



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY



国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

超级计算的超级能力

Super Computing , Super impact

卢宇彤

国家超级计算广州中心 主任
中山大学 数据科学与计算机学院 教授 博导
国防科技大学 计算机学院 教授 博导
yutong.lu@nscc-gz.cn

www.nscc-gz.cn

OUTLINE

主要内容

国家超级计算广州中心

NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN
GUANGZHOU

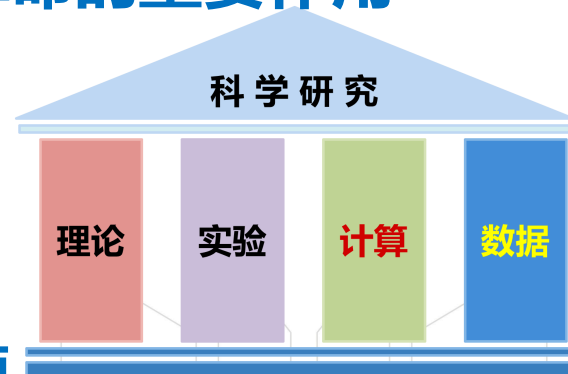
1、 超级计算的发展

2、 超级计算的应用

3、 超级计算的未来

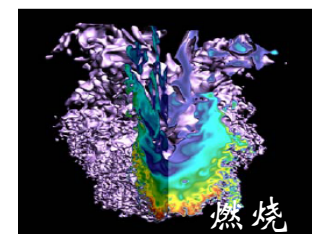
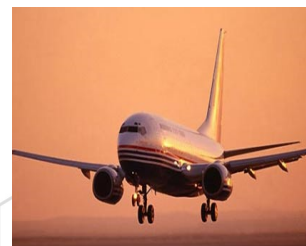
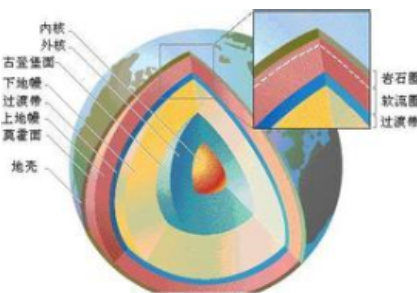
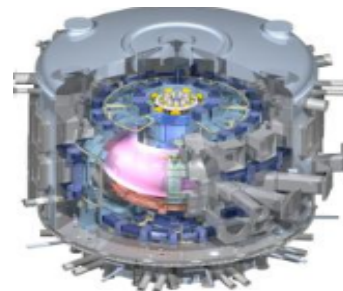
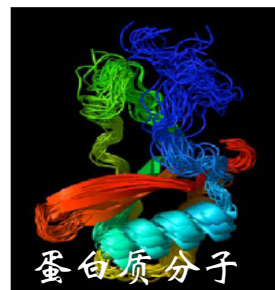
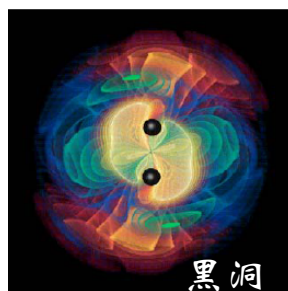
超级计算机对科学发现、技术创新、产业革命的重要作用

- 高性能计算：是科学研究的三大手段之一
- 大数据处理：正成为科学研究的第四范式

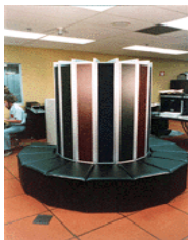


超级计算可以帮助人们解决一系列重要问题

- 尺度超大 Too big
- 尺度超小 Too small
- 时变超快 Too fast
- 时变超慢 Too slow
- 过程超昂贵 Too expensive
- 过程超危险 Too dangerous



微观 宏观 极端条件



Cray-1
1976 160Mflops



Intel ASCI Red
1997年, 1万亿次



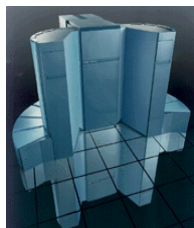
IBM BlueGene/L
2004年, 70Tflops
2007年, 596Tflops



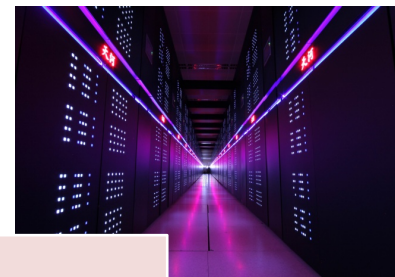
中国 NUDT TH-1A
2010. 4.7Pflops



美国 Cray Titan
2012. 17.6Pflops



Cray-YMP
1988年



DT 天河2号

2013. 33.86Pflops

40年系统性能增长5.8亿倍



Cray T3D
1993, 19Gflops



日本地球模拟器
2002年, 40Tflops



Cray Jaguar
2009, 1.76Pflops

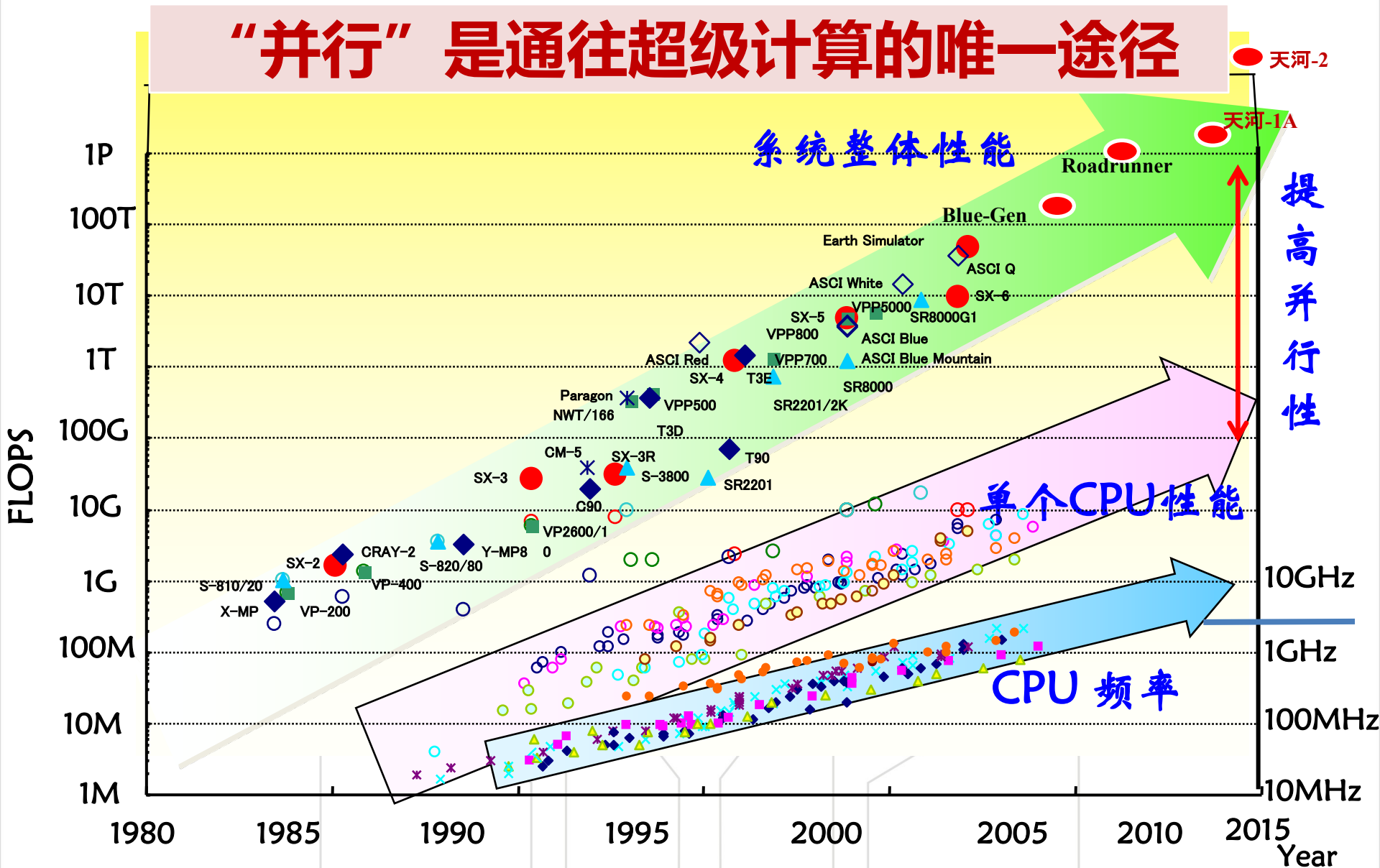


美国 IBM Sequoia
2012. 16.32Pflops

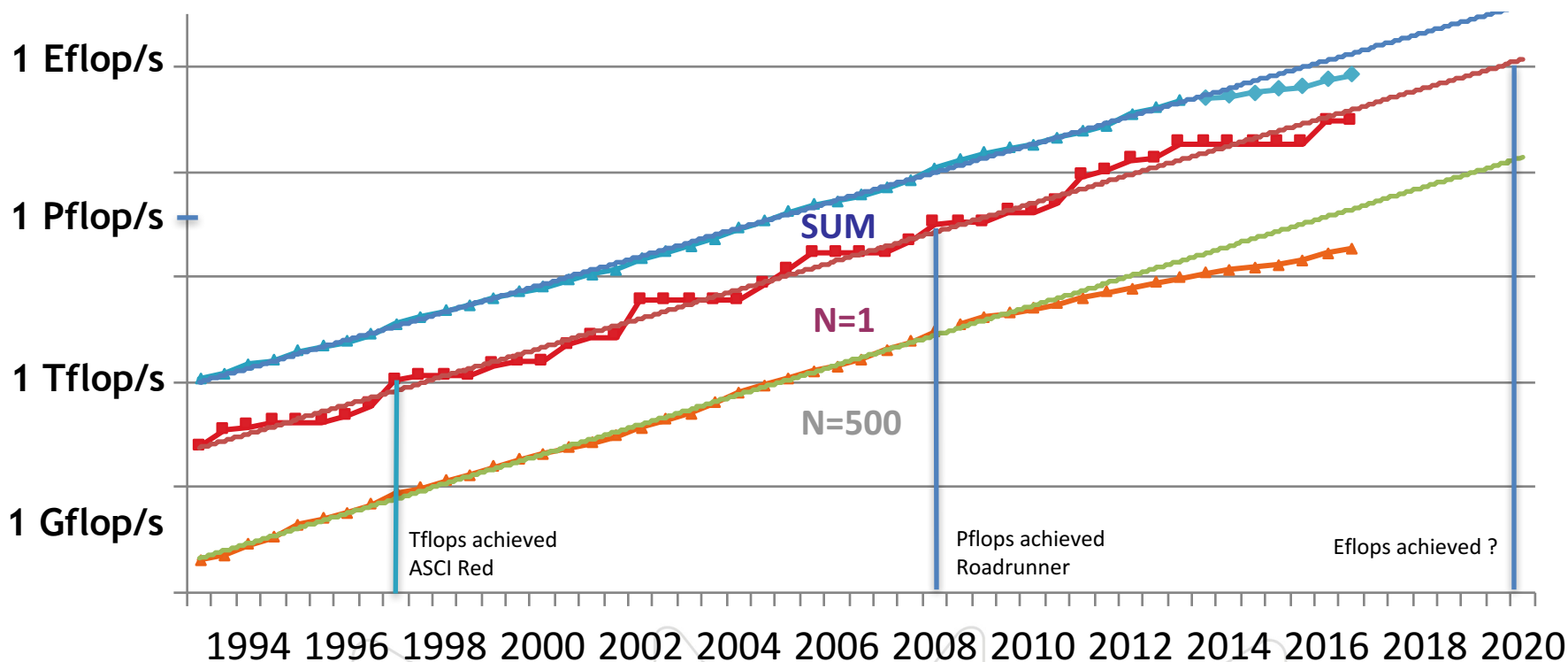


中国 太湖之光
2016. 93Pflops

“并行”是通往超级计算的唯一途径



Top500性能增长的趋势



千倍定律
超级计算机的速度每十年提升千倍

超级计算机的特征

某一时代性能最高的系统，服务于国家战略目标

○ 运算速度超级快

○ 存储容量超级大

○ 占地面积超级大

○ 能耗超级高

○ 造价超级贵

Meta → Gega → Tera → Peta → **Exa**
 $10^6 \rightarrow 10^9 \rightarrow 10^{12} \rightarrow 10^{15} \rightarrow 10^{18}$

100-1000 m²

~10 MW

~Billion RMB

其关键技术迅速辐射到其它应用领域，推动
国民经济建设、科学技术进步与人类社会发展



超级计算机的发展

◎ 高性能计算是战略性、前沿性的高技术

- 国家创新体系的重要组成部分
- 产生原始创新和高端技术，影响下游产业

国际态势

◎ 美国长期保持领先优势

- 顶级水平超级计算机，TeraGrid, XSEDE等高性能计算基础设施
- 应用面广，水平高，国家计划持续支持，如最近的NSCI

◎ 日本多年紧随美国

- K-Computer，HPCI日本国家计算基础设施，国家持续投资

◎ 欧盟在基础理论、低功耗超级计算机、应用方面有优势

- 低功耗E级计算机研究，欧洲PRACE高性能计算基础设施
- 大规模仿真应用，欧盟协调主要成员国的力量

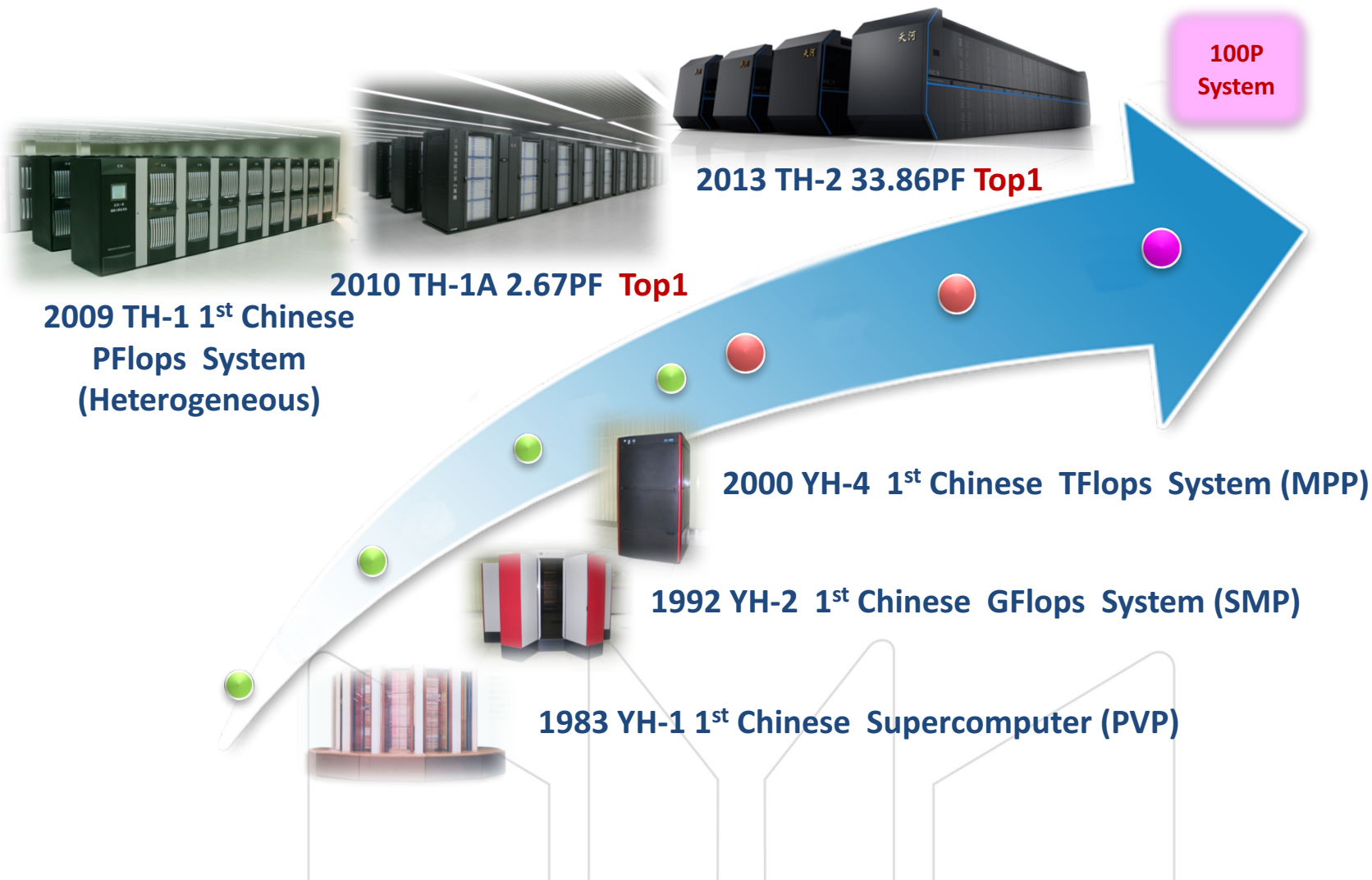


超级计算机的发展

中国国家863计划的持续努力

- **2002-2005年：高性能计算机及核心软件(863重大专项)**
 - 强调资源共享与协同工作，以网格支持多领域应用
 - 成功研发10万亿次量级计算机和中国国家网格实验床
- **2006-2010年：高效能计算机与应用服务环境(863重大项目)**
 - 性能结合开发效率、程序可移植性、系统的鲁棒性等
 - 强调机器、环境、应用三位一体的发展，强调环境的服务特征
 - 成功研发千万亿次量级计算机天河一号，建立国家高性能计算服务环境
- **2010-2016年：高效能计算机及应用服务环境(863重大项目)**
 - 强调环境新的运行模式和机制，探索建立计算服务业的途径
 - 发展应用社区，更好地支持应用
 - 研制世界领先的计算系统：天河二号、神威·太湖之光

银河天河系列超级计算机



科学计算/大数据处理软件栈

HPC 应用

领域编程框架

并行程序运行支持系统

编译系统 并行文件系统 通信系统

操作系统

编程框架

结构网格

非结构网格

三维组合几何

有限元计算

由领域专家主导研发

由计算机专家主导研发

运行时系统

数据管理结构

执行模型

调度模型

容错功能

性能分析

性能	54.9PFlops / 33.86PFlops
系统	16000结点, 1.4PB内存
机柜	125+8+13+24=170
能耗	17.8 MW (1.9GFlops/W)
制冷	密闭水风冷

天河二号系统



TH-2 系统

机柜
(8 x 机柜)

TH-Net

APM

Phi
#48000

IVB

#32000

FT-1500
#4096

CPM

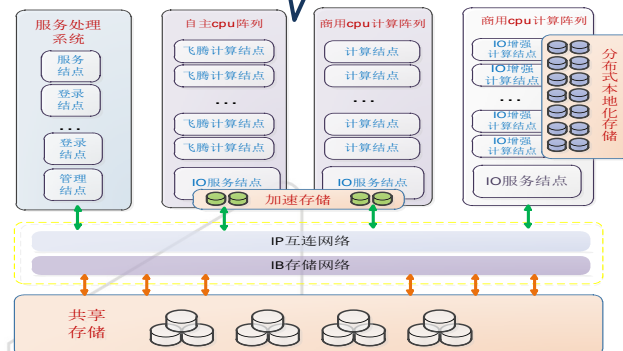
计算主板



ION

机柜
(16 x cn)

全系统320万核



大规模混合层次式并行存储系统 12.4PB

● 天河二号的创新

- 异构多态体系结构
- 自主定制互连网络
- 层次式加速存储架构
- 高效自治的软件栈
- 高密度高精度结构工艺



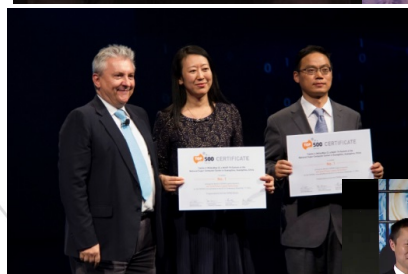
● 世界超级计算机Top500排行榜 “六连冠”

破世界纪录

2013.6~2016.5

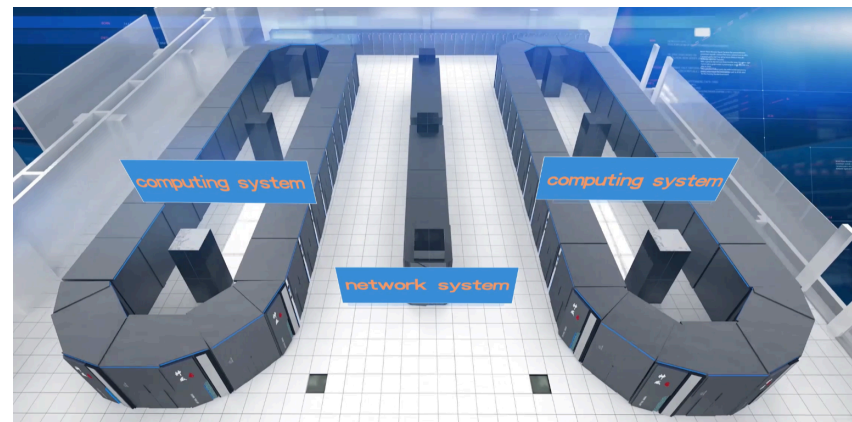
● 世界共轭梯度HPCG排行榜 “五连冠”

2014.6~2016.10



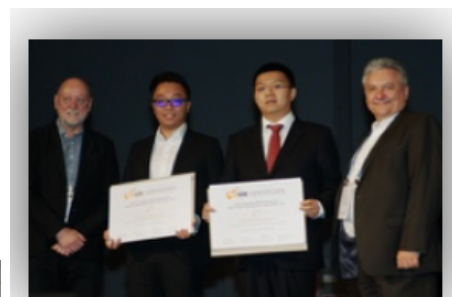
● 神威太湖之光

- 采用**国产申威众核处理器**
- 全系统4万个结点，1000万核
- 峰值性能12.5亿亿次 / 秒，
Linpack 9.3亿亿次 / 秒
- 能效比 6GF/W
- 装备国家超算无锡中心



● 世界超级计算机Top500排行榜 “三连冠”

2016.6~至今



神威众核处理器

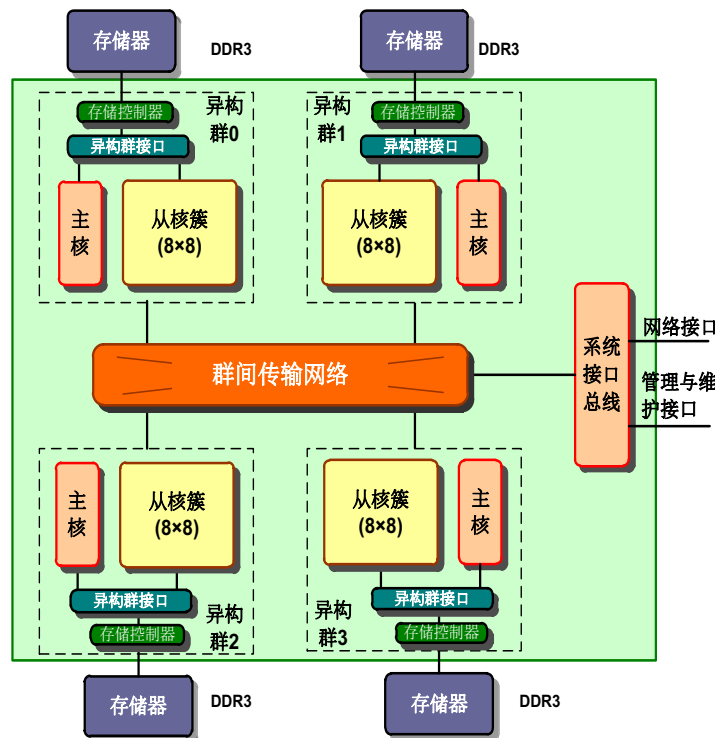
- 核心工作频率：1.5 GHz
- 双精度浮点峰值运算速度：3.0 Tflops
- 工艺：28nm
- 采用异构众核架构，芯片集成260个运算核心，集成存储控制器和网络接口

主核 (MPE) 64-bit RISC core

- support both user and system modes
- 256-bit vector instructions
- 32 KB L1 instruction cache, and 32 KB L1 data cache
- 256 KB L2 cache, 8x8 CPE mesh

从核(CPE) 64-bit RISC core

- support only user mode
- 256-bit vector instructions
- 16 KB L1 instruction cache, and a Scratch Pad Memory (SPM)



戈登.贝尔奖—超高可扩展大气动力学算法研究历程

进程级并行 : $O(10万)$
线程级并行 : $O(100)$

[2016 GB 奖]:
三维非静力模式
1060万SW核
神威太湖之光

[2014 IPDPS]:
全球浅水波模式
159万CPU-MIC核
1.63 PF / 天河二号

[2011 JCP]:
全球浅水波模式
8万CPU核
天河一号

[2015 ToC]:
三维非静力模式
119万CPU-MIC核
1.74 PF / 天河二号

[2013 PPOPP]:
全球浅水波模式
10万CPU-GPU核
0.8 PF / 天河一号

[2010 SISC]:
全球浅水波模式
2千CPU核
蓝色基因L

2007:开始



 隐式求解器
 显式求解器

——中科院软件所杨超提供

- 中国超算走出了自主创新的跨越式发展之路
- 获得了国际超算领域的话语权
- 推动了我国超算应用水平的提升
- 国家科技计划与地方、应用部门的发展计划相结合
 - 多渠道筹资研制高效能计算机
 - 科技部和地方政府共同支持建立国家超算中心
- 机器、环境、应用三者均衡发展，相互促进

○ 气候环境

○ 天文物理

○ 新型能源

○ 材料化工

○ 航空航天

○ 工程设计

○ 石油勘探

○ 生命科学

.....

○ 智慧城市

○ 金融分析

○ 互/物联网

○ 智能交通

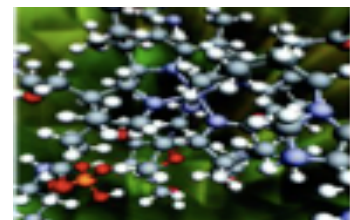
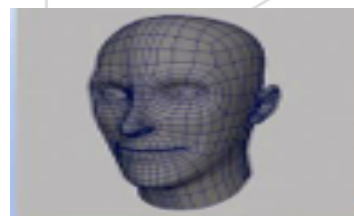
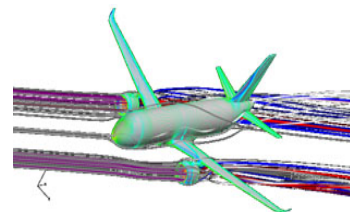
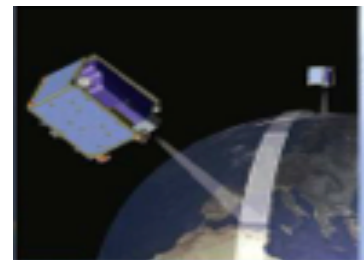
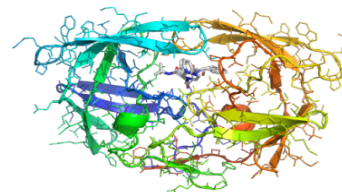
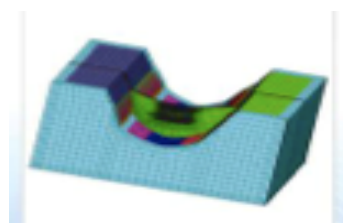
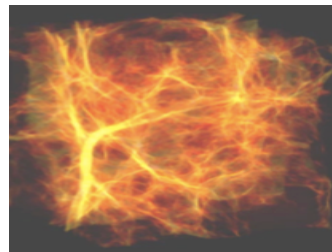
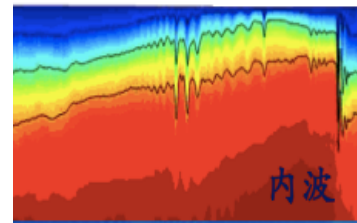
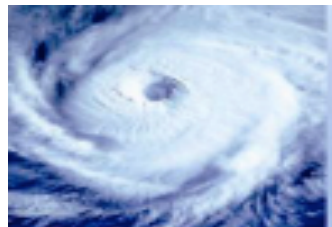
○ 动漫渲染

○ 人工智能

○ 测绘分析

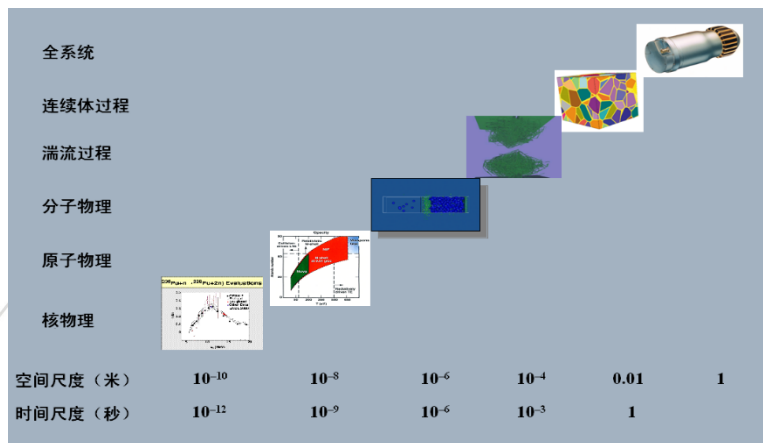
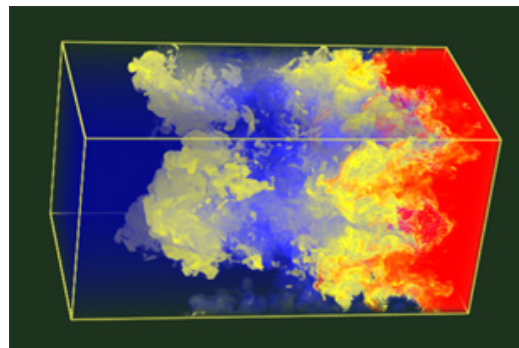
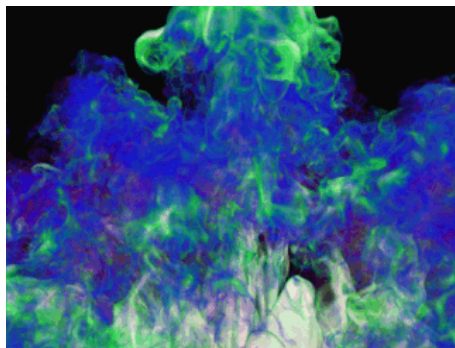
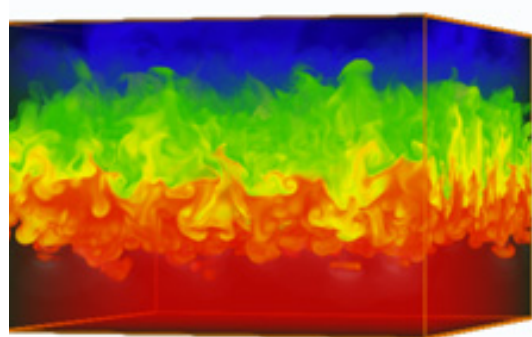
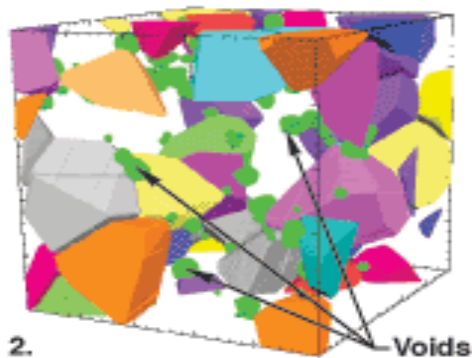
○ 精准医疗

.....



复杂物理问题

- 数值模拟核反应全过程
- 爆轰流体力学、辐射流体力学和辐射与中子/ γ 光子输运三类方程
- 多介质、多区、多尺度
- 高温高压、高压缩比、大变形等极端物理现象
- 多物理过程紧耦合的非线性、非定常的大型系统
- 全局二维和局部三维计算需要每秒百万亿次至万万亿次计算能力
- 高逼真度、三维计算需要每秒百万万亿(10^{18})次计算能力

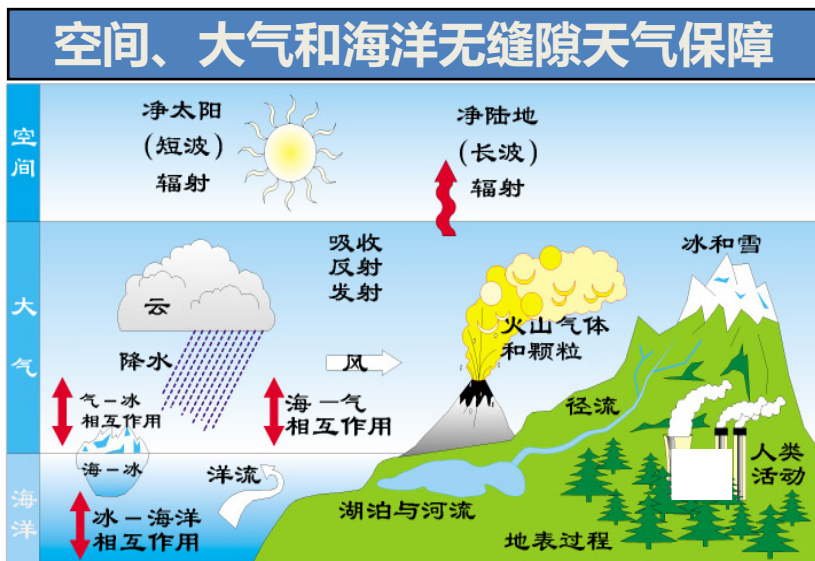
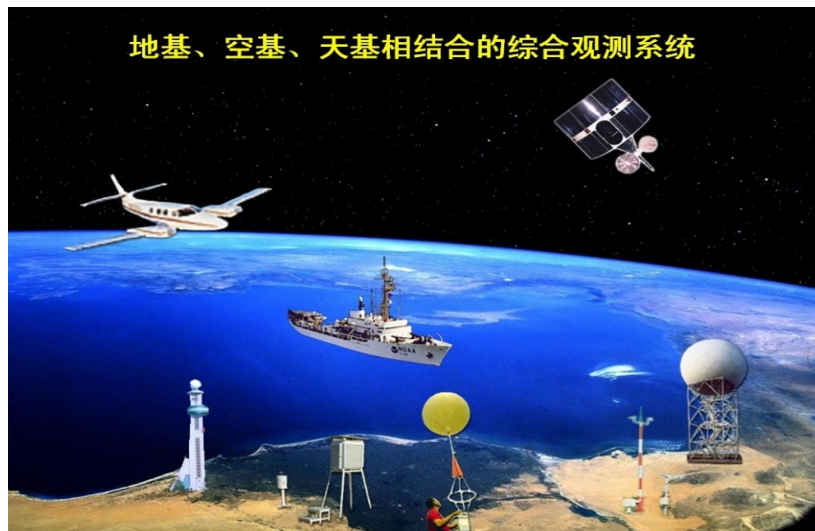


数值天气预报

— 预报模式应能分辨或准确模拟大气运动的各种过程，大气运动过程的尺度从 10^{-6} 米到 10^7 米，跨越13个量级

— 模式由不可分辨的大气运动过程造成，主要由模式有限的分辨率产生，由离散网格点代替连续时空的计算方法都会带来一定误差

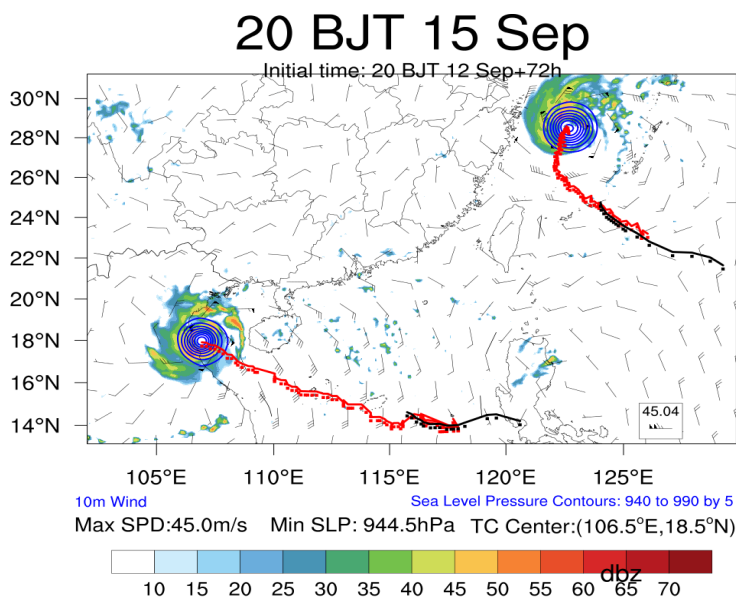
— 分辨率提高1倍，总计算量将提高16倍，与空间计算相关的计算量将提高8倍，时间积分的步长相应地减小1倍



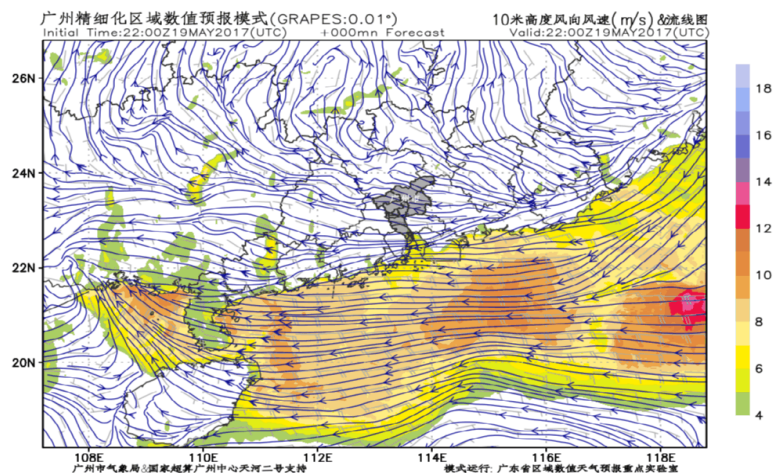
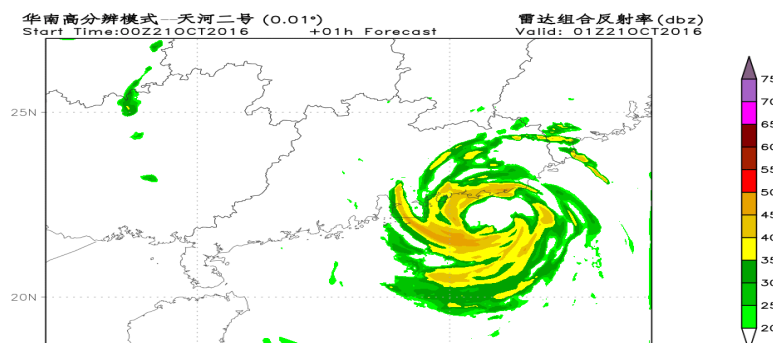
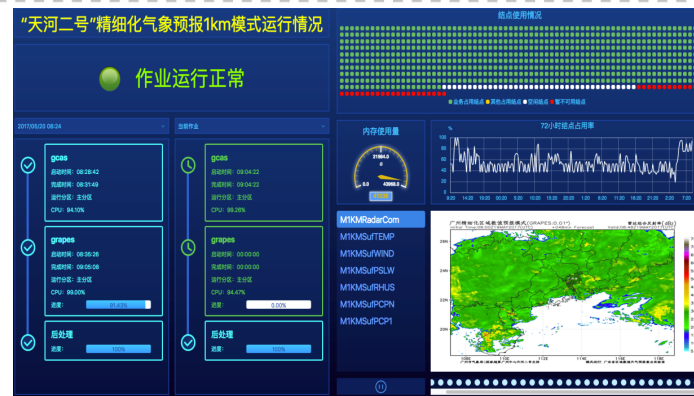
天河2号应用：大气海洋环境

广州市气象业务预报系统

- 实现气象预报在超算中心业务级运行
- 3公里模式每天运行4次
- 1公里模式每小时运行5次
- 极大提升高分辨短临数值天气预报能力



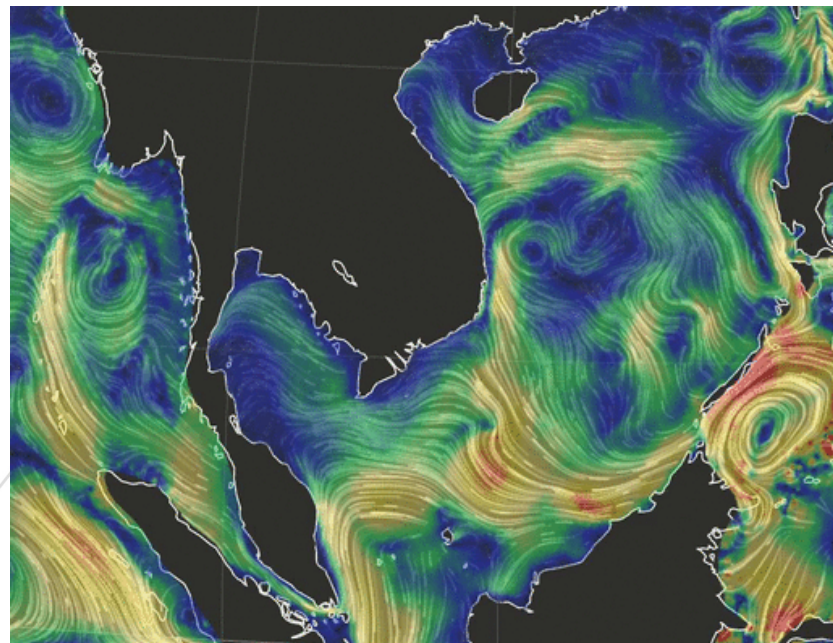
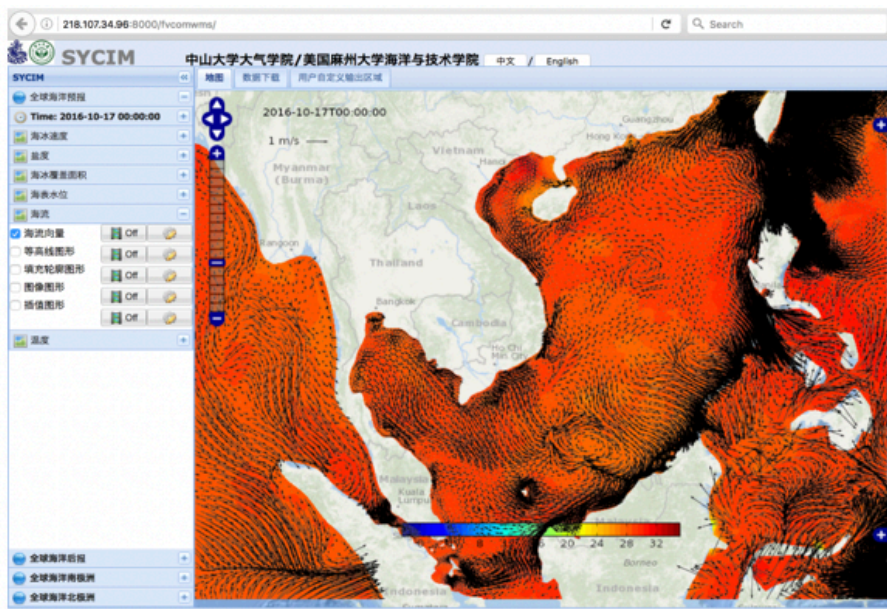
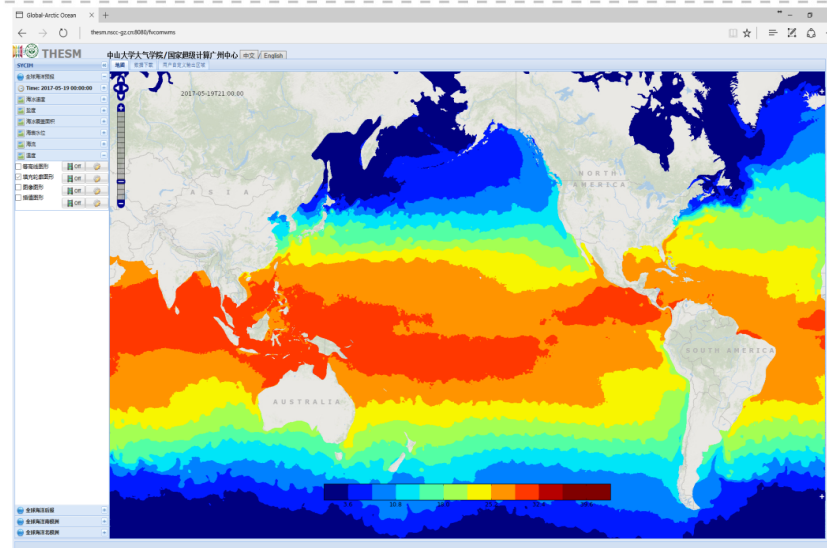
SYSU-ReMAPS
@ TH-2



天河2号应用：大气海洋环境

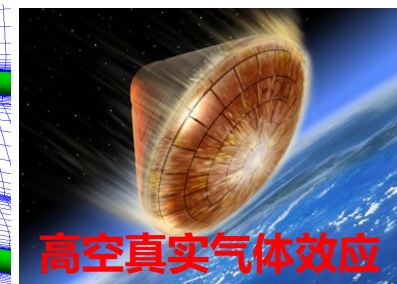
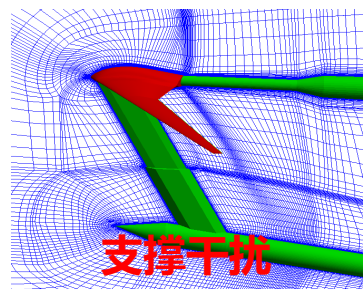
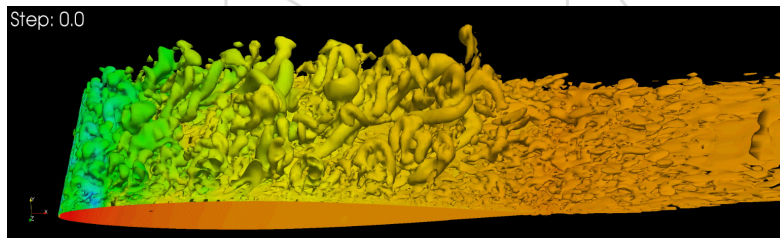
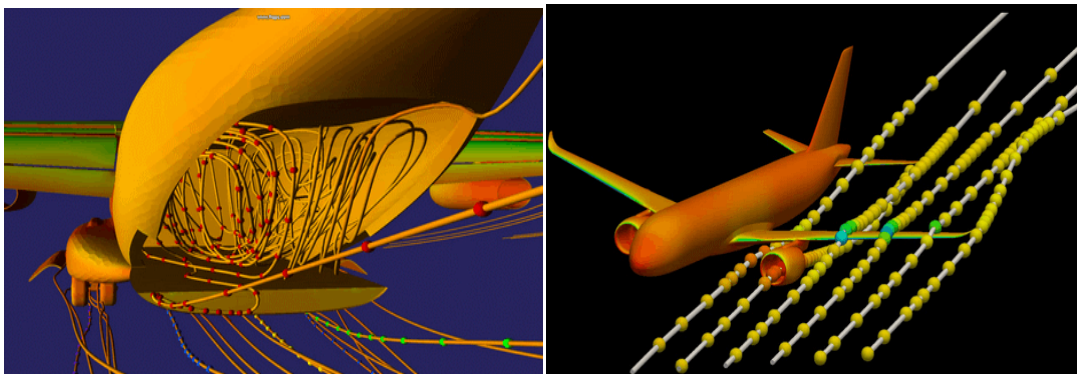
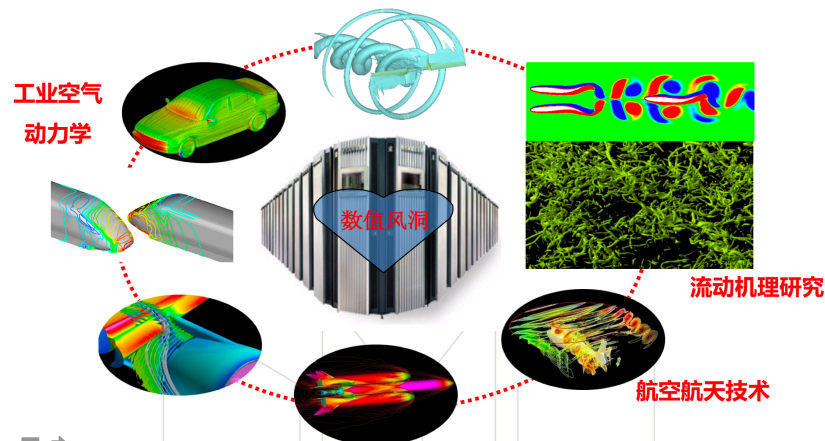
新一代多尺度海洋模型

- 海洋动力学，台风预报，污染物赤潮预警
- 25分钟完成全球未来10天海洋模拟，首次耦合南北极海冰及海岸因素，全面揭示全球气候变化带来的环境影响



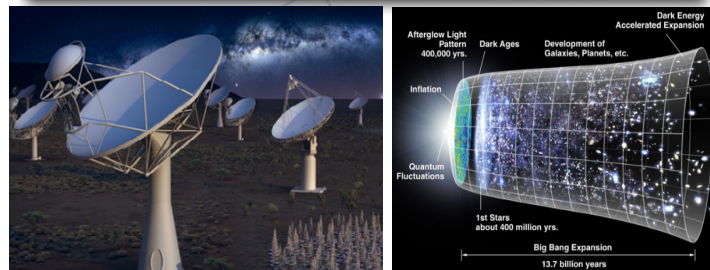
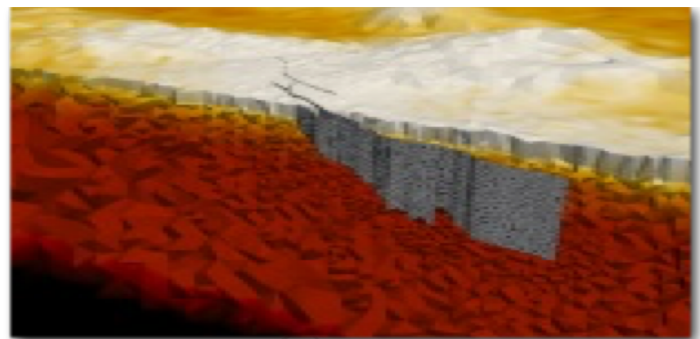
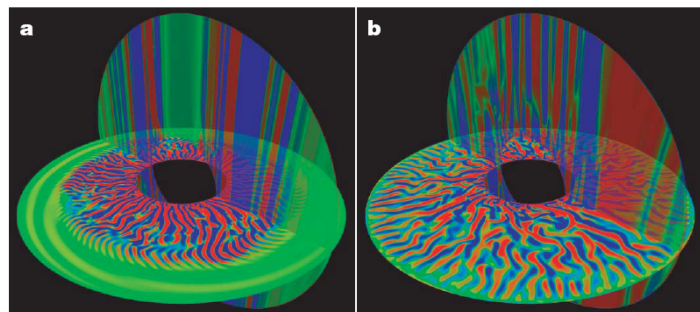
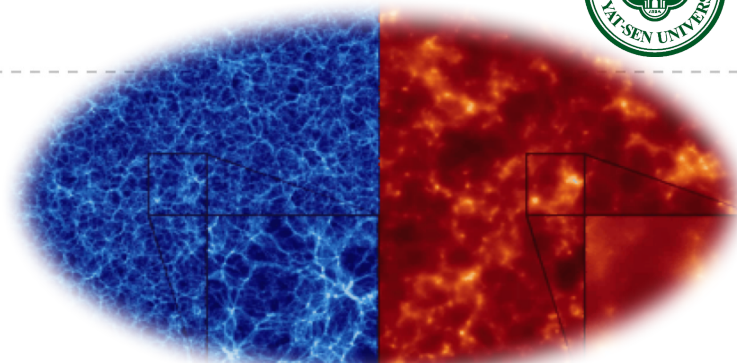
天河2号应用：航空航天

- 数值风洞
- 国产大型运输机
- 国产大型客机
- 航空发动机



天河2号应用：天文地理

- 中微子对宇宙大尺度结构演化的影响
 - ✓ 国际上目前规模最大的中微子宇宙尺度演化模拟 (Nature Astronomy)
- 地核地幔的流体力学模拟
 - 对判断星球能否成为可居住行星有重要指导意义
- 大规模地震模拟
 - 大规模地震模拟应用Seissol，入围2014年国际高性能计算应用领域的最高奖 - GordonBell奖 (中国首次)
- 平方公里射电望远镜阵列SKA项目
 - 国际大科学合作项目 (12国)
 - ✓ 国际上迄今为止规模最大的SKA数据处理软件部署



天河2号应用：工业设计制造

● 南车高速列车

- 外型设计、高体爆波设计

● 广汽集团车身侧面碰撞模拟

- 精度达到85%以上

● 广船万吨排水量船舶数值水槽

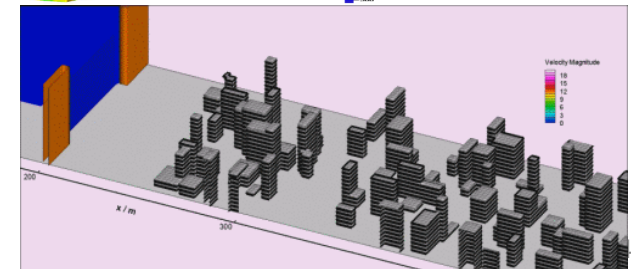
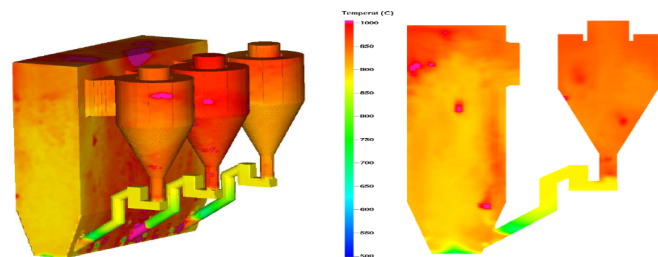
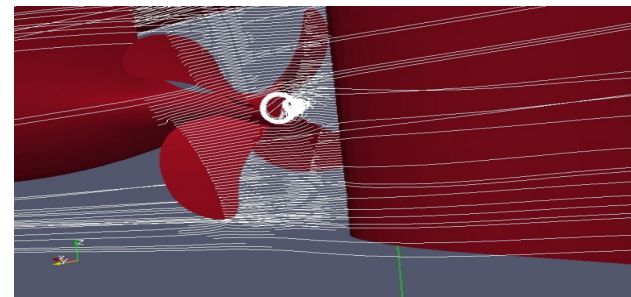
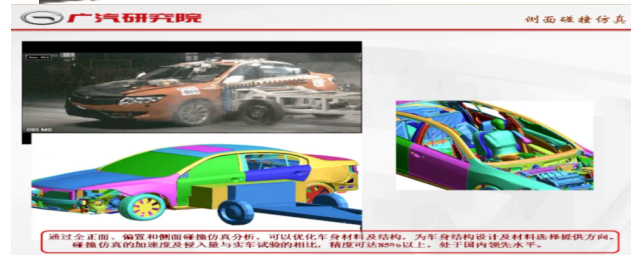
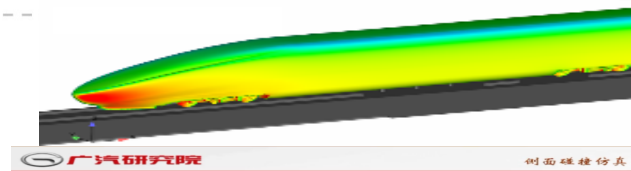
- 自主推进，缩短设计周期，降低研发成本

● 大型循环流化床锅炉全热态模拟

- 对大型锅炉进行“CT扫描”、对锅炉设计、提高燃烧效率，控制有害气体排放有重要指导意义

● 三维溃坝水流精细仿真模拟

- 突破混凝土坝溃决机制离散元模拟在实际大型水利工程应用的效率瓶颈



天河2号应用：新能源新材料

风电设计全生命周期

- 风机设计-全球风资源预测-风力发电机组选址优化-风电场项目评估

纳米材料研究

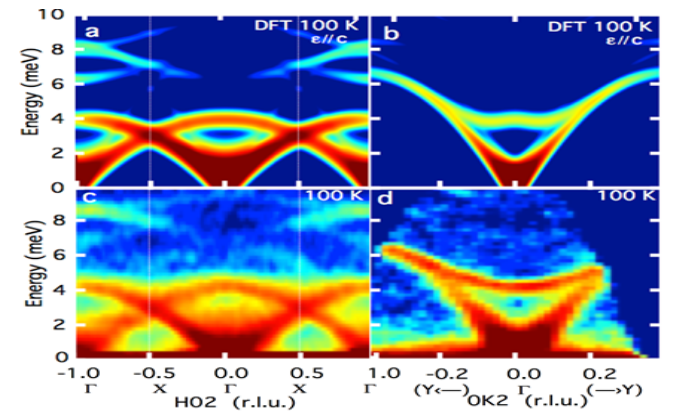
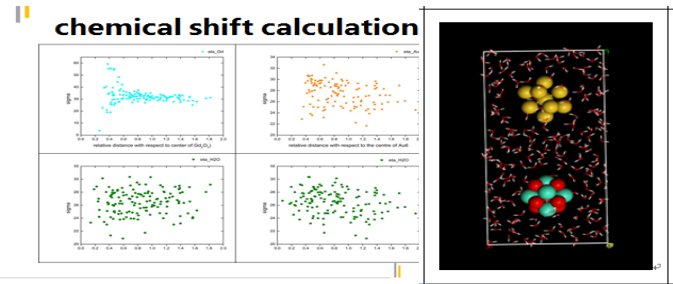
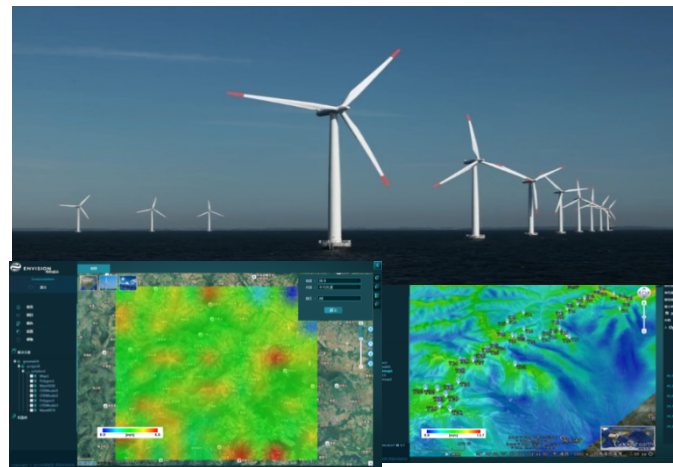
- 基于介孔硅的核磁荧光双模态靶向纳米探针机理研究及制备，用于癌症检测

量子材料高压相变研究

- 预言并在高压下合成新型Weyl半金属
- 确定量子材料 ZrTe_5 高压下的超导相结构

先进功能材料与能源材料研究

- 首次获得金属绝缘体相变材料 VO_2 完整的温度相关的声子色散关系，**Science**
- 与散裂中子源、同步辐射源等国家重大科技基础设施运行单位深度合作，加速科研成果产出



天河2号应用：生物医药健康

高通量虚拟药物筛选

- 一天完成4千万分子化合物的抗病毒药物筛选，埃博拉，寨卡

国际上目前最快的已知化合物筛选

人类基因组测序

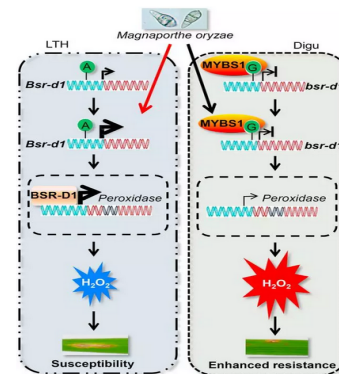
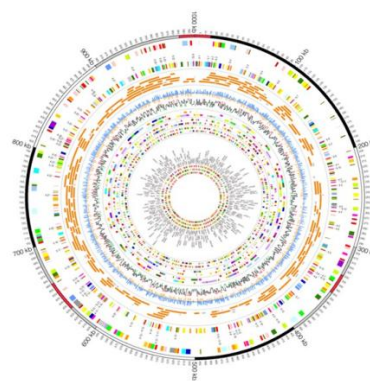
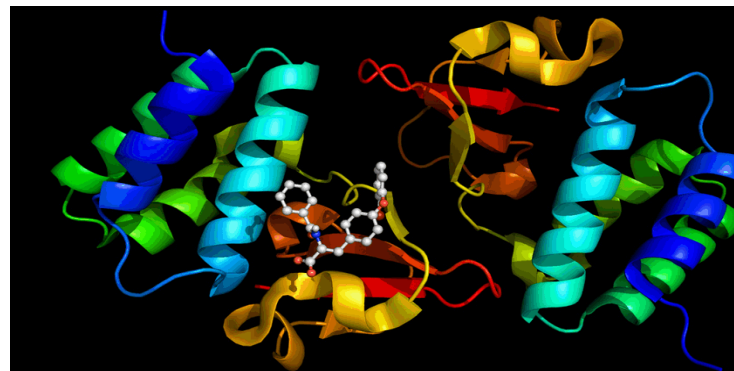
- 2000人基因组深度测序，8个月->8小时

第三代测序数据组装复杂基因组测序

- 全球首个第三代测序技术的亚洲人参考基因组，华夏一号 (Nature)
- 1个月>1天以内，临床可行性

水稻全基因组数据关联分析

- 发现了对稻瘟病具有广谱持久抗性的水稻天然变异位点
- 发表在2017年6月29日《Cell》主刊



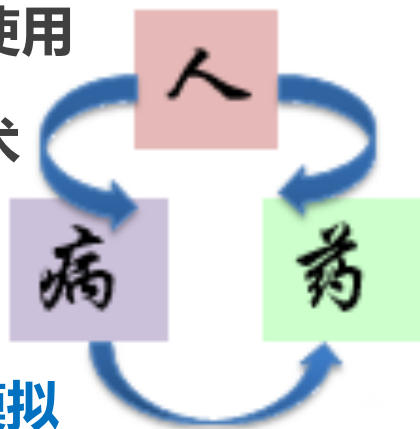
天河2号应用：生物医药健康

精准医疗技术

- 基因测序技术的飞速发展
- 超算技术、大数据存储分析

技术的广泛使用

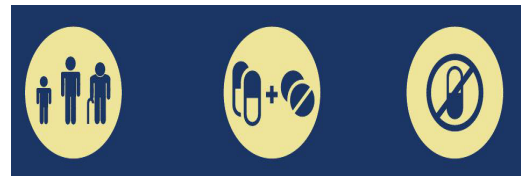
- 医学前沿技术



- 组织器官的模拟
- 药物研发
- 人类基因组相关研究
- 人工智能医生

短期目标：癌症治疗

- 靶向抗肿瘤药物的试验
- 多种药物联合疗法的有效性
- 抗药性产生的原因和克服方法



长期目标：健康管理

- 建立百万人级别的数据库
 - 基因数据, 生物样本
 - 电子健康记录, 生活饮食信息
- 基于这些数据开展研究
 - 药物基因组学
 - 疾病预防
 - 基因编辑



天河2号应用：智慧城市

广州市无线电监测中心

- 170个监测站点
- 每天200G~流量

广州市道路卡口监控

- 2026条道路，每天3T的存储

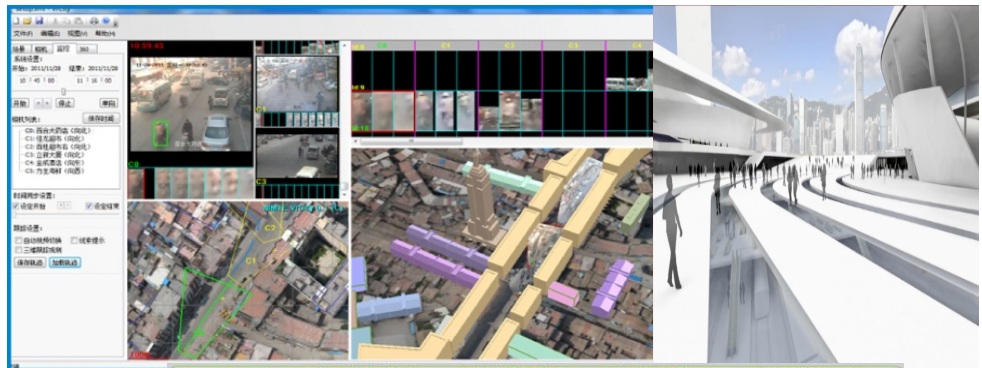
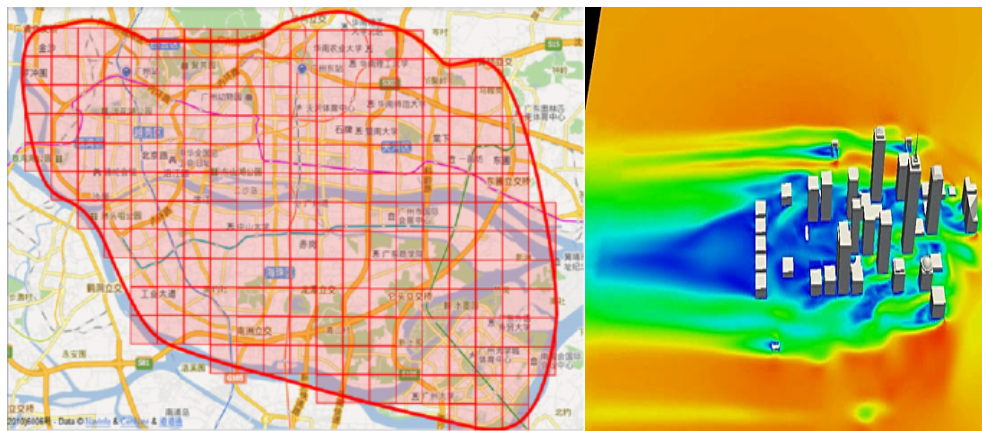
广州市地铁交通数据

- 日均客流600多万

教育信息公共服务平台

金融风险分析

- 千万级投资组合的多维度市场风险分钟级准实时计量



天河2号应用：文化创意设计

专业渲染云

- 影视、动漫，互动/游戏，建筑/视觉
- 中国最大渲染平台
- 电影50部+，动画4万多分钟
- 注册用户400万个、企业用户4万家

3D家居设计云平台

- 家居设计→3D渲染→VR体验
- 3分钟得到全屋720°全景图
- 国内外25万终端用户，每月215万张设计图



天河2号应用：大数据与AI

- 医疗健康
- 金融行业
- 互联网
- 安防行业
- 公安行业
- 石油勘探
- 智能家居
- 数据分析
- 工业制造

无人机 / 机器人
/ 自动驾驶

深度学习应用行业越来越广



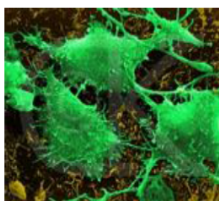
Deep Learning Fueling Science



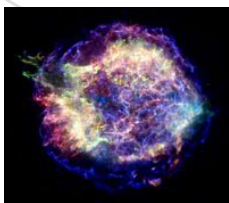
Earth Model



HP-Engine simulation

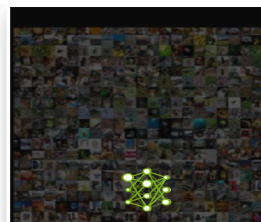


Fully-coupling Cell simulation



Supernova evolution simulation

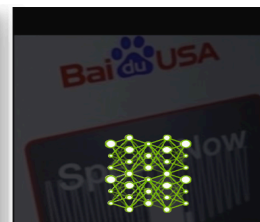
7 ExaFLOPS
60million P



2015

Microsoft ResNet
Superhuman Image
Recognition

20 ExaFLOPS
300million P



2016

Baidu Deep Speech 2
Superhuman Voice
Recognition

100 ExaFLOPS
8.7billion P

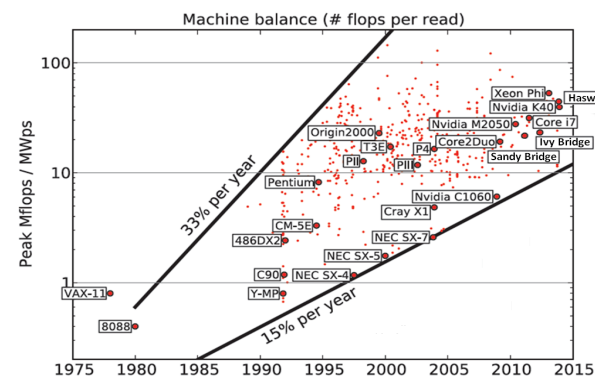
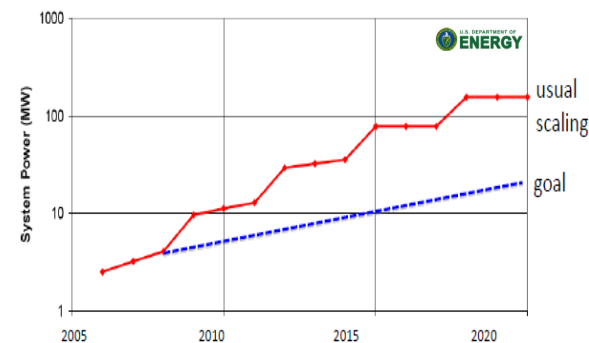


2017

Google Neural
Machine Translation
Near Human
Language Translation

技术挑战 (PSPR)

- 高性能 (Performance)
 - 可扩展 (Scalability)
 - 低能耗 (Power consumption)
 - 可靠性 (Reliability)
-
- 能效指标是E级计算机的最大技术障碍
 - 在性能、功耗和可编程三者之间权衡
 - 不片面追求高能效而牺牲可编程性
 - 均衡访存计算比
 - 解决超大规模计算系统的可靠性和长期稳定运行问题
 - 解决系统的应用适应面和高应用效率问题



体系结构新思路

- 发展应用特征感知的体系结构，减少数据存取和传输等耗能操作

存储系统新思路

- 大容量、低时延、高带宽存储体系结构

高能低耗互连新思路

- 适应E级系统需要的高可扩展性

E级计算的可靠性

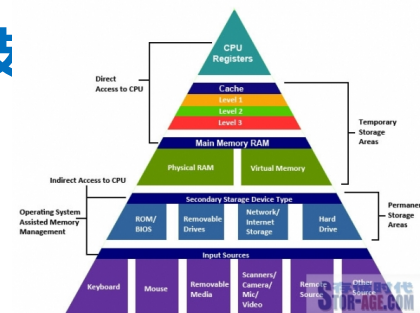
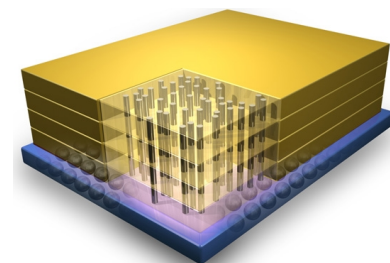
- 保证超大规模系统稳定可靠运行，跨软件栈综合容错技

并行编程新思路

- 异构并行编程，以系统的观点来解决

建模方法和并行算法

- 加强数学方法—计算机算法—面向体系结构的算法研究，实现全链条创新
- 围绕基于国产处理器的系统，研发系统软件、工具软件、应用软件，建立国产处理器应用的生态环境



目标与定位：具有中国特色的世界一流超算中心

大科学

大工程

新产业

科学研究平台

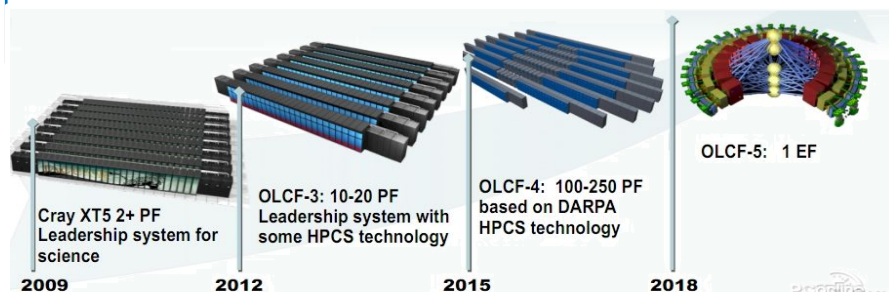
技术创新平台

交流合作平台

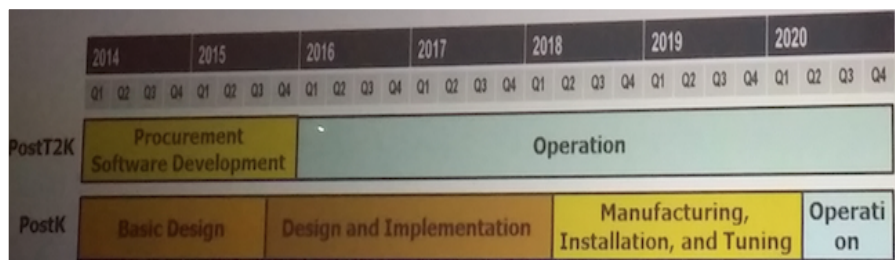
学科建设平台

人才培养平台

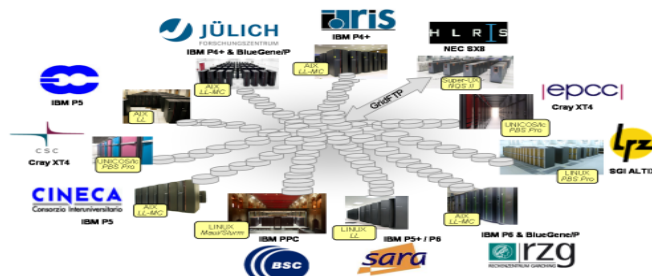
美国将E级计算列为21世纪美国最主要的技术挑战，实施了UHPC、ASCR、IESP、Coral，NSCI等计划



日本HPCI计划，近期推出Post T2K和Post K计划，2020年推出E级系统



泛欧成员机构发起了DEISA 计划，G8科学研究理事会也提出了E级计算计划EESI, PRACE, Horizon2020



俄罗斯：“2012-2020俄罗斯E级技术发展”计划，2020年前实现E级计算机
印度：计划加大投入旨在建成世界最快的高性能计算机

中国：十三五国家重大研发计划
高性能计算专项

3台pre-E级系统，1-2台E级系统
数值反应堆，数值发动机，数值风洞
数字地球，数字人体.....

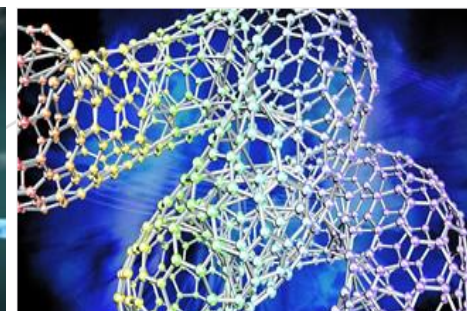
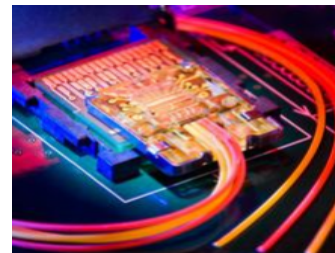
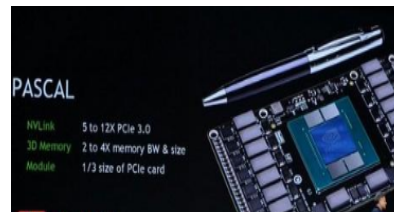
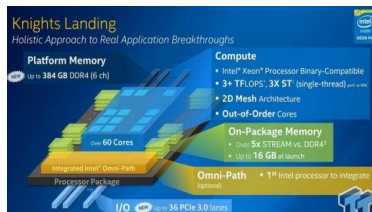
高性能计算与大数据处理融合发展

- 超算体系结构和存储架构协同设计
- 应用软件与系统软硬件协同设计
- 应用模型的多模式流程协同设计
- 超算中心局域与广域环境协同设计
- 交叉学科人才的协同培养
- 超算与大数据生态环境的协同构建



拥抱新技术，迎接新挑战

- 多核/众核处理器
- 新型存储介质
- 光互连网络技术
- 领域应用模型
- 软件定义系统
- 量子计算
- 纳米计算
- 生物计算



我的超算之路

- 承担责任，团队合作
- 创新思维，放大格局
- 坚持不懈，迎接挑战
- 追求完美，温良平和

成功是成功之母！

谢 谢

开放、合作、创新、发展

