

## 剧院舞台机械系统结构设计与工程应用研究

朱超尘

杭州友邦文化科技有限公司, 浙江 杭州 310051

**[摘要]**随着人们生活水平的不断提升,对于艺术的欣赏以及追求也在逐渐增强,舞台表演艺术迎来了十分广阔的发展机遇,这促使我国舞台机械产业进入了快速发展的阶段。随着舞台机械使用量的不断增加以及设备类型变得日益多样化,对其质量和安全性的要求也随之提高。研究发现,借助科学的结构设计、合理的材料选择以及系统化的布局优化,舞台机械系统可以实现高精度、平稳且安全的运行,满足多场景、多功能演出的需求,为现代剧院高效运营以及演出质量提升给予了强有力的技术支撑。

**[关键词]**剧院舞台机械系统; 结构设计; 工程应用

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18592

中图分类号: TP273

文献标识码: A

## Research on the Structural Design and Engineering Application of Theater Stage Mechanical System

ZHU Chaochen

Hangzhou Youbang Culture Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

**Abstract:** With the continuous improvement of people's living standards, the appreciation and pursuit of art are also gradually increasing. Stage performance art has ushered in a very broad development opportunity, which has prompted Chinese stage machinery industry to enter a stage of rapid development. With the continuous increase in the use of stage machinery and the increasing diversity of equipment types, the requirements for its quality and safety have also increased. Research has found that with the help of scientific structural design, reasonable material selection, and systematic layout optimization, stage mechanical systems can achieve high-precision, stable, and safe operation, meeting the needs of multi scene and multi-functional performances, and providing strong technical support for the efficient operation and quality improvement of modern theaters.

**Keywords:** theater stage mechanical system; structural design; engineering application

### 引言

随着现代剧院建设持续向前发展,文化演出的需求也变得日益多样化起来。舞台机械系统作为剧院极为关键的核心设施之一,它的结构设计以及工程应用所达到的水平,会实实在在地对舞台运行时的安全性、具备的功能性以及最终的演出效果产生直接的影响。传统的舞台机械系统,功能较为单一,采用的控制方式也比较落后,很难契合现代剧院对于能够实现多场景转换、达成高精度操作以及对复杂布景加以有效管理等方面的要求。现代舞台机械系统一般来讲是由升降舞台、可平移与旋转的机构、吊杆以及承重结构等诸多不同的子系统组合而成的,在有限的空间当中,这些系统得实现高精度且相互协调一致的运行状态,并且还要能够承受住静载、动载以及冲击载荷等不同类型的载荷作用,所以这就对结构的设计方式、材料的选择类型以及系统的布局安排都提出了不低的要求。从工程应用的角度来看,舞台机械系统一方面要担负起承载布景、道具以及各类设备的任务,另一方面还会对演出的效率以及舞台操作的灵活性起到直接的影响作用。所以说,针对剧院舞台机械系统展开系统化的研究工作,对其结构设计所遵循的原则、实际的受力特性以及在工程应用中所呈现出

的效果加以深入分析,这对于提高系统的安全可靠程度、对舞台功能予以优化改进以及确保演出的质量都有着不容忽视的重要意义。本研究主要是通过分析舞台机械系统的结构设计情况以及它在工程应用方面的实际情况,来探讨其在现代剧院当中具体的实施效果,从而为舞台机械系统的优化设计工作、科学合理的管理工作以及实现多功能的应用等方面给出相应的技术参考依据以及实践操作方面的指导建议。

### 1 剧院舞台机械系统运行特点

剧院舞台机械系统具有多样化的运行特点,主要体现在传动方式、控制系统、安全机制、同步协调及应用适应性等方面。其传动方式丰富,包括刚性链、螺旋、链条、钢丝绳及剪刀撑等,不同方式在负载、速度和精度上各具特点,可针对不同舞台需求选择合适方案。系统控制以PLC为核心,结合传感器和编码器,实现运动轨迹、速度和位置的精准控制,并支持智能算法、远程监控和故障诊断。安全机制强调多重保护和冗余设计,通过过载保护、紧急停止、自锁功能及实时监测保障设备运行安全,避免异常或误操作造成损坏<sup>[1]</sup>。同步协调能力确保多设备在复杂场景下的协同运动,通过精密控制将速度差和高度误差

控制在允许范围内，同时兼顾系统可靠性。应用适应性方面，舞台机械系统能够支持升降、旋转、平移等多种舞台效果，满足快速布景切换、演员升降等演出需求，同时根据基坑深度、载重和运动速度合理选择传动方式，从而实现舞台运行的高效、精准与安全。

## 2 剧院舞台机械系统的发展现状

随着文化产业以及公共文化设施持续推进，剧院舞台机械系统在功能配置、技术水平还有应用规模方面都获得了较快的发展。当下，国内剧院舞台机械系统已经从早期那种以简单的升降为主，人工或者半自动操作的模式，慢慢朝着集成化、自动化以及多功能的方向转变，可以满足大型文艺演出、综合性演艺活动以及多场景舞台转换的需求。在结构形式上，升降舞台、平移舞台、旋转舞台以及吊杆系统已然成为剧院舞台机械的基本配置，其系统承载能力、运行精度以及稳定性相较于以往都有了较为明显的提高。随着机电一体化技术的应用，舞台机械的驱动方式渐渐从传统的机械传动朝着电动、液压及其组合形式去发展，设备运行变得更为平稳，控制响应也更加灵敏。在控制层面，计算机控制系统以及可编程控制器在舞台机械当中的应用变得越来越普遍，达成了多设备协同运行以及动作编排的程序化控制，提升了舞台调度的效率与准确性。从工程实践的角度来看，不同规模以及功能定位的剧院在舞台机械系统的配置上存在着十分明显的差异，一些新建或是改扩建的剧院在设计阶段就已经充分考虑到演出类型多样化以及舞台空间利用的需求，对舞台机械系统提出了更高的技术指标以及结构要求。

## 3 剧院舞台机械系统结构设计

### 3.1 舞台机械总体结构设计思路

剧院舞台机械系统的总体结构设计，其核心目标在于满足舞台多样化的演出需求，并且要保证该系统能够安全且可靠地运行，与此还得顾及到结构的经济性以及工程的可实施性。在开展设计工作的过程当中，起初得对剧院的建筑条件、舞台空间的具体尺寸以及演出功能所处的定位等方面展开详尽的分析，要清楚明确升降设备、平移设备、旋转设备以及吊杆等各种不同类型的舞台机械设备，在空间布局以及运动协调这两个层面上相互间的关系，以此达成各个子系统之间高效的协同运作并且彼此不会相互干扰的局面。总体结构设计务必要依照承载体系要清晰、传力路径需明确这样的原则来推进，要让舞台所承受的荷载、设备自身的重量还有动态运行时产生的载荷都能够凭借经过科学设计的构件以及连接节点合理地传递到建筑的主体结构之上，进而切实保障整个系统的稳定性以及运行的安全性。在对布置情况以及结构形式予以安排的时候，应当妥善确定承重构件的种类、截面的尺寸以及连接的方式等事项，并且要与导向装置、限位装置以及支撑体系相互结合起来考量，借此提升系统整体的

刚度以及运行的精度，对结构可能出现的变形情况以及振动状况加以控制，确保舞台即便是在高频启停的状态下或者是在长期运行的条件之下，依然能够维持平稳且可靠的状态。

### 3.2 升降舞台结构设计与受力分析

升降舞台作为剧院舞台机械系统极为关键的组成部分，其结构设计以及受力分析对于保障系统运行的安全性、稳定性以及功能达成有着不容忽视的重要意义。在开展设计工作的过程当中，需要依据舞台的实际使用需求、自身的承载能力还有空间的具体尺寸来合理地确定升降台的结构样式、台面的尺寸大小、支撑所用的框架以及驱动的相关机构，从而使其在承载人员、布景、道具以及舞台设备的时候能够维持良好的稳定性以及足够的刚度<sup>[2]</sup>。升降舞台一般是由台面、承重框架、导向装置以及驱动系统等部分构成的，它的受力特性是比较复杂的，并且它不仅要承受静载，而且在升降运动的过程中还要去应对所产生的动载、冲击载荷以及偏载效应等情况。所以在结构设计环节当中，必须要周全地去做受力分析以及强度校核工作，以此来保证关键的构件以及连接节点在各种不同的工况之下应力和变形都能够处于安全的范围之内。与此因为升降舞台在运行期间常常会采用多点同步驱动或者多支撑的布置方式，所以结构设计方面还需要充分考虑到各个支撑点之间在受力方面的协调情况，要尽力避免由于同步误差或者受力不均而引发的局部出现过载、结构产生变形或者是运行不够平稳等一系列的问题。

### 3.3 平移与旋转机构结构设计

平移与旋转机构属于剧院舞台机械系统里的关键部分，其在实现舞台空间灵活转换以及达成多场景演出效果方面发挥着重要作用。该机构的结构设计状况会直接对舞台运行的精度、稳定性以及可靠性产生影响。在开展设计工作的时候，务必要充分考量剧院舞台的面积大小、空间布局情况以及演出功能方面的具体需求，科学合理地确定平移平台、旋转台还有相关支撑结构的具体尺寸、布置形式以及承载能力，从而保证在不同工况情形下可以稳稳当当地承载人员、布景、道具以及设备等所具有的重量。就结构设计而言，要清晰明确导向装置、承重框架以及运动传动系统彼此间的关系，借助合理安排导轨、滚轮或者回转支承的方式，让舞台在平移以及旋转的过程当中受力分布均匀，运动轨迹能够精确且处于可控状态，并且切实有效地防止振动、偏移又或者是结构变形等情况给系统运行带来不利的影响。从受力分析的角度来讲，需要全面综合地去考量静载、动载、惯性力以及多个机构联动运行之时有可能产生的叠加载荷等因素，着重对关键承力构件以及连接节点的应力状态和变形状况加以校核。

### 3.4 吊杆及承重结构设计

吊杆系统以及其承重结构，在剧院舞台机械系统里属

于极为关键的部分，主要用于悬挂布景、灯光、道具以及其他各类舞台设备。该系统的具体设计情况，会对舞台运行时的安全性、灵活性还有承载能力产生直接影响。在开展设计工作的过程当中，要依据舞台实际的使用功能、所需的最大荷载情况以及布景的具体布置方式等方面因素，来合理地去确定吊杆的数量、间距、截面尺寸以及材料选型等事项。与此还得精心设计出科学合理的承重框架以及连接节点，以此来保障悬挂物在受到静载以及动载作用的时候，能够保持良好的稳定性并且具备足够的安全性。吊杆还有承重结构，是需要去承受来自多个不同方向的荷载的，像自重、布景的重量、舞台设备所产生的动态荷载，还有在操作过程之中有可能会出现的冲击以及偏载等情况，其受力的特点是比较复杂的，并且会呈现出多种多样的变化情况。所以在结构设计环节当中，务必要全面且细致地去做受力分析以及强度校核工作，要确保各个吊杆以及承重构件在不同工况条件之下，其应力水平以及变形量都能够处于安全许可的范围之内。为了让整个系统的整体稳定性以及运行可靠性得以提升，吊杆的布置情况应当和舞台的升降机构、平移机构以及旋转机构相互之间做好协调配合，避免在多个机构同时都在运行的状态下出现受力方面的冲突情况<sup>[3]</sup>。还需要合理地去设计导向装置以及限位装置，通过这些装置来对吊杆的运动轨迹以及布景的高度加以控制，从而防止因过度偏移或者摆动而给结构带来不好的影响。在材料选择这个方面，得综合考量强度、刚度、耐疲劳性以及对长期环境的适应性等诸多因素，应当优先去选择高强度的钢材或者是复合材料，以便能够满足吊挂物多样化的实际需求，同时也能够符合舞台长期运行所提出的耐久性相关要求。

### 3.5 关键构件材料选择与结构优化

在对剧院舞台机械系统的结构展开设计之时，关键构件所选用的材料以及结构优化的情况，这两者是直接关乎整个系统安全性、稳定性还有使用寿命的决定因素，所以务必要开展科学且系统的分析与设计工作。一开始在材料选择上，得同时顾及强度、刚度、耐疲劳性、耐腐蚀性以及加工性能这几个方面，从而能够满足舞台机械在受到静载、动载以及冲击载荷作用情况下的受力相关要求，并且要保障其在长期且频繁运行状态下的结构稳定性。像高强度碳素结构钢、合金钢还有部分复合材料等，这些是比较常用作承重构件的材料，其中钢材因为具备不错的强度与重量之比、加工起来比较便利以及有很好的可焊性等特点，所以在升降台框架、平移轨道以及吊杆支撑等关键承力的地方得到了广泛应用。接着在结构优化这块，需要综合去考量构件截面的具体形式、布局的方式以及连接节点的设计等方面，借助有限元分析这类工程方面的手段来对受力分布状况、变形特性以及应力集中出现的部位加以评估，然后有针对性地去调整构件截面的尺寸

大小、增强局部的刚度或者采取使用加劲肋等办法，以此达成材料利用效率的最大化并且让系统整体的重量得以降低。

### 4 剧院舞台机械系统工程应用与效果分析

剧院舞台机械系统于实际工程当中的应用情况，乃是检验其结构设计是否合理、系统功能是否完备以及运行是否可靠的关键环节所在，而其实际所呈现出的效果，又同舞台演出的效率高低、表现力强弱以及安全与否有着极为密切的关系。在具体开展工程实施工作的过程当中，得先依据剧院的建筑条件以及演出的具体需求来对系统予以精准布置，这其中就涵盖了对升降舞台、平移与旋转机构还有吊杆系统等进行相应的定位以及安装操作，务必要确保各个子系统在空间上能够彼此协调，在运动时也能顺畅无阻，进而充分满足多场景舞台转换方面的需求。在施工安装这个阶段当中，要严格按照设计图纸来进行各类构件的安装以及连接节点的施工操作，并且针对那些关键的承重部位以及导向机构给予精确的调校处理，如此一来便能够切实保证整个系统在整体刚度以及运行精度这两个层面上都能够达到应有的水准。在调试阶段，通过多次针对驱动装置、控制系统以及联动程序展开测试的方式，促使升降、平移、旋转以及吊杆系统能够实现协调一致的运行状态，并且对于在运行过程中所出现的诸如振动、偏移以及受力不均等这类现象，要及时地加以调整<sup>[4]</sup>。在实际的运行应用期间，舞台机械系统可高效地完成不同演出场景之间的快速切换工作，其中升降台的运行较为平稳，平移与旋转动作也十分精准，吊杆系统则在运行时较为稳定，且其承载能力也比较充足，由此使得舞台布景更换的速度以及演出组织的效率都得到了颇为显著的提升。与此经由工程应用的实际操作情况能够发现，该系统在长时间运行以及处于多种工况作用之下的结构响应特性如何，这些发现可为后续开展的结构优化、材料改进以及控制策略调整等工作提供相应的数据支撑以及实践方面的依据。

### 5 结语

剧院舞台机械系统属于现代剧院极为关键的技术支柱所在，其在结构设计方面以及工程应用层面所涉及的情况，对于舞台能够安全地开展运行工作以及呈现出良好的演出效果而言，有着颇为重要的影响作用。本文针对舞台机械系统的总体结构部分、升降舞台相关方面、平移与旋转机构这块内容还有吊杆承重结构这些展开分析，同时结合实际的工程应用情况来深入探讨该系统的具体运行特点及其实际达成的效果。经过研究可以发现，若能有较为合理的结构设计方式、更为科学的材料选用办法以及经过优化后的布局安排，那么就能够使得系统的稳定性以及可靠性得以提升，进而实现能够在多种不同场景下、具备多项不同功能的舞台运行状态，从而满

足现代剧院在演出方面的各类需求，同时也可为日后舞台机械系统的改进工作以及实际应用事宜提供一定的参考依据。

#### [参考文献]

- [1]张翔宇.现代舞台机械设计对表演效果的影响方式及优化策略研究[J].艺术家,2025(6):128-130.
- [2]刘玉群,杨青青,王惠绮.舞台机械配置与使用的研究分析——以国家大剧院歌剧院为例 [J]. 演艺科

技,2023(3):47-51.

[3]李新胜,胡坚.剧院舞台机械系统建造成本构成要点剖析[J].工程造价管理,2022(1):57-63.

[4]赵永建,王涛,宋宏.剧院舞台机械设备监理质量控制要点[J].演艺科技,2020(9):31-36.

作者简介：朱超尘（1990.11—），性别：男，民族：汉，籍贯：浙江杭州，职称：中工，学历：本科，研究方向：建筑机械设计方向。