

科技百年的启示与新世纪的展望^{*}

路甬祥

(中国科学院 北京 100864)

关键词 科技发展, 启示, 展望

1 经验与启示

回顾百年科学技术的发展历程, 给我们许多经验与启示, 我认为至少有以下几点:

(1) “科学技术是第一生产力”。自工业革命以来, 科学技术已成为认识世界和改造世界的巨大力量, 已经成为生产技术的重要推动力。进入 20 世纪以后, 科学技术愈益显示出其“第一生产力”的功能, 科技创新已成为人类文明进步的强大动力和基石。

(2) “创新是一个民族的灵魂, 是一个国家兴旺发达的不竭动力”。科技创新是全球性的创新实践。基础科学研究只有世界第一才有意义, 高技术创新也必须面对国际性的竞争和合作。开放、合作、交流、竞争是科技进步的必要条件。欧洲和北美在 20 世纪的科技创新活跃, 频繁和自由的国际学术交流是一个重要原因。科学家应当既善于学习别人的长处, 又敢于、善于自主创新。

(3) 科学的重大突破往往基于传统理论与新发现的现象和实验结果之间基本矛盾的解决, 源于对传统理论的思想解放和充满自信的创新突破。量子论、相对论、大陆漂移和大地构造的板块模型、宇宙大爆炸模型的提出及其它重要的科技创新概莫能外。

(4) 观测和实验手段的革新与发明往往为新的科学发现和理论创新提供新的实验依据。20 世纪以来, 加速器的建造、光学与射电天文望远镜的建造、电子显微镜的发明等都为原子物理、宇宙物理、物质与生命科学新的发现和理论突破提供了不可替代的实验依据。

(5) 现代科学技术的突破往往发生于学科交叉的前沿领域。如遗传物质 DNA 分子双螺旋结构模型的建立, 就是物理学、信息学、生物化学与 X 光晶体衍射技术等多学科交叉的结果。同理, 半导体集成电路技术的突破, 也是依赖于固体物理、微电子学与精细加工技术的交叉。

(6) 现代高技术的发展往往源于基础研究的重大突破, 但也离不开社会需求和市场的巨大推动。如原子弹与氢弹的研制成功, 既来源于本世纪以来核物理基础研究的创新成就, 同时也是反法西斯战争强力推动的结果; 电子计算机的发明与迅速推广, 离不开布尔代数、信息论和微电子及半导体物理的基础研究成果, 但军事和民用市场需求的强烈推动作用也不可忽视。

(7) 社会需求和市场竞争是高技术研究发展和产业化的根本动力, 基础研究和高新技术的突

^{*} 该文为中国科学院院长路甬祥在庆祝中国科学院成立 50 周年学术报告会上演讲的第二、三部分, 标题为本刊所加
收稿日期: 1999 年 11 月 1 日

破往往又能创造出新的社会需求和宏大市场。信息技术、生物技术的发展、突破和产业化都是上述双向作用机制的最好例证。

(8) 20 世纪一些重大科技突破至规模产业化过程缩短。晶体管和激光从发明到产业化都只用了两年,从原子弹爆炸到第一座核电站的建成也只不过 9 年时间。这主要是由于社会对科技创新的关注和重视,社会资源投入的强度和产业化经营管理水平的提高。一些著名的发明家,例如德国的火花塞发明人博施(C. Bosch, 1874– 1940)和汽车发明人本茨(C. Benz, 1844– 1929)、美国的电话发明人贝尔(A. G. Bell, 1847– 1922)、汽车自动装配线的发明人福特(H. Ford, 1863– 1947),以及当代微软公司的盖茨(B. Gates, 1955–)和“雅虎”(Yahoo)的杨致远等后来均成为跨国高技术企业的奠基人。这样的例子不胜枚举,创新和创业已结合为一体。

(9) 现代数学方法和数值计算技术仍然是科学研究对象的科学归纳和数量描述的必要工具,是进行数值计算、仿真和虚拟现实不可缺少的手段,依然是当代科学研究和工程技术发展的重要基础。黎曼几何与相对论、希尔伯特空间与量子力学、快速傅里叶变换和小波理论与信息技术、数理统计、概率论和运筹学与数量经济及金融分析等都是典型例子。

(10) 在科学文献资料的基础上,全球网络已成为现代科技创新的全球化工作平台。

(11) 不同性质的科技创新活动和科技创新活动的不同阶段,有其不同的动力机制和自身规律,应当用不同的方式支持、组织和评价。基础研究、战略研究及高技术前沿探索的周期长,风险大,一旦被突破,对国家、社会乃至人类文明的贡献将无可限量。应该由国家组织精干队伍,建设研究基地,保证学术自由,给予稳定支持(乃至国际合作支持),同时进行必要的科学评估。国立研究机构 and 大学是基础研究、战略研究、高技术前沿探索的主要基地。但是对于应用研究和发展,应明确需求和市场导向,企业应是投资的主体和创新行为的主体。

(12) 创新基地是科技人才辈出和科研成果层出不穷的摇篮。20 世纪科技创新基地在理论研究方面以哥本哈根、哥廷根、剑桥和普林斯顿等大学最为著名,在实验研究方面首推卡文迪许实验室,应用研究方面贝尔实验室当列其首。剑桥大学迄今已有 56 人次获诺贝尔奖,马普研究院也有 18 人获此殊荣。这些成就从一个侧面反映了创新基地的研究设施、科研传统和创新文化氛围的重要性。

(13) 科技园区是培育创新创业人才和孕育高技术产业的园地。美国的硅谷、中国台湾的新竹以及中国北京的中关村,其兴起与发展的共同特点,都是由于有大学和研究所背景与创新创业人才及氛围以及风险资金的参与。

(14) 青年科技人才是科技创新的生力军,20 世纪的许多重要发现和发明出自青年人。爱因斯坦 26 岁即创立了狭义相对论,玻尔提出他的原子结构模型时仅 27 岁,海森堡建立矩阵力学时不过 24 岁,李政道与杨振宁提出在弱作用下宇称不守恒定律时分别为 30 岁与 34 岁,申农发表“通信的数学理论”从而奠定信息论基础时仅 32 岁,图灵提出图灵机概念时仅 24 岁,沃森与克里克提出 DNA 双螺旋结构模型时分别为 25 岁和 37 岁等等。青年更是科学的未来和国家民族的希望,发现、培养、指导和支持优秀青年是老一辈科学家的责任。

(15) 科技创新的主体是创新人才,培养创新人才要依靠科学教育。研究型大学和从事高水平研究与发展的研究机构是培养创新人才的园地和摇篮。实现教学与研究的结合,是培养创新人才的最好方式。20 世纪许多重大发现与发明就出自研究生阶段的研究成果。

(16) 科学技术是一把双刃剑,它可以造福于人类,也可以危害人类。它可以使人类文明获

得巨大的进步,也可以被用来制造毁灭性武器、破坏自然生态环境和导致资源枯竭,可以使富者越富、穷者越穷。两次世界大战带来的浩劫、日益严重的生态环境问题以及一些发达国家发生的严峻社会问题,给我们以深刻的教训和启示,要解决这些矛盾,不仅需要科学精神与人文精神的融合,更需要自然科学、工程技术与社会科学的结合。只有这样,人类才能与大自然和谐共处,妥善把握人类社会自身发展的未来。

2 对未来科技的展望

(1) 21 世纪仍将是信息革命的时代,信息科技仍将是最活跃、发展最迅速、影响最广泛和深刻的科技领域。

信息是构成人类社会的最基本要素之一,它包括人类社会所创造的全部知识的总和。物质世界存在的一切资源、资本、人员、工具的结构、功能、时空分布及其运动和相互作用,人类的语言、文字、情感、思维和知识都必须以信息的方式记录、学习、表达和交流。信息资源与物质资源不同,它可以被重复使用,可以被同时共享,在使用过程中不但不被耗损,还有可能被扩增。因此,信息将成为全球知识经济社会中最重要的资源与竞争要素,信息产业将成为 21 世纪全球经济中规模最宏大、最具活力的产业。21 世纪仍将是信息革命的时代。信息科技仍将是最活跃、发展最迅速、影响最广泛和深刻的科技领域。

可以预计,随着量子电子、光量子技术和纳米科技的进展,微电子与光电子器件及其集成结构、功能和规模将取得新的革命性的进展。

计算机结构和功能将向着微型化、超功能、智能化和网络化方向发展,人机界面将更为友好。随着智能科学研究的进展,模拟人脑认知、思维过程的新概念计算机将可能问世,传统的计算机结构将被突破;随着光电子传输介质和结构的革新以及传输技术的进展,TGb/s 级传输速率的光缆可能普及,信道容量将发展到几近无限。

新的科学方法与应用软件将帮助人们突破语言文字屏障,提供平衡开放和安全,实现即时的虚拟现实,为全球化虚拟制造、服务、流通、研究与发展、终身学习和娱乐提供新的平台。

通过信息科技与物质科技、生命科技乃至与社会人文科学的交叉及融合,分子设计、材料设计、虚拟实验、生物信息、数字地球、数字宇宙和数字生态等新的科学技术分支将得到发展,并表现出巨大的创新潜力。

(2) 21 世纪将是生命科技的世纪。

20 世纪 50 年代 DNA 双螺旋结构的发现及随后关于遗传信息传递“中心法则”的确立和 DNA 技术的问世,使人类开始从分子水平上了解遗传发育等行为,对生命活动规律的认识发生了质的飞跃。基因分离、扩增、重组以及体细胞克隆技术等均已实现,一些重要蛋白质的结构和功能业已探明,细胞膜内外和神经的信息传递的部分机制、微生物和植物光合作用的机制已经有所了解。

21 世纪初,人类、水稻等一些重要物种的全基因图谱和测序工作将要完成,随着后基因组计划的推进,将导致医药保健和农业产业新的革命。

对于人脑和神经系统的分子发育与工作机制的深入研究,将逐步揭示脑和认知过程的奥秘,促进认知科学、教育学和信息科学的发展,并可能为人的智力开发和计算机科学带来新的突破。

生物信息科技的发展将为生命体的发育、遗传的调控,对机体疾病的诊断、调控与康复,对脑与神经的发育及修复乃至认知的发展开辟新的前景。

分子遗传与分子生态学的进展将揭示自然界生物多样性、生态平衡和动植物间的相互依存与相互作用的分子机制,为生态保护和恢复提供新的科学根据。

随着分子生物学的进展,蛋白质结构与功能的关系将得到系统诠释,蛋白质分子设计及生命物质的目标合成技术将日趋成熟,蛋白质工程将成为新兴产业。

以细胞工程、蛋白质工程和基因工程为核心的生物工程技术,将在解决人类面临的人口、食物、健康和生态环境等重大问题上成为支柱性技术和产业,其成果不仅成为人们获取高品质、多样化食物的来源,也将成为可再生能源、可再生和环境友好材料的主要手段。

(3) 21 世纪将是新材料和先进制造技术迅速发展和广泛应用的时代。

新材料和先进制造技术是发展高技术产业和现代文明的物质基础。21 世纪的材料科学技术的发展重点将向具有功能化、复合化、智能化、微型化及与环境相协调化等特征的方向发展。最活跃的材料领域将是信息功能材料、纳米材料、生物材料,开发新能源(如太阳能等)及节能(超导、燃料电池等)材料以及高比强度、高比刚度、耐高温、耐磨、耐蚀和其它在极端条件下具有优良性能的结构材料。由于从基础研究成果转化为实用材料、提高现有材料性能、节约资源及减少污染和降低成本、材料的制备与加工的研究是必由之路,从而将受到更大的重视。由于科学技术的发展,无论是结构材料还是功能材料,都将更多地通过计算机辅助,从微观到宏观实现分子成分设计和工艺设计。材料的开发与生产将逐步摆脱以经验为主的局面。随着材料科学技术的进步,传统材料的性能将会大幅度提高,资源与能源消耗不断下降,污染受到有效的控制。

先进制造技术是一个国家工业技术水平的重要标志之一,必须给予足够的重视。随着纳米技术的发展,将带来微细加工的新变革。加工精度将从微米发展到纳米量级,分子、原子、量子器件的工业化制备将变为现实。制造技术将从传统的工厂、车间走出来。以信息、工艺与管理的计算机集成为特征、以社会生产要素与市场行销和服务相结合的虚拟工厂,将形成全球制造体系新的特点。由于当代消费的多样化、个性化特点,功能性产品将被功能艺术性产品所代替,大批量、同造型的产品将被多品种、小批量,甚至单件定制的所替代。制造业的全盘自动化将被以人为核心、以计算机为中介的人-机一体化智能制造系统所代替。未来的制造业将全面进入柔性、智能、敏捷、精益、绿色、艺术化、全球化的先进制造新时代。

能源是经济和社会活动的动力与基础。在下世纪,燃煤高效联合循环技术将得到进一步采用,运行安全、高效、清洁的核能技术将取得新的突破,潮汐发电、燃料电池、太阳能、风能、生物质能等优质、可再生和清洁能源的效率将大幅度提高,水力与地热资源将得到进一步有效利用。下个世纪,人类取之不竭的清洁能源——海水中氢同位素的受控热核聚变装置,将有可能得到工业化应用,人类将以最理想的方式解决地球上对能量的需求。

(4) 21 世纪将是人、自然、社会协调发展的世纪。

到下世纪,人类将更加普遍地、理性地、科学地节制生育和消费,愈加重视人类的生存环境,注意保护自然界生物的多样性和自然生态系统,重视地球上有限资源的合理利用、可再生循环和可替代性研究。以消耗化石能源为主的耗能方式将被充分利用太阳能、清洁安全的核裂变与聚变能以及生物质能等能耗方式逐步取代。人类将在社会财富不断增长的同时,逐步

实现人口、能耗与温室气体排放的零增长或负增长。人们将理性地改革社会体制, 合理均衡物质财富的分配, 健全社会民主法制, 升华社会道德, 建立平等、和谐的人际关系、代际关系和区际关系, 创造并追求健康、美好、文明的生活方式, 在不断“调整、调适、调优”人与自然之间和人与人之间两大主线的基础上, 使人类社会真正走上理想的可持续发展之路。

(5) 21 世纪还将是人类继续向空间、海洋、地球深部不断拓展的世纪。

人类认识自然、改造自然的过程是无止境的, 永远不会止步。除保持人与自然的和谐共存和持续发展外, 还将进一步开拓天疆和海域, 了解并探索地球深部。利用现代高技术进步的成果, 人们将更加积极研究宇宙的起源和演化, 探测宇宙中的暗物质与反物质, 联合建立大型空间实验站, 发射深空探测器, 探索宇宙间的生命迹象, 制造可深潜万米的水下机器人, 实施大陆、海洋深钻的科学探测计划, 进一步认识自然规律, 获取新知识, 建设“数字地球”, 寻求和开发新的资源, 拓展人类新的生存和活动空间。

(6) 21 世纪将是自然科学发生重大变革、取得突破进展的时代。

以认识自然、发展知识为主要任务的基础科学, 既是人类智慧的大成和结晶, 又是未来科学技术进一步发展的坚实根基。近现代以来的无数科学成就已在人类发展史上构筑了一座辉煌壮丽的科学大厦, 展望下一世纪, 新的革命性的科学成果将为这座大厦再添新的光辉。可以预计, 科学将从分化、深入, 继续走向交叉、综合、统一, 从简化走向复杂, 从简单有序走向复杂有序, 人类对自然界的观察又开一扇更真实的非线性窗口; 人类对物质相互作用及运动规律的研究, 将从常规条件走向非常的极端条件; 从一般渐变走向飞秒突变过程等。对新物种的研究与开发, 将从一般的化学反应、生物过程, 发展到有效的结构设计、分子剪裁和修饰, 以基因工程和分子工程的方法, 获取预想的特定功能乃至生命性状; 凭借人类严密的逻辑和非凡智慧, 数学科学将继续在抽象的理性思维王国中创造奇迹, 同时, 将更加广泛地向自然科学、工程和技术乃至经济和社会的各个领域渗透, 并与计算机技术结合, 从数学物理的分析建模, 走向数字化的仿真乃至高级的虚拟现实; 以生命物质结构、功能及其运动规律为对象的研究将越来越受到重视; 从以数理科学为核心, 主要研究物质相互作用及运动规律, 将逐步走向以数理与信息科学为基础, 以生命科学、经济与社会、环境与生态、脑与认知等复杂系统科学为主流, 着重研究生命现象、认知过程以及人与自然和社会等复杂大系统相互作用的运动规律, 并在总体上不断取得新的突破。

在下个世纪, 随着科学技术内部的交叉和联系, 以及科学与社会相互作用的进一步加强, 科学技术社会化的趋势将更加突出, 需要科学精神和人文精神新的融合。当代科学技术不仅已是国家目标的重要组成部分, 需要国家力量的推动和组织, 同时也是企业在全球市场中竞争与合作的最重要资源与力量所在, 是国家实现现代化的动力和基础, 更是实现全球和平与发展目标的根本要素之一, 需要各国科技力量的合作与联合。科学技术的国际性交流、合作与竞争的潮流, 必将会呈现更加波澜壮阔之势。

总而言之, 科学技术的进步已经为人类创造了巨大的物质财富和精神财富, 它必定还会继续为人类文明做出更为巨大的贡献。作为一名科技工作者, 我深感自己肩负的责任重大。在此, 我愿呼吁所有的科学家和技术专家, 在即将到来的 21 世纪, 携手合作, 共同利用已有的科学技术知识, 充分发挥我们的智慧, 开拓创新, 为中华民族的腾飞, 也为世界所有民族和全人类的繁荣贡献我们的力量。