



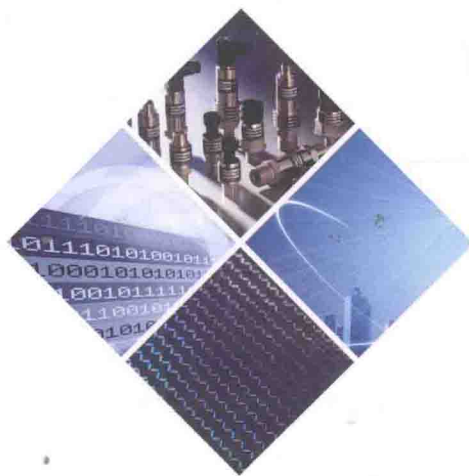
自动化类专业系列实验教材

AUTOMATION

EXPERIMENT OF DETECTION AND CONVERSION

检测与转换 实验技术

王辉◎编著



清华大学出版社



仪器分析



理化

EXPERIMENT OF DETECTION AND CONVERSION

检测与转换 实验技术

王辉◎编著

清华大学出版社

内 容 简 介

检测与转换实验是控制科学与工程领域中一个比较重要的实践性环节。本书根据作者多年从事检测与转换技术理论教学和实践教学的经验、收获和成果进行撰写,帮助学生通过实验将理论知识应用到实践中。本书注重对学生实践能力和动手能力的培养,加大了自主设计与创新性实验的比例,进一步提高学生的科技创新意识及理论联系实际的能力。

通过传感器实验,学习掌握传感器的工作原理和工作特性,在完成实验的过程中了解传感器实验的基本要求、常用仪器的正确使用方法及常用传感器的实验原理,进一步理解信号检测与转换技术的理论,掌握常用的信号检测传感器实验的基本方法。本书内容讲述深入浅出、通俗易懂,可作为工科院校教材使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

检测与转换实验技术/王辉编著. —北京:清华大学出版社,2015

自动化类专业系列实验教材

ISBN 978-7-302-38925-5

I. ①检… II. ①王… III. ①自动检测—实验技术—高等学校—教材 ②传感器—实验技术—高等学校—教材 IV. ①TP274-33 ②TP212-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 005464 号

责任编辑:文 怡

封面设计:李召霞

责任校对:梁 毅

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:15.25

字 数:332千字

版 次:2015年4月第1版

印 次:2015年4月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.00元

产品编号:059014-01

检测与转换实验是控制科学与工程领域中一个比较重要的实践性环节。本书根据作者多年从事检测与转换技术理论教学和实践教学的经验、收获和成果进行撰写,帮助学生通过实验将理论知识应用到实践中。本书注重对学生实践能力和动手能力的培养,加大了自主设计与创新性实验的比例,进一步提高学生的科技创新意识及理论联系实际的能力。内容讲述深入浅出、通俗易懂。

全书共分5章,其中第1章主要介绍完成实验需要进行的准备工作,即实验平台功能和基本实验仪器的主要功能操作以及操作过程中应注意的环节等;第2章介绍基础检测实验,从最基本的基础实验开始,让读者建立实际检测电路搭建方法,熟悉基本检测电路的工作特性,为后续独立完成实验的设计开发奠定基础;第3章介绍基本传感器的应用,通过对常用传感器的各种检测实验,让读者了解传感器的工作原理和工作特性,同时在完成实验的过程中,掌握检测电路的搭建及调节方法;第4章主要根据各种传感器的应用特性,通过实验的方法介绍一些常用传感器的应用设计电路及创新设计思路,为基于传感器的创新设计打下基础;第5章主要是设计开发基于传感器的综合应用性实验与创新性实验,根据各实验项目给出的参考信息,通过对前面所学知识的运用,独立完成电路设计,全面提高独立动手能力和创新能力。

本书内容合理、知识连贯,实验丰富全面,更侧重于考查和培养学生的创新能力。通过本书的学习和传感器实验,可以掌握传感器的工作原理和工作特性,在完成实验的过程中了解传感器实验的基本要求,常用仪器的正确使用方法及常用传感器的实验原理,进一步加深对信号检测与转换技术的理论的理解,还可以掌握常用的信号检测传感器实验的基本方法。本书可以作为高等院校传感器技术、检测技术等相关课程的实验教材,也可为从事检测技术的工程人员提供参考。

作者

2014年9月

目 录

CONTENTS

第 1 章 实验平台	1
1.1 传感器系统综合实验仪	1
1.1.1 系统硬件构成.....	2
1.1.2 系统软件构成及功能.....	8
1.2 心电检测实验仪.....	12
1.2.1 性能指标	12
1.2.2 硬件各组成模块及功能	12
1.2.3 软件界面	16
1.3 常用实验仪器.....	19
1.3.1 螺旋测微仪	19
1.3.2 万用表	20
1.3.3 示波器	24
第 2 章 基础性实验	30
2.1 实验基本要求.....	30
2.1.1 实验预习	31
2.1.2 实验原理与接线	31
2.1.3 实验中异常现象的处理	32
2.1.4 实验结束整理	32
2.1.5 实验报告书写要点	32
2.2 应变电阻实验.....	33
实验一 金属箔式应变计性能实验.....	35
实验二 金属箔式应变计 3 种桥路性能比较实验.....	37
实验三 箔式应变计的温度效应及补偿.....	39

实验四	半导体应变计性能测试实验	40
实验五	半导体应变计直流半桥测试实验	42
实验六	箔式应变计与半导体应变计性能比较实验	43
2.3	信号调理电路实验	44
实验七	移相器工作性能测试实验	44
实验八	相敏检波电路工作性能测试实验	46
实验九	交流电桥实验	49
第3章	传感器特性测试实验	52
3.1	温度传感器	52
实验十	热电偶传感器实验	53
实验十一	热敏电阻实验	56
实验十二	基于热电阻传感器的电加热炉温度测试实验	57
实验十三	PN结温敏二极管性能测试实验	59
3.2	电容传感器	59
实验十四	电容传感器特性测试实验	61
3.3	电感传感器	62
实验十五	差动变压器性能测试实验	64
实验十六	差动变压器标定实验	66
3.4	磁电式传感器	67
实验十七	霍尔传感器实验	69
实验十八	磁电式传感器特性测试实验	71
3.5	半导体传感器	73
实验十九	MPX扩散硅压阻式传感器实验	73
实验二十	气敏电阻实验	75
实验二十一	湿敏电阻实验	76
3.6	光电传感器	77
实验二十二	光敏电阻实验	79
实验二十三	红外发光管与光敏三极管实验	80
实验二十四	热释电红外传感器实验	81
实验二十五	PSD光电位置传感器实验	83
实验二十六	CCD图像传感器实验	84
3.7	电涡流传感器	86
实验二十七	电涡流传感器特性测试实验	86

3.8	压电式传感器	88
	实验二十八 压电加速度传感器性能测试实验	99
3.9	光栅传感器	100
	实验二十九 光栅传感器衍射演示及测距实验	105
第4章	传感器应用设计与创新	107
4.1	传感器应用实验	107
	实验三十 振幅测量实验	107
	实验三十一 位移测量实验	110
	实验三十二 转速测量实验	112
	实验三十三 称重实验	114
4.2	设计与创新实验	117
	实验三十四 基于光敏电阻报警器电路设计实验	117
	实验三十五 基于集成霍尔传感器的音乐控制电路设计实验	118
	实验三十六 基于光电传感器的报警电路设计实验	120
	实验三十七 基于气敏传感器的报警电路设计实验	121
	实验三十八 金属丝式热电阻制作及性能实验	124
第5章	综合应用与创新实验	127
	实验三十九 心电信号检测电路设计实验	127
	实验四十 传感器多路数据采集、显示设计实验	130
	实验四十一 传感器参数设定及补偿设计实验	131
附录	实验报告	135

第1章

实验平台

本章学习目标

- 熟练掌握实验平台的使用方法。
- 熟练使用基本实验室仪器。

本章主要介绍完成实验需要进行的准备工作,即实验平台的功能和基本实验仪器的使用。对实验平台的介绍,包括实验平台各个模块的功能,以及经常出现在实验过程中的基本实验仪器的主要功能操作及操作过程中应注意的环节等。

1.1 传感器系统综合实验仪

本书主要以 CSY 型系列传感器综合实验仪为例进行讲述。CSY 型系列实验仪性能参数如表 1.1 所列,它是为检测与转换技术而设计的一种综合性、多功能系统实验装置,其传感元器件选择灵活、接线方便、操作简单。除能满足本书的各个传感器实验外,结合具体实际实验项目内容,利用相应的专用对象和公共测试仪器,还能完成学生自行设计的部分传感器创新性实验。

表 1.1

型 号	电源/V	可开设实验数	传感器数量	信号处理电路个数	辅助装置	特 点
CSY910	AC220 ±5%	32	8	10	10	① 12 位 A/D ② 采样速度 10 万次/s ③ RS-232 接口
CSY998A	AC220 ±5%	33	15	10	10	
CSY998A+	AC220 ±5%	40	20	10	10	
CSY998B	AC220 ±5%	44	15	10	10	
CSY998B+	AC220 ±5%	44	20	10	10	
CSY-G	AC220 ±5%	38	13	13	10	
CSY2000	AC220 ±5%	55	26	19	12	

续表

型 号	电 源/V	可开设 实验数	传感器 数量	信号处理 电路个数	辅助装置	特 点
CSY2001B	AC220 ±5%	58	28	×	×	① 完全模块式结构 ② 实验时模块可按 实验要求灵活组合

从表中可以看出,前几种型号的传感器实验仪实际上是由传感器安装台、信号处理电路、显示器、辅助装置(辅助激励源)4个独立的块组合而成的一台装置。在实验时根据需要,用引线(导线)通过仪器面板对应的符号插孔将各部分直接连接起来,便可做出相应的实验。而CSY2001B型为完全模块式的结构,它将24种传感器(增强型28种)集中在9个模块上(增强型为12个模块),其余实验所需的各种器件全部集中在主机上,完全实现了模块化,使整套实验仪结构简单,接线方便,提高了使用效率。下面介绍CSY2001B型传感器系统综合实验仪。

1.1.1 系统硬件构成

CSY2001B型传感器系统综合实验仪为完全模块式结构,分主机、实验模块和实验桌3部分,如图1.1所示。根据用户不同的需求分为基本型和增强型两种配置。主机由实验工作平台,传感器综合系统,高稳定交、直流信号源,温控电加热源,旋转源,位移机构,振动机构,仪表显示,电动气压源,数据采集处理和通信系统(RS-232接口),实验软件等组成。全套12个实验模块中均包含一种或一类传感器及实验所需的电路和执行机构(位移装置均由进口精密导轨组成,以确保纯直线性位移),实验时模块可按实验要求灵活组合,仪器性能稳定可靠,方便实用。

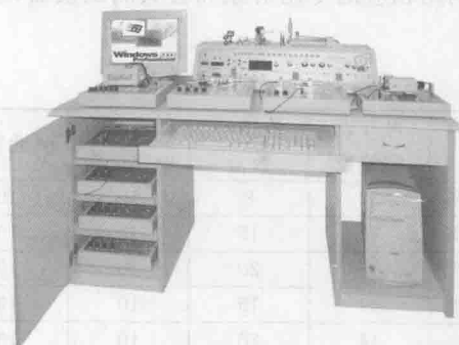


图 1.1 CSY2001B 型传感器系统综合实验台

1. 传感器

基本型实验台含 24 种传感器, 序号: 1.1~1.24; 增强型实验台含 28 种传感器, 序号: 1.1~1.28。传感器具体名称和技术指标如下:

- 1.1: 金属箔式应变传感器(箔式应变片: 工作片 4 片, 温度补偿片: 2 片, 应变系数 2.06, 精度 2%)。
- 1.2: 称重传感器(标准商用双孔悬臂梁结构: 量程 0~500 g, 精度 2%)。
- 1.3: MPX 扩散硅压阻式压力传感器(差压式: 量程 0~50 KP, 精度 3%)。
- 1.4: 半导体应变传感器(BY350: 工作片 2 片, 应变系数 120)。
- 1.5: 标准 K 分度热电偶(量程 0~800℃, 精度 3%)。
- 1.6: 标准 E 分度热电偶(量程 0~800℃, 精度 3%)。
- 1.7: MF 型半导体热敏传感器(负温度系数, 25℃时电阻值 10 kΩ)。
- 1.8: Pt100 铂热电阻(量程 0~800℃, 精度 5%)。
- 1.9: 半导体温敏二极管(精度 5%)。
- 1.10: 集成温度传感器(电流型, 精度 2%)。
- 1.11: 光敏电阻传感器(cds 器件, 光电阻 $\geq 2 \text{ M}\Omega$)。
- 1.12: 光电转速传感器(近红外发射-接收量程 0~2400 转/分)。
- 1.13: 光纤位移传感器(多模光强型, 量程 $\geq 2 \text{ mm}$, 在其线性工作范围内精度 5%)。
- 1.14: 热释电红外传感器(光谱响应 7~15 μm , 光频响应 0.5~10 Hz)。
- 1.15: 半导体霍尔传感器(由线性霍尔元件与梯度磁场组成。工作范围: 位移 $\pm 2 \text{ mm}$, 精度 5%)。
- 1.16: 磁电式传感器(磁铁与线圈)。
- 1.17: 湿敏电阻传感器(高分子材料, 工作范围 5%~95%RH)。
- 1.18: 湿敏电容传感器(高分子材料, 工作范围 5%~95%RH)。
- 1.19: MQ3 气敏传感器(酒精气敏感, 实验演示用)。
- 1.20: 电感式传感器(差动变压器, 量程 $\pm 5 \text{ mm}$, 精度 5%)。
- 1.21: 压电加速度传感器(PZT 压电陶瓷与质量块。工作范围 5~30 Hz)。
- 1.22: 电涡流传感器(线性工作范围 1 mm, 精度 3%)。
- 1.23: 电容传感器(同轴式差动变面积电容, 工作范围 $\pm 3 \text{ mm}$, 精度 2%)。
- 1.24: 力平衡传感器(综合传感器系统)。
- 1.25: PSD 光电位置传感器(增强型选配单元, PSD 器件与激光器组件, 采用工业上的三角测量法, 量程 25 mm, 精度 0.1%)。
- 1.26: 激光光栅传感器(增强型选配单元, 光栅衍射及光栅莫尔条纹, 莫尔条纹精密位移记数精度 0.01 mm)。

1.27: CCD 图像传感器(增强型选配单元,光敏面尺寸:1/3 英寸。采用计算机软件与 CCD 传感器配合,进行高精度物径及高精度光栅莫尔条纹位移自动测试)。

1.28: 超声波测距传感器(增强型选配单元,量程范围 30~600 mm,精度 10 mm)。

2. 主机

主机由实验工作平台,传感器综合系统,高稳定交、直流信号源,温控电加热源,旋转源,位移机构,振动机构,仪表显示,电动气压源,数据采集处理和通信系统(RS-232 接口),实验软件等组成。

1) 电源、信号源部分

(1) 直流稳压电源: 传感器工作直流激励源与实验模块工作电源,包括:

- +2~+10 V 分 5 挡输出,最大输出电流 1.5 A;
- +15 V(± 12 V),最大输出电流 1.5 A,激光器电源。

(2) 音频信号源: 传感器工作交流激励源,包括:

- 0.4~10 kHz 输出连续可调,最大 V_{pp} 值 20 V;
- 00、1800 端口反相输出;
- 00、LV 端口功率输出,最大输出电流 1.5 A;
- 1800 端口电压输出,最大输出功率 300 mW。

(3) 低频信号源: 供主机位移平台与双平行悬臂梁振动激励,实现传感器动态测试,包括: 1~30 Hz 输出,连续可调,最大输出电流 1.5 A,最大 V_{pp} 值 20 V,激振 I(双平行悬臂梁)、激振 II(圆形位移平台)的振动源。转换旋钮开关的作用:(请特别注意)当倒向 V_0 侧时,低频信号源正常使用, V_0 端输出低频信号,倒向 V_i 侧时,断开低频信号电路, V_0 端无低频信号输出,停止激振 I、II 的激励。 V_i 作为电流放大器的信号输入端,输出端仍为 V_0 端(特别注意: 激振不工作时激振选择开关应位于置中位置)。

(4) 温控电加热源: 温度传感器加热源,包括: 由 E 分度热电偶控温的 300 W 电加热炉,最高控制炉温 400℃,实验控温 ≤ 200 ℃。交流 220 V 插口提供电炉加热电源,作为温度传感器热源,及热电偶测温、标定和传感器温度效应的温度源等(注意: 所有温控实验都需插入热电偶进行温度控制)。

(5) 旋转源: 光电、电涡流传感器测转速之用,包括: 低噪声旋转电机,转速 0~2400 转/分,连续可调(特别注意: 电机不工作时旋钮开关应置于“关”,否则直流稳压电源-2 V 会无输出)。

(6) 气压源: 提供压力传感器气压源,包括:

- 电动气泵,气压输出 ≤ 20 kPa,连续可调;
- 手动加压气囊: 可加压至满量程 40 kPa,通过减压阀调节气压值。

2) 仪表显示部分

(1) 电压/频率表

- 3 $\frac{1}{2}$ 位数字表、电压显示分 0~2 V、0~20 V 两挡；
- 频率显示分 0~2 kHz、0~20 kHz 两挡，灵敏度 ≤ 50 mV。

(2) 数字式温度表：E 分度

- 温度显示：0~800℃(用其他热电偶测温时应查相对应的热电偶分度表)。

(3) 气压表

- 0~40 kP(0~300 mmHg)显示。

3) 计算机通信与数据采集

(1) 通信接口：标准 RS-232 口，提供实验台与计算机通信接口。

(2) 数据采集卡：12 位 A/D 转换，采集卡信号输入端为电压/频率表的 IN 端，采集卡频率输入端为“转速信号入口”。

3. 实验模块

基本型实验台含 9 个实验模块，序号 a~i；每个模块包含一种或一类传感器。模块实物外形图如图 1.2 所示，基本可完成本书中列出的所有实验项目。

模块具体名称和作用如下：

a：实验公共电路模块：提供所有实验中所需的电桥、差动放大器、低通滤波器、电荷放大器、移相器、相敏检波器等公用电路。

b：应变式传感器实验模块：(包含电阻应变及压力传感器)，提供金属箔式标准商用称重传感器(带加热及温度补偿)、悬臂梁结构金属箔式、半导体应变、MPX 扩散硅压阻式传感器、放大电路。

c：电感式传感器实验模块：提供差动变压器、螺管式传感器、高精度位移导轨、放大电路。

d：电容式传感器实验模块：提供同轴式差动电容组成的双 T 电桥检测电路，精密位移导轨。

e：光电传感器实验模块：提供光纤位移传感器与光电耦合器、光敏电阻及信号变换电路，精密位移导轨、电机旋转装置。

f：霍尔传感器实验模块：提供霍尔传感器、梯度磁场、变换电路及日本进口高精度位移导轨。

g：温度传感器实验模块：提供 7 种温度传感器及变换电路，可控电加热炉。

h：电涡流传感器实验模块：提供电涡流探头、变换电路及日本进口精密位移导轨。

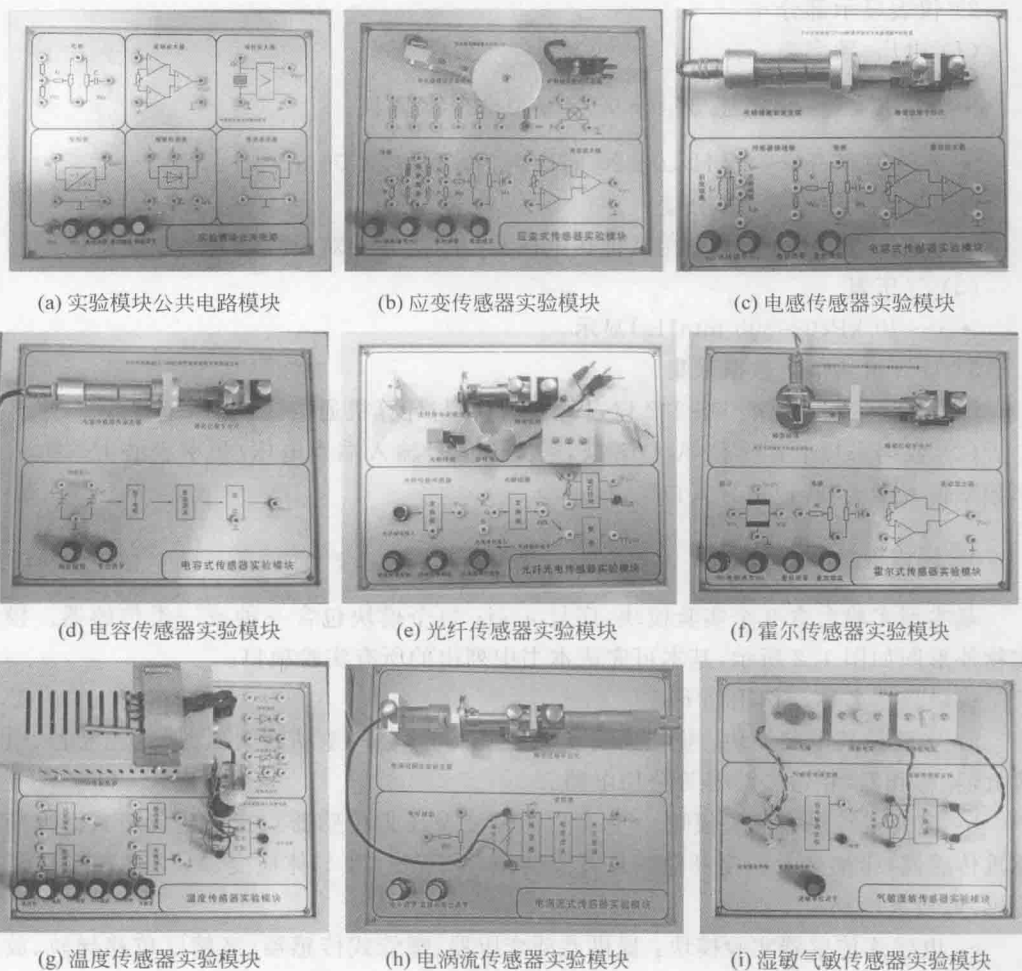


图 1.2 CSY2001B 型传感器实验台基本实验模块实物图

i: 湿敏气敏传感器实验模块: 提供高分子湿敏电阻、湿敏电容、MQ3 气敏传感器及变换电路。

4. 主机工作台上装置的传感器

主机工作台上的主要传感器有磁电式、压电加速度、半导体应变(2片)、金属箔式应变(工作片4片,温度补偿片2片)、衍射光栅(增强型),如图1.3所示。

双平行悬臂梁旁的支柱安装有螺旋测微仪,可带动悬臂梁上下位移,如图1.4所示。

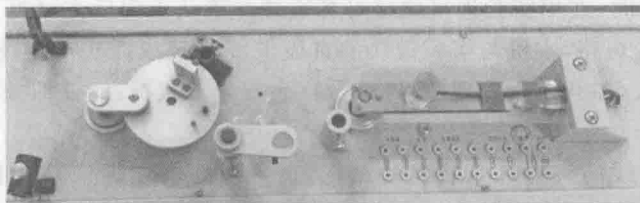


图 1.3 主机工作台主要传感器

圆形位移(振动)平台旁的支架可安装电感、电容、霍尔、光纤、电涡流等传感器探头,在平台振动时进行动态实验,如图 1.5 所示。

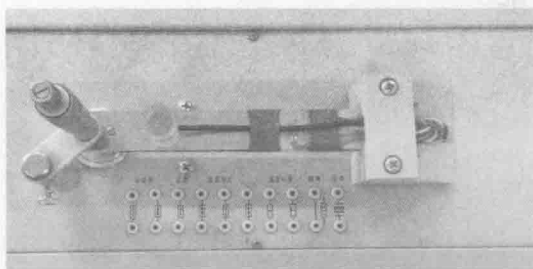


图 1.4 可上下移动螺旋测微仪

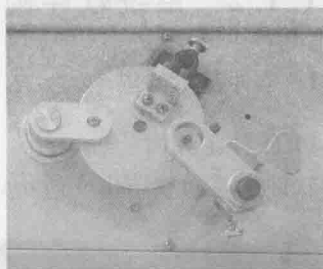


图 1.5 振动平台

CSY2001B 型主机与实验模块的连接线采用了高可靠性的防脱落插座及插头。实验连接线均用灯笼状的插头及配套的插座,接触可靠,防旋防松脱,并可在使用日久断线后重新修复(特别注意:在本型号仪器上请勿同时使用旧型号的可锁紧连接线,以免损坏新型连接线及造成插座松动)。

实验桌的传感器模块柜平时放置实验模块,抽屉中放置传感器探头与配件。

5. 实验操作须知

(1) 在实验前务必详细阅读《CSY2001B 型传感器系统综合实验台》实验指导与使用说明、本实验指导书。

(2) 使用本仪器前,请先熟悉仪器的基本状况,对各传感器激励信号的大小、信号源、显示仪表、位移及振动机构的工作范围做到心中有数。主机面板上的旋钮开关都应选择好正确的倒向。

(3) 了解测试系统的基本组成:合适的信号激励源→传感器→处理电路(传感器状态调节机构)→仪表显示(数据采集或图像显示)。

(4) 在更换接线时,应断开电源,只有在确保接线无误后方可接通电源。

(5) 实验操作时,在用实验连接线接好各系统并确认无误后方可打开电源,各信号源之间严禁用连接线短路,主机与实验模块的直流电源连接线插头与插座连接时尤要注意标志端对准后插入,如开机后发现信号灯、数字表有异常状况,应立即关机,查清原因后再进行实验。

(6) 实验连接线插头为灯笼状簧片结构,插入插孔即能保证接触良好,不须旋转锁紧,使用时应避免摇晃。为延长使用寿命,操作时请捏住插头连接叠插。

(7) 实验指导书中的“注意事项”不可忽略。传感器的激励信号不准随意加大,否则会造成传感器永久性的损坏。

1.1.2 系统软件构成及功能

1. 软件基本构成

1) 软件主界面

软件主界面如图 1.6 所示。



图 1.6 实验系统软件主界面

2) 各菜单主要内容

(1) 文件：可以对已经存储的数据进行提取分析,如图 1.7 所示。

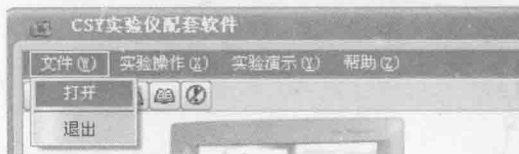


图 1.7 实验系统软件文件菜单项

(2) 实验操作：可以完成系统设置、实验设置、频率计算等功能设置,如图 1.8 所示。

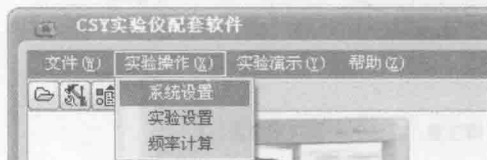


图 1.8 实验系统软件实验操作菜单项

(3) 实验演示：对几项典型实验进行系统连线演示,如图 1.9 所示。

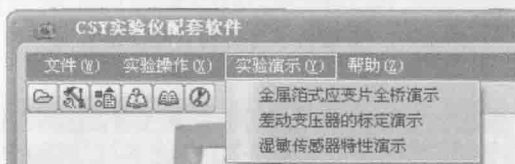


图 1.9 实验系统软件实验演示菜单项

图 1.10 给出了湿敏传感器特性实验演示界面。

(4) 帮助：给出系统硬件和软件组成及使用说明,如图 1.11 所示。

2. 软件基本功能

1) 系统设置

系统设置包括通信串口的设置、反向起始坐标的设置、多量程的线性系数与零点校准。实验者设置好后系统自动将设置参数写入配置文件,下次重新启动程序若不进行系统设置,则采用上一次写入配置文件中的配置参数。

(1) 通信串口的设置：选择 PC 与实验仪通信的串行端口。

(2) 反向起始坐标的设置：对于单点采集,若正向数据采集结束之后根据实验需要进行反向数据采集,因此需要设置反向采集的坐标起始点,可供选择的有：

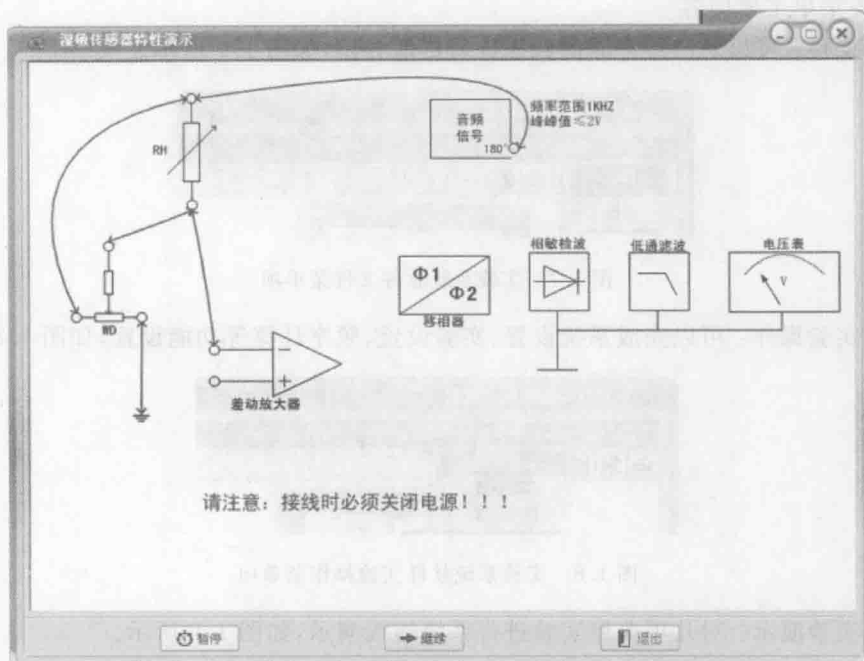


图 1.10 湿敏传感器特性实验演示界面

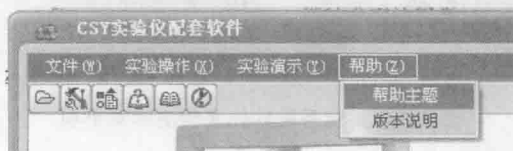


图 1.11 实验系统软件帮助菜单项

- 原点：从坐标原点开始进行反向采集。
- 当前坐标：从当前坐标，即正向采集结束点处开始进行反向采集。

(3) 多量程的线性系数与零点校准：采集仪采集到的数据与实验仪的输出数据之间存在一定的偏差，需要用校正值予以校正，包括线性系数与零点校准两个步骤。需要校正的电压量程有：10 V、2 V、200 mV。

2) 实验设置

实验设置包括基本信息设置、采集设置和信号设置。

(1) 基本信息设置：包括实验人员姓名、班级、实验仪名称、实验序号、实验名称。

(2) 采集设置和信号设置：

- 采集模式分为单次采集、定时采集与实时采集 3 种。