

上海大剧院钢屋架整体提升设备与技术

吴志勇

内容提要 本文介绍了上海大剧院钢屋架整体液压同步提升的设备与技术,着重介绍设备中的承重系统、液压系统和同步控制系统及其技术。

关键词 钢屋架 整体提升

一、概述

上海大剧院是一座具有国际一流水准的剧院,位于上海市人民广场西北侧,毗邻市府大楼。上海大剧院钢屋架为空间框架结构,由箱形和工字形截面制成的二榀纵向主桁架、二榀纵向次桁架、十二榀上反拱月牙形桁架和联系梁等组成,整个屋架呈月形的上反拱形,支撑在六个电梯井筒上。

钢屋架平面尺寸 $100 \times 90\text{m}$, 重达 5800 吨,净提升高度 25.45m。吊点选择根据支承反力情况而定,以避免过大吊装应

力。因为电梯井预先完工,选择在其中 4 个电梯井上设置钢平台,用作提升支座。整体提升设备采用柳州欧维姆建筑机械有限公司生产的 LSD200 液压提升千斤顶,计算机同步控制系统由同济大学研制。整套设备分承重系统、液压系统和控制系统三部分。

二、承重系统

1、提升千斤顶

提升千斤顶为 OVM—LSD200 液压提升千斤顶,技术性能见表 1。

表 1 OVM—LSD200 型液压提升千斤顶技术参数

主 千 斤 顶	公称提升力	200KN	上 下 小 千 斤 顶	拔压夹片公称力	150KN
	额定油压	25MPa		拔夹片油压	8MPa
	提升活塞面积	$8.1996 \times 10^{-2}\text{m}^2$		压夹片油压	4.5MPa
	回程活塞面积	$5.1836 \times 10^{-2}\text{m}^2$		拔夹片活塞面积	$1.8456 \times 10^{-2}\text{m}^2$
	活塞行程	300mm		压夹片活塞面积	$2.6212 \times 10^{-2}\text{m}^2$
	穿心孔直径	$\Phi 170\text{mm}$		活塞行程	35mm
	油嘴尺寸	M22 \times 1.5mm		油嘴尺寸	M20 \times 1.5mm
	整机外形尺寸	$\Phi 550\text{mm} \times \Phi 1390\text{mm}$		整机质量	950kg

每个吊点设置 11 台千斤顶,4 个吊点共用 44 台千斤顶。

千斤顶总起重量:

$$44 \times 2000 = 88000\text{KN}$$

提升系统总起重量平均储备系数:

$$8800 \div 5800 = 1.52$$

2、承重系统布置

承重系统布置见图 1,作吊点用的柱

吴志勇:柳州欧维姆建筑机械有限公司技术中心工程师

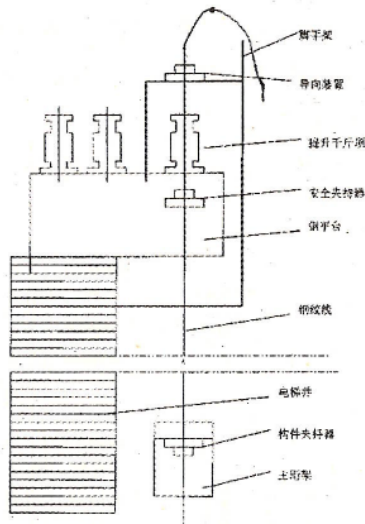


图1 承重系统布置

子固定专用钢平台，支承千斤顶，钢绞线用构件夹持器固定在主梁的上弦。随着屋架上升，钢绞线从千斤顶上端伸出，采用导向夹持器作导向装置，并防止钢绞线回缩。垂下的钢绞线由脚手架引向柱子内侧，每台千斤顶下均设有安全夹持器。

每个吊点上设置 11 台千斤顶，其中 7 台千斤顶布置的在主梁位置，4 台布置在柱子侧边的横梁位置，使平台自身得以平衡。平台由两层钢梁组成。底层为 6 根纵梁，上层为 3 根横梁。安全夹持器置于千斤顶下的钢墩内。

3、钢绞线

根据屋架结构尺寸、提升高度和提升设备的要求，每根钢绞线长 33m，总计需 $44 \times 18 = 792$ 根。为防止钢绞线因旋向而产生的扭转，要求每台千斤顶的 18 根钢绞线左旋和右旋各 9 根，使其产生的扭矩相互抵消。钢绞线的破断拉力 260KN，钢绞线的安全系数 $260 / (60000 \div$

$792) = 3.43$ 。

4、提升动力与控制系统

提升系统由液压泵站提供动力，每吊点配置 A、B 两台泵站，分别向两组千斤顶提供高压油源，每个泵站组成的液压系统是相同的。

提升的控制目标为吊点，吊点要始终保持同一水平面上。其办法是各吊点设位移传感器(自整角电机)，随时测量和比较各点位置的高差，高程比差信号由计算机检测，经处理和决策后，计算机再发出控制信号，调节相应比例阀的流量，力图使比差趋于零，这是一个位移反馈的数模混合闭环控制系统。

四个吊点 A 组泵站的比例阀组成一个位移闭环控制，各吊点 B 泵站的比例阀与同吊点的 A 泵组成压力反馈闭环控制系统。其信号流程原理见图 2。

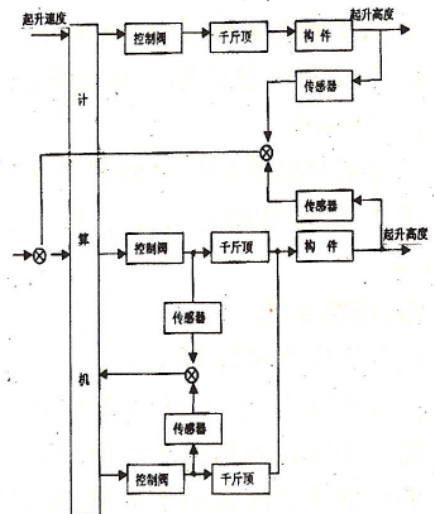


图2 信号流程原理图

三、液压系统

四个吊点共用 8 台泵站，每个吊点 A、B 两台泵站的液压系统结构和参数是

一样的,只是连接千斤顶的数量和比例阀的控制信号不同,泵站系统的工作原理如图 3。

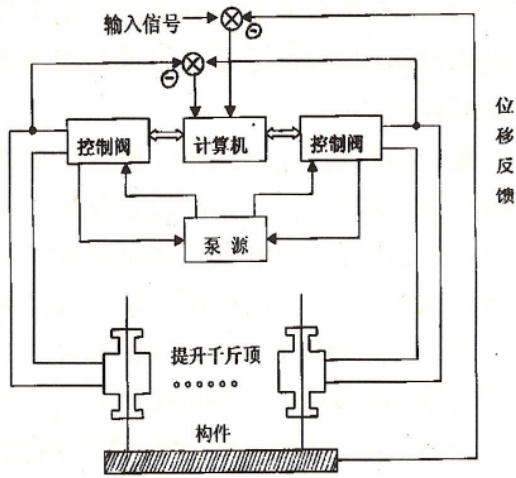


图 3 泵站系统原理图

泵站参数为:

理论流量:38l/min

额定工作压力:31.5MPa

系统调定油泵工作压力:20MPa

千斤顶理论工作压力:16.6MPa

按 7 台千斤顶计算,理论伸缸速度为: $V_1 = 3.9\text{m/h}$

考虑提升时的循环时间和系统效率,构件提升实际平均速度为: $V_2 = 1.2 \sim 1.3\text{m/h}$

四、控制系统

1、电气系统的控制

提升系统共使用 44 台提升千斤顶,每台提升千斤顶包括主千斤顶和上、下夹持器千斤顶共 3 台大小千斤顶。在提升过程中,总计 132 个油缸必须在计算机的控制下协调动作,正确执行伸缸、缩缸指令,控制伸缩缸时间,实现上、下夹持器负载的平衡转换,为同步提升创造条件。

整个屋架采用 4 吊点同步提升, 1#

吊点为主令吊点, 2#、3#、4# 为随动吊点,提升过程中,各吊点提升高度同步误差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 内。

主吊点 1# 电气系统控制框图如图 4。

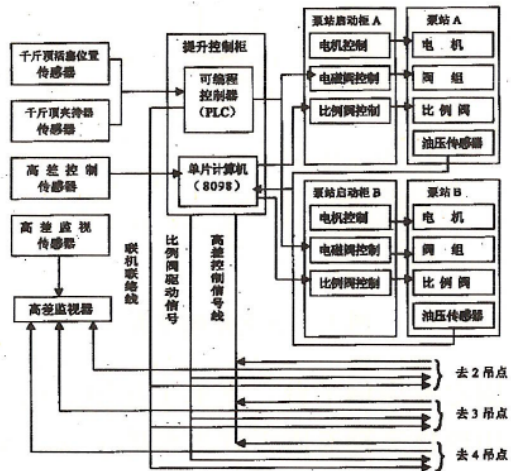


图 4 主吊点电气系统框图

随动吊点 2#、3#、4# 电气系统控制框图如图 5。

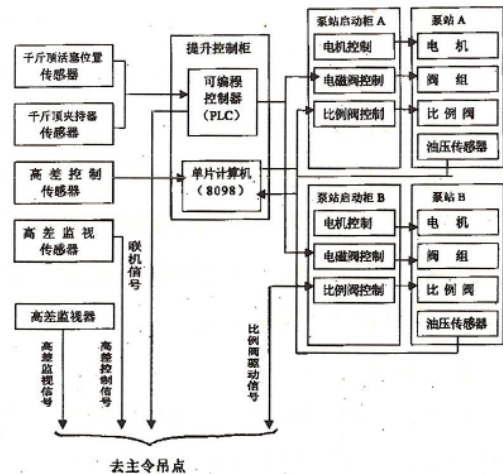


图 5 随动吊点电气系统框图

2、高度同步和油压均衡控制

提升高差测量采用高差传感器。在 30m 距离内,高度测量误差小于 5mm,高差分辨率力为 1mm。提升油压通过油压

传感器测量，量程为 40MPa，测量误差水平 1.5%。

同步控制计算机采集吊点高度差信号，用限步长的 PID 算法进行控制，保持各吊点同步提升。

同一吊点提升千斤顶的均载控制。每个吊点的提升千斤顶分为 A、B 两组，分别由 A 和 B 两台泵站通过各自的比例阀供油，A 组比例阀采用高差控制，跟随主令吊点，B 组比例阀采用压力控制，油压跟随 A 组油缸提升压力。

同步控制输出脉冲宽度调制信号 (PWM) 调节电液比例阀流量，达到控制各点油缸提升高度或提升压力的目的。

3、计算机系统

千斤顶动作控制系统采用可编程控制器 (PLC)，每个吊点 1 台。在单机运行时，每个吊点的 PLC 独立进行。在联机状态下，PLC 联网运行，由主令吊点的 PLC 统一指挥，协调系统中所有千斤顶的提升动作。

同步提升控制采用单片微机，每个吊点一台，独立运行。提升高差信号和提升油压信号送入单片微机作为控制依据，单片微机直接送出 PWM 调节信号控制比例阀。

4、系统的操作方式

系统操作设置了自动控制、顺序控制和手动控制三种方式。自动控制方式是系统运行的主方式，操作人员只要按下启动按钮，提升作业就自动完成，直到按下停止按钮。大部分提升作业将在这种方式进行。在顺序控制下，每按

一次按钮，完成一个单步动作，并提示下一个动作内容，这种方式用于系统调试和运行，也是自动方式的后备运行方式。手动控制方式用于系统安装和解体，也常常用来进行提升微动调节。上述三种方式配合使用，可以满足系统操作的各种需要。

系统操作设置了单机和联机两种状态。在单机状态下，各个吊点千斤顶可以独立完成各种方式的提升作业。进入联机状态后，各吊点千斤顶的顺序和自动操作运行只能在系统的统一指挥下进行。

5、运行的可靠性

系统误操作闭锁。系统设置手动误操作闭锁，包括停电后复送误操作闭锁、联机状态下随动吊点操作闭锁和计算机受干扰后误动作闭锁。

系统状态监视系统除了设置必要的显示装置供操作人员监视外，还对重要参数和高差进行冗余检测，冗余检测系统和控制系统完全独立，可以有效地监视传感器和控制系统的故障。

五、结束语

上海大剧院钢屋架整体提升工程于 1997 年 7 月 2 日顺利完成，经过此项工程的检验，证明液压同步提升的设备与技术的开发研制是成功的，创造了我国超大吨位、超大体积构件的整体提升的新纪录。液压提升技术的应用前景将是十分广阔的。

参考文献

[1] 同济大学、江南造船厂、上海基础公司
《上海大剧院多屋架整体提升方案》 1996.1