

结构隔震的研究与应用综述

吴章珠

(广东省地震局) TU352.12

摘要 结构基底隔震是房屋免震的新方法,在国外,这种方法已应用于土建工程。本文介绍基底隔震研究的进展和应用情况。

关键词 结构物 隔震 隔震支座 土建工程,隔震装置,

一、前言 地震灾害

工程抗震的目的是减小地震对工程结构所造成的破坏。传统的抗震设计包括:建筑场地烈度评定、地震荷载计算(静力法、反应谱理论等),结构抗震强度验算和采取抗震构造措施等诸方面。这种以强度为主的设计方法不仅增加基建投资,对高烈度区,往往难以满足抗震要求。为此,世界各国的一些学者和工程师探索了另一条道路—隔震和减震,使工程结构在地震时只承受很小一部分的振动,大部分的振动能量被耗散或由吸能器吸收。在隔震研究与应用方面,我国、新西兰、美国等均取得一定的进展,新西兰物理和工程实验室研制了多种形式的隔震装置,并将此研究结果运用于高层建筑和桥梁等工程。

我国是一个多地震的国家,历史上发生的大地震,造成了人民生命财产的巨大损失。开展结构的隔震与减震的研究与应用,是减轻地震灾害的有效途径。

二、隔震和减震的依据

地震时,地面发生运动,房屋结构也随着地面而运动。结构在惯性力(即地震荷载)的作用下,产生内力与变形,随着地面运动的加剧,结构受到的地震力也越大。当地震荷载达到一定数值,使结构所受的应力超过极限应力时,则结构出现破坏,更严重时发生倒塌,现行的抗震方法是加强结构抗震能力,控制由于地震力而产生结构的应力和变形在允许范围内。这种抗震方法不仅增加造价、在高烈度区往往难以实现。

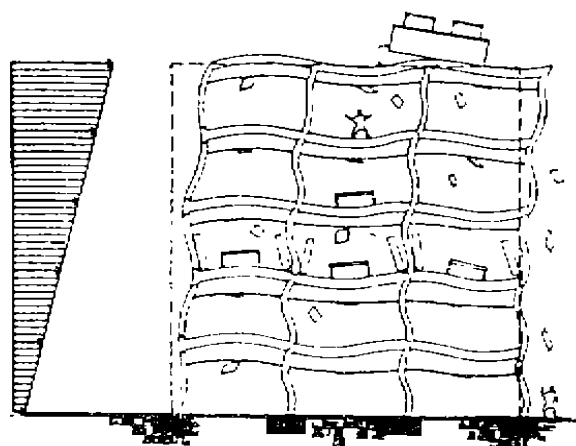
近年来特别是核电站、高层建筑、大型桥梁等现代建筑结构与大型工业设备不断增多。对抗震性能的要求越来越高,仅从强度设计方面想办法,已难于抗御强烈地震的破坏,迫切需要行之有效、简单方便、经济实用的隔震措施,来弥补这些结构物抗震能力的不足。为此,各地震多发国家的学者在结构物隔震、减震研究方面做了种种尝试,取得了可喜的成果,从理论、试验及地震现场考察的结果都表明,对一些重要的结构、仅需花很少的代价,采用一些隔震措施,就可以大幅度地减少结构的地震反应。

众所周知,在地震时,使结构或设备损坏的重要原因是其对于地面的相对位移,而结构或设备的破坏严重程度主要依赖于其自身的动力特性、地面运动的频谱及持续时间。大多数大型结构系统的自振周期几乎都在地震卓越周期所在的范围之内,为抗震设计解决这一难

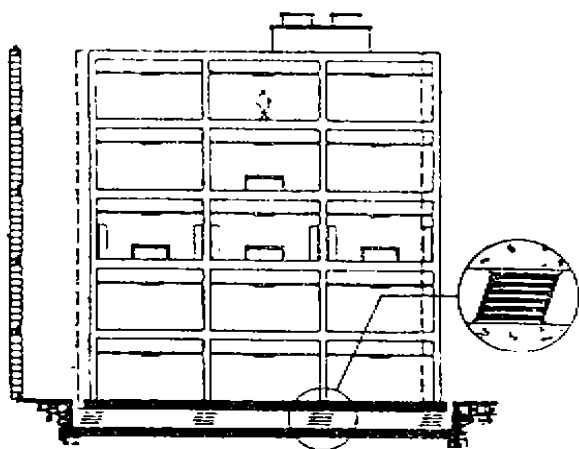
题的有效途径——只有通过施加隔震装置来吸收、耗散地震动引起的结构和某些设备的动能，增大结构物的延性，加长结构或设备隔震系统的自振周期，使之超出地震动的卓越周期

以外。通过隔震装置，可隔离地面运动中的具有破坏性的水平分量，使其不致于直接传递到结构或设备上去，减轻以至防止结构或设备的震害。

使用隔震支座房屋的减震作用可从图 1 清楚看出，图 1 (a) 为非隔震房屋，结构承受的地震侧力很大。在地震侧力作用下，房屋结构产生较大的侧移和破坏。图 1 (b) 为支承在橡胶支座上的房屋。由于橡胶支座的隔震作用，房屋结构受到的地震荷载很小，因而结构的层间位移小，遭受较强烈地震时，房屋仍能安然无恙。



(a) 无隔震房屋



(b) 隔震房屋

图 1 无隔震和隔震房屋的变形

Fig. 1 Deformation of building with and without isolators

由于我们所提的隔震设计是用于地震工程中的，所以其允许震动量估计值可与工程地震中的烈度概念联系起来，即给出所判定的结构或设备能抗住烈度为几度的破坏，在烈度为多大时将遭到严重破坏。当然，众所周知，工程地震中的烈度仅与地面运动的加速度峰值相对应，而地面运动对结构物的破坏，现在一般公认的因素除了加速度峰值外，还有地面运动的频谱特性及持续时间。这里，为了有一参照的指标，可暂先将结构与设备抗震能力与加速度峰值联系起来。有了这样的资料后，可以很方便进行隔震设计。最后，进行两者的比较，若输入运动在结构或设备抗震能力容许的范围内，则无需隔震，反之，或是加固结构或设备，

三、隔震装置设计的基本步骤

首先要对需进行隔震设计的结构或设备所处的场地条件或支承底板的运动进行必要的研究、预测与选择隔震体系的输入运动量。这是最关键的一环，是隔震体系成败与否的前提之一。

描述输入运动量最常用的两种方法是底板谱法和时间历程法。底板设计谱法可以解决一类结构或设备的问题，而时间历程法必须对每个结构或设备系统逐一进行分析。

其次与前者相平行的工作是要对结构与设备的抗震能力给予明确的鉴定即给出被隔震结构与设备的容许震动量，这是隔震设计的又一个重要依据。

或是采取隔震措施，对于需要进行隔震设计的结构或设备，下一步是初选合适的隔震装置，确定其动力参数。

在特定的地震荷载作用下，结构能做到不垮，设备不损坏，主要靠其自身的必要的强度、整体变形能力和较大的阻尼这三种特性的组合作用来实现的。增加整体的变形能力和增大阻尼两者统称为增加结构或设备的延性，这在常规的抗震结构设计中往往不易被人们重视，但这两个特性的增强可大大增加结构相对于地面运动的整体变形能力，并可以耗散一部分地震能量，从而增加了结构或设备的抗震能力。隔震装置正是从增强了结构或设备的延性这一点出发，来达到提高抗震能力的目的。但往往一个好的隔震装置的设计过程，总要进行反复选择、比较，才能最后确定下来。

四、基础隔震工程的发展和应用

将近于一个世纪前，开始有了基础隔震的设想，但基础隔震工程的广泛研究与实施，则仅是近十多年的事，目前人们对这方面研究的兴趣越来越浓。据不完全统计，全世界已经开展隔震研究及试点的国家有25个。我国也是开展此项研究工作较早的国家之一。

基于可动概念的基础隔震，大致可以分滚动滑动式隔震、摆动倾动式隔震、悬吊式隔震及弹性支承式隔震几大类，其中以弹性支承式隔震应用最多：

橡胶垫块和钢弹簧作为结构基础隔震支承，世界各国开始于六十年代，到七十年代以后，橡胶垫隔震的作法已逐渐得到推广。目前，瑞士一家公司的三层楼房下采用了54个这种垫块，使地震力减少80%以上。弗兰英托米核工程公司按0.2g地震设计的一套标准设计图纸，配合以橡胶垫加滑板的隔震体系，在任何强震区均可通用。南非柯贝尔格核电站正是采用该标准设计图建造。另外，在法国、伊朗还有3座核电站采用这种隔震措施。

新西兰所采用的橡胶垫，其中心加了铅塞，以增加其阻尼，已有27座桥梁支座采用了这种隔震垫。惠灵顿一座长90m，宽40m的四层混凝土框架结构办公楼，也用了80个这种铅芯橡胶垫作隔震支承。在意大利这种铅芯橡胶垫作隔震器，已建成31座桥梁和两处引水栈桥。

美国加州圣伯纳丁诺司法事务中心大楼，为采用橡胶隔震的最大工程项目，建筑面积为2.5km²，该建筑物邻近三条活动断层交汇处，距著名的圣安德列斯大断层仅20km。预计今后30年内发生大地震的概率超过60%，要求设防地震强度为里氏8.3级，结构承受的地震反应加速度峰值超过1.0g，按传统方法设计，不但耗资巨大，而且技术上也几乎不可能，因此采用了橡胶支承的隔震作法。整个楼房安装在98个直径为76cm、高40—45cm的钢板加筋天然橡胶垫块上。表1中列出了该工程设计时两种方案的比较。

表1 圣伯纳丁诺司法事务中心方案比较
Tab. 1 Analytical comparision between the Foothill communities
Law and Justice Center

基础型式	周期(秒)	位移(m)	基底剪力(g)	顶部加速度(g)
刚性基础	1.1	30.48	0.80	1.60
橡胶隔震基础	2.0	38.10	0.35	0.40

由表1可以清楚看出。设置橡胶隔震支座可以使顶部加速度缩小至刚性基础的25%，而基底剪力也只有刚性基础的43.7%。

1985年10月在这座房屋附近发生了一次4.9级地震，设在该房屋上的强震仪取得了记录，记录表明隔震效果良好，进一步证实了隔震支座的减震作用。

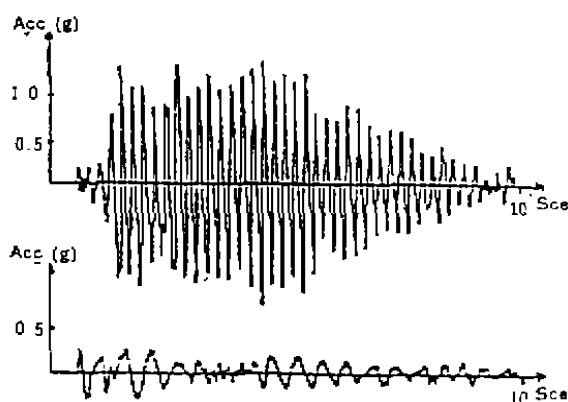


图2 无隔震和隔震模型顶部的加速度反应
Fig. 2 Acceleration responses at the scale-model structure with and without isolators

美国斯坦福大学地震工程中心常作了一个四层隔震模型试验。试验表明，隔震支座的减震效果十分显著。图2为振动试验测得的无隔震支座和有隔震支座模型顶部加速反应。后者加速度值仅为前者的18.5%，后者基底剪力为前者22.2%，后者基底弯矩为前者21.7%。隔震装置可以大量减少结构动力反应，改善结构受力状态，是减少地震灾害的有效措施。

根据A. G. Tarics统计^[8]，建造隔震支座房屋，用于基础隔震装置的附加费用约占总建筑投资2—5%。由于采用了隔震措施，结构承受的地震荷载大为减少。上部结构的建筑费用也相应减少。上部结构减少的费用与隔震装置附加费用大致相当。由此可见，采用隔震支座不仅减

少了地震对结构的冲击作用，改善了结构受力状态，而且在经济上也无需额外增加投资。

我国在一些设备隔震中也有采用橡胶垫支承的例子，例如北京平谷公路桥、广深公路万江桥、柳州市柳江大桥等。

钢弹簧作隔震支承的例子，如西德、台湾、新西兰、墨西哥都有类似弹簧隔震工程的设计。

五、结 语

基础隔震，对某些类型的结构，它具有明显的优点。提供了一种代替传统抗震设计的方法。解决了某些高烈度区按传统抗震设计技术上几乎不可能的难题，因而可以大大地节省耗资。

采用橡胶隔震支座，减少地震对结构的冲击，是一种极为有效的防震措施，应进一步研究这种方法在实际工程应用中的问题，以便逐步试点，推广应用。

目前隔震技术在世界各地已迅速发展，并已进入实用阶段，我国在这方面的研究和应用较先进国家尚有不小差距，需要迎头赶上。

参 考 文 献

- [1] R. I. Skinner "Base Isolated structures in New Zealand" Proceedings of Eighth world Conference on Earthquake Engineering, 1984.
- [2] M. J. Huang, A. F. Shakal and J. T. Ragsdale Recorded Motion of a Base-Isolated

Building During the 1985 Redlands Earthquake" proceedings of a Seminar and Workshop on Base Isolation and passive Energy Dissipation, 1986.

- 〔3〕赵振东, 结构与设备隔震的几个问题, 世界地震工程, 1987, 4。
- 〔4〕傅育安, 基础隔震工程的回顾与展望, 工程地震, 1987, 3。
- 〔5〕S. S. Zezcan等, 用隔震器减小结构的地震反应, 国外地震工程, 1982, 3。
- 〔6〕A. G. Tarics, Earthquake: Are we Ready? The Military Engineer, September-October, 1987。
- 〔7〕A. G. Tarics, Douglas way, J. M. Kelly, The Implementation of Base Isolation for the Foothill Communities Law and Justice Center 1984。
- 〔8〕廖顺康、吴在辉、金吉寅, 桥梁橡胶支座, 人民交通出版社, 1988。

SUMMARIZATION OF THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF BASE ISOLATION

Wu Zhangzhu

(Seismological Bureau of Guangdong Province)

{Abstract} Base isolation is a new method for earthquake protection in buildings. At abroad, this method are applied in civil engineering. In this paper, the development and application of the seismic isolation is presented.

{Key words} Structure; Isolation; Seismic isolation bearing
