

# 低频振动解决方案 精密气浮式减振器



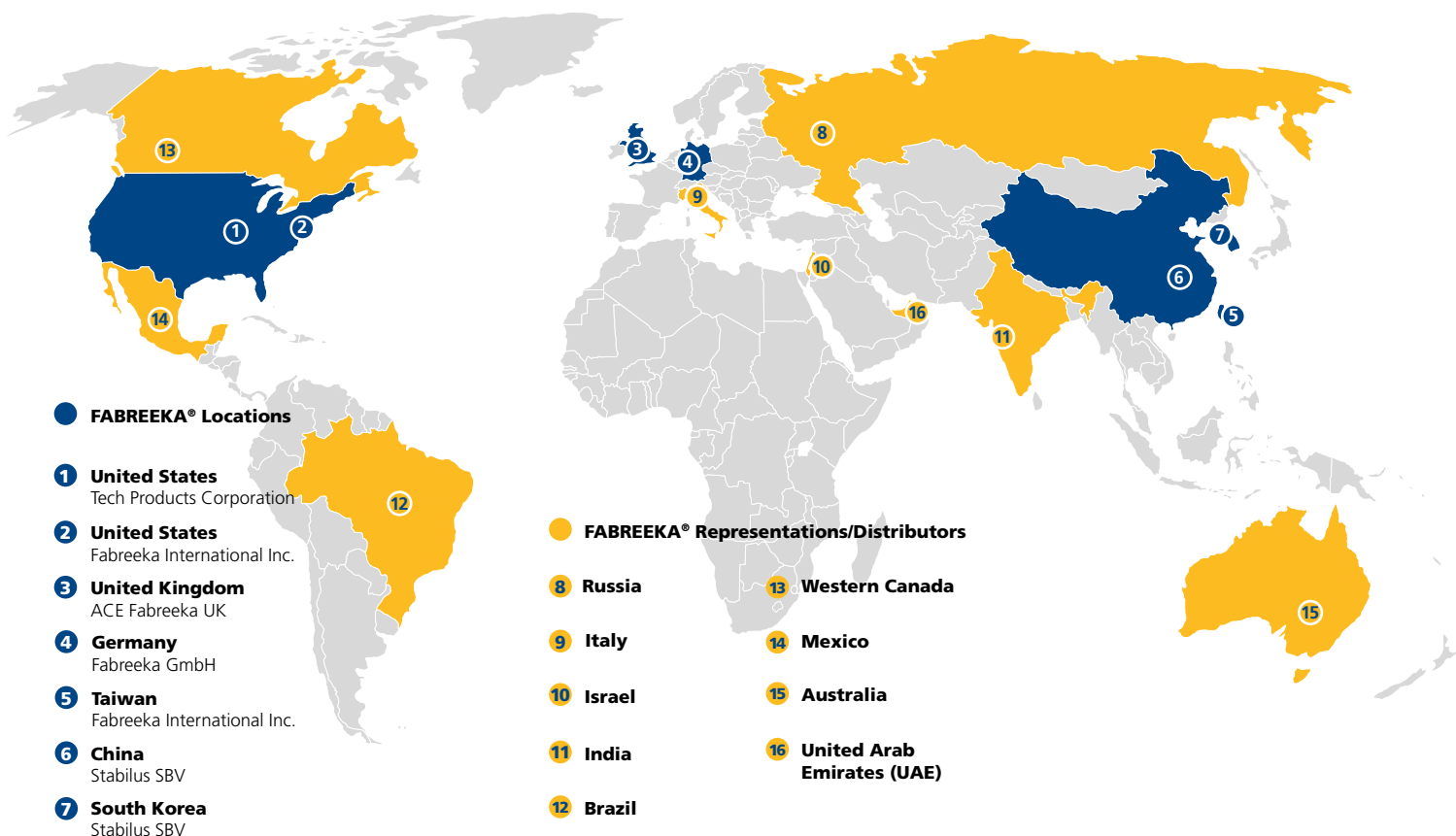
# 全球性思维

自1936年以来，在解决振动和冲击问题领域，Fabreeka®公司一直都居于领导地位。我们的公司为各个行业提供振动和冲击问题的整体解决方案。

我们的国际影响力证明了我们在振动和冲击隔离领域的优势和专业知 识。 Fabreeka®不仅仅是一个隔振器制造商，我们还 为各领域和行业的客户设计定制振动控制解决方案，如仪器仪表和实验室技术，建筑服务业和机械工程。我们的内部和现场工作人员提供现场振动测量和安装服务以及咨询和培训。

本手册详细介绍了我们的减振隔振产品系列。如您有任何疑问，或者正在为振动控制问题寻找合适的决 方案，请随时与我们联系进行全面 咨询。我们的Fabreeka®团队可以通 过电话联系您，或者我们可以将我 们有能力的工程师送到您的场所或 现场进行沟通和交流。

有关我们的详细信息和联系方式， 请参阅最后一页。



# 内容

简介 .....	4
技术规格--空气弹簧 .....	5
设计服务 .....	10
<b>产品</b>	
带自动调水平精密气浮空气弹簧 (PAL) .....	12
精密水平控制阀 .....	13
常规空气弹簧	
减振性能参数和规格 .....	14
特殊空气弹簧	
钟摆式空气弹簧 .....	16
定制型和小型减振器 .....	18
万向节空气弹簧 .....	19
摇篮式平台和机器台架 .....	20
囊式空气弹簧 .....	21
精密囊式空气弹簧 (RLA) .....	22
精密气浮式减振垫脚 (PLM) .....	34
快速充泄压系统 (RDS) .....	36
<b>应用领域&amp;案例</b>	
精密加工设备 .....	37
测量和测试设备 .....	38
汽车测试台架 .....	39
航空航天测试 .....	41
软支撑系统 .....	42
MRI/NMR 光谱仪设备 .....	43

# 介绍

低频振动和冲击会影响精密测量仪器，精密定位设备和精密制造设备的精度，重复性和产量。成品的精度要求不断提高，相应的制造，检测仪器，工程和研究设施对提高动态稳定性的要求也越来越高。

旨在提高制造精度的低频和超低振动隔振已被证明是实现降低当前振动的最好的方法。建立一个尽可能无振动的环境或许是另外一种解决方案。

机械振动和冲击无处不在。设备受

振动或冲击影响的程度取决于干扰的强度和设备的灵敏度。

由低量地震干扰构成的振动环境在地球上普遍存在的，这种振动对于人来说感觉不到的，但是却可以导致敏感设备在操作中产生问题。加上日常由卡车、走路、叉车、机械和暖通系统产生的振动，使得更多的设备受到了影响。

受机械振动影响的设备和工艺包括精密加工工具，坐标测量设备，磁共振成像 MRI / NMR，实验室设备和半导体生产设备。

减振的目的是控制干扰振动，将干扰振动的不利影响控制在可接受的范围内。减振器被设计来为不同型号的设备提供振动和冲击的保护。

通过减振器可减少从震源进入到周围环境的振动，其中需要隔离的设备是不良振动的来源，如冲击和振动测试设备（图1）。

减振器可以减少外界振动传导到设备端，如电子显微镜，坐标测量机等接收设备，这些设备需要隔离来自环境的干扰振动（图2）。



图. 1



由于这类仪器的高测量精度，坐标测量系统对振动和冲击很敏感。空气弹簧能提供低频振动隔离，以减少外界环境振动带来的影响。

图. 2

# 技术规格

## 空气弹簧

### 自然频率

气浮式减振器中包括一个空气室，该部分由一个加强型隔膜密封。减振器充气后，负载是由位于隔膜上部的盖板支撑的。(图3)

隔膜的有效面积和施加给隔膜的压力决定了减振器的负载能力。水平调节阀可以控制减振器内部的气体压力和减振器的浮起高度。

Fabreeka®空气弹簧使用由弹簧腔和阻尼腔组成的两部分气室的结构设计。

这两个腔室彼此间隔开并通过气动管道连接(见阻尼部分)。这种双腔结构可以用不同的方式进行设计，减振器的固有频率取决于腔室的体积V和隔膜的有效表面A<sub>eff</sub>(公式1)。请注意，压力P<sub>abs</sub>与负载重量m是成比例的，意味着即使负载变化也会产生恒定的固有频率。

$$[公式 1*] \\ F_n = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{n P_{abs} (A_{eff})^2}{V m} \right)^{\frac{1}{2}}$$

其中: F<sub>n</sub> = 自然频率 [Hz]

\*基于充气压力 > 3 bar

n = 气体绝热膨胀系数，等压比热与等容比热的比值 [空气为 1.4]  
 m = 空气弹簧负载重量 [kg]  
 A<sub>eff</sub> = 隔膜有效面积 [m<sup>2</sup>]  
 V = 气体容积 [m<sup>3</sup>]  
 P<sub>abs</sub> = 绝对压力 [bar]

空气弹簧刚度主要取决于给定空气腔的压力和体积，并且可以根据以下参数从气体定律中的压力和体积之间的关系推导出：

- (a) 绝热压缩
- (b) 容积的变化相对于初始容积来说，比较小

因此得出：

$$[公式 2*] \\ C = \frac{n P_{abs} (A_{eff})^2}{V}$$

其中：

C = 刚度 [N/m]  
 n = 空气绝热膨胀系数 = 1,4  
 P<sub>abs</sub> = 空气腔绝对压力 [bar]  
 A<sub>eff</sub> = 隔膜有效面积 [m<sup>2</sup>]

该表达式说明了安装在无阻尼状态下空气弹簧上的负载重量与腔室体积和有效隔膜面积之间的关系。

请注意，无论使用多薄或多么柔软的隔膜，隔膜中的弹性体都会增加空气弹簧在低工作压力下的刚度。这种额外的刚度会影响减振器的整体动态特性。空气弹簧的工作压力应始终高于3bar，以减少这种相对的附加刚度。阀门刚度也会影响空气弹簧系统的整体刚度。

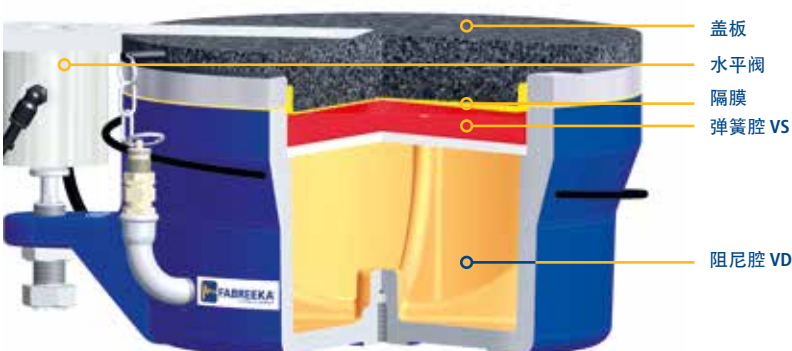


图. 3

## 阻尼

减振器中阻尼的目的是尽快的吸收或减少能量。在共振时，阻尼也同样能减少振动的振幅。当激励频率与减振器的自然频率相等时，就会产生共振现象。（图5.）

系统中的垂直阻尼包括使用气管将阻尼室连接到弹簧室。阻尼行为可以通过检查腔室之间流动的能量的转换来推断，并取决于气动管道和弹簧与阻尼腔室之间的体积比。

为得到更好的减振方案，需要仔细考虑阻尼的问题。对于使用空气弹簧的大质量系统来说，阻尼对于阻止由于干扰引起的瞬时振动（例如大桥或平台的移动）和限制

共振时的振幅是至关重要的。假定某个气体容量比，可以保证空气能够层流流入阻尼腔，通过该气体容量比可以确定气管的长度和直径。这种设计理念使得可以根据实际情况在较大范围内调整阻尼。无论大或是小的干扰，当空气是层流流入气管时，阻尼是最优的选择。

## 传输率

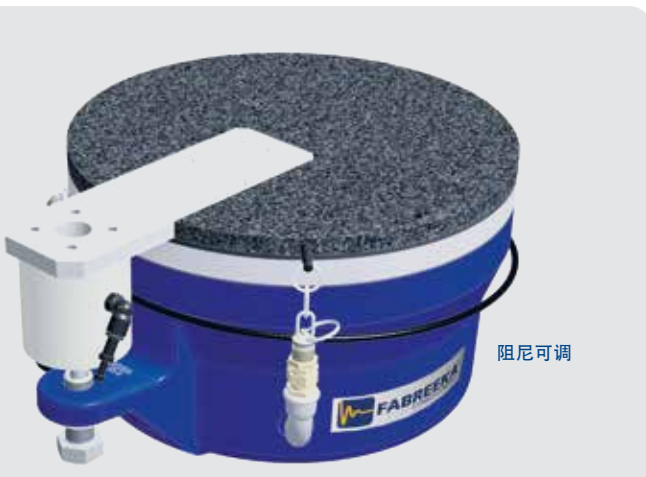
减振器的自然频率（动态刚度）和阻尼特性决定了它的传输率。

传输率就是通过减振器的振动与干扰振动的比值。公式3为传输率的基本公式。公式中， $F_d$  是干扰频率， $F_n$  是减振器的自然频率。

$$T = \frac{1}{\left(\frac{F_d}{F_n}\right)^2 - 1} \quad \text{[公式 3]}$$

考虑到阻尼，公式则变为公式 4,  $\xi$  为减振器的阻尼。

$$T = \frac{\sqrt{1 + \left(2 \times \left(\frac{F_d}{F_n}\right) \times \xi\right)^2}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{F_d}{F_n}\right)^2\right]^2 + \left(2 \times \frac{F_d}{F_n} \times \xi\right)^2}} \quad \text{[公式 4]}$$



阻尼可调

图. 4

当共振产生时传输率的值最大，也就是当干扰频率和减振器的自然频率相等时 ( $F_d / F_n = 1$ )。共振情况下，传输率的公式可表述为下面公式5。注意，在共振时减振器的振幅量级与减振器阻尼是函数关系。

$$T = \frac{1}{2\zeta} \quad \text{[公式 5]}$$

图5通过图表的形式显示了减振器的传输率与频率比的函数关系。图中可以看出不同阻尼对减振区域和振动扩大区域的影响，其中也包含共振时产生的最大振幅。

当干扰频率大于减振器自然频率的 $\sqrt{2}$ 倍，开始减振（传输率减少）。频率比决定着减振效果的优劣。气浮式减振器的主要优点是它具有较低的自然频率和相对应的传输率。

在10Hz高阻尼情况下，80Hz到90Hz的振动被衰减。注意，随着阻尼的增加，传输率曲线变得扁平，也就是说接近共振区域曲线由高变低，但是在需要减振的区域，曲线又开始增强。曲线显示如果减振器的阻尼很大，为获得理想的减振效果，减振器的自然频率必须降低。

理论上的传输比曲线没有考虑干扰频率( $F_d$ )对应的振幅大小的影响。包括气浮式减振器在内的所有减振器，输入的干扰振幅下都显示出不同的动态自然频率。干扰振减

振 隔振 | 技术规格动小时，减振器变得较硬，因此具有稍高的自然频率。干扰振动变大时，减振器的表现更接近于它的理论传输率曲线。

实测的传输率曲线应该在测量过程中指出输入振动的振幅。

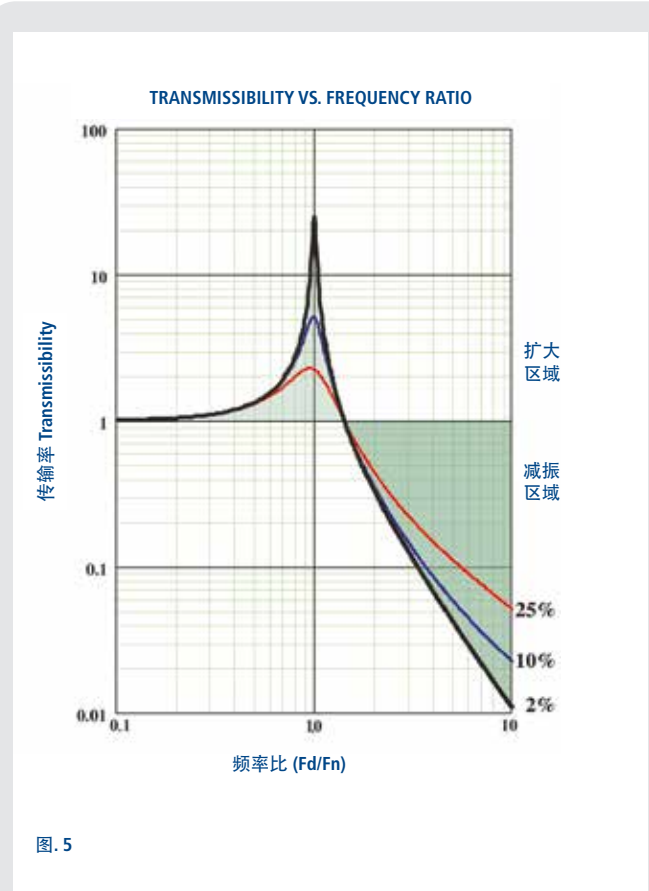


图. 5

## 应用

在通过分析或测试最终选择空气弹簧系统之前，应动态分析包括轴承，安装和支撑结构的设备的正确布置。低结构刚度可能会影响系统的隔振效率。测试装置的安装结构可以被认为是弹簧，因为其刚度可以通过测试来计算或确定。负载支撑结构太“软”而导致其在隔振系统的固有频率附近的低频处扭曲或弯曲将降低系统的隔离效率。

为了确保减振器的减振效果如预期一样好，在设计实践中，支撑结构的动态刚度一般为减振器动态刚度的10-20倍。每一种结构（框架、基础，惯性质量块）都有质量和刚度，因此有不同的共振频率。这些频率称为结构共振，与形状、支撑的方式和材料有关。

当采用气浮式减振器时，从传输率图中可以看出，在频率大于10Hz时，可以达到80-90%的减振效果。

因此，如果支撑结构的刚度至少是减振器自然频率的10倍，在结构共振时的任何干扰振动都会被显著的降低。如果支撑结构是焊接的钢或者铝时，这点尤为重要。因为金属的阻尼都比较小，所以在共振被激励时，振幅都比较大。

图6的传输比曲线显示减振器的平动和转动频率，而且支撑基础的共振频率为80Hz以上。

当结构共振是有害的时候，一个有效的方法就是增加结构的阻尼，阻尼可以减少振幅。如果高频结构共振不会影响整个系统的运行，那么使结构变硬对于降低结构共振也是有帮助的。

正确使用气浮式减振器的另一个条件是减振器的摆放位置。在理想的设计中，减振器表面应该与负载和支撑结构的综合重心处位于同一平面。如果按照这种形式，减振器就只会有平动模式（水平和垂直）。如果所有的减振器都是在做6自由度的运动，当减振器处于重心之下时，转动模式也是存在的。（如图6）

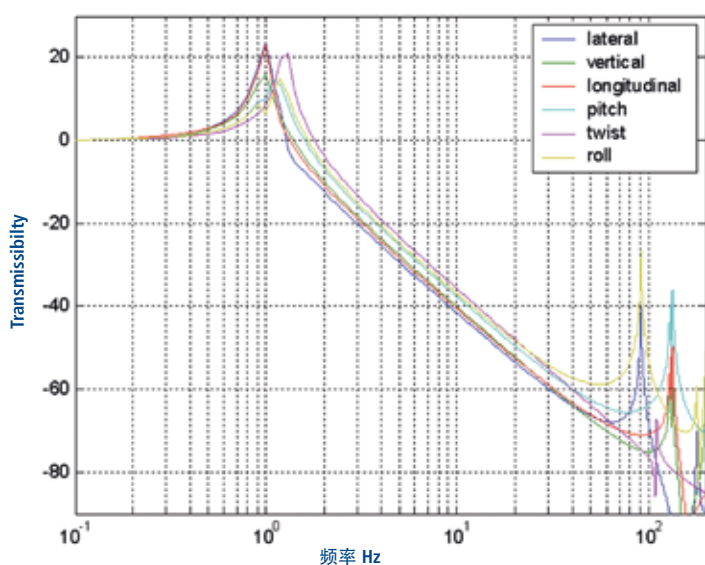


图 6



对于仅垂直振动的载荷，传递函数曲线与图5中的理论曲线非常接近。除了线性振动之外，当负载水平摆动并且整个重心位于空气弹簧平面之上时，产生摇摆和扭曲模式。可以通过设置减振器的位置来抵消不可接受的摇摆模式，使得旋转模式耦合到平移模式。

如果系统的重心高出减振器膜片平面很多，不稳定因素就出现了。气浮式减振器必须满足稳定系统的要求，所以减振器的摆放位置需要在稳定系统设计规定的限制之内。（如图7）

在行业标准中，将减振器的中心用一条线连接。该线为基线，构造一个垂直高度为最短边基线长度 $1/3$ 的三角形。如果负载重心在该平面上的投影在三角形内部，系统就是稳定的并且显示出有效的减振和阻尼特性。

注意：减振器在所有转动方向上的相对位置是设计稳定系统的首要考虑因素。另一个重要因素是减振器本身的设计。阻尼率、气体有效容积和阀流量都是变量。Fabreeka®的工程师可以根据您的实际应用为您提供合适的减振方案。

如果重心在三角形之外，系统很有可能会有稳定性的问题。在这种情况下，有时我们会在现场进行减振器的升级调整，例如通过增加阻尼或可变水平调节阀，从而达到系统的稳定。不过，增加阻尼会稍微增加系统的刚度，因此增加了每个减振器在垂直方向的自然频率。



图 7

# 设计服务

## 现场振动测量和分析

低频振动和冲击可以影响精密测量仪器的准确性，重复性和生产效率。绝大多数精密加工机械和测量仪器的生产厂商为保证他们产品的正常使用提出了相应的振动规范。Fabreeka®利用高精度的仪器测量现场的振动频率和振幅，并提出合适的振动控制方案。

我们的工程师经常在世界范围内为客户进行振动测量和特殊的数据分析。

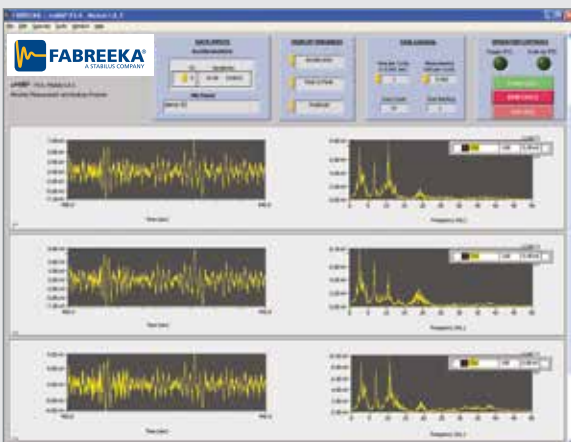


图 8



图 9

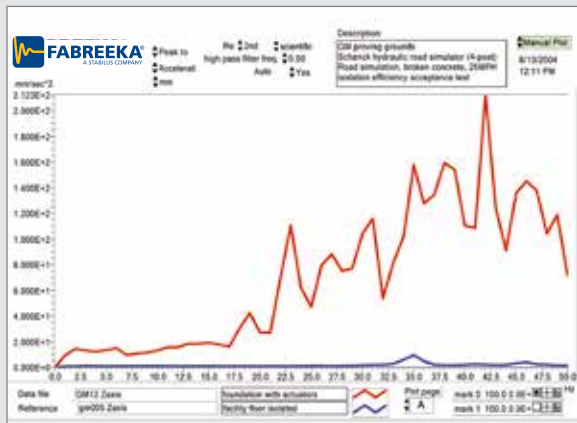


图 10



现场振动测量

图8 (左上角) 振动测量软件记录了振动的振幅和频率，以供日后分析。Fabreeka®全球各个公司都可以提供此服务。

图9 (左边中间) 现场振动水平与设备提供商的规范进行对比，进而确定在振幅超出机器允许范围的频率，需要减振的效率。

图10 (左下角) Fabreeka®工程师也可以在减振系统安装后做验收振动测试。验收测试可以提供减振后的振动振幅。

## 动态分析和有限元分析

正如在前面技术讨论部分所述，支撑结构的动态反应也是整体减振方案的一部分。

在关键点通过变化刚度，质量和阻尼调整振幅时，检查振动结构中的模态图形是非常有价值的一步。

通过有限元分析，可以明确反映出结构的振型、响应频率以及隔振系统对于设备干扰的输入和（或）环境干扰输入的响应。

模态结构（每个轴的刚度）标示了每个频率下结构的物理趋势和任何变形，例如弯曲或扭转。总的来说，结构的模态表明了这种结构上各个节点与结构刚度的相关程度。（见图11和图13）

在向客户提供任何支撑结构和基础的设计时，必须同时提供可靠的、符合静态和动态准则的结构配置。由于静态负载或者外力引发的偏移应该在可接受的范围之内。

设计要尽可能接近实际的结构，这样就可以预测实际结构的反应并且使得出错率是最小的。

支撑结构的刚度计算可以得出结构的静态和动态的表现和应力集中的发生点。应力和结构的几何形状、负载和受力的分布是相关的。应力分析可以显示出静态和动态载荷所施加的应力值。（见图12）



图 11: GG25 测量平板

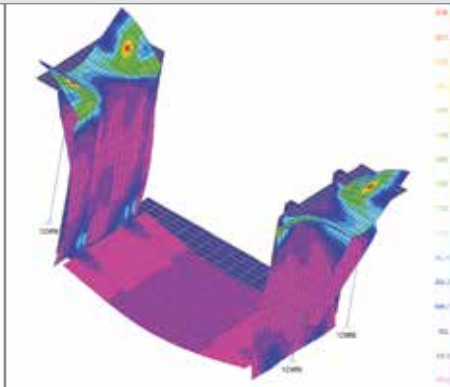


图 12: 应力图

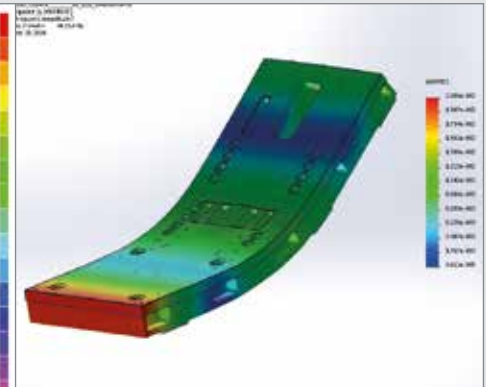


图 13: GG25 测量平板第一次弯曲频率

# 带自动调水平系统 精密气浮式减振器/空气弹簧 (PAL)

精密气浮式减振器能够为计量器具，电子显微镜，核磁共振设备，测量三坐标和精密加工设备提供极低频率下的减振功能。

Fabreeka®的精密气浮式减振系统采用带水平控制的空气弹簧。在需要同时控制高度和振动的条件下，这种减振器是非常理想的。Fabreeka® PAL系列减振器满足了计量器具，电子显微镜，检测设备和精密加工设备的严格要求。

## PAL系列减振器系统介绍

标准的 Fabreeka® PAL 减振器根据减振器高度的不同有1.5Hz至2.7Hz的固有频率。某些订制型号的固有频率可以低至0.5Hz。

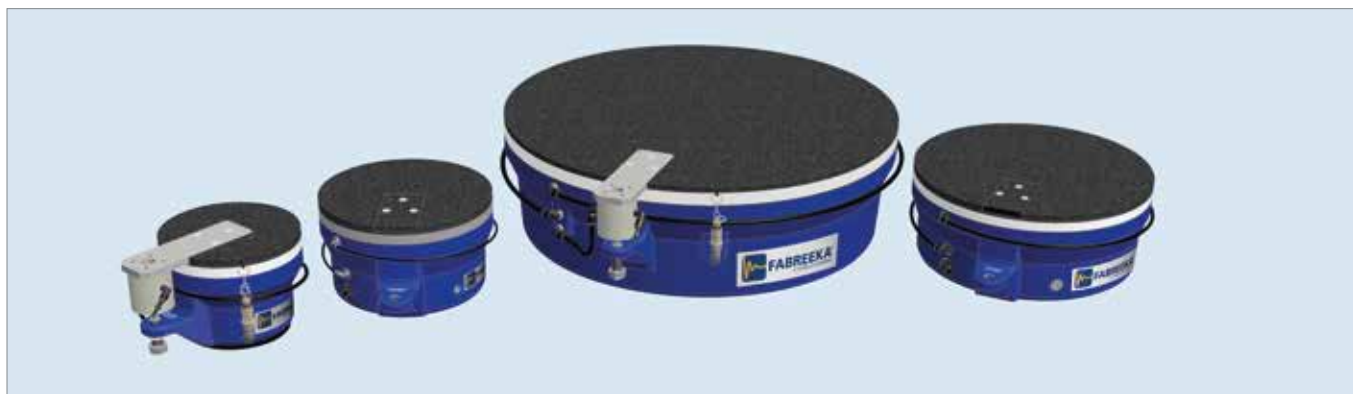
完整的Fabreeka® PAL系统包含至少3个主动减振器（因为3点决定一个平面）。每个减振器都有一个水平调节阀，它是负载传感器和高度控制单元。可以根据设备的重量增加所需从动减振器的数量。

减振系统会配置一个控制单元，高度自动控制阀，连接的管线和其他安装用的配件等。

## PAL系列减振器的功能

PAL减振器可以自动回复到原定的水平位置，进而对于支撑负载的变和重心的转移做出快速的反应。气浮式减振系统的性能是需要减振器固有频率，水平调节阀的精度和系统复位时间这三个因素之间相互调的。

对于一个确定的输入干扰振动，位时间是指减振器恢复到初始设定位置的时间。这个干扰可以是外界的或者是机器本身引起的，例如龙门吊架或者机台的运行。



PAL 系列空气弹簧系统

最短的复位时间取决于最佳的阻尼和对应的阀流量。复位时间过长的气浮式减振器是不可接受的，因为精密测量和定位机械可能会因此产生重复性误差和生产效率的下降。

针对不同的应用，Fabreeka®可以提供不同的水平调节阀。在减振方案的设计中，阀的流量、刚度和精度都是主要的参数。Fabreeka®的水平调节阀的精度可以达到  $\pm 0.15$  mm 或  $\pm 0.025$  mm。阀的流量和刚度可以根据减振器的设计和阻尼来选择。

### 精密水平控制阀

水平控制阀有各种不同的类型。我们的Fabreeka®调平阀可满足所有应用要求，精度等级由  $\pm 0.15$  mm 至  $\pm 0.025$  mm，并可改变流速。阀门刚度，流量和精度在优化稳定时间和隔离效率方面起着关键作用。

杠杆臂会影响阀门的精度，不过也会增加可调节范围。

### 不同水平阀概览



带水平阀 PAL36 空气弹簧



PALV20-1 水平阀



PALV5-5 水平阀

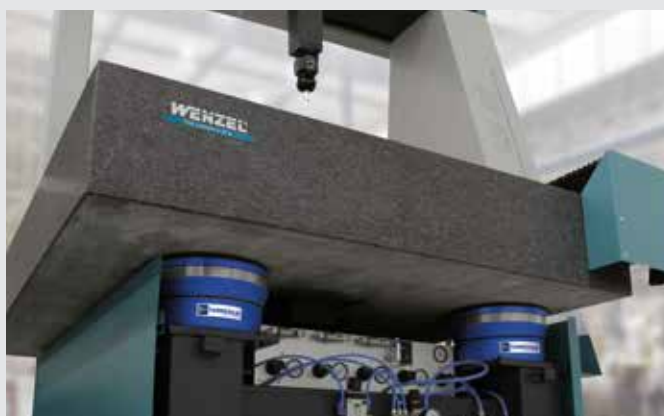


PALV1-2 水平阀

# 常规空气弹簧 减振性能参数和规格



Bertrandt 减振地基



Wenzel 温泽CMM三坐标测量仪器



应用于测试平台空气弹簧



应用部位细节



AOI 检测仪器

## 技术规格

自然频率	(-6)	(-12)	阻尼		
垂直方向	2.5 – 2.7 Hz	1.5 – 1.7 Hz	垂直方向 (可调)	6% – 20%	6% – 20%
水平方向	2.0 – 4.5 Hz	2.0 – 4.5 Hz	水平方向	3% – 6%	3% – 6%

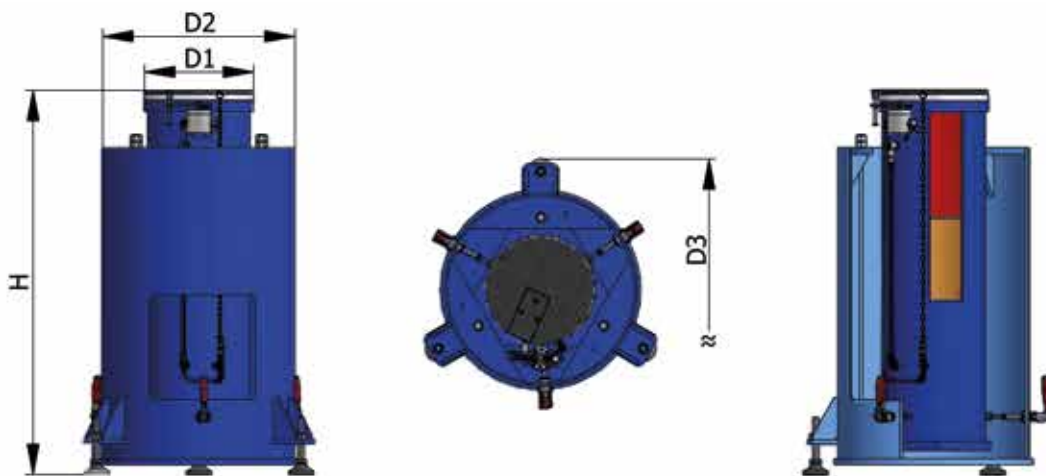


型号	D1	D2	H 充气前	H max. 充气后	L	设计负载 at 4.5 bar	最大负载 at 10 bar
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	kg
PAL9-6	130	130	153	163	200	248	550
PAL15-6	165	165	153	163	235	428	950
PAL 21-6	200	160	153	163	270	608	1350
PAL21-12	200	200	305	315	270	608	1360
PAL36-6	220	190	153	163	290	1035	2300
PAL36-12	220	220	305	315	290	1035	2300
PAL55-6	260	230	153	163	330	1606	3570
PAL55-12	260	260	305	315	330	1606	3570
PAL75-6	300	265	153	163	370	2180	4850
PAL75-12	300	285	305	315	370	2180	4850
PAL133-6	380	350	153	163	450	3900	8670
PAL133-12	380	380	305	315	450	3900	8670
PAL255-6	530	470	153	165	600	7425	16500
PAL255-12	530	460	305	317	600	7425	16500
PAL416-8	640	585	203	215	710	11700	26000
PAL750-6	850	817	153	165	920	21950	48750

# 特殊空气弹簧 钟摆式空气弹簧

## 技术规格

自然频率	(-15/-18/-19)	(-36)	(-52/-60)	阻尼			
垂直方向	1.3 – 1.5 Hz	0.9 – 1.0 Hz	0.7 – 0.9 Hz	垂直方向 I	6% – 20%	6% – 20%	6% – 20%
水平方向	1.3 – 1.5 Hz	0.6 – 0.7 Hz	0.4 – 0.5 Hz	水平方向	3% – 6%	3% – 6%	3% – 6%



型号	D1	D2	H 充气前	H max. 充气后	D3	设计负载 at 4.5 bar	最大负载 at 10 bar
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	kg
PAL21-15P	200	279	381	391	N/A	608	1350
PAL36-18P	220	220	457	467	N/A	1035	2300
PAL55-15P	260	470	381	391	603	1606	3570
PAL55-52P	260	470	1321	1331	603	1606	3570
PAL75-19P	295	378	483	493	N/A	2180	4850
PAL133-36P	380	622	914	924	800	3900	8670
PAL133-60P	380	622	1524	1534	800	3900	8670
PAL255-36P	530	775	914	926	953	7425	16500
PAL255-60P	530	775	1524	1536	953	7425	16500
PAL416-36P	640	927	914	926	1143	11700	26000
PAL416-60P	640	927	1524	1536	1143	11700	26000
PAL750-36P	850	1140	914	926	1356	21950	48750





测量设备基础



Nano 2000, Ilmenau 技术大学



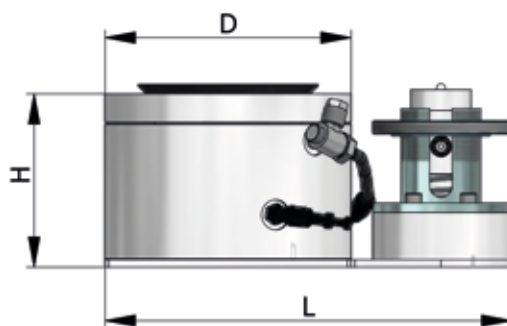
Francis Crick, 伦敦



太空望远镜减振

## 定制型和小型减振器

Fabreeka®可以按照客户具体要求订做减振器，使其更好的满足客户机器的设计要求。在洁净室的应用中，水平调节阀排放出的气体被排到室外，减振器也要选用适合洁净室要求的材料和包装。此外，也可以用非磁性材料制造减振器。



型号	D	H 充气前	H max. 充气后	L	设计负载 at 4.5 bar	最大负载 at 10 bar
	mm	mm	mm	mm	kg	kg
PAL3-2.5	80	64	70	157	85	190
PAL5.5-2.5	100	64	70	177	158	350
PAL9-4	130	94	98	207	248	550

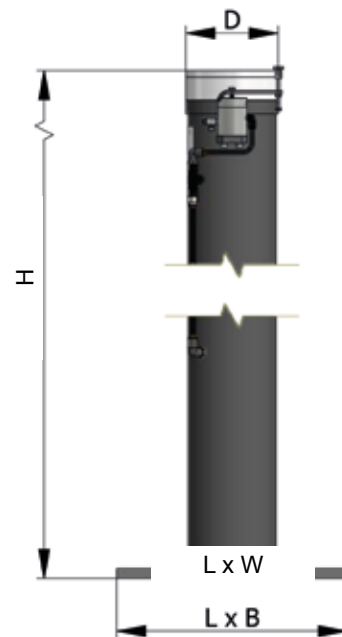


## 万向节空气弹簧

万向节空气弹簧在垂直和水平方向上提供较低的固有频率，尤其用于非常敏感的设备（例如NMR分光镜和高分辨率扫描电子显微镜）中的振动隔离。

万向节空气弹簧基于其应用领域的要求由非磁性材料制成，并且根据尺寸可以实现 0.8 Hz 和 1.7 Hz（垂直和水平）之间的固有频率设计。

还可提供基于标准材料的定制解决方案。



型号	D	H 充气前	H max. 充气后	L x W	设计负载 at 4.5 bar	最大负载 at 10 bar
	mm	mm	mm	mm	kg	kg
PAL9-18G	140	457	467	300 x 350	248	550
PAL9-42G	140	1049	1059	300 x 350	248	550
PAL18-18G	180	457	467	300 x 350	520	1155
PAL18-50G	180	1270	1280	300 x 350	520	1155
PAL22-18G	190	457	467	300 x 350	640	1420
PAL28-18G	205	457	467	300 x 350	810	1800
PAL36-18G	220	457	467	300 x 350	1035	2300

底板和高度调整块基于应用工况也采用非磁性材料设计

# 摇篮式平台和 机器台架



振动器减振



平版印刷减振



Nano 2000 基础隔振

摇篮式平台和订制的机台架可以降低系统的重心，从而增加了气浮式减振系统的稳定性。

正确使用气浮式减振器的一个重要条件就是将减振器放置于需要减振的设备之下。在系统的设计中，减振器的弹性平面应该尽可能的接近有效载荷负载和其支撑结构的重心。

当有效载荷在水平方向上振动时其重心高于减振系统的弹性平面，就会产生摇摆现象。如果重心高于弹性平面很多，整个系统则会出现不稳定。气浮式减振器的放置位置一定要满足稳定系统的要求。（如下图）

使用摇篮式平台可以使减振器更接近重心，进而减少摇摆现象。当不能对机器的底部进行修改用来放置减振器的情况下和需要刚性支撑框架的系统，都可以使用摇篮式平台。

摇篮式平台的结构和动态设计是十分重要的。在使用PAL或者PLM减振器时，控制设备本身重量引起的压力和形变（弯曲）和动态刚度（结构共振）是成功方案的一个组成部分。



摇篮式平台

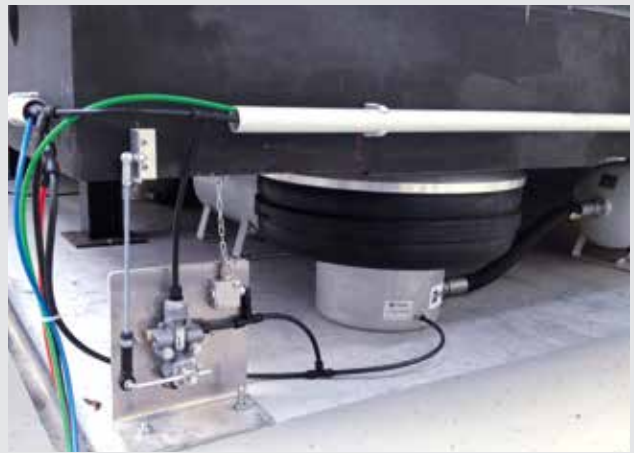
## 囊式空气弹簧

囊式空气弹簧为发动机测试台架，大反作用力质量块和需要高动态振动幅度和提升高度的应用提供低频隔振。

囊式空气弹簧可具有低至 0.7 Hz 的垂直和水平固有频率，具体取决于工作高度和囊式设计（单囊，双囊或多囊）。水平方向上的弹簧刚度和稳定性取决于工作高度，因此每种囊式空气弹簧都具有理想的工作高度。通过增加空气量可以实现较低的垂直固有频率，例如通过使用附加罐等。

较大的可用行程范围是囊式空气弹簧的关键特性，根据囊式空气弹簧设计，工作行程范围可达50至 75 mm - 非常适合容易出现大动态偏转的应用。

除非阻尼腔与空气弹簧腔耦合在一起，否则囊式空气弹簧和膜式空气弹簧都具有非常低的阻尼（3%至4%）。大多数设计要求阻尼为10%至15%，具体取决于应用以及隔振和复位时间。完整的隔振系统将包括至少三个用于三点水平控制的空气弹簧。每个减振器都有一个集成的水平控制阀，可用作负载和位置传感器。可以添加任意数量的附加空气弹簧以承载更大的载荷。每个系统都配有控制面板，自动高度控制阀，气管接头和完整系统安装所需的所有气动附件。



SAF 荷兰公司测试台架



SAF 荷兰公司测试台架铁地板



BMW 宝马公司测试台架

# FABREEKA®精密囊式空气弹簧

## RLA 系列

适用于如下应用中的动态设备进行有效的隔振：

- 汽车测试平台 (如：道路模拟测试，MAST,Hexapod,脉冲式喷射发动机单元)
- 地震模拟测试
- 风力发电机测试平台
- 铁路测试平台
- 飞行器零部件测试平台
- 材料测试台
  - 应急发电机 (含基础，不含基础)
  - 碎纸机
  - 其他大型基础

### RLA 系列空气弹簧介绍

- 根据不同设计规格，单个负载 3,500 kg 到 31,500 kg
- 在宽负载范围内几乎恒定的与负载无关的垂直固有频率
- 低于0.7 Hz超低频 (可选附加罐)
- 可切换的垂直固有频率 (可选附加罐)
- 渐进式垂直刚度曲线
- 为匹配特定的应用程序，固有频率适应范围广
- 低噪音版本 (声音硬度为E2 4.45 kg /m<sup>2</sup>/s)，可提供最佳的固体隔音效果
- niveautone®采用机械气动 Triflow®比例控制阀设计
- 可选的气动双室原理，用于有效的粘气系统阻尼
- 通过可选的可调节层流阻尼实现有效的阻尼性能
- 可选的内部粘性安全阻尼，使 Lehr 阻尼比达到0.25

### 技术特点

RLA空气弹簧是根据压力容器法规 DGRL 2014/68 / EU进行设计计算和生产的。

生产和组装过程中的安全，测试和质量控制符合机械指令2006/42 / EC。

RLA空气弹簧配备安全阀，用于标准的超压和超行程限制功能。

### 水平系统

带PALV20 机械气动闭环Triflow®比例阀控制水平控制系统，复位精度为 +/- 0.25 mm，适用于RLA系列空气弹簧尺寸和应用工况的流量特性，组合切换比例流量功能，具有纯静态负载的阻断功能，可选的电动气动PA DEL调平，带无接触传感器。



附加罐

## 囊式空气弹簧设计

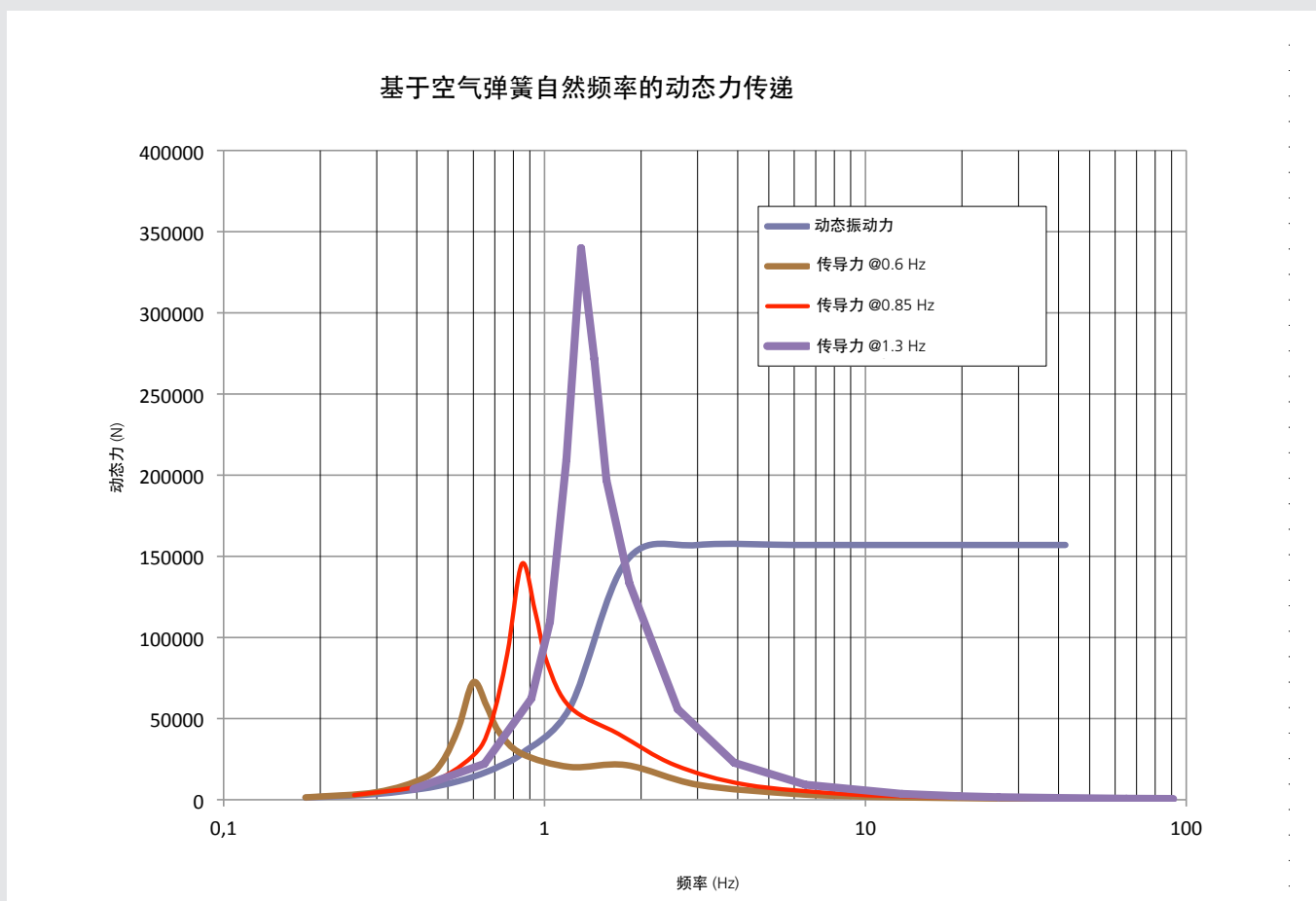
- 织物增强耐油弹性体隔膜
- 耐大多数油类，碱性或酸性清洁剂，灰尘，污垢，臭氧，紫外线辐射，一般风化
- 工作温度范围从-30°C到+50°C，最高可达 +70°C
- 符合机械指令2006/42 / EC的经批准的铸铝合金气室压力容器
- 使用有限元分析记录容器的抗压强度
- 盖板采用防止电偶腐蚀的塑料耐油材料或铸铝合金
- RAL 5002中的可选粉末涂层，用于气室外壳的腐蚀保护



RLA650 应用在 TU Graz

## 囊式空气弹簧的动态力传递

下图显示了减振系统的固有频率如何影响传递到环境的动态力。将1.3Hz的自然频率（使用普通囊式空气弹簧可达到的最低值）降低到0.6Hz，可将传输动态力峰值降低传到原来的五分之一（350kN--> 70kN）。





# FABREEKA® 精密囊式空气弹簧 应用案例: 德国宝马BMW AG

使用 RLA 390-14 囊式空气弹簧进行基础隔振



基础隔振模板工程



基础隔振钢筋锚杆系统



铁地板安装固定



RLA 空气弹簧安装调试 (带精密水平阀)



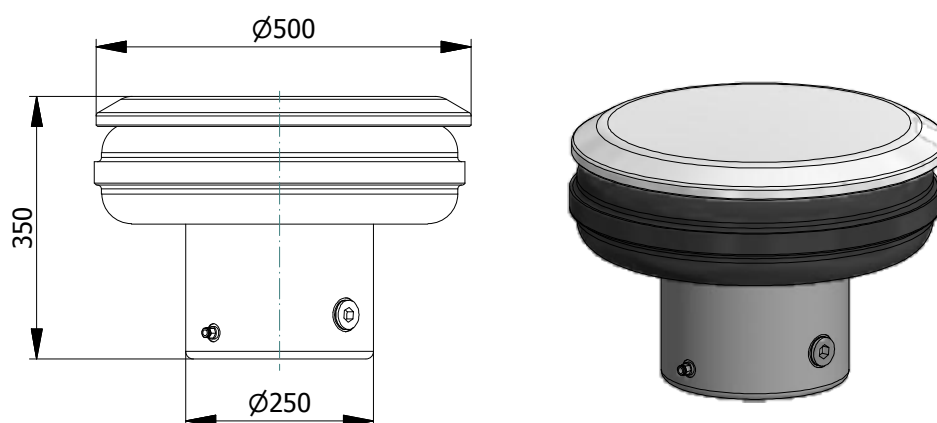
完工后的隔振基础

# FABREEKA® 精密 囊式空气弹簧 型号 RLA180-14

## 规格:

标准型号不含附加体积或附加阻尼

- VD 具有可调的气动阻尼,  $D_{\max} = 0.15$
- VD 具有粘滞安全阻尼,  $D = 0.15$  to  $0.25$
- LF 具有附加体积和很低的自然频率  
(垂直方向低至  $0.6$  Hz)



### 1. 承载力

压力 [bar]	2	3	4	5	6
Fz [kN]	22.8	34.7	46.6	58.6	70.1
直径 [mm]	496.3	496.6	496.7	496.7	496.7

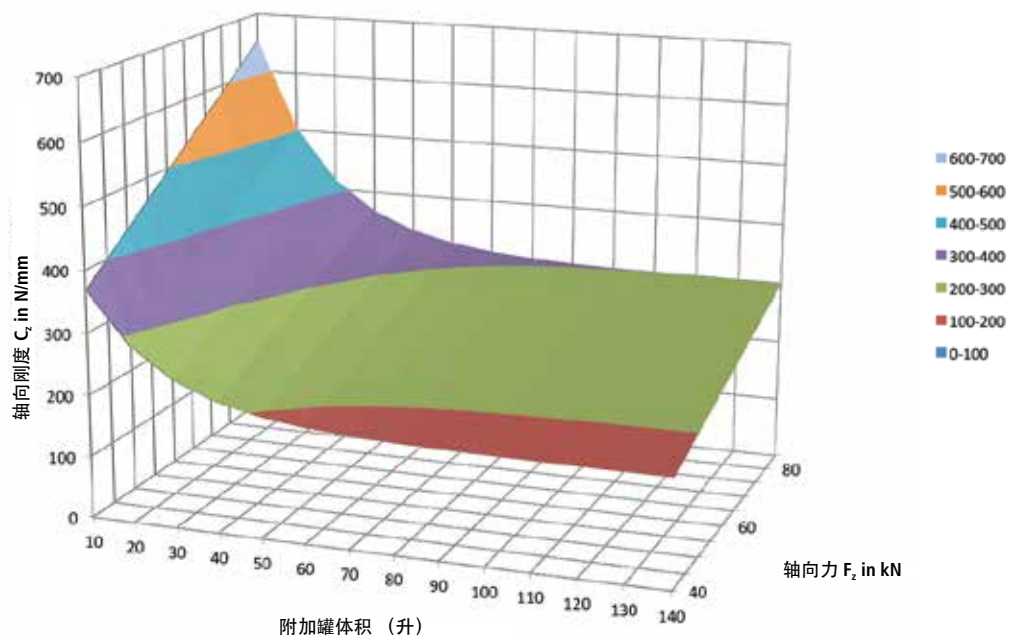
### 2. 准静态轴向力 (70 kN / 0 L. 压缩15 mm, 10 分钟 预应力)

		轴向刚度 [N/mm]		自然频率 [Hz]	
轴向力 Fz [kN]	附加罐体积	70	46.5	70	46.5
轴向 Cz ± 10	Vzu = 40	315	234	1.06	1.12
轴向 Cz ± 10	Vzu = 20	431	318	1.24	1.3
轴向 Cz ± 10	Vzu = 0	541	413	1.40	1.50

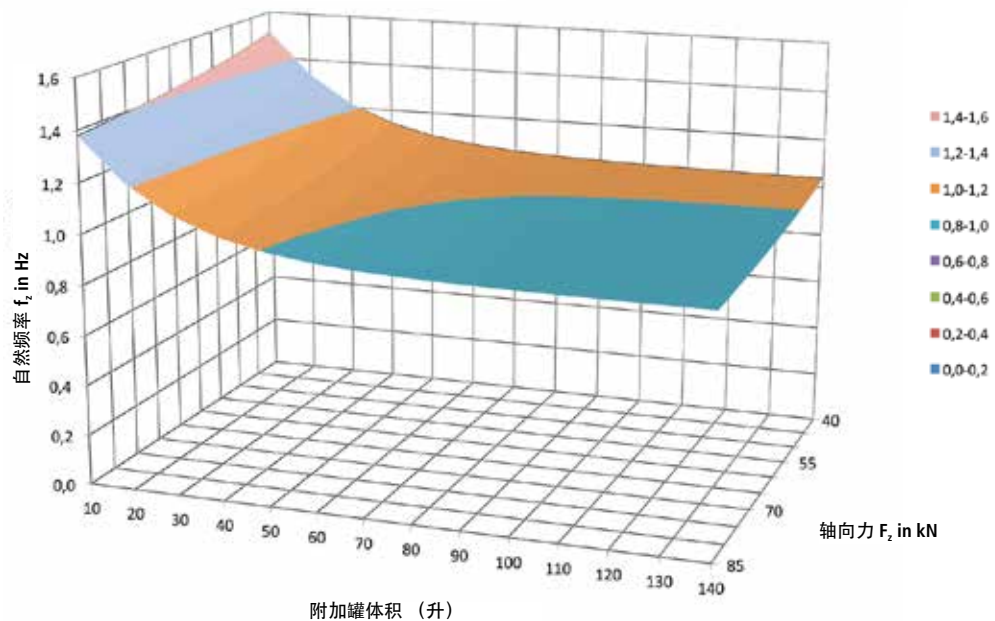
### 3. 准静态径向力 (10 x 60 mm, 15 分钟预应力)

		径向刚度 [N/mm]		自然频率 [Hz]	
Fz [kN]		70	46.5	70	46.5
径向 Cz ± 10		218	183	0.88	0.99

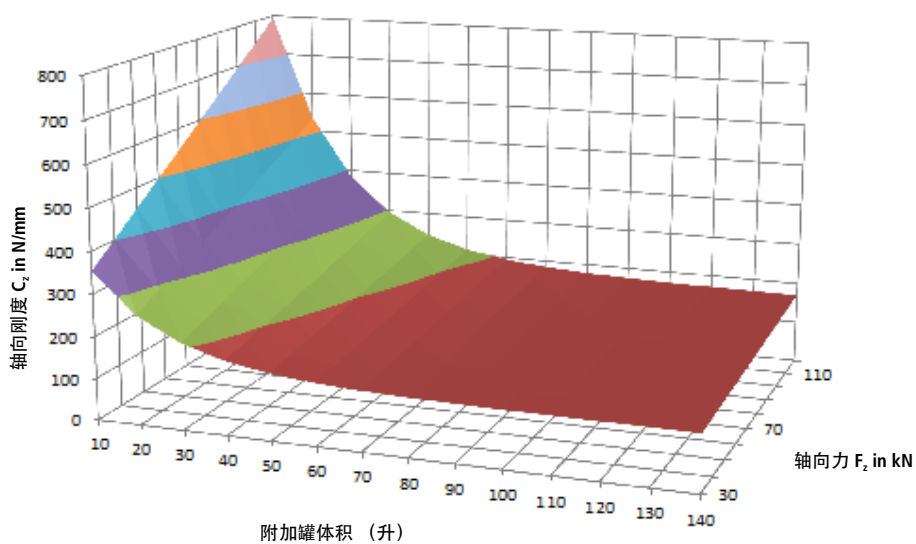
**RLA180:**  
 轴向刚度  $C_z$   
 与附加罐体积  
 和轴向力的关系图



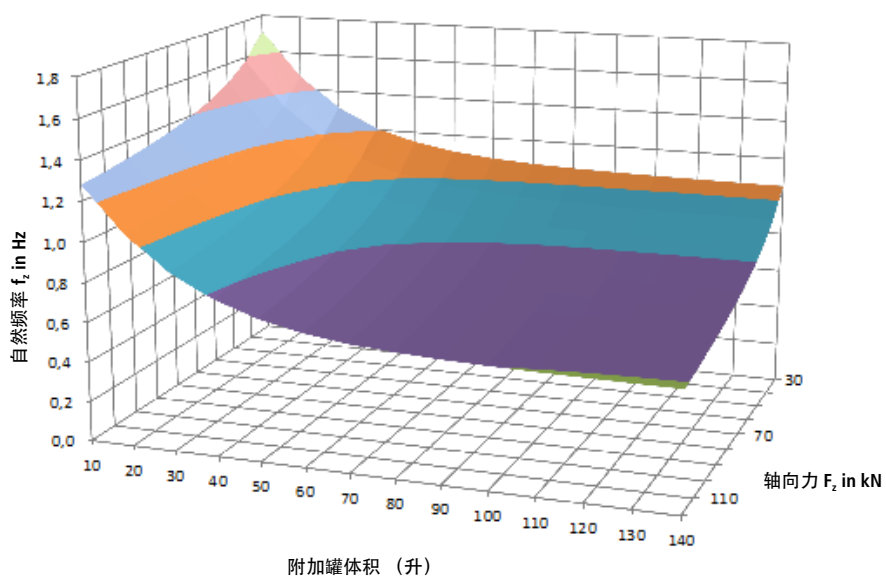
**RLA180:**  
 自然频率  $f_z$   
 与附加罐体积  
 和轴向力关系图



# FABREEKA® 精密 囊式空气弹簧 型号 RLA260-14



**RLA260:**  
自然频率  $f_z$   
与附加罐体积  
和轴向力关系图

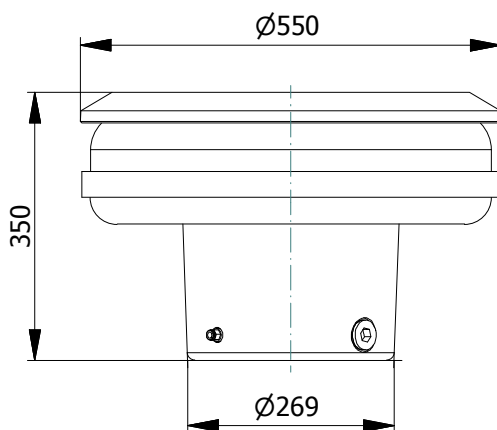


**RLA260:**  
自然频率  $f_z$   
与附加罐体积  
和轴向力关系图

## 规格:

标准型号不含附加体积或附加阻尼

- ED 具有可调的气动阻尼,  $D_{max} = 0.15$
- VD 具有粘滞安全阻尼,  $D = 0.15$  to  $0.25$
- LF 具有附加体积和很低的自然频率  
(垂直方向低至  $0.6$  Hz)



### 1. 承载力

压力 [bar]	2	3	4	5	6
Fz [kN]	33.5	50.3	66.9	83.8	100.8
直径 [mm]	549.4	549.5	549.6	549.7	549.8

### 2. 准静态轴向力 (70 kN / 0 L. 压缩15 mm, 10 分钟 预应力)

		轴向刚度 [N/mm]		自然频率 [Hz]	
轴向力 Fz [kN]	附加罐体积	100.8	66.9	100.8	66.9
轴向 Cz ± 10	Vzu = 40	224	192	0.74	0.84
轴向 Cz ± 10	Vzu = 20	475	371	1.08	1.17
轴向 Cz ± 10	Vzu = 0	719	595	1.35	1.50

### 3. 准静态径向力 (10 x 60 mm, 15 分钟预应力)

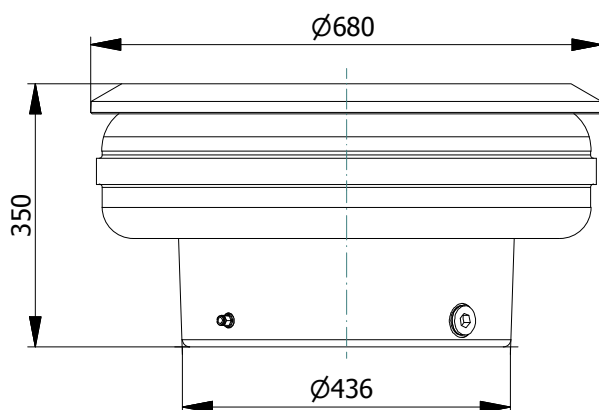
		径向刚度 [N/mm]		自然频率 [Hz]	
Fz [kN]		100.8	66.9	100.8	66.9
径向 Cz ± 10		402	347	1	1.14

# FABREEKA® 精密 囊式空气弹簧 型号 RLA390-14

## 规格:

标准型号不含附加体积或附加阻尼

- ED 具有可调的气动阻尼,  $D_{max} = 0.15$
- VD 具有粘滞安全阻尼,  $D = 0.15$  to  $0.25$
- LF 具有附加体积和很低的自然频率  
(垂直方向低至  $0.6$  Hz)



### 1. 承载力

压力 [bar]	3	4	5	6	7
Fz [kN]	75.1	99.9	124.6	149.7	174.6
直径 [mm]	674.2	674.2	674.3	674.4	674.5

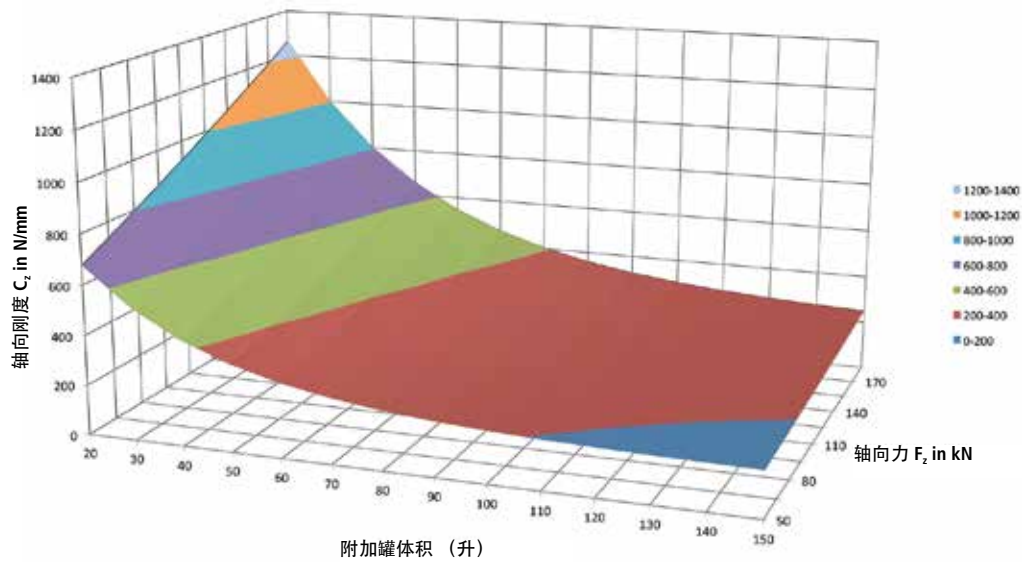
### 2. 准静态轴向力 (70 kN / 0 L. 压缩15 mm, 10 分钟 预应力)

		轴向刚度 [N/mm]		自然频率 [Hz]	
轴向力 Fz [kN]	附加罐体积	160	114	160	114
轴向 Cz ± 10	Vzu = 40	299.7	256.2	0.68	0.75
轴向 Cz ± 10	Vzu = 20	722.2	585.8	1.06	1.13
轴向 Cz ± 10	Vzu = 0	908	760	1.20	1.30

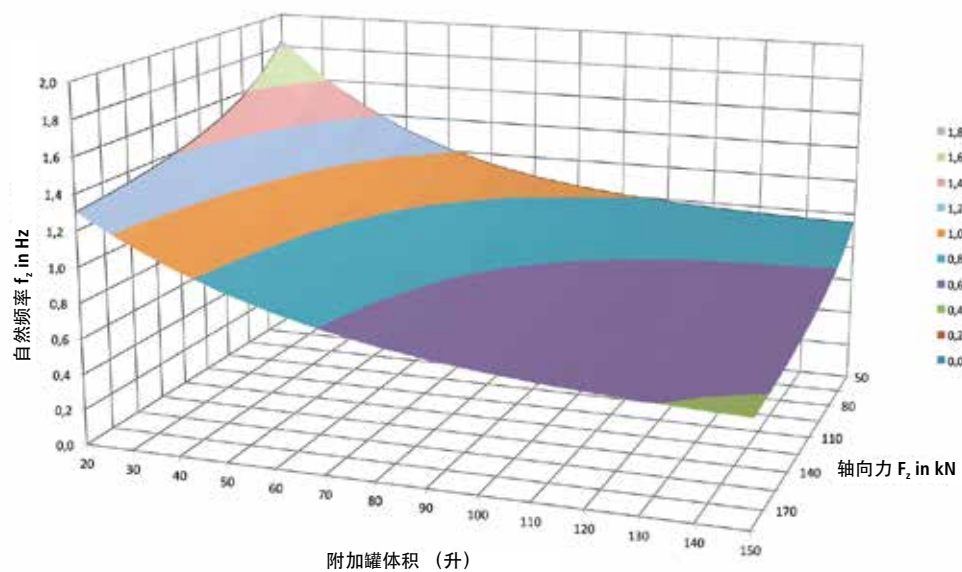
### 3. 准静态径向力 (10 x 60 mm, 15 分钟预应力)

		径向刚度 [N/mm]		自然频率 [Hz]	
Fz [kN]		160	114	160	114
径向 Cz ± 10		569.2	545.8	0.94	1.09

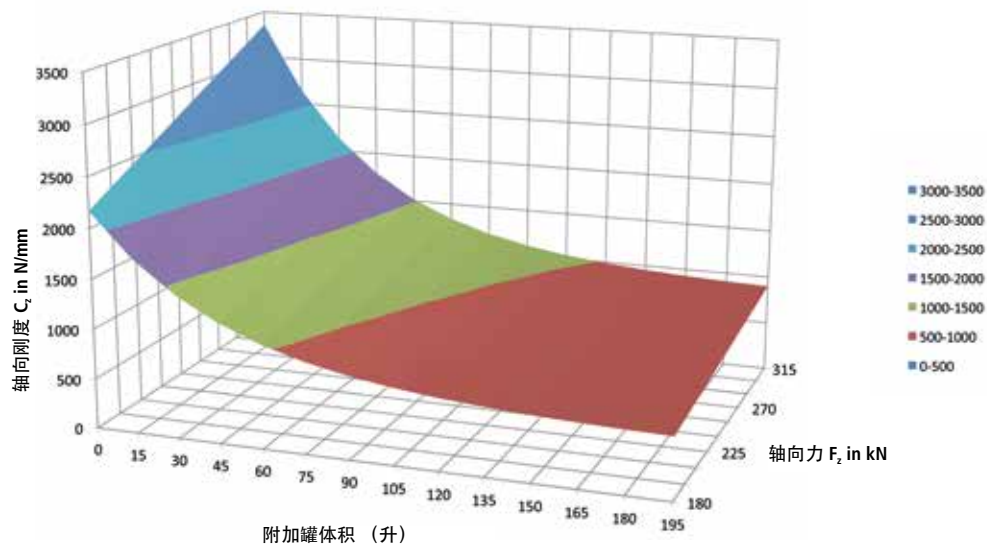
**RLA390:**  
 轴向刚度  $C_z$   
 与附加罐体积  
 和轴向力的关系图



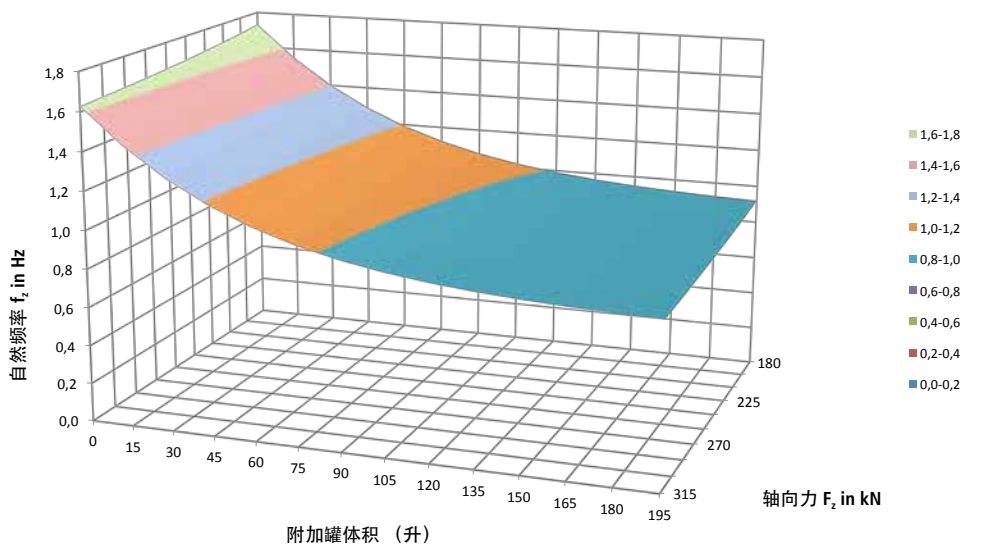
**RLA390:**  
 自然频率  $f_z$  与附  
 加罐体积和轴向  
 力关系图



# FABREEKA® 精密 囊式空气弹簧 型号 RLA650-14



附加罐体积 (升)



附加罐体积 (升)

**RLA650:**  
轴向刚度  $C_z$   
与附加罐体积  
和轴向力的关系图

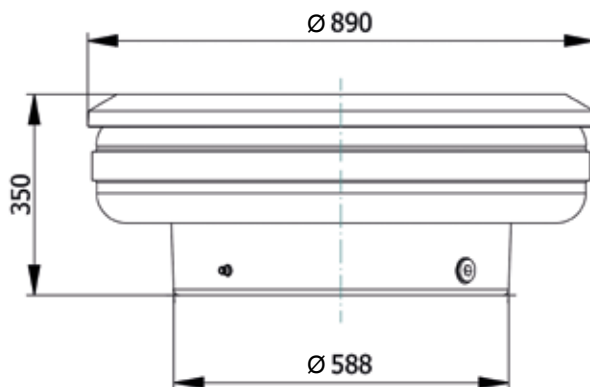
**RLA650:**  
自然频率  $f_z$   
与附加罐体积  
和轴向力关系图



## 规格:

标准型号不含附加体积或附加阻尼

- ED 具有可调的气动阻尼,  $D_{max} = 0.15$
- VD 具有粘滞安全阻尼,  $D = 0.15$  to  $0.25$
- LF 具有附加体积和很低的自然频率  
(垂直方向低至  $0.83$  Hz)



### 1. 承载力

压力 [bar]	3	4	5	6	7
Fz [kN]	139	184,5	229	274,5	319,5
直径 [mm]	875	875	876	877	878

### 2. 准静态轴向力 (70 kN / 0 L. 压缩15 mm, 10 分钟 预应力)

		轴向刚度 [N/mm]		自然频率 [Hz]	
轴向力 Fz [kN]	附加罐体积	274.5	184.5	274.5	184.5
轴向 Cz ± 10	Vzu = 150	677	587	0.85	0.91
轴向 Cz ± 10	Vzu = 50	1085	813	0.98	1.05
轴向 Cz ± 10	Vzu = 0	1665	1215	1.23	1.29

### 3. 准静态径向力 (10 x 60 mm, 15 分钟预应力)

		径向刚度 [N/mm]		自然频率 [Hz]	
Fz [kN]		274.5	184.5	274.5	184.5
径向 Cz ± 10		805	747	0.86	1.01

# 精密气浮式减振垫脚

## PLM 空气弹簧

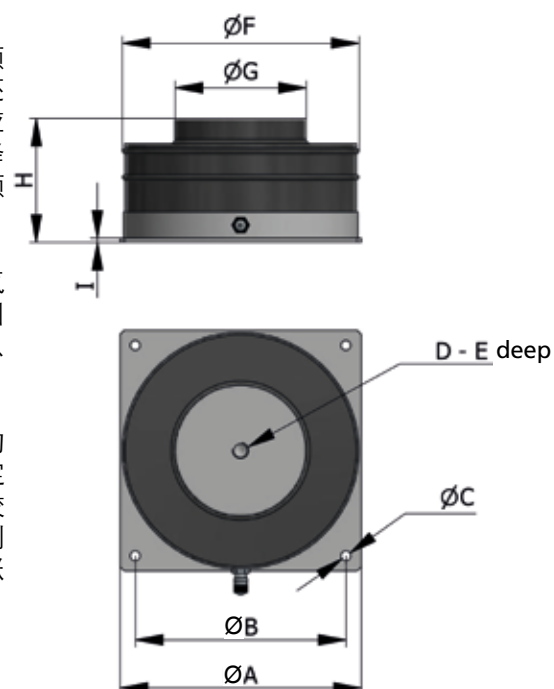
PLM系列空气弹簧用于低频振动和设备的冲击隔离，如：

- 测量设备
- CMM坐标测量仪
- 风机
- 空调压缩机
- 电动机和发电机组
- 高速压力机

Fabreeka® PLM系列减振垫脚为低频减振器，它不但能减少干扰振动还能为机器做水平调节。在减振的应用中，PLM的充气部分可以大幅度降低5.0Hz以上的振动。PLM的固有频率仅为3.0Hz。

PLM系列空气弹簧元件也可在不充气加压的情况下作为减振器。垂直固有频率约为10 Hz，用于隔离14 Hz以上的干扰频率。

垂直和水平方向的固有频率比大约为1:1，可维持较高的水平方向稳定性。在减少冲击的应用中，PLM橡胶外壳为高压压缩形变提供了支撑。利用外在的垫片可以防止PLM底部涨脱，以保持3.0 Hz的自然频率。



型号	A	B	C	D	E	F	G	H max. 充气后	I	最大 负载	最大 工作压力
	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm		kg	bar
PLM1	76	60.5	6.9	M10	12	73	25	62.5	3.2	45	5
PLM3	106	89	6.9	M12	13.5	105	56	63.5	3.2	150	5
PLM6	130	108	7.4	M12	13.5	127	60	89	3.2	250	6
PLM12	175	152	7.4	M12	13.5	171	100	89	3.2	550	6
PLM24	254	216	14.2	M16	19	245	138	89	4.8	1100	6
PLM48	343	305	14.2	M16	19	338	190	89	4.8	2200	6
PLM96	470	406	20.6	M24	22.4	468	267	89	6.4	4400	6
PLM192	610	508	20.6	M24	22.4	610	400	89	6.4	8800	6

安装注意事项：机器需要安装在在通风环境下的PLM空气弹簧上，随后逐渐膨胀至工作高度H±6 mm。机器按相反顺序卸载。可选带自动调平系统。

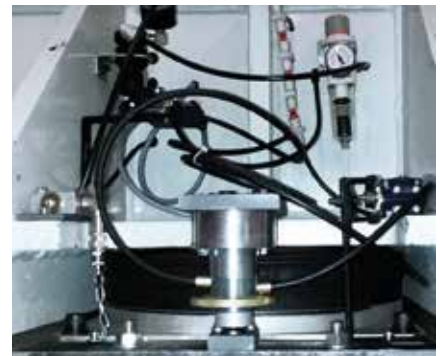
## PLM 空气弹簧 特点

PLM设计有一个硫化螺纹入口，用于使用标准轮胎阀或气动螺钉附件对空气弹簧进行充气。不需要特殊连接。

PLM配以气阀可以通过手动打气筒或连接压缩空气进行充气与调平。如果通过充气管路，PLM可以与专用高压空气相连，很容易的进行充气 and 调平。不配水平调节阀的PLM，可以通过安装调节控制板（右图）来调整压力和高度

PLM也可以与自动水平系统配套，用来控制高度。每个PLM减振垫脚都会配一个水平调节阀，它同时也可以作为负载传感器和控制高度元件。可以根据设备的重量，任意增加PLM的数量。

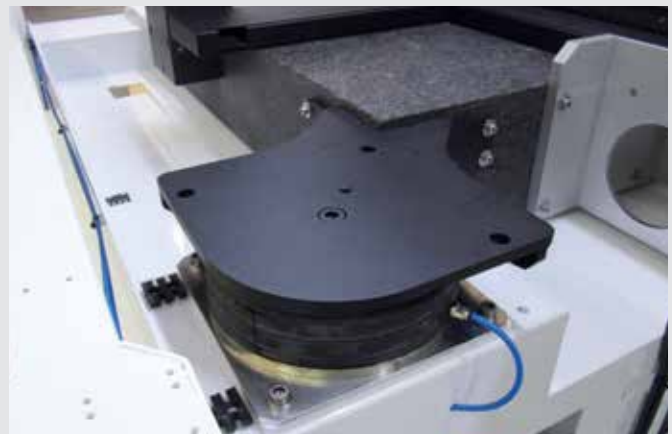
PLM减振系统可以配置一个控制单元，高度自动控制阀，连接管路和其他安装用的配件。



PLM空气弹簧用于刹车测试台



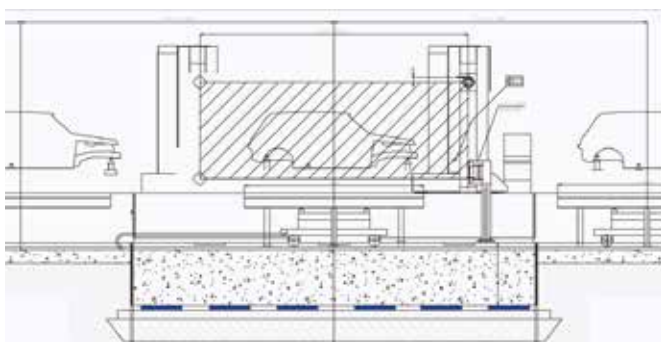
开关柜



Notion Systems 激光印刷机

## 快速充泄压系统 (RDS)

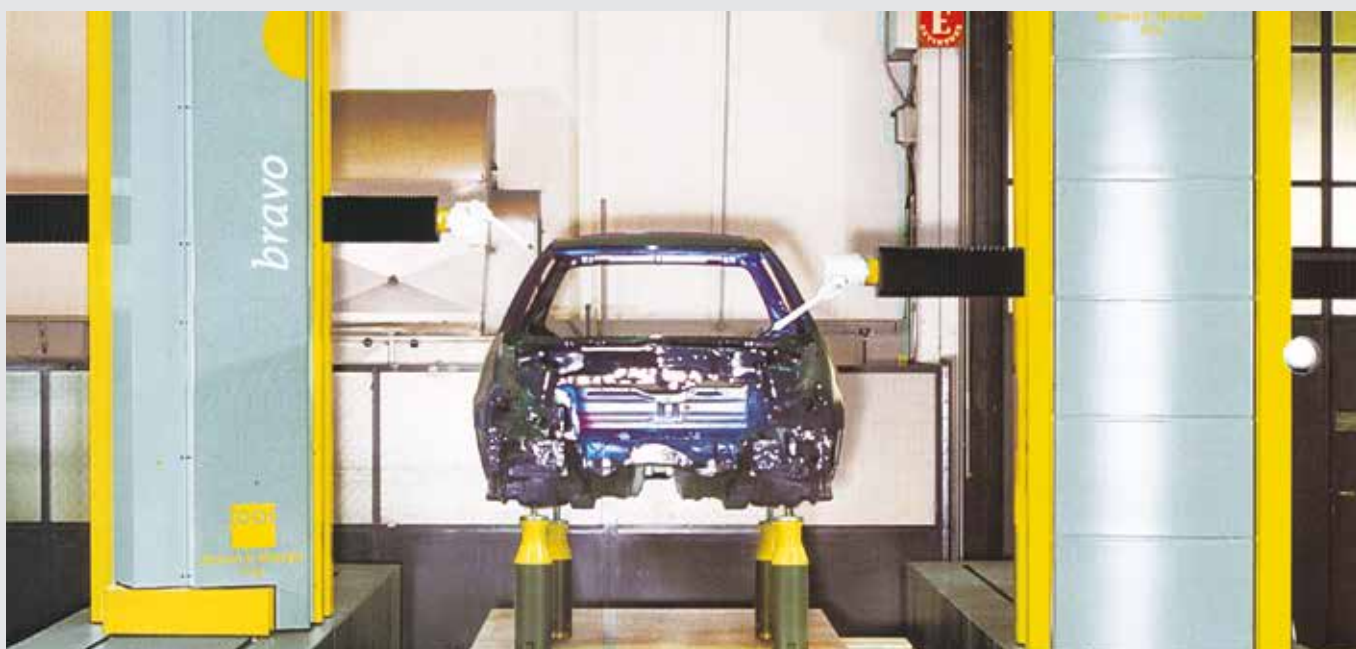
在进行某些测量时，要求精密测量仪在加载/卸载前必须位于参考基准位置，RDS特别适合在这种情况下应用。



现有系统可以在现场加装 RDS系统。

RDS组件可以添加在任何气动控制单元上，以便操作员快速提升或降低安装在空气弹簧系统上的机器。对于需要隔振基础和布置许多减振器的大型测量仪器而言，这非常有必要。

传统系统通过水平控制阀排出压缩空气，而RDS系统则将以快五到十倍的速度快速排出空气。仅使用1.0 bar的压力降低，允许减振器保持在压力下直到它们再次排气。RDS可以连接到现有的PLC系统，以集成到自动化过程中。



## 应用领域&案例 精密加工设备

精密机床加工精度的要求日益提高。利用纳米技术，可以使机器在做切割、车床加工、抛光和定位时达到微米级甚至埃级（0.1纳米）的精度。

许多行业，如半导体和晶圆加工，光学和镜片制造以及非标准化材料加工都使用超高精度机器。

高精度定位设备包括钻石车削机床、X-Y坐标机和CD计量仪，通常用激光干涉法对材料定位，用以进行纳米指标检测。此外，如表面光度仪，轮廓度仪，粗糙度仪和圆度仪等设备需要提供亚微米级的测量。

设备功能包含对光学玻璃，晶体，非铁金属，高分子材料和陶瓷材料的超精密车削和微磨。通常上述材料的表面需要加工到不需要或（需要少量）抛光就达到亚微米级的表面光滑度。例如CD，隐形眼镜模具，光学镜片和激光镜等就是这样加工出来的。

Fabreeka®为这些设备生产厂和最终用户提供低频振动和冲击的解决方案，以维持设备的设计精度。某些应用中需要定制系统，需要将结构分析、支撑结构的设计与减振系统的设计，一起结合到设备的设计中。



LT-Ultra 激光干涉仪



Motion X



Precitech

## 测量和测试设备



Hexagon 海克斯康 CMM



Wenzel 温泽 CMM

坐标测量机（CMM）的测量速度和精度逐年提高。更新的CMM设计和制造用于具有高重复性的车间环境。可能影响CMM的准确性和可重复性的因素包括来自振动的影响。

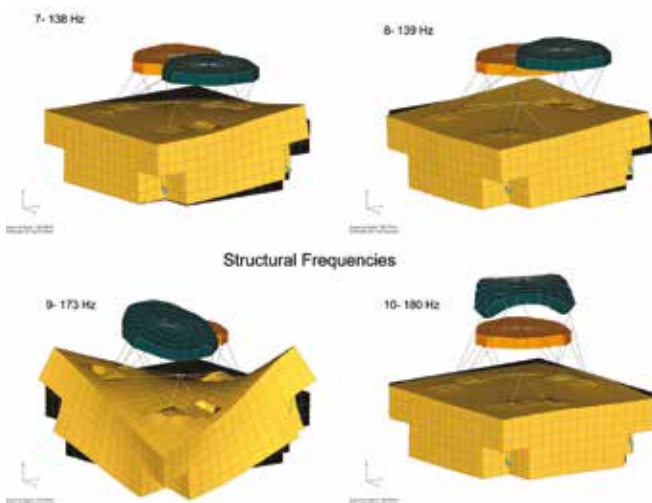
理想情况下，如果坐标机的所有组件，包括被测工件，都在某一特定频率、振幅、相位和方向上一致地振动，那么就不会有测量性能下降的问题。对于坐标机来说，既然所有组件都是同步的，那么该情况就相当于无振动干扰的情况。当组件的振动开始不同步或者结构共振发生时，测量准确性的问题就会发生了。

CMM制造商定义了振动水平公差，在这些公差范围内，他们的设备仍能正常运行，以避免任何潜在的精度损失。该允许振动值是决定机器是否需要振动隔离的重要因素。

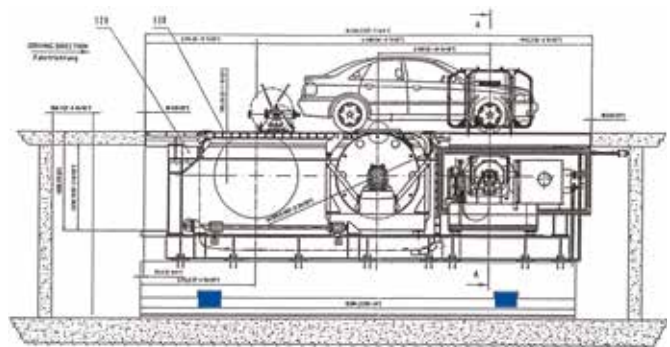
# 汽车测试台架

我们Fabreeka®在汽车测试平台的阻尼系统和开发服务方面发挥着主导作用，这些系统满足汽车测试和环境模拟不断增长的需求。

Fabreeka®可为测功机、发动机测试台、道路模拟器和多轴向振动台提供减振方案。Fabreeka®可为客户提供以下专业技能服务：支撑结构与混凝土质量块的设计，动态和静态分析和验收测试。



多轴向振动台的动态分析



底盘测功机地基基础隔振



PAL 空气弹簧用于电机测试平台



# 汽车测试台架



IPEK



SAF Holland



Uni Graz



MAN Munich



Leibnitz Uni Hanover



IAMT Plauen



## 航空航天测试

Fabreeka®的低频减振系统应用于航空航天和国防领域的重要测试中，该应用通常要求超低频的减振。该领域的应用通常包含纳米级的测量（测量误差低于数微米或十分之一角秒内）

大型航天器或入轨道的硬件试验均需要在与太空类似的环境下进行。通常需要运用真空罐或高低温真空罐来模拟发射和太空飞行时的压力和温度效应环境。

如果真空罐的尺寸或已在使用的真空罐无法容纳外部减振设施，而测试负载又必须在真空罐内进行减振。此时必须使用与真空罐相兼容的减振系统。当减振器在真空罐内使用时，必须符合严格的材料规范以限制材料分子逃逸，同时还要满足特别真空度的要求。此外，在低温真空罐中，减振器需要在极限温度下使用，通常需使用加热毯来保持减振器达到可正常使用的温度。

真空兼容的气动隔振材料的限制是约0.85%总质量损失（TML）和0.09%收集的挥发性消耗材料（CVCM）。我们的Fabreeka®产品在 $1 \times 10^{-6}$  Torr的环境中运行，最大泄漏率为 $10^{-7}$  cc / sec。



Courtesy of B.F. Goodrich



# 软支撑系统 (SSS) 用于飞机 GVT 地面振动测试

Fabreeka® 为飞机的地面振动测试 (GVT) 设计了一系列选用标准和订制气浮式减振器的软支撑减振系统 (SSS)。

为了在GVT测试中得到准确的测试结果，飞机的模态测试必须模拟自由飞行的状态。为模拟出此状态, Fabreeka® 配合飞机的结构与动力测试工程师研发出软支撑减振系统。

在做飞机的动力测试和模态/抖动分析时，SSS系统中气浮式减振器将飞机与地面分离。SSS系统在识别飞机结构共振与确认机翼抖动模式上极为重要。SSS系统还包含有千斤顶系统，能在起落架位置将飞机浮起。

用于GVT测试的气浮式减振器的垂直和水平方向的固有频率要低至0.5Hz。



三菱 MRJ



庞巴迪 190



洛克希德马丁

## MRI/NMR 光谱仪设备 (磁共振成像，核磁共振光谱)

Fabreeka®一直致力于减振技术的研发，这一点可从我们的专业技术、产品知识和我们为客户提供的设计方案中得到印证。Fabreeka®已为所有类型、大小从300 MHz到900 MHz、高分辨率的磁共振成像（MRI），核磁共振扫描设备（NMR）和低温恒温设备提供低频减振产品。

所有用于NMR的气浮式减振器的金属均采用非磁性材料如不锈钢，铝或铜制成，减振器的高度被设计来配合现有的磁场支撑架。

减振的整体方案还包括，现场振动的测量、支撑结构的设计（包含结构、动力分析）。

空气弹簧的高度范围为700 mm至1,800 mm，垂直和水平固有频率仅为0.8 Hz.



PAL18 万向节空气弹簧用于 600 MHz NMR



PAL55-6 用于水平式 NMR

关于我们  
想了解更多或是  
有具体需要减振隔振的问题？

来咨询我们-让我们一起  
找到解决方案。

### Corporate/North America

Boston, Massachusetts, USA  
Fabreeka International, Inc.  
1023 Turnpike Street  
Stoughton, MA 02072

Tel: +1 800-322-7352  
Tel: +1 781-341-3655  
Fax: +1 781-341-3983

E-mail: [info@fabreeka.com](mailto:info@fabreeka.com)  
**[www.fabreeka.com](http://www.fabreeka.com)**

Countries/Territories:  
United States, Canada,  
Mexico, Latin America,  
South America, South Africa,  
Australia, New Zealand

### Germany

Fabreeka GmbH Deutschland  
Hessenring 13  
D-64572 Büttelborn  
GERMANY

Tel: +49 (0) 6152-9597-0  
Fax: +49 (0) 6152-9597-40

E-mail: [info@fabreeka.de](mailto:info@fabreeka.de)  
**[www.fabreeka.de](http://www.fabreeka.de)**

Countries/Territories:  
Germany, All European  
Countries (except UK),  
Korea, Israel, Russia, India

### The United Kingdom

ACE Fabreeka UK  
Unit 404 Easter Park  
Haydock Lane  
Haydock WA11 9TH  
ENGLAND

Tel: +44 (0) 1942 727440  
Fax: +44 (0) 1942 717273

E-mail: [info@ace-fabreeka.co.uk](mailto:info@ace-fabreeka.co.uk)  
**[www.fabreeka.co.uk](http://www.fabreeka.co.uk)**

Countries/Territories:  
England, Ireland, Scotland, Wales

### Taiwan

Fabreeka International, Inc.  
Taiwan Branch  
7F-1, No. 10, Lane 377, Sec. 3,  
Jhonghua East Road,  
Tainan 70167 TAIWAN

Tel: +886 935-273-732  
or: +886 970-273-732

E-mail: [info@fabreeka.tw](mailto:info@fabreeka.tw)  
**[www.fabreeka.com.cn](http://www.fabreeka.com.cn)**

Countries/Territories:  
Taiwan, China, Southeast Asia,  
Japan

