



## 基于硬件在环的液压实验平台设计与应用

韩寿松, 刘相波\*, 晁智强, 靳莹

(陆军装甲兵学院 车辆工程系, 北京 100072)

**摘要:** 针对新装备液压系统结构原理复杂, 实装教学训练易损坏装备、安全风险大等问题, 设计了一种基于液压半实装硬件和虚拟模型的实验平台。采用三维建模软件和 Unity3D 完成虚拟模型及动画集成与控制; 设计了由基于内核芯片 STM32F407IGT6 的测控卡、操作控制装置和传感器构成的接口模块, 实现半实装硬件和虚拟模型之间数据交互。以某型综合传动液压系统为例, 对实验平台的结构原理、故障维修等功能模块进行了说明。应用表明, 采用硬件在环的液压实验平台, 可实现液压教学理论与实践的有机融合, 解决了复杂液压系统结构原理不直观与实践能力培养不足的难题, 教学效果提升明显。

**关键词:** 硬件在环; 液压系统; 实验平台; 虚拟模型

中图分类号: G712; TP242

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230200

## Design and Application of Experiment Training Stand for Hydraulic System Based on HIL

HAN Shousong, LIU Xiangbo\*, CHAO Zhiqiang, JIN Ying

(Department of Vehicle Engineering, Academy of Army Armored Forces, Beijing 100072, China)

**Abstract:** The hydraulic systems of new deployed equipment are complicated and practical equipment training has the potential risks of breakdown and safety. To solve these problems, an experiment training stand is developed based on the semi-real hydraulic system and virtual models. The 3D modeling software and Unity3D are used to model the system and integrate and control the animations. The designed interface module includes the data acquisition and control card based on the core chip STM32F407IGT6, the operation control unit and the sensors, which realizes the data transformation between the semi-real system and virtual model. Taking one type of integrated gearbox hydraulic system as example, different training functions of this stand, such as constructing principles and fault diagnosis, are fulfilled and illustrated. The application shows that by using the experiment training stand based on HIL, the theory and practical training are integrated deeply, and the problems of the complicated hydraulic systems training such as obscure construction and principle and insufficient practical training are solved effectively.

**Key words:** hardware-in-loop; hydraulic system; experiment stand; virtual model

随着武器装备的快速发展, 装备的机电液一体化程度显著提高, 液压系统在装备的综合传动、操纵、悬挂等装置中的应用更加集成, 系统结构原理愈加复杂。对于装备类教学课程, 教学难度明显加大。液压传动课程的教学内容具有系统性、逻辑性、实践性强的特点, 是理解掌握机电液一体化装备的关键<sup>[1-2]</sup>。由于装备更新换代快, 当前新装备液压系统教学训练的手段相对欠

缺, 缺少集成的理实一体教学系统, 实践能力培养不足。

按照课程教学目标, 为了使学生在有限学时内熟悉装备液压系统结构原理, 掌握液压系统常见故障排除方法, 课程组在总结以往教学经验的基础上, 设计了以液压关键控制元件和系统虚拟模型为核心的硬件在环实验教学平台。该平台既可用于装备液压系统结构原理教学, 又可用于故

收稿日期: 2023-04-12

基金项目: 军队装备科研项目(2021WG32)。

作者简介: 韩寿松, 博士, 讲师, 主要从事装备液压系统教学与科研工作。E-mail: hssbeijing@163.com

\*通信作者: 刘相波, 硕士, 副教授, 主要从事装备液压系统教学与科研工作。E-mail: 522367265@qq.com

障注入、故障分析及故障排除等实践教学，极大地提升了实验教学效果。

### 1 设计方案

根据液压教学实验平台的理实一体的教学功能需求，采用半实物仿真技术，进行平台的研发设计<sup>[3-4]</sup>。平台设计方案如图 1 所示，分为结构层和功能层两部分。平台结构上由半实装实训台、接口模块和虚拟模型 3 部分构成，其中半实装实训台是平台的在环硬件，接口模块用于半实装实训台与虚拟模型信号传输，实现实时的虚实交互联动<sup>[5]</sup>；平台实现的主体功能有结构原理教学、故障维修训练、操作运用训练、维护保养训练和考核评估；半实装实训台实现的分系统功能包括系统组装调试、故障注入、故障分析定位、操纵运用输入；虚拟模型实现的分系统功能包括三维模型及流动动态演示、故障现象演示、系统控制等。

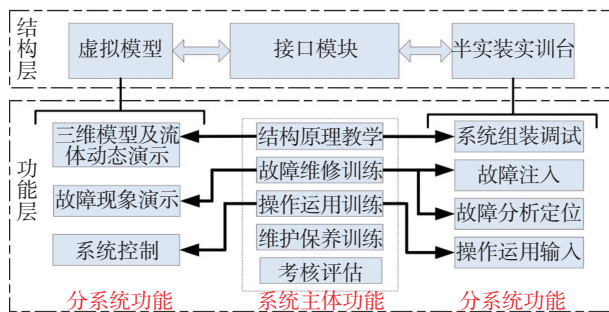


图 1 教学实验平台设计方案

### 2 结构原理设计

平台结构原理设计如图 2 所示，其中半实装实训台由液压油源、液压控制元件和模拟执行机构等构成；接口模块由测控卡、操作控制装置和传感器等构成，用于虚拟模型和半实装实训台之间的数据交互<sup>[6]</sup>；虚拟模型是以计算机及显示设备载体构建三维运动模型。

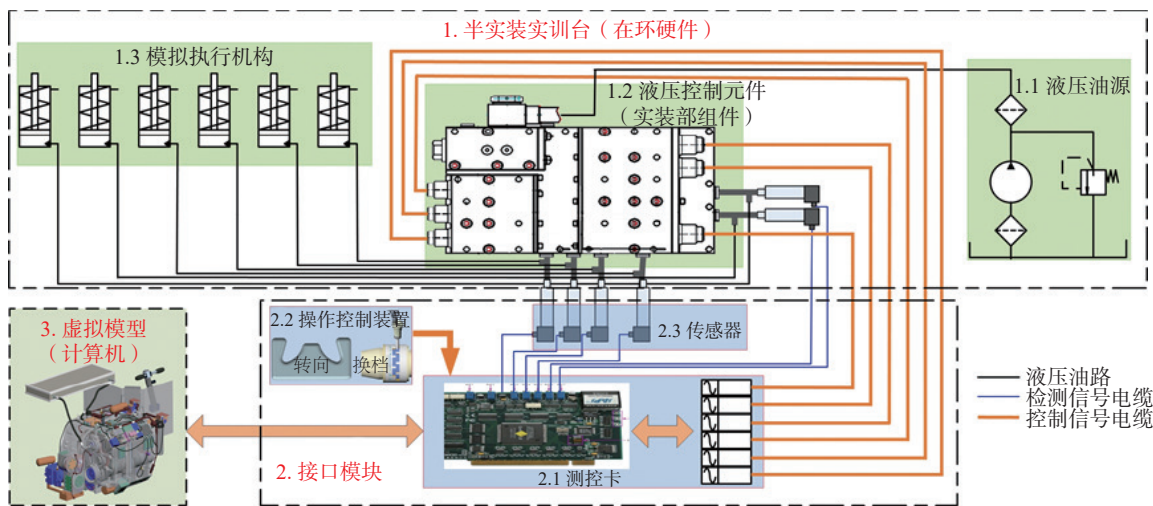


图 2 实验平台结构原理设计

#### 2.1 半实装实训台

半实装实训台是为学生提供实际动手维修和操作的平台。由于大多数装备液压系统的执行机构，如起吊作业等装置较为庞大，在实验室条件下建立实际尺寸的液压执行机构不太现实。因此，从教学训练角度出发，用较小的模拟执行机构代替实装的机构，保留液压系统的关键控制元件，同时对液压油源进行通用化设计，以满足多型号装备液压系统实验教学的需要。

该平台采用多个带弹簧加载的小型液压缸作为模拟执行机构，设计液压油源额定工作压力为

6 MPa，流量为 30 L/min，在保证实验安全的条件下，满足平台实验要求。

#### 2.2 接口模块

接口模块用于虚拟模型与半实装实训台之间数据交互<sup>[7]</sup>，将半实装实训台液压系统的工作状态（如压力、流量、温度等参数）反馈至虚拟模型，驱动模型进行实时动态演示；此外，操纵控制装置通过该模块完成信号的输出，实现电磁阀、液压油源的启停控制等。考虑系统的可靠性和扩展性，研制了基于 STM32F407IGT6 芯片的测控卡，如图 3 所示。

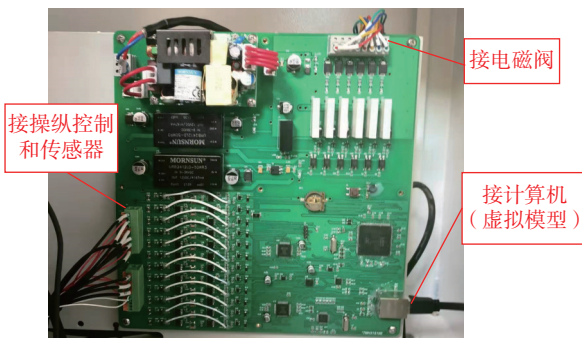


图 3 测控卡

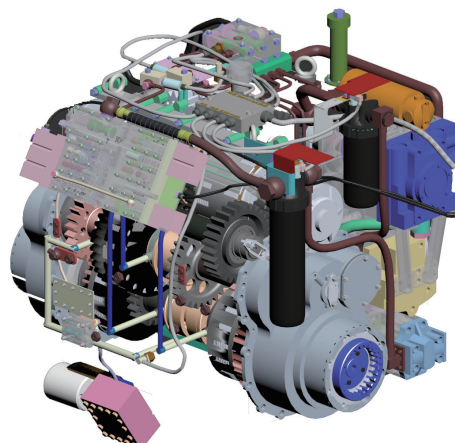


图 4 某传动装置机械液压系统虚拟三维模型

### 2.3 虚拟模型建模

虚拟模型在半实装实训台操纵控制输入和传感器数据的驱动下, 实时直观演示液压系统的工作过程<sup>[8]</sup>。该模块首先利用 3d Max 软件完成机械液压系统的建模, 然后使用 Unity3D 软件, 并结合 C#语言编程, 完成液压系统三维模型动画的集成与控制<sup>[9]</sup>。根据操作规程, 编写相应的脚本控制程序, 实现液压系统虚拟模型在不同工况下执行机构动作以及液压系统内部油液三维流动的演示。以某传动装置机械液压系统为例创建的虚拟三维模型如图 4 所示。

### 3 工作流程设计

平台工作流程设计如图 5 所示, 其中虚线框 I 中的流程主要由虚拟模型系统完成, 而 II 中的流程则由半实装实训台完成。使用时, 学生首先登陆虚拟模型系统, 通过选择装置类型、结构原理教学、故障维修训练、操纵使用训练等步骤, 完成相应任务, 在故障维修和操纵使用时可通过测试数据和相应机构运动演示进行验证, 正确后由教师进行成绩评估, 流程结束。

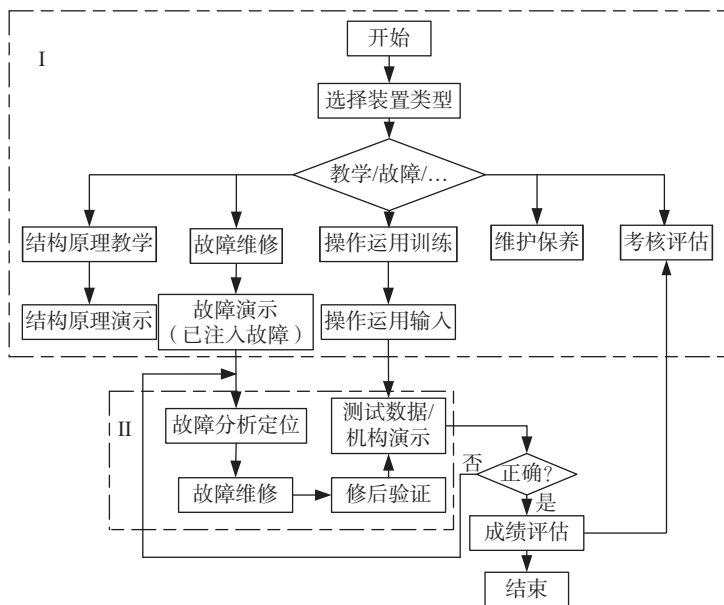


图 5 工作流程设计

### 4 应用示例

以某新型综合传动装置液压系统为例, 对平台的各功能模块应用进行说明。教学实验台布局如图 6 所示。

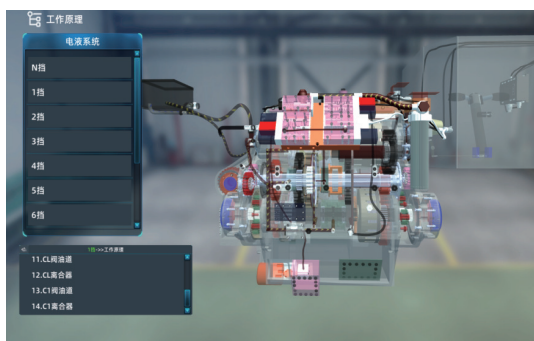
#### 4.1 结构原理

该模块采用三维结构演示、动态仿真、语音讲解与文本资料学习相结合的方式, 对各部件功用、构成和结构原理的结构进行介绍<sup>[10]</sup>。运用过程中突出液压系统及其部件, 可显示细部连接

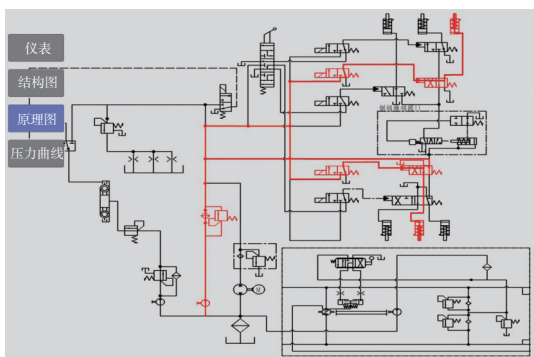
结构，动态演示流动状态及电气控制的传导关系<sup>[11-12]</sup>。应用界面如图 7 所示，其中图 7(a)为平台主屏上显示综合传动装置三维结构及流动演示界面，图 7(b)为平台副屏同步显示的液压系统工作原理二维演示界面。



图 6 教学实验台布局



(a) 三维结构及流动仿真



(b) 工作原理二维仿真演示

图 7 结构原理仿真应用界面

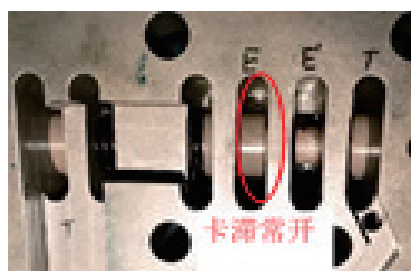
### 4.2 故障判排

该模块采用“故障选择—故障注入—故障演示—故障排除”的流程进行。以综合传动装置典型的换挡冲击故障为例，此故障的常见原因是换挡缓冲阀芯卡滞。如图 8 所示，当选择该故障后(图 8(a))，教师在实训台上完成换挡缓冲阀无损故障注入(图 8(b))；学生根据副屏的虚拟仪表

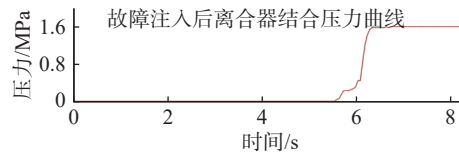
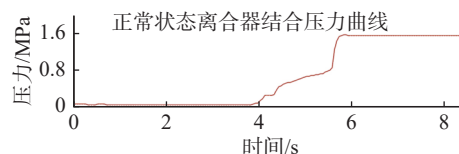
或主屏虚拟模型所显示的故障信息，进行故障原因分析(图 8(c))，并在实训台上进行该故障的实际排除，操作完成后，通过虚拟仪表或虚拟模型得以验证通过(图 8(d))。



(a) 故障选择



(b) 故障注入



(c) 故障显示



(d) 故障验证

图 8 故障维修模块工作流程

### 4.3 操纵运用

操作运用模块依据综合传动装置电液系统实际操作使用方法进行开发。通过半实装实训台上安装的转向舵、换挡/油门装置，用来产生输入信号与虚拟模型进行联动。同时半实装实训台副屏实时显示工作参数、虚拟仪表、虚拟按钮及指示

灯等,虚拟模型演示界面与结构原理模块类似。

#### 4.4 维护保养

维护保养模块依据综合传动装置电液系统维护保养科目实施步骤与基本要求,以语音讲解、文字解说、三维模型体现等方式使参训人员获取综合传动装置电液系统维护保养相关知识<sup>[13]</sup>。维护保养模块分为清洁、检查、更换等,应用界面如图9所示。



图9 维护保养应用界面

#### 4.5 考核评估

考核评估采用人工评判和计算机评估相结合的方式,对综合传动装置电液系统结构原理、故障判排、操作运用和维护保养等装备知识进行考核。选择理论考核后,系统从理论题库随机抽取一定数量试题并进入倒计时。学生通过系统界面注意选择提交个人认为合适的答案。学生主动选择交卷或考核时间结束时,系统自动终止考试。系统根据学生提交的答案,自动进行评分并汇总给出最终得分,应用界面如图10所示。

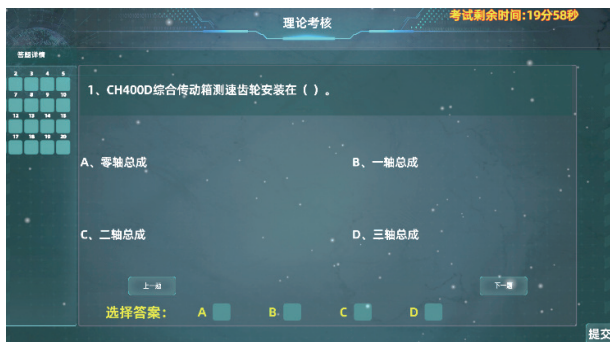


图10 理论考核应用界面

对于实操考核,主要针对电液故障进行实操排除,根据模型中或虚拟仪表的显示故障,依次进行故障原因分析与排除。流程与故障判排模块基本一致,不同的是考核评估模块中不显示排除方法提示,学员根据学习情况直接进行排除操

作,系统根据故障判排结果,自动给分。

## 5 结束语

面向装备液压系统教学,基于硬件在环与三维仿真技术构建了虚实结合的教学实验平台,实现了液压系统结构原理、故障维修、操纵运用、维护保养及考核评估等教学训练。该教学实验平台实现了在不动用实装的条件下,可进行装备液压系统的结构原理及实践能力训练等教学,实现了理论与实践的有机结合,解决了复杂液压系统结构原理教学不直观与实践能力培养不足难题,提高了训练安全系数,降低了实操训练成本,有效提升了实践教学效果。该实验平台的设计及应用对装备类其它课程教学具有较大的参考价值 and 借鉴意义。

## 参考文献

- [1] 王勇刚, 职山杰, 尤凤翔, 等. 现代职业教育体系建设下液压与气动控制课程综合改革研究[J]. 液压与气动, 2020, 44(2): 86-91.
- [2] 潘春鹏, 郝正航. 基于半实物仿真的风力发电实验教学平台[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2020, 37(3): 53-57.
- [3] 陈金强, 赵丽平, 解绍锋, 等. 高铁牵引供电系统虚拟仿真实验教学设计与实践[J]. 高等工程教育研究, 2021(1): 67-71, 107.
- [4] 杨树军, 李路兴, 胡纪滨, 等. 一种并联液压混合动力系统半实物仿真方法[J]. 机床与液压, 2021, 36(9): 75-80.
- [5] 黄景涛, 梁云朋, 邱连奎, 等. 面向案例化教学的半实物仿真系统设计[J]. 教育教学论坛, 2020(1): 243-245.
- [6] 蒋伟, 陈琰, 马海宁, 等. 用于控制课程群的硬件在环仿真教学平台研发[J]. 教育教学论坛, 实验技术与管理, 2020, 37(10): 141-143.
- [7] 倪怡涛, 李俊杰, 李晓明. 基于半实物仿真平台的通用无人机系统模拟器设计[J]. 软件工程, 2021, 24(6): 57-62.
- [8] 王亚东. 液压与气动实验教学改革探索[J]. 中国设备工程, 2020(3): 162-164.
- [9] 李欢欢, 向东, 李松晶. 基于Unity 3D的动力滑台液压系统虚拟实验设计[J]. 现代信息科技, 2023, 7(4): 184-187.
- [10] 杨秀萍, 胡文华, 徐晓秋. 液压专业课程的虚拟仿真实验教学[J]. 液压与气动, 2021, 45(11): 112-116.
- [11] 马少春, 宋正河. 工程教育背景下的农业院校液压与气压传动案例教学应用[J]. 教育教学论坛, 2020(16): 248-249.
- [12] 罗黎, 袁明新, 高进可. 基于工程案例的液压与气动技术课程教学改革[J]. 中国现代教育装备, 2021(15): 129-131.
- [13] 余忠康, 申金星, 李焕良, 等. 基于半实物仿真的电液系统模拟维修训练平台设计[J]. 机械管理开发, 2021, 36(9): 214-216.