

建筑结构设计中的不规则设计问题分析与探讨

李君艳

身份证号码：1310251993****3340

DOI:10.12238/jpm.v6i7.8189

[摘要] 建筑结构中的不规则设计因现代建筑对美学与功能的追求而日益普遍，但其引发的结构安全性、抗震性能及施工可行性问题亟待系统研究。文章从平面与立面不规则、材料适配性、协同设计矛盾等维度，剖析不规则设计的核心挑战，揭示刚度分布不均、动力响应异常、形态与力学逻辑冲突等关键问题。通过整合设计方法创新、技术手段升级与全周期管理策略，提出平衡建筑创意与结构安全的优化路径，为复杂形态建筑的理性设计提供理论支撑与实践参考。基于此，本文章对建筑结构设计中的不规则设计问题分析进行探讨，以供相关从业人员参考。

[关键词] 建筑结构设计；不规则设计；问题；解决对策

Analysis and discussion of irregular design problems in building structure design

Li Junyan

ID number: 1310251993****3340

[Abstract] Irregular design in building structures is becoming more and more common due to the pursuit of aesthetics and function in modern architecture, but the structural safety, seismic performance and construction feasibility problems caused by it need to be systematically studied. This paper analyzes the core challenges of irregular design from the dimensions of plane and façade irregularity, material adaptability, and collaborative design contradictions, and reveals key problems such as uneven stiffness distribution, abnormal dynamic response, and logical conflict between morphology and mechanics. By integrating the innovation of design methods, the upgrading of technical means and the full-cycle management strategy, an optimization path to balance architectural creativity and structural safety is proposed, which provides theoretical support and practical reference for the rational design of complex buildings. Based on this, this paper discusses the analysis of irregular design problems in architectural structure design for the reference of relevant practitioners.

[Key words] architectural structure design; irregular design; Issue; Solution

引言

当代建筑在突破传统形式束缚的同时，面临不规则设计与结构合理性之间的深刻矛盾。建筑师追求视觉张力的曲面、悬挑、扭转等形态，往往导致传力路径模糊、抗震性能弱化及施工复杂度陡增。这一矛盾不仅威胁建筑安全，更制约了设计创新的可持续推进。聚焦不规则设计的力学本质与工程落地难点，旨在揭示其内在风险生成机制，探索多目标约束下的系统性解决方案，为弥合建筑艺术与工程科学的分野提供理论框架，推动行业在创新与安全之间建立动态平衡。

一、建筑结构设计中的不规则设计的常见问题

（一）刚度分布不均

不规则平面设计容易导致结构刚度分布失衡。建筑平面突变处易形成局部应力集中，削弱整体抗震性能；楼板不连续或

开洞区域破坏水平传力路径，加剧扭转效应。异形平面布局中，核心筒与外围框架的协同性下降，地震作用下不同区域变形差异显著，引发非对称破坏。复杂平面形态还会增加结构计算模型的简化误差，实际受力状态与理论分析存在偏差，给设计带来不确定性。

（二）动力响应异常

立面收进、悬挑或质量分布突变会引发竖向刚度不连续。高层建筑顶部突然缩进或外挑，产生鞭梢效应，在地震或风荷载下顶部振幅显著增大。逐层悬挑的塔楼因竖向质量分布不均，导致抗侧力体系传力路径中断，难以形成有效的耗能机制。立面不规则还引起局部构件超负荷，如悬挑层下方梁柱节点因承担额外弯矩而提前失效，威胁结构整体稳定性。

（三）与材料性能的适配矛盾

不规则设计常依赖异形曲面、非线性几何等形态，但传统材料的物理特性难以完全匹配此类需求。混凝土浇筑复杂曲面时易因模板精度不足产生施工误差，导致构件实际尺寸与设计不符；钢结构节点在空间多维受力下出现应力集中或焊接缺陷。材料延性、抗拉强度等特性与形态的力学需求不匹配，造成局部脆性破坏，降低结构冗余度，增大安全隐患。

（四）功能与安全冲突

建筑追求视觉冲击力的不规则形态常与结构合理性产生矛盾，为营造通透空间而取消部分剪力墙或柱体，导致抗侧刚度骤降；大跨度无柱空间中，水平荷载需依赖薄弱楼板传递，易引发楼面开裂或变形超标。设备管道穿行、幕墙连接等非结构构件与主体结构协同性不足，改变局部刚度分布，放大外部荷载作用下的振动或变形，进一步加剧结构体系的不可控风险。

二、建筑结构设计中的不规则设计问题的解决对策

（一）参数化设计与性能优化结合

参数化设计技术通过算法驱动几何形态生成，能够有效解决不规则设计中形态与力学性能的矛盾。利用参数化工具建立结构形态与力学响应的关联模型，可实时调整几何参数，在满足建筑美学需求的同时优化刚度分布。针对曲面或悬挑结构，可通过拓扑优化算法自动识别冗余构件并剔除，减少局部应力集中；对于扭转敏感的不规则平面，采用多点约束模拟楼板协同作用，优化抗侧力体系布置。结合性能化设计理念，明确不同荷载工况下的性能目标，通过迭代分析筛选出最优方案。BIM技术的集成应用可实现多专业协同，提前发现施工可行性问题，避免后期返工。

（二）引入先进施工技术提升建造精度

复杂不规则形态对传统施工工艺提出挑战，需引入3D打印、机器人预制装配等先进技术。3D打印技术可直接将数字化模型转化为实体构件，解决异形曲面模板制作困难的问题，减少人工误差；钢结构节点通过机器人焊接或数控机床加工，可确保多维受力节点的精度与强度。针对超长悬挑或大跨度结构，可采用分段预制、现场拼装的方法，利用临时支撑体系控制施工变形。数字化施工管理平台可实时监控构件定位、焊接质量等关键节点，确保设计与施工的一致性。推广高适应性材料，其自密实性、高延展性可弥补复杂形态带来的材料性能短板，降低施工风险。

（三）完善基于性能的抗震设计体系

针对不规则结构抗震性能不足的问题，需突破传统规范一刀切的限制，采用基于性能的抗震设计。通过动态时程分析和非线性分析，模拟结构在罕遇地震下的弹塑性响应，识别薄弱部位；据建筑功能重要性设定差异化的性能目标，如关键构件需保持弹性，次要构件允许有限损伤但避免倒塌。对于立面收进或悬挑引发的鞭梢效应，可增设调谐质量阻尼器或耗能支

撑，通过被动控制手段削减顶部振动能量。采用冗余设计理念，在传力路径中断区域设置备用荷载传递机制，确保局部破坏不影响整体稳定性。结合新材料与新工艺，提升结构的可修复性与耐久性。

（四）多专业协同与全生命周期管理

不规则设计需打破建筑、结构、设备等专业的割裂，建立全流程协同机制。在设计初期，建筑师与结构工程师通过协同平台实时交互，将形态创意与力学逻辑同步优化。在取消剪力墙的区域，可通过斜柱、空间网格等替代方案平衡抗侧刚度；设备管线布局需避开关键受力构件，或采用预埋套管减少对楼板刚度的削弱。施工阶段，利用BIM模型指导施工顺序与工艺选择，如优先浇筑核心筒以提供临时支撑，再逐步外扩悬挑部分。运维阶段，通过物联网传感器监测结构变形、裂缝发展等数据，结合数字孪生模型预测潜在风险，实现动态维护。制定应急预案，针对不规则结构的特殊破坏模式预先规划加固措施，提升灾后快速恢复能力。

（五）创新结构体系与混合材料应用

不规则设计需突破传统结构形式的限制，探索新型结构体系与混合材料的协同应用。采用空间网格结构或张拉整体体系，通过杆件与索的灵活组合适应复杂几何形态，将荷载分散传递，减少局部应力集中。对于大悬挑或悬臂结构，可结合斜拉索或悬挂体系，利用预应力技术平衡弯矩，降低构件截面尺寸。材料方面混合使用钢材、复合材料与高性能混凝土，发挥各自优势：钢材提供延展性，复合材料弥补抗拉强度不足，混凝土增强抗压稳定性。智能材料的引入可赋予结构自感知、自调节功能，实时监测变形并通过局部刚度调整抑制振动。此类创新需依托跨学科研究，从材料研发到结构设计全链条协同，同时需兼顾成本控制与施工可行性。

（六）动态规范更新与性能化标准制定

针对现有规范滞后于不规则设计发展的问题，需推动规范体系的动态更新与性能化标准细化。传统规范基于规则结构的经验公式，难以覆盖复杂形态的力学特性，因此需建立目标导向的弹性标准。允许采用非线性时程分析替代静力等效法，更真实反映地震作用下的结构响应；针对扭转敏感项目，增设基于位移角与能量耗散的双重控制指标。制定专项技术指南，如曲面结构节点构造、悬挑体系施工临时支撑设计原则，为工程师提供明确参考。建立开放性的案例数据库，收录成功与失败的不规则设计项目，通过机器学习挖掘潜在规律，为规范修订提供数据支撑。这一过程需政府、学术界与行业共同参与，形成实践-反馈-优化的循环机制。

（七）智能化监测与数字孪生技术融合

依托物联网与数字孪生技术，构建设计-施工-运维全周期动态监控体系。施工阶段，利用传感器实时采集关键构件应力、变形数据，与BIM模型对比，及时调整施工误差。运维阶段，

通过分布式传感器网络监测结构振动、裂缝扩展等健康指标,结合数字孪生模型模拟极端荷载下的潜在破坏路径。针对立面收进引发的鞭梢效应,可通过实时风振数据反馈,动态调节阻尼器参数以优化减震效果。数字孪生还可用于灾后快速评估:地震中结构受损后,模型基于实时数据重构剩余承载力,指导应急加固决策。该技术需解决海量数据处理、模型精度与计算效率的平衡问题,同时建立风险预警阈值与人工干预机制,避免过度依赖自动化系统。

(八) 模块化设计与可逆建造策略

为降低不规则结构的施工难度与后期改造风险,可采用模块化设计与可逆建造理念。将复杂形态分解为标准化预制模块,通过参数化设计确保模块间的几何兼容性。曲面幕墙分解为可批量生产的单元板,现场仅需拼装;异形混凝土构件采用3D打印模具预制,减少现场浇筑误差。引入可逆连接技术,使构件可拆卸替换,适应未来功能调整或材料升级需求。这一策略不仅提升施工效率,还减少建筑垃圾产生,符合可持续目标。模块化设计需预留冗余接口,以应对形态调整带来的荷载变化,在模块接缝处预埋加强筋或阻尼装置,确保局部修改不影响整体性能。

(九) 生态整合与气候适应性设计

不规则设计需与自然环境协同,通过形态优化降低气候荷载对结构的负面影响。利用计算流体力学模拟风场分布,调整建筑外形以减少风振效应;曲面屋顶设计结合日照轨迹分析,通过自遮阳形态降低温度应力。在抗震设计中,可借鉴仿生学原理,如树状分支结构分散地震能量,或蜂窝状网格增强耗能能力。绿色建筑技术与不规则形态融合时,需预先评估附加荷载与连接可靠性:植被覆盖区加强排水与防腐设计,光伏板支架系统与主体结构柔性连接以缓冲振动。此类设计需平衡生态效益与结构安全,避免为追求可持续性牺牲核心性能,同时利用自然力优化传力路径,减少人工加固需求。

三、建筑结构设计中的不规则设计发展的未来趋势

(一) 智能化与生成式设计的深度融合

未来不规则设计将依托人工智能与生成式算法,实现形态创新与结构性能的自动平衡。AI通过深度学习海量案例与力学数据,可快速生成兼顾美学与安全性的拓扑方案,并预测施工难点;生成式设计则通过多目标优化算法,在材料用量、抗震性能、碳排放等约束下筛选最优解。输入场地条件与功能需求后,系统自动输出轻量化曲面结构或仿生网格体系,同时标注关键节点构造建议。这一趋势将大幅降低设计试错成本,推动不规则结构从经验驱动转向数据驱动,并为超复杂形态落地提供技术保障。

(二) 可持续导向的动态适应性结构

不规则设计将更强调与自然环境的动态交互,发展可响应气候变化的智能结构体系。利用形状记忆材料或可调节支撑系统,使建筑能根据风荷载、温度变化实时调整形态,减少外部冲击;光伏幕墙、雨水收集曲面等绿色技术与异形结构深度融合,形成自给自足的能源循环。模块化可拆解设计成为趋势,通过标准化构件组合实现灵活改造与材料回收,降低全生命周期资源消耗。未来建筑不仅是静态艺术品,更是具备生长性与代谢能力的生态有机体。

(三) 多学科协同与全生命周期闭环

不规则设计将打破建筑、结构、材料、数字技术等领域的壁垒,形成全产业链协同的创新生态。从设计初期,BIM+数字孪生技术便贯穿建造运维全过程,实时反馈数据优化结构性能;新材料研发直接驱动形态突破,解决传统材料的性能瓶颈。区块链技术或用于追溯构件来源与维护记录,确保安全透明。这一趋势将推动建筑从一次性工程转向持续进化系统,在功能迭代与灾害韧性中实现长效价值。未来,跨学科团队将通过实时数据动态优化设计参数,结合智能合约自动触发维护决策,形成感知-分析-响应闭环,使建筑在生命周期内持续适应环境需求变化,实现安全、效能与可持续性的多维平衡。

结束语

总之,不规则设计既是建筑创新的载体,亦是结构安全的试金石。其核心矛盾在于形态自由化与力学规律约束的博弈,需通过跨学科协同、技术创新与规范迭代实现矛盾转化。未来,随着智能化工具、新材料技术与生态理念的深度介入,不规则设计将不再局限于形式优先或安全妥协的二元对立,而是演变为多目标优化的动态系统。这一进程不仅重塑建筑的空间表达方式,更将推动工程科学向人、环境与技术共生的高阶维度演进,为建筑与城市的可持续未来开辟新路径。

[参考文献]

- [1]吴文峰.高层建筑结构设计中的不规则问题与抗震方法探究[J].江西建材,2022,(08):110-112.
- [2]颜剑超.高层建筑结构设计中的不规则问题与抗震措施分析[J].砖瓦,2021,(10):91-92.
- [3]毕大博.高层建筑结构设计中的不规则问题与抗震措施[J].建筑技术开发,2021,48(14):1-2.
- [4]刘立勋.不规则高层建筑结构设计分析[J].工程技术研究,2021,6(06):204-205.
- [5]何永强.高层建筑不规则结构设计探讨[J].科技创新与应用,2020,(14):93-94.
- [6]朱昀.高层建筑结构设计中的不规则问题与抗震措施分析[J].住宅与房地产,2020,(05):70.