

第二批国家级一流本科课程申报书

(虚拟仿真实验教学课程)

课程名称：航空发动机基础

专业类代码：080301

负责人：刘雨棣

联系电话：029-84251798

申报学校：西安航空学院

填表日期：2021-5-12

推荐单位：陕西省教育厅

中华人民共和国教育部制

二〇二一年四月

填报说明

1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2020）》中的专业类代码（四位数字）。

2.文中○为单选；□可多选。

3.团队主要成员一般为近5年内讲授该课程教师。

4.文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。

5.具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留存备查，国家级评审以网络提交的电子版为准。

6.涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

1. 基本情况

实验名称	航空发动机台架试车仿真实验	是否曾被推荐	<input type="radio"/> 是 <input checked="" type="radio"/> 否
实验所属课程 (可填多个)	航空发动机基础、航空发动机原理		
性质	<input type="radio"/> 独立实验课 <input checked="" type="radio"/> 课程实验		
实验对应专业	测控技术与仪器、飞行器动力工程		
实验类型	<input checked="" type="radio"/> 基础练习型 <input type="radio"/> 综合设计型 <input type="radio"/> 研究探索型 <input type="radio"/> 其他		
虚拟仿真必要性	<input checked="" type="checkbox"/> 高危或极端环境 <input checked="" type="checkbox"/> 高成本、高消耗 <input type="checkbox"/> 不可逆操作 <input type="checkbox"/> 大型综合训练		
实验语言	<input checked="" type="radio"/> 中文 <input type="radio"/> 中文+外文字幕(语种) <input type="radio"/> 外文(语种)		
实验已开设期次	共 6 次: 1. 2015-2016-2 学期、人数 164 2. 2016-2017-2 学期、人数 162 3. 2017-2018-2 学期、人数 158 4. 2018-2019-2 学期、人数 163 5. 2019-2020-2 学期、人数 165 6. 2020-2021-2 学期、人数 163		
有效链接网址	http://dzgc.xaau.ovvlab.net/virexp/hkfdj		

2. 教学服务团队情况

2-1 团队主要成员 (含负责人, 总人数限 5 人以内)								
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	手机号码	电子邮箱	承担任务
1	刘雨霖	1957.11	西安航空学院	教师	教授	18691876305	liuyudi2@126.com	平台设计
2	杜磊	1985.05	西安航空学院	教师	工程师	18681839468	justice_dl@163.com	教学及实验项目设计
3	王成	1977.09	西安航空学院	教师	副教授	18192257239	52438593@qq.com	教学及实验项目设计

4	龙卓群	1971.09	西安 航空 学院	教师	副教授	18161913616	498993574 @qq.com	教学及实验 项目设计
5	何红	1975.11	西安 航空 学院	教师	副教授	13572185281	312492559 @qq.com	教学及实验 项目设计

2-2 团队其他成员

序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	承担任务
1	王喆	1993.09	润尼尔公司	开发经理	工程师	技术支持
2	魏海涛	1969.07	中航试飞院	室主任	高级 工程师	技术支持
3	李沫池	1995.08	润尼尔公司	开发经理	工程师	技术支持

团队总人数：8人 其中高校人员数量：5人 企业人员数量：3人

2-3 团队主要成员教学情况（限500字以内）

近五年来承担的学术研究课题

- 1、基于矩阵控制算法的永磁同步电机电动汽车驱动装置研究 陕西省科技厅 2013 项目负责人。
- 2、新能源车旋变解码电路的设计与研究 陕西省教育厅 2012.6 项目负责人。
- 3、基于 CAN 总线的智能化传感器研究 校级立项 2007.2—2008.12 项目负责人。
- 4、阳极钢爪在链校直系统（获多项专利）校企合作 2004—2008 项目负责人。
- 5、高压变频调速装置 校企合作 2006 项目负责人。

在国内外公开发行人物上发表的学术论文

- 1、刘雨棣, 乔社娟. 航空发动机试验仿真系统[J]. 航空计算技术, 2015, 45(05): 117
- 2、刘雨棣, 祝恒洋, 任林林. 航空发动机油门杆模拟装置的研究[J]. 机, 2014, 47(11): 62-66.
- 3、刘雨棣, 祝恒洋. 利用逆 F 类放大器提高旋转变压器驱动电路效率的仿真研究[电机, 2013, 46(08): 65-67+78.

获得的学术研究表彰/奖励

- 1、2006 年度陕西省科学技术二等奖 1 项。
- 2、2005 年度宁夏自治区科技进步三等奖 1 项。
- 3、2004—2005 年度, 陕西省专利奖二等奖 1 项。
- 4、2018—2019 年度, 建成航空发动机控制系统仿真实验平台。
- 5、2019—2020 年度, 建成航空发动机实践教学创新平台。

注：必要的技术支持人员可作为团队主要成员；“承担任务”中除填写任务分工内容外，请说明属于在线教学服务人员还是技术支持人员。

3. 实验描述

3-1 实验简介（实验的必要性及实用性，教学设计的合理性，实验系统的先进性）

航空发动机台架试车仿真实验通过对航空发动机试验过程的模拟，可使学生（学员）验证航空发动机控制系统理论与实际的一致性和差异性，提高航空发动机控制系统实验技能；掌握航空发动机控制系统的建模、仿真方法，加深对发动机控制专业理论的理解。

该实验所依托的航空发动机半物理仿真试验系统自动化程度高，控制精度高；通过虚拟仿真的方式，不伤害实验人员，不破坏实验设备；结构布局合理，部件器件通用，标准化程度高，具备自我诊断功能。

3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

- 1、在掌握燃气涡轮航空发动机各部件协同工作的前提下，通过慢推油门杆及配合启动按钮完成发动机启动、加速、减速及停车过程；
- 2、结合推理产生机理和推力计算公式，详细分析油门杆变化角度与发动机产生的推力值之间的对应关系及产生误差的原因；
- 3、在全面了解燃气涡轮航空发动机的运行机理及各种工况下的工作状态的基础上分析运行时可能产生的故障并给出排故对策；
- 4、以燃气涡轮航空发动机站位作为参照、利用给定的试车条件，并对应发动机原理和热力学知识计算总温、总压等运行参数；
- 5、模拟燃气涡轮航空发动机台架试车现场，练习不同典型试车过程中的试车操作能力。

3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时：32 学时

(2) 该实验所占课时：10 学时

3-4 实验原理

(1) 实验原理(限 1000 字以内)

在给定大气条件（飞行高度和飞行马赫数）下，涡扇发动机的状态由给定参考输入（油门操纵杆角度）确定。在稳态和过渡态工作过程中，随着油门操纵杆角度的增加，供油量（燃油流量）随之增加，从而使得涡扇发动机各特征截面参数发生相应变化，例如压气机出口总压、涡轮后燃气总温、发动机推力和耗油率等。

知识点：共 3 个

1. 掌握涡扇发动机典型试车操作过程
2. 监控涡扇发动机运行参数；
3. 掌握军用小涵道涡扇发动机的典型试车曲线。

(2) 核心要素仿真设计（对系统或对象的仿真模型体现的客观结构、功能及其

运动规律的实验场景进行如实描述，限 500 字以内)

1) 气流理想绝能滞止到速度为零时，气体的温度称为总温，用符号 T^* 来表示。气流理想地滞止到速度为零时，气体的压力成为总压，用符号 P^* 来表示。

$T^* = T + \frac{c^2}{2c_p}$ ，其中， T 为静温， $\frac{c^2}{2c_p}$ 为气体的动温；

$\frac{p^*}{p} = \left(\frac{T^*}{T}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ ，其中， p 为静压， k 为气体绝热指数。

2) 对于涡扇发动机，其推力表示为：

$FV = m \frac{c^2 - v^2}{2} - m \frac{(c-v)^2}{2}$ ，其中 c 为气体进口速度， v 为出口速度， m 为空气质量流量， F 为推力。

3) 耗油率表示为：

$SFC = \frac{3600 \cdot q_{mf}}{F}$ ，其中 SFC 为耗油率， q_{mf} 为燃油流量， F 为推力。

4) 对于涡扇发动机，由于涡轮部件材料特性的限制，使得涡轮前燃气总温不能无限制升高，若超出正常值，会对发动机内部结构造成损伤，称之为发动机超温故障。因此在过渡态工作过程中，需要对发动机进行监控，当超出正常值时，要输出报警并采取对应措施排除故障。

5) 试验数据分析：

根据实际测试数据，将航空发动机的油门杆角度与响应参数（推力、低压压气机压力、高压出口总压力、涡轮后压力、滑油压力、燃油流量、高压转子转速、涡轮后总温及滑油温度）值代入 MATLAB 程序计算，可获得油门杆角度与发动机对应参数之间关系的拟合曲线，通过与实测参数特性进行比较，验证测试数据的正确性。

以发动机推力仿真为例，具体计算过程是取油门杆角度与发动机推力的测试参数代入 MATLAB 程序计算，可以获得油门杆角度与发动机推力之间关系的拟合曲线及函数关系表达式。以函数关系表达式建立数学模型，通过 LabVIEW 程序进行处理，最终显示于虚拟仪器操作面板上，实现发动机试验的仿真效果，具体实现过程如下。取试验数据表中油门角度对应推力的测试值，利用 MATLAB M 程序编程计算。

```
clc
x =5:5:115;
y = [0, 0, 1.21, 1.25, 1.46, 1.93, 8.09, 15.91, 43.36, 52.66, 60.56, 63.83,
65.00, 66.17, 67.34, 70.78, 77.03, 83.28, 89.53, 95.78, 99.38, 100.48,
101.13] ;
p = polyfit( x, y, 9) %取 9 次方程
f = polyval( p, x) ;
plot( x, y, 'o' , x, f, '—' , 'LineWidth' , 3) %输出关系曲线
```

poly2sym([p])

通过执行 M 程序可获得如下图所示的油门杆角度与发动机推力关系的 9 次拟合曲线，图 1 所示。通过与实测推力参数特性进行比较，验证测试数据的正确性。

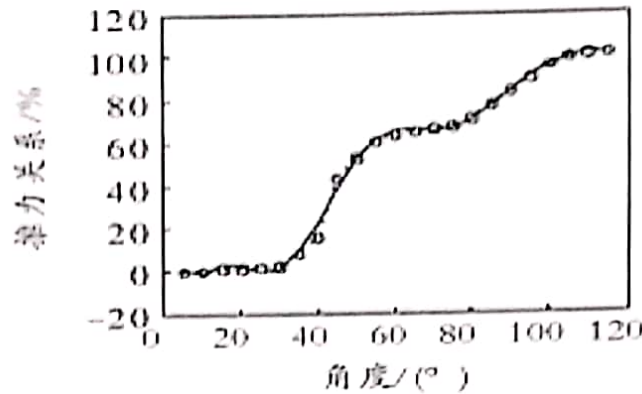


图 1. 油门杆角度与发动机推力关系的 9 次拟合曲线图

3-5 实验教学过程与实验方法

实验教学过程与方法见下图 2。

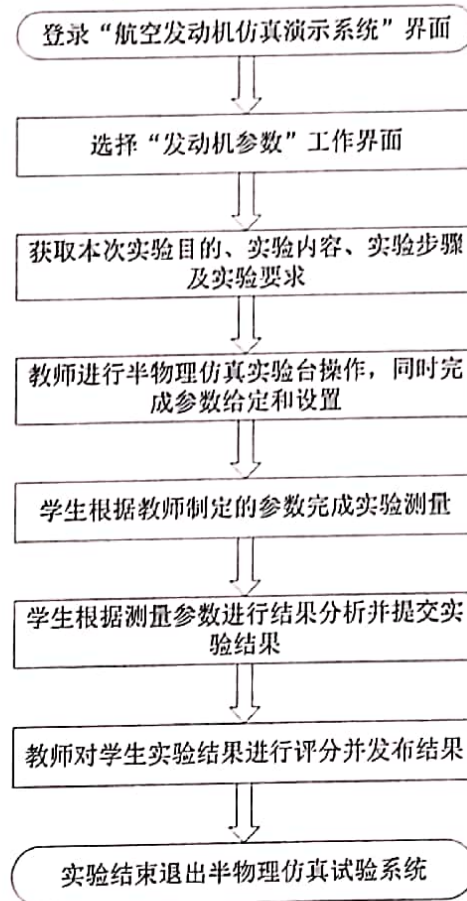


图 2 实验教学方法与过程

本项目开设的航空发动机台架试车仿真实验内容，不仅可以解决航空发动机实际台架试车实验中存在的风险高、环境污染严重和运行成本高等问题，也可实现批量次学生实践需求，同时也可满足航空发动机试车操作员培训的需求。通过

操作半物理仿真实验台，学生可以掌握航空发动机半物理仿真实验的操作流程与数据分析方法。该项目通过给定参考输入（油门操纵杆角度）的变化，可满足学生进行重复模拟实验，使学生充分掌握相关理论与实践原理，提高学生专业应用能力和理论联系实际的能力。

3-6 步骤要求（不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验交互，系统加载之类的步骤不计入在内）

(1) 学生交互性操作步骤，共 12 步

步骤序号	步骤目标要求	步骤合理用时	目标达成度赋分模型	步骤满分	成绩类型
1	进入项目	2min	按照完成度百分比评分	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
2	设备认知	5min	按照完成度百分比评分	5	
3	打开界面	3min	按照完成度百分比评分	5	
4	增加推力，油门杆角度 20-80°	20min	按照完成度百分比评分	10	
5	汇总数据	5min	按照完成度百分比评分	10	
6	开加力，油门杆角度 80-110°	15min	按照完成度百分比评分	10	
7	汇总数据	5min	按照完成度百分比评分	10	
8	降低推力，油门杆角度 110-20°	20min	按照完成度百分比评分	10	
9	汇总数据	5min	按照完成度百分比评分	10	
10	验证分析	5min	按照完成度百分比评分	10	
11	结果比较	5min	按照完成度百分比评分	10	
12	查看报告	5min	按照完成度百分比评分	5	

(2) 交互性步骤详细说明

1) 进入“航空发动机典型试车实验项目”，如图 3 所示。



图 3. 航空发动机典型试车实验项目示意图

2) 先进行设备认知，认知完毕后打开开关盒，开始试验。如图 4 所示。

打开开关盒开关；

- ① 打开电气柜 1 的供电开关；
- ② 打开电气柜 2 的供电开关；
- ③ 打开工控机开关；
- ④ 打开控制器电源；
- ⑤ 打开测试系统电源；
- ⑥ 打开油门杆操作开关；

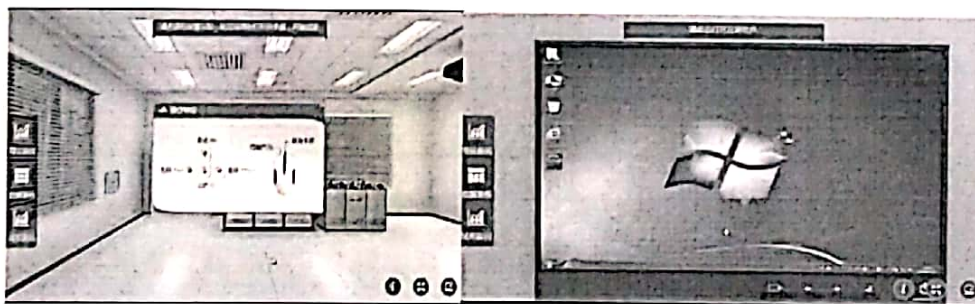


图 4. 设备认知图

图 5. 航空发动机试车软件示意图

3) 打开操作台电脑界面“航空发动机试车软件”。如图 5 所示。

4) 增加推力，油门杆角度 20-80°，间隔 20°

在油门杆角度为 20°，并按下起动手按钮。如图 6、图 7 所示。

10) 依照上述步骤，分别将油门杆推至 80 °、100 °、110 °，记录相应数据。如图 13 所示。

11) 依照上述步骤，将油门杆按 110 °、100 °、80 °、60 °、40 °、20 °，记录相应数据。如图 14 所示。

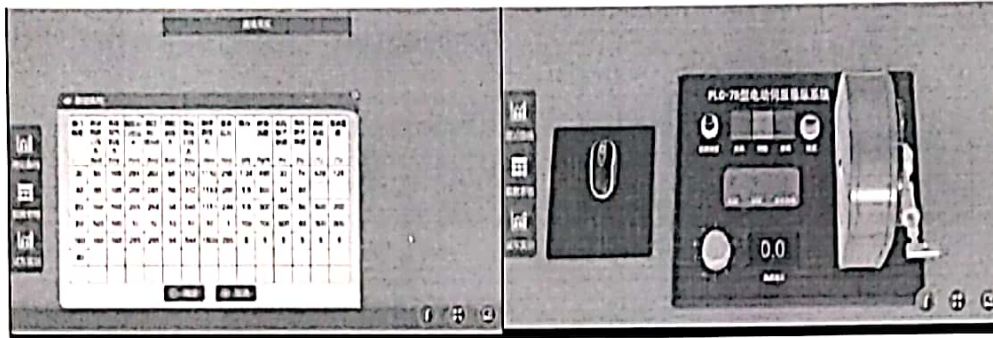


图 14. 油门杆角度 110 ° -20 ° 数据填写示意图

图 15. 实验结束示意图

12) 将油门杆推至 0 °，结束实验。如图 15 所示。

13) 根据实验记录数据，绘制发动机典型试车曲线、发动机油门杆角度与推力关系曲线、发动机加减速及遭遇加速过程试车曲线。如图 16 (a)、图 16 (b)、图 16 (c) 所示。

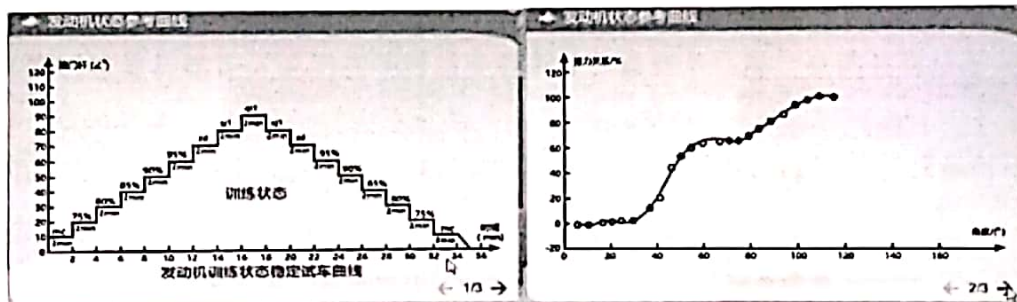


图 16 (a). 发动机训练状态稳定试车曲线

图 16 (b). 发动机油门杆角度与推力关系曲线

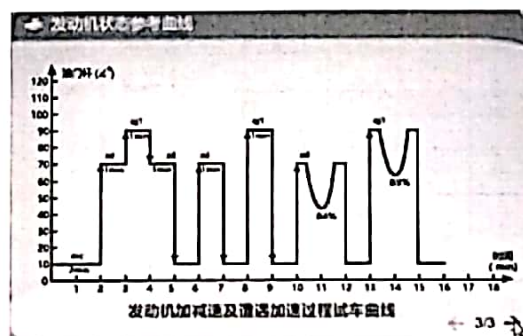
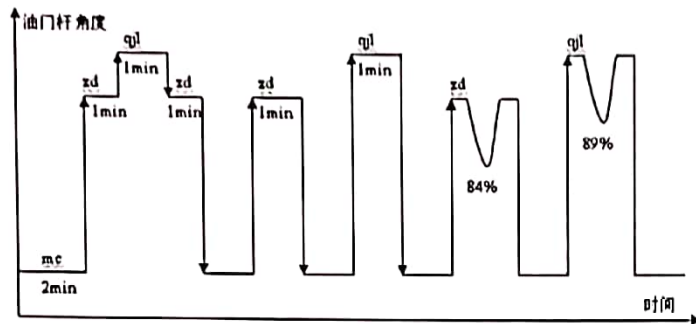
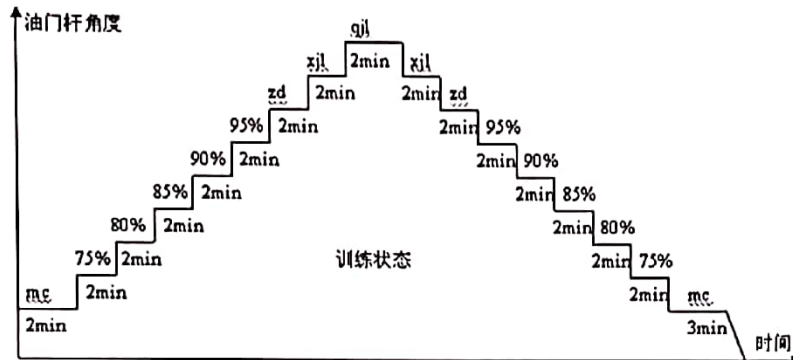


图 16 (c). 发动机加减速及遭遇加速过程试车曲线

14) 将试车过程中的数据并与下列参考曲线进行比较。如图 17 所示。



发动机加速及遭遇加速过程试车曲线



发动机训练状态稳态试车曲线

图 17. 发动机加速及遭遇加速过程试车曲线参考图

15) 点击“退出”按钮，返回主界面。

3-7 实验结果与结论（说明在不同的实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论）

本项目在给定油门操纵杆角度 20° 、 40° 、 60° 、 80° 、 100° 、 110° 的预设条件下测量结果如表 1 所示：

表 1. 发动机给定油门操纵杆角度预设条件下测量结果

油门角度	发动 机进 口压 力 (Kpa)	低压力 气机压 力 (Kpa)	高压出 口总压 A (Kpa)	高压出 口总压 B (Kpa)	涡轮后 压力 (Kpa)	增压泵 出口压 力 (Kpa)	副油路 压力 (Kpa)	滑油压 力 (Kpa)	推力 (Kpa)	燃油 流量 (L)	低压 转子 转速 (%)	高压 转子 转速 (%)	涡轮后 总温 ($^\circ\text{C}$)	滑油温 度($^\circ\text{C}$)
20	95.31	107.63	284.38	282.81	96.16	310.63	1109.38	257.38	1.25	494	32.93	74.81	428.63	124.19
40	95.31	165	821.88	825	131	298.13	1906.25	284.25	15.91	1300	66.88	87.8	455.5	133.5
60	95.31	319.38	1923.13	1921.88	265.19	234.38	3938.13	285.63	63.83	5020	96.93	99.08	780.44	143.38
80	95.19	322.97	1975	1974.22	270.63	208	4000	284.75	70.78	7670	97.78	99.88	795	150.88
100	95.31	323.59	1987.5	1980.47	270.63	101.75	4056.25	250.63	95.78	14970	97.78	99.94	797.5	149
110	95.31	323	1975.94	1980	270.63	78.16	4045.94	250.94	100.48	15000	97.78	99.94	796.25	135.41

结论要求

发动机试车参数曲线与 MATLAB 数学计算拟合曲线对比，确定误差范围。

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

本实验适用于飞行器动力工程、测控技术与仪器、自动化等专业的大学三年级学生。

(2) 基本知识和能力要求

学生须具备《航空发动机基础》、《计算机控制技术》、《智能仪器》、《MATLAB 仿真技术》等理论课的知识背景。

学生应能够熟练操作计算机，能够具备使用 MATLAB 仿真软件对数据进行仿真分析的能力。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2016年9月1日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 975 人，外校 80 人（西航职院本年度意向）

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：

纳入教学计划的专业数：3，具体专业：测控技术与仪器、飞行器动力工程、自动化

教学周期：1次/年，学习人数：162人/次

(4) 是否面向社会提供服务：●是 ○否

(5) 社会开放时间：2016年9月1日

(6) 已服务过的社会学习者人数：计划服务人数：30人/年，面向航空工业系统

4. 实验教学特色

（该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色，限800字以内）

(1) 实验方案设计思路：

将实验教学内容与计算机和信息技术相融合。该虚拟仿真实验教学中心既注意结合传统的设备形式和操作方式，又着力引入先进的控制方法和数据传输手段，如网络技术、数据总线技术、计算机仿真技术、数据分析处理技术、虚拟仪器技术和变频技术等。使学生既能体会实体实验的过程，又能实现虚拟环境下创新拓展。注重以工程实践应用来实现教学理念的提升，以研究与实践结合实现教学水

平的提升，以理论、实践、创新三个课堂相结合来实现教学方式的提升。实验项目多开设为综合性、设计性和创新性。

(2) 教学方法：

针对学生实际情况，设计了一套从基本实验规范训练，到实验和试验互溶的半规范性训练、半设计性的训练，再到试验、研究性训练的实践教学体系。以毕业生需求为导向，建立创新型人才培养的实践教学体系。通过计算机控制系统、机电设备及液压设备的结合，替代发动机实物、燃油供应系统及现场测试设备，逼真地模拟了航空发动机的试验测试环境和建立了符合航空发动机参数变化函数关系的应用模型。采用半物理仿真，避免了实物发动机运行成本过高、噪音污染严重及场地要求苛刻等不利因素。

(3) 评价体系：

该实验可以仿真多种机型，克服了实物航空发动机只能针对某一机型，通用面窄，设备利用率低等缺点，大幅拓展了教学实验内容。经咨询查证国内外尚无此类半物理仿真教学系统。

(4) 传统教学的延伸与拓展：

实验室在建设过程当中，得到中航工业试飞中心发动机所的大力支持，符合企业的需求，使学生可以学以致用。实验室自建立以来，与中航试飞中心开展多次合作，请企业的技术人员进校为学生上课，同时校内的教师为企业员工进行培训的形式，取得较好效果。

5. 实验教学在线支持与服务

(1) 教学指导资源： 教学指导书 教学视频 电子教材 课程教案

(申报系统上传) 课件 (演示文稿) 其他

(2) 实验指导资源： 实验指导书 操作视频 知识点课件库 习题库

(申报系统上传) 测试卷 考试系统 其他

(3) 在线教学支持方式： 热线电话 实验系统即时通讯工具 论坛

支持与服务群 其他

(4) 5名提供在线教学服务的团队成员；2名提供在线技术支持的技术人员；教学团队保证工作日期间提供8小时/日的在线服务

6. 实验教学相关网络及安全要求描述

6-1 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求 (需提供测试带宽服务)

(1.1) 基于公有云服务器部署的系统, 5M-10M 带宽

(1.2) 基于局域网服务器部署的系统, 10M-50M 带宽

(2) 说明能够支持的同时在线人数 (需提供在线排队提示服务)

支持 50 个学生同时在线并发访问和请求, 如果单个实验被占用, 则提示后面进行在线等待, 等待前面一个预约实验结束后, 进入下一个预约队列。



6-2 用户操作系统要求 (如 Windows、Unix、IOS、Android 等)

(1) 计算机操作系统和版本要求

客户端操作系统: Windows7 及以上

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

无

(3) 支持移动端: 是 否

6-3 用户非操作系统软件配置要求 (兼容至少 2 种及以上主流浏览器)

(1) 非操作系统软件要求 (支持 2 种及以上主流浏览器)

谷歌浏览器 IE 浏览器 360 浏览器 火狐浏览器 其他

(2) 需要特定插件 是 否

如勾选“是”, 请填写:

插件名称: UnityWebPlayer

插件容量: 1M

下载链接: <https://unity3d.com/cn/webplayer>

(3) 其他计算终端非操作系统软件配置要求 (需说明是否可提供相关软件下载服务)

(2.1) IE 自带 IE8.0 及以上 (推荐使用 360 浏览器极速模式)

(2.1) UnityWebPlayer 5.3.6 插件, 提供下载

6-4 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）

(1) 计算机硬件配置要求

软件配置需求（最低）	软件配置需求（推荐）
操作系统：Windows 2000 以上 浏览器：IE6.0 以上	操作系统：Windows7 及以上 浏览器：IE8.0
配件配置需求（最低）	配件配置需求（推荐）
处理器：Intel 2GHz 及以上 内存：2GB 及以上 硬盘空间：40G 显卡：分辨率 1024x768 像素及以上 网络：1000Mbps 以太网卡 显示器：14 英寸以上 网速：1M 以上	处理器：Intel 2.2GHz 内存：2GB 硬盘空间：80G 显卡：分辨率 1280x1024 网络：1000Mbps 以太网卡 显示器：14 英寸以上 网速：2M

(2) 其他计算终端硬件配置要求

无

6-5 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）

(1) 计算机特殊外置硬件要求

无

(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求：●无 ○有

如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：

6-6 网络安全（实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证）

(1) 证书编号：

无

(2) 请附信息系统安全等级保护备案证明

无

7. 实验教学技术架构及主要研发技术

指标	内容
----	----

系统架构图及简要说明

航空发动机台架试车仿真实验的开放运行依托于开放式虚拟仿真实验教学管理平台的支撑，二者通过数据接口无缝对接，保证用户能够随时随地的通过浏览器访问该项目，并通过平台提供的面向用户的智能指导、自动批改服务功能，尽可能帮助用户实现自主的实验，加强实验项目的开放服务能力，提升开放服务效果。

开放式虚拟仿真实验教学管理平台以计算机仿真技术、多媒体技术和网络技术为依托，采用面向服务的软件架构开发，集实物仿真、创新设计、智能指导、虚拟实验结果自动批改和教学管理于一体，是具有良好的自主性、交互性和可扩展性的虚拟实验教学平台。

系统架构图如下：



实验
教学

开发技术

- VR
- AR
- MR
- 3D 仿真
- 二维动画
- HTML5
- 其他：C、C++、HTML5、WebGl、LabView、LabWindows

	<p>开发工具</p>	<input type="checkbox"/> Unity3D <input type="checkbox"/> 3D Studio Max <input type="checkbox"/> Maya <input type="checkbox"/> ZBrush <input type="checkbox"/> SketchUp <input type="checkbox"/> Adobe Flash <input type="checkbox"/> Unreal Development Kit <input type="checkbox"/> Animate CC <input type="checkbox"/> Blender <input checked="" type="checkbox"/> Visual Studio <input checked="" type="checkbox"/> 其他: Sublime Text
	<p>运行环境</p>	<p>服务器 CPU 6 核、内存 32 GB、磁盘 500 GB、 显存 4GB、GPU 型号: GTX1050 操作系统 <input checked="" type="checkbox"/>Windows Server <input checked="" type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他 具体版本: 数据库 <input checked="" type="checkbox"/>Mysql <input type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle <input type="checkbox"/>其他 备注说明 (需要其他硬件设备或服务器数量 多于 1 台时请说明) 是否支持云渲染: <input type="radio"/>是 <input checked="" type="radio"/>否</p>
	<p>实验品质 (如: 单场景模型总面数、贴图分辨率、每帧渲染次数、动作反馈时间、显示刷新率、分辨率等)</p>	<p>单场景模型总数: 900000 面 贴图分辨率: 1024*1024 显示帧率: 高于每秒 30 帧 刷新率: 高于 30Hz 正常分辨率 1920*1080</p>

8. 实验教学课程持续建设服务计划

(本实验教学课程今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数)

(1) 持续建设与更新:

提升课程平台水平、拓展共享模式。通过进一步提升课程平台建设, 开放远程教

育，拓展辐射性。拓展教学资源。进一步完善教材建设、多媒体课件制作、开发新的实验项目等，注重成果转化，将工程应用与产品的仿真案例引入教学资源。开拓实验教学的新局面。在航空发动机仿真测试实验室基础上，针对中航工业发动机测试、维护一线的高技能人才提高专业水平，提升岗位技能，掌握行业最新实用技术，了解行业技术发展的现状和趋势，了解行业技术发展的目的各种相关实验项目和资源，开展培训工作。

(2) 面向高校的教学推广应用计划：

继续在我校测控技术与仪器、自动化、电气工程及其自动化、飞行器动力工程等专业相关课程，如航空发动机原理课程实现资源共享。该实验教学项目充分考虑了上述专业知识结构的特点以及应用型人才培养的需求。而且发动机仿真测试实验室不仅能够承担发动机相关专业的教学实验任务，还可为大学生创新活动提供服务，提升学校培养应用型人才的能力。

除此之外，该实验项目亦拟面向西安市内的各类高校（包括各类本科、大专和高职院校）的相关专业（如测控技术与仪器、飞行动力工程、自动化、电气工程及其自动化等）开放，为其相关专业学生提供专业实验、实训和培训的场所和基地，为推动我省高校教育事业发挥应有的作用。

(3) 面向社会的推广与持续服务计划：

(3.1) 作为企业的培训基地，完成企业人员的上岗培训。

(3.2) 企业技术人员参与学校人才的培养，学生在虚拟实验的基础上，到企业进行实物参观，进一步促进应用型人才的培养。

(3.3) 在航空发动机仿真测试实验室基础上，针对中航工业发动机测试、维修生产一线的高技能人才提高专业水平，提升岗位技能，开展培训工作。

(3.4) 拓展教学资源。进一步完善教材建设、多媒体课件制作、开发新的实验项目等，注重成果转化，将工程应用与产品的仿真案例引入教学资源。开拓实验教学的新局面。

(3.5) 提升平台水平、拓展共享模式。通过进一步提升平台建设，开放远程教育，拓展辐射性。

(3.6) 深化校企协同。进一步拓展和深化与兄弟院校、合作企业间的资源共享与合作，拓展合作渠道，扩大资源开放范围，实现资源有效整合，校企协同育人。

9. 知识产权

软件著作权登记情况	
以下填写内容须与软件著作权登记一致	
软件名称	
是否与课程名称一致	<input type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否
每栏只填写一个著作权人，并勾选该著作权人类型。如勾选“其他”需填写具体内容；如存在多个著作权人，可自行增加著作人填写栏进行填报。	
著作权人	著作权人类型
	<input type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
权利范围	
软件著作权登记号	
如软件著作权正在申请过程中，尚未获得证书，请填写受理流水号。	
受理流水号	

10. 诚信承诺

本团队承诺：申报课程的实验教学设计具有一定的原创性，课程所属学校对本实验课程内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源）享有著作权，保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

实验教学课程负责人（签字）： 刘雨棣

2021年5月12日

学校政治审查意见

西安航空学院测控技术与仪器专业课程“航空发动机基础”申报第二批国家级一流本科课程（虚拟仿真实验教学课程），该课程团队负责人和团队成员遵纪守法，无违法违纪记录。不存在师德师风、学术不端等问题，五年内没有出现重大教学事故。

该课程内容及上传的申报材料无危害国家安全、涉密及其它不适合公开传播的内容。价值取向正确，维护国家政治制度及党的理论、路线、方针政策，思想导向正确。

中国共产党西安航空学院委员会

2021年5月15日

