



丁衡高 著

海陆空天显神威

—— 惯性技术纵横谈





丁衡高 著

海陆空天显神威

—— 惯性技术纵横谈



清华大学出版社



暨南大学出版社

(京)新登字 158 号

图书在版编目(CIP)数据

海陆空天显神威: 惯性技术纵横谈/丁衡高著. --北京: 清华大学出版社; 广州: 暨南大学出版社, 2000. 3

(院士科普书系/路甬祥主编)

ISBN 7-81029-928-X

I. 海… II. 丁… III. 惯量-普及读物 IV. 0313.3-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 28002 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研楼, 邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

暨南大学出版社(广州天河, 邮编 510630)

<http://www.jnu.edu.cn>

责任编辑: 王传臣

印 刷 者: 北京丰华印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 印张: 4.625 彩页: 2 字数: 125 千字

版 次: 2000 年 5 月第 1 版 2000 年 7 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 7-81029-928-X/G·129

印 数: 5000~10000

定 价: 12.00 元

《院士科普书系》编委会

编委会名誉主任 周光召 宋 健 朱光亚

编委会主任 路甬祥

编委会委员 (按姓氏笔划排序)

王佛松	王 越	王 夔	方智远	卢永根
母国光	旭日干	刘大响	刘元方	刘鸿亮
关 桥	汤钊猷	许根俊	孙鸿烈	李大东
李廷栋	李依依	杨 乐	吴有生	吴德馨
何凤生	何鸣元	汪旭光	汪品先	陆建勋
陈可冀	陈运泰	陈建生	陈厚群	范维唐
季国标	金怡濂	周干峙	周永茂	周 恒
郑健超	赵忠贤	胡仁宇	钟万勰	钟南山
洪德元	姚福生	秦伯益	顾诵芬	钱七虎
徐冠华	殷瑞钰	黄志镗	龚惠兴	梁栋材

编委会执行委员 郭传杰 葛能全 钱文藻 罗荣兴

编委会办公室主任 罗荣兴(科学时报社)

副主任 何仁甫(中国科学院学部联合办公室)

冯应章(中国工程院学部工作部)

蔡鸿程(清华大学出版社)

周继武(暨南大学出版社)

总 策 划 罗荣兴 周继武 蔡鸿程

总 责 任 编 辑 周继武 蔡鸿程 宋成斌

提高全民族的科学素质

——序《院士科普书系》

人类走到了又一个千年之交。

人类的文明进程至少已有六千余年。地球上各个民族共同创造了人类文明的灿烂之花。中华文明同古埃及文明、古巴比伦文明、古印度文明、古希腊文明等一起，是人类文明的发源地。

十五世纪之前，以中华文明为代表的东方文明曾遥遥领先于当时的西方文明。从汉代到明代初期，中国的科学技术在世界上一直领先长达十四个世纪以上。在那个时期，影响世界文明进程的重要发明中，相当部分是中华民族的贡献。

后来，中国逐渐落后了。中国为什么落后？近代从林则徐以来许多志士仁人就不断提出和思索这个历史课题。但都没有找到正确的答案。以毛泽东同志、邓小平同志为代表的中国共产党人作出了唯一正确的回答：中国落后，是由于生产力的落后和社会政治的腐朽。西方列强对中国的欺凌，更加剧了中国经济的落后和国家的衰败。而落后就要挨打。所以要进行革命，通过革命从根本上改变旧的生产关系和政

治上层建筑,为解放和发展生产力开辟道路。于是,就有了八十多年前孙中山先生领导的辛亥革命,就有了五十年前我们党领导的新民主主义革命的胜利,以及随后进行的社会主义革命的成功。无论是革命还是我们正在进行的社会主义改革,都是为了解放和发展生产力。

邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的著名论断,使我们对科学技术在经济和社会发展中的地位与作用的认识,有了新的飞跃。我们应该运用这一真理性的认识,深刻总结以往科学技术发展的历史经验,把我国科技事业更好地推向前进。中国古代科技有过辉煌的成果,但也有不足,主要是没有形成实验科学传统和完整的学科体系,科学技术没有取得应有的社会地位,更缺乏通过科技促进社会生产力发展的动力和机制。为什么近代科学技术首先在文艺复兴后的欧洲出现,而未能在中国出现,这可能是原因之一吧。而且,我国历史上虽然有着伟大而丰富的文明成果和优良的文化传统,但相对说来,全社会的科学精神不足也是一个缺陷。鉴往开来,继承以往的优秀文化,弥补历史的不足,是当代中国人的社会责任。

在新的世纪中,中华民族将实现伟大的复兴。在一个占世界人口五分之一的发展中大国里,再用五十年的时间基本实现现代化,这又是一项惊天动地的伟业。为实现这个光辉

的目标,我们应该充分发挥社会主义制度的优越性,坚持不懈地实施科教兴国战略。

科教兴国,全社会都要参与,科学家和教育家更应奋勇当先,在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识。科教兴国也要抓好基本建设。编辑出版高质量的科普图书,就是一项基本建设,对于提高全民族的科学素质,是很有意义的。在《院士科普书系》出版之际,写了上面这些话,是为序。

A handwritten signature in black ink, reading '江泽民' (Jiang Zemin), written in a cursive style.

一九九九年十二月二十三日

人民交给的课题

——写在《院士科普书系》出版之际

世界正在发生深刻的变化。这一变化是 20 世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果。从马克思主义的观点看来,生产力的发展是人类社会发展与文明进步的根本动力;而“科学技术是第一生产力”,因此,科学技术是推动社会发展与文明进步的革命性力量。从生产力发展的阶段看,人类走过了农业经济时代、工业经济时代,正在进入知识经济时代。

知识经济时代,知识取代土地或资本成为生产力构成的第一要素。知识不同于土地或资本,不仅仅是一种物质的形态,知识同时还是一种精神的形态。知识,首先是科学技术知识,将不仅渗透到生产过程、流通过程等经济领域,同时还渗透到政治、法律、外交、军事、教育、文化和社会生活等一切领域。可以说,在新的历史时期,一个国家、一个民族能否掌握当代最先进的科技知识以及这些科技知识在国民中普及的程度将决定其国力的强弱与社会文明程度的高低。科技创新与科普工作是关系到一个国家、一个民族兴衰的



大事。

对于我们科技工作者来说,我们的工作应当包含两个方面:发展科技与普及科技;或者说应当贯穿于知识的生产、传播及应用的全过程。我们所说的科普工作,不仅是普及科学知识,更应包括普及科学精神和科学方法。

我们的党和政府历来都十分重视科普工作。党的十五大更是把树立科学精神、掌握科学方法、普及科技知识作为实施科教兴国战略和社会主义文化建设的一项重要任务提到了全党、全国人民和全体科学工作者的面前。

正是在这样的背景下,1998年春由科学时报社(当时叫“中国科学报社”)提出创意,暨南大学出版社和清华大学出版社积极筹划,会同中国科学院学部联合办公室和中国工程院学部工作部,共同发起《院士科普书系》这一重大科普工程。

1998年6月,中国科学院与中国工程院“两院”院士大会改选各学部领导班子,《院士科普书系》编委会正式成立,各学部主任均为编委会委员。编委会办公室在广泛征求意见的基础上拟出150个“提议书目”,在“两院”院士大会上向1000多名院士发出题为《请科学家为21世纪写科普书》的“约稿信”,得到了院士们的热烈响应。在此后的半年多时间里,有176名院士同编委会办公室和出版社签订了175本书的写作出版协议,开始了《院士科普书系》艰辛的创作过程。

《院士科普书系》的定位是结合当代学科前沿和我国经济建设与社会发展的热点问题,普及科技知识、科学方法。科学性、知识性、实用性和趣味性是编写的总要求。

编写科普书对我国大多数院士来说是一个新课题。他们惯于撰写学术论文。如何把专业的知识和方法写成生动、有趣、有文采的科普读物,于科技知识中融入人文教育,不是一件容易的事。不少院士反映:写科普书比写学术专著还难。但院士们还是以感人的精神完成自己的书稿。在此过程中,科学时报社和中国科学院学部联合办公室、中国工程院学部工作部以及清华大学出版社、暨南大学出版社也付出了辛勤的劳动。

《院士科普书系》首辑终于出版了。这是人民交给科学家课题,科学家向人民交出答卷。江泽民总书记专门为《院士科普书系》撰写了序言,指出科普是科教兴国的基础工程,勉励科学家、教育家“在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识”,充分表达了党的第三代领导集体对科普的重视,对提高全民族科技素质的殷殷期望。

《院士科普书系》将采取滚动出版的模式。一方面随着院士们的创作进程,成熟一批出版一批;另一方面随着科学技术的进步和创新,不断有新的题材由新的院士作者撰写。因此,《院士科普书系》将是一个长期的、系统的科普工程。

这一庞大的工程,不但需要院士们积极投入,还需要各界人士和广大读者的支持——对我们的选题和内容提出修订、完善的建议,帮助我们不断提高《院士科普书系》的水平与质量,使之成为国民科技素质教育的系统而经典的读本。在科学家群体撰写科普书方面,我们也要以此为起点为开端,参与国际竞争与合作,勇攀世界科普创作的高峰。

中国科学院院长
《院士科普书系》编委会主任

路甬祥

2000年1月8日

序 言

惯性技术是一项综合性的技术,既古老又新颖,但并不神秘。从过去到现在、从国内到国外,从陆地、海洋到天空、宇宙,可以说,大千世界几乎都与惯性技术发生着某种联系。特别是 20 世纪以来,从 40 年代第二次世界大战中德国发射的 V2 火箭,50 年代发射人造地球卫星,60 年代载人登月,到 90 年代海湾战争中使用的多种尖端武器,无不显示着惯性技术发展和应用的足迹,由此即可窥见惯性技术与武器装备及军事战争之间的密切关系。至于民用方面,从国民经济的发展到人们的日常生活,如与海、陆、空、天有关的交通运输、大地测量、矿山开采、石油钻探、隧道工程及水利工程等领域,无不显示惯性技术应用和发展的成就,由此同样可以说明惯性技术在民用方面应用范围之广泛、相互联系之密切。

基于惯性技术在军用、民用领域中的重要地位和作用,加之不少读者对它又不甚熟悉,我和我国从事惯性技术工作的一些朋友们多年来就一直心存一个愿望,就是希望以生动的形式,通俗的语言将这项技术介绍给大家。不仅介绍清楚它的科学概念,而且更着重地阐明它的广泛应用,争取做到融科学性、知识性、趣味性和实用性于一体,这样使读者既可产生阅读的兴趣,又可了解它的作用和前景。值此编辑出版

《院士科普书系》之际,通过与朋友们共同探讨,多方收集资料,广泛听取意见,反复修改,终于完成了这本科普性册子。本书共分6章,各章节之间既有内在联系,又有一定的独立性,全书突出惯性技术基本知识及广泛的应用领域,读者可依照自己的兴趣和需要,或者通读,或者选阅。

科普书籍的写作具有其自身的特点和规律,尽管多年来我们一直从事与惯性技术有关的工作,但要写好一本该领域的科普图书,却深感并非一件易事。由于我们在这方面经验不足,写作体会也不深,因而该书可能存在一些不妥之处,恳望读者不吝指正,以便今后再版时改进,以进一步符合科普图书的要求和更加适合读者的需要。

丁衡高
2000年1月

目 录

1 源远流长的惯性技术

- 1.1 古代行军与航海的定向定位 1
- 1.2 牛顿惯性定律的妙用 6
- 1.3 惯性系统的应用实例 11
- 1.4 惯性系统的发展走向 16

2 惯性系统的中枢神经——惯性仪表

- 2.1 加速度计——敏感运动速度变化 20
- 2.2 陀螺仪——旋转的不倒翁 31

3 各显其能的惯性系统

- 3.1 罗经与航向、垂直稳定器 51
- 3.2 平台式惯性系统 57
- 3.3 捷联式惯性系统 61
- 3.4 取长补短的组合系统 62

4 性能检测是可靠使用的重要保证

- 4.1 惯性仪表的检验和测试 70
- 4.2 惯性系统的检验和测试 75

5 海陆空天显神威

5.1 “海洋霸主”与“水下蛟龙”	79
5.2 从坦克到登月车	84
5.3 从战机到民航	88
5.4 从战略、战术武器到精确制导武器	91
5.5 从卫星到载人航天器	103
5.6 向地下进军	105
5.7 造福于民无所不在	110

6 小荷露尖角——微型惯性仪表

6.1 原理与结构	118
6.2 设计与制造技术	121
6.3 微型惯性测量组合的应用前景	124
6.4 在智能运输系统中显身手	126

编后记	132
-----------	-----

1

源远流长的惯性技术

1.1 古代行军及航海的定向定位

(1) 地磁与指南针

惯性技术主要是研究解决运载体运动中的定向、定位问题的,它的发展与“海、陆、空、天”领域各种运载体定向、定位精度等性能的要求不断提高紧密相连。自古以来,运载体的定向、定位就是人们关注的话题。作为定向来说,我国古代就已发现一种称为“磁石”的天然矿物(它的成分是 Fe_3O_4),它具有能吸引铁、镍、钴等物质的磁性。我国古代四大发明之一的指南针即利用磁石制成,它是一种指示方位的简单

惯性技术主要是研究解决运载体运动中的定向、定位问题的。

仪器。在战国时代已有用天然铁矿石琢磨成的指南针,称之为“司南”。北宋沈括的《梦溪笔谈》中对此发明已有详细记载。指南针主要组成部分是一根可以转动的磁针,磁针在地磁作用下可以自动寻找和指示磁北,其方向指向地球磁北极,利用这一特性可以作为舰船和陆地车辆辨别方向的基准。所以说指南针是航海、旅行和行军中不可缺少的指示方向的仪器之一。它最简单的形式包含有一支置于轴上的磁针,如图 1.1 所示。

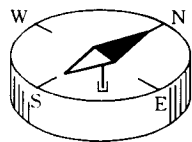


图 1.1 指南针示意图

指南针主要用于导航和勘测,其度盘早期经常是取水平圆盘形式,按普通方位基点划分,把北向(N)定为 360° ,东向(E)是 90° (按顺时针方向),南向(S)是 180° ,西向(W)是 270° 。指南针指向地球磁北极方向,但这个方向并不是真北,即它的指示精度是不能令人满意的。这是因为指南针在地球及其周围的磁暴、磁异常和强电磁场干扰下,它的定向基准功能将会失灵。况且地球在其南北极附近各有一个地磁水平分量等于零的地点,这两个地点就是地球的磁极。它们的位置经常缓慢地移动,这对于现代“海、陆、空、天”中的运载器来讲,利用指南针去精确测量与控制其方向显然是困难的。20 世纪初,在航海事业的需求和当代自然科学技术的发展促进下,陀螺制造技术有了良好的开端,研制成了不依赖于地磁特性而能指示方向的陀螺罗经,又称为电罗经。那么陀螺罗经不敏感地磁场又依赖什么样的信息呢? 这个信息就是地球绕自身地轴(南北极之间的连线)的自转角