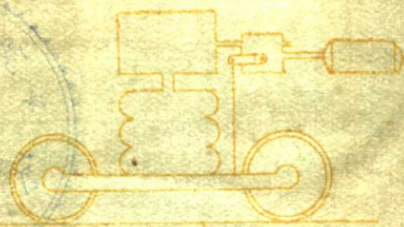


87.18235
GRS

0175868

空气弹簧悬挂的 设计与计算



交通部四方车辆研究所

空气弹簧悬挂的 设计与计算

郭荣生

1973.10



数据加载失败，请稍后重试！

目 录

前 言	(1)
第一章 空气弹簧的特点及其在我国铁道车辆上的应用	(3)
第 1 节 空气弹簧的特点	(3)
第 2 节 空气弹簧在我国铁道车辆上的应用	(9)
第二章 空气弹簧的型式和特性	(21)
第 1 节 空气弹簧的工作特性	(21)
第 2 节 空气弹簧的型式	(33)
第 3 节 空气弹簧的横向特性	(43)
第三章 空气弹簧的刚度计算	(50)
第 1 节 空气弹簧的垂直刚度	(50)
第 2 节 空气弹簧的横向刚度	(60)
第 3 节 空气弹簧的静特性试验	(68)
第四章 空气弹簧的节流孔阻力特性	(79)
第 1 节 有阻尼空气弹簧悬挂的当量系统	(79)
第 2 节 单自由度有阻尼空气弹簧悬挂系统	(83)
第 3 节 二自由度有阻尼空气弹簧悬挂系统	(98)
第 4 节 采用液压减振器的空气弹簧悬挂系统	(108)
第五章 高度控制阀的特性	(123)
第 1 节 高度控制阀的型式和结构	(123)
第 2 节 高度控制阀主要设计参数的计算	(138)
第 3 节 高度控制阀的性能试验	(143)

前 言

空气弹簧，它在车辆工程中，是为了改进弹簧悬挂装置以提高运行特性而发展的一门新技术。由于空气弹簧悬挂具有很多优越性，所以各个国家都愈来愈重视这方面的研究。

空气弹簧最先是在飞机和汽车上采用的，而在铁道车辆中大量采用才只有十多年的历史，但是它的发展是很快的。我国虽然在1958年就在铁道车辆上试用空气弹簧，但是比较多的采用是1965年以后开始的。

空气弹簧悬挂系统主要是由三个部分组成的，即空气弹簧本体、空气弹簧悬挂的减振阻尼以及高度控制阀系统。

关于空气弹簧悬挂的设计和计算，至今国内还没有这方面的系统资料，国外见到的也不多。

本文是以国内的运用实践为基础而写的，全文共有以下几个部分：

第一部分，介绍空气弹簧的特点以及它在我国铁道车辆上的运用发展情况；

第二部分，关于空气弹簧的基本工作原理，空气弹簧的型式及其特性分析；

第三部分，关于国内运用的几种空气弹簧的刚度计算公式以及有关静特性的试验结果；

第四部分，关于空气弹簧悬挂的减振阻尼以及节流孔最佳直径的理论计算；

第五部分，介绍国内运用的几种高度控制阀的结构，叙述高度控制阀主要设计参数的计算和试验方法等。

鉴于空气弹簧在国内铁道车辆上使用的时间还不长，数量还不多，也没有及时进行总结，更是笔者很缺乏这方面的运用实践经验，所以错在难免，请同志们批评指出，以期改正。

第一章 空气弹簧的特点及其在我国 铁道车辆上的应用

弹簧悬挂装置是决定车辆运行品质的重要因素之一。

理论和实践证明，要保证车辆具有良好的运行品质，必须首先考虑弹簧悬挂装置能使车辆簧上质量的自振频率足够低。当然减振器的阻力、车体质量的分布及其它一些参数，对车辆的运行品质都有显著影响。不过前述条件最为重要，也就是说，改善车辆运行平稳性的最重要的措施是尽可能增加弹簧悬挂装置的静挠度。但是，这和车辆运行品质的稳定性问题是密切相关的，特别是自重系数较低的车辆。在采用普通钢弹簧的情况下，对于弹簧悬挂装置十分柔软的车辆，在空载时的静挠度和在满载时的静挠度之间的差别很显著。这个差值达到很大时，首先可能会引起车辆在最大载荷和最小载荷下的运行品质有很大差别，其次可能会引起两辆连挂车（其中一辆具有最大载荷，而另一辆具有最小载荷）脱钩。因此，客车悬挂装置的柔度一般有一定的限制，因为车辆在空载和满载时其自动车钩的高度差不允许超过规定的数值。

弹簧悬挂装置如果采用空气弹簧，则无普通线性钢弹簧的上述缺点。

第1节 空气弹簧的特点

在车辆的弹簧悬挂装置中采用空气弹簧有以下优点：

1. 可以利用一个高度控制系统, 使车体在任何载荷下与轨面保持一定的高度。这一点, 不仅对载荷变化很大的市郊车辆和地下铁道车辆十分有利, 而且也增加了弹簧悬挂装置的静挠度, 从而改善转向架的动力品质和提高车辆的运行平稳性提供了有利条件。空气弹簧的静挠度没有物理意义, 只是一个当量的概念。所以, 空气弹簧的当量静挠度, 在数值上可以大于它本身的高度。而普通钢弹簧, 它的静挠度具有物理意义。因此, 它的物理长度(几何高度)必须比所希望的静挠度值大些, 所以普通钢弹簧的静挠度由于受到空车和重车时车钩高度差的限制不得增至很大。采用空气弹簧则解决了这个问题。

例如就客车而言, 钢弹簧的静挠度由于钩高差的限制一般不超过200毫米, 而空气弹簧则静挠度一般可达250毫米以至300毫米以上。

2. 空气弹簧的刚度是随载荷改变的, 因而在任何载荷下自振频率几乎不变, 所以它能使悬挂装置具有几乎不变的性能, 车辆在轻载下的运行平稳性和重载时的一样。而普通钢弹簧, 因其刚度是不变的, 所以它具有一个比较宽的自振频率范围, 决定于载荷的大小。因此, 车辆在轻载下的运行平稳性和重载时不一样。重载时较好, 轻载时较差。

图1-1是钢弹簧和空气弹簧静特性比较, 左图为载荷-挠度特性, 右图为载荷-频率特性。由图可以看

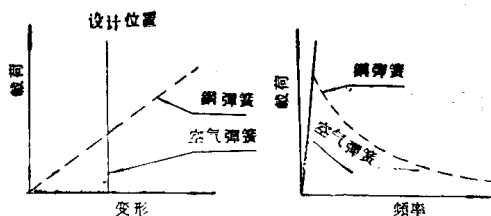


图1-1 钢弹簧和空气弹簧的特性比较

出，对于钢弹簧，静挠度随载荷增加，而对于带高度控制阀的空气弹簧，静挠度在所有载荷条件下都保持几乎不变，因而其自振频率也保持几乎不变。

3. 空气弹簧具有非线性特性，可以将它的特性曲线（载荷-挠度曲线）设计成理想的形状。最理想的形状是“S”形，即在曲线的中间区段具有比较低的刚度，而在拉伸和压缩行程的边缘区段则刚度逐渐增加。这样，可以保证车辆在正常行车范围时运行性能很为柔软，而在通过曲线和道岔等偶然场合空气弹簧被大幅拉伸和压缩时，它逐渐坚硬，从而能限制车体的振幅不至太大。而普通钢弹簧，它的特性曲线是线性的，要使这种弹簧悬挂装置具有上述非线性特性，势必要使它的结构复杂化。图1-2为钢弹簧和空气弹簧的动载荷-挠度特性比较。

4. 空气弹簧的刚度，不管载重量多少，而可以依靠改变空气压力加以选择，因此可以根据需要将刚度选得很低。例如，在空气弹簧中，决定弹簧刚度的重要因素之一是弹簧的内容积，所以，可

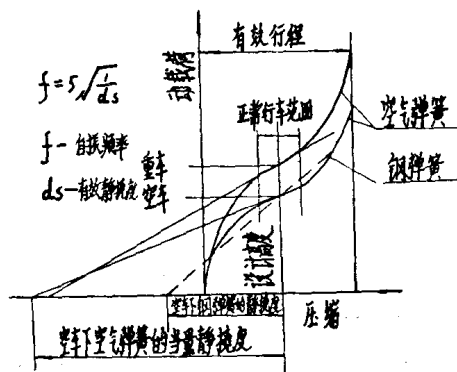


图1-2 钢弹簧和空气弹簧的动特性比较

以用增加附加空气室的办法来增加其内容积。附加空气室的容积愈大，弹簧的刚度愈小。

5. 对于同样大小的空气弹簧，当内压力改变时，可

以得到不同的承载能力。这使得同一种空气弹簧可以适应多种载荷的要求,因此经济效果好。此外,还可以通过高度控制阀的作用,使空气弹簧在一定的载荷下具有不同的高度。因此,能适应多种结构上的要求。

6. 高频振动的吸收和隔音性能好。由于空气弹簧的本身是由橡胶和空气组成的,所以弹簧内部的摩擦很小。与钢弹簧相比,空气弹簧对高频振动的吸收,具有良好的性能。又由于没有金属相碰和摩擦部分,因而工作时没有噪音,隔音性能好。所以车辆上采用空气弹簧时对减少转向架传给车体的噪音是很有效的。

7. 可以利用空气的阻尼作用。在空气弹簧和附加空气室之间加设一个节流孔,在车辆振动过程中,空气流经节流孔时要发生能量损失,因而能起到衰减振动的作用。这样,便可以减小液压减振器的容量,有助于提高其使用寿命。如果节流孔的大小选择适当,还可能取消悬挂装置中的垂直减振器。

8. 与防振橡胶的情况相同,同一弹簧在承受垂直载荷的同时,也能承受横向和纵向载荷。如果在铁道车辆上,为了简化转向架的结构而采用螺旋钢弹簧作为无摇动台的摇枕弹簧时,虽然也能在垂直方向和横向起到缓冲作用,但由于受到摇枕弹簧横向的疲劳强度和屈服极限的限制,使摇枕弹簧的刚度必须选择得较大。这样就增加了车辆的自重。空气弹簧的横向弹性,在这里就能得到充分的利用,既能简化转向架结构,又能减轻其重量。

9. 与钢弹簧比较,空气弹簧的重量较轻,承受剧烈的振动载荷时,空气弹簧的寿命较长。

10. 车辆的制动缸内的空气压力可以根据空气弹簧中的空气压力通过一种检查阀加以自动调节, 因而也就能根据车辆的实际载荷加以自动调节车辆的制动力, 等等。

必须指出, 只有采用高度控制阀的情况下, 空气弹簧的优越性才能得到充分的利用。所以, 高度控制阀是空气弹簧悬挂装置系统中的一个极其重要的部件。

高度控制阀的作用原理是, 当空气弹簧承受的载荷(即车辆载荷)发生变化而影响到空气弹簧的高度时, 能自动的使空气弹簧充气或排气, 因而提高或降低空气弹簧的内压力, 使车体始终保持在一一定的高度。

图1-3为带高度控制阀的空气弹簧悬挂装置系统的工作原理图, 车体3和转向架2之间的空气弹簧1通过节流孔5与附加空气室4勾通。用风管将附加空气室和高度控制阀6连接。高度控制阀固定在车体上, 并通过杠杆7和拉杆9与转向架连接。空气经主风缸8引至高度控制阀, 主风缸

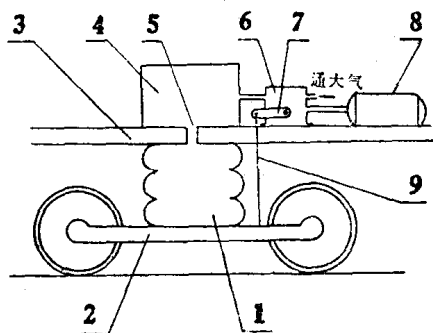


图1-3 带高度控制阀的空气弹簧悬挂系统的工作原理图

1—空气弹簧; 2—转向架; 3—车体;
4—附加空气室; 5—节流孔; 6—高度控制阀;
7—杠杆; 8—主风缸; 9—拉杆

中的空气压力应该高于空气弹簧的内压力。

假定空气弹簧上的载荷增加, 这时车体将下降, 并且高度控制阀的杠杆在拉杆的作用下按顺时针方向转动, 因此与

主风缸连接的高度控制阀的进气阀被打开。这时，空气因压力差而开始流入附加空气室和空气弹簧，一直到车体升高到原来位置为止。于是杠杆恢复到原来水平位置，并且高度控制阀的进气阀被关闭。

假定空气弹簧上的载荷减少，这时车体将上升，而高度控制阀的杠杆按反时针方向转动，并且通大气的高度控制阀的排气阀被打开。空气从空气弹簧和附加空气室排出到大气，一直到车体降到原来的位置，并且排气阀被关闭。

所以在高度控制阀的作用下，空气弹簧的高度始终保持不变，与载荷的大小无关。如果阀中设置一个油压减振器和一个缓冲弹簧以起时间迟后作用，则可以使高度控制阀对动载荷没有反映，只在静载荷变化时才起作用，这样可以避免车辆在运行时空气的消耗。

此外，为了保证车辆在运行中的绝对安全，一般在左右位空气弹簧或附加空气室之间加装一个差压阀。如果一侧的空气弹簧破裂时，它将使另一侧空气弹簧也随之把气放掉，避免车体产生过大的倾斜以至发生脱轨。特别是对于取消了轴箱弹簧的单系悬挂转向架来说，加装差压阀则更是必不可少的安全措施。

空气弹簧由于具有许多优点，所以自1947年美国铁路在普尔曼车辆上首次采用以来，它在弹簧悬挂装置中愈来愈广泛地被应用。很多国家在这方面都已作了比较广泛的研究，并且在实际运用中取得了一定的成就。其中，日本在空气弹簧的理论研究和实践运用方面进展较快，空气弹簧转向架的数量和品种也都比较多。空气弹簧在美国地下铁道车辆及西德摩托车辆上采用也是比较多的，最近英国和法国也在进一

步研究。

第2节 空气弹簧在我国铁道车辆上的应用

我国采用空气弹簧来代替钢弹簧，最先是由第一机械工业部汽车研究所于1957年开始进行试验研究工作，并且装在汽车上试用的，而1958年在大闹技术革命运动中，才开始研究在铁道车辆上试验装用空气弹簧。先由沈阳机车车辆工厂在试制的《东风号》客车上装用汽车上试用的双曲囊式空气弹簧。弹簧的尺寸较小，其最大外径为 $\varnothing 310$ 毫米，有效直径为 $\varnothing 250$ 毫米，标准高度为170毫米。但是此车并未正式应用。后来继有天津车辆段和天津橡胶研究所共同研究试制成功一种

尺寸较大的双曲囊式空气弹簧，并且改装在带均衡梁的101型转向架上（替换原来的叠板弹簧），图1-4为101型转向架改装空气弹簧后的中央悬挂装置。空气弹簧的最大外径为 $\varnothing 520$

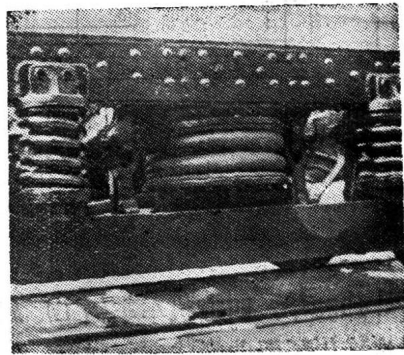


图1-4 101型转向架改装空气弹簧的中央悬挂装置

毫米，有效直径为 $\varnothing 460$ 毫米，标准高度为178毫米，图1-5为其组成。

101型转向架改装空气弹簧后，车辆的振动性能有了显著改善。图1-6是装空气弹簧和不装空气弹簧的101型转向架振动试验结果比较。

改装空气弹簧后的101型转向架，经过了比较长期的运用，虽然在运行性能方面比较良好，但是，由于这种原始结构的空气弹簧悬挂装置本身尚有不少缺点，而没有得到实际推广。

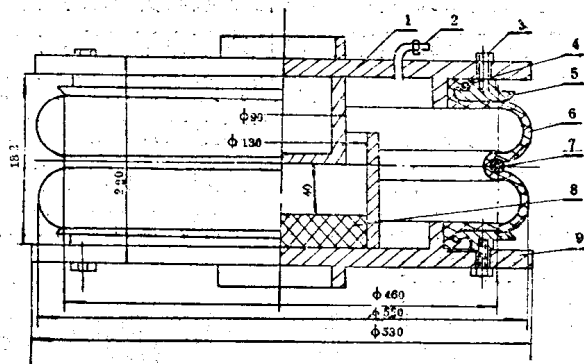


图1—5 101型转向架的空气弹簧组成

- | | | |
|--------|--------|--------|
| 1—上盖板; | 2—气咀; | 3—螺钉; |
| 4—钢丝圈; | 5—压环; | 6—橡胶囊; |
| 7—腰环; | 8—橡胶垫; | 9—下盖板 |

1959年，四方机车车辆工厂新造低重心轻快列车的转向架也采用了双曲囊式空气弹簧。低重心轻快列车车组上，设计了两种转向架—单轴转向架和双轴转向架。前者是安装在机车后面第一节车辆的前端，后者是安装在相邻两辆车的相邻端部下面，由相邻两辆车共用。

单轴转向架所采用的空气弹簧的尺寸是，最大外径为 $\phi 390$ 毫米，有效直径为 $\phi 330$ 毫米，标准高度为178毫米。空气弹簧的上部设有附加空气室（装在车体下面），借以降低弹簧刚度。在空气弹簧内装有一个圆弹簧，用以限制空气弹

簧的压力(4公斤/厘米²)。此外,空气弹簧系统还装有高度控制阀。因此在不同载荷条件下,空气弹簧高度不变,从而车体高度保持一定。空气弹簧下座连于略为倾斜的支承杆上,支承杆的作用和一般转向架摇动台的作用相仿。在车体和轴箱之间斜装着横向复原弹簧装置,与水平呈35°角,其内装有液压减振器,一侧复原弹簧的刚度为34.5公斤/厘米。

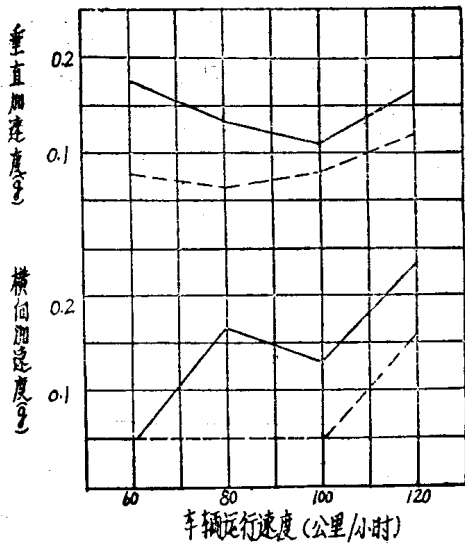


图1-6 101型转向架的振动试验结果

虚线—改装空气弹簧
实线—不装空气弹簧

双轴转向架所采用的空气弹簧橡胶囊与101型转向架所改装的完全一样,但其组成不同。如图1-7所示,空气弹簧的上部通过法兰盘用螺钉固定在车体的支座上,支座的内腔部分作为空气弹簧的附加空气室,其容积约为40升。空气弹簧的下部亦通过法兰盘用螺钉固定在转向架的支座8上。空气弹簧内部装有内外导筒3和4,分别用螺钉固定在上下支座上,其间垫有作密封用的石棉橡胶垫板。上下导筒的垂直间隙为30毫米。导筒内部注有适当的油液,以作润滑和减振之用。为了保证车体在载重情况下空气弹簧的压力不致过

大（标准内压为4公斤/厘米²），故在自重较大的车辆的空气弹簧内部安装一个螺旋弹簧5及其上下支座6和7。螺旋弹簧的技术规格为：平均直径 $D=274$ 毫米，簧条直径 $d=36$ 毫米，有效圈数 $n=2.9$ ，自由高 $H_1=254$ 毫米，安装高 $H_2=172$ 毫米，垂直刚度 $c=28.15$ 公斤/毫米。此外，此空气弹簧系统也装有高度控制阀。

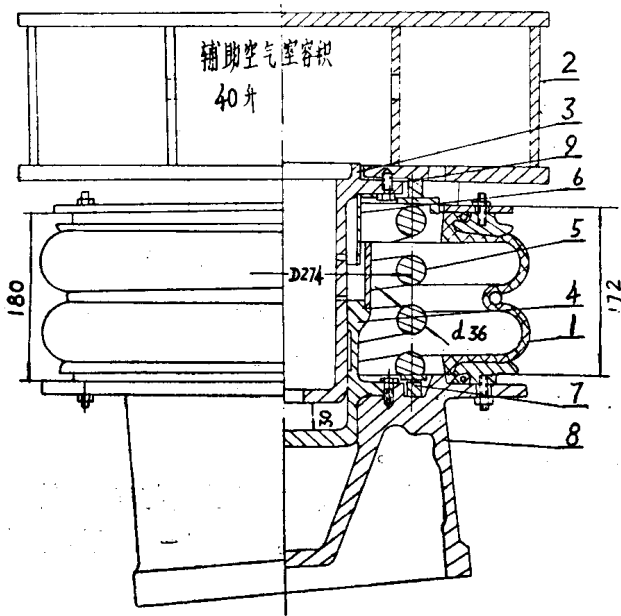


图1-7 低重心列车双轴转向架的空气弹簧组成

- | | | |
|--------|-----------|----------|
| 1—橡胶囊； | 2—车体支座； | 3—内导筒； |
| 4—外导筒； | 5—螺旋弹簧； | 6—上支座； |
| 7—下支座； | 8—转向架上支座； | 9—石棉橡胶垫板 |

低重心列车的转向架，由于空气弹簧的支承结构不好等

方面的原因，其横向振动较差，经过几次改进后均无效。所以于1967年，又重新设计并改用了其结构完全不同的新型膜式空气弹簧转向架，基本上就解决了横向振动性能问题。这种转向架在下面将提到（25.5米轻型高速列车转向架）。

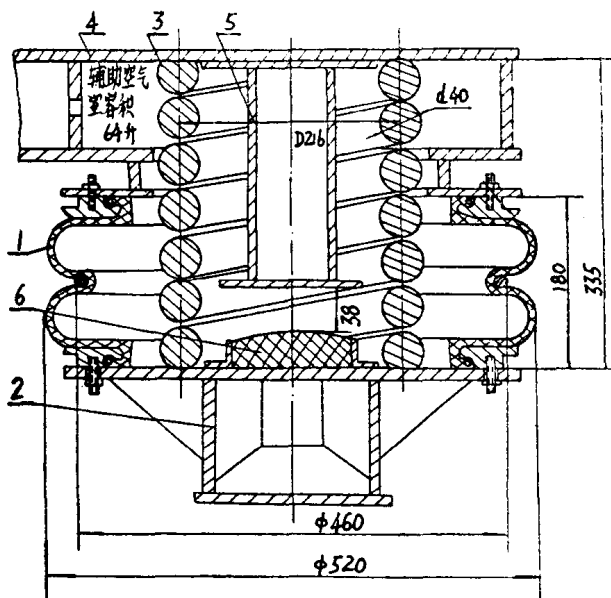


图1-8 双层客车的空气弹簧组成

- 1—橡胶囊； 2—下承梁； 3—螺旋弹簧；
4—摇枕； 5—内导筒； 6—橡胶垫

1960年11月，四方机车车辆工厂新造的双层客车转向架，也有一辆车试装了空气弹簧和螺旋弹簧并联的组合式空气弹簧悬挂装置，并带有高度控制阀和附加空气室。其空气弹簧的橡胶囊也是和101型转向架改装用的相同。

图1-8为双层客车的空气弹簧组成。空气弹簧的上下