

舞台机械 技术创新调研报告

中国演艺设备技术协会 舞台机械专业委员会

“急雨射苍壁，漫穹若注壶。”新冠病毒如疾风暴雨般肆虐全球之时，人类社会治理的罅隙充分显露，而在大国抗疫的众志成城之下，舞台机械行业依靠技术创新依然得到长足地发展，这真是“两岸猿声啼不住，轻舟已过万重山”。

2021年7~8月间，舞台机械专委会对舞台机械行业主流厂商进行了专题远程调研，调研的目的是掌握行业发展的动态、了解企业对技术服务的需求、共享企业创新的成果。

调研的重点是近两年在抗疫的严峻形势下，企业克服重重困难，大力开展技术创新活动，以创新促发展，引领技术提升，稳住市场供求，进一步活跃民众健康的文化生活，所取得的一系列成果。

此次参与调研的业内主流企业（以响应调研活动的时间为序）有：浙江大丰实业股份有限公司、北京北特圣迪科技发展有限公司、北京金东高科科技有限公司、甘肃工大舞台技术工程有限公司、天津舞台科学技术研究所、北京秀域科技文化股份有限公司、广州格睿德工程技术有限公司、杭州子午舞台设计有限公司、成都炎兴自动化工程有限公司等九个单位。

九家企业都积极参与调研活动，进行了充分地研讨及总结，调研获得了大量详实的资料，充分展示了各个企业的技术创新成果，本文仅择其要点分节表述部分内容，供业内共享。

技术创新报告 之一 ——浙江大丰

1 伟大征程

庆祝中国共产党成立100周年大型史诗级文艺演出《伟大征程》为全国人民带来了巨大的震撼。浙江大丰实业股份有限公司设计的舞台设备包含：升降党徽、多自由度鼓、对开移动车台及其他一些设施。

党徽为镰刀和锤头组成的图案，是中国共产党的象征和标志，其外形尺寸达16m×16m×1.5m，重达14T，作为本次文艺演出最为重要的设备，当它从主屏幕后缓缓升起时，以其极具凝聚力的震撼画面突出整个演出的主题。党徽隐藏在舞台中间LED大屏后方钢结构内，通过驱动、传动、导向、配重系统的相互配合，在需要的剧目中冉冉升起，升起后距地面最高可达54.5m，升降的速度为0.003 m/s-0.300m/s，升降行程为19m。为提高其运行的可靠性，驱动系统采用卷扬机+过配重闭环反拉机构，驱动电机采用1主1备双电机冗余。正常情况下，主电机驱动运行，主电机故障时切换到备用电机驱动，最坏情况下（主、备电机均出现故障或电气系统故障时），手动释放制动器，可确保设备实现党徽的顺利升起。

大型多自由度鼓将传统意义上的吉祥鼓变成空间位置自由、组合形式多样的“表演者”。鼓面直径10m、厚1m，可实现整体升降、整体±180°旋转、鼓体±180°旋转、鼓体0°—60°摆动。鼓周围搭载9位演员，鼓面是1块直径约10m的LED网格屏。随着音乐节奏、场景的变化，在舞台上灵活的舞动，绽放机械的生命。

多自由度鼓整体升降采用链条提升、整体旋转及鼓体旋转采用回转支撑+齿轮、鼓体摆动采用电动缸顶升结构，每个动作均采用双备份驱动方式。多自由度鼓要实现“自由”，就需要动作灵活、速度快、精度高，但要搭载演员和LED网格屏，整体体积大，结构设计需面对重载，同时要保证足够的安全可靠性。控制系统有预设停位、紧急制动、定位存储、运

行状态显示等功能，并设有急停按钮。

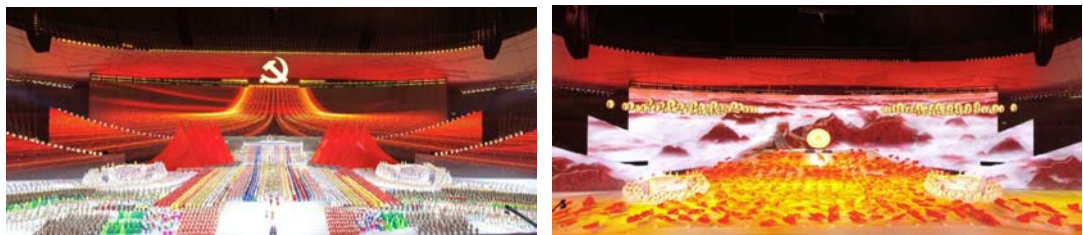


图 1-1、1-2 伟大征程演出现场

2 无锡拈花湾《拈花一笑》

灵山小镇·拈花湾是以“禅”为文化主题打造的“中国心灵度假目的地”，提供禅意文化体验，构建东方传统文化的生活禅乐园。经过国际顶尖团队打造的微笑广场以一场《拈花一笑》沉浸式实景演艺惊艳亮相。

拈花湾微笑广场演艺秀的核心标志是一套具有超现代意义的动态雕塑，他是一尊浮在水面上的巨大人体，可分散成 8 个组件，就像 8 棵奇异的树，盘旋回环，随后慢慢地变回人形。作品采用巨大无比的尺寸旨在征服并抓住永恒——囊括人类体验的始末并超越这一切。他以“四季更迭、生命轮回、对话问禅”作为核心演绎内容，引导观众身临其境地走入梦幻艺术空间展开全景体验与艺术畅想。

动态雕塑位于直径为 60m 的景观水池中，重约 360T，由超过 30 万个零部件组成。开合立柱在水面以上高度约 20m，水面以下 2.5m，立柱可旋转 360°，平移近 8.6m，每个立柱上有形态各异的 45 瓣花片，花瓣可空间升降旋转。当花瓣错落分散在空间立柱上时，散开的立柱形成八棵奇异的花柱，立柱上的花瓣形似春天的姿容，通过智能化控制，最终又聚合成一个 20 多米高的巨人。作品演绎一个发生在人们眼前的奇迹：人诞生于自然，终又回归于自然，不断地重复循环，震撼心灵。

动态雕塑机械装置设备分别由 8 套结构相似的开合立柱和平移机构组成，平移机构均匀的呈圆周整列式分布，可沿着运行轨道向着远离或汇聚圆心的方向运动，平移机构在移动的同时进行旋转，带动开合立柱同步运动，开合立柱从分散状态到合拢成人形需要 450s。其中，开合立柱旋转平移的时间为 180s，叶片变换时间为 150s，运行到安全距离的时间为 120s。

该设备处于太湖开放水域，需经受得起极端雷暴的洗礼；部分设备处于水下，有防腐要求；数十万计的零部件要求具有极高的可靠性；花瓣空间三维运动、机电液集控以及维修维护的便利性等，都给设计、制造、安装、调试等带来极大的挑战。

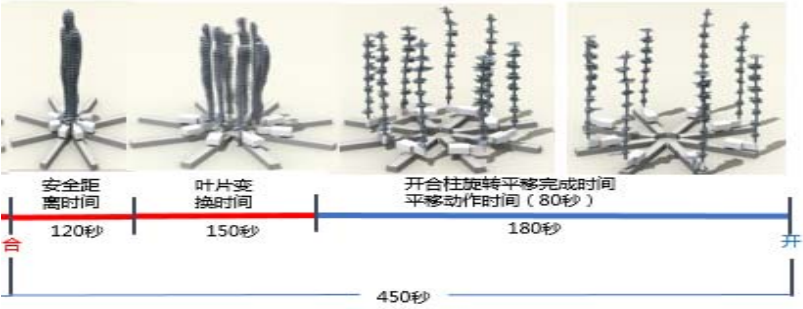


图 1-3 开合柱的运行状态



图 1-4 动态雕塑分开状态



图 1-5 动态雕塑合拢状态

3 贵州山里江南

《山里江南》是以“今生缘”为题眼的光影夜游项目，故事线索的创意灵感来自于“南柯一梦”与“爱丽丝梦游仙境”的故事。主人公青年沐贵以“梦中谪仙”的形象作为中心线索贯穿游线，带领游客进入夜游、深入感受、感动升华。

夜游的整体动线分为 8 个主题区域，这些区域的划分，兼顾了夜游的剧情线演进，文化内涵的主题分布，演绎展项的趣味性、科技感、体验感，游线环境的沉浸感、仪式感，记忆游客游赏的情绪动线、体力分配等问题。

8 个主题区域的划分结合剧情故事命名，分别是“梦之序章”“傩面复活”“前世花恋”“爱在屯堡”“魂舞地戏”“心感花神”“情定今生”“缘在今市”。充满章节感的布局，既与项目设计需求充分吻合，又能够突显区块内的核心看点，充分提升了夜游线路及展项布局的整体性和流畅性，有助于加深游客的沉浸体验感。

夜游的游线是一条跨越前世今生的爱情故事，情节丰富，扣人心弦，为了迎合景区的爱情故事主题，定制了约 2.1m 的非圆形机械心形装置艺术景观造型，当游客进入商业步行街区“缘在今市”时，通过游客触发、音乐等方式使墙上的心形啮合机械装置以 1rpm 的速度开始转动，以此来达到互动的效果。

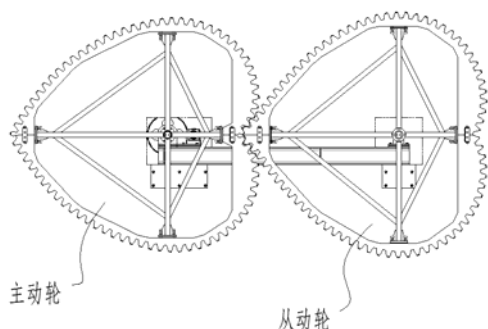


图 1-6 心形啮合机械装置



图 1-7 山里江南场景

4 今夕共西溪

《今夕共西溪》作为浙江省“四十百千”文旅重大项目和“杭州文旅金名片”重点培育项目，总投资 1.5 亿元，以“保护、传承、弘扬西溪湿地的文化历史、民俗非遗”为定位，打造成为“中国自然保护地文化保护传承示范项目、中国文化复兴示范项目、中国文旅融合示范项目”的典范。

项目中舞台机械设计要求能够满足行浸式演出时快速迁换软、硬布景及参与演出的需要。由不同区域的相关装置和设备组成，主要包括：

流线 A 区域，花海表演区布置有 1 套直径 6m 的摆起月亮投影幕，可实现小表演舞台背景的动态变化和背景视频的载体功能；在府前表演区的门脸立柱间布置有左中右 3 套投影卷幕装置，实现全息纱幕投影效果。

流线 B 区域，长廊的立柱间布置有 6 套投影卷幕装置；视听室的空中布置有 18 套升降的 LED 屏装置、1 套飞行单点吊装置和 3 套 T 台升降台装置等。

合流 AB 区域采用带座位的动态观演模式，其中类圆形的旋转观众席可随着表演区的变化进行旋转；后水塘区域布置有 14 套翻转云装置、以及水下表演平台及通道的钢结构等。

为使观众的听觉交流在演出中变得更加自然、易于理解和身临其境，在 B3 小剧场中使用了多通道沉浸式的扩声方式。3D Audio 系统基于对象的方式定位，任何格式的音频内容经过二次混音都可在系统中呈现。播放器同步到外部时间码 (SMPTE LTC) 并通过 OSC 从中央媒体控制系统远程控制。兼容 DANTE、MADI、AVB、ADAT、模拟音频或组合使用。

为使系统有一个稳定的音源播放软件，采用了 QLAB。QLAB 在安装了 Soundflower 音频插件后可以直接内部跳线至 MNTN 系统主机，然后在 MNTN 中添加音轨所对应的对象球，再将处理完的信号通过 MADI 协议传输至 Direct out 接口箱输出至功率放大器，最后在扬声器上呈现整个空间音频系统。



图 1-8 今夕共西溪场景

5 梅州客都人家

《梅州客都人家》原乡剧场位于梅州丙村新建的客乡老街北端，是独具客家文化特色的大型商旅文化综合体。剧场是一座沉浸式演出场所，采用了移动观众席和多表演区结合的观演形式。观众席为可旋转、可多向平移的大型阶梯式露天开放式结构，平时放置在由主舞台区和三个副表演区围合的四合院中央。通过观众席的旋转，观众可观看东、南、西、北四个不同表演区的精彩表演，通过观众席的大距离平移，观众还可观看到水舞台的精彩表演。

表演区域配置了多种功能的舞台机械设备，以实现舞台形式及其环境的丰富变换，使表演的艺术造型、层次、动感更强。

舞台机械设备包括四合院中央的可 360° 转动的中心旋转台，座椅台车。座椅台车运行速度为 0.005 m/s -0.500m/s，行程为 37m，在行程内任意点可停。室内主舞台表演区配置有 9 块 10m×3.8m 的升降台，升降台最高可升至舞台面以上 7m。舞台上空配置有 20 道电动吊杆和 12 套 LED 屏吊机，主舞台后墙外侧配置了平移大门，兼做 LED 大屏对开设备。第

一副表演区配置有 11 台升降走廊吊桥、12 块平移投影幕装置、2 套隔断升降门。第二副表演区没有配置舞台机械。第三副表演区配置有 20 台悬臂装置、33 套电动卷幕装置。

室外水舞台表演区配置有 11 台水中升降砚台，1 台水中翻板台，水中通道钢结构等。

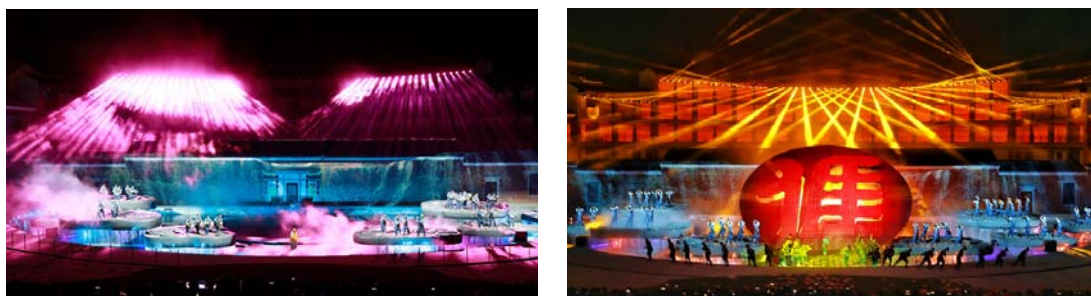


图 1-9、图 1-10 客都人家场景

6 融创重庆

秀场位于重庆市，是专为大型室内秀建造的专用剧场，将体现高能量、超极限运动的品质演出，秀场面积约为 1.3 万平米，设有约 1470 个座位。

舞台表演区域主要为侧墙及水面，其中侧墙主要指两个瀑布墙。舞台机械设备包括 2 套滑车，用于悬挂演员或景物在舞台上空飞行。每套滑车包括 1 套卷扬机及 1 套平移小车。两套滑车共用一套滑车轨道，卷扬机安装在平移小车内。升降通过卷扬机驱动，行程为 30m，加减速时间小于 2s，升降速度 0.036 m/s-3.660m/s，载荷为 20kN，定位精度可达 2mm。平移小车采用摩擦驱动方式，运行行程为 77m，加减速时间小于 2s，运行速度 0.03 m/s -3.00m/s，设备自重 20kN，定位精度 5mm。

平移小车设有手动平移机构及预留维修空间。在故障状态下，工作人员可从维修马道通过人工架设的活动梯进入维修空间，通过手动平移机构将滑车平移到两侧的布景储藏间内进行维修，避免影响另一套滑车的正常演出。滑车设防坠落、防撞检测及缓冲装置。

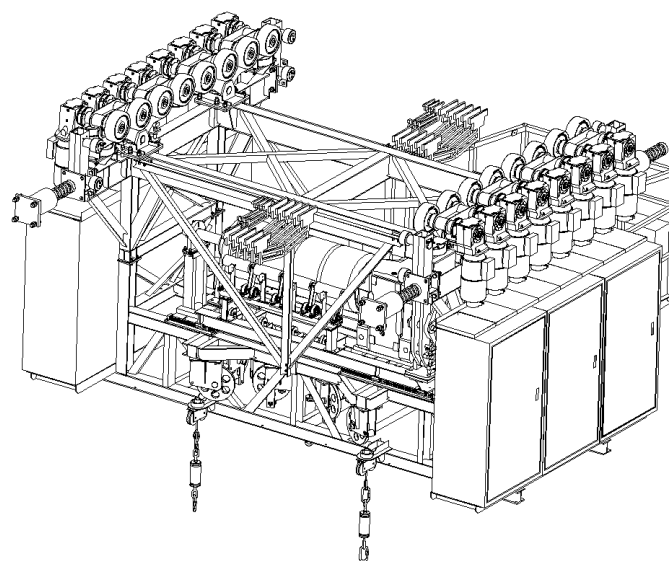


图 1-11 融创重庆 滑车

7 新一代舞台控制操作台

新一代舞台控制操作台一般放在控制室内，可用于装台、排练及演出的所有操作，以及

一些重要参数的设置和监控。为适应新演出的形式和规模，满足更多的功能要求，增加了与灯、音控台同步控制的 MIDI、LTC 时间码接口，还有与接收灯控台指令的 DMX512 接口，而且还内置 12 个 USB、1 个 RJ45 网口、2 个 VGA、1 个 HDMI。

使用多屏组合，除了自带 15 寸高清触摸屏，还可外接 4 个高清触摸屏。采用了模块化可扩展设计，手柄操控模块可扩展，6 个操纵杆能同步运行 6 个场景。配备了独立抽拉式键盘，操作更为简便、专业。且还设置了独立急停按钮，每个操纵杆配两个液晶显示按钮，获取运行状态更方便。



图 1-12 新一代舞台控制操作台

为发挥新操作台的功能，适合国内演出操作习惯，Df StageV8.0 操作系统从界面布局、配色、场景编辑等都做了一定优化，针对复杂演出提供了便捷的图形化编程，可与环境监测系统、装备运维平台对接。

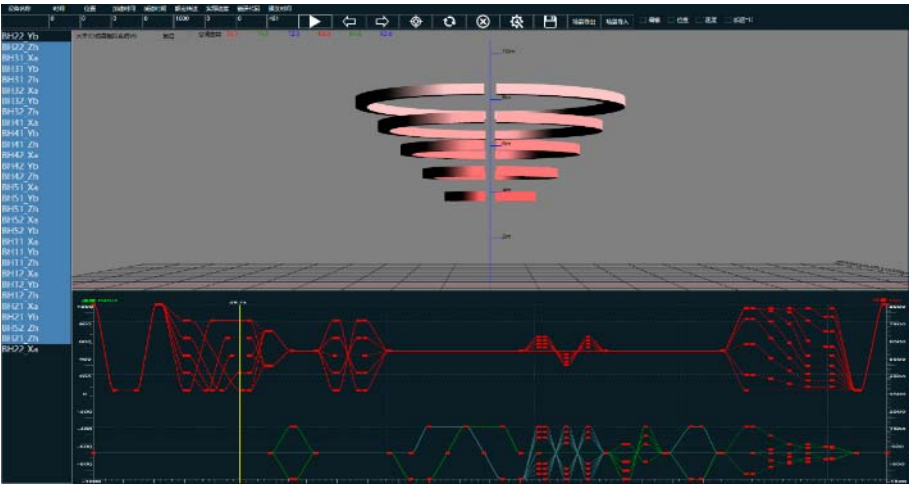


图 1-13 DfStageV8 操作系统

技术创新报告 之二 ——北特圣迪

北京北特圣迪科技发展有限公司，在疫情期间特别注重开展技术研发创新和新产品研发，无论是传统剧场还是各类独具特色的旅游剧场，均在技术上力争抢占行业技术的制高点。

1 神州舞台控制系统—SZCS-7000

公司最新自主研发的 SZCS-7000 舞台控制系统，在原舞台操控系统的基础上，融合自

适应控制、鲁棒控制和模糊控制等先进控制技术。采用模块化可配置编程思想，支持多控制台平行管理、等时授权、实时设备监控和报警分级管控等高可靠安全技术。通过内部支持的多场景、时间轴、数据流等功能，解决与灯光音响等非机械设备的同步演出问题，真正实现一机多控。

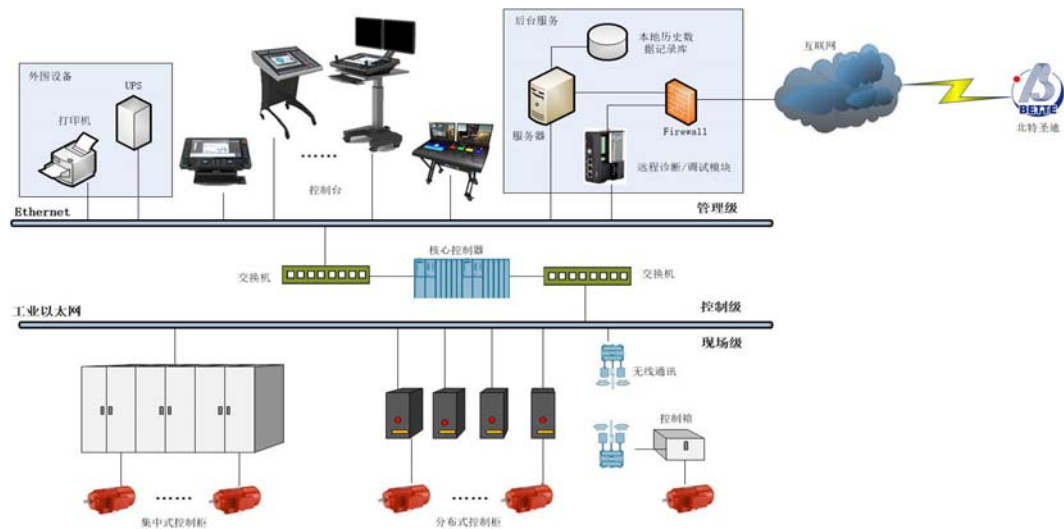


图 2-1 SZCS-7000 舞台控制系统

1) 系统构成

- a) PLC 运行子系统，主要完成运行控制、安全保护、命令执行、状态反馈等。
- b) HMI 操作管理子系统，主要完成设备单控、编场控制、信息图示、维护操作等。
- c) 远程维护子系统，主要完成远程设备数据记录保存、设备数据分析和故障排查、设备数据维护和程序下载。

2) 特色技术和功能

a) 模块化流程可配置

通过系统模块化的设计结构，实现可配置化，提高程序代码复用度，缩短编制及调试时间，降低程序复杂性，使程序设计、调试和维护等操作简单化。

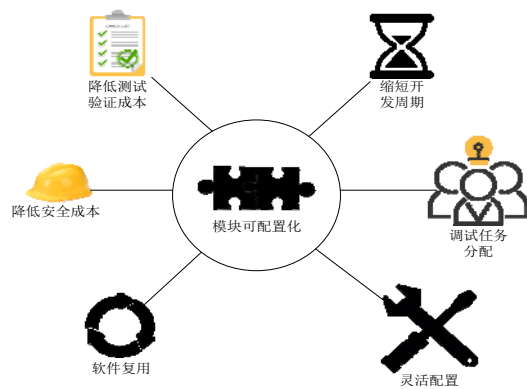


图 2-2 模块化流程配置

b) 多控制台安全管理

所有控制台独立授权、方式平等，之间转换无需等待时间。不因繁冗的授权管理而延缓控制；不因多控制台对同一设备操作而致命令混乱、设备失控。

c) 实时安全监控自整定

采用优先级管理机制,通过故障点报警和互锁规则,保证设备自身及相互间的安全运行。当紧急情况出现安全监控致使设备停运时,可在现场监督人员的看护下,屏蔽外部故障点并解锁运行,保证演出顺利进行。

d) 时间码为基础的运动状态控制

以系统主 PLC 时间为标准运行时间,统一计算时钟,记录所有设备运行状态,保证设备状态一位置的安全性。特别使按照灯光、音响的时间码控制技术控制设备成为可能。

e) 数据信息流显示、传递

以对象字典描述设备状态、属性、命令的数据。通过传递、解析、访问操作对象字典,实现设备数据信息的交互。在此基础上搭建统一的信息处理平台,实现设备的复杂运动操作。

f) 新一代控制台和上位机控制系统

HMI 操作管理子系统是公司开发的新一代上位机系统,结合新一代控制台,实现更强功能,更优化人机交互体验。

主要由三台高清工业触摸屏组成,分别为 27 寸主操作屏、21 寸数据显示屏、21 寸 3D 显示屏。配合控制台上按钮、操纵杆等,主操作屏可方便地实现单控、场景操作,还可完成设置数据、旁路、禁用、归零、屏蔽故障等辅助功能。数据显示屏和 3D 显示屏可方便人员在进行操作的同时,及时查看与运动密切相关的数据和设备实时的 3D 剧场位置。显示屏以不同方式、不同角度完整、全面展示剧场设备的所有信息。

引入 3D 虚拟现实技术,不仅可让操作人员更直观地掌握所有参演设备的运行状态,还能在无需设备参与的情况下实施编场预演,对演出效果加以检验和修正。

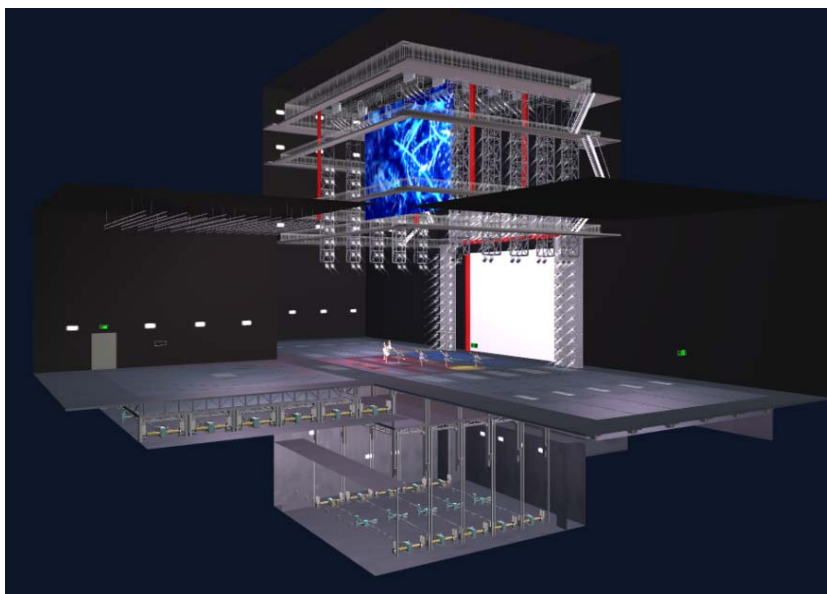


图 2-3 3D 虚拟现实

2 万向表演车台

1) 概述

万向表演车台可运载演员、道具等在舞台场地中自由移动,任意行走,在多种形式的移动中展现其独特的表演效果。

公司从 2019 年立项，经两年的研发及大量试验，使该设备在功能完整性、运行安全可靠、对不同空间场景及各种表演形式的适应性、方便高效的运动轨迹规划、三维人机界面等方面均有较大的提升。该设备应用于肥东大剧院。

产品分控制台和车台体两部分。控制台主要包括上位机、控制台 PLC 系统；车台体部分主要包括车体 PLC 系统、伺服系统、定位传感器。

用户通过控制台发出相应的运行命令，并通过无线通讯传给车体；车体 PLC 接受命令后，利用运动控制算法计算获取每个轮子的旋转角度和行走速度，并发送给伺服驱动器完成运动命令。其中运动控制算法是其核心技术。

2) 功能

a) 可编辑的轨迹生成方法

预设了多种轨迹曲线，快速实现轨迹规划。对于复杂的轨迹规划需求，用户设定特征点，软件自动生成相应的路径，上位机还会对轨迹进行平滑处理。

b) 单控操作

单控操作实现所有单机的相对/绝对定位运动控制，利于设备的调试和校准。

c) 手控/程控操作

既可通过手柄手动控制车台运行；亦可选定好预设场景轨迹，程控车台按预定轨迹运行。

d) 运动模式

转向模式、斜行模式、原地旋转。

3) 特色技术

a) 采用四轮独立转向独立驱动方式，实现灵活运动，并适应较大负载。

b) 灵活多变的运动操作模式

- ① 摇柄转向控制：车体沿手控的轨迹运动，车头沿轨迹切线方向。
- ② 摇柄斜行控制：车体沿手控的轨迹运动，但车头始终保持方向不变。
- ③ 程控转向控制：车体沿预设的轨迹运动，车头沿轨迹切线方向。
- ④ 程控斜行控制：车体沿预设的轨迹运动，但车头保持设置方向不变。
- ⑤ 原地旋转控制：车体接收旋转角度/角速度信号，实现原地旋转功能。

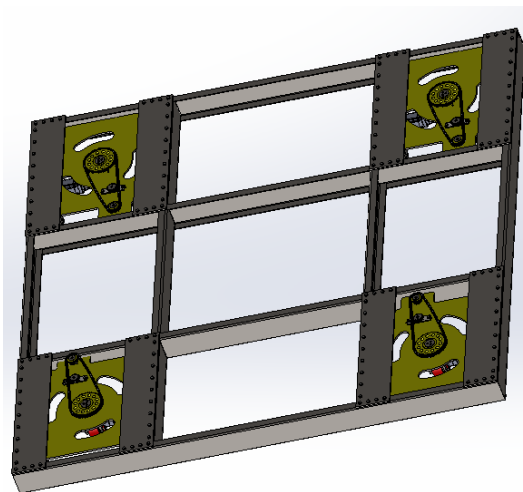


图 2-4 万向车台体

3 具有 SIL3 安全等级认证的舞机控制系统

舞台机械控制系统的安全性、可靠性是整个设备系统的关键，必须满足相关规范要求。通过风险评估方法，如 GB/T 15706《机械安全—设计通则—风险评估与风险减小》，可帮助识别舞台机械设备引起的危险程度，风险发生的可能性、出现频率等因素。舞台机械控制系统通过采用满足相应安全标准等级的安全功能设计，达到降低风险的目的。

SIL 认证是基于 IEC 61508, IEC 13849, IEC 62061 等标准，对安全设备的安全完整性等级(SIL)/性能等级(PL)进行评估和确认的一种第三方评估、验证和认证。功能安全认证主要涉及针对安全设备开发流程的文档管理评估，硬件可靠性计算和评估、软件评估、环境试验、EMC 电磁兼容性测试等内容。

公司于 2019 年 1 月开始研发 SIL3 安全等级的舞台机械控制系统，充分调研了国内外相关舞台行业控制系统的安全现状，收集并学习国内外相关控制系统安全标准，筛选适合舞台控制系统的安全控制产品系列，与认证机构反复沟通，设计出适合舞台安全控制系统的使用需求和软、硬件设计方案。完成安全控制系统设计图纸、控制系统安全程序代码，产品最终通过 EMC 实验室测试和认证机构审核，于 2020 年 2 月取得了神舟安全控制系统（Shenzhou Safety Control System BSSCS-A-01）的 SIL3 安全认证证书。

安全控制系统通过收集舞台控制系统各部分信息，监控整个系统的运行状态，必要时触发相应的安全功能使得舞台机械设备处于安全状态。

安全功能包括但不限于以下方面：

- ✧ 安全转矩关断 Safe torque off (STO)
- ✧ 1 类安全急停 Safe stop1 (SS1)
- ✧ 安全限速 Safely-limited speed (SLS)
- ✧ 安全位置限制 Safely-limited position(SLP)
- ✧ 方向限制 Safe direction(SDI)
- ✧ 安全速度范围 Safe speed range(SSR)
- ✧ 加速度限制 Safely-limited acceleration(SLA)
- ✧ 编组监控 Group Safety System(GSS)
- ✧ 急停 Emergency stop
- ✧ 行程范围限制 Travel range limits

4 上海马戏城舞台机械工程

上海马戏城剧场舞台机械工程项目，专为演出马戏、杂技服务，其主要设备都是非常规、高难度的。加之是改建项目，空间、载荷条件都受到限制，致使许多实施方案都具有较强的挑战性，主要设备如下：

1) Ø14m 片式转台。其空间厚度 0.28m，结构厚度 0.25m，在其上镶嵌一套 Ø2.6m 开合盖板及 3 套 Ø0.7m 开合盖板。Ø2.6m 开合盖板用于在特定位置穿过该转台升起 Ø2.6m 旋转升降台，Ø0.7m 开合盖板用于弹射舞台在特定位置穿过该转台进行弹射演员表演。

2) 多功能 Ø2.6m 旋转升降台。台面下降 3m 升起 1m 总行程 4m，承载可在舞台台仓上下场的表演鱼缸，并在转台中心布置可独立升降旋转的细长立柱，其升降行程 1.5m，用于表演单臂支撑的杂技节目。机坑仅 4m 深，表演鱼缸 2m 高，且鱼缸为重载装置。

3) 支撑防护表演蹦床的 4 套升降立柱。由于机坑浅，升降立柱须采用多级升降方式，并在其中布置精确输送拉网钢丝绳机构及转向滑轮自动调节高度机构。该升降立柱升起拉网

时其水平拉力达 5T。

4) 电脑灯升降及其盖板开合联动机构。舞台上布置有 17 套升降电脑灯, 在其升降时需其上地板盖自动开合, 由于空间过于狭小无法布置盖板开合的独立驱动装置, 故通过升降开合联动机构, 实现一套动力完成电脑灯升降及盖板开合功能。

5) 展臂回转式双绸吊表演装置。布置于舞台中央上空, 为中间 2m 直径回转环带动展臂旋转, 展臂端部布置升降绸吊吊机, 形成空中旋转双绸吊载人表演形式, 其吊机供电及控制采用电缆滑轨, 使其可无限旋转。设备要实现安全可靠运行并配合飞行表演的运动控制。

6) 6 吊点环轨独立运动绸吊表演装置。在空中直径 11m 圆环轨道上布置 6 套各自可独立沿环轨运动的绸吊吊机, 吊机供电及控制采用电缆滑轨, 使其可沿轨道作无限圆周运动, 形成可在圆周上各吊机即可自行至均布又可自行至任意位散布, 可绕行运动绸吊载人表演。

7) 空中倒挂伸缩柱桩机构。该设备用于安装空中飞人廊桥并有调整廊桥高度和间距的功能, 同时要求伸缩柱桩固定牢固, 可靠地承受空中飞人表演时对廊桥产生的巨大动载。伸缩柱桩固定及位置调整均须快速自动完成, 且保证功能实现更要确保人员安全。

8) 弹射舞台装置。马戏城要求弹射表演高度为 2m, 因机坑深度只有 4m, 故最大弹射速度需达 7.5m/s, 要解决过大的冲击载荷, 方案采用伺服驱动系统在行程的后半段施加一反力矩的方式。

该项目还包括几十道全铝卷扬机的吊杆灯杆、能承受较大水平冲击荷载并超稳定的弧形升降台组等。

5 上音歌剧院舞台机械工程

上音歌剧院, 是上海音乐学院这一国内顶级音乐学府文化设施建设的核心和灵魂, 因而定位为世界一流, 其各项专业技术指标要求之高及舞台功能要求之全均与之适应。

为实现卓越的声音效果, 建筑师特为剧场建筑地基基础设计了减震隔震结构, 尽可能隔离外界的震动及噪音, 以使剧场的综合噪声控制在 48 分贝以下, 使其声学效果更佳。其中为实现舞台基本功能和增强舞台表现力而配置的共计 300 多台套、总装机重量达 700 多吨的舞台机械系统也将要求高质量、高品质, 使这些重装设备在运行中达到剧场噪声的指标要求。

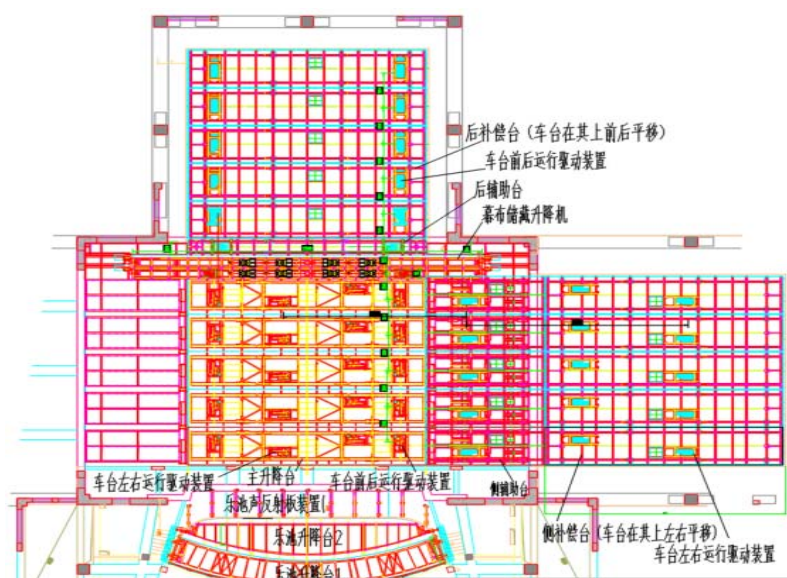


图 2-5 上音歌剧院台下设备平面布置

不仅如此,为更加丰富舞台表现力及高效多变地切换大型舞台场景、增强设备使用功能,其中一些主要设备更是拓展了多种运动形式和功能。

- ✧ 主升降台在机坑深度不够的条件下通过上下层可相对运动的方式实现双层台功能。
- ✧ 侧台车台除了沿舞台横向移动增加了沿舞台纵深方向移动的功能,即可双向移动。
- ✧ 乐池要根据乐队需要可调节深度,故台唇下台仓设一块辅助升降台,同乐池升降台一起实现该目的。乐池升降台分前后两块组成,台唇下布设了安全防护网。台唇前布设了若干块自动开合反声板。
- ✧ 幕布存储升降台要求存储的幕布长达 20 多米。

技术创新报告 之三——金东高科

北京金东高科科技有限公司擅长于有难度的设备技术,疫情期间,公司承接了不少庆典活动或特殊演艺的设备工程,以创新的精神开拓发展。

1 《丝路之声》浑天仪

《丝路之声》是中国首个面向国际市场的“丝绸之路”主题音乐剧,由陕旅集团朗德演艺公司与美国百老汇倪德伦集团共同策划编排,采取驻场演出及全球巡演的市场化运作模式。

1) 结构与功能

浑天仪球体由外圈、中圈、内圈(分别含 3、3、2 道环)共 8 道层层嵌套的圆环组成,最大直径 3.6m;内圈可站 1 人,与外圈相对固连;中圈可绕水平轴(X 轴)旋转,外圈可沿竖直轴(Y2 轴)旋转。球体底座装在一个呈 25°仰角的伸缩臂上,最小长度 2.1m,伸缩行程 2.4m。伸缩臂底座可沿竖直轴(Y1 轴)旋转,底部的车台可沿舞台中心线前后平移 16m。伸展后的浑天仪装置最大高度 6m,最大旋转直径 8.6m。

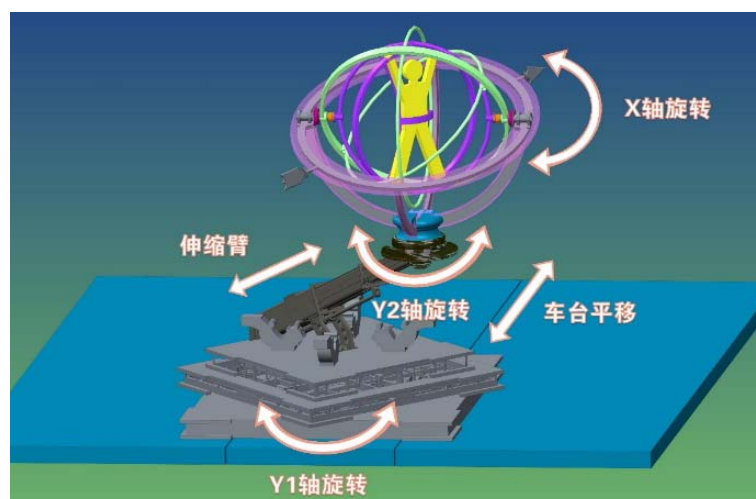


图 3-1 浑天仪运动轴分解图

2) 技术特点

材料和元件合理选型。浑天仪球体需要轻便灵巧,结构选用铝合金材料,机构选用功率密度大的驱动元件,如直驱电机、伺服电机和蜗轮蜗杆减速器。

驱动方式与控制策略因地制宜。沿 Y1 轴旋转采用变频器一拖二的控制策略;伸缩臂采用比例液压控制策略;沿 Y2 轴旋转采用伺服控制策略;沿 X 轴旋转由直驱电机完成,采用

力矩和转速内同步控制策略。

控制系统高度集成。以系统工程思想为指导，综合集成电池组供配电、计算机、PLC 控制器、伺服驱动器及伺服电机、矢量变频器及变频电机、比例液压、工业有线网络总线及无线网络通讯等技术及设备，可谓集机电液于一体，本质安全前提下注重故障安全。

装置中沿 5 个轴运动的技术参数见表 3-1。

表 3-1 沿 5 个轴运动的技术参数

序号	名称	尺寸（长×宽×高） m	行程	最高速度	载荷 kN
1	车台平移	4×4×0.28	16m	1.22m/s	70
2	沿 Y1 轴旋转	3.4×3.4×0.56	n×360°	6rpm	30
3	伸缩臂	长 2.1@仰角 25°	2.4m	0.4m/s	8
4	沿 Y2 轴旋转	Φ3.6	n×360°	12rpm	6
5	沿 X 轴旋转	Φ2.8	n×360°	15rpm	1

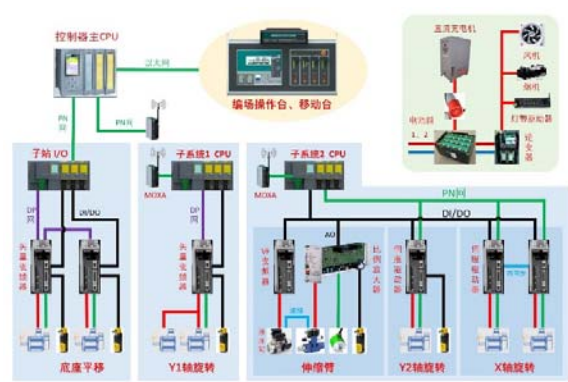


图 3-2 浑天仪控制系统概略图



图 3-3 浑天仪现场实景

2 北京良业科技集团股份有限公司水景演绎门

位于北京光科技园区智慧光影综合技术应用示范研究项目的水景演绎门，集机械滑移回转、升降平移等动作为一体，在极其有限的空间范围内，实现声光电水机械动作一体化功能，在日常是标志性的大门，夜晚是科技演艺秀的序幕，实用功能与表演形式要完美结合。

门体滑移回转机构类似“公交车门”的运动形式，但其结构、驱动形式完全不同。单侧门体需承担近 10kN 的水平方向风力载荷，以及水平方向较大的结构自重悬挑。此机械结构为首次研发，是该项目的难点。

每侧门体设有数个升降板面，升降板面可独立上下运动。演出面为透明聚碳酸酯板，演出背面为不锈钢穿孔板。升降过程中还要完成与下部门体框外表面的平齐动作，即升降与前移的同步运动，其间距控制在 20mm，保证整体的美观。

该项目设备体量小，组合动作联动复杂、幅度大，对机械动作驱动传动设计、结构偏载变形精度要求高，是对舞台机械设计和研发综合技术的特殊考验。设备技术参数见表 3-2。

表 3-2 水景演绎门技术参数

项目	数值	项目	数值
整体高度	2.2 m、4.0 m	升降行程	约 1.8 m
总宽度	约 8 m	升降时间	10 s
开合角度	90°	升降速度	≤0.25 m/s
开合时间	20 s	升降精度	≤±10 mm
屏风开合驱动形式	电机+减速机+齿轮齿条/链条		
升降板面驱动形式	电机+减速机+齿轮齿条/同步带		
位置检测	绝对值编码器		
通电形式	两级拖链，每块升降板面 2 级低压直流		
水帘通水形式	拖链，每块升降板面一路给水管		

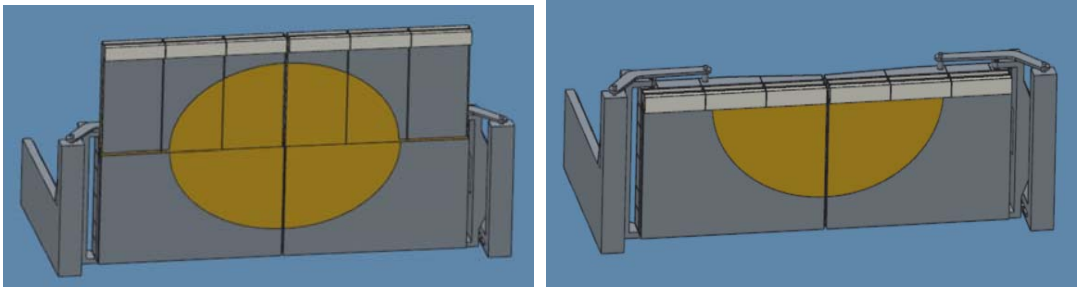


图 3-4、图 3-5 演绎门升降回转三维示意



图 3-6、图 3-7 演绎门现场实景图

3 西安靈御酒吧

西安靈御酒吧采用最新理念设计，利用目前最新的酒吧空间综合利用工艺设计技术、舞台机械设备技术、声光电集成技术等方法，将酒吧上空空间、墙立面综合利用起来，完成空中移动可变表演走廊、墙面立体旋转变换舞台、升降倾斜组合变化灯架、空中双向平移道具灯架台车等综合集成功能，让酒吧空间在多彩变换的灯光演绎中实现空中形态、表演空间的多种组合变化，给客人带来震撼梦幻的全景体验和娱乐享受，是今后酒吧设备工艺设计的参考典型。设备组成及参数见表 3-3。

表 3-3 酒吧设备组成及参数表

序号	名称	尺寸 m	数量	行程 m	速度 m/s	载荷	
						truss kg	灯具 kg
1	环型灯架台车	5.6×4.68	1	5.885	/		
2	环形灯架 1	外ø0.6	1	17	0.1~1.0	22	30
3	环形灯架 2	外ø1.3,内ø0.9	1	17	0.1~1.0	40	50

4	环形灯架 3	外 $\varnothing 2$,内 $\varnothing 1.6$	1	17	0.1~1.0	60	55
5	环形灯架 4	外 $\varnothing 3.6$,内 $\varnothing 2.4$	1	17	0.1~1.0	120	418
6	雕塑台车 1	3.98×2.79	1	13	/		
8	雕塑台车 2	5.88×2.79	1	13.21	/		
11	半环形灯架台车	6.02×11.53	2	6.06	/		
12	半环形灯架 5	外 R2.75,内 r2.35	2	10	0.1~1.0	90	77
13	半环形灯架 6	外 R3.7,内 r3.3	2	10	0.1~1.0	130	83
14	半环形灯架 7	外 R4.65,内 r4.25	2	10	0.1~1.0	160	102
15	半环形灯架 8	外 R5.8,内 r5.2	2	10	0.1~1.0	280	535
16	花瓣烟斗台车	8.92×7.68	1	10.8	/		
20	立式旋转互动舞台	约 $\varnothing 9.2$	1	/	边缘线速度 0~0.048	单个轿厢 静态:2KN	单个轿厢 运动:2KN
21	表演升降廊桥	外 $\varnothing 14.96$,内 $\varnothing 12.64$	1	7.5	0.05~0.50	静态:20KN 均布	运动:20KN 均布



图 3-8、图 3-9 西安灵御酒吧内景实景效果

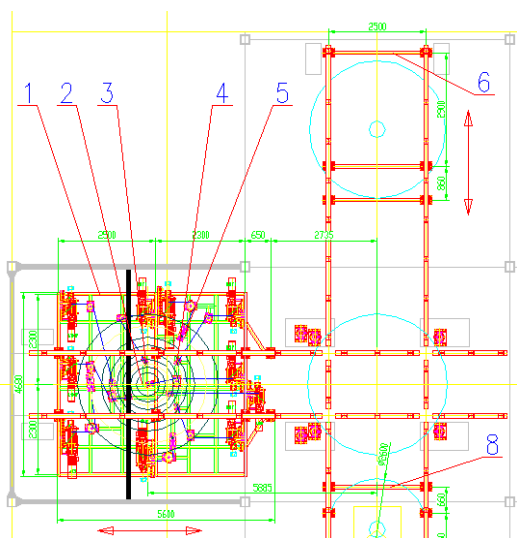


图 3-10 灵御酒吧 24.85m 平面工艺布置

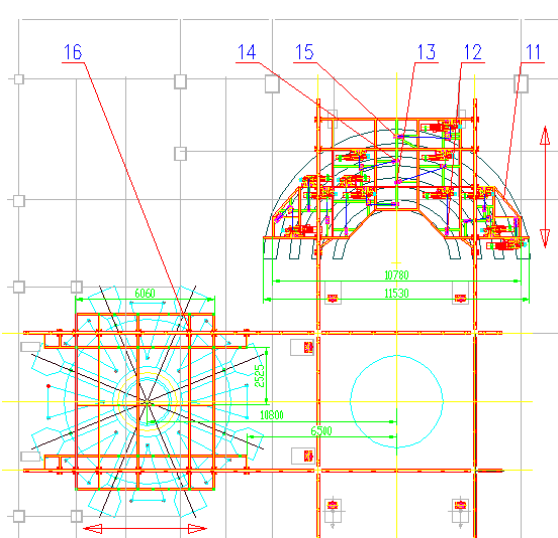


图 3-11 灵御酒吧 15.95m 平面工艺布置

技术创新报告 之四 ——甘肃工大

甘肃工大舞台技术工程有限公司持续加强科技创新，以两化融合信息化平台建设为抓手，以现有项目推动为基础研究对象，积极研发新技术、新产品，拓展舞台机械发展的新领域，强化公司在演艺秀场、特殊要求舞台设备领域中的技术攻关能力，对现有产品进行技术提升、优化性能及使用功能，大力推进产品的标准化、系列化、智能化、协同控制化改造，

实现产品的非通用、非标准的单一产品逐渐发展为组合式协同控制的集成化舞台机械装备。

近两年来，公司申报专利 27 项、撰写论文 9 篇，工程业绩也在不断攀升，先后完成了 30 家重点工程，为文旅产业在疫情后恢复发展奠定了基础。

1 涉水弧形盖板车台

1) 基本参数

承德福成国际马戏乐园 2 台涉水弧形盖板车台台面为扇形样式，每台面积约 24.7 m^2 ，运动载荷 2.5 kN/m^2 ，静态载荷 5.0 kN/m^2 ，运行速度 $0.005 \text{ m/s} \sim 0.500 \text{ m/s}$ ，运行方式是沿圆形轨迹往复行走。

2) 结构及传动方式

根据建筑基础，设有两个同心圆安装基础沉台，弧形盖板车台承重行走轨道设计在直径 16.1 m 和直径 9.9 m 的两同心圆安装基础上。根据使用要求和运行特点，考虑低成本，使用性能高，结构紧凑，传动方式简单等因素，结构设计采用单层结构架体形式，传动方式为液压驱动，链条带动双地轴传动机构，承重行走轮采用大小直径轮，外轨道为大直径承重行走轮，内轨道为小直径承重行走轮，内外圈行走轮为同一地轴机械硬连接。

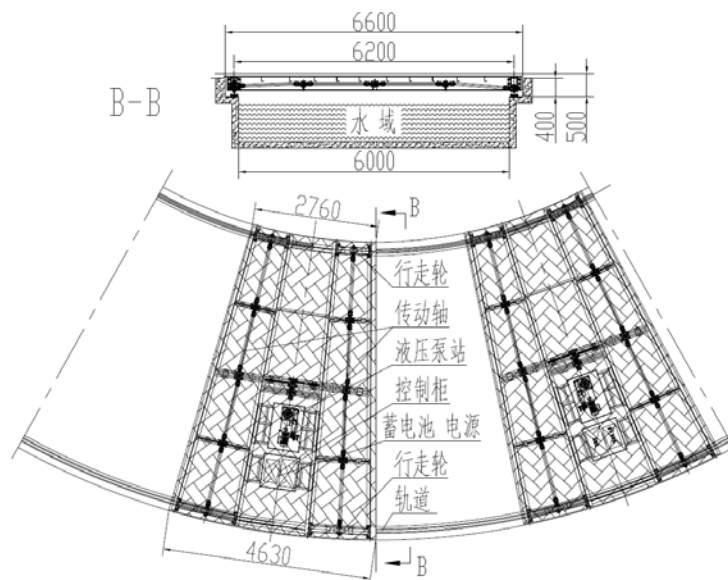


图 4-1 涉水弧形盖板车台结构

3) 防溅水措施

- 台面、架体和其他附属机构采用环氧富锌漆封闭；传动部件：链轮、链条均采用不锈钢。
- 电机和液压马达安装在密封箱体内部。
- 控制柜及电池组件安装于密封箱体内部。
- 控制系统外部上电和充电接口装在平移盖板的侧面，设有防水电气箱，将上电空开、按钮、充电插座装配在防水电气箱里。

4) 设备特点

- 设备可方便灵活地布置传动机构，重量轻，结构紧凑，惯性小，设备启停及运行平稳，负载变化时速度稳定。
- 蓄电池供电，无拖线，电压低，运行时间长；易于实现过载保护，降低维修费用。

- c) 液压传动系统采用比例控制方式和分流集流技术，使系统驱动力具有自平衡功能，驱动装置之间同步控制。
- d) 承重行走轮采用大小直径轮，内外圈行走轮为同一地轴机械硬连接，根据内外圈直径轨迹测算出大小承重行走轮的精确直径。
- e) 无线通信，操作方便快捷。



图 4-2 涉水弧形盖板车台现场实景

2 全向车转台

全向车转台，主要是针对舞台演出时运送演员或道具，运行范围在舞台面任何区域，能实现按规划编场次运行。按照设定路线进行直线、直角转向、曲线、单独旋转、多组旋转、任意设定路径等运动方式，采用了基于 L-SLAM 的激光导航技术以及模块化的核心设计思想。针对舞台的特殊场景，将地图模块化，导航模块、定位模块、避障模块、防碰撞模块、防跌落模块单独设计，分区集成，保证各模块之间独立且紧密联系，并集成了环境感知、路径规划、动态决策和行为控制等。算法控制系统采用基于 5G 技术的无线传输控制，可实时监控设备的状态，远程知晓其位置及运行情况，上层交互系统采用手机 APP 或者平板电脑上的客户端，方便管理，易于维护，集成度高。

- 1) 基本功能
 - a) 驱动方式：两组驱动单元采用差速驱动。
 - b) 停止精度：行走 $\pm 5\text{mm}$ 、旋转 $\pm 1^\circ$ 。
 - c) 行走功能：前进、后退、 360° 任意旋转、原地旋转、多台编组运动。
 - d) 安全防护：激光防护、机械防撞、急停按钮。
- 2) 提升功能
 - a) 快速地图创建：能够完整创建与环境几何一致的 2D/3D 舞台地图。
 - b) 空间精确定位：意外位置丢失后能自动找回当前位置。
 - c) 实时路径规划：具有自由路径和虚拟路径两种路径规划方式。路径中间的过程点能快速平滑切换；自由路径能够自主规划，能在周围环境改变时更改相应的路径，始终寻求最优路线到达指定的坐标点。
 - d) 智能避障：能够实时获取周围环境信息，进行主动避障和紧急停车。
 - e) 人机交互：通过手机/平板进行人机交互，能够获取当前的位置信息、状态信息等，同时能够进行全向车台的运动控制。
 - f) 电池管理：能够显示实时电量信息，且当电量过低时发出低电量警告。
 - g) 开放接口：具备对外开放的通信接口（USB3.0/2.0、网口、串口）、软件接口等。

h) 始终面向观众：全向车转台在任意直线、曲线运行时，其指定面始终面向观众。



图 4-3 全向车转台

3 基于 PLC 的舞台轨道飞行器开环防摇摆控制系统

系统通过开环控制算法达到轨道飞行器防摇摆的目的，并保证系统的稳定性与可靠性。

1) 系统性能

快速性：系统的响应时间为 5ms。

控制精度：系统控制精度为 $\pm 2\text{mm}$ ；

运行行程：水平方向：10m；垂直方向：4.5m。

2) 运动学受力分析

设轨道飞行器的质量为 M ，悬吊物质量为 m ，轨道飞行器受到牵引力为 F ，水平方向的摩擦力为 f ，悬吊物受到拉力为 F_1 ，绳长为 L ，轨道飞行器的运动学受力分析如图 4-4 所示。

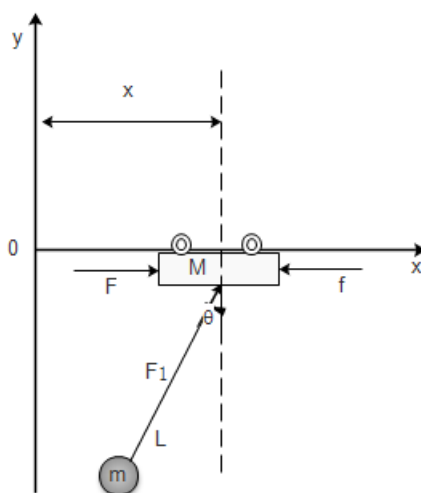


图 4-4 轨道飞行器受力分析

取 x 、 θ 为广义坐标系，对小车建立运动微分方程：

$$M\ddot{x} = F - f + T\sin\theta \quad (1)$$

根据拉格朗日定理，得到轨道飞行器系统的动力学方程为：

$$\begin{cases} (M+m)\ddot{x} + m\dot{\theta}^2\cos\theta - m\dot{\theta}^2\sin\theta = F \\ m\ddot{x}\cos\theta + m\ddot{\theta} + mg\sin\theta = 0 \end{cases} \quad (2)$$

从（2）式可知，轨道飞行器的摆角只与绳长及其水平方向上的加速度有关，与悬吊物的质量、轨道飞行器自身的重量无关。

3) 总体设计

在整体方案设计中，采用前馈控制的思想，以 PLC 为控制器，通过升降编码器的反馈信号确定轨道飞行器的绳长，从而推算出重物摇摆运动的周期，然后通过编写程序算法控制飞行器在水平方向上的加速度或减速度来抑制或消除摆角，不采用摆角传感器反馈摆角来检测偏差而达到防摇的目的。该系统硬件网络结构如图 4-5 所示。

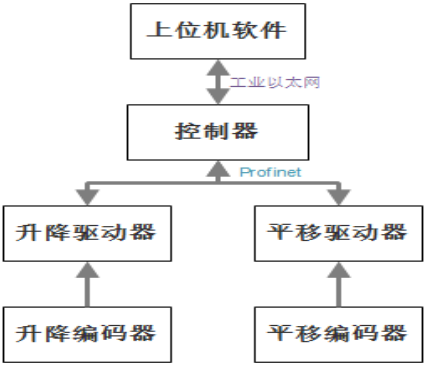


图 4-5 系统网络结构图

软件系统总体设计如图 4-6 所示。

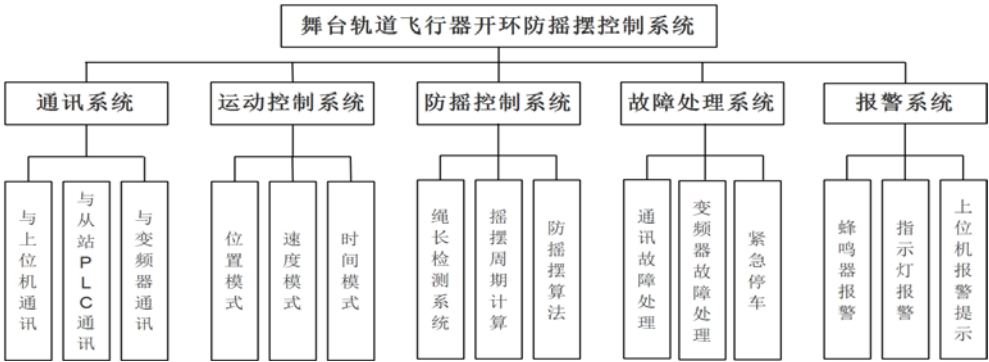


图 4-6 软件系统总体设计

4) 防摇控制系统

a) 绳长检测系统:

通过升降变频器获取升降编码器脉冲信号，然后将其换算为位置信号，以此来获取当前飞行器的绳长。设飞行器垂直方向上的行程为 D，当前位置为 X，绳长为 L，则绳长 $L=D-X$ 。

b) 摇摆周期计算:

在忽略空气阻力等的情况下，飞行器钢丝绳上的悬吊物近似做简谐运动，其摇摆周期为:

$$T_p = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \dots\dots\dots (3)$$

式中: g —重力加速度, $9.8m/s^2$; l —绳长, m。

c) 防摇摆算法

该算法通过对摇摆周期的前 $T_p/2$ 周期内的加速过程进行干预，将前半周期划分为两个 $T_p/4$ 周期，前 $T_p/4$ 产生摆角，后 $T_p/4$ 抑制摆角，从而达到在轨道飞行器加减速过程中消除

摆角的目的。加速过程中的防摇摆算法程序流程如图 4-7 所示。

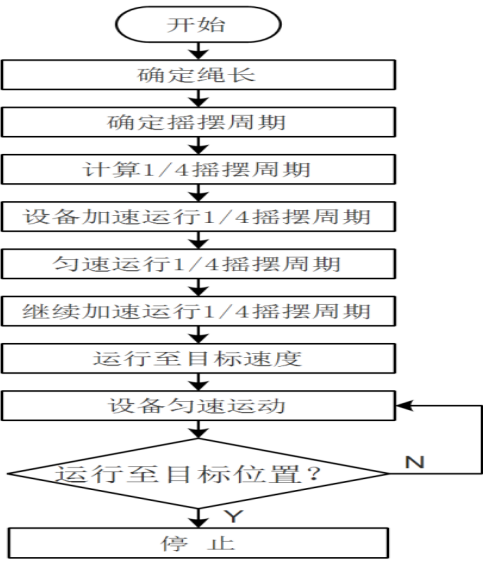


图 4-7 加速过程防摇摆算法流程图

5) 测试与应用

建立轨道飞行器系统，设定平移变频器的加减速时间为 2s，绳长为 3.5m，目标转速 $n=1500\text{rpm}$ ，平移距离 6m，重力加速度 $g=9.8\text{m/s}^2$ ，得出摇摆周期 $T\approx 3.7549\text{s}$ ，则 $T/4\approx 0.9387\text{s}$ ，在不加防摇摆的情况下，得到变频器的曲线如图 4-8 所示。

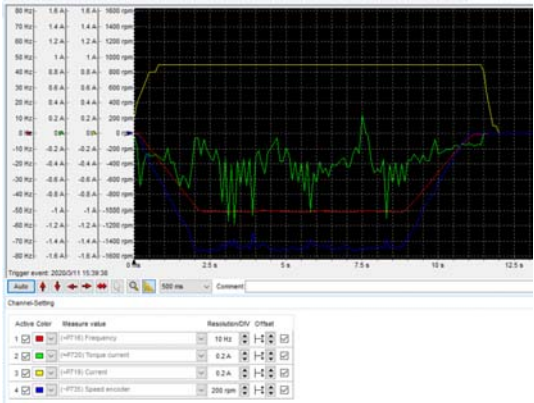


图 4-8 未加防摇的运动曲线

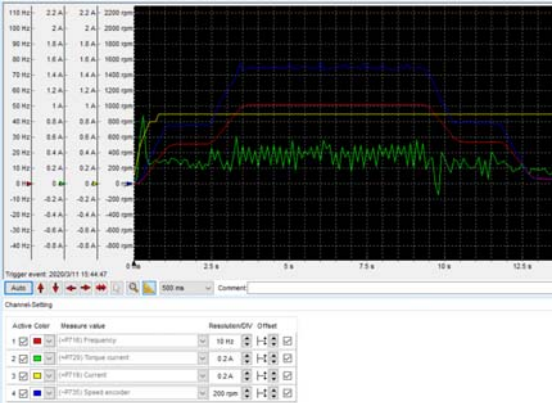


图 4-9 加防摇后的运动曲线

其中：红色曲线—当前频率；绿色曲线—实际转矩电流；黄色曲线—实际电流；蓝色曲线—实际速度反馈。

在上述条件不变的情况下加入防摇摆算法：当轨道飞行器匀加速至 1/4 周期时，变为匀速运动，继续运行 1/4 周期时间后再做匀加速运动，在 3/4 周期时达到目标速度，而后继续做匀速运动。运行一段时间后开始减速，当速度减小 1/4 时间时做匀速运动，匀速运动 1/4 时间后继续减速，直至速度降为 0，整个过程结束，得到如图 4-9 所示的运动曲线。

由于没有加摆角测量装置，无法准确的获取实验数据，但是通过测量振幅的方式得到了在给定位置、绳长的情况下，速度变化与不加防摇摆与加了防摇摆算法的振幅变化的关系。如表 4-1 所示。

表 4-1 随速度变化下振幅的大小

速度 m/s	不加防摇算法的振幅 (mm)	加防摇算法的振幅大小 (mm)
0.2	180	44
0.4	223	56
0.6	266	73
0.8	285	87
1.0	320	94

从表 4-1 看出，在其他因素不变的情况下，加防摇控制算法的振幅远小于不加防摇算法的振幅。该项目成功运用于银川大剧院。

技术创新报告 之五 ——天津舞台所

演绎红色经典，砥砺接续前行。天津舞台科学技术研究所，在疫情期间先后参与完成了多部大型红色经典历史舞台剧的创作，运用演艺科技创新，活化红色经典，激发内心深处的文化自信和最基本、最深层、最持久的精神力量，“讲好中国故事，传播好中国声音，阐释好中国特色，展示好中国形象”，向党的百年华诞致敬！

1 大型红色历史舞台剧《重庆·1949》

《重庆·1949》以重庆解放前夕为背景，以磁器口为中心，多条主线并行演绎。一条主线展现了林子杰、林子豪、林子雄三兄弟之间的骨肉亲情、矛盾纠葛和家国情怀，以及他们在各自理想和信仰面前作出的不同抉择；一条主线围绕着以金秀为代表的，被关押在渣滓洞、白公馆的共产党人、民主人士，他们在狱中坚贞不屈，忠诚信仰，最后英勇牺牲；一条主线围绕着重庆地下党营救狱中同志、保护重庆重要设施展开；还有一条主线聚焦狱中幸存的孩子，展现了先烈们选择坚守信仰、不惜牺牲的目的和对未来的希望。这几条主线并行交织，共同构筑了整部剧恢弘的历史画卷。

《重庆·1949》，以广阔的时空纬度、360° 度旋转沉浸式舞台，全新演绎红岩经典，讲述红色故事，传承红色文化，再现中国人民解放军解放重庆，并与重庆人民一起保卫城市的宏大场景！

1) 独特的剧院和舞台表现形式

旋转舞台沉浸式体验——舞台和观众席由 5 个可 360° 旋转的圆环组成，其中 1、2、3 环为核心表演及布景区域，4、5 环既是舞台也是观众席，演艺空间与观演空间交相穿插，观众与演出融为一体，亲临其境参与到演出中。70 分钟演出时间内，观众仿佛身在一个永不停歇的钟表盘上，随着人物的命运在与时间赛跑。观众席 360° 的旋转，时而穿过狭窄的街巷，时而面对汹涌的嘉陵江，枪声就在你的耳边响起，炮弹“震翻”你的座椅；透过牢笼，甚至看得见革命者脸上的血在流淌；抬头仰望，滚滚的江水从天而降……。

2) 大型智能舞台装置震慑人心

吊脚楼建筑群、石阶与牌坊、巨轮扬帆、实景再现磁器口码头、监狱岗哨和铁牢等，舞台空间的旋转交错、舞美布景的恢弘气势，加上裸眼 3D 动态全景音画、智能灯光的烘托。每一分每一秒，眼前的景物都在变化，观众置身在这个变换空间，同一时间里，不同的角度，构成了一幅幅生动的超现实场景。

3) 艺术科技闪回复现“红岩精神”

舞台表现手法在更广阔的时空中多维度展现宏观与微观的叙事场景，形成具有“蒙太奇演绎方式”的物境、意境和情境。观众通过极具震撼性的沉浸式体验和全面、立体的感官冲击，接受红色经典的精神洗礼，达到“滋养初心，淬炼灵魂”的思想升华过程，领悟到那段满含悲壮而又令人肃然起敬的“红岩精神”……。

天津舞台所参与该剧的创作始终，承担舞台机械总工艺、装备制造、安装、调试全过程。

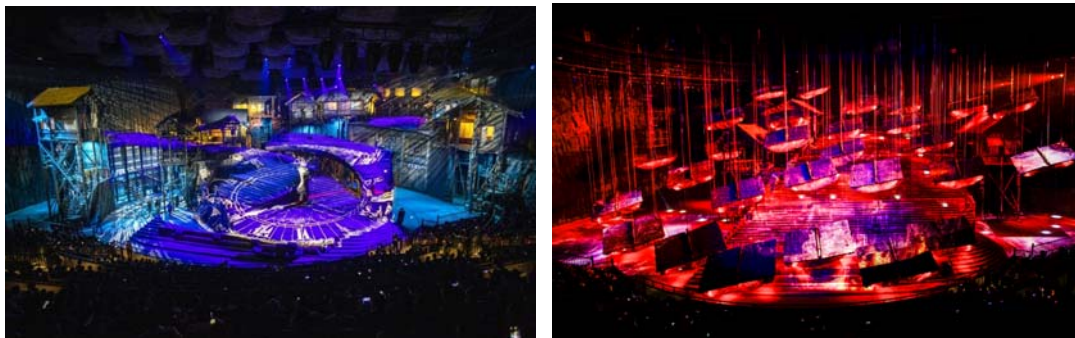


图 5-1、图 5-2 《重庆·1949》演出场景

2 大型实景影画剧《鲁镇社戏》

为致敬鲁迅诞辰 140 周年，《鲁镇社戏》于 2021 年 4 月 29 日下午，在绍兴柯桥区柯岩风景区鲁镇剧场首次公演。

该剧由序、鲁镇、闰土小船、社戏、阿 Q、辫子、药和尾声这八幕组成。以一个小学生偶然穿越百年鲁镇，想要逃离却找不到出路的故事为线索，真实再现 100 年前闰土、阿 Q、祥林嫂、孔乙己、狂人等经典人物在吃人的旧社会和封建礼教压榨下，所经历的跌宕起伏的命运故事。

鲁镇剧场为室内的情景体验剧场，剧场主体以“稽山鉴水、粉墙黛瓦”为设计理念，将江南水乡的山水、帷幕、白墙、青瓦、唯美挑檐等传统符号融入其中。

剧场内部舞台中间则有许多书本散落堆叠形成一个立体书阵，席位两侧有两个巨大的手臂握着这个书阵，观众仿佛坐在巨人的怀抱，一起阅读先生的经典名著，更好地将剧中所具有的心灵冲击力带到现实。

该剧场主要以 44 块可高速平移、旋转、升降的 LED 屏配合多种非标定制机械设备，结合舞台美术效果、灯光渲染、音效合成，将鲁迅的作品完美的展现在观众眼前。



图 5-3、图 5-4 《鲁镇社戏》演出场景

3 大全景式《平津战役》多维演绎

天津舞台所承担了总策划、总设计、总承包的工作。2021年2月17日进场施工，现正在进行中。

“大全景式《平津战役》多维演绎”，通过战役“实况”再现的方式，让观众在波澜壮阔的“战役环境”氛围中，体会战争的酷烈和先辈的英勇，感受和平来之不易，坚定“不忘初心，牢记使命”的信念，为缅怀革命先烈、开展爱国主义和革命传统教育发挥更大作用。该项目按照“主题鲜明，内容翔实，技术先进”的理念，运用现代最先进的“虚拟现实、实景参演，混合现实、虚实交互”的全时空再造，形成独特的战役时空运动、并列、交叉、迭加、互动与隐现，生成史诗级的、穿越式的、震撼人心的“战役实况”，让“平津战役在观众眼前和身边发生”。



图 5-5 秘密入关



图 5-6 津城攻坚

技术创新报告 之六——北京秀域

近两年，在抗疫的严峻形势下，北京秀域科技文化股份有限公司致力于高端产品的研发，并结合娱乐场所的工程项目，着力提升舞台机械工程能力，以更好地适应多样化的市场需求。

1 可移动高速吊机

当前，舞台机械定制设计越来越多，尤其旅游剧场的设计更为丰富，变化异常，且在设备布置的灵活性方面提出更多要求，也对设备的速度、载荷、使用频率等性能提出更高要求。根据这些特点，公司开发了可移动高速吊机见图 6-1，主体结构见图 6-2。



图 6-1 可移动高速吊机

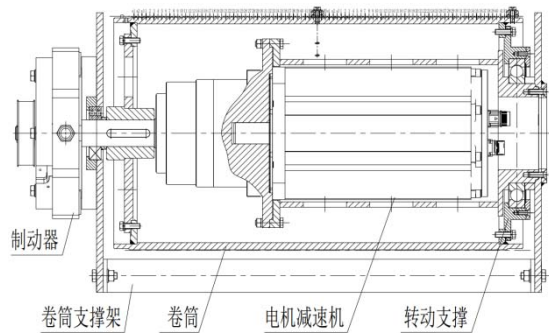


图 6-2 高速吊机主体结构

可移动高速吊机设备总长 780mm，宽 540mm，高 605mm，总重量约 250kg，体积小，重量轻。根据业主的不同需求可调整设备，改变外形尺寸。

驱动机构整体放置在一个定制的铝合金框架内，钢丝绳所有出绳轮均布置在内，可根据使用情况调整钢丝绳出绳方向。框架安装有行走轮和万向轮，让卷扬机成为一个可灵活行走的设备。使用时根据现场演出要求将其布置在所需的地方，且可根据演出剧目的调整而将其随时改变位置。

可移动高速吊机既可以作为单点吊机独立使用，又可多台联动，作为如 3D 吊机、多点吊机等使用，增加演出的灵活性和功能性。

1) 高速性能

可移动高速吊机的速度最高可达 5 m/s，调速范围为：0.05 m/s -5.00m/s。

吊机具有两种工作模式，一种是两吊点吊机，每点载荷 2KN，容绳量可达 30m；一种是单吊点吊机，在同样载荷和速度的情况下，容绳量可达 60m。两种工作模式根据需要选择。

产品设计时将电机减速机作为一个整体装置置于卷筒内部，减速机端连接同步带，带动自排绳机构，解决钢丝绳出绳角问题。电机端设置有转动支撑，电源线连接也从这里进入。具有结构紧凑、传动效率高、噪声低、占据空间小等优点。

采用伺服电机，相比普通电机，具有精度高、高速性能好、响应快、过载能力强和运行平稳等特点。设备也便于多台吊机的组合使用，同时也能提供更好的控制性能。

针对这种高性能的要求，在设计时采用 Ansys 和 Solidwork 软件计算机械的强度，加工时不断地动平衡实验保证设备的稳定运转。

2) 安全性能

卷筒两端固定在架体上，形成一个稳定的结构。整个设备设有行程检测、松绳检测、跳绳检测、过流保护等，保证设备的安全可靠。

高速吊机在伺服电机上配有单制动器，减速机输出轴端外加制动器，形成双制动模式。这种高速端和减速端两个独立的制动器，是目前国际上最认可的制动模式。

可移动高速吊机极大地满足了旅游综艺演出时高性能的设备技术要求，又充分地适应相对简陋多变的安装条件，为演出提供了更大的便利和更可靠的效果。

该设备作为公司自主研发产品，正在申报专利。

2 汕头 ARK 酒吧舞台机械系统

每座城市都有自己的独特味道，北京的古香古色、上海的摩登、重庆的火爆，而南方城市汕头则是沿海的改革开放精神，酒吧文化成了当地夜生活的精彩特色，随之对演艺空间机械设备性能的要求更高。

该酒吧建筑面积 540m²，空间净高 12m，人员与运动的设备同在一个空间，上空设备造型是一个平面的类似八卦阵图形（见图 6-3），通过这些机械设备的升降、摆动等组合变化，配合灯光、LED 表演，其效果给人以科技感十足的震撼感觉。

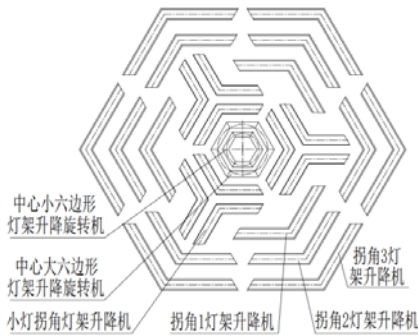


图 6-3 多种灯架布局



图 6-4 酒吧演出实景

除中心大、小灯架外的 24 组灯架，每个都可以独立升降并全方位摆动 $\pm 30^\circ$ ，也可与其他任何一个灯架一起联动，同步升降摆动，达到 2D 和 3D 效果。

1) 设备技术配置

该项目共有升降设备 74 套。

中心 2 个环形灯架，每个灯架有 6 个吊点，用 1 台 6 吊点卷扬机驱动整体升降；另加设旋转装置，环形灯架可整体旋转。

其余灯架均配置 3 个吊点，每个吊点用 2 根钢丝绳吊装，共有 3 台双吊点吊机，每台吊机都可独立运动，通过对每台吊机的驱动收放钢丝绳控制每个灯架实现升降和 $\pm 30^\circ$ 的摆动。

表 6-1 设备清单

序号	设备名称	数量	参数配置	载荷 (kg)
1	中心小六边形灯架升降旋转机	1	六边每边 1040，高 1000，6 吊点，升降旋转各 1 套驱动	600
2	中心大六边形灯架升降旋转机	1	六边形每边 1732，高 1000，6 吊点，升降旋转各 1 套驱动	800
3	小灯拐角灯架升降机	9	单边长 2570,120 度，高 600，3 个驱动点	350
4	拐角 1 灯架升降机	3	单边长 3350,120 度，高 600，3 个驱动点	450
5	拐角 2 灯架升降机	6	单边长 4240,120 度，高 600，3 个驱动点	450
6	拐角 3 灯架升降机	6	单边长 4300,120 度，高 600，3 个驱动点	450
注：所有设备升降行程：10m，升降速度：0.006m/s ~0.600 m/s				

该项目整个栅顶空间狭小但设备很多。若采用卷扬机平出绳布置，则栅顶势必布满钢丝绳，将使人员不便操作，还有不安全因素。故在栅顶上方增设一层滑轮梁，卷扬机采用上出绳结构。但栅顶净高受限（仅 2.2m），再增加滑轮梁层后，钢丝绳偏角达不到要求，故双

点吊机采用自排绳机构。充分考虑滑轮安装空间来设置滑轮梁，滑轮布置还要避开原有建筑结构的两道斜梁。

考虑到栅顶受力和栅顶整洁性将卷扬机统一布置在栅顶两侧，每台卷扬机出绳后由转向滑轮导引至吊点。栅顶卷扬机安装如图 6-5 所示。

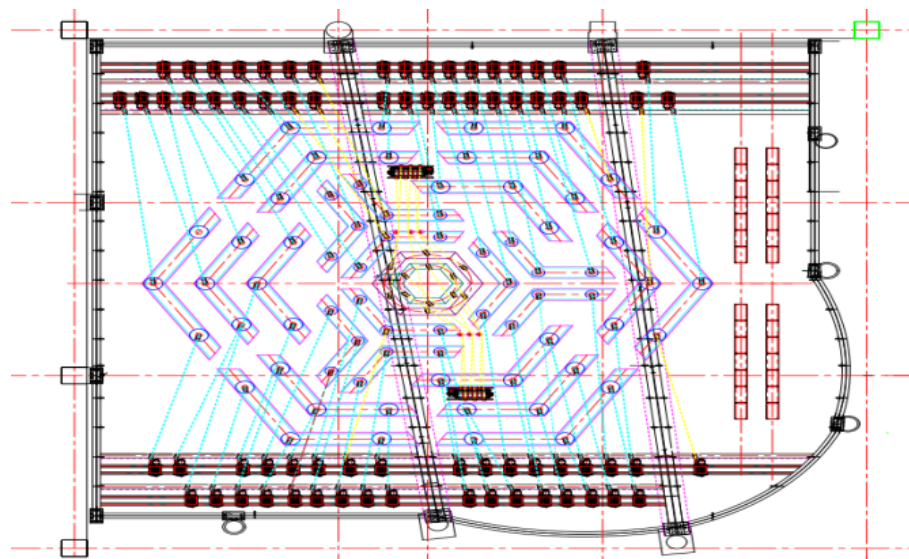


图 6-5 卷扬机安装

2) 安全措施

所有安全措施都严格按照 WH/T 28-2007《舞台机械 台上设备安全》的要求设计与制造。同时解决好由于灯架摆角引起的晃动问题。

a) 将双点吊机最后的吊点滑轮设计为转向滑轮，当灯架摆动时，钢丝绳随之发生一定角度的偏移，滑轮随钢丝绳的变化进行转动。

b) 当相互临近的灯架都进行摆动时，如果距离太近就有可能发生碰撞，距离太远则影响舞美灯光效果，采用三维软件建模进行动态模拟，保证设备安装后摆动时其间的合理距离。

c) 每组灯架的吊点位置设置，尽量将吊点的重心和整体外形的形心重合。

d) 灯架上悬挂安装点采用万向轴头连接。

3) 控制系统

使用两台全功能的双屏显示移动控制台，一主一备，提供人性化的用户操作界面；服务端配备两台高性能的 Linux 操作系统的冗余服务器，提供数据存储、交换等功能；控制端 PLC 采用 2 台西门子 1500 系列；网络采用 2 套以太网；软件系统采用秀域科技基于 c/c++自主研发的 Showworks-2000 舞台机械控制系统。

4) 控制系统的特点：

a) 分布式的系统架构

分布式控制方案数据传输速度快，即使某台设备故障，也不影响其他设备的运行。主控制器由两级控制完成，多台 PLC 加模块，实现系统的程控、集控、单控功能、紧急停机。

b) 利用数学算法实现安全互锁功能

3 台吊机为 1 组灯架提供 3 个吊点来实现，为使 24 组设备带 72 个吊点在空间自由组合运动，同时满足效果要求，将设备 3 点平面与其投影平面的夹角范围限制在一定角度内，利用算法计算，通过编程转换到程序运行来实时监控每组设备 3 个吊点的位置。

当该组设备倾斜幅度超过设定范围或任意两个点超过设定数值，则触发该组的安全互锁，该组设备 3 个吊点均进入急停状态，同时将报警信息反馈给上位机显示。

c) 利用数学算法解决设备晃动问题

通过多次反复试验利用数学计算，实现每组设备 3 个吊点从起始位置到目标位置运动过程中重心始终稳定在一个不致于引起晃动的范围，从根本上解决设备柔性控制的晃动问题。

d) 利用自定义的 tcp/ip 通讯协议解决通讯效率问题

通过以太网自定义通信协议接口，使得上位机和下位机之间的沟通变得透明化，不会产生因为未知原因带来的错误，增加调试效率。同时利用服务器高性能的 CPU 和多线程、多任务的处理机制，提高数据的传输效率，增强实时性和安全性。

e) 紧急停机系统

将安全继电器应用于急停系统，急停链与传统的急停系统最大的区别在于启动条件的监控，关键元器件在故障排除前，系统的启动将被禁止，防止危险情况的再现。

f) 百毫秒级别的数据刷新频率无滞后感

系统对所有的设备进行实时检测并将参数实时显示到操作台上。共检测 72 台变频器驱动的设备轴，设备的状态信息刷新频率均可达到百毫秒级，能够让机械系统在整个运转过程中都是持续变速动作，让机械系统如行云流水般运作。

技术创新报告 之七 ——广州格睿德

2019 年末以来，广州市格睿德工程技术有限公司面对疫情的挑战，大力开展技术创新，不断加大技术研发力度，研发出伸缩式 LED 球形屏及多功能 LED 机械旋转装置获得成功，先后申请国家发明专利。同时，设计实施佛山千灯湖大型水中智能升降装置工程圆满竣工。

1 伸缩式 LED 球形屏

伸缩式 LED 球形屏，通过数组伸缩驱动机构与数个 LED 显示模块相结合，以构成可进行爆炸与闭合切换展示的 LED 显示球体，不仅可在闭合状态下进行常规的内容显示，而且通过数组伸缩驱动机构对数个 LED 显示模块进行反复平稳地伸缩展示，实现显示屏运动的多样性和外观组合的多样性，特别适用于表演、娱乐、商业、广告等方面应用。



图 7-1 球形屏车间装



图 7-2 球形屏展会实景

球形屏机械机构组成采用模块化设计，模块支架、导轨、驱动机、万向屏幕调节支架等组成一个驱动模块，安装于中心轴上。各模块位置精度由加工和调节双重保证，屏幕角度由万向调节支架保证。采用总线控制，布线简洁，定位精准，可任意控制各个单元屏块的运行状态。该装置目前有 2 个规格。

小球由 12 块球屏块组成。

闭合直径：1.2m；爆开直径：1.7m；屏块行程：0.25m；伸缩速度：0.05m/s。

电机参数：额定电流 2.1A 额定电压 24V。

大球由 42 块球屏块组成。

闭合直径：2.5m；爆开直径：3.5m；屏块行程：0.5m；伸缩速度：0.1m/s。

电机参数：额定电流 3A 额定电压 24V。

格睿德没有停止技术创新的脚步，一直秉承“以钢铁之驱，承载艺术之美”的创作宗旨，以智造的手法赋予钢铁以精巧与灵动。

2 多功能 LED 机械旋转装置

该装置可实现各屏块单元 360° 无限连续旋转功能，结构主要由一根特制的金属中心轴连接各旋转单元，控制系统对每个旋转单元实现旋转角度与速度的精确控制。通过包含数个 LED 屏块单元的数串屏块组相组合，构成 $m \times n$ 矩阵展示屏，可形成显示墙、表演墙、艺术墙等，赋予整块旋转屏更多个性化功能。控制系统还兼容扩展功能，如加上内置传感器，这面墙还可与人互动。除此之外，使用专门的 APP，还可设定各种图案，取代传统的 LED 屏，做广告牌使用。

屏块为一个独立的驱动单元，由外框、显示屏、步进电机（或伺服电机）传动装置、导电滑环等组成，屏块外形尺寸 $400 \times 120 \times 90$ ，驱动电机参数：额定电流 1.7A，额定电压 24V，转速 2r/s。中心轴为空心结构，所有动力线及信号线通过中心轴及导电滑环输入给驱动电机及显示屏。采用 DMX 控制，可单独控制其中一个机构动作，也可多个机构一起控制，集中编排动作，实现各种图案变化。



图 7-3、图 7-4 球形屏展品实景

3 大型水中智能升降装置

佛山南海千灯湖大型水中智能升降装置，位于佛山南海区千灯湖水面范围内，装置由 40 米的桁架和两端的 4 节伸缩桁架组成，整个装置可全部沉没在水中，伸缩桁架完全伸出

时高达离水面 15m，36m 宽的银幕利用地轴智能收卷系统，随着桁架一起升降，形成全息投影巨幕，打造错落有致、层次分明的多维立体沉浸体验空间。

装置由横梁、伸缩立柱、卷幕装置及液压系统等组成。横梁为一桁架结构，40m×1m×2m，分段组装。左右两个伸缩立柱各由 4 节组成，每节间通过不锈钢 T 形导轨导向。液压系统由 2 台 45KW 液压泵站、6 条液压缸、1 台液压马达及附件组成。每个伸缩立柱上下分两组，分别由各自的液压缸和钢丝绳组合驱动，下面一组由 2 条液压缸 8 条钢丝绳驱动，上面一组由 1 条液压缸 4 条钢丝绳驱动。由于是多条液压缸同步运动，所以液压缸内内置有速度位置传感器，采用液压系统伺服闭环控制达到多条液压缸同步要求。减速液压马达驱动卷幕轴，利用液压系统压力控制可使幕布拉出或卷入。

通过 PLC 对液压缸的动作进行全闭环控制，实现桁架的安全平稳升降的同时，通过控制地轴收放的扭矩和速度，配合桁架一起升降，达到桁架升降与巨幕收放完美结合的效果。

使用 profinet 总线控制，通讯效率快速高效。闭环控制系统，能够快速精准地实现定位。搭配 HMI 设备，可实时查看各个机构的信息，管理方便。

设备升降速度：0.0-0.1m/s；载荷：自重+幕布重 10KN；幕布尺寸：36m×13m。

本项目的工程难点在于除项目工期紧以外，升降桁架跨度大，升降行程高，且整个升降设备需要长期浸泡在户外水中，种种因素决定了一些常规项目中常用的机械升降驱动方式、机械导向方式及电气控制方式等都不能直接运用到本项目中，从整个方案设计到项目实施落地在技术上都存在前所未有的挑战。



图 7-5、图 7-6 升降装置安装现场

技术创新报告 之八一杭州子午

2020 年下半年，杭州子午舞台设计有限公司承接了上海大剧院小剧场智能吊挂系统和智能座椅项目，该项目是上海市科委科技成果转化和产业化项目以及文化部 2018 文化创新工程项目的子项目。

上海大剧院小剧场，建筑面积约 400 m²，小剧场室内长约 19m、宽约 17m、净高约 5m；小剧场位于大歌剧院后舞台上方，观众席 219 座。

综合改造后的上海大剧院小剧场,将是一个创新型智能剧场,区别于传统剧场演出形式。通过艺术与科技、舞台演出与其他姊妹艺术的融合创新,可将大剧院或其他场馆的演出场景,在小剧场通过增强现实、虚拟实时投影、舞台智能转换平台等技术呈现,在小剧场参与表演的演员只需 2-3 名,现场视觉可做到时空交错、风格交融、体裁跨越,使观众能够得到一种全新的沉浸式、互动式聆赏体验。

上海大剧院小剧场智能吊挂系统和智能座椅是疫情期间公司技术团队开发的新产品。

1 智能吊挂系统

上海大剧院小剧场舞台上空采用三维精准定位智能吊挂系统,可以根据表演舞台的摆放模式,进行平移、旋转及升降,精准定位,大大节省了装台、对光、调音等备演调试时间。

该项目是改造工程,受原有建筑结构、大型风管等影响,安装空间受限,本套智能吊挂系统是针对于上海大剧院小剧场专门研发的产品,技术上做了创新,整套设备轻而小巧、功能强大(可根据不同的演出需要,快速布置演出装置,实现快速转场)、运行安全可靠、维修操作方便。

为减小设备体积,平移和旋转的驱动电机采用直流电机,升降的驱动电机采用交流电机;为尽可能提升设备高度,水平行走轨道采用底梁内藏;为兼顾使用需求和美化观演空间,将固定式吊挂改为可拆卸吊挂。可拆卸机构位于旋转横梁与旋转轴连接处,通过拆卸销轴,使旋转横梁下部所有机构与转轴脱离,从而扩大了演出场地上部空间。

智能吊挂系统由三个驱动部分组成,包括升降、平移及旋转,采用便捷式安装设计,现场安装快捷,低能耗环保节能。升降装置采用自提升自排绳式,设备还采用自动防摆动设计,通过防摆动装置和缓启动减速制动功能快速降低因自身运动或电脑灯转动产生的杆体晃动。

根据小剧场本身的建筑结构情况及现场条件,智能吊挂控制系统采用分布式控制,融合了计算机技术、网络技术、通信技术和自动控制技术,是一种将危险分散,控制集中优化的控制系统。分布式控制的主要表象就是分散在设备旁的现场控制站对设备数据采集,设备运行控制、驱动。控制系统的控制逻辑:由控制台对设备进行运行命令的发布,及对各设备的具体状态的显示;主控制 PLC 对系统设备数据进行集中操作管理;分布式控制箱对每套设备的升降、平移、旋转进行一对一地单独控制。最后根据设备的安全需要,在控制台上设置了 I/O 线路形式的急停开关,在特殊情况下,对设备进行急停。

2 智能座椅

智能座椅的功能:根据票面信息,场务人员在屏幕上点击对应座位,对应的智能座椅远程解锁,实现有票才有座,杜绝了无票、假票入场及乱坐座位现象。

智能座椅由硬件、网络通讯、软件控制系统组成。

1) 硬件组成

- ✧ 服务器,接收到场务人员或扫码获取的座位信息,打开对应座位的智能锁。
- ✧ 区域控制器,接收服务器的指令并转发给座位解码控制器。
- ✧ 智能座椅,内置智能锁,可由服务器远程控制开或关。为避免服务器或传输线路故障影响,设置“掉电自动打开”功能,即掉电则默认打开。座椅锁还具备场务人员“手动开启”功能。

2) 网络结构

- ✧ 操作屏、服务器、区域控制器之间以局域网的方式联结。

- ◇ 区域控制器到座位解码器之间以 CAN 总线方式联结。
- ◇ 座椅供电为低压直流方式，安全可靠。

3) 软件功能

- ◇ 出票：要求票根包含场次、座位及防伪等信息。
- ◇ 检票：上传票面信息至服务器，接收服务器的指令，完成座椅解锁动作。
- ◇ 后台服务器，接收上传的信息，控制座椅的动作。
- ◇ 系统具有向上位机反馈座椅相关信息的功能（如：开闭状态、故障信息等）。

通过对机械吊挂、多媒体播放、全景声音响播放及智能座椅系统的研发与应用，上海大剧院小剧场实现了可根据不同的演出需要——多种舞台表演类型和沉浸式多媒体表演类型，快速布置演出装置的精确位置，达到与之相应的灯光及音响效果。使整个剧场能够实现支持不同演出的可复用模式，将小剧场打造成一个多功能可变剧场，以适应更多的使用需求及实现可能，探索、试验视觉展现效果好、交互性强、可兼容各种演出形式的创新型智能剧场。

改造后的上海大剧院小剧场如图 8-1、图 8-2、图 8-3 所示。



图 8-1



图 8-2



图 8-3

疫情期间除承接上述项目外，公司还承接了无锡文化艺术学校实验剧场舞台系统设备项目、新湾文化中心演艺功能提升改造项目、武汉剧院文物保护修缮工程舞台改造设计项目等。

疫情无情，公司承接的项目仍有序开展，同时还取得多项知识产权，如：一种智能拼装式舞台、一种舞台的自锁装置及包括该装置的智能拼装式舞台、一种可拆卸的智能吊挂系统等实用新型专利证书和《舞台机械控制系统》计算机软件著作权登记证书。

技术创新报告 之九 ——成都炎兴

成都炎兴自动化工程有限公司近两年重点在旅游剧场、庆典活动以及流动演出中的舞台机械控制系统有显著的技术突破与提升。

1 《重庆 1949》的设备控制系统

《重庆·1949》堪称“中国旅游演艺的里程碑式项目”，使用大量最新演艺科技，用同一时间线下的多维度表现不同叙事场景融合推进的蒙太奇演绎空间意境，在立体时空光影中，呈现出极具震撼性的沉浸式体验。该项目台上台下共计有 406 台调速设备，另外定速和液压设备也接近 100 台，这对控制系统的处理能力和稳定性提出了很高的要求。

《重庆·1949》采用多维立体室内旋转舞台，整个舞台由 5 个可 360° 旋转的圆环组成，其中 1、2、3 环为核心表演及布景区域，4、5 环则既是舞台也是观众席，演艺空间与观演空间交相穿插，观众与演出融为一体，经历一场身临其境的独特观演体验。5 个旋转圆环台

直径从 20m、30m 依次到 60m，驱动每个圆环的电机数量依次是 3 台、9 台、15 台、21 台、27 台。为了确保圆环旋转位置的精确度，除驱动设备配备增量编码器，还在每个环形轨道上铺设条码带，读取绝对位置信息以实时修正运行数据。

台上设备主要有 168 台单点吊，2 台大型环形灯架，25 台三动作（平移、升降、旋转）威亚组成。悬浮在空中的 28 个屋顶，每个屋顶由 6 台单点吊悬吊，如此数量众多的单点吊同时启动时需要强大的控制系统处理能力，该项目中将 168 台设备分为 2 组，将处理负荷分散的同时运用先进的控制架构将不同分组中的设备无缝互联起来。环形灯架和三动作威亚采用 5G 无线通讯方式，环形灯架由于旋转会产生信号盲区，所以在这里使用多个无线 AP 形成信号漫游，即信号接收器在离开一个无线区域时，会自动连接下一个信号更强的路由器。

设备特点：

- 1) 同时运行的设备数量大，多数场景同时运行的设备数量超过 400 台。
- 2) 无线通信数量巨大，台上的环形灯架、威亚设备均采用无线通信，台下转环上的可移动座椅设备、盖板等均采用无线控制，需考虑无线通信的实时性和稳定性。
- 3) 采用物体编组方式，每个屋檐设备采用 6 台单点吊机来控制，由于屋檐在运行过程中需要变化不同的造型，传统的单点编程方式效率低，无法满足导演要求，采用物体编组方式直接输入物体的倾斜角度和高度。
- 4) 采用摩擦轮的转台同步，每个转环均采用摩擦轮驱动，且需要的驱动电机也不同，同时最大线速度差异也很大，但很多场景需要转环的严格同步，采用传统的基于 PLC 的自动轨迹控制方式已无法满足此类应用，需手动进行设备的运行轨迹编程。
- 5) 设备安全设置完整，在设计和实施过程中采用符合 SIL3 的安全设计，包括采用安全 PLC 模块进行安全输入采样和安全输出，采用双编码器设计进行编码器的双采样和分析比较，增加载荷传感器，用于过载和欠载检测。
- 6) 设计有外部信号触发装置，方便和灯光音视频同步触发。
- 7) 威亚小车运行防摇，威亚小车由于采用直轨自行走小车，小车速度快，启停须加入防摇，否则在设备运行过程中演员晃动影响演出效果。

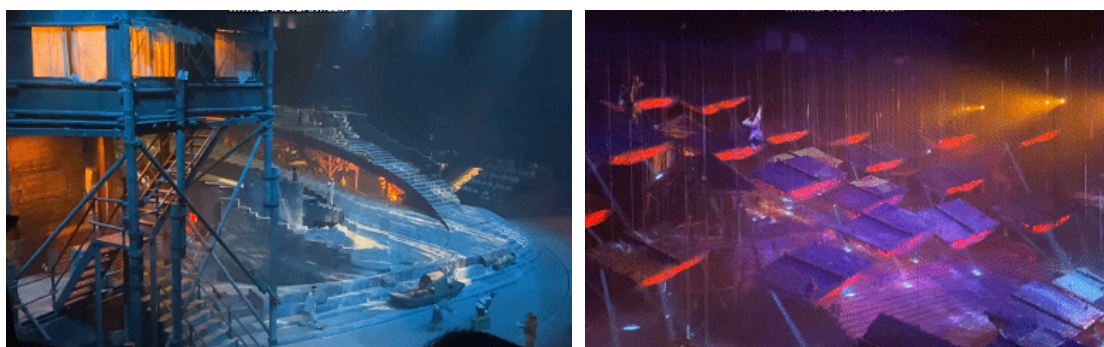


图 9-1、图 9-2 《重庆 1949》演出场景

2 武汉军运会的台上设备控制系统

第七届世界军人运动会开幕式文艺表演名为《和平的薪火》，分为上篇“泱泱华夏·生生不息”和下篇“路路相连·美美与共”，通过回溯历史，展现源远流长的华夏文明和博大精深的中国古代军事文化，及其为推动人类社会进步作出的重要贡献。炎兴自动化所提供的威亚系

统参与了其中：和合之道、江山如画、丝绸之路、飞天仙女、星星之火、新的天地、梦想腾飞、点火仪式的表演。

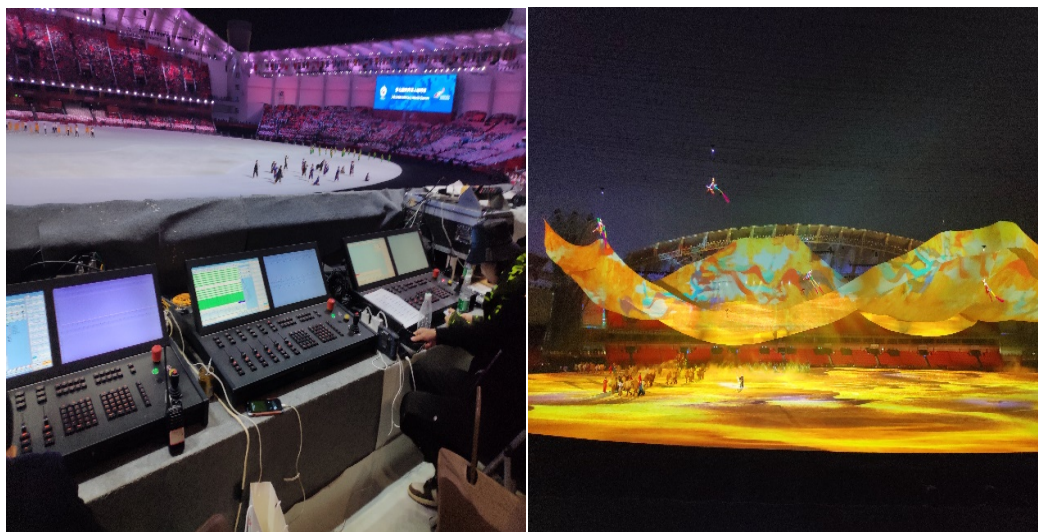


图 9-3、图 9-4 武汉军运会会场与演出

整个表演包含 64 条索道和 198 个吊点，由于设备数量比较多，为方便拐角滑轮的布置，设备机房分南北塔分开布置。南北两个威亚塔直线距离超过 400m，索道的垂直弧度超过 10m，威亚小车行走越靠近南北威亚塔坡度越大。

其中，整场晚会威亚系统的重点和难点在“丝绸之路”这个节目，此节目将设备分为 3 组，一组是由 12 台滑车和 22 个吊点组合的超大丝绸；二组是 4 台滑车和 4 个吊点组合的布上商人；三组是 8 台滑车和 8 个吊点组合的飞天仙女。

另外也有节目使用到安全编组的功能，即多个吊点同时吊挂同一个物体时，当组内吊机的位置偏差超限或者其中一台故障，组内所有的吊机都能安全停止来保证其吊挂的物体安全。例如星星之火：由 15 个固定吊点使用安全编组组合吊挂的整个雾森系统。梦想腾飞：由 4 个固定吊点使用安全编组组合吊挂的绿色大树。点火仪式：由 8 台滑车和 16 台吊机吊挂了 8 块彩幕，每块彩幕由 2 台吊机使用安全编组组合吊挂。

3 轴控制器在剧场和演出活动中的广泛应用

在开幕式、文艺晚会、演唱会等流动演出业中，需舞台机械设备达到类似灯光音响设备即插即用的要求。

传统方式采用 PLC 组态方式的机械控制系统，由于需要组态，一般就得软件人员到场进行临时编程，或把组态好的足够多的设备带到活动现场，而这种组态好的设备一般分为多个组，比如 30 台设备为一组，采用一个总控和操作台进行控制。

但是，此类应用对于特殊的要求有所不足，比如某个演出需采用多个设备的编组来操控或多个设备间存在安全互锁等使用情况，均无法很好的满足，不仅需携带大量的设备，还会带来操控方式的不便。

演出专用轴控制器则完全克服了上述缺点，系统通过分配 IP 地址后则可方便地根据项目需要进行扩展，强电和弱电通过接口实现即插即用，控制器同时集成强大的安全功能。

1) 主控制器采用双 CPU 架构，对安全相关信号进行输入输出表决，有效降低安全风险。

2) 控制器提供安全失效数字量输入 (FSDI), 接入信号如限位信号、超程信号、松绳信号、乱绳信号、急停、过载信号、欠载信号、抱闸反馈信号、变频器正常信号、主接触器状态等反馈信号, 所有点位都可灵活配置。

3) 电机制动为双冗余控制, 每个 CPU 控制一个安全失效继电器输出回路, 释放时, 制动器将制动。继电器采用安全继电器输出, 即强制导向性继电器, 防止触点粘连导致控制失效。同时, 每路都提供制动器有效性信号反馈检查, 接入安全失效数字量输入通道。

4) 位置信号通过双编码器输入, 支持 1 路增量式编码器加 1 路绝对值编码器或 2 路增量式编码器, 分别送入 CPU1 和 CPU2 进行表决。同时每个信号通道以及电源都有监控电路反馈状态。

5) 变频器通过模拟量给定控制变频器转速,并通过模拟量反馈来监控变频器执行情况。其中模拟量信号输出也带有输出诊断功能。

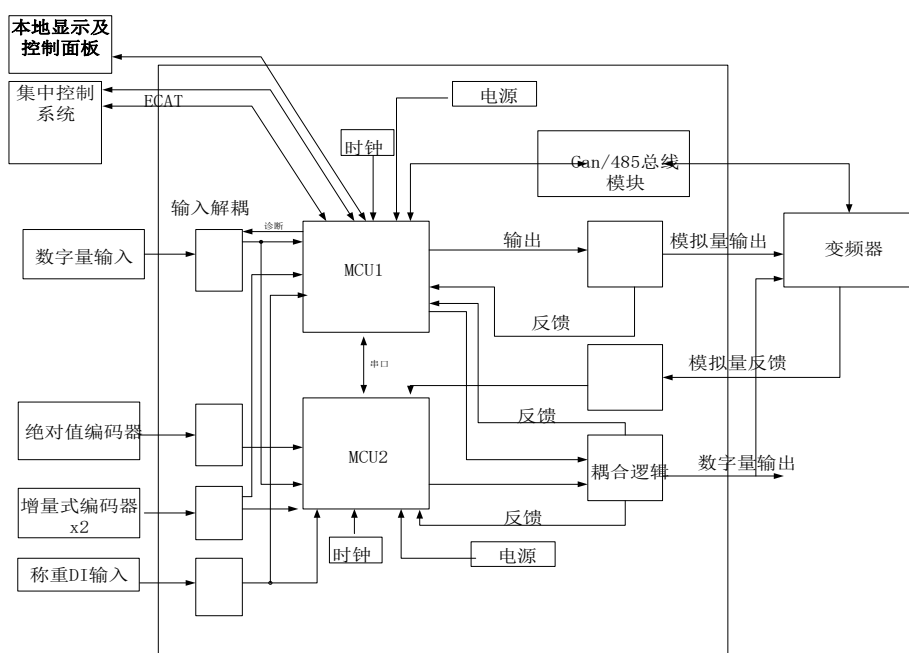


图 9-5 轴控制器安全设计框图

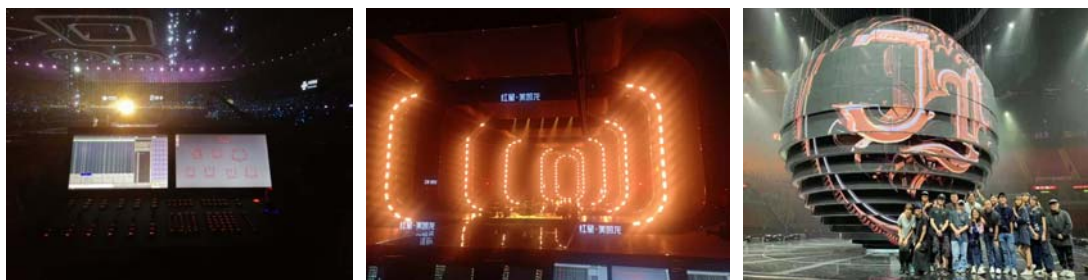


图 9-6、图 9-7、图 9-8 演出应用

注：图 9-6 跨年晚会东方/湖南/浙江/央视、图 9-7 京东 618/苏宁 818/天猫双 11、图 9-8 港澳台演唱会。

舞台机械 技术创新调研报告 总结

1666 年，牛顿还正年轻时为躲避瘟疫回到乡下老家，正值酷热的夏天，在一间全封闭的小屋里，他挥汗如雨地观察实验，发现了光的色散现象。21 世纪的 19 至 20 年代，一群工程师们，为抗击新冠病毒而居家坚守、隔离办公，以执着的精神开拓技术创新，取得了显著的成绩，为行业发展沉淀了宝贵的经验与丰厚的科技资源。

1 舞台机械技术创新的突出特点

创新是国家发展进步的国策，也是企业生存成长的出路。调研发现，在近两年特殊的时期，舞台机械技术创新的特点有新的变化。

1) 机械与声光的深层交织

机械技术的核心是承载与运动，他与光影技术的色彩与视效、音响技术的声波与音效共同构成演艺场所的设备技术，三者由独立呈现发展到交织呈现已不罕见。现在，机械技术很少有不与光影技术、音响技术交织在一起而独立显摆，已达到深层次的交织。如运动中的色彩变换，承载中的变混响效果等。

2) 常规与非标的深广变异

舞台机械设备技术从非标设计逐步凝练为基本型、通用型产品的常规设计已成为历史，旅游剧场和主题剧场的发展，使这项技术迅速转化为定制设备为主的变异设计、非标设计成为主流，其变异非标的程度更深、范围更广，几乎“面目全非”。如各种场所的量身定做，庆典活动的特型技艺等。

3) 技术与艺术的深度融合

技术手段和艺术手法已经难解难分了，技术更多的成为欣赏的艺术，艺术充分地展示高超的技术，其融合的深度前所未有。今天，不懂表演艺术的技术设计已没有出路，不了解设备技术的艺术表演也无法展现。一场光怪陆离、旷古奇闻、千奇百怪的演出中，谁还能分清哪些是技术、哪些是艺术呢！

4) 文化与思想的深刻变化

文化传播思想，思想浸染文化。技术创新不断适应传统文化的弘扬与推崇、红色基因的传承与接续、爱国情怀的彰显与光大，技术创新支撑了一切正能量的艺术活动。观众、演职员、设备供方等，各方都获得了文化与思想的深刻变化。如多元化的健康娱乐题材，地域与环境特色的演绎体验，近代历史的叙事重现，大型庆典的奇特宏伟，都深深地改变着人们的价值观、人生观、世界观。

2 舞台机械行业存在的主要问题及对策建议

相对于不断提升的发展需求，舞台机械行业还存在一定的问题，不能不引起重视。

1) 劣币驱逐良币的情况依然严重

当前，低价中标的导向使市场的价格无节制走低，相应地设备品质也难以优化，逐渐形成了优质优价不被接受，低质低价占领市场的趋势，这就阻碍了高投入的技术研发，严重影响舞台机械的持续发展与进步。

对策建议：

改变由建筑总包设备的招标形式，舞台设备应独立招标、独立核算。建筑承包商协调项目，由甲方直拨协调费。避免总包方只追求自身利益最大化，而不顾及设备技术特征。

同时，加大评标结果的透明度，开标后公开投标各方的技术响应和价格水平，更广泛地得到行业与社会的监督，回归对设备技术价值的认知，使国有项目敢担责任为公选优，私有项目不因急功近利而忽视安全可靠。

2) 非专业化生产的产品难以优质

舞台机械设备的定制化非标设计决定了其设备产品的小批量与零散性。长期由工程商各自全套生产，或定向全套外协，其工艺技术总是处于低水平，不能持续地提升产品品质。

对策建议：

行业应大力倡导与扶持专业化生产，根据舞台机械设备产品的特征，大量的基础、通用零部件通过专业化生产提升品质，使设备特性更加优化。例如，各种规格的卷扬机、滑轮、吊杆体、灯杆体（含电缆框）、链轮、刚性链等组件以及电控系统等。如此，工程商即可集中全力做好总体设计、整机集成、系统集成。

3) 时代变局下的新设计模式还未形成

百年未有之大变局将引起技术发展的颠覆性变革。大数据、人工智能、社会化协作等将带动技术设计与科技创新的新模式。而现在的舞台机械行业还是企业各自为阵的黑箱式设计模式，很快将跟不上时代步伐。

对策建议：

建立深化的舞台机械技术公共信息平台，集中广收国内外的技术资源，包括各种设计理念与策略的优化方案，也包括常用到的动力、传动配套件、基础通用件，以及各种机构的技术特性资料等。要做到使工程商设计者直接调取资源进行集成组合，用尽可能少的特殊设计快速响应和满足特定要求。

撰稿统稿：魏发孔

2021/08/18 成稿