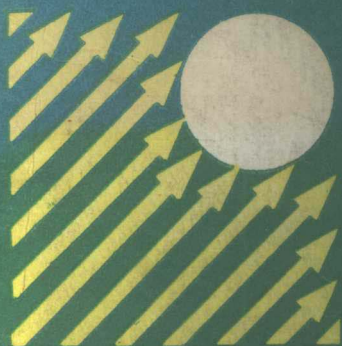
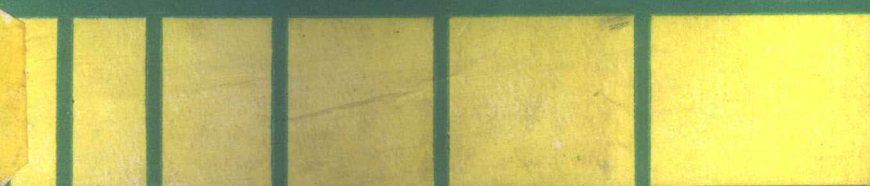




汪锡孝编著

试验研究方法

A horizontal color calibration bar located below the title. It features six rectangular blocks of varying shades of yellow and cream, used for color accuracy in printing.

湖南科学技术出版社

试验研究方法

汪锡孝 编著

湖南科学技术出版社

试验研究方法

汪锡孝 编著

责任编辑：贾平静

*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路8号)

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1989年7月第1版第1次印刷

开本：850×1168毫米 1/32 印张：10.875 字数：283,000

印数：1—10,000

ISBN 7-5357-0529-4

Z·22 定价：4.20元

地目 89--25

前 言

在试验研究工作中，我们有时也许会感到无从下手、条件不够好。时间紧、任务重、难以完成。然而，只要我们讲究试验研究方法，就可能改变这种被动的局面，得到事半功倍的效果。有了好的试验研究方法，就可以大大减少试验工作量，节约大量的人力、物力和时间，能使我们为四化建设作出更多的贡献。

本世纪前，科学家们依靠科学思维方法和高超的实验技巧取得了辉煌的成果，有许许多多的伟大发现、发明和创造。自本世纪二十年代开始，科学家们逐渐将数理统计与试验设计结合起来，首先在农业、生物和医学方面得到应用，对于当时农产品的大量增长起到了关键的作用。五十年代起，这些方法又被应用到工业方面，也获得了极好的效果。六十年代以来，试验回归设计、系统辨识、模式识别等方法以及电子计算机的应用日益广泛，推动着科学技术更加迅猛地发展。

我国科技工作者愈来愈重视试验研究方法的应用，目前高等工科院校已经普遍设置了试验研究方法这门课程。本书就是为了帮助广大读者较全面地掌握试验研究方法的基本内容和为了适应教学的需要而编写的。

本书的内容包括科学思维方法、文献资料查阅方法、实验数据处理方法、抽样方法、试验设计方法，通过试验

或实际数据建立数学模型的方法、标本分类方法以及科技论文编写方法，特别是着重阐述了通过试验建立数学模型的方法。书中对于一些最新的研究方法也都分别作了一定的介绍。

本书的主要对象是理、工、农、医大专院校学生和专业科技工作者。但是在内容的阐述上，极力贯彻了由浅入深、由简及繁等编写原则，凡具有高中以上文化程度的读者都可以顺利地自学其中大部分内容。本书中也提供了大量有典型意义的实例，以便于初次接触试验研究方法的读者直接仿效，收到立竿见影的效果。通过反复实践能逐步加深理解，能将科学的研究方法逐步应用到更为复杂、更广阔的研究领域中去。

七十年代以来编者一直为冶金工程专业研究生、大学生、以及工程师、进修班学员开授本课程。本书就是在历次编写的讲义的基础上修改而成的。在本书中引用了国内外专著中的典型例题，并得到不少同志的大力支持，在此谨向各位专著作者和有关同志致以深深的谢意。

由于编者水平所限，书中缺点错误在所难免，诚恳地期待着专家和读者们的批评指正。

编著者

1988年2月

目 录

第一章	科学家成功的经验	(1)
第二章	文献资料工作	(10)
第一节	文献工作的作用	(10)
第二节	科技文献的种类和数量	(10)
第三节	科技文献检索方法	(17)
第四节	国际联机检索	(35)
第三章	试验误差及结果整理	(40)
第一节	误差理论	(40)
第二节	误差传递	(55)
第三节	可疑观测值的舍弃	(62)
第四节	试验结果图表表示	(65)
第四章	试样准备	(63)
第一节	要求	(63)
第二节	取样方法	(69)
第三节	样品处理	(76)
第五章	对比试验法	(79)
第一节	配对试验	(79)
第二节	分别对比试验	(81)
第六章	单因素试验	(85)
第一节	均分法	(85)
第二节	优选法	(88)
第三节	由试验结果建立数学模型	(95)
第四节	序贯试验法	(114)

第七章	多因素试验	(118)
第一节	正交设计	(118)
第二节	正交试验	(122)
第三节	极差分析	(124)
第四节	交互效应	(129)
第五节	方差分析	(134)
第六节	回归分析	(143)
第七节	参数拟合	(175)
第八节	均匀试验法	(181)
第九节	动态试验法	(184)
第八章	回归正交试验法	(197)
第一节	多元线性回归正交试验设计	(197)
第二节	试验安排	(205)
第三节	试验结果统计分析	(207)
第四节	交互效应与部分实施	(216)
第五节	快速登高法	(218)
第六节	二次回归的正交试验设计	(222)
第九章	回归旋转设计试验法	(242)
第一节	旋转性条件	(242)
第二节	二次旋转设计	(246)
第三节	二次通用旋转设计	(263)
第四节	二次旋转正交设计	(268)
第五节	三次旋转设计	(271)
第十章	多元多项式回归正交试验法	(279)
第一节	正交多项式回归	(279)
第二节	多元多项式正交试验法	(284)
第十一章	分类方法	(288)
第一节	分类	(288)
第二节	聚类分析	(289)
第三节	模式识别	(298)

第十二章	撰写科技论文	(307)
参考文献		(314)
附录		(317)
一、正态分布表		(317)
二、 t 分布表		(318)
三、 F 分布表		(319)
四、正交表		(325)
五、正交多项式表		(330)
六、均匀试验表		(336)

第一章 科学家成功的经验

科学家是人类改造自然的先驱，是人类智慧杰出的代表。他们为人类的进步作出了巨大的贡献。

科学家之所以成功是由于他们具有许多优异的品质：献身于人类的精神、超乎常人的好奇心和想象力、入迷状态的事业心和百折不挠、坚韧不拔的意志，因而能付出超人的劳动。

科学家之所以成功除了他们本身具有的优异品质之外，还由于他们具有优良的工作方法，这些工作方法促使他们的研究工作卓有成效。学习科学家这些优良的工作方法将有助于我们迅速成长，早日获得成功。根据许多科学家所走过的道路，大体可以归纳成以下几个方面。

一、努力学习

研究人员应具有高深的专业知识和雄厚的基础理论知识，这样才有可能在自己的专业或学科领域开拓新的疆界，成为一名科学家。

理论知识的主要来源就是学习。青年人有机会在学校里系统地进行学习，应该发奋努力，争取优异成绩。但是由于学校教育总是有限的，所以还要不断地在工作岗位上通过自学加深基础理论知识，扩大专业知识范围，学习新的科学技术，跟上时代的发展。

许多伟大的科学家都是学习成绩优异。牛顿18岁考入剑桥大学，22岁取得学士学位，25岁取得硕士学位，26岁就成了有名的教授。居里夫人高中毕业成绩特优，获得金牌，大学毕业同时获得物理硕士和数学硕士两个学位。原子物理学家卢瑟福大学毕业

以数学、物理双第一的优异成绩获得硕士学位。控制论的创始人、数学家维纳14岁上大学，18岁获博士学位，并通晓十国语言。李四光14岁就到日本留学。爱迪生主要靠自学。他给自己订的定额是：每天要读三本书。一生中他读书破万卷，并且能记住书中的要点。他如此贪婪地学习，使他成为世界上最伟大的发明家。

科学家往往是兴趣广泛的人。知识的多样化能使人们观点新鲜，脑子灵活。例如发明坦克的人并不是军械研究所的人员，而是一个思想活跃、知识广博的随军记者。

今天的科学技术飞跃地向前发展。在最近的十年里，科学技术的发明与发现比过去两千年的总和还要多，预计将来十年就能翻一番。新技术从发明到应用的周期也缩短了。新理论、新学说、新技术大量涌现。为了跟上科学技术发展的新形势，掌握国内外发展动向，许多科研人员经常阅读国内外杂志。大多数科学家发现，做索引卡片的方法很有用。在卡片上注明文章的出处，写出文章内容的简明摘要，以利于资料的积累、引证和重新学习。

读书的目的全在于应用，应用到自己的研究领域中去。读书时要注意独立思考，不要让头脑变成一个僵化的资料库。研究人员应养成一种习惯，把书上所言同自己的知识和实践结果相比较，找出相似之处、共同之点和差异所在，由此启迪新的思想，从而有所创见。

二、选好研究课题

选择课题时要勇于创新。科学研究就是应该标新立异。但在选择课题之前一定要认真地进行调查研究，要通过文献资料工作和实地考察找出对国家、对人民、对人类社会有重大作用的课题。

选择课题时，不能只顾眼前利益，还要看清长远的需要，看到它的重要意义。例如爱因斯坦的相对论，伽罗华的群论，麦克斯韦的电磁波理论，在当时看来好象是纸上谈兵、离奇古怪的东西，但过了十几年、几十年之后都在现实生活中得到了应用，并显示出巨大的威力。

发明染料的人曾是一个最喜爱鲜艳颜色的人，不论哪里有鲜艳的颜色他都要跑去观赏。他想如果这些鲜艳的颜色能够永远保持下来，该有多好！于是他进行研究，很快地发明了染料，给人们带来了幸福。看来选择课题可以根据自己的兴趣去进行。成功的科学家往往都是对自己最感兴趣的问题进行研究，他们被那象黑洞般具有极大魅力的课题所吸引住，一头扎进去，思想和精力都高度集中，专心致志达到入迷状态的境地，这样最易获得成功。

许多学者认为，边缘科学很值得人们去研究。边缘科学常常是无人区，最易取得新成就。四十年代美国著名数学家维纳创立控制论就是个典型，他抓住一切通讯和控制系统所共有的特点，创立了控制论这门独立的专门学科，现已发展成为系统工程，并在各个领域得到了广泛的应用。

三、大胆假设

假设是理性思维的一种重要形式，是科学研究中一种重要方法。除了一些偶然发现外，许多重大的发明和发现都是经过这段路程后才得到的。高斯说过：“没有大胆的假设，就没有伟大的发现。”

假说是联系实验事实和科学理论的桥梁，是科学发展的必要途径。根据假说，确定新实验、新观察的内容，从而导致新的发现与发明。科学发展的历史实际上就是一部充满着假说不断更替的历史。

因为假说只根据有限的科学理论和事实去推测和解释复杂的客观事物，所以实际上大部分的假说被证明是不完备的或者是错误的。当一种旧的假设被推翻时，新的假说便应运而生，取而代之。当我们证明了假说与事实不相符合时，就应立即修改原有假说。一旦被证明是错误的东西时，就应该坚决地将它抛弃。当假说一旦形成以后，就可能产生偏见，影响观察、解释和判断。防止这种倾向的办法就是要养成一种习惯，尊重客观。假说就是假说，未被反复证实以前，它不是真理。正如赫胥黎所说：“我要做

的是叫我的愿望符合事实，而不是试图让事实与我的愿望调和。你们要像一个小学生那样，坐在事实面前，准备放弃一切先入之见，恭恭敬敬地照着大自然指的路走，否则，就将一无所得。”实践是检验真理的唯一标准。

四、认真实验 细心观察

实验是证明假设的一种手段，判断某一假设的理论是否符合大量可观察到的事实，判断某一新的设想是否能够实现。

实验还有一个作用，就是观察迄今为止未曾观察到的新事实。

古时候科学研究的成果大都是一种原始观察材料经过统计归纳、判断、推理的结果。人们完全凭藉着自己的感官去直接观察自然现象。但是，由于人体生理结构的限制，人们对于宏观世界则视野不移，对于微观世界则不可及，而且大量的客观运动不可能直接由人们的感官去体验。因此，必须借助于科学实验，把自然过程放在最确实、最少受外界干扰的纯粹状况下进行，通过仪器设备进行检测，进行深入细致的观察。这就比较容易揭示某一事物的本质或其运动规律。

对实验的基本要求是：结果重现性好。不能重现的结果是不可靠的或不可信的。所谓重现性好也并非绝对值完全相同，一点不差，而是根据统计规律来判断的，是否在允许误差范围之内。为了真实反映客观实际情况，对实验质量应严格要求。做实验的时候，在技术要点上应该采取慎重的态度，认真地保持所规定的试验条件。因为决定实验质量的正是那些微不足道的、枯燥无味的、不胜其烦的细微末节的一些重复的事情。诸如观察、控制、测定、记录等等。如不耐心，不采取认真仔细的态度是得不到可靠的结果的，尤其在那些串联的复杂过程中，由于误差的积累，更可能什么规律也找不着。

实验时应该对各个环节有详尽的记录，这是一个基本而重要的规则。在实验进行之前就应该确定记录内容、选用记录方法（笔记、绘图、照像、拍电影、自动记录、信号储存等等）、设计好记

录表格。这一方面在数据整理时要用它，而且也供发现问题时从细节中找原因。

要注意实验过程中可能出现预料之外的现象。做实验时如果只注意到那些预期的结果，而忽视那些意外的现象，就可能丧失那导致新发现的良机。这些现象，初始尽管令人迷惑不解，但若能重复出现，则决非偶然，因而最可能导致意想不到的重要事实的发现。例如雷利测定氮气的密度，测定了几十个不同来源的氮气，从空气中用各种办法除去 CO_2 、 H_2O 、 O_2 以后所得的氮气和从各种化合物分解得来的氮气。既然都是氮气，其密度应该相同，不料由空气制得的氮气和由化合物分解所得氮气的密度竟然不同，前者为 1.2572g/l ，后者为 1.2505g/l ，相差似乎甚微，只有 0.0067 ，但经过数理统计分析，此差却远远超出可能产生的误差范围之外。因而说明前者与后者有着本质的差别。雷利重视而且强调了这一点，从而导致了惰性气体的发现。

在实验过程中要细心观察，要善于观察。所谓观察是指除了看见事物之外还要认识事物，即包括感官的和思维的两方面。首先必须注意这个实验中用仪器设备或其他手段展现出来的表观现象，准确读取各仪表给出的参数的量值，同时又有意识地寻找可能存在的特征，寻找与其他各事物之间的内在联系。寻找值得追踪的线索，这样观察才最有意义。

五、统计归纳 演绎推理

通过实验得到大量的数据，通过观察积累了大量的事实。应该将这些数据和资料进行整理、归纳和统计分析，这样才能将各个试验结果或各个客观现象串联起来，系统化，进行概括，得出结论。达尔文说：“科学就是整理事实，以便从中得出普遍性的规律和结论。”归纳法是发现新的规律的一种普遍应用的方法。

归纳法是以人们的观察和实验作基础，从部分事物的特性中概括出一般结论的推理方法。归纳法的根据常常是“黑箱”理论，它是在不明内在机制的情况下得出的某事物的运动规律的。这些规律并不一定能触及事物的本质，因而还有局限性，只在考察过

的范围是适用的。并且由于还有一些未知因素的影响，所以结论也就还有一定的片面性。总之，还不是普遍规律，还是经验性的东西，只知其然，而不知其所以然。例如，在观察了蒸气冲开壶盖之类的许多个别的事例之后，人们可以得出这样的结论：可以利用蒸气产生机械运动。根据这样的结论，人们可以造出蒸气机来。但是根据这样的结论并不能指导其他热工机械的发明，因为还必须解决蒸气为什么可以作功这个普遍性的问题。

归纳是从个别走向一般结论的去异求同的思维方法。演绎是从一般的概念、原理走向个别结论的思维方法。科学研究不但要为过去和现在作证明，而且要为将来作证明。科学若要有价值，就必须预言未来。我们必须根据过去的实验和观察进行推理，并要为未来作出相应的安排。

在科学研究中，人们往往从某些公理、定律、法则、理论或是学说出发，运用逻辑推理得出一批结论，然后又根据这些结论及原来的公理等，再运用逻辑推理又得出一批结论，如此下去，层层推理，往往可以得到比较深刻的结论或更为普遍的规律。演绎法被广泛地应用于天文、物理、数学以及其他科学的研究中。爱因斯坦利用逻辑推理——他自己所谓的思想实验——演绎出相对论。包括笛卡尔和爱因斯坦在内许多著名的科学家都对演绎法给予高度的评价和重视。

在科学研究中，归纳法和演绎法是十分重要的，而两者又是不可分割地联系在一起，互为前提，相互促进，在一定的条件下互相转化，推动着人们的认识不断地提高。1776年，德国天文学家提丢斯发现太阳和各行星距离的经验数据之比，呈现出以下规律，如果把数列0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192写下，显然从第三项起，后面的项是前面一项的两倍。然后把这数列的每项逐项加上4，我们就得到数列4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196。提丢斯和波得发现，这些数接近水星、金星、地球、火星、木星、土星到太阳的距离的比值。可是在28和196的位置上当时还没有找到对应的行星。1781年，英国天文学家赫歇尔发现天王星在196

的位置上。因此，根据提丢斯——波得定则，人们猜想在28的位置上也一定有行星未被发现。1801年新年晚上，意大利的天文学家果然发现在28的位置上有一颗新星。它被命名为“谷神星”。从1802年起在28的位置上又发现了智神星等许多小行星，后来人们才知道在28的位置上是小行星带，总共有一千多颗小行星。

在自然科学的统计归纳、演绎推理过程中，数学方法是一种重要的手段，它排除事物中一些不必要的因素，直接反映事物的根本所在，具体地、定量地揭示出事物的主要矛盾与各种矛盾间的制约关系。数学方法往往导致新理论、新概念与新原理的产生。电子计算机的出现与迅速发展，引起了科学研究的一场革命：许多科学的研究从定性描述进入了定量计算和分析阶段，甚至根据现有的资料数据进行计算便可得出结论，而不必进行试验。近二十年来，在一些用于工程设计为目的的试验手段已逐步被计算手段所取代了。计算不仅比实验更经济，更迅速，而且在某些情况下，实验手段不可能采用时，计算就成了唯一可行的手段。在许多研究领域，数学手段将愈来愈起到主要的作用。而从历史上看，许多著名的科学家都有很深的数学造诣，他们的伟大成就受益于数学不浅。

六、诱发灵感 抓住机遇

灵感和机遇是客观存在的现象和事实，不应该将它们划归于唯心论的范畴。它们在科学发展的过程中确实起了重要的作用。

当对某个问题进行了一段长时间的专注研究后，为了解决这个问题，你不停地冥思苦想，往往却百思不得其解。但当你暂时放下，转而去作其他的事时，可能一个新的想法突然来到，使你猛然醒悟，将你所想的问题解决了，真是“踏破铁鞋无觅处，得来全不费功夫”。人们因在先前这么长一段时间内竟然不曾想到而感到惊喜，认为这是突如其来的“灵感”，或者认为是“直觉”，是思想突然“开了窍”，不管怎样说，总之是突然之间想到了一条肯定的解决问题的线索。

阿基米德在久久想不出鉴定皇冠成份的办法时，干脆去洗个

澡，结果在浴盆里猛然想出了个办法来。笛卡尔著作中关于方法论，数学物理方程的一些基本概念，竟是一天夜里从三个不同的梦境中构思出来的。

“灵感”是人们认识过程中的一种质的飞跃，是智力的一种特殊表现形式。“灵感”的产生可能是由于大脑长期思索疲劳之后，突然放松一下得到了恢复，且提高了其功能。

如何诱发“灵感”呢？为了诱发“灵感”应对问题抱有浓厚的兴趣，对问题和资料进行长时间的考虑，高度集中注意力，摆脱分散注意力的其他问题或事情，特别是生活中的烦恼，要让所研究的问题占住一切时间和空间，而把其他问题全部挤出去。决不要分心，更不要中断，这样连续思考下去，一直达到饱和状态，即难以支持且再无进展的地步，然后干脆彻底放松一下，休息、娱乐或干别的事，造成一种身心爽快的时机，以诱发灵感的产生。与同事进行讨论，写报告，写论文，看杂志，学习新的知识也有利于诱发灵感。

“灵感”来无影、去无踪，因此必须用力捕获。一个普遍使用的好方法是随身携带笔记本，记下闪过脑际的有独到之处的新念头。爱迪生习惯于记下想到的每个新念头，不管这个念头似乎多么微不足道。爱迪生一生发明竟达两千多种，平均15天就有一件。这种随时记下新想法的方法在这里也起了很大的作用。

在科学研究工作中，机遇现象也是存在的。贝斯麦操纵反射炉，有一次因供给的燃料不足，生铁没有充分的熔化，操作失败了。心想下班算了，可一想，与其坐等报废，倒不如向炉中吹入空气，把炉壁搞干净一下。于是，他向未充分熔化的而被加热得彤红的生铁吹入空气。不料这样一来，生铁竟然开始熔化，当继续向炉内吹入空气，原来未充分熔化的生铁终于全部熔化，于是将此熔体进行浇铸。第二天一早，贝斯麦照例用铁锤去敲铸件，结果铸件与往常所发出的声音迥然不同，贝斯麦十分惊异。原来生铁中的碳由于吹入空气而脱去，生铁炼成了钢。贝斯麦于是发明了炼钢的方法。象这种偶然的发现人们称之为“机遇”。

科学发明中的机遇现象在历史上是屡见不鲜的。如硫化橡胶的发明、丘吉柯夫磨擦焊接法的发明、伽伐尼发现电流、奥斯特发明电磁效应，巴斯德发现免疫法等等。

“机遇”是在科学研究中可能发生的一种特殊事情，但是只有细心观察的人才能身受其惠，并不是什么“运气”。机会难得，要善于观察，要敏锐，要找出线索，还要解释线索，才能把握机遇。

七、及时发表

完成了研究工作，取得了成果，应该较快地写出报告或论文，争取发表，以推广出去，发挥作用。

编写报告或论文的工作，在研究工作结束前便宜于着手进行，以便能及早发现空白或薄弱的环节，而加以弥补，以完善研究工作。编写报告，撰写论文的过程能使认识进一步深化，有利于进一步研究工作的发展。