

NR 支承及其在建筑物抗震上的应用

卢 光

(华南热带农产品加工设计研究所, 广东湛江 524001)

摘要 阐述了 NR 支承系统的隔离原理, 介绍了 NR 支承的结构、设计参数、生产工艺、实际应用及研究和应用新进展。说明用 NR 支承隔离系统支承建筑物比加固建筑物本身能更好地保护建筑物构件及其内的人和物品。

关键词 NR 支承, 减震制品, 隔离系统, 建筑物

地震常常给人类带来巨大的灾难。传统的抗震方法是加固建筑物本身, 使其能经受地震引起的加速度和力。但这种方法不能很好地保护建筑物内的人和物品。NR 支承 (NR Bearing) 的出现为建筑物及其内的人和物品免受地震危害提供了一种新的方法。目前南斯拉夫、新西兰、法国、希腊、美国、日本、南非、中国、印度尼西亚和亚美尼亚等国已有很多幢建筑物 (其中包括核电站) 用 NR 支承作为地震保护设施^[1~4]。

1 NR 支承的隔离原理和优点

地震是地壳的振动, 其绝大多数破坏是由地壳的水平运动引起的。地壳的水平振动将横向力传递给建筑物, 而这些力往往是建筑物所能承受的 10 倍或更高。与水平振动相比, 垂直振动小得多, 而且建筑物在垂直方向本质上是牢固的, 因此垂直振动传递给建筑物的力一般不予考虑。

对大量的地震反应频率谱分析表明, 地震的频率范围一般为 $1.5 \sim 8.0 \text{ Hz}$ ^[3], 而很多中等高度的刚性建筑物的基础频率正在这一范围内, 因此这些建筑物会与地壳运动发生共振, 传递给建筑物的力被放大, 从而对建

筑物造成很大的破坏。

地震隔离是工程领域使用的振动隔离标准方法的一个合乎逻辑的扩展, 它即是将建筑物支持在柔性支承隔离系统上, 使建筑物在地震时能够在水平方向运动; 更重要的一点是使建筑物成为隔离系统, 避开干扰频率, 从扰动中解谐, 即把建筑物从地震中隔离出来, 消除了传统刚性基础建筑物 (尤其是在较高楼层) 振动的放大。通常频率解谐 (frequency mismatch) 系数为 3 较好, 它可使建筑物的自然频率为最低干扰频率的 $1/3$, 即为 $1.5 \text{ Hz}/3 = 0.5 \text{ Hz}$ 。图 1 为地震时 NR 支承对建筑物振动的影响^[6]。

与加固建筑物结构相比, NR 支承隔离方法的优点为:

- ①能更好地保护建筑物所有构件及其内的人和物品;
- ②设计方法和技术较为简单可行;
- ③降低了非结构元件失效的危险。

2 NR 支承的设计和制造

2.1 结构和性能要求

由于 NR 具有强度高、回弹性和低温性能好以及能吸收和隔离来自冲击或振动的能量等特点而成为橡胶支承的理想原材料。NR 支承由 NR 和加强材料 (一般为钢板) 迭层组成, 由 NR 和钢板迭层构成的支承也称 NR/钢迭层支承。NR 支承既可以设计成圆

作者简介 卢光, 男, 1964 年出生。工程师。1985 年华南热带作物学院热带作物产品加工系毕业。参加的农业部重点课题“商品硫化胶乳研制”获 1991 年农业部科技进步三等奖。已发表论文 5 篇。

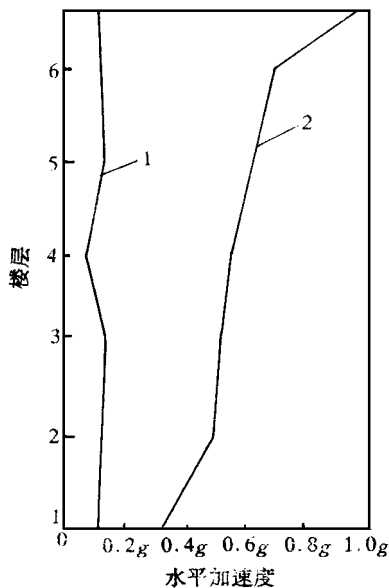


图 1 地震时 NR 支承对建筑物振动的影响
1—柔性支承隔离系统建筑物; 2—刚性基础建筑物
地面加速度峰值为 0.3g (g 为重力加速度)

柱体, 也可以设计成长方体和正方体。但由于地震引起的变形在各个水平方向是相同的, 因此圆柱体结构的支承更好。另外, 圆柱体支承模具的制造成本比方形支承模具低, 而且结构简单、硫化时装配方便。图 2 是典型的圆柱体支承及其模具横截面图(下面涉及的 NR 支承均为圆柱体)。

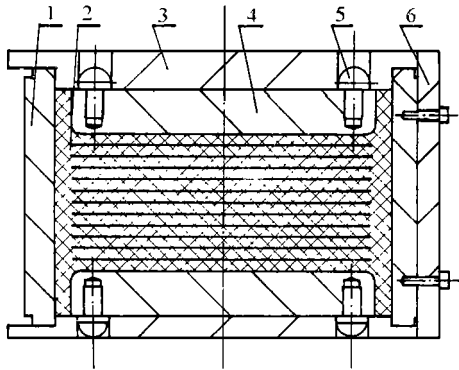


图 2 NR 支承及其模具横截面图
1—圆柱体模具壁; 2—NR 支承 3—模具顶部端盖;
4—顶和底盖定位杆; 5—支承端板定位螺栓;
6—支承端板

NR 支承的主要性能要求为:

- ①水平刚度低, 以达到隔离的目的;
- ②阻尼高, 以减小水平位移和加速度;
- ③水平变形能力大, 以避免地震时失效;
- ④在建筑物的使用寿命期间, 能安全地支承建筑物的静和动载荷;
- ⑤垂直刚度大, 以免建筑物摇摆或垂直共振。

2.2 设计参数

(1) 刚度

从保护建筑物的角度出发, 支承的振荡周期 T 必须在 2 s 以上。NR 支承的刚度用下式计算:

$$T = 2\pi \sqrt{\sum M / \sum K_s}$$

式中 $\sum K_s$ ——支承的水平刚度总和;
 $\sum M$ ——建筑物的总质量。

(2) 阻尼和剪切模量

最简单的弹性隔离系统不需要辅助(铅或辅助阻尼装置)阻尼, 其弹性体部分必须提供所需的阻尼。NR 支承的临界阻尼比率 ζ 与橡胶部分的损失角 δ 关系为:

$$\zeta = 0.5 \tan \delta$$

可以看出, 用较高阻尼的胶料, 会减小支承的最大变形, 从而降低建筑物的加速度峰值; 但随着阻尼的提高, 胶料的其它性能, 如强度、敏感性和蠕变性变差。因此一般而言, NR 支承理想的 ζ 值应在 0.3 ~ 0.5 的范围内。

影响支承性能的另一个重要因素是橡胶的剪切模量 G 。NR 支承的 G 值应在 0.5 ~ 1.2 MPa 之间, 而理想的 G 值应该较低^[7]。

(3) 平面尺寸

对于所设计的抗震程度, 支承所能承受的最大水平位移 D_T 能有效地决定支承的平面尺寸。已有研究结果表明^[8], 支承发生的水平变形在高达支承平面尺寸的 60% 时也是安全的。这样, 推荐支承的半径 a 用下式计算:

$$2a = \frac{D_T}{0.6}$$

地震隔离系统的最大变形取决于地震激发源、周期和隔离系统的阻尼,而不是取决于隔离结构的规模。

(4) 橡胶层高度

每个支承的橡胶层总高度 nh 可以从所要求的水平刚度 K_s 计算:

$$nh = \frac{\pi a^2 G}{K_s}$$

(5) 橡胶层层数

有报道表明^[8], 受压缩的支承变得不稳定(即水平刚度降至零)时, 其载荷 P_c 可以用下面公式计算:

$$\frac{P_c}{mg} = \frac{8\pi^4 mn}{\sqrt{2}GT^4g}$$

式中 m —— 支承所支持的质量。

$\frac{P_c}{mg}$ 比值可以作为安全性的一个保证值, 应大于 3。将公式重新组合, 计算达到要求的稳定性所需要的橡胶层层数 n :

$$n \geq 5.44 \times 10^{-3} \frac{GT^4g}{m}$$

通常认为, 在垂直载荷下, 每一橡胶层越薄, 支承越不可能失效(对一个稳定的平面尺寸而言)。

(6) 高度

Coveney^[7] 提出一计算加强钢板最小厚度 h_s 的公式:

$$h_s \geq \sigma_c h (3 + \nu) 2 \sigma_m$$

式中 σ_c —— 支承所受的压缩应力;

σ_m —— 支承安全工作的应力极限;

h —— 每一橡胶层厚度;

ν —— 钢板的泊松比。

端板除外的支承高度 H 为:

$$H = n(h + h_s) - h_s$$

(7) 压缩刚度

支承的压缩刚度 K_c 随加强钢板数的增大而提高:

$$K_c = \frac{3G\pi a^2(1+2S^2)}{nh}$$

$$S = \frac{a}{2h}$$

式中 S —— 形状系数。

要求 K_c 足够大, 以确保隔离结构的水平振动减到最小, 而且垂直振动不会被放大, 即建筑物的垂直自然频率高于大多数地震能量的频率范围。

2.3 生产工艺

NR 支承的制造工艺流程为:

圆形橡胶胶片] → 组装入模 → 模涂覆胶粘剂的钢板(干燥)

压(蒸汽)硫化 → 冷却 → 脱模 → 精修 → 测试 → 成品。工艺的主要要求为: 胶片厚度均匀一致, 装模的橡胶总量不能过多或过少, 以免填胶不足或溢胶, 造成加强钢板的移位或弯曲, 损害支承的性能; 硫化时控制好硫化压力, 采取分步升温、硫化较长时间的方法硫化(硫化温度为 $100 \sim 120^\circ\text{C}$), 以使支承各橡胶层的硫化程度基本一致。

2.4 使用寿命

支承的使用寿命是令人关注的重要问题。NR 支承由于外表面是较厚的橡胶层, 因此加强钢板和粘合层不受环境降解作用的影响, 其使用寿命长达 95 年以上。随着橡胶新型防老剂的不断出现, NR 支承的使用寿命还能进一步延长。

3 NR 支承的应用

1985 年建成的美国加利福尼亚州 San Bernardino 的 Foothills 社区法律和司法中心的地震隔离系统是马来西亚橡胶生产者研究协会(MRPRA)设计的, 由 98 个 $0.4\text{m} \times 0.75\text{m}$ 的 NR 支承组成, 设计的抗震程度为里氏 8.4 级地震。它已经历过里氏 4.5 和 5.5 级地震, 如预期的那样, 成功地降低了进入建筑物的力。

1994 年 1 月 17 日在美国加利福尼亚南部 Fernando 发生的地震中, 南加州大学教学

医院的 68 个铅-NR 支承(铅是辅助阻尼装置)和 81 个 NR 支承隔离系统表现出非常好的性能,在基础加速度峰值为 $0.37g$ 时,第 1 层和房顶的加速度分别为 $0.13g$ 和 $0.21g$,医院当时保持完整的功能且没有设备损坏,而附近一幢基础固定的医院受到的破坏损失达 3.5 亿美元。

1995 年年初,在日本神户发生的地震中,安装在西日本中心建筑物上的铅-NR 支承隔离系统表现良好的性能。在基础的地面加速度峰值为 $0.31g$ 时,第 1 和第 6 层地板的加速度分别为 $0.11g$ 和 $0.10g$,支承所受到的峰值变形为 10 cm 。使用高阻尼 NR 支承的 Matsumara-Gumi 实验室,在低于支承的地下南北方向经受 $0.28g$ 的加速度,第 1 层地板和房顶的相应加速度为 $0.15g$ 和 $0.20g$ 。而附近一幢基础固定的建筑物房顶的加速度高达 $0.99g$ 。

在地震期间所得的数据证实了用 NR 支承作基础隔离系统的效能良好。

4 NR 支承研究和应用的新进展

1991 年,在 MRPRA 属下的 Tun Abdul Razak 研究中心开展了一个由联合国工业发展组织(UNIDO)资助的“NR 支承用于小型建筑物的地震保护”项目,来自中国、印度尼西亚和印度等国际橡胶研究和发展委员会(IRRDB)成员国的研究人员也参加了该项目。这个为期 4 年的项目是通过在印度尼西亚建一座示范建筑,证明 NR 支承隔离的可行性和功效,促进 NR 支承在世界范围,特别是在发展中国家的应用。研究人员根据小型建筑物橡胶支承负载和载荷较轻的特点和地质情况,分析了地震隔离系统,进行了建筑物隔离系统和 NR 支承的设计,研究了 NR 支承新的制造技术,开发出高阻尼的橡胶,使 NR 支承不需要辅助来源的阻尼,并降低了

NR 支承所需的高度,使得支承更便宜、更轻和更稳定,满足了小型建筑物对支承的要求。另外,该项目也研究了用玻璃纤维或不锈钢网取代钢板作 NR 支承加强材料的可行性,在这方面也取得了令人满意的结果。1994 年该项目组在印度尼西亚的 Pasir Badak 用 NR 支承隔离系统建成了一座 4 层公寓楼。1994 年 10 月由 UNIDO 组织在印度尼西亚首都雅加达召开了一个关于“NR 支承用于小型建筑物的地震保护”的国际学术研讨会。

5 NR 支承在我国的应用展望

1994 年,我国利用 MRPRA 提供的 NR 支承在广东汕头市建成了一座 8 层公寓,这是我国第 1 幢使用 NR 支承的建筑物。笔者认为,要进一步促进 NR 支承在我国的应用,政府部门必须对这个问题给予重视,在这方面作出投入,更广泛地开展 NR 支承在建筑物地震保护方面的应用与研究,并将使用 NR 支承隔离系统作为抗震手段纳入建筑物地震保护法规。相信通过努力, NR 支承在我国将会有十分广阔的应用前景。

参考文献

- 1 Anon. Opportunities for NR isolators. Rubber Developments, 1995, 48(1/2): 14~16
- 2 Tyler R G. Natural rubber bearings for earthquake isolation of buildings in New Zealand. Rubber Developments, 1980, 33(2): 50
- 3 Delfosse G C. The GAPEC system; A new highly effective aseismic system. In: Proc. 6th World Conf. Earthquake Eng., New Delhi, 1977; 150
- 4 Ikononou A S. The earthquake guantling system. Technica Chronica, 1972, 41: 51
- 5 Bolton Seed H. Site dependent spectra for earthquake resistant design. Bull. Seismological Soc. of America, 1976, 66(1): 16
- 6 Derham C J. Natural rubber foundation bearings for earth-

- quake protection-experimental results. NR Technology, 1977, 8(3): 41
- 7 Coveney V A. Development of natural rubber bearing for the protection of low-cost building against earthquakes. In: Industrial composites based on natural rubber-proceedings of UNIDO-sponsored workshop. Jakarta: MRRDB, 1987, 79~82
- 8 Thomas A G. The design of laminated bearing. In: Industrial composites based on natural rubber-proceedings of UNIDO-sponsored workshop. Jakarta: MRRDB, 1987, 100~104
- 收稿日期 1997-06-05

NR Bearing and Its Application to Anti-earthquake of Buildings

Lu Guang

(South China Design and Research Institute of Tropical Agricultural Product Processing 524001)

Abstract The structure, design parameters, processing technology, new progress in application and research, anti-earthquake mechanism of NR bearing are introduced. It is proposed that the NR bearing is more effective than the strengthening element to protect the buildings and the persons in the buildings.

Keywords NR bearing, anti-earthquake product, building

超细活性碳酸钙产不足需

碳酸钙是一种重要的无机化工产品。碳酸钙粉体粒径分为5类, 粒径为0.02~0.1 μm 的为超细碳酸钙, 将它进行表面处理即为超细活性碳酸钙。超细活性碳酸钙为白色粉末, 具有无臭、无味、高透明度、良好的分散性和亲和性等特点, 在大气中稳定性好, 对NR和多种SR具有补强效果, 可部分替代半补强炭黑、白炭黑、立德粉, 用于胶管、胶带、轮胎油皮、内胎、胶鞋、电缆等橡胶制品的生产。还可用于塑料工业。

目前, 我国碳酸钙年产量为50万t。其中, 超细活性碳酸钙的产量很小, 远远不能满足市场需求, 每年需从日本、英国等国家进口十几万吨。我国现有中小型碳酸钙生产企业200余家, 但由于设备落后, 技术水平低, 产品品种单一, 经济效益差。如果有些企业对设备进行必要的技术改造, 可生产超细活性碳酸钙。另外, 采用氨碱法生产的纯碱厂, 也具有生产超细活性碳酸钙的原料优势。

(摘自《中国化工报》, 1997-08-28)

国内简讯 4 则

△由台湾合成橡胶股份有限公司和南通石化总公司、日本丸红株式会社合资兴建的南通申华化学工业有限公司年产10万t SBR工程于6月初举行了奠基典礼。该工程位于南通开发区石化工业区中部。

△广东茂名永业(集团)股份有限公司年产3万t新工艺炭黑技改工程首期工程年产1.5万t硬质新工艺炭黑生产线建成投产。

(以上为本刊讯)

△在国家合成橡胶质量监督检验中心对全国BR生产企业进行的统检中, 新疆独山子石化总厂乙烯厂生产的BR被鉴定为优等产品。

△8月28日, 上海橡胶制品有限公司与焦作市化工局正式签约, 以有偿兼并方式, 获得焦作橡胶二厂的全部产权。双方认为, 这种合作将加强沿海地区与中西部地区的横向经济联合, 为焦作市工业企业发展提供了成功经验。

(以上摘自《中国化工报》)