



A N A L Y S I S O F
M A T H E M A T I C A L S C I E N C E

数理科学论析

樊洪明 编著

科学需要知识，科学更需要品质 | 讲科学，更讲科学素养

讲述牛顿、开普勒、法拉第、卢瑟福、爱因斯坦等科学大咖职业生涯

从**脑力操**到**相对论** 享受逻辑的魅力

做决策的人，需要各方面的综合学识和能力，要有伦理学、美学的素养，更要对整个人类的科学文化和人类的使命有深刻体悟，而这些很大程度上与个人的科学素养密切相关

中国建筑工业出版社

科学论析

樊洪明 / 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数理科学论析 / 樊洪明编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017.4

ISBN 978-7-112-20363-5

I. ①数… II. ①樊… III. ①数学—研究②物理学—研究 IV. ①O1②O4

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第013842号

本书从古希腊和欧洲文艺复兴时期的科学谈起, 讲述科学思维方法、科学研究方法和科学精神, 列举数学思想与人类智慧, 对数学基本概念、经典物理学基本思想、热力学基本概念、相对论基本思想以及量子物理基本思想进行解析, 通过这些知识点的解读, 可帮助读者厘清科学、数学和物理的基本概念、基本原理以及思想方法, 提高读者的科学素养。

本书可用作高等学校土建类专业通识教育的教材, 也可作为在校大学生和研究生的课外读物以及中学生的科普读物, 某些内容还可作为理工类大学生和研究生相关学位课的课外参考材料。

责任编辑: 齐庆梅 封毅 张瀛天

责任校对: 李欣慰 焦乐

数理科学论析

樊洪明 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京锋尚制版有限公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 27¼ 字数: 609千字

2017年6月第一版 2017年6月第一次印刷

定价: 59.00元

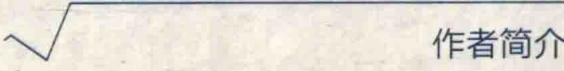
ISBN 978-7-112-20363-5

(29920)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



作者简介

樊洪明, 男, 1964 年出生, 黑龙江桦南人。1987 年毕业于华东理工大学流体机械专业, 1993 年和 2000 年在哈尔滨工业大学暖通空调专业获工学硕士和工学博士学位, 2002 年清华大学土木水利工程博士后流动站出站。现任北京工业大学建筑环境与能源应用工程系主任、教授。主要研究方向为建筑节能与空气洁净技术。

我们的时代是科学和技术的时代，科学技术以极高的速度发展，影响着自然与人类社会的方方面面。科学技术既是促进经济建设和国防建设的强大动力，又是探索宇宙和微观世界以及人类自身奥秘的有力武器，更是改善人类自身生活质量的有效手段，科学技术已经成为人类文化的一部分，一个民族只有普及科学知识，崇尚科学，才能告别愚昧，自立于世界民族之林。

生有涯，而知无涯。科学，不只是已有知识的汇集，更是一种探索自然奥秘、感受自然魅力的愿望和精神。每个人都会经历一段终生难忘的青春年华，从懵懵懂懂中走过来的翩翩少年，当岁月拂去内心的青涩才发现岁月如梭，稍纵即逝。素年锦时，只有认识什么是科学和理性，青春和人生才会绽放出璀璨光彩。希望本书能给读者增添知识，领会科学精神，激起读者对自然的欣赏和探索自然奥秘的热情。本书通过介绍伽利略、开普勒、居里夫人、伦琴、法拉第、卢瑟福、爱因斯坦、陈景润等大师们的科学生涯，展示这些伟大科学家为人类社会进步含辛茹苦、艰难求索的感人至深的情怀，希望读者从中领悟到，正是科学家的坚持和担当，以及他们无悔的付出，才为人类社会进步写下浓墨重彩的一笔。科学研究之路虽艰难而曲折，但只要有希望、有必胜的信念和百分之百的努力，就一定能达成美好愿景，带给人类温暖而持久的力量。

据统计，大学毕业生在毕业十年以内多是做技术性工作，此后多数人有机会做中阶领班，所需的不再是技术性知识，所做的工作主要是管理、沟通和协调。又过十年，大概四十五岁左右升职当了总经理、董事长，是做决策的人，需要各方面的综合学识和能力，要有伦理学、美学的素养，更要对整个人类的科学文化和人类的使命有深刻体悟，而这些很大程度上与个人的科学素养密切相关，数理科学作为研究自然界最普遍规律的科学，对一个人的科学世界观的形成所起的作用是最直接的。对于有志做科学研究的青年人而言，还要注意到，科学研究一般从定性与定量方法入手，可能有对称性的考量和守恒性的应用，可能涉及因次分析和数量级估计，可能遇到极限情况与特例情形分析，还有相似性原理等理论指导下的模型简化以及概念与方法类比等等，提出问题和分析问题的能力靠的是直觉和洞察力，而这种能力与个人的科学素养密不可分。编者本人是国内普通高校土木工程学科的一线教师，深感科学素养作为人才综合素质不可或缺的组成部分的重要性。编者确信，知识和能力是完全不同的概念，没有知识谈不上能力，更谈不上创新，融会贯通的

知识是能力和创新的载体。教师一味地向学生灌输知识会戕害学生，最要紧的是让学生在知识学习的同时得到智慧启迪。Educate（教育）一词源于拉丁文，意为“导出”、“引导”，教师就是要引导出潜藏在学生内心的智慧，唤起学生持续一生的学习热情。教学不是强调学生要“这样学习”，而是让他们学会“怎样学习”，在各个教学环节有意识地培养学生的科学方法、科学精神和科学品质尤显必要。本书贯穿始终的主线是强调逻辑与思考，编者在数理科学所涉及的知识海洋里，有意识地选择一些知识点，它们在编者头脑中蓄积多年，问题看似粗浅，但寓意颇深，希望通过这些知识点的诠释，厘清内蕴其中的关于科学、数学和物理的基本思想以及思考和解决问题的逻辑与脉络，从中启迪读者，提高读者的科学素养。

本书可用作高等学校土建类专业通识教育课程的教学参考书，也可作为在校大学生和研究生的课外读物以及中学生的科普读物，某些内容还可作为理工类大学生和研究生相关学位课的课外参考材料。每章后附的练习题所涉及的知识点可能超过本书的讨论内容，请读者独立思考并尝试作出解答。

本书内容主要取自本书后附的“主要参考文献”，还有更多的参考文献没有一一列出，编者在此对所有文献著者表示深深的谢意！由于本书涉及多个学科，加之编者的学识水平有限，书中的错误和缺欠一定不少，敬请读者批评指正！

樊洪明

2016年7月

第1章 科学论析	1
1.1 古希腊的科学和欧洲文艺复兴	3
1.2 中国的科学技术	7
1.3 科学与技术的区别	12
1.4 “天人合一”与“主客二分”	14
1.5 科学真理不可战胜	15
1.6 科学家的人格魅力	26
1.7 科学研究方法和科学精神	30
1.8 诺贝尔奖与国家科技实力	34
1.9 科学思维方法	37
1.9.1 思想实验	37
1.9.2 证伪说	39
1.9.3 “奥卡姆剃刀”原则	41
1.10 科学与艺术	43
1.11 科学与非科学	47
1.12 科技内生的负面作用	48
1.13 科学家与宗教信仰	50
练习题	55
第2章 数学思想与人类智慧	57
2.1 数学与数学家	59
2.2 脑力操	66
2.2.1 灵机一动	66
2.2.2 智力趣题	70

2.3	生活中的数学	71
2.3.1	身份证号码中的数学	71
2.3.2	商品条形码中的数学	73
2.3.3	书号中的数学	74
2.3.4	书本的“开”	76
2.4	逻辑与悖论	78
2.4.1	分牛悖论	80
2.4.2	梵塔问题	81
2.4.3	达朗贝尔悖论	82
2.4.4	角度的部分等于整体	82
2.4.5	芝诺运动悖论	83
2.4.6	几何级数悖论	84
2.4.7	$0.\dot{9} = 1?$	85
2.4.8	蠕虫悖论	85
2.4.9	希尔伯特旅馆	87
2.4.10	伽利略悖论	88
2.4.11	录取率悖论	89
2.4.12	生日问题	90
2.5	人类智慧	91
2.5.1	测量金字塔高度	91
2.5.2	埃拉托色尼筛法	92
2.5.3	地球、太阳系、银河系与宇宙	93
2.5.4	测量地球周长	95
2.5.5	确定行星运行轨道	96
2.5.6	天体距离测量	97
2.5.7	公历和农历	101
2.5.8	栅栏与羊群	104
2.5.9	烧一壶开水	105
2.5.10	七桥问题	105
2.5.11	三角形内角和	107
2.5.12	集合的魅力	108

2.5.13	太极八卦与二进制	109
2.5.14	正十七边形尺规作图	112
2.5.15	几何作图三大难题	118
2.5.16	归纳法	119
2.5.17	n 维空间	123
2.5.18	欧氏几何与非欧几何	126
2.5.19	无穷集合的元素比较	129
2.6	数字情书与计算题	134
2.6.1	数字情书	134
2.6.2	两道计算题	135
	练习题	136

第3章 数学基本概念诠释 139

3.1	无穷与极限	141
3.2	导数与微积分	145
3.3	微元分析法	150
3.4	线性空间和线性变换	154
3.5	级数	157
3.6	积分变换	159
3.7	正交	162
3.8	最美丽的数学公式	164
3.9	数理方程的数值解法	165
3.10	蒙特卡罗方法的基本原理	167
3.11	模糊数学的基本思想	169
3.12	δ 函数	172
3.13	函数与泛函	174
3.14	线性方程和非线性方程	178
3.15	混沌的基本思想	180
	练习题	183

第4章 经典物理学基本思想论析	185
4.1 物理学中的尺度	187
4.2 苹果、月亮、地球和太阳	189
4.3 牛顿力学体系	192
4.4 开普勒三定律	194
4.5 万有引力	197
4.6 地球的质量和密度	201
4.7 潮汐的基本原理	204
4.8 惯性力、惯性质量与引力质量	208
4.9 最小作用原理	210
4.10 物理学中的对称性	214
4.11 场的本质	220
4.12 研究自然规律的利器——量纲分析法	224
4.13 指导科学实验的法宝——相似理论	228
4.14 多普勒效应	234
4.15 法拉第与电磁感应	236
4.16 汤姆逊原子模型	240
4.17 卢瑟福原子结构	245
练习题	250
第5章 热力学基本概念论析	253
5.1 热力学第零定律	255
5.2 理想气体绝对温标	258
5.3 热力学温标	260
5.4 热的本质	264
5.5 原子论的基本思想	265
5.6 分子假说	267
5.7 理想气体与实际气体的物理内涵	270
5.8 表面张力的本质	274

5.9 范德瓦耳斯方程的基本思想	279
5.10 能量转换与守恒定律	283
5.11 理想气体绝热过程方程推导	287
5.12 热力学第二定律	288
5.13 熵	290
5.14 熵与热力学几率	293
5.15 负熵	300
5.16 宇宙热寂说	301
5.17 热力学第三定律	303
5.18 焦耳—汤姆逊效应的微观解释	306
5.19 有限时间热力学的基本思想	309
5.20 不可逆过程热力学的基本思想	310
5.21 耗散结构理论的基本思想	314
练习题	319

第6章 相对论基本思想论析

6.1 测量光速	323
6.2 迈克尔逊—莫雷实验	327
6.3 两种时空观	332
6.4 狭义相对论基本原理	336
6.5 光速不变原理	337
6.6 时间的相对性	340
6.7 空间和质量的相对性	342
6.8 洛伦兹变换的基本思想	344
6.9 时间旅行的基本原理	353
6.10 质能方程	355
6.11 重新认识时空	360
6.12 等效原理	362
6.13 马赫原理	365
6.14 广义协变原理	367

6.15 时空弯曲	370
练习题	379
第7章 量子物理基本思想诠释	381
7.1 量子物理基本轮廓	382
7.2 “微粒说”与“波动说”	384
7.3 普朗克能量子假说	385
7.4 光电效应	393
7.5 玻尔原子模型	398
7.6 德布罗意物质波假说	401
7.7 海森堡矩阵力学	405
7.8 海森堡测不准关系	407
7.9 薛定谔波动力学	409
7.10 量子的叠加态	412
7.11 量子纠缠	414
7.12 “弦”理论	416
7.13 量子力学发展的科学启示	417
练习题	420
参考文献	422

第1章 科学诠释

科学基于实验来证实猜想，试图回答客观存在是怎么样的。科学作为一种认识真理的探究活动，它是一种智慧和力量，它驱动技术、改变世界、造福人类，承担传承文明的重任。科学的发展不仅提高了人们利用自然、改造自然的能力，给人类的生产、生活方式带来革命性的变化，而且在探索自然的过程中，科学不断丰富、深化和改变着人们的思想、观念和传统，使人们在认识论、方法论及自然观等方面发生重大变化。科学家探索自然所揭示的时空观、因果观、进化观，对称性、和谐性、永恒性，绝对与相对、无序与有序、对立与统一等，凸显了科学丰富的文化内涵和科学思想的神韵。

本章我们先从古希腊的科学在欧洲文艺复兴谈起，简要分析中国的科学技术以及近代中国科学技术落后的原因，叙谈伟大科学家的人格魅力，介绍科学研究方法和科学精神以及科学思维方法，最后讲科技内生的负面作用。

1.1 古希腊的科学 with 欧洲文艺复兴

古希腊是西方历史的开源，自公元前 800 年至公元前 146 年，持续了约 650 年，相当于中国的西周末至西汉景帝时期。说起古希腊，我们首先想到科学和民主、想起寓言家伊索（Aesop，约公元前 620 年~公元前 560 年，春秋时期）、诗人荷马（Homer，约公元前 9 世纪~公元前 8 世纪）、著名的维纳斯雕像以及一大批才智卓越的哲学家和科学家。例如，科学和哲学之祖、希腊最早的哲学学派——米利都学派创始人泰勒斯（Thales，约公元前 624 年~公元前 546 年，春秋时期），西方哲学的奠基人苏格拉底（Socrates，公元前 469 年~公元前 399 年，战国时期）和柏拉图（Platon，约公元前 427 年~公元前 347 年，战国时期）、百科全书式的哲学家、柏拉图的学生，亚历山大大帝（Alexander，公元前 356 年~公元前 323 年，古马其顿帝国国王，亚历山大帝国皇帝，世界历史上著名的军事家和政治家，欧洲历史上最伟大的四大军事统帅之首）的老师亚里士多德（Aristotle，公元前 384 年~公元前 322 年，战国时期）、数学家毕达哥拉斯（Pythagoras，公元前 572 年~公元前 497 年，春秋时期），“原子论”创始人德谟克利特（Democritus，公元前 460 年~公元前 370 年，战国时期），欧氏几何学开创者欧几里得（Euclid，公元前 325 年~公元前 265 年，战国时期）、物理学家阿基米德（Archimedes，约公元前 287 年~公元前 212 年，战国至先秦时期）等。

从公元前 600 年左右（春秋时期）开始，泰勒斯第一次不再用神秘学或宗教来解释自然，代之以他始创的逻辑思维来解释自然界现象和几何问题。可以不打折扣地说，希腊人是近代科学的真正先驱。如果我们找寻哲学、艺术、文学、数学、科学、医学以及政治思想的源头会发现，许多智识，都会把我们带回到古希腊，几乎在每一领域希腊人都留下了思考，堪称近代科学的鼻祖。在古代世界所有的民族中，少有像古希腊人那样对近代科学技术带来如此巨大影响。虽然古希腊人既没留下造福后人的伟大工程，也没有做出杰出的技术发明，但他们热爱自由，不肯屈服于暴君，他们热爱生活，天性乐观，每四年举行一次的奥林匹克竞技会是他们欢乐生活的写照，他们崇尚理性和智慧，热爱真理，对求知有一种异乎寻常的热忱，希腊人的出现是人类文明的一朵奇葩。试想，在地中海沿岸那样一个狭小的地方，在古希腊周围的其他地区，当时不是处于未开化的原始蒙昧状态，就是处于专制暴君的统治之下，人民在苦难中求生，知识被少数人垄断，在这样的黑暗之中，希腊人不仅在哲学和艺术上做出巨大成就，而且创造了一种真正的现代精神，这一切都应归功希腊自由的城邦民主制度。古希腊并不是一个单一制国家，而是由数个小聚落分区统治，也就是今天我们所称的城邦。一个城邦就是一个城镇，四周有土地环绕，每个人都可以在任何时候进城去。希腊人喜欢加入城邦，就像我们归属于某个俱乐部、朋友圈一样，是基于一种同谊情感。民主政治的原型从这些小城邦里萌生，没有国会，用不着选举国会议员，所有的男性公民群聚于某个场所就公共事务进行讨论，法律 and 政策的制定都通过投

票表决。他们社会地位的升迁，在相当程度上取决于他们在公民大会上和陪审团中的演说才能。为使自己的演说无懈可击，推理的严密性和雄辩术受到极大的重视。随着城邦人口日益增长，希腊开始派人到地中海其他地区去开拓殖民地，在今天的土耳其、北非沿岸，远至西班牙、法国南部和意大利南部，都有希腊人安家落户的踪迹。民主制的城邦对科学和哲学的繁荣与发展起到了巨大的保障和推动作用，也造就了古希腊先哲们独特的思维方式：致力于自然界普遍规律的追求，对于所见的每一种现象，他们不满足于仅作出合理的解释，而且要寻根溯源，探求其本质所在。他们相信，通过不懈努力，一定可以找到一种原理来解释世界，找到宇宙的本质，解答宇宙存在之谜。

我们先说苏格拉底问答法。苏格拉底最早奠定了西方哲学中探求真理的方法，这种方法实质上就是质疑一切，不能只看事物的表面。苏格拉底认为一般人的思想并不具备理性基础，他会问看似简单的问题：什么叫做好人？弟子回答后，苏格拉底就告诉他，这个答案哪里有漏洞，弟子或许会再次反驳，不过这次比较谨慎，接着是更多的询问、更多的修正。苏格拉底认为，如果你的心智清明而敏捷，终究会掌握真理，因为真理是存在的，但你必须耕耘自己的心智，才能掌握它，此即苏格拉底问答法。苏格拉底强调，教师的角色不是制定规则，而是帮助学生思考疑惑、厘清道理，从讨论中得到丰硕的成果。我们以一段师生的对话来说明苏格拉底问答法：

老 师：艾曼达，什么是革命？

艾曼达：以武力推翻政府。

老 师：如果这个国家本来由某个国王统治，结果国王的弟弟杀了他篡位为王，这算是革命吗？

艾曼达：噢，那不是。

老 师：这么说，并不是所有以武力推翻政府的情况都是革命？

艾曼达：呃，对，不是所有这样的情况都算是。

老 师：那么，除了武力推翻之外，还需要什么条件才是革命呢？

……

苏格拉底质疑一切，也是民主制度的批判者，一度得罪了雅典统治者。作为一名哲学家，苏格拉底毫无问政的野心，不会玩弄卑鄙的伎俩，更不会受到利益集团的驱使，他只是一名矢志追求真理的学者，因此我们不难推断，一定是苏格拉底灌输给学生探求真理的辩证术，给雅典执政者们不那么正当的权威造成了某种难堪和挑战，结果他以藐视神明和腐蚀年轻人道德的罪名被送上法庭接受审判。苏格拉底的答辩是：我没有硬要谁接受我的想法，我只是提出质疑，让他们以理性为依据去相信自己的信念。苏格拉底说：“不管我在哪里，不提出质疑，我就活不下去，没有省思的生活不值得活。你们也可以对我处以罚款，可是我什么也拿不出来，我不是有钱人。”苏格拉底问答法，讲求以理服人，逻辑严密，只是他想不清楚，“权威”参与其中，哪里还有什么“逻辑”和“理”可讲！由 501 位市民组成的陪审团判他有罪，不过正反两方人数相当接近，但最终还是判处苏格拉底死

刑。在雅典，通常死刑在判决后立刻执行，这次却往后推迟了，因为刚好赶上宗教庆典。这期间苏格拉底大可趁机潜逃，也许官员们也暗自希望他逃之夭夭，但苏格拉底拒绝逃跑。他说：“既然我不能永远活着，那又何必苟且偷生？活着不是目的，好好活着才是。我曾在雅典的法治下过着很好的生活，如今我已准备好接受惩罚。”直到最后一刻，他还是充满了哲学思辨。他被判处服毒芹汁自尽，必须在一日将尽时服下毒药。在镣铐被取下之时，他还在发表高论，说痛苦和享乐只是一线之隔。他的弟子求他，等太阳下山后喝毒药，苏格拉底回复道，如此偷生，太过荒谬！他平静地接过毒药一饮而尽，全无半点神伤！

亚里士多德说：“古往今来人们开始哲理探索，都应起于对自然万物的惊异，他们先是惊异于种种迷惑的现象，逐渐积累一点一滴的解释，对一些较重大的问题，例如，日月星辰的运行以及宇宙之创生，做成说明。一个有所迷惑与惊异的人，每自愧愚钝，他们探索哲理只是想脱出愚钝，显然，他们为求知而从事学术，并无任何实用的目的。”可见，古希腊的科学偏重于认识世界方面。几何学是个简单、优雅、逻辑的系统，非常之美。在希腊人眼里，几何学是引导人类认知宇宙本质的一个途径。当我们环顾四周，被眼前形形色色、丰富多样的世界吸引，所有事物都随机又漫无章法地出现，但希腊人相信，这一切都可用简单的道理来解释，这些多元样貌的背后，必然存在某种简单、符合逻辑的原理在支撑，几何学便是如此。有文献记载，一位青年向欧几里得学习几何学，刚学了一个命题，就问欧几里得，学了几何学后会有什么用处，欧几里得很不满地对仆人说：“给这个学生三个钱币，让他走。他居然想从几何学中捞到实利。”这个故事说明，欧几里得很强调几何学的非功利性。科学不同于技术，科学不只是一些方法上和技巧性的东西，科学以理性的态度看待自然，强调为追求真理而不屈不挠的献身精神，同时不能将科学视作一种为达到某种目的而采取的手段。相反，科学自身就是目的，甚至是“为科学而科学”。世界上各古老文明，古巴比伦、古埃及、古希腊、古印度、中国对自然都有自己的思想，对科学的起源都有程度不同的贡献，但要追溯近代科学思想的根源，我们不能不把目光投注在遥远的古希腊。这是因为在古巴比伦、古埃及、古印度，包括古代中国在内，虽然也都有科学，而且科学也都有相当的发展，可是他们大多是为实用的目的而出现的，是功利性的探索。只有在古希腊，科学是一种纯粹性的、猜测性的、理论性的、从好奇心出发的探讨，这是科学的思想根源。科学探索的动力是好奇心，即探求未知事物奥秘和了解未知世界的那种渴望。好奇心是一种心态，是一种情感，是一种高层次的精神满足。许多科学家都对客观世界保持着一种孩童般的好奇心，他们把满足于了解自然奥秘的渴望作为科学进步的最根本驱动力，把好奇心看作是科学创新的源泉。有学生问著名华裔美籍物理学家丁肇中：您为什么花大力气去探索宇宙中的暗物质？丁肇中回答：我有兴趣，为了满足人们的好奇心，丰富人类知识宝库。爱因斯坦把发现相对论的特殊原因归结为好奇心的童心未泯。正是由于好奇心的驱使，科学家会对陌生的事实和现象情不自禁地去探其究竟，思考也会层层递进，尝试着对未知事物做出解释，这是科学创新中的一个非常重要环节。人们