

刘业翔 李洪桂 上官正 张永键 著

飞行的金属





刘业翔 李洪桂 上官正 张永键 著

飞行的金属



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

飞行的金属/刘业翔等著. - 北京:清华大学出版社;广州:暨南大学出版社(院士科普书系/路甬祥主编)

ISBN 7-302-05321-9

I. 飞… II. 刘… III. 航空材料:金属材料—普及读物

IV. V252-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 013536 号

出 版 者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,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:宋成斌

印 刷 者:北京四季青印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:850×1168 1/32 印张:7 字数:137 千字

版 次:2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-05321-9/G·255

印 数:0001~5000

定 价:12.00 元

《院士科普书系》编委会(第二届)

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 (两院各学部主任、副主任)

陈佳洱 杨 乐 闵乃本 陈建生 周 恒

王佛松 白春礼 刘元方 朱道本 何鸣元

梁栋材 卢永根 陈可冀 匡廷云 朱作言

孙 枢 安芷生 李廷栋 汪品先 陈 颢

王大中 戴汝为 周炳琨 刘广均 杨叔子

钟万勰 关 桥 吴有生 刘大响 顾国彪

陆建勋 龚惠兴 吴 澄 李大东 汪旭光

陆钟武 王思敬 朱建士 郑健超 胡见义

陈厚群 陈肇元 崔俊芝 张锦秋 刘鸿亮

方智远 旭日干 周国泰 王正国 赵 铠

钟南山 桑国卫

编委会执行委员 郭传杰 常 平 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 周先路(中国科学院学部联合办公室)

白玉良(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 6000 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。

15 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 14 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 80 多年前孙中山先生领导的辛亥革命,就有了 50 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 50 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。

江泽民

1999年12月23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,同时还将渗透到政治、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

本书前言

“啊！月面真是太美了，仿佛上面铺着一层细细的炭粉，可以清楚地看到脚印哩！……走路并不那么困难，比在地面模拟训练轻松多了！”美国第一位登月宇航员阿姆斯特朗一边围绕着登月舱跳跃式地走动，一边向居住在地球上的人们介绍所看到的情景。随后他俯身拾取月岩和收集矿物……。这是1969年7月21日12时许，全球数以百万计的电视观众目睹的人类第一次登月令人难忘的一幕。五天之前，即7月16日，三位美国宇航员靠了巨大的土星-5火箭（有40层楼高）发射的阿波罗-11号飞船，进入了近地轨道。7月21日凌晨，在飞行了38万公里后，登月舱平稳地降落在月面静海的一角。这一天，人类实现了数千年来飞离地球登上月宫的梦想。

不久，人类又进而远征太空，飞向遥远的星球。1970年12月，苏联的金星-7号探测器在金星表面软着陆，1976年7月和9月，美国的海盗1和2号着陆器先后在火星表面软着陆。此后，不断向外层空间挺进，飞向木星，飞向土星，飞向冥王星……。

应当看到,在人类飞出地球探索宇宙的背后,隐藏着军事大国之间的空间竞争,他们都想掌握太空制空权和全球控制权。事实证明,作为一个主权国家,保卫本国领土完整,掌握本国制空权,保有强大的空中力量,这是至关重要的。

空中力量是与飞机及各种飞行器分不开的。现代先进的飞行器要飞得高、快、远、省,就必须靠轻、强、美的材料,这就是铝、镁、锂、钛这些金属及其合金称之为“飞行的金属”之原因。试看今日各种先进飞行器,谁能缺少?目前,最新的客机波音 777 用铝材 80%、钛材 10%;号称未来的战机 F-22,用钛材 41%;重型轰炸机 B-1B 每架用钛 90 吨。SR-71 高空侦察机机体重量的 93% 为钛合金。有全钛飞机之称。新型的铝-锂合金将取代目前飞机上近 80% 的常规铝合金,飞机的重量可因此减少 10%~15%,一架大型客机每年仅燃料一项即可由此而节省 170 万美元。航天器每公斤有效载荷的发射费用将减少至原来的 $1/10 \sim 1/30$ 。新系列的镁-锂合金,有的比水还轻(密度为 $0.95 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。其中,LA141 合金用于土星-5 火箭的若干部件,减重 46%;阿波罗飞船上 75% 的结构材料为铝合金片,它使用的 40 多个压力容器有 85% 为钛合金;等等。

本书将逐个介绍飞行的金属(铝、锂、镁、钛)的风采,包括它们的存在、发现、性质以及这些金属及其合金材料的制取和应用等,以期让更多的读者了解它们、关心它们,并献身



于与之有关的事业。

值此书成之日,我要感谢三位助手的辛劳与贡献,他们是中南工业大学上官正教授、张永键教授和李洪桂教授,他们运用广博的学识旁征博引,深入浅出,娓娓道来,使本书在科学性、知识性、实用性和趣味性方面大有提高。另外,还寄望于广大读者,希望多提意见,指出不足,以便本书再版时修正。

刘业翔

2001年5月



目 录

1 铝——给世界带来勃勃生机的金属	1
1.1 姗姗来迟的佼佼者	1
1.2 艰难而光辉的历程	10
1.3 铝工业的粮食——铝土矿	34
1.4 分两步走的原铝生产	39
1.5 耗电大王——铝电解	46
1.6 丰富多彩的铝合金	52
1.7 别忘了环境保护	62
2 锂和含锂合金——让飞行器飞得更快更省	65
2.1 空中竞技和商海竞争	65
2.2 轻量级的大力士,太空飞行的多面手	70
2.3 工业生产的维生素,人类健康的保护神	88
2.4 核反应堆的高能燃料,氢弹中的烈性炸药	93
2.5 高能锂电池——电池家族中的后起之秀	97
2.6 锂化合物的生产	101
2.7 金属锂的生产	110
3 镁和镁合金——丰富的海洋元素,最轻的 结构材料	116
3.1 镁和镁合金的性质	116

3.2	从铝-镁合金到镁-铝合金——镁的应用	123
3.3	多种多样的镁电解法	134
3.4	高效节能的双极性镁电解槽	145
3.5	不用菱镁矿而用白云石做原料的硅热 还原炼镁法	154
4	钛——帮助人类飞出地球飞向太空	161
4.1	引言	161
4.2	力大无比的“巨人”——钛	168
4.3	全能的钛	172
4.4	钛的历史及其生产过程	181
4.5	新兴的老三——金属钛	198
	参考文献	200

1

铝——给世界带来勃勃生机的金属

1.1 姗姗来迟的佼佼者

我们知道,铜的发展史有 8000 多年,铁和锡也有 5000 多岁了,铅、汞、金和银均问世几千年了。而人类在公元 1825 年才首次制得几毫克铝粉。在金属这个大家庭里,铝可算几百代重孙了。虽然铝出生在人类已经相当文明的近代,但它的出生,也是几代科学先驱者们(见图 1.1)艰苦奋斗的结果。

早在 1746 年,波特(J. H. Pott)用明矾制得一种氧化物,但他不知其真面目。18 世