

科技工作中的数据分析

斯图尔特 L. 边耶 著
周鑫元 顾兆良 译
王德安 朱瑞光 贾致泽 校

原子能出版社

“一旦科学方法成为一种思维习惯，这样的思维就能够把无论什么样的事物都变成科学。这就是现今科学方法的特色。科学的境界是无限的，它的素材是无穷无尽的，每一类自然现象、社会生活的每一个侧面、过去或未来的每一个发展阶段都是科学研究的素材。一切科学的一致性仅仅存在于它的方法之中，而不是存在于它的素材之中。能够对各种事物进行分类，看到它们的相互关系并对其结果进行描述的人，正是运用了科学的方法，这样的人也就是一个有科学素养的人。这些事物可以是涉及人类过去历史的东西，可以是涉及我们大城市的社会统计学的东西，可以是涉及最遥远的星球周围环境的東西，可以是涉及小爬虫的消化器官的东西，或者，也可以是涉及几乎看不见的杆菌生命的东西。不是这些事物本身构成了科学，而是处理这些事物的方法构成了科学”。

引自 卡尔·皮尔逊：《科学入门》

科技工作中的数据分析

·斯图尔特 L. 迈耶 著

周堃元 顾兆良 译

王德安 朱瑞光 贾致泽 校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $32^{3/4}$ · 字数 780 千字

1983 年 7 月第一版·1983 年 7 月第一次印刷

印数 1—11300·统一书号：15175·453

定价：4.00 元

译 者 的 话

为了给我国从事数据工作的科技工作者提供一本较好的参考书和手册，我们翻译了美国西北大学 STUART L. MEYER 所著 DATA ANALYSIS FOR SCIENTISTS AND ENGINEERS

(John Wiley & Sons 出版公司，1975)一书。

本书向广大的试验设计、数据分析、实验物理、应用数学等方面的科技工作者和高等学校有关专业师生介绍了关于数据分析的理论、方法、数据和实例等资料。作者安排内容力求循序渐进，深入浅出。作者不拘泥于追求数学的严谨，而注重结合实践说明理论的应用。书末还附有基本数学公式和各种统计数据表。无疑，本书既是一本有用的参考书，也是一本方便的手册。

在翻译过程中，凡我们所能发现的原书排版上的错误，均在译稿中加以改正。一些重要的改正还加了“译者注”，供读者查阅原文时参考。

参加本书翻译工作的有：周恩臣、刘继才、袁汉镕、顾复华、赵志祥、梁祺昌。

我们感谢王承书、丁大钊、周德林等同志，由于他们的热心帮助，使我们的译稿审阅工作得以顺利进行。此外，裴明丽、张焕乔、张孝泽、刘瑞哲等同志阅读了初译稿的部分章节，并提出了宝贵意见，谨向他们致谢。

限于水平，翻译中的错漏之处在所难免，深望读者批评指正。

译 者

目 录

第一部分 科学测量概述

第 1 章 测量的含义	1
1.1 测量的定义	1
1.2 量纲分析	3
1.3 假设和检验	3
第 2 章 实验研究工作的进行	4
2.1 制订方案	4
2.2 研究工作中的决定性时刻	5
第 3 章 科学报告	5
3.1 科学报告的作用	5
3.2 科学报告的组成部分	6
第 4 章 实验室工作程序和工作记录	7
4.1 实验室工作记录	8
第 5 章 实验误差	9
5.1 偶然误差	9
5.2 系统误差	10
5.3 疏忽	10
5.4 误差分析	10
第 6 章 数据的舍弃; 乔威尼特判据及其危险	11
第 7 章 抽样原理和基本统计概念的定义	12
7.1 总体参量	12
7.2 变差和分布	13
7.3 统计量的作用	14
7.4 基本统计概念的定义	14
第 8 章 关于样本分析的讨论	23
第 9 章 关于离散和连续频率分布与直方图问题的讨论	25
9.1 归一化频率分布	26
9.2 归一化频率直方图	27
9.3 定义	29
9.4 偏斜度	31
9.5 分组数据的夏帕尔德修正	31
第 10 章 误差传递和最小二乘法	33
10.1 误差传递的一般情况	33
10.2 独立误差	34
10.3 误差传递的图解说明	36
10.4 极小方差(最小二乘误差)	37
10.5 非独立或相关误差	38

10.6	合成量的协方差	41
10.7	式(10.3)的推广	41
10.8	复变量的误差传递	43

第二部分 图示法和曲线拟合

第11章	显示图	46
11.1	水平棒式图	47
11.2	圆饼图或面积图	47
11.3	立体图	47
第12章	相关图	48
12.1	剪影图	48
12.2	水平棒式图	48
12.3	垂直棒式图	48
12.4	线状图	49
12.5	相关研究	50
12.6	散布图	53
12.7	相关系数	54
第13章	两个以上变量的关系图	55
13.1	透视的使用	55
13.2	投影	55
13.3	等值线图	55
第14章	直线图及拟合	61
14.1	直线	62
14.2	最小二乘直线的计算	64
14.3	两个变量都有不确定度时的拟合直线数据	65
第15章	变换到直线图	66
15.1	对数图	66
15.2	半对数图	69
15.3	对数标度的一般应用	76
第16章	计算图	79
16.1	固定标尺	79
16.2	滑动标尺	79
16.3	列线图	80

第三部分 概 率

第17章	概率的意义	87
17.1	随机现象和随机变量	87
17.2	概率分布及其描述	88
17.3	切比雪夫不等式	92
17.4	切比雪夫不等式的推导	92
17.5	对称和非对称分布	93
17.6	概率的不同类型	94

第 18 章	排列和组合	97
18.1	编列, 排列和变更	97
18.2	组合	98
18.3	二项式定理	99
18.4	拉普拉斯三角形	99
18.5	关于阶乘函数的附注	102
18.6	组合分析中某些必要的说明	103
18.7	多项式定理	105
第 19 章	事件计算法——概率逻辑	107
19.1	定义	107
19.2	条件概率: 非独立性与独立性	112
19.3	期望值——递归关系式	124
第 20 章	联合概率分布和随机变量的函数	126
20.1	联合概率分布和边缘概率分布	127
20.2	期望值	128
20.3	独立性	129
20.4	协方差	130
20.5	方差	132
20.6	单变量概率密度函数的计算	137
20.7	多变量概率密度函数的计算	139
第 21 章	几何概率、随机数和蒙特卡罗实验	145
21.1	蒲丰针	146
21.2	伯特兰悖论	148
21.3	随机性和从均匀分布中抽取的随机数	150
21.4	概率问题的模拟: 蒙特-卡罗实验	151
21.5	随机数的运算	155
21.6	随机数的和	155
21.7	从任意分布中抽取的随机数	160
21.8	相关性	161

第四部分 若干概率分布及其应用

第 22 章	二项分布	170
22.1	定义	170
22.2	二项分布的再现性	171
22.3	数值范围的概率	172
22.4	对称性和非对称性	173
22.5	二项分布的期望值	174
22.6	二项分布的方差	175
22.7	对指定的成功数所要求的试验次数的期望值	176
22.8	二项分布的众数	176
22.9	稀有事件	179
22.10	逆概率	179

22.11	大数定律	180
22.12	概率的频率定义	181
22.13	大数定律和样本平均值	183
第 23 章	超几何分布	184
23.1	概率的定义	184
23.2	期望值和方差	186
23.3	超几何分布的二项近似	190
23.4	逆概率	190
第 24 章	泊松分布	192
24.1	严格的模型	192
24.2	二项分布的泊松近似	198
24.3	泊松分布的期望值	202
24.4	泊松分布的方差	202
24.5	超几何分布的泊松近似	208
24.6	泊松分布的再现性	204
24.7	放射性衰变和指数衰变分布	204
24.8	泊松二项分布	205
24.9	间隔分布	207
24.10	逆概率	208
24.11	累积泊松分布函数	211
第 25 章	高斯或正态分布	214
25.1	由某些假定推导高斯分布	214
25.2	平均偏差与标准偏差的关系	217
25.3	由二项分布导出高斯分布	218
25.4	由泊松分布导出高斯分布	220
25.5	逆概率	221
25.6	正态分布的若干性质	222
25.7	对两个样本平均值之差的正态偏离检验	229
25.8	二项分布的正态近似	231
25.9	中心极限定理 (正态收敛定理)	238
第 26 章	χ^2 分布	248
26.1	χ^2 和极小化	248
26.2	n 个独立自由度的概率密度函数	256
26.3	χ^2 分布的平均值, 众数和方差	261
26.4	χ^2 分布的计算	262
26.5	χ^2 分布的近似	264
26.6	样本方差	270
第 27 章	t 分布	273
27.1	t 的定义和它的概率密度函数	273
27.2	柯西分布	275
27.3	t 分布的应用	279
第 28 章	其它的各种概率分布及举例	284

28.1	负二项分布	284
28.2	多项分布	285
28.3	指数分布	285
28.4	韦伯分布	285
28.5	对数正态分布	286
28.6	F 分布	287
28.7	折叠分布	289
28.8	折叠正态分布	289
28.9	截尾分布	289
28.10	截尾正态分布	290
28.11	二元正态分布	290
28.12	多元正态分布	293

第五部分 统计判断

第 29 章	估算	295
29.1	置信区间	296
29.2	大而均匀总体之总体平均值的估算	297
29.3	有限总体的总体平均值的估算	299
29.4	分层抽样: 大的分层总体的总体平均值的估算	299
29.5	(二项) 概率估算	310
29.6	总体比例的估计	312
第 30 章	估算与最大似然法	315
30.1	似然估值	315
30.2	估值的一般性质	322
30.3	似然方程的非解析解	338
30.4	似然函数的渐近性质	342
30.5	有限数据	344
30.6	测量前的预期误差	346
30.7	低效统计量	348
30.8	图解法: 痕函数	349
第 31 章	假设检验和显著性	354
31.1	假设的类型	354
31.2	一致性和验证	354
31.3	两类误差和错误代价	355
31.4	假设检验中的概念	356
31.5	尼曼-皮尔逊定理	364
31.6	似然比	367
31.7	一般化的似然比	367
31.8	似然比的大样本性质	371
31.9	拟合优度的普遍化 χ^2 检验	371
31.10	χ^2 检验拟合优度的应用	374
第 32 章	χ^2 最小化方法	375

32.1	χ^2 回顾	376
32.2	单参量 χ^2 : $\mathbf{c} = \mathbf{c}_1$ ($r=1$)	378
32.3	多参量 χ^2 : $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_r)$	382
第 33 章	最小二乘法; 曲线的拟合	406
33.1	一般阐述	406
33.2	线性情况	407
33.3	拟合优度	423
33.4	具有线性约束的线性最小二乘法	423
33.5	非线性最小二乘法	426

附 录

附录 A	符号和一些基本数学回顾	428
附录 B	矩阵, 行列式和线性方程组	436
附录 I	度量衡的单位 和 标准	453
附录 II	量纲分析	467
附录 III	阶乘函数、 Γ 函数和误差函数	470
附录 IV	八百个均匀分布的随机数以及八百个随机正态偏差	476
附录 V	负指数 e^{-x} 函数表	482
附录 VI	高斯 (正态) 分布表	485
附录 VII	χ^2 分布的图表	489
附录 VIII	t 分布表	499
附录 IX	进一步阅读的指南 和 文献目录	507

第一部分 科学测量概述

第 1 章 测量的含义

有时，人们把科学区分为“精确的”科学和其它的科学两类。通常把象物理学、化学这样的自然科学归入第一类，而广义地把生物学、心理学等等归入第二类。这样说是不恰当的，因为它似乎意味着前者有一个准确的表述，而其它则不然。事实上，所有科学工作者都在跟真值打交道。区别在于精确的科学在科学表述中能够更容易给出真值或至少给出一个反映其大小的数值。最好把第一类科学称为“定量的”科学，因为人们可以在任何给定的物理现象的表述中以数值的方式来讨论其真值的大小。

请注意，我们还没有给真值下定义。我们必须问：“一个测量是‘准确的’”这句话意味着什么？而“关于给定的物质世界的表述是‘准确的’”又意味着什么？我们进行自然科学中的测量和完成一些实验来验证有关物质世界的假设。在这里，实验和测量之间没有明显的区别，但前者必然要涉及到后者；也就是说，一个实验不可避免地需要测量某些东西。

1.1 测量的定义

为了讨论这个问题，我们将认为，测量就是对某个可以表征一个物理对象或系统的固定的物理常数做定量测定，或是对描述一个可以反覆再现的物理状态所必需的参量做定量测定。这里要特别注意“固定的”和“反覆再现的”这两个词。它们引入一个必要的概念，即测量在实际上和概念上都是能重复的。重要的是能够独立地测定待测的量。

1.1.1 有效数字

我们可举出很多与测量有关的量：光在真空中的速度，质子的质量，用厘米来标度英寸的长度等等。每完成一次测量，我们就得到一个数值。如果查一查近期的手册，就可以找到如下几个数值：光在真空中的速度是 2.997925×10^{10} 厘米/秒；以兆电子伏/ c^2 为单位的质子质量是 938.256 ± 0.005 ；而一英寸则精确地等于 2.54 厘米。

这些数的意思是什么呢？显而易见，是有人进行了测量并得到了结果。我们现在有三个结果，但有着三种不同的形式。第一个数由带一个小数点的七位数字和一个指数组成。我们用七位数来表示这个数的可靠程度。显然，倒数第二位数是真正有意义的，而最后一位数则是最佳推测值，我们称这个数有七位有效数字。在这个情况下，光速最可能在 2.99792 和 2.99793 两个数之间。要把确定一个数的量值需要的数字个数和表达其有效数字需要的数字个数区分开来，用指数表达是一种标准方式。

第二个数是说明表示数量的有效数字的另一种方式，一般认为质子的质量可能在 938.251 和 938.261 兆电子伏之间。后面将讨论“可能”一词的含义。到那时，我们将能讨论代表同一量的数是否彼此一致。

最后一个数是最罕见的。它精确地等于2.54。人们在几次遇到该数后，最初的印象就此例而言是正确的。这是唯一的被称为确定的常数的量，是仅有的一类精确的数量。米制单位和英制单位的出现是互不相关的。许多年来，它们间的换算常数象所有我们将遇到的（不确定的）量一样，是一个被测定的量。如果能找到一本老的数学书或物理书，你就会发现这个换算常数曾写为2.54001，美国海岸和大地测量述评（The U.S. Coast and Geodetic Survey）至今仍采用2.54001这个数值。但是最近已决定把1英寸确定为等于2.54厘米。一厘米就是在法国赛佛尔（Sevres）保存于标准状态下的铂-铱合金棒上两根刻度线之间距离的1/100。1960年以来，国际上商定利用纯同位素氪-86发出的橙色谱线的波长来确定标准厘米。现在法定的厘米规定为16507.6373个波长。

1.1.2 量纲

我们使用的基本量纲是长度（ L ）、时间（ T ）和质量（ M ）。所有其它量纲都可以根据这些基本量纲用各种物理关系式来，因为任何方程两边的量纲应当是相同的。

于是，在我们的基本量纲集里，力 F 的量纲可以通过作用于一个质量上的力和所产生的加速度之间的关系式来确定：

$$F = ma$$

我们把量纲等式表示为 $\overset{D}{=}$ ，因此就用

$$\overset{D}{F} = M L T^{-2}$$

表示力的量纲。

引力方程告诉我们，质量为 M_1 和 M_2 的两个互相分离的物体间的引力与质量的乘积及它们间距离平方的倒数成正比：

$$F = G M_1 M_2 / r^2$$

其中 G 是引力常数，它的量纲是

$$\begin{aligned} \overset{D}{G} &= M^{-2} T^{+2} \overset{D}{F} = M^{-2} L^{+2} M L T^{-2} \\ &= L^3 M^{-1} T^{-2} \end{aligned}$$

要定出任一量的量纲，我们只需想一下这个量与已知量纲的量之间的关系式，并象处理一般的代数符号那样来处理量纲。

许多函数（如 $\exp(x)$ 和 $\sin(x)$ 等）的自变量（ x ）应当是无量纲的。

1.1.3 单位

我们希望把所有方程都写成与单位制无关的形式。因为我们的单位制是任意的，如果方程与单位制有关，那将是荒谬的。很明显，任何方程的左边应当和它的右边有相同的单位。这就为我们写出的方程提供了一个简便的检验方法（它对于判断方程的正确性是一个必要非充分的条件）

除无量纲的常量外，所用到的全部量都必须属于同一单位制，例如，厘米·克·秒（CGS）制，米·千克·秒（MKS）制，英尺·磅·秒（英）制等等。像量纲一样，方程左边的单位必须和右边的一致。在作任何计算的进程中，必须不断地检验单位正确与否，因为由于所用单位不符而引起的差错是很常见的。所采用的全部单位都必须化为一致的单位，因为混合单位的组合数量繁多，使用时很不方便。

例如，从水库往一个英国的壕沟（它必须是英国的）灌水，如果壕沟长 0.500 弗隆，宽 900 巴力啞，那么必须从水库汲取多少英亩·英尺的水才能灌满 2.00 英寻深的壕沟呢？

体积 $V = 900$ 巴力啞·弗隆·英寻

无论什么数，我们总应当把单位乘上。我们知道：

$$1 \text{ 巴力啞} = \frac{1}{3} \text{ 英寸}$$

$$1 \text{ 英寻} = 6 \text{ 英尺}$$

$$1 \text{ 弗隆} = \frac{1}{8} \text{ 英里}$$

$$1 \text{ 英亩} = 43560 \text{ 平方英尺}$$

因此

$$\begin{aligned} V &= 900 \text{ 巴力啞} \times \frac{1}{3} \frac{\text{英寸}}{\text{巴力啞}} \times \frac{1}{12} \frac{\text{英尺}}{\text{英寸}} \times \text{弗隆} \times \frac{1}{8} \frac{\text{英里}}{\text{弗隆}} \times 5280 \frac{\text{英尺}}{\text{英里}} \times \text{英寻} \times 6 \frac{\text{英尺}}{\text{英寻}} \\ &= (900)(1/3)(1/12)(1/8)(5280)(6) \text{ 英尺}^3 \\ &= 99000 \text{ 英尺}^3 = 99000 \text{ 英尺}^3 \times \frac{1 \text{ 英亩}}{43560 \text{ 英尺}^2} \\ &= 2.2727(27) \text{ 英亩} \cdot \text{英尺} \end{aligned}$$

由此可见，米制单位的优越性确实是很明显的！

米制和美国习惯制两者的单位和标准将在附录 I 中详细讨论。

1.2 量纲分析

给定一个用物理变量 $x_1, x_2, x_3 \dots$ 描述的物理状态，有时可以通过量纲分析推出这些变量间所有可能的关系式的某个界限。量纲分析不能完全确定未知的函数关系，但能确定它可能的界限，而且，在一些简单的情况下，还可以给出带有待定比例常数的完整关系式。附录 II 中概括了有关这个问题的讨论。

1.3 假设和检验

常常错误地称为“理论”的物理假设，必须提出一个可供检验的关于物质世界的预言才有意义。这些预言必须是可以定量检验的，也就是说，预言一定数值范围的某些数值量。当我们测量了这些量，并将结果与预言比较时就算是完成了检验这些假设的一个实验。

科学工作者的任务在于揭示物质世界的进程。科学研究工作者的作用很像是侦探小说中理性过人的侦探家。用舍洛克·福尔摩斯 (Sherlok Holmes) 在说明他解决问题症结时的话说，就是“当我们排除了不可能的，那剩下的仅是一些不太可能的”。实验科学工作者的任务之一就在于确定不同事件发生的不太可能性的程度，或者说，在于确定不同事件发生的可能性的程度。

一个实验结果往往写成一个数并附带一定的实验不确定度。如上所述实验的结果可以用有效数字表示，也可以写成“ $x \pm \Delta x$ ”。这里 Δx 就是实验的不确定度或“误差”（后面我们还将见到，实验结果还可以写成“ $x \pm \Delta x$ ”）。这是指我们相信测定的数很可能落在这个数值范围里。实际上，我们相信正确并独立重复的实验最可能产生一个在这一范围内的数值结果。更具体地说，如果所引用的误差是“标准偏差”，那么在这个情况下，我们确信把这个测量重复 100 次，将有多于 68 次的结果在所表示的界限之内。不过，我们还将看到，如果再做一次与现有数值一致的外加测量，且该次测量的精密度可与前次比较，就会得到一个新的“最佳值”，那时我们的相信程度就会略有不同。

如果所预言的数值范围与测量值在估计的误差范围内一致，那么，正在检验的这个假设就可以认为已被证实了。这个估计的不确定度很重要，一般说来，实验的不确定度越大，与结果一致的预言范围就越宽。但是，小的不确定度却能使实验工作者的结果具有更大的意义，因为它往往使实验工作者能排除若干个不同的假设中的某一个。科学就是这样进步的。假设是推测的东西，它们要经受实验的检验；有一些假设被舍弃，而另一些假设则暂时被采纳，并接受更进一步的验证。迄今为止能成功地通过所有检验的假设就可以称为“原理”或“法则”。一个原理经受的检验越多，我们就越坚定地相信它。但是，即使是被奉为神圣的原理，如果以后与正确的实验结果有矛盾，也必须舍弃掉。

第 2 章 实验研究工作的进行

一项实验研究工作可认为是由三个阶段组成：制订实验计划和方案的阶段，进行测量和积累数据的阶段，以及分析数据、得出结论并把实验结果写成书面报告的阶段。

2.1 制订方案

制订实验计划和实验方案包括些什么呢？首先，一个实验必须基于某种想法，有一个目的。这就是为了测定某一个量，或为了检验某些假设而把预言的东西和测定的量作比较。制订方案和计划的阶段，大概是完成一项实验研究工作的最重要部分。好的实验要以好的想法为依据，出色的实验要以出色的想法为基础。尽管对于一个好的实验来说，好的计划只是一个必要而非充分的条件。

不过，制订实验方案不是一教就会的，它需要经验和与经验紧密相联的成熟的见解。由于这个原因，它往往不是人们早期实验技术训练的一部分。在典型的实验课教程中，最初的实验通常由教师制订方案并说明一般的细节，而学生则必须力求了解这个方案的全貌：测量什么，为什么要进行某些检验性的测量等等。理解了分析实验的方法，人们就能很快掌握方案中的要点。通过分析实验，经常可以找出应当测量而没有测量的量以及应当测得更好一些的量。不好的实验往往和好的实验有相同的教育价值，如果一个人能理解结果不好（即它是错误的或者误差过大）的原因，那他就算摸到了一点制订一个好的实验方案和计划的门径。人在学会跑以前必须先学会走，只有做过和分析过一些实验而积累了经验后才能订出好的实

验方案。

这和玩国际象棋有点相象。保持近三十年的世界国际象棋比赛优胜者历史的伊曼纽尔·拉斯克 (Emmanuel Lasker) 曾经指出：在指导一个国际象棋新手时，当应先从处理残局着手，然后研究中局的战术，最后才教他如何开局。直接导致杀棋的残局显然在棋赛中占有最重要的地位，人们只有从那里开步，才能确定如何更有效地获取所希望的结果。在学习如何做好实验时也是如此，如果人们能学会鉴别什么样的最后结果是成功的，那么，促使实验方案成功的各种因素就变得清楚了。当然，对我们来说，所期望的残局就是从实验中最大限度地提取与原来科学问题有关的数据资料。

2.2 研究工作中的决定性时刻

此外，在一项研究工作中的最重要时刻就是获取数据前后的这一段时间。实验应尽可能直接地与所研究的思想相联系，并使周围的影响或本底效应减小到最低值。实验方案要做得使不确定度最小，并使信息的内容最大。这通常意味着可取得尽可能小的误差。因为时间、资金和成果都很宝贵，所以制订的方案应保证能最有效地利用现有的实验的手段来测量。

取得实验观测结果以后，数据的处理也是同样重要的。这个重要性仅有的限度是只有在这一阶段使我们有最多的资料，并取得数据中所能包含的尽可能多的信息。另一方面，一个比较好的实验方案可以创造出一个比较好的实验。确实，每个实验都要重复一次，因为第二次你就知道该怎样做了！如果有人从研究工作一开始就注意到数据分析，那他第一次就能确定怎样把实验做得最好。在这种意义上说，对数据分析的考虑应贯穿在整个实验工作的所有阶段中。显然，对一个成功的实验来说，了解数据分析的原理就成为绝对必要的了。

第3章 科学报告

前面已经提到，实验的最终目标是写出科学报告。人们可以声明自己进行了一次测量，得到了一个结果或者完成了一项实验。但这个声明，一般地只有在该项实验研究结果发表之后才能得到科学界的承认。虽然，这常常是一个有争议的问题，但科学成就的优先权问题历来是根据谁第一个发表它来确定的。耶鲁的科学史家德里克·德索拉·普拉斯 (Derek de Solla Price) 曾经写道：科学只有在专业杂志上发表之后，才真正成为科学。

3.1 科学报告的作用

为什么如此强调科学报告这种表面上看来是琐碎的文字工作呢？其基本原因是：一个实验结果只有在写成了文字报告，以供科学界同行推敲、查检、评论以后才能得到人们的承认。这有点象法庭审理案件的情况。律师询问证人摆出证据，并提出当事人对案件的意见。可是，仅当另一方的律师有机会提出并追究对实情是否有谬解、误解和歪曲等重大问题之后，才能认为所摆的证据是完整的。法官也许会提问，以便澄清所摆出来的证据，并确定其

真实性。如果原来介绍的情况是非常清楚和有说服力的，以致于能事先预见并做好回答所有（至少是尽可能多的）可能提出来的问题的准备，那么，辩护者的地位就会得到大大的加强。

当一个科学工作者发表一项研究成果时，他就在他同行的“法庭”前展示了他的“证词”。在文章发表之前，最负盛誉的科学杂志就要组织评论。这就是说，编辑把提出发表的文章推荐给该领域的专家了。评述者就会提出问题，指出其中的欠缺，或者要求对一些问题作出解释，甚至还往往要求把文章重写。在文章最终发表以后，各式各样的人都可以读它、领会它、反对它，如果有人认为恰当的话，还可以攻击它！俗话说，当一个科学工作者发表了他的报告，他就把自己的声誉和它安排在一起了。只有当他愿意这样做时，他的结果和结论才会受到信任。当然，它们是否真正受到信任取决于其本身的价值。

这就清楚地表明了一篇科学报告的作用：尽可能清楚地介绍结果和结论，详尽地描述该项研究工作的所有过程和假设，使得一个科学报告的读者有可能对它作出独立的评价或者重复它的工作。报告应能回答其他科学工作者合理地提出来的有关这些结果及其可信赖程度的所有问题。

如果有人测定了某些结果而不能详细地说明怎样测得这些结果（显然的结果除外），那是不够的。如果知道存在技术上的缺陷，在这项研究工作中是怎样避免它们的呢？采取了哪些预防措施？这些结果及其不确定度是怎样得到的？

甚至连报告作者得出的结论也只是作者的一种意见而已。重要的是充分说明实验情况，使严格的读者能够得出自己的结论，或至少是能够自行判断作者的意见是合理的或过分乐观的，有时甚至是过分保守的。

对学者来说，最要紧的大概就是从包含某些不确定度的粗糙（实验得到的全部资料）里筛选出麦粒（所要求的数据资料）的能力。正确地估计实验结果的可靠性，对于初入门的科学工作者是一件重要的事。它也是一个制订新的实验方案，以得到更好的实验数据的经验问题。

3.2 科学报告的组成部分

科学报告一般应由四个部分组成，虽然每一部分的侧重点与报告本身及其实验类型有很大的关系。这四个基本的部分是：引言、实验方法描述、数据讨论和最后结论的陈述。一般顺序就是这样，但也不是非如此不可。不同部分所要着重强调的东西以及各部分是否需要合并或进一步细分，都要由作者自己来决定。我们把这种带有任意性的安排仅作为一般原则，以确保文章的叙述量达到最少的程度。

3.2.1 引言

引言包括题目，有时也包括全文的提要。引言用于阐明实验的目的和整个报告的概貌。题目不要过长，但应能点出报告的主题并尽可能多地说明这一项工作的主要内容。在题目后边的提要通常只简要描述本报告的有关资料 and 结果，不介绍对有关结果的正确性的详细论证。题目应当使读者了解他是否有兴趣读这篇报告。如果题目没有立刻就把读者“拒绝”，读者就会简单地扫视一下提要并确定是否进一步阅读它。作者姓名应当写在题目（和提要——如果有的话）附近，以便进一步标记这项工作并给读者提供负责人员的姓名，使他能对作者

的工作给以适当的评价,或者进一步了解更多的资料。在现代科学刊物过多的情况下,把题目和作者姓名作检索用也是需要的。提要也可供检索使用。有些刊物只介绍文章的提要,以便“检索文献”的人可以很容易地找到值得阅读的文献。对于面向学生和外行的报告,可以多包括一些更基本的材料;对于面向专业水平较高的读者的报告,引言中的背景材料可以少一些。在所有的情况下,引言应照顾到文章和其它工作的前后联系,同时也要反映出当时的技术发展水平。

3.2.2 实验方法描述

科学报告的下一个重要部分就是描述本工作所采用的技术方法。它应当包括讨论方法中的独特和新颖之处。在介绍一般人不太了解的实验装置和操作步骤时,使用示意图和照片往往有很大价值。

在这部分里,还可以讨论如下的问题。

例如:存在什么样的技术困难,在本工作中如何克服这些困难,或如何对结果进行修正等等。因为它直接关系到本工作的可信程度,所以是科学报告的一个最重要的部分。是不是所有的困难都找出来了?是不是已经把它们克服了?还留下些什么问题?这些问题对结果的不确定度和可靠性有何影响?

3.2.3 数据

科学报告的第三部分提供数据。在这里应当说明从所采用的方法中可能和已经得到的结果。数据应当经过整理,有效数字要以同一种形式表示,使读者能容易地领会它。在介绍的过程中常常用到表和图,“一图胜千言”的古语应用到科学研究上是毫不夸张的。图解法的应用是十分重要的,我们将在第二部分中进行详细讨论。科学报告的这一部分,是对应当提出和强调的那些数据的突出特点进行讨论的适当场合。

3.2.4 讨论和结论

科学报告的第四部分阐述作者从实验结果中做出的推论并对导出这些结论的论据进行讨论。结论的必然性是这一部分的一个根本的组分。它不仅联系着和简化实验数据有关的可靠性或不确定度,而且与把数据和结论联系起来的逻辑推理有关。有时也有这样的情况:从一个实验能够做出的主要推论却恰恰是从所得数据中不能得出的。

3.2.5 注释

形式上,科学报告的最后部分常常列出一些注释及参考文献。如果有人想借用参考文献中已有的结果和论据,只要引用一下可以找到有关结果和论据的参考文献就行了。通常用上标数码来表示所引用的文献,然后列在报告末尾的文献项内。有时也可以采用脚注。一般应尽量避免可能妨碍报告行文通畅的插入式论证,可采用上标数码的方法在适当的地方加注。

第4章 实验室工作程序和工作记录

自然,在实验中取数据阶段的实际工作程序由于实验的性质不同而有很大的差别。可是,在所有的情况下总可以找到某些共性的东西。在实际的实验室工作中最重要的要求在于

彻底了解实验的目的和计划。不可过分强调实验的准备工作而忽视了成功地完成实验的最重要的要求。

培养人们从实验中最基本处着眼的能力是制订实验室教学计划的宗旨之一。可是，一个科学工作者（或科学研究者）在进入实验室工作时，如果对要做什么样的实验没有一个明确观念，那这种能力就是毫无意义的。科学工作者预想到的困难愈多，全部大胆尝试就愈有可能获得成功。有条不紊是专业实验工作者的普遍性格，它一般表现在两个方面：一是表现在对于实验的设想习惯中，一是表现在需要观测和记录数据的实际操作上。

4.1 实验室工作记录

实验数据记录的重要性并不亚于实验设备的建立和操作。必须牢牢记住，科学工作者在取数据阶段所记住的东西不会比他写在记录本里的更多。所有有关的数据都必须以明了易懂的形式记录下来。

4.1.1 永久性和完整性

应该强调指出，实验室工作记录本的每一页都必须编上号，并应装订成册，使得一页也丢不了。日期、时间、记录人的姓名在实验工作一开始就应当写上。设备、线路和机械结构的示意图都必须画出来。如果使用了特殊的仪器，它的标号和工作特性也应注明。如果仪器需要进行校准或者已经有了可靠的校准，也应在实验室记录本或专用的仪器记录本上把情况写明。任何可能有助于重复已经做过的实验或在实验室里发生某些情况的信息都应记录下来。几乎所有实验科学工作者的经验表明，甚至连看起来无关紧要的一点点信息，有时也有助于重新获得数据或改正差错。如果有人对温度修正是否有必要这一点没有把握，那他无论如何应当把环境温度记上。走廊那边的机器冒火花可能对实验没有影响，但不管怎样这种情况也应当写上。如果有一个重要的事实没有记上，观测的现象就可能被疏忽，资料可能被丢掉，并且无法挽回损失。

4.1.2 改正

同样应当强调指出，实验室记录本应该用墨水来记录，使得它不易被擦去。如果发现有什么记错了，应该用整齐的细线把记错的地方划叉，同时写上改正的东西。要是有必要在别人记过的前页上再写些什么，那么作这种附加记录的日期、时间以及附加记录人的姓名也都应注上。错误总是难免的，在做补充记录时发生错误也不罕见。人们保留原记录，而不擦掉它，这是因为有时原记录是正确的。同事之间对一个记录的正确性往往也会有不同的看法，这时可以做上记号，注上改正的日期，加上补充意见或者把它删去（划叉），但最后的结论要留待有关的研究人员彻底讨论之后才能做出。

4.1.3 小结

在取数据过程中，应当尽早进行小结和初步的数据处理。这有助于随时发现差错，有助于判断工作是否在正确的轨道上进行。如果在实验室里就发现工作过程中的问题或设备故障，那么问题就不会拖得很久而在他离开实验室以前就加以解决。经常检查观测结果是否同所预期的一致是“在实验中培养当机立断能力”的重要组成部分，它对一项成功的实验来说是很根本的东西。当情况在实验工作者心中还很清晰明了的时候就进行分析研究，往往可以更有效地发现工作中的错误和缺陷。数据会渐渐变成陈旧的东西，对于一个在实际取数据后