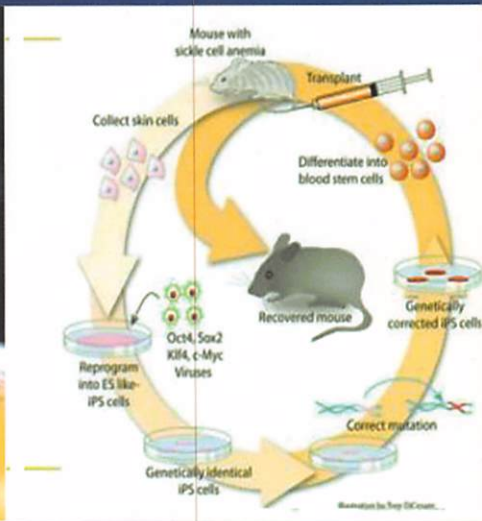


以下は、林が 2013 年 7 月に中公新書として刊行した「科学技術大国中国」を、中国国務院科学技術部にある中国科学技術信息研究所が 2014 年 3 月に中国語に翻訳したものを、PDF としたものである。

以下，是林 2013 年 7 月以中公新书出版的《科技大国中国》，由位于中国国务院科技部的中国科技信息研究所于 2014 年 3 月翻译成中文的 PDF。

科技大国中国

——从载人航天飞船到核能、iPS细胞



中华人民共和国科技部调研室
中国科学技术信息研究所
二〇一四年三月

编

2014年科技发展战略研究译丛之二

未经许可
请勿转载

科技大国中国

——从载人航天飞船到核能、iPS 细胞

中华人民共和国科技部调研室

中国科学技术信息研究所

二〇一四年三月

译自日本中央公论新社 2013 年 7 月 25 日发行新书 2225 号“科技大国中国”。

科学技术大国 中国

有人宇宙飛行から原子力、iPS細胞まで

作者简介：林 幸秀，1948 年出生于富山县福光町（现称南砺市），1973 年获得东京大学研究生院原子能工学硕士学位，1977 年获得美国伊利诺伊州大学工业工学硕士学位，1973 年进入日本科技厅，从事核能、宇宙开发、海洋开发、科技政策等相关工作，2003 年担任文部科学省科技学术政策局局长，2004 年担任内阁府政策统筹官（负责科技政策），2006 年担任文部科学省文部科学审议官，2008 年担任独立行政法人宇宙航空研发机构（JAXA）副理事长，2010 年起担任日本科技振兴机构研究开发战略中心首席研究员。

翻译：华 怡 王 玲

审校：王 玲 乌云其其格

审定：胥和平 刘琦岩 王仕涛 赵志耘 程如烟 刘一璇

课题组联系方法：

电话：010-58882021 传真：010-58882019

电子邮件：wangling@istic.ac.cn

译者序

目前，国外关于中国科技实力的评价大多集中在专利、论文等科技指标的国际排名上，很少对中国的科学研究进行实地调查和评价分析。本报告的创新之处在于作者根据日本科技振兴机构长年对中国科技状况的跟踪和调查结果，选择超级计算机、载人潜水器、LAMOST望远镜、宇宙开发、核聚变装置、iPS细胞等六个能集中体现中国科技实力的典型先进科研设施和研究项目进行实地采访和调查，了解真实情况，做出较为客观的评价和判断，为我们“跳出中国看中国科技”提供了一个独特的视角。

例如，对于中国超级计算机“天河1A”和“星云”，报告指出二者虽已供科研人员使用，但实际利用率有待提高，相应的软件开发需要进一步跟上，如何提高超级计算机的利用率是中国今后面临的一大课题；对于“蛟龙号”载人深潜器，报告认为中国应借鉴日本“深海6500”二十多年的运营经验（如检查和更换零部件频率），重新考虑“蛟龙号”的保管场所、动力源电池等问题；对于LAMOST望远镜，报告指出人工光线和大气污染物会影响观测精度和效率，需要配套能够高速处理观测数据的超级计算机和解析软件；在iPS细胞研究方面，中国主要是在国外已有的研究基础上，通过改变培育条件、提高初始化效率等方面进行创新，或是尝试利用人体、老鼠以外的其他物种进行个体化研究，今后需要进一步吸引留学欧美的研究人员回国内设立研究基地，开展独立研究，提高研究的原创性。

经过比较分析，报告指出，现阶段，与美欧日等先进国家和地区相比，中国的科技水平尚存在一定差距，但中国拥有极大的科技发展潜力。这种潜力何时转化为实际能力，实现赶超美欧日，这是今后应长期关注和研究的课题。报告认为，现在中日两国科技关系包含竞争与合作两方面，这种状况还将持续。不论是作为竞争对手，还是合作伙伴，首先要做的事情就是增进了解。只有了解对方的科技实力和科技发展思路，才有竞争或合作的可能性和可行性。

本报告结合日本专业情报机构多年来的研究积累，从日本情报人的角度对我国重点科技领域的发展现状给出了一个基本的判断，其观点和结论值得我方关注和思考。现将《科技大国中国》一书翻译成中文，供有关部门领导参阅。

由于时间紧迫，加上编译水平有限，报告中可能存在错误和不当之处，敬请批评指正。

译者

2014年3月

前 言

中国的科学技术迄今没有受到包括日本在内的世界各国的关注。20世纪90年代至21世纪，通过实施改革开放政策，中国的经济发展速度逐步加快。2010年，中国的GDP超过日本仅次于美国位居世界第二。伴随着经济的发展，中国的科技实力也发生了巨大变化。媒体较多报道飞跃发展的中国经济，而相应发生变化的科技状况却不为大众所知。

笔者从20世纪70年代开始在日本科技厅、文部科学省等部门长期从事科技政策工作。但直到21世纪初，笔者才开始关注“中国的科学技术处于何种状况？给日本带来哪些影响？是否有值得日本政策借鉴的地方？”等问题。笔者的想法之所以发生改变，是因为2003年他参加了一个中日政府间合作项目——“科技官员交流项目”，对上海市进行了访问，亲眼目睹了中国经济发展取得的惊人成就。

上海市从1992年开始大规模开发浦东新区，一气发展成为现代化大都市。据说，上海市内的高层建筑数量是美国纽约市曼哈顿的两倍以上。站在位于浦东的东方明珠塔350米高的瞭望台上放眼望去，高楼大厦一直延续到遥远广阔的地平线尽头。此外，在黄浦旧租界区有许多欧式优雅建筑，这里的景象和很多市民忙忙碌碌的亚洲式喧闹交织在一起，让笔者强烈感受到上海经济发展的成就。此前笔者也曾数次访问中国，去过北京、广州等地，但上海对笔者的冲击完全是意想不到的。此时笔者脑海中产生了疑问，是不是科技的快速发展支撑着上海经济的高速发展？

有史以来，中国对日本来说并不是竞争对手，而是老师、前辈，在科技方面也不例外。明治维新以后，一直盯着西欧和美国的日本再次将目光逐步转向高速发展的中国科技。现在中日两国科技关系包含竞争和合作两方面，这种状况还会持续下去。不论是作为竞争对手，还是共同合作发展科技，首先要做的事情就是了解对方。只有了解了对方的实力以及对科技的想法，才有竞争或合作的可能性。

有了 2003 年的上海经历之后，笔者多次对中国科技状况进行了调查和了解。然而，中国是超级大国，经济社会发展变化速度很快，因此要掌握科技的实际情况并不容易。从某些科技指标来看，中国优于日本逼近美国，但从其他调查结果来看，中国的科技水平与美欧日等发达国家和地区相比仍然相差甚远。本书序言部分将提及这方面内容。

为了改变这种状况，笔者尝试着从中国最先进的科技现场出发，对中国的世界顶尖研究设施进行访问和调查分析，以求尽可能掌握中国科技的实际状况。本书第一章至第六章列举了中国引以为傲的六个设施、装置和研究项目，叙述了相关调查分析结果。此外，相关章节还对中国的海洋、航天、核能等大型项目的历史和现状进行了介绍。

通过实地调查分析，中国科技研发方式的特点显现出来。本书以定量数据为主，对当前支撑中国科技发展的人才和资金进行了分析，并在第七章中围绕研发推进方式、人才和资金进行了阐述，以求全方位地描述中国科技现状。

现阶段，笔者最直接的感受是，与美国、欧洲主要国家以及日本相比，中国的科技水平尚存在一定差距。但不可否认的事实是，中国拥有极大的科技发展潜力。这种潜力何时转化为实际能力，使中国超越欧洲诸国和日本，逼近独占鳌头的美国将成为今后的课题。本书最后一章阐述了日本应如何应对拥有巨大潜力的中国。

从了解中国科技发展整体状况这个意义上来看，本书算得上是首次尝试。基于这一点，希望尽可能多的人能够阅读本书，了解中国科技发展现状。

目 录

序言 巨人的真面目	1
科学论文方面飞跃发展.....	1
专家评价不高	2
不一致的形象	3
科学技术最前沿	4
第一章 超级计算机“天河 1A”和“星云”	5
世界超级计算机开发现状.....	5
中国的情况	6
“天河 1A”	6
“星云”	8
混合型的功与过	8
划时代的成果	9
TOP500 排名的意义.....	9
“HPC 挑战奖”评价标准和“戈登·贝尔奖”	10
利用率没有提高	11
商业应用成果	12
真正成为世界一流.....	13
第二章 “蛟龙号”载人潜水器与海洋科技.....	13
第一节 载人潜水器“蛟龙号”	13
未知世界“深海”	13
深海潜水器和“Trieste 号”	14
科学用载人深潜器.....	15
哥哥是海洋技术专家，弟弟是航天技术专家.....	16
超越“深海 6500”成为世界第一	16
记录的意义	17
利用目的不明	17
重要零件来自俄罗斯.....	18
花時間を进行开发	18
早期的经济回报	19

今后如何运营 19

第二节 海洋科技 20

落后的海洋大国 20

海洋勘探船和观测卫星..... 21

南极观测 21

与韩国争霸造船业..... 22

着眼未来的海洋石油天然气开发..... 22

第三章 望远镜 LAMOST 与宇宙开发..... 23

第一节 LAMOST 望远镜..... 23

天文学史 23

LAMOST 24

建筑物结构和光学系结构..... 25

光学技术水平很高..... 25

SDSS 项目 26

观测精度和效率令人担忧..... 26

数据解析能力 27

第二节 宇宙开发 28

火箭发射 28

载人航天飞船的骄傲..... 29

周密的“神舟”计划..... 29

中国版宇宙空间站“天宫” 30

数十年后复苏的“联盟号” 31

人民解放军的合作..... 31

中国版 GPS 计划 32

克服弱点 32

综合技术实力评价..... 33

第四章 核聚变研究装置与核能开发..... 35

第一节 核聚变研究装置..... 35

核裂变与核聚变 35

托卡马克和 ITER 计划启动..... 36

中国的最尖端装置“EAST” 37

世界第一的全超导托卡马克装置..... 38

有限的容量	39
使用外国技术和零件.....	39
如何培养核聚变研究人才.....	40
第二节 核能开发	41
两弹一星——军事技术开发.....	41
滞后的和平利用	41
以海外技术为中心的核电.....	42
切实推进实用化	43
人才培养展望	43
当地居民反对成问题.....	44
第五章 IPS 细胞老鼠“小小”	44
干细胞与 ES 细胞	44
iPS 细胞开发.....	46
克隆研究成果	47
世界首只 iPS 细胞老鼠“小小”	47
效率突破性提升	48
政府对研究的支持.....	49
研究水平急速提升.....	49
超越日本的临床应用体制.....	50
今后与日本的合作关系.....	51
第六章 遗传基因解析公司.....	51
遗传基因分析的发展历程.....	51
BGI 公司的历史	53
独特的商业模式	54
印度的印孚瑟斯公司.....	55
BGI 公司的科技意义	56
强化学术实力	57
社会贡献	58
面向欧美国家的窗口：香港分公司.....	58
展望	59
第七章 中国科学技术的特征.....	59
第一节 发展方式的特征.....	59

仍以追赶为主 59

技术仪器依赖国外..... 60

项目稳步实施 61

快速实用化和商业化..... 62

自主制造 63

最先进仪器的引进和运用机制..... 64

亚洲研究人员学术不端行为多吗..... 64

赏罚分明 65

与中国共产党领导的关系..... 66

第二节 绝对的人才优势..... 67

 研究人员数量世界第一..... 67

 全球拔尖的上海中学生..... 67

 国际科学奥林匹克竞赛获得世界第一..... 68

 大学生数量也是世界第一..... 69

 存在感很强的中国留学生..... 70

 清华大学的建校轶事..... 71

 博士数量不断增加..... 72

 召回海外人才 73

 年轻化趋势突显 74

 问题在哪 76

第三节 科技投入急速上升..... 77

 超过 GDP 增速 77

 名义预算超过日本..... 78

 资金实力的秘密 79

 中国科研费“NSFC 面上项目” 80

 民间研发经费走向..... 81

第八章 寻求中日共存..... 82

 中国与世界顶尖水平存在差距..... 82

 中日合作的意义 82

 不存恐惧也不轻视..... 83

结语 83

序言 巨人的真面目

科学论文方面飞跃发展

要了解一个国家的科技实力，需要对其各种科技指标进行评价，如研发经费和科技人才数量的变化、论文发表和专利申请情况。

首先从“科研”角度来看中国的实力。在调查各国科研状况时，通常会根据各国研究人员发表的科学论文进行比较。表 1 是文部科学省下属的科技政策研究所 (NISTEP) 调查的世界主要国家论文发表情况。由于各国都开始重视本国的科学研究，因此美国论文发表量所占比例呈下降趋势，尽管如此仍保持在 30% 左右，居世界首位。2000 年日本论文发表量所占比例略有提高，但现在呈下降趋势。另一方面，中国论文发表量所占比例和排名都在急剧上升，如果今后其研究人员数量和研发经费持续快速增加，就有可能接近和赶上美国。

表 1 科学论文数的世界主要国家排名

国名	1989-1991 年 (平均)		1999-2001 (平均)		2009-2011 年 (平均)	
	百分比 (%)	排名	百分比 (%)	排名	百分比 (%)	排名
美国	34.6	1	31.0	1	26.8	1
中国	1.4	14	3.9	8	12.0	2
德国	7.5	4	8.7	4	7.5	3
英国	8.5	2	9.1	3	7.4	4
日本	7.7	3	9.5	2	6.6	5

数据来源：日本科学技术政策研究所“科学研究的评价标准 2012”。

表 1 是除人文社会科学之外的科学论文的整体比较。如果从中国的优势领域来看，其发展速度更加明显。例如，在材料领域，2009-2011 年中国论文发表量所占比例为 24.6% (美国 14.6%)，化学领域为 20.9% (美国 17.2%)，均排名世界第一。有日本专家认为，与这些数据形成对比的是，中国很多论文粗制滥造，水平很低不值一提。的确，就论文质量而言，美国以及英国和德国等欧洲国家比中国好很多。NISTEP 基于论文被引次数，发表了各国所占的比例和排名来反映各

国论文质量（参见表 2）。

表 2 被引次数前 10%的科学论文的世界主要国家排名

国名	1989-1991 年 (平均)		1999-001 (平均)		2009-2011 年 (平均)	
	百分比 (%)	排名	百分比 (%)	排名	百分比 (%)	排名
美国	56.2	1	48.9	1	41.0	1
英国	9.8	2	11.4	2	11.8	2
德国	6.6	3	10.1	3	11.3	4
中国	0.6	18	2.5	13	10.4	4
日本	6.4	4	7.6	4	5.8	7

数据来源：日本科学技术政策研究所“科学研究的评价标准 2012”。

美国不但论文总量名列首位，而且优秀论文数量位居世界第一。如同上述原因，美国所占比例近年来缓慢下降，但仍占总量的一半左右。日本所占比例不高，而且近几年倒退趋势明显。中国的论文发表总量呈急剧上升趋势，2009-2011 年所占比例为 10.4%，排名第四，仅次于美国（41.0%）、英国（11.8%）和德国（11.3%）。即使从优秀论文数量来看，中国也排在日本之前。也就是说，中国的论文并不是一般人认为的那样粗制滥造。因此，如果按此趋势发展下去，不久的将来，中国的科学论文质量就会仅次于美国位居世界第二。

专家评价不高

但是，如果让专家们从“科技”角度评价中国，结果就会完全不同。日本和韩国的科技专家分别按领域发布了世界主要国家的科技水平调查结果。双方都是基于其国内专家的评价和分析进行调查，采用的调查方法不同，但得出的结论却极其相似。

首先介绍日本的数据。笔者所属的独立行政法人科技振兴机构（JST）研发战略中心为了掌握世界主要国家的科技实力，大约每两年对尖端科技领域进行一次比较调查。比较的对象是日本、美国、欧洲、中国和韩国这五个国家和地区。比较的领域包括电子信息通信、生命科学、临床医学、环境能源、纳米技术和材料五个领域。根据 2011 年调查报告，笔者总结出表 3。

表 3 日本专家进行的国际比较 (2011 年)

电子信息通信	美国 > 欧洲 ~ 日本 > 韩国 > 中国
生命科学	美国 > 欧洲 > 日本 > 中国 ~ 韩国
临床医学	美国 > 欧洲 > 韩国 ~ 日本 > 中国
环境能源	美国 ~ 欧洲 ~ 日本 > 韩国 ~ 中国
纳米技术和材料	美国 ~ 日本 ~ 欧洲 > 韩国 > 中国

资料来源: JST 研发战略中心 “日本专家进行的科技实力的国际比较”。

注释: > 表示左项优于右项, ~ 表示同等水平或者左项略微领先。

另一方面,韩国政府下设特殊法人韩国科技企划评价院(KISTEP)为了判断本国技术水平和制定科技政策,实施了“国家重点科技的技术水平评价”以便进行国际比较。最近一次评价是 2010 年实施的。根据评价结果,笔者总结出表 4。

表 4 韩国专家进行的国际比较 (2010 年)

信息·电子·通信	美国 > 欧洲 ~ 日本 > 韩国 > 中国
医疗	美国 > 欧洲 ~ 日本 > 韩国 > 中国
生物工程	美国 > 欧洲 ~ 日本 > 韩国 > 中国
机械·制造·工程	美国 ~ 日本 ~ 欧洲 > 韩国 > 中国
能源·资源	美国 ~ 欧洲 ~ 日本 > 韩国 > 中国
宇宙·航空·海洋	美国 ~ 欧洲 ~ 日本 > 中国 ~ 韩国
环境·气象	美国 ~ 欧洲 ~ 日本 > 韩国 > 中国
纳米·材料	美国 ~ 欧洲 ~ 日本 > 韩国 > 中国
建设·交通	欧洲 ~ 美国 ~ 日本 > 韩国 > 中国
灾难·灾害	美国 ~ 欧洲 ~ 日本 > 韩国 > 中国
核聚变	美国 > 日本 ~ 欧洲 > 韩国 > 中国

资料来源: JST 研发战略中心 “韩国及日本专家进行的国际比较的对比”。

注释: > 表示左项优于右项, ~ 表示同等水平或者左项略微领先。

从日韩的调查结果来看,几乎在所有科技领域,美国都处于绝对领先地位。其次欧洲和日本的实力也很强,而中国即使与韩国相比也处于劣势,与美欧日欧先进国家和地区相比更是存在较大距离。

不一致的形象

如上所示,现有的指标表明中国在科学领域优于日本次于美国,

而调查结果却显示中国的科学技术还很落后。

中国科技状况难以掌握的原因有以下几点：

第一，包含日本在内的世界各国的科技工作者重视欧美、轻视亚洲。近代科技在欧洲发展起来，其重心以第二次世界大战为契机，随经济增长和刺激向美国转移。日本在明治维新后，作为富国强兵的一环，积极引进的也是欧美的科学技术。这与长期以来“重欧美，轻亚洲”有关，也是日本一直无法真正掌握中国科技状况的原因。韩国的科技工作者与日本一样，关注的焦点也是美国和欧洲主要国家。

第二，源于中国的国情。地广人多，再加上近年来爆发性的经济增长，别说日本、韩国等外国人，就连中国本国的科技工作者也很难详细了解自己国家发生了什么变化。

第三，信息公开落后。中国的科学技术有很大一部分是与军事技术并行开发的，军事技术相关部分迄今没有公开。进入 21 世纪，随着经济的发展，中国与世界经济开始关联互动，中国国内逐渐意识到像欧美国家一样公开信息的必要性。

基于上述原因，要准确把握中国科技全貌十分困难。

科学技术最前沿

因此，本书着眼于中国最先进的技术现场。中国是大国，拥有悠久的历史，在各种人类活动方面影响着世界，而且其今后保持这种地位发展的意识很强。在科技领域也总是抱有“世界第一，或者即使不能第一也要世界一流”的意识。拿最近的例子来说，在日本超级计算机“京”之前计算速度世界第一的是中国的超级计算机“天河 1A”。中国开发的载人潜水器“蛟龙号”打破了日本“深海 6500 号”保持的 6527 米的下潜纪录，达到了 7062 米。本书希望通过访问和调查分析中国的“世界第一”或“世界一流”研究设施，洞悉中国科技发展的实际情况。

本书第一章至第六章列举了中国引以为傲的六个设施、装置和研究项目，介绍了相关调查分析结果。本书提及的研究设施、装置和研究项目未必是新信息，但同一时期用相同方法进行调查研究是本书的

特点。

第一章 超级计算机“天河 1A”和“星云”

2010 年 11 月公布的超级计算机 TOP500 排名中，中国的超级计算机“天河 1A”排名世界第一。这个结果具有划时代的意义，彰显了中国技术实力的一面。

世界超级计算机开发现状

超级计算机是全球气候变化预测和医药开发必不可少的研究装置。日本过去开发的超级计算机“地球模拟器”就用于气候变化预测。这一成果对 2007 年获得诺贝尔和平奖的“政府间气候变化专门委员会（IPCC）”做出了巨大贡献。

在超级计算机硬件开发方面处于领先的是美国和日本。美国认为自己是在计算机领域的开拓先锋，倾注全力开发超级计算机。2002 年日本的“地球模拟器”达到世界最高性能，美国产生了强烈的危机感，好像再次受到前苏联 1957 年成功发射人类史上第一颗人造卫星的打击。美国认为，超级计算机不但有利于一般科学技术研究，而且对军事研究来说也十分重要。特别是在核试验受到国际舆论批判的困难时期，利用超级计算机可以进行核试验。美国国内普遍认为，这个领域对国家安全保障而言具有重要意义，因此，美国政府举全国之力开发世界最高性能的超级计算机，并且在两年半后重新夺回了世界第一的位置。

继美国之后，日本也在全力开发超级计算机硬件。在 2009 年日本民主党政权上台后举行的“事业分类讨论会”上，参议院议员莲舫的发言估计很多人都还记得。她说：“为什么在超级计算机方面我们一定要拿世界第一？第二就不行吗？”由诺贝尔化学奖得主野依良治（1938-）博士担任理事长的日本理化学研究所（RIKEN）坚持开发

超级计算机“京”，并在 2011 年 6 月重新夺回了世界第一。在 2012 年 6 月的世界排名中，美国超级计算机“红杉(Sequoia)”夺回第一的位置，但日本“京”的使用范围不断扩大，而且开始讨论下一个计算机项目。迄今，超级计算机开发都是以美国和日本为中心，落后的欧洲各国没有进行硬件开发，而是在软件开发等方面寻求机会。

中国的情况

中国很晚才开始进行超级计算机开发，但其迅猛发展的势头令世人惊讶。中国基于三个系统推进超级计算机开发：第一个系统是国防科技大学主持开发的“银河系列”，自 1983 年开发出“银河一号”至今已有 30 年的历史；第二个系统是中国科学院和曙光信息产业股份有限公司主持开发的“曙光系列”；第三个系统是国家并行计算机工程技术研究中心主持开发的“神威系列”。

长期以来，中国的超级计算机性能一般，不受关注。然而 2004 年，上海超级计算机中心开发的“曙光 4000A”首次在 TOP500 排名中进入了前 10 名，以此为契机，中国逐渐具备了开发世界顶级超级计算机的能力。

2010 年 11 月，天津超级计算机中心研发的银河系列“天河 1A”在 TOP500 排名中被认定为世界最快的超级计算机，实现了一大壮举。在同一排名中，深圳超级计算机中心开发的曙光系列“星云”的表现也很突出，位居世界第三。即使是在 2011 年 6 月日本的“京”在 TOP500 排名中位居世界第一的时候，中国的“天河 1A”也排名第二，“星云”排名第四，持续保持了很高的评价。

“天河 1A”

位于天津市郊区的滨海新区有一个巨大的科技园，集聚了一批高科技企业和研究院所。“天津超级计算机中心（国家超级计算天津中心）”就在其中，而“天河 1A”就设在这里。

国防科技大学开发了“天河 1A”，负责推进银河系列研发。在中国，除了有教育部主管的大学以外，还有其他组织主管的大学，国防

科技大学就是其中之一。国防科技大学作为中国人民解放军的高等教育机构，1953年在湖南省长沙市成立。

“天河 1A”开发负责人之一、国防科技大学女教师卢宇彤是该校计算机学院的教授、天河项目的主任设计师。根据中国“新浪网”2010年12月23日的报道，卢宇彤教授皮肤白净、身材高挑，在接受采访的众人当中可谓是“万绿丛中一点红”。报道当中没有提及年龄，但应该是青年才俊。“天河 1A”的开发团队平均年龄为 30 岁，非常年轻。

超级计算机的服务器机房设在天津超级计算机中心一层。该中心仅设有硬件，中国各地的用户通过网络访问超级计算机。因此，中心的十几名工作人员以维护管理超级计算机的技术人员为主，没有研究人员和学生等用户常驻在这里。

为了尽可能降低开发费用，天津超级计算机中心沿用了原有的建筑，放置服务器的房间也只进行了将地板微微抬高的简单翻修工程。超级计算机的核心处理器主要由美国英特尔公司的中央处理器（CPU）和美国 NVIDIA 公司的图形处理器（GPU）构成。CPU 和 GPU 并用是中国超级计算机的特点。其中，中国原创的处理器（GalaxyFT-1000）也有使用，但数量很少。

在 2009 年 11 月的 TOP500 排名中，“天河 1A”的前身“天河 1”排名世界第五，一下受到万众瞩目。当时的运算速度是 563 万亿次/秒（TFlops），¹升级后的“天河 1A”增加了 CPU 的数量，GPU 由美国 AMD 公司的芯片换成现在的 NVIDIA 公司的芯片，并且增加了芯片的数量，结果运算速度比“天河 1”提高了五倍（2.57 PFlops），在 2010 年 11 月的 TOP500 排名中跃居世界第一。

但是，已经投入应用的“天河 1A”并没有得到充分利用。天津超级计算机中心的宣传板上展示了其在高科技领域的模拟应用事例，但实际上有没有投入使用并不清楚。因此，有批评指出，中国机器开发先行，实际应用研究十分落后。开发符合“天河 1A”性能的软件

¹ 表示计算机计算能力的单位 Flops 是“floating point operations per second（每秒执行的浮点运算次数）”的简称，其数值越高表示计算速度越快。

成为今后的课题。

“星云”

“星云”设在离香港特别行政区很近的广东省“深圳超级计算机中心”。1980年，深圳市在当时最高领导人邓小平的指示下设定为经济特区，先于其他城市发展经济。中国的名牌大学北京大学、清华大学等都在深圳市设立了分校，深圳超级计算机中心就设在这些院校所在的园区。“星云”于2011年11月开始运转。

“星云”由中国社会科学院计算机技术研究所开发，由中国曙光信息产业股份有限公司制造。使用的芯片是该研究所2002年开发的被称为“龙芯处理器”的CPU芯片。但实际上，它与“天河1A”一样使用了英特尔公司的CPU和NVIDIA公司的GPU，计算能力仍依赖于美国制造的芯片。

“星云”的核心服务器机房设在五层建筑物的二层，三层和四层还有空间，所以其面积可以扩大到现在的三倍。不过，目前处理能力仅用了10%，所以还没有扩建计划。

与“天河1A”相比，“星云”的研发团队中有很多青年研究人员和技术人员。他们都是中心的职员，从事利用“星云”所需的数据库开发、软件包开发以及安全维护等工作。此外也有维修专业的工作人员，他们呆在控制室。

混合型的功与过

如上所述，“天河1A”和“星云”最大的特点是CPU和GPU并用。美国等国家都在开发CPU和GPU并用的超级计算机（混合型超级计算机）。日本东京工业大学开发的“TSUBAME2”也是混合型超级计算机。GPU是开发用来处理图像数据的芯片。在计算机上玩过游戏的人一定知道GPU。为了享受游戏的乐趣，需要漂亮精致的图像。将这些图像在计算机上再现并在显示器上显示出来需要占用大量的计算资源。而填补这一功能的就是GPU。美国的NVIDIA公司是最大的GPU制造商，索尼公司的PS游戏机使用的GPU就是和NVIDIA公司共同开发的。

混合型超级计算机和只用 CPU 的超级计算机相比开发费用低。这是因为 GPU 几乎省去了 CPU 具有的控制功能，是在计算性能上进行特殊化处理的芯片。单个芯片的计算性能比 CPU 高出很多，所以需要的芯片数量少，开发费用低。但是，仅靠 GPU 无法构成计算机，必须使用具有控制功能的 CPU，所以混合型超级计算机必须平衡协调好 CPU 和 GPU。与单纯使用 CPU 的超级计算机相比，混合型超级计算机面临的课题是在运用方面存在很多难题。

划时代的成果

自“天河 1A”在 2010 年 11 月的 TOP500 排名中夺冠以来，在每半年更新的排名中分别位居第二、第二、第五，在 2012 年 11 月的排名中位居第八。“星云”自 2010 年 6 月排名第二以来，先后排名第三、第四、第四、第十，在 2012 年 11 月的排名中仍顽强地排在第十二位。

在超级计算机开发方面，美国拥有绝对实力，日本紧随其后。但随着“天河 1A”和“星云”的开发，中国加入了美日竞争版图。中国是以大学或政府研究院所为研发主体，并没有诸如美国 IBM 公司、Cray 公司、日本富士通公司 NEC 公司之类的大型电子信息通信公司参与。中国在这种体制下能开发出可与日美相媲美的超级计算机，实在值得赞赏。但是，对于算是一大壮举的“天河 1A”，美国和日本相关方面既没有举手称赞，也没有感到威胁。

日本开发出“地球模拟器”时，美国媒体将此称为第二次“人造卫星打击”，并敦促美国政府尽快开发出在性能上世界领先的超级计算机，但当中国“天河 1A”问世时，却没有听到类似的话题。前文提到的莲舫议员的发言是 2009 年底的事情，超级计算机的自主研发问题一下子成为社会问题。“天河 1A”夺冠大概是一年之后，日本媒体并没有对中国的科技实力做出赞赏或威胁等评论。关于这方面内容，我们将参考日本专家的意见，分析一下中国超级计算机的特点。

TOP500 排名的意义

超级计算机领域最具权威的 TOP500 排名是基于“LINPACK 评价

体系”测定的计算速度决定的。LINPACK 评价体系对理工科常用的解线性方程式的速度进行测定，然后评价超级计算机的演算性能。1991 年公布了现在这个标准原型，1993 年开始发布现在的 TOP500 排名。中国的“天河 1A”和“星云”显然是注意到 TOP500 排名，为了争取上位做出设计调整。

但是，LINPACK 评价体系及其 TOP500 排名从公布之初就备受批评。有质疑称，配合 TOP500 排名设计的超级计算机利用 LINPACK 评价体系以外的软件是否也能显示出高性能？这是超级计算机开发人员共同的疑问。不过，取代 LINPACK 评价体系的标准虽有下列“HPC 挑战奖”评价标准等尝试，但并未确立下来。要测定中国真正的科技实力，必须结合“HPC 挑战奖”评价标准和“戈登·贝尔奖”等方式进行综合评价。

“HPC 挑战奖”评价标准和“戈登·贝尔奖”

为了评价多种计算特性，美国政府机构与田纳西州大学最近主持开发出“HPC 挑战奖”评价标准，但这个标准不如 TOP500 排名中使用的“LINPACK 评价体系”有名。2005 年开始用这个标准进行评价，授予高性能超级计算机“HPC 挑战奖”。HPC 是“High Performance Computing（高性能计算）”的简称，是包含超级计算机在内的高性能计算相关科学技术的总称。

“HPC 挑战奖”评价标准通过从科技计算常用模式中抽取二十八项处理性能，对超级计算机的综合性能进行评价。其中最重要的是以下四项：解大规模线性方程组的运算速度；并行处理的随机存取存储器的性能；多重负荷时的内存访问速度；快速傅立叶变换²的综合性能。各项第一名都将获得“HPC 挑战奖”。

获得“HPC 挑战奖”的超级计算机不一定与在 TOP500 排名中位居前列的超级计算机一致。例如，在 2010 年 11 月的 TOP500 排名中位居世界第一的“天河 1A”在 2010 年“HPC 挑战奖”的四项中均没

² 快速傅里叶变换（英语：Fast Fourier Transform, FFT），是离散傅里叶变换的快速算法，也可用于计算离散傅里叶变换的逆变换。快速傅里叶变换有广泛的应用，如数字信号处理、计算大整数乘法、求解偏微分方程等等。

有获奖。位居世界第二的美国橡树林实验室的超级计算机“Cray XT5”获得了“HPC 挑战奖”的两个奖项。日本超级计算机“京”在 2011 年 6 月和 11 月的 TOP500 排名中均位居世界第一，而且独揽了“HPC 挑战奖”的 4 个奖项。“京”在 2012 年 6 月和 11 月在 TOP500 排名中降为第二和第三，但仍获得“HPC 挑战奖”中的 3 个奖项。中国的“天河 1A”和“星云”并不在“HPC 挑战奖”的获奖名单上，说明它们仅仅是围绕 LINPACK 评价体系这一个标准开发的，缺点是无法广泛应用于实际的科技运算。

此外，美国计算机学会（ACM）每年 11 月对利用超级计算机获得科学价值高的成果的团队授予“戈登·贝尔奖”。戈登·贝尔（1934-）是美国著名的计算机技术专家。

在 2011 年“戈登·贝尔奖”评选中，日本的研究团队十分活跃。“京”因分析硅中的电子运动成果而获得“最高性能奖”，“TSUBAME2”因模拟重现金属结晶的生长状态而获得“特别奖”。此外，“TSUBAME2”还因为再现血管中血液流动研究获得“鼓励奖”，即获得两个奖项。在 2012 年“戈登·贝尔奖”评选中，日本超级计算机“京”又因成功模拟 2 万亿个暗物质粒子在最初宇宙空间中如何运动的成果获得了“最高性能奖”。在这方面同样没有看到利用中国超级计算机模拟的研究成果。

利用率没有提高

正如从“HPC 挑战奖”和“戈登·贝尔奖”评选结果所看到的，虽然“天河 1A”和“星云”已供科研人员使用，但其实际利用率并不高。“天河 1A”的利用率尚不明了，“星云”的利用率则不足 10%。如何提高超级计算机的利用率是中国今后面临的一大课题。

利用率低是因为中国超级计算机根据 LINPACK 评价体系确定的硬件构成，并没有充分考虑计算能力的具体应用。尤其是最近十分盛行利用 GPU 开发混合型超级计算机，但相应的软件开发却没有什么进展。日本超级计算机“京”的软件则相当多地继承了“地球模拟器”等只利用 CPU 的超级计算机的软件资源。

中国开发人员在超级计算机利用方面，也能举出气候变化、蛋白质解析、应对灾害等例子，但因为没有充分考虑实际用户的意见，导致利用率很低。日本理化学研究所的“京”和东京工业大学的“TSUBAME2”在设计系统时，充分采纳了用户意见，开发后也在努力满足用户的要求，所以取得了较好的应用效果。

不过近年来，“天河 1A”和“星云”的安装运营商开始重视提高利用率。其背后的原因是运营资金问题。在中国，独立核算的观念深入人心。直到安装硬件都是国家和地方政府出资，一旦进入运营阶段则必须自筹资金，所以为了获得运营资金必须提高利用率。

商业应用成果

然而，与日本的“地球模拟器”和“京”的开发相比，中国也有其优势，那就是将开发成果应用于商业。例如，“星云”的兄弟机“曙光”5000 系列的销售商——曙光信息产业股份有限公司将商用机和高性能服务器工厂移至天津市，供应中国国内市场，销量非常好。

如果简单概括中国超级计算机开发的特点，就是一方面根据 TOP500 排名制造高水平的超级计算机，另一方面投放大量低性能低价格的产品占领中国国内市场。世界顶尖的超级计算机未必使用方便，而且目前中国国内多数大学和研究所并不需要很高的性能。因此其国内市场上多是使用普通 CPU 和 GPU、性能适用且价格便宜的超级计算机。

日本的“地球模拟器”不但让超级计算机大国美国备受打击，而且在运用方面也取得了举世瞩目的成果。但是“地球模拟器”能否给其研发方 NEC 公司带来商业上的利益？恐怕要打个问号。实际上，据说“地球模拟器”开发资金回收并不理想。日本有关方面应多多学习中国的商业头脑。

另外，“京”及其开发商富士通公司在研发成果商业应用方面取得明显进展。东京大学、分子科学研究所等机构将引进利用“京”的研究成果开发出来的超级计算机。因此，超级计算机在日本的商业应用还需静候佳音。

真正成为世界一流

“天河 1A”和“星云”在计算速度方面达到世界一流水平，但从实际应用等综合能力来看未必是世界顶级的超级计算机。虽说是超级计算机，如果不使用，也只不过是这个大箱子而已。今后，不仅要提高计算速度，还要想办法利用其性能解决实际问题。就中国超级计算机评价而言，今后才是关键。

2013 年 6 月公布的世界超级计算机排名中，位于广东省的广州超级计算机中心开发的“天河 2”计算速度世界第一。其开发机构是国防科技大学，与“天河 1A”相同。与上次位居世界第一的美国超级计算机相比，“天河 2”的计算速度大约提高了一倍，达到了惊人的 33.9PFlops。不过这与本章前面提及的内容并不矛盾。“天河 2”与“天河 1A”一样都是混合型。处理器 CPU 是英特尔公司制造，而 GPU 供应商由“天河 1A”时的 NVIDIA 公司变成了英特尔公司。二者都是美国产品。今后，在详细调查“天河 2”的同时，必须根据其他评价标准进行评价和认定科学成果。

第二章 “蛟龙号”载人潜水器与海洋科技

2012 年 6 月中国在载人潜水器领域成为世界第一。中国载人潜水器“蛟龙号”在探测深海海底的同时，取回了深海的样本和生物，并且刷新了下潜的历史记录。本书将介绍“蛟龙号”的情况，同时阐述中国的海洋科技。

第一节 载人潜水器“蛟龙号”

未知世界“深海”

人类一直在挑战未知的世界，尤其是 20 世纪后半期对宇宙空间的挑战最令人印象深刻。1961 年前苏联第一次发射载人航天飞船，8

年后，1969 年美国的阿波罗 11 号登陆月球表面。迄今为止，美国、俄罗斯、日本、欧洲、加拿大主导实施的国际空间站项目，以及中国单独实施的宇宙空间站“天宫”计划都在推进当中，人类对地球附近宇宙空间的了解明显增多。

另一方面，深海的情况又是怎样呢？对于人类而言，深海和宇宙一样都是未知世界的代表。1870 年，法国小说家儒勒·凡尔纳（1828-1905）发表了小说《海底两万里》，提出与宇宙相比，深海和人类的关系更近，但此后对深海的探索并没有什么进展。

深海探测比宇宙探测落后的原因有以下几点：首先，与地面的通信手段不同，在宇宙空间可以使用电波，但在深海电波完全不起作用，可用的通信手段只有音波，而音波能够承载传输的信息量非常少，传输速度也非常慢；其次，在海水中光线几乎全部被遮挡，因此即使将光源带入深海，可视范围也只有眼前数米；再次，深海的水压非常高，例如 1 万米深海的水压会高达 1000 气压。1000 气压相当于每平方厘米上承载 1 吨的压力。在深海作业必须顶住这种水压。

深海潜水器和“Trieste 号”

瑞士科学家皮卡德父子决定冒险亲眼看一看深海。父亲奥古斯特·皮卡德（Auguste Piccard 1884-1962）从 20 世纪 30 年代开始深海探测，1947 年发明了被称为“深海潜水器（bathyscaphe）”的电子推进式载人潜水勘探船。1954 年，他乘坐“bathyscaphe”下潜到了约 4000 米的深海。

1953 年，根据与“bathyscaphe”相同的设计理念，双人“Trieste 号”潜水器潜入深海。顶住深海水压、保证人类乘坐空间的耐压外壳是潜水器核心部分。“Trieste 号”的耐压壳是德国 Krupp 公司制造的。它是一个直径约 1.8 米的钢制球壳，厚度 12.7 厘米，总重量约 14 吨。这款耐压外壳设计能够顶住位于马里亚纳海沟的挑战者海渊的 1100 气压。

“Trieste 号”被美国海军购买，1958 年被运到加利福尼亚州的圣地亚哥海军基地。在当地被改装后，1960 年搭载着奥古斯特·皮

卡德的儿子杰昆斯·皮卡德 (Jacques Piccard 1922-2008) 和美国海军大尉唐·沃尔什 (Don Walsh 1931-), 下潜到了挑战者海渊 10916 米的深度。但由于“Trieste 号”用大量汽油作浮力材料, 使用时非常危险, 因此在海里的行动极其缓慢。

科学用载人深潜器

“Trieste 号”的成功具有划时代的意义, 它让人们明白要更加科学地探测深海, 需要安全机动的载人潜水器。因此, 美国在设计开发“Alvin 号”深海潜艇时, 就考虑到增加搭载人数, 提高安全性和机动性等因素。1964 年, 美国海军下潜了搭载 3 人 (科学家 2 人, 驾船员 1 人)、设计潜航深度 4500 米的“Alvin 号”, 并交付位于马萨诸塞州波士顿市近郊的著名的伍兹霍尔海洋研究所使用。

令“Alvin 号”出名的是, 它发现了因事故落入深海的氢弹。1966 年, 美国空军的轰炸机和空中加油机在西班牙南部上空加油时相撞, 两机坠毁。这起事故被称为“Palomares 美机坠毁事件”。坠毁的轰炸机上搭载着 4 颗氢弹, 其中 3 颗落在地上, 1 颗落入海里。为寻找落入海里的氢弹, 美国启用了“Alvin 号”, 在事故发生约两个半月后, 氢弹被发现并打捞上岸。另外, 1985 年, 美法调查团在大西洋海底 3650 米的地方发现了 1912 年因撞击冰山沉没的豪华客船泰坦尼克号。1986 年, “Alvin 号”开始下潜对其进行调查。

自 1964 年“Alvin 号”首次下潜 20 年后, 其他国家才开始载人深潜器的开发使用。1984 年法国国家海洋研究所 (IFREMER) 设计研发出潜航深度 6000 米的“NAUTILE 号”, 紧接着 1987 年前苏联科学院 (现在的俄罗斯科学院) 也设计研发出潜航深度 6000 米的“米尔号”, 并且都投入使用。

日本根据领先国家的开发状况, 反复进行技术开发, 目标是设计研发出潜航深度世界第一的科学研究深潜器。日本首先在 1981 年完成了潜航深度 2000 米、空间较小、供科学家和驾船者搭乘的设计制作比较容易的“深海 2000”号。在此基础上, 1989 年日本开发出“深海 6500”号。日本附近拥有世界上屈指可数的日本深海沟, 所以潜

航深度设定为 6500 米，世界第一。

哥哥是海洋技术专家，弟弟是航天技术专家

“蛟龙号”是中国开发的载人潜水器，1992 年提出项目方案，经政府内部讨论，2002 年付诸实施。蛟龙号的设计、开发和试验由中国船舶科学研究中心（CSSRC）负责。该中心是位于江苏省无锡市的船舶重工集团公司下属的研究所。“蛟龙号”的所有者和使用者是总部设在北京的中国大洋矿产资源研究开发协会（COMRA）。

“蛟龙”是指还没成为“龙”的“蛟”，是想象中的潜伏在水中当有雷雨时就飞上天的动物，这是日语中对“蛟龙”的解释，对中国人来说“蛟龙”是指所有龙中最强大的龙。

CSSRC 副所长、“蛟龙号”开发负责人之一崔维成博士（1963-）出生于江苏省海门市，1986 年毕业于清华大学工程力学专业，留学英国后获得博士学位（中国研究机构的高层中有很多具有留学经历）。崔维成在家兄弟四人中排行老大，弟弟崔维兵是中国航天科工集团公司（CASIC）的技术专家，从事 2012 年“神舟九号”项目相关工作。也就是说，哥哥是开发海洋的技术专家，弟弟是开发宇宙的技术专家。

超越“深海 6500”成为世界第一

“蛟龙号”的开发目标是，在科学用途的载人深潜器方面实现潜航深度世界第一，以展示中国的科技实力。据中国方面解释，将最深潜航深度设定为 7000 米是政府部门内部协调的结果。最初曾考虑将潜航深度设定为 6000 米，但想到即使开发成功也不会引发世界关注，所以最终选定以世界第一的 7000 米作为目标。

2008 年 1 月，“蛟龙号”在 CSSRC 屋外水槽里完成了整个系统的运转试验，2009 年 8 月进行了海上试航，2012 年 6 月在马里亚纳海沟成功下潜到 7062 米。“蛟龙号”刷新了“深海 6500”在 1989 年实现的 6527 米下潜记录。中国开发的“蛟龙号”能下潜到深海 7000 米，进一步证明了中国的科技实力。

记录的意义

不过对于这一壮举的评价必须有所保留。

前文在梳理深潜器的发展历程时提到，早在 1960 年，美国的“Trieste 号”载人深潜器就在马里亚纳海沟的挑战者海渊下潜到 10916 米，远远超过“蛟龙号”的下潜深度。此外，2012 年 3 月，电影《泰坦尼克号》和《阿凡达》的著名导演詹姆斯·卡梅隆（James Francis Cameron）乘坐被其自称为“直立鱼雷”的单人深潜器“深海挑战者”号向挑战者海渊发起了挑战，最终下潜深度达到 10898 米，接近“Trieste 号”保持的记录。而且，在深海底停留数小时，进行了标本采集和拍照摄影后返回海面。

那么，为什么日本的“深海 6500”会引起世界关注呢？这是因为与卡梅隆挑战式的单纯冒险行为不同，“深海 6500”的意义在于搭载了必要的测量装置，可以实现科学调查，能够反复下潜。所以，“蛟龙号”要被认定为真正意义上的载人深潜器，今后必须积累下潜次数，做出一些科学调查的实际成果。

利用目的不明

日本媒体报道“蛟龙号”刷新潜航记录时，往往与中国的军事意图联系起来。“蛟龙号”是与“Alvin 号”以及“深海 6500”同一系统的载人深潜器，中国应利用其进行资源勘探等科学研究。但迄今为止，中国并没有公布利用“蛟龙号”进行了什么样的科学探测。

日本有史以来屡屡发生类似于 2011 年东日本大地震的海沟型大地震。要了解海沟型地震的发生机制，调查深海海底状况非常重要。而且，深海生态系统调查、深海海底堆积物调查、通过热水调查分析物质循环都与气候变化和地球环境保护等研究密切相关。因此，负责运营“深海 6500”的日本海洋研发机构不但拥有自己的研究团队，而且建立了大学和其他研究机构研究人员集中商议“深海 6500”利用问题的机制。

今后中国要灵活利用好“蛟龙号”，与国内研究界加强合作至关

重要，如何构建这一合作体系成为今后的课题。

重要零件来自俄罗斯

仔细分析“蛟龙号”就能发现中国技术开发的特点。第一个特点是不局限于自主开发的技术。

最初中国并不掌握能在深海活动的载人潜水器技术。1992 年设立这个项目时，中国只能制造下潜深度 300 米的载人潜水器。相形之下，日本在开发下潜深度 6000 米的载人潜水器之前，利用本国技术先开发出“深海 2000”，从各个角度进行技术实证后，在对本国技术不断进行改良的基础上进入下一阶段研发。而中国为了实现最终目标，采取的方针是即使不是本国技术也没有问题。

就载人潜水器制造而言，技术上最重要的是，制造耐压壳抵住深海水压，确保搭载人员的安全。日本的耐压外壳是自主研发的，而中国“蛟龙号”的外壳则是从俄罗斯引进的。俄罗斯在耐压壳制造方面有镍钢制的“米尔”耐压壳和钛合金制的“Consul”耐压壳（设计潜航深度均为 6000 米）。俄罗斯在此基础上制造了“蛟龙号”耐压壳出口给中国。与“深海 6500”相比，二者都是钛合金制的球形外壳，“蛟龙号”的直径为 2.1 米，“深海 6500”直径为 2 米，“蛟龙号”稍大一点。

而且，“蛟龙号”的外观和“米尔号”十分相似，总体设计也反映了俄罗斯的技术。另外，对应 7000 米深度的浮力材料是英国制造的，障碍物探测器和多普勒速度计（DVL）等主要传感器也几乎是外国制造的。

花時間を进行开发

从“蛟龙号”看到的第二个特点是，花费大量时间进行研究开发。

2008 年 1 月，“蛟龙号”完成整个系统的运转试验，2008 年 8 月开始海上试航。因此，从完成整个系统运转试验到 2012 年 6 月完成设计下潜深度 7000 米，大约经过了四年半时间。相形之下，“深海 6500”1989 年 1 月进行入水试验，同年 8 月就完成了 6527 米下潜深

度测试。很多日本专家质疑，凡事都以“自上而下”方式思考的中国究竟为何耽搁了时间？是否发生了什么意外事件？日本国内甚至有传言称：“蛟龙号”没有马上进行 7000 米下潜深度测试，是因为从俄罗斯进口的耐压壳出了问题，鉴于搭乘者安全考虑没有进行试验。

在进行 7000 米试航之前，2012 年 1 月日本有关人员考察了“蛟龙号”，并见到了“蛟龙号”的开发运营人员。中方人员态度十分从容，声称相关课题正在逐步推进，对于 7000 米下潜目标并不感到紧张。面对日本专家，中方人员提出，今后在“蛟龙号”的操作和维护方面还存在一些难题，希望在此方面建立和加强中日合作关系。之后，“蛟龙号”开始试航，2012 年 6 月创造了 7062 米的下潜记录。由此看来中国方面的从容是真的。

早期的经济回报

第三个特点是，在研发过程中考虑经济上的利益。

在“蛟龙号”从系统运转试验到下潜 7000 米测试的四年半研发过程中，中国就想到只有实现资金回收才能进行运营，因此开始实施调查潜航，具体来说就是有偿接受国际海底机构（ISBA）的委托合同，实施调查潜航。国际海底机构成立于 1994 年，其宗旨是根据《联合国海洋法公约》，管理被认定为人类共同财产的深海海底（不涉及任何国家管辖权的区域，即各国大陆架外侧的海底以及深海）资源，事务局设在牙买加首都金斯敦市。

如果在日本，尚在开发中的深潜器就投入运营是无法想象的。这是因为制造方（“深海 6500”制造方是三菱重工）和运营方（独立行政法人海洋研发机构）严格分开，完成设计潜航深度后才由制造方交付运营方投入使用。而中国之所以能这么做，是因为制造方和运营方是一个整体，共同开发。

今后如何运营

“蛟龙号”超越了“深海 6500”的潜航深度，作为科学用载人深潜器位居世界第一。但如果只是达到设计下潜深度，制造载人深潜

器就没有意义。中方相关人员非常清楚这一点，对“深海 6500”运营后的试验、检查和更换零部件频率等问题非常关心。“深海 6500”二十多年的运营经验对中国而言极具参考价值。

今后运营需注意的是“蛟龙号”的保管场所。负责“蛟龙号”开发和试验的 CSSRC 并不临海，每次维护时须将“蛟龙号”由陆路运往保管地，导致运营效率大大下降。而且，长时间陆路运输过程中的震动可能会对深潜器船体造成不良影响。而“深海 6500”则可以从母船迅速移动到临海的维护作业区。

此外，作为潜航时的动力源，电池的种类对运营来说也是一个重要因素。“蛟龙号”目前使用的是银氧化锌电池，而日本“深海 6500”使用的是锂离子电池。锂离子电池在能源密度和寿命上性能优越。中方需要关注更多这方面的信息。

第二节 海洋科技

这里，笔者想全面阐述一下中国的海洋科技。中国基本上是一个大陆国家，国土辽阔，东南部被渤海、黄海、东海、南海包围，拥有较长的海岸线。从资源开发和安全保障来看，这部分海域的相关开发对中国来说非常重要，因此，近年来中国大力发展海洋科技。

落后的海洋大国

回顾中国历史，也曾有过依靠强大的海军力量制服南亚地区的时代。15 世纪初，明朝的郑和（1371-1434）受当时永乐皇帝指派组织大型舰队开始了远航，到达了现在的东南亚和印度，甚至到了中东和非洲东海岸。这比葡萄牙航海家瓦斯科·达·伽马（Vasco da Gama 1469-1524）1498 年发现印度航线开启大航海时代还早近 100 年。郑和的船队是当时世界上最强大的船队。可是，郑和去世后没有了继任者，明朝之后的清王朝并不关心海洋开发。

20 世纪后半期，中国经济开始快速发展，加强了在海洋方面的探索。特别是，1982 年通过、1994 年生效的《联合国海洋法公约》

促使中国开始重视海洋资源可持续利用、海洋环境和生态系统保护、海洋经济和公益服务扩大等问题。为此，1996 年中国制定了“中国海洋 21 世纪议程”，以加强海洋综合管理，2008 年出台了“国家海洋事业发展规划纲要”，作为中国海洋开发的基本政策。

海洋勘探船和观测卫星

为了进行海洋管理和海洋权益保护，各国相关部门都使用海洋勘探船。中国也一样，利用载有各种器材的海洋勘探船进行海岸线调查、海底地形调查、矿物资源调查、渔业资源等生物环境调查。

此外，与关乎国家利益的海洋调查不同，勘探船也进行学术调查。中国引以为傲的科考船是中国大洋协会下属的“大洋一号”。这是一艘可与发达国家相媲美的大型科考船，船身全长 100 多米，排水量 5600 吨，1995 年首航以来已数次环游地球，对热液矿床和热液岩缝进行了调查研究。

根据“十一五规划”，中国科学院建造了综合海洋勘探船“科学”号，2011 年 11 月在湖北省武汉市举行了下水仪式。这是一艘船身全长约 99.6 米、总重量 4864 吨、续航能力 60 天、定员 80 人的大型船舶。2012 年开始运航，未来 10 年到 20 年它将成为中国海洋科学调查的主力。

中国拥有专门用于海洋观测的人造卫星并且正在使用。日本发射地球观测卫星时，会搭载很多传感器，而中国通常只发射“一颗卫星一种传感器”的小型卫星，其中就有海洋观测卫星。

作为海洋观测卫星，中国计划发射五颗用于海洋观测的海洋系列人造卫星。2012 年至今已发射海洋一号 A、海洋一号 B、海洋二号三颗卫星，并投入使用。观测内容包括中国近海发生的赤潮现象、石油泄漏、海冰监控、大陆架和河口动态监控。

南极观测

极地观测是海洋科技的一部分，特别是南极观测已经取得了不少科研成果。中国设有隶属于国家海洋局的中国极地研究所。

中国和日本一样，加入了《南极条约（为和平利用南极地区制定的条约，1961 年生效）》，积极推进南极考察。1984 年，中国派出了第一支南极科考队，次年在南极海的乔治王岛建立了长城基地，开始了南极考察。1989 年中山基地建成、2009 年昆仑基地建成。昆仑基地位于南极内陆海拔 4093 米的地方，是各国南极基地中海拔最高的基地。此外，中国拥有一艘名为“雪龙号”的极地科考船。它最初是乌克兰的破冰船，中国买入后 1994 年改造成极地科考船。日本的南极考察始于 1956 年永田武（1913-1991）队长率领的 53 人科考队的考察，1957 年设立了昭和基地，中国比日本晚了大约 30 年。

与韩国争霸造船业

近年来，中国的造船能力迅速提高，试图与世界领先的韩国展开竞争。直到 20 世纪 80 年代，中国造船业还只是技术设备陈旧，以生产本国内航船舶为主。到了 20 世纪 90 年代，中国大力推行“国运国造政策”，以“本国货物由本国船运输，本国船舶由本国制造”为基本方针，将分散在地方的造船厂合并为“中国船舶重工业集团公司”和“中国船舶工业集团公司”两大集团。位于江苏省无锡市的“蛟龙号”制造方 CSSRC 就是前者的下属机构。

这两个集团通过从海外引进技术和资金大大提高了竞争力。2007 年接受订单量世界第一、现有工程数量世界第二、竣工量世界第三，超过日本造船业逼近韩国。2010 年，中国在这三个指标上都超过了韩国，成为世界第一造船大国。不过，中国的造船技术在造船效率和数字化方面还落后于韩国和日本，主要通过廉价劳动力和自给自足的船用钢板来弥补这些缺陷。

着眼未来的海洋石油天然气开发

世界石油和天然气开发渐渐从陆地转向海洋，尤其是最近，随着海底挖掘技术的进步，人类开始开发更深海底的石油和天然气。

“中国海洋石油总公司（CNOOC）”是进行海洋石油天然气探测、采掘和开发的国有石油企业。迄今为止，CNOOC 已对渤海、南海水深

数百米的浅海地区进行了石油天然气开发。因在南海水深 300-3000 米地域发现了巨大矿藏，中国近年来大力开发这一区域。CNOOC 在尼日利亚和安哥拉沿海海域也在进行油田和气田开发。

石油开发需要很多尖端技术，但中国现有技术与其他石油开采先进国家相比并不高。但 CNOOC 正在通过与上海交通大学等国内大学、研究机构以及挪威企业合作，推进技术开发。这当然同中国经济快速发展伴随的能源需求增加密切相关。

第三章 望远镜 LAMOST 与宇宙开发

2003 年，中国继前苏联和美国之后成功发射了载人航天飞船，由此跻身于航天科技大国行列。然而，由于中国以军事目的为主发展航天科技，保密部分很多，大量信息不公开，因此访问航天开发相关设施很难。不过，作为宇宙科学一部分的天文学设施较为公开。本章将介绍中国领先世界的大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜 (LAMOST)，同时阐述中国以和平为目的的航天活动现状。

第一节 LAMOST 望远镜

LAMOST 是位于河北省的中国科学院国家天文台的望远镜，能够一次性观测 4000 个天体的可见光谱，在世界上独一无二。

天文学史

由太阳系、银河系构成的宇宙对人类来说一直是个谜，而且令人类感到敬畏和恐惧。从波兰天文学家哥白尼 (1473-1543)、意大利科学家伽利略 (1564-1642) 时代之后，人类开始了宇宙探索。伽利略利用自制的望远镜对天体进行了观测。此后随着镜片等光学技术的发展，人类开发出能够更清晰、更远距离观测的望远镜，应用于宇宙观测。进入 20 世纪，电波望远镜问世，宇宙观测迎来了转折点。而且，随着火箭和人造卫星的开发，大气圈外观测成为可能，宇宙观测飞跃

发展。

中国的天文学历史很悠久。天文学的用途主要有两个，一是制定正确的历书，二是用于有时能左右政治的占星术。中国历史上著名的天文学家有关汉的张衡（78-139）和元代的郭守敬（1231-1316）。张衡通晓天文、阴阳、历算，论述了宇宙生成说和宇宙论。郭守敬效力于元代皇帝忽必烈，受命与其他学者一起修订历书。他借用当时世界最先进的阿拉伯天文学成果，改良了观测装置并持续对天体进行观测，1280 年完成了新历书“授时历”交给忽必烈。郭守敬出生于现在的河北省邢台市，所以设在河北省的 LAMOST 也被称为“郭守敬望远镜”。

日本江户时代，天文学家涉川春海（1639-1715）认为“授时历”是非常好的历书，他考虑到地球公转轨道由圆形变为椭圆形以及中日两国的经度差等因素，对“授时历”进行了修正，制作出“大和历”，1684 年作为“贞享历”被朝廷采用。2012 年获得吉川英治文学新人奖的小说《天地明察》（冲方丁著）记载了修正和采用“贞享历”过程相关情节，泷田洋二导演的同名电影 2012 年上映。

中国在天文学方面拥有大量历史先进成果，在其他科技领域也是如此，但其近代天文学的水平目前称不上世界领先，今后中国会通过 LAMOST 等大型装置和人造卫星进行观测，努力追赶欧美先进国家。

LAMOST

LAMOST 是中国科学院国家天文台的一台望远镜，设在河北省承德市兴隆县，距离北京约 120 公里。这一带是高原地区，著名的避暑胜地承德市内有两处世界遗产——避暑山庄和外八庙。从北京市出发进入兴隆县后，能看到很多度假公寓式的建筑。兴隆县中心地区海拔 400 米，相当高。LAMOST 设在兴隆县东部的山顶（海拔约 960 米）。1993 年立项，2001 年开工建设，2008 年落成。LAMOST 的特点是全天候观测，2011 年 10 月开始运转。

现任中国天文学会理事长的崔向群（1951-）博士是一位积极推进 LAMOST 计划的女科学家。她出生于重庆市，1975 年毕业于南京理

工大学光学仪器专业，之后通过参与中国科学院紫金山天文台研究获博士学位。崔博士参加过英国、德国的天文项目，国际经验十分丰富。在 LAMOST 计划中，她主持了自己擅长的光学技术项目。崔博士将中国望远镜研发引向世界最尖端水平，为中国未来开发超大型望远镜奠定了基础，因此她获得了国家科技进步二等奖、江苏省科技进步一等奖等奖项，2009 年 12 月入选中国科学院数学物理学部院士。

建筑物结构和光学系结构

LAMOST 右侧建筑物顶上的半球形屋顶一分为二，露出建筑物内实效口径 4 米的反射镜（24 枚小镜子呈马赛克状连接），这是采光口。左边的建筑物有一个倾斜的圆筒，是宇宙光线的通道。圆筒的左侧安装了主镜（仍由 37 枚小镜子呈马赛克状连接）。圆筒的右侧是装有 4000 根光纤的焦点面。宇宙光线通过右边屋顶的反射镜取得，导入圆筒上部的主镜之后再反射集中到圆筒下部的焦点面上。

本国技术无法完成时借助他国技术，这是中国建设大型研究设施的惯用做法，LAMOST 也不例外。具体而言，望远镜最重要的部分是主镜研磨。LAMOST 最重要的镜片有两个——主镜和反射镜。两个镜片都是对角线为 1.1 米的六角形平面镜以马赛克状连接而成。配件小镜由中国国内制造。反射镜由国内研磨，但主镜则由俄罗斯研磨后运回中国国内，再按马赛克状组合安装。镜片的研磨是望远镜开发中最重要的一环。日本为了在美国夏威夷州安装望远镜“Subaru”，特意从其国内调遣了研磨技术员。而中国在这种重要技术方面，都会毫不犹豫地委托国外。

光学技术水平很高

LAMOST 的特点在于可同时收集天体可视光谱数，在视角 5 度范围内可同时观测 4000 颗恒星或银河天体。如果是在湿度低、空气中尘埃物质较少的冬季夜晚，一个晚上可以观测五次，收集 20000 个天体的数据。中国相关方面一是强调，LAMOST 是在获得天体光谱数方面世界第一的天文台。LAMOST 之前的记录保持者是美国阿帕奇波因

特天文台的反射望远镜，一次最大观测值 640 个。从 LAMOST 来看，能够构建一个同时利用大口径和广角镜片一次获取大量天体光谱的系统，证明中国的光学天文相关技术达到较高水平。

问题是利用 LAMOST 收集到的大量天体数据用来做什么？中国国家天文台的文件资料中列出三项研究任务：“银河的红移全天后观测及物理特性”、“恒星和银河的构造特征”、“可见光以外发现的天体的交叉认证”。但有些天文学家指出，不知道 LAMOST 开发的具体目的是什么。世界上没有短时间内能收集如此大量天体数据的望远镜先例，因此收集数据的科学意义尚不明确。

SDSS 项目

这里，作为了解宇宙构成的计划，介绍一下 SDSS 项目。该项目由美国斯隆基金会提供资助，作为美国、德国、日本三国的共同项目于 20 世纪 90 年代末启动。2005 年，按既定目标成功完成了四分之一空域的三维立体地图，第一阶段项目结束。SDSS 项目使用的望远镜是新墨西哥州阿帕奇波因特天文台口径为 2.5 米的反射望远镜。CCD 相机由东京大学宇宙线研究所的团队研制，是装有 30 个 400 万像素 CCD 的大型相机。

通过 SDSS 项目人类取得了一些研究成果。我们了解到，银河的分布和宇宙的分布不同，有物质集中的区域也有几乎没有任何物质的区域；银河系好像洗衣剂的泡沫一样连在一起，泡沫的大小和膜的厚度各不相同。现在这个项目进入第二阶段，在第一段基础上进一步解释宽广的银河系的三维结构和宇宙膨胀。

LAMOST 在设计之初一定是受了 SDSS 项目影响，要收集大量天体可视光谱，弄清宇宙构造。但 LAMOST 与 SDSS 项目相比，观测精度、效率、数据处理方面做得并不到位，可能仅限于收集光谱数据。

观测精度和效率令人担忧

由于空气流动或污染、人工光线、气候稳定性（是否晴天）等因素会影响观测精度和效率，因此天文学设施尽可能设在条件比较好的

地方。

日本的“Subaru”天文台设在美国夏威夷州的莫纳克亚山山顶（4200米）上。日本、美国等国参与的国际共同项目“阿尔玛（Alma）”望远镜（装有66台碟形射电天线的巨型电波望远镜）设在智利共和国北部的阿塔卡玛沙漠海拔约5000米的高原。SDSS项目中使用的阿帕奇波因特天文台位于海拔近3000米的高地，大气条件很好，夜空的黑暗度也是全美国最高的，总体布局条件非常好。此外，为了抑制空气流动，阿帕奇波因特天文台没有像LAMOST一样的圆形屋顶，而是从机库中伸出望远镜进行观测。

LAMOST安装在大都会北京市附近，存在人工光线和大气污染物令人担心，而且河北省被称为通往日本的“黄尘通道”，所以特别需要防范沙尘。另外，据说LAMOST所在地兴隆县的晴天率虽然冬天比较高但夏天很低。这些因素必然会对观测精度和效率带来影响。

2011年10月，LAMOST开始对整个天空进行观测，一年大概收集一百万个恒星的光谱。尽管LAMOST具备一个晚上就可获得两万个恒星光谱的观测能力，然而获取一百万个数据却花了一年时间，可见效率确实不高。

数据解析能力

通过观测收集大量数据当然非常重要，但如果不好好对这些数据进行分析就是空怀至宝了，而且必须迅速分析观测到的数据，然后确定下一个观测目标，例如SDSS项目数据原则上一周内处理完。阿帕奇波因特天文台收集的数据被保存在磁卡中，从新墨西哥州运送到伊利诺伊州费米加速器研究所的费因曼计算中心，利用超级计算机和专用软件进行解析。该专用软件由SDSS项目核心机构之一美国海军天文台的科学家、普林斯顿大学、芝加哥大学的科学家共同开发。

距离LAMOST约120公里远的国家天文台大楼里装有数据处理计算机，这些计算机通过专线连接LAMOST望远镜。但它们并非能进行高速处理的超级计算机，也没有自主开发出解析用的软件，而是通过与SDSS项目合作借用相关软件。如果分析能力不强，LAMOST就算能

够收集世界上最大的天体光谱量，也没有什么科学价值。LAMOST 刚刚投入运营，今后的发展成果极其值得关注。

第二节 宇宙开发

现在我们撇开 LAMOST 谈谈中国的宇宙开发。2003 年中国成功发射载人航天飞船“神州五号”，名噪一时。也许有人会觉得中国的航天技术超越了尚无载人航天技术的日本和欧洲，接近美国和俄罗斯。但实际情况又是如何呢？

火箭发射

中国的火箭开发与美国和前苏联一样都是始于军事技术开发。1970 年利用自主研发的长征一型火箭，中国成功发射了第一颗人造卫星“东方红一号”，随后相继推出长征系列二型至四型的 13 种火箭，其中 8 种火箭现已投入使用。

中国火箭在开发之初也出现过发射失败或卫星未成功入轨等情况，随后其技术渐渐成熟，特别是 1996 年后连续 75 次成功发射卫星，创下了辉煌记录。但在 2009 年 8 月发射长征三 B 型火箭时，因第三截引擎未正常点火，卫星没有进入预定轨道，发射失败，连续成功的记录中断。在查明事故原因后，中国再次进行了发射，取得了很好的发射成绩。中国火箭发射技术的可靠性非常高。

但在性能方面，目前与其他航天先进国家相比仍然落后。火箭的发射性能一般用从陆地向宇宙输送的重量来衡量。美国的太空穿梭机曾同时搭载 3 台静止人造卫星，在高达 200 公里的轨道上依次发射。它拥有世界上最强大的运输能力，但由于运营成本太高和安全考虑，2011 年停止运营。继“太空穿梭机”之后，美国的“三角洲”火箭达到最高峰，紧随其后的是俄罗斯的“质子”火箭和欧洲的“阿丽亚娜”火箭，接下来是日本的 H-IIB 型火箭。从能够投入地球附近低轨道的卫星重量来看，“三角洲”火箭 23 吨、“质子”火箭 21 吨、“阿丽亚娜”火箭 20 吨，H-IIB 火箭 16.5 吨。中国火箭中发射能力最强

的是长征三型火箭，搭载重量为 11 吨，仅相当于美国、俄罗斯、欧洲的一半左右。不过中国正在开发搭载重量 25 吨的长征五型火箭，如果开发成功并投入使用将成为世界第一。

目前，中国有三个火箭发射基地：酒泉、西昌和太原。酒泉发射基地位于内蒙古自治区的额济纳，因靠近甘肃省酒泉市，所以被冠名酒泉。世界主要国家如果不算小型实验用的火箭发射设施，一般来说都是一个国家只有一个发射基地，没有哪个国家像中国一样拥有三个发射基地。除了这三个发射基地之外，中国还在适合发射静止卫星的中国最南部的文昌（海南岛）建设发射基地。

载人航天飞船的骄傲

在宇宙开发领域，让中国引以为豪的是，继前苏联、美国之后成为第三个成功进行载人航天飞行的国家。

首次实现人类航天飞行的国家是前苏联，时间是 1961 年 4 月。当宇航员尤里·阿列克谢耶维奇·加加林（1934-1968）说出“地球是蓝色的”这句话时，他一下成为世界的焦点。大约一个月后，美国的宇航员阿兰·谢德波（1923-1998）也成功进行了航天飞行。美国在人造卫星发射之后又在航天飞行方面彻底输给了前苏联，这成为美国要第一个登上月球的原动力。于是，1969 年，尼尔·阿姆斯特朗（1930-2012）、埃德温·奥尔德林（1930-）和迈克尔·柯林斯（1930-）三名宇航员乘坐阿波罗 11 号到达了月球。

中国首次成功进行载人航天飞行是在 2003 年，与前苏联、美国相比晚了 40 多年。而且，中国载人航天飞行使用的飞船是在前苏联航天飞船技术的基础上开发出来的，没有独创性，中国的航天科技实力因此而受到质疑。但这种批评未必妥当。在实施载人航天飞行计划过程中，充分显示出中国科技开发的特点。

周密的“神舟”计划

中国的载人航天飞行都是根据准备周密的计划实施的。中国的宇宙开发一直以军事技术开发为中心进行，基于其研究成果，20 世纪

80 年代后半期真正开始载人航天技术开发，进行了有关航天飞船的探讨。1992 年，中国发布了载人航天开发计划“神舟计划”，1993 年成立了中国国家航天局。这可以说是中国版的 NASA（美国航空航天局），它没有自己进行火箭发射、卫星追踪和监控的研发团队，主要发挥规划、国际业务等本部职能。

1999 年，中国成功进行了第一个试验机“神舟一号”发射和返回舱地球回收实验。2001 年，为了确认舱内的生命保障系统，中国发射了载有猴子、狗等动物的“神舟二号”，动物们最终安全返回地球。2002 年的“神舟三号”搭载了宇航员的模拟替身，对中国自主研发的宇航服工作状况实施确认。同年年底，“神舟四号”直至发射前数小时仍在做宇航员搭乘准备，并进行了最后的演练。最终，“神舟四号”搭载模拟人发射上天，对搭载器作业情况进行了确认。

2003 年 10 月 15 日，搭载着中国中国人民解放军空军中校杨利伟（1965-）的“神舟五号”成功发射。日本各大媒体纷纷对此进行了报道，很多人担心中国为扬国威进行载人航天飞行是冒险的行为。但事实是如前文所述，从 1992 年计划公布后的 10 多年时间里，即“神舟一号”发射四年后，“神州五号”才开始尝试搭载人类上天。

“神舟五号”发射成功后，中国的航天飞行试验稳步推进，2005 年的“神舟六号”搭载了两名宇航员，2008 年的“神舟七号”不仅搭载了三名宇航员，还进行了首次太空漫步。

中国版宇宙空间站“天宫”

2008 年“神舟七号”搭载宇航员进行太空漫步后，建设和运营自己的宇宙空间站“天宫”成为中国载人航天飞行的下一个目标。

第一个目标是学习掌握航天飞船之间的空间交会对接技术。2011 年中国发射了第一个宇宙空间站对接实验室“天宫一号”，同年还发射了无人飞船“神舟八号”进行对接实验。2012 年 6 月，搭载中国首名女航天员刘洋（1978-）等 3 名宇航员的“神舟九号”发射升空，成功实现了与“天宫一号”自动以及手动对接后安全返回地面。

“天宫一号”的空间实验室不大，因此中国将陆续发射“天宫二

号”和“天宫三号”。今后，“神舟十号”之后的中国载人航天飞行将致力于“天宫”系列宇宙空间站的建设和运营，其中稳步推进的中国技术开发模式不会改变。

日美欧等国家和地区在规划国际宇宙空间站建设时，十分期待在失重状态下取得药品开发和合金制造等划时代性的成果。但之后的实际运营表明，失重实验并没有立刻出成果。因此，日本和美国常常争论“花费如此庞大的预算运营国际宇宙空间站是否妥当？”甚至有些相关人士发出严厉批评认为，“国际空间站计划不过是批量产出宇航员罢了。”

“天宫”是中国单独建设运营的，因此预算状况比多国共同运营的国际空间站更为严峻。从中国目前的技术实力来看，开发出世界一流的科技装置和设施设备并不难，但在运营利用方面赶上先进国家还需时日。如果其单独推进宇宙空间站建设，就必须更加广泛地讨论运营和利用措施。

数十年后复苏的“联盟号”

在中国航天开发方面需要强调指出的是，中国并不局限于自主技术开发。20世纪80年代后半期，在中国启动载人航天计划时，选定航天飞船类型成为一大课题。中国曾经讨论使用当时最先进的有翼式可再利用的美国航天飞机，但最终还是选择了技术可靠的俄罗斯“联盟”型，从俄罗斯引进了技术。如前所述，中国如果确定了目标，不会局限于自身技术来实现目标。

1991年前苏联解体后，俄罗斯陷入外汇短缺窘境，中俄双方技术引进交涉较为顺利，1995年缔结了合作协议。因此，中国的“神舟”与俄罗斯的“联盟号”虽然间隔数十年但外观极其相似，而且，中国“神舟”的居住空间更为宽敞，对宇航员而言设计更加人性化，搭载器也是最先进的。

人民解放军的合作

中国航天事业得到人民解放军的全力支持。火箭发射场的建设、

运营和维护以及人造卫星发射后的跟踪和管制都由人民解放军来承担，而不是中国国家航天局。

日本媒体在报道中国航天事业时，常常会强调军事上的威胁，原因之一就是人民解放军直接参与了中国航天技术研发。事实上，2007年，中国强制实施了人造卫星破坏实验，在军事意义上给美国等国家带来巨大冲击，同时产生了大量宇宙垃圾，因此这种担心理所当然。

不过，中国人民解放军还参与了很多民生领域活动。这是因为以和平为目的开展原本由军事来实施的活动时，可以灵活利用人民解放军的组织力和机动性。

另外，截至2013年5月，中国共有八名航天员进行过航天飞行（其中景海鹏乘坐“神舟七号”和“神舟九号”进行过两次航天飞行，所以总人次是九人次），他们都是人民解放军的空军飞行员。而且，未来的航天员后备人选也都来自空军下属的航天员大队。

中国版 GPS 计划

为了对抗美国和俄罗斯，建立自己的 GPS 系统，中国连续发射了好几颗卫星。GPS 是指“Global Positioning System: 全球定位系统”，利用人造卫星测定当前在地球上所处的位置。

美国最初建立 GPS 系统是出于军事目的，后来向一般公众公开，形成了汽车导航系统等市场。美国拥有精度更高且只限军事使用的 GPS 系统，一旦出现紧急情况，美国可以停止向一般公众公开 GPS 信息。所以，俄罗斯正在构建自己的“GLONASS”全球定位系统，目前离完成仅剩一步。紧随其后的是中国，截至2011年底，中国共发射了10颗“北斗”定位卫星，建成了覆盖全中国的定位系统网络。为了到2020年像美国一样建成覆盖全球的定位系统网络（中国称为“指南针”），中国预计会继续发射卫星。

克服弱点

中国在天文观测、月球探测等宇宙科学领域，不论是宇宙探测器等硬件开发还是相关科学论文水平都比较落后。在宇宙科学领域，美

国的研发水平最高，欧洲、俄罗斯、日本紧随其后，中国与这些国家相比还存在较大差距。

不过，宇宙浩瀚无边，没有弄清楚的地方还有很多。因此，只要有独特的好想法，就有可能一下子获得世界级的研究和发现。例如，最近在日本国内大为轰动的“隼鸟”号小行星探测器，它采集到月球以外的天体的样本后返回地面。从全世界来看，除了“隼鸟”研发团队之外，没有人想到这一独创性的想法。“隼鸟”号长时间在太空飞行，经历各种意外事故满目疮痍却带回了小行星的岩土，这大快人心的壮举让不关心科学的日本普通民众也为之狂热不已。

中国拥有很多充满热情的优秀青年研究人员，未来他们可能凭借独特的创意震惊世界。如果提到中国的弱点，人造卫星的制造就是其中之一。在组装机体、电源、姿态控制、推进动力、通信等卫星总线必要的基础部件方面，中国达到世界水准，但在卫星总线上搭载的各种传感器、太阳能电池板、零件等方面较为薄弱。卫星制造和发射越多，水平提升越快，因此，如果考虑到中国令人吃惊的各种卫星制造和发射实绩，其超越发射或制造实绩很少的日本、赶上美国和欧洲的水准也只是时间问题了。另外，在以卫星通信广播为中心的宇宙和平利用方面，中国起步较晚，实绩较差。但是，随国内巨大市场的成长，中国在通信或广播领域的实力逐渐增强。最近的热点是，中国发射了用于转播 2008 年奥林匹克运动会的卫星。

综合技术实力评价

综上所述，中国宇宙开发的总体实力究竟如何呢？2011 年，JST 研发战略中心公布了主要国家宇宙相关科技实力比较调查结果（表 5）。这是宇宙开发相关人士、研究人员、厂家技术人员等集中对几个领域的技术实力进行评价后总结出来的结果。

表 5 宇宙技术实力比较调查评价结果（满分为 100 分）

评价项目	满分	美国	欧洲	俄罗斯	日本	中国	印度	加拿大
航天运输领域	30	28	23	26	18	21	11	0
宇宙利用领域	30	28	23	14	18	11	8	7

宇宙科学领域	20	19	10	8	7	2	2	2
载人活动领域	20	20	9	17	10	10	1	3
合计	100	95	65	65	53	44	22	12
名次		1	2	3	4	5	6	7

资料来源：JST 研究开发战略中心“世界宇宙技术力量比较”。

从表 5 可以看出，中国的名次并不高。美国在所有领域都是绝对领先，接下来是欧洲和俄罗斯。欧洲拥有统一的航天开发机构 ESA，同时，法国、德国拥有自己的航天开发机构。欧洲国家虽然还没掌握载人航天技术，但在火箭、卫星利用、宇宙科学等方面都达到很高水平。俄罗斯通过发射人造卫星以及在人类史上第一次将宇航员加加林送上太空，在宇宙开发领域占据世界领先地位，即便在前苏联解体后其依然保有高水平的航天开发技术。尾随美、欧、俄后面竞争的是日本和中国，但从这次调查结果来看，中国与日本相比还存在相当大的差距。

中国能够发射载人航天飞船，因此，越来越多的人认为中国已成为仅次于美国、俄罗斯的航天大国，但因在宇宙科学方面与其他航天大国相比较为薄弱，在通信、广播等航天利用领域尚未真正展开，所以中国得到的评价较低。也许有人质疑，在最重要的载人活动领域，中国怎么会和日本得分相同？这是因为载人活动领域的评价并不取决于是否拥有载人航天技术。中国目前几乎没有进行宇宙医学实验、微小重力科学实验等利用宇宙空间进行的实验。

但是，中国的“神舟”飞船与“天宫一号”对接技术日益成熟，不久的将来，中国可能会在“天宫”系列开展相关实验。如果中国能独自取得空间站的实验成果，其评价结果将会完全不同。另外需要注意的是，选取指标不同，在何种条件下进行比较，都会导致结论差别很大。而且，这只是在 2011 年做出的评价，没有充分考虑中国此后取得的航天开发成果。（2013 年 6 月，中国发射了载有三名航天员的“神舟十号”，并且与“天宫一号”成功对接，航天员在“天宫一号”上面向中小學生进行了宇宙授课。中国的航天开发步伐稳步推进。）

第四章 核聚变研究装置与核能开发

2006 年，中国利用超导磁体研制出核聚变研究装置（EAST），并开始实验。将 EAST 所有磁体线圈超导化是中国领先美、欧、日、俄等核能研究先进国取得的最新成果。本章将重点介绍 EAST，并在此基础上阐述中国核能发展现状。

第一节 核聚变研究装置

核裂变与核聚变

核能利用包含利用核裂变反应和利用核聚变反应两类。核裂变反应是指利用铀等重元素发生反应、吸收中子的铀原子核一分为二时释放出的巨大能量。自 1956 年英国运营核电站以来，核裂变发电已有五十多年的历史，被广泛用于世界上正在运转的核电站。虽然核裂变实现了核电的早期商业化，但其本身存在很多问题，例如必须利用铀 235 这一地球上分布不均匀且数量稀缺的资源；分裂的碎片会产生大量含有很强放射性物质的废弃物；安全性存在争议等等。东京电力福岛第一核电站 2011 年因东日本大地震引发海啸断电，导致炉心熔融这一重大核事故至今令人记忆犹新。

另一方面，核聚变是由氢等非常轻的元素引起的反应，利用的是两个原子核粘合在一起（融合）释放出来的巨大能量。地球上使用的各种能源基本上都来自太阳，而太阳的能量则来自其内部进行的核聚变反应。

与核裂变相比，通过核聚变反应利用能源有几个优点。第一，可利用的资源在地球上取之不尽，地球的海水和自然资源中都含有氢、氘、锂等必不可少的元素。第二，几乎不产生放射性废弃物，核聚变后产生的氦是没有放射性的稳定物质，在原理上规避了放射性废弃物问题。之所以说“几乎”，是因为核聚变反应产生的中子被反应堆吸收后，反应堆材料就会具有放射性，但其放射量和强度都很小，不足以与核裂变反应相提并论。第三，万一反应堆内发生意外事件，其在

安全性等方面要优于核裂变反应。日本福岛核电站事故表明，即使核裂变反应停止也要花很长时间持续冷却，而且可能出现再次临界导致失控的危险。当核聚变反应中反应堆因故障发生摇晃，密闭的等离子体就会开始扩散，核聚变反应无法自动进行，所以不会失控。而且，因为几乎没有放射性物质，所以反应停止后的处理较为容易。

有这么多优点的核聚变为什么在世界上没有被利用呢？发生核聚变时，顾名思义必须聚合原子核，但原子核带正电。也就是说，原子核之间的距离越近，就会产生越强的排斥力，正常情况下无法聚合。为了在地面上发生核聚变反应，需要技术将氢和氘等原料变为高温高密度的等离子状态。目前还没有办法将等离子体成功地封闭在一定空间内。太阳内部有大量的氢处于高温高密度状态，因此氢元素的原子核之间可以消除排斥相互靠近，实现聚合反应。

托卡马克和 ITER 计划启动

将核聚变反应作为能源来源的相关研发始于二战前美国和苏联的军事研究项目，战后作为以和平利用为目的技术被公开。1951 年公布了利用磁力封闭等离子体的实验，此后的研发步伐放慢，等离子体不够稳定以及杂质混入都让研究人员十分烦恼。

前苏联研究人员开发出托卡马克型核聚变研究装置使事情发生了转机。托卡马克型装置是 20 世纪 50 年代前苏联物理学家安德烈·萨哈罗夫（1921-1989）的团队设计的，“托卡马克（tokamak）是由表示装置构造的俄语单词电流（tok）、容器（kamera）、磁场（magnit）、线圈（katushka）的开头字母组合而成。1968 年在国际原子能机构主办的国际会议上，前苏联宣布其通过托卡马克装置 T-3 首次实现等离子体温度达到 1000 万度。以此为契机，利用托卡马克装置进行核聚变研发实验成为世界主流。

20 世纪 70 年代，托卡马克中型装置 “Daburetto III”（美国）、T-10（苏联）建设运转，80 年代，TFTR（美国）、JET（欧盟）和 JT-60（日本）世界三大托卡马克装置建设使用。90 年代，通过世界三大托卡马克装置实验得出“临界等离子体条件”，即加热等离子体的输

入能量与核聚变反应产生的输出能量相等。1985 年，利用三大托卡马克装置不断取得成果，前苏联的戈尔巴乔夫书记在日内瓦与美国里根总统进行了首脑会谈。席间，戈尔巴乔夫书记提议，三大托卡马克的后续核聚变研究装置由以美苏为主的世界主要先进国家通过国际合作共同开发。里根总统对此表示赞同，并呼吁日本和欧洲参与，ITER 计划由此启动。ITER 是国际热核聚变反应堆（International Thermonuclear Experimental Reactor）的简称。而且，ITER 在拉丁语中意为“道路”、“旅行”。

ITER 的发展步伐十分缓慢，直到 1990 年才完成概念设计。接下来的工程学设计又花费了很长时间，2001 年才完成最终设计报告。在此报告书的基础上，美国、俄罗斯（前苏联）、日本、欧盟，加上新加入的中国和韩国，就选定反应堆建设场所进行了协商，2005 年决定设在法国南部普罗旺斯的卡达拉舍。同年年底，印度也宣布加入 ITER 计划。现在 ITER 的建设是以 2020 年开始运营为目标稳步推进。

中国的最尖端装置“EAST”

中国的核聚变研究始于 20 世纪 50 年代后半期位于中国西南部四川省成都市的中国核工业总公司西南物理研究所核聚变科学中心。1978 年，中国科学院在安徽省合肥市设立了等离子体物理研究所，和西南物理研究所一起引领中国的核聚变研究。

目前，世界核聚变研究的主流装置是托卡马克型装置，今后，中国的两家研究所也将以托卡马克型装置的建设使用为中心推进研究。中国的问题是如何赶上美欧日俄。西南物理研究所使用 HL-1 和 HL-2A，等离子体物理研究所使用 HT-7 托卡马克装置，长期开展研究。

安徽省合肥市位于发展比较落后的内陆地区，人口超过 400 万，市内正在建设大型工业园区。中国科学院等离子体物理研究所位于合肥市郊区的一个半岛上。半岛的连接处不大，犹如漂浮在海面上的小岛，因此，等离子体物理研究所等中科院下属五家研究所的这块用地被称为“科学岛”。开车驶入科学岛首先映入眼帘的是很多小孩子在玩。那里是由中科院开办的幼儿园，为科学岛上居住的人员提供服务。

科学岛采用前苏联模式，研究所不仅拥有研究职能，还包含学校、甚至还有农场等配套设施。幼儿园就属于此类设施。等离子体物理研究所所有 500 名左右工作人员和 300 名学生。中国科学院下属研究所接收学生从事研究工作，根据研究期间的成绩可以授予博士学位。

等离子体物理研究所引以为豪的最尖端托卡马克型核聚变研究装置是 EAST。EAST 的名称是由“Experiment: 实验”、“Advanced: 先进”、“Superconducting: 超传导”、“Tokamak: 托卡马克”四个单词的首字母组合而成的，同时也寓意相对于四川省成都市的西南物理研究所而言，安徽省合肥市的等离子体研究所位于东部（EAST）。等离子体研究所的李建刚（1961-）所长在英国核聚变研究中心地的卡拉姆研究所工作过，2005 年开始担任该所所长，就任时年仅 40 岁出头，相当年轻。

世界第一的全超导托卡马克装置

要发生核聚变反应，必须将氢等元素转变为等离子状态并封闭在一定空间内，而实现这些需有超强电磁铁的磁力。用普通铜质材料制作电磁铁非常耗电。为此，在实际应用时，须用耗电少的超导材料制作电磁铁来封闭等离子体。

20 世纪 80 年代超导技术开发进展缓慢，世界三大托卡马克装置中的电磁铁也都是用铜质材料制作而成。中国以此为着力点，决定建设 EAST，在世界上首次实现所有线圈超导化。2006 年 EAST 建设完成，并在同年成功产生最初的等离子体，建成世界上首个全超导托卡马克装置。此后，2007 年，韩国也建成所有线圈超导化的托卡马克装置“K-STAR”。K-STAR 的规模与 EAST 大致相当。

要实际应用核聚变反应，超导线圈不可或缺，从这个意义上来看，EAST 的建成在全世界是一项里程碑式的成就。通过 EAST 可以进行超导设施特有的技术开发和人才培养，因此可以说中国在核聚变实用化方面占据了优势地位。谈及对 ITER 的贡献，中国多次强调 EAST 作为超导相关实验设施的有效性。中国对 EAST 建成运转倍感自豪，2007 年入选“中国基础研究十大新闻”，2008 年获得中科院颁发的“2007

年度杰出科技成果奖”。

有限的容量

但是，建成 EAST 并不意味着中国的核聚变实力可与美欧日等核聚变先进国家相比肩。其中一个主要原因是 EAST 的规模。现在最先进的托卡马克装置呈多纳圈状（油炸圈饼状），其横截面并非简单的圆形而更像是饭团状。ITER、三大托卡马克装置（TFTR、JET、JT-60）、EAST 也是这种形状。

与三大托卡马克装置或 ITER 相比，EAST 装置并不大。为了封闭等离子体进行核聚变，大容量的多纳圈状容器较为理想。ITER 的容量约 1000 立方米，JT-60 约 60 立方米，相形之下，EAST 的容量不过 10 立方米。要实现核聚变的实用化，核聚变反应产生的能量（输出能量）必须大于电磁铁等消耗的电能（输入能量）。因此，核聚变研究装置的总容量必须保持一定规模。为了将等离子体稳定封闭在大容器中并实现高温高密度，就必须进行磁铁大型化、加热系统强化、测量系统精密化等技术开发。所以，建设较大的实验设施进行研发非常重要。因此，就容量而言，EAST 存在局限性。

ITER 项目相关人员充分认识到这一点，考虑到要充分利用 EAST 和韩国 K-STAR 等先进全超导托卡马克装置的运营经验和研发成果，计划在 2014 年前通过日欧合作，将容量较大的日本 JT-60 改造为全超导托卡马克装置（JT-60SA）。

使用外国技术和零件

从 EAST 开发可以看出中国科研模式。1994 年，EAST 的前身——设在等离子体物理研究所的托卡马克装置（HT-7）采用了一部分超导线圈，而 HT-7 最初是俄罗斯（前苏联）开发出来的装置。等离子体物理研究所引进后进行了改良实验。

EAST 的开发是在 HT-7 成果的基础上进行的，设计上也离不开美国普林斯顿大学和通用原子能公司的合作。而且，EAST 所用的超导磁铁材料是从俄罗斯进口的。但 EAST 相关人员对一部分技术依赖外

国毫不介意，反而强调称，将超导材料加工成线圈以及其他零件都是自行制造的，国产化率达到 90%。

中国的另一个特色是，即使是 EAST 这种大型装置，重要零件也都由研究所工作人员自己制造和组装。在欧美国家、日本以及韩国，大型托卡马克装置的制造和建设一般都委托给电机制造商。而 EAST 则是由研究所工作人员自己完成，比如多纳圈状真空装置内部的瓷砖片就是工作人员一片片贴上去的。此外，超导线圈材料是从俄罗斯引进，但在研究所内设立了制造组装厂，进行卷线处理和线圈化等工作。这么做的原因是，中国国内还没有具备这一实力的制造商，而且预算上也存在制约。

如何培养核聚变研究人才

EAST 所在的等离子体物理研究所接收了大量博士研究生，激发了研究所的活力。而且，中国加入 ITER 项目，EAST 也会适当对 ITER 项目发挥作用，这对等离子体物理研究所的人才培养而言产生了很好的影响。

中国政府计划到 2020 年用 10 年时间培养 2000 名左右核聚变研究人才，在北京大学、清华大学、上海交通大学、复旦大学、中国科学技术大学等一流大学设置核聚变专业，支持培养 200 名博士生。若如此推进人才培养工作，中国在不及欧美和日本的学术领域就有望获得实质性的提升。不过，即使在人口众多的中国，确保优秀人才也很不易。等离子体物理研究所拥有 EAST 能够开展世界最先进的研究，中国国内从事核聚变研究的青年人才应该会蜂拥而至，但问了研究所管理人员后得到的答案却出人意料。

在中国，中年以上的研究人员梯队较为薄弱，因此培养青年人才是人才工作的核心。等离子体物理研究所的学生多是为了获得博士学位而进行研究，获得博士学位后，一般以参加课题研究方式使他们继续留下来工作。但由于该研究所位于称不上大都市的合肥市，因此年轻优秀的学生往往倾向于去国外或大城市的民间企业工作。

等离子体物理研究所方面为了留住人才，增加工资和改善住房条

件，增加国外出差机会，加强与国际学术界的交流和研究合作，甚至资助青年人才获得汽车驾照，这些措施和努力令人感动得流泪。日本科技界一直致力于确保青年人才，但没想到人才济济的中国也会如此花大力气留住人才。

第二节 核能开发

前文围绕 EAST 介绍了中国的核聚变研究，接下来介绍一下中国核能概况。

两弹一星——军事技术开发

中国经历了清朝末年的混乱、抗日战争、国共内战、新中国建国后的混乱，近代化之后持续很长时间无暇顾及科学技术的振兴。但军事技术开发例外。20 世纪 50 年代后，在当时最高领导人毛泽东的极力倡导下，中国以“两弹一星”为口号，大力推进核武器和导弹开发。两弹是指原子弹和氢弹，一星是指人造卫星。

人造卫星不只是指卫星还包括发射能力，包括发射军事弹道导弹的火箭开发。1964 年，中国成功进行了原子弹爆炸实验，1967 年成功进行了氢弹爆炸实验，1970 年利用自主研发的长征一号火箭，将中国第一颗人造卫星“东方红一号”发射上天。

滞后的和平利用

中国的军用核能开发稳步推进，但在民用方面起步较晚，尤其是核电站的建设施工非常缓慢，进入 20 世纪 80 年代后才启动。这是因为中国主要电力来自火力发电，发展核电会对国内煤炭产业造成冲击。但随着 80 年代中国确定改革开放路线，经济发展规模扩大，电力供应严重短缺，中国政府才下决心引进核电。

即使到现在，中国的核电机组容量也并不大，截至 2012 年 1 月，14 座核电站正常运转，装机容量不到 1195 万千瓦，位居世界第九。不过进入 21 世纪后，随着经济的发展，中国加大了对核电的倾斜。现在全世界建设中的核电站共有 75 座，装机容量 7600 万千瓦，其中

近一半建在中国（30 座 3300 万千瓦）。

在核燃料相关技术开发方面，可以说核能开发是从核武器开发开始一步步发展起来的。就钚的和平利用而言，欧美等国基于成本和核不扩散等观点持消极态度，中国却在坚持开发利用钚的高速增殖炉。

在支撑轻水反应堆核电站的核燃料相关事业方面，中国已拥有铀的提炼、转换和浓缩，核燃料加工等工厂，基本上是自主开发。但中国国内天然铀资源储量不多，需向澳大利亚或哈萨克斯坦购买。

以海外技术为中心的核电

中国利用核电的一条路线是自主开发，另一条路线是国外引进。

位于浙江省嘉兴市海盐县秦山镇的秦山核电站采取的是自主开发路线。因为是自主开发路线，发电站的主要承包商是中国企业，但并不是仅靠中国技术力量从零开始建设。其反应堆设计参考了美国西屋公司的旧式 PWR，主要机器从国外购买，也从日本三菱重工购买了反应堆核心部件——压力容器。开发第一阶段成功建设了 30 万千瓦级的发电站，第二阶段建设提升到 60 万千瓦，但此后中国利用国产技术建设核电站处于停滞状态。秦山一号核电站 1985 年施工建设，1991 年开始发电，1994 年开始运营。1989 年中国成功向巴基斯坦售出两座同种类型的核电机组。随后，巴基斯坦核电站建设顺利进行，2000 年开始运转，到现在一直正常运营。巴基斯坦还想向中国购买同种类型的核电机组，但中国国内此后没有再建设与秦山一号同种类型的核电站。

位于广东省直面南海的大亚湾核电站采取的是国外引进路线。最初的两座核电站是从法国引进技术，之后又从俄罗斯、加拿大、美国引进了技术。虽说走的是引进路线，但并不是一直依赖外国技术，他们计划逐步提高国产化率，最终实现自主开发的国产化路线。现在的情况是，大亚湾核电站并没有基于国产技术进行建设，还是以引进路线为主。其在短时间内从多个国家引进了不同类型的反应堆。法国的阿海珐公司和美国的西屋公司瞄准未来巨大市场推出了最尖端的反应堆技术，但中国可能无法完全消化引进的最新技术。也就是说，中

国存在法国、美国、俄罗斯、加拿大四个国家不同的反应堆设计理念，而且主要零部件也从日本、韩国、西班牙等国进口，情况非常复杂。这原本是为了不将主导权让给某个特定国家或厂商使他们互相牵制，提高中国国内企业在核反应堆设计、零件制造、发电站建设等方面的能力。但是，引进的反应堆类型过多，技术学习效率很低。而且，如果设计理念不同，安全思想、安全标准、安全装置也会不同，结果可能造成安全隐患。这一点不容忽视。

切实推进实用化

为了扭转核电开发落后局面，中国积极从国外引进技术，但中国原子能科学研究院、中国科学院、大学在基础研发方面也积累了不少研究成果。中国的研究所和大学正在进行高速增殖反应堆实验、高温气体反应堆实验以及前文所述的核聚变研究。

中国的大学在核能开发领域发挥重要作用的一个例子是清华大学的高温气体反应堆项目。清华大学与德国尤利希研究中心以及日本原子能研发机构进行合作，建设了热输出 10 兆瓦的高温气体反应堆实验堆。日本原子能研发机构在茨城县大洗町建设了高温气体反应堆的实验设施并投入运转，但因成本问题没有得到实际应用。这项在日本没有被实施的核电技术在中国得到了应用。据《日本经济新闻》2013 年 1 月 8 日报道，采用这项技术的核电站已在山东省荣成市石岛湾开工建设。

人才培养展望

从核能开发也能看出中国科技的一个优势，即多样化人才培养。中国刚刚开始核能的商业应用，就陆续建立了大学和专门学校、职业学校来提供人力资源保障，但是当 20 世纪 80 年代全世界核能发展放缓时，大学的核能工程专业也相继关闭。

不过，2000 年后进入了核能扩大时代，中国的大学恢复核能工程学科备受瞩目。开设核能工程专业的大学到 2007 年总共有 14 所，每所大学培养数百名学生，其中包括清华大学、上海交通大学、西安

交通大学、中国科学技术大学等名校，哈尔滨工业大学该专业本科生有 1000 名，加上研究生总数超过 1300 名。

当地居民反对成问题

中国在任何地方都是坚决执行上情下达的自上而下的国家，与欧美日等西方先进国家相比，在核电站选址方面不存在什么问题。而且在中国，土地归国家所有，个人只有土地使用权没有所有权。因此，如果在城区建设写字楼或公寓，当地居民无权反对。

但从最近的报道可以看出情况发生了变化。围绕工厂选址等问题，当地居民和政府间发生了冲突，有时地方政府会接受民众意见改变计划。其民众依靠的力量是，中国迅速普及的互联网和移动电话产生的信息传播力。

2011 年发生的福岛核电站事故，迫使各国重新审视世界范围内正作为应对地球变暖有效手段逐步扩大的核电项目。日本国内不用说了，德国也已全面停止发展核电，其他国家的核电项目也受到了很大影响。在中国，由于同经济规模相比，核电站目前还不算多，因此核电站布局问题还不明显。但是民众现在可以通过网络等方式发布信息，中国在福岛核电站事故前制定的核电快速扩张路线是否能实施下去值得关注。

第五章 iPS 细胞老鼠“小小”

京都大学山中伸弥（1962-）教授的团队研发的 iPS 细胞在全世界产生了巨大影响。中国也不例外，出现 iPS 细胞研究热，并取得了显著的成果。其中之一就是在世界上首次成功用 iPS 细胞培育出老鼠“小小”。本章主要介绍“小小”的培育团队，从中了解中国的 iPS 细胞研究现状。

干细胞与 ES 细胞

一切生物体都由大量细胞构成。比如人类，由 60 亿个细胞构成。

但要追溯这 60 亿个细胞的根源，却只是一个受精卵细胞，经过“胚”这一源体分裂，分化出头、手脚等所有组织细胞。细胞大致分为“体细胞”和“干细胞”。体细胞具有各种组织机能，而干细胞是具有可以分化为多种系统细胞能力的细胞。细胞分裂时，一部分分裂为体细胞，另一部分再分裂为干细胞。干细胞的代表是骨髓里的造血干细胞，不断造出红血球和白血球等血液细胞。另外还有皮肤的干细胞和肝脏干细胞等多种干细胞。

分化为特定组织后的干细胞不能再分化为其他组织的干细胞，但我们认为在胚胎阶段可能存在可以分化为各种组织的细胞。1981 年，英国科学家马丁·埃文斯（1941-）博士首次从老鼠的受精卵在刚开始细胞分裂，形成胎儿之前的胚胎中成功分离提取到细胞，并将之培育为 ES 细胞（胚胎干细胞）。ES 细胞几乎可以无限分裂出可以制成各种组织功能细胞的多功能细胞。1998 年，美国发育生物学家詹姆斯·汤姆森（1958-）博士的团队成功地从人体受精卵中分离出 ES 细胞。未来有望利用人体 ES 细胞，重新造出因疾病或老化以及在事故中失去的脏器。

但是，此后的 ES 细胞研究一直受到政治困扰。由于 ES 细胞是使用受精后的细胞提取培育而成，反对者批判说，培育人体 ES 细胞是毁灭生命，与杀人行为毫无区别，会引发伦理问题。罗马教廷强烈反对人体干细胞研究。2001 年就任的美国总统乔治·沃克·布什也反对 ES 细胞研究，冻结了人体 ES 细胞研究的联邦预算。这是因为布什总统出身共和党，而共和党是支持基督教右派，一直坚持保守主义立场，反对堕胎。此外，在欧洲，主要是天主教影响力较强的国家也多禁止人体克隆胚胎细胞的研究。

对于布什政权对人体 ES 细胞研究的一贯强烈反对，研究人员非常担心美国的此项研究会落后，促使美国联邦会议重新审议，2005 年 5 月在美国下院、2006 年 7 月在美国上院通过了扩大联邦资助法案。但布什总统上任后首次动用否定权否决了该法案。

iPS 细胞开发

就在人们直言不讳地议论人体 ES 细胞的时候，突然出了一件爆炸性新闻，即 2006 年 8 月中山教授的团队开发出 iPS 细胞，在世界上产生了巨大反响。

iPS 细胞的正式名称是“induced pluripotent stem cell”，翻译出来就是“诱导性多功能干细胞”。山中教授在老鼠尾巴的皮肤细胞中植入了四个基因细胞进行培育，并确认了这些细胞拥有分化为各种组织的万能性。2007 年，山中教授以及上述成功培育人体 ES 细胞的汤姆森教授同时成功培育出人体 iPS 细胞。山中教授因这项研究成果荣获了 2012 年诺贝尔生理学 and 医学奖。

iPS 细胞的特点是不源自受精卵。使用受精卵的人体 ES 细胞涉及毁灭生命等伦理问题，而且受精后从母体内取出受精卵对母体来说也会造成负担。iPS 细胞不存在这些问题。iPS 细胞的另一个优点是没有排斥反应问题。假设脏器来源于 ES 细胞就需进行移植再生，但由于脏器并非脏器需求患者本人的细胞，在移植手术后会产生排斥反应。但如果使用 iPS 细胞，因是用患者自身的细胞培育脏器，从原理上可以避免排斥反应。凭借这些优点，iPS 细胞被称为魔法细胞。强烈反对人体 ES 细胞研究的美国白宫以及罗马教廷也发来了赞词，评价说“这是一项重要发明，不灭杀生命，又可以治疗多种疾病”。

虽然各方对 iPS 细胞研究寄予厚望，但也存在问题。其中最大的问题就是源自 iPS 细胞的细胞癌变问题。据推测可能是因为山中教授的团队在最初培育 iPS 细胞时使用的四个基因里含有与癌变密切相关的基因，或是因为在 iPS 细胞培育过程中使用的反转录病毒（会引起艾滋病、成人 T 细胞白血病等病毒、具有以病毒基因 RNA 为原本制造繁殖 DNA 的特征）而引起的。现在全世界的研究人员都在争论不会发生癌变的 iPS 细胞培育问题。

山中教授等人剔除与癌症关系密切的基因，成功培育出 iPS 细胞。但这次细胞增加的效率降低了，脏器再生要花费非常长的时间。为此需要同时推进提高 iPS 细胞制作效率的研究。但这并不意味着将

来 iPS 细胞研究取得进展，ES 细胞研究就完全没有必要进行。为了给 iPS 细胞研究提供对比参照，ES 细胞研究还是有必要继续进行。

克隆研究成果

中国在克隆研究方面具有长期的历史和积累。世界上最著名的克隆技术是“多莉羊”，但克隆这个词源于希腊文，是“插枝”的意思，克隆体系原本就存在于自然界。克隆技术用于动物界，最早是 1891 年德国生物学家汉斯·德里施（1867-1941）培育出克隆海胆。

鱼类最早的克隆是由中国的童第周（1902-1979）博士最先完成。童第周毕业于复旦大学，并在布鲁塞尔自由大学取得博士学位。1963 年，童博士抽取了雄性鲫鱼的 DNA 移植至雌性鲫鱼的卵子，在世界上首次成功培育出克隆鲫鱼。童博士是中国科学院海洋学研究所第一任所长、中国科学院副院长。

克隆研究和干细胞研究同属于发育学，克隆水平高对于干细胞研究来说具有重要意义。在童博士的重大成果的基础上，中国科学院和中国农业大学不断推进其他动物（牛、羊等）的克隆研究。正是在此背景下，在确立老鼠、人体 ES 细胞的世界干细胞研究潮流中，中国的研究人员才能快速赶上。在国内各研究室成功培育出老鼠、人体 ES 细胞的同时，干细胞库的建设在政府的支持下顺利进行。山中博士的 iPS 细胞开发也同样是基于长期研究的经验和积累。

世界首只 iPS 细胞老鼠“小小”

2009 年，在 iPS 细胞研究方面，中国的研究小组取得了一项震惊世界的成果。他们从老鼠的皮肤细胞中提取并培育出 iPS 细胞，运用“四倍体补偿”技术，在世界上第一次成功培育出 iPS 细胞克隆老鼠。此项成果充分证明 iPS 细胞和 ES 细胞一样是多功能细胞。但此前日本和欧美的研究人员的实验都没有成功，因此有研究人员认为 iPS 细胞与 ES 细胞不同，并不是多功能细胞。

就在此时，中国科学院动物研究所周琪（1970-）研究员领导的研究小组在世界上首次利用 iPS 细胞成功培育出老鼠，并将成果发表

在 2009 年 7 月的 Nature (461 号, 86-90 页) 上。几乎在同一时期, 北京生命科学研究所的高绍荣 (1971-) 研究员的团队也成功培育出同样的老鼠, 并将成果发表于著名的生命科学杂志 Cell Stem Cell (五[二]号, 135-138 页)。中国的两个研究小组几乎在同一时期发表了这一世界首创, 把欧美和日本的研究人员远远甩在后面。

周琪研究员原是一名动物克隆研究人员, 1996 年获得东北农业大学博士学位, 之后在法国国立农业研究所从事研究工作, 2003 年入选中国科学院海外人才归国政策“百人计划”回国工作, 设立了中国科学院动物研究所的干细胞研究部。据周琪介绍, 自 2006 年山中教授开发 iPS 细胞以来, 中国高度关注并开展相关研究, 自己也作为干细胞研究的一员投入其中。当时, 因为还没有人成功利用 iPS 细胞培育出老鼠, 所以就将此作为研究课题展开研究, 并把世界上首只 iPS 细胞克隆动物取名为“小小”, 英文名为“Tiny”。当问到为什么将这只小鼠取名为“小小”, 是因为“老鼠的体型比较小吗?” 周琪非常谦虚的回答到“是因为这并不是一个什么大成果”。但与周琪的谦虚相比, “小小”的成功培育获得了诸多赞叹, 并被世界所承认, 例如, 在美国时代周刊公布的“2009 年度医学领域突破”前十名中, “iPS 细胞培育小鼠的研究”名列第五。据周琪研究员所述, iPS 细胞培育的小鼠与普通老鼠相比, 在记忆力等发育并无差别, 但癌变率比普通小鼠高 15%-20%, 其后代的癌变率也比较高, 这个问题能否克服直接关系到 iPS 细胞的临床应用。

效率突破性提升

中国研究人员在 iPS 细胞的其他研究方面也发表了世界级的研究成果。例如, 北京大学邓宏魁(1963-)教授发表在 2008 年 Cell Stem Cell (三(五)号, 475-479 页) 的研究成果。具体来说, 这是一项在培育人体 iPS 细胞时利用抑癌因子将细胞繁殖率提高 100 倍的研究。与培育 iPS 细胞小鼠相比, 这确实是一项不起眼的成果, 但对于未来临床应用具有重要意义, 引起日本及欧美研究人员的高度关注。

邓宏魁教授原留学美国, 1995 年在加利福尼亚大学洛杉矶分校

通过 HIV 研究获得博士学位，后来在美国风险企业从事研究工作，2000 年北京大学成立干细胞研究中心时，通过“长江学者奖励计划”引进回国工作，是中国在疾病模型动物研究领域的领军人物，2003 年 SARS 爆发时担任中国政府顾问。他也是继山中教授 2006 年取得 iPS 细胞研究成果后中国最早开始干细胞研究的学者。邓宏魁教授在从事小鼠、猴子、大鼠等实验动物基础研究的同时，也致力于细胞初始化、人体 ES 细胞分化诱导、再生医疗等研究。他对自己单位北京大学的研究环境非常满意。北京大学具有中国最棒的医学院和九个附属医院（其中之一正在建设），医学院与附属医院之间的密切协作发挥着重要的作用，这极有利于临床应用研究。而且，北京大学的其他学院也都非常优秀，可以进行医学、生物学、材料等不同领域的横向研究。此外，在大学校园内有实验鼠等公共实验动物中心，便于研究人员开展各种实验，而且校外也饲养猪等大型动物。

政府对研究的支持

基于中国研究人员的成果，中国政府积极加强了对包括 iPS 细胞研究在内的干细胞研究预算及设施的支援。

在“十二五”科技发展规划中，中国政府计划在 5 年内对干细胞研究投入 30 亿元（约 400 亿日元）。研究实施主体中国科学院从 2011 年 1 月起，在北京、上海、广州、昆明四个下属院所设立了核心研究中心，在干细胞和再生医疗研究领域构建世界级研究平台。中国科学院计划 5 年内投入 9.4 亿元（约 130 亿日元）支持这些核心研究中心自身建设以及干细胞和再生医学相关研究。此外，中国政府将在北京（周琪研究院所属的中国科学院动物研究所）、上海（两个研究所）、广州、天津、长沙的六个研究所建设干细胞库，作为其重要公共研究基础设施。

研究水平急速提升

从山中教授等开发出世界首例 iPS 细胞可以看出日本 iPS 细胞研究水平处于世界领先地位，而且研究队伍实力雄厚。那么日本的 iPS

细胞研究人员是如何看待中国的研究人员呢？

多数日本专家都强调说，中国的研究水平正在急速提升。几年前，中国没有独创性研究，而且研究质量不高，几乎没有受关注的成果。但 2008 年后，特别是近两年中国的发展势头十分强劲，涌现出不少优质的研究论文，其中一部分甚至达到世界一流水平。如前所述，中国科学院动物研究所的周琪研究员、北京大学的邓宏魁教授的研究成果就是代表，其论文都发表在 Nature 或 Science、Cell Stem Cell 等世界一流期刊上。曾在欧美国家留学的优秀研究人员回国工作是中国研究水平提升的最主要原因。

中国的研究队伍日益壮大。从 2011 年 iPS 细胞相关论文发表量来看，美国 172 篇，日本 68 篇，中国 29 篇，排名世界第三。再看 2010 年干细胞研究项目总数，美国 3643 项，日本 741 项，中国 677 项，还是排名世界第三。中国研究人员在世界上的显示度越来越高。但中国研究人员的实力还无法与欧美国家研究人员竞争，因为中国的原创性还有待提高。一般来说，中国的大部分 iPS 细胞研究并不是全新的发现，而是改变培育条件或是提高初始化效率等研究，或是尝试利用人体、老鼠以外其他物种进行个体化研究。

今后要推进高水平的原创性研究，中国需要吸引留学欧美的研究人员回国内设立研究基地，开展独立研究。在这些基地培养起来的青年研究人员作为下一代首席研究员（PI）发表论文，才能推出真正的原创性成果。

超越日本的临床应用体制

日本专家十分关注中国的临床应用体制。中国用于临床研究实施体制的预算急速增加。北京大学、清华大学、同济大学、中山大学都新建了有数千张病床的大学医院，便于今后开展临床研究。日本最大的东京大学医院也不过 1200 张病床，与中国新建的医院相比只能算是小规模。

此外，为了干细胞研究的稳定发展，必须制定干细胞临床研究相关指导方针。2003 年，中国的卫生部、科技部等部门联合制定了“人

体胚胎干细胞研究伦理指导原则”。在日本目前无法进行的治疗用的克隆培育，在中国却可以实施。从临床研究环境建设来看，日本与中国的差距逐渐拉大，尽管日本研究人员发表了很多优秀学术论文成果，但在临床应用这些成果方面很可能会落后于中国。

今后与日本的合作关系

面对中国的快速发展，日本专家强烈呼吁，在临床研究、指导方针以及细胞库的共同利用和标准化等方面，围绕对中日双方有利的领域积极开展合作。特别要强调的是中日之间的优秀人才交流。最近，留学欧美和日本的优秀人才纷纷回中国国内发展，大大提升了中国的研究水平。很多研究人员回到中国后，致力于建立中国与其留学地的合作研究关系，发挥了重要的桥梁作用。日本也以接收留学生和研究人员为契机，开始采取“讨论共同开展临床研究计划”等各种措施。另一方面，日本研究人员通常与中国研究人员的直接交流较少，因此增进彼此的理解也非常重要。

患者数量多且治疗实验体制与欧美同等完善的中国在实施临床研究方面具有很大优势，而且比欧美更容易实施临床研究前阶段的动物实验，因此，日本应该考虑在使用灵长类进行临床研究领域加强与中国的合作。但在 iPS 细胞研究临床应用的专利等知识产权方面，两国的制度并不一致，因此在推进合作时务必慎重考虑知识产权问题。

第六章 遗传基因解析公司

华大基因（BGI）公司是解析遗传基因信息进行商业化运作的一家中国民营企业，近年来在设备、人员配置等方面不断大幅扩充，可以说是一个世界罕见、极具特色的基地。因此本章主要介绍 BGI 公司。

遗传基因分析的发展历程

基因研究史上一个重大转折点是美国生物学家詹姆斯·沃森（1928-）和英国生物学家弗兰西斯·克里克（1916-2004）在 1953

年发现 DNA 双螺旋结构。他们发现，DNA 是由 A(腺嘌呤)、T(胸腺嘧啶)、G(鸟嘌呤)、C(胞嘧啶)四种碱基组合而成的长条形链状结构，成对的双螺旋状缠绕。而且，这四个碱基的排列方式通过所对应的氨基酸合成蛋白质。也就是说，从 DNA 信息可以追根解读到构成生物体的蛋白质合成情况。

1977 年，英国的生物化学家弗雷德里克·桑格(1918-)和美国物理和生物学家沃特·吉尔伯特(1932-)几乎同时发现了确定 DNA 里碱基排列方式的方法。这种方法被称为 DNA 测序。世界以空前的速度承认了此项成果，1980 年，二人便获得了诺贝尔化学奖。测序方法的确立使得很多研究人员开始尝试通过 DNA 开展蛋白质相关研究。例如，发现和疾病相关的 DNA，就可能开发出治疗此疾病的药物。

但是，20 世纪 80 年代初，测序是一项非常耗时耗力的工作。一名专家测定 1000 个碱基，大概需要三天时间。为了提高效率，东京大学教授和田昭允(1929-)，主持科学技术厅(现为文部科学省)项目，开发了 DNA 碱基序列自动解析系统。基于此成果的论文发表于 1987 年 Nature(325 号、771-772 页)。但这个测序仪是一台缺乏机动性的巨型机器，不久之后就被美国风险企业改良开发的小型大容量且灵活的装置取代。

随着测序仪开发的进展，美国、日本、欧洲等研究人员们掀起了人类基因组测序的热潮。1988 年，国际人类基因组组织(HUGO)在瑞士蒙特勒成立，制定了通过国际合作对人类所有染色体碱基排列进行测序的计划。HUGO 以及各国政府经过讨论，从 1991 年开始进行测序工作。人类基因组有 24 条染色体，而碱基数则有将近 30 亿个。

当时的测序仪一次作业只能对 500 个碱基进行测序，因此要准确测序 30 亿个碱基，再考虑到重复性作业问题，测序仪预计要进行 1 亿次作业。因此计划耗时 15 年完成人类基因组测序工作。然而，随着测序仪的自动化和高效化发展，计算机数据解析性能大幅提高，比原计划提前三年也就是在 12 年后的 2003 年，就公布了测序成果，国际人类基因组测序计划就此画上了句号。

BGI 公司的历史

中国使用测序仪进行基因分析的历程和接下来要介绍的 BGI 公司的历史有很多重叠部分。20 世纪 90 年代上半期，中国有一拨从欧美留学回国的研究人员在实验室用测定仪进行基因解析研究，但在基因解析方面并没有开发出新方法，也没有参与测定仪研发竞争，因此其水平落后于美国和日本。

这种状况得以根本改变，是因为中国后来加入了国际人类基因组计划，成立了 BGI 公司来执行相关研究工作。该公司前身是北京华大基因研究中心，由其现任理事长杨焕明（1952-）博士等人创建。国际人类基因组计划从 1991 年开始实施，1999 年 BGI 公司成立之初，日欧美等各国的作业水平已非常先进，但杨博士并没有畏惧，他说服了中国政府申请加入基因组计划，并向国际承诺承接 DNA 测序 1% 的任务，同时也接受必要的资金援助。BGI 公司的加入，使得中国获得了与参与该计划的美国、英国、德国、法国、日本等基因测序先进国家同等的地位。在国际人类基因组计划完成后 2002 年启动的国际单倍型图谱计划中，中国以 BGI 为主，承担了整个计划 10% 的任务，为国际社会做出更多贡献。

BGI 公司的特点是引进大量测序仪，以青年人员为骨干，有组织地进行基因解析研究。从对人类基因组计划和单倍图谱计划的贡献中可以看出 BGI 的实力，而该公司的发展真正步入轨道是因为中国政府的参与越来越少。在“十一五”科技发展规划（2007-2011 年）中，尽管 BGI 公司一再申请，还是没有明确测序相关国家预算，因此，BGI 公司陷入了窘境。那时杨博士已开始为发展中国测序事业大幅扩招职员。出手拯救 BGI 公司的是广东省深圳市。深圳市政府高度评价了 BGI 公司的实力，承诺至 2007 年四年间出资 2000 万元（约 3 亿日元），同时将原造鞋厂旧址提供给 BGI 公司建设总部。在深圳市的协助下，BGI 公司总部从北京市迁到深圳市，并正式更名为 BGI。

BGI 公司扬名世界是因为其 2010 年大量引进超高速测序仪。当时，世界大型高速测序仪的开发竞争达到顶峰，美国 Illumina 公司，

美国生命技术公司、瑞士罗氏诊断公司三大公司在开发新机种上竞争激烈。BGI 公司看清了这场竞争的走向，向 Illumina 公司下了大订单，大量购买该公司最新最先进的测序仪 HiSeq2000。BGI 公司从中国开发银行贷款 100 亿元（约 1300 亿日元），一口气购买了 128 台 HiSeq2000。当时世界上最先进的 DNA 研究机构是美国博德研究所、英国桑格研究所拥有的最新先进的高速测序仪也只有 50 台。日本理化学研究所也只有十几台。BGI 公司一口气引进美英世界级研究所近 3 倍的台数，其选定的机器型号也非常合适，迄今 HiSeq2000 高速测序仪仍在广泛应用。2010 年就能引进 128 台 HiSeq2000，给了全世界生命科学相关人员一个巨大的震撼，此后 BGI 公司就享誉全球。

独特的商业模式

从 20 世纪 80 年代至 90 年代，测序作业一直都是生命科学学科青年研究人员、博士后、研究生抱怨的对象。耗时耗力测序得到的成果也只不过是 ATGC 四个字母的排列。但如果这个都弄不清楚，就很难进入下一步基因、蛋白质相关研究。世界上的研究室都进行测序作业，但都是动员青年工作人员或研究生来做。因此，研究人员一直在推进自动测序作业研究，开发相关测序仪。BGI 公司正是完全朝着这个方向努力，付出适当的代价，用测序仪来代替大型机器和大量人力，把年轻研究人员从单纯的体力劳动中解放出来。

那么，BGI 公司的规模有多大呢？2013 年 5 月，BGI 公司职员总数约 4000 名，其中研究人员 700 名，生物信息学研究人员 1000 名，技术人员 1000 名。作为一个专门进行基因组解析的生命科学研究所，这个规模在世界上前所未有。

所谓的生物信息学，是指以从大量被解读出来的基因信息里读取生物学意义为目的，综合运用应用数学、统计学、计算机科学的研究。在日本，产业技术综合研究所生命信息工学研究中心聚集的生命信息学研究人员最多，但也只有几十名左右，而 BGI 公司有一千名，对日本而言的确是一大冲击。

2010 年，Nature 刊载了关于 BGI 公司的报道(464 号、22-24 页)，

重点介绍了 BGI 公司职员年轻化。2013 年其职员平均年龄 27 岁，非常年轻。BGI 公司考虑到实时战斗力，不是雇佣研究人员或技术人员，而是雇佣大学毕业生，有时根据需要也会雇佣高中毕业生，他们在公司内接受教育培训后再上岗进行测序作业。例如生命信息学研究人员会接受三个月的研修培训，然后再分配到具体的工作岗位。BGI 公司还计划独自开办大学进行全面的教育培训，现已在深圳市实施其建校计划。另外，BGI 公司的工资待遇与外资企业相比稍显逊色，但与中国国内一般企业相比要优厚很多。

印度的印孚瑟斯公司

笔者曾在 2012 年春天到印度南部的卡那塔卡州班加罗尔市出差，访问了软件产业巨头之一印孚瑟斯公司。

印孚瑟斯公司是一家软件公司，成立于 1981 年，最初主要承接美国硅谷的转包业务，员工数量不多，营业额及利润也不高，称不是一家成功的企业。其转折点是 2000 年，那年社会普遍担心世界上的计算机可能出现系统紊乱。2000 年问题涉及范围极广，美国企业考虑到无法独自解决这一问题，于是决定积极利用印度企业，其中包括转包业务做得不错的印孚瑟斯公司。印度企业也不负众望，成功应对 2000 年问题。以此为契机，印度软件产业凭借充足廉价的人才以及与美国的时差，将 IT 外包产业发展壮大。2012 年春天，印孚瑟斯公司的职员只有 14 万人，这几年每年增加 1 万人左右。印度人在数学方面极有天赋，又懂英语，因此非常适合从事英语软件开发。

笔者认为中国的 BGI 公司虽然规模小，但和印度的印孚瑟斯公司的商业模式非常相似。二者都是聘用大量年轻人，都是与生物工学和软件相关的知识劳动，运用的都是人海战术。而且，印孚瑟斯公司还设立了世界最大的研修设施——全球教育中心，拥有专职讲师 600 多名，进行为期半年的新入职员培训。此外，印孚瑟斯公司还有成立大学的计划。在大力培育人才方面，印孚瑟斯与 BGI 公司也非常相似。

BGI 公司的科技意义

综上所述，BGI 公司或许给人留下的印象只是进行数据解析，像工厂流水线一样只是做一些简单的体力劳动。那么，该公司对中国科技而言具有怎样的意义呢？

首先是收取报酬实施测序作业。1970 年，笔者读研究生时，为制作实验仪器需要加工一些精细的玻璃物件，为此经常请研究室里比较有经验的技师来做，如果技师做不了就会委托外部企业去做。BGI 公司的业务内容就像研究室委托外部企业去做的精细玻璃物件。制作精细的玻璃物件是研究所必须的一项作业，而对于承接这个业务的企业来说他们所进行的并不是研发。也就是说，BGI 公司只是进行用仪器解析碱基排列顺序的作业，而此后的氨基酸及蛋白质确认、蛋白质立体结构解析以及疾病、遗传等相关研究则由委托方的研究人员来进行。因此单从委托业务看，完成碱基序列检测工作后，BGI 公司留下的就只有海量的碱基序列数据和报酬，但仅有这些算不上科技成果。

其次是承接业务的对象范围，面向全世界开放。BGI 公司总部在中国，员工也是中国人，但工作却是面向全世界研究人员开放进行。并不是说促进中国人就业就能提高中国研发能力。为世界做出贡献当然有意义，但现在的科技发展方向是把研究成果和创新结合起来，争取在与他国的竞争中取胜。BGI 公司离这一科技发展方向还存在很大差距。

再有一点是尽管从外国厂商购买大量先进的测序仪，但不热衷于测序仪开发，只是在公司内部不断完善工程和系统管理，导致 BGI 公司的科技地位不高。科学仪器开发在任何一个国家都受到重视，被视为科技实力的重要体现。特别是在日本，机械制造业引领其产业发展到国际水平，提升了日本国际竞争力，因此日本开发测量仪器等科学仪器的意识非常强。最近，因美国、欧洲风险企业的世界市场占有率比较高，日本举全国之力推进这些测量仪器的开发。不过，BGI 公司的杨焕明理事长认为，自己的工作如同用飞机运载旅客，只要从飞机制造公司购买高性能又便宜的飞机即可，没有必要自己制造飞机。

测序仪也是同样道理，没必要去开发高性能的测序仪，只要能引进好的装置即可。从这种观点来看，很多人认为 BGI 公司的业务只是纯粹的商业活动而已，很少有人认为是科技活动。

强化学术实力

不过，BGI 公司也意识到未来发展仅靠碱基测序委托业务十分危险，因此正在逐步积蓄其科技力量。BGI 公司按商业合同仍承接碱基测序业务，但已开始采取具体措施来开展共同研究。而且，BGI 不只是承接碱基测序业务，还努力承接高附加值的业务。不管怎么说，700 名研究人员，1000 名生物信息学研究人员，如果通过分包方式与世界一流研究人员打交道，其研究能力会随之显著提高。BGI 公司也积极参与国际合作项目，做出自己的贡献。从 BGI 公司主页可以看到，它通过动植物 1000 种染色体组项目、建立“构成单一性基因疾病与复杂疾病原因的一般和罕见变异发现”相关电子书库，为国际做出贡献。这些国际贡献并没有依靠政府资金补贴，而是自主自愿进行的。

学术研究能力是靠经验积累形成的，不是一朝一夕就能获得。并不是说拥有大量先进机器和众多职员就能马上进行世界最前沿的研究。但是，通过与世界最高水平的委托方开展共同研究，或是通过参加国际项目，BGI 公司就能获得和积累各种信息、技术诀窍和测序方法。这种迹象已经出现，BGI 公司在 Cell、Science、Nature、New England Journal of Medicine 四个主要期刊上发表的论文数量快速增加，2010 年 14 篇，2011 年 18 篇，2012 年 36 篇。而且，单看在 Nature 上发表的论文数量，2012 年 BGI 公司仅次于中国科学院、中国科学技术大学、清华大学、北京大学之后，在中国国内排名第五。此外，BGI 公司为了提高研究能力，极其注重与国际著名学者之间的联系。他们聘请了很多著名学者担任顾问，例如 DNA 结构发现者之一、美国的詹姆斯·沃森博士，发现器官发育和细胞程序性死亡的基因调节机理并获得 2002 年诺贝尔生理学 and 医学奖的英国生物学家罗伯特·霍维茨博士，为人体基因组制药应用研究做出巨大贡献的现任美国博德研究所所长艾瑞克·兰德博士，1984 年最早开发了直接确认

基因组序列的方法、美国分子遗传学家乔治·丘奇博士。BGI 公司为了提高经营质量积极推进业务多元化。其目标领域是健康医学领域和农业领域。BGI 公司可能想利用基因测序技巧，在极具附加值的领域扩大其业务范围。

社会贡献

谈及 BGI 公司不能不提其对社会的贡献。BGI 公司不只是一家单纯开展科技事业的民营企业，还具有敏锐应对社会需求的历史传统。2003 年中国爆发 SARS，BGI 公司从 SARS 病毒样品入手，在 36 小时内完成了基因组测序，开发出 SARS 病毒临床检测诊断试剂盒，并向中国政府捐赠了 30 万个检测试剂盒。2004 年，印度洋苏门答腊发生大地震，为了支援海啸后的救援活动，BGI 公司派遣五人小组前往泰国，无偿进行 DNA 鉴定来帮助确认遇难者身份。如果再举一个有意思的例子，就是 BGI 公司的汪建（1954-）博士等组成的登山队，在 2010 年 5 月 22 日登上珠穆朗玛峰，插上了同年举行的上海世博会的会旗。BGI 公司的科学家们在登山途中，在不同海拔高度采取了血液、微生物样本，以备进行科学分析和研究。

面向欧美国家的窗口：香港分公司

如上所述，BGI 公司总部设在广东省深圳市，2009 年在香港特别行政区设立了分公司。和深圳总部利用鞋厂旧址一样，香港分公司也是建在印刷厂旧址上。

BGI 公司在 2010 年采购大量测序仪后仍不断增加设备投资。到 2012 年 7 月，其拥有的大型测序仪已增至 200 台。其中有一半设在香港分公司，承接欧美国家等世界各国的订单，进行碱基测序作业。如需更加详细的解析，则将数据转发至深圳总部进行解析，总部将解析结果发回香港分公司，再由香港分公司发送至各国。香港回归后一直享受一国两制的特殊待遇，从国外携带物品入境所需的手续也得以简化，信息收集处理方面也逐渐欧美化，这让国外委托方更加放心，这些都是香港分公司的优势所在。另外，香港和深圳市相邻，往来也

很方便。

展望

BGI 公司持续进行巨额设备投资，因此现在仍背负着巨额贷款。也有日本相关人员指出，将来 BGI 公司的经营发展可能会陷入困境。但像 BGI 公司一样如此彻底从事 DNA 测序工作的企业在世界上没有第二家。而且，BGI 拥有很多青年研究人员，他们经常可以接触到生命科学领域世界最前沿的信息。

美国和欧洲的大学和研究所都在制定战略计划，考虑如何与 BGI 公司合作以便在世界竞争中取胜。日本也到了承认 BGI 公司优势，考虑如何利用这一优势开展研究的时候了。虽然无法从 BGI 公司获得科学研究主动性，但建立充分利用该公司活力的设想至关重要。

第七章 中国科学技术的特征

到前一章为止，我们介绍了中国最先进的科技现场以及航天和核能等大项目情况。总的来看，中国科技发展方式的特征就呈现出来。本章将归纳中国科技发展方式的特征，同时通过一些资料和数据，介绍支撑中国科技发展的人才和资金状况。

第一节 发展方式的特征

仍以追赶为主

现在，中国已拥有相当多世界级的科研设施和装置，其中拥有世界第一称号的有超级计算机“天河 1A”、载人深潜器“蛟龙号”、望远镜 LAMOST，世界首创的有核聚变研究装置 EAST。还有几个前几章没有提到的世界级设施，例如能够对物质种类、构造、性质进行分析的放射光设施——上海光源（SSRF）以及位于湖北省武汉市的用于材料开发的脉冲强磁场设施。

中国现代科技发展真正始于 1977 年文化大革命结束后，到现在

不过 30 年的时间。尽管如此，中国实现了高速发展，一些领域的设施和装置达到世界领先水平，这是值得赞赏的。之所以能在短时间内达到世界领先水平，不仅是靠中国的科技实力，还因为其发展并不拘泥于自主研发。

另一方面，中国能否利用世界级的设施和装置开展世界领先研究呢？很多地方要打个问号。比如，超级计算机“天河 1A”和“星云”的软件开发滞后，载人深潜器“蛟龙号”达到世界第一的潜航深度后看不到后续计划。望远镜 LAMOST 虽是非常先进的光学装置，但其研究目标尚不明确。

硬件先行，运行和利用滞后，是中国科技相对于欧美发达国家一直处于追赶状态的最大原因。只要提供必要的资金和经过训练的人才，建造设施和装置就比较容易。但是，利用硬件研发出和欧美发达国家同等水平的成果并不容易。尤其是科学如果不能在包含文化背景的社会扎根，就不可能得到真东西。有人批评指出，明治维新以来，日本就一直在积极引进欧美的科学技术，但过了一百四十年到了今天仍然没有摆脱“追赶”状态。在中国，接受过发达国家先进教育和培训的海归人才是科学技术的主要力量，预计中国会比日本更早使科学技术文化扎根下来，但即使如此也要花费不少时间。

针对中国科技已经接近世界一流水平这一评价，中国的决策者们总是谦虚地回答“还很落后，重要的是今后的发展”。这大概是因为十分了解实情吧。

技术仪器依赖国外

中国发展科技的一个特点是，如果能达成最终目标，技术或装置依赖国外也没有关系。回顾一下前几章的内容，在超级计算机开发领域，日本为了开发与其他国家不同的项目，连零件细节都很介意。例如，直到最近还是世界运算速度最快的日本超级计算机“京”的芯片就是日本国内开发制造的。

另一方面，中国认为最终的性能能否达到世界一流水平最重要，机器的一部分零部件是否是中国制造并不是问题。“天河 1A”的芯片

主要由美国英特尔公司的 CPU 和美国 NVIDIA 公司的 GPU 构成。此外，载人深潜器“蛟龙号”的核心部件钛合金耐压壳是从俄罗斯进口的。深潜器最重要的技术都从国外引进然后达到世界一流水平就是中国的特色。核聚变研究装置 EAST 是世界首创的全超导磁铁托卡马克装置，但其超导磁铁材料是俄罗斯制造的。航天飞船“神舟”号也是在与俄罗斯技术合作的基础上制造完成的。

现在，开放式创新已成为主流，比较和利用世界最先进的技术较为容易。在这样的环境中，中国的做法能够快速且低成本达成各个项目，即便选择了错误的技术，由于还没有投入多少开发资金，纠正起来也比较容易。

笔者认为，自主研发就是全部，如果没有自主研发就没有日本科学技术的未来，所以中国的做法令人不可思议，但是应根据研发内容来研判中国的前进方式。另一方面，这种研发方式是有风险的，核心技术和装置零件必须依赖国外，仅靠本国力量无法开展下一步研究。因此，中国在追赶中的确能发挥威力，但若领军自主开发全世界尚未开发的领域很可能会碰壁，对于这一点必须有心理准备。

项目稳步实施

项目稳步实施也是中国科技发展的一个特征。笔者曾认为，在共产党主导下，科学研究也一定是自上而下强行推进，尽快出成果尽快建成设施，但去了现场后发现很多想法错了。

例如，载人深潜器“蛟龙号”在 1992 年制定了开发计划，2002 年着手开发，2008 年完成，2009 年开始海上试验，2010 年下潜到 3759 米，2011 年下潜到 5057 米，在此基础上，2012 年 6 月终于超过 7000 米潜水深度目标，创下 7062 米的下潜纪录。这距离开发完成已经过去 5 年，离开始海上试验也过去了 3 年。而日本的“深海 6500”1989 年 1 月进行入水典礼后，同年 8 月就超过 6500 米预定目标，完成了 6527 米的下潜深度。“蛟龙号”达成目标十分不易，与其说项目负责人斗志昂扬，不如说他们着眼未来更担心目标达成后的运转和维护。

载人航天飞行也是一样。中国依靠神舟系列飞船实现了载人航天

飞行，从 1999 年开始发射神舟到 2004 年底发射神舟四号都是发射无人航天飞船，扎实推进技术开发，一步步积累成果，在此基础上，2003 年 10 月才第一次发射了载有宇航员的神舟五号。

由此可以看出，中国在研发领域采取的是与政治上“自上而下”完全不同的模式。在日本，如果计划迟于预期，就会对预算获得和项目评价极为不利，因此即使很勉强也要按预期完成项目。这是他们十分介意的事情。

快速实用化和商业化

中国与日本最显著的不同在于，技术开发与实用化商业化有距离。日本优先考虑的是全面推进技术开发，而中国则考虑尽早将开发的成果实用化商业化，常常在技术开发途中或同时就进行商业转化。

最明显的例子是第四章提到的向巴基斯坦转让核电站技术。中国秦山一号核电站以国产技术为中心，1985 年动工，1991 年开始发电，1994 年正常运营。但在 1989 年建设途中，中国就成功卖给巴基斯坦两座同种型号的核电机组。而日本通常是在运营数年积累实际操作经验后，才向国外展开销售攻势。中国向国外转让建设中的核电站技术令人感到惊讶。

中国一方面瞄准世界一流演算性能开发超级计算机，另一方面销售性能差不多比较便宜的超级计算机，争夺日益扩大的国内市场。此外，载人深潜器“蛟龙号”在达到预期目标前，就已经有偿进行国际机构委托的项目。

此外，最近受到日本舆论关注的还有中国高铁技术。日本和法国在世界高铁技术领域占据主导地位，德国的实力也不断增强。中国从日本、法国、德国等国引进技术进行建设，2005 年刚刚实用化的高铁技术不仅在其国内利用，而且向国外出口。2011 年 7 月浙江省温州市发生了动车追尾事件，40 名乘客死亡。原以为中国的高铁技术出口会暂停，没想到 2012 年 4 月中国制造商宣布从孟加拉获得了订单，包括 60 辆高铁机车以及车辆控制和运行系统设备。一般来说，中国人的经济直觉十分敏锐，即使是从国外引进的拼凑起来的東西，

加入了中国的技术、资金和智慧就成了中国的产品，尽早将它实用化商业化是理所当然的权利，有时他们甚至觉得是一种义务。

如果是日本相关人员，就会担心安全性，考虑可能会出现各种问题，对于销售不够完善的产品或技术持谨慎态度。日本人对技术的这种态度一直支撑其“技术立国”到现在。

但是纵观中国经济的迅猛发展，令人觉得并非日本的方式才是世界标准。如果是摇着试管进行研发的时代，这种方式还说得过去，如今即使是基础研究阶段，研究材料和研究装备也要耗费相当多的研发经费。核电和高铁这样的工程需要投入巨大的财力和人力。花费大量时间和资金慢慢进行研发和商业化的日本模式可能会成为“加拉巴哥化”³的例子。

自主制造

中国建设大型实验装备时，往往不依靠民间企业的力量，而是由研发现场内部人员来共同完成。也许大家会觉得这与中国不介意从国外引进技术和零件不是相互矛盾吗？可在中国研发现场，二者相辅相成，一点也不矛盾。中国大概在计划建设大型实验装置时，就已明确哪些地方自己完成，哪些地方依靠国外。

举个例子来说，核聚变装置 EAST 的一部分工作是由研究所人员自己完成的。核聚变装置的难点在于缠绕在大型真空装置以及外侧磁体的线圈的制造。真空装置内壁必须贴上瓷砖，研究所工作人员自己一片一片贴上去，线圈使用了超导材料铌钛，从俄罗斯进口，但是绕线处理线圈等工作由研究所内设工厂制作完成。因此，EAST 最终的建设费用和其他国家的同类设施相比便宜许多，自己制作完成，即使出了什么状况也比较容易处理。相形之下，日本原子能研发机构在茨城县那珂市、自然科学研究机构核聚变科学研所在岐阜县土岐市建设同类型装置时，都将真空设备制造和线圈制作委托给国内制造厂

³ 加拉巴哥化 (Galapagosization) 是日本商业用语，指在孤立的环境（日本市场）下，独自进行“最优化”，而丧失和区域外的互换性，面对来自外部（外国）适应性（泛用性）和生存能力（低价格）高的品种（制品技术），最终陷入被淘汰的危险，以进化论的加拉巴哥群岛生态系作为警句。也称作加拉巴哥综合症、加拉巴哥现象。日本的手机产业是代表例。

商。这样一来建设费用就变得很高。而且，在出现问题时也只能委托制造商处理。

但是，研究所的使命始终是进行研究产出成果，中国不用心维持和发展制造技术，就无法进行下一阶段的设备制造和其他领域的技术开发。冷战时代，美苏在航天领域展开了激烈竞争。美国因为与民间企业一起进行技术开发，所以其研究成果后来应用于各种领域。有人甚至认为，加利福尼亚州的硅谷繁荣也是航天开发的隐性成果。而苏联只是以航天开发专门机构为中心进行自主研发，后来没有办法形成产业化。

过去，中国由于经济实力不强，常使用“人海战术”，或者模仿前苏联仅靠国家机构力量进行研发，这种方式形成了现在的体系，但是现在随着经济的发展，民间技术力量大幅提升，差不多到了该转变的时候了。

最先进仪器的引进和运用机制

中国的研究室要成为真正意义上的世界一流，重要的是必须灵活熟练地使用最先进的仪器。中国的顶尖研究室都摆放着与欧美或日本同等水平或更先进的实验设备、分析和测量仪器。中国决定采购最先进的设备，是因为觉得自己的研发比欧美和日本起步晚，没有旧设备等牵绊，可以直接引进世界最先进的技术。而且，中国并不拘泥于自己的技术和产品，可以毫不犹豫地不断引进国际最先进的研究设备。

不过，日本有专家认为，这些世界一流的研究设备并没有得到充分利用，基本上没有看到中国研究人员熟练使用的样子。中国的研究人员说，因为设备出了点问题所以现在暂停使用。一般来说，安装世界先进的研究设备需要巨额经费，维持运转也需要经费、技术诀窍以及熟悉设备的技术人员。中国在引进设备的使用和维护方面比较薄弱。与日本相比，中国能提供完备的售后服务的公司目前还为数不多。

亚洲研究人员学术不端行为多吗

最近，中国研究人员的科学论文里捏造数据、剽窃等学术不端行

为较多，引起欧美国家关注。对于论文总数仅次于美国处于世界第二的中国，很多人可能是出于妒忌而恶意攻击。当然，研究人员造假现象并不只是中国才有，日本以及韩国也屡屡发生。就最近的事例来说，2005 年韩国首尔大学黄禹锡教授（1952-）有关 ES 细胞的论文剽窃事件不仅在韩国科技界、在政界也引起震惊。日本虽然没有这样极端的事件，但论文非法引用和数据捏造也经常在媒体报道上引起轰动。

那么，是不是欧美国家就没有这种研究人员造假的现象呢？完全不是这么回事。最近，在德国大学获得博士学位供职于美国贝尔实验室的扬亨德里克·舍恩（1970-）的例子非常有名。他是超导研究人员，2000 年左右持续发表了有机物超导实验的“优质数据”，基于这些数据撰写的论文在 Nature、Science 等期刊上发表。当时甚至有人断言他会因此获诺贝尔奖，结果发现这些超导数据根本不存在，完全是捏造的。

研究人员造假是因为科技竞争全球化，优秀的研究成果所带来的巨大的名利和财富诱惑。研究人员造假就像是人类本性，让小偷消失仅靠道德上的约束是解决不了问题的。

但是，以韩国黄禹锡教授捏造数据事件为契机，确实有一部分欧美研究人员开始强调亚洲人的造假行为。比如在美国召开的著名国际学术研讨会上，亚洲各国在各领域取得的显著进展成为热议话题，同时他们也表达了对亚洲造假行为的担心，认为这些行为是因为亚洲国家基础科学研究历史不长导致的。针对这些谴责，中日韩需要认真讨论，该反驳的地方要反驳，该改正的地方要改正，步调一致共同应对。

赏罚分明

和中国研究人员交往较多的日本研究人员经常会提到，在中国如果有人在世界一流的科学杂志上发表了研究论文，就可以从供职的研究所或大学获得奖金。中国某研究所规定，如果在 Nature 或 Science 上发表研究论文，可以获得 10 万元奖金。目前中国的人均 GDP 仅为日本的十分之一，从这个角度来说奖金是相当丰厚的。在其他的国际性科学杂志或国内科学杂志上发表论文也有相应的奖金，所以大家投

稿的积极性变得非常高。据说在韩国如果在 Nature 或 Science 上发表研究论文也会获得奖金。此外，笔者也听说，建立奖励制度鼓励发表论文的都是水平不怎么高的大学和研究所，像北京大学、清华大学等一流大学现在已经取消了这种奖励制度。

另一方面，对于没有出成果的研究人员的惩罚也很明确。中国科学院深圳先进技术研究院的所长说，他们每年都实行严格的评价。具体来说，他们把研究者分为 ABC 三个等级进行评价，规定 A 占 20%，B 占 70%，C 占 10%，而且 C 级别里面一般的研究人员即 5% 的人将被强行辞退。每年 5%，5 年就是四分之一，10 年就会有一半的研究人员被辞退、取代，这是非常严格的系统。和其他研究所相比，深圳先进技术研究院为了维持高水平研究，正摸索实验性的运营模式，因此才建立了如此严格的评价体系。

与中国共产党领导的关系

也许有人觉得科学技术与政治世界关系不大，但实际上研究人员也是社会一员，尤其在研发经费规模庞大的现代社会，要获得巨额资金必须保持与社会的联系。所以，科学技术最终也受到政治影响。

与欧美和日本等科技先进国家不同，中国是中国共产党一党执政、多党合作的政治体制。中国共产党的权威是绝对的，宪法前文中明确指出中国共产党对国家运营发挥领导作用。而且，在立法方面也坚持中国共产党的领导，也就是中国共产党存在于法律之上。为了确保这些规定得以执行，中国共产党向地方政府和国营企业派遣干部，领导这些组织机构。科学技术和教育领域也是如此，中国科学院等研究机构和大学同样有党派来的干部。

笔者迄今遇到的中国研究人员或大学人士中，没有人对中国共产党的派遣或派遣干部的言行表示不满。很多时候甚至能听到他们在炫耀自己的组织与中国共产党之间的亲密关系。在飞速发展的经济背景下，科技人员和中国共产党派遣干部之间的利害冲突并不多，能够和平共处。对于研究人员来说，获得更多的预算，正在实施的项目能顺利进行非常重要，而这些都必须很好地把握中国共产党的意向或者利

用其权威，所以他们非常重视中国共产党派来的干部。不过，一旦经济发展不顺利，或者政治陷入混乱，中国共产党的意愿和科技界的想法也有可能不一致。今后需要密切关注，中国共产党的领导对科技的发展和进步会带来怎样的影响。

第二节 绝对的人才优势

发展最先进的科学技术，确保人才很重要。现在中国拥有大量极其优秀的人才。

研究人员数量世界第一

科研人员数量是衡量一个国家科技实力的重要指标。2007 年，中国研究人员数量超过美国成为世界第一。从表 6 显示的 2008 年数据来看，中国的研究人员总数比欧盟 27 国还多。2002 年，日本被中国超越，现在研究人员总数还不到中国的一半。

表 6 主要国家的研究人员数（2008 年）

	中国	美国（2007）	欧洲（EU-27）	日本
研究人员总数（万人）	159.2	141.3	151.5	64.7
每万名劳动人口中的研究人员数	20.3	92.3	63.6	97.3

数据来源：日本科技政策研究所“科学技术指标 2012”。

今后，中国研究人员数量一定会继续增加。如表 6 所示，每万名劳动人口中的研究人员数量，中国大概只是欧美或日本的五分之一，如果经济继续发展，中国像美国和日本一样投入社会全体力量进行研发，其研究人员总数可能会增至现在的五倍。

全球拔尖的上海中学生

为了对中学生的学习程度进行国际性比较，经合组织实施了国际学生评估项目（PISA）调查。每三年调查一次经合组织国家学生完成义务教育时（15 岁）所达到的学习程度。为便于比较，未加入经合组织的国家、地区也被列为调查对象。最近一次是 2009 年经合组织

对 65 个国家或地区约 47 万人进行了调查。

表 7 PISA 平均得分的国际间比较 (2009 年)

名次	阅读能力	得分	数学理解力	得分	科学理解力	得分
1	上海	556	上海	600	上海	575
2	韩国	539	新加坡	562	芬兰	554
3	芬兰	536	香港	555	香港	549
4	香港	533	韩国	546	新加坡	542
5	新加坡	526	台湾	543	日本	539
6	加拿大	524	芬兰	541	韩国	538
7	新西兰	521	列支敦士登	536	新西兰	532
8	日本	520	瑞士	534	加拿大	529
9	澳大利亚	515	日本	529	爱沙尼亚	528
10	荷兰	508	加拿大	527	澳大利亚	527

数据来源：文部科学省“OECD 学生学习程度调查 2009 年度调查结果总结”。

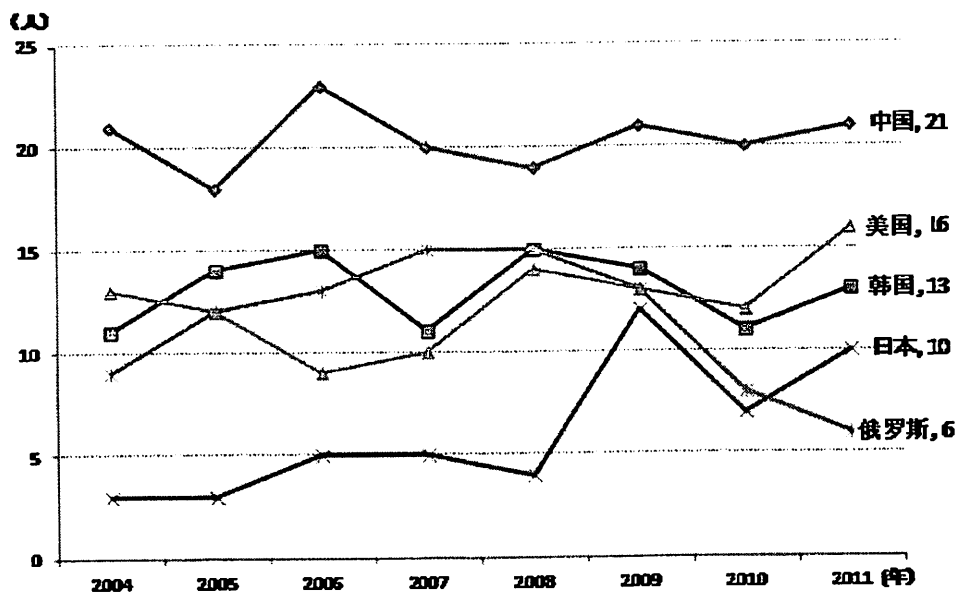
如表 7 所示，2009 年的调查结果中最引人注目的是首次参加调查的上海学生的成绩。在阅读能力、数学理解力和科学理解力三个方面，上海学生都名列第一。日本、韩国、新加坡、台湾、香港等亚洲国家和地区都处于领先地位，但上海学生的成绩超过了以上所有国家和地区的学生。经济发展显著的上海市在中国国内或许与众不同，也可能为了迎接 PISA 调查，上海做了充分准备，即便如此首次登场就在所有方面获得第一足以让我们重新认识了中国的实力。

国际科学奥林匹克竞赛获得世界第一

奥林匹克运动会是体育界的顶尖赛事，由高中生参加的国际科学奥林匹克竞赛也是科技方面十分优秀的年轻人问鼎世界的大会。在这方面，中国高中生取得了极其优异的成绩。

现在国际科学奥林匹克竞赛分为数学、物理、化学、信息、生物学、地理、地学等七个领域，进行包含笔试在内的竞赛。最优秀的前 10% 获得金奖，接下来的 20% 获得银奖，其后的 30% 获得铜奖。在这些国际科学奥林匹克大赛中，历史比较悠久的数学、物理、化学、信息、生物五个领域的金牌数的变化参照图 1。中国一直以压倒性优势位居榜首，超过了俄罗斯、美国、日本、韩国等国家。

图 1 主要国家获得国际奥林匹克大赛金奖人数的变化
(数学、物理、化学、信息、生物学)



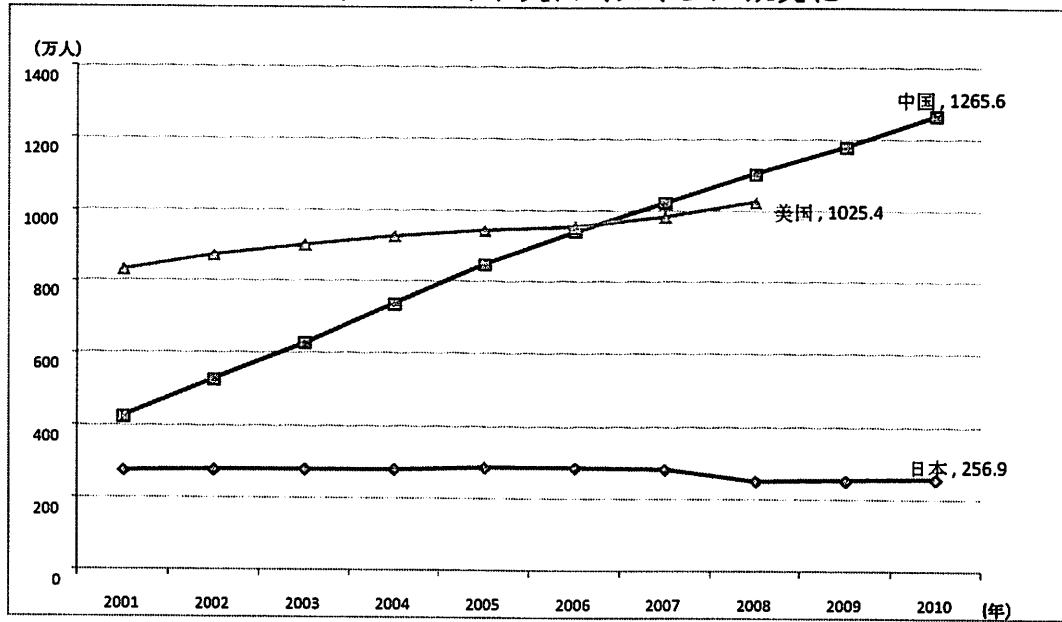
资料来源：根据国际数学奥林匹克 (IMO)、国际物理奥林匹克 (IPhO)、国家化学奥林匹克 (IChO)、国际生物学奥林匹克 (IBO)、国际信息奥林匹克 (IOI) 的主页制定。

大学生数量也是世界第一

培养提供研究人员的地方是大学。中国作为高等教育落后国已成为历史，随着经济的发展和水平的提高，现已成为高等教育大国。图 2 显示进入 21 世纪后中国、美国、日本大学生人数的变化。21 世纪初，中国的大学生数和日本没有什么差别，比美国少很多。但是近年来中国的大学生人数剧增，2007 年超过美国，现在中国大学生人数达到 1200 万人，日本大学生人数为 250 万人，中国大约是日本的五倍。而且，中国大学生人数还有增加的余地，因为相对于欧美和日本五、六成的大学录取率，中国目前的录取率大概在 25%，仅为他们的一半。

另外，承担研究开发的主要是理工科专业（理学、工学、农学、医学）的毕业生。如表 8 所示，中国的理工科专业学生超过了 50%。英国和印度比较高，日本是三成，法国 24%，所以中国人才的研究潜力很大。

图 2 中国、日本和美国的大学生人数变化



资料来源：根据“文部科学统计要览”、“教育指标的国际比较（2005-2011）”年和“中国统计年鉴（2005-2011）”制成。

表 8 主要国家的理科生的比例

国名	中国	英国	德国	日本	法国
比例	51.2%	43.6%	43.4%	31.5%	24.4%

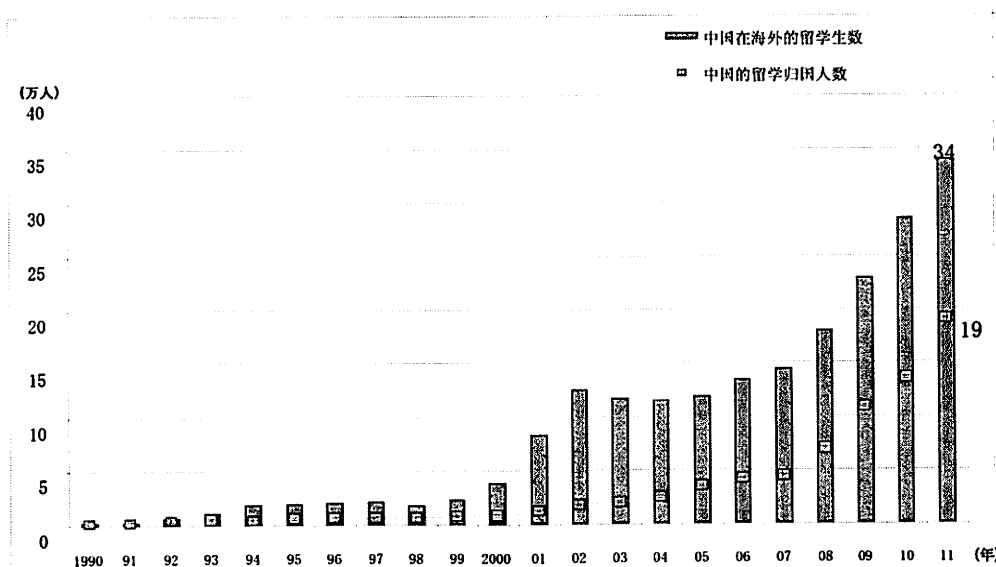
数据来源：文部科学省“教育指标的国际比较（2012年版）”。

存在感很强的中国留学生

变化不仅停留在中国国内。2003 年中国采取了放缓自费留学的措施，但 2004 年开始实施留学促进政策，所以去国外留学的学生人数激增。图 3 显示了中国留学生人数每年的变化。到 2000 年为止，来自中国的留学生人数很少，逐年增加，尤其是政府改变政策的 2005 年以后，中国的留学人数急剧增加。从表 9 可以看出，中国留学生去美国的最多，去日本的排在第二，接下来依次是澳大利亚、英国、韩国、法国、德国和加拿大。

在世界主要国家，中国留学生所占比例很高，是表 9 中显示的国家中最多的，其中占日本的六成、占韩国的八成左右。

图 3 中国海外留学生数量以及留学回国人员数量的变化



资料来源：“中国统计年鉴（2012）”。

表 9 主要国家的中国留学生人数、所占比例及排名

国名	来自中国的留学生人数	中国留学生占留学生总数的比例
美国	124 225 人	18.8%
日本	79 394 人	60.3%
澳大利亚	70 357 人	27.3%
英国	47 033 人	12.9%
韩国	39 309 人	78.6%
法国	23 590 人	9.5%
德国	21 198 人	11.8%
加拿大	19 961 人	21.4%

数据来源：OECD “Education at a Glance 2011” 以及 OECD 统计。

清华大学的建校轶事

这里介绍一段和出国留学相关的、反映中美渊源的轶事。清朝末年，中国国内兴起了以反对基督教传教士为思想基础的义和团运动（1900-1901 年）。清朝政府和义和团在反抗日本、美国、英国、法国俄罗斯等八国联军的战争中失败，北京被占领。清朝政府被迫签署了《北京条约》，同意支付相当于当时国家预算好几倍的赔偿金。而支付这些赔偿金让清朝政府陷入困境，最后导致了孙文的辛亥革命。

国际上也有人指出巨额赔偿金过于苛刻，因此美国决定除了支付士兵派遣费和战争中遭受损失的美国人的补偿费外，剩下的赔偿金将有条件地返还给中国。而这个条件就是返还的费用必须用作中国学生赴美留学的费用。1908 年赔偿金返还法案在美国议会通过，经罗斯福总统签署于 1909 年正式生效。

接受协议的清朝政府在 1911 年为中国学生赴美留学做准备，在清朝庭园“清华园”开办了学校即“清华学堂”。同年，武昌起义爆发，拉开了“辛亥革命”的序幕，清朝政府将美国的返还金用于军备，清华学堂暂时关闭。辛亥革命取得成功后，中华民国重新将返还金用于留学费用，同时清华学堂改名为清华学校，1928 年更名为现在的清华大学。清华大学和北京大学都是中国最好的大学，源源不断地培养出很多杰出的理科专业人才，还培养出很多国家领导人，前总书记胡锦涛、前全国人大委员长吴邦国，以及现在的习近平总书记都毕业于清华大学。

博士数量不断增加

谈及科技人才质量，全世界重视的是博士学位。在日本的民间企业或政府机构就算取得博士学位也不会受到优待，反而很多时候为攻读博士学位而花费时间和金钱成为一种负担。在欧美国家，博士学位是科技领域的重要经历。在中国，获得博士学位的人才得到很多优待。2007 年各国获博士学位人数如表 10 所示，中国远远超过了德国、英国等欧洲主要国家以及日本、韩国等国，正在接近美国。

表 10 主要国家的理工科博士学位获得者人数（2007 年）

国名	中国	美国	德国	英国	日本	韩国
取得人数	26582	32588	10469	10310	8017	3649

数据来源：美国 NSF “Science and Engineering Indicators 2012”。

另外，在美国大学有来自全世界的留学生，除了美国本土学生外，留学生也可以获得博士学位。在美国大学获得博士学位的外国留学生情况参照表 11。中国的留学生人数最多，是印度的两倍、德国的四

倍，日本的二十多倍。

表 11 外国留学生在美国获得理工科博士学位的人数（2007 年）

国名	中国	印度	韩国	台湾	日本
取得人数	4308	1921	1128	477	210

数据来源：美国 NSF “Science and Engineering Indicators 2012”。

所以，不论是通过国内教育，还是通过去美国等国家留学，中国获得博士学位的人数在稳步增加，这将成为支撑中国科技未来发展的强大动力。

召回海外人才

二战后一段时间，除军事技术相关领域外，中国的科学技术并不先进，也不需要很多人才。而且在 1966 年到 1977 年十年文化大革命期间，包含科学家在内的知识分子成为被镇压对象，中国几乎没有培养科技工作者。因此，在经济快速发展的 20 世纪末中国要大力发展科学技术时，国内人才不足问题凸显。为解决这个问题，中国政府采取的措施是召回海外人才。进入 21 世纪，中国开始实施海外留学奖励政策，此前中国也有一些热情很高的研究人员通过各种途径去海外留学，活跃于欧美或日本的大学以及研究机构。美国理工科名校里有很多中国的教授、研究人员和学生。笔者在美国伊利诺伊大学理工学院研究生院留学期间，理工科院系的中国教授和学生就已经有很多了。他们并不全是本土出生，有美籍华人，也有香港等地出生的人。中国政府针对这些海外华人制定了优待政策，采取了大规模吸引他们回国发展的措施。

很多研究人员响应了中国政府的呼吁。图 3 不仅显示了中国的留学生人数，同时也标出了中国人归国人数。进入 21 世纪，归国人数持续增加，尤其是近年来有了爆发性增长。同时，出国留学人数一直远超归国人员数，因此中国的海外留学生总数会继续增加。中国经济继续增长，国内科技人才需求扩大，而能解决这个问题的资源在国外。

从欧美或日本回国工作的人才被中国科学院下属的研究所或名

牌大学起用为核心研究人员，而且其中的顶尖人才被任用为部长、研究所所长或者大学校长。举例来说，现在的科学技术部部长万钢（1952-）曾留学德国，1991 年取得工学博士学位，在德国奥迪汽车公司工作过十年，后来回国担任同济大学校长，2007 年开始担任科学技术部部长一职。另外，卫生部部长陈竺（1953-）1981 年从上海第二医科大学硕士毕业，1989 年在法国巴黎第七大学获得博士学位。回国后 2002 年起担任中国科学院副院长一职，2007 年开始担任卫生部部长。

表 12 表示中国科学院下属 100 个研究所所长以及 100 所经中国政府认定的以建设世界一流大学为目标的 211 工程大学的校长的留学经历，其中大概四分之三的人员都有留学经历。

表 12 中国科学院各研究所所长以及 211 工程认定学校校长的留学经历

(2012 年 7 月)

留学地	中国科学院	211 工程认定大学
美国	21	26
日本	11	15
德国	11	10
英国	10	11
其他国家	18	14
无留学经历	23	36

资料来源：根据各网站信息制作而成。

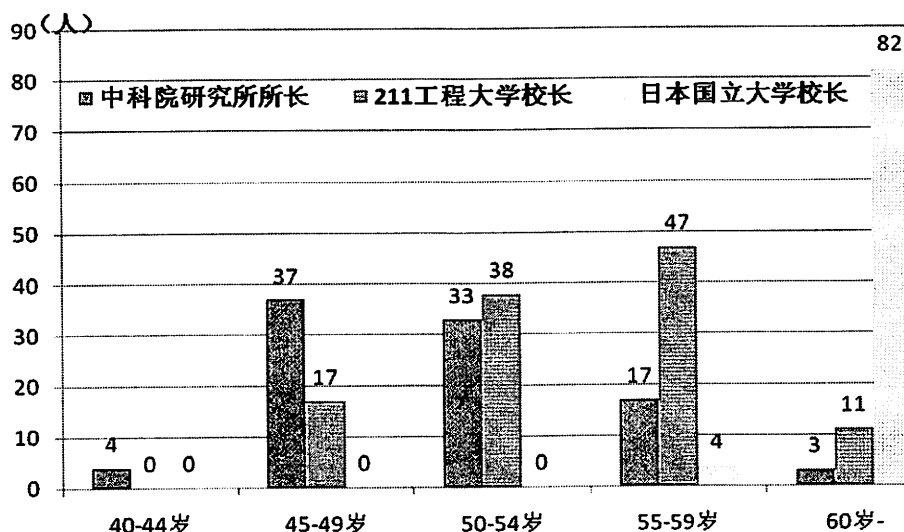
年轻化趋势突显

日本人去中国的研究现场、生产现场参观时都有这样的感受：在中国的大学、研究所、工厂潜心从事研发工作的研究人员、技术人员都非常年轻、充满朝气。更令人惊讶的是，年轻的研究所所长和大学校长也很多。比如第六章提到的 BGI 公司的总经理就是一个典型例子。全公司共有 4000 名研究人员和技术人员，平均年龄 27 岁，简直难以置信。此外，核聚变装置 EAST 的青年研究人员和大学研究生也很引人注目。清华大学现任校长的陈吉宁 1964 年出生，就任校长时年仅 48 岁。

现在，中国的研究人员和技术人员迎来了最幸福的时代，这是因为随着经济的发展，研究人员和技术人员的需求持续扩大。另外，大学入学率急速上升、留学制度日益完善以及留学生回国奖励制度等都起到了推动作用。

图 4 是中国科学院下属各研究所所长以及 211 工程大学校长的年龄分布图，40 多岁的所长、40 多岁至 50 岁出头的大学校长占了一半。从领导的年龄一目了然，底下的研究人员和教师也是以年轻人为主。

图 4 中国科学院研究所所长、211 工程大学校长以及日本国立大学校长的年龄



资料来源：根据各网站信息制成（2012 年 7 月）。

为方便比较，图 4 将日本国立大学校长的年龄分布也一并列出。日本国立大学校长的年龄基本在 60 岁以上，超过 70 岁的校长占了 20% 以上。和中国“211 工程”大学相比，平均年龄大了 10 岁以上。主要研究所所长的年龄分布虽然没有数据，但估计情况差不多。

中国社会也重视论资排辈。但是中国科学院下属研究所和中国一流大学校长都比较年轻，是因为受文化大革命影响，科技人才短缺。1977 年文化大革命结束时达到高中入学年龄的那批人现在刚好 50 岁，因此 50 岁以上的人都因种种原因受到了文化大革命的影响。

年轻的研究人员和技术人员能为中国带来什么呢？日本在明治

维新和二战后也曾通过“清除公职人员”，使包含顶级精英在内的社会领导阶层大幅年轻化。维新后不久确实造成一些混乱，但最终改革取得了显著进展。在科技领域，最能出研究成果的年龄在 30 多岁至 40 多岁之间，所以中国在人才方面拥有巨大优势。

提及科技人才大国，首先要提的是美国。美国在其强大的经济实力背景下，从全世界吸引优秀能干的科技人才，通过给予他们适当的待遇，作为人才大国称霸世界。此外，德国、英国等欧洲国家也许在人数上比日本少，但能通过欧盟集中全欧洲的人才进行交流，努力追赶美国。中国本来就是人口大国，随着经济的发展和科技人才的培养以及任用体系的逐步完善，将来完全可以与美国、欧洲等科技人才大国相媲美。

问题在哪

那么，中国在科技人才方面是不是完全没有问题了呢？并非如此。

首先必须指出的是，几乎看不到产业界获得和培养科技人才的措施。中国在改革开放后作为“世界工厂”，经济一下子发展起来。但中国科技人员真的为“中国制造”感到自豪、为“中国制造”拼尽全力了吗？在中国，支撑“世界工厂”的大多是低工资的女性劳动者。毕业于一流大学的理工科学生基本上不会去这样的岗位工作。而日本人即使是大学毕业也会穿着工作服在工厂现场工作。但在中国，大学生毕业后最初的目标是去研究岗位或当白领。目前，中国依靠欧美和日本的高科技以及本国低廉的劳动力成本，还能保住其国际竞争力，今后如果要依靠自己的技术维持“世界工厂”的地位，技术人员不可或缺，因为他们是连接生产过程和研究开发的桥梁。

第二个是中国的大学生、研究生教育问题。中国人才的弱点是，学生们为了在“考试战争”中取胜，记忆力被强化，但缺乏创造力。日本的大学人士也指出，中国大学生读书的努力程度是日本大学生难以比拟的，但其独立思考解决问题的能力很欠缺。中国的大学教育体系还没有完全确立，很多大学还是延续高中的教育方式。

在中国顶尖大学北京大学和清华大学，大部分学生在学生宿舍生活，除了放假回乡以外连北京的街上都不去，在与社会隔绝的情况下进行完全填鸭式的学习。在追赶期，全面吸收前人创造的资源固然重要，但仅这样做，无法成为领跑者。像现在的中国学生一样，与外界隔绝一味死读书，一定会限制他们找到新的方向，产生新的构思。

不过，现在中国学生去海外留学的机会增多了，就算在中国大学死读书，通过留学欧美获得先进的教育后，其才华可能会得到充分发挥。而且，中国的大学体系与日本相比历史很短还不成熟，但其本身有很强的改革意识。单靠填鸭式死读书会导致创造力不足，如果能正确认识这一弱点，中国像欧美国家一样培养出富有创造力的人才就指日可待。

第三是新老更替问题。进入 21 世纪后，中国的科技人才市场得到迅速发展，但最近发展步伐有所放缓，因此没有办法像原来一样，大学生或研究生一毕业就能进入一流的企业或研究所工作。今后，中国必须认真考虑新老更替问题，营造一个良好的环境，让那些比日本和欧美国家研究和技术人员年轻优秀的人才能充分发挥他们的才华。

第三节 科技投入急速上升

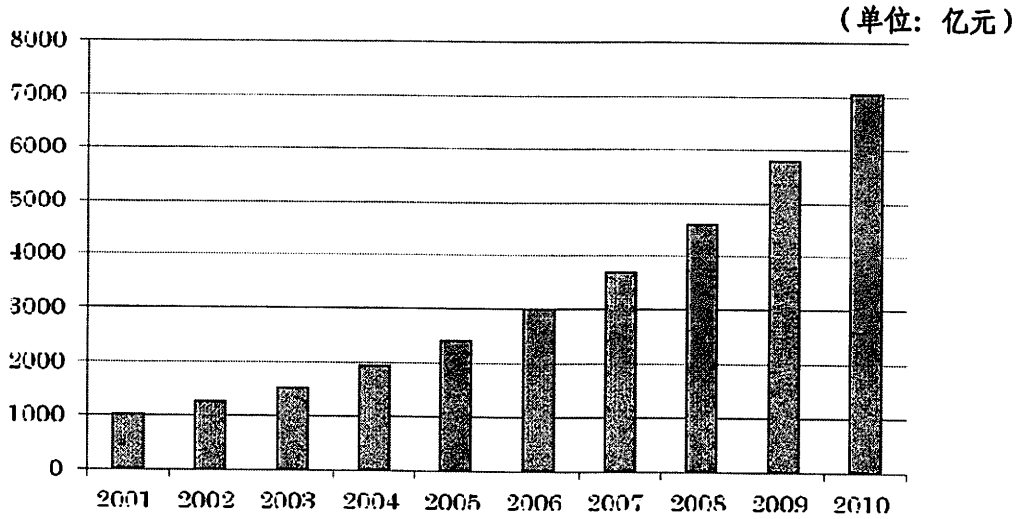
下面介绍支撑科技发展的另一个要素——科技投入（也称研发经费）。中国经济发展趋势喜人，进入 21 世纪后发展更加迅速，与此同时，中国的科技投入也大幅增长。

超过 GDP 增速

中国将促进科技发展列为国家重大事项，并且制定了具有中国特色的《科技进步法》，1993 年该法生效，2008 年进行了修订。《科技进步法》规定，“科技投入的增幅必须高于国家财政的增幅”，同时提出要“逐步增加研发经费占 GDP 的比例”。

图 5 表示进入 21 世纪后中国研发经费的变化情况，每年以 25% 以上的幅度增长，2001 年至 2010 年十年间增加了 6.8 倍，令人震惊。

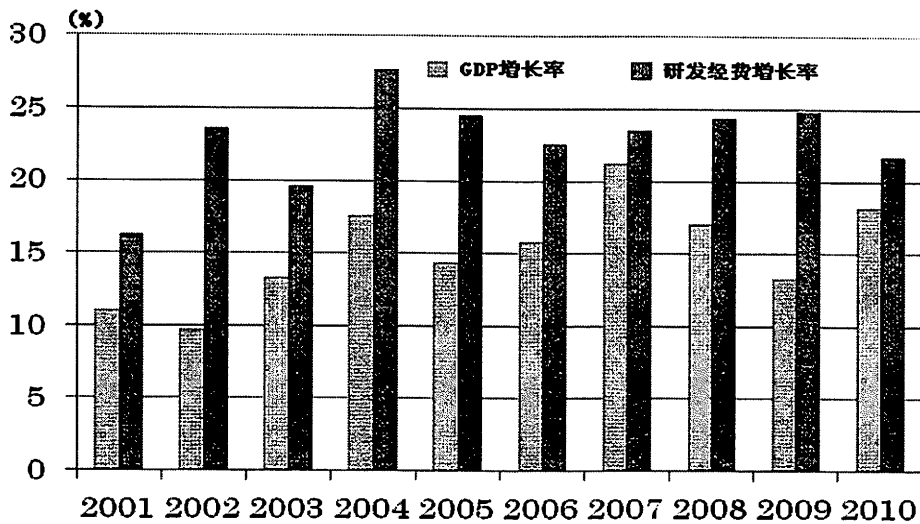
图 5 中国研发经费的变化



资料来源：根据“中国统计年鉴 2011”制成。

图 6 是中国 GDP 和研发经费增长的对比图。进入 21 世纪后，中国每年研发经费的增长率都远远超过 GDP 的增长率。GDP 以平均 15.7% 的惊人速度增长，从 2001 年的 11 万亿元到 2010 年的 40 万亿元，几乎增至原来的四倍。这表明中国在严格贯彻落实《科学进步法》的相关规定。

图 6 中国 GDP 和研发经费的增长率对比



资料来源：文部科学省“科学技术要览 2012 年”。

名义预算超过日本

2010 年，中国研发经费总额为 6063 亿元（约 9.25 万亿日元），

日本为 17.1 万亿日元，中国大约相当于日本的一半，并不算多。此外，如果只是比较政府预算，中国 2010 年为 1696 亿元（约 2.2 万亿日元），日本是 3.59 万亿日元。但若考虑物价和购买力平价，换算成日元，中国 2010 年的研发经费总额是 19.9 万亿日元，政府预算是 4.79 万亿日元，不论是研发经费总额还是政府预算都超过了日本。

为了便于同其他主要国家进行比较，表 13 以美元为基础进行购买力平价换算，对主要国家的研发经费进行了比较。从中可以看出，中国的研发经费仅为美国的一半。

表 13 主要国家的研发经费（2010 年购买力平价换算）

（单位：亿美元）

国名	美国	中国	日本	德国	韩国	法国	英国
研发经费	4016	1788	1535	822	532	500	391

数据来源：OECD “Main Science and Technology Indicators 2012”。

不过，用购买力平价来进行比较也存在疑问。人工费等受物价影响较大的因素用购买力平价来比较确实更为准确。但现在科研活动中花费最大的是研究设备和材料。其价格现如今在全世界都是一个标准，比如最先进的生命科学实验装置和实验材料不管是在中国购买还是在日本购买价格都差别不大。所以，仅靠购买力平价进行对比也要特别注意这一点。

资金实力的秘密

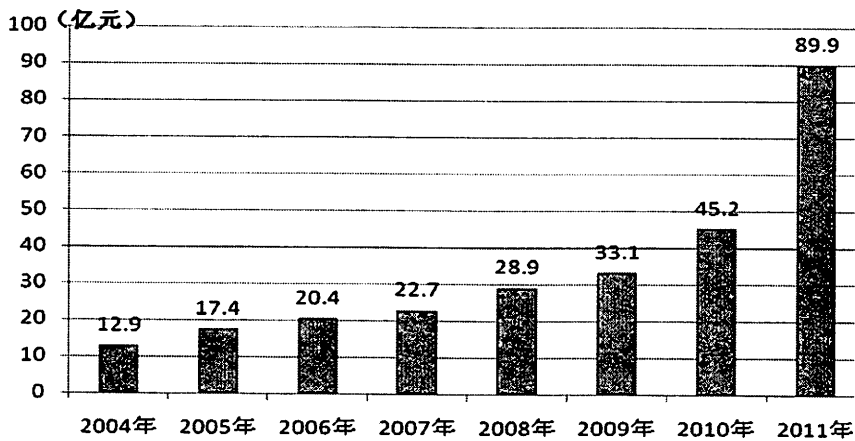
中国研究现场的资金周转灵活令人惊讶。就在几年前，提到合作，中国研究人员只会期待日方的研究费用，或者想在日本做研究，希望日方能支付赴日旅费等等。但近年来情况完全不一样了。中国研究人员在日本遇见合适的研究人员想进行合作，提出申请，研究费用全部自己解决或者从中国政府或企业获得资助，经费不再成为问题。这样的情况越来越多。相反，在日本即使是有实力有成就的研究人员也经常有手头拮据的时候。此时，日本研究人员都很认真，如果自己手头没有研发经费，他们无论如何也拉不下脸去进行合作研究。

为什么中国能在其研究人员身上投入这么多研发经费呢？连日本研究人员都感到羡慕。中国的研发经费总额在名义上不如日本。按购买力平价换算后进行对比，虽然近年来中国超过日本，但也存在上述问题。而且，就算中国研发经费和日本一样，中国的研究人员数量是日本的两倍，研究人员人均获得的研发经费应该并不多。

中国科研费“NSFC 面上项目”

为了解开这个疑问，下面介绍一下中国研发经费中研究人员能够自由支配的部分。日本为支持大学和研究机构的研究人员开展研究，设立了科研费补助金（简称“科研费”）预算，中国与此对应的是国家自然科学基金委员会（NSFC）负责分配的面上项目基金。2011 年 NSFC 面上项目预算为 90 亿元（约 1110 亿日元），仅为日本科研费 2000 亿日元的一半，但增长率非常高，反映了中国研发预算的增长速度。图 7 显示了 NSFC 面上项目预算的逐年变化，2004 年预算约为 13 亿元，2011 年达到 90 亿元，约是 2004 年的七倍、2010 年的两倍。

图 7 NSFC 面上项目预算

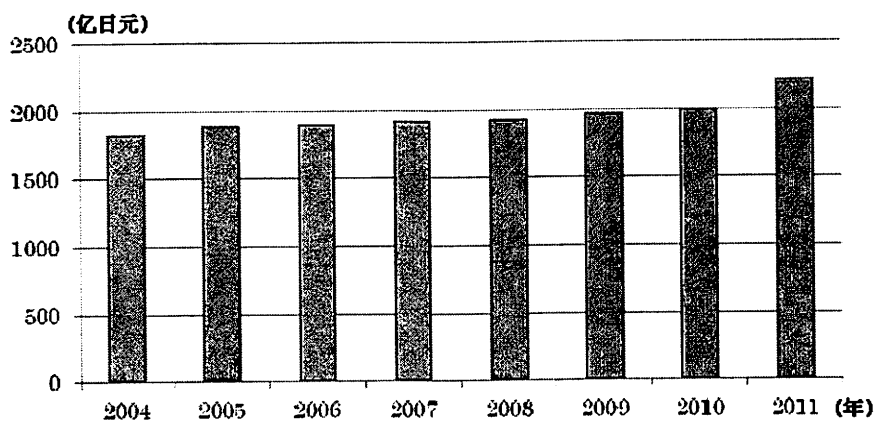


资料来源：根据 NSFC 的网页制成。

现在，中国有实力的研究人员在资金上之所以比日本更自由，笔者认为有以下几个原因。如图 8 所示，2011 年算上补充预算，日本科研费预算增加了一些，此前每年的增额只有一点点。日本的科研费对研究人员来说至关重要，几乎能分配到所有研究人员，而且他们有

既得部分，因此即使科研费总额增长一点也对他们影响不大。在中国，研发经费总额尤其是作为竞争性经费的 NSFC 面上项目预算迅速增加，并不是让每名研究人员都分到一点，而是集中在有实力的知名研究人员手中。所以，虽然在总额上没有超过日本，但中国可自由支配的预算额远远超过日本。

图 8 日本科研费预算



资料来源：根据日本学术振兴会的网页制成。

注释：2011 年是补助金份额，另外还设立了 429 亿日元基金用于其它。

民间研发经费走向

在调查中国科技现状时，民间企业的研发经费引人关注。从统计上看，民间企业研发支出大概占了中国研发支出总额的七成，但是受到世界瞩目的研发成果都来自中国科学院以及近年来加大投入力度的大学。那么，民间企业支出的巨额研发经费的真实情况怎样呢？美国 IBM、日本丰田、本田、索尼、韩国三星电子、LG 电子等公司的研发显示度很高，获得了很多专利。相形之下，中国的华为公司、中兴公司等专利成果方面很有名，但除此之外几乎没有其他研发成果突出的企业。

进行一个大胆的假设，是不是中国民间企业的研发经费中将与欧美、日本、韩国等国家不同的经费也计算在内？为了鼓励研发，中国出台了针对研发经费的税收优惠减免措施，一些和研发关系不大的支出因此很可能也被列为研发经费计算在内。而且，中国的民间企业非常执着于建设世界一流的生产线，因此不介意从欧美或日本引进技

术。这些技术引进经费也被计算在研发经费里面。此外，中国民间企业的研发经费通过共同研究等方式有相当一部分用于国内大学。这可能是因为企业发展迅速而本身又没有自己的研究设备和研发人员，所以他们将研发转移到研发体制比较完善的大学。实际上，中国大学的研发经费总额中，从民间企业获得的资金大约占了 33.2%。而其他主要国家的这一数字分别是日本 2.6%、美国 5.2%、韩国 11.3%、德国 14.2%，由此可以看出中国的比例非常高（2010 年 OECD 调查数据）。

不管怎么样，民间企业的研发经费情况对于了解中国科技现状非常重要，希望今后能进一步弄清这个问题。

第八章 寻求中日共存

中国与世界顶尖水平存在差距

至此，本书对中国的世界顶尖研究设施和大型项目以及科技特征进行了阐述。现阶段，与欧美科技相比，中国的历史经验积累很少，所以落后于美国、欧洲甚至日本。在科技方面，中国可以说是一个落后的巨人，还处于追赶阶段，但其存在的巨大科技潜力将使中国未来发展成为科技大国和科技强国。

中日合作的意义

那么，日本应该如何面对中国呢？经济增长如果顺利持续下去，中国在本世纪早期就会发展为世界超级大国，在科技领域成为有实力的国家。也就是说，从历史和人口来看，中国具有在所有科技领域单独与美国以及欧洲主要国家竞争的潜力。

展望未来，对中国来说，与日本合作会带来哪些好处呢？中国的设施和装置从外在性能上看确实已接近世界领先水平，但在熟练使用方面，现阶段还无法与世界先进国家进行势均力敌的竞争，很多地方还落后于日本。因此，当前促进与日本的研究合作以及人才交流，对中国而言是非常有意义的。

另一方面，日本同中国进行科技合作的好处当然是人才。日本少子老龄化问题日益严重，可以想象按照当前水平确保优秀研究人才非常困难。有人担心，如果推进与中国的研究合作和人才交流，可能造成技术外流以及国内人才空洞化。即使有这些担心，日本也要维持自己的科技先进大国地位，而确保研究人员数量极其重要。再者，考虑到技术出口产业化以及创新等因素，人口众多的中国市场非常有魅力。

此外，中国人远比日本人有经济头脑。从技术角度看，中国的很多地方过于粗糙，但其做法最终都与商业相结合，并且能与技术开发投资联系起来。而日本人对技术的执着世界少有。因此，中日两国国民如能发挥各自所长，建立良好的合作关系，就会实现双赢。

不存恐惧也不轻视

2012 年秋的钓鱼岛事件使得中日关系一下子紧张起来。遗憾的是，科技也受到政治、经济、社会等方面的影响，今后合作停滞也无可奈何。即使存在钓鱼岛争议，中日间的科技合作也不应长时间中断、搁置。现在有必要重新思考一下 40 年前中日邦交正常化时周恩来总理说的“求大同存小异”。对于中国，日本应不存恐惧也不轻视。日本要与真实的中国面对面，维持对等关系，共同探索和平与繁荣。

中国是共产党一党执政多党合作，与日本多党执政不同。而且，日本要对太平洋战争结束前在中国犯下的罪行负很大的责任，钓鱼岛问题现已成为阻碍中日关系发展的障碍。即便如此，中日关系也非常重要，如果破坏了这种关系，日本的未来就会危机重重，所以应该推进合作。

结语

在本书中，笔者根据 JST 研发战略中心 2012 年 6 月发布的《中国科技实力——世界一流研发设施》报告，加上了自己的调查和分析。笔者在序言中介绍，为了掌握中国科技状况，JST 付出了多年努力，

提出聚焦中国研究现场进行调查，以便了解更为真实的情况。JST 从中国的世界一流科技设施、装置和研究中选择了十二个题目进行调查。调查方法是采访中国当地相关人员，同时调查日本同类的设施和研究进行对比，以便对中国的调查结果做出更加客观的评价和分析。

针对这份调查报告，有人指出，选择十二个设施装置涉及过多专业内容，缺少全局性的分析。因此，笔者从报告举例中重新选择了更能体现中国科技实力的六方面内容，将其改写得更加通俗易懂，并尝试对这些地方体现出的中国科技特征做出分析。

这里笔者想提一下自己和中国的缘分。首先是笔者已经去世的父亲林安治出生于富山县福光町（现在的南砺市），太平洋战争末期毕业于旧制高岗高等商业（现在的富山大学经济学部）并参加工作，不久后被征兵，派遣到旧满洲牡丹江附近担任陆军会计少尉。派遣之初没有战争很和平，但是 1945 年 8 月 9 日在苏联军队的进攻下情况完全变了。笔者的父亲马上主动解散了武装，混到当地人里面躲过了苏联士兵的搜索，如果被抓住，可能等待他的是十分残酷的结局：被扣留在西伯利亚，强制劳动四到五年，因病死等原因永远无法回到故乡。笔者的父亲通过砍柴等劳动在中国人和朝鲜人的帮助下，在旧满洲和朝鲜半岛呆了一年之后南下，停战后第二年安全回到了故乡福光。笔者小时候经常听父亲提起和平时代的旧满洲冬天是多么寒冷以及在那里生活的场景。

其次是为恢复中日邦交正常化付出努力的政治家松村谦三先生。提到松村谦三先生，现在知道的人可能比较少。他是一位很有名的政治家，战前作为民政党众议院议员活跃于农政领域，战后曾担任农林大臣和文部大臣，甚至曾作为自民党的总裁候选人，晚年致力于恢复中日邦交。遗憾的是，他在 1971 年去世，没能亲眼看见第二年由田中角荣总理实现的中日邦交正常化。松村先生的出生地是笔者的故乡福光町，上文提到的笔者的父亲是松村先生的拥护者，每次选举时，笔者的父亲都在选举区四处奔走。因此，直到现在笔者老家还保存着松村先生写给笔者父亲的信，感谢父亲对其选举的帮助。

尽管有这些联系，笔者此前并没有怎么关注中国。笔者的学生时代正值中国文化大革命时期，结束后去中国旅行也不是件容易的事。后来的上海之行让笔者重新认识了中国。笔者想起了去世的父亲和松村先生以及他们与中国的渊源，虽有些迟，但或许能在科技领域加强与中国的联系。

林 幸秀

二〇一三年七月