袁运开 著

# 生涯的足迹

## 教育、科技史与科技哲学文选

华东师范大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

# 生涯的足迹

## ——教育、科技史与科技哲学文选

袁运开　著

华 东 师 范 大 学 出 版 社

**图书在版编目(CIP)数据**

生涯的足迹/袁运开主编.—上海:华东师范大学出版社,2006.10

ISBN 7-5617-5026-9

Ⅰ.生... Ⅱ.袁... Ⅲ.高等学校—学校教育—中国—文集 Ⅳ.G647-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 122800 号

生涯的足迹——教育、科技史与科技哲学文选

撰　　著　袁运开
项目编辑　陈锦文
文字编辑　吕　晶　周雪梅　陈庆生
责任校对　邱红穗　朱妙津
封面设计　高　山
版式设计　蒋　克

出版发行　华东师范大学出版社
社　　址　上海市中山北路 3663 号　邮编 200062
电　　话　021-62450163 转各部　行政传真 021-62572105
网　　址　http://www.ecnupress.com.cn　http://www.hdsdbook.com.cn
市 场 部　传真 021-62860410　021-62602316
邮购零售　电话 021-62869887　021-54340188

印 刷 者　华东师范大学印刷厂
开　　本　787×1092　16 开
插　　页　8
印　　张　28.25
字　　数　723 千字
版　　次　2006 年 11 月第一版
印　　次　2006 年 11 月第一次
印　　数　3100
书　　号　ISBN 7-5617-5026-9/Z·026
定　　价　68.00 元

出 版 人　朱杰人

(如发现本版图书有印订质量问题,请寄回本社市场部调换或电话 021-62865537 联系)

# 目　　录


**一、我的学术工作**…… 1

**二、高等教育通论**…… 3

**把我们的大学办出特色来** …… 3
**着力造就新一代学者和大师**——论加强对优秀青年教师的扶持与培养 …… 5
**教育要为二十一世纪培养人才** …… 9
**引进竞争机制与遵循高教规律的几点认识** …… 13
**高校管理中的几个问题** …… 16
**对《关于教育体制改革的决定》的理论贡献及其指导意义的再认识** …… 19
**对美国一流高校的考察报告** …… 24
**哥伦比亚教师学院在学科设置上的一些特点** …… 44
**美国著名大学本科公共课程的设置** …… 45
**太平洋两岸的教育改革及其特点分析** …… 50
**始终把建立一流师资队伍放在突出位置**
——美国名校一项值得借鉴的办学经验 …… 55
**美国著名大学科技教育概貌与我们的评析** …… 59
**美国著名大学的学科建设与科学研究** …… 64
**斯坦福大学教育学院在学科建设上的一些特点** …… 68
**美国著名大学的教育学院** …… 69
**《高教管理文论》序** …… 75
**《中国高校师资研究》发刊词** …… 76
**中国高等教育概况** …… 77
**认真学习、贯彻《教育系统内部审计工作规定》** …… 82

**三、高师教育** …… 84

**加速发展高等师范教育** …… 84
**抓发展、抓提高，努力把我校办成高质量、有特色的社会主义的重点师范大学**
——一九八四年七月十日在学校改革讨论会上的讲话摘要 …… 86
**师范性必须与学术性相统一**——兼论重点师范大学的办学方向 …… 91
**师范性与学术性统一认识与实践**
——1986 年回答北京师大《师大周报》记者提问 …… 99

扩大高师功能　服务基础教育 …… 100
高等师范院校必须坚持为基础教育服务的办学方向 …… 103
坚持为基础教育服务的办学方向　多渠道、多形式、多层次地为提高基础教育
质量作贡献 …… 110
我国中小学师资培养体系发展趋向探讨 …… 117
做好教育学科人才的培养工作 …… 122
从基础教育课改构想审视面向21世纪的教师教育改革 …… 124
实行多类型、多层次办学　为国家培养更多的建设人才 …… 128
面向21世纪的高师课程和教学内容改革的若干思考 …… 135
高等师范教育的展望 …… 140
对师范大学本科教育改革的几点意见 …… 145
中国中小学师资的培养、培训体系及其发展趋向的探讨 …… 148
贯彻《决定》　改革教学 …… 151
THE POSITIVE CONTRIBUTION THAT THE KEY NORMAL UNIVERSITY
CAN PLAY IN THE FOUR MODERNIZATION PROGRAM …… 154
总结经验　扩大功能
——关于高师院校为基础教育培养、培训师资、干部工作的几点思考 …… 161
对面向21世纪高师教育改革的几点思考——一体化·高水平·创造力 …… 165
面向21世纪我国高等师范教育的改革与展望 …… 169
学科教育学与高师教育 …… 174
《学科教育丛书》序 …… 178
学科教育学的特点与建立的客观基础 …… 180
和同学们谈谈心 …… 185
回顾与展望 …… 186
认真学习周总理对高等师范教育的指示 …… 187
刘校长的办校思想与工作实践 …… 191
怀念佛年老师 …… 195
《大学后教育书系·教师必读丛书》主编的话 …… 196
《华东师范大学校史(1951—2001)》编后记 …… 198
值得发扬光大的几个办刊特点 …… 199
高等师范教育研究会第二届理事会工作报告 …… 200

四、基础教育通论 …… 204

上海面向21世纪基础教育课程体系改革设想 …… 204
再论培养学生发展性学力与创造性学力的内涵及意义 …… 214
开设选修课程的必要性及其对学生素质提高与个性发展的作用 …… 221
面向21世纪基础教育的课程改革
——访国际欧亚科学院院士、华东师范大学教授袁运开 …… 227
基础教育要注重培养学生的发展性学力与创造性学力 …… 235



需要全本请访问 www.ertongbook.com

全国义务教育学生质量抽样调查研究 …… 236
《中学生丛书》主编的话 …… 238
中小学课程教材改革的认识与实践 …… 240
《简明中小学教育词典》编者的话 …… 245

五、科学教育 …… 246

对中学阶段科学课程改革的几点认识 …… 246
科学课程标准的特点和我们的认识 …… 252
《科学(7—9 年级)课程标准》汇报纲要 …… 259
应给中学生以什么样的科学素质 …… 266
对《科学(7—9 年级)课程标准(实验稿)》的解读 …… 271
《科学》(7—9 年级)实验教材(华东师范大学出版社版)介绍 …… 281
《科学新课程实验的探索》序 …… 285
《现代自然科学概论》前言 …… 289
《科学技术社会辞典》序 …… 291
《青少年科学素养丛书》序 …… 292
物理学是进步社会的重要组成部分——《中学物理与现代科技》(丛书)代序 …… 294
《中学物理与现代科技》编写的缘起、目标与特点 …… 298
物理学发展及其影响与《中学物理与现代科技》 …… 301
《世纪的火车头》序二 …… 305
《中学物理实验功能的研究与开发》序 …… 306
《中学特级教师教学思想与方法》(物理、数学)序 …… 307
《初中物理新课程建设的理论与实践研究》序 …… 309
《新编物理教学论》序一 …… 311

六、科学技术史 …… 313

关于自然科学史方法论的若干探讨 …… 313
须对中国古代科学思想进行系统研究 …… 320
中国古代科学技术发展历史概貌及其特征 …… 321
开展“传统思想与科学技术”研究的意义
——从中国古代物理学看传统思想对科学技术的影响 …… 330
沈括的自然科学成就与他的科学思想 …… 334
《启迪科学》序 …… 355
《中国古代身心观述评》序 …… 357
试论中国古代物理学的产生、发展及其特点 …… 358
萨迪·卡诺——热力学的奠基者 …… 364
中国历史上科学反对迷信的斗争 …… 371
《世界科技英才录》序 …… 374
在胡刚复老师诞辰一百周年纪念会上的发言 …… 376

简介诺贝尔物理学奖 …… 377
科技风云七百年——访华东师范大学校长袁运开教授 …… 382
推荐一本图文并茂的中国科技史读物 …… 384
科学技术史研究要为提高全民族素质服务 …… 385
《物理学家看世界》序 …… 387
追思中国人民忠诚的老朋友李约瑟博士 …… 389
纪念伟大的科学家法拉第诞辰二百周年 …… 393

七、科学技术哲学 …… 399

《自然科学方法研究》序言 …… 399
自然科学方法研究引论 …… 400
物理学的历史无情地嘲弄着形而上学者们 …… 407
科学观浅议 …… 409
科学史研究与马克思主义发展 …… 417
在《科学思想和科学方法》首发座谈会上的发言 …… 418
科学批判和经验思辨方法的先驱 …… 422
拿起科学和理性的武器 …… 433
自主创新呼唤杰出科技人才 …… 435
让我们运用辩证唯物主义来指导自然科学研究工作
——《唯物主义和经验批判主义》第五章基本观点介绍 …… 436

附录一　袁运开简介 …… 440
附录二　袁运开著作目录 …… 442
附录三　走上领导岗位之后 …… 444

后记 …… 446

# 沈括的自然科学成就与他的科学思想①

今年是北宋科学家、政治家沈括(图1)逝世900周年,也是他的名著《梦溪笔谈》问世900周年,为了纪念他和这部著名典籍的出版,缅怀祖先的卓越贡献,宏扬祖国的光辉科学传统,特撰写此文。作者力求从科学成就与科学思想的结合上对沈括的贡献予以阐述与发掘,期能对今天的国人有所启迪与借鉴。



**图1　沈括像**

《梦溪笔谈》全书原有卅卷,现传本廿六卷,又《补笔谈》三卷、《续笔谈》一卷,合卅卷,计609篇笔记。该书内容广博,除科学技术外还涉及政治、经济、哲学、历史、法律、军事、文学、艺术等领域。在科学技术方面覆盖面十分广泛,世界著名科学史家李约瑟按现代科学分类,把《梦溪笔谈》中有关科学技术的207篇分列成14个项目,计:论《易经》、阴阳五行7篇,数学11篇,天文学和历法19篇,气象学18篇,地质学和矿物学17篇,地理学和制图学15篇,物理学6篇,化学3篇,工程学、冶金学及工艺学18篇,灌溉和水利工程6篇,建筑6篇,生物科学、植物学和动物学52篇,农艺6篇,医学和制药学23篇[1]。我国科学史家王锦光、闻人军则把609篇中的255篇列为科学技术范围,并据科学分类,列出自然观(阴阳五行)13篇,数学(数学、度量衡)12篇,物理(物理学、乐律)40篇,化学9篇,天文学(天文学和历法)26篇,地学(气象学、地理学、地质学)37篇,生物医学(生物学、医药学)88篇,工程技术(工艺技术和冶金、建筑学、农田水利工程)30篇[2]。我国率先对沈括的科学贡献进行研究的前辈科学家竺可桢对沈括的学术成就作过中肯的概括和评价,他说:"我国文学家之以科学著称者在汉有张衡,在宋则有沈括。《四库全书总目》谓括在北宋,学问最为博洽,于当代掌故,及天文算法钟律,尤其究心;《宋史》载括博学善文,于天文、方志、律历、音乐、医药、卜算无所不通,洵非溢美。自来我国学子之能谈科学者,稀如凤毛麟角,而在当时能以近世之科学精神治科学者,则更少。……正当欧洲学术堕落时代,而我国乃有沈括其人,潜心研究科学,亦是为中国学术史增光。"[3]李约瑟更认为:沈括"可能是中国整部科学史中最卓越的人物了",《梦溪笔谈》是"中国科学史上的里程碑"[4]。

当我们纵观《梦溪笔谈》全书,就科学技术而言,展现在读者面前的是对我国古代,特别是北宋时期科技成就的论述、广大劳动人民科技贡献的记载和沈括本人科学实践的总结与科学成就的记录。它集中地反映了我国北宋中叶最新的科学技术水平。前人对他的赞誉应当说是客观地表达了沈括在我国乃至世界科技发展史上应有的地位。在这里,我想指出的是沈括在

---

① 本文初载《自然杂志》1996年第1期,第42—47页,经充实后被转载于《船史研究》1997年第11—12期,第171—192页。

科学技术上的卓越而超群的贡献，就其主流而言，和他朴素的辩证思维，以元气论为特点的朴素唯物主义，以“验迹原理”为主要特色的科学方法以及科学来自劳动群众、源于生产实践的科学史观都是密不可分的。下面仅就几个侧面将其成就与科学思想结合起来加以阐述与探讨。

## 一、朴素的辩证思维与以元气论为特点的朴素唯物主义是沈括科学成就的思想基础

我们从沈括的一些论述与科学技术成就中都可以清楚地看到这一脉络：沈括在批判对易象作出错误解释的邵雍旧说的过程中，就曾对物质与意识的关系作过如下的论述“九七、八六之数，阳顺、阴逆之理，皆有所从来，得之自然，非意之所配也”。[5]认为“数”、“理”都是从客观自然界事物运行过程中概括出来的，并非由人的主观意志所拼凑而成，从而肯定了物质及其规律的客观性。如他在新学与理学的论争中，旗帜鲜明地提出了“事非前定”[6]的唯物主义命题，与二程“万事无不前定”和“人有前知”[7]的唯心论针锋相对。

沈括认为“天地之气，贯穿金石土木，曾无留碍”[8]，这与我国古代朴素唯物主义的元气论哲学传统是一脉相承的。虽然在他的元气论自然观中，掺有佛学“虚”、“空”的影响，并杂拌了象数之学中某些神秘主义色彩，但其基本方面还是应当肯定的，这从沈括对有关中医理论的论述与运用中可以清楚地得到论证。他在《梦溪笔谈》中对“五运六气之术”有这样一段论述：“医家有五运六气之术，大则候天地之变，寒暑风雨，水旱螟蝗，率皆有法；小则人之众疾，亦随气运盛衰。”[9]此处，五运即指木、火、土、金、水五行；六气则指风、寒、暑、湿、燥、火，五运六气学说就是以阴阳五行学说为基本框架，结合中医学理论，探讨自然现象变化规律的一门古老科学。讲自然事物的运动变化“率皆有法”，也就是说它们有其客观规律，这是鲜明的唯物论。在同一篇中，他还指出：“大凡物理有常、有变。运气所主者，常也；异夫所主者，皆变也，常则如本气，变则无所不至，而各有所占。”[10]用今天的话来说也就是讲物质运动具有正常状态与异常的变化情况，气运为主导时是常态，气运以外的因素成为主导时，事物就会产生异常的变化，这里包含了事物的运动变化取决于事物本身与外部事物之间的相互作用、相互斗争与矛盾转化的含义，反映出来的是朴素辩证法思想的明确表述。沈括运用此说对各种天气现象作了阐释，在熙宁年间（公元 1068—1077 年）还进行了一次成功的天气预报[11]。据有人论证，运气学说迄今对天气预报仍具有一定的参考价值[12]。再如，他用江西铅山以胆矾炼铜[13]的事实来论证阴阳五行相生相克的道理，认为这是“湿亦能生金石”的矛盾转化过程，强调的是物质在一定条件下可以相互转化的辩证法思想。又如他在“采药”这篇笔记中[14]，批评了把采药时间机械地规定为二月的旧法，指出植物生长是受地理、气候和人力投入多项因素影响的，采药时间应当根据用药的不同需求而有所变更，得因事、因地、因时制宜，以辩证观点突出了具体问题具体分析的思想和事物运动变化中内外因的作用。

在认识论上，沈括认为“耳目能受而不能择，择之者，心也。……从耳目口体而役其心者，小人之道也”[15]。按今天的表达来讲，就是在他看来，感觉器官虽然能接受观察、测试对象的刺激而产生感觉图象，但要形成正确的认识，更重要的还得依靠观察、测试者的大脑以某种方式对感觉图案进行组织加工。沈括对自然现象的认识实践，也正是在这一指导思想下进行的。诚然，在佛学的影响下沈括也受到唯心主义的某些感染，但这绝不是他的主流。至于认为人类不能“穷测原理”[16]，是历史的局限性使然，对古人不应苛求。

沈括在数学上创造了“隙积术”和“会圆术”，在天文学上制定了《十二气历》，在地理学上对华北平原成因的判断，在地质学上通过动植物化石观察对古代自然环境的推论，如此等等，都是对沈括以上述指导思想从事科学实践的最好注脚。他在《梦溪笔谈》第128条中就曾经这样表达过他的实践体会：“大凡物有定形，形有真数。……其术可以心得，不可以言喻。……非深知造算之理者，不能与其微也。”[17]

不“胶于定法”[18]，在实践中发展真知、求得真知，这是沈括在认识论上又一符合唯物主义思想的指导原则，也正是在此原则引导下他作了不少重要的科学贡献。沈括不迷信古人已有的定论，经过十多年精心考察与研究，找到了冬至日的时间长、夏至日的时间短的原因是“冬至日行速”、“夏至日行迟”（见图2、图3）。这一见解与近代天文学的结论是一致的[19]。《十二气历》是以24节气作为基础，以太阳运动为计算依据的阳历，它废除了旧历中的“置闰之法”，并克服了旧历春行冬令与冬行春令的缺陷，简捷易算，有利于农事安排，这是沈括不“胶于定法”，在历法改革中的一项重大创见[20]。由于这是在深入观测、研究的基础上提出来的，所以他蔑视别人的攻击和否定，且确信“异时必有用予之说者”。以后的事实证实了这一点：太平天国颁发的《天历》就与《十二气历》相似；从20世纪30年代起英国气象局统计农业气候所采用的《萧

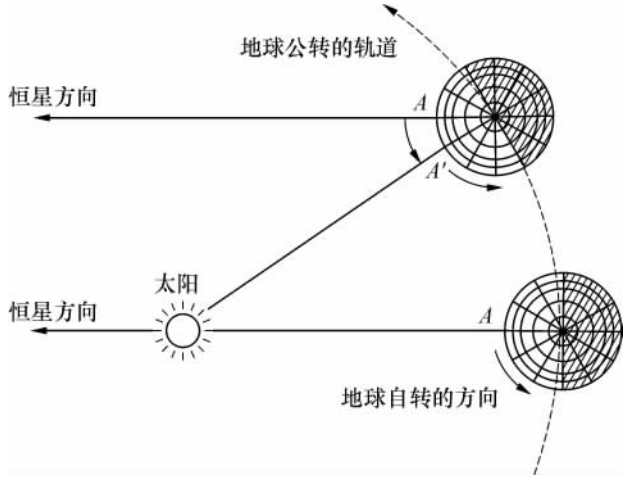



图2　冬至日的真太阳日长短的示意图

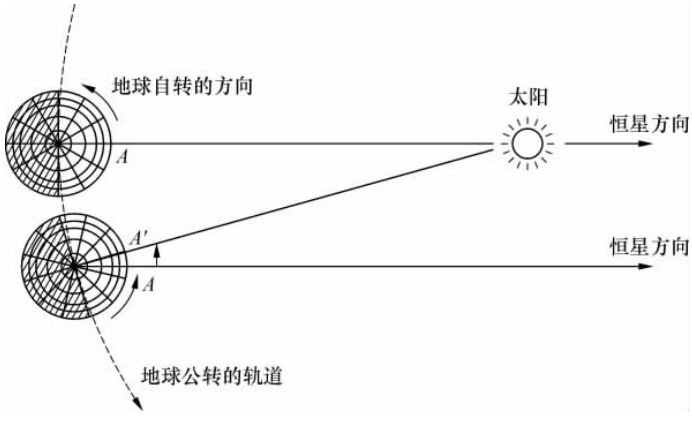



图3　夏至日的真太阳日长短的示意图



图4　莽草的花枝和果实

讷伯农历》，也是与沈括的《十二气历》原理相一致的历法。还有，像在“杜若”[21]这篇笔记中沈括就指出：“古人所书主疗，皆多未尽，后人用久，渐见其功，主疗浸广。”这是说，经过不断实践，药物的疗效愈益显著，治病范围也越益扩大。再如，他在“医不能恃书以为用”[22]这篇笔记中，在分析了曾经流行一时的五石散乃是“杂以众药”、“聚其所恶”以后，指出它是对人体有极大危害的药方；在对一些医药古籍研究后，指出一向被人们视为药学“经典”的《神农本草经》“差误尤多”，并告诫从医者决不可只重书本，而轻视医疗实践。为此，沈括还对本草进行了多项观察研究，例如证明莽草是有花实的（见图 4），从而指出《神农本草经》所谓“无花实”的错误。在实践中求真知的事例，对沈括来说那是很多的，这里限于篇幅，也就不再一一列举了。

## 二、坚持实践出真知的科学思想

他善于对自然现象进行实际的观察与调查，并在此基础上通过比类、求故，归纳与演绎相结合、一般与个别相结合的方法，概括出一般原理。这是沈括坚持实践出真知的科学思想在科学方法上的主要体现，同时也正是他能作出众多科学贡献的重要因素。

沈括在任鄜延路经略安抚使期间，通过调研，了解到延州一带人民采集、利用石油的情况和一些古代文献的记载，早在 900 多年前，就作出“石油至多，生于地中无穷”，“此物后必大行于世，自予始为之”的判断，并在试用的基础上“大为之”。他成为我国历史上第一个提出“石油”这一名称和利用石油烟灰制墨的人[23]。1074 年沈括察访河北西路时沿着太行山向北行，沿路考察，他根据自己观察到的太行山山崖之间嵌有螺蚌化石和砾层的沉积带，经过仔细研究，断定此地古代原是海滨，这在 11 世纪是一个非常卓越的见解。今天的地质学家确定古代海岸线仍常常是根据含有海生化石的地层与滨岸砾石的情况作出判断的[24]。沈括观察到黄河、漳河、滹沱河、涿河、桑乾河等都含有大量泥沙的浊流，再考察了古籍有关海陆变迁的记载，经比较分析，再从“物有相似者，必自是一类”[25]的认识出发，概括出“所谓大陆者，皆浊泥所湮耳”[26]的结论，给华北冲积平原成因作出了科学的解释，是世界上在这一领域最早的研究成果。他对浙东雁荡山的特殊地貌进行了细微观察与深入研究，分析了雁荡诸峰的成因，指出：它是由流水侵蚀作用造成的，并进而以黄土高原的地貌情况作对比，指出两者在地貌上的成因都是由“水凿”而成，这样就为流水侵蚀地貌给出了科学的诠释。所谓“原其理，当是为谷中大水冲激，沙土尽去，唯巨石岿然挺立耳”[27]。从个别与一般、归纳与演绎的结合上把握了自然规律。这比英国人郝登（Jamea Hutton）于 1788 年在《地球理论》一书中提出流水侵蚀作用的学说要早七百年。

沈括为了探讨潮汐问题，常常“在海上候之”，以“考其行节”，经反复观察潮汐出现的时间寻求其规律，发现这个时间并非“每日有常”，据以纠正了唐卢肇关于潮汐现象是“日出没所激而成”的错误观点，作出了“月正临子午则潮生”的科学论断，推进了中国古代海潮理论；而“去海远即须据地理增添时刻”这一潮汐发生时间与具体观测地点相联系的记述（图 5），更是在沈括以前从未有人涉及过的新成果[28]。

其他如沈括通过延州化石的考察，提出了当时地处高寒、不宜生竹的延州，可能在“旷古以前，地卑气湿而宜竹”的见解，以对化石的研究为依据，探寻古代的地理环境与气候条件。这种方法迄今仍为科学工作者所广泛使用[29]。再如他通过仔细观察，从对比晶体的形状、色泽、



需要全本请访问 www.ertongbook.com

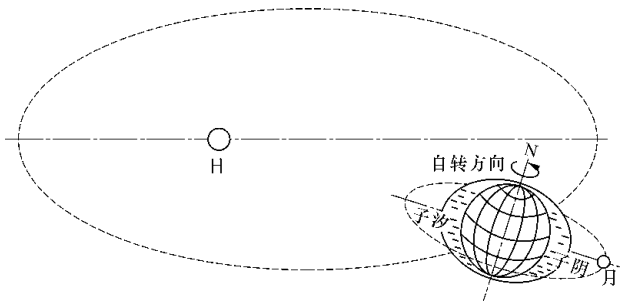



图 5　潮汐成因示意图

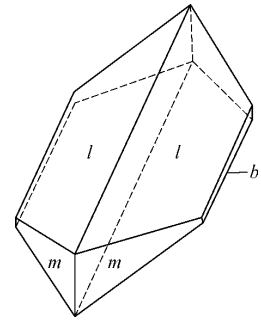



图 6　石膏(解州盐池的太阳玄精)晶体

解理、潮解等性质来鉴别“太阴玄精”(即石膏晶体)的真伪(图 6)。这一方面表明沈括已在一定程度上掌握了从矿物的一些物理特性来鉴别矿物的知识[30],另一方面也让我们再次看到一般与个别、归纳与演绎相结合、分析与综合相统一这一科学方法的成功运用。

同样,沈括正是通过亲身实践与调查研究,在《笔谈》中对动植物的地理分布、形态描述与分类和生理生态现象、药物的药理作用、生物防治、人体解剖生理学、古生物学等诸多方面作出了大量忠实的记录,凡 80 余条,再加上《良方》、《梦溪忘怀录》中有关内容,应当说,沈括对我国生物科学的初期发展也是作出了重要贡献的。

## 三、重视观测与实验手段的运用

除了处处重视实际情况的调研以外,沈括还十分注意观测与实验手段的运用,他为了解决观测、实验条件,亲自动手,设计实验方案,指导制备观测仪器,并力求在人工控制条件下,获取第一手实况数据。比起前人来,这可以说是沈括对“验迹原理”为主要特色的科学方法的发展。

沈括对天象的观测,数十年如一日。他为了测出北极星的确切位置,把浑仪中的窥管(即用来观测星象的望筒)放大,连续三个月每夜观测三次,并把观测结果绘制了二百多张图纸[31],表现出极为严谨的科学态度。他负责司天监时,为了更准确地观测天象、推算历法,研究并改制了浑仪(图 7)、浮漏(图 8)和圭表(图 9)三种天文仪器,提高了测量精度,并撰写了著




图 7　浑仪模型

浑仪是我国古代测定天体位置的仪器,这是根据 1088 年(北宋元祐二年)的资料复原的。仪座为十字水平,仪器分三层:外层为六合仪,测定一天的时间和经纬度;中层为三辰仪,测定一年四季和日月星辰的位置;里层为四游仪,设有望筒,以便窥测目标。原物为铜体。

名的《浑仪议》、《浮漏议》和《景表议》三篇论文。所有这些都是在我国天文学发展史上光辉的篇章。据有人研究，认为沈括的浮漏与燕肃的“莲花漏”一起，是我国古代刻漏技术在宋代达到高峰的两个标志[32]。

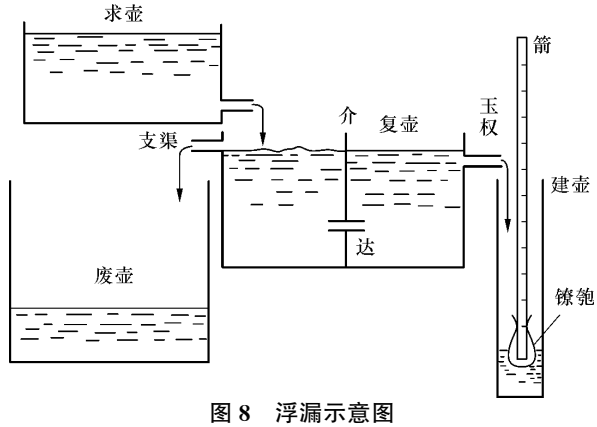



**图 8　浮漏示意图**

图中“求壶”是供水的，“废壶”是收集废水的，“建壶”和“复壶”是计时器的主体。水从“复壶”的嘴（玉权）匀速下注到“建壶”，使箭匀速上升，以露出的刻度来显示时间

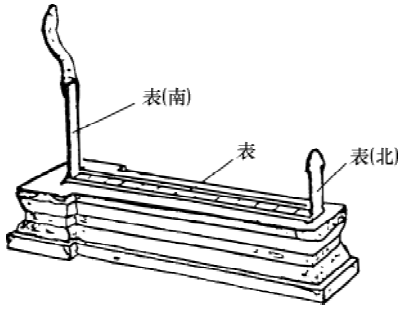



**图 9　圭表示意图**

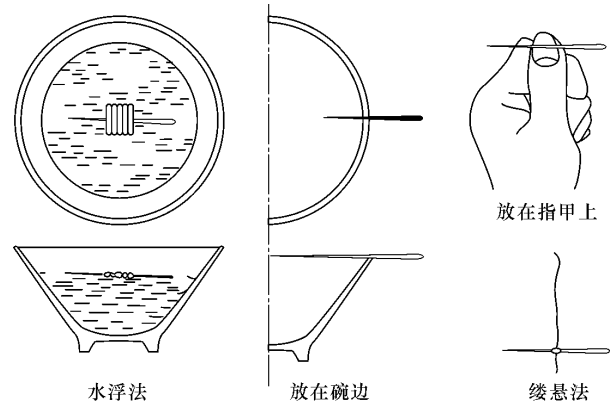



**图 10　指南针的四种装置法**

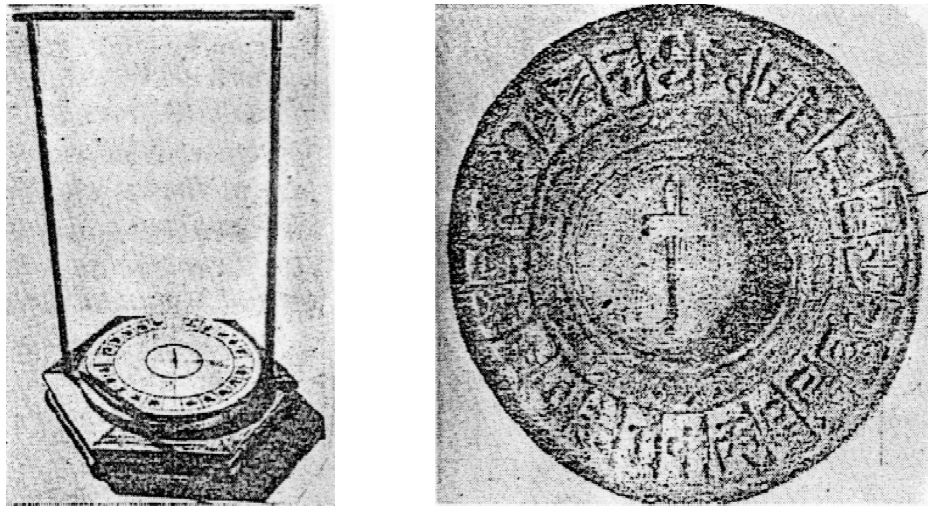


北宋科学家沈括在《梦溪笔谈》一书中，介绍的指南针四种不同装置方法。这是世界上最早关于人工磁化针指南方法的记载。

**图 11　《梦溪笔谈》介绍指南针四种不同装置方法**

对于我国古代四大发明之一的指南针及其应用，沈括的贡献也是多方面的，他不仅记载人工磁化铁针的方法，推断出磁针所以有指南、指北的区别，是石性不同的缘故[33]，还具体比较了指南针的四种装置方法（图 10、图 11），这些方法迄今仍为制作罗盘和地磁测量仪器时所采用。磁变仪、磁力仪的基本结构原理就是采用悬丝法，航空、航海中使用的罗盘则多以水浮磁针（图 12）为基本装置。更为难能可贵的是沈括还指出指南针指向“常微偏东，不全南也”。这样，他就从观察、实测中揭示出地磁偏角的存在[34]。我们知道，地磁学告诉人们，地磁偏角是随时间、地点而变化的，一般讲，它的值较小，最大的二十度，多数只有几度或不足一度，磁针偏东为正，偏西为负。据现在有人研

究，11 世纪时，沈括经常居住的长江下游地区地磁偏角一般不过三至四度，这样小的数值，在九百年前的古代，虽然当时我国已经能精确地测出地理子午线的方向，可是如果没有自制的灵敏度很高的指南针，不经过长期细致的周密观测，是不易察觉的，这是沈括在物理学上的一项重要贡献。它比欧洲哥伦布于 1492 年横渡大西洋时的同样发现要早 400 多年。[虽然清末曾有人认为一行（张遂）曾观察过地磁偏角，但迄今并无确切的资料足以证实。严敦杰先生据杨惟德《茔原总录》里发掘出的一条文字，似乎当时地磁偏角的测定已为堪舆家所掌握，这是值得进一步研究的。]



a）北宋时期的悬丝法指南针（复原模型）　　b）宋罗盘（即“水浮法”指南针）

**图 12　北宋时期的指南针**



**图 13　沈括的“正声”即纸人共振实验**

沈括在声学方面有着多项成就，为了探求声的共振问题，他从仔细观察入手，概括出我国古代的弹弦乐器——琴瑟都有互相应和现象，即八度音程能产生共鸣的音，“宫弦则应少宫，商弦则应少商，其余皆隔四相应”[35]。他在认识的基础上还进而通过实验来加以验证。这个实验是这样安排的：“今曲中有声者，须依次用之。欲知其应者，先调诸弦令声和，乃剪纸人加弦上，鼓其应弦，则纸人跃，他弦则不动。声律高下苟同，曾在他琴鼓之，应弦亦震，此之谓正声。”[36]沈括的这个“正声”实验（图 13），实际上就是共振实验。由此，我们可以看出，他对弦线的基音与泛音之间的共振关系的研究已相当深入，并具实用价值。此实验更比英国人诺布尔（William Noble）和皮戈特（Thomes Pigott）所做的“纸游码”实验要早五个多世纪[37]。

在光学方面，沈括不仅善于总结前人的科研成果，并通过亲身观察，对透光镜、虹等都提出了自己的科学

见解。他还直接运用实验手段，深入探究了光的直线传播、凹面镜成像、凸面镜的放大与缩小作用等现象。为了证明光的直线传播的性质并给人以形象化的解释，沈括做了如下所述的小孔成像实验（图 14）：他先直接观察鸢儿在室中的飞动，看到地面的鸢影也跟着它移动，而影的移动方向是与鸢儿飞行的方向相一致的。再在纸窗上开出一小孔，使窗外飞鸢的影子呈现于室内的纸屏上，于是以此时“鸢东则影西，鸢西则影东”的情况说明了光直线传播的道理[38]。光线穿过小孔时，窗外的楼塔等物所成的影像也是颠倒的，对此，沈括作出观察和记录，“窗隙中楼塔之影，中间为窗所束，亦皆倒垂”[39]。

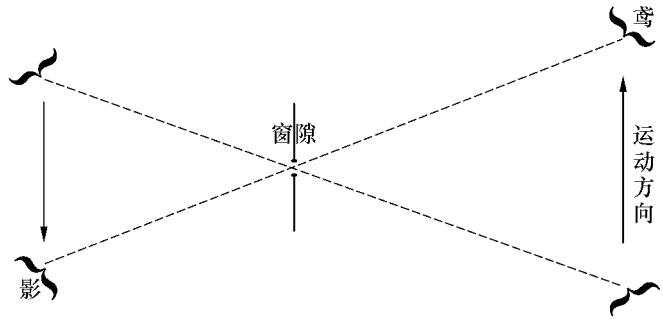



**图 14　小孔成像示意图**

有关凹面镜成像的著名实验是沈括对光学的又一贡献。他将一手指置于凹面镜前，观察成像情况，发现随着手指与镜面距离的远近移动，像也相应发生变化，从而说明了凹面镜所成像和物体与镜面的距离（即物距）有关：“阳燧面洼，以一指迫而照之则正（图 15），渐远则无所见（图 16），过之遂倒（图 17）。”[40]即手指靠近凹面镜镜面时像是正的虚像，渐渐远移到某一位置（焦点处），成像在无穷远处，故“无所见”，这一位置严格讲是“一段距离”，因为当物在焦点与球心之间时，成像落在人眼之后，仍“无所见”，当物的位置过了球心而远离镜面，倒立实像就看得很清楚了。虽然沈括的表述还没这样细，但上述实验却基本正确地表明了凹面镜成像的原理，同时也提供了粗略测定凹面镜焦距的一种方法。这里有两点是前人所没有做到的，从历史角度看应当说是科学方法上的一大改革：第一，沈括以自身的手指当作物体，把物体（手指）与观察者（眼睛）分开来进行实验，使之可以比较详尽地描述成像的各种情况；第二，发现了成正像与成倒像有个分界点，这导致他进一步发现近代光学所确认的焦点。沈括为此作了如下的记述：“阳燧面凹，向日照之，光皆聚向内，离镜一二寸光聚为一点，大如麻菽，着物则火发，此则腰鼓最细处也。”（图 18）又说：“阳燧照物皆倒，中间有碍故也。”[41]沈括把这一聚光点，形

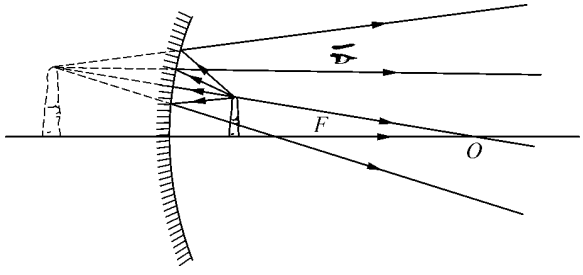



**图 15　“以一指迫而照之则正”**

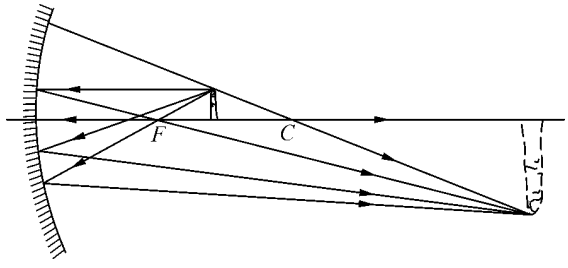



**图 16　“渐远则无所见”——像在人目之后**

容如“麻菽”，意思是说焦点只有芝麻或小豆粒那般大小，并把它叫做“碍”，用“腰鼓最细处”对光束加以形象的比拟，十分贴切。还说此点离镜面大约为一二寸的距离，揭示了焦点的大致位置，这种见解，在当时无疑是十分高明的，对几何光学是一大贡献。

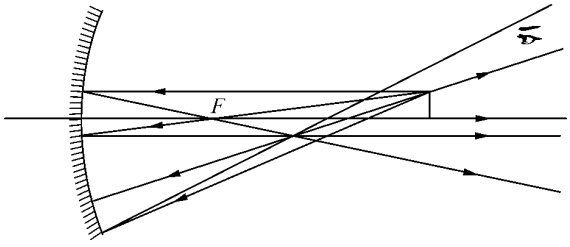



图 17 “过此逐倒”

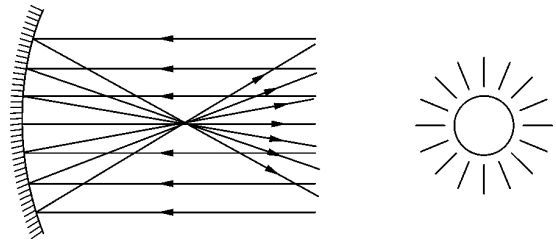


图 18 “阳燧面洼，向日照之，……此腰鼓最细处也”

## 四、辩证地认识形数关系，并创造性地运用数学方法

沈括批判了邵雍提出的“神生数，数生象，象生器”[42]的唯心主义象数论，指出：“余闻其言怪，兼复藏秘，不欲深诘之。”[43]与此同时，他针锋相对地提出了唯物主义的象数论。这在前面介绍的有关易象的论述中，可以清晰地看到沈括的这种鲜明观点。沈括在《梦溪笔谈》卷七中还进一步指出：“大凡物有定形，形有真数。方圆端斜，乘除相荡，无所附益，泯然冥会者，真数也。以圆法相荡而得衰，则衰无不均；以妥法相荡而得差，则差有疏数。……非深知造算之理者，不能与其微也。”[44]在此，沈括明确指出事物具有确定的形象，而形象又具有真实的数量，这种数量之间的关系是可以通过乘除运算来加以把握的，但只有深入了解运算真谛的人，才能获取其奥妙。同时，此处所指的“图法”与“妥法”，其数学内涵，虽迄今仍有争议，有待进一步探讨，但它们是当时由沈括所创建的数、形结合的新的数学方法，涉及球面三角问题，则概可确认。不仅如此，沈括正是基于对形数关系的正确认识，除了靠长期观测以外，还运用“圆法”与“妥法”对数据进行推算，从而发现了“冬至日行速，夏至日行迟”这一太阳在黄道上运行的规律。

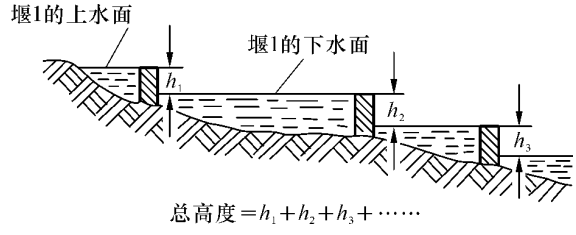



图 19 分层筑堰测量水准高度示意图

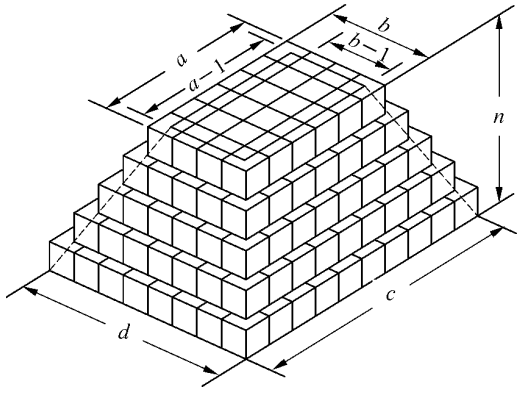
沈括对汴京（今开封）与泗州（汴渠入淮水）之间的地势高低差的测量，采用挖开汴渠堤外的水沟，使之相互连结，再将水沟分成若干段，分层筑堰（图 19），将其高度差叠加得出汴渠上下游地势差的实际数据[46]。从而取得疏浚宋朝的重要交通命脉——汴渠的第一手资料。西欧从 18 世纪初才开始水准高度的测量，俄国到 1696 年才进行顿河的地形测量，均比沈括的这项科技成就要晚得多。

他为了解决如何运输军粮的问题，运用数学知识进行研究，提出的“运粮之法”中就具有运筹学思想的萌芽[47]。他用组合数学方法计算出围棋棋局的总数为 $3^{361}$，显然是在实际上无意识地运用了指数定律[48]。增成代除法出现在北宋初期的民间，沈括及时给予科学总结，并提出“然算术不患多学，见简即用，见繁即变，不胶一法，乃为通术也”的见解[49]，不仅精练地概括了当时急需简化筹算的趋势，同时也反映出他在研究问题中重视

数学方法运用的情况。

更值得称道的是沈括在长期从事水利工程的实测工作与研究如何加强边防、城防设施的过程中，对层层堰坝、垒垒城垣这一层坛的现实原型作了深入的探讨，并在前人工作的基础上，根据实际需要，提出新的数学问题与计算方法，从而取得隙积术这项杰出的成果[50]，把停滞了五六百年没进展的等差级数求和提高到高阶等差级数求和，使形体计算的水平踏上了新的台阶（图 20）。同样，在土地丈量的客观需求推动下，沈括不受古籍《九章算术》“犹六经之临百氏”，不能“度越范围”的局限，在该书弧田面积算法的基础上创建了“会圆术”（图 21），研究了弧、弦、矢之间的关系，并给出了由弦、矢长度求弧长的比较简单实用的近似公式，成为介入该领域的第一位中国数学家[51]。沈括的这些成就，在世界数学发展史上，都占有重要地位。

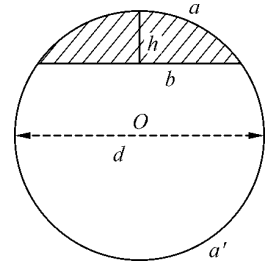
对沈括的数学造诣及其将数学运用到实际工作与科学研究中去的情况，他自己就曾作出过很好的表达，这在上段我们的引文“非深知造算之理者，不能与其微也”中已可察其端倪。




$$\nabla=\frac{n}{6}[(2b+d)a+(2d+b)c]+\frac{n}{b}(c-a)$$

$a$—顶层宽处物件数
$b$—顶层长处物件数
$n$—层数
$c$—底层宽处物件数
$d$—底层长处物件数
$\nabla$—物件总数
“隙积”—指带有间隙的垛体体积（为层层筑起来的阶梯形平台）

**图 20　层坛**




$$a=\frac{2h^2}{d}+b$$

弓形的圆弧长
弓形的弦长
弓形的矢长
圆的直径
—割剩的圆弧长
与 a′会合则基本恢复成原来的圆（即沈括“会圆”的含义）

**图 21　会圆**

## 五、注意询究并总结民间科学经验，研究发掘已有历史成果

在这方面，沈括表现得十分突出，他对于来自群众实践中的科学成果总是多方搜集、询究，不遗余力，并力求在原有基础上加以系统总结，进而探溯其“理”。沈括的这些极富价值的科学实践活动，应当说，正是和他奉行科学来自群众，源于生产实践的科学史观一脉相承的。

嘉祐六年（公元 1061 年）沈括客居宣州宁国时，曾上书参知政事欧阳修，献所著《乐论》，并



需要全本请访问 www.ertongbook.com