

心理与教育

Quantitative Research in Education:
Intermediate & Advanced Methods

中高级研究方法与数据分析

从研究设计到SPSS

【美】Dimitar M. Dimitrov 著 / 王爱民 韩瀚 张若舟 等译



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

Quantitative Research in Education:
Intermediate & Advanced Methods

心理与教育 中高级研究方法与分析

从研究设计到SPSS

【美】Dimitar M. Dimitrov 著

王爱民 韩瀚 张若舟 等译



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

心理与教育中高级研究方法与数据分析: 从研究设计到SPSS / (美) 迪米特洛夫 (Dimitrov, D. M.) 著, 王爱民等译. —北京: 中国轻工业出版社, 2015.7

ISBN 978-7-5184-0057-7

I. ①心… II. ①迪… ②王… III. ①教育统计—统计分析—应用软件—教材②心理统计—统计分析—应用软件—教材 IV. ①G40-051②B841.2-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第267638号

版权声明

Copyright © 2009, 2010 Dimitar Dimitrov

All Rights Reserved.

总策划: 石 铁

策划编辑: 孙蔚雯

责任编辑: 孙蔚雯

责任终审: 杜文勇

责任监印: 刘志颖

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街6号, 邮编: 100740)

印刷: 三河市鑫金马印装有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2015年7月第1版第1次印刷

开本: 850×1092 1/16 印张: 24.00

字数: 310千字

书号: ISBN 978-7-5184-0057-7 定价: 60.00元

著作权合同登记 图字: 01-2012-8598

读者服务部邮购热线电话: 400-698-1619 010-65125990 传真: 010-65262933

发行电话: 010-65128898 传真: 010-85113293

网 址: <http://www.wqedu.com>

电子信箱: wanqianedu1998@aliyun.com

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部 (邮购) 联系调换

121182Y2X101ZYW

译者序

本书的作者 **Dimitre M. Dimitrov** 教授是乔治亚梅森大学教育与人类发展学院教育测量与统计系的教授。他分别于 1984 年和 1995 年获得了数学教育专业及教育心理学专业的博士学位。**Dimitrov** 教授长期从事教育学、心理学相关的定量统计学研究，在测量的信度与效度、认知诊断模型的心理学应用、等级线性模型与潜在特质模型的教育学应用等领域具有独到的见解。在近 20 年的执教生涯中，他主要教授研究生阶段的一系列定量统计研究课程，内容涵盖了从统计研究方法论、测量工具制作与评估，到多元统计分析等各个层面。

基于统计学的定量研究分析方法可以对研究问题提供量化、严谨、深入的分析。在研究实践中，许多研究者往往由于定量方法涉及过于“高深”的统计学及数学知识而望而却步。正如本书作者在序言中所阐述的，过于“概念化”和过于“统计化、数学化”的教材不利于读者系统、迅速地掌握定量统计研究的方法。如何抛开复杂的统计表述，从概念和方法论的角度理解定量统计分析方法；进而针对研究问题的特

性选择恰当的统计分析工具、完成基于 **SPSS** 的统计分析操作、解读并结合实际汇报结果，是本书所关注的重点。**Dimitrov** 教授以深入浅出的方式，系统地展示了如何“绕过”复杂的统计解析，在统计软件的帮助下直接针对研究问题进行直观而严谨的分析。在本书中，**Dimitrov** 教授以清晰的逻辑、简明的文字对读者最关注的核心问题进行了解答：应该在什么情况下应用何种统计分析？如何进行分析？如何解读统计分析结果？如何将研究结果报告得更专业、更准确？从这个意义上讲，本书具有系统全面、简单实用的特点。既可用于初窥定量统计门径的学生的系统学习教材，也可作为相关领域研究者的备查参考书。

Dimitrov 教授是我的朋友，我曾邀请他到迈阿密大学对我的研究生进行过短期培训。在选择教授统计学课程的教材时，我发现 **Dimitrov** 教授的教材撰写方式与我的教学方式有很高的一致性。这使得我选择了这本教材，并组织学习这门课的中国学生在学习的同时，对之进行翻译，以便使更多的中文读者受益。

参与本书翻译工作的学生有张若舟、韩瀚、齐雯、伊桑、肖雨桐、金苏、施雅丽、李晴、汤晓雪、岳圆嫫、凌盼、彭念娇、张婉、任贞、丛聪、董昕、李雨霞、张婧华、赵玉晗等同学。其中张若舟、韩瀚、齐雯等同学除了完成自己负责的章节翻译外，还为全书的格式与语言表达进行

了统校。在翻译过程中，我们字斟句酌，精益求精。如有疏漏之处，恳请读者批评指正。

王爱民

美国迈阿密大学教授

于美国俄亥俄州牛津市

序 言

本书对教育学及其相关领域中的定量研究设计及统计方法进行了全方位的展示。本书内容主要适用于在研究生阶段学习中、高级定量研究课程的学生，同时也适用于教育、咨询、康复治疗、心理学、社会学、社会服务（社工）及人类发展学等相关领域的研究者。

本书的主要目的是帮助读者从概念和方法论的层面深入理解中高级定量研究的方法，同时掌握基于 SPSS 的统计分析操作，并能对数据结果进行解读。为达到这一目的，读者需要理解特定研究背景下研究的概念、方法、统计转换过程、方法论遵循的原则、基于计算机的数据分析、APA 格式的结果展示以及结合研究背景的结果解读。对于那些对理解统计概念的解析表达式感到吃力的读者；本书通过强调对概念的理解来帮助他们掌握那些在完成学术论文与专业研究中所必须的研究工具。

在已出版的关于教育学与社会学领域研究设计及统计方法的教科书中，大部分的中、高级教材不是过于晦涩（术语化、数学化）就是过于精简。而在以“应用操作”为侧重点的教科书中，涉及 SPSS 的操作过程、数据语法、输出表格占据了内容的绝大部分篇幅，却牺牲了理论及方法论上的严谨性。为了填补现有教科书的不足，本

书以循序渐进的方式，在平衡理论意义及统计转化的基础上，兼顾读者对于定量概念的理解和统计方法的应用。例如，“比较所研究的变量在不同组间的差异”这一问题，将依次在应用单样本 t 检验、非参数检验、方差分析、多元方差分析及结构方程模型的案例中进行讨论。又如，有关“效度”的概念，将在测量、研究设计、结构方程模型的框架下进行讨论。同时，本书着重对涉及违反统计假设、效果量、置信区间、样本量及常见的错误概念（如，应使用“多元方差分析还是多个独立的方差分析”）进行了探讨。本书分为四部分，总计二十四章。每章的结尾都为读者提供了相关知识点的总结及习题。

第一部分：心理学与教育学中的测量。本部分包含三章。第 1 章介绍了教育学背景下的变量及测量的尺度。重点探讨了教育学背景下测量的性质、变量的类型、测量尺度的类型及转换、不同尺度所允许的代数运算、运算符及基本的运算律。第 2 章介绍了有关测量分数信度的经典模型、信度的类型以及复合分数的信度。第 3 章重点处理有关测量工具的效度（例如：测试、问卷和测量表）及效度的类型（内容效度、效标效度及构念效度）的相关概念。

第二部分：研究方法。本部分包含两章。第

4 章处理关于研究问题、研究假设、定量研究类型（非实验性研究、实验性研究）及影响内部效度、外部效度的因素等相关的问题。第 5 章介绍了包含定量数据分析方法的前实验设计、真实验设计。重点讨论了蕴含于此类心理学、教育学研究设计中的概念及方法论原则。

第三部分：单变量数据分析。本部分包括十四个章节。前五章（第 6、7、8、9 和 10 章）涵盖了基础统计操作并为进一步理解、应用心理学、教育学中的中级统计提供了平台。接下来的六章（第 11 至第 16 章）介绍了中级统计操作：相关分析、回归分析以及包含非参数方法的方差分析。最后的三个章节（第 17、18 和 19 章）介绍了更高级的统计方法：多元回归、方差分析，以及二者之间的关系。

第四部分：多变量数据分析。本部分包括五个章节。内容包含逻辑回归、多元方差分析、探索性因素分析、验证性因素分析和结构方程模型的一些元素。这些统计方法的分析框架被简化，注重对概念的理解、计算机的应用及在心理与教

育研究背景下的结果解读三个方面。

补充

本书中应用于 SPSS 运算的案例所使用的数据可以通过本书的在线补充链接进行下载（<http://cehd.gmu.edu/book/dimitrov>）。这个网址同时提供了：①每章习题的答案；②书中涉及的一些话题的附录；③部分统计操作的数据语法：验证性因素分析、路径分析和主流统计软件（LISREL、AMOS、EQS 和 Mplus）框架中潜在变量的组间比较；④与本书内容相关的其他参考文献（书籍、文章及网上的资料）。

鸣谢

感谢我的研究助手 Jill Lammert 在本书的创作过程中提供的宝贵的编辑意见和写作建议。我还要感谢来自不同大学的同事们对本书的建议和鼓励。同时还要感谢在我的定量研究课上使用过各章节初稿的乔治梅森大学的研究生们。

Dimitar M. Dimitrov

目 录

第一部分 心理学与教育学中的测量

第 1 章 变量及测量的尺度	2
1.1 心理与教育研究中的变量	2
1.2 测量尺度	4
1.3 变量求和的符号和规则	8
1.4 总结	10
1.5 习题	11
第 2 章 信度	14
2.1 什么是信度?	14
2.2 信度的经典概念	15
2.3 信度的分类	16
2.4 复合分数的信度	20
2.5 SPSS 的信度估计	22
2.6 总结	24
2.7 习题	25
第 3 章 效度	27
3.1 效度	27
3.2 构念效度的种类	28
3.3 总结	32
3.4 习题	33

第二部分 研究方法

第 4 章 定量研究	36
4.1 研究问题和假设	36
4.2 定量研究的种类	37
4.3 总结	45
4.4 习题	46
第 5 章 基础研究设计	48
5.1 前实验设计	48
5.2 真实验设计	49
5.3 准实验设计	51
5.4 总结	54
5.5 习题	55

第三部分 单变量数据分析

第 6 章 统计学基础	58
6.1 数据的组织和图表绘制	58
6.2 分布描述	62
6.3 总结	68
6.4 习题	69

第7章 基本分布	70	12.2 对相关样本的威尔科克森 配对符号秩检验	137
7.1 正态分布	70	12.3 卡方拟合优度检验	139
7.2 学生 t 分布	75	12.4 关联性卡方检验	142
7.3 F 分布	76	12.5 总结	145
7.4 卡方分布	77	12.6 习题	147
7.5 总结	77	第13章 多元回归	149
7.6 习题	78	13.1 多元回归的概念	149
第8章 假设检验	79	13.2 全回归模型和限定回归 模型的比较	154
8.1 什么是假设检验?	79	13.3 多元共线性	156
8.2 何时拒绝(或接受)虚无 假设?	80	13.4 交叉验证	159
8.3 平均值的检验假设	81	13.5 统计效能、效果量和样本量	160
8.4 总结	92	13.6 异常值与有影响的数据点	160
8.5 习题	93	13.7 存在分类预测因素的多元 回归	163
第9章 比率的假设检验	95	13.8 多元回归中预测因素间的 交互作用	166
9.1 单样本比率检验	95	13.9 多元回归中预测因素的筛选	170
9.2 独立样本比率检验 $H_0: P_1 = P_2$	99	13.10 多元回归结果的 APA 格式图表	171
9.3 相关样本比率检验 $H_0: P_1 = P_2$	102	13.11 总结	172
9.4 总结	106	13.12 习题	175
9.5 习题	107	第14章 单因素方差分析	177
第10章 相关性和简单线性回归	109	14.1 单因素方差分析的概念	178
10.1 两个变量之间的相关	109	14.2 方差分析的假设	179
10.2 简单线性回归	115	14.3 方差分析的效应	179
10.3 总结	123	14.4 组内方差和组间方差	180
10.4 习题	124	14.5 单因素方差分析的线性模型	182
第11章 偏相关和部分相关	127	14.6 检验方差分析的虚无假设	182
11.1 偏相关	127	14.7 多重比较	183
11.2 部分相关	131	14.8 效果量	187
11.3 总结	132		
11.4 习题	133		
第12章 非参数检验	134		
12.1 曼-惠特尼 U 检验	134		

14.9	样本量的确定	190
14.10	违反方差分析假设的结果	192
14.11	单因素方差分析的 SPSS 结果解释	193
14.12	总结	195
14.13	习题	196
第 15 章	两个和三个因素的方差分析	198
15.1	双因素方差分析	198
15.2	三因素方差分析	211
15.3	总结	215
15.4	习题	218
第 16 章	协方差分析	219
16.1	协方差分析背后的逻辑	219
16.2	进行协方差分析及对其结果的解释	222
16.3	进步分数上协方差分析与方差分析的对比	228
16.4	总结	229
16.5	习题	230
第 17 章	多元回归和方差分析	232
17.1	基于多元回归思想的单因素方差分析	232
17.2	双因素方差分析的多元回归	237
17.3	总结	242
17.4	习题	242
第 18 章	随机因素的方差分析	244
18.1	单随机因素的方差分析	244
18.2	两因素混合效应的方差分析模型	247
18.3	总结	253

18.4	习题	254
第 19 章	重复测量的方差分析	256
19.1	简单的重复测量方差分析	256
19.2	组间因素的重复测量方差分析	264
19.3	用前后测数据进行重复测量方差分析	268
19.4	总结	270
19.5	习题	270

第四部分 多变量数据分析

第 20 章	逻辑回归	274
20.1	逻辑回归的概念	274
20.2	逻辑回归结果的检验和解释	278
20.3	类别预测因素的编码	283
20.4	使用 SPSS 进行二元逻辑回归	284
20.5	全模型与限定模型的比较	287
20.6	逻辑回归中预测因素的选择	288
20.7	逻辑回归的假设	288
20.8	总结	289
20.9	练习	290
第 21 章	多元方差分析	292
21.1	多元方差分析的概念	292
21.2	多元方差分析与多个单独的方差分析的区别	292
21.3	何时使用多个独立的方差分析?	293
21.4	何时使用多元方差分析?	294

21.5 多元方差分析的假设	294	22.8 总结	317
21.6 多元方差分析与判别分析	295	22.9 习题	318
21.7 多元方差分析与按计划 比较	299	第 23 章 验证性因素分析	321
21.8 多元方差分析的样本量	303	23.1 探索性因素分析模型和 验证性因素分析模型之间的 差别	321
21.9 总结	304	23.2 验证性因素分析的基本 步骤	323
21.10 习题	305	23.3 总结	329
第 22 章 探索性因素分析	306	23.4 习题	330
22.1 相关变量和潜在因素	306	第 24 章 结构方程模型的基本元素	333
22.2 探索性因素分析的基本 概念	307	24.1 路径分析	333
22.3 公因素方差及特征值	308	24.2 结构方程模型的元素	342
22.4 提取因素的主因素法	309	24.3 总结	351
22.5 因素的旋转	310	24.4 习题	353
22.6 确定因素数量	311	参考文献	355
22.7 使用 SPSS 进行探索性因素 分析	313	附录	362

心理学与教育学中的测量

第一部分

心理学与教育学中的测量

第 1 章 变量及测量的尺度

与普遍看法不同，科学不只是发现新的事实，并把它们纳入知识体系中。科学的基本目标是对自然现象的一般理论提供解释。建立、修改和扩展理论过程的重要步骤，包括解释、理解、预测和控制。正如 Kerlinger (1986, p.9) 所提到的，这是由理论的定义和性质决定的：

理论是一系列相互关联的构念（概念）、定义和命题，通过确定这些变量之间的关系，呈现对某现象的系统观点，以解释和预测这一现象。

研究者可能希望通过诸如性别、社会经济地位、考试焦虑、自尊、动机、语言能力以及数学能力等一系列变量来“解释”（或“预测”）一个学生的学习成绩。在“解释”的过程中，研究者应当遵循一定的科学方法：对于影响学生成绩的“预测因素”的选择，应在关于“如何在学校获得成功”（在校成功）的理论模型指导下进行。想要更好地通过上述因素对学习成绩进行“预测”，研究者则需要使用两个（或更多）相互“竞争”的在校成功理论模型来检验假定的预测关系。为了能够从假设检验中得到有效的解释和结论，收集假设关系中所涉及变量的准确测量指标（数

据）是一个重要的前提条件。因此，研究者必须清楚地了解所要研究的变量的性质以及所用测量工具（量表）的特性。

1.1 心理与教育研究中的变量

一般情况下，变量是一个人（或对象）的任意一个特点，这个特点会因不同的人或不同的时间点而改变。例如，体重是一个变量，不同的人有不同的值，虽然有些人的体重可能是相同的。体重在不同的时间点也可以取不同的值，例如，当对一个人进行重复测量时（在为期一年的减肥治疗中，每月监控减肥效果）。通常，我们用斜体的大写字母 X 、 Y 和 Z 来表示变量。如果一项研究涉及很多的变量，我们可以使用有下角标的大写字母表示不同的变量。例如，在教育研究中，用大学新生的高中平均绩点（GPA）、学习能力倾向测验（SAT）的成绩和所修大学预修（AP）课程的数量来预测新生在大学的成功。我们可以用 Y 来表示被预测的变量（ Y = 在大学的成功），用带下角标的 X 来表示作为预测源的变量， X_1 = 高中平均绩点， X_2 = SAT 成绩， X_3 = 所修大学预修课程的数量。

变量也可以根据其性质、不同的特点、测量

的量表进行描述（或分类），例如，可观测变量与不可观测（隐藏、潜伏）变量或连续与离散变量，下文将对这些进行讨论。我们也可以使用斜体小写字母（如，*a*、*b*、*c*、*d*或其他字母）来表示**常数**（constants），即在整个分析中保持不变的数字。

1.1.1 可观测变量与潜在变量

能被直接测量的变量在行为学研究中被称为**可观测变量**（observable variables）。例如，在上面提到的教育研究中，学生的性别、种族、年龄、体重、身高、年级、社会经济地位、大学预修课程的数量和高中平均绩点均为可观测变量。另一方面，如智力、对学习的态度、动机、焦虑、语言能力和数学能力等不能被直接观测的变量被称为**潜在**（不可观测的或隐藏的）**变量**或**构念**。通常情况下，我们会给构念下一个可操作定义，以确定用哪些可观测变量作为该构念的测量指标。例如，焦虑的测量指标包括一个人对于焦虑测验题目的回答、心跳和皮肤电反应，或他对于实验的反应，在后文中，潜在变量和构念是等价的概念。

值得注意的是，构念的操作定义应该基于一个特定的理论。因此，构念的测量指标的正确性取决于这个理论的正确程度。例如：一个关于创造力的理论假设，对于一个给定的问题，能提供不同的方法来解决这个问题的人更有创造力，那么解决单个问题（或任务）方法的数量，就可以被当作创造力的指标。然而，如果这个理论被证明是错误的，那么一个人在这个指标上的分数就不是对创造力的有效评估。我们会在第3章和第23章进一步学习关于构念的验证和测量。

1.1.2 连续变量与离散变量

在研究性学习中，我们还须厘清所涉及的变量是连续变量还是离散变量。**连续变量**可以在特定的数字区间中取任何可能值。例如，在一个中学生群体中，学生的身高是一个连续变量，因为它可以是测量区间内的任何值（通常是四舍五入到厘米）。所有与距离、重量和温度有关的变量在本质上都是连续的。连续变量的其他例子有学生的年龄；在课堂观察中投入工作的时间；在数学、科学和阅读能力等学科领域上的成就水平。在心理与教育研究中，所有的潜在变量（构念）在本质上是连续的——例如，学业成就、动机、焦虑、抑郁和态度（例如，对学校、宗教或种族群体的态度）。

离散变量只能取孤立的值（例如，整数）。离散变量的测量通常包括计算和枚举某个事物的发生次数。例如，计数变量可以是一段作文里的拼写错误次数，或者是一场篮球比赛中个体球员的进球次数（得分）。

提示 1.1

一个可能会让人迷惑的地方是，连续变量的值会被报告为“离散”的数值，这是因为一个连续变量的数值通常被四舍五入了。例如，一周的气温预报：15°C，18°C，15°C，28°C，22°C，17°C，21°C——温度这个连续变量的值看起来像离散变量是因为它们被四舍五入到最接近的整数。在另外一个例子里，平均绩点被四舍五入到最接近的百分位（例如，3.52，3.37，4.00等），看上去也像是“离散”的值，但它们代表的是一个连续变量（学业成绩）。

1.2 测量尺度

1.2.1 什么是测量

我们可以把测量看成是一个过程，它包括三个组成部分——测量的对象、一组数字和一种标尺系统，通过这个系统我们可以给被测量变量的量级赋值。测量对象可以是可观测变量（比如身高、年龄、年级）或者潜在变量（比如动机、语言能力或者态度）。任何潜在变量都可以被看成一个隐藏的连续体（维度），其量级在给定的方向上逐渐增长（如，若用一条直线表示连续体，则该直线为从左至右递增，见图 1.1）。如 1.1.1 节所述，心理与教育中的潜在变量通常用可观测的指标（如测验题目）定义。一个人在这些指标上的总分数，就是这个人在潜在变量的连续体上的“隐藏”量级所被赋的值。

在这一章中，术语“量级”将表示一个人在潜在变量的连续体中的位置，而“在量级上被赋的值”将会代表一个人在潜在变量的可观测指标上的得分（如测验题目）。我们也将据此区分“量级间的距离”和“数字间的距离”。

比方说，我们用一个有 20 个二选一题目（1=

正确，0= 错误）的测验来测量中学生的阅读能力。这些题目可以作为阅读能力这一潜在变量的可观测指标。学生的总测验成绩是这名学生在阅读理解的量级上所赋的值。如图 1.1 中所示， M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 表示 4 个学生（米奇、克里斯蒂、彼得和吉尔）在阅读能力这个连续体上的真实量级（但实际上是“隐藏”的），与这些量级对应的数字（总成绩）分别是 10、12、17 和 19。对 21 个二选一题目，存在着 21 个“离散”整数（也许这个测试的成绩是 0, 1, 2, ..., 19, 20）可以赋予连续变量阅读能力的量级。对于这个“悖论”的解释是，每个值必须被看成一个得分区间的中点，这样，所有分数区间的总体就在数轴上覆盖了一个连续的、无“间断”的区间。在这个例子中有 21 个这样的区间：[-0.5, 0.5] 中点为 0，[0.5, 1.5] 中点为 1，等等，一直到区间 [19.5, 20.5] 中点为 20。

1.2.2 类别尺度

类别尺度把人（或事物）分到独有的类别中，比如，按性别、种族、职业，等等。类别尺度的值只可用来表示类别的“名称”，类别尺度由此得名（在拉丁语中，“nomen”意为“名称”）。值得强调的是，类别尺度的值不能反映分类变量的

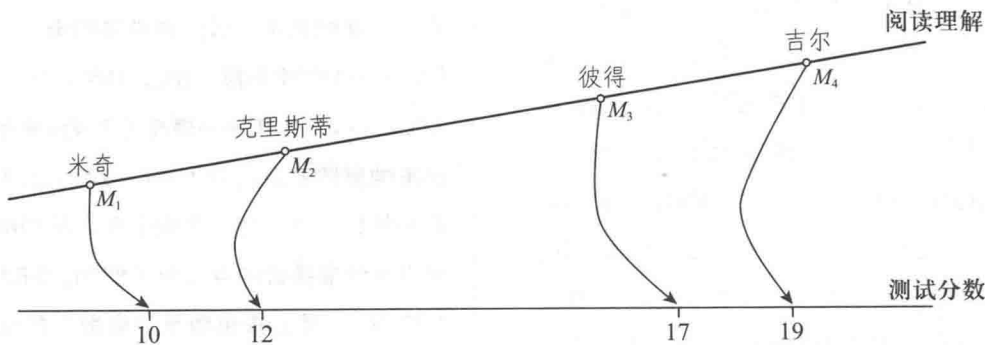


图1.1 对潜在变量（阅读理解）的测量

“量级”。比如，如果我们用类别尺度“1=男，2=女”来表示性别，这并不代表1和2是赋予不同性别“量级”的值。因此，类别尺度实际上并不是一个真正的测量量度，因为我们不能根据人们在名称上的分类，而把个体安置到任何（以增加或减少排序的）序列里。考虑到这一点，类别尺度仅被用于对心理与教育数据进行编码和分析。

1.2.3 顺序尺度

顺序尺度是对一个被测量的变量（特征、性质）的量级排序并赋予这些顺序尺度与序值相同的数字。例如，图1.1就是一个用顺序尺度测量的例子，因为学生真实的阅读理解的量级（ M_1 、 M_2 、 M_3 和 M_4 ）与分数的增长顺序相同（分别为10、12、17和19）。我们也可以说，在顺序尺度中，对于任何两个个体，在被测量的变量（特征）上拥有得更多的人，将会被赋予更高的分数。然而，顺序尺度并没有显示这两个人在这个变量上的差异有多少。换句话说，在被测量变量的真实量级上，顺序尺度提供了个体间排序的信息，而非这些量级间的距离。比如在一个选美比赛中，如果顺序尺度中的值1、2和3代表第一、第二和第三，表明了选手中哪个“更漂亮”，相同的数字差异 $2-1=3-2$ 并不一定意味着得第一和第二的选手之间在真实的“美貌程度的差异”跟得第二和第三的选手之间的差距是相同的。

1.2.4 等距尺度

等距尺度提供了被测量的变量在实际量级中关于顺序和距离的信息。具体来说，如果被测

变量量级间差异相同，这些量级在区间量表上所赋的值之间的差异也相同。为了说明这一点，我们再来看看图1.1中阅读理解的潜在量级。如果我们假设米奇和克里斯蒂在阅读理解中的潜在差异与彼得和吉尔之间的差异相同（即， $M_2-M_1=M_4-M_3$ ），那么，这就是一个等距尺度。因为米奇和克里斯蒂被赋的值间的差异与彼得和吉尔的分值间的差异是相等的（ $12-10=19-17$ ）。

然而，值得注意的是，等距尺度的零点是人为定义的。换句话说，用等距尺度测量一个变量时，赋予“零”一个给定量级并不意味着这个量级实际上是“缺失的”（即，完全没有量级）。例如，温度的测量是一个等距尺度，但是如果在某一时刻的温度是“零度”（华氏或摄氏），并不意味着这一刻没有温度。等距尺度的零点（原点）是约定俗成的，而且可以通过适当的线性转换来移动（上升或下降）。例如，从摄氏到华氏的转换公式为： $F=(9/5)C+32$ ，其中C和F分别代表了摄氏和华氏的温度计读数。因此，如果 $C=0$ ，那么 $F=32$ （即， 0°C 对应 32°F ）。要说明的是，因为零点（原点）在等距尺度中是人为定义的，而且不代表被测量特征的缺失，所以在等距尺度中，两个值的比率不表示与这两个值对应的特征的量级的比率。比如，如果两个温度计连续两天的读数是星期二 20°C 、星期三 10°C ，我们不能说，“星期二比星期三热一倍”，只能说星期三的温度比星期二的温度低了 10°C （或者说温度下降了 10°C ）。

1.2.5 比率尺度

比率尺度不仅提供了量级的顺序和它们之间的距离的信息，也提供了关于被测量的变

量级间的比率的信息。比率尺度的零点（原点）是自然“固定”的。也就是说，“零”表示了被测量的特征的缺失。例如，一条直线上的两个点之间是“零距离”，表明这两点之间没有距离（在这种情况下，两个点完全重合）。另外，所有测量距离的比率尺度的原点是相同的（“零”英寸与“零”厘米表示同一个意思——没有距离）。需要注意，这点与等距尺度不同——比如， 0°C 与华氏 0°F 代表了温度的不同量级，但是不代表没有温度。进一步来说，假设用比率尺度测量物体的长度，如果这两个物体分别是50厘米和25厘米长，我们可以说，“第一个物体的长度是第二个物体长度的两倍”。可惜的是，用比率尺度来测量心理学与教育学中的潜在变量往往是不可能的。因此，如果在创造力测验中，玛丽得了100分而约翰得了50分，我们不能说，“玛丽的创造力是约翰的两倍”。我们最多能期待用等距尺度（或近似于等距尺度）来测量心理学与教育学中的潜在变量。

1.2.6 量表的转换和运算

在这一节中，术语“转换”和“运算”对量表的数值有不同的意义。具体来说，数字的转换意味着每个数字服从于相同的数学转换规则（如，公式）。举个例子，我们可以通过转换公式 $Y=X+10$ （也就是，每个数值加10）来转换一个变量 X 的数值（2、3、5、10），从而得出一组新数值：12、13、15和20。而进行数字的运算意味着这些数字服从于算术运算法则（加法、减法、乘法或者除法）。例如，算术运算中的加法就是用数字来计算其总和（ $2+3+5+10=20$ ）。

在本章中特别关注的是线性转换（linear transformations）。具体来说，已知变量 X 的值， X 的线性转换的公式是

$$Y = bX + a \quad (1.1)$$

其中：

b 是一个常数，也被称为斜率；

a 也是一个常数，被称为截距。

X 的每个值乘以斜率 b ，然后再加上截距 a ，就得到了“新”变量 Y 的值。斜率 b 可以是任意不是0的（ $b \neq 0$ ）数，而截距 a 可以是任意数字（包括0）。比如，① $Y=0.5X+10$ 是 X 的一个线性转换，其中 $b=0.5$ ， $a=10$ ；② $Y=1.5X$ 是 X 的一个线性转换，其中 $b=1.5$ ， $a=0$ ；③ $Y=X-5$ 是 X 的一个线性转换，其中 $b=1$ ， $a=-5$ 。举个例子，如果变量 X 在等距尺度的值是2、4和10，使用转换公式 $Y=0.5X+10$ ，可以得到新的数值 Y ：11、12和15，它们依然在等距尺度上。

对于 X 的任何线性转换，坐标上与 X 的值（横轴）和转换的值 Y （纵轴）对应的点都落在一条直线上，“线性转换”因此得名。斜率 b ，决定了直线的倾斜度；截距 a ，显示了直线截断纵轴 Y 的点（因此 a 得名为截距）。关于这个知识点，在之后会进一步讨论（见10.2.3节）。所有斜率相同的转换，得到的直线是平行的，它们的位置则由截距决定。

1.2.6.1 类别尺度

在类别尺度中，只要得出的新数字是不同的，我们可以对标明不同种类的数字做任意转换。举例而言，假如我们有类别尺度“1=高加索裔，2=非洲裔，3=亚裔”三个种族组别。我们可以从原来的每一个数字中减去1，从而得到类别尺度：“0=高加索裔，1=非洲裔，2=亚裔”。