

Research on the Seismic Design of Houses under Mechanical Optimization

Jingxin Zhang

School of Applied Technology, Dalian Ocean University (Wafangdian Campus), Dalian 116300, Liaoning, China

Abstract: With the accelerating process of urbanization, the seismic design of houses is becoming more and more critical. The frequent occurrence of earthquakes has brought a very serious threat to the safety of people's life and property, so the scientific and reasonable seismic design is of great significance. This paper focuses on exploring the application of mechanical optimization in the seismic design of houses. With theoretical analysis and case study, it is expected to give a new thinking direction and means to enhance the seismic performance of buildings. First of all, the basic theory of seismic design and related laws and regulations are introduced, then the basic concepts and methods of mechanical optimization are explained, and its practical application in architectural design is discussed. Finally, through the specific case analysis, it shows how the mechanical optimization can greatly improve the seismic level of buildings through the selection of structural form, the optimization of material performance and the design of seismic components.

Keywords: house seismic design; mechanical optimization; structural form; high performance concrete; seismic components

力学优化下的房屋抗震设计研究

张景鑫

大连海洋大学应用技术学院（瓦房店校区），中国·辽宁大连 116300

摘 要: 在城市化进程不断加快的当下，房屋的抗震设计显得越发关键。地震的频繁发生给人民的生命和财产安全带来了极为严重的威胁，故而科学且合理的抗震设计意义重大。此文着重探究力学优化于房屋抗震设计当中的运用，凭借理论剖析以及案例探究，期望为增强建筑的抗震性能给予全新的思考方向与手段。首先对抗震设计的基础理论以及相关的法律法规予以介绍，随后阐释力学优化的基本理念与方法，并研讨其在建筑设计里的实际运用情况。最终通过具体的案例分析，呈现出力学优化怎样经由结构形式的选取、材料性能的优化以及抗震构件的设计极大程度地提高建筑物的抗震水平。

关键词: 房屋抗震设计；力学优化；结构形式；高性能混凝土；抗震构件

1 引言

伴随城市化进程的加速推进房屋抗震设计的重要程度愈发显著，地震灾害屡屡发生给人民的生命和财产安全造成了严峻威胁^[1]。所以科学且合理的抗震设计极为关键，力学优化作为一种富有创新性的设计手段，能够切实增强建筑物的抗震能力。本文会对力学优化在房屋抗震设计里的应用展开探讨，借由理论分析和案例研究力图提升建筑抗震性能贡献新的构想和办法。

2 抗震设计的基本理论

2.1 抗震设计的定义与原则

抗震设计乃是于建筑结构设计的进程当中，借由

合理的结构形态、材料的选取以及构造的举措，让建筑物在承受地震作用之际能够维持稳固，防止出现严重的破坏或者倒塌状况以此来守护人民的生命和财产安全。其核心的目标在于达成“小震不坏、中震可修、大震不倒”的设计准则^[2]。这一准则着重表明建筑物在历经较小规模的地震时，不应产生损坏在遭遇中等强度的地震时，纵然或许会存在一定程度的损害，然而应当能够予以修复并且持续投入使用。而当面对强烈的地震时，建筑结构应当能够抵御坍塌保证使用者的安全。

2.2 地震对建筑物的影响

地震对于建筑物的影响，重点呈现在地震波的传播特点以及建筑物于地震作用之下的反应方面。地震

波传播的形式涵盖纵波、横波与面波，这三者对于建筑物的破坏作用均有所差异。纵波属于率先抵达震中的波动，主要致使上下的振动其破坏力相对而言较为微弱；然而横波却会引发左右的晃动，具备较强的剪切力常常是造成建筑物损坏的关键原因^[3]。面波属于地表波通常所带来的破坏最为严峻，特别是在地震持续时间较长的时候，建筑物会历经较大程度的累积损伤。故而在抗震设计里务必要充分思索这些地震波的特性，运用合理的结构形式和材料来增强建筑物的抗震性能。

2.3 相关法律法规与标准

在中国抗震设计领域具备一系列的相关法律法规以及标准，用于引导并规范建筑的抗震设计工作。依据《建筑抗震设计规范》，不同种类的建筑物，其抗震安全系数的要求存在差异，旨在确保地震出现时能够维持结构的稳定状态。公共建筑与生命线工程的抗震安全系数往往设定得较高，目的是在灾难降临之际能够最大程度地保障生命安全。而对于一般的民用建筑而言，能够在符合最低抗震要求的基础之上适度下调抗震安全系数。

与此同时地震参数的恰当确定属于抗震设计的关键基础，像震级、震中距、地震波传播速度以及持续时间等等，此类参数对于建筑的抗震设防标准存在着直接性的影响。震级愈大建筑物所需要承受的地震能量也就愈大，在设计之时需要依据地震危险性评估来明确相应的抗震标准。震中距指的是建筑物和震中的距离，距离越近建筑物受到地震波的影响也就越大。在法律法规层面《建设工程抗震管理条例》清晰明确了建设单位、勘察设计单位、施工单位等各个方面的责任，保证建筑工程契合抗震设防的强制性标准。这些法规着重强调了抗震设计的重要意义，并且鼓励开展技术研究以及应用以此来增强建筑物的抗震能力。

3 力学优化理论概述

3.1 力学优化的基本概念

力学优化意即借助力学的分析与计算，针对建筑结构的形态、材料以及构造展开系统性的调节与完善，从而增强建筑物在遭遇各类荷载（像自重、风荷载、地震等等）之际的性能表现^[4]。此过程往往牵涉多个学科的知识范畴，像土木工程、材料科学以及计算机技术等等。力学优化的根本理念在于依照建筑物的使用功能以及所处环境条件，恰当选取材料和结构形式，既能降低能耗与施工成本又能够确保其安全性

与稳定性。于力学优化当中一些关键的概念涵盖了结构的刚度、强度以及韧性。刚度指的是结构抵御变形的水平，强度为结构抵御破坏的能力，而韧性则表示结构在承受荷载以后能量吸收以及变形的能力。

3.2 力学优化在建筑设计中的应用

力学优化于建筑设计里的应用范畴颇为广泛，囊括了从方案设计至施工进程的每一个阶段。在初步设计的阶段经由计算与模拟，设计师能够针对不同的结构形式予以评估明确最为适宜的设计方案。比方说在高层建筑的设计当中，通过对结构形式（像是框架结构、核心筒结构等等）的优化，能够切实提升建筑的整体稳定性以及抗震性能。在此过程里结构分析软件的运用极为关键，其能够迅速计算出建筑在各类荷载之下的受力状况辅助设计师做出明智的抉择。

在施工阶段力学优化同样发挥着重要作用，施工过程中有可能出现的各类力学问题，诸如吊装作业的重心把控、支撑结构的布置等等，均能够借助力学分析来优化处理。例如在大型构件进行吊装时设计出合理的吊装方案能够有力确保安全，防止由于重物受力不均衡所引发的事故。另外力学优化还能够应用于施工过程里的临时结构设计，例如脚手架和模板支撑，保证这些临时设施在施工过程中拥有足够的稳定性以及承载能力。

3.3 常用的力学优化方法

在建筑设计领域诸多力学优化手段得以广泛运用，其中有限元分析（Finite Element Analysis, FEA）当属最为常见的优化方式之一。有限元分析的具体流程涵盖了模型构建、单元运算以及单元间相互作用的剖析。于模型构建阶段必须将建筑的几何形态、材料特性还有边界条件等要素纳入考量。借由对模型加以简化与理想化处理，来保障计算的精准无误。在单元运算阶段要对不同部件的受力状况展开分析，并依据计算所得结果实施设计优化。在相互作用的分析环节，要斟酌结构各个部分之间的相互影响从而增强整体结构的稳固性。

另一项关键的力学优化办法为拟合与优化算法，此类算法凭借对历史数据和试验成果的解析，构建数学模型用于预估建筑结构在各类条件下的性能表现。常见的优化算法包含遗传算法、粒子群优化算法以及灰狼优化算法等等。举例来说遗传算法能够用于处理结构重量与强度的多目标优化问题，通过设定目标函数和约束条件探寻契合设计要求的最优解集。

4 房屋抗震设计中的力学优化方法

4.1 结构形式的选择与优化

在房屋的抗震设计范畴框架结构凭借其出色的整体性以及空间灵活性，在高层建筑的抗震设计里得到了广泛运用。针对框架结构的优化策略，主要展现在对梁柱的合理排布、节点设计的强化，以及新型材料与技术的采用方面。首先经由对梁柱尺寸及位置的优化，能够促使框架于地震作用之时的受力分布更为均衡降低局部应力集中的情况出现。再者梁柱的连接形式也极为关键，运用刚性或者半刚性连接，能够增强结构的整体性切实提高抗震性能。其次节点设计在框架结构当中占据着极其重要的地位，节点作为连接梁与柱的关键部位，其抗震性能直接左右着整体的稳定性。采用高强度螺栓和焊接等连接方式，并搭配加劲板和箍筋等加强手段能够明显增强节点的承载能力与延性。最后运用高性能混凝土以及设置阻尼器（像是粘滞阻尼器或者金属阻尼器），不但提升了框架结构的强度和耐久性，还能够有效消耗地震能量削减结构的振动响应。

在实际运用当中就拿某高层办公楼的抗震设计来说，呈现出了框架结构的力学优化流程。此建筑项目一开始，设计团队依照地震烈度以及场地状况选用了框架结构。在方案设计的时候团队针对梁柱的尺寸展开了细致的计算，决定把主柱的截面加大从 $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ 扩充到 $800\text{mm} \times 800\text{mm}$ ，通过这样的方式来提升柱子的抗震承载能力。在节点设计方面运用了全焊接的连接方式，并且在每个节点的位置设置了加劲板用来增强节点的刚度与强度。为保障结构的整体性，设计团队在框架的每个楼层都增添了水平圈梁，构建起一个封闭的框架系统有力地提高了抗剪能力。另外团队在框架里面引入了粘滞阻尼器，布置在每层的框架之间，能够切实地吸收和消散地震能量。在该办公楼完工以后开展了抗震性能测试，测试结果表明在模拟地震的条件下，建筑的位移和加速度都处在设计所允许的范围之内没有出现任何结构性的损伤。

4.2 材料性能的优化

高性能混凝土凭借自身出色的抗震性能日益受到关注，其突出特点之一在于高强度，一般来说抗压强度能够达到普通混凝土的2至3倍，这让高性能混凝土能够抵御更大的地震力减小破坏的风险。再者高性能混凝土的耐久性也不能被轻视，它出色的抗腐蚀性能

以及抵抗冻融循环的能力，致使建筑在地震影响下不容易产生裂缝进而保证了结构长期的稳定性。据统计数据表明，运用高性能混凝土的建筑其使用年限能够延长20%至30%。尤为重要的是高性能混凝土具备良好的延性，能够在地震作用时经历较大的形变却不出现脆性破坏，有效吸收并消耗地震能量降低结构的损坏程度，相关研究显示这类结构在地震中的破坏程度要比普通混凝土结构低30%不止。

例如在某高层住宅建筑的抗震设计里，设计团队用上了高性能的混凝土，将其在抗震方面的长处充分展露了出来。这座建筑处于地震频发的地带，设计团队挑了高强度的混凝土其抗压强度高达80MPa。施工的时候团队精准把控水泥跟骨料的占比，以此保障混凝土的强度与耐久性。在结构设计这一环节鉴于延性的需求，采用了多肋墙的设计方式这不单让抗震能力提升还切实减少了材料的使用量。施工结束以后展开了模拟地震的测试，测试得出的结果显示，在高强度地震的影响下，结构的位移和加速度都处于设计的安全范畴内，没有出现任何的裂缝或者损坏。另外团队还引进了新型的建筑材料——轻钢龙骨现浇墙体，更进一步强化了建筑的抗震性能。轻钢龙骨墙体施工快、重量轻并且强度高致使整体结构在抗震时愈发稳固。

4.3 抗震构件的设计与优化

阻尼器作为一种颇为有效的抗震装置，能够切实地抵消建筑物在地震作用下产生的振动维持住它的稳定性。阻尼器的运作原理在于吸收并耗散地震的能量，由此减小结构的共振幅度降低遭受破坏的风险。就像台北101大厦安装了全球最大的外露质量调谐阻尼器，重量达660吨直径有5.5米。这个阻尼器借助计算机来侦测建筑物的摆动状况，并即刻产生反作用力有效地把地震对建筑的影响给抵消掉了。在抗剪墙的设计方面对其位置、数量以及形状进行优化同样极为关键。抗剪墙于结构当中承担着十分重要的抗侧力作用，合理地安排抗剪墙能够显著地提升建筑的整体刚度以及抗震性能。依靠力学分析和模拟运算，确定出最理想的抗剪墙配置让建筑在地震发生时受力更为均匀。另外运用高性能混凝土和新型材料来增强抗剪墙的强度与耐久性也是当下优化设计的重要趋向。

上海中心大厦乃中国第一高楼，其内部配备了一台重达1000吨的电涡流调谐质量阻尼器。此阻尼器由12根吊索、质量块、阻尼系统以及主体保护系统共同构成，形成了一个庞大的复摆。每当大厦遭受外力冲击阻尼器便会与建筑主体产生共振，切实地降低了晃

动程度。就在2018年台风“安比”来袭之际，该阻尼器的摆动幅度达到40至50厘米，有力地保障了大厦的稳固性。与此同时这座大厦的抗剪墙设计也是精心优化的成果。抗剪墙的位置与数量均经过了严谨的力学分析从而得以精准确定，主要分布于核心筒周边，以此确保其承载能力与刚度。而且抗剪墙的厚度和形状也都经过了优化处理，采用了 L 形的设计来增强抗侧刚度。经由这些优化举措上海中心大厦在极端天气以及地震状况下，展现出了极其出色的抗震性能，成功地抵御了自然灾害的冲击守护了人民的生命和财产安全。

5 结语

总之力学优化于房屋抗震设计而言意义重大，借由恰当选取结构形式、优化材料性能以及设计关键的抗震构件，能够极大程度提升建筑物的抗震水平减少

地震带来的风险。在当下城市化迅猛发展的大环境中，鉴于愈发严峻的地震威胁运用力学优化的手段显得格外关键。日后伴随建筑材料与技术的持续发展，力学优化将会释放出更大的潜能为构筑安全、稳固的抗震建筑给予更为有力的支撑。

参考文献

- [1]于洋.配筋混凝土砌块结构抗震性能研究[D].中国地震局工程力学研究所,2010.
- [2]谢能刚,于玉莽.抗震结构的动力优化设计研究[J].河海大学学报：自然科学版, 2001, 29(3):4.
- [3]燕继蒙.钢结构建筑抗震设计与优化策略研究[J].中文科技期刊数据库（引文版）工程技术, 2024(003):000.
- [4]王亚芹.关于房屋建筑结构抗震设计探讨[J].城市建设理论研究（电子版）, 2015, 000(018):2352-2352.