

doi: 10.7690/bgzdh.2025.11.014

试验段的自动液压升降装置

杨可朋, 毛代勇, 刘刚, 张琳丰

(中国空气动力研究与发展中心高速所, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对试验段升降装置存在 4 只液压油缸承受的负载差异, 油缸动作不同步, 自重约 200 t 的试验段升降过程中存在倾斜、安全隐患大、液压系统压力高(60 MPa)、故障率高、流量小、效率低等问题, 提出在风洞现有基础上, 对试验段升降装置的机械结构、液压系统和控制系统进行升级。通过新研制升降装置与旧装置对比, 升级后的升降装置极大提升了试验段更换时的安全性、可靠性、更换效率以及油缸的同步性。结果表明: 试验段液压升降装置升级后投入具备可行性, 为后期更新完善设备提供重要参考。

关键词: 2.4 m 跨声速风洞; 液压升降装置; 效率; 安全; 研制

中图分类号: TP211 **文献标志码:** A

Development of Lifting Type of Hydraulic Lifting Device in Test Section

Yang Kepeng, Mao Daiyong, Liu Gang, Zhang Linfeng

(High speed Institute of China Aerodynamics Research and Development Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: Aiming at the problems such as the load difference of the four hydraulic cylinders in the lifting device of the test section, the asynchronous action of the cylinders, the inclination in the lifting process of the test section with a dead weight of more than 200 t, the great potential safety hazard, the high pressure (60 MPa) of the hydraulic system, the high failure rate, the small flow rate and the low efficiency, it is proposed that on the basis of the existing wind tunnel. Upgrade the mechanical structure, hydraulic system and control system of the test section lifting device. By comparing the newly developed lifting device with the old device, the upgraded lifting device greatly improves the safety, reliability, replacement efficiency and synchronization of the cylinder when replacing the test section. The results show that the hydraulic lifting device in the test section is feasible after upgrading, which provides an important reference for updating and improving the equipment in the later period.

Keywords: 2.4 m transonic wind tunnel; hydraulic lift; efficiency; safety; prepare

0 引言

2.4 m 跨声速风洞自建成以来承担了大量国家重点型号试验任务, 为我国航空航天事业及气动力领域研究发展作出了卓越贡献。现风洞共有 4 个试验段, 分别为全模试验段、半模试验段、张线试验段、内埋试验段。每个试验段长 10 m, 宽 5 m, 高 6 m, 重约 240 t, 为满足不同型号试验需求, 需对试验段进行更换, 每次更换试验段都需依靠升降装置对试验段顶升 180 mm, 然后实现 4 个重型行走机构纵横 90°换向。在更换过程中, 升降装置的作用最为重要。自风洞建成至今, 试验段升降装置经历了 4 代改进。第 1 代为 100 t 重型机械千斤顶, 升、降过程中均为人工手动操作, 基本满足试验段的更换要求, 主要缺点是劳动强度大, 效率低; 第 2 代, 用 100 t 液压千斤顶替换机械千斤顶, 劳动强度下降, 效率相对提高; 第 3 代, 用液压高压油缸替换液压千斤顶, 使升降装置的能力大大提高, 主

要表现是实现了自动化, 劳动强度大大降低, 工作效率大幅提高, 但随着升降装置的操作使用, 实践经验不断积累, 又发现许多不足, 需进一步优化改进。笔者在前 3 代基础上, 研制了第 4 代试验段自动液压升降装置(以下简称升降装置), 并做出总结。

1 升降装置的用途和主要性能

试验段如图 1 所示。



图 1 试验段更换

收稿日期: 2024-10-11; 修回日期: 2024-11-18

第一作者: 杨可朋(1989—), 男, 陕西人。

由于每次更换试验段都需将试验段顶升 180 mm，然后 4 个重型行走机构纵横 90°换向，所以让试验段稳定顶升是十分必要的。试验段升降装置经过第 1 代、第 2 代、第 3 代不断提高、完善装备操作使用，大大提高了工作效率、降低了劳动强度。随着新技术的发展，又逐渐暴露出一些新的问题。具体来讲，原有液压升降装置设计压力高，采用超高压油泵，压力高达 60 MPa，造成设备泄漏故障率高，能耗大；原液压系统设计流量小，速度低，运行效率低；更为重要的是试验段 4 个支点部位液压油缸负载不同，造成液压油缸有的已经伸出很长，有的还未动作，油缸同步差异 100 多毫米，200 多吨试验段存在一定倾斜，对岗位操作人员和设备带来了很大的安全隐患；还有设备能力与需求差异较大，存在“大马拉小车”问题。针对于此，结合经过长期对液压升降装置使用经验积累，就如何提高试验段更换效率，操作安全性、可靠性开展第 4 代革新研究。

2 升降装置的工作原理及研究内容

2.1 升降装置的工作原理

新研制的升降装置通过 PLC 控制电机启动，通过电机带动液压泵工作，液压升降机中的液压油由液压泵形成一定的压力，经过滤油器、液控单向阀、蓄能器、溢流阀、截止阀、换向阀、同步马达等部件后进入了液缸下端，使液缸的活塞向上运动，从而使重物上升；当液缸中的活塞向下运动，液压油经电磁换向阀进入液缸上端，液缸下端回油经液控单向阀、分流阀、电磁换向阀、冷却器回到油箱，从而使重物下降。为使重物下降能够平稳，制动安全可靠，在回油路上设置分流阀组，平衡回路保持压力，使下降速度不受重物而变化，控制升降速度。为使制动安全可靠，防止意外，增加液控单向阀，即液压锁，保证在液压管线意外爆裂时能安全自锁，使作业有效率的同时也保障安全。

2.2 升降装置的组成

新装置主要包括由液压千斤顶，机泵组、冷却器、液压换向阀组(自动和手动 2 种方式)、同步马达分流阀组、液压缸和 PLC 控制系统等组成。

2.3 升降装置的机械结构

新装置的机械结构依靠于液压千斤顶实现，顶升后，试验段行走机构基座会处于半脱离状态，就

可以实现转向功能。

2.4 升降装置的液压系统

新研装置设计方案原理如图 2 所示。

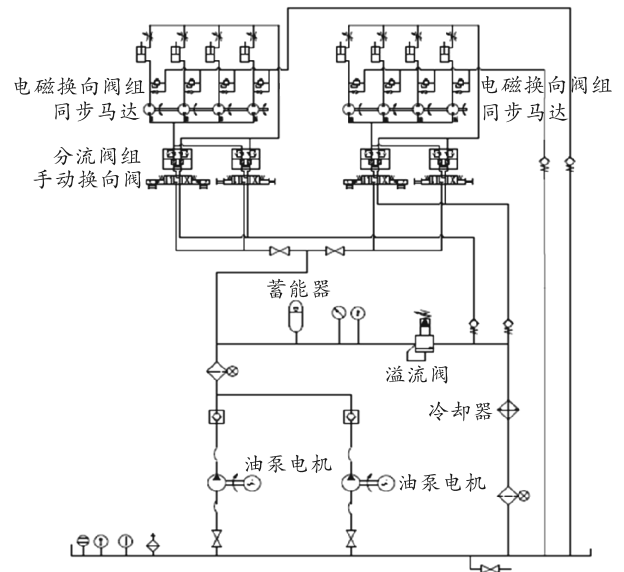


图 2 液压原理

升降装置的液压系统主要包括由机泵组、冷却器、液压换向阀组(自动和手动 2 种方式)、同步马达分流阀组和液压缸。

为了提高设备运行可靠性，系统设计采用双泵组提供动力，1 用 1 备，如图 3 所示；液压控制阀也采用 2 个，一个为自动控制电磁换向阀，另一个为手动换向阀，以保证系统故障时应急使用；对于核心元件，同步分流马达，也订制了备件；另外，元器件选用也要求为知名品牌，确保元器件低故障率。

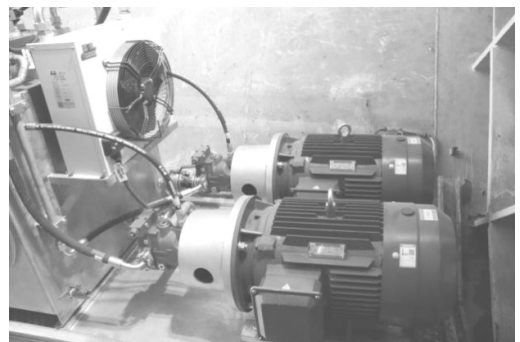


图 3 双泵工作系统

1) 系统布局。

新装置机泵组采用旁置式布局，增加了风冷却系统、蓄能器、过滤器等，提高了设备运行可靠性和安全性。

2) 系统压力。

每只油缸负载 100 t。原油缸缸径 160 mm，杆径 120 mm；根据现场空间，新油缸缸径 250 mm，

杆径 180 mm。计算可知：原系统压力不低于 49 MPa；新系统压力不低于 21 MPa；因此，新系统由超高压系统转换为高压系统，泵、阀等液压元器件选择就非常容易实现，故障率下降，安全性提高^[1]。

3) 系统流量。

原装置机泵组流量为 16 L/min，新研装置机泵组设计流量为 63 L/min。这样，油缸运行效率提高 4 倍。

4) 液压油缸同步控制。

为了保证每组 4 只液压油缸同步运行，选用同步分流马达，型号为意大利罗茨的铝合金齿轮式同步马达 FDRA020064 WVR，单通道流量为 3.5~16 L/min，设计采用 4 通道，工作压力 28 MPa，控制 4 只油缸，伸出、缩回时液压管路流量一致，实现同步控制。为保证同步精度，在每只控制油缸回油管路中增加回油节流调节阀，以便油缸运行时，同步精度不足，增加一种调节能力^[2]。系统实物如图 4 所示。

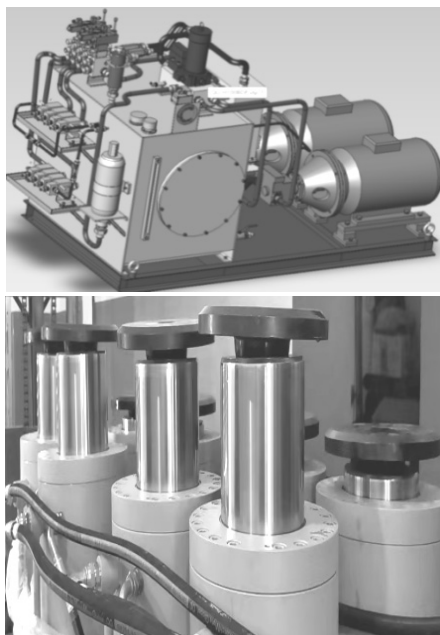


图 4 油站及液压缸

2.5 用于试验段的自动液压升降装置的控制系統

原系统为手动操作换向阀实现液压油缸的升降。新设备采用了 PLC 系统，触摸屏操作，电机启动采用了软启动方式，增加了风冷散热系统，可以保证长时间工作，增加了压力监测点和温度监测点，可以及时发现设备故障。另外，系统布局与以前不同，原泵组采用倒插式，由于油液不足，泵容易吸空，造成系统压力不稳定，现泵组采用旁置式，减小了此类问题^[3]。

控制系统主要包括 S7-1200 系列 PLC，CPU 模块，触摸屏等。采用西门子 S7-1200 系列 PLC 进行控制，配置数字量和模拟量的输入输出模块，实现油泵启停、系统压力加载和卸荷、系统状态监测、油缸升降等功能。控制系统设置手动按钮和触摸屏，便于手动和自动控制^[4]。控制柜及操作界面如图 5 所示。

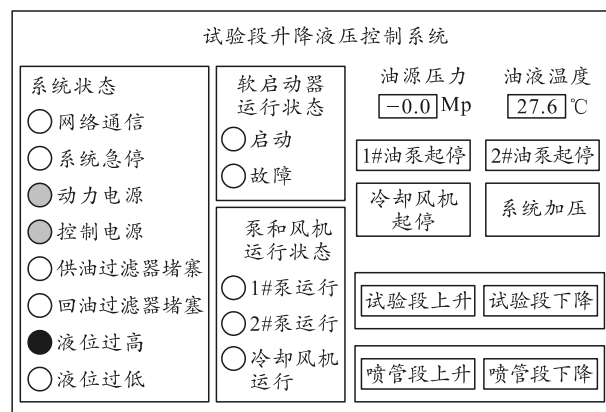


图 5 操作界面

控制系统主要实现如下功能：

- 1) 实现油泵机组启停控制和热交换器的启停控制；
- 2) 通过电磁溢流阀实现油源压力自动加压、泄压控制；
- 3) 监测泵组及软起动机工作状态、风冷热交换器工作状态、供油压力、滤芯堵塞信号、油源油温、油箱液位等；
- 4) 通过控制电磁换向阀，控制油缸升降；
- 5) 当出现液位异常、油温过高、滤芯堵塞、软起动机工作异常、风冷热交换器工作异常等状况时，控制系统报警；
- 6) 系统应用软件开发包括 PLC 控制程序和触摸屏的人机界面操作软件 2 部分，控制与监测油源系统，具备现场参数设定、数据通信、调节与控制、状态信息显示和反馈、故障处理等功能。

2.6 用于试验段的自动液压升降装置的关键技术

该系统的关键技术是液压油缸运行同步控制。如果 4 只液压缸仅由一股压力油来驱动而不采取任何方式来控制各自的流量的话，那么具有最低压力要求的液压缸先行动作，直到其运行到行程终点或遇到更大的负载时，才能驱动下一个具有较低压力要求的执行元件启动。也就是说，所有液压缸将会按先后顺序动作，直到所有动作结束。这种工作模式是我们不希望的。该系统针对在不同的负载下工

作时,采用齿轮同步马达控制流量的方法来实现 4 只液压油缸同步运动,齿轮同步马达如图 6 所示。



图 6 齿轮同步马达

同步马达分流阀组用于实现同组 4 根管路输出与输入流量的一致性,主要包括:高精度齿轮马达式分流阀、单向阀、溢流阀。

同步马达出口设置溢流阀,目的是防止在液压油缸出口由于压力放大现象而产生过高压力,从而保证即使回路中有一个液压油缸已经提前完成了整个行程,其他的液压油缸仍然可以正常完成其工作行程;同步马达出口的单向阀和回路上的单向阀的作用是保证分流器的每腔室都能维持一个大约 4 bar 的最小压力;回路单向阀在开启压力上有 1 bar 的压差是因为马达出口单向阀的开启压力为 1 bar;保证系统最小压力是非常重要的,当其中一个液压油缸已经完成其余全部工作行程时,分流器仍然在为其他速度较慢的液压油缸继续运行,系统的最小压力就保证了管路相通的、速度最快的液压油缸不会发生吸空现象^[5]。

为了减小系统负载波动造成液压油缸流量波动,在系统回油管路中增加了一组节流阀,根据实际需要,现场调节流量,保证设备稳定性。

原有设备容量、压力泵、电机、管路、控制方式等没有重复利用性,只能通过重新研制新的装置才能提高设备性能。对于该装置,液压驱动优于电机驱动,因此新研装置仍然采用液压油缸驱动。对于新研装置,原装置的一些缺陷需要克服。

1) 系统布局,原机泵组采用到插入式结构,经常出现油泵吸空现象。改进后新装置布局采用机泵组旁置式,降低油泵吸空风险。

2) 系统压力,原装置为超高压系统,泵、阀等元件选择面窄、价格高、安全风险高。新装置尽量降低设计压力。

3) 原装置流量小、油缸运行速度慢、效率低。新装置流量设计相对合理。

4) 同步性,原装置没有要求。新装置油缸同步要求要满足试验段更换安全要求。

5) 原装置长时间工作,温升超标,新装置需要自带冷却系统。

6) 原装置为手动操作换向阀方式,新装置操作采用触摸屏可变参数方式。

7) 新装置增加了设备的可靠性裕度。

3 论证

新研制升降装置经过前期详细设计论证,聘请专家反复讨论定案,严控加工制造,投入使用后,系统压力由超高压变为高压系统,设备采购方便、故障率降低、可靠性增强,液压油缸同步控制精度大幅度提高;操作性、安全性大大提高;系统布局美观、简洁,方便维护检修。

新研制升降装置与旧装置对比,在以下 4 方面存在较大提升:

1) 同步效果提升。原升降装置同步性较差,差异最大到 100 mm,为了解决这个问题,特增加同步控制装置,现升降装置运行同步精度测试结果在 0.5 mm 以内。

2) 效率提高。基于合理提高系统工作流量,新装置的液压油缸的升降时间由 20 min 缩短为 3 min,大大提高了试验段更换的效率。

3) 安全性能提高。通过优化、革新研制设备安全功能得到很大提高,如设备运行更加平稳、压力降低故障风险随之下降。

4) 可靠性提升。基于新装置性能完善提高,可以动态参数调节,故障率下降,相较于原装置出现故障,维修更换元器件时间长达 3 h,现装置采用 1 备 1,不存在影响试验进度。

4 结论

设备性能提升离不开长期实践经验积累。需要不断实践、总结、再实践、再总结这样一个过程,设备性能才能不断得以提高完善。

设备性能提升离不开详细论证。要想改进后的设备性能优良,既安全可靠,又好操作,需针对前期使用过程中存在的一系列问题,逐条逐项仔细分析,提出改进实施,还要预判设备在以后的运行过程可能出现的问题,完善设计方案。