

普通民用建筑基础隔震技术研究

赵蕴林

(四川理工学院建筑工程学院,四川 自贡 643000)

摘要:文章主要介绍了隔震设计与传统抗震设计的不同原理和减震效果,隔震基础的设计原则,特别是叠层橡胶支座的设计方案;最后以某建筑的具体设计和施工为实例对采用叠层橡胶支座的基础隔震设计进行相关总结,为基础隔震技术的普及和应用提供工程借鉴和参考的依据。

关键词:日本;基础隔震;叠层橡胶支座;隔震建筑;隔震设计;民用建筑

中图分类号:TU451.3

文献标识码:A

引言

由于地球进入第四个地震活跃期,从2008年的中国汶川地震到2011年刚发生的日本9级地震,如此大规模、高震级的地震在极短的时间内密集而快速的发生,使我们必须思考一种更有效的防震设计,将其应用在大量的普通民用建筑上,从抗震思路转变为隔震,以最大限度减轻地震造成的破坏。

传统抗震结构主要利用主体结构构件屈服后的塑性变形能和滞回耗能来耗散地震能量,这使得这些区域的耗能性能变得特别重要,而一旦由于某些因素导致这些区域产生问题,将严重影响到结构的抗震性能,产生严重破坏,由于破坏部位位于主要结构构件,其修复是很难进行的。而合理有效的抗震途径则是从根本上即从基础上采取措施隔断地震波传播的路径,减少地震波对上部结构的影响,即现代基础隔震措施,这是积极主动的抗震对策,这是抗震对策的重大突破和发展^[1]。

实际上隔震是通过某种装置将地震与结构隔开,其作用是减弱和改变地震动时结构作用的强度和方式,以此达到减少结构震动的目的。隔震方法主要有基底隔震和悬挂隔震两种^[2]。本文讨论的是基底隔震形式。隔震体系具有的明显优点:(1)明显有效地减轻结构的地震反应。从振动台地震模拟试验结果及美国、日本建造的隔震结构在地震中的强震记录得知,隔震体系的结构加速度反应只相当于传统结构(基础固定)加速度反

应的1/3—1/10。这种减震效果是一般传统抗震结构所望尘莫及的。从而能非常有效地保护结构物或内部设备在强地震冲击下免遭任何毁坏^[3];(2)确保安全。在地面剧烈震动时,上部结构仍能处于正常的弹性工作状态。这既适用于一般民用建筑结构,确保居民在强地震中的绝对安全,也适用于某些重要结构物和重要设备;(3)隔震措施简单明了。隔震涉及的对象从考虑整个结构物的复杂的不明确的抗震措施转变为只考虑隔震装置,简单明了。结构物本身与一般非地震区的做法无异,设计施工大大简化;(4)震后修复方便:地震后,只对隔震装置进行必要的检查更换。而无需考虑建筑结构物本身的修复,地震后可很快恢复正常生活或生产,这带来极明显的社会效益和经济效益。

基于上述优势,隔震技术必将得到更大的发展,在其今后的应用研究中,以提高隔震效果、降低造价为目标,为人类的防震减灾事业作出巨大的贡献,让更多的普通建筑拥有基础隔震技术的保护,得以抵御自然灾害的侵袭,保护人民生命财产的安全。

1 隔震基础的设计原则

在隔震基础的设计中,应通过对上部结构的整体特性、结构布置和结构刚度的分布等合理设置,控制结构在地震发生时的反应性能,达到减小地震反应的目的,一般需要遵循以下原则^[3]:

(1) 严格按照要求设计,合理设计的隔震建筑一般均

收稿日期:2011-03-31

作者简介:赵蕴林(1975-),女,四川富顺人,副教授,硕士,主要从事岩土和结构工程方面的研究。

可达到“小震不坏,中震可修,大震不倒”的设防目标^[4]。

(2)控制隔震支座的布置及结构的刚度,使其分布均匀。尽量使结构的刚度中心与上部结构质量中心的偏移小一些,以保证结构不致因太大的扭转作用而发生意外破坏。

(3)隔震建筑的房屋高度和层数应符合有关设计技术规范中的相应规定。

(4)建造隔震建筑一般更适用于I、II、III类建筑场地,并且在结构设计中选用刚性较好的基础类型,以保证隔震层的稳定性和在地震中运动的一致性。合理设置隔震结构的基本周期,避开场地周期和上部结构的周期,有效发挥隔震技术的效用。

(5)隔震层一般应设置在结构一层以下的部位,隔震层在罕遇地震下应保持稳定,且不出现不可恢复的变形。控制隔震结构的节点构造,保证隔震层在地震时有效发挥作用。隔震建筑的上部结构的首层楼面宜采用现浇或装配整体式钢盘筋的混凝土楼面,且架空于隔震层上。

2 叠层橡胶垫隔震基础体系设计

常见的基底隔震技术包括:叠层橡胶垫隔震装置、铅芯橡胶支座、滚珠(或滚轴)隔震等几种类型,本文主要研究叠层橡胶垫隔震装置的设计技术问题,其基础构造如图1所示。建筑隔震橡胶支座还应采取相应的防火及避雷措施。

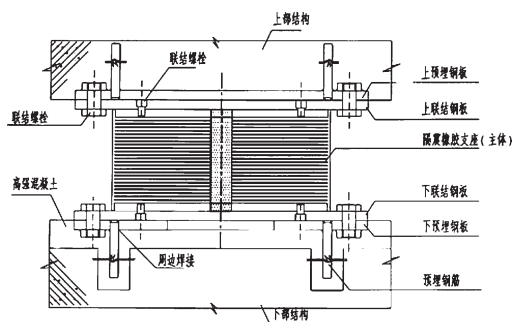


图1 叠层橡胶垫隔震基础构造

2.1 隔震原理

地震对建筑物地震反应有重要影响的主要因素有两个:一个是结构的周期,一个是阻尼比。普通非隔震中低层建筑物的刚度大、周期短,其基本周期正好在地震输入能量最大的频段上,因此相应的加速度反应比地面运动放大得多,而位移反应却较小。如果延长建筑物的周期,而保持阻尼不变,则加速度反应被大大降低,但位移反应却有所增加。如果继续加大结构的阻尼,加速度反应则继续减弱,且位移反应也得到明显降低。这就

是说,通过延长结构的周期并给予较大的阻尼,就可使结构上的加速度反应大大降低。同时,对结构产生的较大位移可由上部结构底部和基础顶部之间设置的隔震层来提供,而不由上部结构自身的相对位移来承担。这样,上部结构在地震过程中就会发生接近平移的运动,大大提高了上部结构的安全度。

叠层橡胶垫基础隔震体系的隔震层是由若干个隔震器所组成。隔震器包括叠层橡胶垫和阻尼器,分普通叠层橡胶垫、铅芯橡胶垫和高阻尼橡胶垫。这种隔震体系的周期长、阻尼比大,隔震效果明显。尤其采用后两种隔震器,不需再另外附加阻尼器,便于施工。

2.2 橡胶支座隔震技术优势及改进

橡胶支座隔震技术的优势是通过把隔震消能装置(橡胶隔震支座)安放在结构物底部和基础(或底部柱顶)之间;把上部结构和基础“隔开”,这样,改变了结构的动力特性和动力作用。明显地减轻结构物的地震反应;达到“以柔克刚”的效果。当地面发生剧烈地震震动时,上部结构仍处于正常的弹性工作状态。橡胶支座隔震体系除了比传统抗震体系具有明显降低地震反应、确保安全的特点外,还可降低房屋造价。同时,它的抗震措施(橡胶隔震支座)简单明了,震后修复方便,且可使上部结构设计自由灵活。

建筑隔震橡胶支座由多层橡胶和多层钢板或其它材料交替叠置组合而成。对应不同建筑、桥梁的要求隔震橡胶支座可以有不同的叠层结构、制造工艺和配方设计,以满足所需要的垂直刚度、侧向变形、阻尼和耐久性性能要求,并保证具有不少于60年的使用寿命。同时,应用于工程的建筑隔震橡胶支座的结构设计应满足国家和行业相关规范、规程和标准的要求。这种隔震体系竖向承载力和竖向刚度大,水平刚度低且变形能力强,阻尼大且可根据隔震要求调整,耐疲劳性能好,使用寿命超过60年,构造简单、连接方便、易于安装与使用。

建筑隔震橡胶支座是世界上应用最广泛,技术最成熟的隔震装置。它通过在建筑物的基底或某个位置放置隔震装置,形成隔震层,把上部结构与下部基础脱离,以此来隔离或耗散地震能量,避免或减少地震能量向上部结构传输,有效地保障上部结构及其内部人员、设备的安全,甚至不影响室内设备的正常运转。

3 工程实例分析

3.1 工程概况

福建省防震减灾指挥中心位于福州市区,抗震设防烈度为7度。根据福建省地震局的要求。该大楼采用隔震技术。这个工程也是建设部科技示范工程。

3.2 采用基础隔震技术的可行性分析

福建省防震减灾指挥中心属于地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的建筑(乙类建筑)。建筑设计方案为矩形规则体系长、宽、高分别为 38.0 m、20.0 m、38.0 m,建筑面积(包括地下室)近 100 000 m²,按《抗震规范》要求布置框架及抗震墙后,采用 SATWE 软件计算第一周期为 0.99 S。风荷载设计值约 200 0 KN 占结构总重力(约 200000 KN)1%。该工程建设场地类别为 III 类,持力层距地表约 20 余米,为卵石层,采用冲钻孔灌注桩。以上信点均满足了规范 12.1.3 条^[5]。因此,该工程采用隔震技术是可行的。

3.3 采用的隔震技术分析

该工程设有一层地下室,上部结构为较大开间的框架(抗震墙结构)。经比较分析,将隔震层设置于一层结构架板下,隔震层采用目前最为成熟的橡胶和薄钢板相间层叠组成的橡胶隔震支座,根据非隔震结构设计所得墙底力。结合规范对支座间距的要求配置 GZY600V4J 型支座 31 个,GZP800V4A 型支座 21 个。平面布置详见图 2。隔震层总水平刚度为 $K_1 = 704.2 \text{ KN/mm}$, $K_2 = 430.3 \text{ KN/mm}$ 。

按规范 12.2.2 条规定。采用弹塑性时程分析法对隔震前后结构的地震反应进行对比分析,地震动输入选用了 AL CENTYO 波的 NS 分量、天津宁河坡的南北分量、北京饭店记录的东西分量和 Pasadna 记录的 NS 分量等四条适合于 III 类场地使用的强震力速记录,四条记录输入得到的结构最大反应的平均值为:多遇地震下 X 向层剪力比最大为 27.59%,Y 向层剪力比最大为 33.53%,罕遇地震下 X 向层剪力比最大为 19.11%,Y 向层剪力比最大为 22.28%,最大层间剪力比 $33.53\% < 35\%$ 。按规范 12.2.5 条规定隔震层以上结构的地震作用计算可取水平向减震系数 ≤ 0.5 。福州地区水平地震影响系数最大值为 0.08,乘以地震力调震系数后,上部结构地震作用完全满足了规范关于最小地震力的要求。按规范对隔震结构构造措施的要求,丙类建筑在一定条件下可适当降低其构造措施,乙类则不明确,参照国外的一般做法,该工程隔震层以上结构仍按动共建筑提高一度设防要求确定各自的抗震等级,即框架为二级,剪力墙为一级,具体轴压比构造做法均按新规范要求控制。

3.4 隔震层设计

隔震层设计是一个反复选型、计算和优化的过程,理想的结果应该是在满足竖向承载力的前提下,尽可能地降低隔震层的水平刚度,以便建筑物的自振周期增大,提高隔震效果。但隔震层水平刚度的降低必然使隔

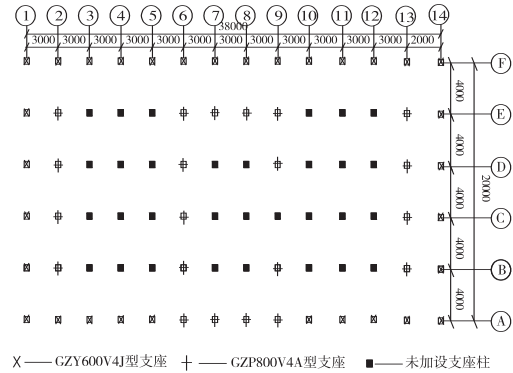


图 2 建筑结构平面及隔震支座布置图

震层在水平地震作用下位移增大,一定程度以后就会导致隔震层破坏。所以,隔震支座的选型是房屋隔震设计的关键。该工程因较大的高度及跨度,柱底力中较大的约 100 000 KN、边柱约 750 0 KN。经反复比较国内多种型号,选择 800V4A、600V4J 两种型号。此两种支座除提供充分大的竖向承载力外其水平刚度仅相当于 $\Phi 400$ 隔震支座,因此隔震层总水平刚度较低。减震作用时总水平位移量较大。普遍地震时水平位移约 100 mm。减震效果明显,水平向减震系数 0.5。

3.5 经济性分析

隔震建筑在振动性能和抗震安全性方面提高了建筑结构的附加价值。因此,与以往建筑比较时,应考虑附加价值进行综合评价。在考虑隔震建筑的造价时,不仅要考虑其初始造价,还要考虑其使用阶段期间遭受地震损坏的维修、重建、内部物品的损坏和经济损失,在此意义上,隔震建筑具有很好的经济性。

该工程采用隔震设计、隔震层以上结构地震力大为减小,在保证上部结构构造措施等同于不隔震时所要求的构造措施的情况下(安全度再度提高),上部结构造价略有降低,隔震设计比非隔震设计多出一隔震层,该部分造价约 90 万元,占土建总投资的 4.5%。考虑到该工程属地震时使用功能不能中断的乙类建筑,其社会意义更显重要。

3.6 施工要求

在施工过程中,应确保建筑隔震橡胶支座的安装精度,施工单位应严格按照要求预先确定合理的方案(图 3)确保施工质量,在安装过程中应注意:(1)隔震支座应水平安装在设计位置;(2)同一支座上的隔震器安装面的高差不宜大于 5 mm^[6];(3)安装面标高与设计标高的误差宜大于 5 mm;(4)如利用构件钢筋作为避雷线时,应使用柔性导线连接通过隔震层^[7];(5)施工时隔震支座外表面应有覆盖保护,完工后拆除;(6)隔震支座连接板和安装螺栓应采取防锈保护措施;(7)安装前应对

隔震支座安装面的水平度进行测量并记录;(8)施工过程中,应定期对隔震支座的竖向变形进行观测并记录;(9)完工后必须绘制隔震层竣工图,作为存档资料。



图3 叠层橡胶支座现场安装

4 结束语

应用橡胶隔震技术比传统的抗震技术更加安全、可靠和经济。传统的抗震技术主要特点是“抗”,建筑的基础和地基牢固地联结在一起,由于地震引起上部结构运动,当超过材料的承载力时就会使建筑物的装修、内部设备受到很大破坏;隔震技术通过隔震层发挥“隔”的作用,使上部结构与下部基础脱离,隔震层刚度小,可有效减少地震反应 70% - 90%,相当于降低地震烈度 1 - 2 度,并且节省工程造价 5% - 20%,被广泛应用于生命线工程、重点建设项目和普通房屋建筑,除新建工程外,还广泛应用于旧建筑物的改良加固。被认为是抗震技术的一次重大飞跃。目前,世界上有 20 多个国家已开始建筑物中使用橡胶支座隔震技术,日本、新西兰、美国、意大利和中国等应用实例较多。我国已有 300 多栋建筑物采用橡胶支座隔震。该技术优势有:

(1) 由于叠层橡胶垫隔震体系具有竖向承载力大、弹性复位功能强、隔震效果明显等性能优势,因此在设计中,对传统楼房的高度限值和安全距离等限制条件均

可适当放宽。

(2) 研究表明,叠层橡胶垫基础隔震体系上部结构的设防烈度可降低 1 - 2 度,且仍有较大的安全储量。

(3) 对整个隔震建筑的工程造价来讲,虽然隔震体系要增加一层隔震层,但和同类非隔震建筑相比,基本持平或略有降低。如果把地震时建筑结构的破坏、内部财产的损失、人员伤亡以及建筑物损坏造成的停工停产所带来的损失加起来,该基础隔震体系的经济效益和社会效益十分巨大,是一种极具推广和应用的高新技术。

(4) 在隔震结构中,为了真正实现上部结构与地面的“隔离”,还需注意一些关键部位的构造处理。如底层楼梯与主体结构的隔离处理,上下水、煤气、供暖及配管道穿越隔震层时的柔性化问题等,有一方面疏忽都会在地震中带来巨大的灾难。

(5) 除此之外,叠层橡胶垫基础隔震体系的隔震层对施工的要求是比较严格的。隔震层的位移不能受任何原因的干扰和约束,施工时不能损伤隔震器及其附件,并要求隔震器安置有较高的水平度,以确保地震时隔震层能发生水平位移并瞬时复位。

参考文献:

- [1] 周福霖. 高层建筑结构减震控制优化设计新体系[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 2006.
- [2] 唐稼祥. 建筑结构基础隔震[M]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [3] 周锡元. 建筑结构的隔震、减振和振动控制[J]. 建筑结构学报, 2002(4): 112-113.
- [4] 张哲. 校舍抗震加固设计思路探讨[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2010, 23(3): 254-255.
- [5] GB50011-2010, 建筑抗震设计规范[S].
- [6] JG118-2000, 建筑隔震橡胶支座[S].
- [7] CECS 126:2001, 叠层橡胶支座隔震技术规程[S].

Primary Research of Base-isolation Technology of Ordinary Civilian Buildings

ZHAO Yun-lin

(School of Architecture Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: This article introduces the different theorems of isolation design and traditional anti-earthquake design, design principle about base-isolation, specially the design scheme of laminated rubber bearing. At last, it draws a conclusion about base-isolation design of laminated rubber bearing with a project's concrete design and construction, which can afford a basis for references of practical engineering.

Key words: base-isolation; laminated rubber bearing; isolation buildings; isolation design; civilian buildings