

产品应用

隔震橡胶支座的特性和应用

吕百龄, 李和平

(北京橡胶工业研究设计院, 北京 100143)

摘要: 介绍近十几年来国际上发展起来的基础隔震技术, 其在抗击7级以上强烈地震、保护建筑物、防止人员伤亡方面发挥了重要作用。介绍有关建筑隔震橡胶支座的设计方法、性能特点、使用效果和市场前景。

关键词: 基础隔震技术; 隔震橡胶支座; 竖向荷载; 水平荷载; 阻尼性能; 刚度和位移

地震是一种突发性自然灾害, 其危害远远超过洪水、干旱、台风等。全球平均每年发生可测到的地震次数超过 500 万次, 其中 7 级以上地震 17 次, 8 级以上地震 1 次。有震级记录以来, 震级最高的是 1960 年 5 月 22 日发生在智利的 8.9 级大地震, 释放能量相当于美国 10 万颗 1945 年投到日本广岛原子弹的能量。地震形成的海啸以每小时 800 km 的速度横扫太平洋列岛, 将巨大的舰船抛向空中, 毁坏了大批港口设施, 造成了数以万计的人员伤亡。1976 年 7 月 28 日发生在我国唐山的 7.8 级大地震, 死亡人数 24.28 万, 重伤 16.64 万, 矿井倒塌, 城市被毁, 造成直接经济损失约 30 亿美元。1994 年 1 月 17 日, 美国洛杉矶发生 6.6 级大地震, 死亡 62 人, 伤 9 000 人, 经济损失 300 亿美元。1995 年 1 月 17 日, 日本阪神地区发生 7.2 级大地震, 死亡 5 317 人, 伤 30 000 人, 经济损失 960 亿美元。近年来最惨烈的一次地震是 2008 年 5 月 12 日发生在我国四川汶川地区 8 级的大地震, 死亡近 10 万人, 受灾人数逾 1 000 万人, 直接经济损失逾 318 亿元, 强震波及陕、甘、青和重庆等省市和自治区, 远至北京和上海都有明显的震感。地震引起的次级灾害破坏性也很可怕, 如美国旧金山大地震过后大火烧了 3 天 3 夜, 火灾损失是地震损失的 10 倍。日本关东大地震, 房屋倒塌近 80%, 引发了 200 多起火灾, 大火烧遍全城, 死亡人数约 15 万, 90% 是被烧死的。我国吸取了这些教训, 在汶川大地震发生后,

注意防范次级灾害, 最大限度减小了次级灾害造成的破坏。

虽然当今科学技术尚不能准确预测地震发生的时间、地点和震级, 但人类在与地震灾害作斗争的过程中, 不断积累、丰富和发展了有关的抗震知识和技能。近二十几年来, 抗震理论研究取得了突破性进展, 尤其是基础隔震技术在工程方面应用, 经受了洛杉矶和阪神两次大地震的实地考验, 引起了国际社会的普遍关注。

1 抗震设计方法

1.1 传统设计方法

1. 刚性法: 大大增大建筑物结构的刚度, 使其地震反应接近于地表面震动, 以刚克刚, 以硬碰硬。我国华北地区在唐山大地震后对许多建筑物进行“抗震加固”, 就是采用这种方法。这对于强度不高的地震有一定的抗震效果, 对于七八级以上的强地震则无济于事, 况且一味增大结构刚度, 使建筑物造价过高, 技术上很难实现, 经济上也不合理。

2. 柔性法: 大大降低建筑物的结构刚度, 以减小地震对建筑物的加速度反应, 降低地震荷载, 但一味降低结构刚度, 使建筑物变形过大, 会影响其正常使用。这种方法实施起来有很大难度, 效果也不好。

3. 延性法: 适当控制建筑物的结构刚度, 使部分构件在强震下进入非弹性工作状态, 令其有较

大的延性,能消耗地震能量,减轻地震反应,使建筑物在地震时“裂而不倒”。这是当今许多国家使用的建筑物抗震设计方法。这种方法也有很大的局限性,由于地震破坏机理的复杂性,设计者无法准确预测地震时结构遭受破坏的程度;再者,人们对建筑物的功能要求越来越高,不允许构件进入塑性状态,故这种方法实施效果也不理想。

1.2 基础隔震设计方法

所谓基础隔震,就是在建筑物底部与基础之间设置隔离层,使上部结构与固结于地基中的基础面分离,阻隔地震波向上部结构的传播,限制输入结构的能量,使输入结构的能量反馈或被耗能构件吸收,从而大大减小结构的地震反应,保护建筑物的安全。

最早提出基础隔震概念的学者是日本的河合浩藏,他在1891年发表在建筑杂志上的论文提出要建造一种“地震时不受大震的房屋”。他的做法是在地基上横竖交错放几层圆木,圆木上做混凝土基础,再在基础上建房,这样就能隔断或削弱地震波向建筑物的传递。

最早申请隔震技术专利的是英国医生 Calantarients J A,他提出用一层滑石或云母为基础隔震层,地震时建筑物可以滑动的方案。

上述两种方案虽然不完全合理可靠,但其概念已包含基础隔震系统的基本要素。

用橡胶作为基础隔震材料源于20世纪50年代以来对车辆、机械的隔震要求和桥梁支座技术的发展。1965年,瑞士帮助前南斯拉夫重建被地震破坏的贝斯特洛奇小学,首次使用隔震橡胶支座。但是尚未使用夹层钢板,竖向刚度小是一大缺点。20世纪70年代初,新西兰学者 Skinner R T等开发成功铅芯橡胶支座,大大推动了隔震技术实用化进程。1984年建成四层威廉·惠灵顿政府办公大楼,是世界上首座以铅芯橡胶支座为隔震元件的建筑物。继后美、日、法、英、意等国陆续建成约400多座这类隔震建筑。

使用基础隔震设计的两个范例如下。

1. 1994年1月17日,美国洛杉矶发生6.6级大地震,南加利福尼亚大学医学院由于使用橡胶隔震支座,建筑物及内部设施保持完好,旁边的其他建筑物则受到严重破坏。

2. 1995年1月17日,日本阪神地区发生7.2级大地震,两座安装隔震橡胶支座的大楼安全完好,其他按传统方法设计的大楼或倒塌,或开裂。当年10月,笔者参加了在神户举办的国际橡胶会议时看到,虽然经过10个月的恢复整理,许多建筑物倒塌的形象还能看到。国际会议期间还有专题会议交流基础隔震设计技术。

这两次大地震考验表明,采用橡胶/钢板层叠支座作隔震元件的基础隔震设计,能有效抗御大的地震灾害,避免生命财产的巨大损失。阪神大地震后,日本安装橡胶隔震支座的工程数量大大增加,震后当年新增了87例,第二年猛增至217例。

我国处于地震多发地区,国土面积一半左右处于地震活跃地区。开展防震理论研究和隔震技术开发对于促进经济建设和保护人民生命财产安全有重大现实意义。目前已先后在西昌、乌鲁木齐、张家口及天津等地建成一批用橡胶/钢板叠层支座为隔震元件的建筑物,今后还将会有更多这类隔震建筑建成投入使用,并在抗御地震灾害中发挥巨大的作用。

2 叠层橡胶支座特性(建筑隔震橡胶支座)

叠层橡胶支座是由橡胶板和钢板层叠组成的制品(见图1)。使用时将支座安装在建筑物和基础之间,建筑物施压后橡胶产生的横向变形被钢板约束,形成竖向刚、横向柔的特性(见图2)。竖向刚确保其有一定的承载力,能稳定支承建筑物的重量;横向柔使之有一定的变形能力,确保建筑物在强震下不会出现失稳现象。支座还要有足够长的耐久性,使用寿命至少要长于建筑物的设计基准期,通常要求达到60年以上。

为了提高支座的吸能效果,在普通叠层橡胶支座中部加入铅棒制成铅芯叠层橡胶支座(见图3)。加入铅棒除能增加支座的阻尼作用外,还能增加支座的早期刚度,对控制风反应和抵抗地基

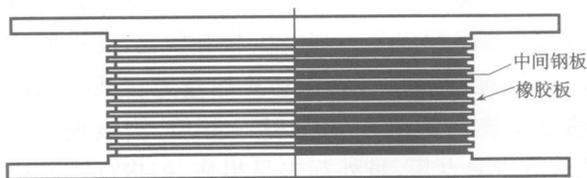


图1 叠层橡胶支座断面示意

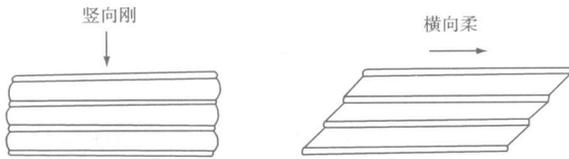


图2 叠层橡胶支座特性

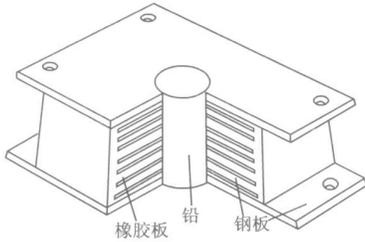


图3 铅芯叠层橡胶支座

的微震动有利。

加入铅棒的直径应根据设计要求通过计算确定。

2.1 力学性能

1. 竖向荷载和变形。叠层橡胶支座当承受竖向荷载时，由于钢板约束橡胶的横向延伸，使橡胶层处于受三向压缩应力的状态，其结果是提高了竖向刚度，较程度发挥其承载能力。叠层橡胶支座最基本的性能要求是应具有长期承载能力。如果支座总厚度相同，每层橡胶板厚度越薄，层数越多，竖向刚度越大，承载能力就越大；反之，每层橡胶板越厚，层数越少，竖向刚度越小，承载能力就越小。如橡胶支座装有铅芯，它并不承受荷载，不影响支座承载力。

2. 水平荷载和变形。叠层橡胶支座在承受竖向荷载 P 恒定的条件下，在横向荷载 Q 的作用下产生变形 δ 当 $\delta \leq 200\%$ 时， $Q-\delta$ 曲线几乎为一直线。变形较大时，刚度随荷载 Q 增加而提高， $Q-\delta$ 曲线呈非线性。横向变形会引起竖向沉降，通常为 1 mm 左右，可忽略不计。支座破坏时的变形能力即为水平极限变形能力。

3. 拉伸变形。横向变形过大时，支座的橡胶层会产生拉伸应变。与受压状态相比，受拉时的应力-应变曲线呈双线型。拉伸应力在某一数值前支座表现为弹性；超过这一数值，则表现为屈服；过屈服点后，虽外观未见损伤，但内部由于受拉伸变形作用会产生许多空孔，严重时会出现橡

胶层断裂或橡胶/钢板界面粘合破坏，破坏时的横向变形超过 400%。

2.2 阻尼性能

橡胶是一种具有粘弹性的高分子材料，当它受到交变应力(如地震波)作用时，其分子链段运动要克服阻力，其形状变化往往滞后于应力变化。这种滞后的结果就能将外力转化为热能，热量的消散就使振动的振幅降低，这一现象称为阻尼。阻尼的大小反映减震效果的大小，用损耗因数(η)来表征。不同种类橡胶有不同的 η 值。一般说在常温下天然橡胶和顺丁橡胶的 η 值较小，丁苯橡胶、氯丁橡胶、乙丙橡胶、聚氨酯橡胶和硅橡胶的 η 值中等，丁基橡胶和丁腈橡胶的 η 值较大(见表 1)。

表 1 橡胶的损耗因数(η)

橡胶	η
天然橡胶	0.05 ~ 0.15
丁苯橡胶	0.15 ~ 0.30
氯丁橡胶	0.15 ~ 0.30
丁腈橡胶	0.25 ~ 0.40
丁基橡胶	0.25 ~ 0.40

一般来说，隔震支座应选择 η 值高的橡胶。 η 值高的橡胶称之为高滞后橡胶或高阻尼橡胶。虽然天然橡胶 η 值较小，由于它具有良好的力学性能，在低应变区域有高弹性和低滞后损失，生热低，蠕变性能好，还具有较好的抗撕裂、耐屈挠和耐磨性能，同时和钢板有良好的粘合性能，故被普遍选择用于隔震橡胶支座的生产。

2.3 耐久性

橡胶材料在使用过程中，在光、热、氧、臭氧和机械应力作用下分子发生断链，性能变坏的过程称之为老化。由于叠层橡胶支座放置于建筑物的底部，必须考虑不同地区的气候特点，如南方应考虑耐热性，北方应考虑耐寒性，高原地区应考虑耐紫外线辐射等特点，其耐久性要与建筑设计基准期相符合。一般说，使用天然橡胶的支座，经过 60 年使用，其破坏应力下降 20% ~ 40%，应变下降 10% ~ 15%，设计时应加以考虑。通常要求使用期限为 60 年以上。

英国第一批层叠橡胶/钢板支座 1957 年用于林肯市 Pelham 大桥，安装使用 37 年后取出两个进行检测，其压缩刚度变化仅为 5% 和 15%，剪切

刚度变化仅为7%，氧化仅发生在离表面10~20 mm的很小范围之内。其余支座还可以继续使用。据此推断，按现有配方和制造工艺技术，制造能满足60年以上使用寿命的橡胶支座是完全可能的。

为了保证橡胶支座60年以上使用寿命，橡胶材料试验项目包括：拉伸性能、老化性能、硬度、粘合性能、压缩永久变形、剪切性能、脆性性能、抗臭氧性能和低温结晶性能。

3 安装使用

叠层橡胶支座一般有固定式和可换式两种放置方法。

可将支座放置于柱脚，即基础顶面处，每柱放置一个支座，根据柱子荷载大小计算选用相应的支座规格和数量；亦可将支座放在地下室底板倒梯形梁的下面。若无地下室或不能做成筏形底板时，也应在柱底作交梁体系，在柱（或梁）下放置。在地震发生时支座上部建筑物反应基本一致。支座的刚度中心与建筑物重心的投影力求重合，以减少地震时的水平扭转和耦合振动。每个支座上的荷载要精确计算，荷载较大的建筑要估计支座超载的幅度。支座的水平刚度随竖向荷载增加而减小，水平刚度与减震效果有密切关系。

为了尽量减少意外大地震对支座的破坏，或水平位移过大导致建筑物倒塌，应加设保险装置。Kelly J M 等设计了一套摩擦阻尼器，在每个底层大梁底部放一根带摩擦阻尼片的长度和型号一定的钢梁，在钢梁和大梁间留有调整的间隙。一旦位移超出某一限值，或支座滑出乃至破坏时，建筑物便落在该装置上，通过滑动摩擦消耗部分能量使建筑物趋于稳定。当然，这套保险装置只有当地震强度超过设计抗震强度时才起作用。

使用叠层橡胶支座的建筑物，必须建立一套完整的定期检查制度。主要检查支座有无破损和老化现象。如有破损，影响使用时应及时更换。还要注意预留在上部结构与基础之间的位移缝隙不要被堵塞。最好能定期观察建筑物的沉降量，测量支座的竖向变形。在发生火灾、水灾等意外灾害时，应及时检查支座，确保其使用功能。我国建设部已经有叠层橡胶支座设计规范。

4 市场前景

我们生活的地球正处于地震高发期，地震未来时人们往往存在侥幸心理，防震减灾意识淡薄；地震发生时，由于疏于防范造成生命财产的巨大损失。痛定思痛，努力寻找抗御地震灾害的秘方，仿佛“昨夜西风凋碧树，独上高楼望断天涯路”，原来“众里寻她千百度，蓦然回首，那人正在灯火阑珊处”。近十几年来几次大地震把叠层橡胶支座推上十分抢眼的位置。日本的例子非常典型：在1995年阪神大地震前12年，全国安装叠层橡胶支座的建筑工程总共不过79例，地震当年新增87例，第二年（1996年）猛增至217例。日本从1983~1996年13年间，安装叠层橡胶支座的工程数目见图4。

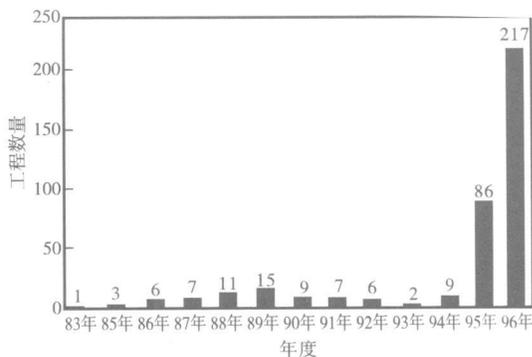


图4 日本1983~1996年安装橡胶支座数量变化

我国是地震多发国，除了东部与日本一样处于环太平洋地震带之外，西部还与亚欧地震带相连。发生在四川汶川地区的8级大地震就是亚欧地震带印度板块向北挤压造成的。我国近十几年来在建设部倡导下也开展了叠层橡胶支座的研究开发工作，并在四川昌都地区、甘肃、新疆、河北张家口、云南大理和天津等地不同类型建筑上使用这种支座，在抗御地震灾害中发挥了不小的作用。最近调查发现，在甘肃地震灾区，有两栋安装橡胶隔震支座的6层砖混结构居民楼经受了这次大地震的考验，地震过后两栋楼结构完好，周围楼房普遍倒塌，损坏严重。

改革开放以来，我国城市建设以前所未有的速度发展，如果不考虑抗震，强烈地震袭来，几十年建设的成果和人民的生命财产将毁于一旦。过去我们普遍的观点是，国家要害部门如政府机关、银行、医院和学校等的建筑物要考虑抗御地震；现

在看来, 所有人居住和活动用建筑物都要考虑抗御地震。房地产商建房过去着眼于降低造价, 追逐利润; 今后这样的住房将会无人敢问津。许多人表示, 宁可花较高的价钱买安全的住房。聪明的房地产商应顺应潮流, 多建一些能抗御强地震的住房, 市场前景肯定很好。政府有关部门更应当发挥“执政为民, 以人为本”的方针, 大力提倡和支持建设抗震建筑, 制定有关政策法规, 鼓励和资

助抗震产品的研究开发。相信通过这次大地震血的教训, 每个人都增强了抗震防灾的意识。通过国内外几次大地震考验的叠层橡胶支座的研究开发和生产使用步伐会大大加快。在建筑物和桥梁建设中大规模使用叠层橡胶支座的时代一定会很快到来。

参考文献: 略

韩泰公司在逆境中前进

韩泰轮胎公司削减了 2008 年 12 月轮胎产量, 并将其新建工厂项目的执行速度放缓。公司发言人说, 产量减小是因为多个市场的需求下降, 并且此次减产仅是对几个工厂的产量作小幅调整, 主要是通过调整运营时间进行减产, 不会对雇员产生任何影响。

韩泰公司称, 尽管公司 12 月份进行了减产, 但公司在 2008 年的全球产量仍然比 2007 年增长 10%, 2008 年前 3 个季度公司的销售量分别增长了 18.4%, 27.5% 和 24%。

在韩国的韩泰母公司曾计划建新工厂, 但由于原材料价格不稳定和整个市场需求萎靡, 该计划被暂停。

公司总裁兼首席执行官 Seung Hwa Suh 说, 目前公司作任何决定都非常谨慎, 正考虑在东南亚建一新厂, 但是到目前为止, 还没有作出最终决定。

韩泰公司现拥有 5 家工厂, 包括 2007 年在匈牙利投产的一家工厂。直到近期, 公司轮胎产量的增长速度才刚刚赶上整个行业的增长速度, 但却面临在短期内如何协调产能过剩和工厂长期发展的矛盾。Seung Hwa Suh 认为, 公司每年增长 300 万套轮胎产能才能满足全球需求增长的速度。

韩泰公司新建工厂的计划并没未真正搁置,

因为在目前的经济形势下, 建筑成本还是比较低的。公司希望在下一个经济周期来临之际, 公司已经做好准备。Seung Hwa Suh 认为, 如果把这次危机当作一个机遇, 现在的投资将会为未来两年内的经济复苏做好准备。最近, 韩泰轮胎在中国市场上成为奥迪 A6 的配套轮胎, 这为韩泰轮胎品牌加了分。韩泰公司正把轮胎送到欧洲进行检测, 希望在欧洲市场上也能成为奥迪 A6 和 A3 的配套轮胎。

陈维芳

REACH 预注册结束

据报道, 欧洲化学品管理署(ECHA)正在紧张地处理和核查预注册物质文件, 截止到 2008 年 12 月 1 日, 在为期 6 个月的预注册期间共收到欧盟境内 6.5 万多家企业的预注册文件 221 万多件, 其中德国、英国和法国居前三位, 涉及 15 万个物质。ECHA 于 2008 年 12 月 19 日在其网站(<http://apps.echa.europa.eu/preregistered/preregistered-sub.aspx>)上发布了预注册清单。由于预注册数量庞大, ECHA 在 2009 年年初将继续对信息进行核查, 早些时候将公布经过全面审查的清单。届时没有进行预注册的企业在提交完整的注册卷宗之前, 不得继续生产或进口其物质。

预注册之后, 对已完成预注册的企业, 将根据生产或进口物质的吨位享受注册缓冲期(2010 年、2013 年和 2018 年)。ECHA 在公布预注册物质清单后将启动物质信息交换论坛(SIEF)的数据共享。企业可以在他们认为最合适的时候组织其数据共享。

熊伟华