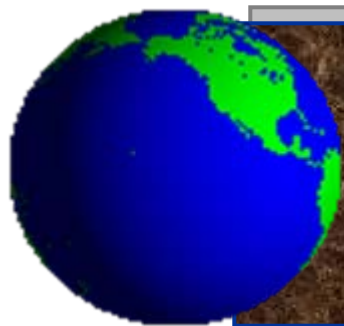


中国计算机技术与产业的发展进程与展望



李国杰
中国科学院计算技术研究所
2010.06.22

报告内容

- 我国计算机技术与产业的发展进程
- 计算机技术与产业发展的基本经验
- 对我国计算机技术与产业发展的展望

我国计算机技术与产业的发展进程

令人难忘的拓荒创业

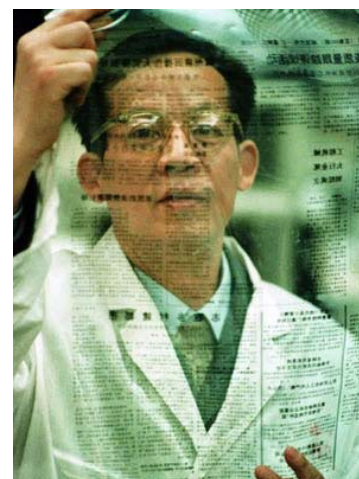
- 1956年，周恩来总理主持制定了《十二年科学技术发展规划》，选定了“计算机、电子学、半导体、自动化”作为“**四项紧急措施**”，我国计算机事业由此起步。张劲夫、杜润生、钱三强、罗沛霖、阎沛霖等在制定计算机技术发展规划时起了重要作用。
- 采取了“**先集中，后分散**”的发展原则。以中国科学院为主，集中了当时二机部、总参三部、高教部、国防部五院等全国科研力量，共同筹建中国科学院计算技术研究所。
- 从1956年起连续举办了四期计算技术训练班，共培养了约**700名**大学本科水平的计算机和计算数学方面的专业人员，这些“种子”后来分撒到全国各地开花结果，成为我国计算机行业的骨干。
- 回顾我国计算机事业的创业史，我们不能不由衷地钦佩**毛泽东、周恩来、陈毅、聂荣臻**等国家第一代领导人的高瞻远瞩和英明决策，不能不对开拓我国计算机事业的老一辈科学家和工程技术人员表示崇高的敬意！

做出杰出贡献的计算机科学家

- 中国计算机事业最早的拓荒者是**华罗庚**教授。1952年，在他的领导下，成立了我国第一个电子计算机研究小组，由闵乃大、夏培肃、王传英三人组成。1956年，华罗庚教授被任命为中科院计算所筹备委员会主任。
- 上世纪60年代初，**冯康**教授独立于西方创造了一整套解微分方程问题的系统化计算方法，命名为“基于复分原理的差分方法”，现在国际上通称为“有限元方法”。
- 上世纪70年代，**王选**教授勇敢地跳过印刷排版的第二代第三代技术，直接跨越到第四代激光照排，被誉为“当代毕昇”。中央三部委号召全国学习他。



华罗庚



王选

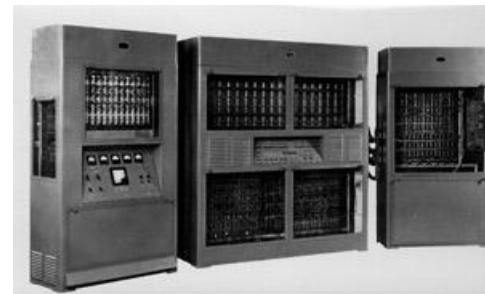


冯康

50多年来我国计算机领域具有代表性的科技成就

电子管计算机研制

- 1958年8月1日，**103机**研制成功（当时称为八一机，定型生产后称为DJS-1电子计算机），30—2500次。
- 1959年10月1日我国第一台大型通用数字电子管计算机—**104机**在中科院计算所研制成功，计算速度每秒1万次。
- 1960年，中科院计算所研制成功我国第一台自行设计的小型通用电子计算机—**107机**。从此我国的通用计算机设计进入自主设计阶段。
- 1964年，我国自主设计的第一台大型通用电子管计算机—**119机**在中科院计算所研制成功，运算速度每秒**5万次**。119机是世界上速度最快的电子管计算机（当时国外已经转入晶体管计算机时代）。



103机



104机



119机

中国计算机领域的拓荒者

- 50-60年代中国计算机领域的拓荒者是一个群体：
 - 这个群体有解放前或建国初期从海外归国的学者，如胡世华、徐献瑜、董铁宝、闵乃大、夏培肃、吴几康、范新弼、蒋士骧、李华天等，
 - 建国初期从苏联留学回国的学者，如张效祥、金怡濂、杨芙清、李三立、徐家福等，
 - 从相邻领域转过来的学术带头人，如慈云桂、张梓昌、张世龙、虞承宣、莫根生等，
 - 一批受过专业教育的20多岁的青年骨干，其中有些学者后当上中国科学院或中国工程院的院士，如高庆狮、董蕴美、沈绪榜等。

50多年来我国计算机领域具有代表性的科技成就

晶体管计算机研制

- 1964年哈军工研制成功每秒8000次的**441B**小型晶体管计算机。
- 1965年大型通用晶体管计算机**109乙机**在中科院计算所研制成功，浮点运算速度每秒6万次。改进后的**109丙机**1967年投入使用，在国防部门服务了15年，有效算题10万小时以上，被国防用户誉为“功勋机”。
- 1965年华北计算所研制成功**108乙**晶体管计算机，生产了156台，运行稳定，华东计算技术研究所也研制成功**X-2**晶体管计算机。截止到1971年底，我国共生产数字计算机**250台**。



441B计算机



109计算机



108计算机

320计算机

集成电路计算机研制

- 70年代初，中科院计算所、华东计算所和一些国防研究所等单位都开始研制第三代集成电路计算机。1971年，中科院计算所和华北计算所分别研制成功**111机**和**112机**。
- 1973年，北京大学与738厂联合研制的集成电路计算机—**150计算机**问世，使我国拥有了第一台自行设计的**百万次集成电路计算机**，也是中国第一台配有多道程序和自行设计的操作系统的计算机。华东计算技术研究所也研制出性能和150机相当的**655机**。



百万次的**150**计算机

向量计算机研制

- 1983年，中科院计算所研制成功每秒运算一千万次的**757向量计算机**，在体系结构上有重大创新。
- 同年，国防科大研制成功的**银河I号**，使我国设计的计算机上了每秒一亿次的台阶，与国外的差距（CRAY-1计算机）缩小到7年。
- 1993年，中国第一台10亿次巨型**银河计算机II型**通过鉴定。
- 90年代中期以后，我国转向研制大规模并行计算机和集群系统



757向量计算机



银河-I向量计算机



银河-II向量计算机

大规模并行计算机和机群系统研制

- 近十几年内，我国自主设计的超级计算机先后突破**十亿、百亿、千亿、万亿、十万亿、百万亿次**大关，我国与国外高端计算机的差距在逐步缩小。
- 进入21世纪，中科院计算所、江南计算所、国防科大和联想集团等都分别推出了国际先进水平的曙光、神威、银河、深腾系列超级计算机。
- 2004年中国研制的超级计算机（**曙光4000A**）第一次正式进入国际超级计算机排行榜第十名。
- 2008年，**曙光5000A**的浮点运算峰值处理能力达到每秒**230万亿次**，实测Linpack速度达到**180.6万亿次**，再次跻身世界超级计算机前**10名**。



曙光**1000**大规模并行计算机



神威-**3**超级计算机



曙光**5000**超级计算机

千万亿次超级计算机研制

- 2009年10月国防科大研制成功天河一号超级计算机，系统峰值性能为每秒**1206万亿次**，Linpack测试性能每秒**560万亿次**，在世界TOP500中排名**第五**。该系统由103台机柜组成，包含6144颗英特尔CPU和5120颗GPU。
- 2010年5月曙光公司和中科院计算所合作研制成功曙光星云超级计算机，系统峰值性能约为每秒**3000万亿次**，Linpack测试性能每秒**1271万亿次**，在世界TOP500中**排名第二**。该系统由128台机柜组成，包含9278颗英特尔CPU和5000颗带ECC校验的GPU。明年初曙光公司将推出基于国产**龙芯3B**（**单芯片1280亿次**）的曙光6000。

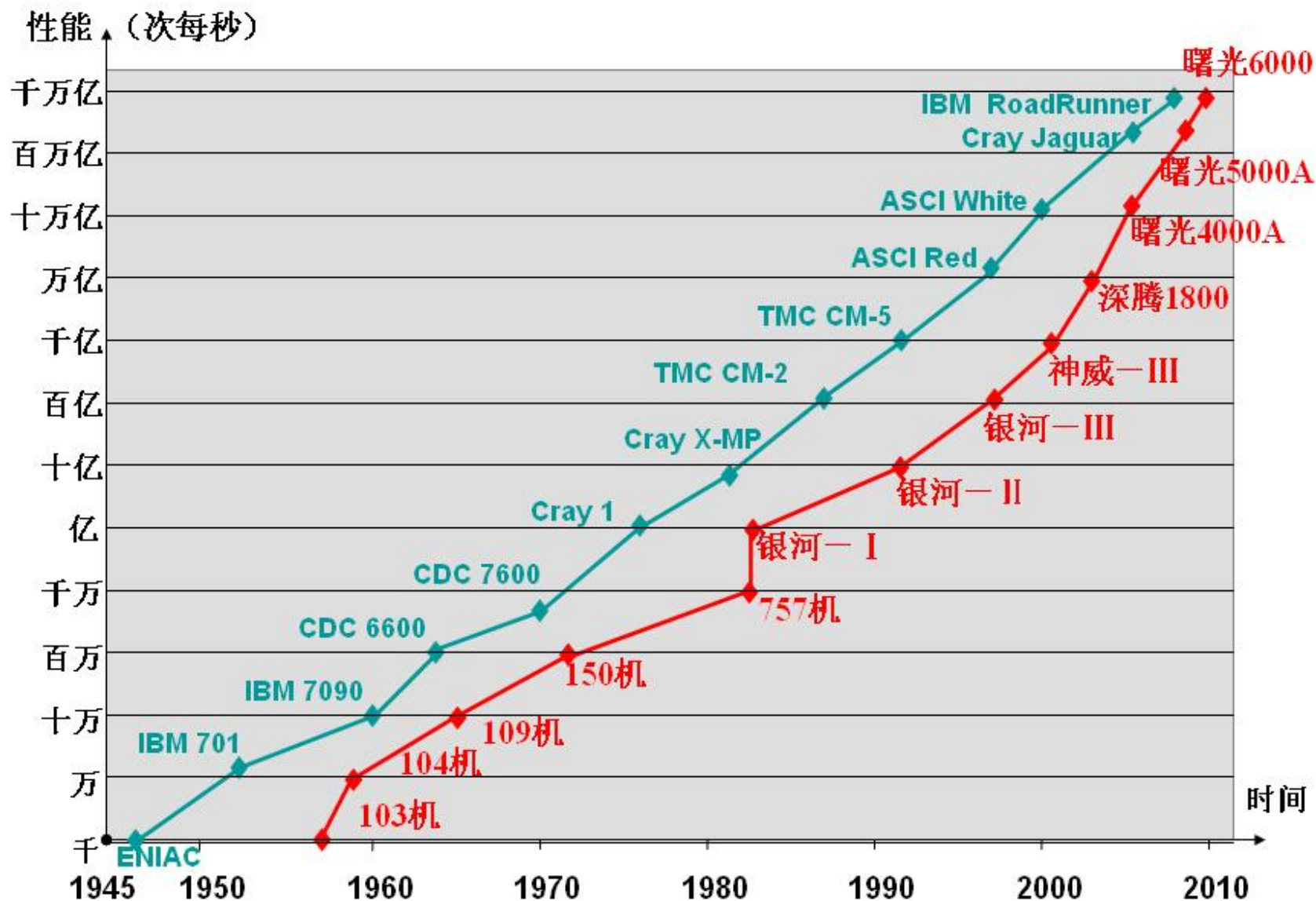


天河一号千万亿次计算机



曙光星云3千万亿次计算机

我国与国外同档次计算机推出时间比较图



我国系统软件的发展历程

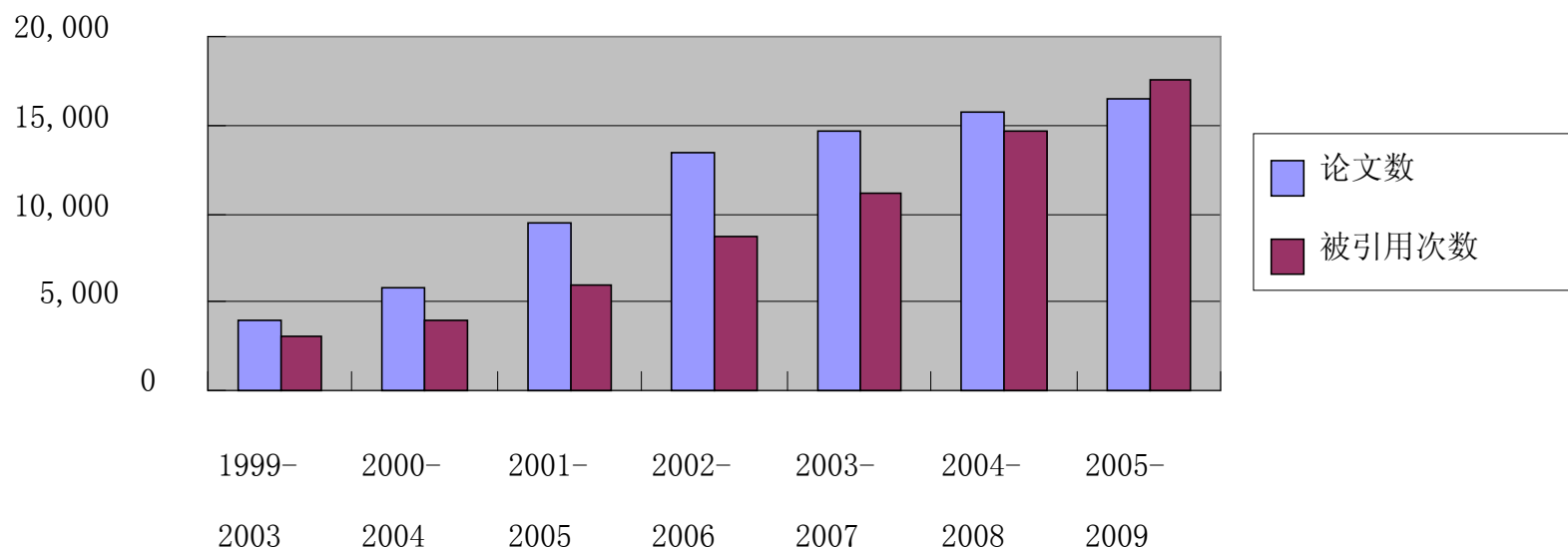
- 80年代以前我国对系统软件的研制较为重视
 - 104机:自主设计的Fortran类型的编译程序,
 - 119机:自主设计的Algol类型的BCY编译程序,
 - 441机:自行研制的FORTRAN语言,
 - 150机:自主设计的操作系统。
 - 100系列:RDOS和MRDOS操作系统,
 - 200系列:14个软件系统。
- 80年代以后, 重点转向软件开发环境、中间件及构件库等, 如青鸟系统和Starbus中间件等。
- 90年代以后, 在Unix和Linux基础上, 先后开发了COSIX和麒麟等操作系统, 国产数据库也开始占领市场。
- 21世纪以来, 我国开展了网格技术研究, VEGA、CROWN等网格系统软件开始得到应用。

我国计算机科学的主要成就

- 吴文俊院士开创了数学机械化的新领域，发明了用计算机证明几何定理的“吴方法”。2000年获得首届国家最高科技奖。
- 图灵奖获得者姚期智教授近几年在清华大学建立理论计算机科学研究中心，培养了一批国际一流水平的博士。
- 可执行的时序逻辑语言和X Y Z系统，区段演算理论、开放逻辑、形式语义学等。
- 人工智能理论与技术是我国计算机科学研究的一个重要方向，几十年来取得了不少成绩。这一领域较突出的成就体现是汉字识别、中文信息处理、知识处理和专家系统、神经网络、模糊逻辑等。
- 在学术期刊和高水平学术会议上发表的论文质量和数量可以从一个侧面反映一个国家的科学研究总体水平，近几年我国计算机领域发表的论文成倍增加。

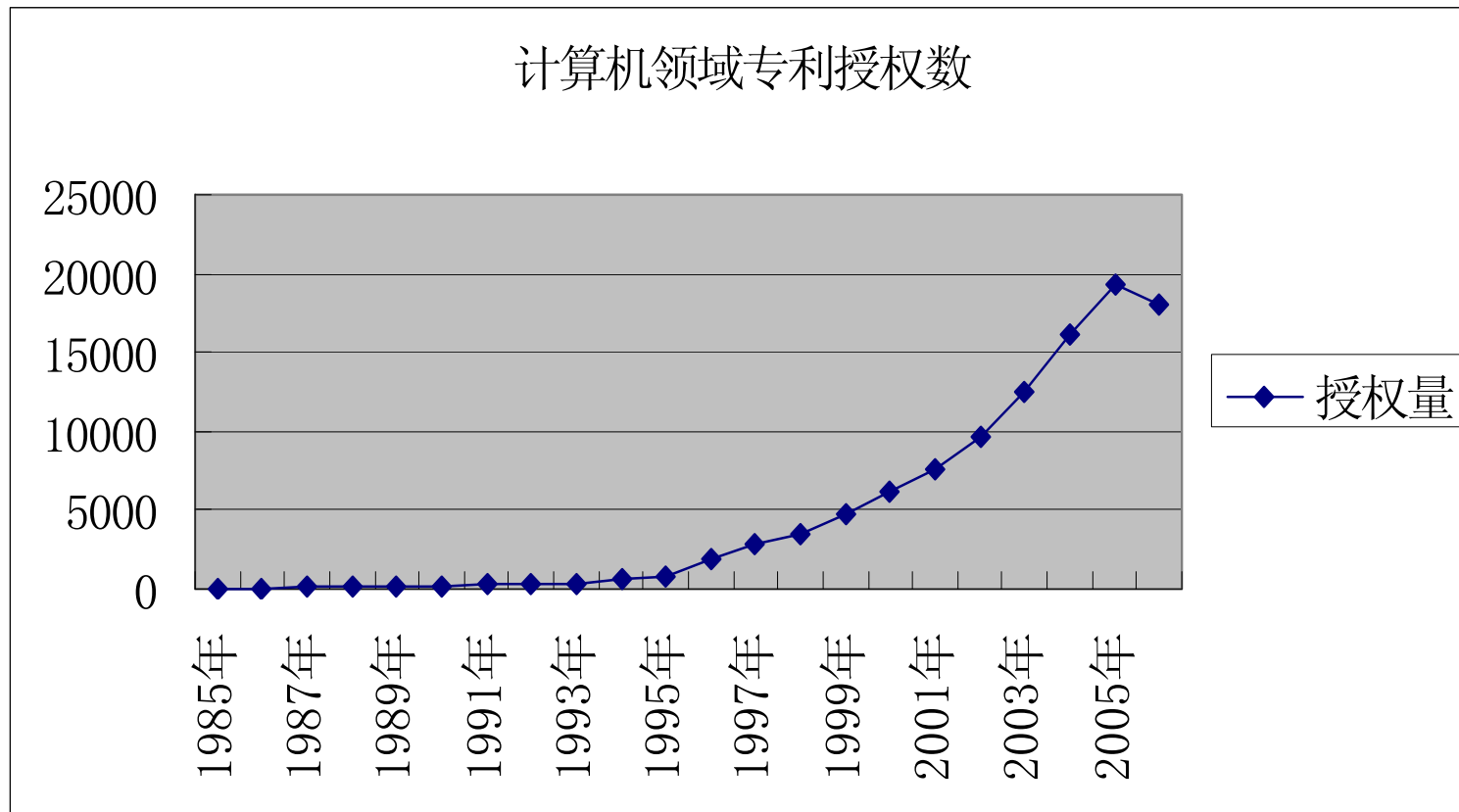
我国计算机论文与引用数 (按4年周期统计)

计算机论文数/被引用次数



计算机领域的论文的篇均引用率还小于**2次**，明显低于发达国家

我国计算机领域专利授权统计



我国专利的实际利用率不高，需要加强专利的谋划和技术转移

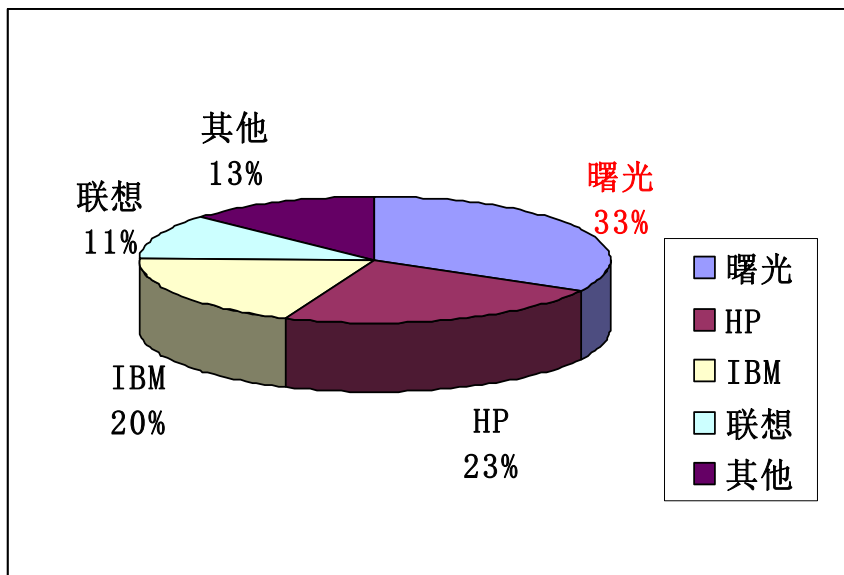
计算机产业和应用发展历程

- 70年代以前，我国的计算机研制主要为国防服务。第四机械工业部于1973年召开了“电子计算机首次专业会议”（7301会议），提出了**大中小结合、中小为主、发展通用兼容的系列化产品**的产业发展方针，确立了我国计算机工业发展的正确方向。
- **DSJ-130机**一共生产了**几千台**，标志中国计算机工业走上系列化批量生产的道路。继100系列机之后，华北研究所等单位开始研制**180系列机**，先后共研制生产了**5个机型**。
- **DSJ-200**系列机操作系统的研制是我国软件从科研走向产品的转折点，在我国**航天测控、718工程**等国防重点工程中做出了重要贡献。
- **748工程**研制成功**汉字印刷照排版系统**—华光系统和方正系统，为汉字进入现代信息社会做出了不可磨灭的贡献。

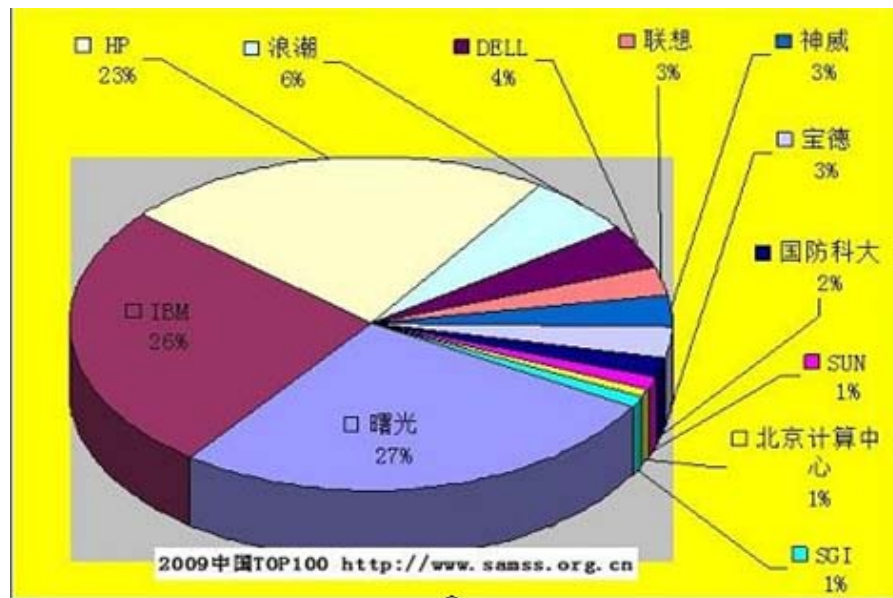
我国微机与服务器的发展历程

- 80年代开始以PC为主的计算机产业开始兴起。1983年12月电子部六所开发成功我国第一台PC机—长城100（**DJS-0520微机**）。同年，中科院计算所研制成功在操作系统核心部分进行改造的汉字微机系统**GF20/11A**。
- 国内PC机产业的代表是**联想公司**。联想公司的成立是我国技术转移和产学研结合的一个样板，联想成立初期的经验值得认真总结。联想收购IBM公司笔记本电脑业务后，公司的营业额已超过1千亿元，进入了世界500强企业。
- 90年代以前，我国的主机（Mainframe）和服务器几乎全部依赖进口，经过十多年的努力，国产PC服务器已占到国内市场**20%以上**，从2008年开始中国TOP100高性能计算机中，国产高性能计算机的**总计算能力已超过国外进口机器**，2009年曙光高性能计算机在**TOP100中的台数（27台）已超过IBM（26台）和HP公司（23台）**

国产高性能计算机的市场份额

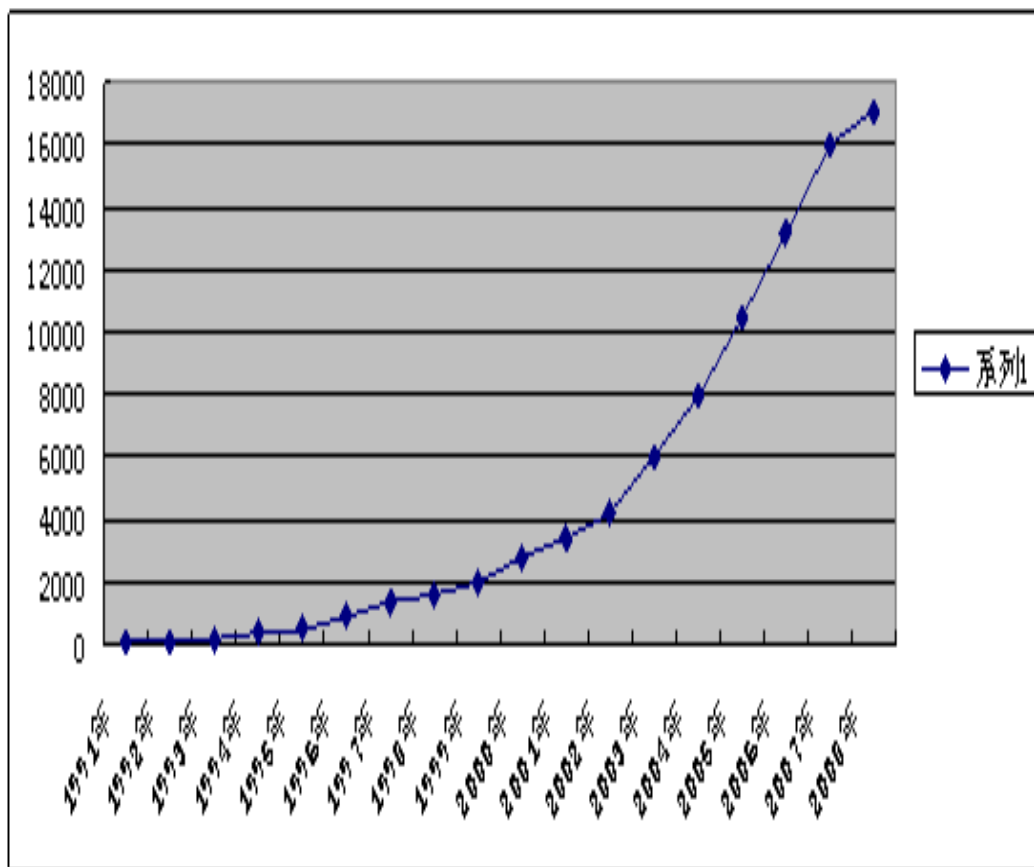


2008年TOP100高性能计算容量市场分布（国产超过进口）



2009年TOP100高性能计算机台数分布，曙光超过IBM 和HP

我国计算机制造业年总收入快速增长

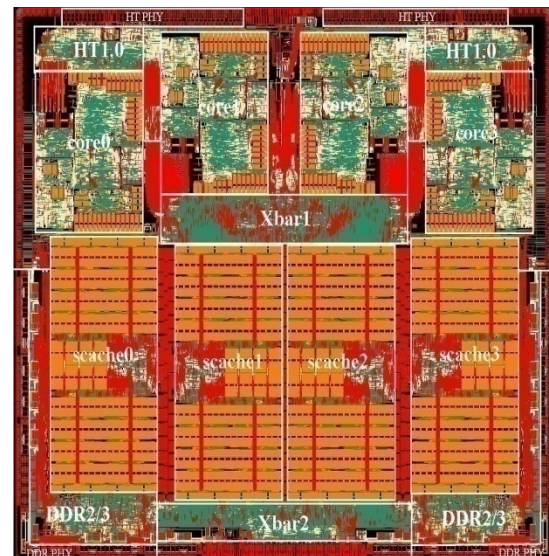


- 90年代初以来，我国的计算机制造业的总收入一直保持20%以上的年增长率，有些年份增长率超过**50%**。
- 2008年我国计算机行业规模以上企业的销售总收入达**17134亿元**，是1991年计算机行业销售收入（70亿元）的**248倍**。

计算机技术与产业发展的基本经验

相信自己的力量，坚持自主创新

- 上世纪50-60年代，国外对中国实行技术封锁，国内研制的计算机都是依靠自己的力量研制出来的，这些计算机的主要设计者大多是年青人。
- 改革开放以后，以“**市场换技术**”的设想并没有换来核心与关键技术。
- 我国计算机技术的每一点实质性的进步都是自主创新的结果。特别是**通用CPU**这一计算机核心技术的突破，花钱之少，进展之快，出乎人们的意料。取得这一重大进展的前提是科研人员的民族自信心。他们在一片怀疑声中有“**做出给你看**”的自信，这一成功也说明创新人才是逼出来的，国家的战略需求可以造就高水平的人才。



科研必须面向市场，发展产业必须依靠科技

- 我国计算机产业近20年来每年以2-3倍GDP增长速度发展，得益于改革开放和社会主义的市场经济。科研工作也只有从市场中获得需求才有真正的动力。
- 我国计算机产业规模已经很大，但利润率低于传统产业，**没有体现出高技术产业的特点**。这是因为我国的计算机产业基本上是组装加工产业，处于产业链的下游。
- 要改变这种局面，必须加大科研投入，尽快掌握核心技术，争取**向产业的上游发展**。特别要抓住计算机产业更新换代的机会，开拓新的市场。
- 近几年我国的腾讯、阿里巴巴、百度等网络服务企业崭露头角，对计算机、网络及软件技术提出了新的需求，为计算机产业发展开辟了新的发展方向。

坚持改革开放， 在经济全球化的环境下竞争发展

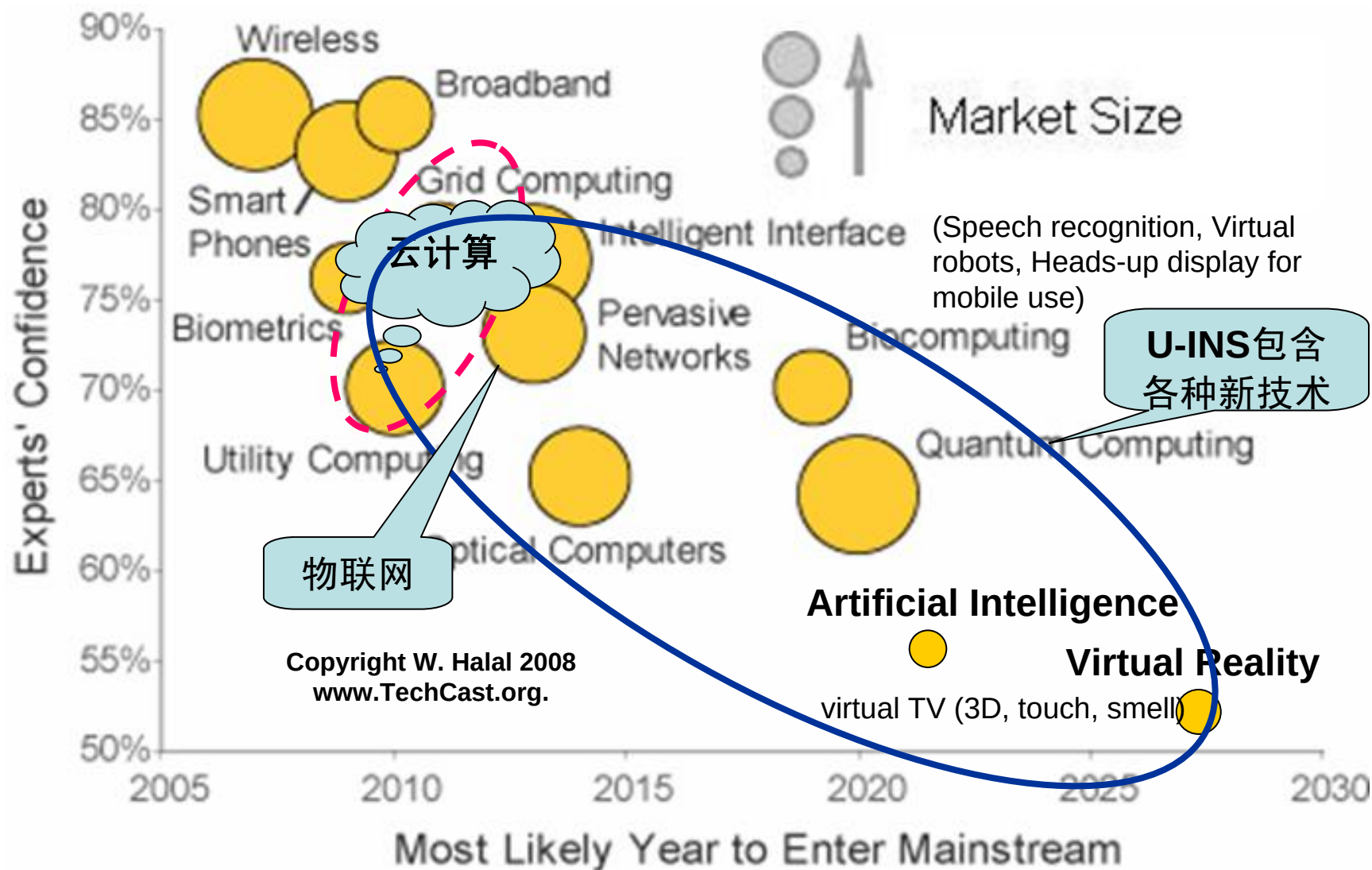
- 计算机的发展史已证明，开放的技术繁荣昌盛，封闭的技术会逐步衰亡。
- 计算机产业链的分工已十分明确。**计算机产业比通信产业更开放**，这是计算机产业的优势，我们决不能违背这一历史潮流。
- 中国的市场是世界市场的组成部分，世界市场也是中国企业的市场。中国企业只有在国际竞争中占上风才能获得国内市场。
- 最近**“闪联”**、**AVS**等技术在走向国际标准的道路有所进展，这说明，只要我们的技术过硬，我们也有可能在国际标准中占有一席之地，我们有能力在开放和竞争中赢得主动。

必须充分发挥政府的主导作用

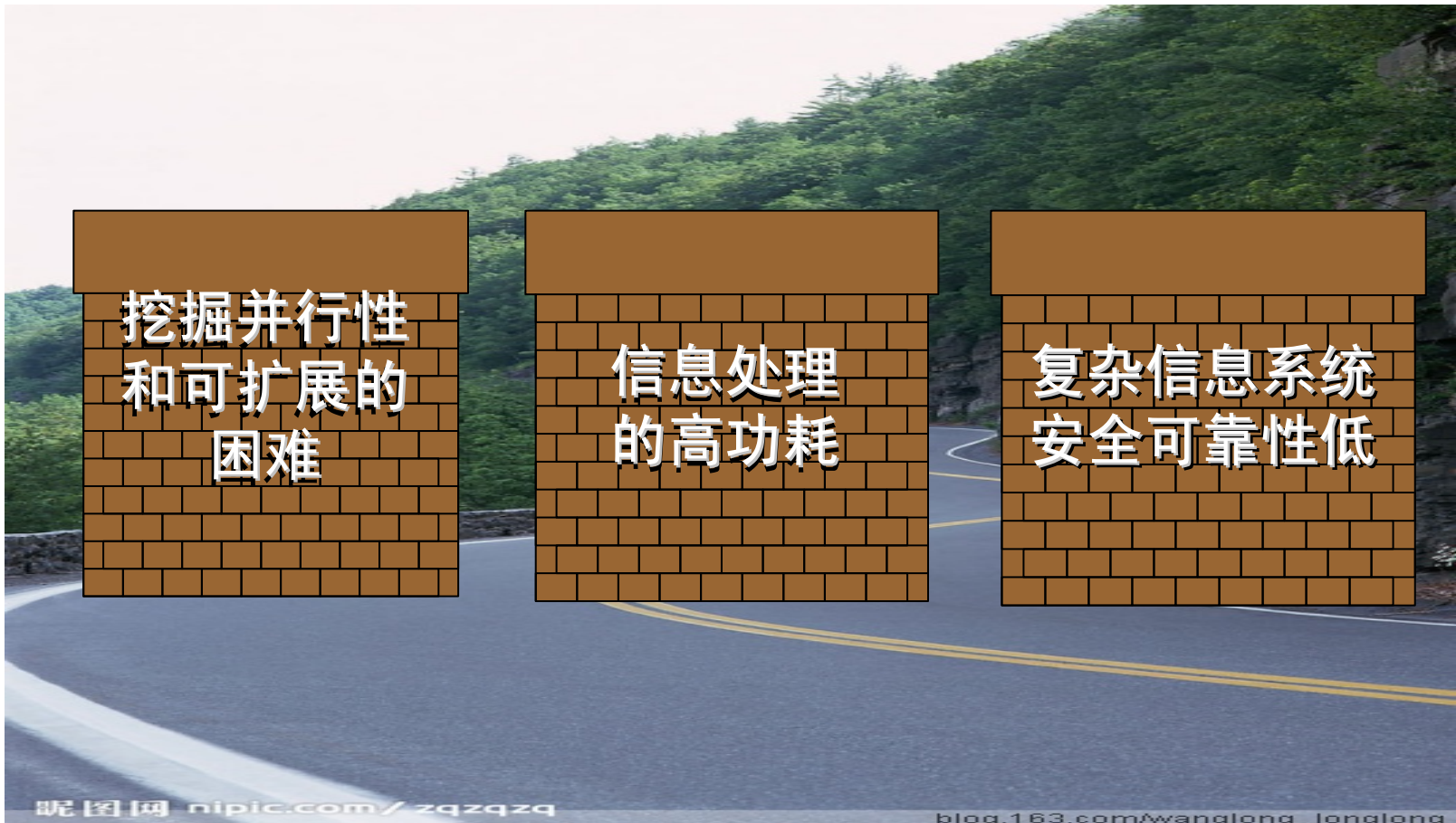
- 据统计，50-60年代我国的R&D投入占GDP的比重平均为1.28%，最高的年份达到2.32%。这充分说明我国第一代领导人对自主创新和发发展科技的高度重视。
- 近20年来，国家实施了863等高技术计划，投入也在不断增加，但对计算机产业的长远发展缺乏整体谋划，企业从国家科技计划的成果中还难以找到更新换代的核心技术。
- 各国发展史的统计表明，一个国家R&D投入占GDP的比重在2%以下时，政府的研发投入一般都在50%以上，而我国目前只占30%。
- 政府的主导作用不仅体现在科技投入上，更应该体现在制定战略规划、营造公平竞争的产业环境和促进产学研合作等方面。市场看不见的手和政府看得见的手，两手都要硬，对于市场竞争十分激烈的计算机产业，更不能忘了政府这只看得见的手。

对我国计算机技术与产业发展的展望

信息技术预测



当前信息技术面临三座高墙



挖掘并行性
和可扩展的
困难

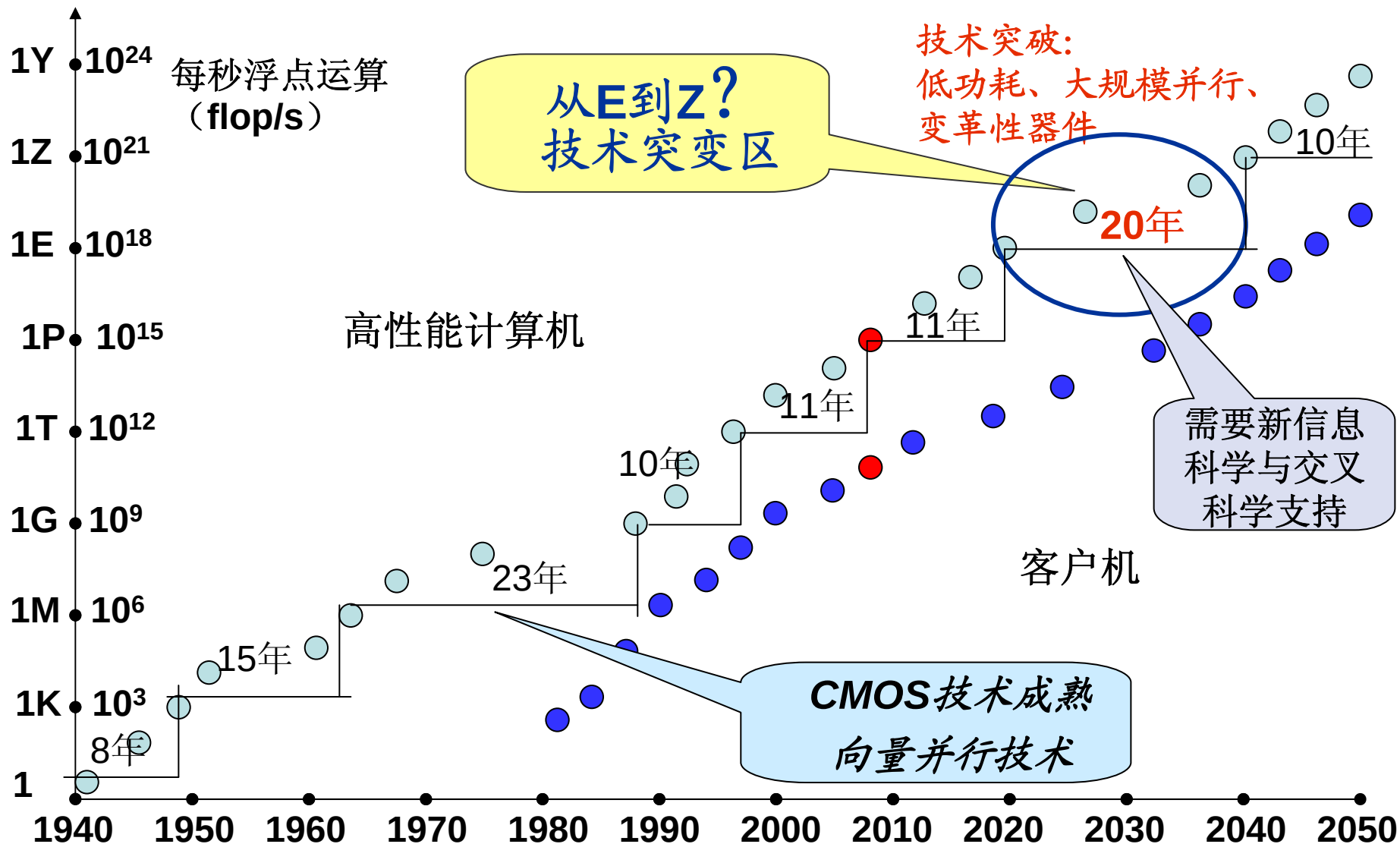
信息处理
的高功耗

复杂信息系统
安全可靠性的低

2020—2030年之间可能出现的“技术墙”

- 许多信息技术不约而同地将在2020-2030年之间出现难以逾越的障碍。
- 到2020年左右，摩尔定律将不再有效，集成电路正在逐步进入“**后摩尔时代**”，我们必须更多地从Beyond CMOS中寻找新的出路。
- 计算机正逐步进入“**后PC时代**”，终端设备将从“**高大全**”向“**低小专**”（“专”指个性化）转变，**降低功耗**是首要目标。
- 2020年以后，超级计算机的“**千倍定律**”将失效，只在现有的技术基础上做改进，2030年肯定做不出Zettaflops级（ **10^{21} flops**）水平的计算机。
- 进入“**后IP**”时代是不可避免的发展过程，可能需要20年时间才能真正突破TCP/IP协议的局限。

高性能计算的技术突变区

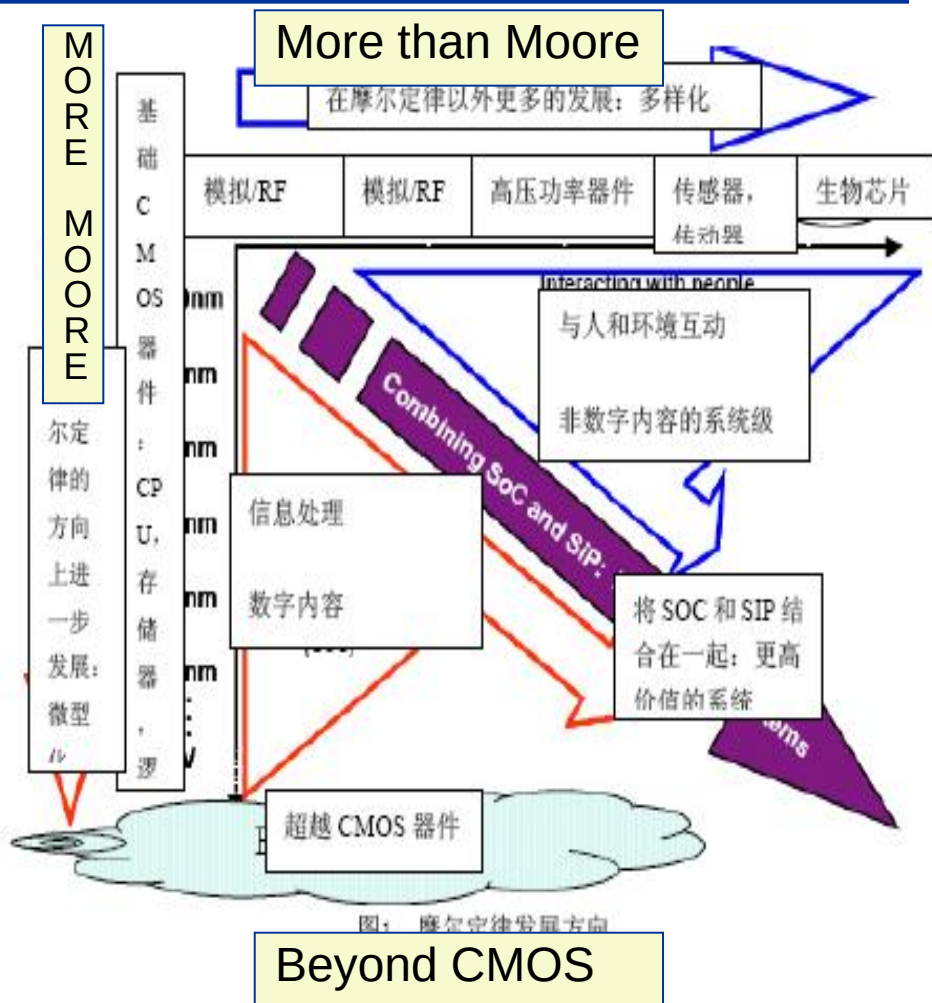


E级系统的技术挑战

- 功耗
 - 最新GREEN500第一名: 0.5GFlops/Watt
 - E级系统20兆瓦意味着: **50 GFlops/Watt**
- 可靠性
 - 微处理器: 500 FIT;内存条:100 FIT(有ECC)
 - 一个E级系统差不多每小时一次故障
 - 常用检查点到E级没有用: 数据太大, 耗电
- 成本控制
 - 处理器: ¥2000 X 百万=¥20亿
 - 内存条: ¥300 X 四百万=¥12亿
 - 主板、控制器、路由器、磁盘等
 - 总成本**超过40亿元**
- 软件层对高度并行性的支持和控制

信息器件与系统面临 变革性升级换代

- 器件与设备是构成网络设施的基础。传统的器件与设备在**功耗、成本和复杂性**方面已遇到巨大障碍，基于CMOS的器件技术已接近物理极限，急切期待**颠覆性的新技术**。
- 我们不但要借助纳米、超导等变革性技术发展微电子、光电子和光子器件，还必须从计算模型和计算机系统结构层面考虑如何有效地利用量子、生物等新兴技术。



挖掘并行性是对信息科学的巨大挑战

时间	2020年	2030年	2050年
器件	CMOS	纳米量子器件	量子、生物分子
计算速度	Exaflops (10^{18})	Zettaflops (10^{21})	>Yottaflops (10^{24})
并行度	10^{8-9}	$10^{10} - 10^{12}$	$10^{13} - 10^{15}$
内存容量	25PB	EB (10^{18} B)	ZB (10^{21} B)
功耗	40MW	MW	MW
用途	核聚变模拟 蛋白质折叠等	地球模拟 生命科学等	MEMS优化 脑科学模拟等

2010

2020

2030

2050



并行编程是必须突破的关键技术

- 新的**摩尔定律**变成：
 - 在基本不变的主频下，单个芯片上的处理器核的数目每一代（约两年）增加一倍。
- 单处理器性能的提高遇到阻碍以后，计算机要提高性能基本上只剩下一条路可走——**依靠并行处理**。这一迫不得已的转变，对软件界既是挑战也是机遇。
- 转向增加并行性不是基于重大突破的高歌猛进，而实际上是由于传统硅实现方法遇到巨大障碍而采取的**一次退却**。
- 今后几十年中，算法研究也将从单一算法转移到对多个算法相互影响的研究，为研究分布式系统奠定坚实的基础。**并行算法和并行编程是今后几十年计算机科学和软件界必须突破的科学问题和关键技术。。**

计算机和软件的发展目标

- 今后20年内，高性能计算机将继续每年性能翻一番的发展速度，2020年以前将实现 **Exaflops**(10^{18} flops)超级计算，2035年左右将实现超过**Zettaflops** (10^{21} flops)的超级计算。
- 发展信息技术的一个重要目标是使**软件**业和服务业也产生类似**摩尔定律**的走势，即同样功能和性能的软件开发成本平均每两年降低50%，同样质量的服务所需成本每两年降低50%。

信息技术的核心问题还是“智能”

- 计算机科学的追求可以归结为三个基本问题：
 - 巴贝奇问题：构造执行程序的计算机
 - V. 布什问题：MOMEX（知识的连接）
 - 图灵问题：模拟和放大的人的智能
- 也可以经过几十年努力，前两个问题已基本解决，但从图灵的著名问题“机器能思维吗”开始，人工智能的预言多次失败。
- 计算机应用的难题最终几乎都归结到**语义的理解**，解决此难题主要依靠脑科学的进展，工程上取决于将**高维、无序、海量数据转化为有序、可管理、易检索的知识**。
- 今后几十年智能科学和知识工程会有突破性的进展，突破的希望寄托在计算机科学与脑科学（认知科学）、生命科学。纳米科学的汇聚研究，同时也依赖于对所求解问题本身的深入理解，将所谓NP问题转化为容易求解的问题。

10-15年的战略机遇期

- 2020以前要积极探索攻克“**信息技术墙**”的核心技术，重点解决信息系统的可扩展性、低能耗、安全性和易用性等难题；2020年以后，什么技术将成为新的主流技术就会逐步明朗；**2020到2035年将是信息技术改天换地的大变革期**；2035到2050年，符合科学发展观的新的信息网络体系会逐步形成。
- 这样的结论给我们的重要启示是，从现在开始，**历史留给我们难得的机遇期只有10-15年左右**。如果我们错过这15年，就很难在21世纪上半叶成为信息产业的强国，必将对我国的现代化进程产生十分不利的影响。

美国人看中国的“技术陷阱”

- 中国生产的产品极少拥有自主知识产权。相反，中国成长为世界制造业中心及高科技产品出口巨人的显著成就与**中国对外国技术的依赖密不可分**。随着中国加入世贸组织，这种**依赖性还在进一步加深**。
- **盲目崇拜外国技术的认识误区**阻碍了国内科研系统的发展。企业研发能力十分薄弱、政府科研机构科研能力相对较强却缺乏与工业界的联系、对外国技术的高度依赖以及获取外国技术的苛刻条件，这些因素相互作用，结合在一起构成了**中国的技术陷阱**。
- 我们时常发现标准制定各参与方之间似乎存在不一致的利益，这使得在中国标准制定中协调各方利益颇为困难。

来源：全美亚洲研究所特别报告：“标准就是力量？中国国家标准化战略制定中的技术、机构和政治” --2006 年 6 月

统筹“渐进创新”和“重点跨越”

- 许多人已习惯在别人的平台小打小闹，缺乏建立自主可控技术平台的勇气与魄力，丧失了很多机会。构成新的产业平台要打破现有的技术依赖，往往需要重大技术突破，**没有十几年的持续努力办不到**，单靠一个企业的努力也办不到，需要产学研密切合作和骨干企业竞争前的合作。
- 我国企业目前主要的创新活动是渐进创新，即在现有的平台上做小的技术改进。渐进的技术改进对提高效率和市场竞争力具有累计效应，其累进的总效果可能超过一次大的创新。因此我们不能忽视渐进创新，包括引进消化后的再创新。
- 但是，现有技术平台的改进不是无止境的，经过较长时间的努力后，这种改进就会遇到难以突破的本质性障碍。我们必须**统筹规划技术创新的不同模式**，不断提高技术创新的层次。

改变追随外国的老模式 真正走自主创新、科学发展之路

- 改革开放30年来取得很大的成绩，建立了前所未有的工业基础和科技储备。
- 中国的计算机体系必须针对中国自己的问题，目前我们面对的最大问题是信息化与工业化融合，实现经济结构转型和提升。
- 值得反思的一点是科技界没有摆脱跟踪模仿的思维方式，30年未建立自主可控的基础信息技术平台，如果云计算平台也依赖国外大公司，可能几十年内也难以翻身。
- 我们必须下决心与受制于人的旧信息平台说“Bye-Bye”，**今后10年是中国信息企业打翻身仗的好时机。**
- 从芯片、计算机、网络到信息服务系统，未来10年中国有能力走出一条新路，**建立自己的信息技术体系。**



请批评指正！