



高等学校适用教材

误差分析与 测量不确定度评定

沙定国 主编

WUCHA FENXI YU



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



高等学校适用教材

误差分析与 测量不确定度评定

主 编 沙定国(北京理工大学)
参 编 (以姓氏笔画为序)
王中宇(北京航空航天大学)
王金波(长春理工大学)
张立毅(太原理工大学)
周桃庚(北京理工大学)
主 审 林洪桦(北京理工大学)

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

误差分析与测量不确定度评定/沙定国主编. —北京: 中国计量出版社,
2003. 8

高等学校适用教材

ISBN 7-5026-1776-0

I. 误… II. 沙… III. ①误差分析—高等学校—教材②测量—不确定
度—评价—高等学校—教材

IV. 0241. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 061903 号

内 容 提 要

本书适合作为 40 学时及 40 学时以下的误差理论与数据处理课程用教材。本书共分 9 章, 内容包括: 测量与测量误差概述、误差分布、随机误差、系统误差、粗大误差、函数误差与误差合成、测量结果的不确定度评定、最小二乘法与组合测量、回归分析与经验公式拟合等。各章附思考与练习题, 书末附有 8 个数学公式推导、常用误差分布一览表、8 个常用数据表、练习题答案, 本书还附计算机辅助教学光盘一张。

本书可作为高等学校测控技术及仪器专业及其他有关专业的本科生教材, 亦可作为各类科技与工程技术人员参考用书, 以及作为计量与检验人员学习培训用教材。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话(010)64275360

E-mail jilfxb@ 263. net. cn

北京市媛明印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×960 mm 16 开本 印张 16.5 字数 281 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

*

印数 1—4 000 定价(含光盘): 28.00 元

序 言

当今世界已处于信息时代，测试技术作为信息科学的源头和重要组成部分而倍受青睐，信息提取的准确性和可靠性则更受关注。任何科学实验和工程实践所获取的大量数据信息，必须经过合理的数据处理并给出科学的评价，才有其实际价值。因此，在高等学校开设《误差理论与数据处理》课程的重要性与必要性是显而易见的，而且愈来愈受重视，讲授本课程的高校也愈来愈多，并且不仅面对本科生专业，还有相关研究生专业。

自1978年高等学校仪器仪表类专业首次设立命名为《误差理论与数据处理》的课程，并于1981年出版本课程教材（费业泰主编，机械工业出版社出版）以来，由于讲授本课程的高校不断增多，专业类型日趋扩大，教学时数又参差不齐等，虽然该教材已20余次印刷使用，但不能完全适应各种情况的教学要求。近20余年来，全国有多家出版社共出版过7种同类教材，其中有的已不再出版发行，至今仍在继续出版使用的仅有2~3种教材。因此从总体上看，与其他课程相比，本课程教材尚未形成百花齐放局面。为了满足新形势下的需求，现沙定国教授主编了《误差分析与测量不确定度评定》教材，由中国计量出版社出版发行，将会满足国内有关高校当前的急需并受到欢迎，这也是本课程教学中的喜事，我表示衷心祝贺！

考虑到全国各高校“测控技术及仪器”专业教学计划对《误差理论与数据处理》课程学时安排不同的现状，本教材依据40学时来编写，经过编者潜心努力，完成的教材在内容取舍和编写方法上均具有明显的特色。首先是内容准确合理，删去动态测量数据处理内容，深入讲授基本的、最常用的内容，而且充分反映了时代特征，体现了教材内容的先进性与新颖性；其次是教材内容分为九章，结构合理，循序渐进，还将测量误差分布、随机误差、系统误差和粗大误差等均单列章节，进行详细的介绍，有助于学习和掌握本课程的最基本内容；再次是注重实践性，加强理论与实践相结合，除教材内容增加实例分析与思考练习题外，还附有计算机辅助教学软件光盘，有助于学以致用。

本教材由多位在教学一线授课、有丰富教学实践经验的教师编写而

成，不仅教材内容和教学方法具有特色，而且语言文字通俗易懂，便于教学。因此本教材作为同类教材中的新秀，将在测控技术及仪器专业和相关专业的人才培养中发挥作用。

费业泰

2003年7月3日

前 言

1998年教育部普通高校本科专业结构调整后,“测控技术与仪器”专业内涵拓宽,该专业内容面广、知识更新快,而现有教材在计量测试技术的发展和计量管理知识等方面相对滞后,不能满足新形势下对教材的需求。2001年5月,国家质量监督检验检疫总局政策法规宣传教育司组织召开了全国普通高校“测控技术与仪器”专业高校教材编写工作会议,中国计量出版社征集了10多所高校对《误差理论与数据处理》课程新教材的编写意见,并在此基础上组织编写本教材。

本教材贯彻教育部“十五”普通高校教材建设与改革意见的精神,把握新世纪教学内容和课程体系的改革方向,适应21世纪人才培养多样化需要,体现知识、能力与素质的协调发展,严格遵循教学与教材编写规律,集中了诸多高校一线授课教师的丰富教学实践与改革探索的成功经验与智慧。书稿由五位编者分工执笔,经全体编者集体讨论后,由主编统稿。教材力求内容准确、反映时代特色、风格新颖。

考虑到大多数高校《误差理论与数据处理》课程教学大纲内容的安排,本书定为适合40学时和40学时以下的误差理论与数据处理课程用教材。与40学时以上教材内容的不同之处,主要是删去了动态测量数据处理的内容。其内容包括测量与测量误差概述、测量误差分布、随机误差、系统误差、粗大误差、函数误差、误差合成与分配、测量不确定度与测量结果评定、最小二乘法与组合测量、回归分析与经验公式拟合等。本书考虑了学习者所学专业以及数学基础的不同,同时也照顾了一些有计量工作实践基础的人员、科技与工程人员再学习的需求,在各章后附有较多的思考题和练习题,书末附有8个数学公式推导、常用误差分布一览表、8个常用数据表,还附有部分练习题答案、参考文献、中英文词汇对照以及计算机辅助教学软件光盘等。在校学习者可根据本校课程教学大纲的要求,对本书的章节内容、思考题和练习题以及附录内容的具体材料,在教师的指导下选学其全部或大部分内容。

本书是高等学校《误差理论与数据处理》课程用教材,它是测控技术与仪器专业的必修技术基础课,是为学生学习后续各种检测课程、仪器设

计课程和毕业设计,以及将来走上工作岗位从事精度分析、实验设计和数据处理等奠定知识、方法及能力训练的基础。

本课程也是实践性较强的一门专业基础课,在进行教学时必须布置一定数量的练习题,并进行计算机辅助分析解题,有条件时还应安排必要的实验。在学习本课程前应掌握概率论与数理统计方面的知识,并应了解测试技术基本知识。

本书由北京理工大学沙定国教授主编,北京理工大学林洪桦教授主审,负责各章编写的有长春理工大学王金波教授(第二、五章内容)、北京航空航天大学王中宇教授(第七章内容)、太原理工大学张立毅教授(第一章、第七章、第八章内容)、北京理工大学周桃庚博士(第二章、第八章、第九章内容,全书图表、习题答案),北京理工大学沙定国教授负责编写其余内容。北京理工大学沙定国、周桃庚、刘梦夏、刘惠兰、庞文静、孙丹等配置了习题与答案,并编制了计算机辅助教学与工具软件(光盘版)。

在本书的编写过程中,武汉化工学院杨先麟教授、中国人民解放军军械工程学院李世恒教授、北京理工大学苏大图教授、赵跃进教授、陈祥光教授等给予了积极热情的支持与帮助,并提出了一些宝贵意见。中国误差和测量不确定度研究会理事长费业泰教授也十分关心本书的出版,在百忙中为本书撰写了序言。中国计量出版社李素琴责任编辑做了认真细致的编辑工作和大量组织工作。岳锋、李宗杨、洪宝林、元天佑、陈健、刘伟军、徐晓梅等国防测试计量专家均为本书稿和计算机辅助教学软件的出版提供了许多帮助和支持,在此一并表示衷心的感谢。最后,本书能以一本崭新的、准确的和精练的教材呈现在读者面前,也得益于从诸多先人的教材和著作中吸取的丰富养分,这里不一一列举,谨表敬意!

由于科学技术的迅速发展和编者水平所限,书中定会存在缺点和不妥之处,殷切希望读者批评指正。

编 者

2003年4月

目 录

绪 论	(1)
第 1 章 概 述	(6)
第一节 测量的基本问题	(6)
一、测量与测量过程	(6)
二、测量的分类	(7)
三、测量要素	(9)
第二节 测量误差的基本概念	(10)
一、误差的定义	(10)
二、误差的分类	(10)
三、误差的来源	(16)
第三节 测量准确度的质量概述	(17)
思考与练习题	(19)
第 2 章 测量误差分布	(22)
第一节 测量误差的统计特性	(22)
一、测量点列图	(22)
二、统计直方图和概率密度分布图	(23)
三、统计分布的特征值	(25)
第二节 常见误差分布	(29)
一、正态分布	(29)
二、其他常见误差分布	(31)
三、常用的统计量分布	(35)
第三节 误差分布的分析与检验	(39)
一、误差分布的分析判断	(39)
二、误差分布的统计检验	(39)
思考与练习题	(45)

第 3 章 随机误差	(47)
第一节 随机误差概述	(47)
一、随机误差的产生原因	(47)
二、随机误差的本质特征	(50)
第二节 算术平均值	(51)
一、算术平均值	(51)
二、算术平均值的标准差	(52)
第三节 实验标准差	(53)
一、贝塞尔公式	(53)
二、极差法	(55)
三、最大误差法	(56)
第四节 置信区间	(58)
一、正态分布的置信区间	(59)
二、其他分布的置信区间	(62)
思考与练习题	(66)
第 4 章 粗大误差	(68)
第一节 粗大误差问题概述	(68)
第二节 粗大误差的统计判断准则	(69)
一、 3σ 准则	(69)
二、格拉布斯准则	(70)
三、狄克逊准则	(72)
第三节 测量数据的稳健处理	(74)
思考与练习题	(76)
第 5 章 系统误差	(78)
第一节 系统误差概述	(78)
一、系统误差产生的原因	(78)
二、系统误差的分类	(79)
三、系统误差对测量结果的影响	(81)
第二节 系统误差的发现与统计检验	(83)
一、用标准器具(物质)检定	(83)
二、多台仪器间的比对测试	(84)
三、单台仪器的组内数据检验	(86)

第三节	系统误差的减小与消除	(89)
一、	消除误差源法	(89)
二、	加修正值法	(90)
三、	改进测量方法	(90)
思考与练习题		(95)
第 6 章	函数误差与误差合成	(97)
第一节	函数误差	(97)
一、	函数系统误差计算	(98)
二、	函数随机误差计算	(100)
第二节	随机误差的合成	(108)
一、	标准差合成	(108)
二、	极限误差合成	(109)
第三节	未定系统误差与随机误差的合成	(110)
一、	未定系统误差的合成	(110)
二、	未定系统误差与随机误差的合成	(111)
第四节	误差分配	(115)
一、	按等影响原则分配误差	(115)
二、	按可能性调整误差	(116)
三、	验算调整后的总误差	(116)
第五节	微小误差取舍准则	(118)
第六节	最佳测量方案的确定	(119)
一、	选择最佳函数误差公式	(119)
二、	使误差传播系数尽量小	(121)
思考与练习题		(122)
第 7 章	测量结果的不确定度评定	(124)
第一节	研究不确定度的意义	(124)
一、	研究不确定度的必要性	(124)
二、	不确定度的由来	(125)
三、	不确定度的应用领域	(126)
第二节	不确定度的基本概念	(126)
一、	不确定度的定义	(126)
二、	不确定度的来源	(127)
三、	不确定度评定方法的分类	(129)

四、几个相关的术语与概念	(129)
第三节 标准不确定度的评定	(130)
一、A类评定方法	(130)
二、B类评定方法	(131)
三、自由度	(134)
四、应用举例	(136)
第四节 合成标准不确定度	(137)
一、合成公式	(137)
二、有效自由度	(138)
三、应用举例	(139)
第五节 扩展不确定度	(141)
一、概述	(141)
二、自由度法	(141)
三、超越系数法	(142)
四、简易法	(144)
第六节 测量结果表示方式	(145)
一、测量结果报告的基本内容	(146)
二、测量结果的表示方式	(146)
三、数字位数与数据修约规则	(148)
思考与练习题	(151)
第 8 章 最小二乘法与组合测量	(153)
第一节 最小二乘法原理	(153)
第二节 线性参数的最小二乘法	(154)
一、正规方程组	(155)
二、不等权正规方程组	(158)
三、标准差的估计	(158)
第三节 非线性参数的最小二乘法	(162)
第四节 组合测量问题	(164)
思考与练习题	(169)
第 9 章 回归分析与经验公式拟合	(172)
第一节 回归分析的基本概念	(172)
一、函数关系与相关关系	(172)
二、经验公式拟合与回归分析	(173)

第二节 一元线性回归分析	(174)
一、一元线性回归方程	(174)
二、回归效果 F 检验	(176)
三、回归系数的不确定度和回归方程的稳定性	(178)
四、回归预测值及其不确定度	(179)
第三节 多元线性回归分析	(181)
一、多元线性回归方程	(181)
二、线性回归效果检验	(184)
三、每个自变量在多元回归中所起的作用	(187)
第四节 非线性回归分析	(189)
一、化曲线为直线的回归问题	(189)
二、正交多项式回归	(191)
思考与练习题	(201)
附录 A 算术平均值是总体期望的最佳估计	(203)
附录 B 贝塞尔公式的推导	(205)
附录 C 相对标准差关系式的推导	(207)
附录 D 有效自由度合成公式的推导	(208)
附录 E.1 包含因子与超越系数的关系	(210)
附录 E.2 合成分布的超越系数公式推导	(212)
附录 F 矩阵最小二乘法	(213)
附录 G 权与加权数据处理	(218)
附表 1 常用误差分布一览表	(222)
附表 2 标准正态分布积分表	(226)
附表 3 t 分布临界值表	(228)
附表 4 χ^2 分布临界值表	(230)
附表 5 F 分布临界值表	(233)
附表 6 夏皮罗-威尔克 α_n 系数	(239)
附表 7 夏皮罗-威尔克 $W(n, \alpha)$ 值	(240)
附表 8 偏态统计量 p 分位数 Z_p 表	(241)
附表 9 峰态统计量 p 分位数 Z_p 表	(242)
参考文献	(243)
中英文词汇对照	(244)
部分练习题答案	(248)

绪 论

测量是人类认识世界和改造世界的一种必不可少的重要手段。测量是人类探索自然界、打开未来知识宝库的钥匙。早在 18 世纪，俄国科学家门捷列夫(Д. И. Менделеев)就曾用以下的话阐述了测量对科学的意义：“科学自测量开始，没有测量，便没有精密的科学”。诺贝尔奖设立至今，众多得奖的科学家中不少就是借助于先进测量技术与仪器装置以及准确的误差分析和数据处理手段而获得了重大科学发现。

在现代社会中，测量已经成为先进工业生产技术的重要支柱之一，也是整个科学技术和国民经济的一项重要技术基础，它对促进生产力发展与社会进步起到重要作用。例如，卫星上天离不开测量与控制技术作保障，半导体芯片工业生产需要亚微米级乃至纳米级的超精密测量技术，精密的激光制导和光电对抗技术乃至与人民生活密切相关的生物基因研究也都离不开精密测量及仪器。2000 年我国确定了“十五”期间八个对增强综合国力最具战略影响的高技术领域，它们是信息技术、生物技术、新材料技术、先进制造与自动化技术、资源环境技术、航天航空技术、能源技术、先进防御技术等。可以看出，这八个技术领域的发展都在不同程度上需要和离不开测量测试与仪器仪表的技术保障作用。特别是信息技术，首先要解决对被测对象信息的获取，这是与测量测试与仪器仪表密不可分的。仪器仪表和测试技术是工业生产的“倍增器”，是高新技术和科研的“催化剂”，在军事上体现的就是“战斗力”。正如英国科学家库克(A. H. Cook)所说“测量是技术生命的神经网络”。

由于测量资源的不完善，测量环境的影响，加之测量人员的认识能力等因素的限制，使得测得的值与客观真值不会一致，即存在误差。因此，测量误差自始至终存在于一切科学实验和各种测量活动中。

随着生产与科学技术的发展以及人类认识水平的不断提高，测量误差

越来越受到人们的关注。许多科学家曾为此作出了重要贡献,从而推动了误差理论的形成与发展。其发展历程大约可分为以下几个时期。

经典误差理论的萌芽期 误差理论的起源最早可以追溯到18世纪。1794年,17岁的德国数学家、测量学家和天文学家高斯(C. F. Gauss, 1777~1855年)首先阐明了最小二乘法的原理,并于1809年在其著作《天体沿圆锥截面围绕太阳运动的理论》中发表。他的方法奠定了测量数据处理的基础,被称为高斯最小二乘法。同一时期,1805年法国数学家勒让德尔(A. M. Legendre, 1752~1833年)在其著作《决定彗星轨道的新方法》中也用最小二乘法处理观察结果。因此,可以说误差理论的研究首先是从数学和物理天文学开始的,这两位数学大师采用的最小二乘法奠定了测量数据处理的理论基础,这个时期称为经典误差理论的萌芽期。

经典误差理论的成熟期 在20世纪前后,苏联科学家对误差理论进行了大量的系统研究。如契比雪夫(П. Л. Чебышев, 1821~1894年)、克雷洛夫(А. Н. Крылов, 1863~1945年)、马利柯夫(М. Ф. Маликов)等发表了許多卓有成效的研究成果。其中最著名的是马利柯夫在1949年出版的《计量学基础(Основы Метрологии)》一书,它是当时最全面、最系统地介绍误差理论的专著,也是经典误差理论的总结。实际上,该书的内容影响了我国20世纪50年代和60年代的计量测试的实践活动。初期的经典误差理论仅有误差的概念、误差的统计分布,后来发现对测量值产生影响的某些因素是可以分开处理的,所以有了不同性质特征的三类误差,即随机误差、系统误差和粗大误差。例如,著名科学家牛顿计算中使用的地球半径值有较大误差,导致他测得的月球加速度值与理论值相差10%。由于这个较大系统误差的存在,导致牛顿推迟了20年才发表他的引力理论。随着科学实验活动的深入,误差理论逐渐从单一测量值的数据处理而延伸到多个测量值的数据处理,从处理直接测量的数据问题发展到处理间接测量的问题,从对误差的单一因素分析发展到对误差多因素的合成评定等。

经典误差理论是以统计学理论为基础,以静态测量误差为研究对象,以服从正态分布为主的随机误差估计和数据处理方法为特征,最后也是用测量误差来表征测量结果的质量。随着现代科学技术的发展,对测量结果评价的完备性和可靠性提出了更高的要求。用测量误差来表征测量结果,是相对真值而言的,但由于真值是相对的、理论的,导致完善确定该测量误差的困难,而且测量误差中包含的系统误差和随机误差这两类不同性质的误差也难以综合表征。随着国际贸易的不断扩大,测量数据的质量高低需要在各国之间得到一致公认的评价,并依此开展国际间的验证、比对试验、

计量确认、实验室认可等活动。这就需要有一种统一的、广泛适用的、简明的评定测量质量的方法。显然，经典误差理论难以适应现代社会和科学技术发展的需求。

现代误差理论的形成与发展期 随着科学技术和社会的发展，需要在更广泛的领域里进行越来越精密的定量活动，显然，也暴露了经典误差理论的不足。1973年，J. E. Burns在《误差与不确定度》一文中正式提出“不确定度(uncertainty)”一词。不确定度是对测量结果质量的定量表征，反映了测量结果的分散程度，决定了测量结果的可用性。不确定度越小，说明测量结果质量越高，使用越可靠，价值也越大。因此，测量结果必须附有不确定度说明才是完整并有意义的。这种更为科学、合理、实用的表征方法，成为现代误差理论的核心之一。1980年，国际计量局(BIPM)在征求各国意见的基础上，提出了《实验不确定度建议书 INC-1》。1993年，国际标准化组织(ISO)、国际理论化学与应用化学联合会(IUPAC)、国际理论物理与应用物理联合会(IUPAP)、国际计量局(BIPM)、国际电工委员会(IEC)、国际临床化学联合会(IFCC)和国际法制计量组织(OIML)联合颁布了《测量不确定度表示指南(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)》，建立了在测量中评定和表达不确定度的一般规则，适用于不同准确度要求的测量领域。与此同一时期，误差分离与修正技术的研究与应用、动态测量误差的评定等均有了较大的发展，形成了较为完整的现代误差理论体系。因此，从20世纪70年代中期开始，进入了现代误差理论的形成与发展时期。

现代误差理论拓宽了误差理论的研究和使用范畴，克服了经典误差理论的不足，将静态测量误差与动态测量误差，系统误差和随机误差，测量数据与测量系统，不同误差分布等融为一体，以常见误差源的误差性质及其分布为研究基础，以测量不确定度的原理及应用、动态测量不确定度的分析与评定等为主要研究内容，以紧密结合工程测量与仪器制造技术的误差修正与补偿技术为研究热点。在理论上突破了以统计学理论为基础的传统研究方法，在实践上力求统一、实用、可靠的评定准则和方法，在水平上实现了误差理论与计算机应用技术、近代数学物理方法、测量和计量实践，以及与标准化等紧密结合，正朝着现代化、科学化、实用化和高准确度的目标推进。

误差作为计量学研究的一个重要分支，对推动测量科学本身的发展起到了重要的不可替代的作用。计量学是研究测量、保证测量统一和准确的科学。测量统一是指，在不同地点、不同时间及用不同测量方法和器具所得到的测量结果在一定的误差和计量单位的情况下是可以比对的。测量准

确是指,测量结果的分散性及其与被测量真值的接近程度。可见,对于测量误差的分析,以及测量结果的合理表征,是测量所必须关注的一个基本问题。现代科学技术的发展进一步表明,没有精密和超精密的测量就没有科学的发现和进步,没有细致而周密的误差分析和对测量结果的合理评定,也就缺少了实现精密和超精密测量必不可少的软件手段。随着测量日趋精密,测量手段日趋多样化,测量对象也越来越扩展到微小和超大量值领域、极不稳定状态下的测量、现场或远程监测和控制多参数及其特性的过程测量,凡此种种,对发展在统计学、随机函数理论以及各种不确定性、模糊、灰色问题等研究的基础上的误差理论与数据处理分支领域不断地提出新的任务。

测量误差分析与数据处理在科学实验和生产实践中占有极其重要的地位,它是提高测量准确度,保证获取信息可靠性的重要手段。在科学研究中,测量准确度的提高和测量误差的深入研究,往往是重大科学新发现的前导。如英国物理学家瑞利(Rayleigh)在测定氮气的密度时,发现从大气中分离出的氮的密度为 1.2978g/L ,而用化学方法提取的氮的密度与此相差 $1/20000$ 。分析结果证明,空气中分离的氮含有其他成分,由此导致了后来雷塞姆发现了空气中的惰性气体——氩。再如我国科学家吴有训教授和美国科学家康普顿教授通过对X射线散射角和波长改变的精密测定,奠定了光量子的能量守恒定律。在工业生产中,测量准确度不仅对工程技术和工业产品的质量起着监督和保证作用,而且还是工程成败、产品优劣的一项决定性因素。如发射人造卫星的控制和遥测系统,测量最后一级运载火箭的速度如有 $2/1000$ 的相对误差,则卫星就会偏离预定轨道 100km ,真可谓“失之毫厘,谬以千里”。在国际贸易中,对出口货物称重不准会造成很大损失,多了白白送给外商,少了则要赔款。在日常生活中,也是如此。因此,科学的进步,生产的发展是与测量理论、测量技术与手段以及误差理论与数据处理技术的发展和进步相辅相成,相互促进的。测量理论、测量技术与手段以及误差理论与数据处理技术的水平在一定程度上也体现了一个国家科学技术的水平。

由上可见,误差理论与数据处理不仅是计量学(即测量科学)研究的一个重要分支,而且是现代测试技术的一个重要研究内容,也是整个科学技术与仪器发展中必不可缺少的分析与设计手段。这门课程对培养从事现代测试技术、工程设计与科学研究的人才将起着其他课程不可替代的重要作用。

学习本门课程内容,需要用到函数模型及其微积分计算、线性代数的矩阵运算、概率论与数理统计等三门大学本科数学课程的知识,也要应用

微型电子计算机进行数据处理,还应有测试技术基本知识与工程测量的实践活动。这些是学习与掌握好本课程内容所必需具备的知识条件。本课程的教学目标可以归纳为以下四点:

(1)会正确进行误差分析。通过掌握误差的基本知识以及粗大误差剔除、系统误差发现及修正和随机误差统计分析的常用方法,能够正确分析误差的产生原因,确定误差的性质,以便合理估计误差大小,并采取措施消除或减小误差。

(2)会正确表示和评定测量结果的不确定度。通过掌握测量不确定度的概念、两类评定、传播和合成的方法,能够对测量结果做出正确评定。

(3)会正确处理测量数据。通过掌握直接测量、间接测量、组合测量、经验公式拟合、不等权测量等问题的数据处理方法,能够对不同测量条件下得到的测量和实验数据进行合理计算和分析,以便在一定测量条件下得到更接近于真值的数据。

(4)会正确设计测量方案。通过本门课程的学习,能够合理选用仪器设备和测量方法,正确组织实验过程,以便在最经济的测量条件下,确定最佳的测量方案。

在课程的教学过程中,应贯彻理论联系实际的原则。如有条件最好让学习者进实验室从事几个测量课题的实践活动,从事采集数据、分析与处理数据的全过程活动,并适当采用微型电子计算机及其辅助软件工具来提高分析和处理多种测量数据处理问题的能力。