

房屋建筑结构设计中的优化技术应用

田志伟

甘肃省工业与民用建筑设计院有限公司

摘要：房屋建筑结构设计中的优化，一般均是从结构构件尺寸、结构构件配筋率等角度开展技术优化考量的，其主要目的是在满足建筑工程需求的前提下，以最小的经济成本保障建筑项目的结构质量和安全。梳理国内关于建筑结构优化设计的有关研究，明晰掌握刚重比、周期比、位移比、位移角和剪重比等房屋建筑结构设计中的优化技术指标，而后再以相关优化技术方法开展案例分析，以此为房屋建筑结构设计中的优化技术应用提供一点参考。

关键词：房屋建筑；结构设计；优化技术；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.16.107

引言

以往大多数针对房屋建筑结构设计优化的技术研究，总是偏向于从造价成本角度考量结构构件的尺寸优化和钢筋配置优化，并没有从力学承载效能的角度深度分析优化设计内容的实用性和耐久性。因此基于国内的有关研究成果，从力学承载效能的角度进行房屋建筑结构设计中的优化技术应用探究，具有一定的理论研究价值和实践应用价值。

一、国内房屋建筑结构优化设计研究现状

在国内的有关研究中，何子兴以满足社会发展需求、推进建筑行业转型升级、满足不同审美需求作为房屋建筑结构设计优化的必要性，以功能性和经济性作为房屋建筑结构设计优化的具体原则，并使用综合单价成本对比的方法开展房屋建筑基础结构尺寸与配筋优化，这为判断不同结构设计方案境况下的综合造价对比提供了范例。^[1]陈圣格、周婷和陈志华等人利用钢结构的模块建筑参数化进行房屋建筑结构模型设计优化和能耗模型设计优化，提出了以最小能耗实现最大结构功能需求的优化技术方案，这对于在房屋建筑结构设计优化中引入能耗技术指标提供了重要参考。^[2]莫君、徐阳华、刘彦斌等人以安全性、功能性和经济性作为设计优化原则，分别从优化结构整体设计方案、优化局部结构构件尺寸、优化框剪结构配筋等角度实现了对于某工程项目的优化设计，这对于开展具体的房屋建筑结构设计优化实践应用推广而言意义重大。^[3]黄铭枫、王淳禾和林巍等人依托粒子群算法的有关原理，将结构频率、等效静力风荷载等力学承载效能指标引入结构设计优化案例中，这为开展基于力学承载效能的技术指标应用设计优化做指引了道路。^[4]

以上述国内有关先进研究成果中的理论方法为基础，利用这些理论作为本次探究的科学支撑和依据，这将有效提升本次研究的科学性、客观性和准确性。

二、房屋建筑结构设计中的优化技术指标

围绕国内有关研究，整理得出房屋建筑结构设计中的优化的技术应用指标，主要为刚重比、周期比、位移比、位移角和剪重比。

（一）刚重比

刚重比，指的是房屋建筑结构的侧向总刚度与其荷载代表值之比，体现了房屋建筑结构在一定荷载作用下的抗推刚度。通常情况下，当房屋建筑结构经设计优化后，刚重比数值能够达到2.7及以上时，就表明房屋的建筑结构拥有非常好的抗推刚度，能够有效抵御地震荷载或风力荷载的消极影响；当刚重比的数值低于1.4时，表明房屋建筑结构的抗推刚度不足，容易出现结构失稳等刚性破坏。^[5]

（二）周期比

周期比，指的是房屋建筑结构在扭转作用荷载的影响下，结构构件扭转振型第一周期与结构构件平动振型第一周期的比值。周期比体现了房屋建筑结构自身的抗扭转刚度能力，当周期比低于0.85时表明房屋建筑结构的抗扭转刚度性能较好，且行业专家普遍认为周期比的数值越低，越有利于结构构件的抗扭转效用发挥。^[6]

（三）位移比

位移比，指的是房屋建筑结构构件任意部位，在特定荷载的作用下，发生位置变换移动的效应值，可根据位移发生的方向而细分为横向位移、纵向位移以及扭转位移。无论是哪个方向的位移，当位移比数值在1.2及以下时，结构构件位移可判定属于安全效应范围；当位移比数值介于1.2至1.35时，结构构件位移可判定属于不安全效应范围；当位移比数值大于1.35且小于1.5时，结构构件位移可判定属于特别不安全效应范围；当位移比数值大于1.5时，结构构件位移可判定属于严重不安全效应范围。^[7]

（四）位移角

位移角，指的是房屋建筑结构构件受到外力荷载作用，不同标高位置处结构构件的侧向位移之比，对于建筑高度 $\leq 150\text{m}$ 的房屋结构，其位移角安全范围应属于 $[1/1000, 1/550]$ ；对于建筑高度 $> 150\text{m}$ 的房屋结构，其位移角安全范围应属于 $(1/550, 1/500]$ 。上述两个位移角的安全范围应当作为房屋建筑结构设计优化的重要控制目标。^[8]

（五）剪重比

剪重比，指的是在地震荷载的作用影响下，房屋建筑结构剪力效应标准值与其重力荷载代表值之间的比值。由此可以看出，剪重比能够体现房屋建筑结构构件的抗地震倾覆力矩，目前在设计优化领域，普遍认为，在对房屋建筑结构开展设计优化时，剪重比的数值应当控制在0.02及以下，且数值越小越稳定。^[9]

三、房屋建筑结构设计优化技术的作用

(一) 提高结构性能

结构优化设计可以合理配置构件和受力体系,优化结构布局,增强房屋的抗震、抗风、抗荷载等能力,提升整体结构的稳定性和安全性。通过采用先进的模拟分析技术和优化算法,设计人员可以预测结构在不同工况下的行为表现,从而优化设计方案,确保房屋在使用过程中能够承受各种外部力的作用,保障房屋及其居民的安全。

(二) 降低结构成本

优化技术还可以帮助降低房屋建筑结构的成本。通过精心设计和优化计算,可以最大限度地提高建筑材料的使用效率,减少不必要的建筑结构部件,简化结构形式,降低施工、材料和维护成本。通过合理的结构构思和设计方案,可以在确保结构安全的前提下,最大限度地降低建筑投资成本,提高建筑项目的经济效益。

(三) 提升建筑美学

结构优化设计不仅关乎结构性能和经济成本,也与建筑的美学表现密切相关。优化技术可以改进建筑结构的构造,打造出更具有美感和艺术价值的建筑外观。通过优化的设计手法,可以实现灵活多变的结构形态,创造出富有创意和独特性的建筑作品,提升建筑的整体设计水平,使之更好地融入周围环境,体现建筑的文化内涵与审美价值。

(四) 节能环保

在当今节能环保的背景下,优化技术在房屋建筑结构设计中的应用也体现了其重要性。通过优化设计可以减少能源消耗,降低建筑的碳排放,提高能源利用效率,推动建筑行业向绿色低碳的方向发展,体现可持续发展的理念。优化结构设计不仅可以降低建筑的能耗,还可以减少对自然资源的消耗,从而减少对环境的负面影响,为生态环境保护作出贡献。

(五) 实现功能需求

优化技术在房屋建筑结构设计中还可以帮助实现建筑的功能需求。结构优化设计能够根据建筑的具体用途和功能要求,合理设置空间布局、结构形式和荷载传递路径,确保建筑能够满足使用者的功能需求和舒适性要求。通过结构的合理配置,可以实现空间利用的最大化,提高建筑的使用效率和舒适度,为建筑的功能性服务。

四、房屋建筑结构设计中的优化技术方法

房屋建筑结构设计中的优化技术方法,即优化后对比前文所述的5项技术应用指标,不同优化方案境况下,在保障建筑结构稳定安全的基础上,前文所述5项技术应用指标的数值结果越佳,则对应的优化结构设计方案越好。但是在具体的优化设计过程中,还应当遵循以下原则:控制变量原则、目标一致原则、适度余量原则、经济最惠原则。

(一) 控制变量原则

所谓控制变量,指的是结构设计优化的构件范围应一致。针对相同的结构构件开展优化设计技术应用对

比,方才具有可比性。比如某房屋建筑项目,优化设计方案一采取对地基基础结构进行优化、优化设计方案二采取对框架柱进行优化、优化设计方案三采取对框架梁板进行优化,由于优化的结构构件不属于同一类型,故而不具备可比性。房屋建筑结构设计优化,采取统一的优化对象,基于相同构件不同尺寸、不同配筋率开展优化,而后再比较不同优化设计技术方案境况下刚重比、周期比、位移比、位移角和剪重比的变化情况,以此实现对于同一类型构件最优设计优化技术方案的确定。

(二) 目标一致原则

目标一致,即结构设计优化的目标方向路径一致。若针对某一类型的结构构件,优化设计技术应用方案一只优化构件尺寸,优化设计技术应用方案二只优化构件配筋率,优化设计技术应用方案三既优化构件尺寸又优化构件配筋率,那么就会造成多余的变量影响,判断不了优化的实现路径究竟是来自哪一项技术指标。故而开展房屋建筑结构设计优化技术应用的过程中,需要将设计优化的对比目标方向控制为一致,以此作相同目标事项下不同技术数值方案之间的对比。

(三) 适度余量原则

依照房屋建筑结构设计优化的技术应用实践经验来看,有不少设计人员,在开展结构设计优化的过程中,偏向于借助设计规范的设计标准下限进行技术指标取值。即单纯考虑符合设计规范最低技术标准要求。以降低施工成本为目标为建设单位进行技术优化工作,未能对一些突发荷载作用考虑技术指标容量余度,这就导致房屋建筑结构的耐久性偏低,也导致房屋建筑结构对抗突发地震和突发特大风力的效能减弱。

(四) 经济最惠原则

所谓经济最惠原则,指的是房屋建筑结构设计优化,存在多个优化后效果一致的技术指标方案时,可对这些优化结果相同的技术方案开展经济对比,即综合单价成本对比、总造价成本对比,借此选择既能满足技术指标优化目标、又能实现造价成本最低的设计技术优化方案。

五、房屋建筑结构设计优化技术案例分析

位于我国甘肃省内的某商业大厦工程项目,地下2层、地上14层,总建筑高度86.00m,上部结构形式采用钢筋混凝土框架-核心筒,经统计发现钢筋混凝土柱共46根,主要柱截面尺寸为1500×1500mm,角筋采用直径32mm的HRB400型号钢筋、b边中部钢筋为4根直径为28mm的HRB400型号钢筋,h边中部钢筋为4根直径为28mm的HRB400型号钢筋,框架柱配筋率为4.8%。该项目的设计人员依照前文所述的理论方法、设计优化技术指标和设计优化技术原则开展框架柱结构设计优化,取得了较为理想的效果。

(一) 案例项目结构设计基本参数

通过详细审阅案例项目的初步设计方案,得出该项目的结构设计基本情况及其有关参数如表1所示。

(二) 案例项目结构设计优化方案

表 1 案例项目的结构设计基本情况及其有关参数

设计内容	设计标准	设计内容	设计标准	设计内容	设计标准	设计内容	设计标准
抗震设防类别	标准设防	抗震设防烈度	七度	结构抗震等级	二级	基本地震加速度	0.1g
结构安全等级	二级	结构阻尼比	5%	多遇地震影响系数	0.08	基础设计等级	乙级
罕遇地震影响系数	0.50	基本风压	0.55KN/ m ²	特征周期	0.65s	迎风面风载体型系数	+0.8
背风面风载体型系数	-0.5	基本雪压	0.45KN/ m ²	标准冻结深度	0.8m	雪荷载积雪分布系数	1.0

案例项目的设计人员，依照该项目的功能需求、质量需求和安全需求和表1所示的基本设计参数，得出框架柱的有关设计优化方案如下：

设计优化技术方案1：主要柱子截面尺寸设置为1450×1450mm，角筋采用直径32mm的HRB400型号钢筋、b边中部钢筋为4根直径为25mm的HRB400型号钢筋，h边中部钢筋为4根直径为25mm的HRB400型号钢筋，框架柱配筋率为5.3%；

设计优化技术方案2：主要柱子截面尺寸设置为1400×1400mm，角筋采用直径28mm的HRB400型号钢筋、b边中部钢筋为4根直径为22mm的HRB400型号钢筋，h边中部钢筋为4根直径为22mm的HRB400型号钢筋，框架柱配筋率为4.2%；

设计优化技术方案3：主要柱子截面尺寸设置为1450×1450mm，角筋采用直径32mm的HRB400型号钢筋、b边中部钢筋为3根直径为28mm的HRB400型号钢筋，h边中部钢筋为3根直径为28mm的HRB400型号钢筋，框架柱配筋率为4.47%；

设计优化技术方案4：主要柱子截面尺寸设置为1400×1400mm，角筋采用直径28mm的HRB400型号钢筋、b边中部钢筋为3根直径为28mm的HRB400型号钢筋，h边中部钢筋为3根直径为28mm的HRB400型号钢筋，框架柱配筋率为4.38%。

将上述4个设计优化技术方案与原设计方案对比可知，利用针对框架柱截面尺寸和受力钢筋的设置情况开展优化。

(三) 案例项目结构设计优化方案选择

PKPM软件是国内外运用较为成熟的结构设计验证软件，基于PKPM软件针对案例项目的框架柱结构设计原方案和优化设计技术方案开展建模运算，得出的有关技术指标验算值如表2所示。

表 2 框架柱结构设计原方案和优化设计技术方案的技术指标对比

设计方案编号	刚重比	周期比	位移比	位移角	剪重比
原设计方案	2.5	0.79	1.15	1/800	0.018
设计优化技术方案 1	2.55	0.75	1.13	1/820	0.016
设计优化技术方案 2	2.73	0.71	1.05	1/890	0.012
设计优化技术方案 3	2.61	0.72	1.09	1/790	0.019
设计优化技术方案 4	2.48	0.72	1.11	1/835	0.02

通过表2的建模运算验证对比结果可以看出，设计优化技术方案2的各项技术指标最佳，故而案例项目的设计人员选择设计优化技术方案2为最优设计方案。

结语

借助国内有关研究成果，将“刚重比、周期比、位移比、位移角和剪重比”等五项指标确立为房屋建筑设计优化技术选择应用的参考指标，而后再基于“控制变量原则、目标一致原则、适度余量原则和经济最惠原则”开展具体的房屋建筑设计优化技术应用案例分析，旨在为房屋建筑设计优化技术的应用推广提供一点借鉴。

参考文献

- [1] 何子兴. 建筑结构设计优化方法在房屋结构设计中的应用[J]. 中国建筑金属结构, 2021, (08): 78-79.
 - [2] 陈圣格, 周婷, 陈志华等. 模块建筑参数化平面优化及智能化结构设计方法[J]. 重庆大学学报, 2021, 44(09): 51-66.
 - [3] 莫君, 徐阳华, 刘彦斌等. 房屋建筑结构优化设计技术的应用探讨[J]. 城市建筑空间, 2022, 29(S1): 106-107.
 - [4] 黄铭枫, 王淳禾, 林巍等. 基于优化准则法与粒子群算法的超高层建筑抗风性能设计优化[J]. 建筑结构学报, 2023, 44(05): 58-67.
 - [5] 李治, 黄清, 王海. 弯剪型高层建筑结构刚重比修正方法[J]. 建筑结构学报, 2023, 44(09): 227-233.
 - [6] 王鹏程. 某办公楼结构设计与抗震性能化设计[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2021, 22(04): 22-26.
 - [7] 王维, 王星星, 王冬梅等. 直接基于位移的橡胶支座基础隔震剪力墙结构设计方法[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2018, 32(04): 609-616.
 - [8] 吴克川, 陈旭, 陶忠等. 联合消能减震结构设计方法与工程应用分析[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2021, 46(04): 831-843.
 - [9] 赵昕, 蔡锦伦, 秦朗等. 基于剪重比敏感性的超高层结构优化设计方法[J]. 建筑结构学报, 2021, 42(02): 27-36.
- 作者简介：田志伟(1989-)，男，汉，甘肃省金塔县人，本科，工程师，从事结构设计工作。