



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY



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

超级计算机原理与操作

任课教师：吴迪、杜云飞

教师信息

- ◉ **主讲教师：吴迪 教授**
- ◉ **个人主页：** <http://netlabsysu.org/dwu>
- ◉ **研究方向：** 并行分布式计算、边缘计算、分布式学习
- ◉ **课程网站：** <https://easyhpc.net/course/101>
- ◉ **联系方式**
 - Email: wudi27@mail.sysu.edu.cn
- ◉ **助教：王臣**
 - Email: wangch287@mail2.sysu.edu.cn

课程简介

- **课程对象：** 没有接触过超级计算机的学生
- **课程目的：** 讲解超级计算机的基本原理和基本操作知识
- **修这门课需要的预备知识**
 - 对计算机的组成有一定的概念（有修过计算机组成原理更好）
 - C、C++编程
 - 学过线性代数
- **课程考核形式：** 笔试+编程作业（通过课程网站发布）

课程大纲

- 超级计算机的基本概念
- 超级计算机的发展历史
- 超级计算机的基本架构原理
- 超级计算机的基本操作与编程方法
- 超级计算机上的并行计算案例
- 并行程序优化方法

什么是超级计算机？

什么是超级 (Super) ?

联想到什么?
什么是超级?



计算机 vs. 超级计算机



保10洁 vs. 保时捷

Supercomputer = HPC

● *High Performance Computer*
高性能计算机

● 衡量性能的指标是什么？



FLOPS

- Floating-point Operations Per Second

每秒钟进行的浮点计算操作次数

- 世界超算TOP500 排行榜

采用统一的测试集HPL(High Performance Linkpack)

- 33.9 PFLOPS, 54.9 PFLOPS

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

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 100-1000 m²
- 能耗超级高 ~10 MW
- 造价超级贵 ~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**

世界上第一台超级计算机

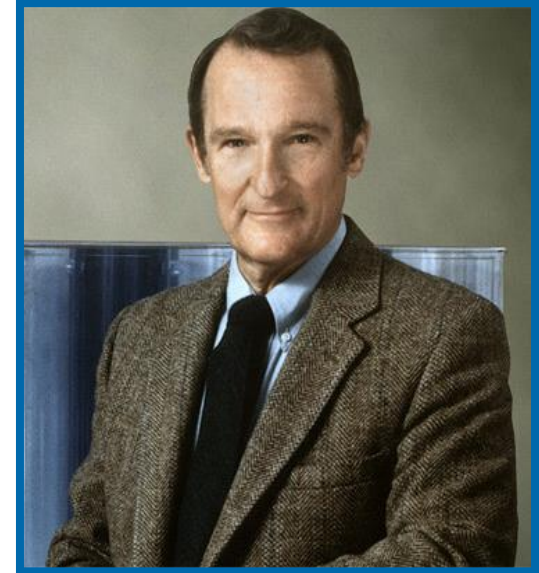
CDC 6600, 1964年

- 约3 MFLOPS
- 性能是当时最快的计算机IBM 7030的10倍
- 价格为800万美元



超算之父 – Seymour Cray

- 超算之父 1925~1996
- 创立了克雷公司，多次研制了世界上最快的超级计算机
- 美国国防部称他为“美国民族的智多星”



"Anyone can build a fast CPU. The trick is to build a fast system."

"Computers should obey a square law — when the price doubles, you should get at least four times as much speed."

超级计算机的发展



Cray-1
1976 160Mflops



Intel ASCI Red
1997年, 1万亿次



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



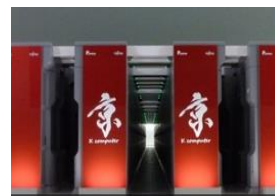
中国 NUDT TH-1A
2010. 4.7Pflops



美国 Cray Titan
2012. 17.6Pflops



Cray T3E
1988年



DT 天河2号

2013. 33.86Pflops



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

40年系统性能增长5.8亿倍

超算发展之路

● 1976,Cray-1

- 向量处理技术
- 射板耦合逻辑电路 (ECL)
- 当时世界上最快的计算机
- 133Mflops,115KW



● 1982, CrayX-MP

- 并行技术
- 四个向量处理器
- ECL器件, 200MHZ, 941MFLOPS
- 液冷技术

超算发展之路

80年代末-90年代，百花齐放

- Stanford DASH
- SGI, Origin
- IBM
- Intel



1997, Intel ASCI Red

超算发展之路

◉ IBM Blue Gene

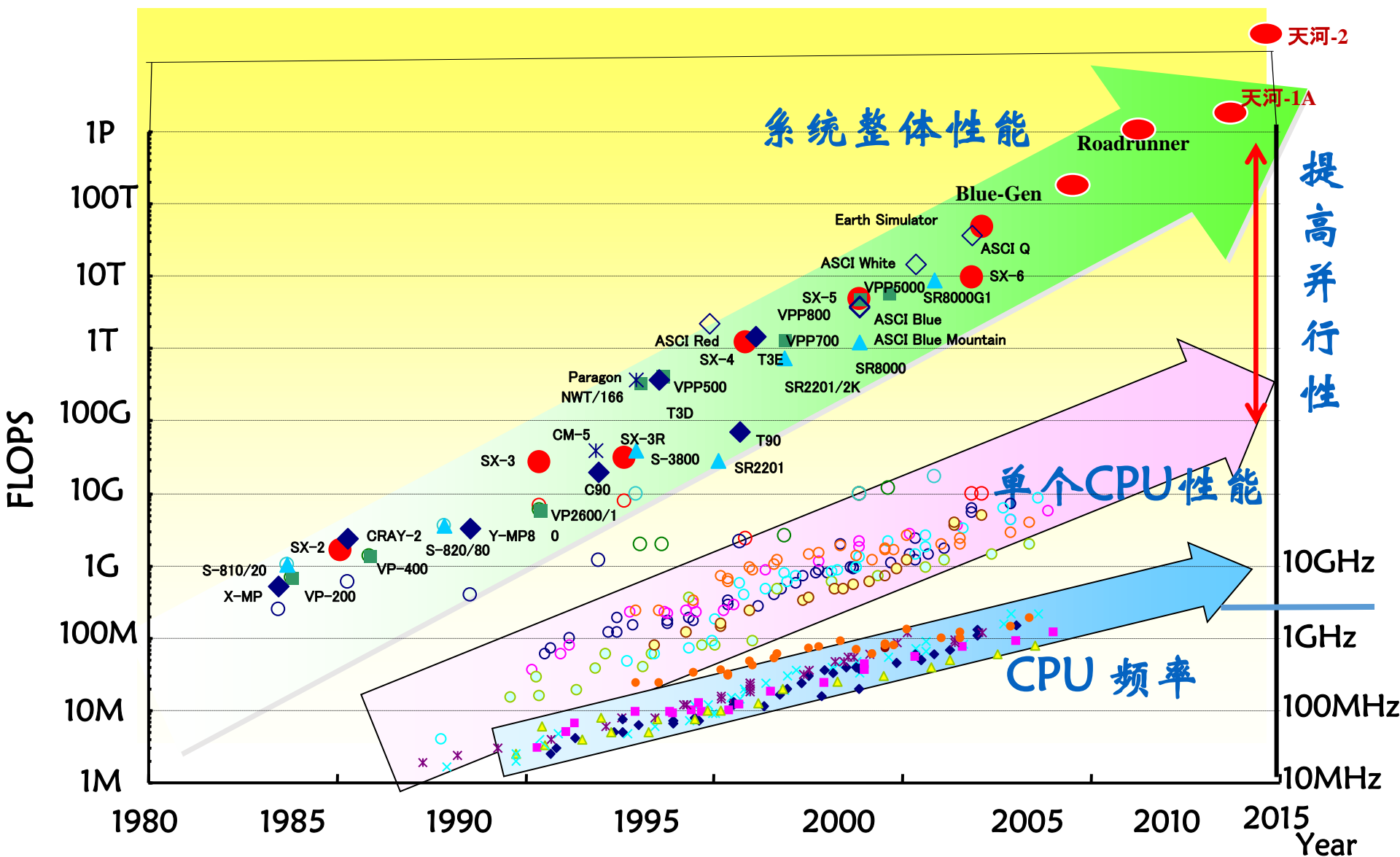
- 2004
- 嵌入式处理器
- 100TFLOPS
- 功耗仅为2.9MW

◉ 天河一号、二号、神威

- 2010开始



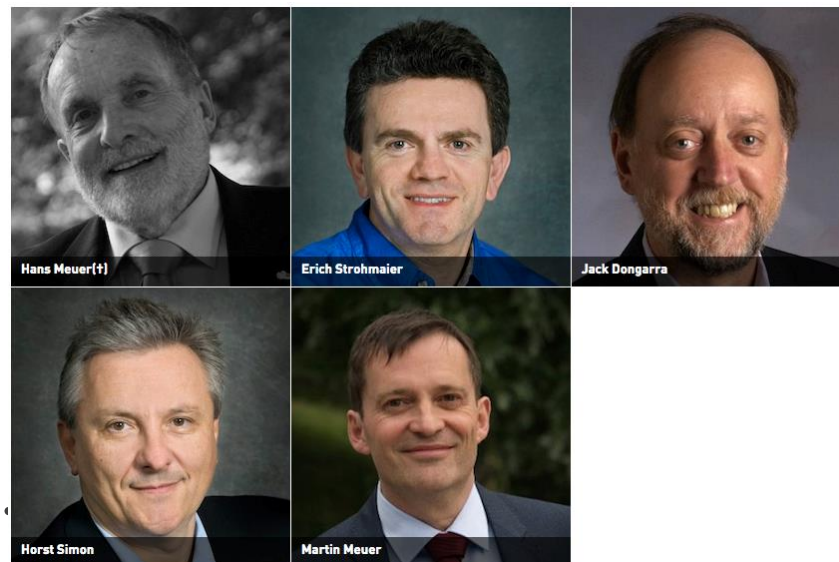
“并行”是通往超级计算的唯一途径



Top500排行榜

◉ Top500--世界超算500强排行榜

- 世界最快的计算机，公开数据，基于Linpack结果
- 每年发布2次，6月德国ISC，11月美国SC
- 1993年开始
- <http://www.top500.org>
- 组织者



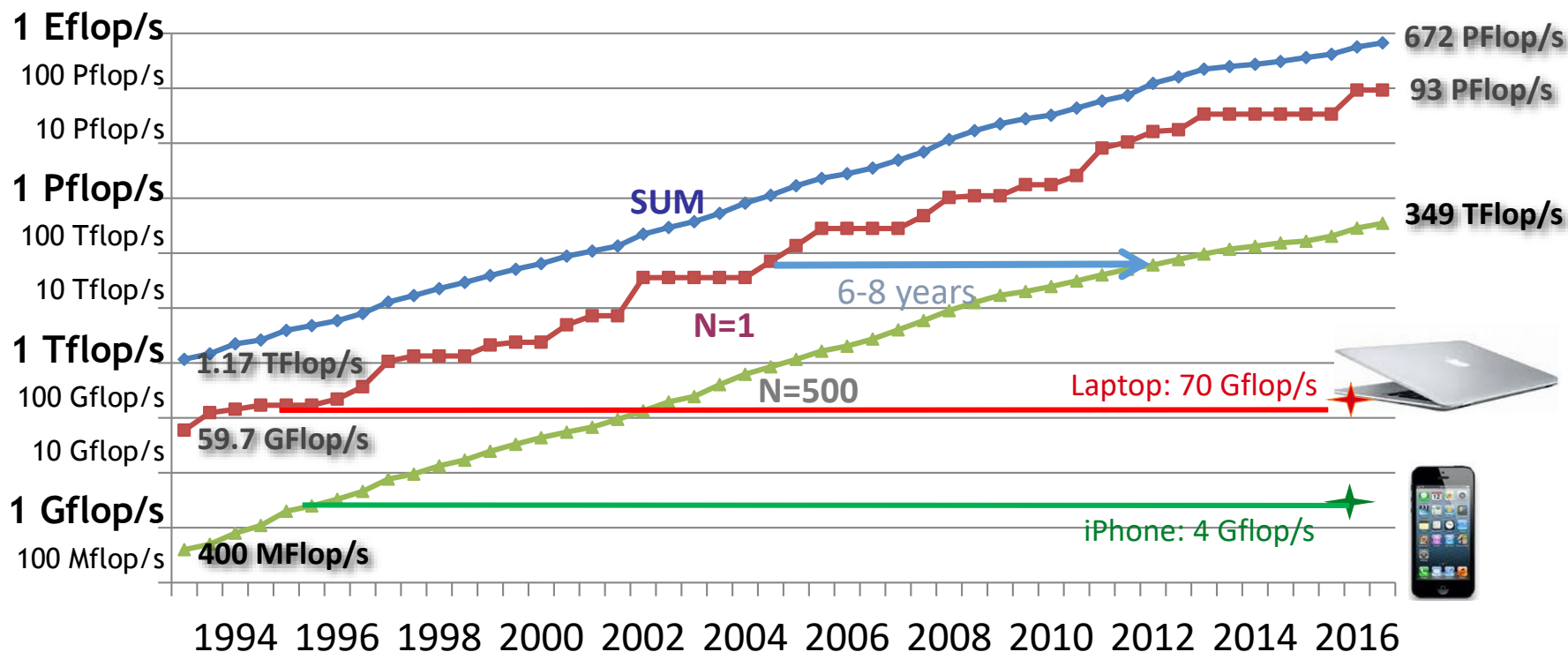
◉ 其他榜单

- Green500, Graph500, HPCG....

Top500排行榜 (2019年11月)

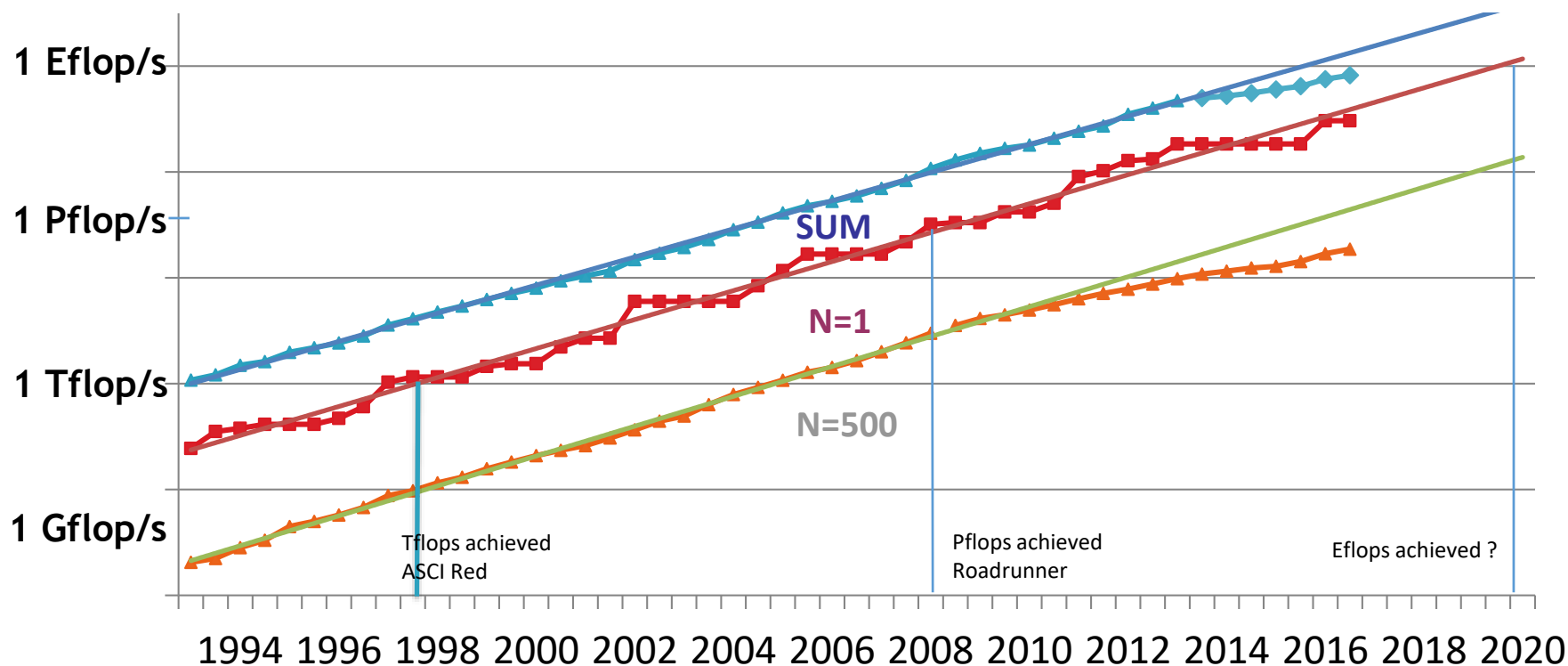
Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband , IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148,600.0	200,794.9	10,096
2	Sierra - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband , IBM / NVIDIA / Mellanox DOE/NNSA/LLNL United States	1,572,480	94,640.0	125,712.0	7,438
3	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway , NRCPC National Supercomputing Center in Wuxi China	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371
4	Tianhe-2A - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz, TH Express-2, Matrix-2000 , NUDT National Super Computer Center in Guangzhou China	4,981,760	61,444.5	100,678.7	18,482
5	Frontera - Dell C6420, Xeon Platinum 8280 28C 2.7GHz, Mellanox InfiniBand HDR , Dell EMC Texas Advanced Computing Center/Univ. of Texas United States	448,448	23,516.4	38,745.9	

Top500性能增长的趋势



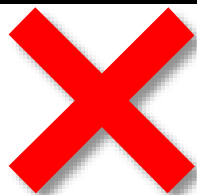
Top500性能增长的趋势

● 千倍定律：超级计算机的速度每十年提升千倍



超级计算机能干什么？

超级计算机能干什么？

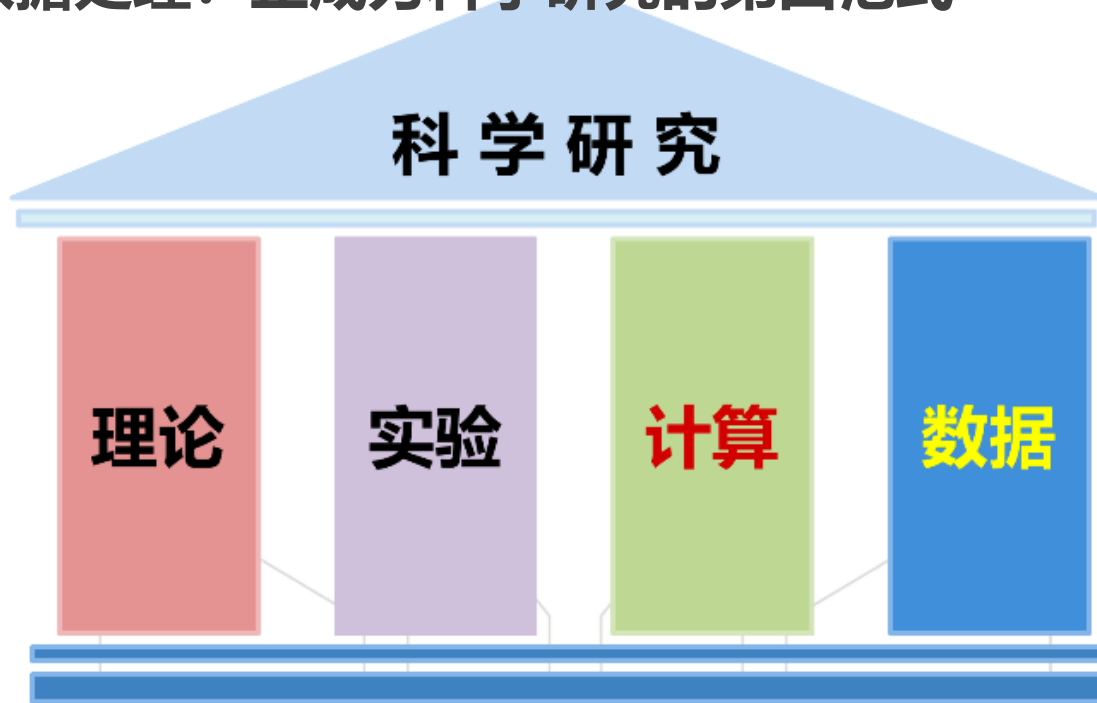




超级计算机能干什么？

● 超级计算机对科学发现、技术创新、产业革命的重要作用

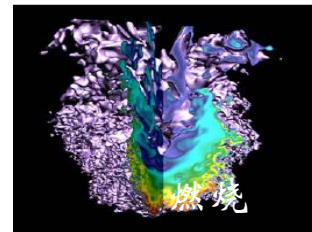
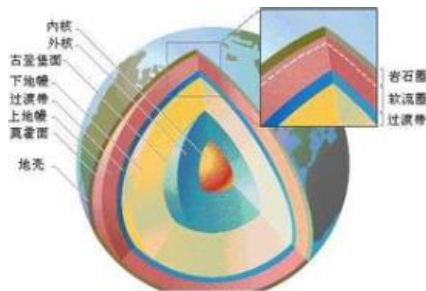
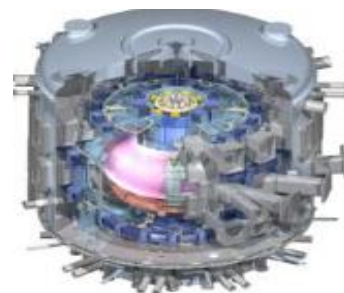
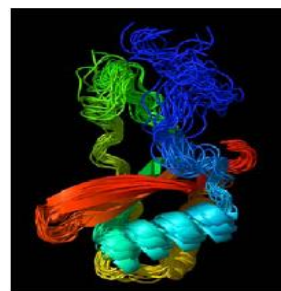
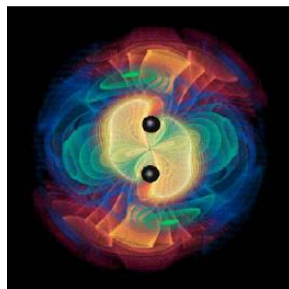
- 高性能计算：是科学研究的三大手段之一
- 大数据处理：正成为科学研究的第四范式



超级计算机能干什么？

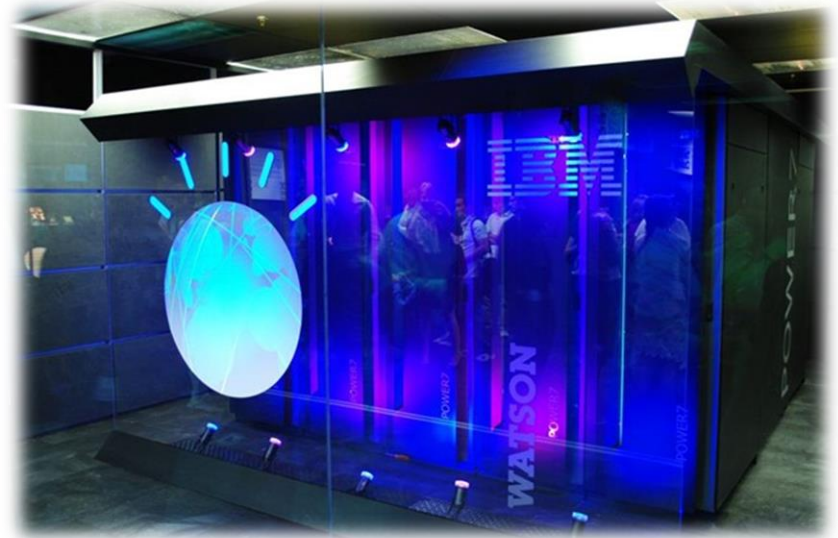
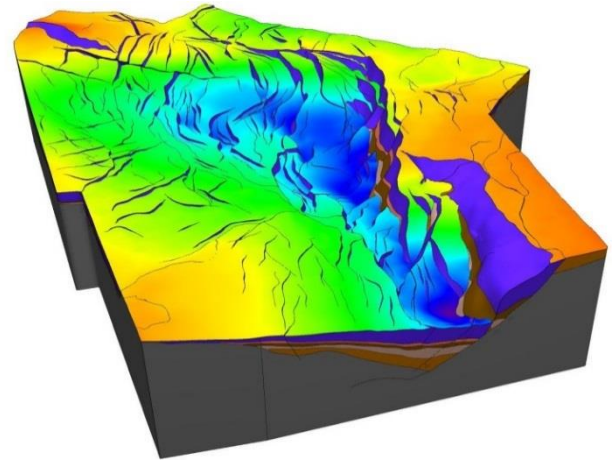
● 超级计算可以帮助人们解决一系列重要问题

- 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

算天、算地、算人、算命



超级计算机的应用领域

○ 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

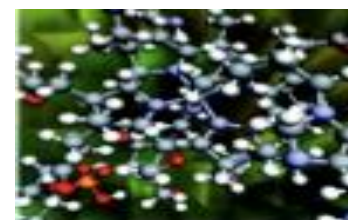
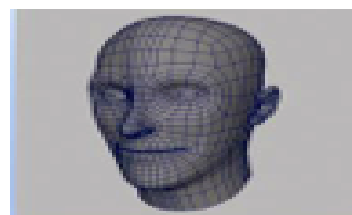
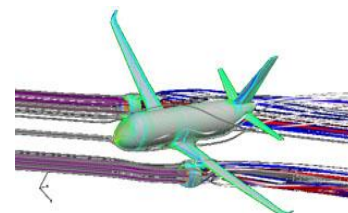
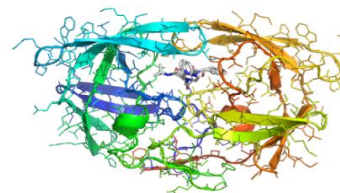
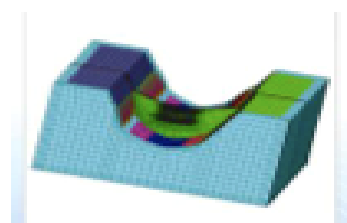
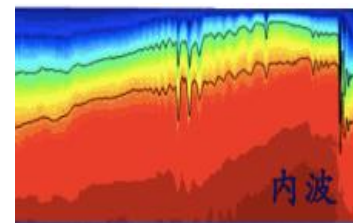
○ 动漫渲染

○ 人工智能

○ 测绘分析

○ 精准医疗

.....



中国超算的发展之路

超级计算机发展的世界格局

● 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



美国主要高性能战略计算计划

- 1981年，戈尔在美国科学与电视艺术研究的一次演讲中，首先提出“信息高速公路”
- 1983年，“战略计算机计划（SCP）”
- 1993年初美国总统发布“发展信息高速公路”（NII）总统令
- 1993年，“高性能计算和通信（HPCC）”计划
- 1994年4月美国总统发布“建立国家（地球）空间数据基础实施（NSDI）”的总统令
- 1996年，“加速战略计算创新（ASCI）”计划
- 1998年1月31日，美国副总统戈尔（Al.Gore）在美国加利福尼亚科学中心发表了题为“数字地球—二十一世纪认识地球的方式”的演讲，首次提出“数字地球”的全新概念
- 总投资数百亿美元



中国高性能计算发展战略计划

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

中国巨型计算机之父 - 慈云桂

- 慈云桂(1917-1990)，中国科学院院士，中国计算机界老前辈中的举旗人
- 主持研制成功我国首台亿次级巨型计算机“银河—I”

银河颂

银河疑是九天来，妙算神机费剪裁。
跃马横刀多壮士，披星戴月育雄才。
精雕岂为人称誉，细刻缘求玉琢材。
极目远穷千里外，琼楼更上不徘徊。



中国首台登顶TOP500的超算系统

• 天河一号A

● 计算性能：2.57 PFLOPS

● 2010年11月，首次将五星红旗插上超级计算领域的世界之巅



世界上唯一一台六连冠的超算系统

天河二号

- 计算性能： 33.9 PFLOPS
 - ▶ 约 16,000个节点
 - ▶ 约 3,000,000个核
- 约是个人电脑外星人 i7 4770K的36万倍



银河天河系列超级计算机



国家级的超算中心分布



中国国家网格环境



NSCC-广州,2013
天河2



NSCC-无锡，2016
太湖之光



NSCC-长沙,2012
天河1A



NSCC-济南,2012
神威蓝光



NSCC-天津,2010
天河1A

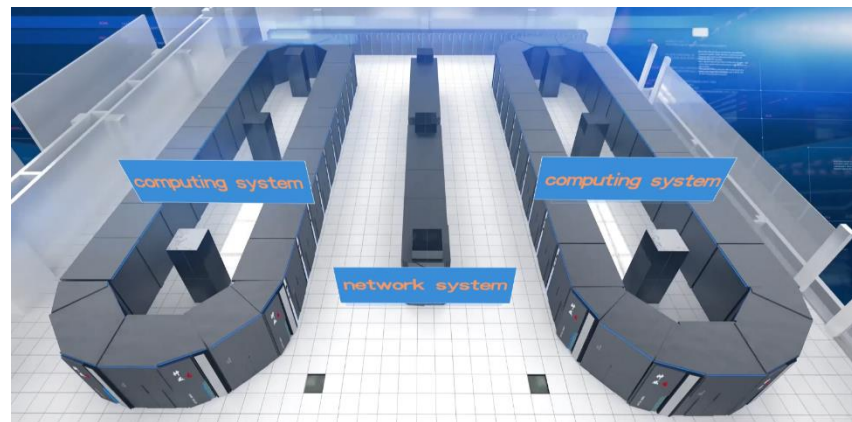


NSCC-深圳,2011 曙光6000

“神威太湖之光” 超级计算机

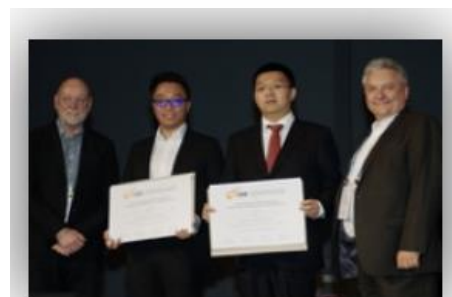
● 神威太湖之光

- 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”

2016.6~2018.6



超级计算机的发展

神威众核处理器

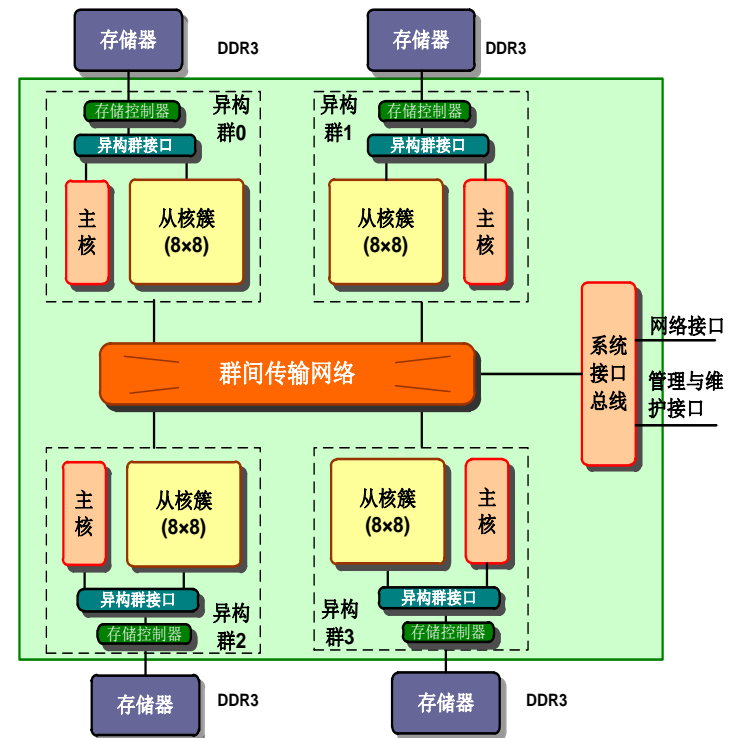
- 核心工作频率：1.5 GHz
- 双精度浮点峰值运算速度：3.0 Tflops
- 工艺：28nm
- 采用异构众核架构，芯片集成260个运算核心，集成存储控制器和网络接口

主核 (MPE) 64-bit RISC core

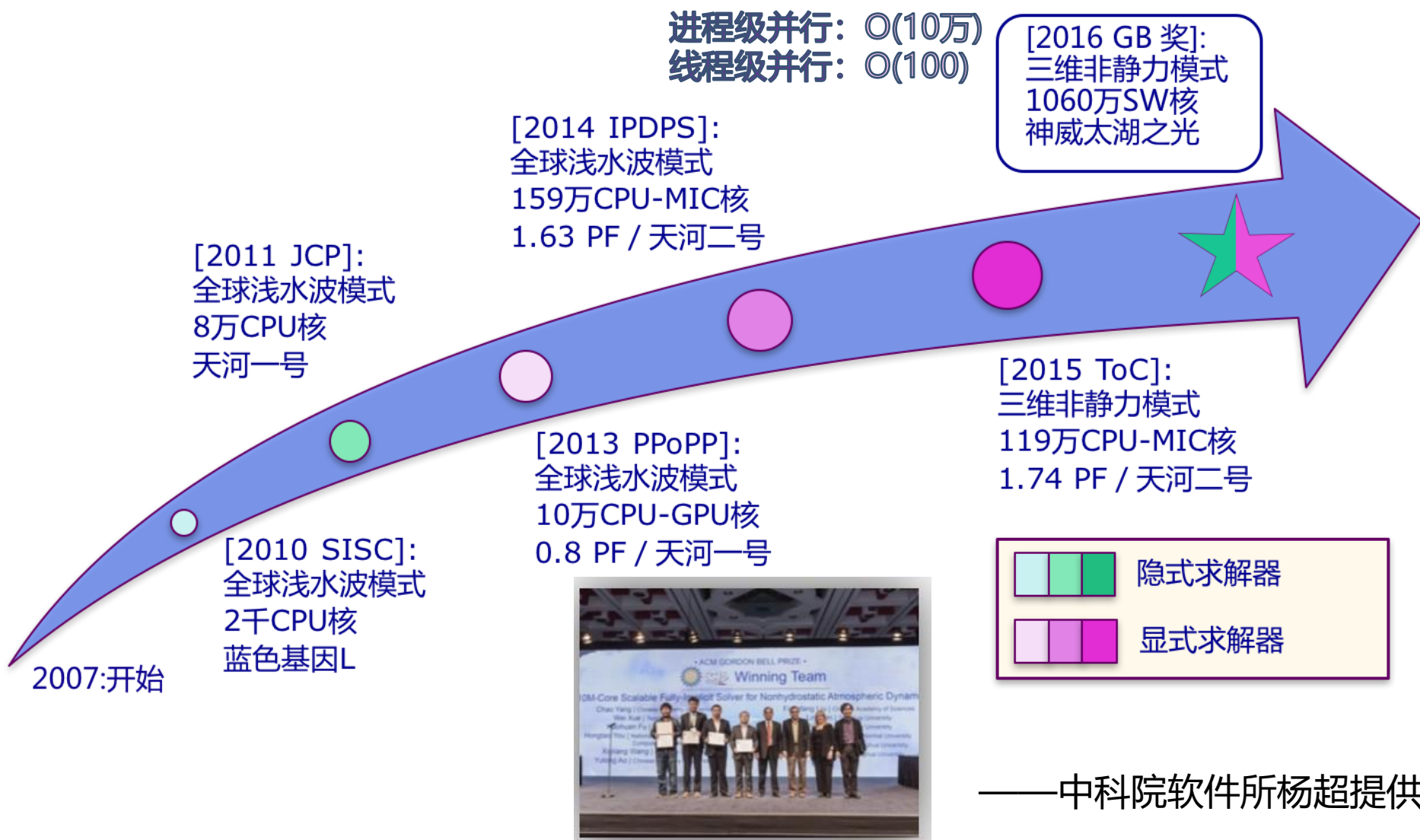
- 支持用户态和系统态
- 256-bit 向量指令
- 32 KB L1 instruction cache, and 32 KB L1 data cache
- 256 KB L2 cache, 8x8 CPE mesh

从核(CPE) 64-bit RISC core

- 只支持用户态
- 256-bit 向量指令
- 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



性能的不同层次

○ 峰值性能 (Peak performance)

○ LINPACK 性能

- Avg. 80%

40+ years

○ Gordon Bell Prize 应用性能

- ~30%

10~20 years

○ 平均持续应用性能

- <5%~10%

3~5 years

○ HPCG

- 1% ~ 5%

1~2 years

- 体系结构
- 应用模型
- 并行算法
- 优化投入

中国超算发展的重要经验

● 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

● 产学研用的结合

- 高性能计算中心在高效能计算机研制中发挥作用
 - 遴选研制团队 / 提出系统指标
- 企业参与国家科技计划，提高自身水平，促进研制工作
 - 浪潮、曙光、联想参与千万亿次和亿亿次计算机的研制
- 应用部门牵头发展应用软件

● 机器、环境、应用三者均衡发展，相互促进

小结

- **超级计算机是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
- **超级计算可以帮助人们解决一系列重要问题**
 - 尺度超大 尺度超小 时变超快 时变超慢 过程超昂贵 过程超危险

更多精彩还在后面！

