

谈建筑设计中的建筑形态与结构协同研究

秦 昌¹ 马云肖²

1 河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

2 中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013

[摘要]在建筑设计过程中, 建筑的形态以及结构体系作为核心构成部分, 两者的适配程度, 对建筑的综合品质、经济合理性、安全性能有着直接的影响。通常协同设计是将形态的创作以及结构的优化贯穿于设计的整个流程中, 致力于实现“形态与受力共生、功能与美学统一”。文中着重探讨如何通过建筑形态与结构系统协同设计来化解两者之间的矛盾, 从而提高建筑的美观性、安全性与经济性, 以供参考。

[关键词]建筑设计; 建筑形态; 结构系统; 协同设计; 形力共生

DOI: 10.33142/ec.v9i6.19843

中图分类号: TU973

文献标识码: A

Research on the Synergy between Architectural Form and Structure in Architectural Design

QIN Chang¹, MA Yunxiao²

1. Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

2. China Academy of Building Research Co., Ltd., Beijing, 100013, China

Abstract: In the process of architectural design, the form and structural system of the building are the core components, and the degree of adaptation between the two has a direct impact on the comprehensive quality, economic rationality, and safety performance of the building. Collaborative design typically involves incorporating the creation of form and the optimization of structure throughout the entire design process, aiming to achieve a symbiotic relationship between form and force, as well as the unity of function and aesthetics. The article focuses on exploring how to resolve the contradiction between architectural form and structural system through collaborative design, thereby improving the aesthetics, safety, and economy of buildings, for reference.

Keywords: architectural design; architectural form; structural system; collaborative design; symbiosis of form and force

引言

随着建筑行业朝着多元化方向的持续发展, 建筑形态创新日益呈现出多样化、复杂化、个性化的特征。非线性造型等新型建筑形态不断出现, 对结构体系提出了更为严格的要求。传统建筑设计过程中通常由建筑师主导形态创作, 而结构工程师在后期介入进行验算与优化。然而, 这种“分工割裂”的模式容易导致形态设计与结构性能的需求脱节, 以至于在实践过程中为了追求美感未重视结构的经济性, 或者是因结构条件的约束限制形态创新, 最终导致资源浪费或出现设计不合理的情况。形态是结构的外在呈现, 结构是形态的内在依托, 两者之间本就存在天然的共生关系。鉴于此, 在当代建筑设计领域过程中需要破除传统设计中各专业分离的壁垒, 建立一体化协同设计机制, 进而推动建筑设计行业高质量、可持续发展。

1 建筑形态与结构协同的核心内涵

建筑形态与结构的协同指的是在建筑设计的全过程

中, 将形态的创新以及结构的设计视为一个有机整体。在实践过程中, 由建筑师与结构师紧密协作, 努力平衡建筑的艺术美学、使用功能、经济性等核心指标, 从而实现建筑形态的创新以及结构体系的相互适配。其核心体现在三个方面: 目标协同, 统筹安全、经济、美观与实用; 过程协同, 贯穿设计各阶段; 要素协同, 整合形态、结构等关键要素。与传统的分离式设计模式相比较, 协同设计可以有效避免形态与结构之间的冲突, 从而减少资源损耗, 降低设计返工, 还能更充分发挥出结构的承载作用, 为形态的创新提供有力的支撑, 实现美学表达与技术理性的统一, 提高建筑的整体美观性与建造质量。

2 建筑形态与结构协同的内在机制

建筑形态与结构的协同并非偶然的适配, 而是基于力学规律、材料特性与设计目标的系统性机制。

2.1 形态对结构的驱动机制

建筑形态作为建筑的外在表现, 其几何特征直接决定

结构系统的选型、布置与受力模式，形成对结构设计的驱动作用。这种驱动作用主要体现在两个方面：一是形态几何特征驱动结构选型，不同的形态需要对应的结构体系进行支撑；二是形态功能需求驱动结构优化，建筑形态的设计需满足特定的功能需求，这些功能需求直接驱动结构系统的优化。

2.2 结构对形态的制约机制

结构系统作为建筑形态的内在支撑，其受力规律、材料性能与施工技术对建筑形态的创作形成必要的制约，这种制约并非消极的限制，而是引导形态创新向合理、可行的方向发展。结构对形态的制约主要体现在三个方面：一是力学规律的制约，建筑形态的设计必须符合结构力学原理，避免出现不合理的受力形态；二是材料性能的制约，不同材料的强度、韧性、耐久性不同，其支撑的形态范围也存在差异；三是施工技术的制约，建筑形态的实现需要依托相应的施工技术，复杂的形态往往需要更高精度的施工技术作为支撑，若施工技术无法满足，形态设计只能做出合理调整。

为量化呈现结构制约因素对形态设计的影响程度，绘制如下权重分析表：

表 1 结构制约因素对建筑形态设计的影响权重表

结构制约因素	影响维度	权重占比	具体影响说明
力学规律	安全性、经济性	40%	直接决定形态的可行性，不合理的形态会导致受力集中、结构失稳，增加造价
材料性能	形态适配性、耐久性	30%	材料的强度、韧性决定形态的极限尺寸与造型复杂度，如钢材可实现更大跨度与更轻盈形态
施工技术	形态可实现性、施工效率	30%	复杂形态需要高精度施工技术，施工难度直接影响形态设计的取舍与优化

2.3 形态与结构的动态平衡机制

建筑形态与结构的协同，本质上是形态驱动与结构制约之间的动态平衡过程。在设计的过程中，形态创作与结构设计相互调整、相互优化，最终实现两者间的平衡。这种动态平衡机制主要体现在两个层面：一是目标层面的动态平衡，协同设计需兼顾形态美学、结构安全、经济合理与功能实用，当各目标之间出现冲突时，通过优化设计实现各目标的平衡，而非单一追求某一目标；二是设计过程的动态调整，建筑师提出形态方案后，结构工程师进行结构验算，若结构性能不满足要求，双方协同调整形态参数或结构参数，直至达成形态与结构的适配。

3 建筑形态与结构协同的设计方法

3.1 前期协同定位：明确目标与边界

前期协同定位是协同设计的基础，核心是明确设计目

标、界定设计边界，为后续协同设计提供方向。该阶段包含三个核心步骤：

第一步，明确协同设计目标。结合建筑的功能需求、美学定位、安全标准与经济指标，明确形态创新与结构合理的协同目标。同时，明确各目标的优先级，当目标之间出现冲突时，优先保障核心目标。

第二步，界定设计边界条件。结合场地环境、规范要求、材料特性与施工技术水平，界定形态设计与结构设计的边界条件。边界条件界定的核心是兼顾形态创新的自由度与结构设计的可行性。

第三步，建立协同设计框架。明确建筑师与结构工程师的职责分工、沟通机制与协同流程，建立数字化协同设计平台，避免出现沟通不畅、分工脱节的问题。

为清晰呈现前期协同定位的核心内容，绘制如下框架图：

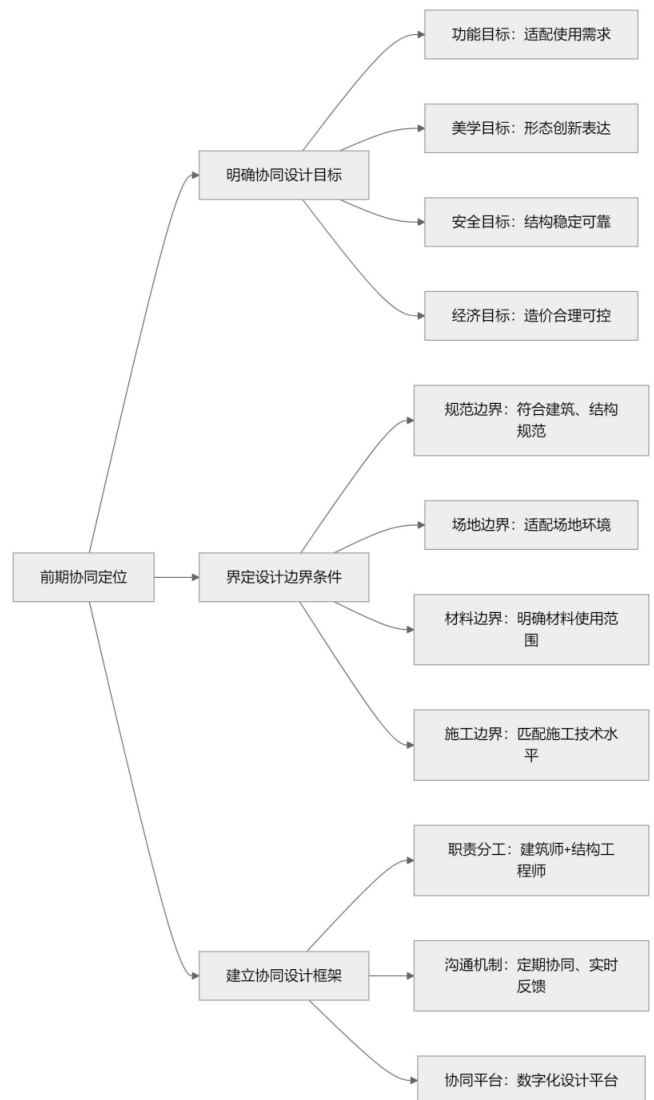


图 3 前期协同定位框架图

3.2 中期协同优化：形态与结构双向适配

中期协同优化是协同设计的核心环节，核心是实现建筑形态与结构系统的双向适配、相互优化，破解形态创新与结构性能之间的矛盾。该阶段依托数字化设计工具，结合优化算法。

第一步，形态参数化建模与结构初步选型。建筑师利用参数化设计工具建立建筑形态的参数化模型，将形态的关键参数设置为可调整变量；结构工程师结合形态参数与边界条件，进行结构体系初步选型，并将结构参数融入参数化模型。

第二步，多目标协同优化计算。基于参数化模型，运用有限元分析工具与多目标优化算法，对形态参数与结构参数进行协同优化。优化目标包括：形态美学指标、结构性能指标、经济指标。

第三步，协同调整与方案迭代。根据优化计算结果，建筑师与结构工程师协同分析形态与结构的适配性，若存在形态不满足美学要求、结构性能不达标或造价过高的问题，调整形态参数或结构参数，重复优化计算过程，利用数字化平台实现实时反馈，减少设计迭代的时间成本。

3.3 后期协同校验：确保设计落地可行

后期协同校验是协同设计的保障环节，核心是对优化后的设计方案进行全面校验，确保形态与结构的协同效果能够落地实现，满足规范要求与实际施工需求。该阶段主要包含三个核心步骤：

第一步，结构性能全面校验。结构工程师利用有限元分析工具，对优化后的结构系统进行全面的力学性能校验，包括强度校验、刚度校验、稳定性校验、抗地震性能校验等，确保结构性能满足相关规范要求，避免出现安全隐患。同时，校验结构构件的布置合理性，优化构件截面尺寸，降低造价。

第二步，形态与功能适配校验。建筑师结合优化后的形态方案，校验形态与建筑功能的适配性，包括空间布局、采光通风、景观视野等。同时，校验形态的美学效果，实现美学价值与功能价值的统一。

第三步，施工可行性校验。结合施工技术水平与材料特性，对设计方案进行施工可行性校验，分析复杂形态的施工难度、施工精度要求与施工成本，若施工难度过大或成本过高，协同调整形态与结构方案，确保设计方案能够顺利落地。

4 建筑形态与结构协同设计的优化路径

为进一步提升建筑形态与结构协同设计的质量与效率，解决协同设计中存在的协同不足、效率低下、优化不

精准等问题，结合当前建筑设计的发展趋势，提出以下优化路径，从理论、技术、机制三个层面推动协同设计的完善与升级。

4.1 完善协同设计理论体系，强化形力共生理念

当前，部分设计人员仍存在“形态优先”或“结构优先”的片面认知，导致建筑形态与结构协同设计难以落地，既影响项目进度，又提高了设计成本。基于此，需要加强完善协同设计理论体系，将协同设计理论、结构形态学以及数字化设计理论深度融合，细化协同设计的具体要求，明确协同设计的核心原则。与此同时，定期组织设计人员参加培训，培训过程中讲解结构力学、协同设计理论、建筑美学等基础内容，着重强化设计人员的协同意识培养，提高结构工程师与建筑师的跨专业素养。结构工程师不仅要掌握基本的结构设计规范、结构力学知识，同时也需要了解结构对形态的制约因素。建筑师在形态创作过程中应该充分考虑结构的可行性，避免提出脱离实际的设计方案。通过建筑师与结构工程师的协作，能够实现建筑形态结构安全、美观、经济的统一。

4.2 推动数字化技术深度应用，提升协同设计效率

数字化设计、BIM 技术、人工智能与机器学习算法等数字化技术作为实现建筑形态与结构协同设计的重要支撑，有助于实现两者从概念构思到施工落地的全流程协同。目前在建筑协同设计中数字化应用技术存在明显短板，如技术融合度不足、协同效率偏低等，对建筑形态与结构协同设计的质量与效率提升造成严重影响。基于此，推广参数化设计与 BIM 技术的融合应用，借助 BIM 技术的参数化、可视化、协同化的优势构建建筑形态与结构的一体化模型，从而实现形态参数与结构参数的实时联动，可以有效避免因形态设计与结构设计脱节而导致的后期返工现象。引入人工智能与机器学习算法，依托大数据的分析能力，基于建筑行业海量的设计案例构建形态与结构协同优化的智能模型，通过运用机器学习算法自动优化设计方案，提升优化效率，实现建筑形态的创意表达，同时可以控制建造成本。搭建协同设计云平台，构建“一站式”协同设计体系，实现建筑师、结构工程师、施工单位等多方主体共享设计数据，打破设计壁垒，提升协同设计的效率。

4.3 建立健全协同设计机制，保障协同设计落地

协同设计的落地需要完善的机制作为保障，当前协同设计机制仍存在职责分工不明确、沟通机制不顺畅、考核机制不完善等问题，需明确职责分工机制，明确建筑师与结构工程师在协同设计各阶段的职责，避免出现分工脱节、责任不清的问题，确保双方协同配合、同步推进设计工作。

定期召开协同设计会议,利用数字化平台实现实时沟通,及时解决设计过程中出现的形态与结构矛盾,提升协同设计的质量。

4.4 强化材料与施工技术创新,拓展协同设计边界

在推动建筑设计向多元化、精细化、高效化升级中,材料以及施工技术的创新是建筑形态与结构协同优化的核心支撑。新型高性能建筑材料与施工技术为建筑形态的创新以及结构性能优化提供了更加广泛的实践路径。例如自修复材料、纤维增强复合材料、高性能混凝土等现代高性能材料不仅能够满足复杂结构的承载需求,而且具有节能环保等多元优势。在协同设计的过程中,围绕建筑的实际情况利用高性能材料可以有效解决传统结构设计中形态单一、缺乏创意的不足,同时能够避免为追求形态美观而牺牲结构安全、增加造价的问题。

通过运用先进的施工技术,如装配式施工、BIM 技术集成应用等,可以提高施工的效率,实现结构与形态的无缝衔接。此外,加强材料运用、施工技术与设计的协同,在设计的前期阶段,设计团队需要与材料研发单位、施工单位进行深入探讨,明确材料特性与施工技术水平,将协同设计贯穿于项目的全生命周期,拓展协同设计的边界。

5 结论与展望

本文围绕建筑形态与结构协同设计展开深入研究,协同设计核心体现在目标协同、过程协同与要素协同,与传统分离设计模式相比较,建筑形态与结构协同设计模式可引导结构体系选型与优化,实现整体平衡,依托数字化工具与算法技术,有效提高设计效率。在后续研究中可深入融合数字化协同设计技术,搭建智能化协同设计系统,探索新型材料与新型结构体系以及强化跨学科协同机制,以此全面提高建筑的综合性能,助力建筑行业向低碳、高效方向持续发展。

[参考文献]

- [1]高新艳.建筑结构设计优化措施与技术探讨[J].太原学院学报(自然科学版),2024,42(1):24-29.
- [2]梁恩申,高子斌.建筑工程设计中建筑与结构专业密切配合的相关问题探讨[J].房地产导刊,2022(12):138-140.
- [3]谢明轩,李莉萍.建构视野下的特色建筑营造研究[J].城市建筑,2021,18(28):158-161.

作者简介:秦昌(1992—),男,汉族,毕业于石家庄铁道大学,现就职于河北建筑设计研究院有限责任公司;
马云肖(1990—),女,汉族,毕业于西安建筑科技大学,现就职于中国建筑科学研究院有限公司。