

舞台机械与建筑结构的协同设计研究

尹文敬

浙江大丰实业股份有限公司杭州分公司 浙江 杭州 310000

摘要：随着舞台艺术创新，剧场建设对舞台机械与建筑结构融合度要求提升，协同设计成为解决二者脱节、提升工程质量的关键。本文界定核心概念，阐述协同设计需遵循安全性、功能性、美学性与经济性四大原则，探讨前期规划、集成化设计、荷载计算及细节施工配合等方法，分析技术与管理挑战并提出对策。旨在完善协同设计理论体系，为剧场工程设计提供指导，推动剧场建设高效、安全、美观、经济，助力舞台艺术与建筑工程协同升级。

关键词：舞台机械；建筑结构；协同设计

引言：近年来文旅产业快速发展，舞台演出形式多元，大型升降、旋转等舞台机械应用广泛，对剧场建筑结构适配性与承载力要求更高。当前部分剧场建设中，舞台机械与建筑结构设计脱节，导致施工变更更多、成本增加、运行隐患大，影响舞台艺术效果。协同设计理念强调打破专业壁垒，实现二者同步推进、深度融合。本文聚焦于此，明确基本概念，梳理原则方法，分析挑战对策，为提升剧场设计质量、保障舞台运行安全提供支撑，推动协同设计模式规范化发展。

1 舞台机械与建筑结构协同设计的基本概念

1.1 舞台机械的定义

舞台机械是剧场演出中用于支撑舞台效果、保障演出顺利开展各类机械设备的总称，是舞台艺术呈现的核心技术支撑。其涵盖范围广泛，主要包括台上机械与台下机械两大类，台上机械有升降吊杆、灯光吊笼、飞行设备等，用于实现布景悬挂、灯光布置、演员飞行等效果；台下机械包含升降舞台、旋转舞台、平移舞台、乐池升降设备等，用于改变舞台空间形态、实现场景切换。舞台机械具有技术集成度高、运行精度要求严、荷载变化复杂等特点，需根据演出需求精准匹配设备规格、运行速度与承载能力，同时需与剧场建筑结构形成有效适配，确保运行过程中的稳定性与安全性，为多元化舞台演出提供可靠保障。

1.2 建筑结构的特点

剧场建筑结构是支撑整个剧场建筑稳定运行的核心框架，承担着传递荷载、划分空间、保障安全的重要功能，其特点与普通建筑结构存在显著差异。剧场建筑结构需满足大跨度、大空间的设计需求，以适配大型舞台机械的安装与运行，尤其是主舞台、侧舞台区域，需具备足够的空间高度与平面尺度。同时，剧场建筑结构需具备优良的承载性能，能够承受舞台机械运行产生的静

荷载、动荷载及冲击荷载，且需满足抗震、防火、隔音等特殊要求^[1]。另外，剧场建筑结构还需兼顾空间灵活性与美学性，既要为舞台机械的后期改造升级预留空间，又要与舞台艺术风格、建筑整体造型相融合，实现功能与美学的统一。

1.3 协同设计的定义

舞台机械与建筑结构的协同设计，是指打破舞台机械设计、与建筑结构设计的专业壁垒，将二者视为一个有机整体，在设计全过程中实现同步规划、相互配合、协同优化的设计模式。其核心内涵并非简单的设计叠加，而是强调设计前期的需求协同、设计过程的技术协同、施工阶段的配合协同及运营阶段的维护协同。协同设计要求建筑结构设计充分考虑舞台机械的安装、运行与维护需求，预留合理的空间、接口与荷载承载条件；同时舞台机械设计需适配建筑结构的约束条件，优化设备规格与安装方式，避免设计冲突。通过协同设计，实现二者功能互补、安全适配，提升剧场工程的设计质量与施工效率，降低建设与运维成本。

2 舞台机械与建筑结构协同设计的原则

2.1 安全性原则

安全性原则是舞台机械与建筑结构协同设计的首要原则，贯穿设计、施工、运营全过程，核心是保障人员安全、设备安全与建筑结构安全。舞台机械运行过程中会产生复杂的静荷载与动荷载，协同设计需精准计算各类荷载参数，确保建筑结构具备足够的承载能力、刚度与稳定性，能够有效传递和分散荷载，避免结构变形、开裂等安全隐患。合理设计舞台机械的锚固节点与连接方式，确保设备安装牢固，运行过程中不发生晃动、脱落等问题。还需考虑抗震、防火、防风等极端工况，优化结构设计及设备防护措施，确保在各类突发情况下，舞台机械与建筑结构能够稳定运行，杜绝安全事故发生。

2.2 功能性原则

功能性原则是协同设计的核心导向,要求舞台机械与建筑结构的设计充分满足舞台演出的多元化需求,实现功能适配与高效协同。一方面,建筑结构设计需为舞台机械提供充足的安装空间与运行空间,根据舞台机械的类型、规格与运行轨迹,合理规划柱网布置、层高设计与设备基坑尺寸,避免空间约束影响设备功能发挥。另一方面,舞台机械设计需结合建筑结构的空间布局与承载能力,优化设备配置与运行方案,确保设备能够实现预期的舞台效果,如场景快速切换、演员飞行、布景升降等。兼顾剧场的多功能性,设计可灵活调整的舞台机械与建筑结构形式,适配不同类型演出的需求。

2.3 美学性原则

美学性原则要求舞台机械与建筑结构的协同设计实现功能与美学的统一,既要满足实用需求,又要提升剧场的整体艺术质感。建筑结构设计需结合舞台艺术风格,优化整体造型与空间形态,避免结构构件突兀影响舞台视觉效果,同时合理隐藏舞台机械的设备本体与管线,确保舞台台面、观众席视野整洁美观。舞台机械设计需注重设备的外观造型与色彩搭配,与建筑内饰、舞台布景相协调,在实现功能的同时,提升舞台的视觉表现力^[2]。协同设计还需考虑剧场的空间光影效果,通过建筑结构的采光设计与舞台机械的灯光配合,营造符合演出氛围的视觉体验,增强剧场的艺术感染力。

2.4 经济性原则

经济性原则要求协同设计在保障安全、功能与美学的前提下,实现建设成本与运维成本的合理控制,提升剧场工程的综合效益。在设计前期,需通过精准的需求分析与方案优化,避免过度设计与冗余配置,合理选择建筑结构形式与舞台机械规格,降低初期建设成本。在设计过程中,需优化荷载计算与结构设计,减少材料消耗,同时简化施工工艺,缩短施工周期,降低施工成本。另外,协同设计还需考虑后期运维成本,优化舞台机械与建筑结构的维护方案,设计便于检修、更换的设备与结构形式,减少运维过程中的人力、物力投入,实现剧场工程全生命周期的经济性最大化。

3 舞台机械与建筑结构协同设计的方法

3.1 前期规划与需求分析

前期规划与需求分析作为协同设计的基础环节,其质量与方向对后续设计工作起着决定性作用。这一过程需要建筑设计、舞台机械设计、建设方、运营方等多方主体共同参与、协同合作。首先,要精准明确剧场的定位和功能需求,通过市场调研、观众需求分析等方

式,确定演出类型、观众容量、舞台规模等核心参数。在此基础上,全面梳理舞台机械的配置需求,涵盖设备类型、运行功能、精度要求等方面。其次,结合场地条件、地质情况以及行业标准,初步规划建筑结构的整体布局、空间尺度和承载标准。运用专业知识和经验,预判舞台机械与建筑结构可能存在的设计冲突,提前制定科学合理的协调方案。最后,形成一份详细的需求分析报告,明确设计目标、技术指标和协同要求,为后续的方案设计、细节深化提供清晰明确的依据,有效避免后期设计变更带来的成本增加和工期延误问题。

3.2 集成化设计思路

集成化设计思路是实现舞台机械与建筑结构深度协同的核心方法,它强调打破专业分割,将二者的设计过程进行有机整合,实现同步设计、相互优化。采用集成化设计,需搭建一个跨专业的协同设计平台,借助先进的信息化技术,实现建筑设计、舞台机械设计等相关专业的信息共享与实时沟通,确保设计信息传递准确、及时,避免因信息不畅导致的设计失误^[3]。在方案设计阶段,建筑结构设计需与舞台机械设计同步推进,建筑结构设计要充分考虑到舞台机械的需求,为其预留合理的空间与接口;舞台机械设计则要适配建筑结构的约束条件,双方共同探讨、优化设计方案,有效解决设计冲突。将舞台机械的荷载参数、安装要求等关键信息融入建筑结构设计全过程,也将建筑结构的空限制、承载能力等纳入舞台机械设计考量,实现二者的有机融合。

3.3 荷载计算与结构分析

荷载计算与结构分析是协同设计的关键技术环节,其准确性直接关系到设计的安全性与可靠性。首先,要精准计算舞台机械运行过程中产生的各类荷载,这包括设备自身重量形成的静荷载、运行过程中产生的动荷载、制动时的冲击荷载,以及风荷载、地震荷载等外部荷载。要运用专业的计算方法和工具,明确荷载的大小、方向与作用点,为后续的结构分析提供准确的数据支持;其次,结合建筑结构的材料与特性,利用有限元分析等先进的技术手段,对建筑结构进行全面的受力分析与稳定性验算。通过模拟不同荷载作用下的结构响应,判断结构是否能够承受各类荷载作用。若发现结构承载能力不足,要及时优化结构设计方案,如增加梁、柱截面尺寸、设置支撑构件等,提升结构承载能力。根据结构分析结果,优化舞台机械的安装位置与运行参数,避免荷载集中导致的结构安全隐患。

3.4 细节设计与施工配合

细节设计与施工配合是协同设计落地实施的重要保

障, 需要注重设计细节的深化与施工过程的协同衔接。在细节设计阶段, 要重点优化舞台机械与建筑结构的接口设计, 明确锚固节点、连接构件的规格与安装方式, 确保设备安装牢固、接口密封严密, 防止出现松动、渗漏等问题。同时, 要预留合理的管线通道、检修空间, 便于后期对舞台机械进行维护和检修。针对舞台机械的特殊需求, 如升降舞台的基坑防水、飞行设备的锚固加固等, 要制定专项设计方案, 充分考虑各种可能出现的风险因素, 避免细节疏漏导致的安全隐患。在施工阶段, 设计方需全程参与现场交底与技术指导, 及时解决施工过程中出现的设计与施工冲突。要协调舞台机械安装与建筑结构施工的进度衔接, 制定合理的施工计划, 确保二者安装工序合理、配合顺畅, 保障施工质量与工期, 使协同设计理念真正得以实现。

4 舞台机械与建筑结构协同设计的挑战与对策

4.1 技术挑战

当前舞台机械与建筑结构协同设计面临的技术挑战主要集中在三个方面。一是技术集成难度大, 舞台机械技术与建筑结构技术分属不同专业领域, 二者的设计标准、技术要求存在差异, 如何实现技术融合与参数匹配, 成为协同设计的核心技术难题。二是复杂荷载处理难度高, 大型舞台机械运行产生的动态荷载、冲击荷载具有不确定性, 精准计算荷载参数并优化结构设计, 对设计技术提出更高要求^[4]。三是新型技术应用不成熟, 随着智能化、模块化舞台机械的普及, 以及新型建筑结构形式的应用, 二者协同设计的技术体系尚未完善, 缺乏成熟的设计标准与规范, 导致设计过程中易出现技术漏洞。

4.2 管理挑战

协同设计的管理挑战主要源于多方参与主体的协同衔接不畅与管理体系不完善。一方面, 协同设计涉及建筑设计、舞台机械设计、施工、运营等多个主体, 各主体的设计理念、利益诉求存在差异, 缺乏有效的沟通协调机制, 易出现设计信息不对称、责任划分不明确等问题, 导致设计冲突频发。另一方面, 缺乏完善的协同设计管理制度与标准, 设计流程不规范, 前期需求调研不充分、设计评审机制不健全, 导致设计方案存在缺陷,

后期变更频繁。此外, 兼具舞台机械与建筑结构专业知识的复合型管理人才短缺, 难以有效统筹协调各专业设计工作, 影响协同设计效率与质量。

4.3 对策与建议

针对上述技术与管理挑战, 提出以下对策与建议。建立健全协同设计技术标准体系, 明确二者协同设计的技术要求、参数匹配规范与设计流程, 统一设计标准。加强技术研发与创新, 推广有限元分析、BIM等先进技术的应用, 提升荷载计算、结构分析与空间碰撞检测的精度, 解决技术集成难题。同时, 加强新型舞台机械与建筑结构技术的融合研究, 完善智能化、模块化协同设计技术体系。搭建跨专业协同设计平台, 建立常态化沟通协调机制, 明确各参与主体的职责与分工, 实现设计信息共享。完善协同设计管理制度, 规范设计流程, 加强前期需求调研与设计评审, 减少后期设计变更。加强复合型人才培养, 提升设计与管理人员的跨专业素养, 保障协同设计顺利推进。

结束语

舞台机械与建筑结构的协同设计是提升演艺场所品质、降低建设成本的重要途径。通过明确基本概念、遵循设计原则、采用科学方法及应对挑战对策, 实现了两者在设计、施工、运行等全生命周期内的高效协同。未来, 随着科技的不断进步与演艺需求的日益多样化, 舞台机械与建筑结构的协同设计将面临更多机遇与挑战。需持续加强技术研发与创新, 完善管理制度与流程, 推动两者协同设计向更高水平发展, 为演艺事业的繁荣作出更大贡献。

参考文献

- [1]魏发孔.舞台机械相关技术问题探讨[J].演艺科技,2025(2):53-60.
- [2]刘榛,刘建军,张昭,等.舞台机械特性载荷相关设计要素的思考与分析[J].演艺科技,2025(2):1-4.
- [3]郭建功,桑家明.剧场舞台机械设备安装工艺质量问题及控制措施[J].设备监理,2025(2):13-17.
- [4]戴明.舞台机械设备管理及维护保养技术浅析[J].机械管理开发, 2023, 38(3): 224-225,228.