

# 系统联调与标校课程实验教学探索与实践

罗 云, 刘 健, 罗亚松, 程 啓\*

海军工程大学, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年12月2日; 录用日期: 2026年1月15日; 发布日期: 2026年1月26日

---

## 摘要

系统联调与标校课程具有实践性强、紧密结合装备的特点, 对课程的实验教学进行了探索与实践。遵循以学员为中心、突出“实践为主、贴近装备”的教学理念, 以机电模拟接口的电气零位检查与调整为切入点, 构建了实验装置, 进行了自整角机综合性实验的教学实践。初步应用表明, 该教学实践有助于提升学员的自主学习能力, 达到了预期的教学目的。

## 关键词

系统联调, 标校, 自整角机, 实验教学

---

# Exploration and Practice of Experimental Teaching in System Debugging and Calibration Courses

Yun Luo, Jian Liu, Yasong Luo, Han Cheng\*

Naval University of Engineering, Wuhan Hubei

Received: December 2, 2025; accepted: January 15, 2026; published: January 26, 2026

---

## Abstract

The system debugging and calibration course has the characteristics of strong practicality and close integration of equipment, and the experimental teaching of the course has been explored and practiced. Following the teaching concept of being student-centered and emphasizing “practice-based, close to equipment”, taking the electrical zero position inspection and adjustment of the electromechanical analog interface as the starting point, the experimental device was constructed, and the teaching of the comprehensive experiment of the synchro was carried out practice. The results show

\*通讯作者。

that the exploration and practice of experimental teaching enhance the students' autonomous learning ability and achieve the expected teaching purpose.

## Keywords

System Debugging, Calibration, Synchro, Experimental Teaching

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

系统联调与标校课程具有实践性强、紧密结合装备的特点，要求掌握武器系统整体的概念和专门知识与技能，以及利用这些知识和技能科学地管理和使用武器系统联调和标校工装具，并解决本专业领域内常见问题的能力。课程的实验部分涵盖机械零位对准、电气零位检查与调整、系统的静动态精度检查等实验内容。目前相应的实验平台仅有测量机械零位用的象限仪、电子水平仪、经纬仪和全站仪，缺乏电气零位用的实验设备，特别是与装备结合的实验平台，因此开设的实验少、实验方法陈旧，部分实验实践环节不得不依赖部队联教联训方式实现[1]-[3]，难以在院校教学阶段系统化培养学员的工程实践能力。

国内外相关领域如自动控制、机电系统等在实验教学平台建设方面取得了较好进展[4][5]，但在强调“全系统、全流程”的系统联调与标校综合实验方面仍存在明显不足。为提升实验教学质量、完善配套教学资源，突出学员在实验教学中的主题地位，亟需开发结合装备背景、体现系统性的综合性实验教学平台[6][7]。通过该平台的构建与应用，可推动实验教学从“验证性操作”向“系统性训练”转变，从而激发学员的学习自主性和积极性，促进其动手能力、分析能力与解决实际问题能力的全面提升[8][9]，真正实现专业化知识向实践能力的转化。

## 2. 实验教学探索

实验教学遵循以学员为中心，突出“实践为主，贴近装备”的教学理念。考虑到电气零位检查与调整为实验环节中重要的内容，具有很强的实践性，因此，本教改立足于自整角机与旋转变压器的零位检查与调整。

自整角机和旋转变压器属于系统联调与标校课程中机电模拟接口部分内容，为电磁元件，其原理和零位检查与调整都较难理解，对其在武器系统中的应用讲授也仅停留于书本层面。为此，我们将涉及到自整角机和旋转变压器的部分提炼出来，设计并制作了原理性实验系统平台。该实验平台的思想来源于武器系统，但做了简化处理，例如将双通道简化为单通道。同时，增加了测试和观察点，便于学员直观地观测和分析机电模拟接口的运行机理及系统运行原理。

考虑到自整角机[10][11]和旋转变压器[12]在角度反馈和信号传递方面的功能相类似，本文以自整角机作为实验对象进行分析和设计。自整角机是一种感应同步微型电机，广泛应用于显示装置和随动系统中，使机械上互不相连的两根或多根轴能自动保持相同的转角变化，呈同步旋转，故在武器系统中也称为同步机。在系统中，自整角机成对使用。产生信号的一方称发送机，接收信号的一方称接收机。目前，自整角机仍广泛应用于各型火炮武器中。火控系统的接口机柜、跟踪雷达接收综合导航系统的导航信息也多采用同步机进行传递。综上可知，自整角机的应用主要在两个方面：一是在随动系统中作为角度位置反馈，一是在两个设备之间传递信息。由于目前武器系统都是基于微处理器或控制器，因此需要轴角

转换模块进行数字角度和同步机信号的相互转换。

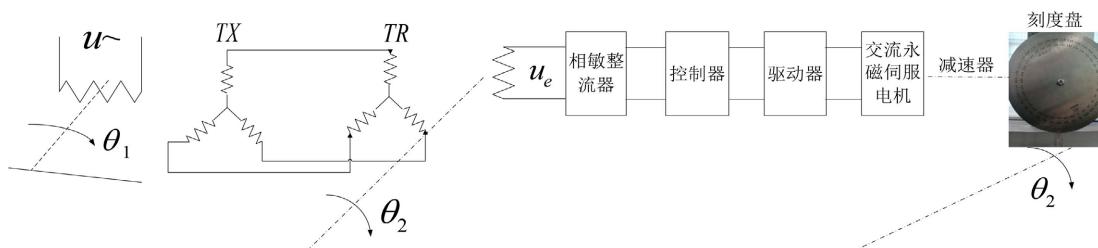
实验内容既有基础的原理性部分，又有紧贴装备常出现的零位检查与调整部分，而且实验指导书步骤详细，学员能根据指导书就能完成实验内容。在教学时，教员可以灵活设置一些问题进行拓展性实验，学员在指导书的基础上，能动手解决该问题，提高学员的应用知识和动手能力。学员学习之后，能直接上手解决装备中所涉及到的机电模拟接口问题。

下面先详细介绍实验平台的构建，然后再介绍开设的基础性实验和综合性实验，并在此基础上介绍与之配套的教学方法。在实验平台建设与课程设计中，自始至终贯穿“实践为主，贴近装备”的思想。

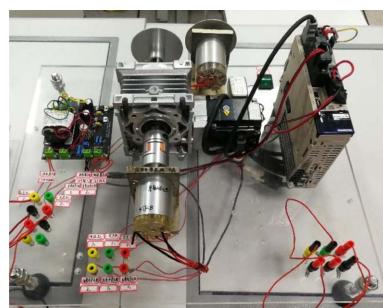
### 3. 实验平台介绍

#### 3.1. 控制式自整角机角传递系统实验平台

在火炮随动系统[11]中，一般采用自整角机进行角度位置的反馈。由于一个自整角机不能满足系统精度要求，故由两个自整角机通过机械齿轮耦合构成粗精双通道来进行角度反馈。在设计实验平台时，侧重考察自整角机的原理及零位检查与调整，而对随动系统的性能和精度不做过高要求，做了一些简化：略去前馈通道，只保留反馈通道，自整角机也采用一个，构成单通道角度反馈。执行电机采用永磁同步伺服电机。考虑表盘为轻负载，故选择该系列电机中功率最小的伺服电机。其原理结构图如图1所示。外部输入如指挥仪解算出的射击诸元(方位角或高低角)带动自整角发送机 TX 转动，其转角为  $\theta_1$ ，自整角发送机 TX 与自整角变压器 TR 的三相整步绕组对应相连，TR 的转子绕组的输出电压为  $u_e$ ，该电压信号经相敏整理器[13]、控制器、驱动器后驱动交流永磁伺服电动机转动，电机转轴通过减速装置与 TR 的转子相连。因此当 TR 的输出电压  $u_e$  不为零时，伺服电动机继续转动，从而带动 TR 转子转动，直至 TR 的输出电压  $u_e$  为零，则系统达到稳定，此时 TR 的转角  $\theta_2$  等于  $\theta_1$ 。实验平台实物如图2所示。平台主要元器件选型充分考虑教学需求，具体参数如表1所示。



**Figure 1.** Principle block diagram of the single-channel control synchro angle transmission system experimental platform  
**图 1.** 单通道控制式自整角机角传递系统实验平台原理框图



**Figure 2.** Physical experimental platform for single-channel control synchro angle transmission system  
**图 2.** 单通道控制式自整角机角传递系统实验平台实物

**Table 1.** Key components and parameters of the single-channel control synchro angle transmission system experimental platform**表 1. 单通道控制式自整角机角传递系统实验平台主要元器件及参数表**

器件名称	型号	关键性能参数
控制式自整角发送机机	45KF4A	精度等级: 0 级 电气误差: $\pm 5'$ 激磁电压: 115 V/400 Hz
控制式自整角变压器	45KB4A	精度等级: 0 级 电气误差: $\pm 5'$ 激磁电压: 115 V/400 Hz
相敏整流解调器	LZX1	输入电压: 12 V 静态功耗: $\leq 300$ mW 最高工作频率: 100 kHz
驱动器	安川 SGD7S-1R6A00A002	额定电压: AC 220 V 额定功率: 200 W 控制模式: 位置/速度/转矩
伺服电机	安川 SGM7A-01A7A61	额定功率: 100 W 额定扭矩: 0.318 N·m 额定转速: 3000 rpm 编码器: 24 bit

### 3.2. 单通道数字角传递系统实验平台

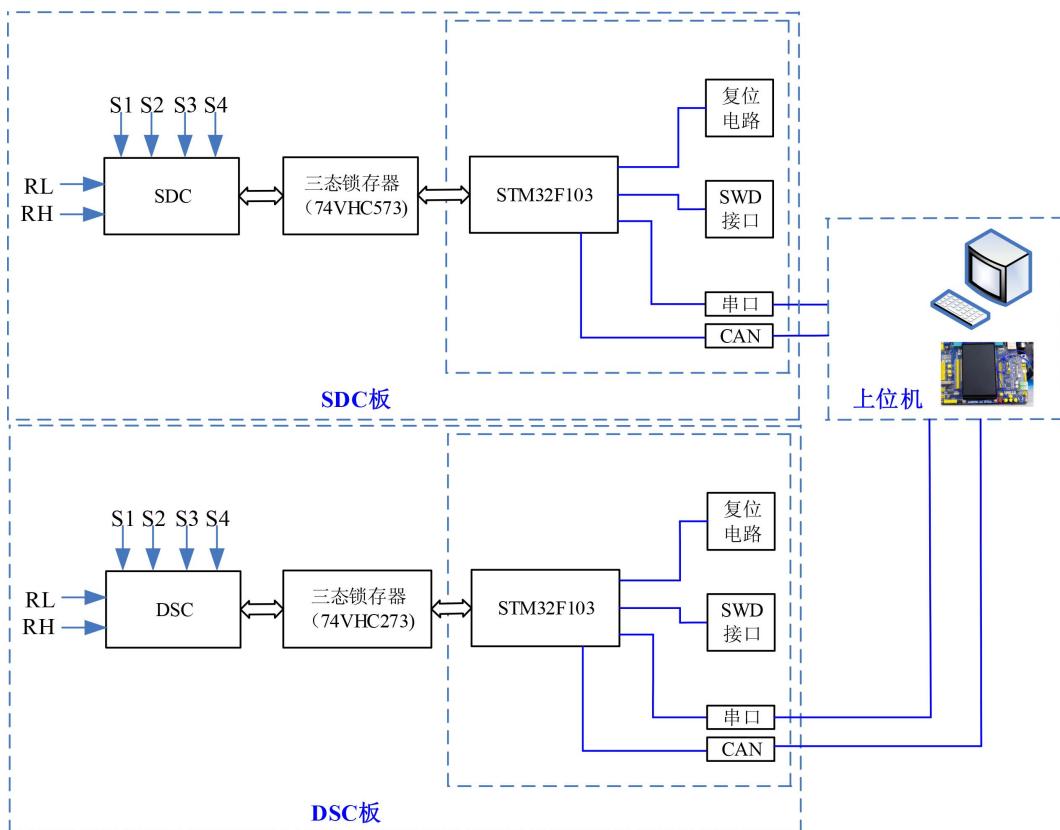
目前计算机广泛应用于武器系统中，例如指挥仪演变为火控系统后，所处理和显示的角度全是数字角量，光电跟踪仪、火炮的随动也采用 DSP 或微机控制，此时接收的角度反馈需要转化为数字角度。为了在数字角量和旋转变压器或自整角机传统的模拟角量之间进行相互转化，轴角转换模块应运而生。其中 SDC/RDC 模块[14]是将同步机信号或旋变信号转换为数字角量，而 DSC/DRC 模块[15]是将数字角量转换为同步机信号或旋变信号。本实验平台采用的 SDC 模块为合肥众大的 ZSDC1704，DSC 模块为 ZDSC1754，两个模块的数位为 14 位，角度分辨率为  $0.022^\circ$ ，参考电压为 115 V，线间电压为 90 V。

在装备中，轴角转换模块作为器件焊接和安装在板卡上，而板卡是插入标准的显控台机箱内，在显示界面上显示转换好的角度。对于初学者来说该模块就是一个黑匣子。目前教学仅简单介绍其模块原理与功能，缺乏与之配套的实验平台，学员不能获得感性认知。因此构建了一套单通道基于轴角模块的角传递系统。

原理框图如图 3 所示，分为 SDC 板、DSC 板和上位机，其中 SDC 板的 STM32F103 单片机[16][17]负责读取 SDC 模块的二进制码，数据通过串口 RS232 或者 CAN 总线发送给上位机。DSC 板中的单片机 STM32F103 接收上位机发来的数字角量，转换后对 DSC 模块的数据端进行写入，在 DSC 的 S1~S3 端口就会产生同步机信号。上位机可以由电脑或者嵌入式单板来充当，主要完成角度的实时显示，采用虚拟仪表和文本框进行直观显示。SDC 板和上位机的角度显示作为一个整体可看作数字接收机，DSC 板和上位机的角度显示作为一个整体可看作数字发送机。在使用时，与模拟的自整角机相同，实物图如图 4 所示。

## 4. 实验教学实施与效果

以实验平台为基础设计实验，撰写实验指导书。根据前面的指导思想，实验既要有基础的原理性



**Figure 3.** Schematic diagram of the single-channel digital angle transmission system experimental platform  
**图 3. 单通道数字角传递系统实验平台原理图**



**Figure 4.** Angle conversion board (SDC board and DSC board)  
**图 4. 轴角转换板( SDC 转换板和 DSC 转换板)**

部分，又要有关于紧贴安装的部分。设置了四个实验，分别为：轴角转换模块实验，控制式自整角机角传递系统实验，自整角机系统的故障分析实验，自整角机系统的综合实验。前三个为综合性实验，涵盖了数字轴角转换模块的用法、控制式自整角机角传递系统的使用及零位检查与调整、自整角机系统的励磁绕组接线、整步绕组接线及解决方法，第四个为综合性实验，以实际装备为背景出题目，学员用所给实验

装置实现，考察学员综合运用前面所学的关于自整角机系统和数字轴角转换模块的系统构建、零位检查与调整及故障排除知识。

以综合性实验为例进行教学实践，题目如下：

1) 在某火炮武器系统中，火控台的射击诸元(这里考虑方位全角)通过 DSC 模块发送到火炮，安装在炮架的受信仪检测火炮架位，其中 DSC 模块三相绕组与受信仪的定子绕组相连，受信仪的转子绕组输出一个误差信号，该信号与失调角成正弦，用以控制火炮方位向的电机转动，从而使火炮跟随射击诸元变化。请用所提供的实验装置搭建一套实现上述功能的系统，实现火控台发送的射击诸元能控制火炮的转动。

2) 在某火炮武器系统中，火控台的显控页面实时显示火炮的架位信息(这里考虑方位全角)。其原理是：安装在炮架的自整角发送机检测火炮架位，火控台的接口柜有轴角转换板，其中 SDC 模块将同步机信号转换为数字角度。自整角发送机的定子绕组与 SDC 模块三相绕组相连。当火炮转动时，自整角发送机也转动，SDC 模块接收自整角机的同步机信号，转化为数字角度，火控台的页面则显示该角度。请用所提供的实验装置搭建一套实现上述功能的系统，实现火炮转动时，火控台的页面实时显示火炮的架位信息。

要求：1) 本实验对该火炮武器系统作以简化，只考虑单通道。受信仪是机械变速的粗精双通道自整角变压器，本实验用一个自整角机变压器来代替。2) 学员在理解题目背景后，对实验装置进行连线、零位检查与调整(含故障排查)，实现所述功能。3) 实验装置为数字角传递系统实验平台和控制式自整角机角传递系统实验平台，可以组合使用。4) 学员应熟悉自整角机的工作原理、特性，掌握零位检查与调整方法。

在教学过程中，教员首先讲授其应用背景，火炮武器系统中关于射击全角和火炮架位的信号传递问题，然后引导学员思考如何用实验装置搭建一套系统来实现。在此注重原理性的实现，不完全和装备一致。

实验结束后，学员反映收获很大，不仅掌握了自整角机和轴角转换模块如何使用，零位如何检查与调整，典型故障如何排除，而且还明白其在装备中如何应用，对火炮与火控台的信息交互也有深入认识与理解。

## 5. 总结

为适应军队高等院校人才培养模式的转变，结合系统联调与标校课程特点，以学员为中心，在“实践为主、贴近装备”的教学理念指导下，针对课程缺乏配套电气零位实验装置的现状，构建了控制式自整角机角传递系统和数字角传递系统实验平台，在此基础上设计了基础性和综合性实验，并进行了综合性实验的教学实践。实践初步表明，该实验体系能够体现课程特色，有效激发学员兴趣，并在提升学员动手能力、分析和解决问题能力方面发挥了积极作用，基本达到了教学改革预期目的。

## 参考文献

- [1] 高峰, 吴福臣, 李祥珂, 赵德耀. 任职教育院校联教联训模式研究[J]. 继续教育, 2015(1): 63-66.
- [2] 史芸, 陈祥斌, 张亮. 推进院校与部队联教联训深入发展的思考[J]. 军事交通学院学报, 2015(5): 76-78.
- [3] 朱拥勇, 姜伟, 李宗吉. 军队院校联教联训联考模式创新探究[J]. 船舶职业教育, 2019(1): 1-3.
- [4] 聂卓斌, 李兆洋, 罗继亮, 邵辉, 郭东生. 面向 Matlab 实时控制的 SuKung 半实物仿真系统及实验案例建设[J]. 中国现代教育装备, 2020(8): 11-12.
- [5] 王建新, 任有志, 鹿有杰, 张晓天. 机电系统虚实结合实验教学平台设计[J]. 河北工业科技, 2022(11): 418-423.

- [6] 吴新开, 朱承志, 钟义长. 综合性实验的综合原则[J]. 实验室研究与探索, 2007, 26(6): 89-91.
- [7] 邢红宏, 梁承红, 张纪磊. 充分利用综合性实验培养学生的综合素质[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(2): 165-167.
- [8] 孙盾, 姚缨英, 范承志. 实验教学环节与创新能力培养[J]. 实验室技术与管理, 2012, 29(5): 28-30.
- [9] 俞志英. Multisim 仿真软件在模拟电子技术实验教学中的应用[J]. 信息技术与信息化, 2019(4): 113-114.
- [10] 张文海, 梁功勋.“微特电机”讲座第3讲: 自整角机原理及其应用[J]. 电世界, 2014, 55(6): 44-46.
- [11] 池海红, 单曼红, 王显峰. 自动控制元件[M]. 第2版. 北京: 清华大学出版社, 2015: 151-187.
- [12] 李瑾. 旋转变压器的工作原理及应用[J]. 装备制造技术, 2013(10): 149-150.
- [13] 李玉长. 集成运放相敏整流[J]. 电子技术, 1992(1): 37-38.
- [14] 刘红运. 自整角机/数字转换器在轴角测量系统中的应用[J]. 半导体情报, 2001(8): 38-41.
- [15] 张谢庆. 一种便携式随动系统综合测控装置研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2009: 28-29.
- [16] 孙书鹰, 陈志佳, 寇超. 新一代嵌入式微处理器 STM32F103 开发与应用[J]. 微计算机应用, 2010(10): 59-63.
- [17] 胡进德. 单片机 STM32F103C8T6 的红外遥控器解码系统设计[J]. 信息科技, 2019(9): 78-81.