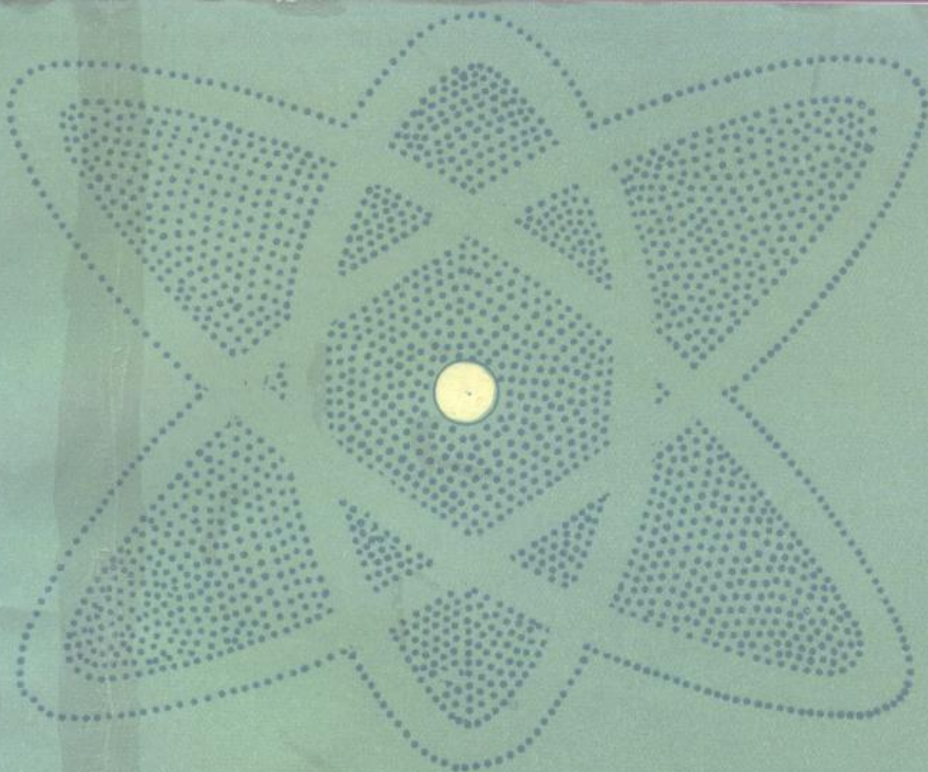




科学 | 实验 | 方法

宋力格 张红武 张亚丽

河南科学技术出版社



科学实验方法

宋力格 张红武 张亚丽

河南科学技术出版社

1990

内 容 提 要

本书主要介绍科学实验的方法、误差理论、量纲分析、物理模型实验、实验数据整理及科学实验论文写作等。内容全面，基本概念清楚，语言通俗易懂，实用性强。可供广大科研人员及工程技术人员阅读，也可供大、中专师生参考。

2072/3707

科 学 实 验 必 读

宋力格 张红武 张亚丽

责任编辑 吴润燕

河南科学技术出版社出版

黄委会黄河青年印刷厂印刷

河南科学技术出版社发行

850×1168毫米 32开本 5.875印张 128千字

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数：1—2,000册

ISBN7-5349-0723-3/T·723

定价2.80元

前 言

科学发展史业已证明：实验是理论的源泉、科学的基础。理论与实验不可本末倒置，前者不可能脱离后者而独自发展。然而，我国许多理工科大学生实际上对实验的重要性认识不足，他们步入社会参加工作之后，普遍存在着动手能力及实验结果分析能力差的弱点，往往需要经过一定时间的实践锻炼后，才能逐渐适应工作。即是如此，仅由实际工作获得的实验方法及数据整理等方面的知识仍然比较散乱和片面，这种状况在不同程度上影响着他们的实验研究水平的提高，也与现代科学的发展不适应。为此，我们结合自己从事的实验研究工作，编写了本书，便于读者能够建立起科学实验方法和数据处理分析方法的基本概念，学会分析计算实验误差的方法并掌握其规律，使实验得出合乎科学的结论。

对实验及其数据分析方法等有关知识缺乏了解，也会妨碍许多理论工作。譬如，牛顿曾因月球加速度的测量值同他的理论要求值相差百分之十而延迟二十年发表他的引力理论，当时显然未能想到，在计算中所采用的地球半径的实验测量值竟会达到如此大的误差。因此，本书除对于实验研究人员，而且对于理论工作者以及一般工程技术人员也是值得一读的。

全书共有七章：分别为实验及实验方法、量纲分析、物理模型实验、误差处理、曲线拟合、实验结果整理、实验报

告及实验类论文写作。第一、第五及第七章由宋力格执笔；第二、第三及第六章由张红武、宋力格共同执笔；第四章由张亚丽执笔。

本书在写作过程中，始终得到李保如、钱意颖教授及林斌文高级工程师热情关心和鼓励，曾提出不少宝贵意见，赵宝华参加描图工作，刘杰最后对书稿作了细致的校正，在此向他们表示衷心感谢。

把该书献给读者，若使您阅后有所受益，则作者幸甚！

作 者

一九八九年五月于郑州

目 录

第一章 实验及实验方法…………… (1)

第一节 实验在科研工作中的地位和作用…………… (1)

第二节 实验分类…………… (6)

第三节 实验设计方法…………… (11)

第四节 实验进行的顺序选择…………… (23)

第五节 实验工作者的任务和技能…………… (26)

第六节 实验大纲拟定…………… (28)

第二章 量纲分析…………… (30)

第一节 度量单位与量纲…………… (30)

第二节 量纲和谐和齐次性…………… (36)

第三节 布金汉定理 (π 定理) …… (39)

第四节 量纲分析法的讨论…………… (43)

第三章 物理模型实验…………… (45)

第一节 模型实验概论…………… (45)

第二节 相似原理…………… (47)

第三节 相似准则的推导方法…………… (53)

第四章 误差处理..... (58)

第一节 误差的分类..... (58)

第二节 误差的估计..... (64)

第三节 误差的消减..... (76)

第四节 实验关系式误差的确定..... (90)

第五章 曲线拟合..... (100)

第一节 直线的拟合..... (100)

第二节 曲线的拟合..... (113)

第三节 曲线拟合标准..... (125)

第四节 最小二乘法..... (128)

第六章 实验结果整理..... (139)

第一节 实验结果的表示方法..... (139)

第二节 实验资料的鉴别..... (144)

第三节 实验工作中的主观因素..... (147)

第七章 实验报告及实验类论文写作..... (151)

第一节 实验报告写作..... (151)

第二节 科技论文的组成与特点..... (154)

第三节 科技文献的写作步骤..... (160)

第四节	几点技术细则·····	(163)
附录一	法定计量单位·····	(168)
附录二	法定计量单位使用办法·····	(172)
附录三	外文正、斜、黑体用法·····	(179)

第一章 实验及实验方法

第一节 科学实验的地位与作用

一、自然科学的来源

在远古时期，人们对世界的认识是笼统的、直观的，各种知识都包罗在统一的哲学之中。随着生产的发展，社会的进步，知识不断丰富，各种知识先后从统一的哲学中分化出来，成为独立的科学。科学按研究对象可分为社会科学、自然科学、思维科学等。社会科学是研究人类不同领域的运动、变化和发展规律的科学，思维科学是研究人们思维方式、方法和规律的科学，而自然科学则是研究自然界不同对象的运动、变化和发展规律的科学。

我们知道，生产斗争是人类最基本的实践活动，它推动着人们去认识自然，为认识自然创造条件，提供感性材料，经过总结加工，便上升为自然科学知识和理论。所以，生产实践是自然科学最基本的来源，是科学产生和发展的基础。最早的天文学是在人们的游牧活动和农业活动中，总结各种天象及日月星辰的观察材料而建立起来的；农业生产和商业交往活动，需要测量土地、衡量器物、计数事件、测定时间，从而出现了古代数学；在手工劳动中，制造和使用各种工具、器械，从事建筑进行推、拉、举、抛等活动，体验到一些机械运动原理，产生了古代力学；从畜牧和种植活动中，了解到动物、植物、微生物的性状和生长规律，获得了最早的生

物学知识等。

随着生产的发展，科学也飞速向前发展。手工业向工厂手工业和机器大工业过渡，生产力的发展，生产技术上的实际需要，给自然科学以巨大推动力，大大扩展了研究领域，既为科学研究提供了实践经验和感性材料，又为它提供了良好的实验手段。这时，科学水平逐渐提高，自然科学的许多部门逐步建立和扩大。对自然的研究也更加深入、更加精确了。不仅天文学、力学、物理学、化学、生物学、数学这些基本学科逐渐建立起来，而且这些学科的内容日益丰富，出现了许多新的分支。

机器和蒸汽机的广泛使用，带来了十八世纪的工业革命，工业革命又给科学以巨大的推动力。这时，基础科学有了重大变化，力学建立了系统的理论，已经完善化；数学达到相当高的水平；物理学内部的一些基本部门都先后建立，其中热学、电学取得巨大进步；化学也有了一些理论成果；生物学、天文学、地学都发展得非常快。与此同时，技术科学也发展得很快。这些都与生产实践有直接关系。

但是，自然科学的来源不限于实践，在生产实践基础上产生的科学实验，逐渐成为自然科学一个方面的重要来源。这是因为，生产的进一步发展，生产和社会的迫切需求，要求自然科学揭示更多的自然规律，提供精确的知识。科学必须走到生产前面，为生产开辟前进道路。而一定时期的生产实践，只能把人对自然的认识局限在一定范围，于是，一种新的实践形式——“科学实验”便应运而生，它为人们加快对自然界认识提供了新的突破口，推动了人们认识自然，改造自然活动的飞速发展。

所谓科学实验，是人们根据研究目的而设计的，借助特定的仪器和设备等物质手段，人为地控制或模拟自然现象，使其充分暴露和重复地出现所研究的现象和过程，从而探索客观规律的方法。它虽然对客体实施以物质影响，但它的目的不是直接满足人类实践的需要，而是为了科学研究，开辟新的认识途径，弥补生产实践的不足，为自然科学的发展提供了新的源泉。十五、十六世纪，随着科学实验的广泛运用，产生了实验自然科学，标志着自然科学的成熟。到了现代，科学实验规模、复杂程度、组织方式上大大超过了近代自然科学实验水平，由科学实验直接产生的新理论、新发现也层出不穷，灿烂辉煌，近代自然科学的许多重大突破也往往不是直接来自生产，而是来自科学实验。如相对论的提出，原子力学的建立，基本粒子物理的产生，放射性化学元素的发现都建立在实验基础上，直接由科学实验所产生。科学实验优于生产实践之处，还在于它把理论探讨和实验研究结合起来，把定性观测和定量分析结合起来，使自然科学精确化、系统化。有了科学实验，自然科学才变成真正意义下的科学。在现代科学中，科学实验更起着举足轻重的作用。实际上，生产实践和科学实验都是自然科学所不可缺少的，它们从来就是密切联系，相互促进，互相补充的，共同构成自然科学的来源和发展基础。所以，我们应该正确处理生产实践与科学实验的关系，不能用生产实践代替科学实验，也不能用科学实验代替生产实践。而应该把二者很好地结合起来，以实验指导实践，实践验证实验，共同推动自然科学的发展。

二、实验在科研工作中的作用

我们知道，科研的方法有理论研究、实验研究、综合研

究及工艺研究等，实验研究方法是其他研究方法的基础，有时实验研究作为一种方法包含在其它研究过程之中，如进行工艺研究时常常要通过实验来确定某些参数或条件，综合研究又经常以众多的实验结果作为素材和对象，因此，实验在科学技术研究工作中具有重要的地位，特别是一些尖端科技的研究，更是离不开实验工作。

实验和观察不同。观察的对象是自然界的实际物体和现象，其结果可以直接反射到改造和利用自然的社会活动中去。由于观察只能在自然发生的条件下进行，要受到自然条件的局限。同时，许多有典型意义的现象和现象间的联系，是不可能按照自然状态被人感知的。单凭观察所得资料虽然也可以揭示事物发展的某些规律，但在广度上和深度上都是有限的。而实验的对象则是自然界实际物体和现象的模型或样品，其结果多反映了研究对象的本质，把它们应用到社会活动中去，往往还需要许多中间环节（如中间实验等）。由于实验是人为地去干预、控制所研究的对象，是在有意识的变革自然中去认识自然，因而有利于发挥人的主动性去揭示隐藏的自然奥秘。

实验的主要作用是：

（1）简化和纯化研究对象。自然现象是复杂的，影响因素相互交织，往往把事物的本质掩盖起来。在实验中，人们可以借助于精密的仪器和设备所创造的条件，根据研究的需要来简化复杂因素，尽量排除自然过程中各种次要因素和偶然因素的干扰，使我们需要认识的性能和关系以比较纯粹的形态表现出来，从而可以比较容易和精确地认识研究对象。

(2) 强化研究对象。科学实验可以创造出在自然界中无法直接控制而在生产过程中又难以实现的特殊条件,如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场等。运用这种条件,使物质变化的过程向指定方向强化,处在某种极限状态去获取在自然条件下和生产实践中不易或暂时不可能得到的新发现、新事实。

(3) 改变研究对象的时空,以利于研究。实验通过仪器、设备、模型等手段来改变研究对象的发展时间,它可以在几小时乃至更短的时间内重复自然界需要几年以至几千年才能产生的变化,也可以把自然界中瞬息即逝的现象按研究者的需要缓慢地重现出来,以利于研究者仔细地观察每个细节。实验还可以通过仪器、设备、模型等来改变研究对象的空间大小,如借助显微镜可以把物体放大几十倍、几百倍甚至几十亿倍,从而使研究者能够看清它的每个细节,借助望远镜和模型又可以使研究者看清宏观的物体。

(4) 为工程设计和产品研制提供数据资料和依据。由于人们对自然界的认识和实践的过程是曲折和复杂的,往往遭到挫折和失败。而实验的规模、范围比工程实际小得多。这样即可通过实验以较小的代价换取改造自然的成功。因此,在工程设计和产品研制中,不论是工程布局、选择材料、确定结构,还是提出最佳设计参数,都有必要通过实验来提供相应的数据资料和计算公式。如进行桥渡设计时,需要通过实验来确定桥墩的埋置深度,同时还要研究建桥后对河道的影响等问题。

(5) 引入新的因素,使所研究的现象复杂化。且又可以多次再现研究的对象。

(6) 可以研究在自然界中以纯粹形式不存在的现象的特征, 如原子能、等离子体等。又可创立新的人工对象, 如塑性材料。

第二节 实验分类

随着现代自然科学的飞速发展, 实验种类日益增多, 内容十分广泛。人们按照实验的作用、形式、内容的不同及各个学科领域的侧重点不同, 对科学实验有许多不同的分类方案。例如按实验在认识活动中所起的作用不同可以将实验分为探索性实验, 检验性实验和实施性实验。探索性实验是探索人们事先不知道的客观对象的特性、关系, 发现新现象找出经验规律。如利用电子对撞机来研究物质内部结构, 利用多次重复实验和对比实验确定正确的方案和规律等。检验性实验是证实或推翻以前所提出的某种假设, 以新的假设来代替它们。如为检验光的波粒二相性假设所做的各种实验。实施性实验是根据科学理论设计某种产品, 对其进行实验, 做研究和实践之需。

按实验中量和质的关系, 可分为定性实验、定量实验和结构分析实验等。定性实验用以判定某因素是否存在, 某些因素之间是否存在关系等。譬如, 物理学中有赫兹证明电磁波存在的实验; 列别捷夫证明光具有压力的实验; 迈克尔逊—莫雷否定以太存在的实验等。又如化学中的定性分析, 即用实验方法去鉴定物质中含有哪些元素、离子和功能团等。定量实验用以测定某对象的数值, 或求出某些因素间的经验公式、定律等。例如物理学中卡文迪许测定引力常数

的实验；焦耳测定热功当量的实验；斐索测定光速的实验等。又如化学中的定量分析，即测定物质中各成份的含量。正是通过定量实验，化学家们才先后建立了定比定律及倍比定律（它们都是经验定律）。至于结构分析实验在化学、生物等学科中使用较多，用以测定化合物的原子或原子团的空间结构。由于同分异构现象的存在，人们不仅要定量地测出化合物的化学组成，而且要测定原子或原子团的空间配置。如乳酸分子的化学结构中，测出有一个不对称碳原子，它们的结构象实物与镜像，就有两种旋光异构体存在：一种使偏振光朝左旋的称“左旋体”；另一种朝右旋的称“右旋体”。

按照实验在认识过程中的作用又可分为对比实验、析因实验、中间实验等。

对比实验是为确定两种或多种研究对象的优劣、异同所安排的实验。这种实验有两个或两个以上的相似组群，一个是“对照”组，作为比较的标准，另一个是“试验”组，通过某种实验步骤，以便确定它们之间的差异。为了确认不同原料、物质、产品的优劣，可以通过对比实验发现不同对象的长处、短处和异同点，用以作为选择和决策的依据。例如在水工模型实验中，为了确定合适的模型砂，可以用一些不同的材料（如电厂煤灰、煤屑、天然沙、电木粉、塑料沙等），在物理化学特性及其水流中的运动特性等方面进行对比实验，从而选定能够满足模型相似条件的模型沙。

对比实验有多种方式：（a）对同一对象进行不同的处理，以区别处理方式的优劣；（b）用同一种方式处理不同的对象，观察该种处理方式对不同对象的作用；（c）把两种

或多种对象进行相对比较；（d）把未知对象同已知的标准对象进行比较等。无论采取哪一种对比方式，安排实验时都必须使所进行比较的指标具有代表性，保证同一对象的单个试样基本相同，进行同一处理方式实验时要保证其它条件（如温度、湿度、气压、振动、测试精度等）基本相同；在进行相对比较实验时，要对比较标准进行严格的理论考核，否则，可能会导致出错误的结果。此外，在利用标准对象比较未知对象时，要尽量采用标准对象的最新资料和数据，以保证标准对象的可靠度，同时要时刻注意消除实验误差。

析因实验是由已知的结果去寻找原因而进行的实验。在现实工作中，许多已建成的工程或已投产的设备，往往会出现一些意想不到的变故。如设备机体出现裂纹或运转出现故障、生产工艺流程不稳定、取水枢纽淤积等、在无法及时判定引起后果的原因时，往往需要安排析因实验，以便查明原因，寻求对策。另外，对一些自然现象发生的规律和机制进行探讨，如地震、河床演变及河型成因等，也可以安排析因实验进行研究。

进行析因实验，要对研究的问题进行大量周密的调查研究 and 理论分析工作，以找出主要因素，并要根据对象的具体情况，灵活进行实验设计。通过析因实验可以分出主要影响因素和次要影响因素，还可以判明进一步研究的方向。

中间实验是为了把在实验室取得的研究成果推广到生产过程中，以解决可能出现的新问题而进行的实验。中间实验是由纯实验室研究向生产过渡的环节，具有科学研究和生产的双重性质，它是在更为接近生产实际情况的条件下进行

的，在推广实验室的研究成果，使用新技术，检验大型和复杂的工程技术项目等方面，发挥着重大的作用。

一般来说，实验室的研究条件控制的比较严格，操作的比较精细。一旦扩大规模，条件发生变化，就可能出现许多意外的情况，往往达不到实验室研究所实现的各种指标。中间实验的目的，正是解决由于规模扩大和条件变化而暴露的新问题，取得正式生产所必需的完整技术资料。在大型或复杂的工程技术项目，选定设计方案后，通过做中间实验，检验方案技术上是否先进，经济上是否合理，以便暴露矛盾进行修正。有时甚至还要重新回到实验室进行研究，直至符合生产要求为止。

上述几种实验方法都是直接对研究对象进行试验，另外还有一类实验是间接实验，即用实验手段去模拟自然的演变过程，从而研究自然界的规律，称为模拟实验。根据相似关系的特点，模拟又分为物理模拟和数学模拟，前者为同类事物的模拟，而后者多为异类事物的模拟。

当研究机械的性能或自然现象的机理时，最可靠的方法是对实物进行试验和观察，然而往往由于受到时间、空间条件的限制和社会条件的约束，不允许或不便于直接用实物进行实验。例如，象飞机和船舶之类，用实物进行实验需用巨大的费用；象宇宙飞船那样，在地球上实现无重力场是很困难的；象拟建的桥梁、水利枢纽工程或规划中的河道整治工程那样，在实物尚未存在的情况下进行实物实验是不可能的；还有象山林火灾那样，实物的试验是危险的；象地壳中水的渗透那样，现象变化非常缓慢等。对于这些情况。人们不得不用所有矢量在方向上相应一致、在数值上相应成比例以及