

高层建筑抗拉隔震支座国内外研究现状

刘思聪, 温留汉·黑沙, 张迪

(广州大学工程抗震研究中心, 广东 广州 510405)

摘要: 简要概述了传统隔震支座在高层及超高层应用中存在的不足及相应的解决对策, 重点介绍抗拉隔震支座国内外的研究现状, 最后指出目前抗拉隔震支座研究存在的问题。

关键词: 高层建筑; 隔震支座; 抗拉

中图分类号: TU973+.31

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662 (2014) 01-0075-05

Research Status on Tensile-resistant Isolation Bearings at Home and Abroad

LIU Sicong, WEN Liuhan·Heisha, ZHANG Di

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

Abstract: This paper briefly presents the problems existing in the application of isolation bearings in high-rise building and some measures to those problems, mainly introduces the research status of tensile-resistant isolation bearings at home and abroad, and points out the problems existing in the research of tensile-resistant isolation bearings.

Keywords: High-rise building; Isolation bearings; Tensile-resistant

0 引言

随着全球经济的发展和城市化进程的加快, 高层及超高层建筑频频出现。基底隔震是一种简单有效的减震技术, 已被广泛用于各种中低层建筑中, 并取得了良好的减震效果。近年来, 这一技术又被逐步推广应用于高层及超高层建筑中^[1]。

由于高层及超高层建筑的水平地震力产生的

倾覆力矩较大, 在强地震动作用下, 橡胶隔震支座容易出现受拉现象。在强地震动作用下, 大高宽比结构将产生明显的颠簸和晃动^[2], 从而会使得橡胶隔震支座的受拉现象更加明显。

当橡胶隔震支座受轴向拉伸时, 虽然从外观上看并无太大损伤, 但其内部容易形成负压状态而产生许多空孔。研究表明, 橡胶隔震支座经较大受拉变形后再受压, 其竖向受压刚度降低为初

收稿日期: 2013-12-08

作者简介: 刘思聪, 男, 1988年生, 硕士研究生, 主要从事工程抗震与减震研究。

E-mail: liusicong425@163.com.

期刚度的 1/2 左右^[3], 并且在拉应力达到 1.5~3.0 MPa 时支座抗拉刚度会急剧下降^[4], 表现出双线性特征^[5]。

1 现行橡胶隔震支座无法承受拉力的解决对策

我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)明确要求隔震支座不宜出现拉应力, 即使出现拉应力也应控制在 1 MPa 以下^[6]。隔震支座出现受拉, 最根本的成因是, 地震引起的拉力超过了隔震支座所承受的结构自重。因此可以通过下列方法解决隔震支座受拉不足的问题:

- (1) 增大隔震支座所承受的重力荷载范围。
- (2) 减小地震作用引起的拉力。
- (3) 采用抗拉能力高的隔震支座。

途径(1)可以通过合理布置上部结构及隔震支座实现, 途径(2)可以通过限制结构的高宽比实现, 途径(3)可以通过研制开发具有抗拉功能的橡胶隔震支座实现。如何处理基础隔震技术在高层和超高层建筑应用中容易出现受拉和倾覆的技术难题, 国内外学者进行了大量的研究。

2 国外研究现状

竹中工务店和普利司通共同开发了适用于高层建筑的橡胶隔震支座。该支座特点是, 在橡胶材料中添加碳素等可以改进橡胶支座性能的原料, 使支座的承载力、硬度、压缩变形和抗拉强度大幅度提高^[7]。这种高强橡胶隔震支座适用于建筑物高宽比 3~6, 高度 60~150 m 的高层建筑。由日本能源株式会社和三井株式会社共同投资兴建, 竹中工务店设计、施工建造的东京杉并花园城, 建筑总层数为 30 层(地上 28 层, 塔屋 2 层), 高度为 93.1 m, 在其结构隔震层的四周布置了 16 个高强橡胶隔震支座^[1]。

竹中工务店、THK 株式会社和三菱制钢株式会社合作开发了新产品——直线式滑动支座^[8](如图 1)。它采用两组梯形截面的轨道组成十字形滑轨支座, 通过连接两组轨道的连接件抵抗支座受到的拉力。直线式滑动支座具有很大的竖向抗拉压能力, 最大抗压能力可达 45 000 kN, 最大抗拉能力可达 18 000 kN。大阪 DT 办公楼(地下 4 层, 地上 27 层, 最大高度是 130 m)是超高层建筑中使用直线式滑动支座隔震的第一个工程实例^[1]。



图 1 直线式滑动支座^[8]

Fig.1 Linear sliding bearing

此外, 日本学者也提出了多种新型的三维隔震装置来解决橡胶隔震支座抗拉能力不足的问题。Seitaro Ogiso 等^[9]提出的三维隔震装置由两部分组成, 分别是用作水平隔震的铅芯橡胶隔震支座和用作竖向隔震的金属波纹管。研究表明, 倾斜设置隔震系统, 使水平和竖向刚度充分独立能有效地减小倾覆效应。Akihiro Kashiwazaki 等^[10]提出的隔震装置由 3 部分组成, 分别是连接着装有压缩气体附加部件的承载液压缸、抗倾覆气缸和橡胶隔震支座。其中承载液压缸与抗倾覆气缸是串联的, 支座放置于两者下面。试验证明这种隔震装置可以较好地应用于核电厂结构的隔震当中。Kageyama 等^[11]提出一种由缆索增强空气弹簧、防摇摆构件和阻尼器组成的三维基础隔震装置, 并进行了模型试验及应用于四层框架结构的三维隔震试验, 试验证明这种隔震装置具有较好的竖向抗拉性能。

3 国内研究现状

祁皓等^[12]、魏锟^[13]都提出了通过添加钢筋提高橡胶隔震支座抗拉性能的方法, 见图 2 和图 3。两者的不同之处在于, 前者将抗拉钢筋连接在隔震体系的上部结构和下部结构之间, 后者将抗拉钢筋直接安装在橡胶隔震支座的上下封板之间。

由广州大学和哈尔滨工业大学合作, 颜学渊等人提出了三种三维抗倾覆支座, 并申请了三个国家实用型专利。这些支座同时具备三维隔震功能和抗倾覆功能, 解决竖向隔震问题的同时也解决了高宽比限值的问题。这三种支座分别是厚橡胶层三维隔震抗倾覆支座(实物及剖面图见图 4)、环形弹簧三维隔震抗倾覆支座和碟形弹簧三维隔

震抗倾覆支座（后两种支座的实物及剖面图见图 5），它们都是由上下两部分子构件串联而成，上部子构件是添加了钢丝绳的橡胶隔震支座，下部子构件是具备竖向隔震功能的装置。试验表明，添加钢丝绳确实能够提高支座的抗拉能力^[14]。

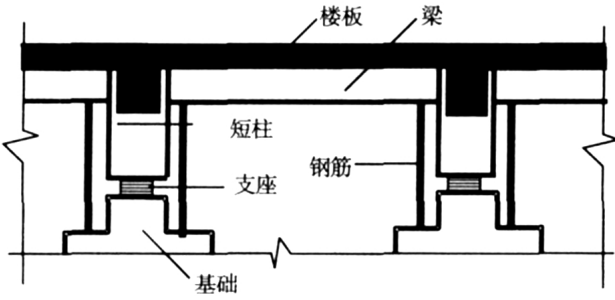


图 2 祁皓隔震结构抗拉模型^[12]
Fig.2 Tensile model of isolation structure by QI Ai

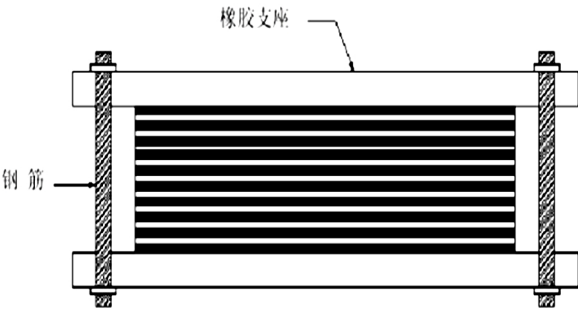


图 3 魏锟隔震支座抗拉模型^[13]
Fig.3 Tensile model of isolation bearing by WEI Kun

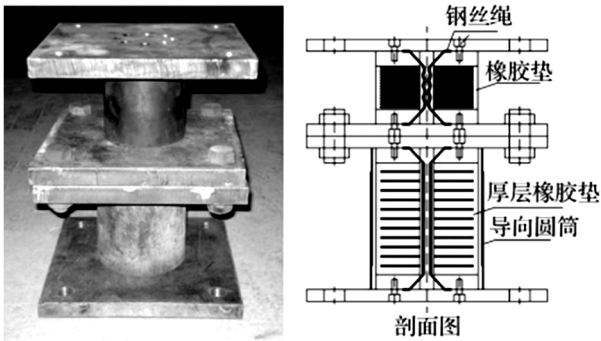


图 4 厚橡胶层三维隔震抗倾覆支座^[14]
Fig.4 Thick rubber 3D-BIORD

针对大高宽比结构的倾覆问题，王铁英等人设计了一种水平向刚度近似为零、竖向有耗能能力的抗倾覆装置^[15](图 6)。其组成部分有：竖向耗能装置、限位保护装置、水平滑动摩擦装置和竖向拉结装置。试验表明，该装置能有效降低结

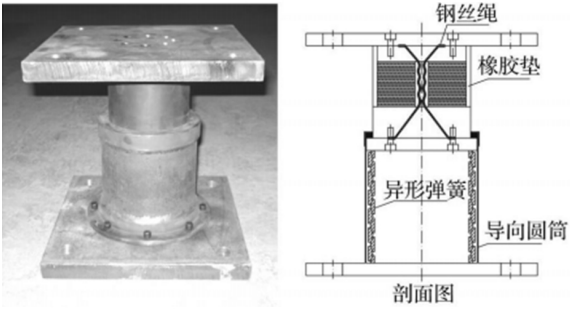


图 5 弹簧三维隔震抗倾覆支座^[14]
Fig.5 Disk spring 3D-BIORD

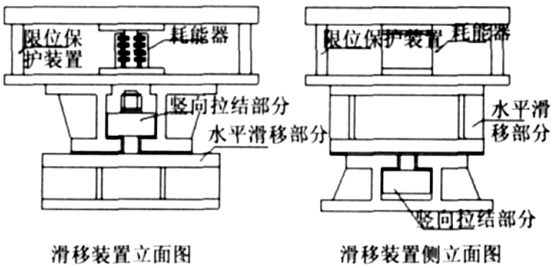


图 6 抗倾覆装置设计简图^[15]
Fig.6 Constitution figure of resist-overturning equipment

构的拉伸位移和结构倾覆的可能性。
针对铅芯橡胶支座抗拉能力差，韩强等人提出了一种抗拉预应力橡胶隔震支座^[16](图 7)，并申请了国家发明专利。抗拉预应力橡胶隔震支座是利用橡胶隔震支座抗压承载力大来弥补抗拉能力不足，其具体做法是：将张拉后的预应力钢绞线锚固在支座上、下连接板内的锚具上，使在承受使用荷载前，对支座预先施加压应力，从而形成抗拉预应力橡胶隔震支座。

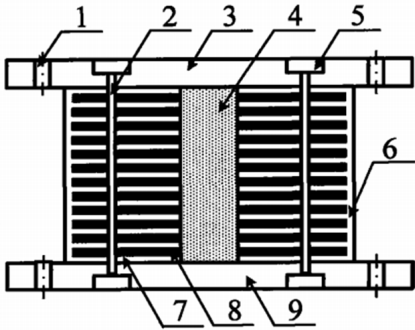
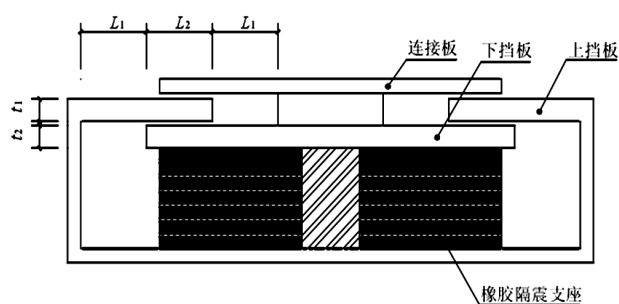


图 7 抗拉预应力橡胶隔震支座^[16]
Fig.7 Tensile prestress rubber isolation bearing

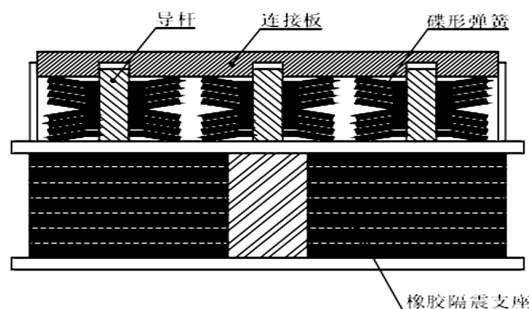
李绍文针对橡胶隔震支座受拉问题，提出了刚性抗拉支座(图 8a)和柔性抗拉支座(图 8b)两种

设计方案^[17]。刚性抗拉支座主要由橡胶隔震支座、连接板和抗拉限位装置组成,其中抗拉限位装置由上、下抗拉挡板组成,下抗拉挡板与橡胶支座

相连,上抗拉挡板与外套筒相连。柔性抗拉支座主要由橡胶隔震支座、碟形弹簧、导杆和连接板组成,其中橡胶隔震支座和碟形弹簧是串联关



(a) 刚性抗拉支座设计方案



(b) 柔性抗拉支座设计方案

图 8 抗拉支座设计方案^[17]

Fig.8 The designs of tensile-resistant bearing

王学庆提出了一种适用于高层建筑结构的新型隔震装置——形状记忆合金(SMA)-叠层橡胶支座^[18](图 9)。SMA-叠层橡胶支座是在普通叠层橡胶支座的基础上进行改进,将 SMA 丝束合理布置在普通叠层橡胶支座的四周,使支座同时具有多维隔震和抗拉抗拔性能。

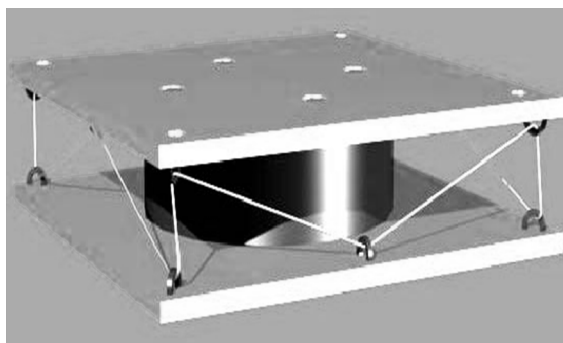


图 9 SMA-叠层橡胶支座^[18]

Fig.9 SMA-Laminted rubber bearing

针对叠层橡胶隔震支座抗拉性能远小于抗压性能这一不足,苏键在研究叠层橡胶隔震支座力学性能的基础上,提出了一种新型抗拉减隔震装置,并申请了国家发明专利。新型抗拉减隔震装置利用叠层橡胶隔震支座的抗压能力来承受隔震层的拉力,示意图见图 10。研究表明,新型抗拉减隔震装置可以提高隔震层的抗拉能力,减少隔震层的竖向位移^[19]。

4 结语

对于各种隔震支座的抗拉问题,国内外学者

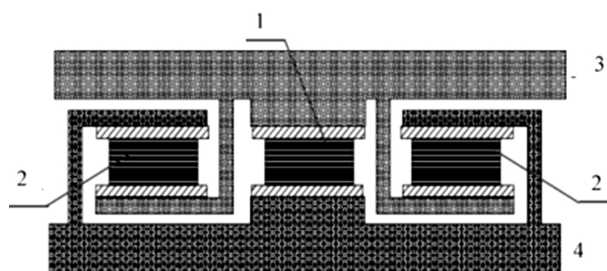


图 10 新型抗拉减隔震装置构造示意图^[19]

Fig.10 Constitution figure of TRDLRB

已做了较多研究,然而仍有一些问题需要进一步深入研究。

造价是制约隔震技术推广的主要因素之一,对于抗拉隔震支座此问题同样存在,能否以(或低于)传统隔震支座的造价达到提高隔震支座抗拉性能的效果决定着抗拉隔震支座的发展前景。

目前,针对抗拉隔震支座的研究主要集中于理论方案上,试验研究也相对较少,而在实际工程中的应用几乎没有。总的来说,人们比较普遍关心的是实际工程中强震作用下抗拉隔震支座的工作性能如何。

随着城市建筑向高层及超高层发展,研究、开发及应用抗拉隔震支座是必然的趋势。

参考文献:

- [1] 何永超,邓长根,曾康康.日本高层建筑基础隔震技术的开发和应用[J].工业建筑,2002,32(5):29-31.
- [2] 王铁英,王焕定,刘文光,等.大高宽比橡胶垫隔震结构振动台试验研究(1)[J].哈尔滨工业大学学报,

- 2006, 38 (12) : 2060–2064.
- [3] 日本免震构造协会编, 叶列平译. 图解隔震结构入门[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [4] 高岡栄治, 飯塚真巨, 二村有則. 引張軸力下における積層ゴムの力学特性に関する研究[J]. 鹿島技術研究所年報, 2000, 9 (48) :
- [5] 日本建筑学会著, 刘文光译. 隔震结构设计[M]. 北京: 地震出版社. 2005.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50011–2010 建筑抗震设计规范及条文说明[S]. 北京: 中国建筑工业出版社. 2010
- [7] 刘世平, 张素媛. 日本建筑隔震橡胶发展动向[J]. 中国橡胶, 2001, 17 (19) : 22–24.
- [8] Takenaka Corporation. Hybrid base isolation system used in superhigh-rise office building for the first time in the world, a reverse concept for improved seismic response [EB/OL]. http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/news_e/pr0106/m0106_06.htm, 2001.
- [9] Seitaro Ogiso, Kyotada Nakamura, Michiaki Suzuki, et al. Development of 3D Seismic Isolator Using Metallic Bellows [J]. Transactions of the 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology Prague, Czech Republic, 2003.
- [10] Akihiro Kashiwazaki, Takahiro Shimada, Tatsuya Fujiwaka, et al. Study on 3-Dimensional Base Isolation System Applying to New Type Power Plant Reactor (Hydraulic 3-Dimensional Base Isolation System: No.1) [Z]. Transactions of the 17th International Conference Structural Mechanics in Reactor Technology Prague, Czech Republic, 2003.
- [11] Kageyama et al. Development of three-dimensional base isolation system with cable reinforcing air spring [Z]. Transactions of the 17th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 17) Prague, Czech Republic, 2003.
- [12] 祁皑, 林云腾. 添加钢筋提高隔震结构高宽比限值的研究 [J]. 地震工程与工程振动, 2005, 25 (1): 120–125.
- [13] 魏银. 一种新型橡胶支座的力学性能研究[D]. 郑州: 河南大学, 2011.
- [14] 颜学渊, 张永山, 王焕定等. 三类三维隔震抗倾覆支座力学性能试验研究[J]. 振动与冲击, 2009, 28 (10): 49–53.
- [15] 王铁英, 王焕定, 刘文光等. 大高宽比橡胶垫隔震结构振动台试验研究(2)[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39 (2): 196–200.
- [16] 韩强, 杜修力, 刘文光. 抗拉预应力橡胶隔震支座. 中国: Z L201010130595. 4 [P]. [2010
- [17] 李绍文. 高层隔震建筑中支座抗拉问题的解决方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- [18] 王学庆. 新型 SMA-叠层橡胶支座及其在高层建筑中的分段隔震研究[D]. 辽宁: 辽宁工程技术大学, 2006.
- [19] 苏键, 温留汉·黑沙, 周福霖. 新型叠层橡胶隔震支座抗拉机构研究[J]. 工业建筑, 2010, 40 (12): 43–46.