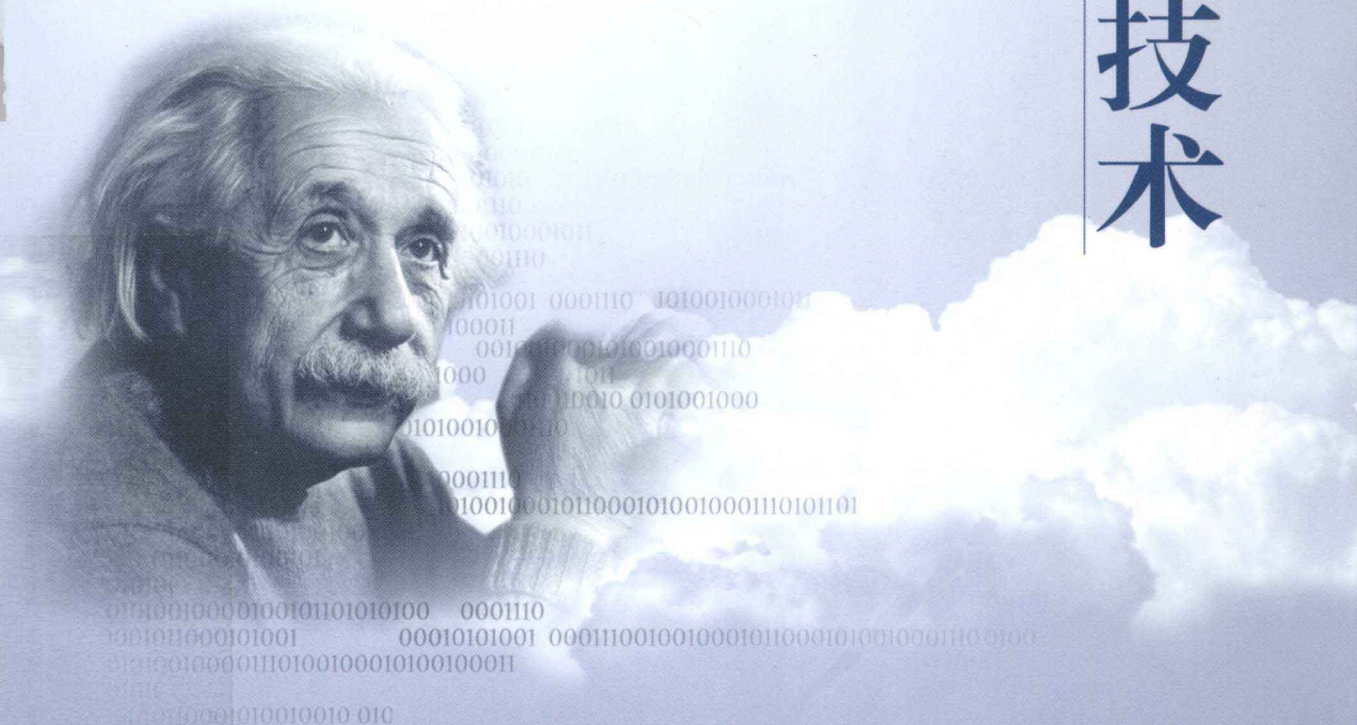


Natural Science and Technology  
Research Methods

主编 吴重庆  
《自然科学与技术研究方法》编委会

# 自然科学与技术 研究方法



北京交通大学出版社  
<http://press.bjtu.edu.cn>

# 自然科学与技术研究方法

《自然科学与技术研究方法》编委会

主编 吴重庆

北京交通大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

进入 21 世纪, 创新人才的培养已经成为强国的紧迫任务, 科学技术研究人员的创新能力成为创新型国家的基础。本书试图以科学发现与技术发明的历程为线索, 探索创新的规律, 寻求创新的方法, 启迪学生的创新思维, 从而达到加强创新人才培养的目的。

本书以物理学、光学与光学技术、生物学与生物技术, 以及材料科学与技术为依托, 结合国家科学与技术发展政策, 并结合专业教师的创新体会, 避免抽象说教式空谈, 阐述了科学与技术的研究方法, 是“活”的教学。本书共分 4 章: 第 1 章为科学发现与技术发明概述, 包括科学与技术的概念、相互关系、选题及发展历程; 第 2 章为作为一门科学, 现代科学(物理学、光学、生物学、材料科学)的研究方法, 包括归纳法、演绎法及计算机数值计算方法等 3 种方法; 第 3 章为新技术研发方法, 包括技术演绎法、移植法、交叉法、螺旋上升法、逆向思维法、计算机辅助设计、仿真与数字化方法等 6 种方法; 第 4 章为上述几个领域的未来课题。

本书不仅可供上述相关专业的学生使用, 也可结合其他领域科学与技术的研究实例, 供其他从事自然科学与工程技术领域研究人员使用。

版权所有, 侵权必究。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

自然科学与技术研究方法 / 吴重庆主编. —北京: 北京交通大学出版社, 2012. 2  
ISBN 978 - 7 - 5121 - 0897 - 4

I. ① 自… II. ① 吴… III. ① 自然科学 - 研究方法 IV. ① N3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 013852 号

责任编辑: 吴嫦娥

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010 - 51686414 <http://press.bjtu.edu.cn>

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编: 100044

印刷者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 × 230 印张: 18 字数: 450 千字

版 次: 2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5121 - 0897 - 4/N · 8

印 数: 1 ~ 1 000 册

定 价: 39.00 元

---

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。  
投诉电话: 010 - 51686043, 51686008; 传真: 010 - 62225406; E-mail: [press@bjtu.edu.cn](mailto:press@bjtu.edu.cn)。

# 《自然科学与技术研究方法》编委会

主编 吴重庆

编委 (排名不分先后)

高 瞻 何金生 江 红

梁春军 李政勇 刘 博

邵双运 盛新志 张 斌

# 前 言

进入 21 世纪, 创新人才的培养已经成为强国的紧迫任务, 科学技术研究人员的创新能力成为创新型国家的基础。本书试图以科学发现与技术发明的历程为线索, 探索创新的规律, 寻求创新的方法, 启迪学生的创新思维, 从而达到加强创新人才培养的目的。

我们知道, 抽象地空谈研究方法没有任何实际的意义, 那种“言必称希腊”、或者在故纸堆里去寻找科学与技术研究方法的做法, 其实对学生的创新思维并没有多大的裨益, 甚至容易导致厌学情绪, 所以讲述科学与技术的创新方法, 必须以一定的学科背景作依托。本书以物理学、光学与光学技术、生物学与生物技术, 以及材料科学与材料制作加工技术的发展为依托, 结合国家科学与技术发展的政策, 并结合从事上述专业教学的教师在科研活动中具体的创新体会, 来阐述科学与技术的研究方法, 是“活”的教学。当然, 这些研究方法的应用, 并不局限于这 4 个领域, 它可以毫不费力地推广到其他自然科学与技术领域。因此, 本书不仅可供物理学、光学与光学技术、生物学与生物技术、材料科学与技术相关专业的学生使用, 也可在结合其他领域科学与技术研究实例的基础上, 供其他从事自然科学与工程技术领域的研究人员使用。

当代的科学技术研究, 已经成为一种广泛的社会活动, 拥有一支庞大的科研队伍, 个人的研究方法五花八门, 有的“纯属偶然”, 本书不可能完全概括。本书在选材上, 仅仅选用了科学探索的三种基本方法和技术发明的六种基本方法。为了使学生更容易理解这些方法, 在本书前一部分内容里还对科学技术的概念、相互关系、选题及发展历程做了简要的阐述; 在本书后一半部分内容, 对于科学技术的未来发展做了阐述, 这样就形成了一个整体。因此, 本书共分 4 章: 第 1 章为科学发现与技术发明概述; 第 2 章为作为一门科学, 现代科学(物理学、光学、生物学、材料科学)的研究方法, 内容包括归纳法、演绎法及计算机数值计算方法等 3 种方法; 第 3 章为新技术研发方法, 内容包括技术演绎法、移植法、交叉法、螺旋上升法、逆向思维法、计算机辅助设计、仿真与数字化方法等 6 种方法; 第 4 章为上述几个领域的未来课题。

本书由十位老师共同编写, 其中第 1 章的 1.1 节与 1.3 节由吴重庆编写, 1.2 节由盛新志编写, 1.4 节由邵双运编写, 1.5 节由何金生与江红编写, 1.6 节由刘博编写; 第 2 章的 2.1 节由吴重庆与刘博编写, 2.2 节由李政勇与刘博编写, 2.3 节由何金生与江红编写; 2.4 节由梁春军编写; 2.5 节由何金生与江红编写; 第 3 章的 3.1 节与 3.5

节由李政勇编写；3.2节由何金生与江红编写；3.3节由盛新志、何金生与江红编写，3.4节由高瞻编写，3.6节由邵双运编写，3.7节由张斌、何金生、江红等共同编写；第4章的4.1~4.3节由高瞻编写；4.4节由何金生与江红编写；4.5节由刘博编写。最后，由吴重庆进行统稿，并对文体与表述做了适度的修改；张斌还负责了课程网站建设；吴淑慧做了许多文字工作；学校教务处、学院教学科的老师做了很多具体工作。在此一并表示感谢。

**编 者**  
**2012年6月**

# 目 录

绪论 .....	(1)
参考文献 .....	(3)
<b>第1章 科学发现与技术发明概述</b> .....	<b>(4)</b>
1.1 科学与技术的概念 .....	(4)
1.1.1 “科学”的概念 .....	(4)
1.1.2 “技术”的概念 .....	(8)
1.2 科学和技术的紧密联系 .....	(10)
1.2.1 科学和技术的起源 .....	(11)
1.2.2 两个传统 .....	(12)
1.2.3 相互的推动作用 .....	(13)
1.2.4 形成紧密联系 .....	(14)
1.2.5 结论 .....	(16)
1.3 科学与技术研究的选题 .....	(17)
1.3.1 科学研究的选题——寻找未知世界 .....	(17)
1.3.2 技术与研究的开发的选题 .....	(23)
1.3.3 从科学发现到技术发明再到应用的科研过程——创新 .....	(24)
1.4 光学和光学技术的发展历程 .....	(29)
1.4.1 光学发展史略 .....	(30)
1.4.2 光学技术发展简史 .....	(37)
1.5 生物学和生物技术的发展历程 .....	(59)
1.5.1 生物学的历史 .....	(60)
1.5.2 生物技术发展历史 .....	(77)
1.6 材料科学与材料制造加工技术的发展历程 .....	(82)
1.6.1 材料制造加工技术与人类文明的发展 .....	(82)
1.6.2 材料技术的应用与社会进步 .....	(86)
思考题 .....	(92)
参考文献 .....	(93)

<b>第2章 自然科学的研究方法</b> .....	(96)
引言 .....	(96)
2.1 从实验到假说到证实——归纳法 .....	(97)
2.1.1 从实验到定律——归纳法 .....	(97)
2.1.2 归纳法的前提 .....	(98)
2.1.3 归纳法中数学关系的获得 .....	(99)
2.1.4 假说与假设 .....	(103)
2.1.5 证实与知识体系形成 .....	(105)
2.2 演绎——科学预言 .....	(108)
2.2.1 从归纳到演绎 .....	(108)
2.2.2 演绎法在理论体系形成中的作用 .....	(109)
2.2.3 从假说到科学预言——演绎法 .....	(112)
2.2.4 演绎法的一般步骤 .....	(116)
2.2.5 演绎法的前提条件 .....	(117)
2.2.6 演绎中逻辑推理的基本形式 .....	(118)
2.2.7 演绎法在化学学科中的应用 .....	(120)
2.3 假说—演绎法在生物学研究中的应用 .....	(121)
2.3.1 假说—演绎法的概念 .....	(121)
2.3.2 假说—演绎法的一般流程 .....	(122)
2.3.3 假说—演绎法在生物学研究中所涉及的具体研究方法 .....	(125)
2.3.4 假说—演绎法在生物学研究中的应用举例 .....	(137)
2.4 科学研究中的计算机数值计算方法 .....	(140)
2.4.1 科学研究方法中的理论研究, 实验研究和计算机仿真研究 .....	(140)
2.4.2 计算研究方法的特点 .....	(142)
2.4.3 数值计算工具 .....	(143)
2.4.4 数值计算方法在光学研究中的应用举例 .....	(144)
2.4.5 计算机数值计算方法研究具体问题的一般步骤 .....	(159)
2.4.6 计算机数值计算方法的局限性 .....	(160)
2.5 数值计算方法在生物学研究中的应用 .....	(161)
思考题 .....	(164)
参考文献 .....	(165)
<b>第3章 新技术研发方法</b> .....	(168)
3.1 技术演绎法 .....	(169)



3.1.1	技术演绎法研发的案例 .....	(169)
3.1.2	技术演绎的过程 .....	(178)
3.1.3	技术演绎的途径 .....	(178)
3.1.4	技术演绎的层次 .....	(180)
3.2	技术演绎法在生物技术研发中的应用 .....	(181)
3.2.1	第一代测序技术 .....	(182)
3.2.2	第二代测序技术 .....	(183)
3.2.3	第三代测序技术 .....	(186)
3.3	移植法 .....	(189)
3.3.1	技术移植的必要性 .....	(189)
3.3.2	技术移植的可能性 .....	(194)
3.3.3	技术移植的途径 .....	(195)
3.3.4	技术移植的层次 .....	(197)
3.3.5	技术移植的知识产权问题 .....	(197)
3.4	交叉法 .....	(199)
3.4.1	交叉法的形成 .....	(199)
3.4.2	交叉法的概念 .....	(206)
3.4.3	对我们的启示 .....	(208)
3.5	螺旋上升法 .....	(210)
3.5.1	螺旋上升法 .....	(210)
3.5.2	螺旋上升法案例分析 .....	(211)
3.5.3	螺旋上升法中临界点的把握 .....	(214)
3.6	逆向思维法 .....	(215)
3.6.1	逆向思维的概念 .....	(215)
3.6.2	逆向思维的特点 .....	(216)
3.6.3	逆向思维的三大类型 .....	(217)
3.7	计算机辅助设计、仿真与数字化方法 .....	(222)
3.7.1	计算机辅助设计与仿真方法简介 .....	(223)
3.7.2	计算机辅助设计与仿真方法在光信息技术中的应用 .....	(225)
3.7.3	模拟光学系统的数字化方法 .....	(229)
3.7.4	计算机在分子模拟技术和药物设计中的应用 .....	(232)
3.7.5	计算机辅助设计与仿真的局限性 .....	(233)
	思考题 .....	(234)

参考文献 .....	(234)
<b>第4章 未来的主要科学和技术的研究领域 .....</b>	<b>(239)</b>
4.1 未来的研究领域 .....	(239)
4.2 爱因斯坦和霍金的思维方法 .....	(241)
4.2.1 背景知识 .....	(241)
4.2.2 爱因斯坦的思维方式 .....	(242)
4.2.3 霍金的思维方式 .....	(243)
4.2.4 小结 .....	(245)
4.3 光学与光学技术的未来研究领域 .....	(245)
4.3.1 太阳能技术 .....	(245)
4.3.2 光子计算机 .....	(248)
4.3.3 光存储 .....	(254)
4.3.4 新波段开发 .....	(257)
4.4 未来生物技术 .....	(265)
4.4.1 转基因食品 .....	(265)
4.4.2 基因工程药物 .....	(265)
4.4.3 基于干细胞的人体组织工程技术——干细胞治疗 .....	(266)
4.4.4 新一代工业生物技术——生物质能利用技术 .....	(268)
4.5 材料科学与技术发展前景 .....	(268)
4.5.1 稀土材料 .....	(269)
4.5.2 高分子材料 .....	(270)
4.5.3 复合材料 .....	(271)
4.5.4 发展前景 .....	(273)
思考题 .....	(274)
参考文献 .....	(274)
后记 .....	(278)

# 绪 论

进入 21 世纪，综合国力的竞争，主要是人才的竞争；而人才的竞争，主要是具有创新能力的人才竞争。大学作为人才培养的主要基地，尤其是“211”大学，责无旁贷地必须承担创新人才的培养重任。许多大学已经采取了多种方法，加强人才创新能力的培养。本书是从科学研究与技术发明、技术革新及推广应用的角度，探索它们的规律，寻求它们的方法，启迪学生的创新思维和加强创新人才的培养。

科学研究与技术发明有没有规律？有没有方法可循？

尽管历史上的科学发现与技术发明具有很大的偶然性，但是建筑在现代科学基础上的新科学发现与技术发明，已经不完全是随机的，无章可循的。庞大的研发队伍每年承担了大量的科研项目，我国在 2005 年的专业技术人才约有 5 400 万，2015 年达到 8 800 万<sup>[1]</sup>。2008 年自然科学基金项目仅面上就达到 9 000 项<sup>[2]</sup>。如此庞大的科技队伍从事如此众多的科研项目研究，日复一日，年复一年，必将呈现出一定的规律性，依照此规律也能够找到一定的创新方法。

显然，科学发现与技术发明的规律，既不可能像物理定律那样确定，也不可能像数学计算那样准确。我们不可能发明一种机器或者编制一个算法，使得科学发现与技术发明如同母鸡下蛋一样，一天一个。但是，从前人的科研经历中总结一定的规律，借鉴他们的经验，避免重复他们的弯路，对于同学们成为创新人才仍然有一定的指导意义。

谈到科学发现与技术发明的规律，不能离开具体的研究对象。我们这门课程的目的，就是以物理学以及其中的光学与光学技术、生物学与生物技术、材料科学与材料制作加工技术等不同类型的学科分支与技术门类作为研究科学发现与技术发明规律的载体，研究一下这些学科门类发展进程中的一些规律，探索相关的研究方法，从而达到启迪学生的创新思维、提高学生创新能力的目的。虽然本书是结合上述几个学科进行的，但是书中所介绍的原理与方法对于其他学科领域也有举一反三的作用，其应用并不局限于这些学科。

另一个值得注意的问题是，人们的科学与技术的研究活动，可以分为整个社会的科

学活动和以个人或者一个研究组的科技研究活动两个层面，前者可以称为宏观科技研究，后者称为微观科技研究活动。二者虽然有紧密的联系，但是在方法上存在一定的区别。宏观的科技研究规律，并不一定适合于微观的科研活动。

本书共分4章，第1章为预备知识，就是在讲授具体的科学发现与技术发明的方法之前，首先对于科学发现与技术发明的一些基础知识做一些简要的介绍，以备为今后的学习打下一定的知识基础，其中包括：①按照知识体系构造的科学技术的概念；②详细探讨了科学与技术的相互促进作用，包括科学对于技术的推动作用、新技术手段对于科学发展的推动作用等；③结合国家中长期科技发展规划纲要，从宏观的层面介绍科学与技术的选题，尤其是光学与光信息科学的选题；④这一章的最后3节，分别介绍了光学与光学技术以及光信息科学与技术、生物科学与生物技术、材料科学与材料制作加工技术的发展史略。学习这些科学与技术的发展史，其目的在于使学生能够对该学科发展中的科学与技术问题有一个初步了解，从中可以体会到研究规律与研究方法的端倪，以便为学生学习科学与技术的研究方法打好基础。

本书的第2章讲述以上述四门学科为例的自然科学的主要研究方法。其内容包括：①科学研究的归纳法——从实验到假说到证实；②用于科学预言的演绎法，主要讲述如何运用理性思维对一些尚不能够被验证的结果进行科学预言与演绎；③利用计算机等现代化技术、运用数值计算方法以及物理/数学建模方法等手段，对于复杂性的科学问题进行计算机仿真分析，并找出相关的科学规律。鉴于生物学研究的特殊性，本章对于生物学的研究方法单独列为一节。

第3章讲述以上述三类技术为例的技术所涉及的技术研究与开发方法。其内容包括以下6个方面。①演绎法：主要是在已有的科研成果上拓展，将科学研究的成果应用到其他领域中去；②移植法：将其他学科的成果移植到本学科中的一种方法。由于光信息技术与电子信息技术有异曲同工之妙，光信息技术借鉴或者移植电子信息技术的成果，往往是一种比较易于获得成果的方法。③交叉法：与不同学科的新技术进行交叉融合，形成新的学科增长点。④螺旋上升法：又称波浪式前进法，对过去已有成果利用新技术进行翻新改造，使得沉寂了的技术重新焕发青春。⑤逆向思维法：有很多科学研究虽然没有达到它最初的直接目的，但在研究过程中发现了很多负面效应，将这些负面效应应用到新的领域，使坏事变好事，寻找新用途。⑥仿真研究与数字化研究方法：利用计算机等现代化手段，对于技术方案等进行仿真研究。当然，技术研究的方法还有很多，本书不可能一一都讲到。而且在实际的研发过程中，各种方法可以综合应用，并不局限于一种方法。

需要指出的是，在第2章与第3章中介绍的各种方法，目前还没有明确的界限，同一个研究活动，从不同角度可以分属于不同的方法；另一方面，研究者在自己的科研

活动中，大都不是自觉地使用这些方法。因此，建议学生结合自己的研究活动有意识地混合采用这些方法。

第4章讲述这些科学技术的未来发展，介绍未来的研究领域与课题，包括：① 光学与光学技术的未来研究领域；② 未来生物技术；③ 材料科学与技术发展前景等知识。讲述这些知识的目的，在于启发学生对于未来科学技术的研究兴趣，能够有意识地将这些方法与未来的研究与探索结合起来。

本课程是一门研究“科学与技术研究规律”的课程，并不讲述具体的知识，因此主要对于科学研究与技术开发有一定的感性认识，这样才不至于空洞乏味。本书面临的重大问题就是学生完全没有科学研究的亲身经历，因此，对于习惯于获得现成知识的学生来说，这门课程就太空洞、太抽象了。学生在学习时会感到味如嚼蜡，缺少兴趣。

解决这个难题的方法是依靠研究性教学，尽量发挥学生学习的主动性。具体来说，就是对于本书的每一个观点，由学生自己去寻找一些案例，然后加以分析与充实，再进行讨论。鉴于研究人员并不是在一个确定的研究方法指导下进行科研，所以，已经获得的实际科技成果是多种方法共同作用的结果，它并不是简单地服从哪一条规律或者哪一个研究方法。因此对于同一个科技研发的成果，学生得出不同的判断是很正常的。为此，同学们在课前应仔细地阅读本书，同时搜寻相关的案例，进行精心准备。不要等待在课上吃现成饭。课上应该尽量让不同的观点都能够得到发表，各抒己见，明辨是非。这样就可以加深理解，形成比较深刻的印象，获得比较好的效果。

同时，也希望正在从事研究的硕士、博士研究生能够读一下本书，或许能够得到一些启发，从而克服前进道路上的障碍。



## 参考文献

- [1] 国家人事部. 21世纪中国专业技术人才队伍发展纲要.
- [2] 国家自然科学基金委员会. 2008年国家自然科学基金资助项目统计资料.

# 第 1 章

## 科学发现与技术发明概述

在这一章中，在讲授具体的科学发现与技术发明的方法之前，首先对科学发现与技术发明的基础知识做一些简要的介绍，以备为今后的学习打下一定的知识基础。

### 1.1 科学与技术的概念

在讲述科学发现与技术发明规律的时候，我们首先需要弄清“科学”与“技术”这两个概念。尽管大家广泛而频繁地使用“科学技术”这个词汇，但是并不是所有的人都能够清楚地区分这两个概念。

在当今社会中，恐怕还没有哪一种社会力量能与科学、技术所起的社会作用相媲美。它们延长了人类的平均寿命，增强了人类的能力，扩大人类的视野，确立了人在自然界中的地位——几乎使人无所不能。正因为科学、技术在人类社会中起着如此举足轻重的作用，以至于人们在分析某种社会现象时总会论及它们的社会功能，并且常常在用词上把二者紧密联系起来或者干脆把它们简称为“科技”。

然而，这种不假思索地混同和简化却往往会造成诸多歧义和混乱。因此，有必要在概念上将二者做一个大致的划分。

#### 1.1.1 “科学”的概念

什么是“科学”？或者说，如果要对“科学”这个概念下一个准确的定义，应该如何定义？

关于“科学”的概念或者定义，目前尚未有统一的权威的表述。我们打算把精力放在对这个概念的理解和争论上。这里，我们采用同学们便于理解而且是在过去学习中已经习惯了的一种表述。即：

科学是由概念和相应的定律所构成的、准确表述自然界或者人类社会现象与规律的知识体系<sup>[1]</sup>。

比如物理学，它就包括了物理的一系列概念和定律，并且可以相当准确地描述对应的物理现象与规律。

上述关于科学的定义，被称为西方的建筑在知识体系上的狭隘定义，有一定的局限性。在这个定义下，中医和中国古代科学都被排斥在外。尽管如此，因为它特别适合自然科学，所以我们依然采用这个定义。

根据这个定义可以知道：①科学的源头在客观世界（包括自然界、人类自身、人造的产品或者环境）；②所谓科学问题，主要是对客观世界的现象和规律进行研究时遇到的问题；人们的科学研究活动，主要是发现新问题，提出新概念和寻找新规律；③科学研究终结于知识，一旦对某一类研究对象形成了系统的科学知识，这门学科便诞生了。

除此之外，严格意义的现代科学还需要具备如下要素。

### 1. 具有用于界定不同的研究对象的准确概念或者严格的定义

科学作为一个知识体系，它所建立的概念应该具有唯一性、普遍性和严密性。所谓唯一性和普遍性，就是指这个概念是排他的，具有同一属性的研究对象，只能适用同一个概念；而且凡是具有这个属性的不同对象，也都毫无例外地包含在这个概念中。例如，人类在和自然交往过程中，发现了不同类型的石头及其不同的特性和用途。人们给不同的矿石命名，金、银、铜、铁、锡矿石等。根据他们的共同性质，形成了矿石的概念，进而扩大形成了包括泥土、水、风等都是没有生命的物质的分类概念。而人类观察到的不同的动物和植物等都是生命的物质。生命和非生命的主要区别在于有生命的物质自己能够自我修复，自我繁殖。但是，在中国古代，把周围的世界划分为“金、木、水、火、土”，即所谓“五行”（图 1-1）。这些概念就是模糊的，是不准确的，它们不是科学概念。所谓严密性，是指一个概念不能似是而非，要界定得非常清楚。比如“鸡瘟”就不是一种科学概念。

作为一种科学概念，它必须是经过事实所证实的（实证），而且被科学家共同接受和承认。科学上对于概念的提出和认定是严格的，必须和一定的理论体系相关联，而且科学知识和科学概念也没有国界。如果科学概念包含的内涵不统一，科学家就无法交流和工作，科学研究这条延绵不断的长河就不能延续。

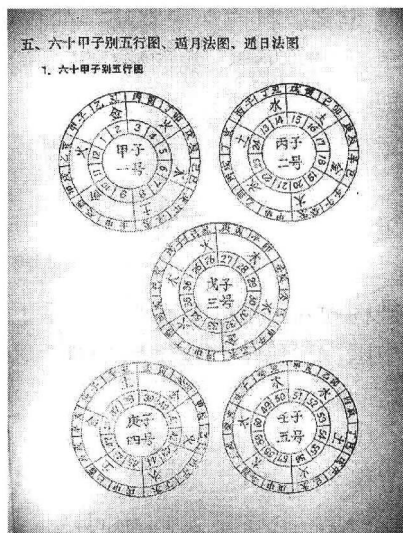


图 1-1 五行图

不同的科学概念所涉及的范围各不相同，有的涉及范围小，有的涉及范围大。对涉及范围小的，我们称它们为特定的概念，而涉及范围大的称为普遍的概念，或大概念。当然这种“大”和“特定”的分类是相对的，而不是绝对的。概念越大，就越抽象，学生掌握就越困难。所以，要使儿童建立概念，一般应遵循从简单到复杂，从初级到高级，从特殊到一般的顺序，需要和儿童认知和情感的发展规律相符。

然而，另一方面，科学概念并不是一经确定就不可以变化的。由于科学知识是不断在发展的，所以科学概念也可以发展，甚至纠正，但都必须基于科学研究的结果。例如，我们对“九大行星”的概念就在 2010 年发生了改变。

## 2. 具备对于研究对象性质的描述，建立对象之间的联系——科学定律

现代科学并非仅仅停留在概念的阶段，更重要的是要研究这些对象的性质。比如，关于“光”的性质研究，几乎占据了整个光学理论的绝大部分。又如，光在均匀介质中沿着直线传播，在非均匀介质中按照程函方程所确定的路径传播，在波导中以模式的形式传播等，这都是光传播的性质。每种性质，当它被多次实验所证实，并可以用数学的方式描述时，这就是定律。除了找到科学定律以外，还需要给出合理的理论解释，也就是用更普适的科学理论来解释当前的科学定律。

对概念所具备的性质的研究，往往成为概念的定义。

更多的定律是关于不同研究对象之间的联系。比如，电与磁之间的关系，电源电



荷与电场强度之间的关系，质量与能量之间的关系等。科学研究的目的，主要是探索研究对象所具备的性质，寻找不同对象之间的联系。这个过程就是科学发现。

### 3. 构造性与系统性

现代科学虽然承认目前未知世界还很多，但是关于已知世界的科学必须是结构性的，以电磁学为例，它可以分为静电场、静磁场、带电导体内的电场、交变电磁场、电磁波等学科分支。每一个学科分支又可以分成很多小的学科分支。比如电磁波理论，又可分为自由空间中的电磁波、波导中的电磁波等。光学亦是如此，它包括几何光学、波动光学、量子光学等学科分支。波动光学又包括导波光学、大气光学、海洋光学、薄膜光学等。结构性不仅表现在树形的知识体系上，而且表现在基本理论的协调性上，比如静电学的理论必须与普适的电磁场理论相一致，静力学的理论必须与动力学的理论相一致等。再如，如果假定光是一种电磁波，那么，它就应该服从电磁波的普遍规律——麦克斯韦方程组，等等。

欧几里得几何与他的名著《几何原本》可堪称科学著作的典范（图 1-2），不仅概念精准，内在逻辑性强，而且其构造性和系统性非常好。一门真正的学科，都以达到这样的理论高度为目标，目前仍然有许多科学理论离这个目标尚有一段距离。



图 1-2 欧几里得与几何原本

在今天，科学的最终成果绝大部分都体现在论文上。即使在古代，科学的成果也是体现在著作上。因此，各个国家、研究机构及大学，都十分重视论文的发表。因此，对于论文的评价，就成了科学研究成果评价的重要方面。当前，已经有了相对比较科学合理的论文评价体系，这就是所谓根据该论文被其他论文引用的频率所确定的几种标准。其中被 ISI 索引所检索到的 SCI 论文被公认为最高水平的论文。