

基于建筑结构设计的安全性优化对策研究

杨慧

湖南建筑高级技工学校

摘要：本文针对建筑结构设计中存在的安全性问题，通过研究建筑结构设计的安全性优化对策，旨在提高建筑结构的抗震、抗风等安全性能。首先，通过分析建筑结构设计中的常见安全隐患，总结了目前存在的问题和挑战。其次，采用系统性的方法，提出了一系列安全性优化对策，包括优化结构设计参数、改进材料选用、加强结构连接等。然后，通过数值模拟评估了提出的优化对策的有效性和可行性。最后，总结了研究成果，并提出了未来进一步研究的方向。

关键词：建筑结构设计；安全性优化；抗震；抗风；结构连接

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.16.098

引言

建筑结构的安全性是建筑设计中至关重要的一个方面。然而，当前的建筑结构设计存在安全隐患和挑战，需要寻找优化对策来提高抗震、抗风等安全性能。本研究旨在通过分析问题、提出对策、评估有效性等步骤，

研究建筑结构设计的安全性优化，为建筑行业提供参考和指导，同时为未来深入探索建筑结构设计的安全性优化奠定基础。

一、建筑结构设计中的安全性问题

在建筑结构设计中，安全性是一个至关重要的考虑因素。建筑结构的安全性直接关系到人们的生命财产安全，因此，对于常见的安全隐患和存在的问题和挑战的认识至关重要。

（一）常见的安全隐患

建筑结构设计中常见的安全隐患包括抗震性能不足、抗风能力不足、不合理的荷载分配、结构材料选择不当以及缺乏防火措施，总结如表1所示。这些问题可能导致建筑结构在地震、强风、过载等情况下倒塌、损坏或无法承受外部冲击，威胁人员生命安全和财产安全。为提高建筑结构的安全性能，需要关注并解决这些问题，采用准确的设计参数和材料选择、合理的荷载分配以及有效的防火措施，以确保建筑结构在各种情况下的稳定性和安全性^[1-2]。

表1 建筑结构设计中的常见安全隐患

安全隐患	影响后果	原因
抗震性能弱	建筑结构在地震等自然灾害中容易受到破坏，威胁人员生命安全。	结构刚度不足、不合理的设计参数选择、荷载分配不均等原因
抗风能力弱	在高风区域，建筑结构可能无法承受强风的冲击，导致结构倒塌或部分破坏。	结构刚度不足、不合理的风荷载计算、材料强度不足等原因
荷载分配不均	荷载的不合理分配可能导致结构承载能力不均衡，局部区域过载，进而影响整体结构的安全性。	荷载计算不准确、结构刚度分布不合理等原因
结构材料选择不当	选择不合适的结构材料可能导致强度不足、腐蚀、老化等问题，降低结构的安全性能。	材料强度参数估计不准确、材料质量不合格等原因
缺乏防火措施	缺乏有效的防火设计和材料选择可能导致火灾发生后，建筑结构无法承受高温和火势，加剧损坏和威胁人员逃生。	防火材料选择不当、防火隔离措施不完善等原因

（二）存在的问题和挑战

尽管建筑结构设计在不断发展和改进，但仍然面临一些问题和挑战。其中之一是现代建筑结构的复杂性。随着建筑技术的进步和人们对建筑功能的要求不断提高，建筑结构变得越来越复杂。这使得设计过程变得困难，容易出现设计错误和安全隐患。

另一个问题是缺乏全局优化。传统的建筑结构设计

往往依赖于设计师的经验和直觉，缺乏全局优化方法。这导致设计过程中往往只注重解决局部问题，而忽视了整体结构的优化和安全性能的综合考虑。此外，建筑结构设计还面临不确定性的影响。地震地质条件、气候变化等不确定性因素对建筑结构的安全性能产生重要影响，但很难准确评估和处理这些不确定性因素。最后，建筑结构设计需要满足不同的功能和使用要求，而这些

需求往往存在冲突和权衡。因此，设计师需要在满足多样化需求的同时，确保建筑结构的安全性能^[3-4]。

二、基于遗传算法的建筑结构的安全性优化算法

(一) 遗传算法

遗传算法是一种模拟自然进化过程的优化算法，其基本步骤包括初始化种群、评估适应度、选择优秀个体、进行交叉和变异操作生成后代、更新种群，并根据设定的终止条件判断是否结束算法的迭代过程。通过不断迭代，遗传算法能够搜索到优秀的解决方案，用于解决复杂的优化问题^[5]。在建筑结构设计中，可以将建筑结构的参数、材料特性、连接方式等作为遗传算法的基因编码，通过不断迭代的方式，生成新的设计方案，并评估其安全性能，算法流程图如图1所示。

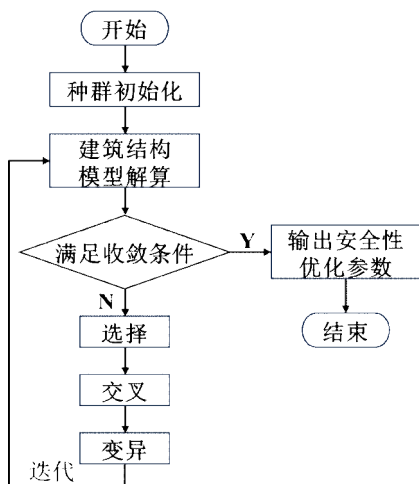


图1 遗传算法流程图

(二) 多目标优化

在许多现实问题中，必须同时满足多个目标才能获得最优解。在建筑结构设计中，可能存在结构参数、材料特性等方面的约束条件，如最大应力、挠度限制等。这些约束条件需要在遗传算法的操作中进行考虑，以确保生成的解决方案符合约束条件^[6]。

求向量 $\mathbf{X}^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*]^T$ 将满足 m 个不等式约束：

$$g_i(\mathbf{X}) \leq 0, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (1)$$

也满足 p 个等式约束：

$$h_i(\mathbf{X}) = 0, \quad i=1, 2, \dots, p \quad (2)$$

并将优化向量函数：

$$\mathbf{F}(\mathbf{X}) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]^T \quad (3)$$

其中， $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 为决策变量向量；

$\mathbf{X}^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*]^T$ 为最优值。

(三) 建筑结构建模

本文中考虑的 N 层基础隔离建筑结构的理想化数学模型。对于所考虑的建筑结构，运动控制方程是通过考虑每个自由度位置处的力平衡来获得的，模型可以写为：

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}} + \mathbf{K}\mathbf{U} = \mathbf{0} \quad (4)$$

其中， \mathbf{M} 、 \mathbf{C} 和 \mathbf{K} 分别是建筑结构质量、阻尼和刚度矩阵， \mathbf{U} 是建筑物相对于地面的相对位移矢量。

承受弯曲的钢筋混凝土结构元件必须设计为具有足够的刚度，以限制对其强度和使用性产生不利影响的变形。使用弹性理论计算即时变形，楼层有效转动惯量 I_e ：

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \quad (5)$$

其中， M_{cr} 为混凝土的抗拉抗弯能力； I_{cr} 为总转动惯量； M_a 为施加的弯矩； I_g 为未破裂部分的转动惯量。

为此对于建筑结构设计的安全性优化目标函数为：

$$\text{Minimize } f(\mathbf{x}) = V_c(R_c + R_f) + W_s R_s \quad (6)$$

$$g_h(x) \leq 0 \quad h=1, 2, \dots, H \quad (7)$$

$$x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \quad i=1, 2, \dots, I \quad (8)$$

其中， $f(x)$ 为安全性优化目标函数； V_c 和 W_s 分别为所有建筑构件的混凝土总体积和钢材重量； R_c 、 R_f 和 R_s 分别是混凝土、弯矩和钢材的单位费率； x_i^l 和 x_i^u 为决策变量 x_i 的下限和上限。

三、应用案例结果与讨论

本文以某市医疗公共设施建筑结构的安全性优化问题为例，对基于遗传算法的建筑结构安全性进行优化。优化问题的主要输入参数如表2所示。初始化种群设置为每次进化时生成随机决策变量。

表2 主要参数

参数	数值
水泥单位重量	24.0 kN/m ³
钢筋单位重量	73.5 kN/m ³
水泥压强	25 MPa
高强度压强	410 MPa
低碳钢强度	255 MPa
地板覆盖荷载	1.5 kPa
每个方向的建筑物侧长	40.0 m
每个方向的跨度数	6
楼层高度	3.5 m

图2为在不同尺寸下建筑结构在不同压强下的安全性和成本最优化的考虑结果。与其他布局相比，尺寸为7.5m×7.5m的平面布局显着节省了成本。随着压强增加，在一定限度内（40-45 MPa）对优化设计成本有积极影响。在此阶段，板-柱连接和吊板的双向抗剪力增强，导致板厚度显着减小。当压强超过50 MPa时，板坯厚度无法进一步减小以满足弯曲和挠度要求。因此，由于每立方米混凝土的单位费率较高，最佳成本随着抗压强度的增加而降低。

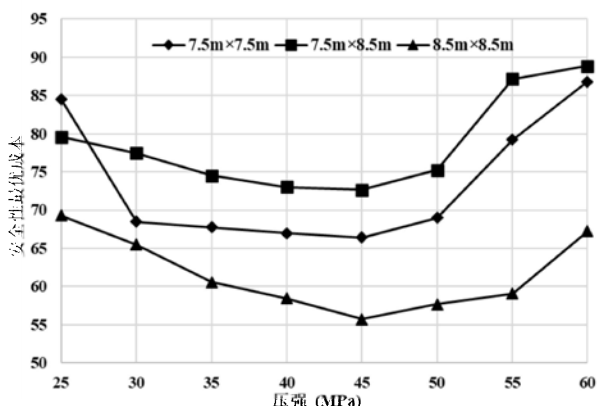


图2 不同尺寸下的安全性结构

图3和图4为遗传算法的参数对优化结果的影响。图3显示了种群对平均最优成本的影响。对于本建筑结构中，初始种群为170几乎成功地获得了最小平均成本。具有不同总体值的所运行的方差相对较低。这意味着随着随机种子可以产生标准偏差相对较低的结果。图4为交叉率对每组运行的平均安全性最优成本的影响。对于建筑结构中，平均成本的差异微不足道。与种群数量类似，方差相对较小。因此，可以维持默认的交叉率数值（0.5）以达到可接受的最佳值。

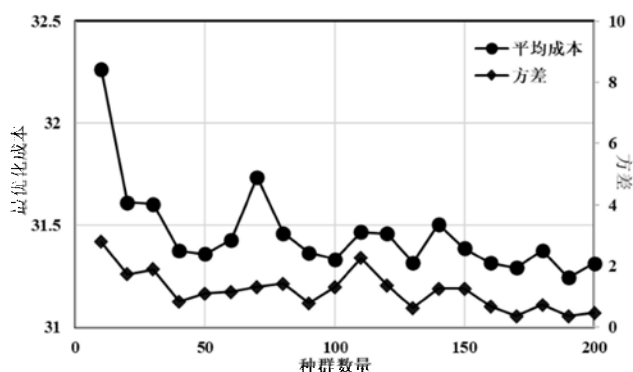


图3 种群数量对安全性优化影响

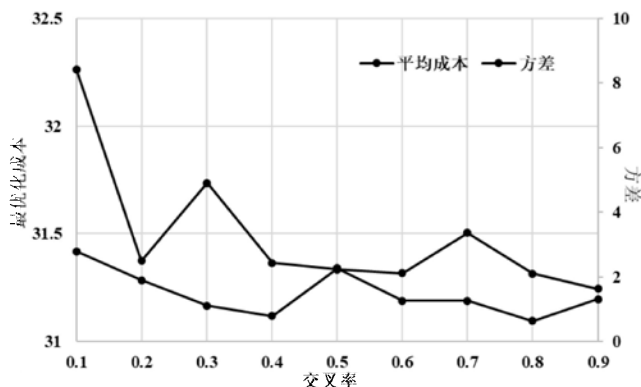


图4 交叉率对安全性优化影响

四、结论

本文探究了基于多目标遗传算法在建筑结构中安全性优化设计的应用，并在某医疗公共设施进行案例分析，结果验证了其算法具有一定意义。通过同时考虑多个目标和约束条件，能够找到一组平衡且多样化的解决方案，满足结构的安全性和经济性等要求。然而，在应用过程中需要合理定义目标函数和约束条件，并结合领域专家的经验进行参数调整和算法改进。随着算法的不断发展和改进，相信多目标遗传算法将在建筑设计领域发挥越来越重要的作用，为创造更安全、稳定、经济且可持续的建筑结构做出贡献。

参考文献

- [1] 范义敏, 崔宏光. 财务管理视域下高层钢筋混凝土结构设计成本优化[J]. 建筑结构, 2023, 53 (12): 184.
- [2] 李斌洲. 基于遗传退火算法的高层建筑结构抗震设计研究[J]. 工程建设与设计, 2023 (07): 30-32.
- [3] 赵志忠. 浅析绿色发展理念下的建筑结构设计创新发展[J]. 砖瓦, 2023 (06): 83-85+89.
- [4] 罗建刚. 土木工程结构设计中存在的问题及应对措施探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023 (18): 97-99.
- [5] 米繁亮. 房屋建筑工程结构优化设计分析[J]. 四川建材, 2023, 49 (06): 54-56.
- [6] 余健豪, 刘迪, 孟珊, 等. 高层建筑结构优化设计中的问题与对策[J]. 工程建设与设计, 2023 (10): 13-15.