



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103093082 A

(43) 申请公布日 2013. 05. 08

(21) 申请号 201210572819. 6

(22) 申请日 2012. 12. 25

(71) 申请人 中国商用飞机有限责任公司

地址 200120 上海市浦东新区张杨路 25 号

申请人 中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院

(72) 发明人 孙亚军 梁技 李效法 窦忠谦

张潇 张婷婷 刘亚萌 王海刚

周铮

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 楼仙英 徐年康

(51) Int. Cl.

G06F 19/00 (2006. 01)

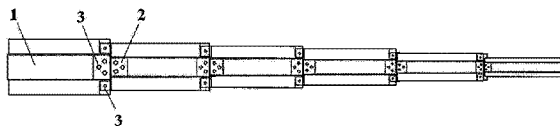
权利要求书1页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

一种飞机跨音速颤振模型的单梁及其设计方法

(57) 摘要

本发明提供一种飞机跨音速颤振模型的单梁及其设计方法,所述单梁由多个空心梁段相互连接形成,所述空心梁段由金属材料制成,多个空心梁段的剖面沿着一个方向逐渐减小。与现有实心梁和复合材料梁相比,本发明的单梁不仅具有稳定的刚度,而且可以减小梁自身的重量,从而可以降低梁在模型中的重量比例,降低颤振模型设计时的“密度比”,更有利于模拟飞机跨音速颤振的危险飞行状态。



1. 一种飞机跨音速颤振模型的单梁,其特征在于,所述单梁由多个空心梁段相互连接形成,所述空心梁段由金属材料制成,多个空心梁段的剖面沿着一个方向逐渐减小。

2. 根据权利要求1所述的飞机跨音速颤振模型的单梁,其特征在于,所述空心梁段通过铆钉或螺栓相互连接。

3. 根据权利要求1所述的飞机跨音速颤振模型的单梁,其特征在于,相邻的空心梁段的对接面设有金属胶或复材胶膜。

4. 根据权利要求1到3中任一项所述的飞机跨音速颤振模型的单梁,其特征在于,所述空心梁段的剖面为矩形、U字形或 π 形。

5. 根据权利要求1到3中任一项所述的飞机跨音速颤振模型的单梁,其特征在于,所述空心梁段的剖面为十字矩形或双U字形。

6. 用于根据权利要求1到5中任一项所述的飞机跨音速颤振模型的单梁的设计方法,其特征在于,包括步骤:

1) 确定飞机部件各剖面的刚度数据,根据飞机跨音速颤振模型比例尺确定模型单梁的设计剖面和各剖面的刚度;

2) 根据单梁所用材料的参数,确定单梁各剖面的设计目标惯矩;

3) 初步选择单梁的剖面设计形式,根据各剖面的设计目标惯矩来计算剖面尺寸;

4) 根据计算得到的各剖面尺寸数据,设计出单梁;

5) 评估单梁的重量及对整体颤振模型重量占比,评估单梁的强度水平;

6) 如果单梁的重量占比不合理或者强度水平达不到设计要求,更换剖面设计形式或剖面尺寸,重新设计单梁,直至单梁的重量占比和强度水平达到设计要求;

7) 根据单梁的剖面形式确定单梁的连接装配方式;

8) 单梁的整体连接装配。

7. 根据权利要求6所述的单梁的设计方法,其特征在于,在所述步骤(3)中,计算方程数少于剖面参数数量,尺寸计算为多解,可以得到多组剖面尺寸,根据设计需要选择合适的剖面尺寸。

一种飞机跨音速颤振模型的单梁及其设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种单梁,特别是一种飞机跨音速颤振模型的单梁及其设计方法。

背景技术

[0002] 颤振是飞机飞行中飞行速压超过临界值后出现的一种破坏性结构振动,它是气动力、弹性力和惯性力相互作用下的自激振动。

[0003] 在跨音速区域,由于空气压缩性的影响,飞机气动力急剧变化,会使得飞机颤振速压出现明显的下降,而飞机跨音速颤振模型的风洞试验是研究飞机跨音速颤振特性变化的重要手段。

[0004] 传统的跨音速颤振模型大梁设计采用实心金属梁或复合材料梁,如图 1 所示,传统实心梁具有设计难度小、加工工艺简单的特点,但由于实心梁的重量较大,相对于颤振模型重量占比较高,导致颤振模型的质量特性模拟难度大,模型“密度比”较大。另外,复合材料梁虽然在重量控制上具有优势,但复合材料的离散性会导致复合材料梁的刚度模拟存在不稳定性,增大模型设计的难度。

发明内容

[0005] 为了解决上述问题,本发明提供一种飞机跨音速颤振模型的单梁及其设计方法,该单梁具有减小的重量,可以降低梁在模型中的重量比例,降低颤振模型设计时的“密度比”,更有利于模拟飞机跨音速颤振的危险飞行状态。

[0006] 根据本发明的第一个方面,提供一种飞机跨音速颤振模型的单梁,所述单梁由多个空心梁段相互连接形成,所述空心梁段由金属材料制成,多个空心梁段的剖面沿着一个方向逐渐减小。

[0007] 其中,所述空心梁段通过铆钉或螺栓相互连接。

[0008] 其中,相邻的空心梁段对接面设有金属胶或复材胶膜。

[0009] 其中,所述空心梁段的剖面为矩形、U 字形或 π 形。

[0010] 其中,所述空心梁段的剖面为十字矩形或双 U 字形。

[0011] 根据本发明的另一个方面,提供一种飞机跨音速颤振模型的空心梁的设计方法,包括步骤:

[0012] 1) 确定飞机部件各剖面的刚度数据,根据飞机跨音速颤振模型比例尺确定模型单梁的设计剖面和各剖面的刚度;

[0013] 2) 根据单梁所用材料的参数,确定单梁各剖面的设计目标惯矩;

[0014] 3) 初步选择单梁的剖面设计形式,根据各剖面的设计目标惯矩来计算剖面尺寸;

[0015] 4) 根据计算得到的各剖面尺寸数据,设计出单梁;

[0016] 5) 评估单梁的重量及对整体颤振模型重量占比,评估单梁的强度水平;

[0017] 6) 如果单梁的重量占比不合理或者强度水平达不到设计要求,更换剖面设计形式或剖面尺寸,重新设计单梁,直至单梁的重量占比和强度水平达到设计要求;

[0018] 7) 根据单梁的剖面形式确定单梁的连接装配方式；

[0019] 8) 单梁的整体连接装配。

[0020] 其中,在所述步骤(3)中,计算方程数少于剖面参数数量,尺寸计算为多解,可以得到多组剖面尺寸,根据设计需要选择合适的剖面尺寸。

[0021] 本发明提出的单梁设计可以克服传统模型大梁的不足,具有如下优点:

[0022] 1) 采用单梁可以减小梁自身的重量,从而可以降低梁在模型中的重量比例,降低颤振模型设计时的“密度比”,更有利于模拟飞机跨音速颤振的危险飞行状态;

[0023] 2) 采用金属材质的单梁可以保证模型刚度设计的稳定性,提高刚度设计的精度;

[0024] 3) 金属梁可以采用机械数控加工,加工工艺简单,加工精度高。

附图说明

[0025] 图 1 是传统实心梁的结构示意图;

[0026] 图 2 是根据本发明的单梁的结构示意图;

[0027] 图 3 是单梁的十字形剖面的示意图;

[0028] 图 4 是单梁的矩形剖面的示意图;

[0029] 图 5 是单梁的双 U 字形剖面的示意图;

[0030] 图 6 是单梁的 U 字形剖面的示意图;

[0031] 图 7 是单梁的 π 形剖面的一种形式的示意图;

[0032] 图 8 是单梁的 π 形剖面的另一种形式的示意图;

[0033] 图 9 是单梁的 π 形剖面的又一种形式的示意图;

[0034] 图 10 是空心梁段的连接形式的示意图;

[0035] 图 11 是空心梁段的剖面肋的示意图;

[0036] 图 12 是根据本发明的飞机跨音速颤振模型的单梁的设计方法的流程图;以及

[0037] 图 13 示出了根据本发明的单梁的静力试验应变曲线。

具体实施方式

[0038] 下面结合附图来详细描述本发明的优选实施例。应当理解,所讨论的优选实施例仅示范性地说明实施和使用本发明的特定方式,而非限制本发明的范围。

[0039] 颤振模型大梁用来模拟机翼、平尾、垂尾等飞机部件的刚度,因飞机承力部件的刚度沿其展向是变化的,根据刚度相似要求,颤振模型大梁一般为变刚度变剖面尺寸大梁。由于加工工艺的局限性,变剖面尺寸的空心金属梁一次性加工无法完成,而采用分段加工后再连接的方法就能够完成。

[0040] 图 2 示出了根据本发明的单梁的示意图。单梁可以设计成由多段空心梁段 1 通过连接件 2 装配而成;还可以设计成独立加工的两部分或多部分,通过铆钉(或螺栓)直接连接装配。

[0041] 方式一:多段梁段设计是指空心大梁由多段空心梁段 1 组成,相邻的两空心梁段间通过连接件 2 连接,梁段与连接件采用抽芯铆钉 3 连接固定,抽芯铆钉 3 穿过空心梁段 1 上的孔 4,如图 10-11 所示,抽芯铆钉 3 起传递力的作用。抽芯铆钉具有装配简单、装配精度高的优点。梁段装配时,空心梁段与连接件的接触面上设有金属胶或复材胶膜,消除装配间

隙。梁段的数量和长度可以根据实际设计的需要确定。

[0042] 方式二：整体单梁设计成两部分或多部分时，各部分独立加工，然后再通过标准件（如铆钉）在对接区进行直接装配，而不需要另外的连接件。两部分的对接面涂抹金属胶或铺贴复材胶膜进行高温固化连接，提高上、下两部分力传递的效率。

[0043] 单梁的剖面可采用多种形式：十字矩形（见图 3）、矩形（见图 4）、双 U 字形（见图 5）、U 字形（见图 6）、 π 形剖面（图 7-图 9）。根据模型设计的实际需要选择合适的剖面形式，不同的剖面形式功能一样，但是在刚度设计上的效率不同。

[0044] 如图 3 所示，十字矩形剖面单梁适合采用多段等剖面空心梁段设计并通过连接件进行铆钉连接，连接区为上、下侧壁和边翅。边翅的作用有两点，一是提供部分刚度，二是连接传力。

[0045] 如图 4 所示，矩形剖面单梁也适合采用多段等剖面梁段设计并通过连接件连接，连接区为上、下侧壁。

[0046] 如图 5-6 所示，双 U 字形和 U 字形剖面单梁适合设计成上、下两部分，再通过铆钉直接连接。

[0047] 针对民用飞机常用的超临界机翼翼型，由于其翼型较薄，可以采用 π 形曲线剖面，提高翼型在大梁剖面设计时的使用效率。

[0048] π 形剖面有多种设计形式，如图 7-9 所示，图 7 的 π 形剖面为常规设计，图 8-9 的 π 形剖面都为曲线剖面。

[0049] 图 7 的 π 形剖面单梁适合设计成上、下两部分再通过铆钉直接连接，连接区为边翅。

[0050] π 形剖面 2 和 π 形剖面 3 单梁适合采用多段等剖面梁段设计并通过连接件连接，连接区为边翅。

[0051] 单梁的两种设计方式根据设计需要进行选择，没有优劣之分，从加工工艺的角度看，多部分直接连接的设计方式在加工工艺上相对简单。

[0052] 在单梁剖面设计时，当壁厚相对较小 ($T < H/10$ 、 $t < W/10$) 且梁段较长时，需要考虑空心薄壁结构的稳定性，单梁需要设计剖面肋 5，起到提高整体大梁稳定性的作用，剖面肋的数量和布置位置根据梁剖面尺寸和梁长确定。当壁厚相对较大时，在不设计剖面肋时需考虑适当减小梁长。

[0053] 如图 12 中的流程图所示，根据本发明的单梁的设计方法包括下面步骤：

[0054] 1) 在已知飞机部件各剖面的刚度数据基础上，根据颤振模型设计比例尺（长度比例尺、刚度比例尺）确定模型大梁的设计剖面和各剖面刚度；

[0055] 2) 根据大梁所用材料的参数，确定大梁各剖面的设计目标惯矩；

[0056] 3) 初步选择大梁的剖面设计形式，根据各剖面目标惯矩计算剖面尺寸；

[0057] 典型十字矩形剖面的刚度计算方法为：

[0058] 垂直弯曲刚度：计算公式：

$$[0059] EI_x = E \times [W \times H^3 / 12 - (W - 2 \times t) \times (H - 2 \times T)^3 / 12 + (L - W) \times (B / 2)^3 / 12]$$

[0060] 水平弯曲刚度：计算公式：

$$[0061] EI_y = E \times [H \times W^3 / 12 - (H - 2 \times T) \times (W - 2 \times t)^3 / 12 + B \times L^3 / 12 - B \times W^3 / 12]$$

[0062] 扭转刚度：计算公式：

$$[0063] \quad GJ = G \times \frac{4[(W-t) \times (H-T)]^2}{\frac{2 \times W}{T} + \frac{2 \times H}{t}}$$

[0064] 其中, E 为梁材料的弯曲模量 ;G 为扭转模量 ;

[0065] H 为单梁的高度 ;T 为单梁上壁的厚度 ;

[0066] t 为单梁侧壁的厚度 ;B 为单梁边翅的厚度 ;

[0067] W 为单梁空心部分的宽度 ;L 为单梁整体的宽度。

[0068] 计算方程数少于剖面参数数量, 尺寸计算为多解, 可以得到多组剖面尺寸, 根据设计需要选择合适的剖面尺寸。

[0069] 4) 根据计算得到的各剖面尺寸数据, 设计出单梁 ;

[0070] 5) 评估单梁的重量及对整体颤振模型重量占比, 评估单梁的强度水平 ;

[0071] 6) 如梁重量占比不合理或者强度水平达不到设计要求, 更换剖面设计形式或剖面尺寸, 重新设计单梁, 直至单梁重量占比和强度水平都能达到设计要求 ;

[0072] 7) 根据单梁的剖面形式确定梁的连接装配方式 (方式一或方式二) ;

[0073] 8) 单梁的整体连接装配。

[0074] 在一个实施例中, 飞机机翼的跨音速颤振模型大梁的目标设计刚度见表 1, 梁剖面采用空心十字矩形, 大梁材质为高强度钢。大梁采用多段等剖面尺寸空心梁段的设计方式, 空心梁段为 8 段, 相邻梁段间穿有连接件, 连接件与梁段通过抽芯铆钉连接。各空心梁段的剖面尺寸见表 2, 设计完成后单梁相对颤振模型重量占比为 35%, 满足设计要求。

[0075] 表 1 颤振模型单梁设计刚度

剖面编号	单梁设计目标刚度(N×mm ²)		
	EI1	EI2	GJ
第一剖面	3.59E+10	1.15E+11	2.65E+10
第二剖面	1.69E+10	6.45E+10	1.17E+10
第三剖面	7.73E+09	3.42E+10	5.33E+09
第四剖面	3.91E+09	1.97E+10	2.83E+09
第五剖面	2.05E+09	1.13E+10	1.49E+09
第六剖面	9.70E+08	4.90E+09	7.17E+08
第七剖面	4.36E+08	1.58E+09	3.13E+08
第八剖面	1.91E+08	2.62E+08	1.37E+08

[0076] 表 2 颤振模型单梁剖面尺寸 (十字矩形)

剖面编号	T1 mm	T2 mm	H mm	W mm	L mm	T mm
第一剖面	3.10	2.02	42	69.7	123.9	1.8
第二剖面	3.10	1.86	34.1	52.1	113.0	1.7
第三剖面	2.80	1.68	27.7	40.9	96.6	1.6
第四剖面	2.40	1.44	22.9	35.9	84.4	1.4
第五剖面	2.20	1.21	18.9	31.1	74.3	1.2
第六剖面	2.00	1.10	15.5	25	55.8	1.2
第七剖面	1.80	0.90	12.5	20	38.4	1.0
第八剖面	1.44	0.82	10	17.2	0	0

[0079] 根据以上方法设计完成的颤振模型进行共振试验和单梁静力试验。颤振模型振动特性的试验值与设计值比较见表 3, 从试验结果看, 单梁的刚度模拟精度较好。

[0080] 表 3 颤振模型共振试验与设计值比较

模态名称	频率设计值 (Hz)	频率试验值 (Hz)	偏差 (%)
垂直一弯	13.95	13.555	-2.83%
水平一弯	39.90	39.117	-1.96%
垂直二弯	44.25	42.595	-3.74%
垂直三弯	87.51	83.969	-4.05%
一扭	101.68	105.094	3.36%

[0082] 图 13 示出了根据本发明的单梁的静力试验的应变曲线。从应变曲线看, 单梁的连接传力效果较好。从静力试验的结果可知, 单梁的强度也能满足设计要求。

[0083] 本发明中所述具体实施案例仅为本发明的较佳实施案例而已, 并非用来限定本发明的实施范围。即凡依本发明申请专利范围的内容所作的等效变化与修饰, 都属于本发明的保护范围。

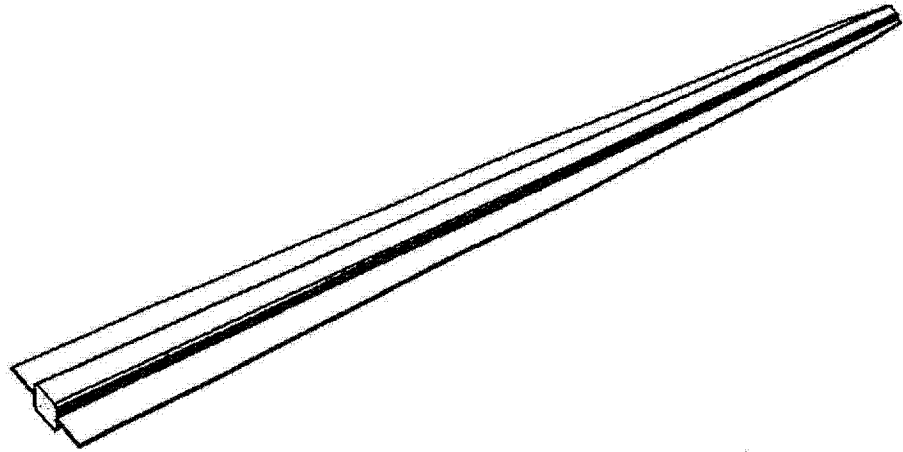


图 1

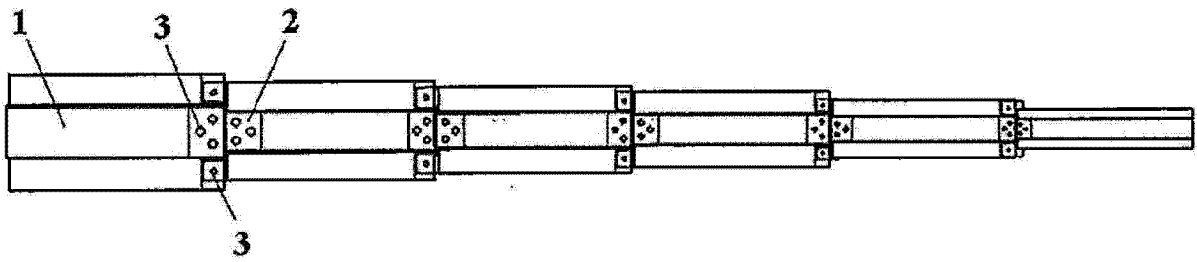


图 2

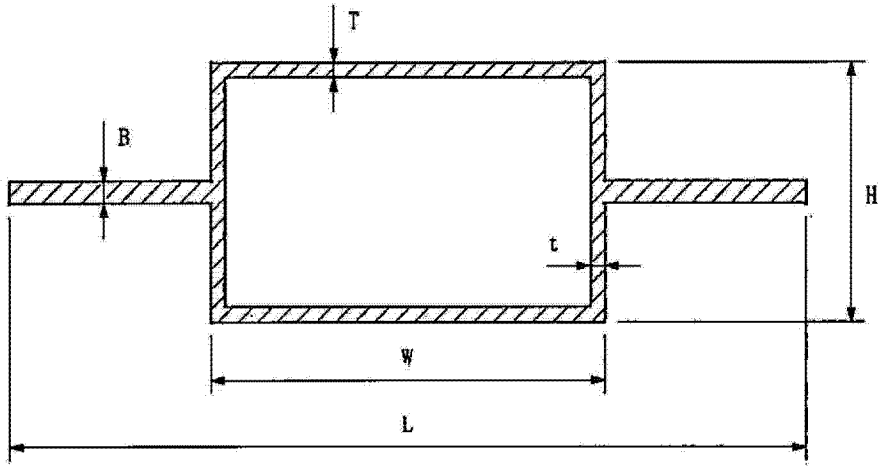


图 3

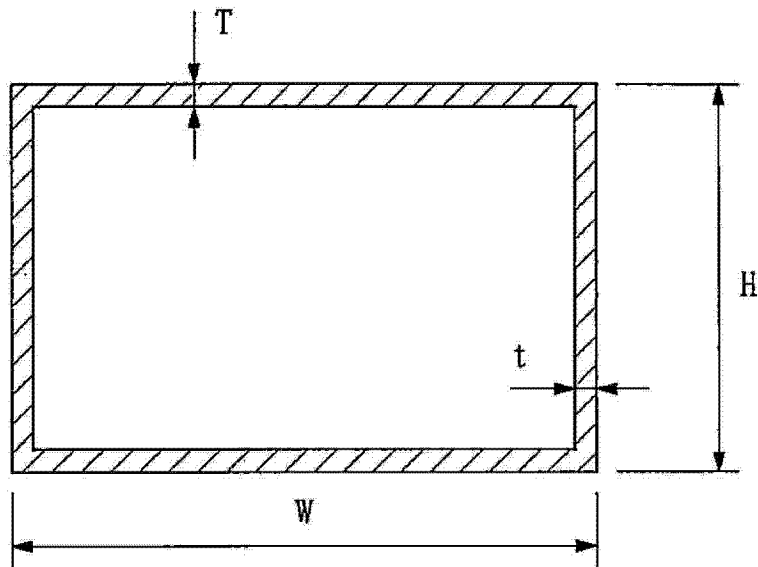


图 4

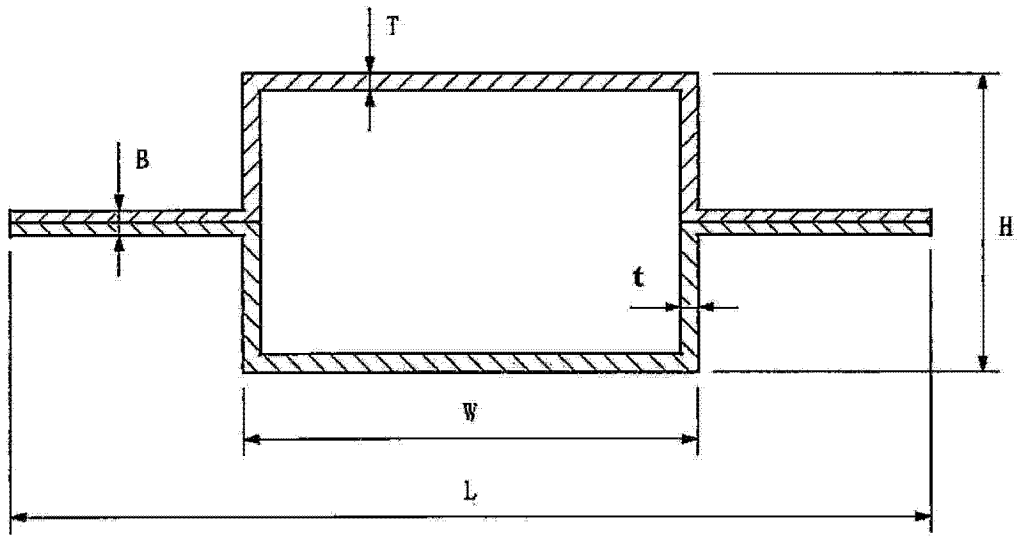


图 5

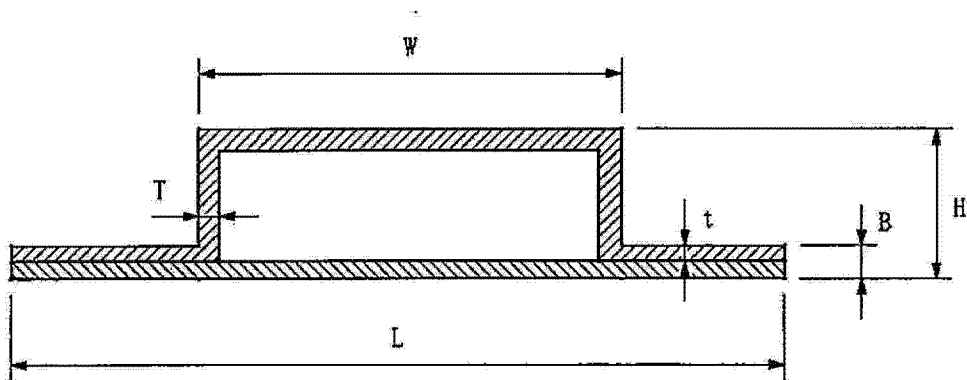


图 6

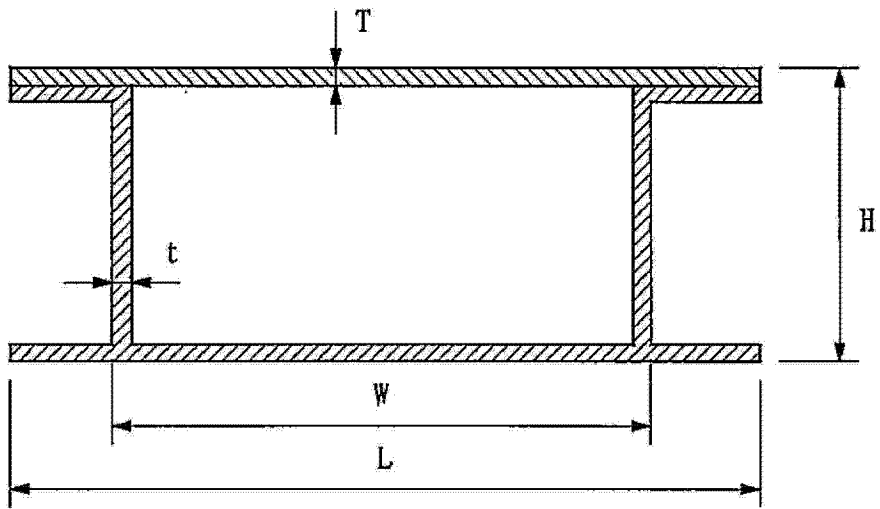


图 7

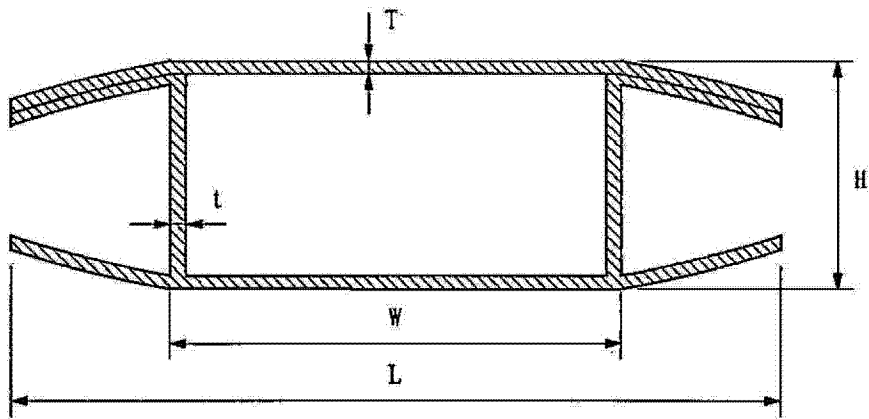


图 8

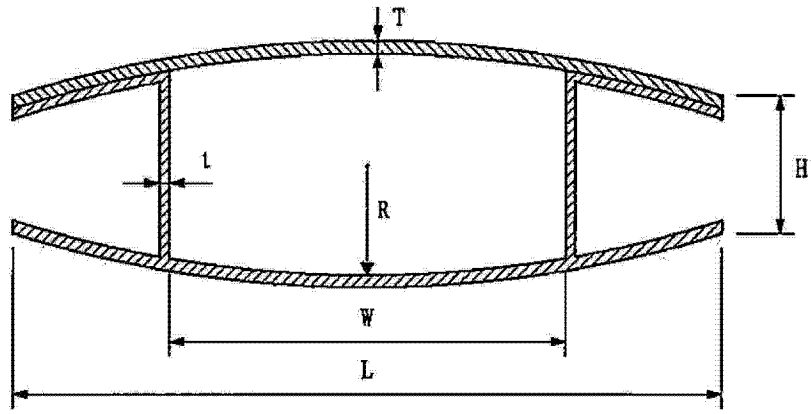


图 9

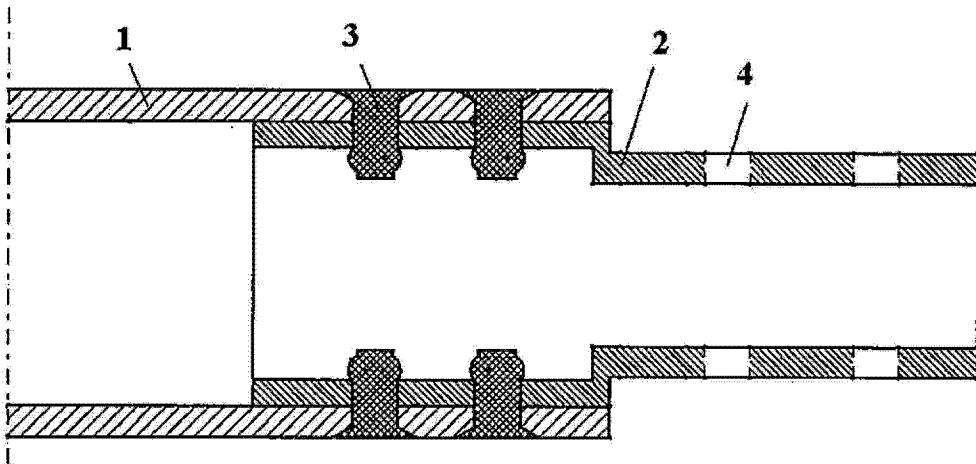


图 10

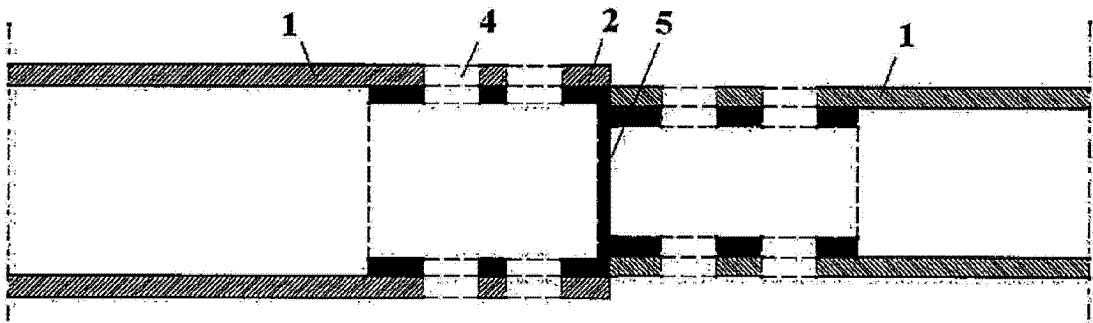


图 11

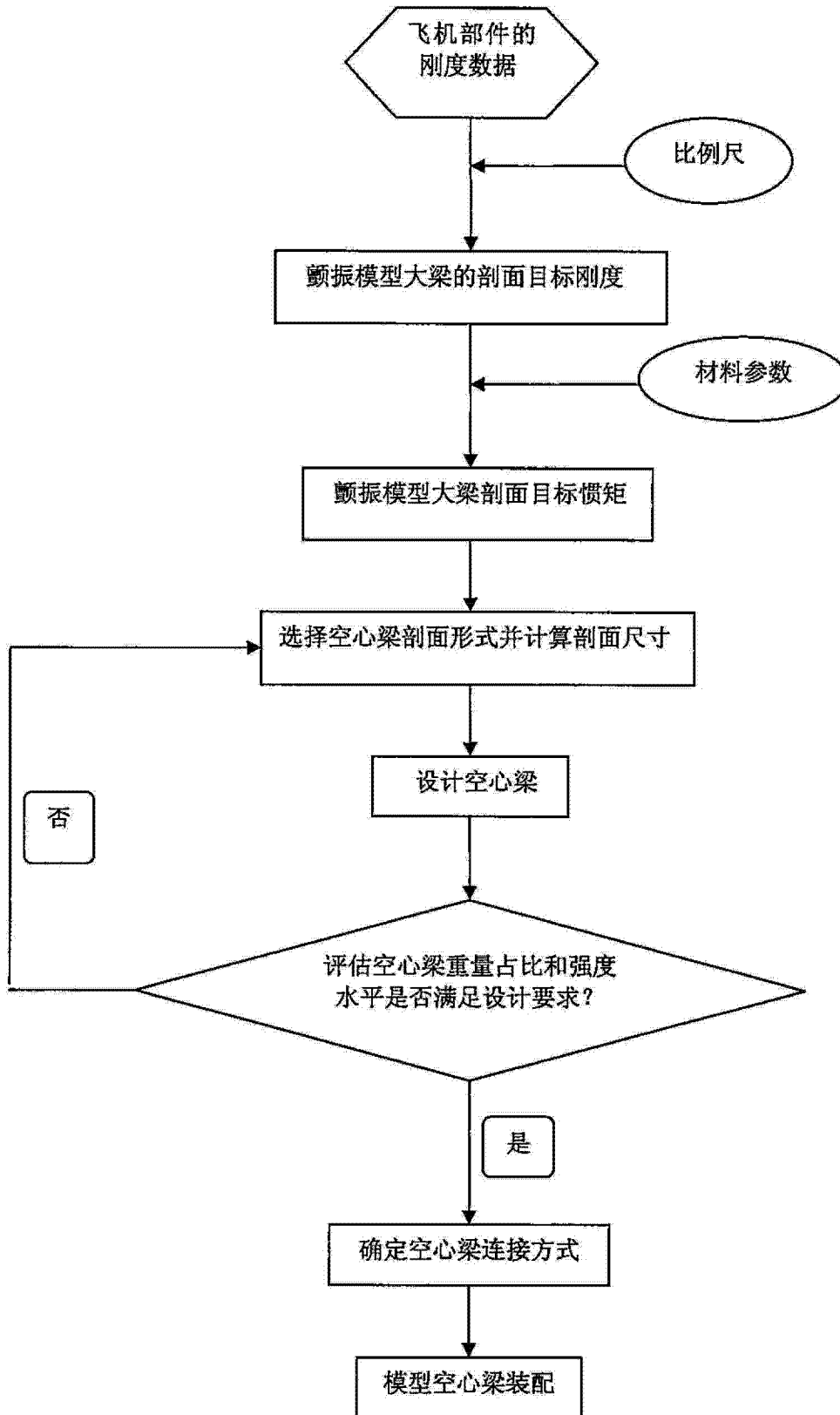


图 12

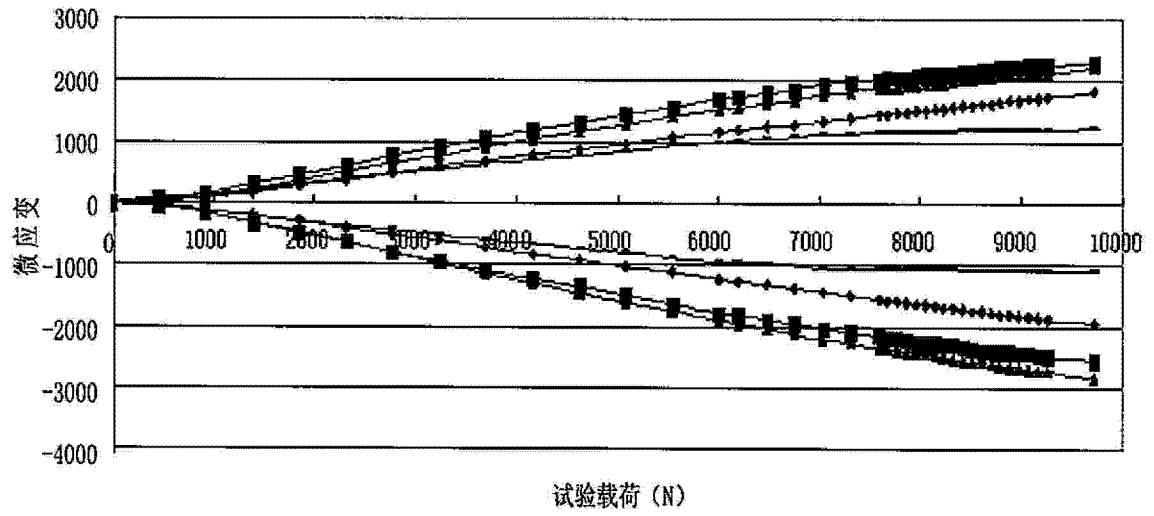


图 13