



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104149724 A

(43) 申请公布日 2014. 11. 19

(21) 申请号 201410344492. 6

(22) 申请日 2014. 07. 18

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 魏延鹏 杨喆 黄晨光 吴先前

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11390

代理人 贺楠

(51) Int. Cl.

B60R 19/34(2006. 01)

B62D 21/15(2006. 01)

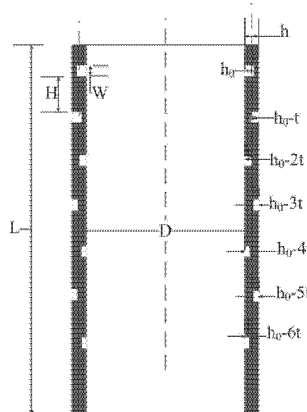
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

一种薄壁圆筒吸能结构的压溃力历程主动控制装置

(57) 摘要

本发明公开了一种薄壁圆筒吸能结构的压溃力历程主动控制装置,其中,沿着薄壁圆筒长度 L 方向,在圆筒的内部和外部逐步布置不同深度  $h_0$  到  $h_0-nt$  的环形凹槽,凹槽的间距为  $W$ ;通过设置不同的深度  $h_0$  和凹槽间距  $W$ ,控制屈曲初始压溃力的幅值和脉宽,设置不同的凹槽深度变化  $t$ ,精确调节屈曲压溃力的变化。本发明采用在薄壁圆筒上布置沿长度方向不同尺寸的环形凹槽,有效控制薄壁圆筒的屈曲模式、塑性铰形成位置。通过控制凹槽的槽深变化及槽宽、槽间距等,可以有效控制屈曲压溃力历程。



1. 一种薄壁圆筒吸能结构的压溃力历程主动控制装置,其中,沿着薄壁圆筒长度 L 方向,在圆筒的内部和外部逐步布置不同深度  $h_0$  到  $h_0-nt$  的环形凹槽,凹槽的间距为 W;通过设置不同的深度  $h_0$  和凹槽间距 W,控制屈曲初始压溃力的幅值和脉宽,设置不同的凹槽深度变化 t,精确调节屈曲压溃力的变化。

2. 根据权利要求 1 所述的装置,其特征在于,第 n 段的屈曲压溃力  $F_n$  的推导公式为:

$$F_n = \frac{E_n}{2(H+W)} = \left( \frac{h^2 + h_0^2 + 4(n-1)^2 t^2 - 4nth_0 + 4nt^2 - 2t^2 - 2hh_0 + 4nht - 2ht + 2h_0t}{\sqrt{3}} \pi Y \left( \frac{\pi}{2} D - (H + W) \right) + \frac{\pi Y (h - h_0 + 2nt - t)^2}{\sqrt{3}} \left( \frac{\pi}{2} D + (H + W) \right) + \pi (2h - 2h_0 + 4nt - 2t) Y \left( \frac{W^2}{2} + HW \right) + \pi h Y H^2 \right) / 2(H+W)$$

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的装置,其特征在于,所述装置能应用于汽车、高速列车吸能装置的优化设计,以及飞行器、航天器软着陆装置的优化设计等。

## 一种薄壁圆筒吸能结构的压溃力历程主动控制装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及碰撞吸能安全防护领域,具体涉及一种薄壁圆筒吸能结构的压溃力历程主动控制装置。

### 背景技术

[0002] 对于汽车、高速列车等交通工具来说,撞击现象一直是一个极其重要和不可回避的问题。近年来,随着汽车与高速列车数量迅速增加和行驶速度的不断提高,使得碰撞问题越来越突出,迅速增加的碰撞事故会造成重大人身伤亡和财产损失,耐撞性能已成为汽车、高速列车等结构设计时首要考虑的问题。

[0003] 人们很早就注意到,薄壁圆筒在轴压下一般有稳定的渐进破坏模式,通过塑性屈曲吸收能量。薄壁圆筒是传统的缓冲吸能结构,也是应用最广泛的缓冲吸能结构之一,即便像啤酒灌这样的轻型结构受轴向冲击载荷的作用也能吸收可观的能量。对于薄壁圆筒的研究多于其他截面形状的金属管,薄壁圆筒在吸能体系中也得到了广泛应用,一方面是因为变形模式稳定从而可控地吸收能量,另一方面是因为交通工具中含有大量的薄壁圆筒结构,从而保证在耐撞性设计中不增加额外的重量。薄壁结构受轴向冲击载荷的动态弹塑性屈曲是一个很复杂的现象,根据壳体的几何参数、载荷情况和材料性质的共同影响,有三种类型的失稳模式,即动态塑性屈曲(在出现大的径向位移之前,圆筒沿整个长度方向产生皱折),动态渐进屈曲(在低速冲击的情况下,其变形过程类似于静力情形,皱折是从一端开始形成并逐渐向另一端发展,此种模式为理想的吸能模式)和欧拉弯曲。

[0004] 针对动态渐进屈曲,前人做了大量的理论、实验及数值计算研究。以往的理论研究集中在屈曲平均压溃力的预测上,而对于压溃吸能过程控制缺乏理论。薄壁圆筒受到自身几何尺寸、材料特性、外界载荷、边界条件的综合影响,屈曲模式往往无法精确估计,轴对称的圆环模式与非轴对称的钻石模式的塑性铰形成过程、吸能能力上差别非常大,这对压力历程这一吸能装置最重要的参数来说是影响很大的,因此传统的薄壁圆筒吸能结构无法实现压溃过程的精确预测和控制。

### 发明内容

[0005] 鉴于此,本发明的目的是提供一种压溃力历程主动控制装置,用以解决上述现有技术中存在的技术问题。

[0006] 本发明提供了一种薄壁圆筒吸能结构的压溃力历程主动控制装置,其中,沿着薄壁圆筒长度 $L$ 方向,在圆筒的内部和外部逐步布置不同深度 $h_0$ 到 $h_0-nt$ 的环形凹槽,凹槽的间距为 $W$ ;通过设置不同的深度 $h_0$ 和凹槽间距 $W$ ,控制屈曲初始压溃力的幅值和脉宽,设置不同的凹槽深度变化 $t$ ,精确调节屈曲压溃力的变化。

[0007] 进一步地,第 $n$ 段的屈曲压溃力 $F_n$ 的推导公式为:

[0008]

$$F_n = \frac{E_n}{2(H+W)} = \left( \frac{h^2 + h_0^2 + 4(n-1)t^2 - 4nth_0 + 4nt^2 - 2t^2 - 2hh_0 + 4nht - 2ht + 2h_0t}{\sqrt{3}} \pi Y \left( \frac{\pi}{2} D - (H + W) \right) + \frac{\pi Y (h - h_0 + 2nt - t)^2}{\sqrt{3}} \left( \frac{\pi}{2} D + (H + W) \right) + \pi (2h - 2h_0 + 4nt - 2t) Y \left( \frac{W^2}{2} + HW \right) + \pi h Y H^2 / 2(H + W) \right)$$

[0009] 进一步地,所述装置能应用于汽车、高速列车吸能装置的优化设计,以及飞行器、航天器软着陆装置的优化设计等。

[0010] 本发明与现有技术相比具有明显的优点和有益效果。具体而言,本发明采用在薄壁圆筒上布置沿长度方向不同尺寸的环形凹槽,有效控制薄壁圆筒的屈曲模式、塑性铰形成位置。通过控制凹槽的槽深变化及槽宽、槽间距等,可以有效控制屈曲压溃力历程。同时,对于此种方法获得的薄壁圆筒冲击压溃力历程给出了理论预测公式,通过调节缺陷的参数,可进行满足不同压溃力历程的压溃过程控制。

### 附图说明

[0011] 图 1 为薄壁圆筒压溃力历程主动控制的缺陷排布示意图。

[0012] 图 2 为凹槽缺陷对塑性铰形成主动控制的示意图。

[0013] 图 3 为典型的完整筒的压溃力历程曲线示意图。

[0014] 图 4 为典型的主动控制筒的压溃力历程曲线示意图。

[0015] 其中 :D :圆筒直径, L :圆筒长度, h :圆筒壁厚, h<sub>0</sub>: 第一个凹槽的深度, t :凹槽深度变化, H :凹槽间距, W :凹槽宽度。

### 具体实施方式

[0016] 下面结合附图对本发明提供的薄壁圆筒吸能结构的压溃力历程主动控制装置的具体实施方式做详细说明。

[0017] 如图 1 所示,针对薄壁圆筒屈曲吸能装置,沿着薄壁圆筒长度 L 方向,在圆筒的内部和外部逐步布置不同深度 h<sub>0</sub> 到 h<sub>0</sub>-nt 的环形凹槽,凹槽的间距为 W。由于凹槽处壁厚较薄,则相比完整筒来说,凹槽处更容易发生屈曲。由于沿圆筒长度方向凹槽的深度不同,则可以精确控制屈曲起始点在上端最深的凹槽处,并逐步向下方凹槽深度小的地方发展。对于每一个屈曲褶皱的形成,如图 2 所示,由三个塑性铰的塑性弯曲和塑性铰线之间材料的拉伸和压缩来吸收冲击动能。通过设置不同的深度 h<sub>0</sub> 和凹槽间距 W,可以控制屈曲初始压溃力的幅值和脉宽。通过设置不同的凹槽深度变化 t,可以精确调节屈曲压溃力的变化。通过上述方法,可以做到对薄壁圆筒冲击屈曲吸能装置的压溃力历程的主动控制,可以应用到汽车、高速列车吸能装置的优化设计,飞行器、航天器软着陆装置的优化设计等。

[0018] 上述针对设计的构型,利用了能量守恒原理,载荷对圆筒所做的功被三条塑性铰线的塑性弯曲和塑性铰之间材料周向伸长所耗散,推导获得控制理论公式 :其中 S 为压溃位移,针对压溃位移处于的区间,可以预测第 n 段的屈曲压溃力 F<sub>n</sub>。

$$[0019] \quad n = \left[ \frac{S}{2(H+W)} \right] + 1$$

[0020]

$$F_n = \frac{E_n}{2(H+W)} = \left( \frac{h^2 + h_0^2 + 4(n-1)^2 t^2 - 4nth_0 + 4nt^2 - 2t^2 - 2hh_0 + 4nht - 2ht + 2h_0t}{\sqrt{3}} \pi Y \left( \frac{\pi}{2} D - (H + W) \right) + \frac{\pi Y (h - h_0 + 2nt - t)^2}{\sqrt{3}} \left( \frac{\pi}{2} D + (H + W) \right) + \pi (2h - 2h_0 + 4nt - 2t) Y \left( \frac{W^2}{2} + HW \right) + \pi h Y H^2 \right) / 2(H+W)$$

[0021] 从图 3 中可以看到,典型的完整筒的压溃力历程曲线为周期性震荡,由于壁厚、直径沿长度方向不变,其各个褶皱对应的压溃力基本保持一致,即屈曲全程基本保持一致的平均压溃力。

[0022] 从图 4 中可以看出,典型的主动控制圆筒的压溃力随着压溃位移逐步增大,且各褶皱的平均压溃力均可用理论公式达到很好的预测,这与预想的控制效果是一致的,通过这种主动控制方法,可以精确预测薄壁圆筒屈曲各阶段的行为,且能准确预测各个褶皱的平均压溃力。通过改变凹槽缺陷的布置方案,可以完成薄壁圆筒吸能结构不同压溃力历程需求的设计。

[0023] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

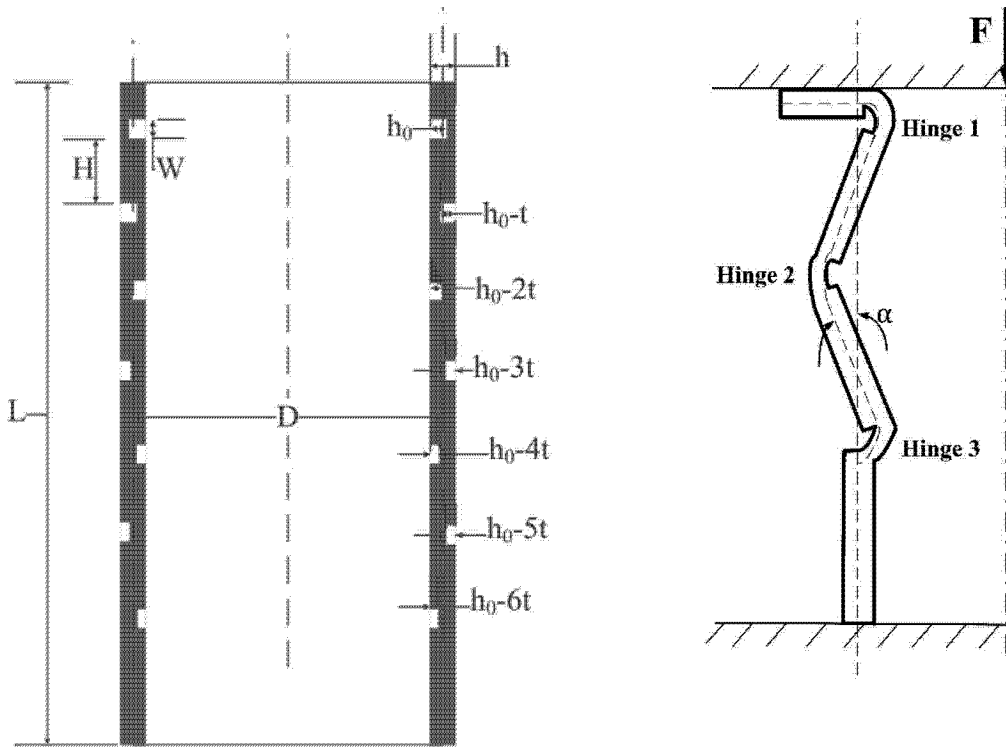


图 2

图 1

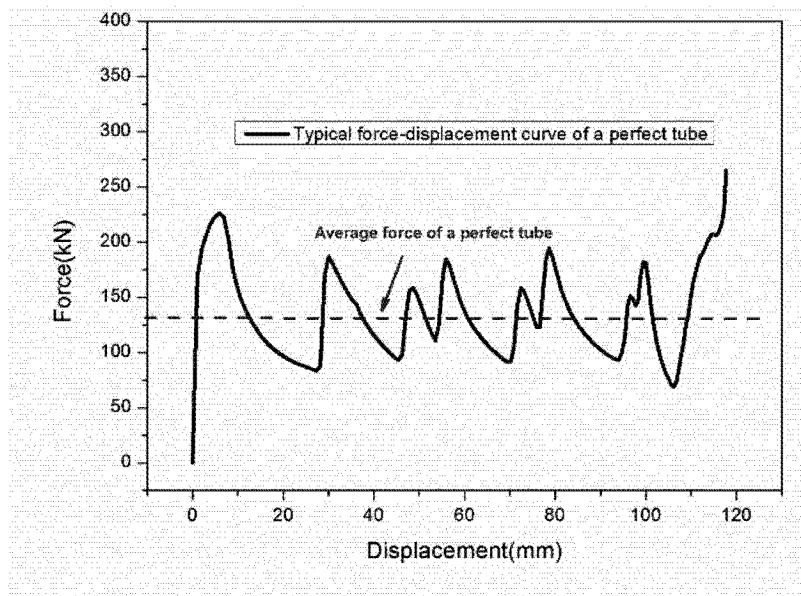


图 3

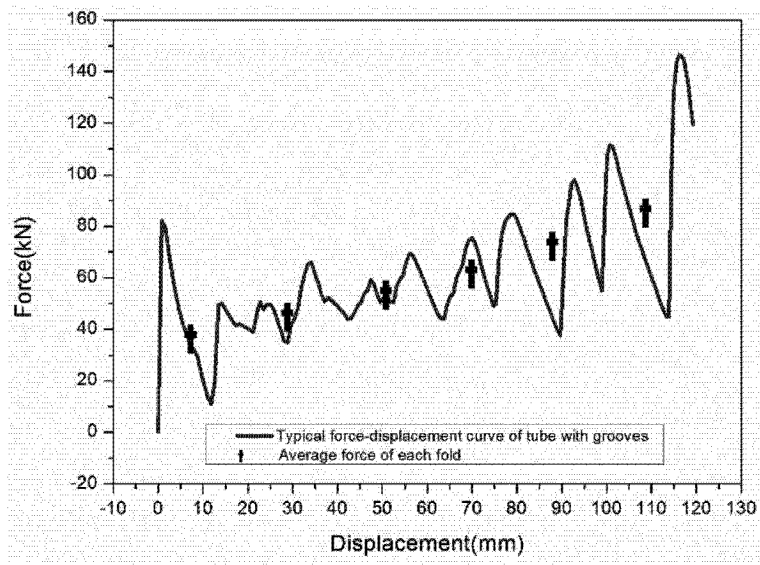


图 4