

机械工程前沿著作系列 HEP  
HEP Series in Mechanical Engineering Frontiers MEF

# 误差分析导论

物理测量中的不确定度

John R. Taylor 著  
王中宇等 译

An Introduction to Error Analysis

The Study of Uncertainties in Physical Measurements

第二版

高等教育出版社

机械工程前沿著作系列 HEP  
HEP Series in Mechanical Engineering Frontiers MEF

# 误差分析导论

物理测量中的不确定度

An Introduction to Error Analysis

The Study of Uncertainties in Physical Measurements

第二版

John R. Taylor 著

王中宇等 译

WUCHA FENXI DAOLUN

高等教育出版社·北京

图字：01-2014-4799号

*An Introduction to Error Analysis, 2nd Edition* by John R. Taylor  
Copyright © 1982, 1997 by University Science Books

### 图书在版编目 (CIP) 数据

误差分析导论：物理测量中的不确定度：第2版 /  
(美) 泰勒 (Taylor, J. R.) 著；王中宇等译. -- 北京：  
高等教育出版社，2015.11

书名原文：An Introduction to Error Analysis:  
The Study of Uncertainties in Physical  
Measurements

ISBN 978-7-04-043386-9

I. ①误… II. ①泰… ②王… III. ①物理量-测量  
-误差分析-高等学校-教材 IV. ①O4 ②O4-34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 162650 号

策划编辑 刘占伟  
版式设计 张杰

责任编辑 刘占伟  
责任校对 刘娟娟

特约编辑 陈静  
责任印制 韩刚

封面设计 杨立新

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印刷 北京汇林印务有限公司  
开本 787mm×1092mm 1/16  
印张 21.75  
字数 380千字  
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
版次 2015年11月第1版  
印次 2015年11月第1次印刷  
定价 49.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 43386-00

## 内容简介

这是一本介绍误差分析与不确定度评定方面的入门书，自出版以来已经被翻译为 6 种语言，在国际上具有很大的学术影响力。

全书分为两大部分，共计 12 章。其中第 I 部分包括 5 章内容，主要介绍大学低年级物理实验中所需误差分析的基础知识。前两章介绍误差分析与不确定度的基本概念：第 1 章给出误差分析的初步描述，第 2 章介绍如何报告与使用不确定度。第 3 章介绍误差传播。第 4 章和第 5 章介绍不确定度的统计方法，具体包括第 4 章的随机不确定度的统计分析和第 5 章的正态分布。第 II 部分内容有所加深，其中有一些内容是第 I 部分的具体应用，另一些则是统计理论的进一步拓展。主要包括数据处理和三大分布两个主题，其中数据处理部分包括 4 章，分别为第 6 章的数据剔除、第 7 章的加权平均值、第 8 章的最小二乘拟合以及第 9 章的协方差与相关性；三大分布包括第 10 章的二项式分布、第 11 章的泊松分布以及第 12 章的卡方检验。这两个主题分别安排在 7 个短章中，前后之间的内容相对独立，读者可以根据自己的需要与兴趣按照任意的顺序阅读。

书中结合实例，特别是精密物理测量的实例进行讲解，每章末尾安排了大量的习题。在附录部分给出了每章中的快速测验与章末奇数编号习题的答案。本书与国内的误差理论教材在组织结构、教学方法等方面均有很大不同，目前我国在市面上尚无这种模式的同类中文书籍。从写作上来说，本书通俗易懂，深入浅出，讲解细致。可以作为我国大专院校的教学参考书使用，也可供科研院所的工程技术人员参考。

## 译者简介



王中宇, 1963年4月生, 1985年7月和1988年7月在合肥工业大学分别获得本科和硕士学位, 1996年12月在华中理工大学获得博士学位, 现任北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院教授。兼任全国误差与不确定度研究会常务理事、全国高校互换性与测量技术研究会理事以及《应用光学》期刊理事等职。主要从事精密测量与误差分析等方面的教学与研究。出版著作8本, 发表论文200余篇。E-mail: mewan@buaa.edu.cn

# 译者序

2013年3月初,高等教育出版社自然科学学术事业部负责机械学科的刘占伟编辑告诉我,最近国外出版社推荐了一本书 *An Introduction to Error Analysis*, 询问我是否熟悉,并且想让我看看是否与机械学科的测量或者精密工程专业密切相关,以及读者的定位和翻译的价值等。我查看了这本书和目录的电子版,感觉该书是介绍物理测量中不确定度研究方法的一本入门书,建议翻译为中文予以出版,作为大专院校的教学参考书或者科普书推荐给国内读者。刘编辑很快回复我,说该选题正在社内进行申报和组织评审,出版社决定引入这本书,正在与美方出版社进行洽谈,同时调取样书,由我负责翻译工作。7月底我与刘编辑见面,拿到样书,讨论了翻译的一些具体事宜。10月份我便履约开始了这本书的翻译工作。

我首先组织第一稿的文字翻译,这个过程花了半年多的时间。后来发现即使有了翻译的初稿,后面的校对、审核与统稿等工作量还是非常之庞大,这个过程又花了我半年多的时间。在这期间,我注意到,原著部分章节内容已经可以在网上找到一些只言片语的“中文翻译”。尽管内容并不全面,翻译得也并不准确;但是从中足以看出,原著在我国部分高校可能已经被遴选为教材或者教学参考书,在国内已经具有了一定的学术影响力。因此,出版社决定引进原著、出版相应的中文版,应该说是完全必要的,也是非常及时的。然而对于我个人来说,这件事情很有挑战性,我感觉到自己身上的担子很沉重,事后留在我记忆里的一些讲授技巧,也很长一段时间都难以忘却。

2014年5月11日(华盛顿当地时间),我在原著作者 Taylor 教授的家里拜访了他。Taylor 教授出生于英国,成长于美国,当时已经退休 10 年有余,没有来过中国。初次见面,他热情地接待了我,饶有兴致地向我展示了这本书被翻译成多种不同语言的样书,还专门为我的到访对原书的部分表述做了适应性的修改(参见扫描件及其翻译)。我们交谈得十分愉快,而我本人也因此提高了对翻译工作的“置信水平”。在我回国之后,曾经一度邀请 Taylor 教授来华访问讲学;遗憾的是, Taylor 教授告诉我,他也很想来北京看看;但是由于年事已高,从华盛顿到北京长达 13 多个小时的飞行,对于他这样年龄的老人来说,有些太过辛苦了。因此他非常遗憾地婉拒了。但是他特别嘱咐我,在翻译的过程中,如果对原著有任何不理解的地方,他将非常乐意

帮助我。事后我的确向他请教了几个关于准确把握原文意思的问题。

由于中美两国在东西方文化方面的差异,加之原著作者的表达方式和习惯用语,我在一些阅读理解与字面翻译方面遇到了不少困惑,也因此曾经有过很长一段时间的烦恼。尤其在试图准确地把握原著作者的真实意图并使用通俗易懂的文字将其表达出来的时候,着实感觉到有点儿力不从心了。我由此想到清末启蒙思想家严复在《〈天演论〉译例言》所讲到的“信、达、雅”。翻译工作中的这个“三字真经”要践行起来真的是很艰难的,因为“求其信已大难矣,顾信矣不达,虽译犹不译也,则达尚焉”。看来至少对于我这个门外汉来说,着实就是这个样子的。

在“信、达、雅”这个三字标准中,首先强调的是忠实于原文,然后是文辞畅达,最后才是文采。为了做到忠实原文并且保持阅读流畅,本书在翻译的过程中力求做到释义准确,尊重作者的构思和写作风格,将准确放在头等重要的地位。对于一些专业术语则尽量采用国内的通用译法,对于图、表、式、注中的文字内容,也都完整地翻译出来。

关于这本书,正如清华大学李岩教授所指出的:“这是误差理论与不确定度教学科研领域在国际上已经颇具影响的著作。尽管随着一些最新的国际标准或导则的颁布实施,该书尚未及完全反映这些最新的内容,但是书中的绝大部分内容都堪称经典,不失为一本学习和研究误差理论与不确定度理论的好书。对于一些经典内容如数据剔除、最小二乘拟合、协方差与相关性、各类误差分布性质等都有较为简明而通俗的阐述。书中结合实例,特别是精密物理测量的实例进行讲解,还安排了大量的习题。本书与国内的误差理论教材在结构、讲解方法等方面均有很大的不同,目前在市面上尚无该模式的同类中文书籍。本书的内容通俗易懂,讲解细致。选择这样一本著作进行翻译,具有很强的实用性和指导性。误差理论方面尚需引进一些国外的优秀教材,这本书的翻译出版,对于丰富我国误差理论教学和科研具有很大意义”。我自己感觉,这本书更像是一本生动的讲义。因为在学习这门课程的时候,就好像有人当面在讲解或者辅导一样。因此书中大量的第一人称的叙述方式,在不至于显得过于赘述的情况下,也都尽量予以保留。这也正是本书的一种行文风格与写作特点。

历经一年多的时间,我和我的合作者终于完成了全书的翻译工作。我利用2014年的暑假,花了两个多月的时间,仔细地对翻译稿进行逐字逐句的校对,不敢有丝毫的大意或者半点儿懈怠。9月份开学之后,先后分两个阶段,分别请兄弟高校与科研院所的教师与研究人员对全书审核把关。2014年底至2015年初,我再次对审核后的书稿做了仔细的校对。现在呈现在读者面前的这本并不尽如人意的中文版译著就是这样诞生的。

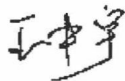
Taylor教授本人为这本中文版译著作了序;承蒙我敬爱的老师——国内测量误差与不确定度方面的权威——费业泰教授关心与支持,为本书作序。在此深表

敬意。

本书的中文版由北京航空航天大学王中宇、河南科技大学夏新涛、上海理工大学朱坚民和中国海洋大学秦平翻译，王中宇负责全书的统稿与校对；北京航空航天大学博士生王倩、王岩庆、李强，硕士生李丹等承担了部分翻译工作，在此一并表示感谢。

2014年9月，清华大学尉昊赞，北京理工大学周桃庚，北京信息科技大学陈青山、张荫民，北京长城计量测试技术研究所梁志国、朱振宇，北京航空航天大学钱政、屈玉福、李庆波、李成 10 位老师和同行专家参加了翻译稿的第一阶段审核工作。2014年11月，中国计量科学研究院倪育才、清华大学李岩、河北大学李金海 3 位专家参加了翻译稿的第二阶段审核工作，在此深表谢意。

由于我们这个翻译者群体的知识能力与业务水平所限，尤其我本人才疏学浅，中文版译文虽经我仔细推敲、字斟句酌、反复研读，存在的理解不当、表述错误乃至翻译谬误之处依然在所难免，这正是我觉得最有可能对不起读者并且深感愧疚的地方。因此，只有希望依靠广大读者的集体智慧，并且通过大家的慧眼识文，才真正有可能使这本译著逐步地完善起来，这也正是我本人所热切期盼的一件事情。



北京航空航天大学

2015年1月于北京

E-mail: mewan@buaa.edu.cn

Tel: 010-82338881



# 他序

*An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements* 是美国大学理工科学生在物理量测量实践中学习误差分析与测量不确定度基础知识的一本入门书。

物理学是研究自然界的物质结构、物体之间的相互作用和运动规律的一门自然科学,它与人类社会的进步、现代物质文明的建立有着密切的联系,很多新兴学科和技术的诞生也都是以物理学的发展为前提的。

物理量测量实践是物理学的基础和重要组成部分,对更好地认识并且有效地利用自然界具有重要意义。物理实验离不开对表征过程或状态的物理量所开展的测量工作。在测量的过程中,由于受到测量仪器、测量方法、测量环境和操作人员等因素的限制,在测量的结果中不可避免地包含着各种形式的差异。测量结果与真值之间在量值上所表现出来的差异,在计量学中一般称为测量误差。如何准确地对测量过程中出现的各种误差进行分析,并且尽量地减小或者消除其影响,进而对测量结果中无法消除的误差作出合理的估计,最终给出测量结果不确定度的正确表述,这是物理量测量实践中必不可少的一项重要工作。因此误差分析与测量不确定度评定是物理量测量实践中数据处理的重要内容,是物理量测量人员乃至工程技术人员必须掌握的重要理论与技术。

我国的很多高等学校在理工科本科生或研究生中都开设有误差分析方面的相关课程。我本人主编的《误差理论与数据处理》(机械工业出版社出版)为普通高等学校“九五”、“十五”和“十一五”国家级规划教材,30年间历经了6次修订,已经被全国250余所高校及境外有关高校广泛使用。相关内容的教材或者学术著作不下几十种,基本上形成了百花齐开、百家争鸣的发展势头,极大地丰富并且完善了误差理论与不确定度的研究内容,也促进了相关学科的良性循环,逐步形成了该领域可持续发展的“正能量”。美国科罗拉多大学博尔德分校的John R. Taylor教授编著的这本误差分析入门书,没有刻意叙述误差与不确定度之间的异同,也没有过于强调前后章节之间的联系,有其相应的特色,特别适合于相关学科领域的初学者。作为从事误差理论与数据处理工作近50年的一名老教师,借此机会把这本书推荐给国内读者,我感到由衷的高兴。

承担原著中文版翻译工作的人员, 都是长期在测量误差与不确定度领域从事教学与科研工作的高等学校一线教师。他们具有丰富的教学与研究工作经历, 积累了翔实的文献资料, 不仅熟悉本领域的历史进程, 也掌握国际相关学科发展的动向。这就为翻译工作奠定了很好的基础。

中文翻译版对原著的理解准确、表达通顺、文笔流畅, 保留了原著作者的写作特点与行文风格。

适逢该书的中文翻译版在高等教育出版社交付之际, 受我的学生——北京航空航天大学王中宇教授之邀请, 乃为之序。



全国误差与不确定度研究会理事长  
国际测量与仪器委员会常务理事  
中国微米纳米技术学会理事  
2014年12月于合肥工业大学



当地时间 2014 年 5 月 11 日，译者在原作者的华盛顿家中

# Changes for Taylor's "Error Analysis"

On page vii change the title of Section 1.1 to be  
"Error" versus "Uncertainty"

New Section 1.1 for page 3

## 1.1 "Error" versus "Uncertainty"

Although the words "error" and "uncertainty" undoubtedly mean different things, you need to be aware that many scientists often blur the distinction. In particular, the subject of this book should probably be called "Uncertainty Analysis," but is almost always called "Error Analysis." Nevertheless, there is an increasing awareness that there is a useful distinction that is worth observing and which I shall try to follow.

The definitions of "error" and "uncertainty" in the context of scientific measurement are somewhat controversial, but the following are good enough to get us started. The *error* in a measurement of some quantity is the difference between the measured value and the true value. If I measure the time for a ball to roll down an incline as 56 s, whereas the true time is really 54 s, then my error is 2 s. Scientists would love to know the error in every measurement they make, but in practice we almost never can: The reason for measuring something is almost always that we don't know its true value, and, without this, we cannot find our error. The *uncertainty* in a measurement is the scientist's attempt to estimate how large the error is likely to have been. Having measured the time to be 56 s, I might conclude that, given my reaction times and the difficulty of reading my watch, the time could actually have been anywhere from 53 to 59 s. The usual way to state this conclusion is that my measured value is 56,3 s, meaning that I believe the true value is probably within a distance of 3 on either side of 56, or more briefly my uncertainty was 3. In other words, the uncertainty (3 in my case) is defined so that *the unknown error is probably no larger (or anyway not much larger) than the uncertainty*. In the news media, the uncertainty in a measurement (of the numbers supporting a political candidate, for example) is usually called the *margin of error*.

On page 14, line 4

Delete the words "or error."

that is, the line should read:

the *uncertainty* or *margin of error* in the measurement of...

On page 18, last two sentences before Section 2.4 (Nevertheless, . . . the true value.)

Replace these two sentences with the following:

Nevertheless, the difference between a measured value and the corresponding true value is theoretically a very useful concept. As I have already mentioned, this difference is often called the *error* in the measurement, although some authors call it the *true error* to emphasize its relation to the true value.

On page 324

The entry "Error, 3, 14" should read

Error, 3

That is, delete the "14"

On page 325

The entry "Margin of error, 14" should read

Margin of error, 3, 14

## 作者 Taylor 对原著修改的译文

(1) 将第 vii 页 1.1 节的标题修改为“误差”与“不确定度”。

相应地, 第 3 页新的 1.1 节为“误差”与“不确定度”。

关于 1.1 “误差”与“不确定度”:

尽管“误差”与“不确定度”表示的肯定是两个不同的概念, 但是很多科学家通常却不加以区别。尤其是, 这本书的书名叫做“不确定度分析”可能会更好一些, 然而实际上我们通常称之为“误差分析”。人们已经逐渐地意识到将“误差”与“不确定度”区别开来是值得关注的, 下面我就这一问题进行阐述。

在科学测量的情况下, “误差”与“不确定度”的定义可能是存在争议的, 我们现在就从这个争议开始说起。某一个量的测量“误差”, 指的是测得值与真值之间的差异。如果我测量一个小球从斜面滚动下去的时间为 56 s, 而小球实际滚动下去的时间为 54 s, 那么我的误差就是 2 s。科学家总是希望知道他们所做测量的误差有多大, 但是实际上做不到。我们之所以要对某一个量进行测量, 几乎肯定是因为我们不知道这个量的真值。没有这个真值, 我们就求不出误差的大小。测量不确定度则是科学家对于误差可能会有多大的一种估计。例如, 测量一个小球从斜面滚动下去的时间还是 56 s, 考虑到我在测量时的反应时间和读表的不精确, 那么就可以由此推断出, 小球滚动下去的实际时间应该在 53~59 s 之间。表述这种结果的常用方式是, 我的测得值为  $56 \text{ s} \pm 3 \text{ s}$ , 这就意味着我确信真值在 56 s 左右的各 3 s 范围之内, 也就是说测量不确定度为 3 s。换言之, 有了不确定度 (本例为 3) 的这种定义, 我们就可以说未知误差一般是不会大于 (或者在任何情况下都不会超过) 不确定度的。在一些新闻媒体中, 测量不确定度 (例如, 对于拥护某政治候选人的人数统计) 通常称为误差界限。

(2) 第 14 页的第 4 行。

删除“或者误差”。也就是说, 第 4 行应当表述为: …… 的测量不确定度或者误差界限。

(3) 第 18 页 2.4 节前面的最后两句话 (然而 …… 真值)。

把原来的这两句话替换为: 然而测得值与相应真值之间的差值, 在理论上却是一个很有用的概念。正如我已经提到过的, 测量中的这种差值通常称为误差, 有些作者

也称之为真误差, 以强调它与真值之间的联系。

(4) 第 324 页的词条“误差, 3, 14”应为“误差, 3”, 即删除“14”。

(5) 第 325 页的词条“误差界限, 14”应为“误差界限, 3, 14”。

译者注: 尊重原著者的意见, 在翻译中已经对上述内容做了相应的修改。

## 中文版序

It was such a pleasure to meet Zhongyu Wang in Washington last Sunday. It is also wonderful to know that the translation of my little book on *An Introduction to Error Analysis* is in the hands of someone who really understands and loves the subject.

I was delighted to learn that my little book on “Error Analysis” (or, more properly, “Uncertainty Analysis”) is to be published in Chinese. And I was so happy to meet with the distinguished translator and to find that he was someone who cares as much as I about the subject and the teaching of it. There are, of course, some differences between the way Americans and the Chinese think about this subtle subject, and I am confident he will handle these tricky points splendidly.

*John R. Taylor*

May 18, 2014

很荣幸上周日在华盛顿见到王中宇。获悉我的这本小册子《误差分析导论》正在被翻译成中文，这太好了。王先生非常了解并且喜欢这个学科。

我的这本“误差分析”（或者确切地说，是“不确定度分析”）小册子将出版中文版，我感到非常高兴。我同样非常高兴遇到了这样一位优秀的翻译者，并且感觉到他跟我一样关注这个学科以及这门课程的教学工作。尽管这一精细学科在美国与中国之间存在着一些差异，但是我相信他能够成功地处理好这些复杂问题。

约翰·R·泰勒

2014年5月18日



## 致我的妻子