

## 行业发展 SPECIAL REPORT

# 汽车空气弹簧悬架及其市场前景

刘 波

(东风商用车公司重型车厂, 湖北 十堰 442000)

**摘要:** 介绍了汽车空气弹簧悬架的种类、结构、特点及应用, 列举了其整车性能的影响。汽车空气弹簧悬架系统由空气弹簧、导向机构、高度控制阀、减震器、横向稳定器和缓冲限位块等组成, 对整车操纵稳定性、行驶平顺性、操纵稳定性、通过性能影响极大, 应用前景广阔。

**关键词:** 汽车; 空气弹簧悬架; 市场

随着人们对车辆乘坐舒适性要求的提高和汽车悬架技术的发展, 空气弹簧悬架在汽车上的应用日益广泛 (空气弹簧悬架在汽车上的安装位置如图 1 所示)。传统的空气弹簧悬架控制模式是采用机械高度阀, 即通过高度阀的阀门开闭, 控制空气弹簧悬架气囊的充放气, 从而保持车辆恒定的行驶高度。随着系统应用的推广和车辆控制技术的发展, 电子控制逐渐取代传统的机械控制。电子控制系统不仅提高了操作的舒适性和反应的灵敏度, 而且可以附加很多辅助功能。



图 1 汽车空气弹簧悬架安装位置示意

空气弹簧是汽车空气弹簧悬架中的重要部件, 它既可以延长车辆使用寿命, 又可以提高整车的舒适性, 同时降低车轮的动载荷, 大大减少车辆对路面的破坏程度, 从而降低公路路面的维修费用。

### 1 汽车气体弹簧的种类和结构

气体弹簧是在一个密闭的容器内充入压缩气

体, 利用气体的可压缩性实现弹簧作用。其刚度是可变的, 作用在弹簧上的载荷增加时, 容器内的定量气体受压缩, 气压升高, 刚度增大; 反之, 刚度减小, 因此气体弹簧具有较理想的弹性特性。

气体弹簧主要有空气弹簧和油气弹簧 2 种。空气弹簧是以空气做弹性介质, 即在一个密闭的容器内装入压缩空气 (气压为  $0.5 \sim 1 \text{ MPa}$ ), 利用气体的可压缩性实现弹簧的作用 (见图 2)。空气弹簧可分为囊式和膜式两种。随着载荷的增加, 容器内压缩空气压力升高, 其刚度也随之增加; 载荷减少, 刚度也随空气压力降低而下降, 因而具有理想的变刚度特性。



图 2 车用橡胶空气弹簧

囊式空气弹簧由带有帘线的橡胶气囊和密闭在其中的压缩空气构成 (见图 3)。气囊外层由耐油橡胶制成, 气囊上下盖板将空气封于囊内。膜式空气弹簧由橡胶片和金属压制件组成。它比囊式空气弹簧的弹性曲线更为理想, 固有频率更低些, 且尺寸小, 便于布置, 因而多用于轿车上。但

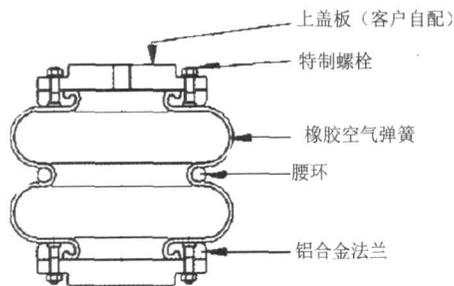


图3 车用囊式空气弹簧结构

其造价较贵,寿命较短。

油气弹簧以气体为弹性介质,利用气体的可压缩性实现弹簧作用。随着汽车行驶中态势变化,工作缸内的油压与气室内的氮气压力也随之变化,此时活塞处于工作缸中的不同位置。因此,油气弹簧具有可变刚度的特性。油气弹簧的型式有单气室、双气室和两级压力式三种。油气弹簧具有良好的行驶平顺性,而且体积小,质量小。但是对密封性要求很高,维护相对麻烦。目前这种弹簧多用于重型汽车和部分小客车上。由于空气和油气弹簧只能承受垂直载荷,因此弹簧的悬架必须加设导向装置和减震器。

## 2 汽车空气弹簧悬架的应用及特点

空气弹簧悬架系统是以空气弹簧为弹性元件,利用空气的可压缩性实现其弹性作用,压缩空气的气压能够随载荷和道路条件变化而进行自动调节。即将压缩空气密闭在容积可变的容器内,被密闭的空气构成了弹性体,不论满载还是空载,整车高度不会变化,可以大大提高乘坐的舒适性。空气弹簧悬架因其独特的性能和适应性,正在逐步打入传统的钢板和螺旋弹簧领域。目前在国内外部分客车、轿车、专用汽车及载重汽车上,空气弹簧架系统得到了广泛应用。

空气弹簧的运动性能特点是:空气弹簧具有非线性特性,可将其特性曲线设计成理想形状;空气弹簧质量小,内摩擦极小,对高频振动有很好的隔震、消声能力;空气弹簧的刚度和承载能力可以通过调节橡胶气囊内的压力来调整;弹性系数随负载变化;负载变化时,固有频率几乎不变;固有频率较低。这些特点决定了空气弹簧悬架具有以下优点:改善车辆的行驶平顺性;乘坐更舒适安

全;延长轮胎和制动片的使用寿命;负载变化时车身高度不变;减少电气、空调、排气系统、车桥、车身和底盘的维修成本;减少对道路的冲击,保护路面,降低高速公路的维修费用;延长车辆的使用寿命并增加折旧值。但空气弹簧制造工艺复杂,费用高。

国外汽车空气弹簧悬架发展经历了钢板弹簧气囊复合式悬架→被动全空气弹簧悬架→主动全空气弹簧悬架(即 ECAS电控空气弹簧悬架系统)的变化过程。主动全空气弹簧悬架应用了电子控制系统,使传统的空气弹簧悬架系统的性能得到很大改善,汽车在各种路面、各种工况条件下能实现主动调节、主动控制,并增加了许多辅助功能(如故障诊断功能等)。目前 ECAS系统在欧洲一些国家的大客车上已经大量应用,随着人们生活水平的提高,对汽车舒适性的要求越来越高,可以预见,ECAS这一先进的空气弹簧悬架系统在汽车上的应用将越来越普及。现代汽车空气弹簧悬架在国外应用非常普遍,国内也在导入汽车空气弹簧悬架产品。因此,汽车空气弹簧悬架的应用发展,值得业内人士的关注。

## 3 空气弹簧悬架的影响

### 3.1 对整车性能的影响

1 空气弹簧悬架为刚度可变的非线性悬架。当簧载质量变化时,刚度随之变化,以保持空载和满载时车身高度相同,悬架固有频率基本不变。根据需要,可以选择不同的气囊工作高度,获得理想的固有频率,从而得到良好的行驶平顺性。

2 空气弹簧悬架质量小,弹簧刚度低,高速行驶时,轮胎与地面的附着能力强,制动距离短;转向时,过多转向和不足转向倾向减小,转向稳定性强,提高了整车的操纵稳定性。

3 空气弹簧内的空气压力直接反映簧载质量,可取它作为信号,控制制动缸内的气压,以控制制动时的制动力,更好地保证行驶安全性。

4 可通过给空气弹簧气囊充气或放气来调节车身高度。在平坦的路面上,降低车身高度,保持空气阻力系数为最佳值,可以减小油耗或在功率不变的情况下获得最大车速。在崎岖不平的道路上,为了通过障碍物,可以提高车身高度。

5. 减少整车的振动噪声, 延长汽车零部件使用寿命。

### 3.2 重型汽车空气弹簧悬架对公路的影响

汽车行驶时, 路面在承受汽车静载荷的同时, 还受到来自车轮的冲击力, 即动载荷。车速越高, 动载荷越大, 高速行驶时, 动载荷是静载荷的 2~3 倍。在车轮垂直力、纵向力和侧向力的综合作用下, 形成对路面的剪切力, 使道路表面形成拥包、波浪形变形, 以至形成车辙。汽车的吨位越大, 对高速公路路面的破坏程度越严重。因此, 载重汽车已成为对高速公路破坏的主要原因之一。装有空气弹簧悬架的车辆高速行驶时, 悬架刚度低, 车轮动载荷小, 减轻了高速行驶车辆对路面的破坏。

### 4 空气弹簧悬架的结构形式

根据结构形式, 空气弹簧悬架可分为 3 种类型: 独立悬架、非独立悬架和浮动桥悬架。采用独立悬架可提高车辆的横向角刚度。汽车前悬架通常采用独立悬架, 当高速行驶时, 减少了车轮跳离地面的倾向, 同时还可以消除前轮的偏摆现象, 提高汽车的行驶平顺性和操纵稳定性。但是, 独立悬架结构复杂, 制造成本高, 维修不便。采用非独立悬架的目的是为了简化结构, 便于车辆的改装, 提高汽车底盘的通用性。浮动桥悬架是在车架上再安装一个可升降车轴, 在汽车空载和部分承载时, 可以进行单轴和多轴提升, 以减少轮胎的磨损, 消除错误导向, 减少其它轴上轮胎的摩擦。当车辆通过冰、雪或泥水等较滑路面时, 通过把浮动桥上的载荷短时间缩短来把更多的载荷分配给驱动轴, 以提高驱动轮附着力。在其它车轴过载情况下, 提升车轴会自动回位。浮动桥悬架多数安装在汽车后轴上, 安装在中轴的浮动桥提升时要避免与传动轴发生干涉, 布置相对困难。

空气弹簧悬架还可按进气的控制方式分为机械控制式和电子控制式 2 种类型。机械控制式空气弹簧悬架价格低, 缺点是路况不好时频繁进放气影响性能, 只能设定一个平衡高度; 电子控制式空气弹簧悬架价格较高, 但可以采用一定的控制策略来提高车辆在坏路上的性能, 而且可设定多个平衡高度, 进一步提高空气弹簧悬架的自动控

制性能。将减震器和空气弹簧结合在一起, 又可衍生出多种载敏、路敏、速敏空气弹簧悬架。目前机械控制式空气弹簧悬架应用最为广泛, 仅有少数高级轿车上使用了电子控制式空气弹簧悬架。

### 5 空气弹簧悬架系统的组成

汽车橡胶空气弹簧是利用橡胶弹性和空气压力获得综合吸震、减震、隔震、防噪和缓冲的性能, 从而起到承载负荷的弹性支撑作用。橡胶空气弹簧作为汽车减震的核心部件, 它的性能好坏直接影响着汽车的舒适性和对公路的破损性。空气弹簧悬架系统主要由空气弹簧、导向机构、高度控制阀、减震器、横向稳定器和缓冲限位块等组成。

1. 空气弹簧。空气弹簧是利用橡胶气囊内部压缩空气的反力, 作为弹性恢复力的一种弹性元件。由于空气弹簧只承受垂直载荷, 所以对车轮垂直跳动具有很好的缓和作用。囊式空气弹簧根据橡胶气囊曲数的不同分为单曲、双曲和多曲囊式空气弹簧, 曲线越多, 弹簧越柔软。气囊各段之间镶有金属轮缘, 目的是承受内压张力。

2. 高度控制阀。高度控制阀的作用是调节空气弹簧的内部气压, 并使空气弹簧保持在一定的高度范围内, 来平衡外界的载荷。一般高度控制阀要使 24 h 内气压降小于 0.02 MPa, 疲劳次数大于 300 万次, 最大工作压力一般为 1.5~2 MPa, 适用温度范围为 -40~70 °C。

根据阀门开闭对车身振动反应时间, 高度控制阀分为即时型和延时型。所谓即时型高度控制阀, 即当车身有相对位移时, 高度控制阀就有充放气动作。这就要求控制设备精度高, 气路密封性好, 同时所有的控制设备每时都处在工作状态, 工作负荷较大。延时型高度控制阀避免了这种频繁工作的现象。一般延时时间为 1~6 s, 通常使用时间为 2~4 s, 即在两个振动周期左右不敏感, 以节省压缩空气无益的消耗, 减小了阀中各零部件的磨损, 延长了高度控制阀的使用寿命, 降低了噪声。延时装置主要是用来产生阻尼, 延缓阀门的动作。延时装置常采用弹簧、油压或风压部件组成或它们的联合结构。从国内外来看, 延时型高度控制阀是普遍采用的一种阀体。

目前, 在国外一些空气弹簧悬架的车辆中也

有采用电磁高度控制阀, 车身高度可在几个档位上进行调整, 根据路面条件把车身高度控制在适用的范围内, 从而提高了汽车的通过性及稳定性。

3 减震器。空气弹簧悬架系统减震器是一种高性能减震器。该减震器的性能随载荷的增减而改变, 有很高的拉伸强度, 具有极限行程的限位作用。

4 横向稳定器。安装横向稳定器的目的是为了提提高汽车抗侧倾能力和保证汽车具有良好的转向特性。但也有一些空气弹簧悬架的导向机构有足够的侧倾角刚度, 没有横向稳定器。

5 缓冲限位块。空气弹簧悬架系统中缓冲限位块的安装形式有 2 种, 一种安装在空气弹簧的盖板或底座上, 另一种安装在空气弹簧以外的车架或车桥上。缓冲块的作用是避免车架和车桥或导向杆件之间的刚性冲击。在车辆行驶过程中, 缓冲块经常受到间断性的冲击压缩, 因此, 缓冲块应具有足够的强度且内部应力分布要均匀。当空气弹簧漏气或气囊损坏时, 缓冲块起到橡胶弹簧的作用, 驾驶员可低速将汽车开到维修站进行修理。

### 6 国内汽车空气弹簧悬架应用发展状况

目前, 国内拥有空气弹簧悬架项目的公司为数众多, 但真正拥有空气弹簧悬架系统设计开发、制造的企业寥寥无几, 规模也十分有限。目前国内具有代理性质但无实际设计能力的公司居多, 主要以代理美国、德国、韩国、日本产品为主, 公司规模一般不大, 产品有限。由于代理公司主要以经营利润为导向, 对设计匹配等技术环节往往存在先天不足, 导致主机厂出现问题时无法及时解决等问题, 影响被代理产品的声誉及市场, 因此国外的制造公司也纷纷以不同的方式直接介入我国市场。另外, 整车厂为降低成本, 把空气弹簧悬架系统细分成气囊、推力杆、直拉杆、稳定杆、高度阀、平衡阀、线束、减震器、导向臂等项目采购, 也导致了国内空气弹簧悬架产品的部件加工、制造正在往高度离散的方向发展。

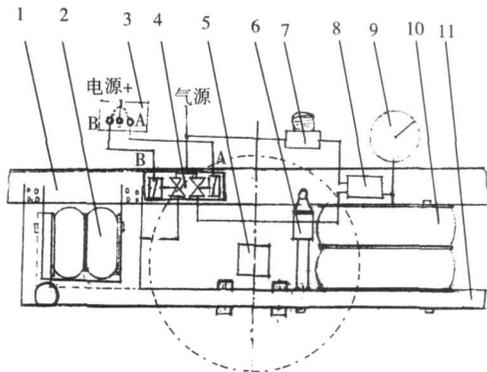
近几年来, 随着高档客车制造技术的引进以及适应人们对舒适性要求的提高, 加上国家对客车等级划分的标准要求, 空气弹簧悬架在我国开

始逐步应用起来。目前, 空气弹簧悬架主要集中在高等级客车上, 但是受多方面因素的制约, 其配置率还很低, 基本上还属于“导入”阶段。据掌握的不完全资料, 国内空气弹簧悬架的应用主要集中在郑州宇通、厦门金龙、苏州金龙、扬州亚星、一汽客底、东风杭汽等规模较大的主要客车及底盘厂家。国内其它一些客车厂家也都是小批量应用, 以选装国外空气弹簧悬架产品为主。总之, 目前汽车空气弹簧悬架在国内载重货车的应用上尚处于起步阶段。

国内已经能够生产优质的空气弹簧悬架部件, 以此为支撑, 汽车主机厂开始自己设计空气弹簧悬架弹簧产品, 其产品符合中国道路状况和车辆实际条件, 并选装国内优秀的部件, 以降低成本。由于一些主机厂本身在空气弹簧悬架系统方面无研制开发能力, 完全依赖于外部社会市场, 从而采取了直接进口国外成熟的空气弹簧悬架系统产品或是依靠国内的有关公司, 其中安凯、西沃为典型代表。

### 7 东风汽车的空气弹簧悬架

东风 EQ1398 车型中就使用了囊式空气弹簧悬架。这种空气弹簧悬架是由帘布层、内外橡胶层或钢丝圈经成型后, 硫化形成的一种挠性体(见图 4)。它的工作原理: 内腔充入压缩空气后, 随着振动载荷的增加, 压缩空气柱的高度降低, 内腔容积减少, 弹簧的刚度增加, 内腔的有效承载面积加大。



1- 车架; 2- 小空气弹簧; 3- 双联开关; 4- 组合电磁气阀; 5- 车桥; 6- 减震器; 7- 调压阀; 8- 控制气阀; 9- 气压表; 10- 大空气弹簧; 11- 推力杆。

图 4 空气弹簧悬架示意

由图4可见,由2个空气弹簧组成了空气弹簧悬架系统。其应用情况是:用于传递纵向力和力矩的推力杆中部用螺栓固定在车桥上。推力杆的前端和车架上的支架以铰链连接,囊式小空气弹簧的左右端分别固定在推力杆和车架上的支架上。囊式大空气弹簧的上下两端分别固定在车架和推力杆上。横向力则由横向力作用杆传递(图上未示出),悬架中还装有减震器。

由于采用2个囊式空气弹簧悬架,所以更容易实现空载和满载时的调节。随载荷的不同,空气弹簧内的空气压力改变。如图4中的双联开关与组合电磁气阀、控制气阀、调压阀等就是起这个作用。双联开关、调压阀、气压表在驾驶室内,组合电磁气阀内由2个充气阀和2个放气阀组成。控制气阀也是由通气源的充气阀和通大气的排气阀组成,它们均是由双联开关和调压阀控制。当空载时,双联开关打在B的位置上,组合电磁气阀被打开,压缩空气进入小空气弹簧,车桥被举升起来;当有载荷时,双联开关打在A的位置,组合电磁气阀被打开,压缩空气进入控制气阀到大空气弹簧内,同时因组合电磁气阀B断电关闭了气源,小空气弹簧内的压缩空气经排气阀排入大气。根据载荷的大小,在驾驶室内进行调节大空气弹簧内的空气压力,它主要是由调压阀根据气压表上显示的空气弹簧内的压力,对控制气阀进行调节,使其承担相应的载荷。

东风EQ1398车型使用的空气弹簧悬架系统维修方便,使用寿命比金属弹簧延长几十倍,而且质量小,减少了维修次数和降低了维修费用,拆装也方便。在使用中,要经常检查和清洗组合电磁气阀和空气弹簧上的杂物使其保持清洁,延长使用寿命。

## 8 我国汽车空气弹簧悬架的市场前景

装配橡胶空气弹簧是当今汽车装备发展、配套的必然趋势,特别是在大型客车和载重汽车上尤为突出。传统的载重汽车一般都采用钢板弹簧或油气弹簧作为减震元件,但随着当前世界汽车工业朝着高速、高性能、舒适、安全可靠、维修方便的方向发展,钢板和油气弹簧已越来越不适应其

发展。如在欧洲,橡胶空气弹簧的普及率已达到70%~80%,而我国正处于发展初期。预计在未来10年内,橡胶空气弹簧将大量装备在各种汽车上,普及率将达到欧洲现在水平。

目前,我国汽车年产量已超过500万辆,特别是轿车的发展空间更大,汽车年产量逐年递增,橡胶空气弹簧在我国汽车工业领域的应用将非常广阔。随着我国汽车工业自身的不断完善、发展,进口车型、车身限制的打破,我国公路建设水平的提高、里程的延长,公路保护法律、法规的出台,以及用于长途运输的大客车和载重汽车在舒适性能方面要求的提高,我国橡胶空气弹簧必将迎来自主发展的春天。

综观世界汽车工业生产技术的发展方向,橡胶空气弹簧的生产技术发展方向也必将与它同步——朝减震性能好、使用寿命长、安全可靠的方向发展。这明确的昭示着,在新材料的应用和硫化工艺方面,橡胶空气弹簧的研究和应用必然要走出传统,实施创新,实现自主知识产权化。

我国公路条件的改善为汽车空气弹簧悬架创造了基本的使用条件。我国高速公路通车里程近3万km,高速公路里程位居世界第二,仅次于美国。而且高速公路正以每年4000km的速度增长。按照规划,到2020年我国将建成7万km的高速公路,完成我国现代化交通网络的基本骨架。国内高速公路的发展对空气弹簧悬架市场产生了很大的促进作用。我国高速公路的迅速发展和运输量的增加以及对高性能客车的需求,都对汽车的操纵稳定性、平顺性、安全性提出了更高的要求,空气弹簧悬架客车将逐渐得到广泛的应用。

此外,重型汽车对路面破坏机理的研究及认识进一步加深,政府对高速公路养护的重视,限制超载在各地受到关注,使空气弹簧悬架在重型汽车市场的应用也将进一步扩大。

随着空气弹簧悬架在汽车广泛应用和汽车控制系统的智能化程度越来越高,电子控制空气弹簧悬架将是未来空气弹簧悬架的发展趋势。