(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103963590 A
(43)申请公布日 2014.08.06

(21)申请号 201410211391.1

(22)申请日 2014.05.19

(71)申请人 清华大学
地址 100084 北京市海淀区 100084 信箱 82 分箱清华大学专利办公室

(72)发明人 赵景山 梁新成 刘向

(74)专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司 11327
代理人 邸更岩

(51)Int.Cl.
B60G 11/02(2006.01)

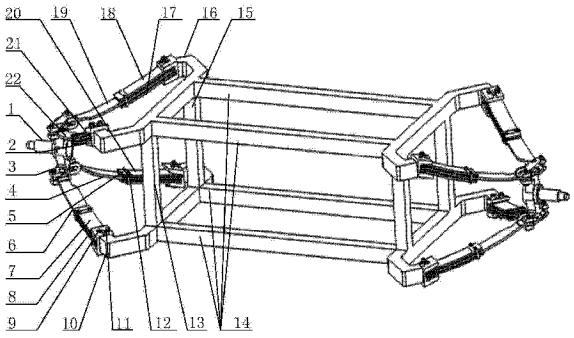
权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54)发明名称

一种具有冲击载荷缓冲功能的半独立式钢板弹簧悬架结构

(57)摘要

一种具有冲击载荷缓冲功能的半独立式钢板弹簧悬架结构，该结构中每个悬架总成包括转向节、四个主钢板和四根连杆；其中转向节、主钢板和连杆之间分别组成二个四边形机构；第一个四边形机构和第二个四边形机构关于转向节的中心水平面对称。四个主钢板为转向节提供过约束；每个悬架总成还包括八个副钢板，八个副钢板和四个主钢板分别组成四个支链；每个主钢板与副钢板之间通过钢卡子实现约束定位。本发明以两个四边形机构对转向节形成过约束，使其侧向刚度得到了极大增强，其抵御变形和抗侧翻能力得到了较大改善；与车辆使用的非独立式悬架相比，能显著缩短车轴的外伸部分，降低悬架的自重，提高可靠性和使用寿命。



CN 103963590 A

1. 一种具有冲击载荷缓冲功能的半独立式钢板弹簧悬架结构，含有两个悬架总成，该两个悬架总成通过副车架相连，并相对汽车几何中心对称布置，其特征在于：每个悬架总成包括转向节 (1)、主钢板以及连杆组件；所述的主钢板包括第一主钢板 (4)、第二主钢板 (6)、第三主钢板 (19) 和第四主钢板 (22)；所述连杆组件包括第一连杆 (10)、第二连杆 (13)、第三连杆 (15) 和第四连杆 (16)，其中转向节 (1)、第一主钢板 (4)、第二主钢板 (6) 和第一连杆 (10) 构成第一四边形机构；转向节 (1)、第三主钢板 (19)、第四主钢板 (22) 及第四连杆 (16) 组成第二四边形机构；且第一、第二个四边形机构关于转向节 (1) 的中心水平面对称；第一主钢板 (4) 和第二主钢板 (6) 的一端分别固定在第一连杆 (10) 的槽孔中，第一主钢板 (4) 和第二主钢板 (6) 的另一端在转向节 (1) 的槽孔中移动；第三主钢板 (19) 和第四主钢板 (22) 的一端分别固定在第四连杆 (16) 的槽孔中，第三主钢板 (19) 和第四主钢板 (22) 的另一端在转向节 (1) 的槽孔中移动；第一主钢板 (4)、第二主钢板 (6)、第三主钢板 (19) 和第四主钢板 (22) 对转向节 (1) 实现过约束。

2. 根据权利要求 1 的半独立式钢板弹簧悬架结构，其特征在于：每个总成还包括八个副钢板，分别是第一副钢板 (2)、第二副钢板 (7)、第三副钢板 (8)、第四副钢板 (12)、第五副钢板 (17)、第六副钢板 (18)、第七副钢板 (20) 和第八副钢板 (21)；第一主钢板 (4)、第四副钢板 (12) 和第七副钢板 (20) 共同组成第一支链 (30)；其中第四副钢板 (12) 和第七副钢板 (20) 分别与第一主钢板 (4) 的一端共轴线固接，第四副钢板 (12) 和第七副钢板 (20) 的另一端由钢卡子 (5) 进行约束；第二主钢板 (6) 与第二副钢板 (7) 和第三副钢板 (8) 组成第二支链 (31)，第二副钢板 (7) 和第三副钢板 (8) 由钢卡子 (5) 进行约束；第三主钢板 (19) 与第五副钢板 (17) 和第六副钢板 (18) 组成的第三支链 (32)，由钢卡子 (5) 进行约束；第四主钢板 (22) 与第一副钢板 (2) 和第八副钢板 (21) 组成第四支链 (33)，由钢卡子 (5) 进行约束。

3. 根据权利要求 1 或 2 的半独立式钢板弹簧悬架结构，其特征在于：第一主钢板 (4) 和第三主钢板 (19) 的竖直侧面共面；第二主钢板 (6) 和第四主钢板 (22) 的竖直侧面共面；第一连杆 (10) 和第四连杆 (16) 的竖直侧面共面。

4. 根据权利要求 2 的半独立式钢板弹簧悬架结构，其特征在于：第一支链 (30) 和第二支链 (31) 的夹角为 90°，第三支链 (32) 和第四支链 (33) 的夹角为 90°。

5. 根据权利要求 2 的半独立式钢板弹簧悬架结构，其特征在于：在第一支链 (30)、第二支链 (31)、第三支链 (33) 和第四支链 (33) 中的每块主、副钢板之间均安装有预压力的橡胶板 (29)。

6. 根据权利要求 1 或 2 的半独立式钢板弹簧悬架结构，其特征在于：第一主钢板 (4)、第二主钢板 (6)、第三主钢板 (19) 和第四主钢板 (22) 分别与转向节 (1) 相连的一端设有防干涉缺口 (23)。

一种具有冲击载荷缓冲功能的半独立式钢板弹簧悬架结构

技术领域

[0001] 本发明涉及一种能广泛应用于中重载车辆的悬架结构，特别涉及一种采用钢板弹簧的多轴重载车辆的半独立式悬架结构。

背景技术

[0002] 悬架是连接车轮和车身的重要部件，其主要功能是将路面作用于车轮上的垂直反力、纵向反力、侧向反力以及力矩传递到车架上，以保证车辆的正常行驶。鉴于悬架的性能在很大程度上决定车辆的平顺性、操纵稳定性和行驶安全性，各汽车生产企业竞相提高悬架的性能。尽管各种悬架具体的结构不同，但根据左右两侧车轮在不平路面激励的振动是否影响分为非独立式悬架和独立式悬架。载货汽车特别是多轴重载汽车，国内现在以多片钢板弹簧为特征的非独立式悬架为主，且多片钢板弹簧都是以梁的方式工作，在单向载荷的作用下发生弯曲，长度不等的钢板组成一个近似于等强度的弹性梁，其刚度大小变化呈不连续状，能缓冲和衰减路面传递的振动能量。

[0003] 钢板弹簧的优势在于实现导向机构、减振器、弹性元件的三项功能合一，具有可靠性好、结构简单、制造流程短、成本低等优点，因而成为重型载货车的主流配件。但多片钢板弹簧的缺点是材料的利用率低、舒适性差、自重偏大、卷耳处易磨损、长期使用易产生噪音、纵向尺寸较长不利于缩短汽车的后悬、需定期维护、仅适用于非独立式悬架等。同时为满足一定的转向角度，纵向布置的钢板弹簧常常造成车轴的外伸部分较大，间接降低了刚度和燃油经济性。此外，非独立式悬架结构也造成左右车轮振动的相互影响，易出现部件的早期失效。现阶段钢板弹簧的发展趋势是多片弹簧向少片弹簧过渡。多片钢板弹簧占汽车重量8％～9％，其材料利用率为60％左右，在承受相同载荷的前提下少片弹簧的材料利用率为75％～85％，重量减轻约50％，能显著地改善车辆的燃油经济性。尽管少片钢板弹簧在功能上能够代替多片钢板弹簧，但在推广中其可靠性难以获得消费者认可。汽车用户特别是长途车运输用户担心一旦断裂会造成重大事故，特别是在路面较差时这种忧虑尤为强烈。这种不必要的忧虑造成少片弹簧的推广步履维艰，对企业而言继续使用多片弹簧结构将造成设备投入资金大、产品成本较高、销售价格高、综合竞争力差等不足。

[0004] 空气弹簧在欧美发达国家已经有70多年的发展历史，二十世纪五十年代，空气弹簧开始应用在重载车、小轿车、大客车及铁道车辆上。到六十年代，德国、美国等工业发达国家生产的大部分公共汽车中装有了空气弹簧。由于其突出的道路友好性，目前欧美地区95％的客车、80％的货车和40％的挂车都已使用空气悬架系统，而我国仍处于起步阶段，空气弹簧只应用在一些豪华客车和少部分重型货车和挂车上。空气弹簧未能在我国大规模应用的原因是超载性不好，加之价格昂贵维修不方便、物流业竞争激烈利润微薄，所以一直不被客户接受，只能在精密仪器、电子设备等特殊货物的运输中有所应用。

[0005] 基于国内外悬架发展的现状和趋势，在今后相当长的一段时间内，国内汽车悬架仍以使用钢板弹簧为主。因此，对钢板弹簧的结构进行改进是现阶段合理的选择。

发明内容

[0006] 本发明的目的是：针对现有载货车辆使用的多片钢板弹簧和少片钢板弹簧的不足，提供一种具有冲击载荷缓冲功能的半独立式钢板弹簧悬架结构，以消除现有应用钢板弹簧为特征的非独立式悬架的缺陷，提高悬架结构的刚度、强度和使用寿命，使其具有更好的燃油经济性、平顺性和操纵稳定性、转向灵活性等评价指标。

[0007] 本发明通过如下技术方案实现：一种具有冲击载荷缓冲功能的半独立式钢板弹簧悬架结构，含有两个悬架总成，该两个悬架总成通过副车架相连，并相对汽车几何中心对称布置，其特征在于：每个悬架总成包括转向节、主钢板以及连杆组件；所述的主钢板包括第一主钢板、第二主钢板、第三主钢板和第四主钢板；所述连杆组件包括第一连杆、第二连杆、第三连杆和第四连杆，其中转向节、第一主钢板、第二主钢板和第一连杆构成第一四边形机构；转向节、第三主钢板、第四主钢板及第四连杆组成第二四边形机构；且第一四边形、第二四边形机构关于转向节的中心水平面对称；第一主钢板和第二主钢板的一端分别固定在第一连杆的槽孔中，第一主钢板和第二主钢板的另一端在转向节的槽孔中移动；第三主钢板和第四主钢板的一端分别固定在第四连杆的槽孔中，第三主钢板和第四主钢板的另一端在转向节的槽孔中移动；第一主钢板、第二主钢板、第三主钢板和第四主钢板对转向节实现过约束。

[0008] 本发明的又一技术特征是：每个悬架总成还包括八个副钢板，分别是第一副钢板、第二副钢板、第三副钢板、第四副钢板、第五副钢板、第六副钢板、第七副钢板和第八副钢板；第一主钢板、第四副钢板和第七副钢板共同组成第一支链；其中第四副钢板和第七副钢板分别与第一主钢板的一端共轴线固接，第四副钢板和第七副钢板的另一端由钢卡子进行约束；第二主钢板与第二副钢板和第三副钢板组成第二支链；其中第二副钢板与第三副钢板和第二主钢板的一端共轴线固接，第二副钢板和第三副钢板的另一端由钢卡子进行约束；第三主钢板与第五副钢板和第六副钢板组成第三支链；其中第五副钢板和第六副钢板分别与第三主钢板的一端共轴线固接，第五副钢板和第六副钢板另一端由钢卡子进行约束；第四主钢板与第一副钢板和第八副钢板组成第四支链；其中第一副钢板与第八副钢板和第四主钢板的一端共轴线固接，第一副钢板和第八副钢板的另一端由钢卡子进行约束。

[0009] 本发明的另一技术特征是：第一主钢板和第三主钢板的竖直侧面共面；第二主钢板和第四主钢板的竖直侧面共面；第一连杆和第四连杆的竖直侧面共面。

[0010] 本发明的又一技术特征是：所述第一支链和第二支链的夹角为 90°，第三支链和第四支链的夹角为 90°。

[0011] 本发明的技术特征还在于：在第一支链、第二支链、第三支链和第四支链中的每块主、副钢板之间均安装有预压力的橡胶板。第一主钢板、第二主钢板、第三主钢板和第四主钢板分别与转向节相连的一端设有防干涉缺口。

[0012] 本发明与现有技术相比，具有以下优点及突出的技术效果：①具有部分独立悬架的优势，左右车轮的振动互不影响，平顺性得到提高；②过约束设计增强了垂直载荷的承载能力，抵御超载对钢板弹簧疲劳寿命的影响；③过约束设计继承了少片钢板弹簧的优点，又消除了其推广中顾客的认可障碍；④过约束设计继承了多片钢板弹簧的优点，显著降低了自重并改善了燃油经济性；⑤主副钢板之间设有橡胶板，既能减小钢板之间的磨损，降低噪音，又较好的延长了弹性元件的寿命；⑥和独立式悬架相比，过约束设计使得其侧向刚度得

到了极大增强，其抵御变形和抗侧翻能力得到了较大改善；⑦和车辆使用的一般非独立式悬架相比，该机构能显著缩短车轴的外伸部分，进一步降低车轴重量，提高悬架的刚度。

[0013] 总之，本发明的结构继承了钢板弹簧的所有优点，克服了多片与少片钢板弹簧的不足，提高了悬架整体的安全性、操稳性和平顺性。此外，与传统的非独立式悬架相比，其占用的空间显著减少，易于布置和优化。

附图说明

[0014] 图 1 是本发明的总体结构示意图。

[0015] 图 2 是转向节的结构图。

[0016] 图 3 是第一连杆的结构图。

[0017] 图 4 是第一主钢板的结构图。

[0018] 图 5 是第一主钢板和第二主钢板的防干涉示意图。

[0019] 图 6 是第一副钢板的结构图。

[0020] 图 7 是钢卡子的结构图。

[0021] 图 8 是橡胶板结构图。

[0022] 图 9 是悬架系统的第一支链结构图。

[0023] 图 10 是第一支链和第一连杆的局部装配视图。

[0024] 图 11 是第一支链、第二支链、第三支链和第四支链与转向节装配的局部视图。

[0025] 图中：1- 转向节；2- 第一副钢板；3- 销子；4- 第一主钢板；5- 钢卡子；6- 第二主钢板；；7- 第二副钢板；8- 第三副钢板；9- 螺栓；10- 第一连杆；11- 螺母；12- 第四副钢板；13- 第二连杆；14- 副车架；15- 第三连杆；16- 第四连杆；17- 第五副钢板；18- 第六副钢板；19- 第三主钢板；20- 第七副钢板；21- 第八副钢板；22- 第四主钢板；23- 主钢板缺口；24- 转向节销孔；25- 第一连杆销孔；26- 第一主钢板销孔；27- 限位块；28- 钢卡子螺纹孔；29- 橡胶板；30- 第一支链；31- 第二支链；32- 第三支链；33- 第四支链

具体实施方式

[0026] 下面结合附图对本发明的结构原理和具体实施方式做进一步说明。

[0027] 图 1 为本发明提供的一种具有冲击载荷缓冲功能的半独立式钢板弹簧悬架结构，该悬架结构含有两个悬架总成，两个悬架总成通过副车架相连，并相对汽车几何中心对称布置；所述每个悬架总成包括转向节 1、主钢板以及连杆组件；所述的主钢板包括第一主钢板 4、第二主钢板 6、第三主钢板 19 和第四主钢板 22；所述连杆组件包括第一连杆 10、第二连杆 13、第三连杆 15 和第四连杆 16，其中转向节 1、第一主钢板 4、第二主钢板 6 和第一连杆 10 构成第一四边形机构；转向节 1、第三主钢板 19、第四主钢板 22 及第四连杆 16 组成第二四边形机构；且第一、第二四边形机构关于转向节 1 的中心水平面对称；第一主钢板 4 和第二主钢板 6 的一端分别固定在第一连杆 10 的槽孔中，第一主钢板 4 和第二主钢板 6 的另一端在转向节 1 的槽孔中移动；第三主钢板 19 和第四主钢板 22 的一端分别固定在第四连杆 16 的槽孔中，第三主钢板 19 和第四主钢板 22 的另一端在转向节 1 的槽孔中移动；第一主钢板 4、第二主钢板 6、第三主钢板 19 和第四主钢板 22 分别具有一个运动自由度，对转向节 1 实现过约束。

[0028] 每个总成还包括八个副钢板，分别是第一副钢板 2、第二副钢板 7、第三副钢板 8、第四副钢板 12、第五副钢板 17、第六副钢板 18、第七副钢板 20 和第八副钢板 21；第一主钢板 4、第四副钢板 12 和第七副钢板 20 共同组成第一支链 30；其中第四副钢板 12 和第七副钢板 20 分别与第一主钢板 4 的一端共轴线固接，第四副钢板 12 和第七副钢板 20 的另一端由钢卡子 5 进行约束；第二主钢板 6 与第二副钢板 7 和第三副钢板 8 组成第二支链 31，第二副钢板 7 和第三副钢板 8 由钢卡子 5 进行约束；第三主钢板 19 与第五副钢板 17 和第六副钢板 18 组成的第三支链 32，由钢卡子 5 进行约束；第四主钢板 22 与第一副钢板 2 和第八副钢板 21 组成第四支链 33，由钢卡子 5 进行约束。

[0029] 图 2 为转向节 1 的结构图，与普通的转向节相比，在结构上做了一些改变，主要是增加了一些槽孔，用于安装第一主钢板 4、第二主钢板 6、第三主钢板 19 和第四主钢板 22。转向节 1 在四个支链的约束下，只有沿竖直方向的运动自由度。在路面激励的作用下，实现车轮在竖直方向的跳动。当垂直载荷加载于第一主钢板 4、第二主钢板 6、第三主钢板 19 和第四主钢板 22 时，其移动端分别在转向节 1 的槽孔中滑动，实现变刚度。

[0030] 图 3 为第一连杆 10 的结构简图，其功能主要是为第一主钢板 4 和第二主钢板 6、第二副钢板 7、第三副钢板 8、第四副钢板 12 和第七副钢板 20 提供安装接口，并与副车架 14 相连。第一连杆 10 和第四连杆 16 的结构完全相同。在第一主钢板 4、第二主钢板 6、第三主钢板 19 和第四主钢板 22 分别与转向节 1 相连的一端设有防干涉缺口 23。

[0031] 图 4 是第一主钢板 4 的结构简图，其一端设有两个销孔与第一连杆 10 相接，与转向节 1 相连一端设有缺口 23 和限位块 27。第一主钢板 4 和第三主钢板 19 的结构相同，第二主钢板 6 和第四主钢板 22 的结构也完全相同，而第二主钢板 6 和第一主钢板 4 相比仅仅是去除材料的位置有差异。

[0032] 图 5 为第一主钢板 4 和第二主钢板 6 在转向节 1 的局部视图，通过对第一主钢板 4 和第二主钢板 6 与转向节 1 相连的末端去除材料，避免了车轮跳动时第一主钢板 4 和第二主钢板 6 可能的运动干涉。

[0033] 图 6 是第一副钢板 2 的结构简图，其一端设有两个销孔，实现和第四主钢板 22、橡胶板 29 和第四连杆 16 的固接，另一端通过钢卡子 5 进行运动约束。

[0034] 图 7 是刚卡子 5 的结构简图，其断开的一侧设有两个螺纹孔，用以紧固主钢板、橡胶板和副钢板。为消除应力集中，在沟槽等形状发生较大变化的地方进行了圆弧过渡。

[0035] 图 8 是橡胶板 29 的结构简图，与副钢板的结构类似，其一端设有两个销孔，为主钢板、副钢板和连杆的固定提供接口。

[0036] 图 9 是第一支链的结构简图，第一主钢板 4 居中，在第一主钢板 4 的两侧设有两个橡胶板 29，在橡胶板 29 未与第一主钢板 4 相连的一侧分别设有第四副钢板 12 和第七副钢板 20，在第一主钢板 4、橡胶板 29、第四副钢板 12 和第七副钢板 20 未设有销孔的一侧安装钢卡子 5 进行约束。

[0037] 图 10 是第二支链与第一连杆 10 安装的局部视图，该图清晰地描述出第一连杆 10、橡胶板 29、第二主钢板 6、第二副钢板 7 和第三副钢板 8 的安装细节。

[0038] 图 11 是第一支链 30、第二支链 31、第三支链 32 和第四支链 33 与转向节 1 相连的视图，可以看出四个支链与转向节 1 的位置关系。

[0039] 为增强悬架结构的刚度和强度，第一主钢板 4、第四副钢板 12 和第七副钢板 20 组

成的第一支链 30 ;第二主钢板 6、第二副钢板 7 和第三副钢板 8 组成的第二支链 31 ;第三主钢板 19、第五副钢板 17 和第六副钢板 18 组成的第三支链 32 ;第四主钢板 22、第一副钢板 2 和第八副钢板 21 组成第四支链 33。为了减小主钢板、副钢板之间的摩擦,在任一主钢板和副钢板之间设有一定预压力的橡胶板 29,能有效缓解尖脉冲对钢板的冲击作用。

[0040] 为获得最佳的力学特性,第一主钢板 4 和第二主钢板 6、第三主钢板 19 和第四主钢板 22 之间的夹角分别为 90° 。第一主钢板 4、第二主钢板 6、第三主钢板 19 和第四主钢板 22 与转向节 1 连接的末端进行了灵巧设计,有效避开了主钢板外伸时可能产生的干涉。具体的描述如下,为防止第一主钢板 4 和第二主钢板 6 干涉,在第一主钢板 4 的一端设有缺口 23,即以其厚度的中心面为基准,将第一主钢板 4 的一部分材料去除 ;在第二主钢板 6 有缺口的一端,以其厚度的中心面为基准,在相反方向将一部分材料去除,去除材料后的效果见附图 4。这样即使第一主钢板 4 和第二主钢板 6 的末端位置重合时,由于第一主钢板 4 和第二主钢板 6 末端的平面存在间隙,在一定的范围内能完全避免干涉。参考图 2、图 4 和图 5,第三主钢板 19 和第四主钢板 22 的防干涉原理与之相同。

[0041] 以包含第二主钢板 6 的第二支链 31 为例,其在悬架系统中的安装顺序如下 :先将副车架 14 和转向节 1 放置在合适的位置,第二主钢板 6 在第二副钢板 7 和第三副钢板 8 的之间,其一端共轴线固接 ;将第二支链 31 中的第二主钢板 6 有缺口 23 一端与转向节 1 的内侧相切,该端的另一侧与转向节 1 的销子 3 接触,支链的另一端插入到第一连杆 10 的孔中,并用螺栓 9 紧固。这就解决了第二主钢板 6 的安装问题,并保证了其具有一个移动的自由度可以在槽孔移动。当第二主钢板 6 在垂直载荷的作用下向悬架中心运动时,转向节 1 内侧的槽孔和第二主钢板 6 的限位块 27 将阻止其超出预定的运动范围。当第二主钢板 6 相对转向节 1 运动时,承力部位主要在第二主钢板 6 有缺口 23 一侧的圆柱体上,为减小磨损和延长部件的使用寿命,需要定期对圆柱体进行润滑保养。对设计的悬架机构进行自由度分析知其为过约束设计,可保证当一个支链或者两个支链都发生失效时,与转向节 1 相连的车轮的运动径迹依然是可控的。在承受垂直载荷方面,与传统多轴重载汽车使用多片钢板弹簧相比,设计的悬架结构的过约束能使其承受载荷的能力和可靠性提高近一倍 ;与重载汽车使用少片钢板弹簧相比,设计的悬架能有效消除用户对其可靠性和寿命的忧虑,彻底解决其推广面临的窘境。在承受侧向载荷方面,第一主钢板 4 和第二主钢板 6、第三主钢板 19 和第四主钢板 22 之间 90° 夹角使其具有最佳的力学性能,过约束设计将使其侧向刚度和抗侧翻力矩变大,使其行驶安全性得以提升。设计的悬架除了垂向刚度和侧向刚度增强之外,四个支链对于车身和车轮的连接,既不是非独立式悬架之间的刚性连接,又不是独立式悬架之间断开连接,而是介于二者之间部分具有独立悬架的特性。主钢板和副钢板之间设有预压力的橡胶板 29,能有效缓冲尖峰脉冲对主钢板的冲击,即使在恶劣的路况上行驶时,因钢板弹簧缓冲并消耗了绝大部分振动能量,加之左右车轮之间的振动互不影响,这就较好解决了汽车使用非独立悬架振动幅度大、部件寿命不足的缺陷。总之,设计的悬架既全面继承了多片钢板弹簧和少片钢板弹簧的优点,又在有效避免各自缺陷的前提下具有更好的平顺性、燃油经济性、转向灵活性、操纵稳定性和行驶安全性。此外,在现有技术条件下批量化生产不存在任何技术上的障碍,具有广阔的市场前景。

[0042] 在本发明中,没有对悬架涉及到的其他部件如万向节、轴承等部件进行论述,原因是这些部件没有涉及到结构的本质特征。可以根据不同载车型具体的使用工况、各部件的

具体尺寸等已知参数选择这些部件合适的类型和参数。

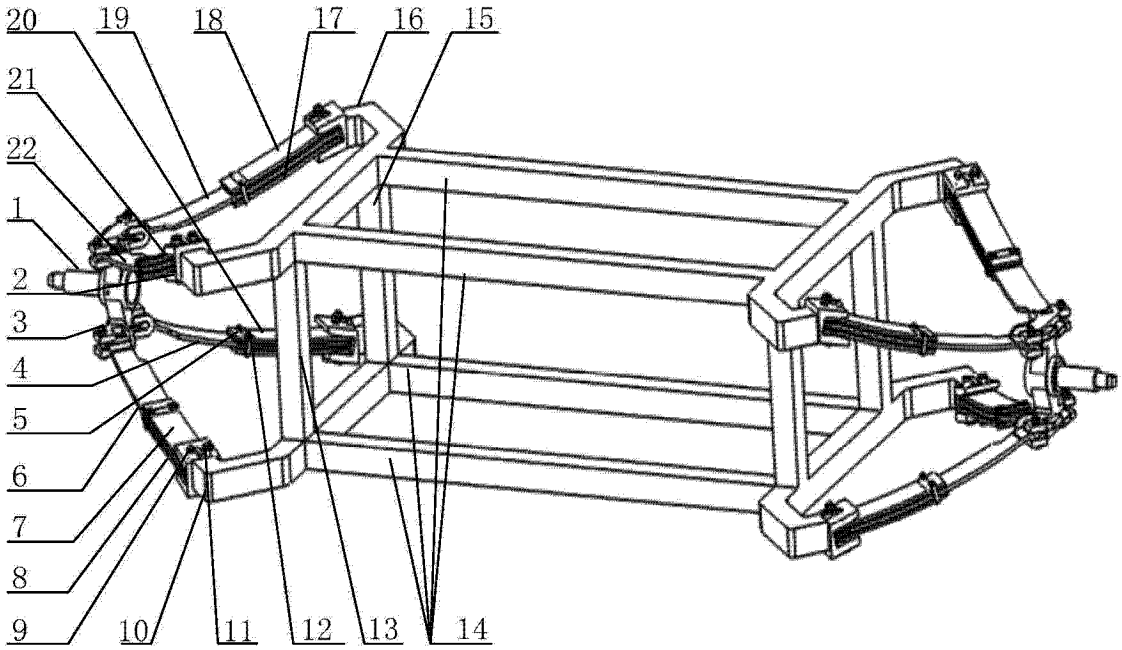


图 1

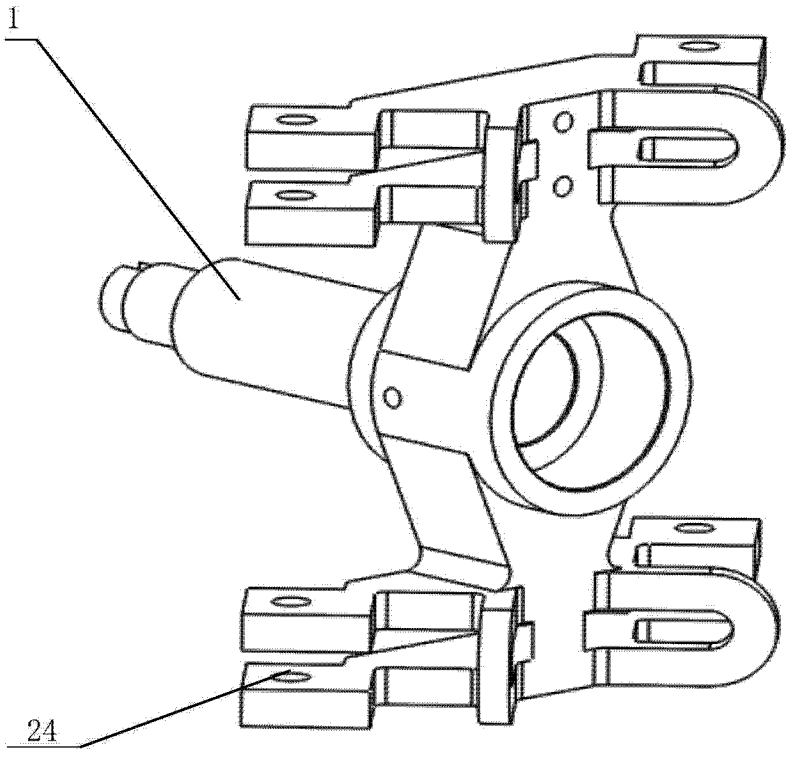


图 2

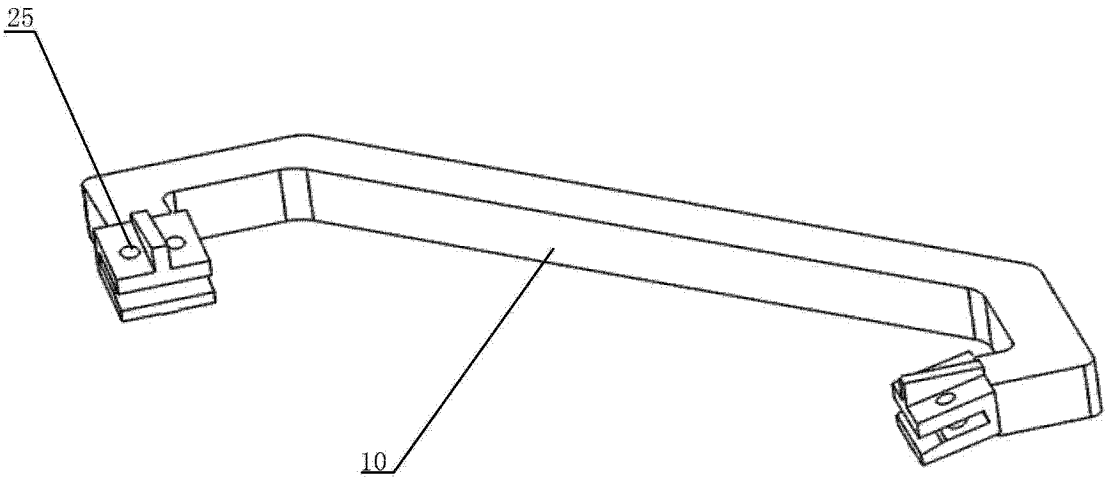


图 3

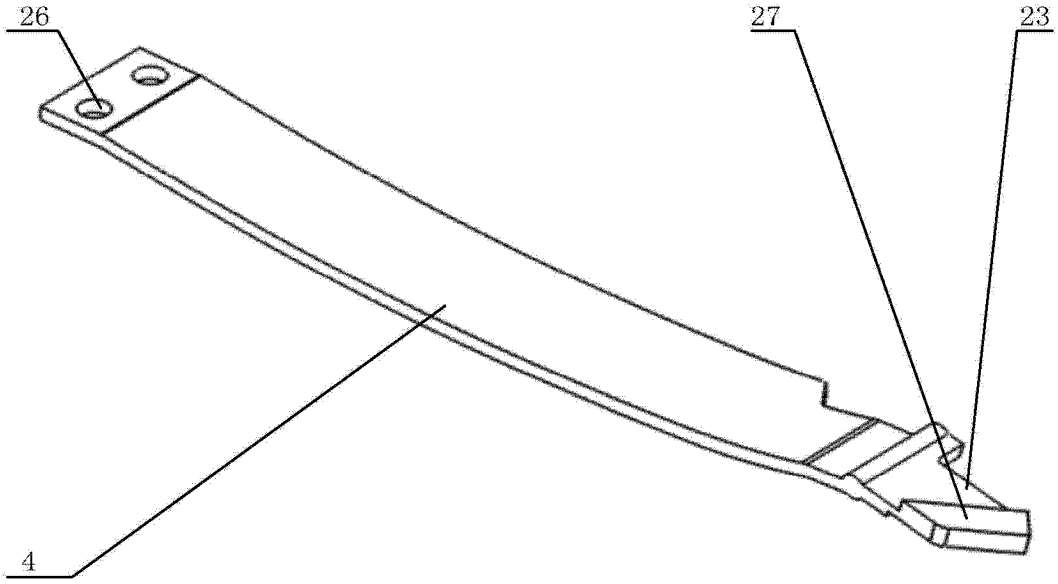


图 4

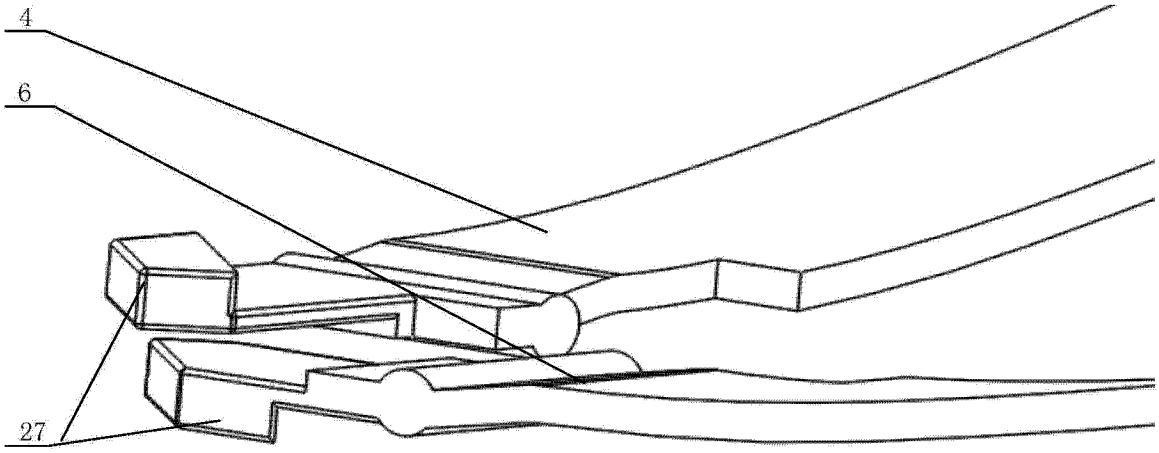


图 5

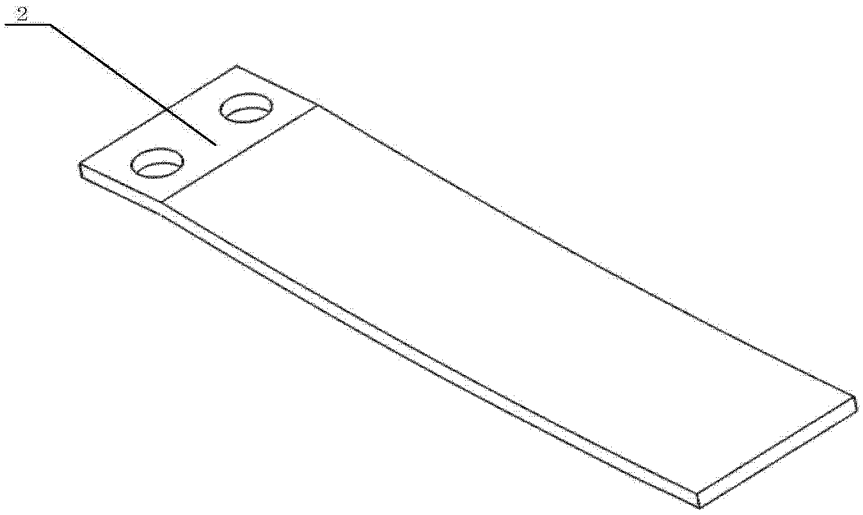


图 6

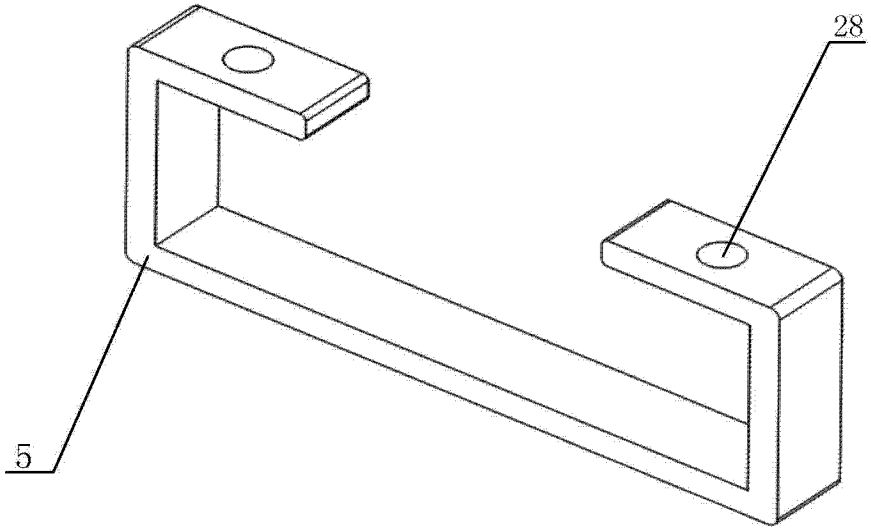


图 7

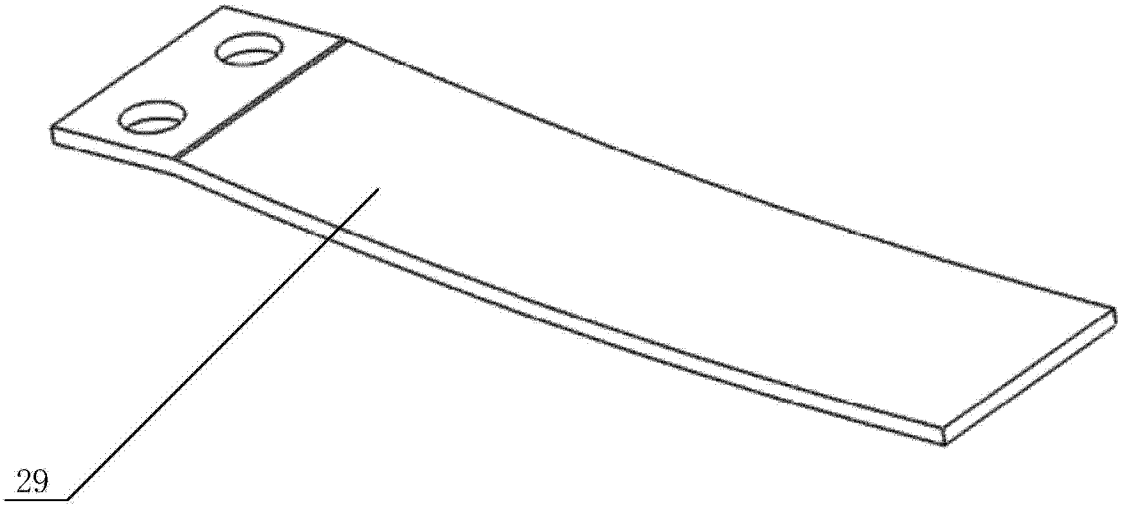


图 8

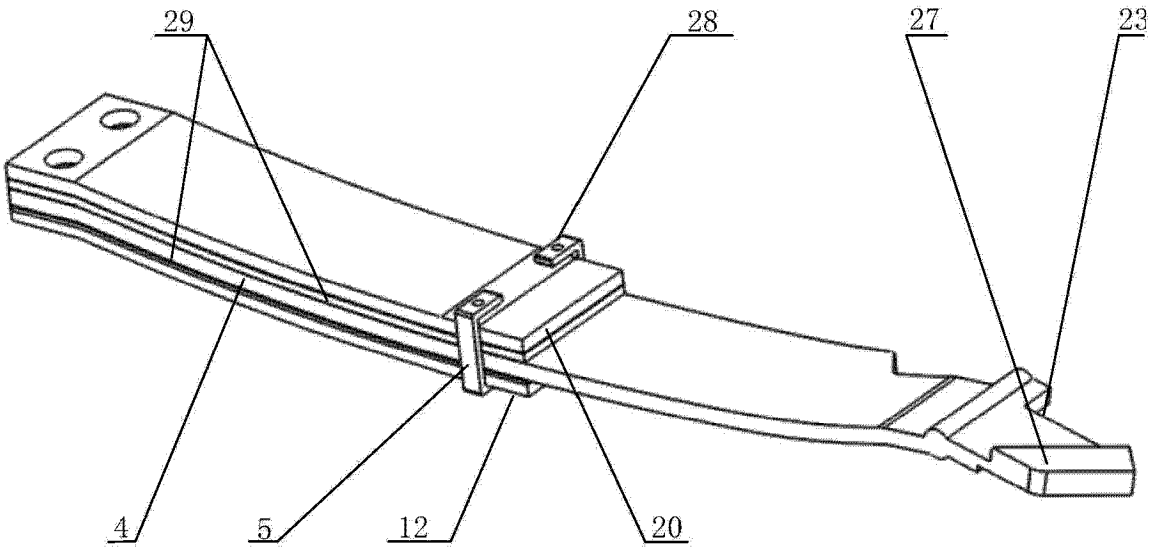


图 9

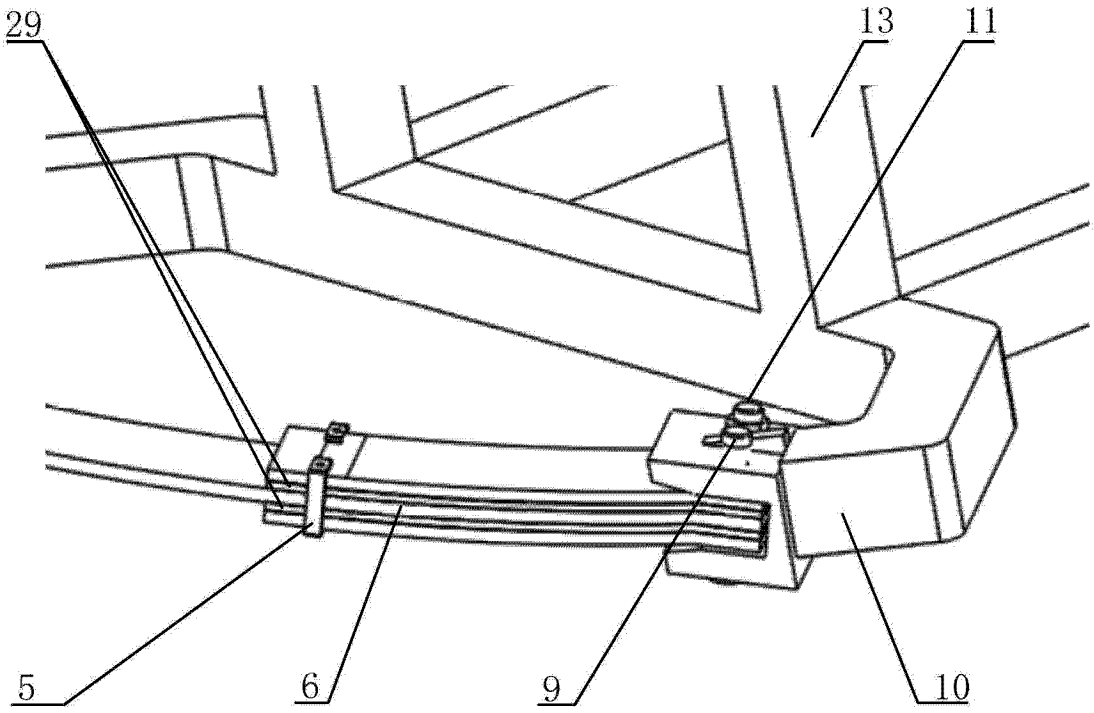


图 10

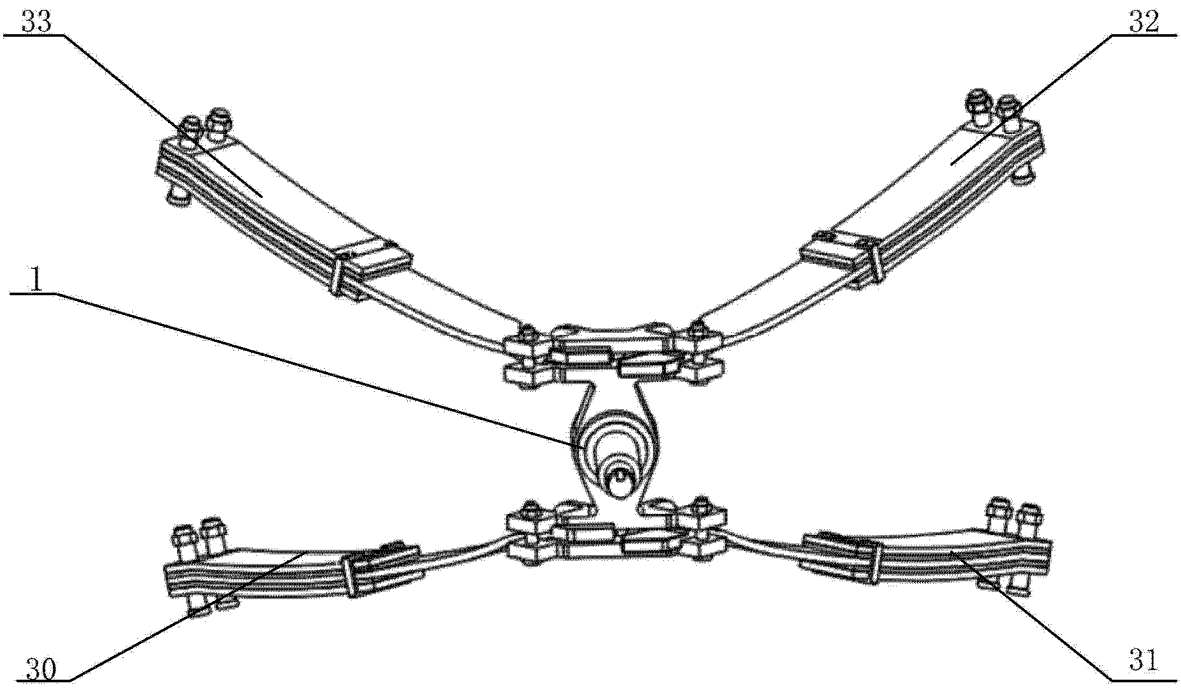


图 11