



中国石油大学 (华东)
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM

探究性实验项目

建设 方案

单位名称： 材料科学与工程学院

面向专业： 材料成型及控制工程

教务处制

一、实验项目基本情况			
改革前		改革后	
项目名称	学时	项目名称	学时
焊条制造及药皮配方设计	4	焊条电弧焊及 CO ₂ 气保焊焊接工艺及质量探究	10
气体保护焊设备与工艺	2		
焊缝金属中扩散氢的测定	2		
无损检测	6		
负责人	冯涛、许敬年、林学强	联系方式	13356636089
二、建设内容			
1.实验目的 （从要求学生熟悉的实验原理、实验方法、操作技能和分析问题与解决问题的能力等方面，简明阐述实验的原理，并说明做了哪些改进） 1) 本探究性实验的实验目的 在掌握课程基本知识的基础上，通过理论计算，实际操作，数据记录与分析，实现课程内容有机结合，形成有效的探究性连续实验，让学生掌握在焊接生产中，从焊接方法选择到焊接过程实现，最后焊接质量检验的基本过程。具体的实验目的包括以下几个方面： （1）熟悉组成焊条药皮的各种物料的作用；自行制定酸性及碱性焊条药皮配方；分析焊条药皮成分、厚度等因素对焊接过程的影响。 （2）掌握焊接规范参数对焊接电弧稳定性和焊缝成型规律的影响；掌握手弧焊时引弧、运条及收尾基本的操作方法及要领；了解酸性焊条、碱性焊条的焊接工艺特性。探究CO₂气保焊飞溅的影响因素及控制方法。 （3）掌握甘油法测定熔覆金属中扩散氢含量；对比研究自制焊条、商用焊条（酸性和碱性）、CO₂气保焊焊缝中扩散氢含量的不同，分析焊接工艺方法对熔覆金属扩散氢含量的影响。 （4）掌握焊缝超声波探伤方法；了解磁粉探伤、着色探伤方法；掌握不同探伤方法适用的焊接缺陷类型，探究焊接方法和工艺参数对焊接缺陷的影响。 2) 改进内容 对比原有实验，本探究性实验在实验目的上的改进主要体现在以下方面：			

(1) 要求学生在明确焊条药皮各组分作用的基础上, 自行制定不同成分配比的酸性及碱性药皮配方。

(2) 要求学生掌握焊后飞溅率测定方法, 自行计算不同工艺参数下CO₂气保焊的飞溅率, 并分析焊接飞溅的影响因素及控制方法。

(3) 在原有实验内容的基础上, 测定自制焊条、商用焊条、CO₂气保焊焊缝中扩散氢含量, 对比分析CO₂气保焊焊缝扩散氢含量较低的原因。

(4) 除掌握基本的探伤操作方法外, 要求学生对自制焊条焊缝、商用焊条焊缝、CO₂自动焊焊缝进行超声、磁粉及着色探伤。

2.实验内容

(从实验方案设计、实验内容、仪器操作、数据采集、数据处理及结果分析等方面, 列出实验的具体内容, 并说明做了哪些改进)

本次试验的流程见图1所示。

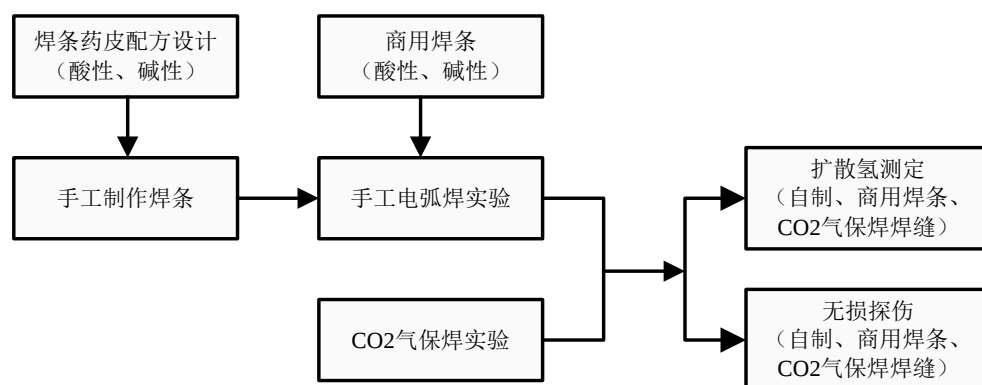


图1 焊条电弧焊及CO₂气保焊焊接工艺及质量探究试验流程

1) 本探究性实验的内容主要包括:

(1) 焊条药皮配方设计及焊条制造

学生自行计算, 拟定酸性或碱性焊条的成分配比, 并加工制作相应焊条。

(2) 手工电弧焊

使用自制焊条、商用E4303焊条(酸性)和商用E5015焊条(碱性)分别进行焊接, 练习引弧、运条及焊缝的连接与收尾。计算不同焊条焊后的飞溅率, 并分析药皮组分对飞溅率及焊缝成型性的影响。

(3) CO₂短路过渡

了解CO₂焊机的结构、供气系统及控制系统; 对焊机进行空载调试、引弧和焊接操作,

熟悉焊接规范的调节方法；找出较为合适的规范参数（电弧最稳定），记录焊接规范对电弧稳定性、熔滴过渡的影响，总结规范参数对焊缝成形的影响规律，并计算CO₂气保焊工艺参数对飞溅率的影响。

（4）扩散氢测定

使用甘油法，分别对CO₂气保焊焊缝、自制焊条和商用焊条手工电弧焊焊缝中的扩散氢含量进行测量和计算，对比分析。

（5）无损探伤

分别对自制焊条焊缝、商用焊条焊缝、CO₂自动焊焊缝进行超声、磁粉及着色探伤，对常见的气孔、裂纹、夹渣等缺陷进行定性分析，对比分析不同探伤方法的优势，并研究焊缝缺陷形成的影响因素。

2) 改进内容：

对比原有实验，本探究性实验在实验内容上的改进主要体现在以下方面：

（1）调动学生的积极性，要求学生在预习中，通过计算确定焊条药皮配方；手工制作好焊条后，不再废弃不用，而是作为后续实验的重要组成部分加以利用。

（2）手工电弧焊实验中，设置商用E4303（酸性）和商用E5015（碱性）为对比实验组，通过对比分析，了解掌握焊条药皮的作用及酸碱性焊条药皮对焊接过程的影响。

（3）在掌握CO₂气保焊工艺参数对焊接过程影响的基础上，计算CO₂焊接过程的飞溅率，分析CO₂焊接过程飞溅率的影响因素及防止措施。

（4）分别测定自制焊条、商用E4303（酸性）和商用E5015（碱性）焊条和CO₂气保焊焊缝熔覆金属的扩散氢含量，对比研究不同焊接方法及焊接材料对熔覆金属扩散氢含量的影响，找出CO₂气保焊对氢含量不敏感的原因。

（5）无需通利用直探头和斜探头在标准试块上进行探伤，并找出试块上的5个人工预设小孔缺陷。对自制焊条、商用E4303焊条（酸性）和商用E5015焊条（碱性）和CO₂气保焊实际焊缝进行无损探伤检测，并探究其成因及影响因素。

3.实验方法和手段

（简要说明实验过程中所用的主要仪器设备、实验与操作方法，并说明实验方法与手段改进后的先进性）

1) 实验中所用主要仪器设备

本实验设计中所用的主要设备包括：焊条烘干机、手工电弧焊机、CO₂气保焊机、扩散氢测量仪、超声波探伤仪、磁粉探伤仪、着色探伤剂。

2) 实验与操作方法

本实验中所有的实验项目，主要由学生自己动手完成，实验数据的记录、实验过程的分析、实验数据的整理及计算也均有学生自己独立完成。

3) 实验方法和手段的改进

（1）试验过程的连贯性

本实验由4个紧密相连的实验组成，改变了原有单独实验的设置，变独立实验的“点”为“线”，实现实验过程的前后串联。

（2）紧扣教学，并将不同课程教学内容有机结合

该实验设计，包含了《焊接方法与设备》、《焊接冶金》和《无损检测》的内容，将课程教学内容体现于一个实验中。

（3）实验数据区分度高

在本次实验中，首先设置了两种焊条，由学生自行确定配方，在后续实验内容的设置上，实验数据受操作水平、实验参数的影响，必然导致实验数据区分度较大，可以做到每个学生能根据自己的实验结果自行分析的原因，避免实验报告的重复性。

（4）变验证性实验为探究性实验

该实验内容包括了理论计算、手工操作、数据对比分析研究，考察的是学生对问题的探究及综合分析能力。

4. 考核方式

(明确实验成绩的考核方式、考核内容、考核标准、评分及其占比等, 必须包括实验方案设计、实验操作过程及记录、实验报告或总结等项目)

序号	考核项目	详细说明	所占比例 (%)
1	预习报告	包含四个小项: 实验目的、实验原理、实验仪器与材料、实验内容	10
2	理论计算	包括: 焊条药皮配方设计、扩散氢含量计算、飞溅率计算	10
3	操作能力	包括: 手工电弧焊参数调节、CO ₂ 气保焊参数调节	20
4	数据分析	包括: 焊条药皮对焊接过程的影响、熔覆金属扩散氢含量的影响因素、无损探伤方法对比分析	30
5	实验报告	对这个实验过程的综合分析	30

5. 对学生的要求

1) 实验准备要求:

- (1) 明确焊条药皮各个组分的作用, 并计算焊条药皮组分组成;
- (2) 明确熔覆金属中氢含量影响因素及甘油法测定熔覆金属扩散氢含量步骤;
- (3) 明确焊接过程飞溅率测定及计算方法;
- (4) 明确相关无损检测方法的基本理论。

2) 实验过程要求:

(1) 手工电弧焊时, 注意电极极性接法, 运条手法, 记录焊接工艺参数, 观察自制焊条与商用焊条焊接过程的区别;

(2) 记录 CO₂ 气保焊焊接工艺参数, 观察短路过渡时电弧形貌;

(3) 记录自制焊条、商用焊条、CO₂ 气保焊焊缝熔覆金属扩散氢含量测定数值;

(4) 记录无损探伤时不同缺陷的检测结果。

(5) 焊接实验时, 要求操作人员必须配有防护用品, 无损探伤实验时, 必须保证现场通风良好, 远离火源和热源, 操作者应佩戴乳胶手套和口罩。

3) 实验结果要求:

(1) 焊条药皮配方设计, 应出具具体设计方案, 并附设计依据, 并分析焊条药皮对焊接过程的影响;

(2) CO₂ 气保焊实验, 应给出飞溅率计算结果, 并讨论焊接工艺参数对飞溅的影响;

(3) 熔覆金属扩散氢含量测试实验应对比分析酸性焊条、碱性焊条、CO₂ 气保焊对扩散氢含量的影响, 并分析原因;

(4) 无损探伤实验应对比分析不同缺陷在不同探伤方法下的显示方式，并分析不同探伤方法适用的缺陷种类。

6. 实验条件

1) 现有仪器设备满足实验开出情况；

实验室目前已有设备包括：手工电弧焊机、CO₂ 气保焊机、扩散氢测量仪、磁粉探伤机、超声波探伤机，焊条烘干机，基本满足本实验要求。

目前能开出的实验包括：焊条的设计和实验；焊缝金属中扩散氢的测定；气体保护焊设备与工艺实验；无损检测实验

2) 实验场地满足实验开出情况。

目前实验室包括了焊接方法与设备实验室、焊接冶金实验室，满足基本的实验场地。

三、进度安排

1) 2018.10-2018.12

实验方案制定

2) 2019.01-2019.03

实验准备：包括药皮组分购置、试板加工、无损探伤药品购置

3) 2019.04-2019.07

项目实施

系（中心）主任签字：_____

分管领导签字：_____

时间：_____年 月 日

中国石油大学（华东）

探究性实验项目结项报告

实验项目名称：	焊条电弧焊及 CO ₂ 气保焊焊接工艺及质量探究
所属课程名称：	焊接技术实验
项目负责人：	冯涛
所在单位：	材料科学与工程学院
填表日期：	2020.11.26

教务处

项目名称	焊条电弧焊及 CO ₂ 气保焊焊接工艺及质量探究			实验学时	8
项目负责人	冯涛	联系电话 (手机)	13356636089	邮箱	ft_210750@163.com
项目 主要 参加 人员	姓名	职称	承担项目中何种工作		
	许敬年	高级实验师	焊条电弧焊实验		
	林学强	高级实验师	CO2 气体保护焊实验		

一、项目建设情况概述

1.实验目的

在掌握课程基本知识的基础上，通过理论计算，实际操作，数据记录与分析，实现课程内容有机结合，形成有效的探究性连续实验，让学生掌握在焊接生产中，从焊接方法选择到焊接过程实现，最后焊接质量检验的基本过程。具体的实验目的包括以下几个方面：

（1）熟悉组成焊条药皮的各种物料的作用；自行制定酸性及碱性焊条药皮配方；分析焊条药皮成分、厚度等因素对焊接过程的影响。

（2）掌握焊接规范参数对焊接电弧稳定性和焊缝成型规律的影响；掌握手弧焊时引弧、运条及收尾基本的操作方法及要领；了解酸性焊条、碱性焊条的焊接工艺特性。探究CO₂气保焊飞溅的影响因素及控制方法。

（3）掌握甘油法测定熔覆金属中扩散氢含量；对比研究自制焊条、商用焊条（酸性和碱性）、CO₂气保焊焊缝中扩散氢含量的不同，分析焊接工艺方法对熔覆金属扩散氢含量的影响。

（4）掌握焊缝超声波探伤方法；了解磁粉探伤、着色探伤方法；掌握不同探伤方法适用的焊接缺陷类型，探究焊接方法和工艺参数对焊接缺陷的影响。

2.实验内容

本次试验的流程见图1所示。

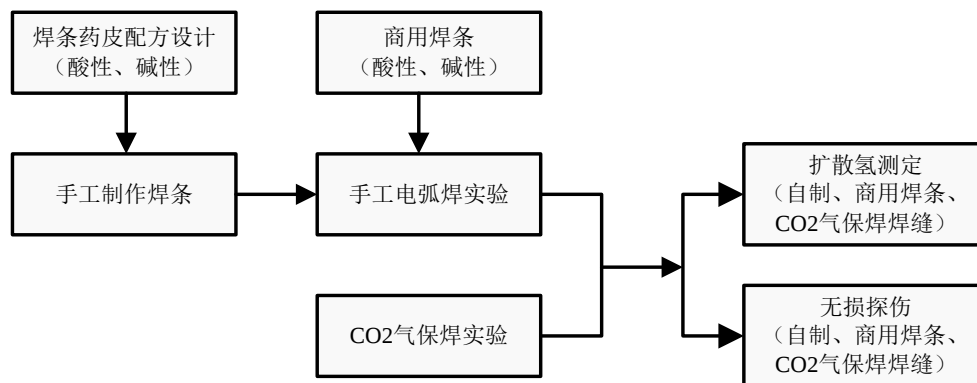


图1 焊条电弧焊及CO₂气保焊焊接工艺及质量探究试验流程

(1) 焊条药皮配方设计及焊条制造

学生自行计算，拟定酸性或碱性焊条的成分配比，并加工制作相应焊条。

(2) 手工电弧焊

使用自制焊条、商用E4303焊条（酸性）和商用E5015焊条（碱性）分别进行焊接，练习引弧、运条及焊缝的连接与收尾。计算不同焊条焊后的飞溅率，并分析药皮组分对飞溅率及焊缝成型性的影响。

(3) CO₂短路过渡

了解CO₂焊机的结构、供气系统及控制系统；对焊机进行空载调试、引弧和焊接操作，熟悉焊接规范的调节方法；找出较为合适的规范参数（电弧最稳定），记录焊接规范对电弧稳定性、熔滴过渡的影响，总结规范参数对焊缝成形的影响规律，并计算CO₂气保焊工艺参数对飞溅率的影响。

(4) 扩散氢测定

使用甘油法，分别对CO₂气保焊焊缝、自制焊条和商用焊条手工电弧焊焊缝中的扩散氢含量进行测量和计算，对比分析。

(5) 无损探伤

分别对自制焊条焊缝、商用焊条焊缝、CO₂自动焊焊缝进行超声、磁粉及着色探伤，对常见的气孔、裂纹、夹渣等缺陷进行定性分析，对比分析不同探伤方法的优势，并研究焊缝缺陷形成的影响因素。

3.实验方法和手段

1) 实验中所用主要仪器设备

本实验设计中所用的主要设备包括：焊条烘干机、手工电弧焊机、CO₂气保焊机、扩散氢测量仪、超声波探伤仪、磁粉探伤仪、着色探伤剂。

2) 实验与操作方法

本实验中所有的实验项目，主要由学生自己动手完成，实验数据的记录、实验过程的分析、实验数据的整理及计算也均有学生自己独立完成。

二、项目建设取得成果

- 1) “焊接技术实验”作为重要支撑课程，保证材控专业通过2019年专业认证；
- 2) 完成“焊接技术实验”2020版教学大纲；
- 3) 后续申请探究性实验项目1项（2019年）；
- 4) 后续申请教改项目1项（2020年）；
- 5) 自制焊条手工涂覆设备1套，并在教学中应用；
- 6) 自制焊接热循环测试设备1套，焊接变形测试设备1套，焊接电源静外特性测试设备1套，储能电焊机1套，并在教学中应用。

三、典型教学案例

以实验第一部分为例：

实验目的：熟悉组成焊条药皮的各种物料的作用；自行制定酸性或碱性焊条药皮配方；分析焊条药皮成分、厚度等因素对焊接过程的影响。

实验内容：根据实验室现有材料，学生自行计算，拟定酸性或碱性焊条的成分配比，并加工制作相应焊条。

实验要求：

- （1）明确焊条药皮各个组分的作用，并计算焊条药皮组分组成；
- （2）明确熔覆金属中氢含量影响因素及甘油法测定熔覆金属扩散氢含量步骤；

实验结果要求：焊条药皮配方设计，应出具具体设计方案，并附设计依据，并分析焊条药皮对焊接过程的影响；

四、实验支撑条件（仪器设备数量及运行状态）

1) 现有仪器设备满足实验开出情况；

实验室目前已有设备包括：手工电弧焊机、CO₂ 气保焊机、扩散氢测量仪、超声波探伤机，焊条烘干机，满足本实验要求，并在实验中全部利用到位。

2) 实验场地满足实验开出情况。

目前实验室包括了焊接方法与设备实验室、焊接冶金实验室，满足基本的实验场地。

五、项目效果及评价（学生参与实验项目的积极性、参与面、效果及体会和评价）

本项目以“焊接技术实验”课程中的第一个单元为研究对象。“焊接技术实验”为面向材控专业的必修的实验课程，材控专业本科生全员参与，学生参与度高，实验动手性强，学生参与积极、评价高。

该项目的部分内容及自制设备推广到“金属焊接”课程实验中，“金属焊接”是面向材料、储运、装控、建环、环设、海工所开设的课程。

六、网络教学资源建设及应用情况（网站、信息、应用情况）

目前实验课程网站正在建设中，实验教材正在筹备正式出版。

七、项目完成情况

项目预期任务		完成情况
1	编制教学大纲	完成
2	2 届完成实验项目	完成
3	自制设备	完成
4	后续教改项目申请	完成
5		

八、经费使用情况 项目经费主要用于购买实验所用的焊条、钢板等试验材料。	
单位意见	分管领导签字: (公章) 年 月 日
学校意见	负责人签字: (公章) 年 月 日



中国石油大学 (华东)
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM

探究性实验项目

建设方案

单位名称： 信息与控制工程学院

面向专业： 电气信息类各专业

教务处制

一、实验项目基本情况			
改革前		改革后	
项目名称	学时	项目名称	学时
常用电子仪器的使用	2	一阶电路“黑箱”模块参数测定与辨别	6
一阶 RC 电路过渡过程的研究	2		
叠加原理的验证	2		
负责人	周兰娟	联系方式	18754209585
二、建设内容			
1.实验目的 （从要求学生熟悉的实验原理、实验方法、操作技能和分析问题与解决问题的能力等方面，简明阐述实验的原理，并说明做了哪些改进） （1）实验开设背景 电路分析课程是高等学校电气信息类专业的第一门重要技术基础课，不仅课程内容涉及面广，更重要的是其具有鲜明的工程实践特色。与《电路分析》理论课程配套开设的《电路分析》实验课程在引导学生爱探究、勤实践、勇创新方面具有不容忽视的先导作用。因此教学团队根据目前实验项目的开设情况，拟开发集理论研究、仿真测试、设计实践于一体的《一阶电路“黑箱”模块参数测定与辨别》项目。 考虑到项目实施的具体内容和方案，将“叠加原理的验证”、“常用电子仪器的使用”、“一阶 RC 电路过渡过程的研究”三个实验项目进行合并。原因有三：（a）“叠加原理的验证”在原实验计划中是一个验证性实验。由于叠加原理理论清晰、易求证，可使用仿真电路课后自行验证即可，不宜在实验中再单独进行验证，实践意义和必要性不大，可以直接去除。（b）“常用电子仪器的使用”这个实验中学生需要学习多种测量仪器的使用（函数信号发生器、双踪示波器、交流毫伏表、直流稳压电源、直流电压表等），该实验内容非常之必要，工欲善其事必先利其器。这是学生第一次上电类实践课程，第一次接触电类实验仪器，只有将要使用的测量仪表的功能学熟、摸透，才能在今后的创新实践环节中灵活应用挥洒自如。根据往届学生实际操作的情况，由于多种仪器第一次使用，学习、实践耗费时间较长，一般在 2-2.5 小时，甚至更长。在本次实验中将加强该实验内容的实践时间。（c）原“一阶 RC 电路的过渡过程”中，实验电路是教师固定给出的，学生能够清晰看到实验电路结构，预测实验波形，实验过程主要根据实验要求测试实验数据、记录实验波形，借以提高示波器操作熟练度，实			

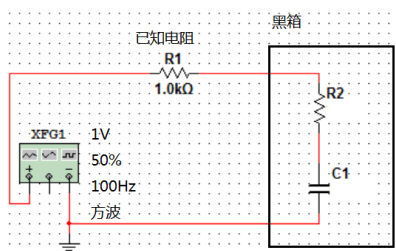
验内容有些单薄，不利于培养学生探究性思维。

基于上述原因，新开发的实验保留“常用电子仪器的使用”项目内容（2-2.5 学时），在此基础上，引入“黑箱”，在电路结构未知状态下，进行预设实验方案—仿真测数据/波形—验证/修改设计方案—实际操作实施—得出实验结论—公告实验结果的探究性实验过程，时间约需 3.5 学时，两部分内容共计 6 学时，可分次完成。下面就实验原理、实验目的、实验方案等进行详细阐述。

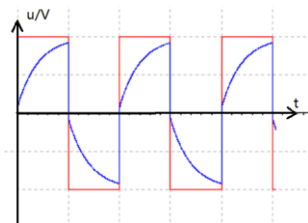
（2）实验原理

本次实验引入“黑箱”，即在电路连接方式和参数不确定的情况下，要求学生利用一阶电路知识设计实验方案，选择不同的实验方法，通过仿真、实验相结合的方式确定“黑箱”内电路结构和参数，从而完成实验任务。“黑箱”中分别是 RC 元件串联/并联和 RL 元件串联/并联且参数随机，要求同学用暂态电路分析方法确定“黑箱”电路中的电路结构及参数。

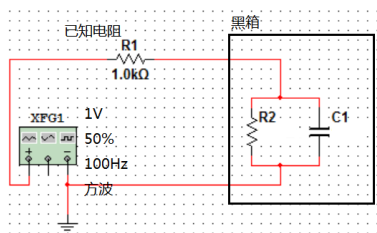
A. RC 电路的脉冲序列响应



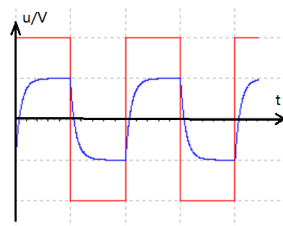
（a）黑箱电路为 RC 串联结构



（b）脉冲输入波形（红）及黑箱输出响应波形（蓝）



（a）黑箱电路为 RC 并联结构



（b）脉冲输入波形（红）及黑箱输出响应波形（蓝）

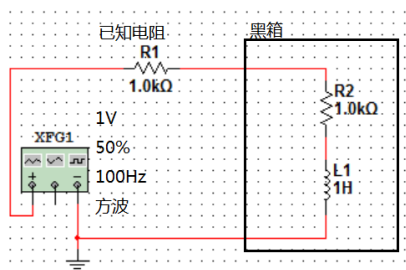
图 1 RC 电路及其响应

在暂态电路分析中，已经学习如何确定输出电压波形与电路结构和参数的关系，因此要求同学利用仿真软件，自己仿真上述 RC 电路，自行拟定 R_2 、 C_1 的参数，观测其作为输出时的波形变化，作好记录。并使用一阶电路三要素法，确定该电压与电路结构及参数的关系。着重探究初始值、稳态值、时间常数与电路结构及参数的关系。

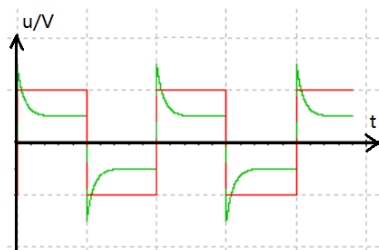
B. RL 电路的脉冲序列响应

在暂态电路的分析中，已经学习过如何确定输出电压波形与电路结构和参数的关系，因

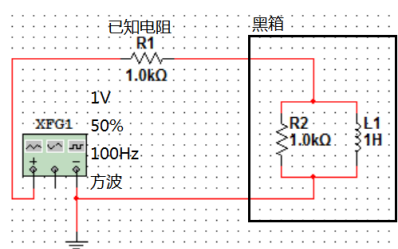
此要求同学利用仿真软件，自己仿真下列 RL 电路，自行拟定 R_2 、 L_1 的参数，观测其作为输出时的波形变化，作好记录。并使用一阶电路三要素法，确定该电压与电路结构及参数的关系。着重探究初始值、稳态值、时间常数与电路结构及参数的关系。



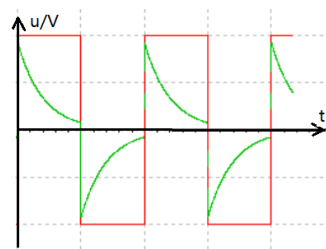
(a) 黑箱电路为 RL 并联结构



(b) 脉冲输入波形 (红) 及黑箱输出响应波形 (绿)



(a) 黑箱电路为 RL 并联结构



(b) 脉冲输入波形 (红) 及黑箱输出响应波形 (绿)

图 2 RL 电路及其响应

(3) 实验改进

在传统电路实验中，暂态电路这部分实验内容是已知电路结构和参数的情况下进行波形观测和时间常数的测量，是验证性的，理想化、确定性强。缺乏实验内容的工程性、实验方法的多样性和实验过程的探究性。

本次实验引入“黑箱”，即在电路连接方式和参数不确定的情况下，要求学生利用一阶电路知识设计实验方案，选择不同的实验方法，通过仿真、实验相结合的方式确定“黑箱”内电路结构和参数，从而完成实验任务。这个过程需要学生假设“黑箱”内的所有 4 种连接方式，并使用 Multism 仿真软件将 4 种情况均做预先的仿真，根据仿真的波形指导实际波形的确认，并根据波形显示情况，调整实验方法和使用的实验器件。在确定电路结构后，学生还要熟练使用测量仪表读取数据，确定构成电路的元件参数。最后探究连接方式对参数准确性测定的影响。

通过改进实验内容，实验者在不知晓实验结果的前提下，必须通过自己实验、探索、分析、研究得出结论。

(4) 能力培养

在基于 OBE 的 2017 版教学大纲中,《电路分析》课程明确要求在学习课程后应完成 2 个目标,目标 1:理解并掌握电子电路的基础知识,具有分析工程问题中电子电路的能力。目标 2:能够正确采集、处理实验数据,对实验结果进行建模、分析和解释,并通过信息综合得到合理有效的结论。这两个目标的完成,不仅需要课堂上教师进行理论分析、典型案例学习,更要求学生在实践中通过各种实验方法,结合实验仪器的测量数据及波形,完成理论指导实践的过程。本次实验的改进设计,则是有意识地培养学生的下述能力:

① 仿真工具应用能力的培养

本次实验是测定“黑箱”的结构和参数,在实验前,学生需要将可能的 4 种电路结构通过 Multism 仿真软件演示其波形情况,利用这种确定结果指导“黑箱”内元件连接方式的判定,而且仿真软件的优势在于方便更改实验参数,观测输出波形随参数变化趋势,因此学生会利用仿真工具分析、指导实验非常有必要,既节约了硬件损耗,又可以进行多变的实验方法应用,省时省力。

② 自主学习探究能力的提升

电路课程开设在大一第二学期,是电气信息类专业的第一门技术基础课程。在这门课程中,利用“黑箱”结构引导学生使用已学知识进行未知探索,并边探边改,有利于学生自主学习能力的加强,加强大学生的培养探究精神。

③ 团队协作能力的凝练

本次实验作为一次探究性实验,工作量比较大,从仿真预习、方案确定、波形测试、数据测量、分析计算到“黑箱”的结构和参数确定,需要 2-3 人组成小组,开展小组学习和研究,加强团队协作能力培养,取长补短,这也是工程应用能力培养的重要环节之一。

(5) 实验目的

①通过该实验,学习电子电路实验中常用的电子仪器——示波器、函数信号发生器、交流毫伏表、频率计等的主要技术指标、性能及正确使用方法。熟练掌握用双踪示波器观察动态电路波形和读取波形参数、测量时间常数的方法。

②通过该实验,熟练运用一阶动态电路分析理论知识和仿真工具,探究动态元件特性和一阶动态电路的零输入、零状态响应波形中初始值、稳态值和时间常数与电路元件参数的关系。

③通过该实验,培养学生的仿真软件应用能力、自主学习能力及团队协作能力。

2. 实验内容

（从实验方案设计、实验内容、仪器操作、数据采集、数据处理及结果分析等方面，列出实验的具体内容，并说明做了哪些改进）

（1）实验内容

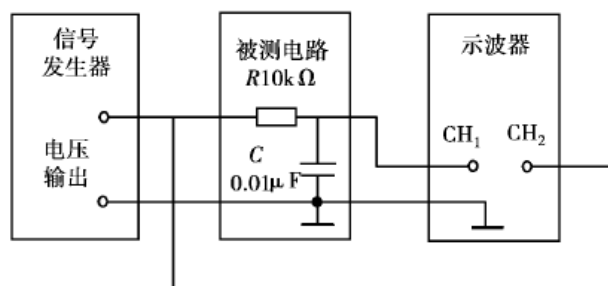


图 3 一阶 RC 电路测量电路

改进前：

给定一阶 RC 电路的测量电路，按图 3 接线。调节信号发生器使其输出一定幅度、频率的方波信号。然后取电容 C 定值，用示波器分别观察不同电阻值两种情况下的 u_S 、 u_C 波形，测量电路的时间常数 τ 值，并记录。再把图 3 中的 R 和 C 互换位置，用示波器分别观察不同电阻值两种情况下的 u_S 、 u_R 波形，并记录。

改进后：

给出一个“黑箱”电路，该“黑箱”是由一个电阻和一个动态元件以串联/并联的方式构成的二端子模块，隐藏了连接方式和元件参数。实验中，模块为被测量和识别的对象，各黑箱的动态元件性质、参数和连接方式都有所不同。学生实验时，利用通用实验板上的一个已知阻值的电阻，串联“黑箱”模块构成被测电路，使用信号发生器、双踪示波器观测未知电路的输出波形，根据输出波形的形状及关键数据确定“黑箱”内的元件连接方式及元件参数。

（2）实验方案设计

改进前：

原实验中主要由实验教师确定实验方案，学生主要学习如何使用示波器观测 RC 电路的响应波形及测量时间常数。

改进后：

实验中“黑箱”内的电路结构和参数是未知的，需要学生使用仿真软件，将“黑箱”可能出现的所有 4 种电路结构的输出波形全部获取，并研究其波形与结构、参数的关系，然后在实际测试时根据现场测试波形与仿真波形的比对，才能继续确定具体的测量方法。改进后实验对学生的探究能力、仿真分析能力培养具有重要的作用。

(3) 实验任务

改进前：

学生每人一组按照实验内容完成实验任务，波形一致，数据根据实验台不同略有差异。

改进后：

每组学生随机领取一个“黑箱”模块，用时域测量方法，测量二端一阶“黑箱”的外特性，辨别“黑箱”内部元件、元件参数及其连接方式。由于“黑箱”模块的差异性，学生的测试波形，选取的测试方法、分析方法各有不同。

(4) 实验过程

改进前：

①给定一阶 RC 电路测量电路，按图 3 接线。调节信号发生器使其输出一定幅度、频率的方波信号。

②然后取电容 C 定值，用示波器分别观察不同电阻值两种情况下的 u_S 、 u_C 波形，测量电路的时间常数 τ 值，并记录。

③再把图 3 中的 R 和 C 互换位置，用示波器分别观察不同电阻值两种情况下的 u_S 、 u_R 波形，并记录。

改进后：

① 做好预习，使用仿真分析推导“黑箱”内两个元件的 4 种组合产生的响应曲线，改变参数，记录波形。设计好实验时的测量方案，准备好计算公式。

② 测量时，将外接电阻与模块串联连接到信号发生器。信号源采用 1V 的周期方波，用示波器测量电路的响应波形，通过波形形状确定“黑箱”内部连接方式，通过初始值、稳态值和时间常数的测量来计算“黑箱”内部两个元件的参数值。

③ 熟悉一种时间常数的测量方法。

④ 调整“黑箱”与已知电阻的接地方式，对比波形参数的测量结果，选取最佳连接方案进行测量与数据计算。

3. 实验方法和手段

（简要说明实验过程中所用的主要仪器设备、实验与操作方法，并说明实验方法与手段改进后的先进性）

（1）实验方法

改进前：

- ① 学习信号发生器的使用。
- ② 学习示波器的使用。
- ③ 使用信号发生器和示波器按给定电路连接和电路，供电后观测响应波形，测量时间常数，观测电阻 R 值不同时，响应波形的变化情况。

改进后：

- ① 学习使用仿真软件搭建电路，测试 4 种“黑箱”电路的输出波形及数据。
- ② 根据仿真测试数据结合一阶电路三要素法分析元件结构参数和波形的内在关系，设计实验方案。
- ③ 学习信号发生器、示波器的使用。
- ④ 将外接电阻与模块串联连接到信号发生器。信号源采用 1V 的周期方波，用示波器测量电路的响应波形，通过波形形状确定“黑箱”内部连接方式，通过初始值、稳态值和时间常数的测量来计算“黑箱”内部两个元件的参数值。

（2）实验手段

改进前：

在实验室，单人单组使用示波器、信号发生器等按照实验任务完成实验操作。

改进后：

课前仿真预习与课上实验操作紧密结合，仿真结果指导实验方案的选择和指定，2-3 人一组协同完成“黑箱”电路结构、参数的确定。

4. 考核方式

(明确实验成绩的考核方式、考核内容、考核标准、评分及其占比等, 必须包括实验方案设计、实验操作过程及记录、实验报告或总结等项目)

序号	考核项目	详细说明	所占比例(%)
1	预习报告	实验目的、实验原理、实验内容、实验仪器与材料、 实验方案设计	15
2	Multisim 仿真	利用仿真软件试验设计方案, 根据仿真波形与数据修正设计方案	25
3	实验前测试	教师使用“雨课堂”做实验前检测检查预习效果	10
4	实验操作	领取“黑箱”, 按实验设计方案进行实验	20
5	实验数据	记录实验波形和实验数据	10
6	实验报告	分析总结与讲解答辩	20

5. 对学生的要求

(1) 实验准备要求:

使用 Multisim 仿真软件将 4 种 RC/RL 电路的组合作为“黑箱”预设参数, 串联一个已知阻值的电阻, 在电路输入端输入设定幅值和频率的方波信号, 使用示波器观测“黑箱”电路的输出波形。调整“黑箱”内电路的参数, 观测输出波形的变化, 记录并分类打印, 作为预习报告的一部分。

使用一阶电路三要素法, 结合仿真软件中的“黑箱”电路计算初始值、稳态值及时间常数, 比对示波器波形, 验证测试数据与理论计算数据, 作为预习报告的一部分。

(2) 实验过程要求:

根据实验室操作规范进行实验。

选定已知电阻与“黑箱”电路串联, 用示波器观测波形, 比对观测到的波形与 4 种仿真波形, 确定“黑箱”电路的电路结构及参数类型, 拍照留存示波器显示波形, 作为实验操作数据, 提交实验教师批阅。

使用示波器测试波形中的初始值、稳态值及时间常数, 记录测试过程及数据, 提交实验教师批阅。

(3) 实验结果要求:

根据实验过程中测量的数据, 分析计算确定“黑箱”结构及参数, 并在实验报告中总结方案设计、仿真预测、实验测试、参数确定的过程, 汇总成实验报告提交实验教师。

6. 实验条件

(1) 现有仪器设备满足实验开出情况

实验需要的现有仪器设备：函数信号发生器、双踪示波器、交流毫伏表、万用表。上述设备实验室已配备，现有仪器设备满足实验开设条件。

实验待开发的仪器设备：实验室需要设计制作实验使用的“黑箱”，该黑箱可使用电阻、电容、电感制作完成，使用不透明盒子封装即可。

(2) 实验场地满足实验开出情况

实验需要仿真测试和实验测试，可使用学校多媒体机房和电工电子学实验教学中心的实验室开设实验，现有实验场地满足实验开出条件，无需另外开辟。

三、进度安排

(1) 制定方案的时间

2018 年 6 月制定探究性实验方案，并论证可行性。

(2) 完成实验准备的时间

2018 年 9-11 月：给出详细的仿真分析、实验波形和数据、实验报告等，调整探究性实验方案，书写探究性实验讲义。

2018 年 12 月：制作实验用“黑箱”15 套，并测试每一个“黑箱”。

(3) 项目开设时间

2019 年春季学期，在《电路分析实验》课程，开设本次实验。

系（中心）主任签字：_____

分管领导签字：_____

时间：_____年__月__日

中国石油大学（华东）

探究性实验项目结项报告

实验项目名称： 一阶电路“黑箱”模块参数测定与辨别

所属课程名称： 电路分析实验

项目负责人： 周兰娟

所在单位： 控制科学与工程学院

填表日期： 2020 年 12 月

教务处

项目名称	一阶电路“黑箱”模块参数测定与辨别			实验学时	4
项目负责人	周兰娟	联系电话(手机)	18754209585	邮箱	zhlj@upc.edu.cn
项目主要参加人员	姓名	职称	承担项目中何种工作		
	郝宪锋	高级实验师	探究性实验箱开发与实验教学模式实施		
	张冬至	教授	混合式创新实验教学模式研究		
	刘复玉	副教授	实验方法理论指导		
	吴荔清	讲师	教学课件制作		

一、项目建设情况概述

在探究性实验项目——《一阶“黑箱”电路的参数测定与辨别》实施的过程中，过程团队首先根据预期设想制作研发了参数可调的实验箱，经过试验、制作、调试完成了可用于一个班级实验的“黑箱”，为探究性实验的实施提供了实验条件保障。

其次在探究性实验实施时，团队采用了线上线下混合教学模式，打破了传统的灌输课堂教学，学生必须利用雨课堂开展线上预习、利用 Multisim 仿真分析开展实验方案预估。实验课上教师线上检测学生理论、实践的预习状况，只有测验成绩达标者方能带着仿真结果开展波形观测、数据比对，从而确定“黑箱”结构和参数。

最后，经过探究性实验实施，总结实验课流程见图 1

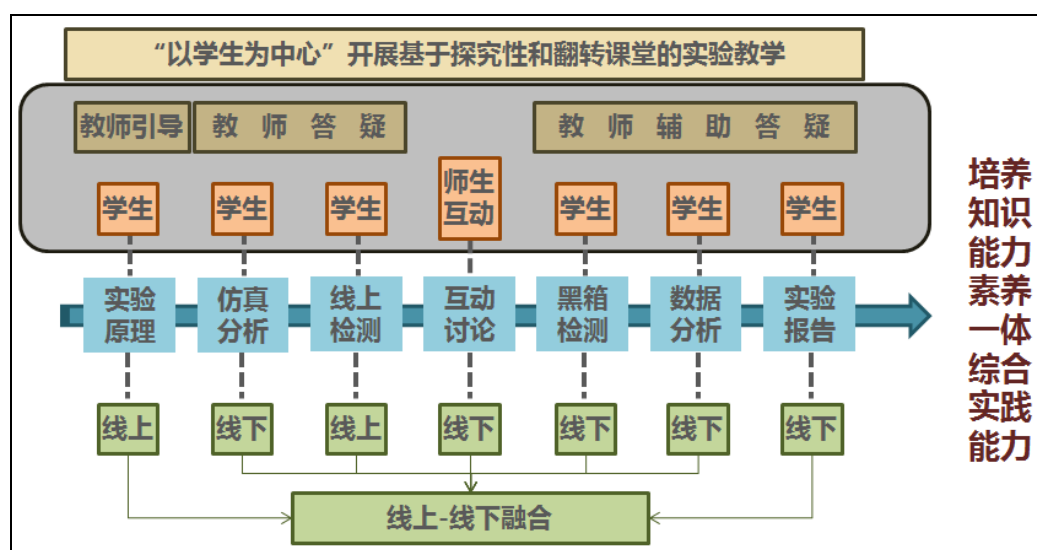


图 1 探究性实验课堂流程图

二、项目建设取得成果

课程团队秉承“学生中心，持续改进”的教育理念，在《电路分析实验》教学中深入探索如何从教师“教得好”到学生“学得好”转变，不断优化教学内容，取得了以下几方面成果：

1、打造实施“以学生为中心”的基于探究性学习与翻转课堂的《电路分析实验》混合式教学新模式。

团队立足于学科基础实践课程，致力于开发能够融合知识、能力、素质于一体、兼顾基础性与高阶性、体现挑战性和创新性的综合仿真分析与实践探索，融合线上与线下资源，体现个性化与团队合作的探究性实验项目，率先在我校电类基础实验课程中引入雨课堂，开展翻转课堂教学，体现实践教学的创新性和互动性，打造实施“以学生为中心”的基于探究性学习与翻转课堂的《电路分析实验》混合式教学新模式。图2所示，为“以学生为中心”的电类实验教学新模式框图。

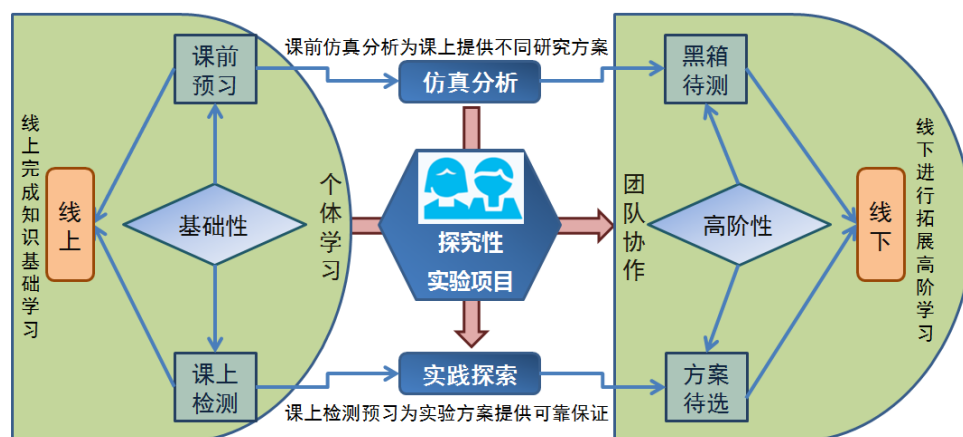


图2 “以学生为中心”的电类实验教学新模式框图

2、构建适应创新实验教学新模式的新评价体系，强调课前预习质量评价、利用信息技术监控过程性评价，重在利用评价体系指导学生重视实验方法的活学活用。

整个实验课程的评价构成分3部分

总成绩=普通实验项目 60%+探究性实验占 20%+实验考试 20%

备注：如探究性个数增加，则其比例增加

下表为探究性实验项目的考核项目、内容及所占比例

序号	考核项目	详细说明	所占比例（%）
1	线上预习	实验目的、实验原理、实验内容、实验仪器与材料、实验方案设计	10

2	Multisim 仿真	仿真电路、仿真波形与数据	20
3	线上测试	使用“雨课堂”做实验前检测检查预习效果	20
4	实验操作	领取“黑箱”，按实验设计方案进行实验	10
5	实验数据	记录实验波形和实验数据	20
6	实验报告	分析总结	20

3、开展线上-线下相融合的翻转课堂实验教学，把“基础性”内容通过线上、课外完成，“高阶性”内容通过线下、课上内化，提升了实验课程的内容质量。

传统实验预习报告是预习原理，以书写为主。而本次探究性实验，通过仿真预习一方面解决了实验场地不足的情况，另一方面让学生更早地带着“实验”思维进行预习，而不仅仅停留于理论分析。通过线上线下的融合，也更好地考查了学生预习的效果，避免学生浑水摸鱼、得过且过，一定程度上提升了学生工程实践能力的培养要求和培养质量。

三、典型教学案例

《电路分析实验》是电类专业学生学习的的第一门专业基础实验课程，很多学生都是零基础，课程教学既要兼顾基础实验技能的学习，又要具有一定挑战度，如何实现？课程组选定一阶“黑箱”电路的参数测定与辨别为首个探究性实验项目，既保证了与理论教学的有机结合，又在实验过程中反复加强了示波器、信号发生器的使用熟练度。重要的是在“黑箱”研制时，课程组开发的实验箱其结构、参数智能可调，对于一年级的学生，当见识到教师现场使用计算机远程控制“黑箱”参数设定时，本身就是一种对于专业培养目标的再展示，也是对学生的直观教育。另一方面这种智能可调，给学生实验带来了挑战，因为实验室现场，所有同学的“黑箱”都是不同的，模拟了实际问题发生时的情况，培养他们独立解决工程实际问题的思维与能力。图 3 为 PC 端“黑箱”结构参数设置软件界面



图 3 PC 端“黑箱”结构参数设置软件界面

在探究性实验预习方面提供线上学习资源、设置预习思考题（线上提交），开课时先进行理论与仪器使用技能线上测试，为探究性实验做准备，通过一系列线上预习、测试及仿真分析，在线下实验课中，学生可以转化知识为应用，展开“高阶”内容的探索与研究，提高工程实践应用能力。图4是部分线上预习实验课件及学生提交预习题与老师批改截图左下角红点表示教师配音解析，这种线上教学可弥补课上学时不足的情况。



图4 部分线上预习实验课件及学生提交预习题与老师批改截图

在探究性实验实时，学生个体与团队有机结合，生生对话有助于团队意识培养，且一人计短、两人计长，在共同探究问题过程中，可以互助合作、互补有无。

图5是线上进行的部分线上检测题目及学生总成绩分布与单题得分情况。从图中可以看到，线上检测题结合实际应用，量化考查学生掌握情况。线上检测统计结果可以让老师及时掌握学生学习的盲区、难点，便于及时开展针对性指导，利于分层分类教学的开展



图5 线上检测部分题目及学生总成绩分布与单题得分统计

四、实验支撑条件（仪器设备数量及运行状态）

本实验需要的仪器设备：函数信号发生器、双踪示波器、交流毫伏表、万用表。上述设备实验室已配备，不仅用于本次实验也可用于其他实验项目。

实验开发的仪器设备：“黑箱”，该黑箱使用电阻、电容、电感制作完成，并用不透明盒子封装，由于数量有限，目前拟用于本研一体班开展电路分析实验。

五、项目效果及评价（学生参与实验项目的积极性、参与面、效果及体会和评价）

自动化 18 级 1-4 班共 107 位学生参与了本次探究性实验的教学改革实施过程。在探究性实验实施期间，学生在理论课程中积极储备实验需要的相关知识，提前按预习要求对一阶 RC 电路所有可能组合做了仿真分析，并撰写实验预习报告。实验当天，学生参与线上测试检验预习效果，然后领取实验黑箱，通过示波器等测量仪表结合自主探究理论对黑箱展开了研究。

根据学生的实验体会（具体内容见支撑材料），课程组发现探究性实验将个人与小组、仿真与实验、过程与结果、线上与线下相融合，虽然是一个基础实验，但通过实验模式的改变，不仅锻炼了学生自主探究的能力、理论联系实践的能力，还进一步锻炼了学生的合作学习能力、错误自纠能力，这与传统实验模式有较大的不同。

结合本次探究性实验的实施，课程团队总结深挖，拟开展基于其他知识点的“黑箱”实验（已立项），并期望新实验与本次实验相结合，拓宽学生知识点联系应用面，能过活学活用，学以致用。

基探究性学习与翻转课堂的《电路分析实验》混合式实验教学模式一经实施，也受到了同行专家的一致认可。（具体内容见支撑材料）

国家级资源共享课负责人、山东省教学名师刘润华教授对这种模式给予高度评价，认为该实践教学模式可操作性和实用性强，激发了学生参与实验的积极性，提高了自主学习能力、分析设计能力和工程实践能力。

省级精品课《电路分析》负责人马文忠教授对基于探究性学习的电路实验课程改革项目进行点评，认为该项目实施提高了课程挑战性，具有一定难度，激发学生认真钻研，团队协作的潜能，是有利于本科生质量提高的。

自动化系系主任刘宝教授则认为这种实验新模式是非常符合工程专业认证的“评价-反馈-改进”循环特征，尤其是利用线上学习的实时反馈数据，教师可以有针对性在线下改进教学设计，开展更富有实际意义的实践教学，具有良好的示范作用。

六、网络教学资源建设及应用情况 （网站、信息、应用情况）		
本次实验开展了线上线下混合式教学模式。课程团队制作了实验预习课件（配音），学生在实验课前完成预习课件学习并答题、仿真探究、书写预习报告。 实验课时，教师在线发送实验测试，预习报告完整且经测试合格后，学生方可进入实验操作阶段，根据仿真分析探究“黑箱”电路结构。 经实验后，积累了一定的学习资源 1、“一阶电路‘黑箱’模块参数测定与辨别”网络课件 1 个 2、实验测试题 1 套 自动化 18 级 4 个班全部使用，应用效果良好。		
七、项目完成情况		
	项目预期任务	完成情况
1	开发实验用黑箱	已开发 16 套并使用
2	实验指导书	已完成并使用
3	实验课件	已完成并使用
4	实验线上测试题	已完成并使用
八、经费使用情况		
经费全部用于购置元器件进行实验“黑箱”制作。		
单位意见	分管领导签字： （公章） 年 月 日	
学校意见	负责人签字： （公章） 年 月 日	