

叠层隔震橡胶支座的研制

张志强 陈守明 韩绪年 刘兴衡
(云南省橡胶制品研究所, 昆明 650233)
韩新民 华培忠 李佩林
(云南省地震工程研究院, 昆明 650041)

摘要 本研制叠层隔震橡胶支座由薄橡胶夹层和薄钢板叠合而成, 并在弹性支承中心部位灌入铅棒作铅芯阻尼器; 第一形状因数 $S_1 \geq 15$, 第二形状因数 $S_2 \geq 5$, 等效阻尼比为 20%~25%, 竖向刚度系数 K_V 和水平位移 δ_H 较大, 水平刚度系数 K_H 适中。橡胶夹层硫化胶综合性能好, 产品使用寿命达 50 年以上。

关键词 橡胶支座, 隔震, 叠层, 结构设计

地震是无法避免的自然现象, 它给人类带来的危害和损失是非常严重的。而目前地震预报还处于探索阶段, 即使预报准确了, 也不能避免它对建筑物、工程设备的破坏, 因此世界各国都在致力于做好抗震减灾工作。

1881 年, 日本河含浩藏提出了基础隔震的概念, 基本原理是: 在建筑物下部结构与地基之间设置安全可靠的隔震系统, 使建筑物与地基隔开, 延长建筑物水平自振周期, 使地震的各种破坏力不会对上部结构造成直接拉力, 减小上部结构的地震反应。现代比较可靠的隔震系统由隔震支座、阻尼器、地基微震动控制器和风反应控制器等组件组成^[1]。叠层隔震橡胶支座经过多次实际地震检验证明, 其隔震效果十分明显。因此它的研究和应用是目前世界隔震支座研究和应用的主流。在世界已建成的现代基础隔震建筑物中, 有 80% 以上的隔震系统采用叠层隔震橡胶支座。本文简介了叠层隔震橡胶支座的研制。

作者简介 张志强, 男, 1939 年出生。高级工程师, 总工程师。1965 年毕业于中山大学化学系。主要从事橡胶(胶乳)加工工艺的研究等工作。有多项成果获全国科技大会奖、云南省科技大会奖等奖项。合编有《太乳炸药与爆炸压接》和《橡胶工业手册》第七分册, 发表论文 10 余篇。

1 叠层隔震橡胶支座的设计

叠层隔震橡胶支座的设计是基础隔震结构设计的关键。叠层隔震橡胶支座必须满足以下要求^[2]:

- (1)能稳定地支承建筑物;
- (2)水平刚度适中;
- (3)能适应建筑物与地基之间的相对位移;
- (4)在强震作用下, 当隔震系统发生大变形时不发生失稳;
- (5)水平刚度对压缩载荷变化的敏感性小;
- (6)耐久性达到使用要求。

1.1 整体结构设计

叠层隔震橡胶支座由薄橡胶夹层和薄钢板叠合而成, 结构如图1所示。其中, 盖板

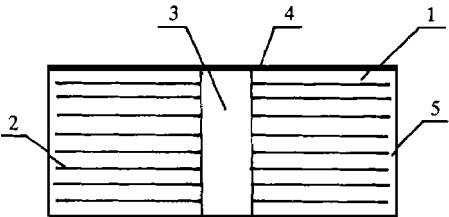


图1 叠层隔震橡胶支座结构示意图
1—橡胶夹层; 2—钢板; 3—铅棒;
4—盖板; 5—保护层

连接隔震器与建筑物和隔震器与基础,并传递承载力;内部钢板提高支座竖向刚度,使之能有效地支承建筑物;钢板间的橡胶夹层赋予支座吸收能量、弹性复位和承载功能。因此叠层隔震橡胶支座既具有较好的承载性能,又具有优良的柔性和抗破坏、抗蠕变及复位功能。但普通叠层橡胶支座的阻尼效果并不理想,多与阻尼器一起使用。在本研制中,在弹性支承中心部位灌入铅棒作铅芯阻尼器;另外考虑到支座应具有足够的耐久性,在其外围又加了一层橡胶保护层,以保护钢板不受外部环境的侵蚀和延长橡胶夹层的使用寿命。

1.2 力学性能设计

叠层隔震橡胶支座的力学性能取决于支座的形状和橡胶夹层的物理性能^[3]。

1.2.1 形状因数

在叠层隔震橡胶支座的形状设计中,薄钢板对橡胶夹层的约束效应、与支座竖向刚度和承载力密切相关的第一形状因数 S_1 和与支座稳定性有关的第二形状因数 S_2 ,都与橡胶夹层层数、厚度、受压面积和自由表面积相关。 S_1 和 S_2 的计算公式^[2]为

$$S_1=\frac{D}{4t_R} \tag{1}$$

$$S_2=\frac{D}{nt_R} \tag{2}$$

式中 D ——支座直径;
 t_R ——单层橡胶夹层厚度;
 n ——橡胶夹层层数。

S_1 越大,源于钢板约束效应的承载力越大,即竖向刚度越大; S_2 越大,支座越扁平,稳定性越好。根据目前的研究成果和应用经验,一般要求 $S_1\geq 15$, $S_2\geq 5$ 。本设计叠层隔震橡胶支座的形状因数见表 1。

1.2.2 刚度系数

水平刚度和竖向刚度对于叠层隔震橡胶支座来说是非常重要的物理量,竖向刚度系数 K_V 和水平刚度系数 K_H 分别按下列公式

表 1 叠层隔震橡胶支座的形状因数

形状 因数	D/mm			
	300	400	500	600
S_1	18.2	19.1	23.9	18.6
S_2	4.9	5.9	7.4	6.2

计算^[2]:

$$K_V=\frac{\pi D}{4}E_\phi S_2 \tag{3}$$

$$K_H=\frac{\pi D}{4}GS_2 \tag{4}$$

式中 E_ϕ ——表观弹性常数;
 G ——剪切模量。

K_V 受支座形态的影响很大。 K_H 除与 D 和 S_2 有关外,与压缩应力还有很强的依赖关系。而叠层隔震橡胶支座的平均压缩应力 σ_0 可按下式计算^[2]:

$$\sigma_0=\frac{4F_V}{\pi D^2} \tag{5}$$

式中 F_V 为竖向载荷。

一般建筑设计要求 σ_0 为 0~15 MPa。

按上述刚度系数计算公式设计并试制了不同直径的叠层隔震橡胶支座,对其刚度系数进行测试,结果见表 2。从表 2 可以看出,设计与实测的刚度系数基本一致。

表 2 叠层隔震橡胶支座的刚度系数

刚度 系数	D/mm				
	300(I)	300(II)	400	500	600
$K_V/(MN\cdot m^{-1})$					
设计	432	432	1 112	2 310	1 932
实测	560	475	1 106	2 053	2 333
$K_H/(MN\cdot m^{-1})$					
设计	0.72	0.72	1.12	1.85	1.87
实测	0.46	0.55	1.02	1.32	1.54

1.2.3 阻尼性能

叠层隔震橡胶支座的阻尼性能对建筑物和工程设备的隔震抗震有很重要的意义。普通叠层隔震橡胶支座能提供的等效阻尼比一般为 0.03。据介绍^[2],铅芯阻尼器一方面能提高支座的吸能效果,确保支座有适度的阻尼;另一方面还能增大支座的早期刚度,对控制风反应和抗地基的微震动有利。本研制不

同规格的装有铅芯阻尼器的叠层隔震橡胶支座等效阻尼比见表 3。从表 3 可以看出,与普通叠层隔震橡胶支座相比,装入铅芯阻尼器的叠层隔震橡胶支座的等效阻尼比较大。

表 3 叠层隔震橡胶支座的等效阻尼比

<i>D</i> /mm	等效阻尼比/%	<i>D</i> /mm	等效阻尼比/%
300	24.1	500	21.3
400	23.0	600	23.0

1.2.4 水平位移 δ_H

叠层隔震橡胶支座的水平位移能力是地震时建筑物是否失稳的重要指标,其大小与 t_R 有关^[2],同时与橡胶的扯断伸长率 L 和 D 有关^[3]。水平位移 δ_H 的计算式^[2,3]有

$$\delta_H = 2.5 n t_R \tag{6}$$

$$\delta_H = \sqrt{(L n t_R)^2 - (n t_R)^2} \tag{7}$$

$$\delta_H = 0.7 D_{\min} \tag{8}$$

式中 $D_{\min}$ 为叠层隔震橡胶支座最小直径。

式(6)~(8)并不十分完善,但肯定与橡胶本身的性能有很大关系,因此应致力于提高橡胶的综合性能,以提高叠层隔震橡胶支座的水平位移能力。

对直径为 300 mm 的叠层隔震橡胶支座进行水平位移能力测试,其 δ_H 为 250 mm [已超过式(6)~(8)的计算数据]时仍未破坏,可见其水平位移能力较高;按式(8)计算直径为 400、500 和 600 mm 的叠层隔震橡胶支座的 δ_H ,结果表明,其完全可以达到抗高强度地震的要求。

2 橡胶胶料配方及性能

根据基础隔震要求,叠层隔震橡胶支座的橡胶夹层应具有适当的柔性、较高的扯断伸长率、较大的阻尼和良好的耐老化性能。为此进行了橡胶夹层的胶料配方设计,并结合结构设计进行了两次试制,得出胶料的优化配方为:NR 100;促进剂 1.8;硫黄 0.8;氧化锌 4;硬脂酸 1.5;防老剂 3;软化剂 6;炭黑 35。为提高橡胶夹层与钢板

间的粘合强度,橡胶夹层与钢板用 CH 粘合剂粘合。硫化胶性能见表 4。从表 4 看出,硫化胶具有较好的综合性能,橡胶夹层与钢板粘合强度较高,完全满足叠层隔震橡胶支座的性能要求。

表 4 橡胶夹层硫化胶物理性能

性能	第一次 试制	第二次 试制	日本同类 产品 ^[4]
拉伸强度/MPa	29.5	30.0	>18.0
扯断伸长率/%	630	730	>400
扯断永久变形/%	23.2	14.8	—
撕裂强度(裤形)/ (kN·m ⁻¹)	18.8	25.5	—
回弹值/%	48	47	—
邵尔 A 型硬度/度	54	52	50±5
橡胶夹层与钢板粘合 强度/(kN·m ⁻¹)	10.6	10.2	>7

注:硫化条件:150℃×150 min。

3 叠层隔震橡胶支座的耐久性能

由于我国现行结构设计标准中规定工业与民用建筑物的设计使用年限为 50 年,对某些特殊结构建筑物要求更长^[1],因此要求叠层隔震橡胶支座的使用寿命超过 50 年。

对叠层隔震橡胶支座耐久性考虑得最多的是劣化问题,而叠层隔震橡胶支座的劣化主要是在承载下的热氧老化。在 80℃下对橡胶夹层硫化胶和整体支座进行热空气老化试验,结果如图 2~4 所示。从图 2 可以看出,橡胶夹层硫化胶经 50 d 热空气老化后拉伸强度为 14 MPa,扯断伸长率为 480%,回弹值和硬度变化不大。从图 3 可以看出,叠层隔震橡胶支座经 50 d 热空气老化后,加载曲线向右偏移,但偏移程度并不大。从图 4 可以看出,叠层隔震橡胶支座老化前后水平推力 P_H 与 δ_H 的关系曲线几乎重叠;计算所得的老化前后的 K_H 、等效阻尼比分别为 0.55 MN·m⁻¹, 23% 和 0.57 MN·m⁻¹, 25%,也很接近。这些都说明老化前后叠层隔震橡胶支座的重要性能指标—— K_V 、 K_H

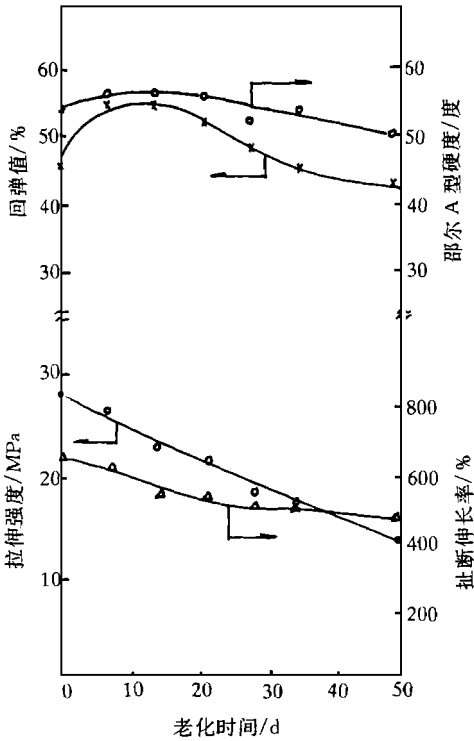


图2 橡胶夹层硫化胶的热空气老化性能
老化温度为 80 °C

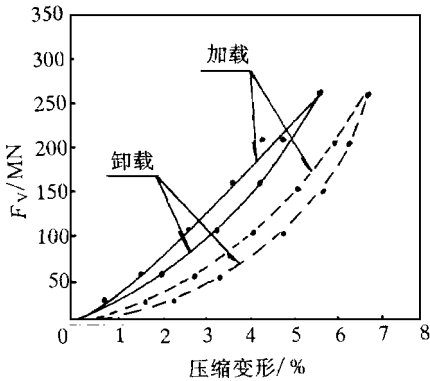


图3 叠层隔震橡胶支座竖向载荷
与变形的关系

虚线表示 80 °C × 50 d 热空气老化后

和等效阻尼比变化不大。这与唐家祥等^[2]在对英国、日本和澳大利亚等国进行实例考查后分析认为的支座中橡胶劣化只涉及周边部分,中央内部仍保持基本健全的形态,蠕

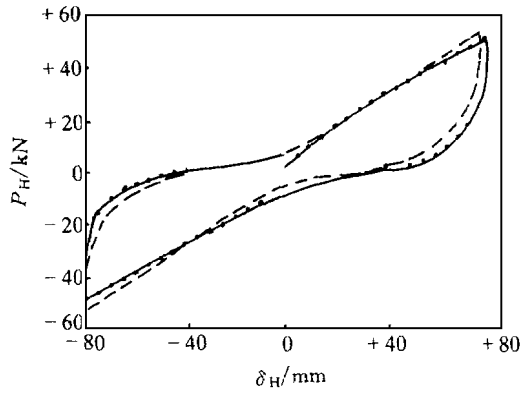


图4 叠层隔震橡胶支座的 P_H 与 δ_H 关系
注同图3

变、松弛现象并不严重,且逐渐趋于一个稳定状态的观点是一致的。

据报道^[1],按阿累尼乌斯提出的化学反应速度与温度的关系式推算,在 80 °C 热空气中老化 50 d,相当于在 20 °C 的环境下使用 80 年。这说明本研制叠层隔震橡胶支座的耐久性完全可以满足建筑物结构设计使用年限的要求^[3]。华中理工大学在加载下对本设计叠层隔震橡胶支座进行热空气老化试验后也认为,如果将建筑物的使用年限定为 60 年左右,橡胶夹层劣化问题不会给叠层隔震橡胶支座的耐久性构成威胁^[2]。

4 结语

本研制叠层隔震橡胶支座是集支承、弹性复位和阻尼功能于一体的结构体,与国内同规格的隔震橡胶支座相比,具有竖向刚度大、承载性能和耐久性能较好、水平刚度和等效阻尼比适中等优点,完全可以在隔震工程中使用。

致谢 云南省橡胶制品研究所李国荣、谭建、堵红枫、张海洲、赵月秀和迟翠芳等同志参加了部分试验和测试工作,在此表示感谢。

参考文献

- 1 许 斌,唐家祥. 基础隔震叠层橡胶支座耐久性试验研

- 究. 工程抗震, 1995(4): 41~44
- 2 唐家祥, 刘再华. 建筑结构基础隔震. 武汉: 华中理工大学出版社, 1993. 5~219
- 3 唐家祥, 李黎, 李英杰, 等. 叠层隔震橡胶基础隔震房屋结构设计与研究. 建筑结构学报, 1996, 17(2): 37~

47

- 4 三桥一二. 免震用弹性すベク支承. 日本ゴム協会誌, 1991, 64(2): 111~119

收稿日期 1998-04-13

国外简讯 13 则

△德国凤凰公司与中国山西省签订了建立生产输送带合资厂的协议, 凤凰将拥有合资厂 66% 的股份. 山西省是中国煤炭生产基地, 对输送带需求量很大.

ERJ, 180[3], 7(1998)

△德国德国萨和希尔斯公司合并成一家名为德国萨-希尔斯的公司, 以便提高竞争力和谋求更快的发展.

ERJ, 180[4], 4(1998)

△BTR 汽车配件公司计划未来 5 年内在波兰投资 4 100 万美元建一新的胶管和异型制品厂. 该厂将生产汽车空调器和散热器用胶管以及异型橡胶制品, 雇员人数为 640 人.

ERJ, 180[4], 2(1998)

△欧洲减少汽车排放量的标准实施促使汽车厂在发动机里采用催化排气净化转换器, 将发动机罩盖下的环境温度升至 150 °C, 因而 NR 不再适用于发动机减震垫, 将于 1999 年起改用 EPDM 减震垫.

ERJ, 180[4], 7(1998)

△伦敦国际集团公司(LIG)与中联橡胶公司签定在中国制造 Durex 牌避孕套的协议. LIG 与青岛乳胶厂成立 50 :50 的合资厂, 初期年产量 1.6 亿只避孕套. 目前 LIG 每年向中国出口 1 500 万只避孕套.

ERJ, 180[4], 10(1998)

△东南亚金融危机爆发后, 普利司通已停止了在东南亚的所有投资, 同时在重新考虑它在该地区的地位.

ERJ, 180[4], 18(1998)

△美国生产 E-SBR 的 Ameripol Synol 和

DSM 共聚物公司状告韩国、墨西哥和巴西 4 家合成橡胶公司在美国市场倾销 1500 和 1700 系列 E-SBR.

ERJ, 180[5], 2(1998)

△到 2010 年金属茂催化的聚乙烯弹性体、塑性体和 EPDM 将占弹性体市场 11% 的份额.

ERJ, 180[5], 3(1998)

△美国在国家黄石公园的喷泉中发现一种嗜硫菌, 它可吃掉硫化胶中的硫黄, 因而可用于废轮胎的处理.

ERJ, 180[5], 22(1998)

△1997 年俄罗斯合成橡胶出口量减少 15%, 由于价格降低, 使出口额下降更显著, 总计下降了 25%. 1998 年 1 月俄罗斯合成橡胶价格同比下降 17%.

ERJ, 180[5], 22(1998)

△世界炭黑消耗量的年平均增长率为 3%, 到 2001 年将达到 780 万 t. 用于橡胶补强的炭黑占总需求量的 94%, 而其中有 68% 用于轮胎.

ERJ, 180[5], 29(1998)

△欧洲热塑性弹性体(TPE)消耗量预计增长 4.5%, 到 2001 年将达到 465 000 t, 而中国鞋业的发展将使远东 TPE 消耗量增长率达到 15%~20%.

RPN, 1998-03-09, P4

△固特异 1999 年将把其 5%~10% 的橡胶工程制品的生产能力从内布拉斯加州林肯市迁往墨西哥, 以利用该地廉价劳动力. 该公司将在墨西哥投资 1 500 万美元建新厂, 安置部分林肯厂迁来的传动带生产设备.

RPN, 1997-12-15, P1