

建筑结构抗震性能优化设计

马凯彬

华电重工股份有限公司 北京 100160

摘要: 从建筑结构抗震性能优化理论研究与实践案例分析两方面说明优化设计对于改善建筑结构抗震性能、减少地震灾害风险具有重要意义, 确保人们生命财产安全的重要性与有效性。通过优化结构布局, 延性设计, 材料选择, 智能化监测与维修等抗震设计措施, 并提出了基于性能的抗震设计, 减震隔震等技术、本文对结构优化设计这一高级抗震设计方法进行了论述, 目的在于促进抗震设计科学有效地进行, 使建筑业得到可持续发展。

关键词: 建筑结构; 抗震性能; 优化设计; 减震隔震; 智能化监测; 结构优化; 地震灾害风险

引言

地震属于自然灾害, 地震的不确定性与破坏性使地震成为困扰人类社会的主要问题之一。而建筑结构是人类赖以生存与发展的主要基础设施, 建筑结构抗震性能好坏直接影响着人民群众生命财产安全与社会稳定。所以对于建筑结构抗震性能进行优化设计具有重要意义。地震是不可预知的自然灾害之一, 它在发生过程中通常会伴随有剧烈的地震波以及地壳剧烈的运动, 给建筑物, 道路, 桥梁以及其他基础设施带来了严重破坏与毁坏。据统计资料表明, 在世界各国, 地震都是导致人员伤亡与财产损失的重要因素之一, 特别对我国部分地区以及日本, 印度等地震多发区, 震害更甚。建筑结构作为人们居住, 工作和学习的主要场所, 是社会经济发展中重要的基础设施。建筑结构一旦被损坏, 不但影响到人们生活与工作的秩序, 甚至还可能带来一系列社会问题。所以提高建筑结构抗震性能既能降低地震灾害带来的危害, 又能保证人民生命财产安全和社会稳定。

1 建筑结构抗震性能的基本原理

1.1 地震对建筑结构的影响

认识地震作用下建筑结构抗震性能是改善建筑结构抗震性能和开展抗震设计工作的重要基础。地震对建筑结构的影响主要表现在四个方面。首先, 结构的位移与变形。建筑结构在地震波作用下会产生不同的位移与变形, 特别是对一些高层建筑以及大型公共建筑来说, 受地震影响较大, 因为这些建筑结构具有高度大、重量大等特点。二是结构破坏。地震中的振动可以使建筑结构各部位产生不同的损伤, 如梁体, 板体, 柱体的折断与破坏以及墙体开裂与倒塌。三是建筑物倾倒破坏。强烈地震会使建筑物失衡倾倒或因地基失效造成破坏。四是震害传播与蔓延: 地震波在传播时可能引发火灾, 水灾, 人员伤亡等系列次生灾害^[1]。

所以, 要想提高建筑结构抗震性能就必须深刻认识到地震对于建筑结构所产生的作用, 并且针对这种作用采取适当的抗震设计。抗震设计时, 应重点关注结构安全性与稳定性, 还需考虑地震时结构动态响应与能量耗散能力。具体到实践层面上, 可通过运用先进抗震设计理论与方法, 例如以性能为基础的抗震设计, 减震技术以及隔震技术等来改善建筑结构抗震性能。同时还可采用优化设计等手段提高其经济性与实用性。

1.2 建筑结构抗震设计的原则

建筑结构抗震设计对于提高其抗震性能具有重要意义, 其抗震设计原则有很多, 主要有以防为主, 施工简便, 安全可靠, 设计性能化及多道防线。我们有必要结合实际情况, 采取相关抗震设计措施来提升建筑结构抗震性能与安全性。与此同时, 我们还需加强对于地震灾害的了解与研究, 并采取适当的抗震措施与防护措施来降低地震灾害所带来的危害。设计原则主要包括以下四个方面。

一是以防为主与防震减灾结合。抗震设计应以防为主, 并采取适当抗震措施改善建筑结构抗震性能和降低地震灾害损失。还要加强地震监测与预警系统建设以增强减灾能力。

二是尽量保持结构的简洁和安全。进行抗震设计时, 要注意结构简单可靠, 切忌采用太复杂的结构形式与材料, 以避免地震时出现损坏与倒塌现象。还应注意结构整体性与稳定性并采取相应构造措施以确保其安全可靠^[2]。

三是性能化设计。抗震设计应重视结构性能化与精细化设计, 针对建筑使用功能, 建筑高度, 建筑重量选择适当抗震措施与构造措施来改善其抗震性能。同时还应关注结构动态响应及能量耗散能力并采取适当抗震措施如安装隔震器及强化结构支撑。

最后在此基础上还要安排多道防线。抗震设计时,应注意结构冗余性及多道防线的设计,以免地震时出现单一薄弱环节。通过建立多道抗震防线可有效改善结构抗震性能及安全性。

2 建筑结构抗震性能优化设计的常用方法

2.1 基于性能的抗震设计

性能化抗震设计就是结合建筑结构性目标来进行抗震设计,它强调在设计之初就要确定结构设计目标及抗震性能需求,并且把这些要求变成了抗震设计的具体措施,其目的是保证建筑物在经历了几次地震之后仍然能够维持其基本功能,降低地震所带来的危害。

首先,合理的结构布局能显著地改善建筑物抗震性能。通过在双向或者多向地震力下使用等效侧向刚度使得结构稳定性较好。另外,还可通过建立“屈服平台”机制等延性区域来保证结构在地震能量的作用下有足够的变形能力和避免瞬时大面积损伤。

二是损伤容限设计使建筑经1次或几次轻微地震作用后结构局部发生微小破坏,从整体上改善了结构耐久性与稳定性。此法尤其对有可能发生多次地震区域^[3]。

同时性能化抗震设计应该包含建筑结构智能化监控与养护。通过布置传感器及控制系统对结构关键部位进行实时监控,在出现异常时能及时采取措施进行维修。该方法有利于保证结构在几次地震作用下一直保持较好的特性。

这一设计方法自然不是一朝一夕所能完成的。这需要综合考虑地震的复杂性和不确定性,以及实施过程中的技术、经济和时间等因素。所以,要想落实好性能化抗震设计,就必须要对地震动力学,结构工程以及信息技术等多个学科知识进行深入了解,并且以此为依据来制定合理的抗震设计与维修策略。

2.2 减震技术和隔震技术

减震,隔震技术又是改善建筑结构抗震性能普遍采用的手段。这两项技术均以改变地震能量传递路径来减轻地震对建筑结构造成的直接影响,进而减轻地震灾害带来的危害。减震技术主要是通过通过在建筑结构上安装粘弹性阻尼器、金属阻尼器等阻尼器来吸收和消耗地震能量^[4]。这些阻尼器对地震的反作用力使结构的振动幅度减小。并且隔震技术通过建筑结构的底部安装隔震层的方式来隔绝建筑和地震之间的联系,从而避免了地震能量向建筑结构中的传递。隔震技术一般采用橡胶和其他材料,以提高结构柔性和减小加速度反应。减震技术与隔震技术均是行之有效的抗震手段,二者通过不同途径减轻地震对建筑结构造成的直接影响,减轻地震灾害造成

的冲击,并可联合应用改善建筑结构抗震性能。两种方式均需在建筑设计前期予以考虑,兼顾施工及后期养护的困难与费用。

2.3 结构优化设计方法

结构优化设计方法就是利用计算机软件对建筑结构做数值分析与优化从而寻求最佳抗震设计方案这一先进抗震设计手段。该方法主要综合考虑地震力,结构布局,材料选择和延性等因素,并通过迭代计算不断对结构参数进行优化,从而实现抗震性能改善。结构优化设计方法多用于高层建筑,大型公共建筑,工业建筑及其他复杂结构抗震设计中。采用该方法能够有效改善建筑结构抗震性能,同时满足建筑功能及美观。具体而言,结构优化设计的方法主要有但不仅仅局限于如下的优化策略。首先是地震力最小化的优化问题。通过调整结构参数使得建筑结构受到的地震力达到最小值,以减少地震给建筑结构造成的损失。二是延性优化。通过调整结构布局及材料选择等措施,使得建筑结构有足够延性并能吸收消耗地震作用下大量能量以降低其破坏。三是周期最优。通过调整结构参数使得建筑结构自振周期趋近于地震波频率,以更加有效降低地震作用下建筑结构振动^[5]。结构优化设计方法的最大优点在于能够有效改善建筑结构抗震性能,同时满足建筑功能与美观。另外,结构优化设计方法还可以与其他抗震设计方法相结合,如基于性能化的抗震设计、减震隔震技术等,以提高抗震设计的整体效果。

3 建筑结构抗震性能优化设计的实践案例

3.1 案例一:某大型公共建筑的抗震性能优化设计

这座大型公共建筑处于地震多发区,为了适应当地居民生活需要和改善这一区域的抗震性能,我们开展抗震性能的优化设计工作。设计性能指标:结构的安全寿命不少于50年;设防烈度范围内结构稳定且未发生严重损伤;吸收地震能量的能力明显增强,降低了人员伤亡;优化设计的建筑成本不可能显著高于原设计的成本。

在设计中具体采用如下5项优化措施。一是优化结构布局。利用双向地震力下等效侧向刚度保证结构的稳定性。二是延性设计。关键部位布置延性节点及构件以增强结构变形能力。三是轻质高强的材料。采用轻质高强新型材料减轻了结构自重、改善了结构抗震性能、还使造价得到了有效地控制。四是智能化监测。建立传感器及控制系统对结构关键部位进行实时监控,以保证地震发生时能够及时发现异常情况并采取适当的措施。五是进行结构优化设计。利用计算机软件进行建筑结构数值分析与优化,寻求最佳抗震设计方案。

优化设计后最终使该公共建筑抗震性能显著改善。设防烈度范围内结构稳定且未发生明显的损伤；吸收地震能量的能力显著增强，人员伤亡降低。同时经过优化设计的建筑成本并没有明显增加，达到了预期的目的。总体来看，此大型公共建筑在抗震性能优化设计方面取得较好成效，在提升建筑结构抗震性能的同时也减少地震灾害发生的可能性，确保人们生命财产安全。

3.2 案例二：某工业建筑的抗震性能优化设计

某工业建筑处于地震活跃区域，因其在工业中的重要地位，抗震性能的优化设计显得十分重要。然而这座工业建筑的设计之初并没有充分考虑到抗震需求、结构布局以及材料的选用，存在着地震能量吸收不充分、结构稳定性差的问题。针对上述情况，我们在这座工业建筑上采用了一些专门的优化设计措施。一是结构布局上的优化。调整结构布局以提高其整体性与稳定性，如利用等效侧向刚度进行双向或多向地震力激励以保证地震时各构件能够协同工作等。二是采用延性设计。关键部位布置延性节点及构件增强了结构变形能力并有效地吸收了地震能量。再从选材上加以调整。选用延性好，韧性好的高强混凝土，轻质高强钢材等新型抗震材料来降低结构自重，改善结构抗震性能。四是采用隔震的技术。所述建筑物的底部设有隔震层以隔绝建筑物和地震的发生，并避免地震能量向建筑物结构内的传递。同时设置隔震层也能减少地震对周边环境造成的冲击和次生灾害。五是增加了智能化监测与维修。布置了传感器及控制系统对结构关键部位进行实时监控，发现异常情况能及时采取措施进行维修，保证了结构在几次地震作用下一直处于良好的工作状态。同时制定了定期维护制度以保证隔震层及其他关键部位检修的有效实施。最后对结构进行了优化设计。利用计算机软件进行建筑结构数值分析与优化，寻求最佳抗震设计方案。根据实际情况并综合考虑施工难度及费用，选取了合适的抗震设计方案。

采用以上优化设计措施后，工业建筑抗震性能明显改善。经多次模拟地震试验，工业建筑处于设防烈度稳定状态，未发生明显的损伤；吸收地震能量的能力显著增强，达到了预期的目的。同时建立维护制度有利于对异常情况进行及时维修，保证这座工业建筑能够长久安全地运营。

4 结论

通过对以上理论与实践案例进行细致分析后可以清楚地看到建筑结构抗震性能优化设计对于提升建筑结构抗震性能以及减少地震灾害风险具有重要意义，确保人们生命财产安全的重要性与有效性。优化设计可显著改善建筑结构抗震性能，并有效降低地震灾害给建筑及周围环境带来的影响。同时可以减轻建筑结构在地震作用下的损伤程度以及人员伤亡与财产损失，也可以减轻地震对周边环境的影响和次生灾害。另外，优化设计可以降低建筑成本和增加经济效益，确保建筑结构安全。所以，要高度重视建筑结构抗震性能优化设计工作，并把优化设计工作作为维护公共安全的重要工作加以推动。总之，建筑结构抗震性能优化设计作为一项长期且重要的任务，需要不断地进行探索与实践，才能更好地维护人民群众生命财产安全，促进社会可持续发展。

参考文献

- [1]王洪涛,朱江.(2018).建筑结构抗震性能的研究现状与优化设计.土木工程学报,(S1),27-35.
- [2]李明,何继善.(2020).结构优化设计在建筑抗震中的应用研究.湖南大学学报(自然科学版),(4),64-72.
- [3]张华,孙立新.(2021).基于性能的建筑结构抗震设计研究.防灾科技学院学报,(1),37-43.
- [4]刘晓明,王涛,李晓蒙.(2022).建筑结构减震控制的研究进展.现代防御技术,(2),28-37.
- [5]赵旭东,陈新,吴智慧.(2020).建筑结构智能化抗震研究与应用.建筑科学,(5),1-8.