



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104156599 A

(43) 申请公布日 2014. 11. 19

(21) 申请号 201410396392. 8

(22) 申请日 2014. 08. 13

(71) 申请人 北京航空航天大学
地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 廖寻 陈云霞 井海龙 康锐

(74) 专利代理机构 北京慧泉知识产权代理有限公司 11232

代理人 王顺荣 唐爱华

(51) Int. Cl.
G06F 19/00 (2011. 01)

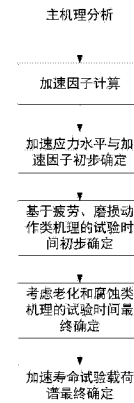
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法

(57) 摘要

本发明一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法,其具体步骤如下:1. 主机理分析; 2. 加速因子计算; 3. 加速应力水平与加速因子初步确定; 4. 基于疲劳、磨损动作类机理的试验时间初步确定; 5. 考虑老化和腐蚀类机理的试验时间最终确定; 6. 加速寿命试验载荷谱最终确定。本发明可以直接应用于产品,给出了基于机理计算确定加速寿命试验载荷谱各参数的方法,工程适用性强;同时,本发明分疲劳、磨损动作类机理和老化、腐蚀类机理进行了多机理的试验时间协同分析,保证了加速寿命试验时间的准确性。



1. 一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法,其特征在于:该方法具体步骤如下:

步骤一:主机理分析;确定产品的薄弱环节及其对应的耗损型失效机理,主机理分析根据给定的载荷谱或任务剖面,结合作动器产品的组成、结构、原理,进行故障模式、机理和影响分析即 FMMEA,在 FMMEA 的基础上根据各机理对应的故障模式的严酷度及发生频度,综合确定产品的薄弱环节及其对应的主机理;

步骤二:加速因子计算;根据步骤一中主机理分析结果,带入加速因子模型中分别计算各主机理在不同应力水平下的加速因子;

步骤三:加速应力水平与加速因子初步确定;针对不同应力水平下各主机理加速因子计算结果,根据加速因子均方根最小原则初步确定加速应力水平 S_j ;再结合初步确定的加速应力水平根据加速因子取小原则确定加速因子 A_f ;

步骤四:基于疲劳、磨损动作类机理的试验时间初步确定;根据疲劳、磨损动作类机理结合产品常规应力载荷谱初步确定试验时间,主要包括:

a. 根据加速因子 A_f 确定高应力载荷谱;在保证总循环次数和应力水平数不变的条件下降小低应力水平循环数,同时相应增加 S_j 下的循环次数,使得高应力谱的累积损伤是常规应力载荷谱的 A_f 倍,此时对应的载荷类型和应力水平为初步确定的高应力载荷谱;

b. 加速寿命试验循环单元数确定;根据常规应力谱对应的循环单元数 N_c 和加速因子 A_f ,确定加速寿命试验对应的循环单元数 N_j 为:

$$N_j = \frac{N_c}{A_f} \quad (1)$$

式中: S_j 初步确定的加速应力水平; A_f 加速寿命试验产品的加速因子; N_c 常规应力载荷谱对应的循环单元数;若 N_j 非整数则向上取整;

c. 循环单元载荷谱初步确定;加速寿命试验一个循环单元载荷谱每级应力水平下的循环次数 n_{i0} 为:

$$n_{i0} = \frac{n_i}{A_f N_j} \quad (2)$$

式中 n_{i0} 为循环单元载荷谱每级应力水平下的循环次数,若 n_{i0} 非整数则向上取整; n_i 为高应力载荷谱每级应力水平下的循环次数; N_j 加速寿命试验载荷谱对应的循环单元数;

结合常规应力谱每种应力水平下频率为 f_{i0} ,一个循环单元试验时间 t_0 为:

$$t_0 = \sum_{i=1}^r \frac{n_{i0}}{f_{i0}} \quad (3)$$

式中: r 为常规应力谱应力水平数; n_{i0} 循环单元载荷谱每级应力水平下的循环次数; f_{i0} 常规应力谱每种应力水平下频率; t_0 一个循环单元试验时间;

d. 加速寿命试验时间的初步确定;考虑产品分散系数初步计算加速寿命试验时间,取分散系数 $K = 1.2 \sim 1.5$,初步确定的加速寿命试验时间 t_{j0} 为:

$$t_{j0} = K \times N_j \times t_0 \quad (4)$$

考虑产品分散系数后的加速寿命试验循环单元数 N_j' 为:

$$N_j' = K \times N_j \quad (5)$$

式中： t_{j0} 初步确定的加速寿命试验时间； N_j' 考虑分散系数后的加速寿命试验循环单元数；

步骤五：考虑老化和腐蚀类机理的试验时间的最终确定；老化与腐蚀类机理的加速寿命试验时间用式 (6) 进行计算：

$$t_{j1} = \frac{K \times t_r}{A_{fr}} \quad (6)$$

式中 t_{j1} 为基于老化和腐蚀机理确定的加速寿命试验的试验时间， t_r 为寿命指标要求值， A_{fr} 为老化和腐蚀机理的加速因子；

分别计算在不同应力水平下的 t_{j1} ，然后选取其中小于且最接近 t_{j0} 的试验时间所对应的应力水平作为老化和腐蚀机理的加速应力水平；

步骤六：加速寿命试验载荷谱的最终确定；综合步骤四确定的加速寿命试验循环单元载荷谱参数与循环单元数和步骤五确定的加速寿命试验时间，取两个试验时间的最大值作为产品加速寿命试验载荷谱。

2. 根据权利要求 1 所述的一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法，其特征在于：步骤一中所述的“主机理”是指对产品寿命起关键作用的耗损型失效机理。

3. 根据权利要求 1 所述的一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法，其特征在于：步骤一中所述的“综合确定产品的薄弱环节及其对应的主机理”是以严酷度大和发生频度高的故障模式对应的机理作为产品的主机理，主机理对应的最低约定层次单元为产品的薄弱环节。

4. 根据权利要求 1 所述的一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法，其特征在于：步骤三中所述的“根据加速因子均方根最小原则初步确定加速应力水平”是指分别计算每种加速应力水平下的所有薄弱环节的加速因子均方根，以加速因子均方根最小对应的加速应力水平作为产品加速寿命试验的加速应力水平。

5. 根据权利要求 1 所述的一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法，其特征在于：步骤三中所述的“根据加速因子取小原则确定加速因子”是指在确定的加速应力水平下利用加速因子模型计算每个薄弱环节的加速因子，以最小的加速因子作为产品的加速因子。

一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法

技术领域

[0001] 本发明提供一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法,特别是涉及一种多机理作用下产品层加速寿命试验各试验参数的确定方法,属于加速寿命试验技术领域。

背景技术

[0002] 寿命作为耐久性的度量,是武器装备重要的战术技术指标,是影响装备效能充分发挥的关键因素。如何设计加速寿命试验载荷谱并通过试验验证产品寿命指标是当前长寿命产品寿命分析和试验所面临的普遍问题,同时也是产品长寿命设计、分析、试验、评估及预测中的关键技术。对于机械类长寿命产品,由于其价格高,不可能通过增大样本量来减少试验时间;且工作过程作用应力复杂,其失效是多个失效机理共同作用的结果,使得加速因子难以确定,故针对长寿命产品的加速寿命试验研究目前还主要集中在单机的单一失效机理上,而对系统级的加速寿命试验以及载荷谱确定方法的研究还相对较少。

发明内容

[0003] 1、发明目的

[0004] 本发明的目的在于针对现有技术所存在的问题,提供一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法,它是一种基于故障机理的长寿命产品加速寿命试验载荷谱确定方法,基于产品主机理分析结果,针对不同耗损型失效机理进行寿命与加速因子计算并最终确定加速寿命试验载荷谱,为实现新一代装备长寿命技术要求提供了有效的方法支撑,对复杂系统的加速寿命试验方法研究具有借鉴意义。

[0005] 2、技术方案

[0006] 本发明一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法,该方法具体步骤如下:

[0007] 步骤一:主机理分析。确定产品的薄弱环节及其对应的耗损型失效机理。主机理分析根据给定的载荷谱或任务剖面,结合作动器产品的组成、结构、原理,进行故障模式、机理和影响分析(FMMEA, Failure Mode, Mechanisms and Effects Analysis),在FMMEA的基础上根据各机理对应的故障模式的严酷度及发生频度,综合确定产品的薄弱环节及其对应的主机理。

[0008] 步骤二:加速因子计算。根据步骤一中主机理分析结果,带入加速因子模型中分别计算各主机理在不同应力水平下的加速因子。

[0009] 步骤三:加速应力水平与加速因子初步确定。针对不同应力水平下各主机理加速因子计算结果,根据加速因子均方根最小原则初步确定加速应力水平 S_j ;再结合初步确定的加速应力水平根据加速因子取小原则确定加速因子 A_f 。

[0010] 步骤四:基于疲劳、磨损动作类机理的试验时间初步确定。根据疲劳、磨损动作类机理结合产品常规应力载荷谱初步确定试验时间。主要包括:

[0011] a. 根据加速因子 A_f 确定高应力载荷谱。在保证总循环次数和应力水平数不变的条件下减小低应力水平循环数,同时相应增加 S_j 下的循环次数,使得高应力谱的累积损伤

是常规应力载荷谱的 A_f 倍, 此时对应的载荷类型和应力水平为初步确定的高应力载荷谱。

[0012] b. 加速寿命试验循环单元数确定。根据常规应力谱对应的循环单元数 N_c 和加速因子 A_f , 确定加速寿命试验对应的循环单元数 N_j (若 N_j 非整数则向上取整) 为:

$$[0013] \quad N_j = \frac{N_c}{A_f} \quad (1)$$

[0014] 式中: S_j 初步确定的加速应力水平; A_f 加速寿命试验产品的加速因子; N_c 常规应力载荷谱对应的循环单元数;

[0015] c. 循环单元载荷谱初步确定。加速寿命试验一个循环单元载荷谱每级应力水平下的循环次数 n_{i0} 为:

$$[0016] \quad n_{i0} = \frac{n_i}{A_f N_j} \quad (2)$$

[0017] 式中 n_{i0} 为循环单元载荷谱每级应力水平下的循环次数 (若 n_{i0} 非整数则向上取整); n_i 为高应力载荷谱每级应力水平下的循环次数; N_j 加速寿命试验载荷谱对应的循环单元数。

[0018] 结合常规应力谱每种应力水平下频率为 f_{i0} , 一个循环单元试验时间 t_0 为:

$$[0019] \quad t_0 = \sum_{i=1}^r \frac{n_{i0}}{f_{i0}} \quad (3)$$

[0020] 式中: r 为常规应力谱应力水平数; n_{i0} 循环单元载荷谱每级应力水平下的循环次数; f_{i0} 常规应力谱每种应力水平下频率; t_0 一个循环单元试验时间。

[0021] d. 加速寿命试验时间的初步确定。考虑产品分散系数初步计算加速寿命试验时间, 取分散系数 $K = 1.2 \sim 1.5$, 可初步确定的加速寿命试验时间 t_{j0} 为:

$$[0022] \quad t_{j0} = K \times N_j \times t_0 \quad (4)$$

[0023] 考虑产品分散系数后的加速寿命试验循环单元数 N_j' 为:

$$[0024] \quad N_j' = K \times N_j \quad (5)$$

[0025] 式中: t_{j0} 初步确定的加速寿命试验时间; N_j' 考虑分散系数后的加速寿命试验循环单元数;

[0026] 步骤五: 考虑老化和腐蚀类机理的试验时间的最终确定。老化与腐蚀类机理的加速寿命试验时间用式 (6) 进行计算:

$$[0027] \quad t_{j1} = \frac{K \times t_r}{A_{fr}} \quad (6)$$

[0028] 式中 t_{j1} 为基于老化和腐蚀机理确定的加速寿命试验的试验时间, t_r 为寿命指标要求值, A_{fr} 为老化和腐蚀机理的加速因子。

[0029] 分别计算在不同应力水平下的 t_{j1} , 然后选取其中小于且最接近 t_{j0} 的试验时间所对应的应力水平作为老化和腐蚀机理的加速应力水平。

[0030] 步骤六: 加速寿命试验载荷谱的最终确定。综合步骤四确定的加速寿命试验循环单元载荷谱参数与循环单元数和步骤五确定的加速寿命试验时间, 取两个试验时间的最大值作为产品加速寿命试验载荷谱。

[0031] 其中, 步骤一中所述的“主机理”是指对产品寿命起关键作用的耗损型失效机理。

[0032] 其中,步骤一中所述的“综合确定产品的薄弱环节及其对应的主机理”是以严酷度大和发生频度高的故障模式对应的机理作为产品的主机理,主机理对应的最低约定层次单元为产品的薄弱环节。

[0033] 其中,步骤三中所述的“根据加速因子均方根最小原则初步确定加速应力水平”是指分别计算每种加速应力水平下的所有薄弱环节的加速因子均方根,以加速因子均方根最小对应的加速应力水平作为产品加速寿命试验的加速应力水平。

[0034] 其中,步骤三中所述的“根据加速因子取小原则确定加速因子”是指在确定的加速应力水平下利用加速因子模型计算每个薄弱环节的加速因子,以最小的加速因子作为产品的加速因子。

[0035] 3、优点及功效

[0036] 本发明具有以下优点:

[0037] 1) 本发明一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法,给出了基于机理计算确定加速寿命试验载荷谱各参数的方法,工程适用性强。

[0038] 2) 本发明一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法,分疲劳、磨损动作类机理和老化、腐蚀类机理进行了多机理的试验时间协同分析,保证了加速寿命试验时间的准确性。

附图说明

[0039] 图 1 是本发明确定方法流程图。

[0040] 图中符号说明如下:

[0041]

t/h	横坐标轴表示时间,单位:小时
t/min	横坐标轴表示时间,单位:分钟
PSD	纵坐标轴表示功率谱密度
Hz	频率的单位:赫兹

具体实施方式

[0042] 下面将结合附图和实施例以某作动器加速寿命试验载荷谱的确定对本发明做进一步的详细说明。

[0043] 本发明一种考虑多机理的加速寿命试验载荷谱确定方法,见图 1 所示,该方法具体步骤如下:

[0044] 步骤一:主机理分析。确定产品的薄弱环节及其对应的耗损型失效机理。主机理分析根据给定的载荷谱或任务剖面,结合作动器产品的组成、结构、原理,进行故障模式、机理和影响分析(FMMEA, Failure Mode, Mechanisms and Effects Analysis),在 FMMEA 的基础上根据各机理对应的故障模式的严酷度及发生频度,综合确定产品的薄弱环节及其对应的主机理。某作动器产品主机理分析结果如表 1 所示:

[0045] 表 1 某作动器产品主机理分析结果

[0046]

编号	薄弱环节		主机理	敏感应力
1	筒体	筒体裂纹	疲劳	压力、载荷
2	滑阀	密封圈变形	橡胶老化	压力、油温
3	平板阀	皮碗磨损	粘着磨损	行程
4	...	...	...	...

[0047] 步骤二：加速因子计算。根据步骤一中主机理分析结果，分别计算各主机理在不同应力水平下的加速因子。某作动器产品不同应力水平下加速因子计算结果如表 2 所示：

[0048] 表 2 某作动器产品不同应力水平下加速因子计算结果

[0049]

序号	薄弱环节		加速因子计算结果
1	筒体	筒体裂纹	90%载荷对应的加速因子 $A_{f11}=20.45$; 50%载荷对应的加速因子 $A_{f12}=3.42$;
2	滑阀	密封圈老化	110℃油温对应的加速因子为 $A_{f21}=23.16$; 100℃油温对应的加速因子为 $A_{f22}=12.2$; 90℃油温对应的加速因子为 $A_{f23}=6.21$; 80℃油温对应的加速因子为 $A_{f24}=3.04$; 70℃油温对应的加速因子为 $A_{f25}=1.43$ 。
3	平板阀	皮碗磨损	100%行程对应的加速因子 $A_{f31}=14.83$; 75%行程对应的加速因子 $A_{f32}=11.12$; 50%行程对应的加速因子 $A_{f33}=4.41$; 10%行程对应的加速因子 $A_{f34}=1.48$ 。
4	...	...	...

[0050] 步骤三：加速应力水平与加速因子初步确定。针对不同应力水平下各主机理加速因子计算结果，根据加速因子均方根最小原则初步确定加速应力水平 S_j ；再结合初步确定的加速应力水平根据加速因子取小原则确定加速因子 A_f 。某作动器产品加速应力水平与加速因子初步确定结果如表 3 所示：

[0051] 表 3 某作动器产品加速应力水平与加速因子计算结果

[0052]

序号	薄弱环节		主机理	加速因子计算结果			加速因子综合确定	加速应力水平
				50%载荷 100%行程	90%载荷 75%行程	50%载荷 50%行程		
1	筒体疲劳		疲劳	3.42	20.45	3.42	$A_f=3.42$	50%载荷
2	滑阀	密封圈老化	橡胶老化	—	—	—		—
3	平板阀	皮碗磨损	粘着磨损	14.83	11.12	7.41		50%行程
4	...	...	...	...	...	...		...

[0053] 步骤四：基于疲劳、磨损动作类机理的试验时间初步确定。根据疲劳、磨损动作类机理结合产品常规应力载荷谱初步确定试验时间。主要包括：

[0054] a. 根据加速因子 A_f 确定高应力载荷谱。在保证总循环次数和应力水平数不变的条件减小低应力水平循环数，同时相应增加 S_j 下的循环次数，使得高应力谱的累积损伤是常规应力载荷谱的 A_f 倍。其中某作动器产品常规应力谱如表 4 所示，高应力载荷谱如表 5 所示：

[0055] 表 4 某作动器产品常规应力谱

[0056]

工况	载荷	行程	频率 (Hz)	循环次数
1	0%	100%	0.3	1800
2	50%	100%	0.15	3600
3	90%	75%	0.15	9000
4	50%	50%	0.21	45000
5	10%	10%	0.3	108000
6	5%	2%	0.36	720000

[0057] 表 5 某作动器产品高应力载荷谱

[0058]

工况	载荷	行程	频率 (Hz)	循环次数
1	0%	100%	0.3	1800
2	50%	100%	0.15	3600
3	90%	75%	0.15	67000
4	50%	50%	0.21	640000
5	10%	10%	0.3	50000
6	5%	2%	0.36	125000

[0059] 其中表 5 所示高应力谱对筒体疲劳机理的累积损伤是常规应力载荷谱的 3.42 倍。

[0060] b. 加速寿命试验循环单元数确定。根据常规应力谱对应的循环单元数 N_c 和加速因子 A_f ，确定加速寿命试验对应的循环单元数 N_j （若 N_j 非整数则向上取整）为：

[0061]
$$N_j = \frac{N_c}{A_f} \quad (1)$$

[0062] 某作动器产品常规应力谱对应 108 个循环单元，则加速寿命试验载荷谱对应

$\frac{108}{3.42} \approx 32$ 个循环单元。

[0063] c. 循环单元载荷谱初步确定。加速寿命试验一个循环单元载荷谱每级应力水平下的循环次数 n_{i0} 为：

$$[0064] \quad n_{i0} = \frac{n_i}{A_f N_j} \quad (2)$$

[0065] 其中 n_{i0} 为循环单元载荷谱每级应力水平下的循环次数（若 n_{i0} 非整数则向上取整）， n_i 为高应力载荷谱每级应力水平下的循环次数。结合常规应力谱每种应力水平下频率为 f_{i0} ，一个循环单元试验时间 t_0 为：

$$[0066] \quad t_0 = \sum_{i=1}^r \frac{n_{i0}}{f_{i0}} \quad (3)$$

[0067] 其中 r 为常规应力谱应力水平数。某作动器产品加速寿命试验循环单元载荷谱初步确定如表 6 所示：

[0068] 表 6 加速寿命试验循环单元载荷谱初步确定

[0069]

序号	载荷	行程	频率 (Hz)	循环次数 (取整后)
1	0%	100%	0.3	17
2	50%	100%	0.15	33
3	90%	75%	0.15	613
4	50%	50%	0.21	5848
5	10%	10%	0.3	457
6	5%	2%	0.36	1143
小计				8111
试验总时间	328.08h (259552 次工作循环)			

[0070] d. 加速寿命试验时间初步确定。考虑产品分散系数初步计算加速寿命试验时间，取分散系数 $K = 1.2 \sim 1.5$ ，可初步确定的加速寿命试验时间 t_{j0} 为：

$$[0071] \quad t_{j0} = K \times N_j \times t_0 \quad (4)$$

[0072] 考虑产品分散系数后的加速寿命试验循环单元数 N_j' 为：

$$[0073] \quad N_j' = K \times N_j \quad (5)$$

[0074] 某作动器产品分散系数取 1.5，则加速寿命试验总时间为 $328.08 \times 1.5 = 492.12\text{h}$ ，试验实际的循环单元数为 $32 \times 1.5 = 48$ 。

[0075] 步骤五：考虑老化和腐蚀类机理的试验时间最终确定。老化与腐蚀类机理的加速寿命试验时间用式 (6) 进行计算：

$$[0076] \quad t_{j1} = \frac{K \times t_r}{A_{fr}} \quad (6)$$

[0077] 式中 t_{j1} 为基于老化和腐蚀机理确定的加速寿命试验的试验时间， t_r 为寿命指标要求值， A_{fr} 为老化和腐蚀机理的加速因子。分别计算在不同应力水平下的 t_{j1} ，然后选取其中小于且最接近 t_{j0} 的试验时间所对应的应力水平作为老化和腐蚀机理的加速应力水平。某作动器产品寿命指标要求值 $t_r = 5000$ 飞行小时，由于其存在老化机理，分别计算不同油

温下老化机理加速因子 A_{tr} 与加速寿命试验时间 t_{jt} 如表 7 所示：

[0078] 表 7 不同油温下老化机理加速因子与加速寿命试验时间计算结果

[0079]

油温 (°C)	加速因子	试验时间 (小时, 分散系数取 1.5)
105	16.87	444.13
104	15.84	473.59
103	14.85	505.18

[0080] 表 7 中试验时间计算结果小于前述初步计算试验时间 492.12h 且与之最接近的油温为 104°C, 故选取油温的高应力水平为 104°C。

[0081] 步骤六: 加速寿命试验载荷谱最终确定。综合步骤四确定的加速寿命试验循环单元载荷谱参数与循环单元数和步骤五确定的加速寿命试验时间最终确定加速寿命试验载荷谱。某作动器产品加速寿命试验循环单元载荷谱如表 8 所示, 加速寿命试验共进行 48 个循环单元, 试验总时间为 492.12h。

[0082] 表 8 某作动器产品加速寿命试验循环单元载荷谱

[0083]

序号	载荷	行程	频率 (Hz)	油温 (°C)	循环次数
1	0%	100%	0.3	104	17
2	50%	100%	0.15		33
3	90%	75%	0.15		613
4	50%	50%	0.21		5848
5	10%	10%	0.3		457
6	5%	2%	0.36		1143
小计					8111
试验总时间	492.12h (389328 次工作循环)				

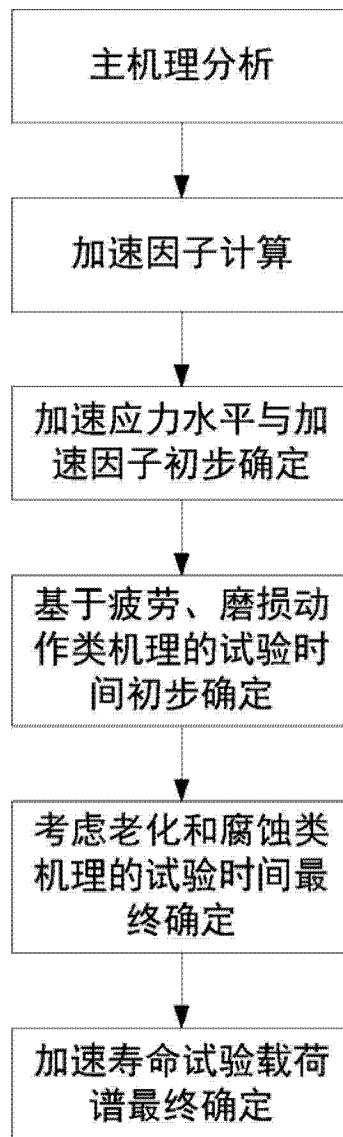


图 1