

叠层隔震橡胶支座性能的影响因素

张 燕

(西北橡胶塑料研究设计院, 陕西 咸阳 712023)

摘要: 根据叠层隔震橡胶支座(简称橡胶支座)的建筑力学性能要求, 从产品结构(包括内部和外部结构、结构尺寸、结构参数)、材料(主要是胶层材料)和生产工艺(包括胶层与金属的粘合、装模、硫化工艺)方面分析了影响橡胶支座性能的因素。

关键词: 橡胶支座; 隔震; 叠层橡胶制品

中图分类号: T Q336. 4⁺2 文献标识码: A 文章编号: 1000-890X(2000)06-0348-05

在建筑行业中, 新型的抗震技术是在建筑物基础层与底层间安装叠层隔震橡胶支座(以下简称橡胶支座)。地震发生时, 采用这种抗震技术的建筑物会由于橡胶支座良好的变形性和吸能阻尼性而使其上部结构的自振周期延长, 从而有效地把建筑物与地震活动隔开, 达到建筑物不因地震而遭受破坏, 建筑物内人与物的安全得到保证的目的。

近年来, 我国橡胶支座技术已从理论研究阶段进入实际应用时期。随着人们对新型抗震技术认识的不断提高, 对橡胶支座的各种性能更加关注。为此, 本文对影响橡胶支座性能的因素进行了分析探讨。

1 橡胶支座的性能要求

橡胶支座是安装在建筑物基础层与底层间, 长期处在地表或稍低于地表的大气环境中的橡胶制品。就承载力而言, 在非地震时期, 橡胶支座必须长期承受建筑物自身质量所施加的静压力; 就隔震作用而言, 在地震发生时, 橡胶支座的结构隔震体进入消能状态, 阻尼加大, 从而使建筑物水平自振周期急剧延长, 有效地把建筑物与地震活动隔开, 减小高层建筑物对地震加速度的反应。图 1 所示为地震时 NR 支座

对减弱建筑物振动的作用^[1]。

根据以上作用原理和特点, 建筑物对隔震橡胶支座最基本的建筑力学性能要求为:

- (1) 适中的水平刚度, 以达到隔震目的;
- (2) 一定的阻尼性, 起到消能作用;
- (3) 较大的水平变形能力, 能够稳定支承;
- (4) 较大的承载力, 在建筑物使用寿命期间, 能安全地支承建筑物静、动荷载;
- (5) 耐久性好。

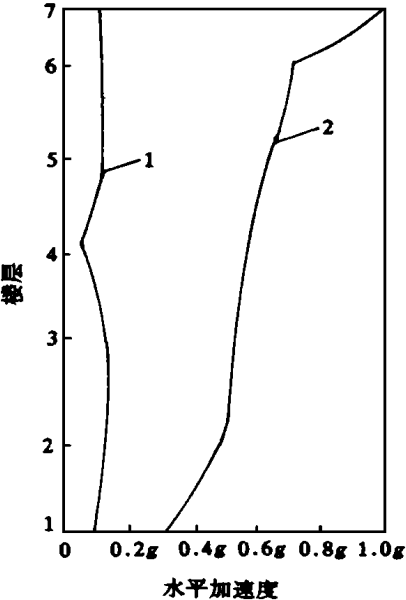


图 1 地震时 NR 支座对减弱建筑物振动的作用

地面加速度峰值为 0.3g (g 为重力加速度)。

- 1—橡胶支座隔离系统建筑物;
- 2—刚性基础建筑物

作者简介: 张燕(1960-), 女, 陕西大荔县人, 西北橡胶塑料研究设计院高级工程师, 学士, 曾从事橡胶加工的专业理论教学工作, 现从事橡胶制品的研究开发工作。

2 影响橡胶支座性能的因素

2.1 橡胶支座结构

2.1.1 外形结构

根据橡胶支座在建筑物上的安装特点,其几何形状可以设计成圆柱体,也可以设计成长方体或正方体。由于圆柱体变形时各个方向的受力大小相等,因此橡胶支座采用圆柱体结构更为合理。另外,与长方体和正方体橡胶支座模具相比,圆柱体橡胶支座模具加工较简单,成本较低,使用较方便。图 2 为圆柱体橡胶支座及其模具结构示意图。

2.1.2 内部结构

橡胶支座不但要有较大的承载力,还要有较高的水平变形能力,因此该产品必须是一种刚性和柔性兼具的结构体。橡胶材料是高弹性物质,它虽然能够赋予产品一定的变形能力,但橡胶支座若仅用橡胶材料制作,则只能满足建筑物的弹性复位性要求,而满足不了建筑物的刚性要求。因此,橡胶支座应采用具有弹性的橡胶材料和具有刚性的金属材料共同组成。具体地说,橡胶支座是用多层钢板和多层胶层交

替叠合并用铅芯加固而成的,是一个既有刚性又有弹性的结构体,如图 2 所示。

2.1.3 结构尺寸

产品的外径、高度及钢板和胶层尺寸确定了橡胶支座的结构。合理的结构尺寸既可满足橡胶支座的承载力、刚度和水平变形要求,又可使其在静压下起到支承建筑物和承受建筑物异常变形的作用。地震时,橡胶支座的水平变形或吸能阻尼性小,不仅会造成隔震失败,而且会影响到建筑物的安全,因此隔震橡胶支座的结构尺寸必须根据其建筑力学性能要求来确定。图 3 是橡胶支座的承压变形示意图。

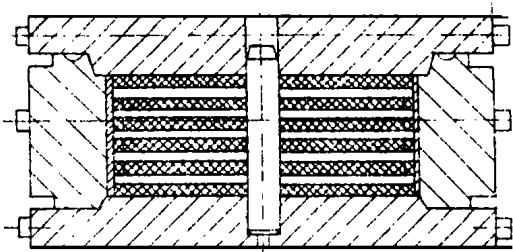


图 2 橡胶支座及其模具结构示意图

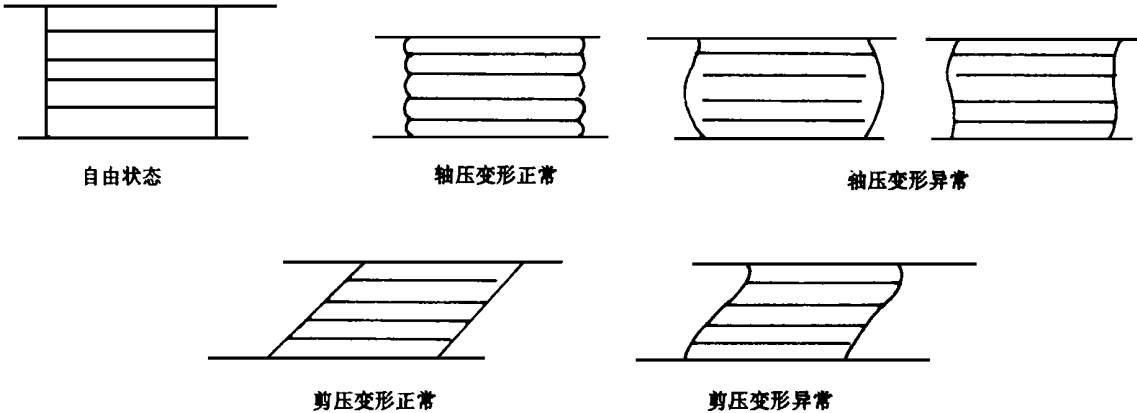


图 3 橡胶支座的承压变形示意图

2.1.4 结构参数

(1)形状因数^[4]

形状因数是表征橡胶支座承载能力和变形能力的重要几何参数。

第一形状因数 S_1 为橡胶支座中每一胶层的有效承压面积与自由表面积之比:

$$S_1=\frac{D-D_0}{4T_r}$$

式中 D ——胶层有效承压面直径;
 D_0 ——胶层中孔直径;
 T_r ——每一胶层厚度。

S_1 表征橡胶支座中钢板对胶层变形的约束程度, S_1 值越大,橡胶支座的受压承载力越大,垂直刚度越大。

第二形状因数 S_2 为橡胶支座有效承压面直径与胶层总厚度之比:

$$S_2=\frac{D}{nT_r}$$

式中 n 为橡胶支座中胶层总层数。

S_2 表征橡胶支座受压时的稳定性和变形能力。 S_2 越大,橡胶支座的稳定性越好,但其水平刚度也会越大,水平变形能力会越小。试验证明,橡胶支座的水平刚度适中才能保证其适宜的水平变形能力和良好的隔震效果。因此, S_2 值既不能太小,也不能太大。

国内外的研究成果和应用经验表明, $S_1\geqslant 15$ 和 $S_2=3\sim 6$ 的橡胶支座性能较好,其受压承载能力的安全因数可达到 $6.7\sim 8.0^{[2]}$ 。

(2) 支座建筑力学参数与形状因数的关系

橡胶支座的建筑力学基本性能参数是:承载力、竖向刚度、水平刚度和水平位移。这些力学参数与产品的形状因数即 S_1 和 S_2 有关。表 1 示出了橡胶支座建筑力学参数的计算方法。从表 1 可以看出,橡胶支座结构参数是影响其建筑力学性能的重要因素。

2.2 橡胶支座材料

橡胶支座是由金属钢板、胶层和铅芯组合而成的结构体。合理的结构设计是使橡胶支座建筑力学性能达到要求的首要条件。但橡胶支座的实际性能能否达到设计要求,还与各组件所用的材料相关。

2.2.1 胶层

橡胶胶层是橡胶支座的核心部分,其性能

影响着橡胶支座的力学性能和耐久性能。橡胶支座在建筑物中的使用特点如下:

- ①长期受垂直负荷作用;
- ②弹性良好;
- ③不直接受阳光照射,环境温度在 $-40\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间;
- ④长期受大气环境作用。

根据橡胶支座的使用特点,确定胶层的性能特点为:

- ①强度适中,扯断伸长率大;
- ②弹性好,压缩永久变形小;
- ③阻尼性好;
- ④粘合力好且损失因数较小;
- ⑤耐老化性能好;
- ⑥满足生产工艺要求。

从胶层性能特点可以看出,主体材料、硫化体系和补强体系是影响胶层性能的主要因素。

(1) 主体材料

胶层的主要作用是吸收震源发生的振动能量,特别是共振效应(由阻尼振动波产生)引起的同步振动能量。表 2 所示为可用于橡胶支座胶层的几种橡胶的性能特点。

表 2 几种橡胶的性能特点

胶种	橡胶特性	阻尼因数	使用温度/ $^{\circ}\text{C}$
NR	弹性、动态性能、加工性能、耐碱性能、耐老化性能好,强度高,耐溶剂性差	0.01~0.08	$-30\sim 70$
CR	强伸性能仅次于 NR,耐老化性能、耐热性能、耐油性能比 NR 好,贮存稳定性和加工性能差	0.03~0.08	$-20\sim 70$
IIR	气透性小,阻尼大,耐热性能、耐候性能和减震性能好,强度低,粘合性差,硫化速度慢	0.05~0.50	—
EPDM	耐臭氧性能、耐候性能和耐热老化性能好,弹性仅次于 NR,粘合性差,硫化速度慢	—	—
NBR	耐油性能好,耐热老化性能比 NR 和 SBR 好,耐候性能差	—	$-10\sim 80$

表 1 橡胶支座建筑力学参数的计算方法

力学参数	计算方法	说明
设计承载力 P	$P=\delta_0A$	$\delta_0=16\sim 20$
垂直刚度 K_v / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	$K_v=\frac{\pi D}{4}E_{ch}S_2$	$E_{ch}=\frac{E_cE_b}{E_c+E_b}$
水平刚度 K_h / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	$K_h=\frac{\pi D}{4}GS_2$	—
水平变形位移 S_h	$S_h=yH_r$	$y=100\%\sim 350\%$
S_1	$S_1=\frac{D-D_0}{4T_r}$	$S_1\geqslant 15$
S_2	$S_2=\frac{D}{nT_r}$	$S=3\sim 6$

注: A 为橡胶支座有效承压面积; G 为胶层材料标准剪切模量; E_c 为胶层材料压缩弹性模量[$E_c=3G(1+2S_1^2)$]; E_b 为胶层材料体积约束弹性模量; E_{ch} 为胶层材料修正压缩弹性模量; H_r 为橡胶支座胶层总厚度。

试验证明,采用强度高、扯断伸长率大、适用温度范围广和蠕变性小的 NR 作主体材料,胶层的综合性能优良。

(2)硫化体系

硫黄硫化的硫化胶为多硫键结构,具有强度高、弹性好的特点;硫给予体硫化的硫化胶含有大量的碳-碳键,具有变形小、动态性能好而弹性差的特点。硫黄硫化体系胶料(配方:NR 100;氧化锌 5;硬脂酸 2;防老剂 3.5;炭黑 35;硫化体系 3.3;其它 3)和硫给予体硫化体系胶料(配方:NR 100;氧化锌 5;硬脂酸硫化体系 2.6;其它 5)的硫化曲线和硫化胶性能对比见图 4 和表 3。由于橡胶支座尺寸大、胶层多,属厚制品,因此硫化体系对胶层性能和产品性能,尤其是生产工艺性能影响非常大。如果硫化体系选择不当,则会造成产品内外部分硫化程度不一致,或者外部已完成硫化而内部还未开始硫化的问题。采用硫黄和硫给予体并用的硫化体系可使胶层的静、动态性能良好。

(3)补强体系

胶层硬度对橡胶支座刚性的影响很大。试

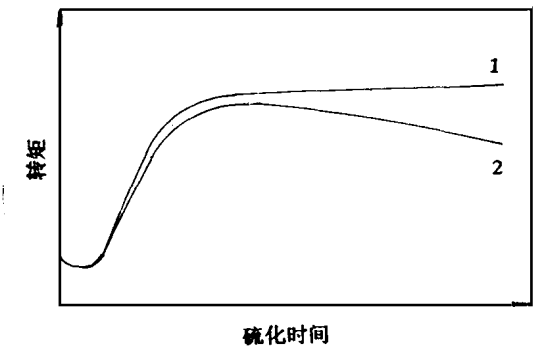


图 4 不同硫化体系的 NR 胶料硫化曲线对比
1—硫给予体硫化体系;2—硫黄硫化体系

表 3 不同硫化体系的 NR 硫化胶性能		
性 能	硫黄	硫给予体
回弹值/ %	55 ~ 65	50 ~ 65
压缩永久变形(压缩率		
30%, 70 ℃× 24 h)/ %	25 ~ 35	17 ~ 25
返原性	返原	不返原

注:硫化条件为 150 ℃× 20 min。

验证明,胶层的邵尔 A 型硬度为 40 ~ 60 度时,可以满足橡胶支座的建筑力学性能要求。

瓦斯槽法炭黑硫化胶强度高,扯断伸长率和扯断永久变形大,弹性差;半补强炭黑硫化胶扯断永久变形小,弹性好,强度低;高耐磨炭黑硫化胶强度高,耐磨性好。橡胶支座胶层的补强体系通常采用两种或两种以上的炭黑并用,以满足其强度高、扯断伸长率大和压缩永久变形小的要求。

(4)防老剂

我国现行建筑设计标准 GB J 68—84 规定,工业建筑物和民用建筑物的设计使用年限为 50 年,因此胶层的耐热空气老化性能和耐臭氧龟裂性能是衡量橡胶支座性能的重要项目。选用新型防老剂是提高胶层耐老化性能的重要手段。另外,在产品胶层外加设一层耐老化性能好的防护胶层也可很大程度地提高胶层的耐老化性能。

2.2.2 金属材料

在橡胶支座中,金属钢板提供刚性作用,铅芯提供阻尼作用,这两个组件应选用强度和纯度高的材料制备。

2.3 生产工艺

2.3.1 胶层与金属的粘合

从橡胶支座承压变形图(图 3)可以分析得出,除胶层厚度不匀等因素外,影响橡胶支座稳定性的因素还有胶层与金属的粘合性。

橡胶支座是胶层与钢板粘合后,经模压硫化而制成的。钢板对胶层起着束缚作用。如果钢板与胶层的粘合性差,橡胶支座在承压变形时就会发生不均匀性层间位移,脱离束缚,造成失稳。

要使钢板与胶层粘合良好,一是要根据胶料配方选择粘合剂;二是要确定合理的粘合工艺。如果钢板与胶层的粘合强度较高,在剥离试验中,试样会出现混合破坏现象(钢板与胶层的粘合力与胶层的内聚力相当)。

2.3.2 模具结构和装模

橡胶支座的稳定性是由 S_2 决定的。当橡胶支座的胶层厚度确定后, S_2 值则由每层胶层厚度的均匀性来决定,而模具的结构形式和半

成品的质量又影响着胶层厚度。如果所用的模具不能在垂直方向上定位,钢板的平整性和胶层半成品厚度的均匀性则成为影响 S_2 值的关键因素;如果所用的模具能在垂直方向上定位,采用注压硫化方式则可大大提高产品的力学性能,并简化生产工艺。

2.3.3 硫化工艺

橡胶支座属厚制品,胶层是不良热导体,外胶层与内胶层的温差会随着产品断面厚度的增大而增大。硫化温度过高,易使外胶层的橡胶分子链裂解,发生硫化返原现象,导致产品强伸性能下降;硫化温度过低,会使内胶层的橡胶分子交联程度不够,出现欠硫或不熟现象,导致产品弹性恢复性差或在长期承压下出现外观异常变形的现象。足够的硫化压力有助于提高胶层物理性能。如果硫化压力过小,胶层会出现气泡,并导致其致密性和力学性能差。

总之,良好的硫化工艺条件是保证橡胶支座性能的重要条件。

3 结语

橡胶支座是集稳定支承、弹性复位和阻尼功能于一体的结构元件。要满足橡胶支座的建筑力学性能要求,必须从产品的结构设计、材料选择、胶料优化配合和产品生产工艺等方面进行综合考察,才能制造出结构合理、性能优良和工艺可行的产品。

参考文献:

[1] Derham C J. Natural rubber foundation bearings for earthquake protection——experimental results. NR Technology [J], 1977, 8(3): 41.
[2] 周福霖. 化学结构减震控制[M]. 北京:地震出版社, 1997: 68.

收稿日期: 1999-12-09

Effective factors on properties of laminated rubber bearing

ZHANG Yan

(1. Northwest China Rubber and Plastics Research and Design Institute, Xi'an 712023)

Abstract: Based on the requirements for the architectural mechanical properties, the effective factors on the properties of laminated rubber bearing are analysed from the view of product structure (including inner and outer structure, structural dimension and structural parameters) materials (mainly referred to rubber material), and processing technology (including adhesion between rubber and metal, loading of press and curing).

Keywords: rubber bearing; vibration isolation; laminated rubber article

大粒径丁苯胶乳合成技术开发成功

中图分类号: TQ331.4⁺1 文献标识码: D

由吉化公司研究院承担的大粒径丁苯胶乳合成技术开发项目于 2000 年 1 月 20 日通过吉化公司组织的专家验收。

丁苯胶乳可广泛应用于造纸、地毯和泡沫橡胶制品等领域,但传统的丁苯胶乳是在高温(50~60℃)下由乳液聚合而成,粒径小(0.08 μm),因而其应用范围受到一定限制。新开发的合成技术采用高温乳液技术进行种子聚合,再经附聚得到大粒径丁苯胶乳。因其粒径大,

即使在高固含量下仍保持流动状态,故可广泛应用于涂料、粘合剂、发光橡胶和 ABS 等产品的生产。

验收专家一致认为该开发项目的技术资料齐全,数据可靠,提出的聚合配方合理,工艺过程稳定。建立的附聚工艺技术已申请国内专利,可用于指导千吨级试生产,少量废水经处理可达到排放标准。该大粒径丁苯胶乳产品主要性能已达到日本 JSR 0561 样品水平,经初步应用试验表明效果良好,有望替代进口产品。

(吉化研究院《弹性体》编辑部 韩秀山供稿)