

# 橡胶空气弹簧的应用和发展

郑文博

(北京橡胶工业研究设计院,北京 100143)

**摘要:**橡胶空气弹簧已越来越广泛地应用于汽车、地铁、轻轨列车、磁悬浮列车和工业机械。随着我国公路的发展和运输量的增大以及政府对高速公路养护的重视,橡胶空气弹簧的应用将进一步扩展,且橡胶空气弹簧将向电控式空气弹簧方向发展。

**关键词:**橡胶空气弹簧;减震;汽车;轨道车辆

橡胶空气弹簧是利用橡胶气囊内部压缩空气的反作用力作为弹性恢复力的一种弹性元件。它具有如下特点:(1)具有非线性特性,可将其特性曲线设计成理想形状;(2)质量小,内摩擦少,对高频振动有很好的隔震消声能力;(3)刚度和承载能力可以通过调节橡胶气囊的内压力来调整;(4)制造工艺复杂,费用高。橡胶空气弹簧按工作时的变形方式分为囊式、膜式和混合式3种。囊式橡胶空气弹簧主要依靠橡胶气囊的屈挠获得弹性变形;膜式橡胶空气弹簧主要依靠橡胶气囊的卷曲获得弹性变形;混合式橡胶空气弹簧则兼有以上2种变形方式。囊式橡胶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。膜式橡胶空气弹簧的结构是在盖板和底座之间放置一圆柱形橡胶气囊,通过气囊屈挠变形实现整体伸缩。膜式橡胶空气弹簧在其正常工作范围内,弹簧刚度变化比囊式小,同时也可通过改变底座形状的方法控制其有效面积变化率,以获得比较理想的弹性特性。膜式橡胶空气弹簧有效面积的变化率也比囊式弹簧小,因此膜式橡胶空气弹簧在辅助气室较小的情况下也可得到较低的自振频率。根据橡胶气囊止口与接口的连接方式,橡胶空气弹簧可分为约束模式和自由模式2种。约束模式橡胶空气弹簧一般用螺栓夹紧密封;自由模式橡胶空气弹簧采用气囊内的压力自封。底座多用深拉钢板或轻质铸钢成型,并且表面镀铬处

理,以减小气囊与底座之间的摩擦。

橡胶空气弹簧诞生于19世纪中期,早期主要用于机械设备减震。由于众多的优点,其在现代公路和轨道交通车辆以及工业机械等领域获得了广泛的应用。

## 1 橡胶空气弹簧在汽车上的应用

汽车橡胶空气弹簧是利用橡胶的弹性和空气压力获得综合吸震、减震、隔震、降噪和缓冲的性能,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,其性能的好坏直接影响着汽车的舒适性和对公路的破坏性。

1947年,美国首先在普尔曼车上使用橡胶空气弹簧,到1964年,德国生产的55种大中型公共汽车中有38种使用了橡胶空气弹簧。目前,橡胶空气弹簧在国外高速客车和城市豪华客车上的使用率已达到100%,在中、重型货车以及挂车如美国福特、德国曼等车型上的使用率超过80%。有些高级轿车也选装了橡胶空气弹簧,如美国林肯,德国奔驰600等。在一些特种车辆如对减震性要求较高的仪表车、救护车及高度可调节的集装箱运输车上,橡胶空气弹簧的应用更为广泛。近年来橡胶空气弹簧在商用汽车上应用发展较快,常用的橡胶空气弹簧有筒状橡胶空气弹簧、变载活塞型筒状橡胶空气弹簧、直筒式活塞边缘压紧式筒状橡胶空气弹簧、双环型橡胶空气弹簧4种。

国外的汽车工业较我国相对发达,其设备和零部件的配套生产技术较先进。在欧美等发达国家,空气弹簧在轿车上的普及率已高达95%;在客车和载重汽车上,橡胶空气弹簧的普及比我国早5~8年。在国外,橡胶空气弹簧生产技术较领先的有德国康迪泰克空气弹簧制造厂和美国费尔斯通空气弹簧制造厂。他们的产品不管是在种类(膜式、葫芦式、囊式、长枕式)、性能(平稳、舒适、防震、降噪)、适用范围(负载范围广),还是在质量(使用寿命300万次以上)上都优于国内产品,并且他们拥有国际技术标准,在知识产权上具有很大的优势。

我国在20世纪50年代就对橡胶空气弹簧进行了研究。1957年,长春汽车研究所与原化工部北京橡胶工业研究设计院合作制造出了我国第1辆装有橡胶空气弹簧的载重汽车,相继又设计制造了公共汽车用橡胶空气弹簧。近年来,随着汽车技术的发展及国外空气悬架的引进,小部分国产高级旅游车开始采用进口橡胶空气弹簧,如沈阳飞机制造厂、北方汽车制造厂、厦门金龙联合汽车公司、亚星客车集团公司、丹东汽车制造厂等生产的客车。

由于我国汽车工业自主知识产权不足和车型、车身生产技术主要依靠引进,我国橡胶空气弹簧在生产技术、产品性能和质量、市场占有率等上与世界汽车工业的发展还存在一定的差距,产品多停留在20世纪90年代的水平,特别是大型豪华客车、大型载重汽车的配套与发达国家相比还存在很大的差距。

近年来,随着橡胶空气弹簧应用的推广,其研究和开发越来越得到重视。四方车辆研究所研制了豪华客用车用SYS330型橡胶空气弹簧。该橡胶空气弹簧为自由膜式橡胶空气弹簧,由上盖板、胶囊、应急橡胶挡和底座(兼作附加气室)组成,采用压力自密封方式密封。贵州前进橡胶股份有限公司对南斯拉夫桑诺斯、德国沃尔沃和凯斯鲍尔等客车的橡胶空气弹簧进行了研究,并已规模化生产橡胶空气弹簧。交通部重庆公路科研所研制的D52603260膜式橡胶空气弹簧在实际使用中性能良好,使用寿命达10万km以上,已在进口和国

产车上大量装用。河南尉氏县橡胶厂研制的空气弹簧用于匈牙利的依卡露斯256型大型豪华客车上,运行10万km无质量问题。株洲时代新材研制了EQ6111型汽车橡胶空气弹簧,已通过了1万km装车运行试验,还开发了用于厦门金龙客车的29S35000汽车空气弹簧,并通过了500万次疲劳试验。西北橡胶厂也能规模化生产橡胶空气弹簧。但国内橡胶空气弹簧的种类比较单一(主要有长枕式、曲囊式和膜式3种),产品质量与进口产品相比较差(使用寿命300万次左右)。故产品推广适用范围只能停留在中低档汽车上,附加值相对较低。

配备橡胶空气弹簧是当今汽车装备发展的必然趋势,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,钢板弹簧和油气弹簧已越来越不适应其发展。在欧洲,橡胶空气弹簧的普及率基本已达到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代水平。

橡胶空气弹簧在我国汽车工业领域的拓展应用非常广阔,尤其是轿车产量较大,空气弹簧在轿车上的发展空间更大,再加上我国汽车年产量逐年递增,它的开发市场就更为广阔了。

## 2 橡胶空气弹簧在轨道车辆上的应用

橡胶空气弹簧广泛应用于快速列车、地铁、轻轨和磁悬浮列车等轨道车辆上。

### 2.1 在快速列车上的应用

20世纪70年代初,法国试验型TGV001高速列车的Y225型转向架上,二系悬挂采用了日本住友橡胶公司生产的约束膜式橡胶空气弹簧。80年代初在TGV PSE高速列车上采用了康迪泰克公司生产的高柔684N4.10B大曲囊式空气弹簧,保证了TGV高速列车于1990年在创造世界纪录的515 km·h<sup>-1</sup>速度运行时仍具有优良的平稳性。由于这种大曲囊式橡胶空气弹簧在TGV PSE上的成功应用,其它系列TGV高速列

车如 TGVA、TGV2N、EUROSTAR、THALYS、西班牙 AVE、韩国 TGV 等高速列车都采用了该橡胶空气弹簧。

德国试验型 ICE 高速列车使用了康迪泰克生产的高柔 7050N.10 型橡胶空气弹簧,曾于 1987 年创下了当时的世界列车行驶纪录  $406 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。瑞典 X2000 型摆式列车上,其拖车转向架二系悬挂由橡胶空气弹簧、上下摇枕和橡胶堆组成,橡胶空气弹簧置于车体与上摇枕之间;其动车转向架二系悬挂为无摇枕结构,橡胶空气弹簧直接座落在构架上。日本 300 系、400 系、500 系、700 系客车均采用了橡胶空气弹簧。300 系客车转向架上采用大横向变位、小横向刚度自由膜式橡胶空气弹簧,橡胶空气弹簧标准工作高度为 201 mm,工作压力为 0.37 MPa,有效直径为 500 mm,最大横向变位可达 100 mm。400 系客车采用无摇枕转向架形式,也采用自由膜式橡胶空气弹簧作二系悬挂,橡胶空气弹簧标准工作高度为 190 mm,工作压力为 0.46 MPa,气囊小半径为 60 mm,装有板式可变节流阀,最大横向变位可达 100 mm。500 系列试验车橡胶空气弹簧采用自由膜式结构,两空气弹簧间距 2600 mm,有效直径为 500 mm,橡胶空气弹簧标准工作高度为 200 mm,工作压力为 0.39 MPa,附加气室容积 70 L。700 系主要采用非线性橡胶空气弹簧,使橡胶空气弹簧在直线行车时较软,在曲线行车时较硬,从整体上改善了乘坐舒适性。

早在 1958 年我国试制的双层客车的转向架就开始使用橡胶空气弹簧,这期间所应用的橡胶空气弹簧基本上都是囊式橡胶空气弹簧。在 60 年代研制的 KZ2 型客车转向架上也采用了橡胶空气弹簧悬挂,采用的是约束膜式橡胶空气弹簧。经过不断的研制和运用,近年来新型橡胶空气弹簧越来越多地应用于我国准高速、高速列车转向架上。

在我国的准高速列车 CW2 型转向架上采用的橡胶空气弹簧安装在摇枕与托架之间,其横向间距为 1956 mm,利用摇枕内腔作为附加气室,橡胶空气弹簧与附加气室之间设可调节流阀。具有代表性的是 SYS600A 型空气弹簧。209HS 型转向架的二系悬挂采用膜式橡胶空气弹簧,其摇

枕兼作附加气室用。206KP 型转向架采用无摇枕动台结构,并采取了橡胶堆弹性支承空气弹簧系统,也设置了可变节流孔。具有代表性的是 SYS550C 型橡胶空气弹簧。此外,SW200 型和 SW160 型转向架采用 SYS550D 型和 SYS600A 型橡胶空气弹簧,其结构特点与 SYS550C 和 SYS600A 型基本相同。在此基础上,在我国郑武线时速在  $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  以上的列车试验中,南京浦厂铁路局研制的 PW200 型转向架采用了新研制的大柔度的橡胶空气弹簧及纵向牵引拉杆,提高了车辆的平稳性。

## 2.2 在地铁上的应用

上海地铁无摇枕转向架采用了高柔性自由膜式橡胶空气弹簧,其密封方式为螺钉密封和压力自封相结合。该橡胶空气弹簧具有如下特点:(1)横向刚度小并能适应大的横向变形;(2)列车曲线行驶时橡胶空气弹簧具有良好的横向复原力特性;(3)具有良好的扭转特性和扭转耐久性。

## 2.3 在轻轨列车上的应用

城市轻轨电车行驶于城市地面、地下或高架线路上,要求噪声低、减震性能好,并且有适应载质量变化较大的能力,橡胶空气弹簧获得了广泛应用。四方车辆研究所研制了用于有轨电车的 SYS450 型橡胶空气弹簧。该橡胶空气弹簧采用全压力空气自封密封方式,简化了空气弹簧结构;使用橡胶堆支承,改善了车辆的横向振动性能;采用可调阻尼节流阀,使车辆在各种线路状态和运行速度下均具有良好的减震性能。

## 2.4 在磁悬浮列车上的应用

磁悬浮列车是一种新型的非地面接触式交通工具,具有超高速、低噪音、节能等优点,越来越受到重视,其中橡胶空气弹簧的应用是非常关键的技术。20 世纪 80 年代,日本、德国等国家的磁悬浮列车技术已达到实际应用水平。在国内,该技术起步于 80 年代,90 年代进行了具有实用价值的试验型磁悬浮列车的研制。四方车辆研究所研制了 SYS130A 型、SYS130B 型磁悬浮列车转向架用膜式与囊式 2 种空气弹簧。这 2 种橡胶空气弹簧在中央悬挂的采用改善了磁悬浮列车的乘坐舒适性,为推动我国磁悬浮列车的应用研究起到

了积极作用。我国八达岭旅游示范线磁悬浮列车选用了美国 NEWAY 公司生产的橡胶空气弹簧。该产品使用液体减震器,无附加气室,从而减小了体积和质量。橡胶空气弹簧的应用改善了车辆的二系悬挂品质,提高了舒适性和平稳性。

### 3 空气弹簧在工业机械上的应用

橡胶空气弹簧在工业机械上被广泛应用于设备的减震,如国外在压力机、空气压缩机、离心机、振动运输机、控制锤、铸造机械和纺织机械、光学和激光仪器、集成电路、超精密机床等精密机械设备和精密测试设备上均采用橡胶空气弹簧减震。随着社会的发展,人们对生活的要求(包括对降低振动和噪声的干扰)越来越高,橡胶空气弹簧减震技术应用越来越多,前景十分广阔。在机械减震中,橡胶空气弹簧一般采用约束膜式和自由膜式 2 种结构。橡胶空气弹簧可应用于各种机械装置中起缓冲吸震、控制运动或增压作用。与具有同样功能的气缸或其他弹性元件相比,橡胶空气弹簧结构简单、工作可靠,不需复杂的参数计算和结构设计,无密封泄漏问题,使用维护方便,并且寿命较长。冲压加工中,如冲压汽车车盖、车门等,均需采用必要的缓冲装置。缓冲器在加工中要承受较大的、周期性的冲击负荷,其性能直接影响产品的加工精度。若采用橡胶空气弹簧作为缓冲器,可降低加工成本并保证加工精度。物料传送中,料箱由振动器驱动,以使物料混合均匀或使物料流动以进入料箱中。振动会引起料箱支承部件疲劳乃至破坏,因此必须采用隔震装置,若使用橡胶空气弹簧隔震器调节弹簧的充气量就可适应不同的工作负荷和高度要求。

在造纸、纺织等行业中,纸张或布匹在卷绕过程中需要以较高的速度绕过很多传送辊,因此传送过程中需要恒定的张紧力,以免纸张或布匹松弛、扭曲或破裂。在这种情况下应用空心卷辊-橡胶空气弹簧组合结构可提供恒定的张力,而且具有较强的承受冲击负荷的能力,保护传送装置和传送件不受损坏。橡胶空气弹簧非常适用于高压、小行程工况。在粘合工艺中,采用橡胶空气弹簧可提供均匀的压力,保证粘合质量。橡胶空气

弹簧在钻井液振动筛上的使用研究表明,橡胶空气弹簧的缓冲效果比钢制压缩弹簧好,可提高设备效率并延长设备使用寿命。橡胶空气弹簧应用于自动旋盖封瓶机旋盖皮带调节装置中,可改善并提高封瓶机在高速封瓶时的稳定性,改善封瓶质量。橡胶空气弹簧应用于大型洗衣机上隔震,提高了减震效果,降低了运行噪声。一种结构简单且实用性好的橡胶空气弹簧应用于电动台减震中取得了很好的减震效果。

橡胶空气弹簧的性能优于一般减震器,在防微振领域的应用得到很快发展,在发达国家已被普遍采用,并有系列化产品供应。我国橡胶空气弹簧减震技术起步早但发展慢,到 20 世纪 80 年代初期,还没有用于防微振的技术成熟的空气弹簧减震装置。1982 年起,中国电子工程设计与辽宁减振器厂合作研制防微减震用橡胶空气弹簧隔震装置。到 1995 年,已开发出 JYKT 系列 8 个型号的产品,承载能力为 6~200 kN,广泛用于冶金、机械、电子、光学、航天等领域的精密设备和仪器仪表隔震,取得良好效果。同时,哈尔滨工业大学研制的超精密加工机床橡胶空气弹簧隔震系统也取得了较好的减震效果。青岛橡胶工业研究所研制成功的  $\Phi 113$  橡胶空气弹簧广泛应用于精密仪器的减震领域。

## 4 我国橡胶空气弹簧的发展趋势

### 4.1 轨道车辆用橡胶空气弹簧的发展

通过多年的努力和摸索,我国轨道车辆用橡胶空气弹簧的设计开发水平取得了巨大的突破,结构设计日趋先进合理,种类也日益丰富,已广泛应用于铁路客车、地铁、轻轨和动车组上。随着我国轨道车辆交通的不断发展,橡胶空气弹簧的研究和开发应注意以下几个方面的问题:(1)继续深入研究和开发适用于无摇枕客车转向架的橡胶空气弹簧,尤其是加强速度  $300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  及以上高速列车和高档城轨车辆用空气弹簧的研究和开发;(2)提高橡胶空气弹簧的设计和理论计算水平,通过引进国际上流行的先进设计手段,利用现代非线性有限元理论提高分析计算精度;(3)加强建立橡胶空气弹簧精确动力学计算模型的研究,

提高我国车辆动力学计算水平,充分发挥动力学计算在车辆设计中的指导作用;(4)进行橡胶空气弹簧主动控制系统的可行性研究,即由现有的高端机械控制系统向车载微机控制系统转变,提高控制的可靠性;(5)加强进口高档轨道车辆用橡胶空气弹簧国产化研究,使之达到欧洲同类产品的标准要求,为整车国产化和国产车辆的制造提供可靠的产品保证;(6)提高橡胶空气弹簧的制造水平,降低制造成本,增强国产橡胶空气弹簧的市场竞争力。

## 全球合成橡胶需求将激增

据美国《橡胶世界》报道,美国著名的市场调研机构全球工业分析(GIA)公司对今后10年世界合成橡胶需求量进行了预测。该机构认为,在全球经济特别是新兴经济体经济发展的推动下,世界汽车产业将刺激橡胶消费量的强劲增长。中国、日本和美国将继续引领全球的橡胶消费市场,特别是中国汽车工业和工业制品的快速增长使其成为全球橡胶需求增长最快的国家。然而,在2010~2015年强劲增长之后,随着汽车市场走向成熟和汽车消费趋于饱和,预计中国橡胶需求增长速度会放缓。另外,预计工业橡胶制品需求的增长点仍将在中国的橡胶市场。

由于经济的健康发展、汽车生产增长和轮胎制造工厂不断增多,预计亚太地区的其他国家消费也将会较大增长。来自这些国家的竞争加剧,其较低的原材料和劳动力成本将会影响到西欧、北美和日本市场的效益。

2012年,全球合成橡胶消费量预计将达到1500万t。亚太地区(不包括日本在内)拥有全球最大的合成橡胶消费市场,其消费量占世界市场份额的37%,其次是欧洲市场消费量占29%。2001~2010年,亚太地区合成橡胶消费量的增长潜力最大,年复合增长率(CAGR)高达9.28%,其次是拉丁美洲,而日本和欧洲消费量的增长率则相对较慢。中国是亚洲最大的合成橡胶消费市场,其消费量占亚洲消费总量的70%。在合成

## 4.2 汽车用橡胶空气弹簧的发展

随着我国高速公路的迅速发展和运输量的增大,要求汽车具有更好的操纵稳定性、平顺性、安全性,橡胶空气弹簧必将得到广泛应用。另外,随着对重型载货汽车对路面破坏机理的研究和认识的进一步扩展,以及政府对高速公路养护的重视,橡胶空气弹簧在重型汽车中的应用也将进一步增加。同时,汽车控制系统的智能化程度越来越高,电控式橡胶空气弹簧将成为未来发展的必然趋势。

橡胶品种方面,丁苯橡胶的用量最大,其次是顺丁橡胶。到2015年,全球丁苯橡胶的消费量预计将达到670万t。

郭宣

## IISRP发布中国合成橡胶市场 3项研究成果

国际合成橡胶生产商协会(IISRP)日前发布了3项有关中国合成橡胶市场的研究结果,分别涉及中国聚丁二烯橡胶(BR)市场、丙烯酸酯橡胶(ACM)市场和总的合成橡胶(SR)产业情况。这3份报告由中国化工信息中心(CNCIC)编写,被收入由IISRP和CNCIC合作出版的《弹性体公报》中。

第1项研究是关于中国合成橡胶工业的现状。相对于现有的两大巨头即国有的中国石油集团和中国石化集团,现金充裕的新兴民营公司在合成橡胶生产中发挥着日益重要的作用。未来几年,这些非国营企业合成橡胶生产能力将增加30多万t,主要在特种橡胶领域,如异戊橡胶(IR)和丁基橡胶(IIR)。

第2项研究是关于中国BR供应与需求状况。2009年年底,中国BR总产能已达到50多万t。到2011年,中国的所有BR生产商将再增加年产能36万t。

第3项研究是关于中国的丙烯酸酯橡胶(ACM)市场,中国ACM年需求总量为2.4万~2.6万t,主要应用在汽车生产和维修行业。艾迪