(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104794307 B
(45)授权公告日 2018.01.30

(21)申请号 201510228850.1

(22)申请日 2015.05.07

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104794307 A

(43)申请公布日 2015.07.22

(73)专利权人 中国人民解放军海军工程大学
地址 430033 湖北省武汉市解放大道717号
中国人民解放军海军工程大学

(72)发明人 侯海量 胡年明 朱锡 陈长海

(51)Int.Cl.
G06F 17/50(2006.01)

(56)对比文件
CN 103218490 A,2013.07.24,
CN 104050318 A,2014.09.17,
US 6301970 B1,2001.10.16,
胡年明等.高速破片侵彻下高分子聚乙烯层合板的弹道极限估算方法.《中国舰船研究》.2014,第9卷(第4期),55-62.
王晓强等.超高分子量聚乙烯纤维增强层合厚板抗弹性能实验研究.《爆炸与冲击》.2009,第29卷(第1期),29-34.

审查员 刘晓丹

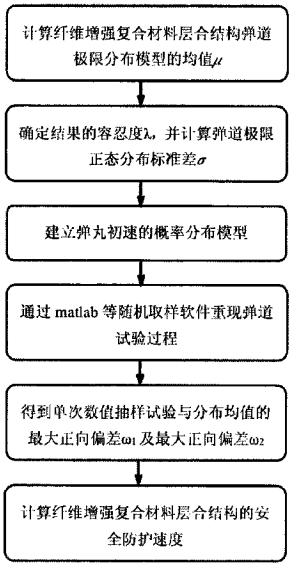
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

纤维增强复合材料层合结构安全防护速度计算方法

(57)摘要

本发明涉及纤维增强复合材料层合结构安全防护速度计算方法,包括以下步骤:步骤1,计算纤维增强复合材料层合结构弹道极限分布模型的均值μ。步骤2,确定结果的容忍度λ,并计算弹道极限正态分布标准差σ。步骤3,建立弹丸初速的概率分布模型。步骤4,通过matlab等随机取样软件重现弹道试验过程。步骤5,得到单次数值抽样试验与分布均值的最大正向偏差ω_1及最大负向偏差ω_2。步骤6,计算纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度。本发明能够较为准确地通过已有的弹道试验结果计算出纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度。



CN 104794307 B

1.一种纤维增强复合材料层合结构安全防护速度计算方法，其特征在于该方法由以下步骤实现：步骤1，通过在试验中选取合适试验数据，合适试验数据是指选取n次试验结果作为建立层合结构弹道极限分布的基础，n为偶数，且其中n/2次试验结果为弹丸无法穿透层合结构最大速度，n/2次试验结果为弹丸完全穿透层合结构最小速度，计算纤维增强复合材料层合结构弹道极限分布模型的均值μ；步骤2，根据弹道试验条件及试验过程中使用层合结构统一性确定结果的容忍度λ，在弹道极限正态分布模型的置信度为98％的基础上，计算弹道极限正态分布标准差σ；步骤3，根据弹丸初速分布范围应比选取的试验数据的初速范围稍大，建立弹丸初速的概率分布模型；步骤4，根据步骤1～步骤3中确立的弹丸初速和层合结构的弹道极限分布模型，通过随机取样软件重现弹道试验过程；步骤5，根据步骤4中的数值模拟弹道试验结果，得到单次数值抽样试验与分布均值的最大正向偏差ω_1及最大负向偏差ω_2；步骤6，根据计算过程中使用试验的弹丸初速均值，单次数值抽样试验的两个最大偏差，计算纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度，纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度是指纤维增强复合材料层合结构能防护的安全载荷，此条件下的载荷无法穿透层合结构。

2.如权利要求1所述的计算方法，其特征是步骤6中所述的纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度v_s，v_s表示在纤维增强复合材料层合结构能防护的安全载荷，此条件下的载荷无法穿透层合结构。

纤维增强复合材料层合结构安全防护速度计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及纤维增强复合材料层合结构安全防护速度计算方法，尤其涉及通过统计及概率分析方法计算纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度的计算方法。

背景技术

[0002] 纤维增强复合材料由于其材料特性，具有优良的物理机械性能和力学性能，除了比强度、比模量高于目前常用于防护工程的金属材料，其抗疲劳性、抗震性也远远优于金属材料，更重要的是它在受到弹道冲击的情况下不会像金属材料一样发生“二次杀伤效应，因而具有优良的弹道防护性能。因此，目前被广泛的用于防弹衣、防弹头盔、坦克、飞机及舰船的防护装甲中。

[0003] 目前，常用于装甲材料弹道极限测试方法为v_{50}法，其试验方法为取弹道试验过程中，弹丸无法穿透的装甲材料时的三个最大初速及弹丸穿透的装甲材料时三个最小初速，且这六个数据中最大弹速差值不得大于50m/s，v_{50}的值就是由这六次试验的弹丸初速取平均值得到。

[0004] 但是，不同于金属防护结构的确定性及弹丸穿透过程的局部性，纤维增强复合材料层合结构，由于材料制备时工艺过程中细微差异，如：含胶量、纤维布层数及方向角、层间粘合程度均会导致纤维增强复合材料层合结构的弹道极限的波动。同时，由于纤维增强复合材料层合结构中应力波速度较高且结构重量较轻，因此，在弹道试验过程 中，参与防御弹丸的纤维增强复合材料层合结构的范围要远大于金属结构，从而弹丸质量的细微差异、弹丸初速的范围、着弹位置的差别、边界夹持的控制等因素也都会导致弹道测试结果的波动性。

[0005] 因此，目前使用的v_{50}测试法对于测试纤维增强复合材料层合结构的防护能力存在以下缺陷：(1)试验结果要求初速范围小，从而对试验时弹丸初速范围要求较高，同时试验次数较多；(2)忽略了试验过程中的波动性，测试结果与层合结构设计抵御目标的阈值会存在一定偏差，若测试结果相对于层合结构对于特定目标的实际抵御能力偏大，则会导致层合结构在使用过程中无法抵御目标，造成人员伤亡或武器设备的损坏。

发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是提出一种纤维增强复合材料层合结构安全防护速度计算方法，能够较为准确地通过已有的弹道试验结果计算出纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度。

[0007] 为了解决上述问题，本发明提出了一种纤维增强复合材料层合结构安全防护速度计算方法，该方法包括以下步骤：

[0008] 步骤1，通过在试验中选取合适试验数据，计算纤维增强复合材料层合结构弹道极限分布模型的均值μ。

[0009] 步骤2，根据弹道试验条件及试验过程中使用层合结构统一性确定结果的容忍度

λ，在弹道极限正态分布模型的置信度为98％的基础上，计算弹道极限正态分布标准差σ。

[0010] 步骤3，根据弹丸初速分布范围应比选取的试验数据的初速范围 稍大，建立弹丸初速的概率分布模型。

[0011] 步骤4，根据步骤1～步骤3中确立的弹丸初速和层合结构的弹道极限分布模型，通过matlab等随机取样软件重现弹道试验过程。

[0012] 步骤5，根据步骤4中的数值模拟弹道试验结果，得到单次数值抽样试验与分布均值的最大正向偏差ω_1及最大负向偏差ω_2。

[0013] 步骤6，根据计算过程中使用试验的弹丸初速均值，单次数值抽样试验的两个最大偏差，计算纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度。

[0014] 进一步地，该步骤1中合适试验数据是指，选取n次试验结果作为建立层合结构弹道极限分布的基础，n为偶数，且其中(n/2)次试验结果为弹丸无法穿透层合结构最大速度，(n/2)次试验结果为弹丸完全穿透层合结构最小速度。

[0015] 进一步地，计算n次的弹丸初始速度的平均速度μ：

[0016] $$\mu=\frac{\sum_{i=1}^{n}v_{0i}}{n}$$

[0017] 且n次弹丸的初始速度与平均速度μ的偏差不得大于5％。

[0018] 式中：v_{0i}为n次试验中第i次试验弹丸初速(i＝1，2，…，n)。

[0019] 进一步地，根据弹道试验条件及试验过程中使用的层合结构统一性确定结果的容忍度λ，弹道试验条件是指弹丸质量是否存在偏差、弹丸初速波动范围大小、弹丸着靶位置的差别、边界夹持的控制等层合结构统一性是指层合结构含胶量、纤维布层数及方向角、层间粘合程度的差异。λ取值范围为0.95～0.99，且随着以上问题的差异增大 的λ取值减小。

[0020] 进一步地，根据正态分布的置信区间计算弹道极限正态分布标准差σ：

[0021] $$\sigma=\frac{(1-\lambda)\mu}{z_{\alpha/2}}$$

[0022] 式中：α为显著水平，一般取值为0.98，则根据标准正态分布的取值可以求出$z_{\alpha/2}$＝2.325。

[0023] 进一步地，建立层合结构弹道极限的正态分布Y：

[0024] $$Y\quad(\mu,\left(\frac{(1-\lambda)\mu}{z_{\alpha/2}}\right)^2)$$

[0025] 进一步地，根据步骤3中描述的弹丸初速分布范围应比选取的试验数据的初速范围稍大，则需要对步骤1中选取的试验结果中最小的弹丸初速v_{imin}和最大的弹丸初速v_{imax}进行扩展，即将v_{imin}的0.95倍作为弹丸初速的下界，将v_{imax}的1.05倍作为弹丸初速的上界。

[0026] 进一步地，建立弹丸初速的概率分布X：

[0027] $X\ U(0.95v_{imin},1.05v_{imax})$

[0028] 进一步地，根据以上求出的弹丸初速的概率分布X和层合结构弹道极限的正态分布Y，通过matlab等随机取样软件，得到一系列的弹丸初速和层合结构的弹道极限，直至模拟出试验状况，即模拟试验结果中有(n/2)次为弹丸初速小于层合结构的弹道极限，(n/2)

次为弹丸初速大于层合结构的弹道极限，重复以上步骤N次，且N≥10。

[0029] 进一步地，根据以上模拟试验结果，可以得到单次模拟试验的平均速度与弹道极限分布Y均值的最大正向偏差ω_1及最大负向偏差ω_2：

[0030] $$\omega_1=\frac{(\mu_j-\mu)_{\max}}{\mu}\quad \mu_j>\mu$$

[0031] $$\omega_2=\frac{(\mu-\mu_j)_{\max}}{\mu}\quad \mu_j<\mu$$

[0032] 式中：u_j为N次模拟试验中第j次中选取的n次有效试验弹丸初速的平均速度(j＝1,2,…,N)。

[0033] 进一步地，根据以上结构中得到的试验的弹丸初速均值μ，单次数值抽样试验的最大偏差ω，可以得到安全防护速度v_s。

[0034] $v_s=(1-\omega_1)(1-\omega_2)\mu$

附图说明

[0035] 图1是本发明的纤维增强复合材料层合结构安全防护速度计算方法的流程图。

[0036] 图2是本发明中建立的纤维增强复合材料层合结构弹道极限的正态分布Y。

[0037] 图2中，阴影区域代表纤维增强复合材料层合结构弹道极限分布在与样本均值的差大于容忍度的概率，可以视为小概率事件。

具体实施方式

[0038] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0039] 本发明所要解决的技术问题是提出一种纤维增强复合材料层合结构安全防护速度计算方法。

[0040] 请参照图1，为了解决上述问题，本发明提出了一种纤维增强复合材料层合结构安全防护速度计算方法，该方法包括以下步骤：

[0041] 步骤1，通过在试验中选取合适试验数据，计算纤维增强复合材料层合结构弹道极限分布模型的均值μ。

[0042] 步骤2，根据弹道试验条件及试验过程中使用层合结构统一性确定结果的容忍度λ，在弹道极限正态分布模型的置信度为98％的基础上，计算弹道极限正态分布标准差σ。

[0043] 步骤3，根据弹丸初速分布范围应比选取的试验数据的初速范围稍大，建立弹丸初速的概率分布模型。

[0044] 步骤4，根据步骤1～步骤3中确立的弹丸初速和层合结构的弹道极限分布模型，通过matlab等随机取样软件重现弹道试验过程。

[0045] 步骤5，根据步骤4中的数值模拟弹道试验结果，得到单次数值抽样试验与分布均值的最大正向偏差ω_1及最大负向偏差ω_2。

[0046] 步骤6，根据计算过程中使用试验的弹丸初速均值，单次数值抽样试验的最大偏差，计算纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度。

[0047] 下面结合实例对本发明的纤维增强复合材料层合结构安全速度计算方法进行详细的说明。

[0048] 实施例为针对质量为的13.5gFSP弹丸冲击面密度为10.1kg/m^{2}高强聚乙烯增强层合结构，弹丸的发射系统为口径为12.7mm滑膛弹道枪，测速系统为激光光幕靶测速系统。具体试验结果为：

[0049] 表1 FSP弹丸冲击高强聚乙烯增强层合结构试验结果

[0050]

试验序号	弹丸质量(g)	面密度(kg/m^2)	弹丸初速v_0(m/s)	破坏情况
1	13.5	10.0	668.0	穿透
2	13.5	10.1	590.4	穿透
3	13.5	10.1	459.3	无法穿透

[0051]

4	13.5	10.1	511.3	无法穿透
5	13.5	10.1	559.7	穿透
6	13.4	10.2	569.2	穿透
7	13.4	10.2	558.2	穿透
8	13.4	10.1	549.7	无法穿透
9	13.4	10.2	538.4	无法穿透

[0052] 下面是具体步骤：

[0053] 步骤1，通过在试验中选取合适试验数据，计算纤维增强复合材料层合结构弹道极限分布模型的均值μ；

[0054] 根据步骤1要求，选取4次试验结果作为建立层合结构弹道极限分布的基础，且其中编号8、9试验结果为弹丸无法穿透层合结构，编号5、7次试验结果为弹丸完全穿透层合结构。

[0055] 计算得到层合结构弹道极限分布模型的均值μ为551.5m/s。

[0056] 步骤2，根据弹道试验条件及试验过程中使用层合结构统一性确定结果的容忍度λ，在弹道极限正态分布模型的置信度为98％的基础上，计算弹道极限正态分布标准差σ。

[0057] 由于本试验条件如弹丸质量、弹丸初速、边界控制差别均在小范围内且高强聚乙烯增强层合结构也均属于同一厂家生产的标准产品，故容忍度λ可取为0.98。

[0058] 取显著水平α为0.98，则根据标准正态分布的取值$z_{\alpha/2}=2.325$，根据正态分布的置信区间计算弹道极限正态分布标准差σ：

[0059] $$\sigma=\frac{(1-\lambda)\mu}{z_{\alpha/2}}=4.74$$

[0060] 根据以上结果，建立层合结构弹道极限的正态分布Y：

[0061] Y (551.5,22.5)

[0062] 步骤3，根据弹丸初速分布范围应比选取的试验数据的初速范围稍大，建立弹丸初速的概率分布模型；

[0063] 根据选取的试验结果中弹丸初速的最小值应取为538.4m/s，最大值应取为559.7m/s，则将538.4m/s的0.95倍作为弹丸初速的下界，将559.7m/s的1.05倍作为弹丸初

速的上界。

[0064] 因此，可以建立弹丸初速的概率分布X：

[0065] X U(511.5,597.7)

[0066] 步骤4，根据步骤1～步骤3中确立的弹丸初速和层合结构的弹道极限分布模型，通过matlab等随机取样软件重现弹道试验过程。

[0067] 使用matlab分别对弹丸初速分布X和层合结构弹道极限分布Y进行随机取样来模拟试验，直至得到的模拟试验结果中有2次弹丸初速小于层合结构的弹道极限，2次弹丸初速大于层合结构的弹道极限，且这些模拟试验结果与其平均值的差不大于5%，重复以上步骤10次。取样结果见表2。

[0068] 表1 10次模拟试验结果

[0069]

第1组模拟试验				第6组模拟试验			
编号	入射速度(m/s)	弹道极限(m/s)	穿透情况	编号	入射速度(m/s)	弹道极限(m/s)	穿透情况
1	516.2	554.6	未穿透	1	582.0	559.1	穿透
2	557.3	551.2	穿透	2	586.4	557.4	穿透
3	578.7	550.6	穿透	3	518.8	550.4	未穿透
4	592.0	550.5	穿透	4	546.0	544.4	穿透
5	522.7	550.1	未穿透	5	533.9	549.4	未穿透
6	560.5	551.6	穿透	6	580.5	550.8	穿透
第2组模拟试验				7	548.7	552.8	未穿透
1	558.9	550.0	穿透	8	590.0	550.3	穿透
2	524.0	551.6	未穿透	9	527.2	553.6	未穿透
3	585.0	537.1	穿透	10	534.2	553.4	未穿透
4	565.1	549.3	穿透	11	524.0	545.6	未穿透

[0070]

5	541.8	557.4	未穿透	12	523.2	547.0	未穿透
第3组模拟试验				13	586.4	548.0	穿透
1	555.7	546.4	穿透	14	561.5	549.1	穿透
2	546.1	555.9	未穿透	第7组模拟试验			
3	518.0	553.2	未穿透	1	525.8	546.6	未穿透
4	532.2	551.4	未穿透	2	563.4	556.0	穿透
5	522.1	552.4	未穿透	3	534.2	553.0	未穿透
6	527.4	544.1	未穿透	4	567.9	552.1	穿透
7	532.2	551.1	未穿透	第8组模拟试验			
8	547.5	559.1	未穿透	1	552.0	551.7	穿透
9	515.8	552.0	未穿透	2	512.5	555.4	未穿透
10	589.3	551.7	穿透	3	540.6	558.7	未穿透
11	592.9	548.0	穿透	4	525.5	553.7	未穿透
12	553.8	551.4	穿透	5	580.0	550.5	穿透
第4组模拟试验				6	538.3	554.5	未穿透
1	570.9	553.9	穿透	7	557.1	552.4	穿透
2	576.0	552.7	穿透	第9组模拟试验			
3	550.3	547.0	穿透	1	553.7	552.6	穿透
4	518.7	550.7	未穿透	2	540.6	553.5	未穿透
5	531.2	550.8	未穿透	3	589.1	549.7	穿透
6	590.2	549.0	穿透	4	543.3	550.4	未穿透
7	524.6	559.5	未穿透	5	521.1	561.1	未穿透
第5组模拟试验				6	578.8	540.8	穿透
1	545.1	562.1	未穿透	第10组模拟试验			
2	532.3	553.1	未穿透	1	582.7	547.3	穿透
3	546.3	556.2	未穿透	2	557.9	549.2	穿透
4	519.8	543.6	未穿透	3	597.4	548.1	穿透
5	522.9	548.7	未穿透	4	518.2	545.9	未穿透
6	592.7	550.2	穿透	5	549.7	550.6	未穿透
7	561.1	543.6	穿透	6	520.7	550.2	未穿透
8	516.7	553.7	未穿透	7	594.4	558.8	穿透
9	531.7	545.8	未穿透	8	511.9	550.3	未穿透
10	541.9	551.8	未穿透	9	578.3	546.5	穿透

[0071] 步骤5，根据步骤4中的数值模拟弹道试验结果，得到单次数值抽样试验与分布均值的最大正向偏差ω_1及最大负向偏差ω_2。

[0072] 根据表2结果可以得出最大的模拟弹道极限μ_5=558.7m/s，最小的模拟弹道极限μ_1=539.2m/s，因此，可以求出最大正向偏差ω_1及最大负向偏差ω_2：

[0073] $$\omega_1=\frac{\mu_5-\mu}{\mu}=1.30\%$$

[0074] $$\omega_2=\frac{\mu-\mu_1}{\mu}=2.23\%$$

[0075] 步骤6，根据计算过程中使用试验的弹丸初速均值，单次数值抽样试验的最大偏

差，计算纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度。

[0076] 根据定义的纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度计算方法可得：

[0077] $v_s=(1-\omega_1)(1-\omega_2)\mu=532.2m/s$ 。

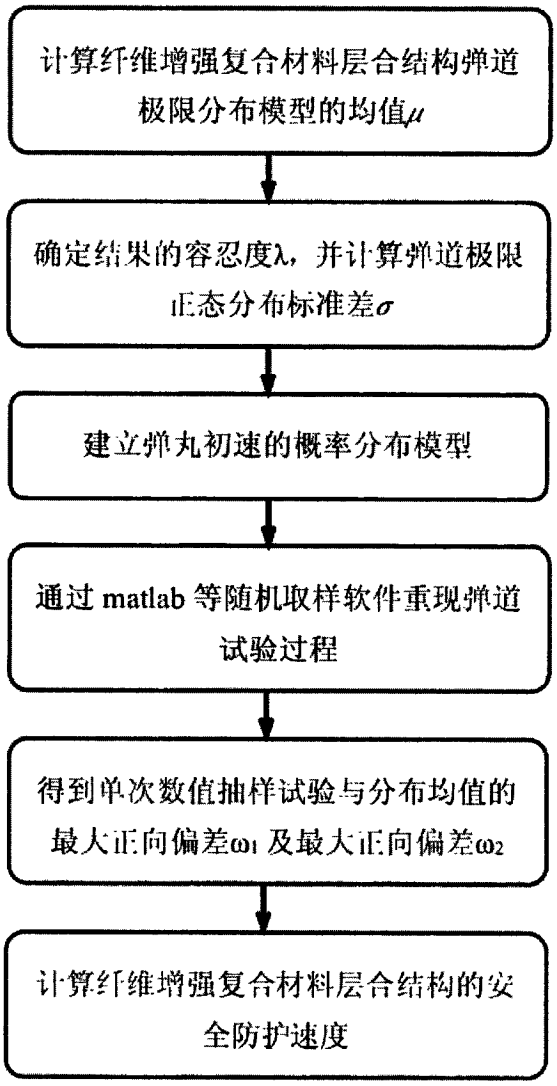

计算纤维增强复合材料层合结构弹道极限分布模型的均值μ
确定结果的容忍度λ，并计算弹道极限正态分布标准差σ
建立弹丸初速的概率分布模型
通过 matlab 等随机取样软件重现弹道试验过程
得到单次数值抽样试验与分布均值的最大正向偏差ω1及最大正向偏差ω2
计算纤维增强复合材料层合结构的安全防护速度

图1

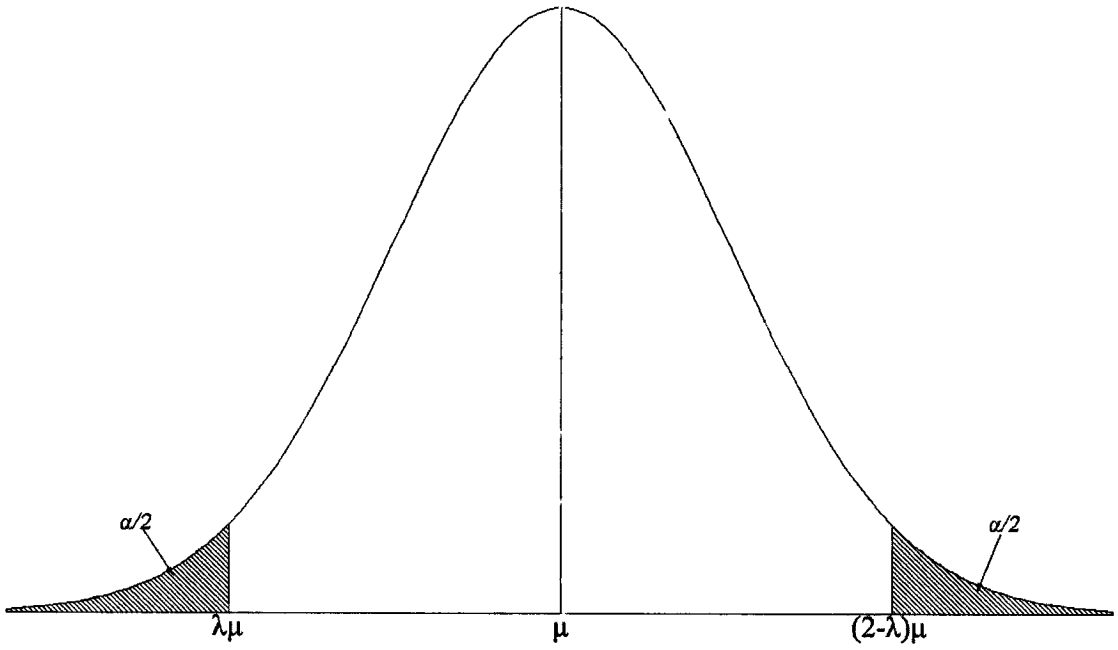


图2