



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117246092 A

(43) 申请公布日 2023. 12. 19

(21) 申请号 202311274295.7

(22) 申请日 2023.09.28

(71) 申请人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市包河区屯溪路  
193号

(72) 发明人 夏光 李涛 张晨昊 周大洋  
张洋 姜涛 吴士标 潘永成  
汪韶杰

(74) 专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有  
限责任公司 34101

专利代理师 陆丽莉 何梅生

(51) Int. Cl.

B60G 17/052 (2006.01)

B60G 17/015 (2006.01)

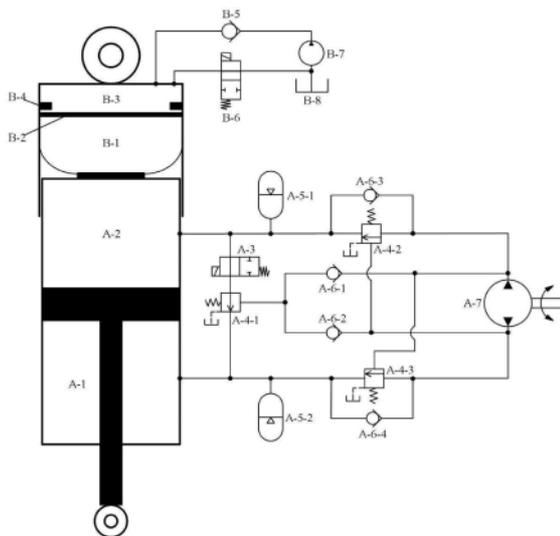
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

## (54) 发明名称

一种刚度、阻尼、高度连续可调的全主动悬架架

## (57) 摘要

本发明公开了一种刚度、阻尼和高度连续可调的全主动悬架架,包括:液压缸、气体弹簧、刚度调节管路和液压缸调节管路,通过改变气体弹簧的压强实现悬架刚度的无级调节,通过改变连通液压缸两腔的电磁比例阀的开度实现悬架阻尼的无级调节,通过双向电动油泵的工作改变液压缸两腔中油液体积来改变悬架高度。本发明能根据不同荷载、车速和路况平滑调节悬架刚度和阻尼特性,同时气体弹簧能够有效吸收来自路面的高频冲击,从而改善了车辆的行驶平顺性和操作稳定性;并可动态调节四轮悬架高度,从而提高车辆在极限工况下的行驶能力。



1. 一种刚度、阻尼和高度连续可调的全主动悬架,其特征在於,包括:液压缸、气体弹簧、刚度调节管路和液压缸调节管路;

所述液压缸通过活塞分为有杆腔(A-1)和无杆腔(A-2),所述液压缸的活塞杆与簧下质量件连接;

所述气体弹簧通过浮动活塞(B-2)分为气囊腔(B-1)和调节腔(B-3),且所述调节腔(B-3)的内壁上设有限位环(B-4),用以限制所述浮动活塞(B-2)在所述调节腔(B-3)中的位置;所述气体弹簧的刚性外壳与簧上质量件连接,所述气囊腔(B-1)底部的弹性隔膜与所述无杆腔(A-2)的顶部外壳连接;

所述刚度调节管路分别与所述调节腔(B-3)的进、出油口相连接,用于向所述调节腔(B-3)中注入、排出油液;

所述液压缸调节管路分别与所述有杆腔(A-1)的油口和无杆腔(A-2)的油口相连接,用于向其中注入、排出油液,并实现油液在两腔之间的流动。

2. 根据权利要求1所述的全主动悬架,其特征在於:所述刚度调节管路包括:单向阀(B-5)、电磁比例阀(B-6)、油泵(B-7)和油箱(B-8);

所述调节腔(B-3)的进油口通过所述单向阀(B-5)与所述油泵(B-7)的泵油口相连,所述油泵(B-7)的吸油口与所述油箱(B-8)相连,所述调节腔(B-3)的出油口通过所述电磁比例阀(B-5)与所述油箱(B-8)相连。

3. 根据权利要求1所述的全主动悬架,其特征在於:所述液压缸调节管路包括:电磁比例阀(A-3)、常开液压受控阀(A-4-1)、第一常闭液压受控阀(A-4-2)、第二常闭液压受控阀(A-4-3)、第一蓄能器(A-5-1)、第二蓄能器(A-5-2)、第一单向阀(A-6-1)、第二单向阀(A-6-2)、第三单向阀(A-6-3)、第四单向阀(A-6-4)和双向电动油泵(A-7);

所述无杆腔(A-2)的油口与所述有杆腔(A-1)的油口之间依次串联有所述第一常闭液压受控阀(A-4-2)、双向电动油泵(A-7)和第二常闭液压受控阀(A-4-3);

在所述第一常闭液压受控阀(A-4-2)的两端管路并联有第三单向阀(A-6-3),在所述第二常闭液压受控阀(A-4-3)的两端管路并联有第四单向阀(A-6-4);

所述第一蓄能器(A-5-1)连接在所述无杆腔(A-2)的油口和所述第一常闭液压受控阀(A-4-2)之间的管路上,所述第二蓄能器(A-5-2)连接在所述有杆腔(A-1)的油口和所述第二常闭液压受控阀(A-4-3)之间的管路上;

所述电磁比例阀(A-3)与所述常开液压受控阀(A-4-1)串联后的一端连接在所述无杆腔(A-2)的油口上,另一端连接在所述有杆腔(A-1)的油口上;

第一单向阀(A-6-1)和第二单向阀(A-6-2)并联后的一端与所述常开液压受控阀(A-4-1)的控制口相连,另一端分别与双向电动油泵(A-7)的两端相连;

所述第一常闭液压受控阀(A-4-2)的控制口连接在所述双向电动油泵(A-7)与第二单向阀(A-6-2)之间管路中;所述第二常闭液压受控阀(A-4-3)的控制口连接在所述双向电动油泵(A-7)与第一单向阀(A-6-1)之间管路中。

4. 根据权利要求1所述的全主动悬架,其特征在於,所述刚度调节管路的工作过程包括:

控制所述油泵(B-7)从所述油箱(B-8)中泵取油液,并通过所述单向阀(B-5)将所述油液注入所述调节腔(B-3)中,所述浮动活塞(B-2)下移并压缩所述气囊腔(B-1),使得所述气

囊腔(B-1)中气体压强升高,所述气体弹簧的刚度增大;

控制电磁比例阀(B-6)打开,使得油液从所述调节腔(B-3)中回到所述油箱(B-8)中,所述浮动活塞(B-2)上移,所述气囊腔(B-1)扩张,使得所述气囊腔(B-1)中气体压强降低,所述气体弹簧的刚度减小。

5.根据权利要求1所述的全主动悬架,其特征在于,是按如下步骤实现阻尼自适应调节:

步骤1、实时获取车轮和车身的垂向速度,并计算两者速度大小的差值,若差值没有超过设定阈值,则所述电磁比例阀(A-4-1)维持开度不变,否则,执行步骤2;

步骤2、判断两者速度方向,若同向,则按照差值的大小,成正比打开所述电磁比例阀(A-4-1)的开度,否则,按照差值的大小,成反比打开所述电磁比例阀(A-4-1)的开度。

6.根据权利要求1所述的全主动悬架,其特征在于,所述液压缸调节管路是按如下过程实现对悬架高度的调节:

当所述双向电动油泵(A-7)泵油并通过所述第三单向阀(A-6-3)向所述无杆腔(A-2)中注入油液,同时油液通过管路到达所述常开液压控制阀(A-4-1)和第二常闭液压控制阀(A-4-3)的控制口,使得所述常开液压控制阀(A-4-1)关闭和第二常闭液压控制阀(A-4-3)打开,使得阻尼调节失能,所述油液从所述有杆腔(A-1)中回流到所述双向电动油泵(A-7),使悬架高度升高;

当所述双向电动油泵(A-7)泵油并通过所述第四单向阀(A-6-4)向所述有杆腔(A-1)中注入油液,同时油液通过管路到达所述常开液压控制阀(A-4-1)和第一常闭液压控制阀(A-4-2)的控制口,使得所述常开液压控制阀(A-4-1)关闭和第一常闭液压控制阀(A-4-2)打开,使得阻尼调节失能,所述油液从所述无杆腔(A-2)中回流到所述双向电动油泵(A-7),使悬架高度降低。

## 一种刚度、阻尼、高度连续可调的全主动悬架

### 技术领域

[0001] 本发明属于车辆悬架领域,具体涉及一种刚度、阻尼、高度连续可调的全主动悬架。

### 背景技术

[0002] 悬架系统弹性地连接车身和车轮,传递车身和车轮间的一切作用力和力矩,在汽车行驶中不断缓和吸收路面不平造成的冲击和振动,保证驾乘舒适和货物完好。悬架系统是现代汽车重要组成部分,对汽车的行驶平顺性和操作稳定性有着至关重要的影响。

[0003] 随着技术发展和人民需求的提高,传统被动悬架已经走向末路,其不能调节的悬架刚度和阻尼不能适应汽车行驶路况、车速和载重的变化,减振效果较差。先进的主动悬架开始走入现实应用,它能够根据车辆运动工况和路面条件动态自适应调节悬架系统的刚度和阻尼特性,使悬架系统始终处于最佳减振状态,此外还能改变悬架高度,提高车辆的通过性和安全性。主动悬架主要包括空气悬架和主动液压悬架,空气悬架响应较慢,结构复杂,但对高频振动吸收效果良好,主动液压悬架响应迅速,能够实现精准快速的调节。

[0004] 中国专利CN202010054263.6公开了一种刚度和阻尼多级可调油气悬架及控制方法,通过外接多个节流阀和蓄能器,并使用多个开关电磁阀控制接入油气悬架中的节流阀数量和蓄能器数量,从而实现油气悬架系统阻尼和刚度的多级可调。但该悬架系统无法实现油气悬架刚度和阻尼的无级调节,也无法实现对悬架高度的精准调节,同时采用多个电控阀,系统可靠性不足。

### 发明内容

[0005] 本发明旨在解决现有技术存在的不足之处,提供了一种全主动悬架及其控制方法,通过控制液压油泵和电控阀的工作,实现对悬架的刚度、阻尼和高度的精确和无级调节,从而使车辆在行驶过程中获得更出色的平顺性和稳定性。此外,采用三个液压受控阀取代电控阀来控制油路的通断,使得高度调节更为可靠和迅速。

[0006] 本发明为达到上述发明目的,采用如下技术方案:

[0007] 本发明一种刚度、阻尼和高度连续可调的全主动悬架的特点在于,包括:液压缸、气体弹簧、刚度调节管路和液压缸调节管路;

[0008] 所述液压缸通过活塞分为有杆腔和无杆腔,所述液压缸的活塞杆与簧下质量件连接;

[0009] 所述气体弹簧通过浮动活塞分为气囊腔和调节腔,且所述调节腔的内壁上设有限位环,用以限制所述浮动活塞在所述调节腔中的位置;所述气体弹簧的刚性外壳与簧上质量件连接,所述气囊腔底部的弹性隔膜与所述无杆腔的顶部外壳连接;

[0010] 所述刚度调节管路分别与所述调节腔的进、出油口相连接,用于向所述调节腔中注入、排出油液;

[0011] 所述液压缸调节管路分别与所述有杆腔的油口和无杆腔的油口相连接,用于向其

中注入、排出油液,并实现油液在两腔之间的流动。

[0012] 本发明所述的全主动悬架的特点也在于:所述刚度调节管路包括:单向阀、电磁比例阀、油泵和油箱;

[0013] 所述调节腔的进油口通过所述单向阀与所述油泵的泵油口相连,所述油泵的吸油口与所述油箱相连,所述调节腔的出油口通过所述电磁比例阀与所述油箱相连。

[0014] 所述液压缸调节管路包括:电磁比例阀、常开液压受控阀、第一常闭液压受控阀、第二常闭液压受控阀、第一蓄能器、第二蓄能器、第一单向阀、第二单向阀、第三单向阀、第四单向阀和双向电动油泵;

[0015] 所述无杆腔的油口与所述有杆腔的油口之间依次串联有所述第一常闭液压受控阀、双向电动油泵和第二常闭液压受控阀;

[0016] 在所述第一常闭液压受控阀的两端管路并联有第三单向阀,在所述第二常闭液压受控阀的两端管路并联有第四单向阀;

[0017] 所述第一蓄能器连接在所述无杆腔的油口和所述第一常闭液压受控阀之间的管路上,所述第二蓄能器连接在所述有杆腔的油口和所述第二常闭液压受控阀之间的管路上;

[0018] 所述电磁比例阀与所述常开液压受控阀串联后的一端连接在所述无杆腔的油口上,另一端连接在所述有杆腔的油口上;

[0019] 第一单向阀和第二单向阀并联后的一端与所述常开液压受控阀的控制口相连,另一端分别与双向电动油泵的两端相连;

[0020] 所述第一常闭液压受控阀的控制口连接在所述双向电动油泵与第二单向阀之间管路中;所述第二常闭液压受控阀的控制口连接在所述双向电动油泵与第一单向阀之间管路中。

[0021] 所述刚度调节管路的工作过程包括:

[0022] 控制所述油泵从所述油箱中泵取油液,并通过所述单向阀将所述油液注入所述调节腔中,所述浮动活塞下移并压缩所述气囊腔,使得所述气囊腔中气体压强升高,所述气体弹簧的刚度增大;

[0023] 控制电磁比例阀打开,使得油液从所述调节腔中回到所述油箱中,所述浮动活塞上移,所述气囊腔扩张,使得所述气囊腔中气体压强降低,所述气体弹簧的刚度减小。

[0024] 本发明所述的全主动悬架是按如下步骤实现阻尼自适应调节:

[0025] 步骤1、实时获取车轮和车身的垂向速度,并计算两者速度大小的差值,若差值没有超过设定阈值,则所述电磁比例阀维持开度不变,否则,执行步骤2;

[0026] 步骤2、判断两者速度方向,若同向,则按照差值的大小,成正比打开所述电磁比例阀的开度,否则,按照差值的大小,成反比打开所述电磁比例阀的开度。

[0027] 所述液压缸调节管路是按如下过程实现对悬架高度的调节:

[0028] 当所述双向电动油泵泵油并通过所述第三单向阀向所述无杆腔中注入油液,同时油液通过管路到达所述常开液压控制阀和第二常闭液压控制阀的控制口,使得所述常开液压控制阀关闭和第二常闭液压控制阀打开,使得阻尼调节失能,所述油液从所述有杆腔中回流到所述双向电动油泵,使悬架高度升高;

[0029] 当所述双向电动油泵泵油并通过所述第四单向阀向所述有杆腔中注入油液,同时

油液通过管路到达所述常开液压控制阀和第一常闭液压控制阀的控制口,使得所述常开液压控制阀关闭和第一常闭液压控制阀打开,使得阻尼调节失能,所述油液从所述无杆腔中回流到所述双向电动油泵,使悬架高度降低。

[0030] 与已有技术相比,本发明的有益效果体现在:

[0031] 1. 本发明提供的全主动悬架能够无级调节其刚度和阻尼特性,在不同荷载、速度和路况下始终保持车辆良好的驾乘感受;

[0032] 2. 本发明使用液压系统改变悬架高度,响应速度快控制精度高,能够在高速过弯、急加减速和越野行驶等极限工况下调节悬架高度,提高车辆操作稳定性;

[0033] 3. 本发明使用液压控制阀取代部分电控阀,在悬架高度调节时失能悬架阻尼调节并保证油液的正确流向,提高了系统可靠性和高度调节的速度。

## 附图说明

[0034] 图1为本发明的全主动悬架的结构示意图。

## 具体实施方式

[0035] 本实施例中,如图1所示,一种刚度、阻尼和高度连续可调的全主动悬架,包括液压缸、气体弹簧、刚度调节管路和液压缸调节管路。

[0036] 液压缸为柱塞式结构,通过活塞分为有杆腔A-1和无杆腔A-2,两腔各开有一个油口,液压缸的活塞杆与簧下质量件连接。

[0037] 气体弹簧通过浮动活塞B-2分为气囊腔B-1和调节腔B-3,调节腔B-3的内壁上设有限位环B-4用来限制浮动活塞B-2在调节腔B-3中的位置;气囊腔B-1底部的弹性隔膜与无杆腔A-2的顶部外壳连接,气体弹簧的刚性外壳与簧上质量件连接。

[0038] 调节腔B-3的进油口通过单向阀B-5与油泵B-7的泵油口相连,油泵B-7的吸油口与油箱B-8相连,调节腔B-3的出油口通过电磁比例阀B-5与油箱B-8相连形成刚度调节管路。

[0039] 无杆腔A-1的油口与有杆腔A-2的油口之间依次串联有第一常闭液压受控阀A-4-2、双向电动油泵A-7和第二常闭液压受控阀A-4-3;第一常闭液压受控阀A-4-2的两端管路并联有第三单向阀A-6-3,第二常闭液压受控阀A-4-3的两端管路并联有第四单向阀A-6-4;第一蓄能器A-5-1连接在无杆腔A-2的油口和第一常闭液压受控阀A-4-2之间的管路上,第二蓄能器A-5-2连接有杆腔A-1的油口和第二常闭液压受控阀A-4-3之间的管路上;电磁比例阀A-3与常开液压受控阀A-4-1串联后的一端连接在无杆腔A-2的油口上,另一端连接在有杆腔A-1的油口上;第一单向阀A-6-1和第二单向阀A-6-2并联后的一端与常开液压受控阀A-4-1的控制口相连,另一端分别与双向电动油泵A-7的两端相连;第一常闭液压受控阀A-4-2的控制口连接在双向电动油泵A-7与第二单向阀A-6-2之间管路中,第二常闭液压受控阀A-4-3的控制口连接在双向电动油泵A-7与第一单向阀A-6-1之间管路中,通过以上连接形成液压缸调节管路。

[0040] 通常情况下,我们希望悬架刚度能够根据不同的路面情况和驾驶需求进行改变,当路面平整或车辆处于运动模式时,大刚度有助于提高汽车的操控稳定性和悬架的支撑性,当路面崎岖或车辆处于舒适模式时,小刚度能够有效吸收路面冲击保持优良的驾乘感受。本发明通过改变气囊腔中气体压强实现悬架刚度的无级调节,气囊腔可视作空气弹簧,

空气弹簧支撑载荷可简化为 $F = (P - P_a)A$ , 式中: $F$ —支撑载荷; $P$ —气体绝对压强; $P_a$ —标准大气压; $A$ —有效工作面积。认为气囊腔中气体为理想气体, 可得 $PV^n = \text{const}$ , 式中: $n$ —多方指数。弹簧刚度 $K$ 可通过空气弹簧承载 $F$ 对弹簧位移 $x$ 求导得出: $K = -\frac{dF}{dx} = (P - P_a)\frac{\partial A}{\partial x} + \frac{nA^2P}{V}$ , 通

常活塞有效工作面积的变化率 $\frac{\partial A}{\partial x}$ 很小, 忽略不计可得空气弹簧刚度 $K = \frac{nA^2P}{V}$ , 故改变气囊腔的体积和气体压强可改变其刚度。

[0041] 增大刚度时控制油泵B-7从所述油箱B-8中泵取油液, 并通过单向阀B-5将油液注入调节腔B-3中推动浮动活塞B-2下移, 压缩气囊腔B-1, 使得气囊腔B-1中气体压强升高; 减小刚度时控制打开电磁比例阀B-6, 使得油液从调节腔B-3中回流到油箱B-8中, 浮动活塞B-2上移, 气囊腔B-1扩张, 使得气囊腔B-1中气体压强降低。

[0042] 当车辆通过不平路面时, 路面冲击由车轮传递到悬架系统, 液压缸活塞将往复运动, 油液流经电磁比例阀A-3时消耗能量, 达到减振目的。通过控制电磁比例阀A-3的开度大小即可调节悬架阻尼, 开度越大阻尼越小。本发明的全主动悬架是按如下步骤实现阻尼自适应调节:

[0043] 步骤一、实时获取车轮和车身的垂向速度, 并计算两者速度大小的差值, 若差值没有超过设定阈值, 则电磁比例阀A-4-1维持开度不变, 否则, 执行步骤2;

[0044] 步骤2、判断两者速度方向, 若同向, 则按照差值的大小, 成正比打开电磁比例阀A-4-1的开度, 否则, 按照差值的大小, 成反比打开电磁比例阀A-4-1的开度。

[0045] 车辆在实际行驶中常常有悬架高度调节的必要, 例如车辆在良好路面高速行驶时降低悬架高度可有效减小空气阻力, 车辆在弯道行驶时抬高外侧悬架高度可提高过弯稳定性, 在急加减速时调节悬架高度抑制车辆俯仰运动。

[0046] 本发明通过双向电动油泵的工作改变液压缸两腔中油液体积来调节悬架高度, 当双向电动油泵A-7泵油并通过第三单向阀A-6-3向无杆腔A-2中注入油液, 同时油液通过管路到达常开液压控制阀A-4-1和第二常闭液压控制阀A-4-3的控制口, 常开液压控制阀A-4-1关闭和第二常闭液压控制阀A-4-3打开, 使得阻尼调节失能, 油液从有杆腔A-1中回流到双向电动油泵A-7, 无杆腔A-2油液体积增大有杆腔A-1油液体积减小, 活塞杆下移使悬架高度升高; 当双向电动油泵A-7泵油并通过第四单向阀A-6-4向有杆腔A-1中注入油液, 同时油液通过管路到达常开液压控制阀A-4-1和第一常闭液压控制阀A-4-2的控制口, 常开液压控制阀A-4-1关闭和第一常闭液压控制阀A-4-2打开, 使得阻尼调节失能, 油液从所述无杆腔A-2中回流到双向电动油泵A-7, 有杆腔A-1油液体积增大有杆腔A-2油液体积减小, 活塞杆上移使悬架高度下降。

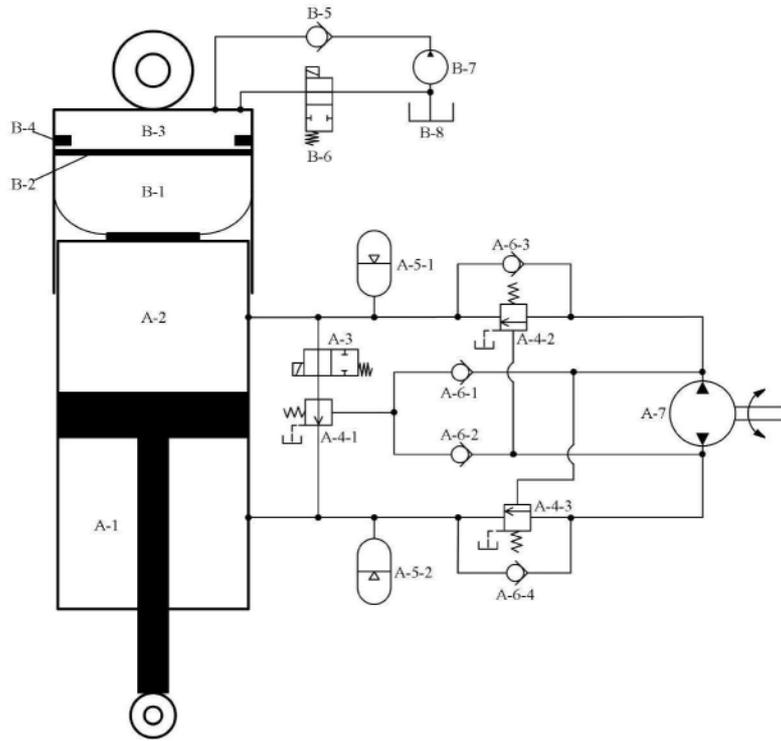


图1