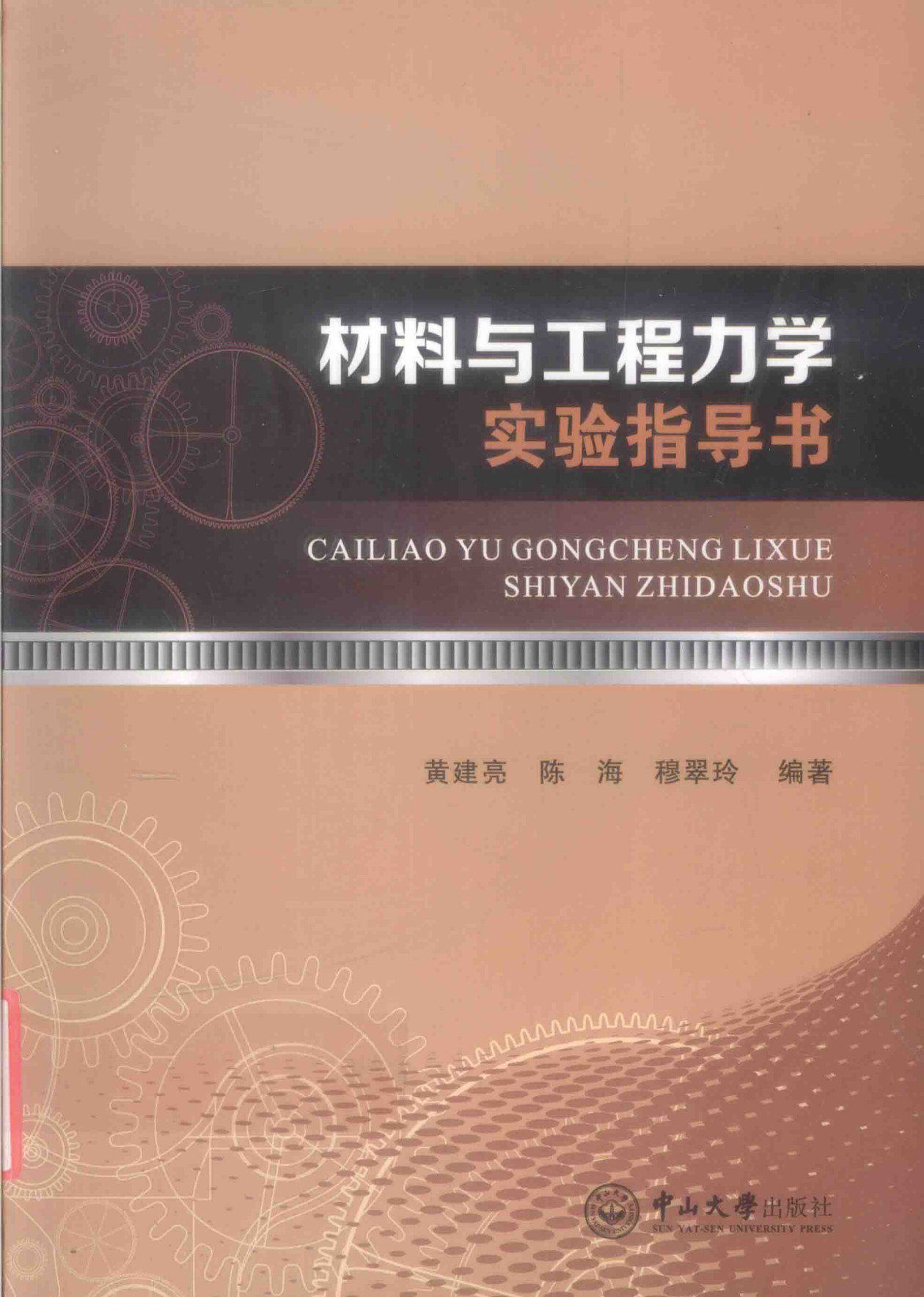




材料与工程力学 实验指导书

CAILIAO YU GONGCHENG LIXUE
SHIYAN ZHIDAOSHU

黄建亮 陈 海 穆翠玲 编著



中山大学出版社
SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRESS

中山大学实验教材建

材料与工程力学 实验指导书

CAILIAO YU GONGCHENG LIXUE
SHIYAN ZHIDAOSHU

黄建亮 陈 海 穆翠玲 编著



中山大学出版社
SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRESS

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

材料与工程力学实验指导书/黄建亮, 陈海, 穆翠玲编著. —广州: 中山大学出版社, 2016. 5

ISBN 978 - 7 - 306 - 05678 - 8

I. ①材… II. ①黄… ②陈… ③穆… III. ①材料力学—实验
IV. ①TB301 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 088932 号

出版人: 徐 劲

策划编辑: 廖泽恩

责任编辑: 廖泽恩

封面设计: 曾 斌

责任校对: 王 润

责任技编: 何雅涛

出版发行: 中山大学出版社

电 话: 编辑部 020 - 84111996, 84113349, 84111997, 84110779

发行部 020 - 84111998, 84111981, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传真: 020 - 84036565

网 址: <http://www.zsup.com.cn> E-mail: zdcbs@mail.sysu.edu.cn

印 刷 者: 广州中大印刷有限公司

规 格: 787mm × 1092mm 1/16 12.75 印张 250 千字

版次印次: 2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

如发现本书因印装质量影响阅读, 请与出版社发行部联系调换

前 言

为满足材料与工程力学实验课单独设课的需求，我们于 2003 年编写了教学资料。多年来的教学实践证明，其内容基本上达到了实验教学的要求。按照教育部提出的加强培养学生科学实验能力的要求，我们进行了材料力学实验的教学改革，在原先教学资料的基础上扩充增加了部分内容，编写成本教材。

本教材共有六章。第一章为绪论，介绍材料与结构力学实验的任务和地位以及今后发展的方向。第二章介绍了当前较先进的试验仪器设备及力学性能测定，并应用到实验中去，如计算机控制的万能试验机和扭转试验机等新型试验机，以及百分表和引伸计等测量工具。第三章为材料力学性能测试基础实验课，安排了 8 个基础实验。第四章介绍电测实验的原理与应变片粘贴和测试桥路的综合实验。第五章为电测应力应变实验，包含了 10 个基本实验。第六章为工程结构力学的一些设计综合类实验，开设多项自行设计的具有本课程特色的实验项目，如非对称弯曲，剪切中心测定，开口、闭口薄壁杆件，连梁筒体扭转和复合材料拉伸等 7 个实验。

工程材料品种繁多，新的材料又在不断出现，其力学性能的测试内容和方法也不全相同。因此，本教材突出重点，论述在工程上广泛应用的材料力学试验方法、规定及有关结果，着重增加了第四章、第五章关于电测法的实验原理和实验内容，增强学生对工程中应变应力测量的理解，培养学生对工程结构应变应力测量和实验分析计算的实践能力。

中山大学实验教学研究、改革项目基金对本教材的出版给予资助，在此表示衷心感谢。在编写过程中，我们除了参考所列出的文献外，还参考了相关的试验机、测试仪器设备的说明书。限于编者水平和时间仓促，书中难免有错漏之处，敬请指正。

编著者

2016 年 1 月于中山大学

目 录

第一章 绪论	1
第一节 材料与工程力学试验的意义与内容	1
第二节 材料与工程力学实验课程的要求	2
第三节 实验数据处理的要求	3
第四节 实验报告的要求	8
第二章 常用仪器设备简介	10
第一节 电液伺服压力试验机	10
第二节 电液伺服万能试验机	14
第三节 电子式扭转试验机	19
第四节 冲击试验机	23
第五节 布洛维三用硬度计	26
第六节 显微硬度计	29
第七节 疲劳试验机	32
第八节 百分表、千分表和磁性表座	38
第九节 引伸计	40
第三章 材料力学性能实验	42
第一节 常温、静载下的低碳钢和铸铁拉伸试验	42
第二节 压缩试验	53

第三节	剪切试验	58
第四节	低碳钢、铸铁扭转试验和 G 值测量	60
第五节	冲击试验	67
第六节	疲劳试验	71
第七节	金属材料布氏、洛氏硬度试验	77
第八节	显微硬度试验	82
第四章	电测法基本原理	85
第一节	电阻应变片	85
第二节	测量电桥的基本特性	89
第三节	电阻应变仪的使用方法	96
第四节	电阻应变片的粘贴技术及测试桥路实验	102
第五章	电测应力应变实验	107
第一节	电测法测量杨氏模量 E 和泊松比 μ	107
第二节	梁弯曲正应力测试	113
第三节	夹层梁纯弯曲正应力实验	117
第四节	等强度梁弯曲正应力实验	121
第五节	测三点弯曲梁的挠度和转角	124
第六节	梁三点弯曲验证位移互等定理	127
第七节	梁悬臂弯曲验证位移互等定理、测定静不定梁铰 支处支反力	130
第八节	偏心拉伸（拉、弯组合）内力素测定实验	135
第九节	薄壁圆筒受弯、扭组合载荷时内力素测定	140
第十节	薄壁圆筒弯扭组合主应力测定	147
第十一节	压杆稳定性实验	150

第六章 工程设计综合类实验.....	154
第一节 规定非比例伸长应力测定.....	154
第二节 矩形截面梁扭转应力测试.....	159
第三节 槽钢、角钢剪切中心测定.....	162
第四节 Z 钢、角钢非对称弯曲变形测定	163
第五节 箱形刚架的变形和内力测定.....	165
第六节 半圆拱试验.....	166
第七节 复合材料拉伸实验.....	168
附录一 金属材料拉伸现象的细微观解释.....	176
附录二 误差及其表示方法.....	181
附录三 分析和数据的处理.....	186
附录四 实验曲线拟合方法.....	190
参考文献.....	196

第一章 绪 论

第一节 材料与工程力学试验的意义与内容

实验是科学研究的重要方法，在工程实践中得到了广泛的应用，掌握其基本方法，具有十分重要的意义。在工程结构中，材料的力学性能参数需要通过试验来测定，在对构件的强度和刚度问题进行分析和验证时，首先也是根据实验所观察的现象提出相应的假设，再运用力学和数学的有关知识来分析推证，由此得出结论。这些结论正确与否也还必须再通过实验来检验。此外，对一些受力和形状复杂的构件，当其强度、刚度和稳定性问题尚难以用理论分析解决时，更需要运用实验方法寻求解答。特别是对新材料的力学性能的认识，更是离不开力学试验。因此，材料与结构力学实验是力学课程的重要组成部分，是理论密切联系实际实践性环节，也是培养学生观察问题、分析问题和解决问题能力的一个重要途径。由此可见，材料与工程力学实验对了解、掌握、应用和发展材料力学和工程力学理论具有极其重要的意义。

由此可见，工程中的材料与结构力学问题的研究必须建立在试验的基础上，材料与结构力学实验的内容，可分为三个方面：

(1) 材料的力学性能测定。可通过拉伸、压缩、扭转、疲劳等

试验,了解有关材料的力学性能,测定材料的各项性能指标,如弹性极限、屈服极限、强度极限、持久极限、弹性模量、泊松比、疲劳极限等力学参数,这些参数是设计构件的基本依据。这些试验要根据国家标准规范来完成。通过这类试验,可以加深对材料力学基础知识的理解,初步掌握测定材料力学参数的基本方法。

(2) 验证已建立的理论公式。材料力学的理论公式都是以某些假设为基础而推导出的,建立的假设是否与实验系统相一致,这一点非常重要;只有通过实验的检验,才能得知其正确性和适用范围。而对于新建立的理论公式,用实验来验证更是必不可少的。

(3) 实验应力、应变、内力和变形的测试分析。工程中的许多构件,其几何形状、受力状态和应力分布情况十分复杂,理论求解比较困难或得不到满意的结果,此时,必须采用电测法、光测法和应用各种力、力矩、位移传感器及仪表进行应力、应变、内力和变形的测量。通过这类实验,可以培养学生观察、分析与解决问题的能力。

第二节 材料与工程力学实验课程的要求

材料与工程力学实验课是通过学生亲手操作,给试样加载,同时观测其变形,并经历实验准备、进行实验、分析处理和完成实验报告的过程来进行学习的,一般要有几个人相互配合才能很好地完成实验。因此,需要组合成实验小组并明确分工。在上实验课时,要求人人遵守实验规则和纪律,集中精力,认真操作,细心观测,真实记录,仔细推理。根据上述实验课的特点,学生应达到以下几个方面的要求:

(1) 必须做好实验前的预习和准备工作。按各次实验的预习要

求,认真阅读实验指导,明确实验目的,掌握实验原理,了解实验的步骤和方法。对实验中所使用的机器、仪器、试验装置等应了解其工作原理以及操作注意事项。在实验开始前,应该对实验过程中需要观察的现象和应该记录的数据做到心中有数,必须清楚地知道本次实验需记录的数据项目及其数据处理的方法。事前准备好记录表格。

(2) 严格遵守实验室的规章制度。按课程规定的时间准时进入实验室。保持实验室整洁、安静。未经许可,不得随意动用实验室内的机器、仪器等一切设备。做实验时,应严格按操作规程操作机器、仪器,如发生故障,应及时报告,不得擅自处理。实验结束后,把原始记录交给指导教师审阅签字后才能离开实验室,之后应将所用机器、仪器擦拭干净并恢复到正常状态。

(3) 认真做好实验。接受教师对预习情况的抽查、质疑。实验时,要严肃认真、相互配合,仔细地按实验步骤、方法逐步进行。实验过程中,要密切注意对实验现象的观察,记录好所需数据,并交于指导教师审阅。教学实验是培养学习者动手能力的重要环节,小组成员虽有分工,但要及时轮换,每个学习者都应自己动手完成所有的实验环节。

第三节 实验数据处理的要求

一、误差分析

测量值与真实值之间的差异称为误差。力学实验离不开对物理量的测量,测量有直接的也有间接的;由于仪器、实验条件、环境等因素的限制,测量结果不可能无限精确,物理量的测量值与客观存在的

真实值之间总会存在着一定的差异，这种差异就是测量误差。误差与错误不同，错误是应该而且可以避免的，而误差是不可能绝对避免的。

根据误差产生的原因及性质可分为系统误差与偶然误差两类。

（一）系统误差

造成系统误差包括几个方面：由于仪器结构上不够完善或仪器未经很好校准等原因产生的误差。例如，各种刻度尺的热胀冷缩效应，温度计、表盘的刻度不准确等都会造成误差。由于实验本身所依据的理论、公式的近似性，或者对实验条件、测量方法的考虑不周也会造成误差。例如，热学实验中常常没有考虑散热的影响，用伏安法测电阻时没有考虑电表内阻的影响等。测量者的生理特点，如反应速度、分辨能力甚至固有习惯等也会在测量中造成误差。

以上都是造成系统误差的原因。系统误差的特点是测量结果向一个方向偏离，其数值按一定规律变化。我们应根据具体的实验条件和系统误差的特点，找出产生系统误差的主要原因，采取适当措施降低它的影响。

（二）偶然误差

在相同条件下，对同一物理量进行多次测量，由于各种偶然因素，会出现测量值时而偏大，时而偏小的误差现象，这种类型的误差叫作偶然误差。

产生偶然误差的原因很多，例如读数时视线的位置不正确，测量点的位置不准确，实验仪器由于环境温度湿度、电源电压不稳定、振动等因素的影响而产生微小变化，等等。这些因素的影响一般是微小的，而且难以确定某个因素产生的具体影响的大小，因此偶然误差难

以找出原因加以排除。

但是实验表明，大量次数的测量所得到的一系列数据的偶然误差都遵循一定的统计规律，这些规律有：

- (1) 绝对值相等的正的与负的误差出现机会相同。
- (2) 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会多。
- (3) 误差不会超出一定的范围。

实验结果还表明，在确定的测量条件下，对同一物理量进行多次测量，并且用它的算术平均值作为该物理量的测量结果，能够比较好地减少偶然误差。

在数据处理的时候，由于实际运算只能完成有限项或有限步运算，因此要将有些需用极限或无穷过程进行的运算有限化，对无穷过程进行截断，这样产生的误差称为截断误差。在数值计算过程中，由于计算工具的限制，我们往往对一些数进行四舍五入，只保留前几位数作为该数的近似值，这种由舍入产生的误差称为舍入误差。力学性能的计算结果保留三位有效数字，并遵守表 1-1 的修约要求。

表 1-1 部分材料性能修约表

测试项目	范围	修约值
$\sigma_p, \sigma_t, \sigma_r$ $\sigma_s, \sigma_m, \sigma_{sl}$ σ_b	$\leq 200\text{MPa}$	1MPa
	$> 200 \sim 1000\text{MPa}$	5MPa
	1000MPa	10MPa
δ	$\leq 10\%$	0.5%
	$> 10\%$	1.0%
ψ	$\leq 25\%$	0.5%
	$> 25\%$	1.0%

二、数据处理

(一) 列表法

列表法是用表格把实验数据按一定的形式和顺序列出。把实验数据列成表格可以简单清晰地表示有关物理量之间的对应关系，便于检查测量结果是否合理，及时发现问题和分析问题，有助于从中找出规律性的联系，找出经验公式。对列表法的一般要求是：

(1) 排列有序，简单明了，便于查找数据和发现有关物理量数量间的关系。

(2) 列表的项目应包括物理量的名称（应用符号表示），单位和量值的数量级。单位和数量级应统一标注在表格顶端的第一行。

(3) 表格中 0 的数据应正确反映测量结果的精确度，按有效数字的书写规则书写。

(4) 引用的数据、仪器的参数、符号的物理意义应有说明。

(5) 应区分测量值和计算值。计算值应简单注明计算依据。

(二) 作图法

坐标纸上描绘出所测物理量的一系列数据间关系的图线就是作图法。该方法简便直观，易于揭示出物理量之间的变化规律，粗略显示出对应的函数关系，是寻求经验公式最常用的方法之一。

(1) 作图要用坐标纸，根据纵横坐标代表变量的关系可以选取直角坐标。横坐标表示自变量，纵坐标表示因变量。

(2) 坐标轴比例的选取应与测量数据的精确度相匹配，使测量数据中的可靠部分在图上仍然可靠，存疑部分能从图上估计出来。例如某测量数值为 1.43，我们应把坐标轴上的最小分格代表的数值定

为 0.1 或 0.05, 这样就能从实验点的位置准确地读出 1.4, 而末位的 0.03 则可以通过估计读出。为了使图线能较好地充满整个图面, 应该适当选取坐标轴的起始点。

(3) 为了与非实验点区分, 实验点应用“ $\circ$ ”、“ $\square$ ”、“ $\triangle$ ”、“ $\oplus$ ”、“ $+$ ”等符号画出。根据点的分布画出光滑的直线或曲线。图线不一定通过全部的实验点, 但要求实验点较均匀地分布在图线的两侧。对个别偏离图线较远的点, 应加以分析决定取舍。但对于反映仪表实际读数和正确读数相互关系的校正曲线, 各实验点间用折线连接。

(4) 坐标轴代表物理量的名称, 单位要标准清楚。坐标轴上分度线处要标注分度值, 代表实验结果的点, 如“ ε ”大小要相等。图线画好后在图下方写明实验名称、图线名称、实验时间、制图者等。

(三) 曲线拟合

在力学实验中经常要观测两个有函数关系的力学量。根据两个量的多组观测数据来确定它们的函数曲线, 这就是实验数据处理中的曲线拟合问题。这类问题通常有两种情况: 一种是两个观测量 x 与 y 之间的函数形式已知, 但一些参数未知, 需要确定未知参数的最佳估计值; 另一种是 x 与 y 之间的函数形式还不知道, 需要找出它们之间的经验公式。后一种情况常假设 x 与 y 之间的关系是一个待定的多项式, 多项式系数就是待定的未知参数, 从而可采用类似于前一种情况的处理方法。

第四节 实验报告的要求

实验报告是经实验者整理的实验资料的总结,也是评定实验质量的依据。如何写好一份合格的实验报告,是实验课的一项重要的基本功训练。学习实验报告的写作将为今后科学论文的写作打下基础。实验报告要用统一印制的实验报告纸书写,除填写实验名称、日期、班级、实验者及组员姓名等一般资料外,实验报告的内容还应该包括以下几部分。

实验目的:简要说明本次实验的目的,例如验证某一假设、设想等。

实验设备和器材:注明设备名称、型号及精度,必要时画出仪器简图或原理示意图。

实验原理概述:写出实验原理概要,必要时画出原理图,写出测量公式及计算公式,注明公式中出现的符号的力学意义。

实验步骤:写出简要步骤及注意事项。对于课本上已有详细说明的,可以写得简略一些,要求自己设计或安排实验步骤时,应适当写得详细些。

实验记录:数据一律采用表格记录,填表时要注意测量单位。此外,还要注意仪器本身的精度和有效数字。记录表格应在预习时事先做好。发生的现象用文字记录。

实验数据处理:包括计算实验结果及误差,做出必要的图表等。计算实验结果时应详细写出计算步骤,并按实验教材中误差计算的具体要求计算误差。简要写出误差计算的过程和依据。对同一物理量作多次测量时,均取测量结果的算术平均值作为该物理量的最佳值。实

验图应绘在方格纸上，用铅笔按标准绘制，图中应注明坐标轴所代表的物理量和比例尺。

实验讨论及作业：从实验中得到的结果及实验中观察到的现象，结合基本原理进行分析讨论。验证实验结果正确与否，若出现错误或者实验误差较大，应分析问题在哪里。完成实验教材的思考题。