

通用型液压马达实验台的分析与设计

张翔,周燕飞,夏天,包磊,王立超,房连强
(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:通用型液压马达实验台的检测实验装置能够模拟实际工况对不同类型、多种规格的液压马达进行性能测试。设计一种通用型液压马达,包括实验台的连接支架设计、转速扭矩仪选型、负载系统设计、油箱设计及油路优化,并对设计参数进行了计算与有限元验证。该实验台可按照国家标准和检测方法,对多种类型不同型号液压马达做性能测试。

关键词:液压马达;实验台;结构设计;负载系统;有限元

中图分类号:TH137.51 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)01-0056-04

Analysis and Design of Test Bench for Universal Hydraulic Motor

ZHANG Xiang, ZHOU Yanfei, XIA Tian, BAO lei, WANG lichao, FANG lianqiang
(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: The testing equipment for universal hydraulic motor test bench can be used to simulate the actual working condition and test the performance of the hydraulic motors of different types and different specifications. This paper designs a general-purpose hydraulic motor, including the bracket design of the test bench, speed torque device selection, load system design, the oil tank design and its oil circuit optimization, and calculates the design parameters with finite element method. This test bench can be used to test the performance of the different types of the hydraulic motors according to the national standards and testing methods.

Keywords: hydraulic motor; test bench; structural design; load system; finite element

0 引言

液压马达是液压系统重要的动力元件,它将系统压力能转化为机械能,输出旋转运动,具备在较宽的转矩与转速范围内工作的能力^[1-2]。泵和液压马达作为液压系统中至关重要的设备,其性能的好坏决定着整个系统的工作状况。

目前,国内许多科研院所与相关企业,为开展科学研究、教学演示或生产需要,配备有液压马达测试系统或其他液压测试系统。经过多年的探索,液压测试系统研究呈现出一些显著特征,主要表现为系统设计与计算机技术、数据采集技术相结合,虚拟仪器技术大量应用于系统的测量与控制,系统自动化程度和控制水平不断提高,系统设计更加注重功率回收、节能环保等^[3-5]。液压伺服系统^[6]、液压CAT涉及液压、自动化、微型计算机、测试技术、数字信号处理等多学科理论与技术,也是国内发展方向^[7]。相比国内而言,国外液压测试试验台的设计与研究工作开展较早,且液压测试系统的发展趋势是综合运用计算机技术、传感器技术、比例控制技术、集成插装技术、虚拟仪器技术及新的可靠性理论、现代控制理论等相关技术,不断提高试验台系统性能,节约能源,提高环保水平,开展综合应用研究^[8]。

液压马达的测试,是在液压马达出厂前必须对其进行

的性能检测,要保证其转速和转矩符合标准的要求。很多液压马达的使用工况复杂、环境恶劣,损耗很大,因此,须定期对液压马达进行性能检测。液压泵和液压马达试验系统是检验这些重要元件的测试装置,它的测试结果对液压系统的工作性能有巨大的影响。

传统的液压马达测试系统,占用空间大,组成部分多,如果检测多种类型的液压马达而只配备一种实验台是很难实现的。不同的马达配备不同的实验台,会造成很大的资源浪费。不同的实验台有很多共同点,关键是要找出其共性^[9-10]。因此,通用测试系统研究,构建液压马达维修测试平台,为企业创造出厂及维修所需的液压马达性能测试的设备与条件,具有重要的实际意义。

1 通用型液压马达实验台工作原理

1.1 液压马达实验台的组成

本实验测试系统以现有液压马达测试台为研究基础进行设计与分析,主要由1套液压源(动力系统)、操作台、试验台架及液压管路组成。

1) 电机泵组

电机泵组为油源的核心部分,油泵选用定量柱塞泵,流量为500 mL/min,耐压可达35 MPa,低噪声、压力脉动小、效率高,耐气穴、吸油压降和壳体压力峰值的能力强。

电机选用西门子变频电机,电机和泵安装钟形护罩,保证电机与泵连接的同轴性,同时钟形护罩将电机与泵的连接轴及联轴器罩住,具有隔音、防尘的功能。

2) 底座

底座用于安装电机泵组及油箱,底部由槽钢焊接组成框架,配备地脚螺栓安装孔及方斜垫圈;上部铺有钢板,作为安装底面并兼有接油盘的功能,结构牢靠且外形简洁大方。外表面采用整体喷漆,耐油性好。

3) 控制系统原理

控制系统采用分布式结构,从层次上分为2层。

第1层为试验管理层,它通过上位计算机完成操作员对试验的进程控制,并通过高速数据传输模块完成上下层之间的数据通信。

第2层为实时控制层,它通过底层 DSP 完成包括数据采集、数字闭环控制、速度超限处理等功能,以满足系统对反馈信号采样的精度要求;同时发挥了嵌入系统实时性好,处理速度快的特点。信号采样、模数转换及常规的PID控制算法直接在下位机的DSP上完成。

图1所示为控制系统原理图。

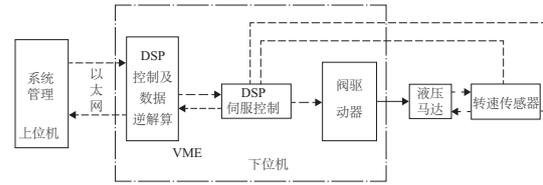
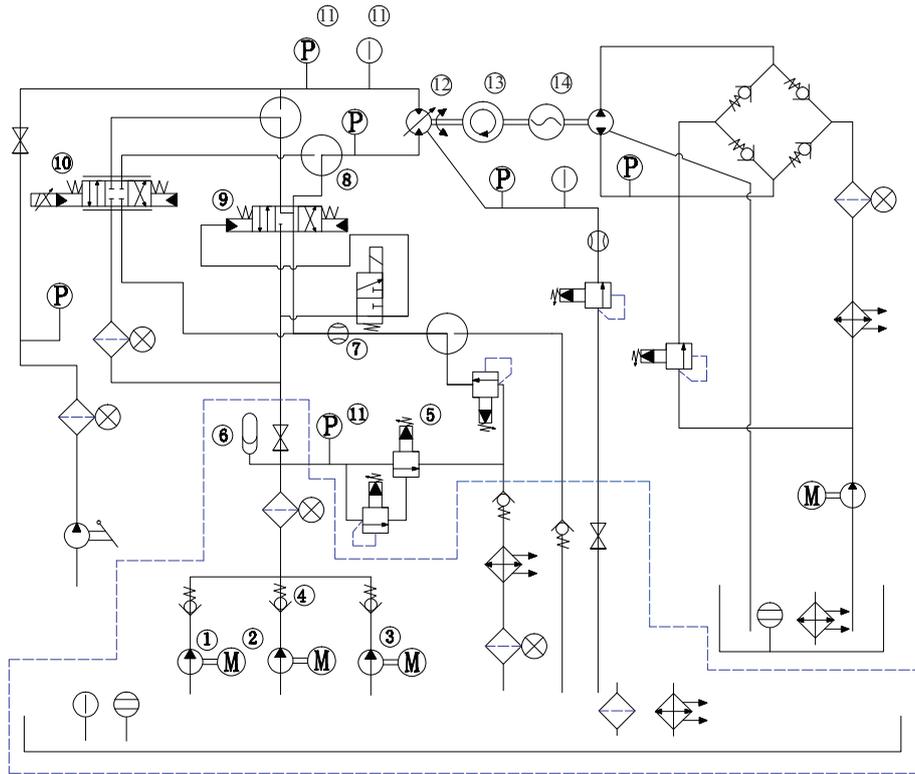


图1 控制系统原理框图

1.2 液压系统的工作原理

设备操作采用“手动”与“自动”两种方式。“手动”方式通过“手柄操控,仪表显示”实现逐级分步试验,用于产品的初次验证;“自动”方式采用“PLC+计算机”程序控制,实现一键式完成所需检测的各项指标,并对检测进行记录、存盘与打印,用于产品的批量化验证。两种控制方式相互验证设备的精度,更可靠地对产品进行精度测试,其中通用性体现在实验台支架的连接部位、转速扭矩仪的升降,整个实验台的负载功率可以满足待测马达的检测指标。图2是液压系统原理图。



1—柱塞泵;2—变频电机;3—空气滤清器;4—单向阀;5—比例溢流阀;6—蓄能器;7—流量计;8—多路球阀;
9—液控换向阀;10—电液伺服阀;11—压力传感器;12—试验件;13—扭矩转速仪;14—柱塞马达。

图2 液压系统工作原理图

2 通用型实验台的结构设计

2.1 液压元件的选择

a) 待测液压马达的选择

为了实现试验台的通用性,每一种类型的液压马达都

有其规定的检测标准和方法,而由于液压马达大致分为齿轮马达、叶片马达、柱塞马达、摆线马达等几大类,故在这4种液压马达中分别选取2种同系列马达。选择同系列中参数相差较大的液压马达,建立的负载系统如果能满足这些液压马达的要求,那么待测液压马达在这些系列的参数范围内,也能够保证实验台的适用性,在一定程度上,扩大了实验台的通用性,但缺点是在构建系统结构和选定负载

泵时需要花费更多的时间。表1为液压马达选型表。

表1 液压马达选型表

液压马达类型	型号	排量/(mL/r)	压力/MPa	转速/(r/min)	转矩/(N·m)
摆线马达	YMC-10	90	额定9最高12	额定300最高400	98
摆线马达	YMC-30	224	额定9最高12	额定150最高200	294
齿轮马达	BYM-80	80	12	400	105
齿轮马达	BYM-320	320	12	400	420
叶片马达	YM-F-E125	125	额定15最高20	1200	284
叶片马达	YM-F-E-200	200	20.7	1200	481
柱塞马达	MFB5	10.55	20.7	3600	31
柱塞马达	MFB45	94.50	20.7	2200	98

b) 负载泵的选择

所选择的液压马达的主要参数是转速和排量。由于这些液压马达的主要参数差异较大,故在此根据所选液压马达中的YMC-30为待测马达,选定负载泵。其公称排量为224 mL/r,最高转速为200 r/min,其流量为44.8 L/min,故选定负载泵为型号为PPED-4131037/016的柱销式叶片泵,其主要参数为排量:前泵36.6 mL/r,后泵16.5 mL/r;额定压力为前泵21 MPa,后泵21 MPa,输出流量为前泵45 L/min,后泵16 L/min,驱动功率为22 kW,10 kW,转速范围为80~2500 r/min。

c) 转速转矩仪的选择

选择NJ型扭矩转速传感器,该转速转矩传感器是一种广泛应用于机械领域中的用来测量各种动力机械转矩和转速的高精密测量仪器。其测速工作原理图如图3所示。

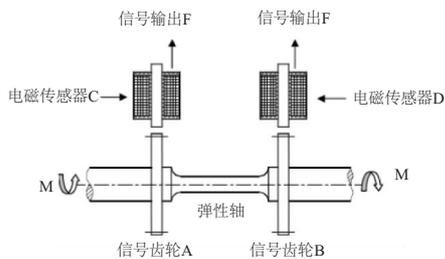


图3 测速原理图

通过弹性轴以及分布在两侧的两组电磁传感器将被测转矩、转速转换成具有相位差的两组交流电信号,把这两组交流电信号送入测量仪计算机,即可得到转矩。

选择NJ1型转速转矩仪,其额定转矩为300 N·m,使用转速范围为0~6000 r/min,该转矩仪在超载≤120%额定转矩时,仍然能保证转矩测量精度。

2.2 结构设计

a) 固定支架的结构设计

因为试验台架要安装不同类型的液压马达,而液压马达的型号不同接口也不同。为了便于液压马达的安装,设计了一种通用性更高、可替换的连接过渡件,解决了上述问题(图4、图5)。

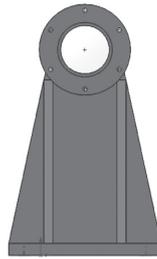


图4 固定支架

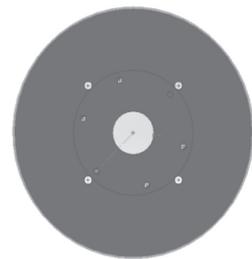


图5 连接过渡件

b) 转速转矩仪升降台的设计

因为每一种类型的马达对应相应负载的液压泵,也要有相应规格的转速转矩仪与之配合工作。不同类型的转速转矩仪外形尺寸有区别,需要设计升降台来满足它与液压马达之间的空间距离差。图6是转速转矩仪升降台的三维图。

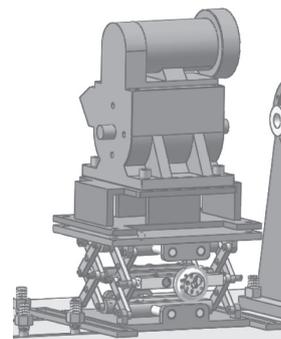


图6 升降台

c) 负载系统的结构设计

负载系统在实验台中起着模拟实际工况负载的作用,给液压马达施加负载可以更真实地检测其性能。本实验台改进了原有负载系统的负载泵连接部位,改进了油箱,优化油路管路,给测试带来方便(图7)。

1) 油箱设计

油箱容积的确定:液压系统工作时,液面保持一定的高度。为了保证溶解在液压油中空气的逸出,留出液压油容量1/5的空间。对于管路较长的系统,油箱最高液面不超过油箱高度的80%。

流量估算:油箱容积是运转容量、回流容量、预备容

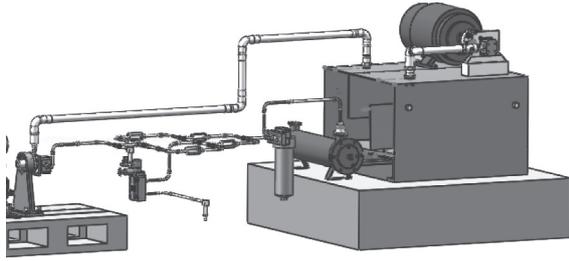


图7 负载系统设计图

积及空容积之和。液压泵的流量估算容积为 V , 经验公式为: $V = \varepsilon Q$, 其中: ε 为经验系数, 低压取 2~4, 中压取 5~7, 高压取 10~12。本液压系统, 选取经验系数为 6, 排量取液压马达排量最大值为 320 mL/r, 转速为 200 r/min, $Q = 64$ L/min, $V = 384$ L。考虑到预留容积, 故取 $V = 500$ L 为主油箱容积^[12]。

油箱结构设计: 选用闭式油箱结构, 油箱接口采用密封圈密封。油箱由箱体、液位液温计、空气过滤器、吸回油过滤器、放油口、加油口等组成。

对于压油管路, 根据经验公式按流速选取: $d = \sqrt{\frac{4q_v}{\pi V}}$

式中: q_v 为管道内的流量; V 为管内许用流量, 压油管路取 3~6 m/s;

取 $V = 4$ L/s, q_v 为 116 L/min, 计算得:

$$d_{\text{压油}} = \sqrt{\frac{116 \times 4}{\pi \times 4}} = 6.077 \text{ mm}$$

取压油管径为 6 mm, 胶管外径为 15 mm。

2) 电机泵组的选择

液压泵工作压力的确定: $P_p \geq P_1 + \sum \Delta P$, P_1 是液压执行元件的最高工作压力, 在所设计的液压回路中为液压马达的最高压力。其中 $P_1 = 12$ MPa, $\sum \Delta P$ 是泵到执行元件间总的管路损失, 中间经过了 4 个单向阀, 取 $\sum \Delta P = 0.6$ MPa, 所以液压泵的工作压力为:

$$P_p = 12 + 0.6 = 12.6 \text{ MPa}$$

选用 PPED-4131037/1022 双联型叶片泵为负载泵, 当压力为 12.6 MPa 时, 大泵流量为 45 L/min, 小泵流量为 23 L/min。大泵的供油压力为 12.6 MPa, 小泵的供油压力为 12.6 MPa。取泵的总效率 $\eta_p = 0.8$, 泵的总驱动功率为:

$$P = \frac{P_{p1} q_{v1} + P_{p2} q_{v2}}{\eta_p} =$$

$$(12.6 \times 10^6 \times 45 + 12.6 \times 10^6 \times 23) / 10^3 \times 0.8 \times 60 \times 10^3 = 17.85 \text{ kW}$$

考虑到电机允许短时间超载 25%, $P = 17.85 \div 1.25 = 14.28$ kW。根据机械设计手册, 选择 15 kW 的电动机, 型号为 Y180L-6 型。

d) 其他液压元件的选用

1) 单向阀。根据液压马达测试台额定流量为 116 L/min, 选取单向阀型号为 DXF20-G, 参数为: 通径 20 mm, 流量 130 L/min, 长度 98 mm, 六方 S45, 螺纹直径

M33×2, 螺纹深度 18 mm。

2) 溢流阀。根据液压马达测试台调压范围为 0~28 MPa, 故选取溢流阀型号为 YF-F32H4, 连接方式为法兰连接, 质量为 14 kg, 长度为 50 mm, 流量为 200 L/min, 调压范围 16~32 MPa。溢流阀 YF-F32H2, 连接方式为法兰连接, 质量为 7 kg, 长度为 32 mm, 流量为 200 L/min, 调压范围为 4~16 MPa。

3) 冷却器。水冷冷却器的冷却面积计算: $A = \frac{N_h - N_{hd}}{K \Delta T_{av}}$

式中: A 为冷却器冷却面积; N_h 为液压系统发热量; N_{hd} 为液压系统散热量; K 为表面传热系数。

$$\Delta T_{av} = \frac{(T_1 + T_2) - (T_3 + T_4)}{2}$$

式中: T_1, T_2 为进口和出口油温 (°C); T_3, T_4 为进口和出口的水温 (°C)。

$$N_h = N_p (1 - \eta_c)$$

式中: N_p 为输入泵的功率, W; η_c 为系统的总效率。

$$N_{hd} = K_1 A \Delta t$$

式中: K_1 为油箱表面传热系数; A 为油箱散热面积; Δt 为油温与环境温度之差。

取 K_1 为 20, A 为 1, Δt 为 40, 计算得 $N_{hd} = 800$ W;

取 $\eta_c = 0.5$, $N_p = 12$ kW, 计算得 $N_h = 6000$ W;

T_1, T_2 分别为 60 °C、65 °C, T_3, T_4 分别为 25 °C、65 °C, 计算得 $\Delta T_{av} = 17.5$ °C, 代入得 $A = 1.75$ m²。

根据液压马达实验台的调压范围以及额定流量, 选择型号为 2LQFWX 型冷却器型号为 A2.1F, 其散热效果好, 能够有效地避免油温过高。

4) 滤油器。选择 U-H250 高压滤油器。高压滤油器主要用于保护泵下游元件不受污染。

3 结语

通用型液压马达试验台具有测试范围广、自动化程度高、操作方便、测试准确等优点, 可以测试多种类型不同规格的液压马达。通过对 YMC-30A 液压马达实验台的试验台架、负载系统、油箱及管路的改进设计, 可以实现对不同类型马达的测试。试验台架设计了过渡件, 方便液压马达与支架之间的连接。转速扭矩仪下方安装有可移动升降台, 可以调节转速扭矩仪的上下高度, 一种类型的液压马达就要配备相应规格的负载泵, 依据标准和使用量程对油箱进行设计。通过这样一套基于原有实验台的改进结构, 可以满足对多种类型马达的测试。控制部分与改进后的实验台结合, 系统采用电磁比例溢流阀和比例泵, 计算机辅助测试技术 CAT (computer aided test) 的应用, 为实现液压马达的高效准确测试带来极大的便利。

参考文献:

- [1] 刘苏宁. 液压测试实验台的共性技术及具有节能技术实验台的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2014.
- [2] 万丽荣, 曾庆良. 液压马达加载测试装置的设计研究[J]. 机床与液压, 2003(6): 297-298.

(下转第 106 页)

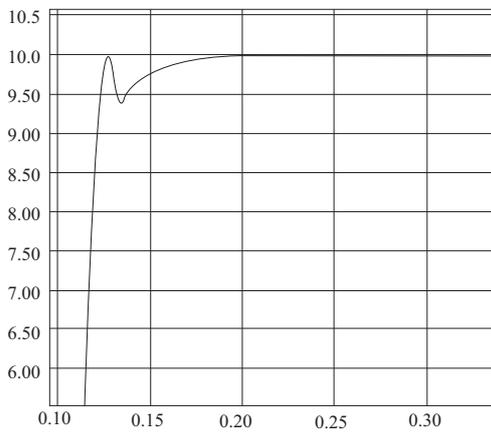


图 7 位置环仿真模型

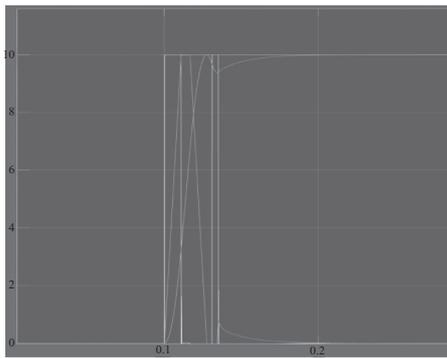


图 8 含有反电动势的整体仿真波形图

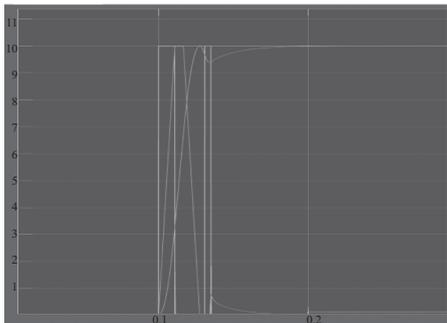


图 9 带负载的整体仿真波形图

输出波形如图 9 所示,观察 0.2s 加上负载时,电流短时间内立即增加,负载不变后,电流稳定。

3) 动态跟随测试

测试动态相应性能,参考位置输入正弦信号,将图中 step 换位 Sine Wave, Amplitude = 20, Frequency = 10, 观察输出波形如图 10 所示,实际位置曲线比参考位置曲线延时 < 0.001 s。

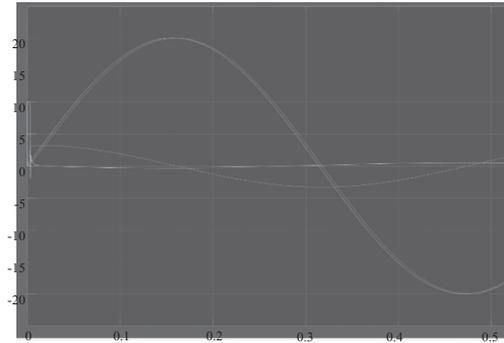


图 10 动态跟随仿真波形图

4 结语

通过仿真分析发现,此控制策略能够有效地对后轮转角进行实际控制,控制无超调,滞后时间极短,因此可以作为一种控制策略进行实验分析和研究,而且此控制策略也是对大学生方程式赛车的一次大胆尝试。

参考文献:

[1] 杜峰,李伦,魏朗,等. 模型跟踪主动四轮转向汽车最优控制研究[J]. 拖拉机与农用运输车, 2009,36(1):19-21,24.

[2] 屈求真,刘延柱. 四轮转向汽车的控制策略[J]. 中国机械工程,1999(2):8-11.

[3] SHOICHI Sano, YDSHIMI Furukawa, SHUJI Shiraishi, et al. Four wheel steering system with rear wheel steer angle controlled as a function of steering wheel angle[J]. Tractor and Farm Transporter, 2008(4):100-102.

[4] 汪东明. 四轮转向汽车的转向特性及控制技术[J]. 现代机械, 2003(6):73-75,91.

收稿日期:2018-11-14

(上接第 59 页)

[3] 林壮,胡刘扣,万理想.功率回馈式矿用液压马达试验台研究[J]. 煤矿机械,2011,32(6):160-161.

[4] 高名乾,贺尚红. 基于 Lab VIEW 的液压实验台数据采集系统设计[J]. 机床与液压,2008,36(5):147-150.

[5] 芮丰,李佑策,张志生. 新型矿用节能型液压泵及马达试验台[J]. 煤矿机电,2008(4):55-56.

[6] ZHANG C, WANG X, WANG Z. Design of the control system for hydraulic experimental bench based on Lab VIEW[C]. Harbin: Electronic and Mechanical Engineering and Information. Technology (EMEIT), 2011 International Conference on, 2011: 1183-

1186.

[7] 王旭永,吴盛林,刘庆和. 新型结构摆动马达[J]. 机械工程师,1992(6):27-28.

[8] 段小维,薛文鹏. 某飞行台被试发动机液压负载系统设计[J]. 科技创新与应用,2017(9):10-12.

[9] 韩振敏. 浅谈液压油箱的设计[J]. 科技创新导报,2009(30):96-97.

[10] 袁伟伟,杨宏军,朱毅. 工程机械液压油箱设计与容量计算[J]. 机械工程师,2016(9):92-93.

收稿日期:2018-10-29