

卢民鹤, 沈朝勇, 谭平, 等. 一种新型三维隔震支座的试验研究 [J]. 华南地震, 2017, 37 (4): 94-101. [LU Minhe, SHEN Chaoyong, TAN Ping, et al. Experiment On a Novel Three-dimensional Isolation Bearing[J]. South China journal of seismology, 2017, 37(4): 94-101.]

## 一种新型三维隔震支座的试验研究

卢民鹤, 沈朝勇, 谭平, 郑俊杰

(广州大学工程抗震研究中心, 广州 510405)

**摘要:** 通过研究三维隔震支座与二维隔震支座力学性能的相关关系, 对传统的蝶形弹簧改进, 并将改进后的新型蝶形弹簧通过对合叠合的方式组成蝶形弹簧竖向隔震支座, 与普通橡胶支座通过串联的方式组合成一个新型的三维隔震支座。对二维天然隔震橡胶支座(LNR)、碟形弹簧竖向隔震支座、三维隔震支座分别进行了水平方向和竖向力学性能试验, 分析了独立状态下的二维隔震支座与三维隔震支座相互之间力学性能的关系, 并对其规律进行了归纳和总结。试验结果表明: 竖向弹簧片支座的竖向刚度随压应力的增加呈线性变化; 在低频率情况下频率对其竖向刚度影响不大; 三维隔震支座的水平刚度相对于独立状态下的 LNR 会略有降低; LNR 对三维隔震支座的整体竖向刚度的影响不大。

**关键词:** 碟形弹簧; LNR; 力学性能; 三维隔震支座

**中图分类号:** TU352.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2017) 04-0094-0

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2017.04.016

## Experiment On a Novel Three-dimensional Isolation Bearing

LU Minhe, SHEN Chaoyong, TAN Ping, ZHENG Junjie

(Earthquake Engineering Research & Test Center, Guangzhou University, Guangzhou 510405, China)

**Abstract:** The intention of this paper is to research the mechanical properties relationship between the three-dimensional isolation bearing and the two-dimensional isolation bearing. The new disc spring transformed from the traditional LNR one consists of the vertical isolation bearing by a stacking way. And the vertical isolation bearings and the LNR are combined into a novel three-dimensional isolation bearings. Tests about the horizontal and vertical mechanical properties of the LNR, the disc spring vertical isolation bearing and the 3D isolation bearing were carried out respectively. Analyses were conducted on the relationship of the mechanical properties between the 2D isolation bearings and the 3D isolation bearings under independent conditions. Test results show that the vertical stiffness of the disc spring vertical isolation bearing varies linearly with the increase of compressive stress. And the frequency has little effect on the vertical stiffness of that at low frequencies. The horizontal

收稿日期: 2017-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51578168); 广东特支计划项目 (2014TX01C141)资助

作者简介: 卢民鹤(1993-), 男, 硕士研究生, 主要从事防灾减灾及防护工程方面的研究。

通讯作者: 沈朝勇(1972-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事防灾减灾及防护工程方面的研究。

E-mail: shency@gzhu.edu.cn.

stiffness of the 3D isolation bearing is slightly lower than that of LNR in the independent state. The effect of LNR on the overall vertical stiffness of 3D isolation bearings is not significant.

**Keywords:** Disc springs; LNR; Mechanical properties; Three-dimensional seismic isolation bearings

0 引言

地震是威胁人类的自然灾害之一,抗震最有效的构想是把结构物和地面隔离开,在发生地震时,既可保证结构的安全,又能保护结构内部的设备设施不受破坏。现代隔震技术实现了该思想,到目前为止已得到了较好的发展<sup>[1-5]</sup>。美国 Northridge 大地震(1994 年)和日本神户大地震(1995 年)地震区隔震建筑的地震观测结果表明:隔震结构体系是当前一种有效的减轻地震灾害的新型结构体系<sup>[6-7]</sup>。

传统观点认为<sup>[8]</sup>,地震的时候,对结构的破坏起决定性作用的是水平方向的地震力,因此现在隔震技术的研究主要集中在水平隔震这部分,水平隔震技术研究成熟,应用广泛。但是除了水平方向的地震动响应,竖向的动力响应对建筑物的影响也是显著的,因此隔离竖向地震动也是急需解决的问题。在高烈度区,竖向地震分量对建筑物的破坏作用不能忽视,特别是在震中和发震断层的附近,竖向地震分量比较大,对建筑物的破坏也是非常大的<sup>[9]</sup>。因此,三维隔震技术的研究是迫在眉睫的。

为解决计算机房或精密仪器的防振和隔震问题,在室内楼板下已有采用三维隔震技术的实际工程<sup>[10]</sup>。当整体结构采用三维隔震支座时,由于支座的竖向刚度较小,地震发生时,如何解决隔震结构的摇摆问题和确保支座的稳定性和安全性是三维隔震技术应用的主要难题。国际上已有一些学者对此进行了尝试性研究<sup>[11-12]</sup>,但在世界范围内同时实现隔离地震和振动的工程并不多<sup>[13]</sup>。

2012 年,贾俊峰、欧进萍<sup>[14]</sup>等基于铅芯橡胶隔震垫、组合碟形弹簧和钢板阻尼器的各自力学性能特点,设计开发出一种新型的碟形弹簧三维隔震装置,该三维隔震装置具有构造合理、传力机制明确等优点,在水平向和竖向都能够具有适宜的隔震刚度和阻尼耗能性能,并且在较大水平剪切变形时仍具有良好的整体稳定性。

碟形弹簧在隔震支座中的应用已经较为广泛,但其力学性能尚未为土木工程领域熟知,关于碟形弹簧力学性能的实验研究非常有限<sup>[15]</sup>。对隔震支座进行力学模型简化和数值分析时,组合碟形弹

簧件的刚度、阻尼等参数仍需进行假设,缺乏足够依据,难以保证计算准确性和合理性<sup>[16]</sup>。

本文通过对传统的碟形弹簧进行改进,主要是增加了顶面接触面和下部接触面,同时为了降低其刚度,采用了非传统 60 SiMn 钢,采用了较低弹性模量的普通钢,并将改进后的新型蝶形弹簧通过对合叠合的方式组成碟簧竖向隔震支座,与二维天然隔震橡胶支座通过串联的方式组合成一个新型的三维隔震支座<sup>[17]</sup>。主要针对 LNR、碟簧竖向隔震支座和三维隔震支座的力学性能进行了一系列的试验研究,分析独立下的二维隔震支座与三维隔震支座相互之间力学性能的关系,并对其规律进行了一系列的总结和分析,为以后三维隔震支座的研究提供实验依据。

1 三维隔震支座的试验模型

三维隔震支座由两部分组成,上部为天然隔震橡胶支座(LNR),其试验模型的参数见表 1 所示。下部结构为三个并联一起的碟形弹簧桶,单个套筒内置的弹簧片参数如表 2 所示,图 1 为单片碟形弹簧详解,图 2 是三维隔震支座的效果图。

表 1 普通橡胶支座参数

Table 1 Parameters of plain rubber bearings

参数	取值
孔径/mm	5
单层橡胶厚度 $t_R$	2
橡胶层数 $n$	14
(夹层)薄钢板厚度/mm	2
封板厚/mm	15

表 2 单桶碟形弹簧竖向隔震支座参数

Table 2 parameters of vertical isolation support of single barrel disc spring

参数	取值
碟簧外径 ( $D$ /mm)	180
碟簧内径 ( $d$ /mm)	92
碟簧孔径 ( $d_0$ /mm)	16.5
厚度 ( $\sigma$ /mm)	5
极限变形 ( $h_0$ /mm)	6
高度 ( $H_0$ /mm)	11
弹性模量 ( $N/mm^2$ )	$2.06\times10^5$
泊松比 $\mu$	0.3
组合方式	2 叠合 11 对对合

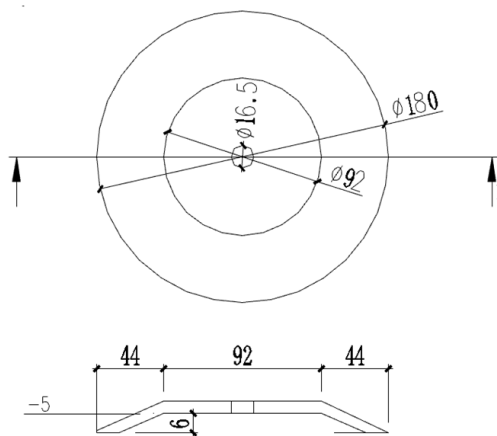


图1 单片蝶形弹簧详图

Fig.1 Test model of single disc spring

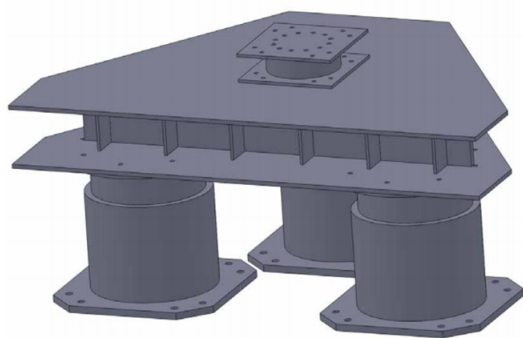


图2 三维隔震支座效果图

Fig.2 The effect diagram of three-dimensional isolator

## 2 LNR 水平力学性能试验

对 LNR 进行水平单向压剪状态下的力学性能研究, 支座的剪切变形分别取 50%、100%、150%、和 200%, 在各种剪切变形下对支座施加 6 MPa 的压应力, 水平位移加载频率为 0.05 Hz<sup>[18]</sup>。提取各工况下第三循环数据绘制滞回曲线, 计算各个工况下的水平等效刚度。图 3 为 LNR 支座不同剪切变形时水平力学性能与 100% 变形时性能比值随水平剪应变的变化曲线。图中数据结果显示 LNR 水平等效刚度随剪应变增加而减小<sup>[19]</sup>。

为研究 LNR 频率的相关性, 在支座 100% 水平剪切变形和 6 MPa 的竖向荷载下, 分别研究了 0.01 Hz、0.02 Hz、0.05 Hz、0.1 Hz、0.33 Hz 时支座的水平等效刚度, 提取各工况下第三循环的数据绘制滞回曲线<sup>[18]</sup>。图 4 给出了 LNR 支座不同加载频率时水平力学性能与 0.33 Hz 时性能比值随水平

加载频率的变化曲线, 图中曲线趋势表明 LNR 水平等效刚度随频率增加而增大<sup>[19]</sup>。

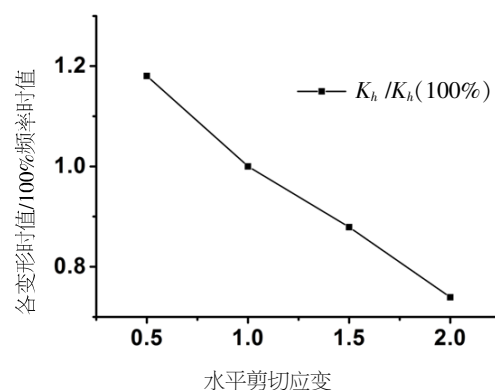


图3 LNR 支座不同剪切变形时水平力学性能与 100% 变形时性能比值随水平剪应变的变化曲线

Fig.3 The ratio between the horizontal mechanical property of LNR isolator under different shear deformations and those under 100% deformation changing with horizontal shear deformation

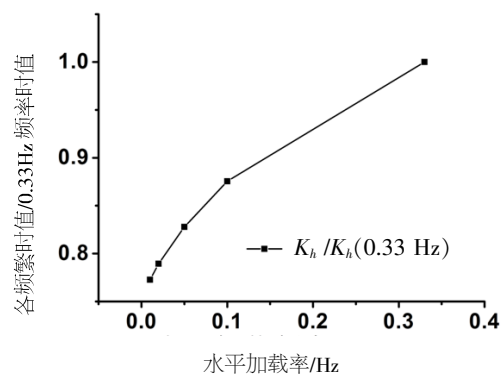


图4 LNR 支座不同加载频率时水平力学性能与 0.33 Hz 时性能比值随水平加载频率的变化曲线

Fig.4 The ratio between the horizontal mechanical property of LNR isolator in the case of different frequencies of horizontal loading and that of 0.33 Hz loading frequency changing with frequency of loading

## 3 竖向隔震支座力学性能研究

竖向隔震支座由碟形弹簧通过 2 叠合 11 对合的形式组合而成, 本文对竖向隔震支座进行了力学性能分析, 包括竖向压应力相关性和频率相关性。

### 3.1 竖向隔震支座的压应力相关性研究

本文试验的对象是将三个套筒竖向隔震支座并联在连接板上, 支座连接板下部固定在压剪试验台上。针对该支座, 分别对其施加 4 MPa、5 MPa、6 MPa (1±30%) 的竖向压应力, 加载频率为 0.03 Hz 的正弦波, 往复加载四次, 取荷载中的第

三循环绘制力-位移曲线,如图5所示,计算其各压应力下的竖向刚度<sup>[9]</sup>。竖向施加的荷载在碟形弹簧的弹性范围内,而且每次反复加载和卸载,碟形弹簧都可以恢复原来的高度。

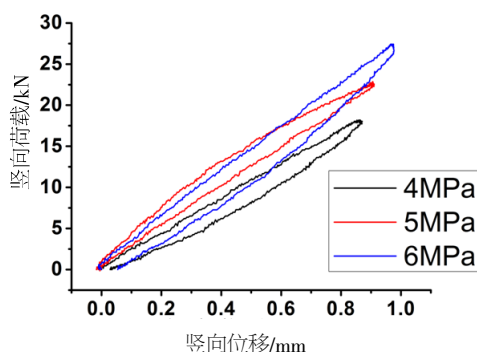


图5 竖向隔震支座各应力下压力-位移曲线对比分析

Fig.5 Comparative analysis of pressure-displacement curves under different stress of vertical isolation bearings

根据图6数据显示:在相同的频率下,4 MPa下的竖向刚度相对于6 MPa下的增加了24%,说明压应力对竖向刚度的影响较为明显,由碟形弹簧组成的竖向隔震支座的竖向刚度随着荷载的增大呈线性变化,同时也说明该结果说明新型碟形弹簧的竖向刚度与传统的碟形弹簧有相似的变化特征,其竖向刚度随着竖向荷载的增加而线性增加。

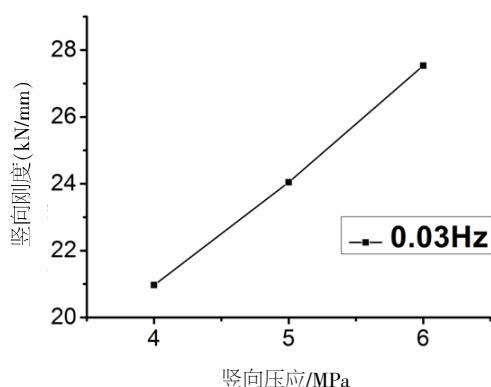


图6 竖向隔震支座的竖向刚度随压应力的变化曲线

Fig.6 Curves of vertical stiffness of vertical bearing with compressive stress

### 3.2 竖向隔震支座的频率相关性研究

针对竖向隔震支座,在竖向压应力为6 MPa时,分别在0.005 Hz、0.01 Hz、0.03 Hz、0.05 Hz的频率下加载,取荷载中的第三个循环绘制力-位移曲线,计算其各压应力下的竖向刚度,绘制频

率-竖向刚度曲线<sup>[8]</sup>。由图7可知,在0.05 Hz时的竖向刚度比0.005 Hz时只增加了4.7%,在各频率下,竖向刚度最大的比最小也只增加6.6%,说明在低频情况下,加载频率对竖向隔震支座的竖向刚度的影响不大。由于试验设备的限制,加载的竖向荷载频率只能达到0.05 Hz,根据试验结果随频率变化的增长关系,分别计算0.1 Hz、0.3 Hz和0.5 Hz竖向荷载时竖向隔震支座的刚度。从图中数据来看,高频对支座竖向刚度的影响较大。

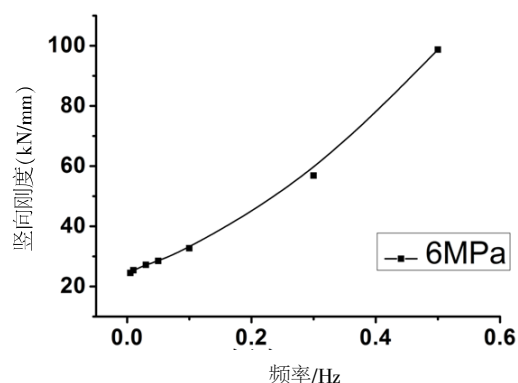


图7 竖向隔震支座的竖向刚度随频率的拟合曲线

Fig.7 Vertical stiffness changes with frequency of vertical isolation bearings

## 4 三维隔震支座力学性能试验

三维隔震支座上部由二维天然隔震橡胶支座(LNR)组成,下部由组合式蝶形弹簧竖向隔震支座构成,三个竖向隔震支座与LNR根据图纸进行安装,在广州大学工程抗震研究中心进行支座的力学性能试验,如图8。



图8 试验中的支座

Fig.8 Isolator in test

#### 4.1 三维隔震支座水平力学性能与 LNR 对比分析

组合三维隔震支座分别在 50%、100%、150%、200% 剪切应变时的力-位移曲线如图 9 所示。由图可见，与 LNR 的水平滞回曲线相似，随着剪切变形的增加，滞回曲线越来越丰满。

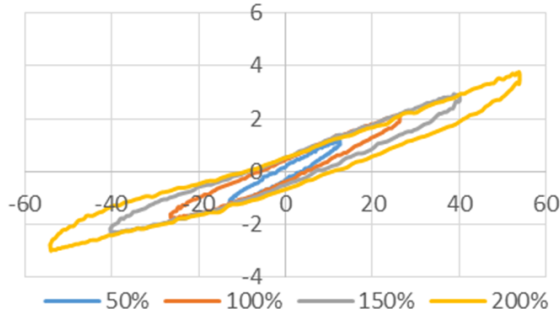


图 9 三维隔震支座的水平滞回曲线

Fig.9 Horizontal hysteretic curve of three dimensional isolation bearings

图 10 给出了三维隔震支座不同剪切变形时水平力学性能与 100% 变形时的比值随水平剪应变的变化曲线，图 11 给出了三维隔震支座不同压应力时水平力学性能与 5 MPa 时性能比值随竖向压应力的变化曲线。根据图 10 曲线数据显示，随着水平剪切变形的增加，三维隔震支座的水平等效刚度呈非线性降低；图 11 数据显示，在相同的剪切变形下，随着竖向压应力的增大，三维隔震支座的水平等效刚度逐步减小，呈线性变化。

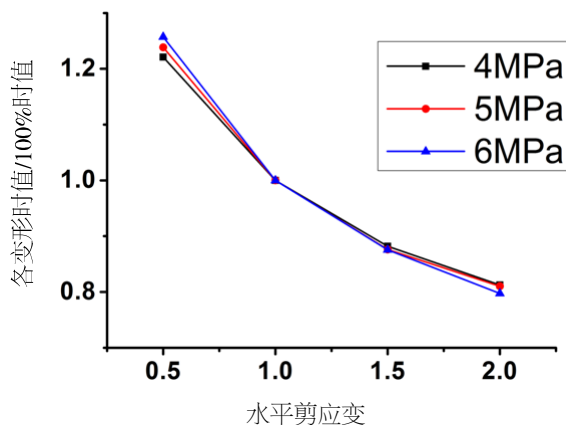


图 10 三维隔震支座不同剪切变形时水平力学性能与 100% 变形时性能比值随水平剪应变的变化曲线

Fig.10 The ratio between the horizontal mechanical property of three dimensional seismic isolator under different shear deformations and those under 100% deformation changing with horizontal shear deformation

图 12 和图 13 分别表示 6 MPa 下 50% 和 100% 水平剪切变形时三维隔震支座与 LNR 滞回曲线对比。曲线表明，三维隔震支座的水平剪应变的滞回曲线面积比 LNR 的减小了，借鉴文献 [20] 支座的等效阻尼比公式，由于滞回曲线的面积减小，导致三维隔震支座的等效阻尼比较相同剪切变形下的 LNR 有轻微减小。

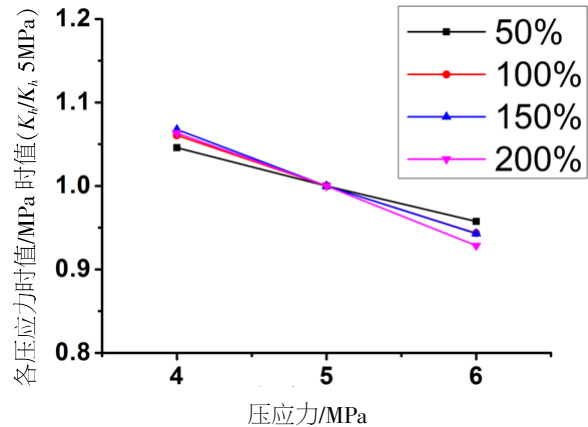


图 11 三维隔震支座不同压应力时水平力学性能与 5 MPa 时性能比值随竖向压应力的变化曲线

Fig.11 The ratio between the horizontal mechanical property of three dimensional seismic isolator under different vertical compression and that under 5 MPa compression changing with vertical compression

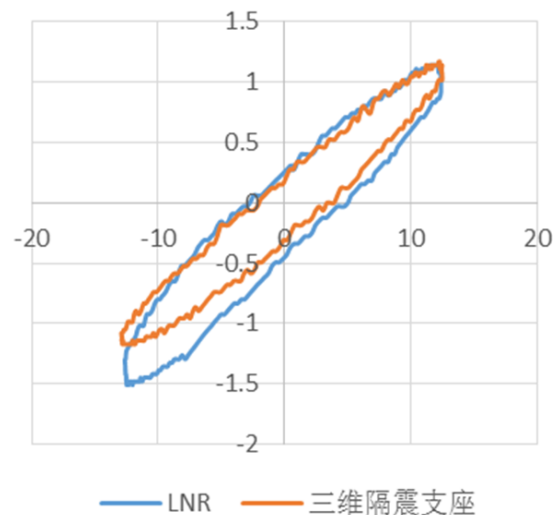


图 12 6 MPa 下 50% 水平剪切变形时三维隔震支座与 LNR 滞回曲线对比

Fig.12 Comparison of hysteretic curves of three dimensional seismic isolation bearings with LNR under 50% horizontal shear deformation at 6 MPa



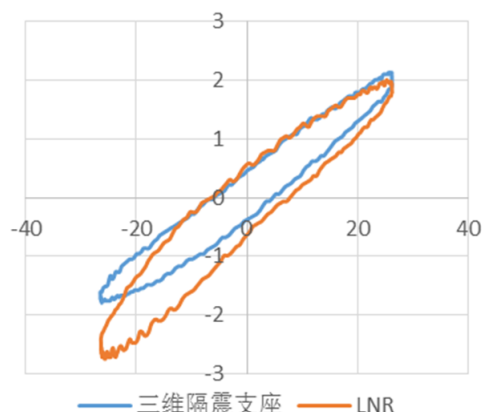


图 13 6 MPa 下 100% 水平剪切变形时三维隔震支座与 LNR 滞回曲线对比

Fig.13 Comparison of hysteretic curves of three dimensional seismic isolation bearings with LNR under 100% horizontal shear deformation at 6 MPa

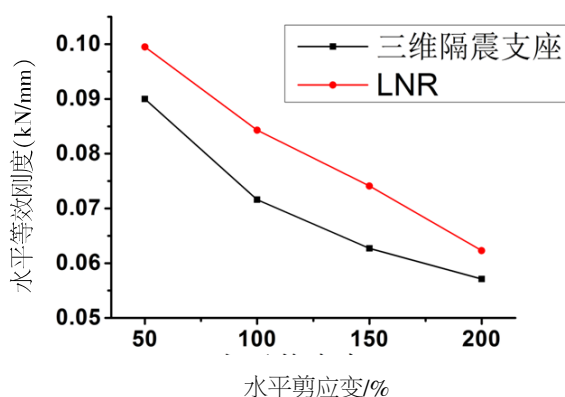


图 14 6 MPa 下三维隔震支座与 LNR 水平等效刚度对比分析  
Fig.14 Comparative analysis of horizontal equivalent stiffness between three dimensional isolation bearings and LNR at 6 MPa

图 14 为 6 MPa 下三维隔震支座与 LNR 水平等效刚度对比分析,参考二维天然隔震橡胶支座 6 MPa 下的水平剪切性能,除了在 200% 剪切变形的工况下,三维隔震支座的水平等效刚度比 LNR 的小 5% 以外,其余剪切变形下的值都要比 LNR 的小 10% 左右,表明三维隔震支座的水平等效刚度主要由 LNR 决定,但是其竖向隔震支座对其水平等效刚度有轻微的影响,使其水平等效刚度降低 10% 左右,但是这种影响在大剪切变形的情况下会减弱。说明三维隔震支座下,水平等效刚度相对于二维下的 LNR 有轻微减小。

#### 4.2 三维隔震支座的竖向性能与竖向隔震支座对比分析

对比不同剪切变形作用下三维隔震支座的竖

向刚度,如图 15 所示。由图可见,在 0%、100% 和 200% 剪切应变下,三维隔震支座的竖向刚度随着竖向荷载的增加而增加,近似呈线性变化。图 16 为三维隔震支座在相同压应力下竖向刚度随剪切应变的变化曲线,由曲线可知,相同竖向压应力作用下,随着水平剪切应变的增大,三维隔震支座竖向刚度呈减小趋势,4 MPa 时 100% 和 200% 剪应变的竖向刚度比 0% 时的分别降低了 13% 和 15%,6 MPa 时只降低了 2% 和 1%,说明在竖向荷载比较小时,水平剪切变形对三维隔震支座的竖向刚度有轻微影响,但是当水平剪切变形到一定值时,这种影响会逐渐消失或者不明显;在竖向荷载比较大,水平剪切变形对三维隔震支座的竖向刚度影响不大,随着剪切变形的改变,竖向刚度基本保持不变。

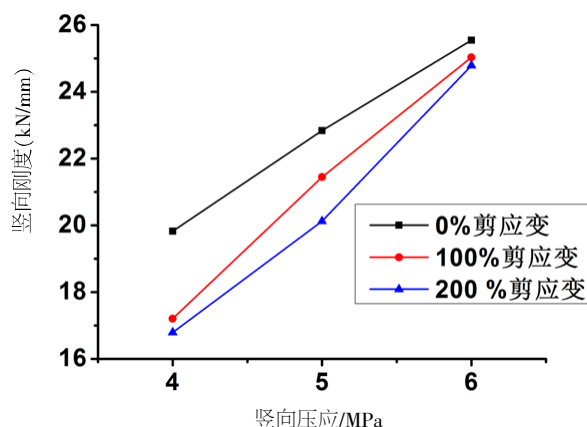


图 15 不同剪切变形作用下三维隔震支座随竖向荷载变化的竖向刚度曲线

Fig.15 Different shear deformation curve of vertical stiffness under three-dimensional isolator changes with the vertical load

图 17 给出了 0% 剪应变下的三维隔震支座和无 LNR 的竖向隔震支座的竖向刚度对比曲线。从图中可以看出,在相同荷载下,无 LNR 的竖向隔震支座的竖向刚度比三维隔震支座的的大,但是两个支座的竖向刚度差值在 5% 左右,根据串联支座刚度计算公式<sup>[21]</sup>(见式 1),LNR 的竖向刚度和碟形弹簧隔震支座的相差比较大,所以两个组合而成的三维隔震支座刚度较二维的竖向隔震支座小。

$$\frac{1}{K_h} = \frac{1}{K_{Dh}} + \frac{1}{K_{Rh}} \quad (1)$$

式(1)中  $K_{Dh}$  为竖向隔震支座的竖向刚度,  $K_{Rh}$  为 LNR 的竖向刚度。说明 LNR 对三维隔震支座的竖向刚度的影响并不明显。

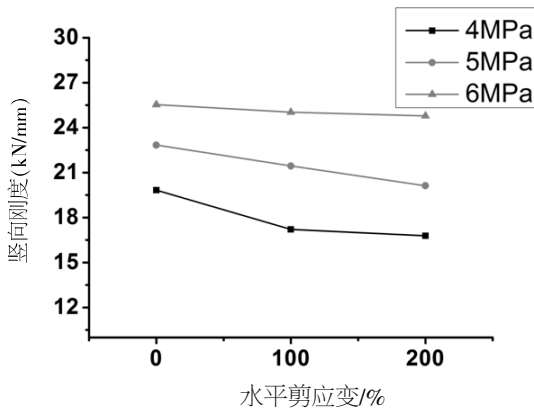


图 16 三维隔震支座在相同压应力下竖向刚度随剪应变的变化曲线

Fig.16 The change curves of vertical stiffness with shear strain under the same compressive stress of three dimensional seismic isolation bearing

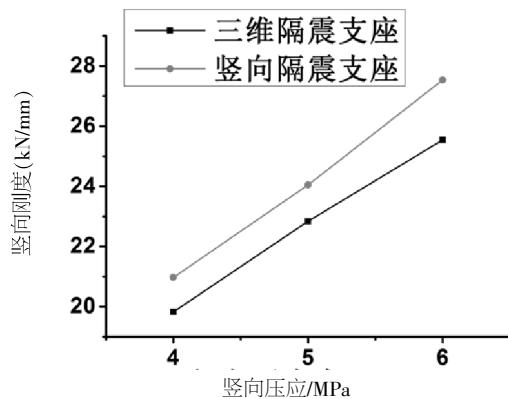


图 17 三维隔震支座与竖向隔震支座的竖向刚度对比分析曲线

Fig.17 Comparative analysis curves of vertical stiffness between three dimensional isolation bearings and vertical isolation bearings

## 5 结语

本文对一种新的三维隔震支座的竖向力学性能和水平力学性能进行了试验研究,通过试验得出以下结论:

(1) 竖向弹簧片支座的竖向刚度随压应力的增加呈线性变化;在低频率情况下频率对其竖向刚度影响不大,但高频具有一定影响。

(2) 在相同剪应变下,三维隔震支座水平刚度相对于相独立状态下的 LNR 会略有降低

(3) 对比竖向隔震支座和三维隔震支座的竖向刚度, LNR 对三维隔震支座整体竖向刚度影响并不大。

## 参考文献:

- [1] Masahiko Higa shino, Shin Okamoto. Response Control and Seismic Isolation of Buildings [M]. Oxford: Taylor& Francis Group, 2006.
- [2] 周福霖. 工程结构减震控制 [M]. 北京: 地震出版社, 1997.
- [3] 日本建筑学会. 隔震结构设计(3 版)[M]. 刘文光, 译. 北京: 地震出版社, 2006.
- [4] 魏陆顺, 周福霖, 任珉, 等. 三维隔震新技术保障地铁平台上部安全[J]. 建设科技, 2007 (9): 38 - 39.
- [5] 魏陆顺, 周福霖, 刘文光. 组合基础隔震在建筑中的应用[J]. 地震工程与工程振动, 2007, 27 (2): 158 -163.
- [6] 大山秀美. 仙台隔震建筑地震反应[R]. 株式会社藤田技术研究所所报, 2003.
- [7] 刘愉生, 纳弃成. 关于武定地震对大理橡胶建筑影响的调查报告[R]. 云南: 大理市设计院, 1995.
- [8] 辛娅云. 竖向地震作用的重要性[J]. 工程抗震与加固改造, 2005, 28 (S1): 54-56
- [9] 赵帅. 三维多功能隔振支座的试验研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.
- [10] Fujita T, Nakajima K, Sugimoto H, et al. 1 A 3- D isolation floor with a direction converter or vibration for vertical Isolation [C]//Proceedings of 3rd Symposium on Seismic Vibration and Shock Isolation. ASM E/ PVP1989, 181: 43- 48.
- [11] Kashiwazaki A, Fuji w aka T, Shimada T, eta. 1 Feasibility tests on a three- dimensional base isolation system incorporating hydraulic mechanism[J]. American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP, 2002, 445 (2): 11 - 18.
- [12] Yaban a S. Development of thick rubber bearing for three- dimensional seismic isolation [C]//Proc. of 12th World Conference on Earthquake Engineering. NewZealand: The NewZealand Society for Earthquake Engineering, 2000: 104 - 106
- [13] 魏陆顺, 周福霖, 任珉, 等. 三维隔震 (振) 支座的工程应用与现场测试[J]. 地震工程与工程振动, 2007, 27 (3): 121-125.
- [14] 贾俊峰, 欧进萍, 刘明, 等. 新型三维隔震装置力学性能试验研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2012, 34 (1): 29-34.
- [15] 黄河. 三维复合隔震支座的碟形弹簧试验与应用研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [16] 靳凡, 徐兵. 碟形弹簧的力学性能分析[C]. 成都: 四川省博士专家论坛. 2014.
- [17] 陆文遂. 碟形弹簧的计算.设计与制造[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1990.
- [18] 中国国家标准化管理委员会. 橡胶支座第 1 部分: 隔震橡胶支座试验方法: GB/T20688.1-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [19] 杨彦飞, 何文福. 橡胶隔振支座基本力学性能实验研究[J]. 建筑科学, 2010, 26 (5): 6-9.
- [20] 苏经宇, 王超. 建筑隔震橡胶支座[J]. 中国橡胶, 2000 (10): 8-10.
- [21] 王维, 李爱群, 周德恒, 等. 新型三维多功能隔振支座设计及其隔振分析[J]. 东南大学学报 (自然科学版), 2014, 44 (4): 787-792.

刘鋆华, 黄天璨, 谭平. 基于 CEL 方法的 ADS 系统主容器抗震性能分析[J]. 华南地震, 2017, 37(4): 101-105. [LIU Junhua, HUANG Tiancan, TAN Ping. Seismic performance analysis of main container of ADS system based on CEL method [J]. South China journal of seismology, 2017, 37(4): 101-105.]

## 基于 CEL 方法的 ADS 系统主容器抗震性能分析

刘鋆华, 黄天璨, 谭平

(广州大学, 广州 510405)

**摘要:** ADS(Acceleration driven system)系统在没有传统巨大体量的核电结构保护的情况下, 系统的主容器在地震作用下流体与结构相互耦合作用将对容器本身与结构产生的影响。基于 CEL 方法, 考虑流体与结构耦合效应及其对于内部组件的影响, 使用 ABAQUS 对主容器进行了地震作用下的有限元分析。分析得到了主容器内部流体的位移响应, 得到了流体位移对于主容器安全性及其对结构产生动力放大效应的影响规律。通过分析结果得到该容器相关抗震性能, 以及考虑其是否存在采取隔减震措施的需求。通过分析结果得到了该容器的动力放大系数, 根据其抗震性能的分析建议对容器采取相关措施控制其动力放大效应。

**关键词:** ADS; 流固耦合; 地震; 动力放大系数

**中图分类号:** TU352.12      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-8662 (2017) 04-0101-05

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2017.04.017

## Seismic Performance Analysis of Main Container of ADS System Based on CEL Method

LIU Junhua, HUANG Tiancan, TAN Ping

(Guangzhou University, Guangzhou 510405, China)

**Abstract:** In view of the acceleration driven system without the traditional large volume of nuclear power structure protection, the main container of the system under the action of the interaction between the fluid and the structure will be on the container itself and the impact of the structure. Based on the CEL method, the coupling effect of fluid and structure interaction and its influence on internal components are mainly considered. The finite element analysis of the main container under earthquake is carried out by using ABAQUS. The displacement response of the fluid in the main container is analyzed and the influence of the fluid displacement on the safety of the main vessel and its effect on the dynamic amplification of the structure is analyzed. By analyzing the results obtained by the relevant seismic performance of the container, and considering whether there is a need to take shock absorptive measures.

**Keywords:** ADS; Fluid-structure coupling; seismic; Power amplification factor

**收稿日期:** 2017-06-10

**基金项目:** 广州市属高校“羊城学者”科研项目(1201541630)和广东特支计划项目(2014TX01C141)联合资助

**作者简介:** 刘鋆华(1992-), 男, 硕士生, 主要从事结构抗震与减震研究。

**通讯作者:** 黄天璨(1982-), 男, 讲师, 硕士生导师, 工学博士, 主要从事结构非线性分析。

**E-mail:** tiancanhuang@163.com.