



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1979112 B

(45) 授权公告日 2012.04.04

(21) 申请号 200610064725.2

(22) 申请日 2006.11.21

(30) 优先权数据

11/282691 2005.11.21 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 Y·卡迪奥格卢 A·K·古普塔

R·P·奈尔 E·J·埃克兰德

E·V·埃梅特里奥

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 刘华联

(51) Int. Cl.

G01M 15/00(2006.01)

F01D 21/00(2006.01)

G01N 29/04(2006.01)

G01N 29/44(2006.01)

(56) 对比文件

JP 2004144535 A, 2004.05.20,

JP 9195795 A, 1997.07.29,

EP 1562033 A1, 2005.08.10,

CN 86102387 C, 1989.11.29,

CN 1489041 A, 2004.04.14,

CN 86103018 A, 1986.12.17,

EP 0585623 A3, 1994.06.08,

JP 61265551 A, 1986.11.25,

JP 61240159 A, 1986.10.25,

审查员 王杨

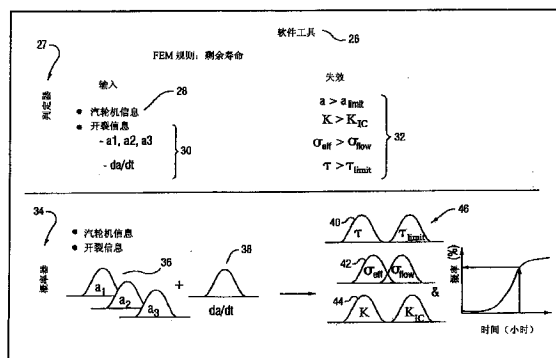
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

评估汽轮机中开裂楔形体的寿命的方法和系统

(57) 摘要

提供了一种预测汽轮机部件(10)的剩余运行寿命的方法包括:获得汽轮机部件中有关的当前开裂裂纹数据(30);利用开裂裂纹数据及有关汽轮机部件结构和运行状况的数据(28)来确定(27)施加在汽轮机部件上的作用力负荷和产生的开裂扩展速度;对产生的开裂裂纹数据和开裂扩展数据进行概率分析(34)而产生一个开裂数据(36)的统计分布,并且使用开裂数据的统计分布通过对连续时间段作用负荷的重复确定从而预算部件的失效时间(46)。



1. 一种预测汽轮机部件的剩余运行寿命的方法,包括:
获得有关汽轮机部件中当前开裂裂纹的开裂裂纹数据;
利用开裂裂纹数据及有关汽轮机部件结构和运行状况的数据来确定施加在汽轮机部件上的作用力负荷并产生开裂扩展数据;
对所产生的开裂裂纹数据和开裂扩展数据进行概率分析,以产生开裂数据的统计分布;并且
应用开裂数据的统计分布,从而通过反复测定连续时间周期的作用力负荷来预测部件的失效时间。
2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,汽轮机部件为具有外围楔形连接件的汽轮机转子,并且所述开裂裂纹数据表示楔形连接件中的开裂裂纹。
3. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,开裂裂纹数据通过汽轮机部件表面的超声波检测而获得。
4. 如权利要求2所述的方法,其特征在于,开裂裂纹数据通过楔形连接件中弯钩的超声波检测而获得。
5. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,有关汽轮机部件结构的数据为汽轮机部件的数学模型,其由部件的制造者提供。
6. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,作用力负荷的重复确定包括确定施加在部件上多个负荷承受位置处的作用力负荷,确定运转期间的开裂扩展,确定由开裂扩展而造成的负荷承受部位的变形。
7. 如权利要求6所述的方法,其特征在于,重复进行作用力负荷、开裂扩展和变形的确定以确定预计失效时间。
8. 一种预测汽轮机部件的剩余运行寿命的方法,包括:
 - a. 获得有关汽轮机部件中的当前开裂裂纹的开裂裂纹数据;
 - b. 对开裂裂纹数据进行概率分析,以产生开裂裂纹数据的统计分布和扩展速度;
 - c. 利用开裂裂纹数据的统计分布及有关汽轮机部件结构的数据来确定施加在汽轮机部件上的作用力负荷;
 - d. 根据开裂裂纹数据和确定的作用力负荷来判断汽轮机部件是否达到开裂失效标准;
 - e. 根据开裂裂纹数据和部件所经过的运转时间段来确定开裂扩展,并且调整开裂裂纹数据以包含已确定的开裂扩展。
9. 如权利要求8所述的方法,其特征在于,所述方法还包括重复步骤b-d,用来确定部件的剩余运行寿命。
10. 如权利要求8所述的方法,其特征在于,汽轮机部件为具有外围楔形连接件的汽轮机转子,并且所述开裂裂纹数据表示楔形连接件中的开裂裂纹。
11. 如权利要求8所述的方法,其特征在于,开裂裂纹数据通过汽轮机部件表面的超声波检测而获得。
12. 如权利要求11所述的方法,其特征在于,所述汽轮机部件是楔形连接件中的弯钩。
13. 如权利要求8所述的方法,其特征在于,有关汽轮机部件结构的数据为汽轮机部件的数学模型。

14. 如权利要求 8 所述的方法,其特征在于,作用力负荷的重复确定包括确定施加在部件上多个负荷承受位置处的作用力负荷,确定运转期间的开裂扩展,确定由开裂扩展而造成的负荷承受部位的变形。

15. 如权利要求 14 所述的方法,其特征在于,重复进行作用力负荷、开裂扩展和变形的确定以确定预计失效时间。

评估汽轮机中开裂楔形体的寿命的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明总体涉及汽轮机,具体涉及评估汽轮机中涡轮转子和接触水、蒸汽及冷凝物的其它金属涡轮部件开裂的方法。

背景技术

[0002] 汽轮机动力系统使用流体力工质,例如水或其他沸点和潜热值适合系统运转温度的合适的化学流体。流体力工质通常用单独热源进行加热,比如用定向太阳辐射、矿物燃料燃烧、核辐射或地热能的锅炉。能量以高压蒸汽的形式由热源传递给汽轮机从而为汽轮机提供动力。蒸汽使得汽轮机中的转子转动。汽轮机旋转可以用于驱动电磁发电机发电。

[0003] 普通类型的汽轮机系统包括多个汽轮机,其由一个高压汽轮机、一个中压汽轮机和—个低压汽轮机所组成。汽轮机可以处于闭合循环中,其包括一个为高压汽轮机提供蒸汽的蒸汽发生器和一个接收低压汽轮机排气的冷凝器。水从冷凝器中又返回供给热源,例如蒸汽发生器,用于再使用,并且通常在再使用之前要处理除去杂质。汽轮机从蒸汽中获得能量以驱动发电机产生电能。替换的,通过汽轮机以后,工质压力降低的蒸汽可以引入到一个中间温度的蒸汽分配系统,例如热交换器,其将蒸汽传送到所需的工业或商业应用中,如热电联产应用中。

[0004] 如图 1 所示,通常每个汽轮机包括一个固定部件,例如喷嘴,和多个汽轮机叶片 10,例如动叶片,其安装在旋转汽轮机叶轮 12 上。叶片通常通过楔形体 14 安装在叶轮上。对于汽轮机,汽轮机转子叶片和汽轮机转子叶轮之间楔形体的安装方法在汽轮机现有技术中是公知的。汽轮机叶轮的外凸缘包括一个相切入口的楔形连接件 16,其具有一个位于叶轮的相对侧的环状突起用来紧固叶片。汽轮机叶轮的凸缘和叶片楔形体通常呈互补的松树形。

[0005] 可以使用不同类型的楔形体。例如,指型和枫树型楔形体可用于叶片和转子叶轮彼此间的紧固。在指型楔形体中,转子叶轮的外周具有多个轴向设置的圆周突起分级槽,在将叶片叠装到转子叶轮时,用来接收每个叶片楔形体的互补指状物。通常用销通过每个叶轮和叶片楔形体的楔形指状物的配准孔将叶片紧固到叶轮上。枫树型楔形连接器包括在叶轮外凸缘中适合每个叶片的切口。切口通常呈“V”状并且在其边上具有突起用来紧固叶片中的配合楔形体。所有楔形体结构的一个共同难点是叶片和叶轮间楔形连接处应力高,运转几年后易出现磨损和开裂。

[0006] 低压汽轮机中不同部件的开裂,比如在楔形连接处的开裂,被认为涉及一种通常称为应力腐蚀开裂(SCC)现象。部件内部的应力级可以加速 SCC。具体而言,典型楔形结构的弯钩边角地区存在的应力可加速 SCC。通常,这些应力是容许的,但是随着污染的蒸汽和老化,开裂开始产生,并且如果不进行检测可能会发展到一定程度造成叶轮弯钩损坏。此外,汽轮机低压端处的蒸汽被污染或受其他影响,在通过汽轮机的通道期间被冷却到更低温度。结果,水容易在那里凝结并且汽轮机低压端处的蒸汽由于水而完全饱和。由于接触到蒸汽,通过湿蒸汽本身对汽轮机叶片的冲击传递的能量在汽轮机低压端处要大于汽轮机

高压端处,结果在汽轮机部件上产生了更大的应力。

[0007] 汽轮机中存在的蒸汽环境显著影响 SCC 的增长速度。这里所用的术语“蒸汽环境”指的是一种存在水滴、水膜或毛细冷凝水的环境。其原因在于应力腐蚀开裂中涉及到化学因素,因此某些特定温度区域会促进应力腐蚀开裂,这取决于蒸汽成分和转子材料的化学性质间的关系。由于汽轮机的质量和转速,例如通常要求每分钟 3600 转 (rpm),万一叶轮楔形体中的开裂发展到足够使得一个或多个叶片飞出转子叶轮,可能会对汽轮机、其壳体和支承造成显著的损伤,也会对汽轮机的操作者造成伤害。多数情况下,所有弯钩会损坏并且叶片会从转子中飞出去。关于叶片-叶轮楔形连接的长期经验表明一般叶轮弯钩通过 SCC 机构可能会开裂,而叶片弯钩通过 SCC 机构一般不会开裂。

[0008] 汽轮机的工作循环为表征其运行步骤和状况的运行流程,比如汽轮机进口温度、速度和输出功率;每个功率输出级的周期,和保持停机间的时间。

[0009] 汽轮机楔形体的剩余寿命取决于 SCC 的数量和其在部件使用寿命期间发展的速度以及运转状态。由核燃料和矿物燃料驱动的汽轮机的低压 (LP) 部分对于 SCC 特别敏感。通过定期检测,为每个汽轮机转子或汽轮机转子的标准样本确定 SCC 的数量。依据检测中确定的 SCC 数量,从而作出是否返回运行汽轮机或维修汽轮机的决定。一般由有经验的技师或工程师在检测汽轮机叶片楔形体的开裂后作出这个决定。此外,还需要一种分析工具帮助预测开裂楔形体的剩余寿命。

发明内容

[0010] 长期以来迫切需要一种评估 SCC 对涡轮转子的使用寿命影响的工具。这样的工具在确定是让返回汽轮机工作,还是维修或替换叶轮上的楔形连接件时是有帮助的。

[0011] 提供了一种用于预测汽轮机部件剩余运行寿命的方法,其包括:获得汽轮机部件中有关的当前开裂裂纹的开裂裂纹数据;利用开裂裂纹数据及相关汽轮机部件结构和运行状况的数据来确定施加在汽轮机部件上的作用力负荷和产生的开裂扩展速度;对开裂裂纹数据和引起的开裂扩展数据进行概率分析以产生一个开裂数据的统计分布,以及通过反复测定连续时间周期的作用力负荷使用开裂数据的统计分布来预测部件的失效时间。

[0012] 提供了一种用于预测汽轮机部件剩余运行寿命的方法,其包括:获得汽轮机部件中有关的当前开裂裂纹的开裂裂纹数据;对开裂裂纹数据进行概率分析以产生开裂数据和扩展速度的统计分布;利用开裂裂纹数据分布和相关汽轮机部件结构的数据来确定施加在汽轮机部件上的作用负荷;根据开裂裂纹数据和确定的负荷判断汽轮机部件是否达到开裂失效标准;根据开裂裂纹数据和部件经过的运转时间段确定开裂扩展,并且调整开裂数据包含已确定的开裂扩展。

[0013] 提供了一种用于预测汽轮机部件剩余运行寿命的系统,其包括:一个收集有关汽轮机部件中当前开裂裂纹的开裂裂纹数据的检查装置;一个包括处理器和数据存储装置的计算机系统,其中数据存储装置存储开裂裂纹数据和有关汽轮机部件结构和运行的数据以及一个包含算法的软件工具,所述的算法用于分析软件部件和预测部件剩余寿命;其中算法包括一个概率分析工具,其接收输入的开裂裂纹数据并输出一个开裂数据的统计分布,并且使用开裂裂纹数据的统计分布和有关汽轮机部件结构和运行的数据确定施加到汽轮机部件的作用负荷的统计分布和由于作用负荷导致的开裂扩展的统计分布,其中作用负荷

和开裂扩展的确定要重复进行以预测部件的失效时间。

附图说明

[0014] 图 1 为一个汽轮机转子的部分透视图,其中转子在其周边上具有楔形连接件并且汽轮机叶片安装在该楔形连接件上。

[0015] 图 2 为图 1 中楔形连接件单独取截面 2-2 的放大剖视图。

[0016] 图 3 为一种预测楔形连接件剩余寿命的软件工具的方框图。

[0017] 图 4 的图表示出楔形连接件最大开裂极限和不稳定开裂增长的失效标准的判定分析。

[0018] 图 5 的图表示出基于弯钩剪切失效的楔形连接件的失效标准。

具体实施方式

[0019] 图 2 是一个汽轮机叶轮 12 切向楔形连接件 16 的剖面图。楔形连接件位于叶轮外部环状凸缘上。连接件通常呈倒置“V”形,其具有多个从连接件侧面向外延伸的突起 18。这些突起 18 通常称为连接件的“弯钩”。每个弯钩为汽轮机叶片 10 底部处的配合楔形体 14 提供连接。

[0020] 楔形连接件的弯钩 18 通常沿着其下表面 20 受到负荷。当汽轮机叶片的楔形连接件的配合弯钩紧靠在叶轮 12 的楔形连接件的下表面 20 上时,出现负荷。在叶轮旋转期间,离心力沿着径向起作用。离心力施加径向力 (F) 到叶轮楔形连接件 16 的下表面 20 上。这些作用力与叶轮的转速成比例。在汽轮机通常以一个相对恒定的转速运转时,作用力一般为常数。然而,汽轮机的工作循环会造成叶轮速度周期性变化并且包括某些叶轮停止时的停机期间。汽轮机的工作循环导致作用在叶轮楔形连接件的弯钩 18 上的作用力 (F) 的变化。通常汽轮机在恒定的转速下运转数周或数月。当汽轮机停机作检查和维护时在汽轮机运转速度变化的某些其他汽轮机运转过程期间,汽轮机的速度发生变化。

[0021] 作用力 (F) 施加到楔形连接件上导致应力作用到连接件上。施加在楔形连接件 16 上的作用力分布使得应力集中于位于弯钩 18 和连接件的其他部分之间的内圆角 22 处。内圆角 22 处的应力导致在楔形连接件上形成开裂 24。开裂开始形成通常集中在楔形连接件表面应力和腐蚀集中的地方,比如在内圆角处。腐蚀通常是由蒸汽通过汽轮机使其在汽轮机叶片楔形连接件和汽轮机叶轮楔形连接件之间发生局部渗漏而形成。应力和腐蚀的联合作用使得内圆角 22 处形成凹坑。连接边上凹坑在作用力 (F) 施加在弯钩 18 时变成开裂 24。

[0022] 楔形连接件 16 的表面要定期检测开裂。检测应该在汽轮机停机的时候进行。要仔细检测楔形连接件 16,辨别已形成的开裂 24,特别是在连接件的内圆角 22 处。超声波表面检测技术通常用于辨别楔形连接件中的开裂 24,因为这种检测技术不需要移动叶片,节约了相当的成本和时间。超声波检测装置 17 可用于手动检测楔形连接件。这些超声波检测技术提供有关开裂位置、开裂宽度、和在某些情况下预计开裂深度 (A) 的数据。在每次检测叶轮期间,仔细记录下楔形连接件 16 的开裂裂纹数据。开裂裂纹数据下载到计算机 19 中,其设有处理器和数据存储器用来存储开裂裂纹数据并对楔形连接件进行数据建模,和一个包含算法的软件工具用来分析开裂裂纹数据并且预测该楔形体的预期剩余寿命。计算机可

以是,例如个人电脑或电脑网络,其中楔形体的建模数据存储在中央位置处而软件工具和开裂数据存储在网络的工作站计算机上。

[0023] 每次检测期间所得的开裂裂纹数据用于预测汽轮机叶轮的“剩余寿命”。“剩余寿命”可以认为是一个从最后一次叶轮检测开始到执行维护、维修或替换叶轮的运转时期。汽轮机操作者利用剩余寿命来决定何时安排时间进行维护、维修或替换。叶轮剩余寿命不是对汽轮机叶轮寿命或汽轮机叶轮失效时间的确定预测。而是根据楔形连接件 16 现有所知的开裂状况和汽轮机的预计运转工作循环而进行的估算。

[0024] 开裂 24(a1、a2 和 a3) 趋向扩展到楔形件中。应力和腐蚀作用在楔形件的内圆角 22 上使得开裂在楔形件弯钩 18 的宽度上延伸和增长。开裂 24 扩展到楔形连接件内的距离 (A) 为运转时间的函数,可以通过传统力学和材料算法来进行估算。例如,应用普通弯钩剪切算法和已知的材料强度,知道压力就可以确定,会导致弯钩 18 从楔形件上剪切掉的开裂深度,比如施加在整个表面区域 20 上的作用力,将弯钩 18 支撑在楔形连接件上的材料的剩余区域 (B)。弯钩 18 的剪切是汽轮机转子失效的一个例子。当一个弯钩失效时,其余转子上的弯钩则要吸收更多离心负荷而更容易失效。如果其余弯钩失效了,末端叶片可能会失控并会对转子和汽轮机造成较大损害。对汽轮机叶轮剩余寿命的预测包括对楔形连接件何时可能失效的分析判断,比如由于开裂扩展产生弯钩 18 剪切。知道汽轮机叶轮的预测剩余寿命时,汽轮机操作者就可以计划安排汽轮机叶轮维护、维修和替换从而避免汽轮机叶轮失效。

[0025] 使用普通剪切理论预测楔形连接件 16 的失效是预测叶轮剩余寿命的一种方式。还可以使用其他预测汽轮机叶轮失效的方式,包括断裂力学研究和塑性极限分析。因此,可以应用一个或多个金属失效理论来估算汽轮机叶轮的剩余寿命。

[0026] 图 3 是软件剩余寿命预测工具 26 的一个高层示意图。软件程序工具 26 预测汽轮机叶轮的剩余寿命。工具 26 包括一个判定器 27,其根据有关汽轮机信息和开裂信息的输入数据来预测失效时间。输入到工具的包括有关汽轮机 28 的数据,比如楔形连接件的详细数学模型,例如连接件的数学网格模型,和有关汽轮机运转状况的信息,和检测楔形连接件得到的开裂裂纹数据 30(如开裂宽度和 / 或开裂深度 a1、a2 和 a3) 和有关预计开裂扩展速度 (da/dt)。

[0027] 预测工具 26 接收输入的详细开裂信息,该信息从汽轮机叶轮检测中得到。在检测中根据开裂位置、宽度和 / 或深度辨别每个开裂。进而,将试验测试所得的开裂检测数据与先前连续叶轮检测数据进行比较确定开裂扩展速度 (da/dt)。将开裂信息输入到预测工具 26 中,工具为叶轮产生一个预算失效时间。开裂扩展速度可以作为一个已知条件输入,其可以是一个常量或是随其他运转状况变化的量,比如温度。例如,开裂扩展速度 (da/dt) 在给定叶轮温度的条件下可预算开裂每年以特定的速度增长。

[0028] 包含在汽轮机数据 28 中,楔形件的模型有助于精确计算弯钩负荷。利用弯钩负荷,可以确定一个弯钩中某一特定开裂或者一个或多个弯钩中多个开裂集合的剪应力、塑流应力和应力强度。弯钩负荷可由转子楔形件的有限元分析 (FE) 确定。

[0029] 剪应力、塑流应力和应力强度可以用工具 26 中的小型计算机程序体确定。汽轮机的制造通常有汽轮机部件的数学模型,比如叶轮的数学模型,其为部件制造商所使用。这些供制造用的模型可于输入到剩余寿命预测工具中。

[0030] 例如,汽轮机制造商有一个楔形体设计的电子库。软件工具 26 接收一个特定楔形体设计的识别输入,这样工具进入电子库并下载楔形体的几何电子模型或限定楔形体几何尺寸的其他信息。随着有关楔形体几何结构信息的输入,工具 26 可自动产生楔形体的 FE 网格模型并且确定施加在楔形体弯钩上的负荷。工具 26 将开裂信息 30 应用到楔形体几何结构中从而 FE 网格模型计算弯钩开裂的影响。知道弯钩中的负荷,可以进行判定分析(参看图 4 和 5)来评估楔形体是否达到失效标准 32。为了利用判定分析预测楔形体的剩余寿命,在一定的时间段内,例如一年内,以给定的扩展速度(da/dt)增大开裂(a_1 、 a_2 和 a_3)的尺寸(比如,深度和/或宽度)。调节楔形体几何结构的网格模型包括已扩展的开裂,并且作 FE 分析确定弯钩在特定时间段结束时的预计负荷。进行判定分析根据预计弯钩负荷和已扩展的开裂,做出判断是否在特定时间段期满时达到失效标准。

[0031] 典型的失效输出包括每个开裂的开裂尺寸(a),其与指定开裂尺寸极限(a_{limit})进行比较;应力强度因子(K),其与平面应变断裂韧度(K_{IC})进行比较;有效应力(σ_{eff}),其与应力流最大值(σ_{max})进行比较,和剪应力(τ),其与临界剪应力极限(τ_{limit})进行比较。

[0032] 在一个判定器 27 运行的典型示例中,在一个特定时间段(t_i)内完成判定分析 27 以确定失效事件是否会在此期间内预计发生。然后将开裂的初始长度再延长通过扩展速度乘以一个特定时间间隔($da/dt * \Delta t$)获得的预测长度后重复进行整个判定分析。调整楔形件的几何模型采用更长的开裂长度,进行 FE 分析以计算每个弯钩的弯钩负荷,和为失效极限进行失效分析(a 、 K 、 σ 和 τ)估算。判定分析可为每一连续估算的扩展开裂进行重复再计算。

[0033] FE 分析根据弯钩几何结构、弯钩内的开裂和叶轮的运转状态比如转速,来预测弯钩负荷。随着开裂的扩展,它使得弯钩裂开并轻微变形从而弯钩吸收更少的由汽轮机叶片作用的离心力。调整楔形件的几何模型以包括开裂数据并且 FE 分析反映开裂弯钩的衰减。

[0034] 判定器 27 为给定的输入 28、30 预测失效时间,但并不能反映由于材料、开裂扩展速度和出现在一个汽轮机叶轮施加在另一个上的负荷而引起的其他负荷变化。这些其他负荷变化可以影响实际开裂扩展速度、楔形连接件的负荷和在影响楔形体失效的汽轮机运转期间发生的其他状况。为了反映这些变化,软件工具中的一个概率器 34 统计开裂数据的分布状况(分布范围 a_1 、 a_2 和 a_3 -36)和开裂扩展速度数据(da/dt 38)的分布,并把它们输入到判定器 27 中。概率器 34 的输出(包括判定器)可以是剪应力 40(τ_{limit})、流应力(σ_{flow})42 和应力强度因子(K)44 的分布。这些分布与相应的失效极限 46 的分布进行比较,失效极限 46 为标准剪应力(τ_{limit})、标准流应力(σ_{flow})和标准平面应变断裂韧度(K_{IC})的集合 46。

[0035] 分布范围 40、42 和 44 随着时间段(dt)连续发展而逐渐向他们的极限 46 移动。这些分布范围在做确定和概率分析后进行比较来预算分布 40、42 和 44 对失效极限 46 分布(参看 σ_{eff} 和 σ_{flow} 分别的重叠)的重叠。为了评估预测分布 40、42、44 的重叠度,在每次判定和概率分析之后都要把这些分布范围与失效极限 46 分布进行比较(参看 σ_{eff} 和 σ_{flow} 分布的重叠)。这样通过使用蒙特卡罗法,概率器分析初始开裂的尺寸、增长速度和材料结构力等许多潜在的状况用来建立一个失效时间内由超声波检测获得的状况统计分布。如图 3 所示,概率图显示随着时间概率的增长,失效模型开始与每个模型失效极限重叠。

[0036] 概率器利用判定器来解答楔形体几何结构内具体开裂的联合尺寸的剪应力、应力

强度和塑流应力。这种解决方法可以并入设计空间内,可加入该方法找到楔形体上任何尺寸和联合的开裂裂纹的剪应力、应力强度和塑流应力。例如,使用成对的初始状况产生了蒙特卡罗法,该初始状况基于已知的 SCC 裂纹增长分布、材料特性和由超声波报告尺寸给定的实际开裂尺寸。

[0037] 概率器也可发现错误的超声波指示和没有被超声波检测探明开裂的一些可能因素。分析这些初始状况中的每个用来确定失效时间。失效的确定包括所有前面描述的确定失效模型之间的相互作用和包括阶梯式失效,其中楔形件中的一个弯钩失效导致余下的弯钩过负荷。为初始状态计算失效时间后,使用标准统计法确定失效的累积概率作为时间的函数。

[0038] 图 4 的图表示出了两个失效标准,这两个失效标准可模块化到软件工具的判定部分中。关于失效标准一,最大开裂极限被用来评估判断何时楔形连接件中的开裂预计达到最大开裂长度。通过应用失效标准一,软件工具评估每个开裂并且根据预计的开裂扩展速度 (da/dt) 预测开裂何时达到规定的开裂长度极限 ($A_{prescribed}$)。软件工具通过将前一个点和时间处的开裂长度加上每一连续时间段期之间的周期与预计开裂扩展速度相乘的结果而估算开裂长度(在每一个连续的时间点 ($t = i$))。楔形连接件中开裂达到开裂极限的时间就是失效时间。

[0039] 在失效标准二中,软件工具中的判定器通过分析每个开裂处的应力集中 (K) 而估算不稳定开裂增长。具体来说,确定器计算开裂表面的正交应力,其来自于作用在具体弯钩上的弯钩负荷。根据这个应力和开裂几何结构而确定应力强度因子。当应力集中增长到平面应变断裂韧性水平 (K_{IC}) 时判定失效发生。

[0040] 图 5 的图表示出了一个弯钩剪切失效的标准模式。判定器可以基于剪应力失效采用弯钩剪切失效模式来确定失效时间。对于给定的开裂集合,判定器计算每个弯钩处的弯钩负荷。对于每个弯钩,剪应力作用区域限定为从开裂顶端以不同的角度延伸到弯钩边界的线形。然后选择一个最大剪应力与标准剪应力极限相比较,判定器可以使用其他失效标准,例如使用塑限负荷分析来确定是否超过弯钩的塑限负荷。确定器可使用一个或多个如图 4 和 5 所示所述用于确定失效的工具。

[0041] 尽管本发明结合目前认为最实用和最优选的实施例进行描述,但是容易理解本发明并不仅限于所述实施例,而与之相反,本发明应该在权利要求的主旨和范围内包含各种改变以及等同设计。

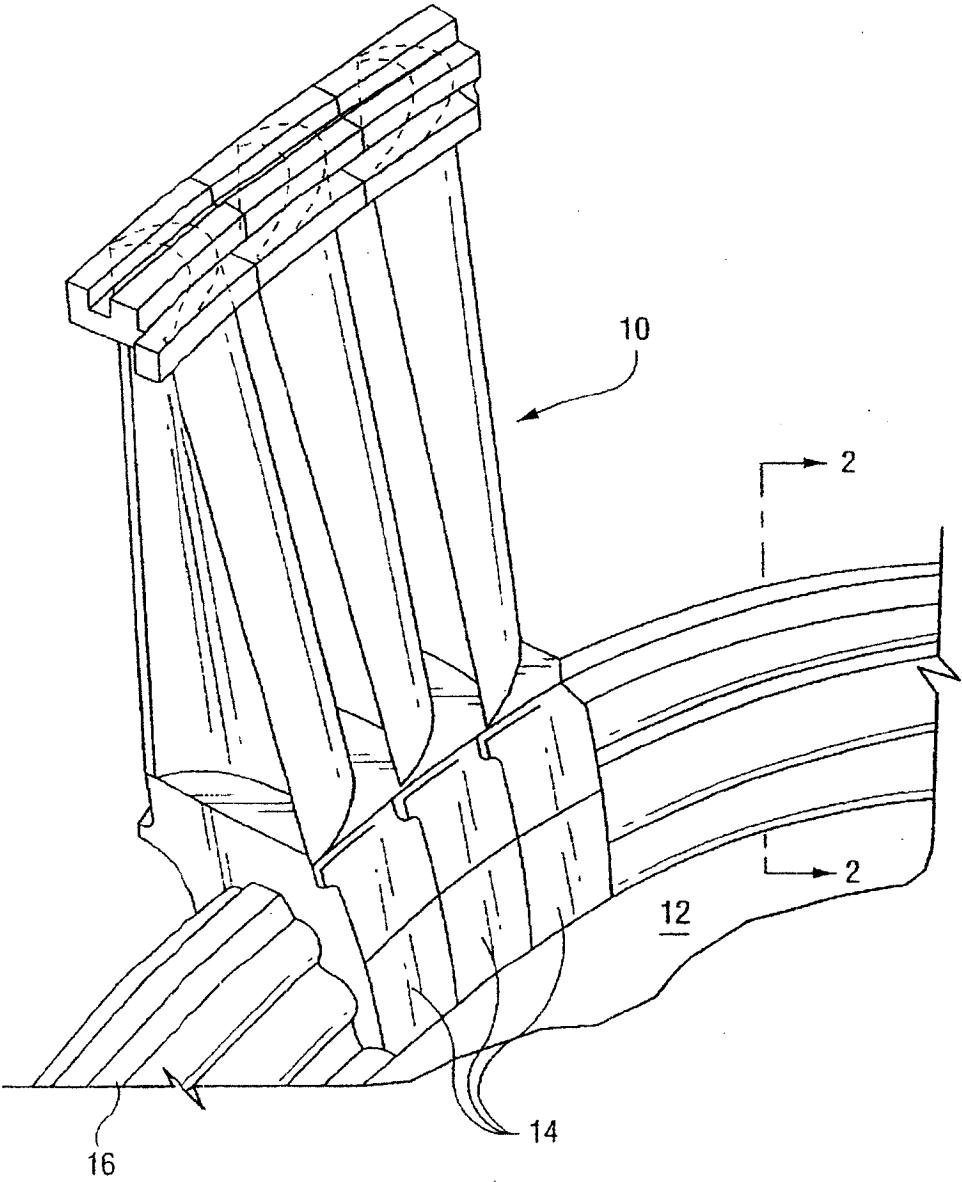


图 1

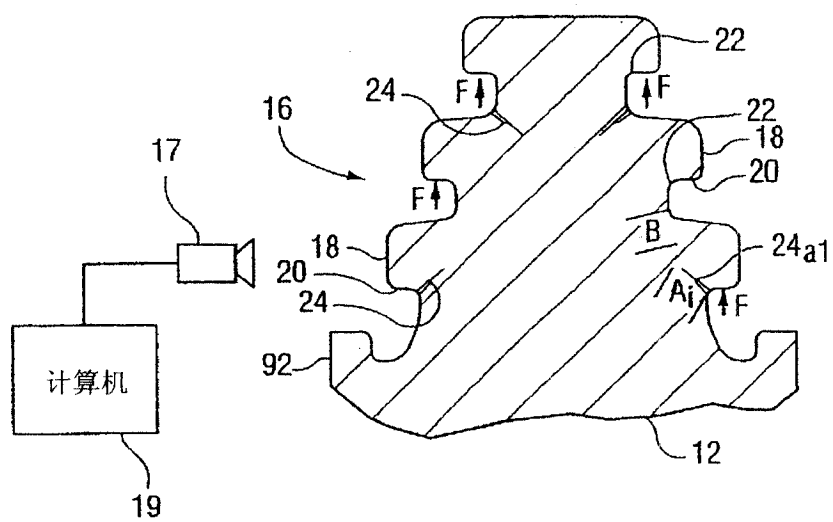


图 2

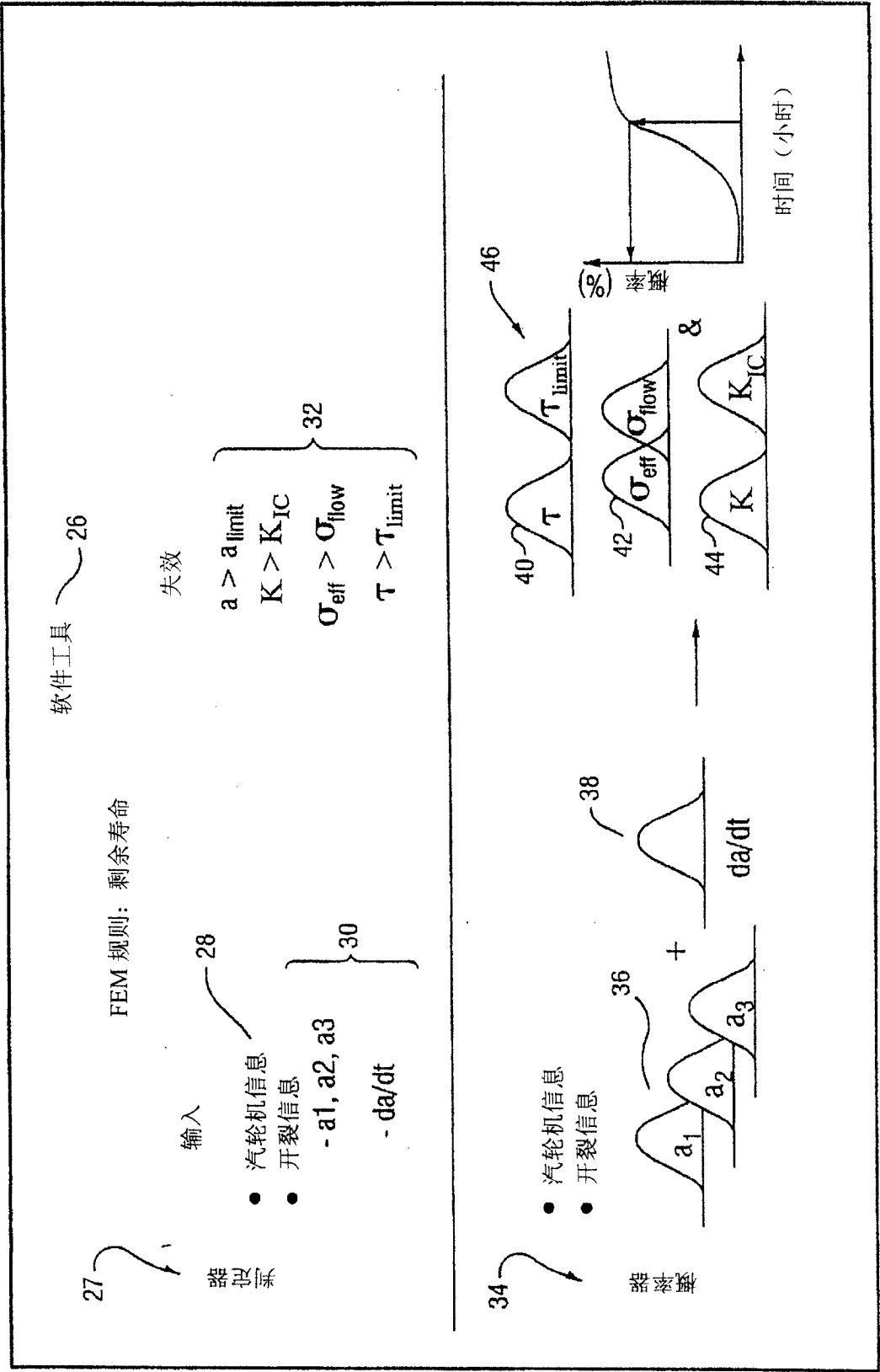


图 3

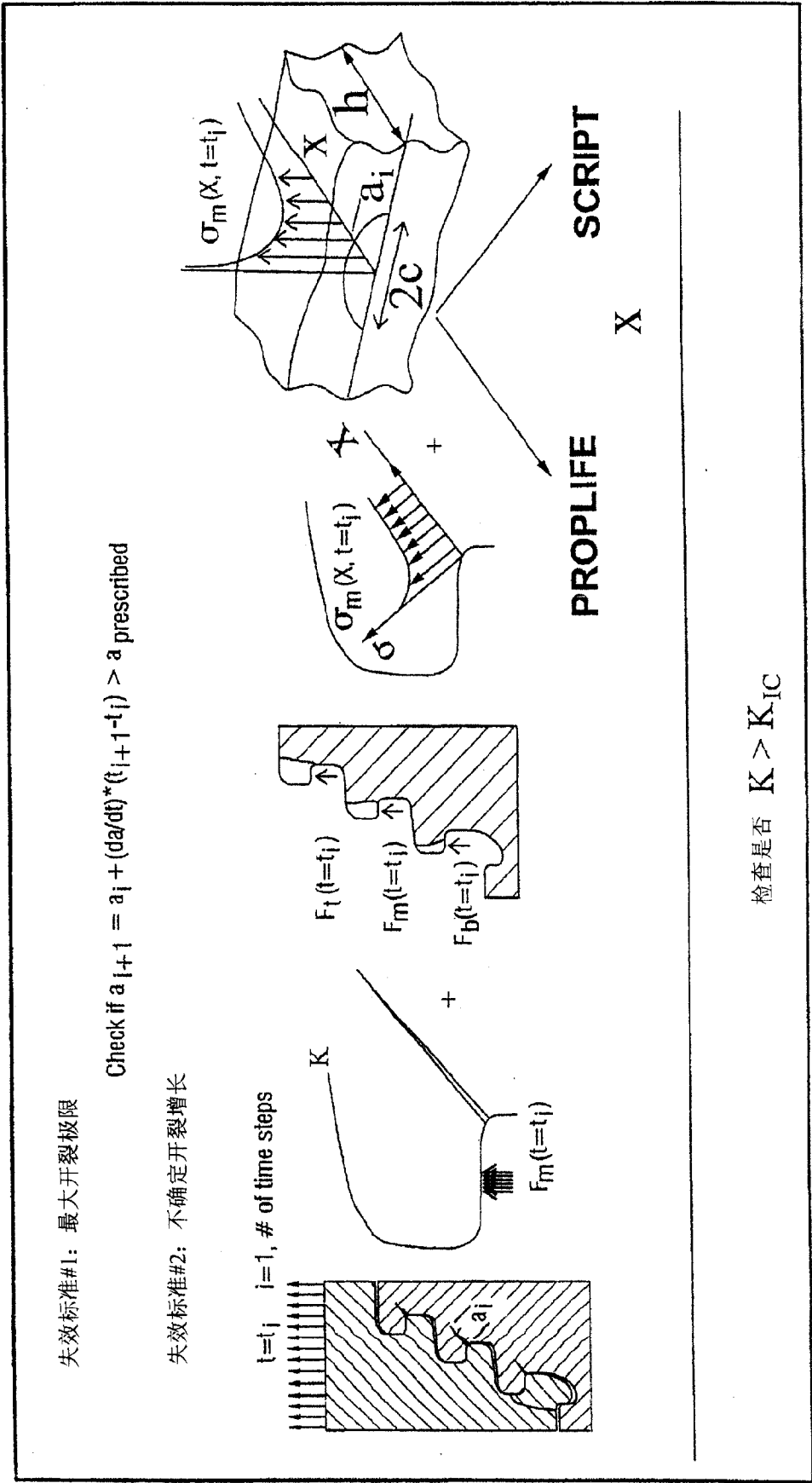


图 4

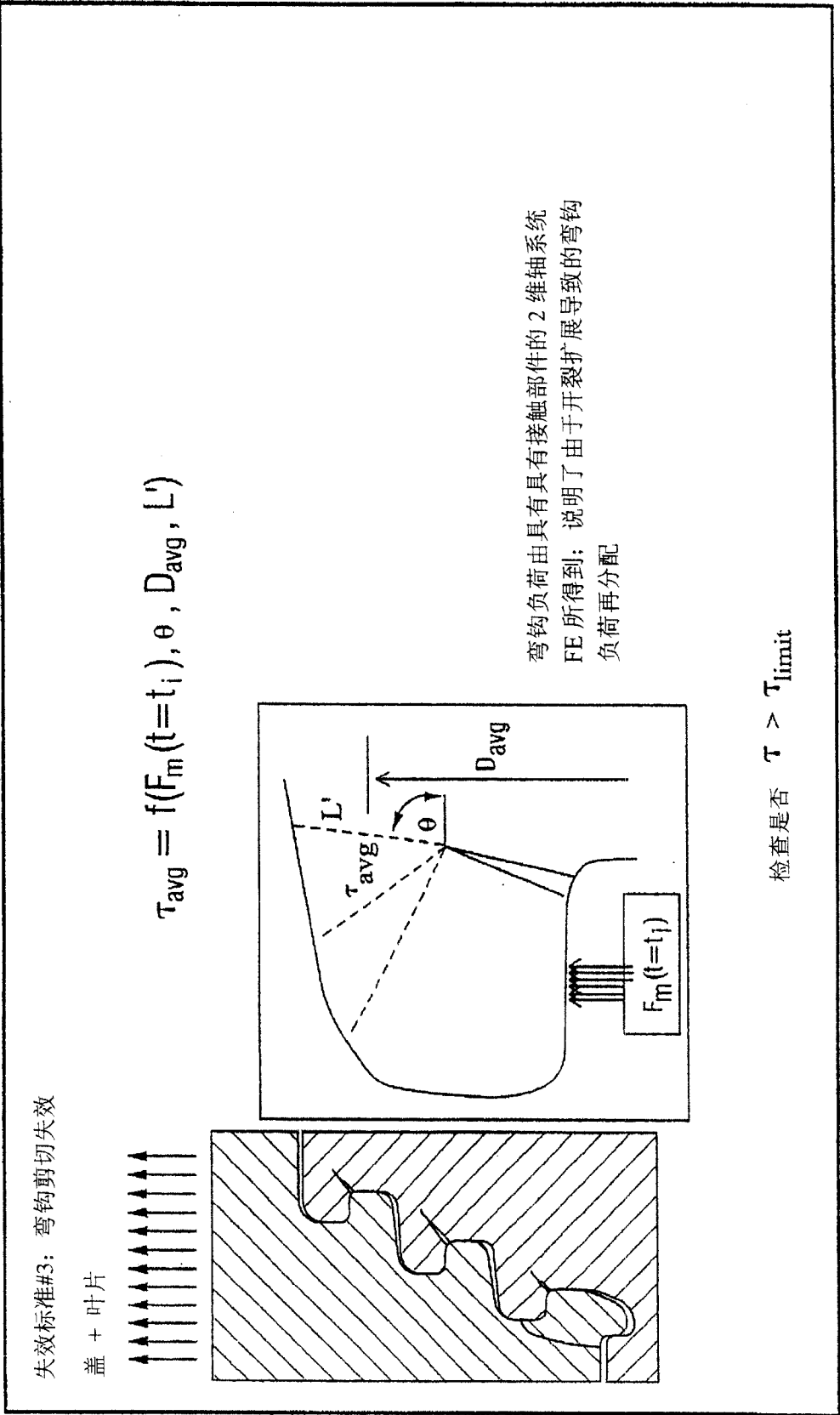


图 5