

切实加强前瞻性研究

李国杰

中国科学院计算技术研究所

我今天报告的题目是“加强前瞻和突破性技术研究——我国发展信息科学技术的转机”。在中国计算机大会上讲这个题目，是因为我国计算机界已经到了必须高度重视并切切实实加强前瞻性研究的时候了。

我国研究开发的现状

R&D投入居世界前列 首先来看一下我们国家科技研究开发的现状。我国R&D投入连年增长，已居世界前列。2000年到2010年增长了七八倍，很少国家R&D增长有这么快的速度。2010年，我国投入R&D经费已达7062.6亿元。全国用于基础研究的经费投入为324.5亿元，应用研究经费893.8亿元，试验发展经费5844.3亿元，比上一年都增长20%以上。国家财政科技支出为4114.4亿元。

最近网上盛传联合国2011年11月14日发表的《2011年世界知识产权报告——创新新面貌》称，中国的研发投入已经超过日本（日本大概1450亿美元），居世界第二。这个信息虽然不一定很准确，但是不管怎么说，中国的R&D投入已接近日本了。

2009年，全国参与R&D活动的人员达到318.4万，是世界上投入R&D人力资源最多的国家。

R&D产出可圈可点 2010年我国国内发明专利申请量将近30万件，同比增长了27%，占发明专利申请总量的75%。我国国内发明专利授权量为8万件，同比增长22%，占发明专利授权总量的59.3%。我国PCT国际专利申请量从2006年的3942件增长到2010年的12296件，国际排名从世界第9位上升到第4位。

2009年SCI数据库收录的中国科技论文为12.75万篇，占世界份额的8.8%，列第2位；2009年EI数据库收录的中国论文为9.79万篇，占世界论文总数的23.9%，位列世界第一。2000年至2010年我国科技人员共发表的国际论文72万篇，论文共被引用423万次，引用数排在世界第8位。

从投入经费和论文产生率统计，论文和专利产出高的省市不是北京、上海，而是广西、重庆、湖南、湖北、吉林。

企业的科技投入产出 2009年，全国开展R&D活动的工业企业3万多个，占规模以上工业企业的8.5%，工业企业里R&D人员将近200万。工业企业R&D经费投入强度0.70%。其中通信设备、计算机及其他电子设备制造业R&D经费600亿

左右，投入强度1.36%，与国际上同类企业相比，投入比较低。开发全新产品的项目经费占50.7%，增强产品功能或提高性能项目占30.3%，企业自选的项目经费占80%。

2009年，工业企业完成新产品产值68198.8亿元，是2000年的6.9倍。全年实现新产品销售收入65838.2亿元，是2000年的7倍。新产品销售收入占主营业务收入的比重为12.1%，这个数在传统产业不错了，但是在电子信息领域不是很高。2009年我国工业企业申请专利26万件，是2000年的10倍，其中发明专利9.2万件，差不多400万元的投入才获得一项发明专利。

高校的科研投入产出 同样在2009年，全国高校有R&D人员约50万人，搞技术研究、应用研究的占多数，试验开发人员2.1万人，占7.7%。这个比例还是不错的。高校科研经费将近470亿，是2000年的6倍多，平均每年增长22%，经费增长速度高于科研机构。其中基础研究经费占30%，应用研究经费占53%，试验发展经费占15%。这个结构基本合理。按项目来源分，国家科技项目经费占44.9%，企业委托高校项目占38.9%，地方科技项目占12.2%。这表明企业对高校比较信任。全国高校共发表科技论文101.6篇，出版专著4.1万种，分别是2000年的2.5倍和1.6倍。2009年获得发明专利14408件，平均一个授权专利投入325万元。

科研机构的投入产出 2009年，全国科研机构（县以上政府支持的科研机构），不包括转制院所，大概有30万人。其中，试验发展人员占48.2%，应用研究人员占37.1%，基础研究人员占14.7%。这说明大多数科研机构在做技术推广工作。全国研究机构R&D经费995.9万元，是2000年的3.9倍。按活动类型分，基础研究经费占11.1%，应用研究经费占35.2%，试验发展经费占53.7%。按经费来源分，政府资金占85.3%，企业资金占3.0%，说明与企业的合作很少。全国科研机构共发表论文13.8万篇，出版专著4788种，远少于大学。共获得专利授权6391件，其中发明专利4077件。平均一个授权发明专利投入2500万元！

低效的研究开发 虽然科技是第一生产力，但是不管从国内来看还是从世界来看，大学与科研机构的R&D活动的实际效果不佳已是不争的事实。诚然，基础研究的目的是产生新知识，应用（基础）研究的目的是把知识变成技术，我们不能目光短浅、急功近利，要求基础研究和应用研究的成果都变成钱，但对于信息领域而言，我们是不是要关注新知识和新技术的产出率。国家每年拨那么多钱到底产生了什么效果？发表那么多文章，对信息技术的发展或者对企业的进步到底起了多大的作用？我们习惯用发表论文和获得专利的数量作为科研的产出，但

实际上多数论文和专利对技术进步和社会发展没有影响。我们是否应当反思一下，科研开发除了对个人提职称和为本单位排名次起加分作用外，能否对整个社会进步真正产生较大的影响？如果这个事情一直没有想明白，那就是群体的糊涂。如果科研工作者是为学校排队加分做科研，那样的科研不做也罢，做了也没用。

美国曼哈顿工程总负责人奥本海默在二战胜利以后说，“我们得到了一棵硕果累累的大树，并拼命地摇晃，结果得到了雷达和原子弹。……其全部精神实质在于对已知的疯狂而粗暴地掠夺，而毫无对未知的认真而谦恭地探索”。我们是不是更应当反思，我们对未来做了多少探索？我们科研的动机到底是什么？

我国创新面临严峻挑战 美国《华尔街时报》今年的一篇文章指出：“2010年，中国人口总数占全世界20%，GDP占全球总量的9%，研发支出占全球的12%，但向中国境外的任何一家重要专利申请或被其授予的专利权只占世界的1%。”这里引用的数据未必很准确，但足以说明我们的科研产出率非常低。

从国内外专利的对比来看，我国在信息领域的专利维持年限大多数不到10年，而不少美国专利可维持10-15年。我国的PCT专利主要是通信技术，华为、中兴通讯占了全球20%，我国计算机技术PCT专利共387项，只占全球3%，与通信领域有很大差距。

我国PCT专利的产出率很低。PCT专利产出率最高的是瑞士，瑞士投入一百万美元可以产出2个专利，中国平均花100万美元才获得0.04个PCT专利。

我国计算机领域的论文篇均引用率小于2，明显低于发达国家。

我国的对外技术依存度 评价我国科技的贡献和能力有两个基本指标：一个是科技对经济的贡献率，另一个是对国外技术的依存度。我国目前采用的对外技术依存度的定义是： $\text{技术依存度}(\%) = \frac{\text{技术引进经费}}{(\text{R\&D经费} + \text{技术引进经费})}$ 。按此定义，有学者根据我国购买专利等技术的经费算出我国的对外技术依存度只有17%，低于欧洲各国，这个结论肯定不靠谱。实际上我国对外技术的依存度仍然很高，近几年没有明显降低。因为我国的技术引进经费大部分不是用来买专利、买技术，而是用来买成套设备，只考虑购买专利费用不能反映真实情况。我们整个计算机平台都是别人的，所谓技术受制于人主要指这种路径依赖。

对中国计算机技术现状的基本判断 产业规模扩大，从业人员增加，但一流的科研人员很少，绝大部分研发人员都在做模仿跟踪工作。

论文数量急剧增加，专利数量增加，但是论文水平低于国际同行平均水平，高影响力的论文很少。核心专利较少，多数专利没有发挥作用。

目前我国的计算机技术只处在第二方阵（发展中国家）前沿。

几十年来，我国在计算机领域的基础和前瞻性研究上的投入太少，中国计算机学者对计算机技术进步还没有较大的实质性贡献，未来10年能否对换代技术做出贡献有待于我们的观念改变和科技管理机制的改革。

技术与产业的良性生态环境还未形成，企业还没有真正成为技术创新的主体。我们现在的科研工作有点像用牛拉车，车厢等部件有所改善，但核心的引擎还没有掌握。

突破性创新的机遇期

我经常在报纸上官方文章中看到这类“检讨”：“我国处于产业链下游，自主创新能力不强、缺乏核心技术、产业的发展受制于人”等等。从党中央会议的报道到各省市的政府报告，年年都这么说，我们都讲了10年了，但现状一直没有大的改变。如果不采取切实的措施，我估计10年以后还是会这样讲。这个问题出在哪里？

我认为原因之一是我国一直没有切切实实抓紧前瞻和突破性创新，缺乏从前瞻研究成果到形成有竞争力的产业的生态环境和周密部署，丧失了很多机会。我国多数研究工作是等一项技术在国外已经红火时才发力，那时核心技术已经掌握在别人手里。有少数技术我们起步不晚，比如TD-SCDMA第三代无线通信，但十年前该发力抢占制高点时犹犹豫豫，得不到支持，等到高层领导狠下决心迫使中国移动发展时为时已晚。数字电视、AVS等起步也不晚，但产业化的决心不大，一直不温不火。经过30年改革开放与狼共舞的锻炼，信息领域科技人员已经有能力在选定的方向上攻克核心技术，只缺精心组织和谋划。

中国科学院科技政策与管理科学研究所所长穆荣平在《中国技术资源开发与利用战略研究》报告中指出：全世界的统计表明，人均GDP达到4750美元，R&D投入强度大于2%时，一个国家的技术创新模式一般都转向为以创造技术为主。我国2010年R&D投入强度是1.76%，2011年还会增加，已经接近2%。R&D经费投入强度最高的是北京市，达到5.8%，其次是上海2.8%、天津2.5%、陕西2.1%、江苏2%，浙江、广东也接近2%。人均GDP超过5000美元的省市也很多，上述省市完全应该尽快进入以创造技术为主的阶段。

华为公司2008年共申请1737件PCT专利，全球数量第一。2009年6月第4周，华为单周申请PCT专利数达到创记录的78件，平均每个工作日15.6件。世界上许多大企业都没有这么厉害。华为销售收入的10%的费用和43%的员工投入研究开

发，并将研发投入的10%用于前沿技术、核心技术以及基础技术的研究。在参与国际标准制定中，2008年华为共提交了4100多项提案。华为的实力已经可以国际大公司抗衡，已成为我国技术创新的标杆，正在大力开展前瞻性研究和核心技术研究。华为公司已经认识到，只有自己与有实力的国内科研机构精诚合作，狠抓前瞻性研究，才能占领制高点。

当前云计算等应用的兴起促使IT产业面临着又一次洗牌，微处理器、互联网、移动终端服务器和存储器等都面临重大的技术突破，今后5-10年是我国信息领域从跟踪转向突破性创新的难得机遇期，我们一定不能再错过这个机会。要实现突破性创新，就要坚持5-10年的基础性前瞻性研究，这是取得重大技术突破的必经之路。

关于前瞻性研究的一些思考

什么是前瞻性研究 关于前瞻性研究，全世界都没有明确的定义，国外讨论 foresighted research 或 forward-looking research 的文章也不多。科学院提倡三性研究（基础性、战略性、前瞻性），但这三性不是正交的领域，往往有重叠，前瞻性只是一个模糊的定性要求。将科学研究分成基础研究、应用研究和试验发展研究三大类已成为国际惯例。我国官方对“应用研究”的解释是：“为了确定基础研究成果可能的用途，或为达到预定目标采取的新方法（原理性）的探索。其成果形式以科学论文、专著、原理性模型或发明专利为主。”按这一定义，多数的前瞻研究应属于“应用研究”，少量重大目标导向的基础研究也应看成是前瞻研究。前瞻研究多半是竞争前的共性技术研究，往往会形成新的技术标准。不少科研人员把“应用研究”理解偏了，以为“应用研究”就是采用别人的核心技术做一些一般的推广应用。其实，应用研究的成果形式主要应是发明专利和原理性的模型。

在这篇报告中，我讲的前瞻性研究主要是指，**为5-10年甚至更长的时间内可能形成一定规模的新产品(新产业)而进行的应用研究或目标导向的基础研究。**所谓有一定规模包括三种情况：一是**颠覆性创新**，形成颠覆性产品（产业），取代现有产品；二是**突破性创新**，形成新产品（产业），开辟新的市场；三是**换代创新**，对现有产品和工艺有较大幅度的改进，形成换代产品或换代工艺。所谓加强前瞻性研究，是希望一部分（不是全部）有能力的科研人员改变目前跟踪别人做一些小打小闹、修修补补工作的习惯，而做一些对发展产业真正有价值的科研工作。研究型大学与国家科研机构应走在企业的前头。

信息技术发展模式要求开展前瞻性研究 信息领域特别看重前瞻性研究是其发展模式使然。信息技术发展的轨迹并不是一条平稳的连续曲线，而是呈现阶梯式发展的特征。在信息领域，短则10-15年，长则20-30年，信息技术会出现一次不连续的突变。如数字相机替代传统胶卷相机，DVD光盘播放器替代VHS录像机，数字高清电视替代模拟电视，互联网替代传统电信网，U盘替代软盘等等。在阶梯型型跃迁之前，如果没有前瞻性技术储备甚至没有技术前瞻的眼光，往往会做出糊涂的决策。我国就曾在老技术快被淘汰时还重点投入建设CRT显像管电视、录像机、胶卷生产线等，浪费了大量资金。

开展前瞻性研究是获得突破性、颠覆性创新的必要条件 企业新产品新服务的开发大多属于渐进性创新，渐进性创新的积累效应很大。对整个国家而言，不能轻视或放弃渐进性创新。突破性创新是“知识积累、好运、天赋”带来的结果，往往不可预测。颠覆性创新往往不以向现有市场的消费者提供更好的产品为目标，导致原有市场或技术的中断。相反地，它一开始往往引入与现有的产品相比尚不够好的产品或服务，其颠覆并重新定义的是新的发展轨迹。发展中国家在旧一代技术上投资少，退出成本较小，因而更有可能在新一代技术发展的早期，以较小的代价进入一个高起点的技术领域，并取得跨越式的发展。

我国信息领域习惯的科研模式是，为改进现有技术提出一个新想法（新算法），设计一个新系统（新结构、新协议），然后与原有技术或其他学者提出的新方法比性能（或者与别人比其它参数），性能（参数）有提高就认为是科研成果。前瞻性研究的目标往往是解决现有技术不能解决的问题或现有产品未涉及的市场，因此重点不是与现有技术比性能。前瞻研究的主要目的是用原型系统证明新技术的**潜力**。新原理、新方法刚提出时往往性能不高，有很多地方不完善，但只要有巨大的发展潜力（比如性价比，能效提高一个数量级以上），许多公司介入后，性能等问题都会得到解决。

华为总裁任正非对前瞻性研究有十分深刻的理解。他在2005年就讲过：“将来的市场竞争就是知识产权（IPR）竞争，没有核心IPR的国家永远不会成为工业强国。我们国家提出要自主创新，这个口号是对的。但是我们太急功近利，也会丧失我们的竞争空间。华为公司现在每一天产生三项专利，但是我们还没有一项基本专利，只有少量几项准基本专利。基本专利决定了企业在市场上的基本地位。应用型的基本专利的形成大概需要7-8年，理论型的技术专利需要二三十年。”作为一个企业家，能如此重视基本专利和前瞻性研究，真是难能可贵。华为的经

验告诉我们，要获得突破性创新，在市场上有足够的发言权，必须认认真真开展前瞻性研究，舍此别无他途。

建立自主可控的新平台需要前瞻性研究 信息技术发展到今天，技术竞争实际上已演变为平台竞争。所谓“平台”，就是一批被市场承认的（事实上的）软硬件接口标准和一层层软件栈。我国信息领域大大小小的企业中，聪明人很多，但目前只能做添砖加瓦的渐进式开发，其原因就是“平台依赖”。市场上已占主流的事实上的技术标准往往基于收费的专利。我国从事前瞻性研究的一个目的就是要摆脱这些标准和平台，建立自主可控的新平台。为建立TD、AVS、闪联等新标准而做的科研工作是我国典型的前瞻性研究，但这些标准的推广应用都步履艰难。除了政策层面的原因之外，我国在前瞻性研究上投入与发力不够是主要原因。应该认真地吸取教训，提前在可能形成重大标准的前瞻性研究上狠下功夫。

开展前瞻性研究需要胆识和气魄 我国为什么在前瞻性研究方面落后？主要是还没有形成前瞻性研究的文化氛围，还不善于做另辟蹊径的前瞻性研究。我们的研究多数是别人出题，我们找答案，找题目和找答案有根本性的思维差异。开展前瞻性研究不但需要技术积累，还需要胆识与气魄。坦率地讲，我国当代科技人员的胆识与气魄已普遍不如建国初期的科技人员，骨头没有他们硬，我们这群人有集体“缺钙”的倾向*。

建国初期，中国那么弱，投入那么少，都敢于自己做两弹一星。近10年来，由于科技评价制度强调“数字化”考评，引导科研人员“只见树木，不见森林”，习惯于对技术细节的改进而缺乏判断宏观市场和洞察未来的眼力。前瞻性研究的评价标准和渐进式研究不一样。目前我国信息领域对科研成果的价值评价主要是近期经济效益（最多看5年），缺乏对引导新科研方向的评价导向。

前瞻度的把握 研究工作并不是越超前越好，关键要踩在点上。这就如同足球赛，前锋的本事是要刚好跑到接传球的位置，不能超前，也不能越位。信息技术发展史上有很多因技术超前而失败的案例：例如日本的五代机、Motorola的铱星、欧洲的计算机自动编程等等。失败主要在对于未来市场和技术成熟度的判断。而Apple公司的前瞻性研究做得非常成功，其奥妙在于乔布斯对潜在市场的过人“嗅觉”和对产业链整合的明智判断。华为公司认为，在产品技术创新上要保持技术领先，但只能是领先竞争对手半步，领先三步就会成为“先烈”。

* 中国青年报记者在报道中说我在 CNCC 大会上批评年轻科技人员“骨头软”，引起大量网站转载和辩论，其实我这篇报告没有特别针对年轻人做任何评论，特此澄清。

前瞻性研究不是只给出一个发展方向的定位判断，而是要做出产品或新系统的原型，对同行和企业有足够的说服力和吸引力。2005年，我曾提出能力服务器的研究方向，提出“把计算能力、存储能力、通信能力放在后台上，把信息化搞得像供电一样，用户需要什么能力，就提供什么能力”，计算所称为“CPU上网，存储器上网”。这实际上就是云计算的理念，但缺乏实际的演示系统，对外界的引领效果有限。

联合起来做大事 国际上对开展共性技术前瞻研究的政策各不相同。美国比较强调企业间的竞争。1987年，美国开始先进电视（ATV）技术的研究工作。最早有几十家公司参与，最终美国通用仪器公司（GI）开发出数字电视，成为新的标准的制定者，也迫使日本和欧洲放弃MUSE和MAC模拟制式电视。

日本和欧洲鼓励竞争前的技术合作，由政府出面组织联合技术攻关。欧洲开发第二代移动通信技术，从众多移动通信公司的技术方案中迅速聚焦，成功形成GSM全球通信标准。而美国四套不同的通信标准互相竞争，政府迟迟不能决定选择哪一套标准，结果在与欧洲人的竞争中失败。

我国的前瞻性研究要强调联合起来做大事。目前国家支持的CPU指令系统有5家以上，手机操作系统也有两家以上，如果政府的作用只是在“摆平”各家，可能一件大事也做不成。

中科院计算所的前瞻研究

对前瞻性研究的理解只有通过实践才能逐步加深，下面以中科院计算所正在进行的几个前瞻性研究课题为例来说明我们的认识。

高通量数据处理器和高通量计算机 几十年来，计算机界追求的主要目标是算得快，主要是加减乘除等科学计算，而今后我们经常遇到的“计算”的主要特点是大量并发的用户请求、海量的数据，单位时间内要处理尽可能多的线程或任务。我们把这一类计算称为高通量计算。它与高性能计算在负载、性能目标、并行度等方面存在很大差异，现有的计算机系统结构不适合高通量计算，需要寻找新的体系结构。计算所承担的973项目就是致力于高通量计算机的构建原理和支撑技术研究。我们从定义高通量计算机的性能评价指标（Benchmark）入手，通过仿真、构建原型芯片与系统深入开展高通量计算机的前瞻性研究，争取到2020年研制出可实用的10亿级线程（包括软线程）并发的高通量计算机。这项前瞻性研究要从指令系统做起，处理器和计算机系统都需要突破性的创新。如果研究

目标能实现，将成为计算所对计算机技术发展的历史性贡献。

可塑微处理器

芯片上晶体管的数量已发展到十亿个以上，但实际运行时大部分晶体管并不工作，被学术界称为“暗硅（Dark silicon）”问题。由于功耗等限制，最新的研究结果表明，采用常规的多核处理器技术路线，到 2020 年 CPU 性能最多提高 8 倍。另一方面，随着物联网的推广应用，计算机应用的范围越来越广。如果把 PC 级的应用种类比喻成哺乳动物（2 万种）、手机的应用种类比喻成鱼类（3 万种），则物联网的应用种类就相当于昆虫（100 万种）。我们不可能为每一种应用开发一款 ASIC 芯片。但通用 CPU 的性能常常比专用 ASIC 芯片低 100 倍以上。集成电路的发展趋势之一是如何通过对通用芯片的资源重构和配置，使之达到接近 ASIC 的性能，我们称为解决“昆虫悖论”问题。国际上目前的做法是通过对可重构设计做优化模拟后，再进行流片。计算所正在开展的“可重塑芯片（Elastic Processor）”研究是对解决上述挑战问题的大胆探索。目标是通过软件（不需再流片）动态重塑指令集和数据通路，优化匹配应用，达到高效能的目标。与今天的主流芯片相比，争取 2020 年的可重塑处理器的性能功耗比提升 1000 倍。

未来互联网

现在的互联网在可扩展性、动态性、自适应性等方面面临严重的挑战。国际上许多国家已在开展未来网络（后 IP 网）研究，国内目前开展的下一代互联网研究主要是 IPv6 的推广应用，真正做替代 IP 协议的未来网络研究的团队不多。

计算所将未来网络作为网络科学技术研究的主要方向，重点研究未来互联网的体系结构与机制，过去 20 年互联网的成功主要是坚持了 IP 协议做“细腰”。IP 协议可以放弃，但“细腰”原则不能放弃。由于网络逐渐成为信息和服务的互联而不仅仅是计算机的互联，我们试图探索以信息和服务的标识做互联网新的“细腰”。为了验证新的颠覆性的协议，计算所也研制了可编程虚拟化路由器平台，并积极努力创建具有一定规模、虚拟化、可编程、可测、联邦可扩展的国家网络实验基础平台，为未来网络研究与开发提供创新的验证环境。未来网络的研究成果也许 10 年后才能大量推广，但网络技术的未来太重要了，值得一搏。