

高 等 学 校 教 材

环境统计学与 MATLAB应用

聂庆华 Keith C. Clarke 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

高等学校教材

环境统计学与 MATLAB 应用

Huanjing Tongjixue yu MATLAB Yingyong

聂庆华 Keith C. Clarke 编著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书为改进当前大学环境统计课程教学而设计,参阅欧美现有统计教程和 MATLAB 应用专著,结合作者在资源与环境领域工作实践编写。它不强调数学解题和定理证明,侧重于理解统计思想,秉承学即为用、便于应用的理念,借助计算机统计软件直接完成计算,解释计算结果。书中内容包括统计与环境学关系、MATLAB 与矩阵介绍、环境采样,以 MATLAB 为基础,系统地介绍了单变量统计、双变量统计与回归分析、多变量统计等经典统计内容。本书适合于应用统计学与 MATLAB 的初学者,在理解统计相关概念和原理的基础上,完成环境数据等专题的数据统计分析。为使读者顺利地理解本书内容,我们希望读者最好有一定的线性代数和概率统计基础。本书也可以作为高等学校非数学专业的其他学科统计应用的教材。

关键词:环境统计学 MATLAB 单变量分析 双变量分析 多变量分析

图书在版编目(CIP)数据

环境统计学与 MATLAB 应用 / 聂庆华, (美) 克拉克 (Clarke, K. C.)
编著. —北京: 高等教育出版社, 2010. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 027943 - 6

I. 环… II. ①聂…②克… III. 环境统计学-计算机辅助计算-软件包, MATLAB-高等学校-教材 IV. X11 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 224694 号

策划编辑 陈 文 • 责任编辑 董达英 封面设计 于文燕
责任绘图 尹 莉 版式设计 余 杨 责任校对 姜国萍
责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京鑫海金澳胶印有限公司

开 本 787 × 960 1/16
印 张 27.5
字 数 520 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 1 月第 1 版
印 次 2010 年 1 月第 1 次印刷
定 价 35.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 27943 - 00

序 言

良好的教科书是读者进步的阶梯,但纵便是良好的教科书有时也可能会误导或欺骗读者。我们学习了许多定律、公式、法则,它们准确、简洁地描述自然现象,因此我们认为它们是可信的。但是教科书中,很少讨论已被认为是失败的任何理论与实验。缺乏失败讨论的教科书可能误导读者,以为相关的理论与方法相当成熟;或者导致错误印象,以为对学科中错误或不确定性的讨论没有任何价值,或根本不存在错误或失败,只要按公式计算就能解决问题,所以不再对计算结果进行讨论或抱有怀疑。同样,作为环境数据处理手段的统计分析,无论是对观察与理解环境问题,还是模拟预测与控制环境系统都是必要的,但也是最容易欺骗我们,误导我们作出错误决策的工具。回避环境采样与样本特征,避开数据是否具有环境统计意义,单纯就数据进行统计计算是不明智的。因此,我们在环境统计理解上,不强求解题,而是着重环境数据理解。

本书描述了一些可用于采集和分析环境数据的经典统计方法;解释了这些方法的内容、使用前提和结果解释。我们希望能够引发读者去思考:如何采集环境数据?如何开始数据分析?如何理解分析结果?目的是引导读者利用 MATLAB 工具,理解统计原理和提高环境数据分析能力。本书写作过程其实也是作者自己学习与归纳的过程,从有机会在加州大学阅读到国外统计教程开始,历时三年,只是希望我们的教科书不再落后。有些资料可能太新,部分术语尚没有合适的中文词汇,但作者仍相信《环境统计学与 MATLAB 应用》会给读者带来帮助,这不仅源于它的新颖、简明和实用,也因为它的通俗、完整和清晰。本书适用于环境科学,在其他领域,如农业、生态、地理、地质、经济、商务、心理、医学、管理、工程等,也具有参考价值。

书中每个概念均经多次比照,每个运算也都反复操作,结果解释也经再三查证。该书不强调大量解题和定理的严格推导证明,只要求读者学习时:(1) 理解统计方法的思想。(2) 明白它们的假设条件和计算过程。(3) 借助 MATLAB,完成计算,并理解计算结果的统计意义。建议读者边阅读边在计算机上操作,通过实践来熟悉统计应用;借鉴书中的算例,完成日常的应用统计计算。本书也是一种查询工具,建议读者不要背书。有需要的时候,知道在书中查找就可以。我们还提供了每个术语的英文对照,读者可用 www.google.com 或 www.wikipedia.org 查询,以进一步理解这些术语。另外,www.mathworks.com 目前免费提供 trial 版的 MATLAB 软件包。作者相信本书清楚地阐明了经典统计思想的本质、运用相关统计方法的前提和如何解释结果,但仍认为它尚不是真实意义上的环境统计。

因为限于篇幅,本书没有进一步讨论时间序列分析、地统计学等问题。

为能顺利学习本书内容,我们希望本书的读者最好已经学习过线性代数和数理统计两门课程。

本书完成,首先要感谢我的导师,前西北大学地理系教授陈明荣和李治武先生多年重视数学方法应用的提示。感谢我的导师、中国农业大学土地资源林培教授。感谢南开大学和国家留学基金委员会的支持和提供机会。感谢美国加州大学 Santa Barbara 分校(UCSB)地理系,美国地理信息与分析国家中心(NC-GIA)Keith C. Clarke 教授和 Michael F. Goodchild 教授的邀请、帮助和指导。Phaedon Kyriakidis 教授是我学习 MATLAB 的启蒙老师,他的“Geostatistical Modeling of Spatial Data”课程引导我进入统计与 MATLAB 结合的领域。感谢 NCGIA 实验室的 Donald Janelle 教授,他真诚的微笑和讨论让我进步。感谢南开大学环境学院戴树桂教授,他专门抽出一个上午时间,和我讨论“环境鲁棒性定律”。感谢南开大学环境科学与工程学院朱琳教授在“环境鲁棒性定律”上的讨论与鼓励。在此之前,Keith Clarke 教授也已经和我讨论此定律近 4 个月时间。我们决定在此书中首次正式提出,供读者去讨论和改进。作为该书的合作者,Clarke 教授在写作的整个过程中,一直讨论着书中内容;在最后阶段,更是悉心审核和向 Mathworks 公司申请 MATLAB 数据使用许可;委托身边的中国访问学者 Ren Liucheng 和其他博士生协助翻译和修改。感谢 Ren Liucheng 先生提出的修改建议,让我们有机会修改和完善。感谢美国 Mathworks 公司同意使用 MATLAB 相关数据文件作为本书案例。

真诚感谢南开大学数学科学学院统计学系主任刘民千教授的悉心审稿与讨论。感谢高等教育出版社相关编辑老师的辛勤工作,尤其感谢高等教育出版社陈文老师的鼓励和支持,她让我学会去享受写作过程,不是写作结果。

谨以此书,作为教育部 1+1 青年骨干教师培训计划资助的真诚回报,真诚感谢曾经帮助过我的每一个人。感谢南开大学提供一个让我静心读书和思考的氛围;感谢王亚琼等同学在此书出版前尝试用作自学教材,及时提出疑问,让我有机会进一步完善。最后,真诚感谢父母、妻子和女儿的支持与鼓励。

聂庆华

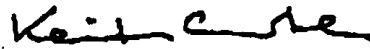
2009 年 11 月于南开园

Foreword

China has seen extraordinary economic growth since adopting the policies opening the economy over the last decades. This growth has been centered in particular cities and provinces, yet barely a single town or village in China remains untouched by the rising level of incomes that the growth has generated. However, along with uncontrolled growth comes environmental damage. Industrial processes invade the air, contaminate the soil and pollute the waters. Rapid urban growth, especially sprawl, causes loss of farmland, problems of disposal for sewage, chemical contamination of the food supply, invasive diseases, and many more contemporary ills. Wildlife and biodiversity, two of China's great fortunes, are threatened. Natural hazards that once threatened few, now threaten many. Changes have taken place that will impact the environment for centuries. While many have risen from poverty and sickness to health and prosperity, there is more than ever a need to take full account of our present day environmental problems, and to devise science-based solutions to them so that their impacts can be minimized, and the people as a whole benefit.

Environmental science is a young discipline in China, but its basic principle—that we are stewards of the earth and its resources for the generations of people yet to come—are common themes in Chinese history. The prudent leader ensures wealth and prosperity not just for now, but also in the future. To create a generation of scholars and scientists who can work tirelessly for China's environmental sustainability is no easy task. At the University level, there is a strong need for teaching materials that can be used for educating that new generation. This book is such a resource. It promises to the diligent reader access to all of the methods and techniques necessary to measure, monitor, assess, analyze and manage the environment using scientific methods and statistical rigor. It provides a hands-on means by which to use the popular MATLAB coding language to calculate and analyze environmental data. It lists, discusses and demonstrates a suite of statistical tests, methods and approaches that will equip the young scientist with the most up-to-date tools to work to understand and protect our environment. As we discover more and more that all things in this world are connected, and that all science is

international, then we hope that the impact of this volume will carry beyond the shores and mountains of China, and echo around the world. To the next generation of highly trained scientists, we dedicate this book. May their generation treat our planet far better than has ours.



Keith C. Clarke

Department of Geography,
University of California at Santa Barbara
2008-12-24

目 录

1. 环境统计学概念与原理	1
1.1 环境科学与工程基础	2
1.1.1 科学、工程与技术	2
1.1.2 环境科学基础	4
1.1.3 环境工程与技术	8
1.1.4 环境问题与环境管理	10
1.2 环境统计学概述	14
1.2.1 环境研究中的问题与模型	14
1.2.2 环境统计学及其作用	16
1.2.3 环境学中的统计实例	18
1.3 环境数据	19
1.3.1 数据定义与数据性质	19
1.3.2 环境数据测量层次	22
1.3.3 环境数据变换	24
1.3.4 获取有意义的环境数据	26
1.4 环境统计学的概率基础	28
1.4.1 概率的基本概念	29
1.4.2 概率与随机变量的概率分布	30
1.4.3 随机变量的数字特征	32
1.4.4 多元随机变量与分布	33
1.4.5 大数定律与中心极限定理	35
1.4.6 环境的确定性与概率性过程	38
1.5 环境统计学基本原理	38
1.5.1 统计学的基本概念	38
1.5.2 环境统计的本质与规则	43
1.5.3 环境鲁棒性定律	46
1.5.4 计算统计学及其环境应用	50
1.6 本书目的与内容	51
1.6.1 本书目的	51
1.6.2 本书的内容	51

2. MATLAB 与矩阵运算基础	53
2.1 MATLAB 概述	54
2.1.1 MATLAB 一般知识	54
2.1.2 MATLAB 语法与数据结构	56
2.2 MATLAB 的基本操作	60
2.2.1 MATLAB 脚本与函数	60
2.2.2 MATLAB 控制流	63
2.2.3 可视化图形工具简介	64
2.2.4 MATLAB 统计工具箱	65
2.3 矩阵运算基础	66
2.3.1 矩阵的基本概念	66
2.3.2 特征方程	70
3. 环境采样	73
3.1 采样的基本概念与原理	74
3.1.1 采样及采样设计	74
3.1.2 采样过程与步骤	75
3.1.3 确定样本大小	76
3.1.4 采样误差来源	79
3.2 概率采样与非概率采样	80
3.2.1 概率采样	80
3.2.2 非概率采样	83
3.3 环境采样	85
3.3.1 环境采样的基本原理	85
3.3.2 计算合理的环境样本大小	87
3.3.3 环境空间采样框架与采样方法	89
3.3.4 环境采样的规程与质量控制	91
3.3.5 环境采样设计的要点	92
3.3.6 环境采样中的基于设计与基于模型的方法	97
3.3.7 Pierre Gy 采样理论与环境采样应用	99
3.4 面向应用的环境采样与样本测试	100
3.4.1 环境科学与工程再理解	100
3.4.2 面向具体应用的环境采样	103
3.4.3 实验室之间样本测试数据偏差与精度比较	105

4. 描述性与探索性单变量统计分析	109
4.1 单变量描述性统计	109
4.1.1 描述性统计概述	109
4.1.2 以图形为基础的描述性统计	110
4.1.3 以数值为基础的描述性统计	114
4.2 离散型变量的理论分布	122
4.2.1 Bernoulli 分布与二项分布	123
4.2.2 Poisson 分布	125
4.2.3 几何分布与超几何分布	127
4.2.4 离散型均匀分布	129
4.3 连续型变量的理论分布	129
4.3.1 连续型均匀分布	129
4.3.2 正态分布	131
4.3.3 对数正态分布	133
4.3.4 指数分布	135
4.3.5 Gamma 分布	136
4.3.6 t -分布	138
4.3.7 F -分布	139
4.3.8 χ^2 -分布	140
4.3.9 Weibull 分布	142
4.3.10 Beta 分布	145
4.3.11 其他理论分布	146
4.3.12 disttool 与各种概率分布之间的关系	148
4.4 生成随机数	151
4.4.1 随机数生成方法	151
4.4.2 MATLAB 中的随机数生成	153
4.5 探索性单变量分析	156
4.5.1 探索性数据分析	156
4.5.2 探索性单变量数据分析	156
4.5.3 异常值判别	163
5. 推断性单变量统计分析	168
5.1 参数估计	169
5.1.1 参数估计基本概念	169

5.1.2 Cramér - Rao 不等式与参数估计定理	172
5.1.3 参数估计方法	174
5.2 点估计	179
5.2.1 点估计概念与方法	179
5.2.2 再论样本大小选择	184
5.3 区间估计	185
5.3.1 区间估计概念与方法	185
5.3.2 单样本与双样本区间估计	187
5.4 经典假设检验	188
5.4.1 经典假设检验原理	189
5.4.2 经典假设检验方法	193
5.4.3 方差分析	203
5.5 p-值假设检验	209
5.5.1 p -值假设检验原理	209
5.5.2 p -值检验应用	211
5.6 非参数估计与检验	212
5.6.1 非参数统计概述	212
5.6.2 非参数估计	214
5.6.3 非参数检验方法	217
6. 双变量统计与回归分析	229
6.1 探索性双变量分析	230
6.1.1 双变量分布图形表示	230
6.1.2 双变量期望与变换	233
6.2 协方差与相关系数的计算和验证	235
6.2.1 协方差计算	235
6.2.2 相关系数计算与验证	237
6.3 经典线性回归分析与预测	247
6.3.1 线性回归模型的一般形式	248
6.3.2 经典线性回归计算	249
6.3.3 线性回归方程及残差分析的 MATLAB 实现	257
6.3.4 经典线性回归结果评价	262
6.3.5 线性回归结果的统计应用	265
6.3.6 aoctool 函数	266
6.4 双变量回归分析的扩充	270

6.4.1	多线性回归分析	270
6.4.2	鲁棒性回归分析	276
6.4.3	逐步回归分析	279
6.4.4	岭回归分析与局部最小二乘回归分析	285
6.4.5	多项式(曲线)回归分析	288
6.4.6	广义线性模型	293
6.5	非线性回归分析	296
6.5.1	非线性回归模型	296
6.5.2	混合效应模型	299
6.5.3	回归树	300
7.	多元统计分析	305
7.1	描述性与探索性多元分析	306
7.1.1	多元数据与多元分析	306
7.1.2	多元数据可视化	309
7.1.3	多元数据分布	314
7.1.4	多元数据显著性检验	317
7.1.5	MATLAB 中的多元统计量比较分析	320
7.2	减小多元数据维度:线性方法	326
7.2.1	多元线性维度分析方法比较	326
7.2.2	主成分分析原理与方法	327
7.2.3	MATLAB 中主成分分析的实现	332
7.2.4	因子分析	340
7.3	减小多元数据维度:非线性方法	344
7.3.1	多维标度分析概述	344
7.3.2	经典多维标度分析	346
7.3.3	非度量多维标度分析	349
7.3.4	Procrustes 分析	354
7.4	判别分析	355
7.4.1	分类与判别分析概述	355
7.4.2	判别分析方法与准则	357
7.4.3	MATLAB 中判别分析的实现	363
7.5	聚类分析	368
7.5.1	聚类分析概述	368
7.5.2	谱系聚类分析原理	370

7.5.3 以优化方法为基础的聚类	381
7.5.4 聚类结果评价	386
7.6 典型相关分析	388
7.6.1 典型相关分析概念与原理	388
7.6.2 MATLAB 中典型相关分析的实现	390
 附录 1 综合作业	 394
附录 2 希腊字母及其读音	396
附录 3 MATLAB 主要统计函数	397
参考文献	420
后记	427

1

环境统计学概念与原理

学习本章后，
你将了解：

- ① 科学与工程方法；环境科学、环境工程和环境管理的基本思想与问题。
- ② 环境研究中存在的问题；环境统计学及其作用，环境统计学应用步骤。
- ③ 环境数据的类型与特点，以及如何确保得到有效数据。
- ④ 概率论与统计学的基本概念和原理，计算统计学的概念和特点。
- ⑤ 环境统计的本质、特殊性与规则，异常值的环境意义和环境鲁棒性定律。

数据处理是环境信息学的中心，环境数据分析有效的前提是可靠的数据质量。数据处理中，流传着“garbage in and garbage out”。没有人希望数据处理后的结果是垃圾，但是我们时常忽视去怀疑，甚至也没有标准去判断，待处理的数据是否是垃圾，而总是习惯于相信自己的分析结果是准确的。作为环境信息学体系中的重要内容，环境统计学将恰当地弥补环境数据处理中的上述缺憾，提供分析环境数据、获取环境信息的有效工具。在追求效率的时代，让我们陷入麻烦的通常并非是未知的事物，而是那些我们目前虽知道但并非确切知道的事情。环境数据也充满了不确定性，统计结果可能误导我们的环境决策，因此，正确的统计思维非常必要。只看数据本身，忽视环境特征，可能得到毫无意义的统计结果。记住，环境统计的目的不是数值，而是去理解和领悟环境本身。

本章从科学与工程原理开始，在熟悉环境科学、环境工程与环境管理等知识基础上，理解环境统计学的概念与原理；解释环境科学问题的定量特征，介绍数

据与模型作用、数据类型、概率与统计基础,帮助初学者建立环境学与统计学之间的联系,为理解后续章节提供基本的环境与统计知识。最后,结合环境数据特点与经典统计学的基本假设,提出环境鲁棒性定律,建立环境数据与经典统计学之间的联系。

1.1 环境科学与工程基础

环境统计旨在理解和解决环境问题,不是单纯的数学计算。要理解环境统计,有必要先明白环境科学与工程是什么。只有站在合理高度,明白科学家能做什么和不能做的,不满足于对环境科学与工程知识的一知半解,才能有效地理解环境统计分析及其结果。否则,纵使有好的统计分析方法,也可能因为误用,得出错误结论。事实上,统计数据常常会说谎,环境统计也不例外。因此,面对环境统计结果需要运用环境专业知识,谨慎地解释,才能得出正确的结论。

1.1.1 科学、工程与技术

1. 科学

科学(science)的目标是追求真理,理解客观世界如何运转。科学研究是使用可测量数据对世界进行描述的人类活动领域;科学研究尝试去发现自然秩序,从而预测世界。科学通过描述观测数据之间存在的相互关系,以假设实验和推理解释客观世界。因此,科学研究首先是提出问题,即识别有待调查研究的问题。观测即是采集数据,测量事实。大多数情况下,需要重复观测或测量,才能确认科学数据或事实。科学研究目标不是事实本身,而是发现客观世界的普遍规律,提出新思想、原理或模型,旨在:① 建立事实之间的联系,并确切地解释事实;② 有效地预测客观世界。注意,科学不是简单的技术,也不是技术发明。

面对特定问题,科学家可能先提出科学假设,即客观世界的各种可能或假定。科学假设可接受的前提是:① 能解释科学数据和现象。② 可做出预测,经得起进一步试验检验。检验假设的方法之一是开发模型。如果来自不同科学家的多种试验,均支持某种特定假设,则一般而言该假设就是科学的理论。科学理论包括科学思想、原理或模型,它们有大量证据支持,能够使用被广泛接受的数据和定律进行解释。科学理论可以用于联系和解释先前以为没有关系的事实。注意,有些非科学家常使用“科学理论”这个术语,这些“科学理论”实际是有待验证的假设。科学研究的重要结果之一是发现自然规律。科学定律是描述客观世界中,反复发生事件的普遍规律,且其描述的事件不应该存在例外。

由概念开始,科学方法(scientific method)通过有效地组织概念,描述客观对象;以描述为基础,进行假设;用公式表示假设,形成模型;证实模型,提炼出

定律和发展出理论。因此,科学方法的核心是观测、理解、预测和控制。科学方法试图回答:① 什么是有待回答的客观世界问题? ② 是否有已知相关事实和数据? ③ 需要采集哪些新数据? 如何采集数据? ④ 采集数据后,是否可用公式表达科学定律或模型? ⑤ 如何提出科学假设,解释数据和预测新事实? 这些假设是否是最简单、最合理的假设? ⑥ 进一步检验假设的新试验是什么? 如何证明科学假设是科学理论? 遵循从数据,到假设、定律,再到理论的途径,可以多种途径获得新的科学发现。在科学研究上,直觉、想象和创造力也是重要的。科学家可以有臆想、偏见或信仰,再通过科学试验去检验这些思想或假设。

科学方法是频繁用于描述科学研究行为的术语,意指解决科学问题的正确途径。很遗憾,这样的解释似乎暗示,科学方法能对所有的科学问题提供答案。由于科学问题千差万别,实际解决问题的方法也是多种多样。因此,科学态度(scientific attitude)比科学方法更加重要。科学态度是指科学家的心态,包括:① 具有高层次的研究动机,包括简单的好奇心。② 具备人道主义精神,即理解科学研究服务于人类的本质。③ 对实验结果保留着健康的怀疑态度。不管研究结果如何,成功的科学家普遍对真理保持着坚定的渴求。

科学家梦寐以求、希望理解的许多自然过程和结构(模式),是受多种变量(因子)影响的。理论上,科学家可以采用控制试验的方式研究一些变量的影响。通常,有两种变量分析方式,即:① 试验组。被选变量以已知方式变化,试验各种可能变化的结果。② 控制组。被选变量保持不变,对照分析试验组的结果。不过,环境科学中,纵使这样的试验也是很难的,因为多数待调查的环境问题包含大量交互作用的环境变量,很困难或不可能完成有意义的控制试验。

面对科学结果的有效性证明,科学家能做的只有两件事情:① 证伪。② 以概率或确定性为基础,建立特定模型、理论或定律。科学家自己不能证明他们的理论、模型和定律是绝对正确的。当人们说,没有或已被“科学证明”,实际是一种错误的暗示,误导大家去相信:科学产生了绝对证据或确定性。实际上,任何科学理论、模型或定律都包含不确定性。科学家也与普通人一样,有个人偏见和信仰,这些都将是有意或无意地影响科学的客观性。严谨的科学过程,目标是尽可能减少不确定性和主观性。正是因为需要高标准的证据,科学才是理解客观世界、获得可靠知识的最好方式。

此外,科学可以分类为:前沿科学与共识科学。前沿科学是:① 新的科学突破;② 在检验数据、假设和模型的有效性问题上,科学家之间依然存在争论。因此,前沿科学是没有得到广泛验证与认同、具有争议的科学。争议的焦点往往集中在科学数据的意义与准确性和不同假设的有效性。环境科学属于前沿科学,充满争议。共识科学中,数据、理论和定律非常可靠,被该领域的科学家广泛接

受。但是,科学历史证明,随着新信息和新思想的引入,某些科学共识也可能被改变或被颠覆。

2. 工程

工程与科学不同,科学目标是理解自然世界,工程侧重于制造自然界中不存在的设施。工程是应用科学知识,去设计和建造工具与机械,以完成某种特定任务。因此,工程是以满足人类需要为目标,应用基本科学原理,完成材料、结构、机械、设备、系统与过程的设计和实现;在特定操作条件下,以模拟为基础,预测工程项目的行为,安全地达到预期目标。

工程(engineering)是历史悠久的领域,从中国古长城为代表的早期建筑工程,到现代航空与航天工程、军事工程、化学工程、电子工程、机械工程、计算机工程、分子工程、纳米技术和环境工程,工程师们借助他们的数学、专业和经验知识,采用模型,找到潜在问题的合适解决方案。工程师也需要使用原型、尺度模型、模拟或破坏性检验等,预测他们的设计如何达到产品规范,其中计算机在现代工程中所起的作用越来越重要。

3. 技术

技术(technology)与科学容易混淆,现代技术与科学也没有明显的区别,所以,我们常说科学技术。严格地,技术是工匠应用于特定目的的系统知识,制造新工具或设施,满足人类需要。与科学不同,技术在人类文明中更普遍存在,科学却没有在某些古代文明中出现或发展起来。

当前,高新技术在科学研究中所起的作用更加重要。高技术(hightech)是指从事于新产品的设计、开发和推广应用,或通过科学与技术知识的系统应用,革新制造过程。高新技术在定义上,有一定的标准。例如,美国政府是以产品或制造过程中的研发(R&D)比例为依据,来确认产业是否属于高技术领域。高技术有市场不确定、技术不确定、高风险和有限竞争等特点,所以高技术不意味着一定能带来大量经济效益,也不意味着适合于普遍推广。

1.1.2 环境科学基础

1. 环境与环境科学

Albert Einstein 说,环境是我之外的任何事情。他似乎暗示,环境科学研究领域非常之大,只要是我之外的问题,就是环境问题。环境经常相对于一个主体,该主体可能是人、动物、植物、建筑、城市、地球,甚至一个星系,然后围绕或影响着这个主体的所有对象、物质、能量和过程,都构成该主体的环境。但是,我们今天所说的环境科学并不研究任意主体的全部环境,而只是研究对人类有重要影响的部分环境。因此,与地理环境、地质环境和生态环境有本质区别,环境科学面对的环境只是对人类健康有影响或被人类关注的那部分环境。