

经济与法译丛
SERIES ON ECONOMY AND LAW

计量经济学：

直觉、证明与实践

[美] 杰弗里·扎克斯 (Jeffrey S. Zax) 著
徐大丰 译

**Introductory Econometrics:
Intuition, Proof, and Practice**
一部通俗易懂、饶有趣味的计量经济学教科书



化学工业出版社

经济与法译丛
SERIES ON ECONOMY AND LAW

计量经济学： 直觉、证明与实践

[美] 杰弗里·扎克斯 (Jeffrey S. Zax) 著
徐大丰 译



化学工业出版社

北京

本书对计量经济学模型的经典假设、违背计量经济学经典假设的直观含义进行了深度剖析；运用易懂的数学工具严谨地论证了计量经济学模型估计的基本原理；紧扣读者认知的特点，由简渐难、由浅入深，清晰地展现了计量经济学的发展脉络。通过对案例的分析，向读者展示了计量经济学的运用艺术。本书可作为大学本科计量经济学教材，也可给从事计量经济学研究的高校教师、研究人员、数据与统计分析实务人员作参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

计量经济学：直觉、证明与实践 / (美) 杰弗里·扎克斯 (Jeffrey S. Zax) 著；徐大丰译. —北京：化学工业出版社，2016.12

(经济与法译丛)

书名原文：Introductory Econometrics: Intuition, Proof, and Practice

ISBN 978-7-122-28864-6

I. ①计… II. ①杰…②徐… III. ①计量经济学
IV. ①F224.0

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 006362 号

Introductory Econometrics: Intuition, Proof, and Practice, /by Jeffrey S. Zax
ISBN 978-0-8047-7262-4

Copyright © 2011 by the Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University.
All rights reserved. Authorized translation from the English language edition published by Stanford University Press

本书中文简体字版由 Stanford University Press 授权化学工业出版社独家出版发行。
简体中文版权通过凯林国际文化版权代理引进 (www.ca-link.com)

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分，违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号：01-2014-4041

责任编辑：刘立梅

装帧设计：张 辉

责任校对：边 涛

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：中煤（北京）印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 30 字数 579 千字 2017 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：98.00 元

版权所有 违者必究

作者简介

杰弗里·扎克斯是科罗拉多大学波尔德分校经济学教授。研究领域包括劳动经济学、公共经济学与城市经济学。扎克斯主讲计量经济学课程，两次获得斯坦福考德伍德优秀教学奖。

译者简介

徐大丰，男，汉族，1973年7月生，江苏省淮安市人。上海财经大学经济学博士，现华东政法大学副教授、硕士生导师，华东政法大学商学院经济学专业主任。长期从事数量经济学、人力资本与经济增长、碳排放经济学等领域的学习与研究。主持教育部等各级项目若干。在《经济研究》《数量经济技术经济研究》《上海经济研究》等经济学权威、核心期刊上发表学术论文近20篇。

感谢相信本书能够帮助他们理解得更好的学生们；感谢朱迪、雅可比、托亚，他们的帮助使我对计量经济学的理解每天都在加深；感谢格里利谢斯，他的帮助对读者的理解都有益。

《经济与法译丛》序

几易寒暑，华东政法大学产业经济学学科组的教师们不畏艰辛，学校 085 项目施以援手，化学工业出版社鼎力相助，终于如愿以偿地拿出了一系列较高质量的译著成果：“经济与法译丛”。早在 10 年前，我们就有心出一套“法经济学系列译丛”，展示华东政法大学产业经济学学科特色：经济与法的融合。2014 年，在复旦大学出版社的帮助下，学科组成员共同努力，推出了“法经济学系列译丛”，夙愿得偿。如今，第二套“经济与法系列译丛”又即将付梓，学科组成员欣喜而又忐忑地面对即将降生的成果。

总体而言，这套译丛体现了两个方面的内容：一是经济学相关译著共四种，包括《计量经济学：直觉、证明与实践》《基于 EXCEL 的数据分析建模和模拟》《在全球化组织中领导文化变革》、《伟大品牌的重大错误》等；二是法学相关译著共两种：《金砖国家对外直接投资》《规制与诉讼》。

2001 年，前高盛经济学家吉姆·奥尼尔（Jim O'Neill）首次提出了金砖四国（巴西、俄罗斯、印度和中国）这个概念。长期以来，金砖四国经济增长一直领跑世界，尤其是中国和印度。作为全球经济增长的引擎，其经济增长所带来的巨量过剩资本如何在境外高效投资本身并非易事，加之金砖国家匮乏的国际法律人才，使其境外投资更显得难上加难。目前关涉国际投资的国际法体系尚不完善，如何保护海外投资，使海外投资符合被投资国家的法律，已经成为金砖国家走出去必须面对的第一道门槛。《金砖国家对外直接投资》以此为切入点，重点阐述了金砖国家在国际直接投资领域和世界其他国家与国际组织所签订的双边与多边投资保护条约，提出了构建一个广泛的多边直接投资保护协定设想。该投资保护协定涵盖投资保护条款、例外条款、仲裁机制等诸多方面，它既是金砖国家走出去较好的法律读本，也是国际法，尤其是国际投资法未来改革发展的方向。

在《在全球化组织中领导文化变革》译著中，以全球知名跨国公司如 GT 汽车、通用电气、中国医疗集团、淡水河谷、达美乐、瑞士再保险和普莱银行等为案例，形象直观地阐述文化对企业发展的驱动作用，尤其体现在战略设定和策略选择上。当然，著作也向读者展示了跨国大公司文化变化的困境。读来如身临其境，回味无穷。

计量经济学在我国的发展不过三十多年，教育部将它作为经济学 8 门共同核心课程也才十多年，但计量经济学对于经济学的发展作用毋庸置疑。一旦谈起计量经济学，大多数接触过它的读者都会因其艰深难懂避而远之。即使是我国学术界使用频率较高的伍德里奇的《计量经济学导论》和古扎拉蒂的《计量经济学基础》，它们一样让人望而却步。《计量经济学：直觉、证明与实践》这本书虽然也一样深奥，但是它与一般的计量经济学书籍又

有些不同。它重点阐述计量经济学模型的直观含义，尤其强调以实例为基础，通过实例应用让读者方便掌握计量经济学的基本模型，并由此享受计量经济学所带来的乐趣。

说起 Excel，说不知道的人应该不多了。介绍 Excel 操作的书籍汗牛充栋。但《基于 EXCEL 的数据分析建模和模拟》这本书肯定与你以前见过的 Excel 有关的书籍大为不同。虽然它也是介绍如何运用 Excel 进行数据分析，但是，它是以现实问题为背景，如损益表问题、抵押贷款利率的计算问题，甚至约克河考古预算问题，告诉你如何针对上述问题进行建模、分析，进行实际问题的解决。更难得的是，这本书异常通俗。

品牌是什么？现代营销之父科特勒认为，品牌是销售者向购买者长期提供的一组特定的特点、利益和服务。它是一种能带来价值增值的无形资产。企业的发展离不开品牌。但是，如何树立品牌、经营品牌又是任何一个走向百年企业必须跨过去的槛。《伟大品牌的重大错误》就是一个分析品牌失败的书。从蹩脚的广告到荒谬的品牌延伸，从被误导的促销活动到考虑不周全的社交媒体运作，形形色色的品牌失败案例全方位多角度展现在读者面前。失败是成功之母，读者从此书中将获益良多。

一般来说，市场失灵就需要政府来规制。但政府规制有两种方法：一种是由行政部门来制定具体规定对市场主体进行管理；另一种是由法院通过诉讼来对市场主体进行管理。到底哪个方法更管用，更有效率，《规制与诉讼》这本书汇集了当今一些著名的规制经济学家和法经济学家对规制与诉讼的一些著名观点。

这套书的精彩之笔在此难以一一评说。无疑，华东政法大学产业经济学“经济与法译丛”的面世，将会进一步推动学术界更加关注经济学与法学的融合生长。也将会更加激励产业经济学科同仁们以更开放的胸怀，汲取当今世界经济学与法学的最新前沿成果，鞭策其再接再厉，拿出更具分量的法经济学成果来，为学术界贡献绵薄之力。

是为序。

译者序

计量经济学传入我国是 20 世纪 80 年代的事。虽然时间不长,但是由于其强大的应用性,在我国得到了蓬勃的发展。毫无疑问,无论是决策者,还是经济学研究人员,都应该掌握计量经济学的基本思想与方法,都需要学习系统介绍计量经济学原理与应用的教材。然而,当前图书市场上大多数计量经济学教材往往过于注重理论推导,忽视计量经济学工具的直观解释,忽视经济学思想的挖掘,结果导致大多数计量经济学初学者认为,计量经济学是数学或统计学的翻版。读者往往开始学习计量经济学时,雄心万丈,但是激情、兴趣难以持久,这种状况使计量经济学难以为大众有效服务。

扎克斯教授撰写的《计量经济学:直觉、证明与实践》一书用浅显的数学工具阐述了经典计量经济学,用大量的篇幅对计量经济学的基本思想、基本结果进行了直观的解释,用读者感兴趣的例子来说明在实践中如何正确地使用和解释计量经济学技术,使初学者能保持学习计量经济学的热情。对中国读者来说,本书中有些内容,特别是介绍数学工具的内容过于啰嗦,有数学基础的读者可以忽略此部分内容;另外,此书原作者以谈话的方式进行叙述也可能使中国大陆读者产生些许厌烦情绪。然而瑕不掩瑜,相信读者的耐心终将获得丰厚的回报。

本书第 2~7 章介绍的是数学与统计学的基本知识,分别由华东政法大学经济学硕士生王爱真、施艳艳初译,由译者修译;其他各章的翻译均由译者独立完成。朱平芳承担了本书的校对工作。本书可作为大学本科计量经济学教材,也可供需要计量经济学知识的研究人员参考。

本书的翻译得到了华东政法大学产业经济学重点学科、上海社会科学院创新工程数量经济学学科团队建设项目的支持。非常感谢化学工业出版社的刘立梅编辑,她的细致、耐心使本书的翻译增色颇多。当然,囿于时间与学识,翻译中难免有不妥之处,敬请读者及同行指正。

译者

2016 年 10 月

序 言

1 本书的基本任务

本书的目的是向那些第一次接触计量经济学的学生以及自己无法有效准备的学生讲授计量经济学的基础知识。本书是教材，不是参考书。普通的学生第一次学习计量经济学的方式应该与那些已经学有所成的学生回顾计量经济学的方式有所不同。本书努力以计量经济学的入门者们可以适应的方式开始计量经济学的学习，激发他们的兴趣，增强他们的技术能力，培养他们的直觉。

为了实现这些目的，本书的首要任务是教授如何避免计量经济学的误用而产生的危害。只需从常见的教材中掌握一些词汇，只需使用标准的计算机软件，一个人无须做太多的准备就可以做回归分析了。然而，从笨拙的学生的研究到差劲的公共政策的研究，到处可见缺乏精度、缺乏重点、缺乏理解的计量经济学成果。我们认为，向这些计量经济学的使用者讲解计量经济学技术所需要的条件以及计量经济技术的威力，这样可以源头上防止上述成果的出现。

学习本课程的许多学生在他们的职业生涯中会有很多机会使用回归模型。但很少有人再学习计量经济学课程。对大多数人而言，本课程是他们一生学习计量经济学的唯一机会。所以，学生与教师都要做到最好，这是学习本课程的关键。不应该草率地应用计量经济学工具，本课程的设计会让学生在学完本课程后认识到这一点。

本书的另一个任务是让学生形成合适的知识结构。除了认识到计量经济学的重要性外，我们希望学生理解并负责任地使用本书中学到的技术。我们更希望学生认识到从本书中学到的技术还可能面临的挑战。我们最希望学生通过各种方式探究计量经济学的重要性时，能够做好充分的准备，保持充分的敬畏，保持充分的激情。

2 本书的改进之处

为了完成上述任务，本书做了五个选择，这些选择与其他计量经济学教科书的选择不同。

- (1) 本书强调计量经济学的深度，而不强调广度；
- (2) 本书始终坚持激发读者的好奇心，以此推动课程的进展；

(3) 本书在讲完两变量模型以后，立即讨论违背经典假设的情况，此处可以用常见的代数知识进行富有洞察力的处理；

(4) 本书的语气尽可能是会话式的，我们希望能从形式上鼓励学生学习。为了消除困惑，在需要的地方，我们尽可能做到精确；

(5) 本书按照学生的学习特点进行编排。

本书只介绍那些准备充分的主题，以及希望学生深入学习的主题。在对内容作正式阐述之前，对这些主题都进行广泛的直观讨论，目的是启发学生。一般情况下，对内容的正式阐述都是完整的，必需的步骤都很清楚。每章结束后的习题给学生自己练习的机会，通过习题进行推导，通过习题进行解释。所以，本书的篇幅要比其他同类书籍长。我们希望通过较长的篇幅得到较好的效果，让教师的备课量更少，考查结果更令人满意。

为了避免给学生们造成对计量经济学高级内容的一知半解，以至觉得这些内容不值得相信的印象，本书不介绍高级计量经济学。本书只用一章介绍非经典回归模型的常见内容，该章介绍被解释变量受限时回归模型的情况，这种情况没有受过训练的学生在运用计量经济学时极可能碰到。

一般情况下，除第 15 章外，本书的内容一个学期应该可以完成。学生经过一学期的完整学习，再选择内容更多、更复杂的课程就有了充分的准备。

介绍推动计量经济学发展的动因是本书的另一个改进之处。本书会充分揭示结果的奇妙之处，并以此展开话题的讨论，而不是从原理的推导开始。教育与收入的关系问题是贯穿全书的实证研究对象，大多数读者至少对此会感兴趣。

本书正式的内容从第 3 章开始。在此章，学生会碰到教育与收入这两个变量的数据，他们会问一个简单的问题：“这两变量之间的关系是什么呢？”对此问题的回答是：我们用协方差与相关系数来反映二者之间的关系。然而，这一初级回答会自然地引发另一个问题：协方差表示的是什么？相关系数又能表示什么？答案是：协方差反映两个变量的联系方向，不反映它们之间的强度；相关系数表示两个变量之间的关系强度，但是不能反映两者之间影响的大小。要想知道两个变量之间影响的大小，需要用第 4 章介绍的直线进行拟合。第 5 章介绍从样本得到的结论要进行推广的原因，我们提出总体的概念。

本书与常见教材的编排是不同的。一般的教材都是从总体回归开始的。这一做法在方法论上是有吸引力的。但是从教学法上来看，吸引力很小。首次接触计量经济学的学生并不关心其在方法论上的严谨性。更糟糕的是，许多首次接触计量经济学的学生真的连总体的概念都不知道（这一概念太抽象了）。如果从总体的概念开始讲，那么学生一开始就会感到很困惑，这种困惑许多学生并不能成功地消除。

因为这个原因，本书并不用条件期望引出当代回归分析方法。只有那些统计学基础相当完备的学生才能对用条件期望引出计量经济学的内容有深刻的见解。许多研究生搞懂第 2 章的求和运算都需要花很大的力气，他们真的不理解期望，而理解条件期望的人更是少之又少。任何方法，只要一开始就以总体为基础，我们都别指望那些学生能领会。

相比之下，样本是一个更容易接受的概念，样本的概念很具体。本书的好多地方，

都出现样本字样。如何处理样本的问题会激起学生对样本背后总体回归关系的好奇，这可以为学生在第5章学习总体的概念做铺垫，也可交代研究总体的动机。

本书后面的几章都用这种方式介绍。每一章的开始都提出前一章结论中的问题。每一章对这些问题的回答都使得计量经济学更复杂。本书希望这样的编排能引导读者，使他们对各部分内容都迫不及待。

第三个改进之处是在介绍了单解释变量之后，立即介绍统计推断、异方差、序列相关以及内生性问题，这些问题的讨论分别安排在第6章到第10章。在统计推断的讨论中，读者可能见到以前在单解释变量回归模型情形下的基本结果。他们以前可能只知道有这些结果，但对这些结果的理解不够深入。双变量回归是读者回顾这些结果的最方便、最容易接受的载体。此外，双变量回归是理解大多数结果所必需的内容。

异方差、序列相关、内生性问题考察的都是违背关于随机扰动项假设的情况。诊断与处理方法并不随解释变量个数的变化而发生根本性变化。如果模型只有一个解释变量，那么公式通常都很直观。

本书的这种编排方式减轻了介绍多解释变量模型时的负担。因而在多解释变量模型中，我们无须对这些问题再进行阐述。于是，第11章集中讨论多解释变量模型中的新问题：遗漏解释变量的影响、包含无关解释变量的影响、解释变量之间有相关性的后果以及对联合假设的统计学检验。

此外，与那些只安排一学期而非一学年的课程以及进度缓慢的课程相比，本书的这种编排可以做到在更短的课时内再介绍其他假设。如果学生们在这样的课程中省略一些基本内容的话，那么他们就能更好地理解回归中的问题，而不是仅对斜率估计的基本结果进行拓展。

与第二个改进一样，这一改进也是通过与通常教材的编排顺序不同完成的。通常情况下，这些讨论是在多元回归模型之后进行的。然而，我们认为增加解释变量除了新增记号外，没有增加新的内容。从记号开始介绍的课程编排，读者一向都很惧怕。常见的编排不会取得预期的效果。

第四个改进之处是，本书尽可能采用谈话的方式介绍内容。虽然只有熟悉正规的推导过程后，人们才会承认并尊重统计分析的作用，但是正规的讨论会使学生产生这样的偏见：本课程的内容与他们的感觉不相容，这种偏见使推导法的目的难以实现。

关键的问题是：学生们几乎总是依赖于直觉，他们通常有一些洞察力，偶尔还保持了一些好奇之心。他们学习的实际目的是发展他们的直觉能力。他们的学习方式与重复练习举重锻炼肌肉的方式相同。本书对公式之间的关系的强调多于公式的推导，希望达到培养学生直觉的目的。

同时，本书对正式的术语也一丝不苟，已经定义好的概念、名词全书都保持一致。本书对总体与样本的概念进行了严格的区分。

严谨性是本书的一个特色。“均值”一词的用法通常含糊不清。作为一个名词，样本平均值、总体期望与这一术语是同义词。不过，对从来都没分清什么是样本、什么是

总体的读者而言,这种含糊不清的说法有可能导致严重的后果。本书中的“均值”一词仅用作动词^①。

对方差、标准差、协方差与相关系数的讨论,读者也会感到含糊不清。通常情况下,在讨论样本的有关问题时,人们使用这些名词;而在讨论总体的有关问题时,人们还是使用这些名词。本书对样本与总体中的这些名词进行了区分。第3章描述了样本方差、样本标准差、样本协方差与样本相关系数的性质。在第5章区分了样本统计量与总体参数之后,表示方差、标准差与相关系数的通用希腊符号才出现。

最后一个改进之处是,本书是按学生的理解规律进行编排的。每章的第一节以“本章精要”为标题,告诉学生学完本章应该达到的目标。每一章都围绕这个目标展开,使学生能够达到每章的要求。一旦学生掌握了“本章精要”,编了号的方程、表格与图形就是对所学内容的很好总结,这会方便学生的复习。网址: www.sup.org/econometrics 有独立成册的电子读物介绍这些内容,这一网址也给出了每章后面习题的解答,不过需要密码才能进入。教师可以酌情将这些解答给学生,目的是使学生能够自己对这些内容进行深入研究。

3 本书中的数学

许多学生可能会将计量经济学完全当成数学。本书照顾那些数学水平一般的同学,尽可能避免一切不必要的数学工具。然而,即使对准备最不充分的学生而言,推导也是不能忽略的,证明是知其所以然的过程。为了在计量经济学导论获得很好的教学效果,学生们得接受推导的过程与目的。对回归性质的某种尊重也是负责任地应用计量经济学的先决条件。

本书只要求学生具备发展经典线性回归模型所需要的一般技能,用普通的代数语言来说明异方差、序列相关与内生性问题。事实上,所有的数学运算完全由加、减、乘、除构成,没有用到线性代数的内容。本书的唯一复杂之处在于,本书要求和符号的运用技巧。第2章全面回顾求和运算。

总之,本书中的每步推导都是很简单的。本书尽可能对所有步骤都进行解释。解释的详尽程度与学生询问书中内容时教师对他们所讲的话相当。在教师进行解释后,一般情况下,推导应该就可以自己处理了。这些推导也是学生强化新内容的机会。这个特点在第11章特别明显。在第11章,用一般的代数运算就可以揭示出矩阵方法中所蕴藏的信息。

第11章到第14章用代数的方法介绍了三变量模型。学生学到这部分内容时,他们已经可以处理比较复杂的情况了。代数的处理方法有两个好处:第一个好处是学生不需要先修习矩阵知识,教师也不需要花时间教,至少不需要花时间复习这些内容;第二个好处是代数常可以揭示矩阵形式不能揭示或用矩阵形式难以阐述清楚的直观含义。

同样,本书包含的微积分内容很少。只用到5次求导数。在第4章双解释变量模型

^① 意即取均值,译者注。

中，对残差平方和最小化的过程中用到了两次导数；在第 11 章完成相同的任务的过程中用到了 3 次求导数。本书详细介绍了 5 次求导数的过程，无须学生们自己去求。所有其他求导的过程可要求学生求，也可以不要求学生求，这些求导出现在第 4、7、15 章的附录中，也出现在一些习题中。

总之，本书用学生们最熟悉的语言给出所有必要的推导、证明过程与结果，消除了学生们的恐惧。使用本书的学生们会一致认为，他们对待证明的态度将改观，让学生们保持兴趣，从学习中持续获得好处的重要性将超过他们以后所做的任何回归。

4 本书中的统计学

本书假设学生没有学过或者一点也不记得统计学入门知识。本书不重新阐述必要的概念，只是对这些内容进行回顾。

与其他教材不同，本书安排具体的章节对统计学知识进行回顾。常见的处理方法表明统计学与计量经济学之间存在的明显的区别，这种处理方法强化了一般学生的怀疑，甚至是他们的希望：忽略统计学的代价是可以接受的。

恰恰相反，对统计学的回顾与本书追求好奇心驱使的主旋律是一致的。只要需要统计学，教材就会给出统计的结果。例如，为了解决如何解释收入与教育之间的关系问题，用第 3 章的第一个法则就推导出了样本协方差与样本相关系数。教材在第 5.3 节介绍随机扰动项时，就定义了期望与总体方差。

在第 5.4 节首次出现与和的期望有关的结果，这些结果对推导被解释变量的期望而言是必需的。只有推导斜率的普通最小二乘估计的方差时，我们才需要介绍和的方差的运算。所以，直到第 5.8 节，才出现与方差运算有关的公式。

同样，在讨论回归估计的统计推断之前，我们才回顾置信区间与假设检验。回顾的范围很广，这么做的原因既是因为推断对回归结果进行负责任地解释而言是必需的，也是因为学生学习计量经济学又碰到统计学的内容可能会有不适。所以，在第 6 章单独介绍这方面的内容；在双变量回归中，这些统计学内容的应用见第 7 章。

5 序言结语

本书尽可能在教师、学生的热情与能力之间取得新的平衡。教师的热情与能力一般情况下都比学生多。本书追求热情与能力之间的平衡。本书努力萃取教师的知识精华，以让学生可接受，甚至以对学生有吸引力的形式进行编排。在任何必要的时候，本书都坚持严谨性；只要有可能进行直观的讲解，本书都强调直觉的作用，并坚持寓教于乐。

本书的写作是受三个信念驱动的。第一个信念是，学生对那些只有计量经济学才能回答的问题是有兴趣的，也许他们自己并不知道；第二个信念是，通过对这些问题的回答，学生们将理解、领会，甚至享受计量经济学的成果；第三个信念是，本书的改进与本书内容的实践将激发人们的兴趣，鼓励负责任的、有洞察力的计量经济学运用。让我们带着这些信念前行！

目 录

1

回归概述

1

1.0 本章精要	1
1.1 需要回归的原因	2
1.2 教育与收入	3
1.3 回归结果的展示	4
1.4 何处开始讨论?	5
1.5 何处得解释?	6
1.6 在解释中寻求什么?	7
1.7 如何解释回归结果	10
1.8 如何评价解释	14
1.9 R^2 与 F 统计量	15
1.10 做法的合理性	17
1.11 回归的其他表示形式	21
1.12 本书导读	23
1.13 本章结语	24
本章习题	24

2

数学工具

28

2.0 本章精要	28
2.1 本课程是一门变相的数学课吗?	29
2.2 求和的乐趣	30
2.3 常量求和	32
2.4 平均数	33
2.5 求和的加法运算	34
2.6 算术求和的乐趣	37

2.7 乘积求和	39
2.8 提醒：及时复习	40
本章习题	41

3 43

协方差和相关系数

3.0 本章精要	43
3.1 本章引言	43
3.2 样本协方差	44
3.3 理解样本协方差	49
3.4 样本相关系数	52
3.5 关于数位的说明	58
3.6 其他例子	59
3.7 本章结语	62
本章附录	62
本章习题	65

4 67

线性拟合

4.0 本章精要	67
4.1 本章引言	68
4.2 哪一条直线拟合得最好?	69
4.3 残差平方和最小化	72
4.4 计算截距项和斜率	78
4.5 再论斜率和截距项的意义	80
4.6 R^2 和拟合优度	83
4.7 回归运算	87
4.8 其他例子	90
4.9 本章结语	92
本章附录	92
本章习题	95

5 100

从样本到总体

5.0 本章精要	100
5.1 本章引言	101
5.2 总体关系	102

5.3	ε_i 的统计特性	104
5.4	y_i 的统计特性	110
5.5	参数与估计	111
5.6	β 与 α 的无偏估计	112
5.7	再次解释	117
5.8	a 、 b 的总体方差	123
5.9	高斯-马尔可夫 (Gauss- Markov) 定理	126
5.10	一致性	130
5.11	本章结语	134
	本章习题	135

6

置信区间和假设检验

139

6.0	本章精要	139
6.1	本章导言	140
6.2	置信区间和假设检验的基础	141
6.3	置信区间	144
6.4	假设检验	147
6.5	置信区间与假设检验之间的关系	164
	本章习题	165

7

普通最小二乘估计的统计推断

168

7.0	本章精要	168
7.1	b 和 a 的分布	169
7.2	σ^2 的估计	170
7.3	b 的置信区间	174
7.4	β 的假设检验	183
7.5	y_i 的再预测	191
7.6	教育回报的含义	196
7.7	再举一例	197
7.8	本章结语	200
	本章附录	201
	本章习题	202

8

随机扰动项期望不等于 0 与异方差

206

8.0	本章精要	206
8.1	本章导言	207
8.2	随机扰动项 ϵ_i 的期望等于非 0 常数	208
8.3	随机扰动项的期望不相等	210
8.4	异方差	212
8.5	异方差的后果	212
8.6	σ_i^2 、 ϵ_i^2 、 e_i^2 与怀特检验	215
8.7	估计标准差	219
8.8	获得最佳线性无偏估计	220
8.9	随机扰动项有两个方差	223
8.10	其他形式的异方差	230
8.11	本章结语	231
	本章习题	232

9

235

自相关

9.0	本章精要	235
9.1	本章导言	236
9.2	自相关	236
9.3	自相关的后果	238
9.4	存在自相关时，普通最小二乘估计方差的估计	241
9.5	自相关、随机扰动与冲击	244
9.6	一阶自相关与广义最小二乘估计	249
9.7	一阶自相关的检验	253
9.8	存在一阶自相关时的二步估计法	255
9.9	其他类型的自相关	257
9.10	本章结语	258
	本章习题	259

10

262

随机扰动项与解释变量相关

10.0	本章精要	262
10.1	本章导言	263
10.2	发生内生性问题的原因	264
10.3	模型有内生性的后果	267
10.4	解决内生性问题	272
10.5	二阶段最小二乘估计与工具变量	274