务载荷条件下减小结构尺寸和重量,增加燃油经济性和飞行性能。

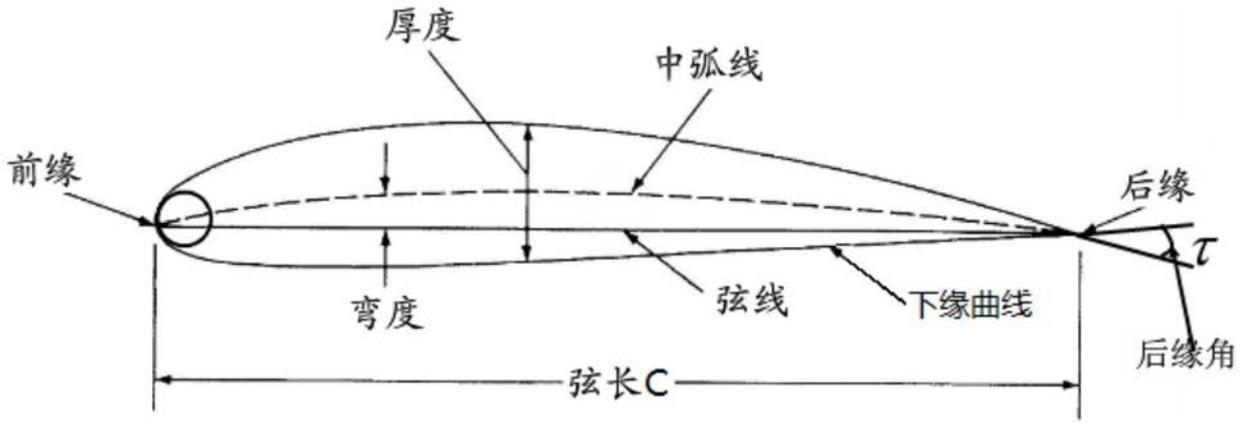


图1

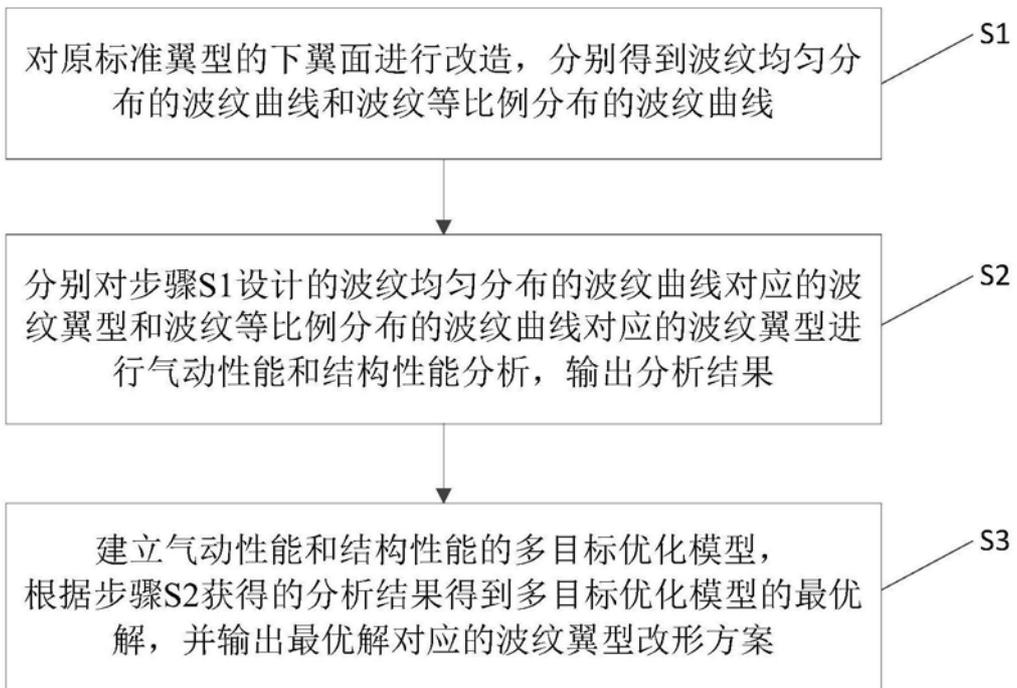


图2

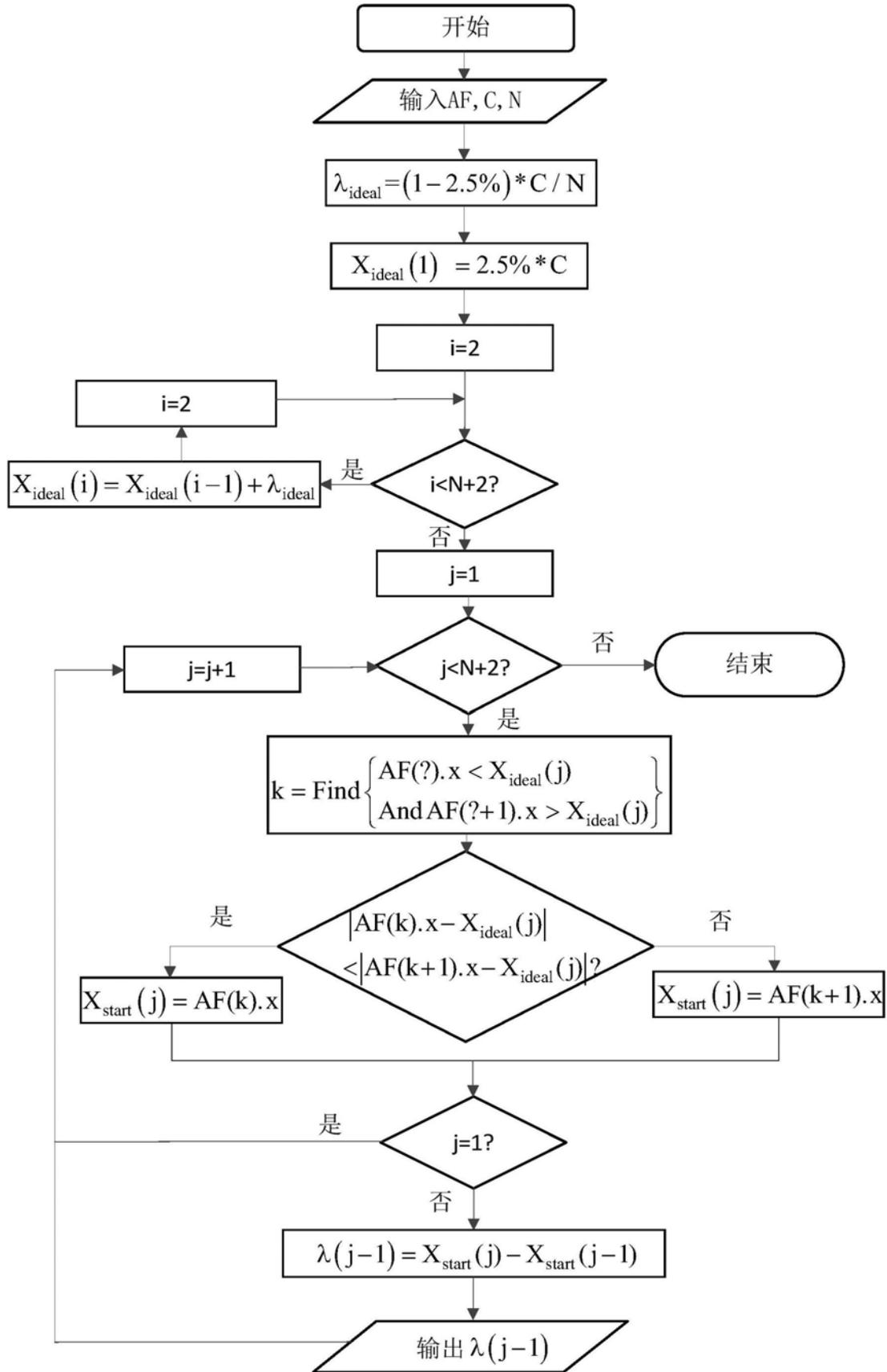


图3

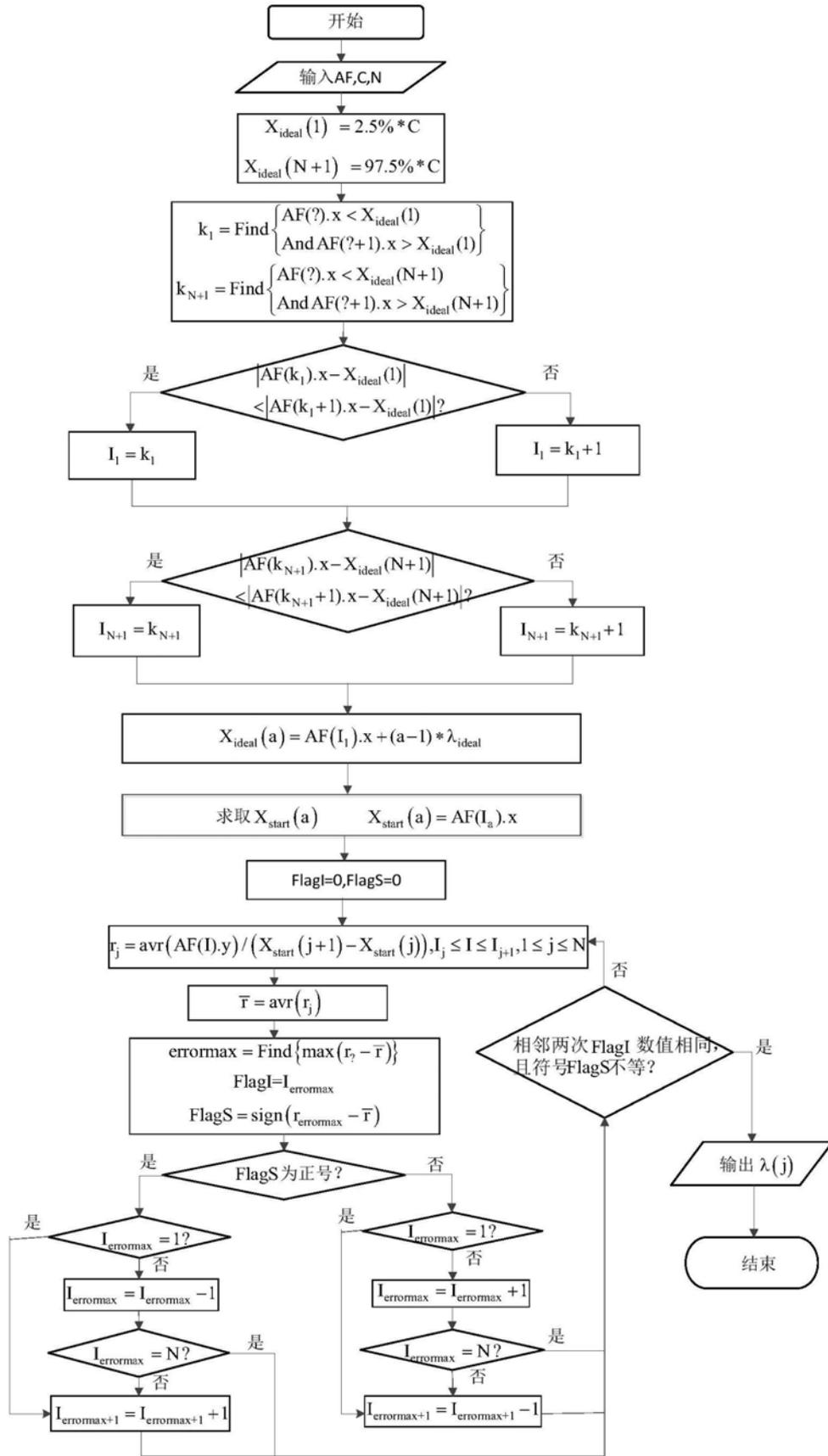


图4

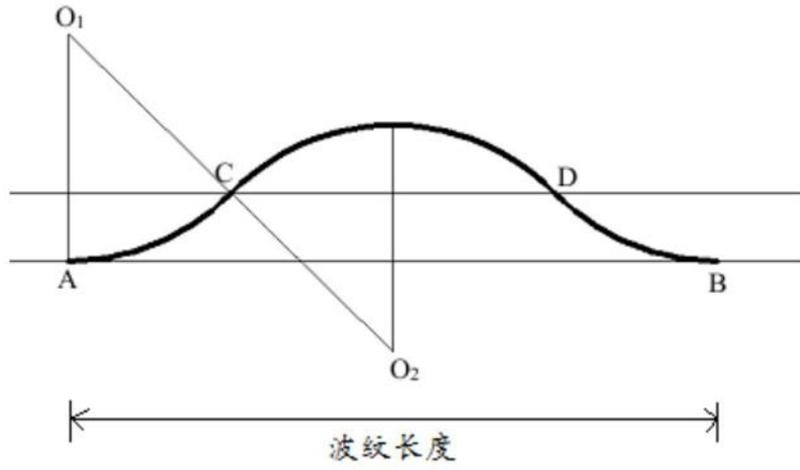


图5a

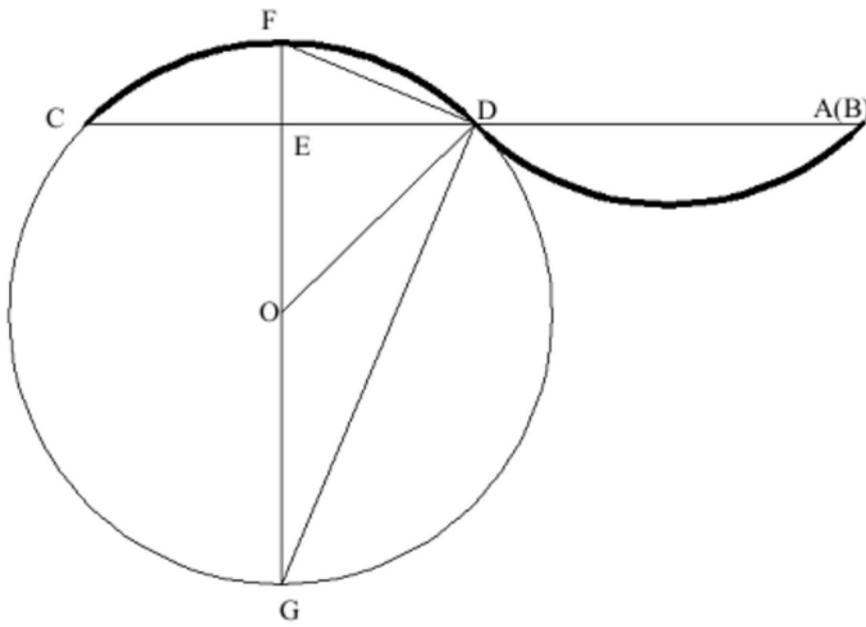


图5b

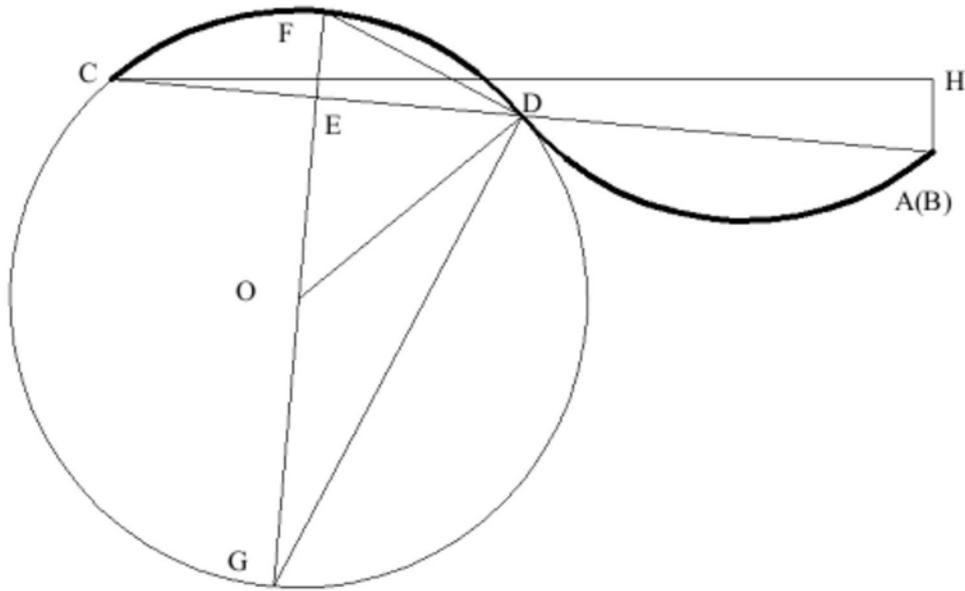


图5c

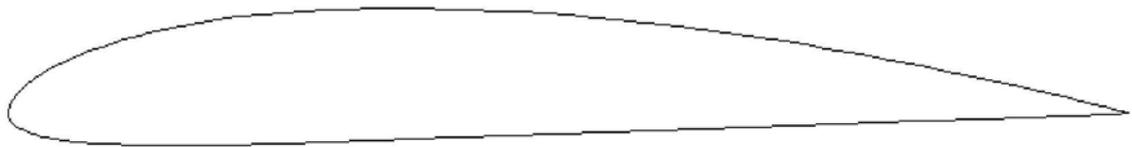


图6a

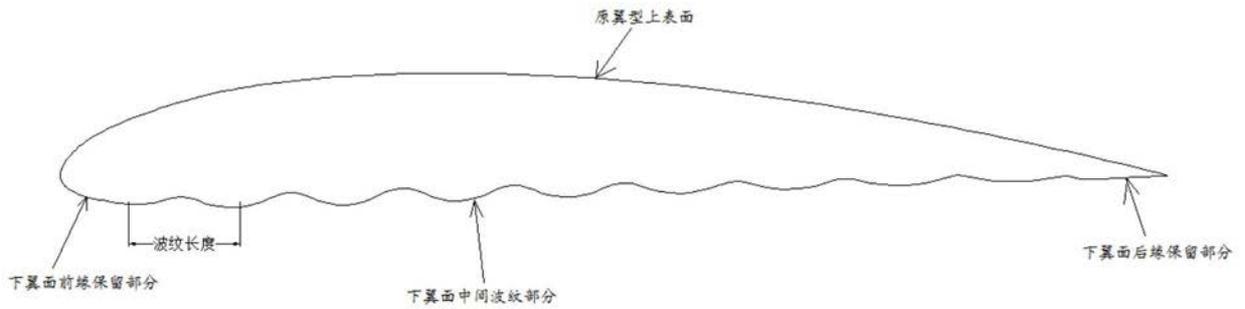


图6b



图7a

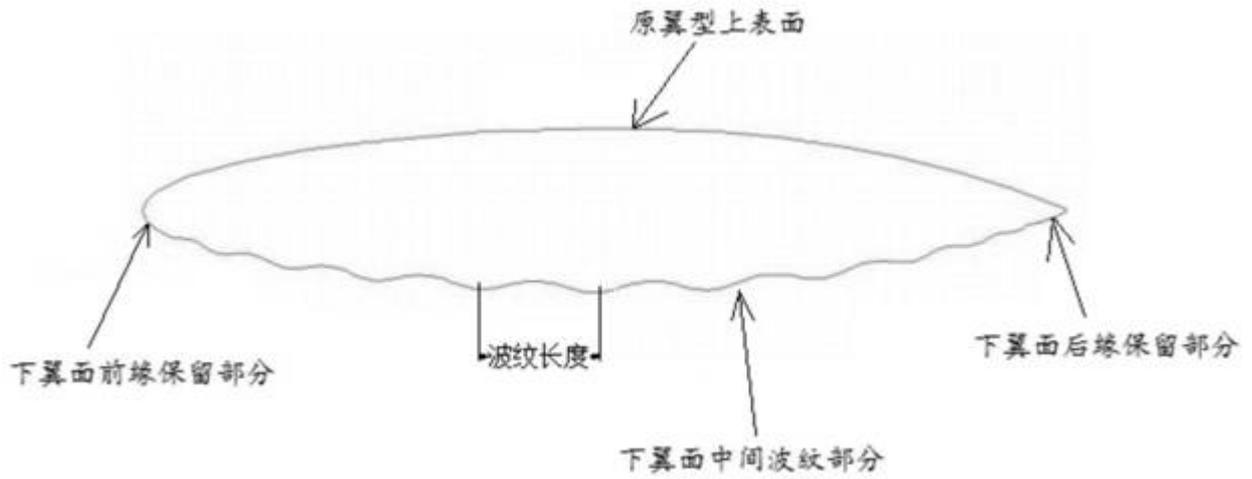


图7b

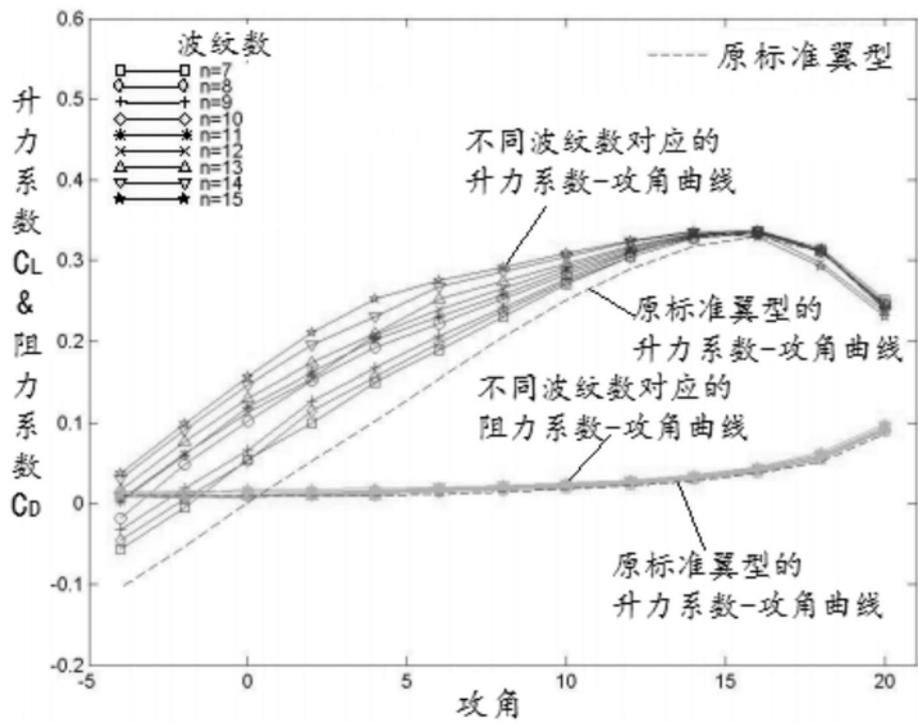


图8

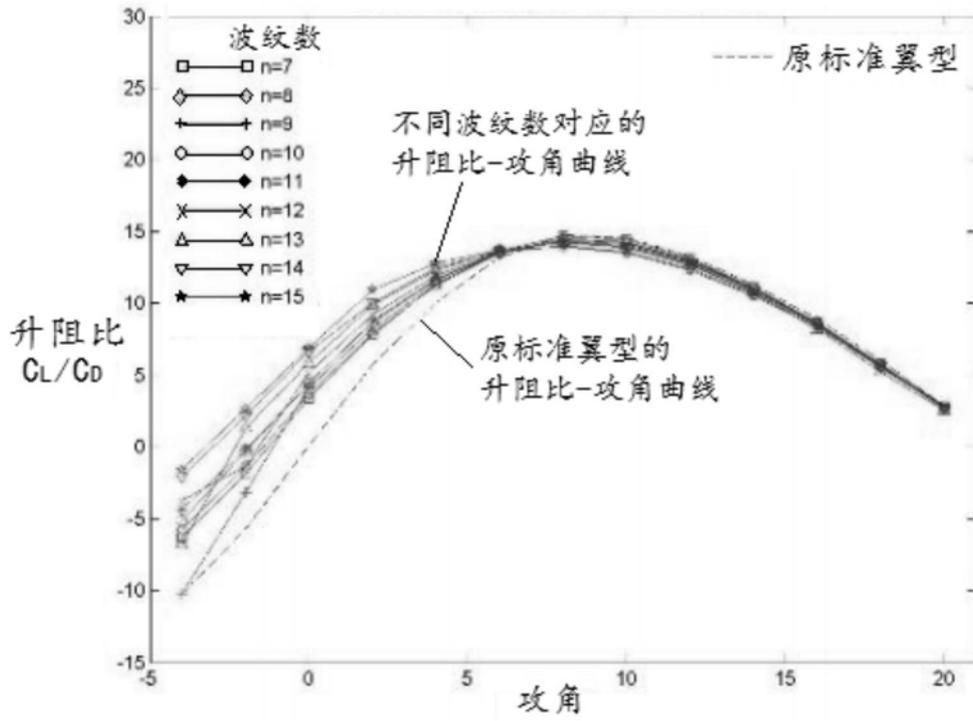


图9