

电液伺服压力控制在试验机中的应用

黄贤标

杭州鑫高科技有限公司 浙江杭州 310007

摘要：随着现代工业技术的进步，材料的性能检测与质量控制已成为产品开发、制造和工程应用的关键环节。作为材料力学性能试验的核心设备，试验机的精度与可靠性将直接影响试验结果的准确度与可靠性。电液伺服压力控制是一项先进的功率控制技术，可将电气控制的高精度与液压传动的高功率输出优势相结合，为测试机性能的提高提供重要的技术支撑。因此，对电液伺服压力控制在试验机上的应用进行深入研究，对提高试验精度与效率具有重要的理论与实际意义。

关键词：电液伺服；压力控制技术；试验机应用

电液伺服压力控制技术可充分利用电控系统的高精度与液压系统高功率密度的优势，实现对加载过程的精确控制。在对材料进行力学性能试验时，需要对其进行静、动、循环加载等多种复杂加载工况的仿真。电液伺服压力控制系统可以按照预先设定的测试方案，对载荷大小、加载速度和加载方向进行准确控制，以满足不同材料试验的需要。另外，该方法具有较好的动态响应特性及可重复性，可有效地提高测试结果的准确度与可靠性。因此，开展电液伺服压力控制在试验机上的应用研究，为当前相关行业的热议课题。

一、电液伺服压力控制在试验机中的应用

1. 基于试验机功能需求的电液伺服压力控制系统优化设计

将电液伺服压力控制技术应用到试验机中，根据试验机的功能要求对其进行优化设计是首要任务。要深入研究液压伺服系统的关键参数，如负载范围，压力控制精度，动态响应需求等，并在此基础上进行深入分析，确定关键部件的选择准则^[1]。在选择液压缸时，应根据最大载荷要求确定适当的吨位，并将液压缸行程、缸直径等参数与试验机的工作空间相匹配，使其能够完全满足试验机机械性能的要求。在液压动力源的设计中，需要综合考虑系统的压力、流量和能量效率。为保证全负荷稳定运行，选用高性能液压泵时，其额定压力应高于系统最高工作压力一定比例；根据液压缸的运行速度及系统的漏失量，准确地计算出液压泵能够提供足够的油液流量。另外，还需要配置相应的油箱、过滤器和冷却系统，油箱的容积要能够满足系统的散热和储存需要，

过滤器的精度要满足液压元件保护的要求。冷却系统要根据系统的发热量，选择适当的冷却方法，比如风冷或者水冷，来保持液压油的正常工作温度^[2]。伺服阀的选型和安装是整个系统设计的关键，为了保证压力控制的快速、准确，必须根据系统的压力、流量等参数，选用适当规格的电液伺服阀。在安装伺服阀的过程中，一定要注意阀门的安装方向及安装位置，保证阀门与管道的紧密连接，防止泄漏，减少压力损失。同时，为降低系统压力波动及冲击，可以设计必要的缓冲装置及压力补偿油路，提高压力控制的稳定性。电控系统主要由伺服控制器、传感器及信号调理电路三部分组成，选择高性能伺服控制器时，要求控制算法具有较强的鲁棒性和自适应能力，能够根据试验机的工况实时调整控制参数。在选择压力传感器时，应充分考虑测量范围、测量精度及响应速度等因素，以保证系统压力信号的准确采集，采用位移传感器对油缸的位置进行监控，并提供反馈信息给闭环控制。信号调理电路需要对传感器输出信号进行放大、滤波等处理，增强信号的可靠性与抗干扰性，进而构成完整的电控回路，实现电液伺服系统的精密控制。

2. 电液伺服压力控制在试验机中的参数优化与匹配应用

为使电液伺服压力控制技术能够有效地应用于试验机上，系统参数的整体优化和合理匹配显得尤为重要。可应用基于流体动力学、动力学等相关理论，建立包含液压泵、伺服阀、油缸及负载等多个环节的电液伺服压力控制系统数学模型。深入分析伺服阀流量增益、油缸有效面积、阻尼比及固有频率等关键参数对系统性能的

影响规律。利用经典控制理论中的根轨迹法、频率特性法等频域或时域方法,初步设定伺服控制器的比例系数、积分时间常数、微分时间常数等参数。在整定过程中,充分考虑试验机在空载、加载、保载等不同工况下的特点,根据各阶段的特性,制定相应的参数整定方案,以保证系统在不同工况下的动态响应及稳态精度^[3]。开展参数优化匹配实验,开展实际载荷试验,采集系统压力、位移等响应数据,对系统的上升时间、超调、调整时间、稳态误差等动态性能指标进行深入分析。在实验结果的基础上,不断地调整、优化控制参数,如增大比例系数可以提高系统的响应速度,但也会增大超调。增大积分时间常数可以降低稳态误差,但却降低了系统的响应速度。通过不断的调试与实验,找到各个参数间的最优匹配关系,从而实现系统的最优性能。应针对试验装置在实际工况下,负载特性、环境温度等因素会不断变化的特点,研究系统参数鲁棒优化问题。利用鲁棒控制理论与自适应方法,实时调整与优化系统参数,以增强系统的抗干扰与自适应能力^[4]。同时,还可构建参数库,记录不同工况下的最佳参数组合,为后续系统的调试与维护提供强有力的依据,从而保证电液伺服压力控制在试验机上的稳定应用。

3. 电液伺服压力控制在试验机中的可靠性保障与维护应用步骤

为保证试验机长期稳定运行,建立健全可靠的保证和维修系统是必不可少的。要充分考虑系统的可靠性,通过冗余设计和容错设计等手段来提高系统的可靠性。如在液压动力源部分加装备用液压泵,当主泵发生故障时,可自动切换并投入运行,确保系统持续运行。电控系统采用双CPU冗余结构,提高系统可靠性;在此基础上,开展关键零部件的可靠性分析与寿命预测,选用高可靠元件与材料,减少系统失效率。试验机安装调试时,应严格按照规程要求操作,保证各零部件安装精度及连接可靠^[5]。液压管路必须经过严格的清洁及耐压试验,以防止管路中的杂质影响管路的性能及元件的使用寿命,完成线路绝缘试验及接地电阻试验,以保证电力系统的安全性、可靠性。在调试过程中,对压力控制精度,动态响应特性等进行详细的检查,发现问题及时处理,确保系统在投入使用前处于最好的工作状态。为保证系统的可靠性,必须制定出一份详细的维修计划,确定维修周期和维修内容,如定期更换液压油,清洗过滤器,检查液压元件的密封性能等。在更换液压油时,应选用符

合系统要求的润滑油,并对其进行性能测试,以保证其质量;清洗过滤器时,应检查过滤器是否损坏,如有需要,应更换^[6]。同时,定期检查伺服控制器的散热状况,传感器接头是否松脱,及时发现并排除隐患。通过安装在线监测传感器,实时监测压力、流量、温度和振动等参数,并结合故障诊断算法,及时发现系统异常。当系统发生故障时,能迅速定位故障位置及原因,并提出相应措施,可为电液伺服系统的故障诊断与维修提供理论依据,提高电液伺服压力控制系统的可靠性与可维护性。

二、电液伺服压力控制在试验机中的应用案例分析

1. 案例背景

某材料研究所对高强合金材料进行疲劳试验时,要求有一台能准确控制载荷、载荷速率的试验机。传统的试验机控制精度不高,很难满足高强合金动态试验的要求。为此,研究引进新型的电液伺服压力控制系统,以提高测试精度与可靠性。

2. 实施过程

对试验机电液伺服压力控制系统进行详细的调试与标定,系统采用先进的闭环控制算法,实现对载荷、位移等信号的实时监控,并根据预先设定的测试方案,实现动态调节。为保证测试结果的准确性,项目组做了大量的空载实验来验证系统的稳定与可重复性。该试验机具有0-100 kN的加载能力,力加载速度可以从0.1-10 kN/s调节,位移空载加载速度可以从0.01-300mm/min调节,带载加载速度可以从0.001-100mm/min调节,可以满足不同载荷工况下高强合金材料的试验要求。在对高强合金材料进行疲劳试验前,制定了详细的测试计划,试验分几个阶段进行,分别为低周疲劳与高周疲劳实验。以0.5 mm/min的加载速率,将低周疲劳载荷设定为材料屈服强度的70%。高周疲劳试验以50 mm/min的加载速率加载,以材料屈服强度的50%作为加载条件。为保证数据的可靠性,每一期的测试都被多次重复。

3. 实施效果

该试验机采用电液伺服压力控制技术,对高强合金材料进行疲劳试验,取得较好的效果。具体分析执行效果:1.加载精度明显提高,实现了高精度加载控制。低周疲劳试验时,载荷的变化范围为 $\pm 0.3\%$ 。进行高周疲劳试验时,将载荷的变化范围控制在 $\pm 0.5\%$ 以内,这种高精度加载控制,保证了载荷在测试过程中的稳定与一致,提高了测试结果的精度。2.该试验机具有优良的动

态响应特性，具有优良的动态响应特性。在高周疲劳实验中，该系统能对加载速率的变化进行快速响应，保证了测试过程的顺利进行。当加载速度发生急剧变化时，系统仍能保持稳定的加载能力，避免了加载速度变化引起的载荷波动。3.经多次重复实验，项目组发现该测试结果具有较好的重复性。低周疲劳试验结果表明，材料疲劳寿命的标准偏差只有2%；高周疲劳试验结果表明，疲劳寿命的标准偏差只有3%，而试验结果与试验结果吻合良好。该测试结果可作为评价材料性能的可靠依据。4.电液伺服压力控制系统配备有先进的数据采集模块，可对载荷、位移、时间等参数进行实时记录。可在前期工作的基础上，利用先进的数值模拟软件，实现对材料疲劳寿命及应力-应变全过程的快速计算，为材料性能研究提供可视化的数据支撑。下面是试验期间的一些数据表：

表1 低周疲劳试验数据

试验编号	加载力 (kN)	加载速率 (mm/min)	疲劳寿命 (循环次数)
1	70	0.5	1200
2	70	0.5	1180
3	70	0.5	1210
4	70	0.5	1190
5	70	0.5	1205

表2 高周疲劳试验数据

试验编号	加载力 (kN)	加载速率 (mm/min)	疲劳寿命 (循环次数)
1	50	50	5000
2	50	50	4980
3	50	50	5020
4	50	50	4990
5	50	50	5010

结束语

综上所述，电液伺服压力控制在试验机上的应用是十分必要的，不仅可以提高试验装置的加载精度与控制性能，而且可以满足复杂材料试验的要求，对材料科学研究与工程应用具有重要意义。未来，电液伺服压力控制技术将向智能化、自动化和高精度方向发展，有望进一步提高试验装置的性能，拓展其应用范围，促进材料科学与工程技术的进步。

参考文献

- [1]赵磊, 葛磊, 杨飞, 权龙, 郝云晓, 夏连鹏. 基于转矩控制的变转速定量泵的运行特性研究[J]. 液压与气动, 2024, 48(10): 21-27.
- [2]赵健, 杜金朋, 朱冰, 陈志成, 吴坚. 集成式电液制动系统自适应压力控制[J]. 汽车工程, 2024, 46(08): 1479-1488.
- [3]高强, 李林飞, 朱玉川. 阵列数字阀控电液压力伺服系统混合编码控制[J]. 机械工程学报, 2024, 60(04): 143-154.
- [4]任丽, 李强. 盾构机电液伺服系统可变压力H ∞ 鲁棒控制设计[J]. 中国工程机械学报, 2023, 21(02): 145-149.
- [5]苏春波, 汪成文, 苑永亮, 赵二辉, 权龙, 成磊. 阀控电液伺服压力脉冲实验自抗扰控制方法[J]. 控制与决策, 2024, 39(06): 1927-1935.
- [6]李泽龙. 基于模糊控制的伺服泵控电液负载敏感系统研究[J]. 机电工程, 2023, 40(07): 999-1007.