



北京市高等教育精品教材立项项目

信息科学 教程

XINXI KEXUE
JIAOCHENG

钟义信 周延泉 李蕾 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

北京市高等教育精品教材立项项目

信息科学教程

XINXI KEXUE JIAOCHENG

钟义信 周延泉 李 蕾 著

北京邮电大学出版社

·北京·

**本书的写作获得国家自然科学基金重大项目
(60496327、60496320)、面上项目(69982001)和国
家 863 计划重大项目(2001AA114210-13、2002AA117010、
2004AA117010)的资助。**

图书在版编目(CIP)数据

信息科学教程/钟义信,周延泉,李蕾著. —北京:北京邮电大学出版社,2004
ISBN 7-5635-0863-5

I. 信... II. ①钟...②周...③李... III. 信息学—教材 IV. G201

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 134775 号

作 者: 钟义信 周延泉 李 蕾

责任编辑: 周 堃

出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号) 邮编:100876

发行部电话:(010)62282185 62283578(传真)

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 15.25

印 数: 1—3 000 册

字 数: 336 千字

版 次: 2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0863-5/TN·359

定价: 24.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前 言

“信息科学”不等于“信息论”。这里有一段发人深省的故事。

1948年,美国 Bell 实验室的科学家 Claude E. Shannon 创立了“通信的数学理论(Mathematical Theory of Communication)”,即“通信论”。他用统计的方法建立了通信系统中信源信息的度量、信道容量的度量、以及保障通信系统信息传输有效性和可靠性的编码原理。这是一项划时代的伟大贡献。

后人不满足 Shannon 对这个理论的命名,遂把它称为“信息论”。此后便少有人知晓“通信论”,而只知道“信息论”。

其实,把 Shannon 的“通信论”称为“信息论”是不妥当的。

这是因为,如果把它命名为“信息论”,它就应当能够适用于信息的各个分支领域:信息的获取(感测)、信息的传递(通信)、信息的处理(认知)、信息的再生(决策)、信息的执行(控制)。然而,在通信以外的其他领域,特别是认知和决策这些智能领域,Shannon 理论不能普遍成立。

作为一位令人尊敬、学风严谨的科学家,Shannon 本人在 IEEE Transactions on Information Theory 第二卷头版头条发表的专论文章“The Bandwagon”清晰地阐明了这一点。他说:“近几年来,信息论简直成了最时髦的学科。它本来只是通信工程师的一种技术工具,现在却无论在普通杂志还是科学刊物都占据了重要的地位……结果,它已经名过其实……这种声誉孕育着一种危险。诚然,在理解和探讨通信问题的本质方面,信息论是一种有力的工具,而且它的重要意义还将与日俱增。但它肯定不是通信工作者的万灵药;而对于其他人,则更是如此。应当认识到,一次就能打开全部自然奥秘这种事情是不可能的。否则,一旦人们发现仅仅使用几个像信息、熵、冗余度这样一些动人词汇并不能解决问题的时候,就会灰心失望,那种人为的繁荣就会在一夜之间崩溃……信息论的基本结果都针对某些非常特殊的问题……信息论的核心本质是一个数学分支,是一个严密的演绎系统。因此,透彻地理解它的数学基础及其在通信方面的应用,是在其他领域应用

信息论的先决条件。”遗憾的是,很多人没有理解 Shannon 的忠告。

Shannon 是伟大的,因为他创造了近乎完美的“通信的数学理论”,也因为他的谦逊和实事求是的科学品德。

Shannon 在 1948 年创造的是“通信论”,而不是“信息论”。这是当时的社会需求和科学能力决定的。那时,社会的需求是发展通信、计算机、自动控制这样一些应用性新技术,还没有对智能理论提出明确的需求。另一方面,当时的科学能力也还没有为研究智能理论做好必要的准备。比如,模糊集合、粗糙集合和混沌理论等这样一些必要的数学工具还没有诞生。

20 世纪下半叶,随着通信、计算机、控制这些信息技术分支的发展,随着新的数学工具的陆续问世,智能理论的研究被提上日程,人们尝试建立一个能够适用于整个信息领域的“信息理论”。不过,为了避免同 Shannon 信息论在概念上混淆,就把它命名为“全信息理论”。

命名为“全信息理论”的根本原因在于:通信问题需要考虑的是白噪声背景下波形(语法因素)的复制,不需要考虑波形的内容(语义因素)和价值(语用因素),因此,Shannon 理论的“信息”只研究“语法信息”(而且是统计型的语法信息),有意舍去了“语义信息和语用信息”。而为了研究适用于整个信息(特别是智能)过程的信息理论,则需要全面考虑语法信息、语义信息、语用信息的因素。“全信息理论”,就是全面考虑语法、语义、语用因素的信息理论。

一旦有了“全信息理论”,就可以统一处理信息的全部过程。于是,全信息理论、信息的获取(感测)理论、信息的传递(通信)理论、信息的处理(认知)理论、信息的再生(决策)理论、信息的执行(控制)理论这些在过去一直是各自独立发展起来的分支学科,就自然地综合成为一个统一的学科体系。

这就是“信息科学”。它确实与“信息论”大不相同。

为了系统总结这些研究成果,《信息科学原理》于 1988 年问世,距离 Shannon 理论的问世恰好 40 个春秋。据查证,这是国内外第一部系统阐明信息科学基本理论及其原理体系的学术专著。

《信息科学原理》一书的出版,受到了学术界的热烈欢迎。为了满足读者学习的需要,分别于 1996 年和 2002 年出版了它的第二版和第三版。广大读者也对此书给了很多很好的鼓励和评价(其中的一部分选登于本书的封底)。

自 1988 年以来,《信息科学原理》就作为一门独具特色的研究生课程在北京邮电大学讲授,每届听课的学生都以自身的感受给这门课程以高度的评价,认为《信息科学原理》所展示的信息科学理论与他们原先的想象“迥然不同”;课程真正

为他们“打开了信息科学精彩世界的大门,令人眼界豁然开朗”。随着信息科学技术的迅速发展,我国其他一些高等学校也先后以《信息科学原理》作为教材开设了研究生课程。

2004年,《信息科学原理》一书由北京市教育委员会评为研究生的“重点精品教材”,定名为《信息科学教程》。此举将有助于把我国研究生的“信息科学”教学引入规范化的轨道。

按照“教材”的要求,作者对《信息科学原理》做了大幅度的修改:保留了原书的体系和基本学术特色,精简了书中关于学术思想渊源的分析 and 理论推导的细节,把原来64万字的专著精简为33万字的教程,还配备了适量富有启发性的思考题,供学生思考。作者热切地希望,通过本教程的学习,学生们能够开拓自己的学术思路和眼界,高屋建瓴地把握科学技术的发展脉络,掌握信息科学的基本理论,理解信息科学的基本方法,孕育自己应用信息科学理论的能力。

借本书即将付梓之机,作者深切感谢北京市教育委员会对《信息科学原理》的适时关注,感谢北京邮电大学历届博士生和硕士生以及广大读者对本书的持久关爱,感谢北京邮电大学研究生院和北京邮电大学出版社的同仁们对本书的长期支持,感谢北京邮电大学信息工程学院和智能科学技术研究中心的老中青同事对本书作者的真诚帮助,没有这一切,《信息科学教程》的面世是不可能的。在本教材的编写过程中,王枬、王小捷、郭燕慧、刘建毅、张鹏飞、王智强、王菁华、李卫、袁彩霞等提出许多宝贵意见,并参与校核,在此一并表示诚挚的感谢。作者诚恳期望今后将继续得到各个方面的关爱、支持和合作,共同为培育我国的信息科学人才、为我国和世界信息科学的发展做出更大的贡献。

钟义信

周延泉 谨志 2004年12月12日

李 蕾

目 录

第 1 章 绪论	本章参考文献	44
1.1 信息科学的缘起	第 3 章 信息:定量测度	
1.1.1 科学技术发生学:辅人律	3.1 概率语法信息测度	46
1.1.2 科学技术发展学:拟人律	3.1.1 Shannon 概率熵	46
1.1.3 科学技术未来学:共生律	3.1.2 Shannon 方法的改进	53
1.1.4 科学—技术—经济—社会:互动律	3.2 模糊语法信息测度	54
	3.3 语法信息统一测度	55
	3.3.1 肯定度归一	56
1.2 信息科学的定义	3.3.2 肯定度不归一	59
1.2.1 研究对象	3.4 全信息的统一测度	60
1.2.2 研究内容	本章小结	64
1.2.3 研究方法	思考题	65
1.2.4 研究目标	本章参考文献	65
本章小结	第 4 章 信息获取原理:识别论	
思考题	4.1 机器感知	68
本章参考文献	4.2 模式识别	71
第 2 章 信息:定性解析	4.2.1 统计识别方法	73
2.1 概念与定义	4.2.2 语言学方法	75
2.2 特征、性质与功能	4.2.3 神经网络方法	76
2.2.1 信息的特征	4.3 机器学习	78
2.2.2 信息的性质	本章小结	83
2.2.3 信息的功能	思考题	84
2.3 分类与描述	本章参考文献	84
2.3.1 信息的分类	第 5 章 信息传递原理:通信论	
2.3.2 信息的描述	5.1 传递模型	85
本章小结		
思考题		

5.2 有效通信	87
5.3 可靠通信	93
5.4 最佳接收	100
本章小结	107
思考题	107
本章参考文献	108

第6章 信息认知原理:知识论

6.1 知识概念	109
6.1.1 基本概念	109
6.1.2 知识的分类	113
6.1.3 知识的表示	114
6.2 知识度量	116
6.3 知识创建	120
6.3.1 归纳型知识生成	121
6.3.2 演绎型知识生成	126
本章小结	130
思考题	130
本章参考文献	131

第7章 信息再生原理:决策论

7.1 知识激活	132
7.2 策略选择	135
7.3 决策方法	137
7.4 统一理论	149
本章小结	152
思考题	153
本章参考文献	153

第8章 信息施效原理:控制论

8.1 基本问题	154
8.2 描述方法	155

8.2.1 控制对象的描述	155
8.2.2 控制目标和效果的描述	158
8.3 控制原理	160
8.3.1 施效机制	160
8.3.2 信息加工机制	162
8.3.3 稳定性机制	167
8.3.4 适应和学习的机制	173
8.4 信息法则	177
本章小结	181
思考题	181
本章参考文献	182

第9章 信息组织原理:系统论

9.1 系统的基本概念	183
9.2 信息与系统优化	190
9.3 信息系统自组织	197
本章小结	204
思考题	204
本章参考文献	205

第10章 信息科学方法论

10.1 科学方法论的变革	206
10.2 信息科学的方法论	208
10.3 方法论的应用举例	214
10.4 信息科学连锁反应	226
10.4.1 信息科学与现代科学	226
10.4.2 信息科学与信息技术	228
10.4.3 信息科学与信息经济	230
10.4.4 信息科学与信息社会	231
本章小结	232
思考题	233
本章参考文献	233

第1章 绪论

信息科学是一门新兴科学。因此,在接触它的基本内容之前,有必要首先关注它的背景和总体情况:什么是信息科学?为什么要研究信息科学?它的形成背景是什么?它是怎样发生和发展起来的?它的内容、体系、范畴是什么?它对现代科学会产生怎样的影响?它对人类的生存和发展具有什么重要意义?

了解这些总体情况之后,就会明白为什么应当研究信息科学,为什么本书要这样安排它的内容。而且,有了比较清晰的总体认识,在深入到后面各个具体章节的时候,才可能做到高屋建瓴,势如破竹,胸有全局,见微知著,能够从整体的联系来把握各个部分,扣住全局的脉络来考察局部的问题,避免就事论事,堕入迷津。

为此,本章将首先阐述科学技术发生发展的一般规律,揭示信息科学问世和崛起的历史机缘,激起读者研究信息科学的热情和兴趣。接着,本章将阐明信息科学的基本定义、基本问题和研究方法,使读者对信息科学的全局有一个清晰的鸟瞰。

1.1 信息科学的缘起

任何科学技术的发生发展都不是偶然的,即使出现的具体时间和地点具有偶然性,即使具体由什么人发现也会具有偶然性,但是,这门科学技术究竟是否应当发生,则服从人类社会进步的需求和科学发展的规律。

为了理解信息科学发生发展的背景,首先需要阐明科学技术发生发展的整体规律。虽然前人在科学技术发生发展基本规律方面曾经建立众多的学说,不过,随着认识的深化,我们对这些规律又有了许多新的体验,凝练了更加深刻的洞察力。

这里将系统而简要地阐述:科学技术是怎样发生的(辅人律)?产生之后又按照什么规律发展(拟人律)?发展的结果将与人类形成什么关系(共生律)?最后还将考察科学技术与经济社会的相互作用(互动律)。这是一组非常重要、非常值得关注的规律体系。

1.1.1 科学技术发生学:辅人律

科学技术不是和自然界一样与生俱来的。在远古的原始时代,世界上既没有科学,也没有技术。科学和技术都是在人类进化的过程到达一定阶段以后,由于人类进一步扩展自身能力的需要和自然规律的许可才渐渐萌发出来,并逐步登上科学舞台的。那么,科学技术究竟是怎样

样发生的?它们是在什么条件下萌发出来的?它们的发生机制揭示了什么重要规律?

回答这些问题之前,需要指出一个重要的事实:人类和人类社会的固有本性之一,是不断追求更好的生存发展条件;原有目标实现了,又会进一步追求更高的生存发展目标,永远不会停留在一个水平上。这是人类社会得以不断发展前进的永恒动力;而为了追求更高的生存发展目标,人类就需要不断增强自己的能力,由此导致人类的不断进化。

考察表明,人类的进化分为两个基本阶段:生物学进化阶段(初级进化阶段)和文明进化阶段(高级进化阶段)。

在生物学进化阶段,人类主要通过自身器官功能的分化和强化来增强自身的能力。直立行走和手脚分工,是人类生物学进化阶段的主要标志。直立行走的结果,使人类的视野大大开阔,认识环境、认识世界的能力大大增强,也使人类身体的灵活性和灵巧性大大增强,适应环境的能力大大提高。手脚分工的结果,使人类双手从行走功能中解放出来,手的操作功能大大扩展,使人类适应环境特别是改造环境的能力空前增强。这是一个极其漫长的人类进化阶段。在这个阶段,没有科学,也没有技术。

由于人类生理器官功能分化和强化的有限性,人类生物学意义上的进化过程不可能无限地展开,因而不可能无限地取得显著成效。当人类自身器官功能的分化和强化达到或接近饱和程度之后,由生物学进化所带来的新的能力增强逐渐进入相对稳定的状态。然而,人类争取更好的生存和发展条件的需求却永无歇止地增长着。

这种矛盾激发了人类进化新机制的出现,这便是人类的“文明进化”机制。于是在生物学进化到达“山穷水尽疑无路”的境地之后,人类进化过程便转向文明进化阶段,出现了“柳暗花明又一村”的新的进化前景。

什么是“文明进化”?

与生物学进化的机制完全不同,“文明进化”的基点不再是“眼睛向内”,不再是仅仅通过人类自身器官功能的分化和强化来扩展自身能力,而是“眼睛向外”,试图通过利用外部世界的力量来增强人类自身的能力。如果说“生物学进化”是一种内向性进化,是初级阶段的进化,那么“文明进化”就是一种外向性进化,是高级阶段的进化。

“文明进化”的机制是怎样出现和建立的呢?

这个过程的展开完全是自然而然的,在绝大多数场合是纯粹自行发生的。因此,也经历了相当漫长的摸索过程。

比如,当原始森林中那些长得比较低矮因而比较容易够着的野果被采摘之后,以野果为食的原始人类就得想办法去采摘长在高处的果实。在漫长的摸索过程中,不知道什么时候什么人曾经不经意地舞弄从地上拾起的干树枝,却意想不到地钩下了长在高处原来徒手够不着的野果!这样,这个身外之物——干树枝——在客观上就“延长”了人手的功能,使原来赤手空拳办不到的事情办成功了。这种不经意的成功其实是一个伟大的发现:人们可以利用身外之物(外部世界的力量)来扩展人类自身的能力。

或许,第一个取得这种成功的人并没有立即意识到这件事情具有什么重要的意义。或许

他在取得了这次成功之后也就立即忘记了(因为他是在不经意的情况下成功的)。但是,这种偶然的成功包含着必然的成功因素。因此,尽管他自己没有意识到,尽管他的成功也没有引起他人的注意,但是,这种成功必然会在别的时候、在别的地方、在别人身上再度出现。这样,一而再、再而三、频繁的偶然成功终于被人们所注意,这种个别的经验就成为众人的共识,成为人们共同的信条。这种“借助身外之物,强化自身能力”的方法和手段,正是科学和技术生长的直接机制。

又如,当原始人类在游猎过程中为了搬移阻挡去路的巨石而束手无策的时候,却有一群顽皮的原始人儿童意外地解决了问题。原来,一根断枝的一头插在巨石之下,又垫在邻近的另一块石头之上(构成了一座杠杆),使它的另一头高高翘起;几个顽皮的原始人儿童纵身跳起,吊挂在高翘一端的断枝上嬉戏玩耍,竟把巨石翘了起来!这下可使原始人们大喜过望!也许随后这次成功便被忘却了,没有在他们的头脑中留下记忆。但是类似的成功肯定会不断地在各种类似场合出现,于是逐渐成为了许多原始人都体验过的“成功经验”。

实际上,这种搬移重物的经验正是杠杆原理的原始萌芽。杠杆成为有力的工具,扩展了人们的体力。设置杠杆的办法就成为一种有效的技术;在这种应用的反复刺激下,人们脑海中就涌现了“杠杆原理”的概念,成为最早的原始形态的科学知识。

由于篇幅所限,这里不可能叙述当初原始人类经历过的种种“偶然”发现和“偶然”成功的过程。然而,上述例子已经清楚地表明,文明进化(利用身外之物,扩展自身能力)是怎样在长期的摸索过程中破土而出,逐渐被原始人们所认识;同样也可以看出,科学技术是怎样在漫长的摸索过程中一次又一次地涌动,终于渐渐被人类所悟解。

人类由生物学进化向文明进化的转变,由“内部器官功能分化和强化”机制向“利用身外之物强化自身功能”机制的转变,是科学技术发生的根本前提。如果没有这种进化机制的转变,科学技术就没有发生的可能。这就是“科学技术发生的条件”和“实现这种发生过程的机制”。这两者的综合,就构成了科学技术的“发生学”原理。

科学技术发生学原理表明,科学技术之所以会发生,根本原因在于人类希望“利用身外之物强化自身能力”。这里,“身外之物”就是通过科学技术手段所创造的各种工具,正是通过使用这些工具,人类自身的能力才得到了有效的加强。

可见,科学技术从它诞生的时刻起,就是为了辅助人类扩展自身的能力,为了扩展人类认识世界和改造世界的能力,为了使人类能够不断改善自己生存和发展的条件。如果不是因为“辅助人类扩展能力”的需要,科学技术本来是没有发生的理由和发生的机缘的。

以上的论述清晰地表明:“辅人”——辅助人类扩展认识世界和改造世界的能力,辅助人类扩展争取更好生存与发展条件的能力,是科学技术之所以能够问世的惟一原因。这是科学技术固有的本质特性,是科学技术的全部本质功能,也是“科学技术辅人律”的全部意义和全部内涵。

一般而言,科学的任务是扩展人们认识世界的能力,技术的任务是为了扩展人们改造(更确切地说应当是优化)世界的能力。当然,科学与技术不是截然分开的,科学理论的发展可以启迪更多的新技术;技术的进步则可以为科学发展提供更强有力的工具。但是,它们对于人类

进步的基本贡献仍然各有千秋。

事实上,一切科学技术都是“辅人”的,只不过有些科学技术的“辅人”作用非常直接和明显,有的则比较间接和隐含。但不管是多么直接或间接,科学技术“辅助人类增强认识世界和改造世界的能力”的作用却是不变的事实。如果人类没有“借助外部力量扩展自身能力”的需要,那么科学技术就失去了发生的内在根据。若有某种科学技术完全没有“辅助人类扩展认识世界或改造世界能力”的作用,那么,它就不会被人们所关注,并终究会被忽视而遭到埋没。

1.1.2 科学技术发展学:拟人律

科学技术发生学的原理被归结为“辅人律”。这是上一节讨论所得到的一个十分重要的结论。那么,科学技术按照人类“扩展能力”的需要生长起来之后,又会按照什么规律向前发展呢?这就是本节要探讨的问题。

人们不难作出这样的宏观判断:既然科学技术是为了满足“辅助人类扩展能力”的社会需求而发生的,那么,它的整个生长发展过程也必定要按照“辅助人类扩展能力”的方向展开下去,这样才能保持逻辑上的一致性。

事实证明,这个推论不但符合逻辑学的基本原理,而且完全符合人类社会和科学技术本身发展的整个历史事实。当然,这种“符合”是从历史发展的宏观过程来说的,而不是从局部微观过程来说的。实际上,任何根本性规律都必须在宏观的时空尺度上才能观察出来,如果仅仅局限在狭小的时空尺度上考察,往往只能得到一些“坐井观天”,甚至“一叶障目,不见泰山”的片面结论。

既然“辅人律”的要旨是“利用外在之物扩展自身能力”,那么按照这一原理,“人类自身能力发展的实际需要”就成为科学技术发展的第一牵引力:人类存在什么“能力发展的实际需要”,就必然要寻求“可以利用的外在之物(所要发展的科学技术)”。换言之,究竟科学技术朝什么方向发展,或者究竟要发展什么科学技术,从根本的意义上说,取决于人类能力发展的实际需要。

人类扩展能力的需求走向与科学技术的发展走向之间不是简单的一一对应关系,而是一种非常复杂的因果关系。这种相互关系可以用图 1.1.1 的模型来表示,这也恰好就是“科学技术发展拟人律”含义的生动解释。

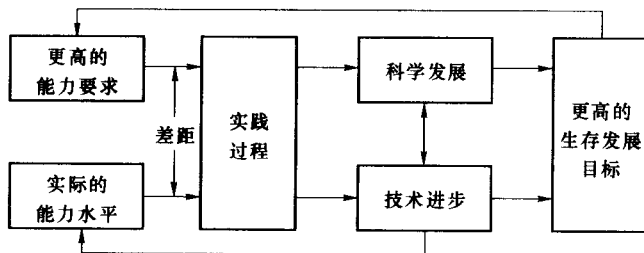


图 1.1.1 科学技术拟人律逻辑模型

模型表明,追求“更高的生存发展目标”是人类社会进步的永恒动力。为此,就必然会对人类自身提出“更高的能力要求”,而当时人类所具备的“实际能力水平”与这种更高的要求之间就会出现能力的“差距”。正是这种能力的差距,成为一种无形的然而又是巨大的导向力(也可以称之为“看不见的手”),支配着人类在实践摸索的过程中自觉或不自觉地朝着缩小这个差距的方向努力。这种努力的理论成果就沉淀为“科学发展”,而这种努力的工艺成果则成为“技术进步”,后者反过来增强了人类的能力,使原来的能力“差距”不断缩小,使实现目标成为可能。科学技术发展的结果,不但缩小了原有的能力差距,实现了先前追求的发展目标,同时也必然推动人类提出新的“更高的生存和发展目标”。于是,新的更高的能力又会成为新的需求,新的能力差距又会出现,新一轮的实践摸索和科学技术进步过程又接着开始:新的目标—新的能力要求—新的能力差距—新的科学发展—新的技术进步—更新的目标—更新的能力要求—更新的能力差距—更新的科学发展—更新的技术进步……如此螺旋式上升,成为科学技术进步和人类社会发展的一个有起点而没有终点的运动逻辑。

在这个模型里,可以清楚地看见,科学技术的发展方向确实跟随着人类能力扩展的需求亦步亦趋,贯彻始终,宏观上从来没有脱离这个轨道。这就是为什么把科学技术发展的规律称为“拟人律”的道理。我们应当紧紧抓住“辅助人类扩展能力”这个思路和脉络来考察和追寻科学技术发展的宏观走向。

为此,就要进一步追问:人类有哪些能力需要利用科学技术来扩展?人类需要扩展的这些能力之间具有什么关联?科学技术是怎样实现“辅助人类扩展能力”的需求的?它“扩展人类能力”的一般原理是什么?人类需要扩展的这些能力之间的关联是否与科学技术发展的逻辑过程存在什么对应的关系?

首先,人类需要扩展的基本能力是什么?

对于人类能力的刻画,存在许多不同的粒度。粒度越细,刻画得越具体,但也可能因此而迷失许多重要的宏观背景和相互联系;粒度越粗,刻画得越宏大,但也可能由此而失去许多微观信息。因此,粒度的把握,取决于研究问题的实际需要。从科学技术发展规律的角度看,适宜于从宏观的角度来分析和考察,因为只有这样才能抓住发展的规律性。

从宏观角度来考察,人类的能力可以分解为三个基本方面:体质能力,体力能力,智力能力。显然,这三种能力的地位和作用各不相同:一般,体质能力反映人的体质结构的合理性和强健性,是人的全部能力的基础,没有良好的体质,体力和智力就没有前提;体力能力反映人的力量的充沛性和持久性,它建筑在体质能力的基础上;智力能力则反映人的思维和智能的聪慧性和敏捷性,它建筑在体质能力和体力能力两者基础上。人的上述三种能力构成一个和谐有机的统一体,互相支撑,协调发展,不能截然分割。

当然,“协调发展”也不等于“平均发展”,没有重点。恰恰相反,在人类整个进化的历程中,能力的发展呈现出明显的阶段特征:按照三种能力之间的逻辑关系,在保持相对协调发展的前提下,人类的体质能力首先成为发展的重点和基础,接着是人类的体力能力得到必要的强化,

最后才是人类的智力能力实现长足的进步。这是长程的“三段论”发展,其间还存在许多短程的“三段论”,以及这些短程“三段论”之间的螺旋式循环。

现在的问题是,“外在之物”是怎样“扩展人的能力”呢?

回顾“科学技术发生学”的原理就知道,“外在之物”扩展人的能力是通过“利用外部资源制造先进工具”的途径来实现的。显然,工具的制造除了需要“外部资源”之外,还需要具有相应的科学技术知识。通过科学技术知识的运用,才能把“外部资源”加工制造成为“先进工具”,而通过“先进工具”的作用,则可以实现人的“能力扩展”。这里,我们又得到了另一个重要的因素链:外部资源—科学技术—先进工具—能力扩展。

对应于人类三种能力的扩展,需要三种资源、三类科学技术和三类工具来实现:扩展体质能力的物质资源、材料科学技术和质料工具,扩展体力能力的能量资源、能量科学技术和动力工具,扩展智力能力的信息资源、信息科学技术和智能工具。

顾名思义,质料工具的主要作用是扩展人的体质能力。把质料工具与人的体质能力结合在一起,就可以具有更强的硬度、更好的弹性、更满意的应力特性、更高的熔点、更低的凝聚点、更强的耐压能力、更强的抗腐蚀能力和抗辐射能力等等。可见,质料工具的制造一方面依赖于物质资源,同时也依赖于物质结构和材料力学理论。制造质料工具的关键,在于利用材料科学技术的知识和技能把各种物质资源转变成为具有各种优良性质的材料,并根据力学原理把材料加工成为便于使用的工具。

动力工具的主要作用是扩展人的体力能力。动力工具与人的体力能力相结合,就可以具有更强的推动力、牵引力、荷重力、冲击力、切削力、爆破力、摧毁力等等。动力工具的制造一方面依赖于能量资源,同时依赖于能量转换与守恒理论。制造动力工具的关键,在于利用能量科学技术的知识和技能把能量资源转换成为动力。当然,任何动力工具的制造都离不开优良的材料,因此更准确地说,动力工具的制造需要能量和物质两方面的资源,需要能量科学技术和材料科学技术两方面的知识和技能。

智能工具的主要作用是扩展人的智力能力。把智力工具与人的智力能力结合在一起,就可以具有更敏锐的观察能力、更广阔的感知能力、更精细的分辨能力、更高效和更可靠的信息共享能力、更清晰的记忆能力、更快捷准确的计算能力、更灵活的学习与认知能力、更明智的决策能力、更强大的控制能力等等。智能工具的制造一方面依赖于信息资源,一方面依赖于信息加工与转换(把信息转换成为知识并进一步转换成为智能)的知识。因此,制造智能工具的关键,在于利用信息科学技术的知识和技能把信息资源提炼成为知识,并进一步把知识激活成为智能。当然,任何智能工具的制造也离不开优秀的材料和动力,因此,更准确地说,智能工具的制造需要信息、能量和物质三方面的资源,需要信息科学技术、能量科学技术、材料科学技术诸多方面的知识和技能的协同作用。上述讨论可以归纳为表 1.1.1。

表 1.1.1 资源—科学技术—工具—能力的关系

所利用的资源	所需要的科学技术	所制造的工具	所扩展的能力
物质	材料科学技术	质料工具	体质能力
能量 + 物质	能量 + 材料科学技术	动力工具	体力能力
信息 + 能量 + 物质	信息 + 能量 + 材料科学技术	智能工具	智力能力

把以上所讨论的两个方面的内容结合起来,还可以引出“科学技术发展拟人律”的一个极为重要的规律:正像人类的能力的发展呈现出“体质能力的发展最先起步,接着是体力能力的成长,然后是智力能力的发展”,科学技术的发展也是“材料科学技术最先起步,接着是能量科学技术成长,然后是信息科学技术的发展”。

这里的奥妙是什么?

人类能力发展和科学技术发展的这种先后顺序,确实不是偶然的,而是有着深刻的进化论根源和认识论根源。一方面,在人类的体质能力、体力能力和智力能力这三者之间,作为“万物之灵”的“灵性”体现,智力能力相对而言最为复杂和高级,体质能力相对而言较为简单和基础,体力能力则介于前二者之间;人类的进化过程必然从简单走向复杂,因而必然是体质能力的进化在前,接着是体力能力的进化,然后是智力能力的进化。另一方面,从利用资源制造工具的发展过程来说,在物质资源、能量资源、信息资源之间,物质资源相对而言比较直观,信息资源相对而言比较抽象,能量资源介于两者之间;而人的认识过程总是从直观逐渐走向抽象,因而必有材料科学技术的发展在前,接着是能量科学技术的发展,然后才是信息科学技术的发展。由此可以导出表 1.1.2,它和表 1.1.1 有联系又有区别。

表 1.1.2 时代—资源—科学技术—工具—能力的关系

时 代	表征性资源	表征性科学技术	表征性工具	扩展的能力
古 代	物质	材料科学技术	质料工具	体质能力
近 代	能量	能量科学技术	动力工具	体力能力
现 代	信息	信息科学技术	智能工具	智力能力

与图 1.1.1 的科学技术发展逻辑模型一样,表 1.1.2 刻画了“科学技术发展拟人律”的重要进程。图 1.1.1 表现了科学技术的发展必然服从拟人的逻辑机制,表 1.1.2 则表现了科学技术拟人发展的宏观时序脉络和宏观内容逻辑。

表 1.1.2 表明,古代人类所利用的表征性资源是物质资源,古代的表征性科学技术是材料科学技术,表征性的工具是质料工具。当然,这并不是说古代人类完全不会利用能量资源和信息资源。事实上,黄帝利用指南针同蚩尤打仗,就是利用古代信息技术的例证,因为指南针是用来获取方位信息的技术。同样,古代人类也会利用水车来灌溉农田,这是古代人类利用能量资源的证据。不过,从总体上说,古代人类对能量资源和信息资源的利用都是相对浅层和简单的,具有表征意义的古代资源和工具还是物质资源和质料工具。

表 1.1.2 还表明,近代(大体从发明蒸汽机算起,直到 20 世纪中叶)人类所利用的表征性资源是能量资源,相应的表征性的科学技术是能量科学技术,表征性工具是动力工具。当然,近代人类对物质资源的利用水平远远超出了古代的利用水平,近代材料科学技术也获得了新的巨大进步。近代人类利用信息资源的能力也得到了长足的发展,望远镜、显微镜等获取信息的工具都是在近代发明的。但是作为近代的表征性的资源、科学技术和工具,仍然是能量资源、能量科学技术和动力工具。

表 1.1.2 告诉我们,现代(大体从 20 世纪中叶算起)人类所利用的表征性资源是信息资源,与此相应,表征性的科学技术则是信息科学技术,表征性的工具是智能工具。也许人们对于质料工具以及制造质料工具的材料科学技术理论已经熟悉,对于动力工具和制造动力工具的能量科学技术也不再陌生,而对于智能工具和信息科学技术却比较生疏。但是这并不要紧。要紧的是表 1.1.2 启迪的结论,它指明了当代科学技术发展的宏观方向。当然,在任何意义上,都不能认为材料科学技术和能量科学技术在现代社会不重要。正如前面所说,科学技术总体上是协调发展,现代材料科学技术和现代能量科学技术都获得了许多前所未有的突破和发展。但是与前面各个时代相比迥然不同的、具有表征性意义的,却是信息科学技术的发展、信息资源的利用、智能工具的创制和应用。

这些就是“科学技术发展的拟人律”给我们的启示。

1.1.3 科学技术未来学:共生律

根据人类能力扩展的需要,科学技术按照“辅人律”的原理破土而出,走上了科学的历史舞台,又根据扩展人类能力的需要按照“拟人律”的原理从古代、近代走到了现代。那么按照“辅人律”和“拟人律”发生和发展起来的科学技术将来会有什么样的前景呢?这就是本节要研究和回答的问题。

随着材料科学技术的不断发展,人类对物质资源的认识水平越来越深入,加工材料的能力越来越强,具备各种优异性能和功能的新材料不断被开发出来,使工具的质料性能越来越令人满意,质地坚硬,重量轻巧,塑性优良,能在各种极端环境(高温、高压、高湿、高真空、超低温等)和恶劣环境(毒性气体、腐蚀性液体等)条件下保持优良性能水平,在许多方面都大大超过了人类本身体质质料的性能,有效地扩展了人类的体质能力。从总的情况来看,现代工具的质料性能已经越来越好地满足了各种应用需求。当然,随着人类认识世界和优化世界的活动不断地向深度和广度推进,肯定会对材料提出更多和更高的要求。这也意味着材料科学技术在未来的发展中还会开辟出更加广阔的空间。

随着能量科学技术的进步,人类对能量资源的认识不断深化,转换能量的方法和效率不断得到改善,各种自然能源(如煤炭、水力、风力、太阳能等)越来越有效地被转换为高级的动力(电力),越来越高级的能量(如核能)不断地被开发出来,并且由越来越巧妙的方法与质料工具相结合,创造出越来越先进的动力工具。它们通常都具有极高的工作速度,极高的工作精度,极高的工作一致性,极高的标准化程度,极高的工作强度和极高的工作持久能力等等。它们的

工作指标一般都已经远远不是人的体力能力可以比拟的:各种各样的机车,机床,汽车,火车,轮船,飞机等等,所有这些先进工具的动力性能都已经大大扩展了人的体力功能,越来越充分地满足了各种实际应用的需要。毫无疑问,随着人类认识世界和优化世界的活动不断向深度和广度进军,性能更加优越、更加清洁、更加安全的新的能源会继续被源源不断地开发出来。

随着信息科学技术的迅速成长,人类对信息资源的认识也在不断深入,对信息资源的开发和利用不断取得新的进展。人类正在越来越充分地学会利用各种信息资源,把它们转换成为相应的知识,进一步把知识转换成为智能,并与卓越的材料和高效的动力有机结合,创造出各种奇妙的智能工具。它们具有极高的信息发现与识别能力,宏大的信息存储容量,极快的传输速度,极高的运算速度和精度,极好的控制强度和精度,甚至越来越好的推理能力、理解能力和学习能力。除了创造性思维能力难以赶上(更难以超越)人类之外,其他方面的信息处理能力几乎都已经胜过人类。信息系统处理海量信息的能力使人折服,人类曾经望洋兴叹的“四色定理”也早已被机器证明出来,人类国际象棋世界冠军也被“深蓝”计算机所战胜。然而,对于“智能工具”来说,这一切还仅仅是开始,更加精彩、更加令人叹为观止的成就还在后头。

社会进步的历程表明,单纯利用物质资源和力学原理构成的工具——质料工具,由于没有动力和智能,只是一类静态的工具(如农业时代的锄头、镰刀等),既要靠人来驱动,也要靠人来驾驭,因而也被称为“人力工具”或者“死的工具”。它们的功能相对较少,能力相对较低,主要是扩展人的体质能力。例如锄头的质地比人手的质地坚硬,因此可以用来锄地;镰刀的质地比人手的质地锋利,因此可以用来割麦,等等。不过,人力工具虽然简单,但它们是农业时代社会生产工具的基本形态,古代人类正是依靠使用人力工具开创了农业时代的伟大历史文明。而且,材料本身不仅仅可以用来制造人力工具,同时又是制造动力工具和智能工具的基本要素。

从一种资源的开发和利用到两种资源的开发和综合利用,标志着人类认识世界和改造世界能力的一个伟大进步。人类社会进步的历程表明,同时利用物质资源和能量资源,可以制造自身具有动力的工具,称为动力工具,如工业时代的机车机床,火车轮船等等。这种工具不再需要人力驱动,但还需要人来驾驭,因而被称为“动力工具”或者“活的工具”。正因为动力工具利用了自身的动力,扩展了人类的体力能力,就具有了比人力工具高得多的劳动生产率。例如,机车机床的劳动生产率显然比人类手工生产的劳动生产率高得多,飞机火车的行走能力和运载能力更是人力所无法相比的。动力工具是工业时代社会生产工具的主流,近代人类正是依靠使用动力工具才创造了工业时代的灿烂文明。材料和动力的结合不但可以制造各种用途的动力工具,而且也是制造智能工具的不可或缺的元素。

同样,从两种资源(物质和能量)的开发和综合利用到三种资源(物质、能量和信息)的开发和综合利用,标志着人类认识世界和改造世界能力的一个更加伟大的进步。人类社会进步的历程表明,综合利用物质资源、能量资源和信息资源,可以制造不仅自身具有动力、而且自身具有智能的高级工具——智能工具,如人们已经熟悉的人工智能专家系统和智能机器人等等。智能工具不但不需要人的驱动,也不需要人的驾驭,是一类自主的类人机器,因而被称为“智能