



## 计算概论 第一讲

# 计算机的基本原理

李戈

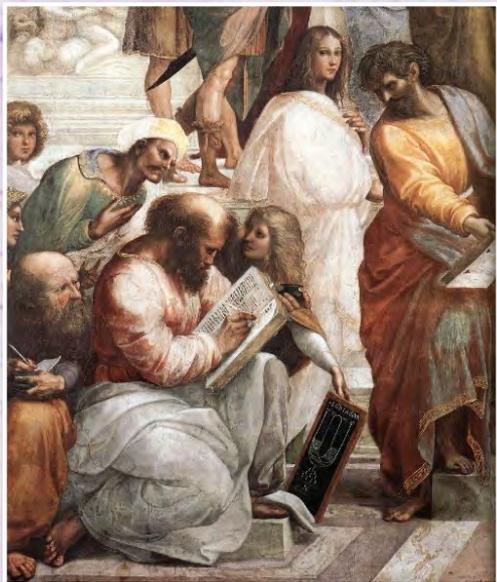
北京大学 计算机学院 软件研究所

[lige@pku.edu.cn](mailto:lige@pku.edu.cn)

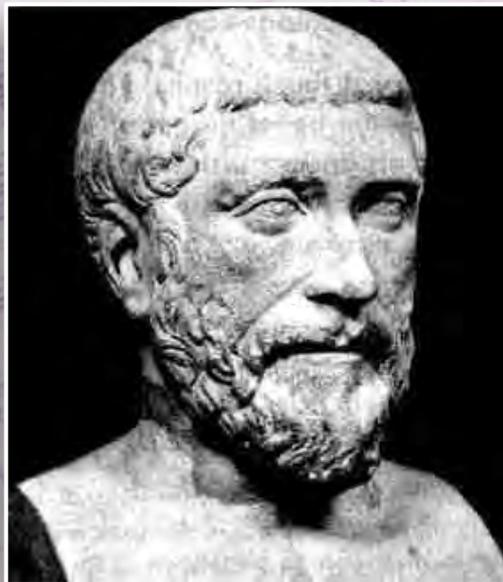


ACM  
A.M. TURING AWARD

# 第一次数学危机



拉斐尔《雅典学派》局部  
1509年



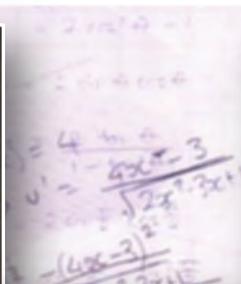
毕达哥拉斯

- 毕达哥拉斯学派（公元前500年）
  - ◆ 数是万物的本原，事物的性质是由某种数量关系决定的，万物按照一定的数量比例而构成和谐的秩序；
  - ◆ “一切数均可表成整数或整数之比”
- 但，后来...
  - ◆ 毕达哥拉斯证明了勾股定理
  - ◆ 但同时发现“某些直角三角形的三边比不能用整数来表达”；
- 希帕索斯悖论
  - ◆ 希帕索斯考虑了一个问题：边长为1的正方形其对角线长度是多少呢？

# 第二次数学危机



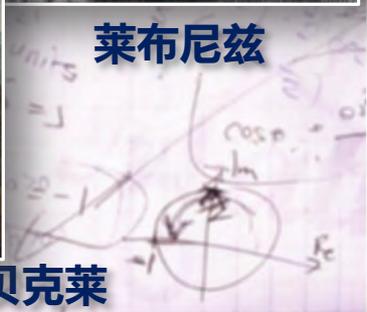
牛顿



莱布尼兹



英国（爱尔兰）哲学家 贝克莱



## ■ 微积分

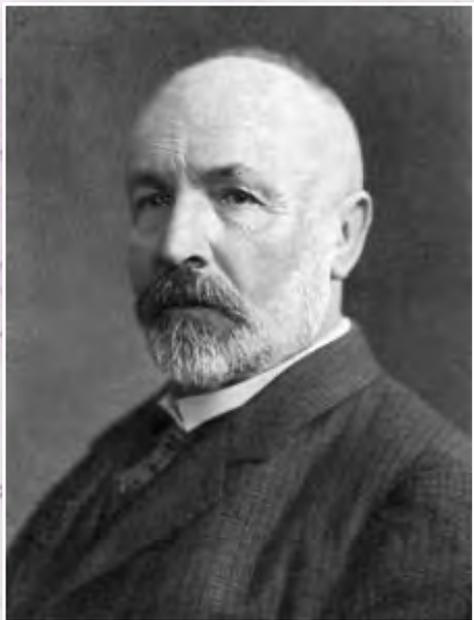
◆ 十七世纪，牛顿与莱布尼兹各自独立发现了微积分，但两人的理论都建立在**无穷小**分析之上。

## ■ 贝克莱悖论

◆ 无穷小量在牛顿的理论中“一会儿是零，一会儿又不是零”。贝克莱嘲笑无穷小量是“已死量的幽灵”。

——1734年，《分析学家；或一篇致一位不信神数学家的论文，其中审查一下近代分析学的对象、原则及论断是不是比宗教的神秘、信仰的要点有更清晰的表达，或更明显的推理》

# 第三次数学危机



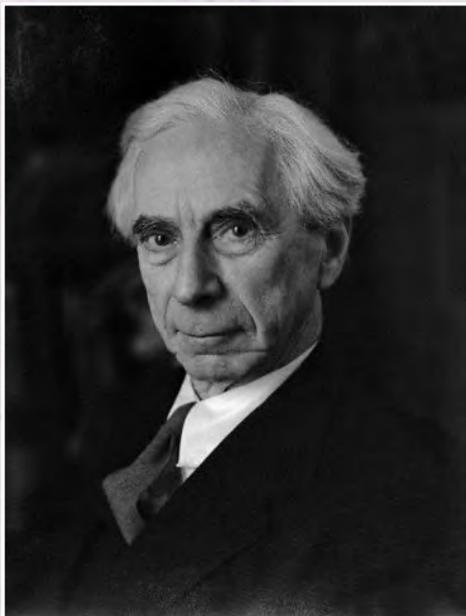
格奥尔格·康托尔  
Cantor, Georg Ferdinand Ludwig Philipp  
1845.3.3-1918.1.6  
德国数学家，集合论的创始人

## ■ 集合论

- 十九世纪下半叶，康托尔创立了著名的集合论。刚产生时，曾遭到许多人的猛烈攻击。
- 后来数学家们发现，**从自然数与康托尔集合论出发可建立起整个数学大厦**。“一切数学成果可建立在集合论基础上”。
- 1900年，国际数学家大会上，法国著名数学家庞加莱：

“...借助集合论概念，我们可以建造整个数学大厦...今天，我们可以说绝对的严格性已经达到了...”

# 第三次数学危机



**伯特兰·罗素 (Bertrand Russell, 1872—1970)**  
英国哲学家、数学家、逻辑学家、历史学家，无神论  
或者不可知论者，和平主义社会活动家

## ■ 一个故事

- ◆ 塞尔维亚有一位理发师：他只给所有不给自己理发的人理发，不给那些给自己理发的人理发。  
问：他要不要给自己理发呢？

## ■ 罗素悖论

- ◆ S由一切不是自身元素的集合所组成。  
罗素问：S是否属于S呢？

## ■ 德国数学家、逻辑学家弗雷格：

“一位科学家不会碰到比这更难堪的事情了，在他的工作即将结束时，其基础崩溃了。罗素先生的一封信正好把我置于这个境地...”

# 第三次数学危机



库尔特·哥德尔 (Kurt Gödel)  
1906年4月28日—1978年1月14日  
美国数学家、逻辑学家和哲学家

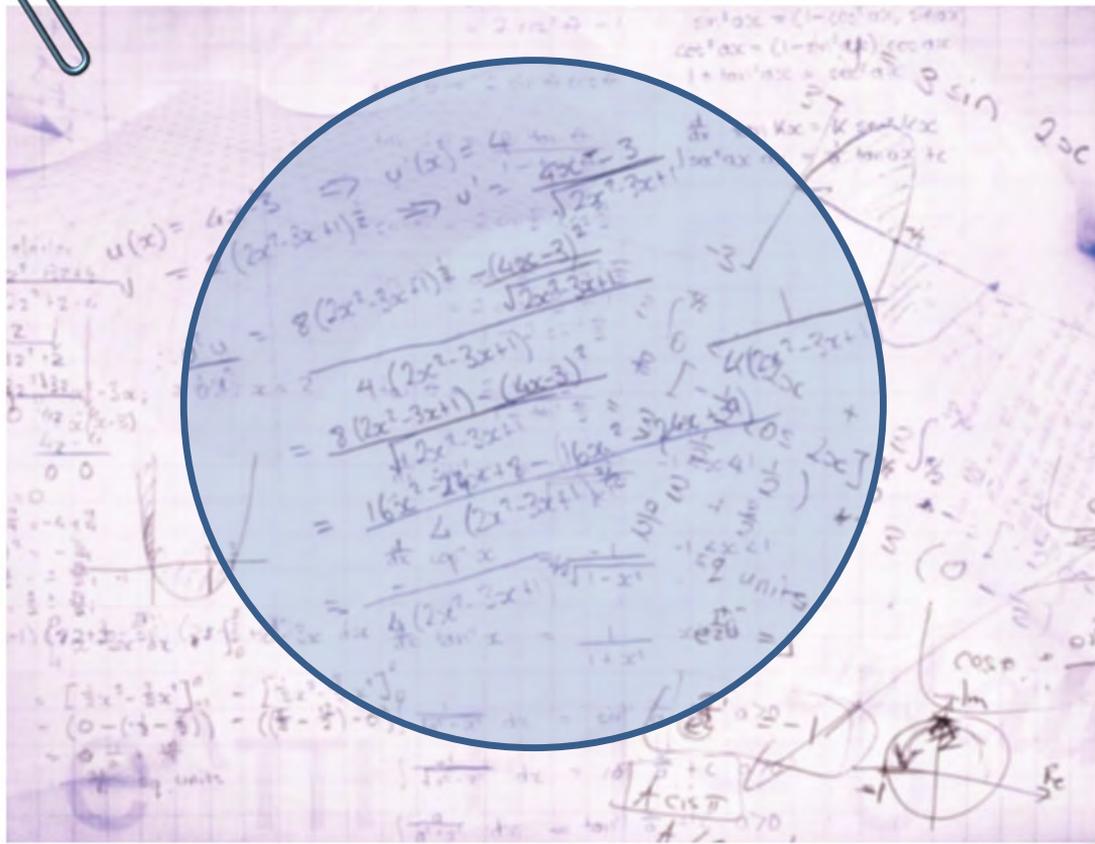
## ■ 1931年成功证明：

任何一个数学系统，只要它是从有限的公理和基本概念中推导出来的，并且从中能推证出自然数系统，就可以在其中找到一个命题，对于它我们**既没有办法证明，又没有办法推翻。**

## ■ 哥德尔不完备性定理

◆ 哥德尔不完全定理的证明结束了关于数学基础的争论，宣告了**把数学彻底形式化的愿望是不可能实现的。**

# 那么，接下来的问题是？



## ■ 可计算问题：

◆ 设函数 $f$ 的定义域是 $D$ ，值域是 $R$ ，如果存在一种算法，对 $D$ 中任意给定的 $x$ ，都能计算出 $f(x)$ 的值，则称函数 $f$ 是可计算的。

## ■ 研究思路：

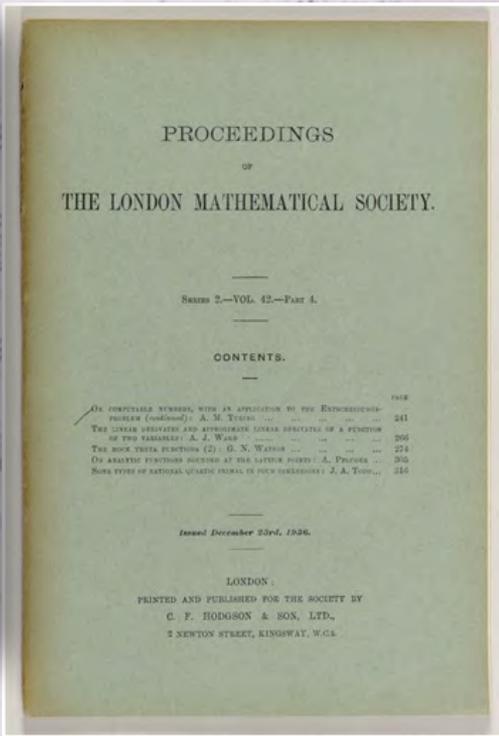
◆ 为计算建立一个数学模型，称为计算模型，然后证明，凡是这个计算模型能够完成的任务，就是可计算的任务。

## ■ 图灵提出了一个模型...

# 图灵与图灵机



阿兰·麦席森·图灵  
Alan Mathison Turing  
1912-1954  
英国数学家、逻辑学家



- 英国数学家艾伦·图灵 (Alan Turing)
- 1936年，图灵在其著名的论文《论可计算数在判定问题中的应用》一文中提出了一种理想的计算机器的数学模型——图灵机 (Turing Machine)。
- 美国计算机协会 (ACM) 于1966年设立图灵奖。

# 图灵与图灵机



阿兰·麦席森·图灵  
Alan Mathison Turing  
1912-1954  
英国数学家、逻辑学家



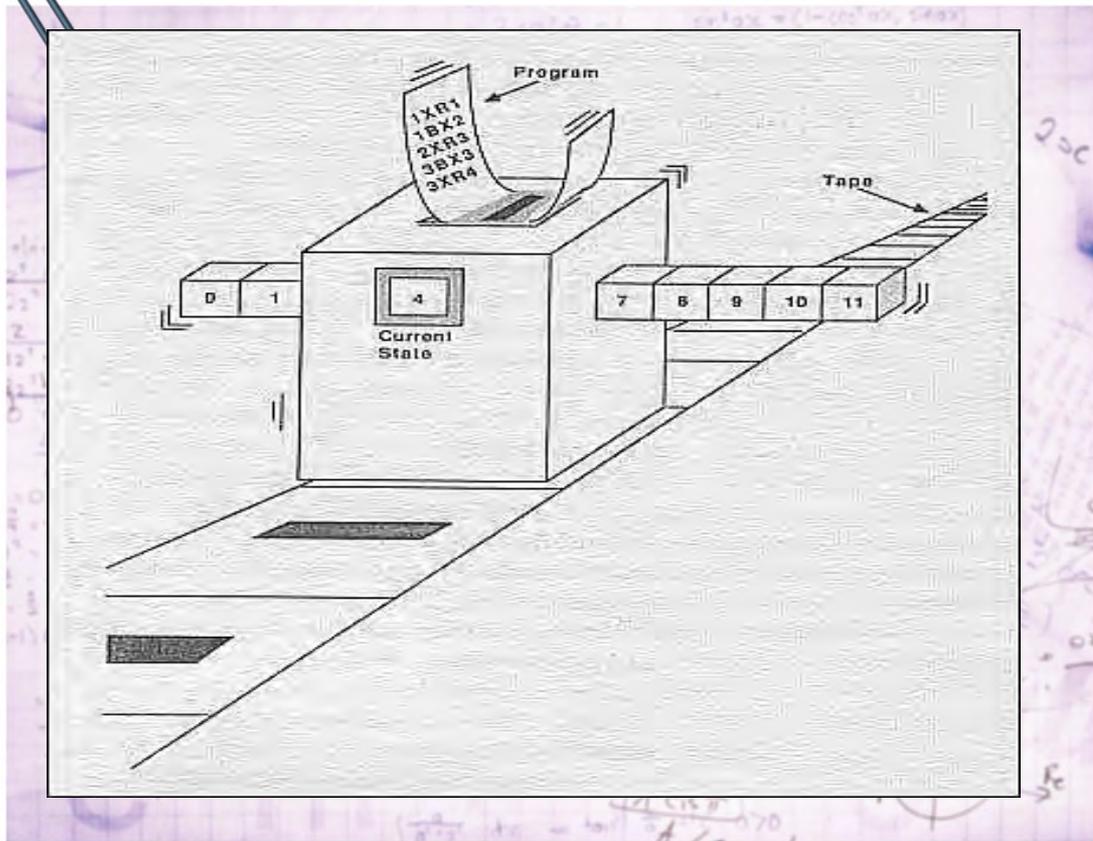
## 图灵

- 1912年6月，生于伦敦
- 中学期间，获 国王爱德华六世数学金盾奖章
- 1935年，被选为 剑桥大学国王学院院士
- 1936年5月，图灵提出 图灵机，  
(发表于《伦敦数学会文集》)
- 1938年，美国普林斯顿大学获博士学位
- 1938-1945年二战期间，密码破译工作  
(曾任英美密码破译部门总顾问)
- 1946年，获 不列颠帝国勋章
- 1950年，提出 著名的“图灵测试”
- 1950年10月，发表论文“机器能思考吗”  
(开启了人工智能的研究)
- 1951年，被选为 英国皇家学会会员  
(家族中第四位皇家学会会员)
- 1952年，图灵写出一个国际象棋程序
- 1954年，逝世

下节预告

**图灵机到底 什么样？ 它的功能是什么？**

# 图灵机的构成



## ■ 图灵机的组成

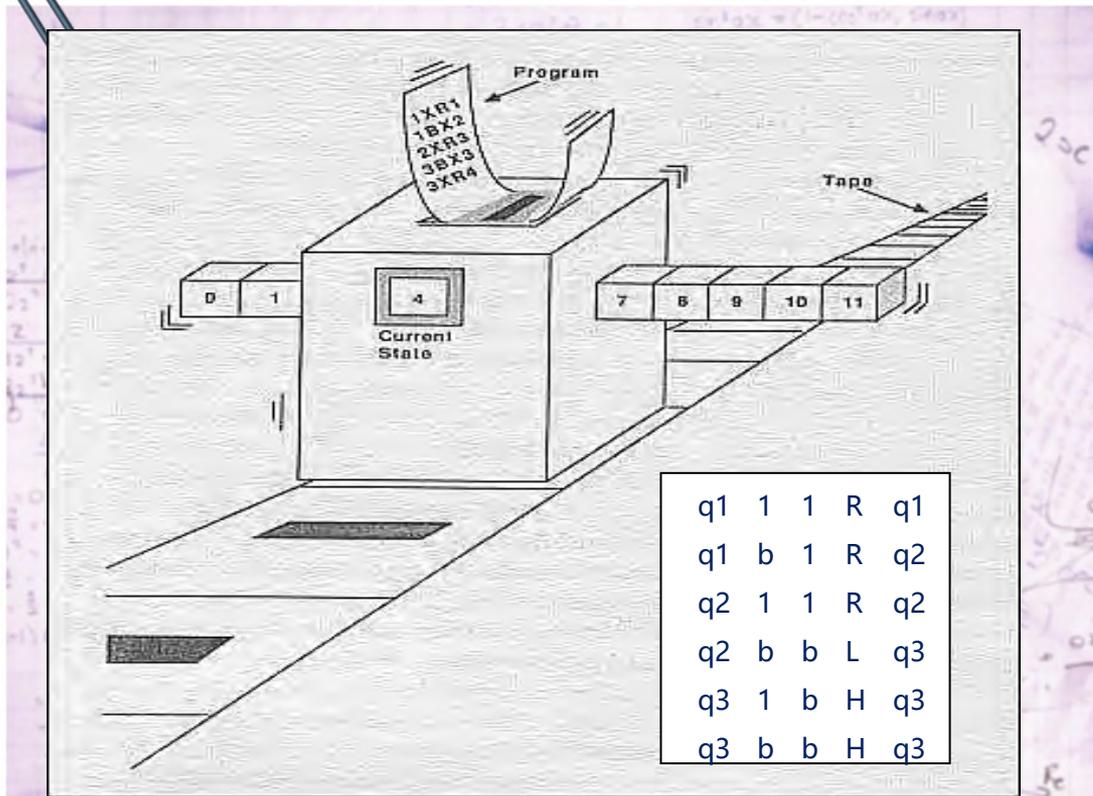
### ◆ 一条存储带

- 双向无限延长
- 上有一个个小方格
- 每个小方格可存储一个数字/字母

### ◆ 一个控制器

- 可以存储当前自身的状态；
- 包含一个读写头，可以读、写、更改存储带上每一格的数字/字母
- 可以根据读到的字母/数字变换自身的状态
- 可以沿着存储带一格一格地左移/右移

# 图灵机如何工作



## 图灵机的工作步骤:

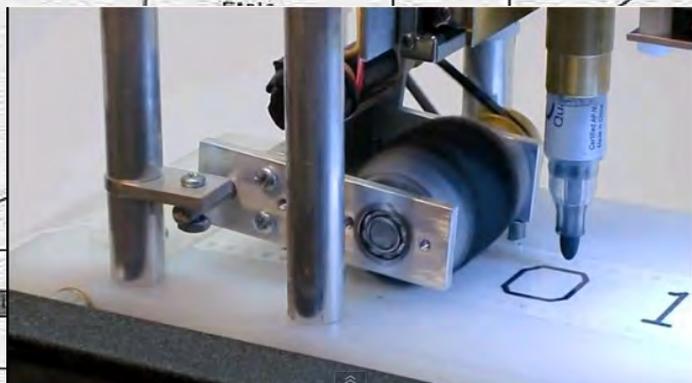
### 1. 准备:

- (1) 存储带上符号初始化;
- (2) 控制器设置好自身当前状态;
- (3) 读写头置于起始位置;
- (4) 准备好工作程序;

### 2. 反复执行以下工作直到停机:

- (1) 读写头读出存储带上当前方格中的字母/数字;
- (2) 根据自身当前状态和所读到的字符, 找到相应的程序语句;
- (3) 根据相应程序语句, 做三个动作:
  - ① 在当前存储带方格上写入一个相应的字母/数字;
  - ② 变更自身状态至新状态;
  - ③ 读写头向左或向右移一步;

# 图灵机如何工作



<http://aturingmachine.com>

图灵机为什么受到重视？

简单！

强大！

可实现！

1 1 1 1 1 1 1

当前状态: q1

q1 1 1 R q1

q1 b 1 R q2

q2 1 1 R q2

q2 b b L q3

q3 1 b H q3

q3 b b H q3

图灵机程序五元组:

$\langle q, b, a, m, q' \rangle$

q1 1 1 R q1

当前机器状态

当前读入的符号

当前应写入的符号

读写头的动作

机器应转入的状态

图灵机运行前的准备工作:

(1) 存储带上符号初始化;

当前字母表: { 1, b }

(2) 设置好控制器当前状态;

控制器状态集合:

{ q1, q2, q3 }

控制器当前状态: q1

(3) 读写头置于起始位置;

(4) 准备好工作程序;



当前状态: q1

|    |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|
| q1 | 1 | 1 | R | q1 |
| q1 | b | 1 | R | q2 |
| q2 | 1 | 1 | R | q2 |
| q2 | b | b | L | q3 |
| q3 | 1 | b | H | q3 |
| q3 | b | b | H | q3 |

与当前状况匹配  
的程序语句

1 1 1 1 1 1 1

当前状态: q1

|    |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|
| q1 | 1 | 1 | R | q1 |
| q1 | b | 1 | R | q2 |
| q2 | 1 | 1 | R | q2 |
| q2 | b | b | L | q3 |
| q3 | 1 | b | H | q3 |
| q3 | b | b | H | q3 |

与当前状况匹配  
的程序语句

1 1 1 1 1 1 1

当前状态: q1

|    |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|
| q1 | 1 | 1 | R | q1 |
| q1 | b | 1 | R | q2 |
| q2 | 1 | 1 | R | q2 |
| q2 | b | b | L | q3 |
| q3 | 1 | b | H | q3 |
| q3 | b | b | H | q3 |

与当前状况匹配  
的程序语句

1 1 1 1 1 1 1

当前状态: q1

|    |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|
| q1 | 1 | 1 | R | q1 |
| q1 | b | 1 | R | q2 |
| q2 | 1 | 1 | R | q2 |
| q2 | b | b | L | q3 |
| q3 | 1 | b | H | q3 |
| q3 | b | b | H | q3 |

与当前状况匹配  
的程序语句



与当前状况匹配  
的程序语句

1 1 1 1 1 1 1 1

当前状态: q2

|    |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|
| q1 | 1 | 1 | R | q1 |
| q1 | b | 1 | R | q2 |
| q2 | 1 | 1 | R | q2 |
| q2 | b | b | L | q3 |
| q3 | 1 | b | H | q3 |
| q3 | b | b | H | q3 |

与当前状况匹配的  
程序语句

1 1 1 1 1 1 1 1

当前状态: q2

|    |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|
| q1 | 1 | 1 | R | q1 |
| q1 | b | 1 | R | q2 |
| q2 | 1 | 1 | R | q2 |
| q2 | b | b | L | q3 |
| q3 | 1 | b | H | q3 |
| q3 | b | b | H | q3 |

与当前状况匹配  
的程序语句



当前状态: q2

|    |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|
| q1 | 1 | 1 | R | q1 |
| q1 | b | 1 | R | q2 |
| q2 | 1 | 1 | R | q2 |
| q2 | b | b | L | q3 |
| q3 | 1 | b | H | q3 |
| q3 | b | b | H | q3 |

与当前状况匹配  
的程序语句





当前状态: q2

|    |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|
| q1 | 1 | 1 | R | q1 |
| q1 | b | 1 | R | q2 |
| q2 | 1 | 1 | R | q2 |
| q2 | b | b | L | q3 |
| q3 | 1 | b | H | q3 |
| q3 | b | b | H | q3 |

与当前状况匹配的  
程序语句



| 当前状态: q3 |   |   |   |    |
|----------|---|---|---|----|
| q1       | 1 | 1 | R | q1 |
| q1       | b | 1 | R | q2 |
| q2       | 1 | 1 | R | q2 |
| q2       | b | b | L | q3 |
| q3       | 1 | b | H | q3 |
| q3       | b | b | H | q3 |

与当前状况匹配  
的程序语句



1 1 1 1 1 1 1

成功  
停机

### 图灵机停机意味着什么？

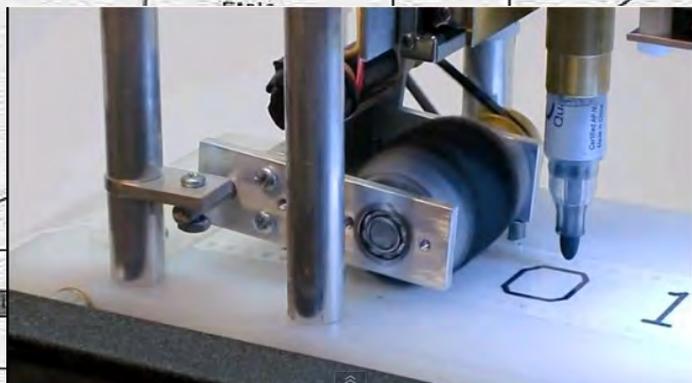
- 给定符号序列 A，如果能找到一个图灵机，得出对应的符号序列 B，那么从 A 到 B 就是可计算的。
- 也就是说：
  - ◆ 对于一个问题的输入A，问：
    - ◆ A能否推证出B？
    - ◆ 如果能找到一个图灵机，得出对应的符号序列 B，那么从 A 到 B 就是可计算的。
    - ◆ 否则，该问题不可计算。

当前状态：q3

|    |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|
| q1 | 1 | 1 | R | q1 |
| q1 | b | 1 | R | q2 |
| q2 | 1 | 1 | R | q2 |
| q2 | b | b | L | q3 |
| q3 | 1 | b | H | q3 |
| q3 | b | b | H | q3 |

与当前状况匹配的  
程序语句

# 图灵机的理论意义



<http://aturingmachine.com>

- 可计算性的判定；
- 意义：
  - ◆ 给出了一个可实现的通用计算模型；
  - ◆ 引入了通过“读写符号”和“状态改变”进行运算的思想；
  - ◆ 证实了基于简单字母表完成复杂运算的能力；
  - ◆ 引入了存储区、程序、控制器等概念的原型；



**图灵机是不是万能的？**

**哪些问题是图灵机不能计算的？**

# 图灵机停机问题

## ■ 图灵的论点:

- ◆ 任一过程是**能行的** (effective, 即能够具体表现在一个算法中), 当且仅当它能够被一台图灵机实现。

## ■ 图灵机停机问题:

- ◆ 是否存在一台“万能的”图灵机  $H$ , 把任意一台图灵机  $M$  输入给  $H$ , 它都能判定  $M$  最终**是否停机**, 输出一个明确的“yes”或“no”的答案?
- ◆ 能否给出一个判断**任意一个图灵机**是否停机的一般方法?

# 利用“康托尔的对角线删除法则”的证明

## ■ 问题:

- ◆ 是否存在一个程序 $P(X,Y)$ 可以判断当任意一个程序 $X$ 输入 $Y$ 时是否存在死循环, 或者说是否停机。

## ■ 证明:

- ◆ 假设这样的 $P(X,Y)$ 是存在的。则可以为所有的程序编号: 1, 2, 3, ....., 对数据 $Y$ 也进行编号1, 2, 3, .....

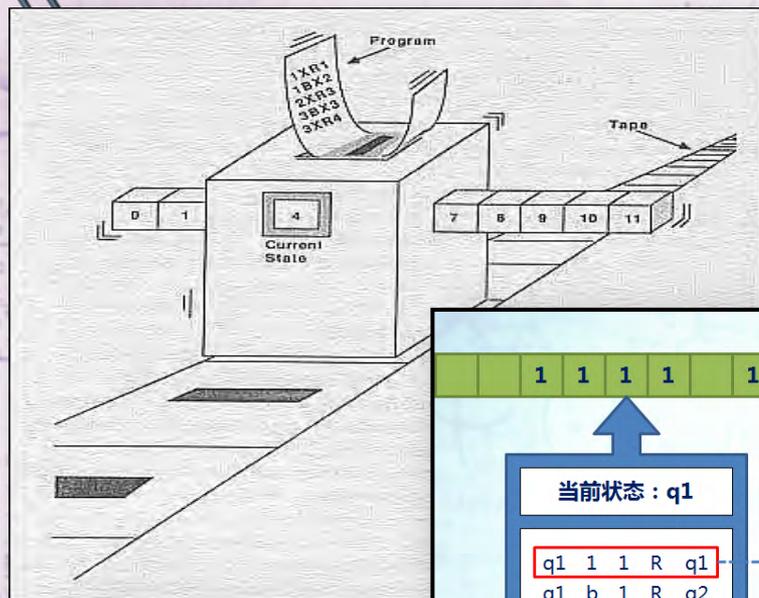
|     | 1     | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | ..... | Y   | ..... |
|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-------|
| 1   | yes   | no  | no  | yes | yes | no  | ..... | yes | ..... |
| 2   | no    | no  | yes | yes | no  | yes | ..... | no  | ..... |
| ... | ..... |     |     |     |     |     |       |     |       |
| X   | no    | yes | no  | yes | yes | no  | ..... | yes | ..... |
| ... | ..... |     |     |     |     |     |       |     |       |



# 计算机为什么能进行计算？

- “数”在计算机中如何表示？
- 计算机中“数”的逻辑运算方式？
- 逻辑运算方式的物理实现？

# 关于计算机中数的表示



■ 若采用字母表  $\{1, b\}$

◆ 符号 "b"

● 表示计算对象和计算结果的**边界**

◆ 符号 "1"

● 表示计算对象和计算结果的**数值**

■ 遇到的问题:

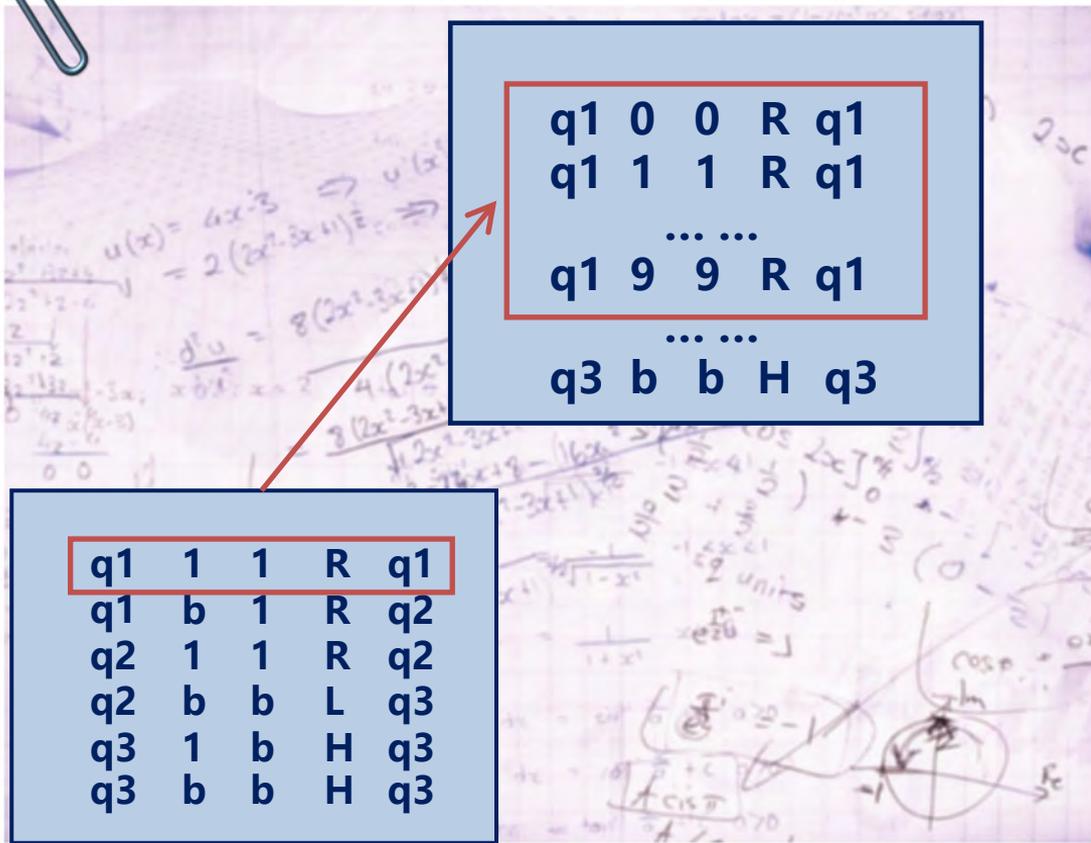
◆ 使用符号 "1" 表示数字 1

● 数值 1,000,000 应由一百万个 1 来表示

● 读入这一个数, 读写头就要**移动一百万次**

◆ 显然不合理、不实际

# 关于计算机中数的表示



The background image shows a document with mathematical equations and a paperclip. The equations include  $u(x) = 4x^3 \Rightarrow u'(x) = 12x^2$ ,  $u(x) = 2(2x^2 - 3x + 1)^2 \Rightarrow u'(x) = 8(2x^2 - 3x + 1) \cdot 2x = 16x(2x^2 - 3x + 1)$ , and  $\frac{d^2u}{dx^2} = 8(2x^2 - 3x + 1) + 16x(4x - 3) = 8(2x^2 - 3x + 1) + 64x^2 - 48x = 72x^2 - 40x + 8$ . There are also some handwritten notes and a diagram of a circle with a point on the circumference.

|        |   |   |   |    |
|--------|---|---|---|----|
| q1     | 0 | 0 | R | q1 |
| q1     | 1 | 1 | R | q1 |
| ... .. |   |   |   |    |
| q1     | 9 | 9 | R | q1 |
| ... .. |   |   |   |    |
| q3     | b | b | H | q3 |

|    |   |   |   |    |
|----|---|---|---|----|
| q1 | 1 | 1 | R | q1 |
| q1 | b | 1 | R | q2 |
| q2 | 1 | 1 | R | q2 |
| q2 | b | b | L | q3 |
| q3 | 1 | b | H | q3 |
| q3 | b | b | H | q3 |

■ 如果使用“十进制”

◆ 字母表中包含**11个符号**:  
{ 0, 1, ..., 9, b }

◆ 用于图灵机控制的**程序要大量增加**

◆ 确定当前指令也需要**更多的时间**

# 关于计算机中数的表示

## ■ 由此可知：

- ◆ 字母表中的符号越多，读入移动次数减少，但程序数量就越多
- ◆ 字母表中的符号越少，程序量会减少，但读入移动次数就越多

## ■ 字母表与状态：

- ◆ 字母表中符号的最优数量，可能接近自然常数（欧拉数） $e$  (2.7182818284590...)。
- ◆ 与具有两个状态的电子元件相比，具有三个状态的电子元件在制造上更困难，可靠性更低。

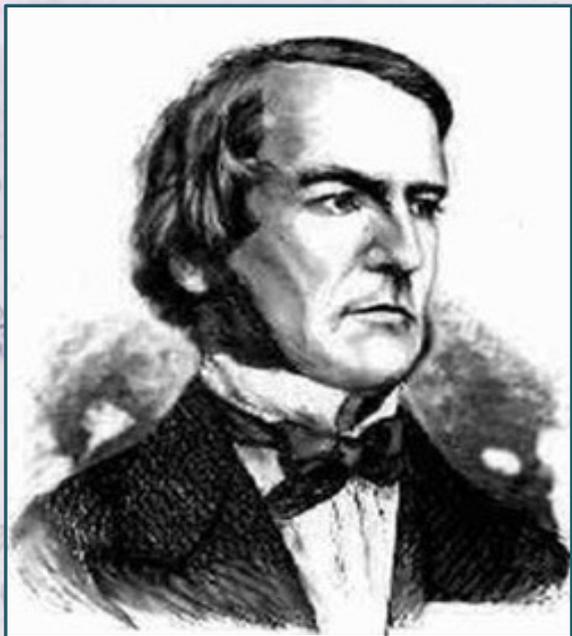


**已解问题：数的表示 二进制.**

**待解问题：如何进行计算？**



# 计算机中数的逻辑运算方法

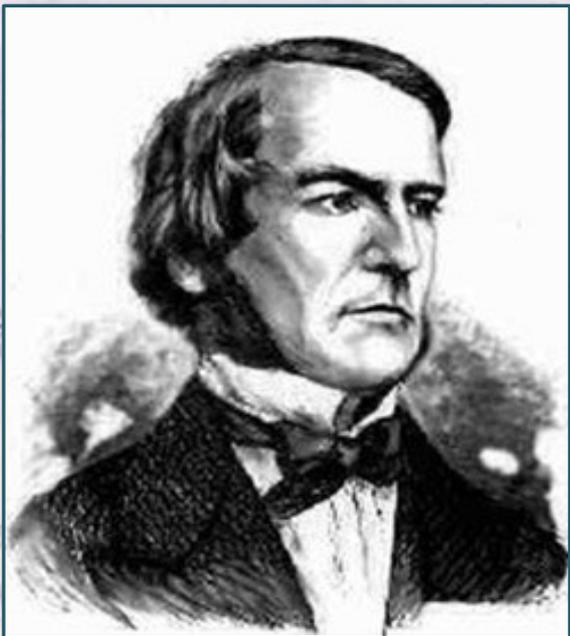


英国数学家布尔 (G.Boole)

## ■ 布尔代数

- ◆ 1854年：布尔发表《思维规律的研究——逻辑与概率的数学理论基础》，并综合其另一篇文章《逻辑的数学分析》，创立了一门全新的学科 - 布尔代数；
- ◆ 为计算机的开关电路设计提供了重要的数学方法和理论基础。

# 计算机中数的逻辑运算方法



英国数学家布尔 (G.Boole)

## ■ 基本逻辑运算

◆ 与

◆ 或

◆ 非

## ■ 复合逻辑运算

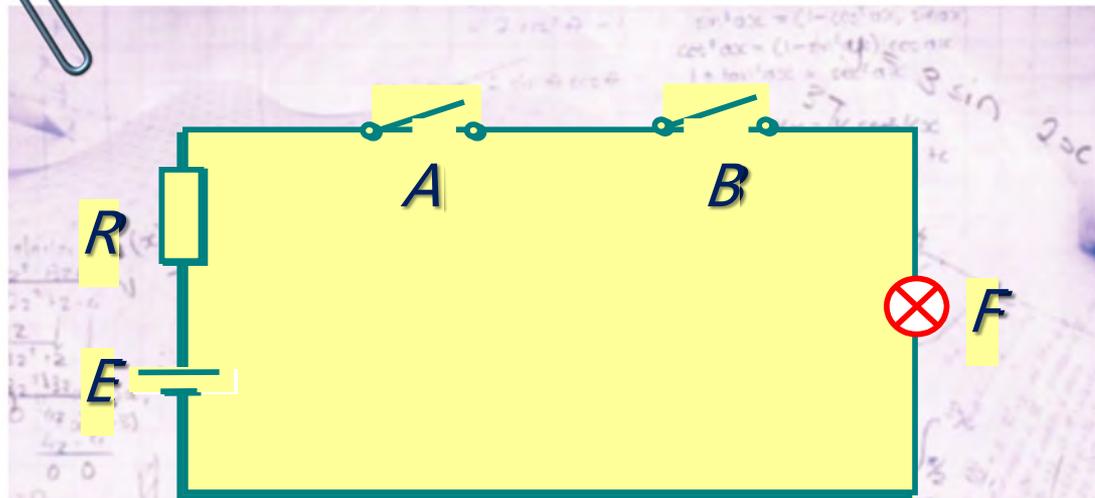
◆ 同或 异或

◆ 与非

◆ 或非

◆ 与或非

# 计算机中数的逻辑运算方法

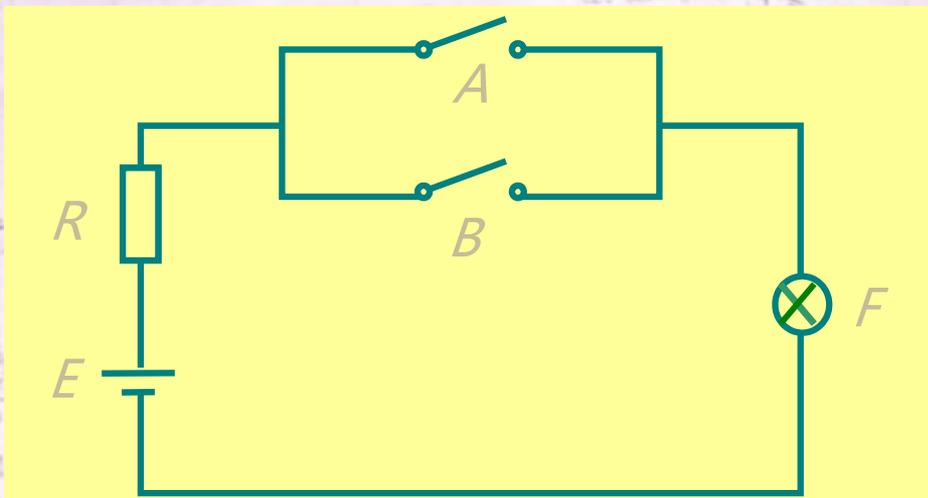


逻辑函数表达式:  $F = A \cdot B$

## 真值表

| $A$ | $B$ | $F$ |
|-----|-----|-----|
| 0   | 0   | 0   |
| 0   | 1   | 0   |
| 1   | 0   | 0   |
| 1   | 1   | 1   |

# 计算机中数的逻辑运算方法

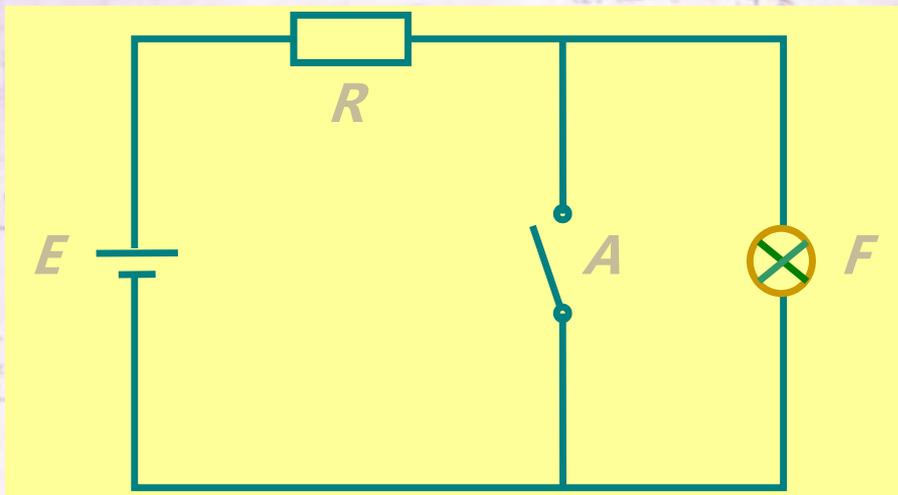


逻辑函数表达式:  $F = A + B$

## 真值表

| $A$ | $B$ | $F$ |
|-----|-----|-----|
| 0   | 0   | 0   |
| 0   | 1   | 1   |
| 1   | 0   | 1   |
| 1   | 1   | 1   |

# 计算机中数的逻辑运算方法



逻辑函数表达式:  $F = A + B$

## 真值表

| $A$ | $F$ |
|-----|-----|
| $0$ | $1$ |
| $1$ | $0$ |

# 计算机中数的逻辑运算方法

■ 异或  $F = A \oplus B$

◆ 两数相同为“0”

◆ 两数相异为“1”

■ 同或  $F = A \odot B$

◆ 两数相同为“1”

◆ 两数相异为“0”

## 真值表

| A | B | $F_1$ | $F_2$ |
|---|---|-------|-------|
| 0 | 0 | 0     | 1     |
| 0 | 1 | 1     | 0     |
| 1 | 0 | 1     | 0     |
| 1 | 1 | 0     | 1     |

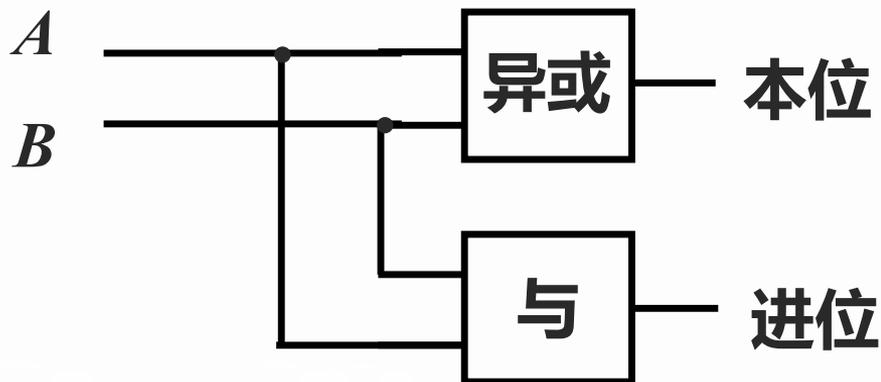
# 加法的计算

举例:  $A=1101$ ,  $B=1001$ , 求  $A+B$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ + 1001 \\ \hline 10110 \end{array}$$

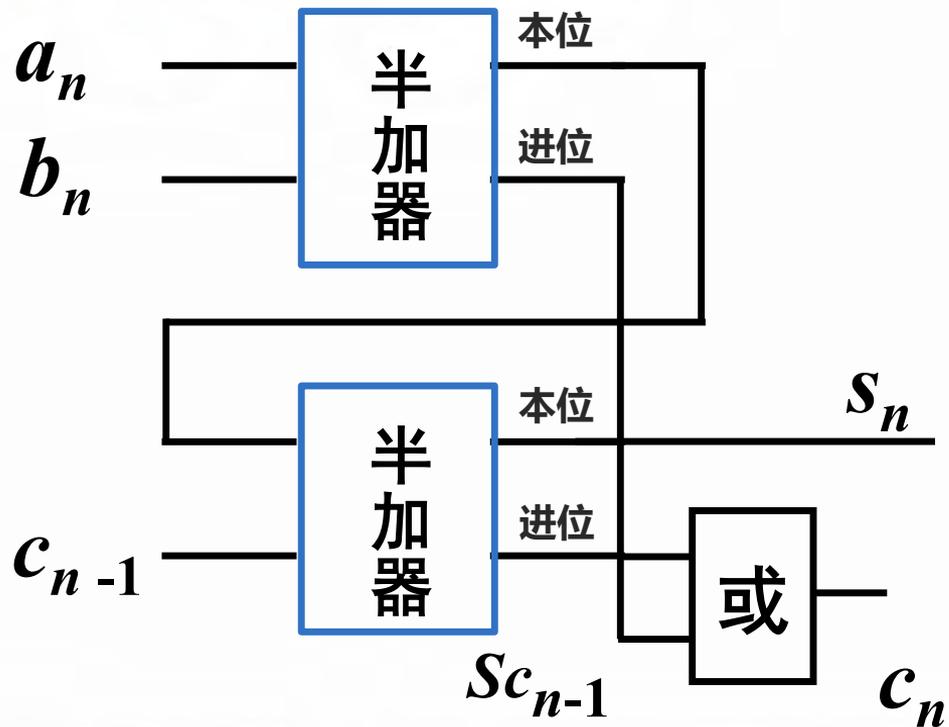
# 加法的计算

举例:  $A=1101, B=1001$ , 求  $A+B$



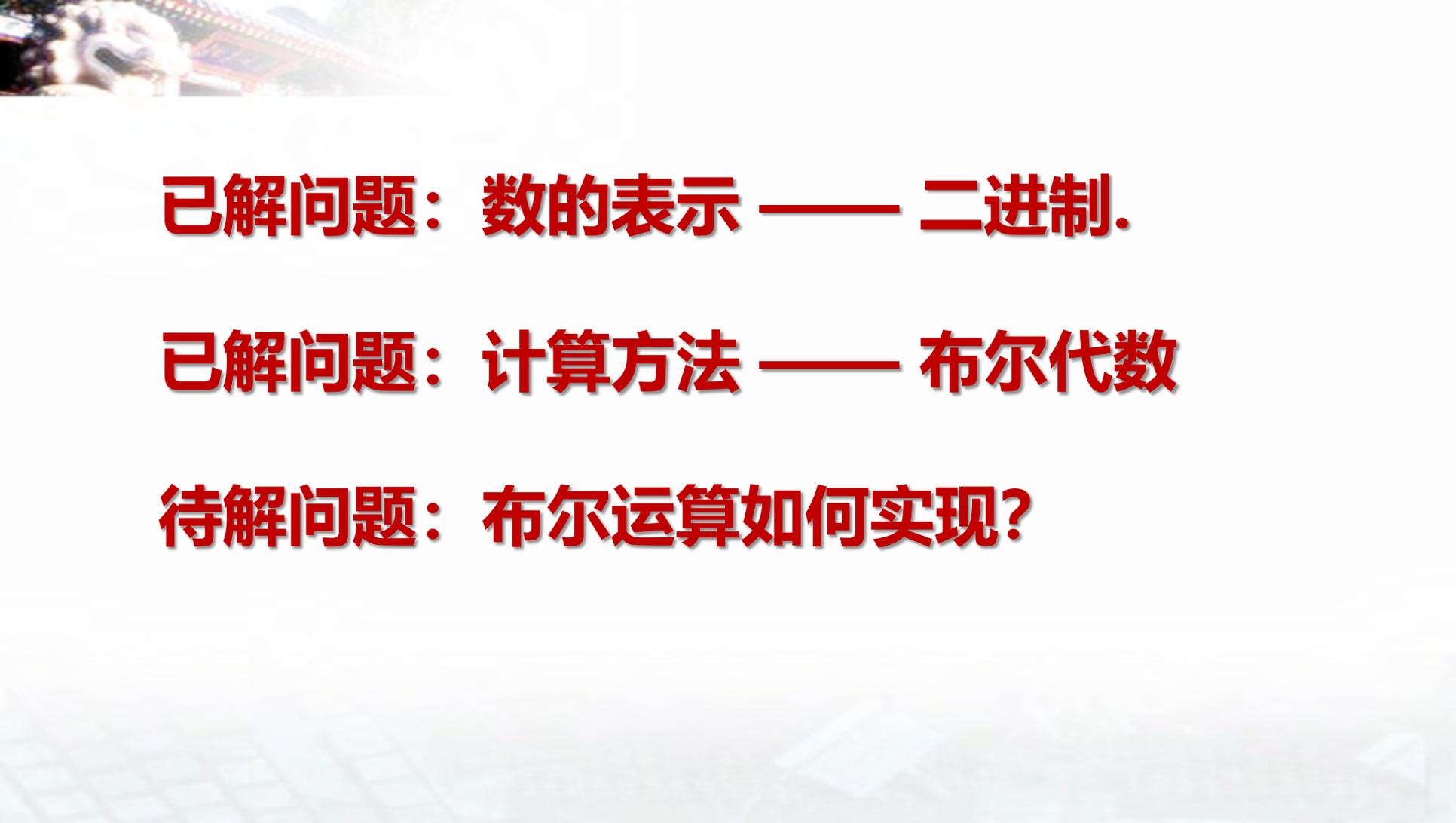
$$\begin{array}{r} \phantom{+} \phantom{1} \phantom{0} \phantom{1} \\ + \phantom{1} \phantom{0} \phantom{1} \phantom{1} \\ \hline 1 \phantom{0} \phantom{1} \phantom{1} \end{array} \quad \begin{array}{r} \phantom{+} \phantom{1} \phantom{0} \phantom{1} \\ + \phantom{1} \phantom{0} \phantom{1} \phantom{1} \\ \hline 0 \phantom{0} \phantom{1} \phantom{1} \end{array}$$
$$\begin{array}{r} \phantom{+} \phantom{1} \phantom{0} \phantom{1} \\ + \phantom{1} \phantom{0} \phantom{1} \phantom{1} \\ \hline 1 \phantom{0} \phantom{1} \phantom{1} \end{array} \quad \begin{array}{r} \phantom{+} \phantom{1} \phantom{0} \phantom{1} \\ + \phantom{1} \phantom{0} \phantom{1} \phantom{1} \\ \hline 0 \phantom{0} \phantom{1} \phantom{1} \end{array}$$

# 加法的计算



$$\begin{array}{r} \phantom{+} 1 \phantom{0} 1 \phantom{0} 1 \\ + 1 \phantom{0} 0 \phantom{0} 1 \\ \hline 1 \phantom{0} 1 \phantom{0} 1 \phantom{0} \end{array}$$

$a_n$ ---加数;  $b_n$ ---被加数;  $c_{n-1}$ ---低位的进位  
 $s_n$ ---本位和;  $c_n$ ---进位

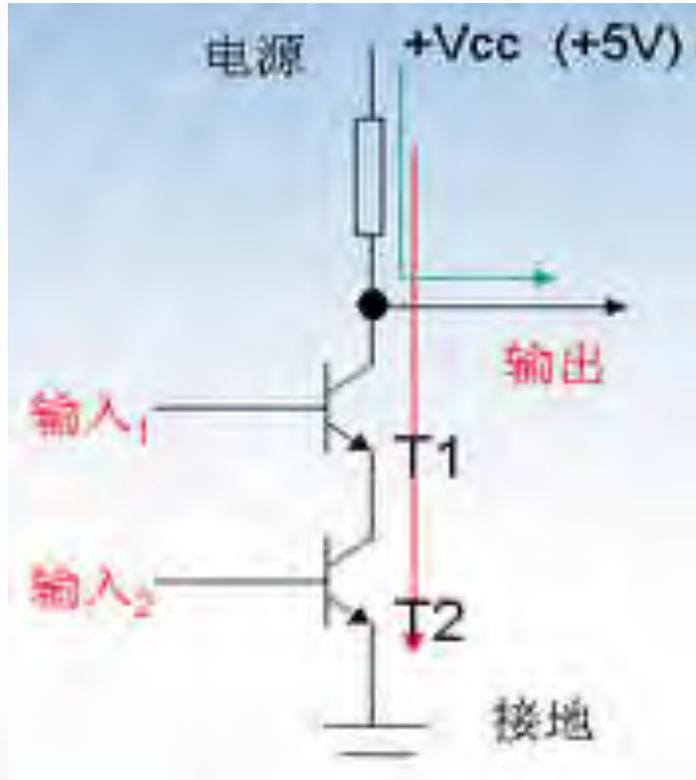


**已解问题：数的表示 —— 二进制.**

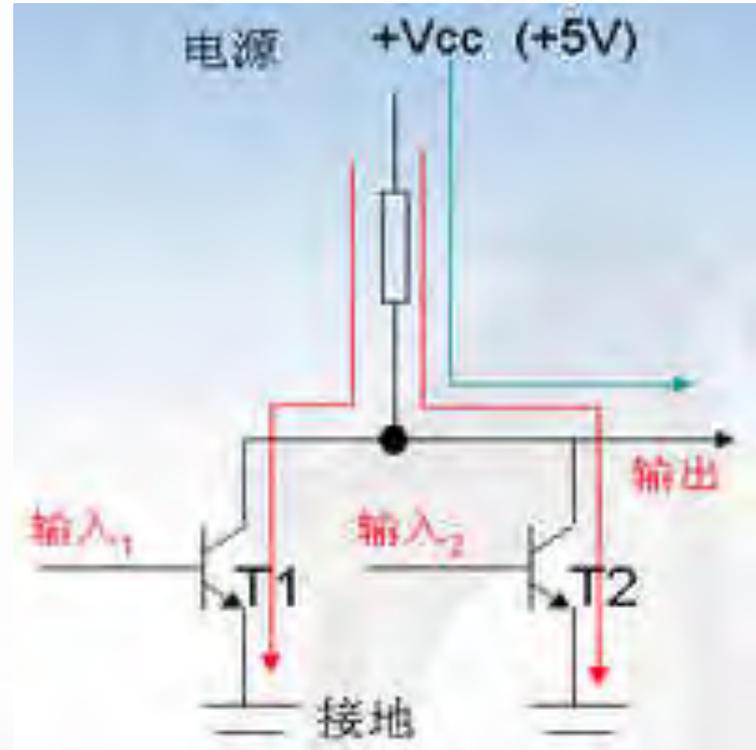
**已解问题：计算方法 —— 布尔代数**

**待解问题：布尔运算如何实现？**

# 加法的计算



- 与非门电路



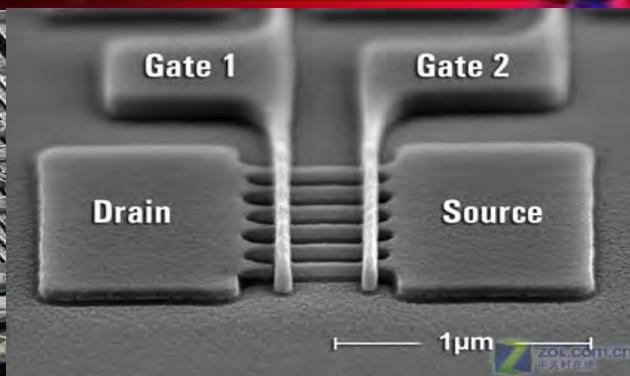
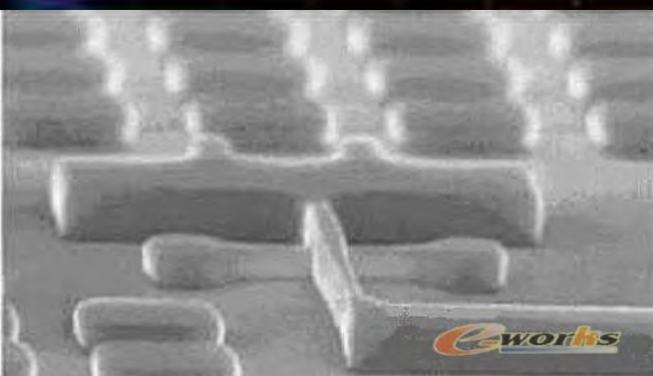
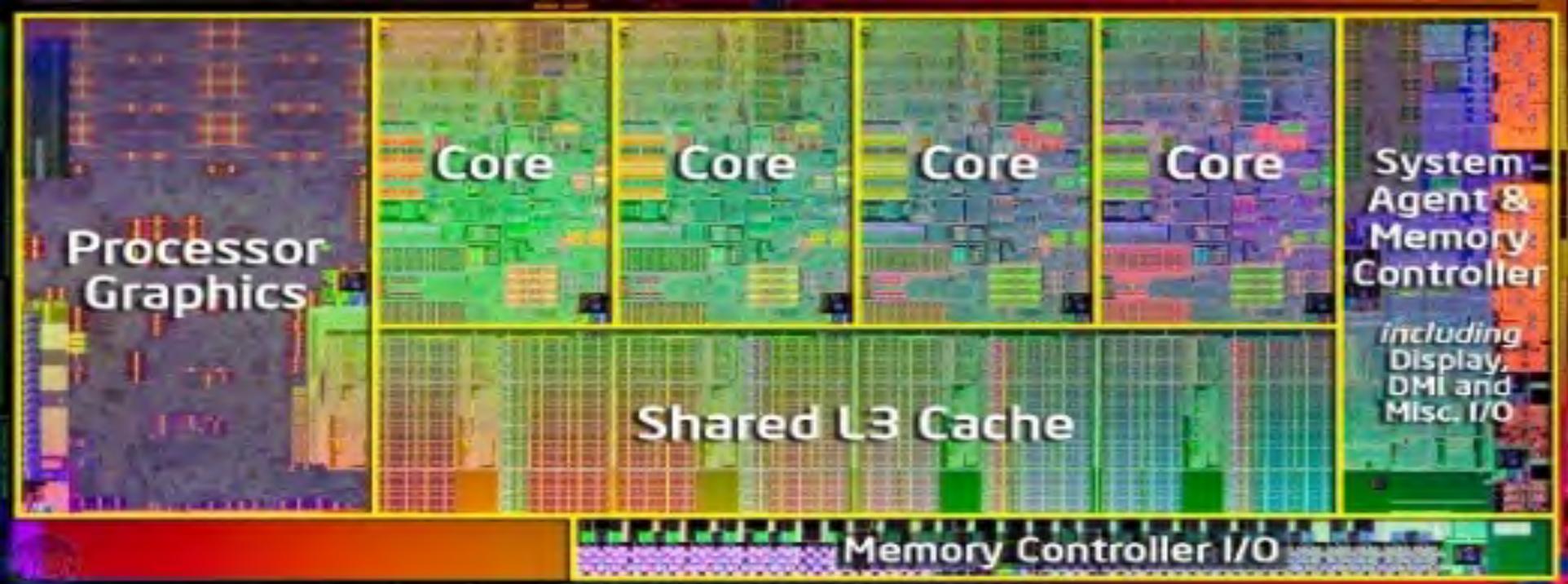
- 或非门电路

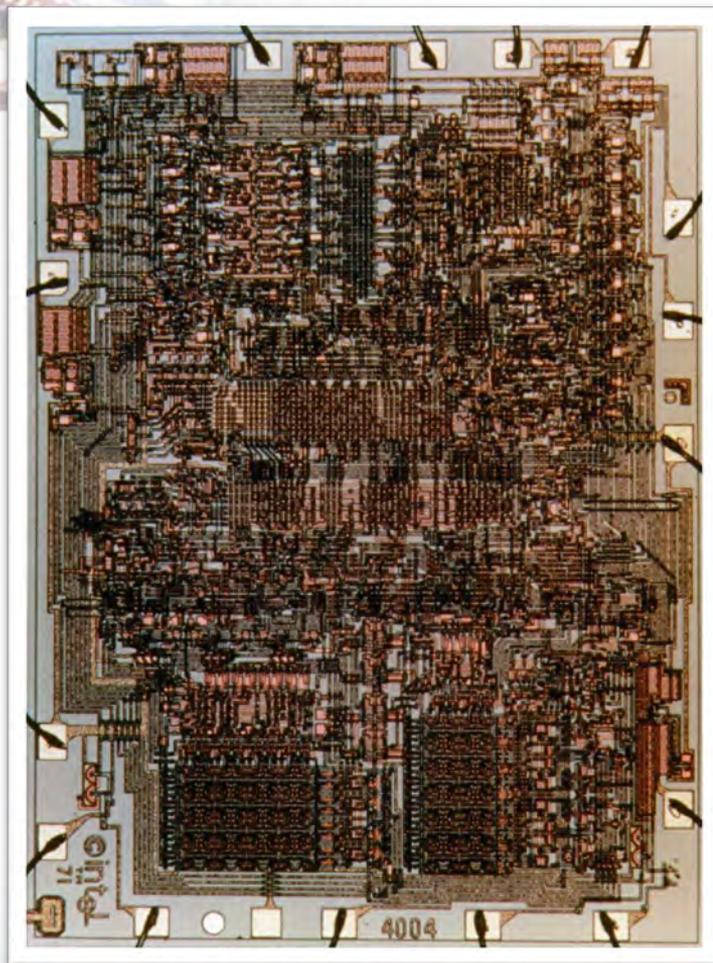
# 小结

## ■ 电路为什么能计算？

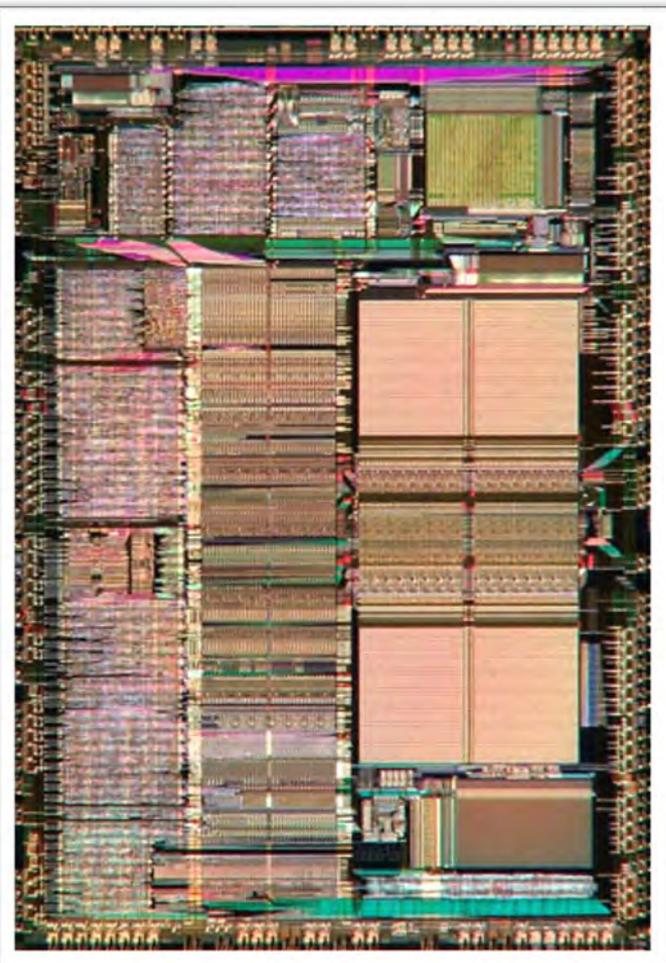
- ◆ 数字运算 可以转换 二进制数的运算；
- ◆ 二进制运算 可以转换为 基本的“布尔运算”；
- ◆ 基本的“布尔运算” 都可以 由电路完成；

## ■ 所以电路能“算数”！





**Intel4004**



**Intel80486**

# 第一代计算机

■时间：20世纪40、50年代

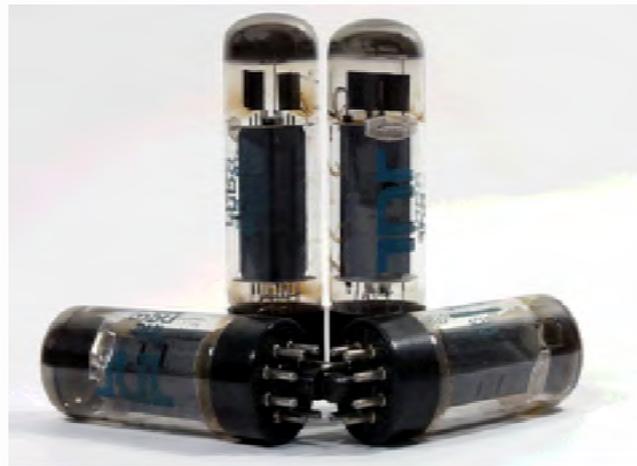
■主要特点

◆使用真空管存储数据

- 真空管是一种控制真空中电子流动的电子装置
- 被设置为两个状态以表示0或1
- 响应比机械快，但**体积大**、**耗能高**、**易烧坏**
- ENIAC有18000个真空管，第一年运行就替换了19000个□

■只能使用0/1进行编程

◆111000000100101100110 ...



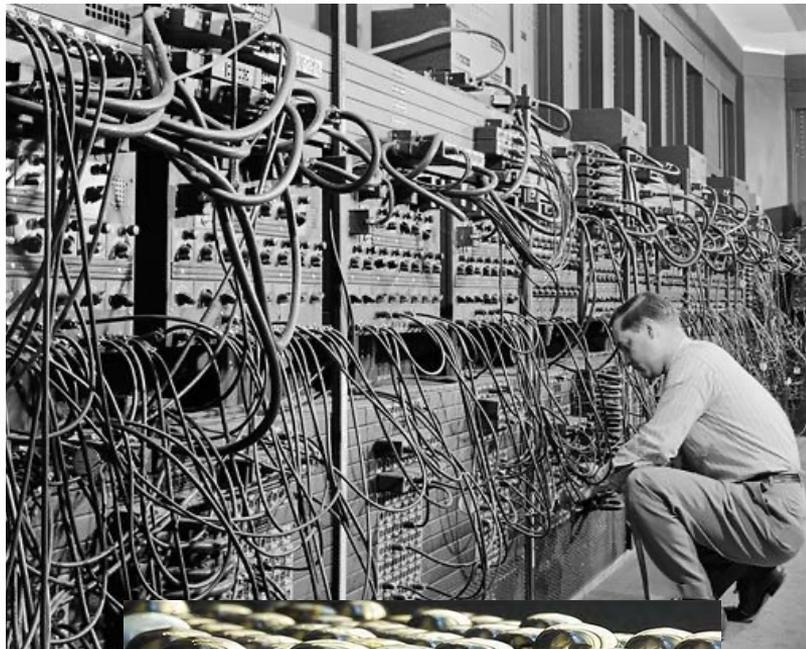
# 普遍认为的“第一台计算机”



■ ENIAC (Electronic Numeric Integrator and Computer)

■ 电子数字积分计算机

- ◆ 宾夕法尼亚大学摩尔学院 **莫契利 (J. Mauchly)** 和 **埃克特 (J. Eckert)**
- ◆ 1943年开始, 1945年完成, **1946年2月14日**正式启动
- ◆ **17468**只电子管、**7200**个二极管、**70000**多电阻器,**10000**多只电容器和**6000**只继电器, 电路的焊接点多达**50万个**; **174000**瓦功耗
- ◆ **30米**长、**3米**高、**30吨**重、占地面积为**170平方米**
- ◆ 每秒**5000**次加法可以在**3/1000**秒时间内做完两个**10位数**乘法



# 第二代计算机

■始于20世纪50年代后期

■晶体管计算机

◆使用晶体管存储数据

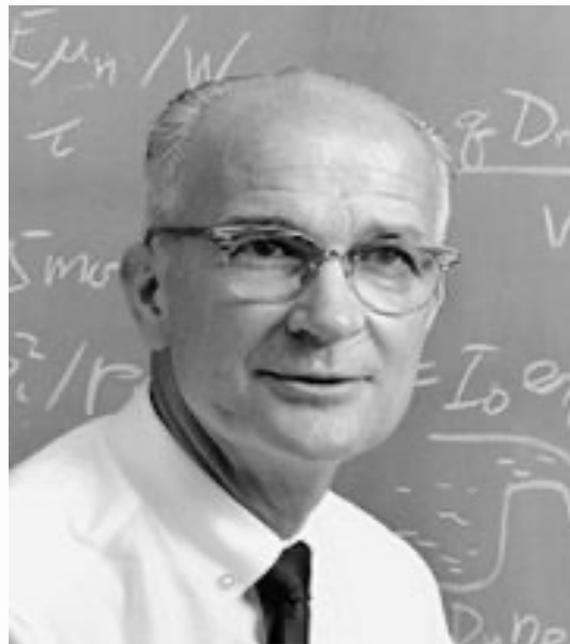
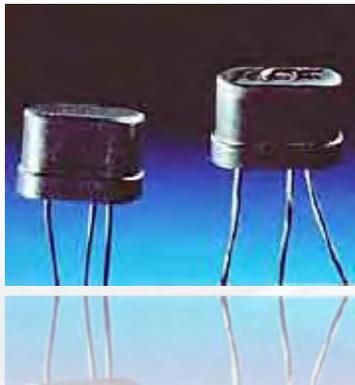
◆晶体管比电子管**更快、更小、更便宜、更可靠**

●不需要预热时间，不会产生热量，不会烧坏，它也不会漏气和爆烈。

●电子管需要1瓦特的功率，晶体管只要百万分之一瓦特。

■1948年1月23日 贝尔实验室

■1956年 诺贝尔物理学奖



William Shockley  
威廉·肖克利  
(1910 - 1989)

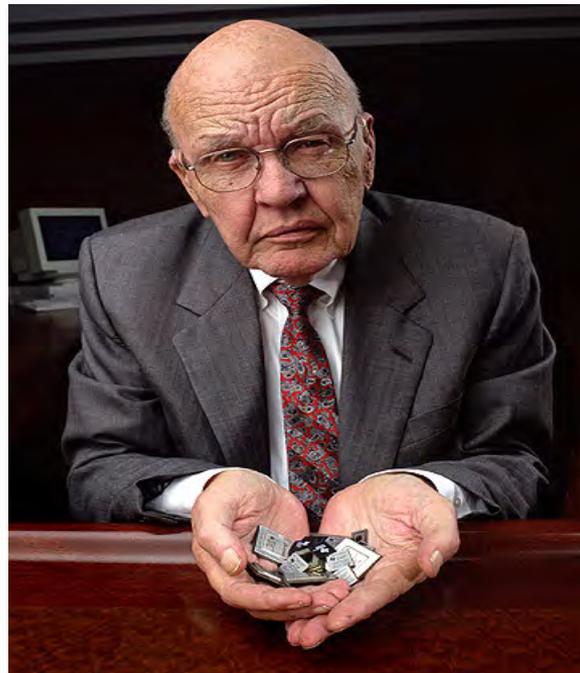
# 第三代计算机

## ■始于1965年

- ◆ 集成电路可将成千上万的真空管或晶体管压在一个单独的微型芯片上

## ■1958年9月12日 德州仪器公司

- ◆ “我坐在桌子前，待的时间好像比平常晚一点”
- ◆ “我的工作可能引入了看待电路部件的一种新角度，并开创了一个新领域，自此以后的多数成果和我的工作并无直接联系”
- ◆ 2000年，诺贝尔物理学奖



Courtesy Texas Instruments

Jack St. Clair Kilby  
杰克·基尔比  
(1923年 - 2005)

# 第四代计算机

■始于20世纪70年代

■主要特点

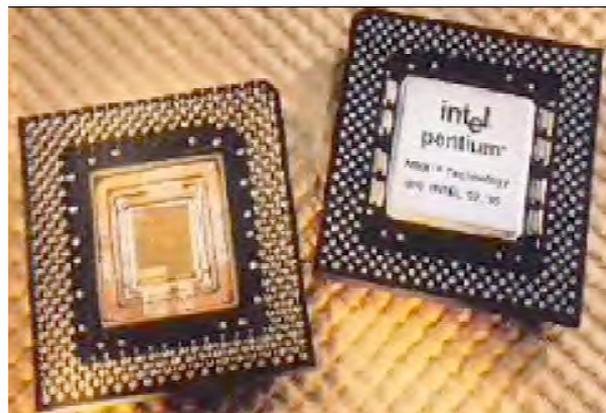
- ◆使用**超大规模**集成电路
- ◆**更快、更小、更便宜**

■**第一块微处理器是1971年制造的 Intel 4004**

- **2400个晶体管**，计算能力与 **ENIAC** 相当
- 但尺寸只有**3毫米x 2毫米**
- 而 ENIAC 尺寸为30米长，3米高

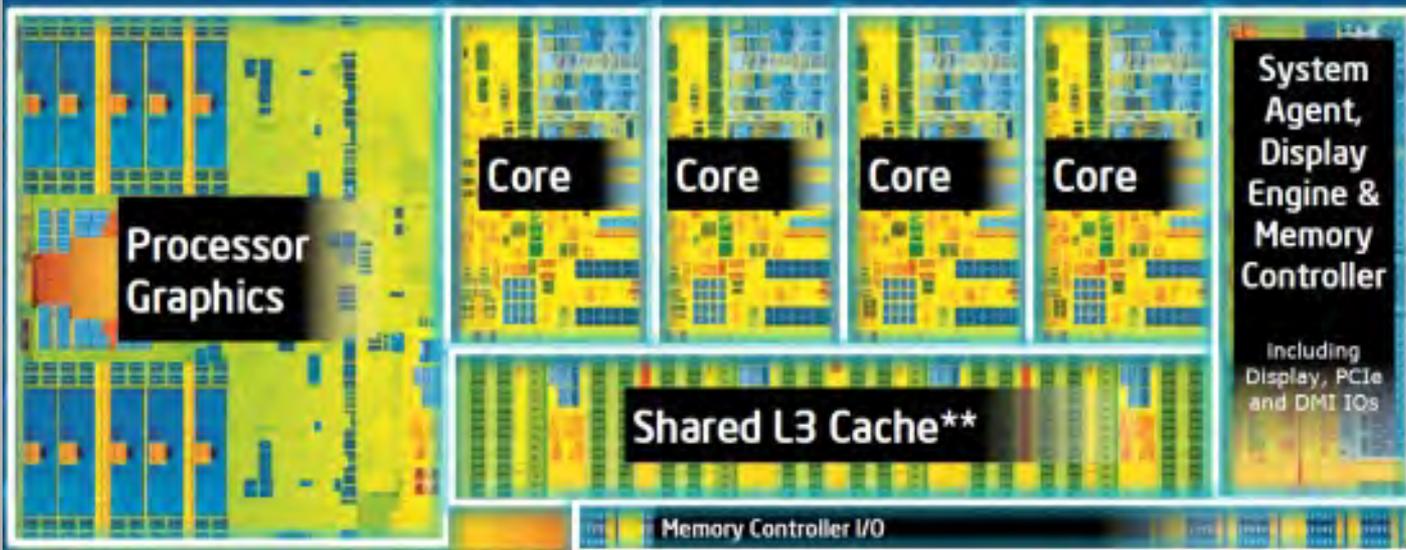
■计算机发展出现瓶颈

- ◆硬件、软件全方位地出现瓶颈
- ◆第5代计算机正在酝酿中.....



# 第四代 Intel Core Processor

## 4th Generation Intel® Core™ Processor Die Map 22nm Tri-Gate 3-D Transistors



Quad core die shown above

Transistor count: 1.4 Billion

Die size: 177mm<sup>2</sup>



# Kirin 9000

5 nanometer 5G SoC

15.3 Billion  
Transistors

New  
8-Core  
CPU



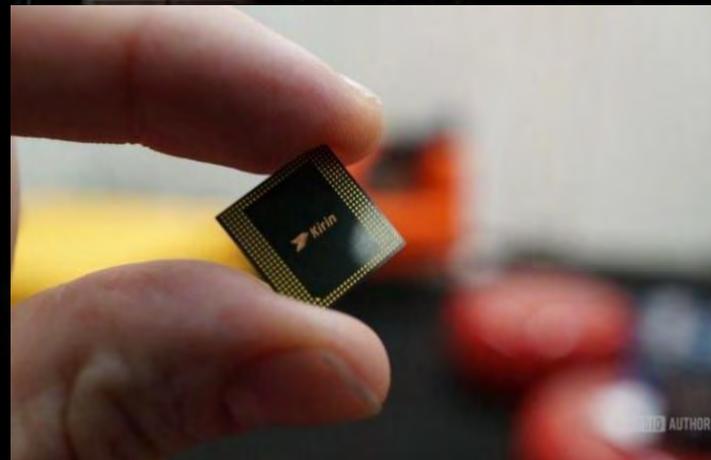
Frequency up to  
3.13GHz

The Most  
Powerful



Chip, Ever

World's 1st  
24-Core



Uplink



CA

# 摩尔定律

■ 1965年 Intel 公司创始人之一 G.Moore 提出

◆ 芯片密度每18个月增加1倍;

- 1972年第1代 Intel4004 芯片总共不到3000晶体管

- Intel Pentium 芯片元件数达到千万数量级

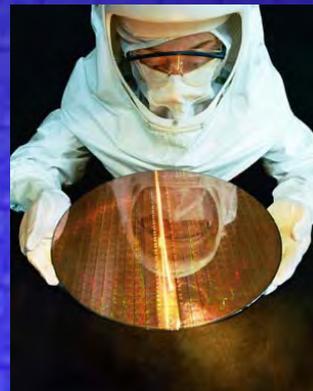
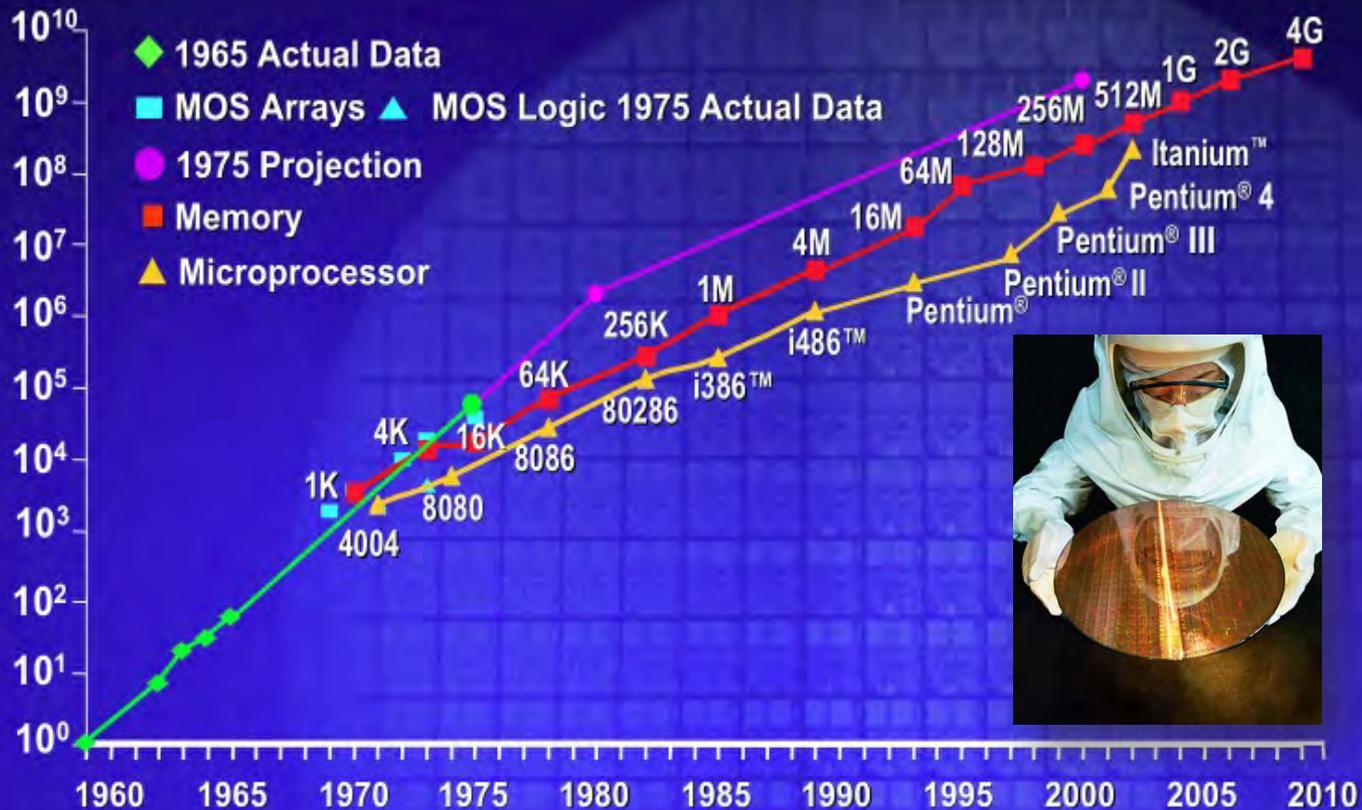
◆ CPU 性能价格比大约18个月翻一番

- 芯片工作速度已经达到10000 MIPS 的工作频率 (MIPS, Million Instruction Per Second)

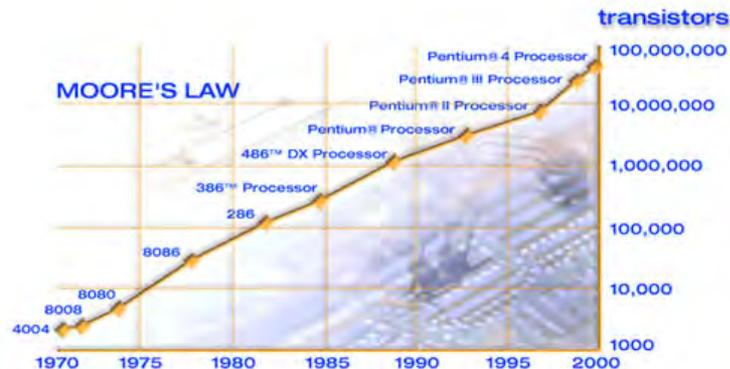
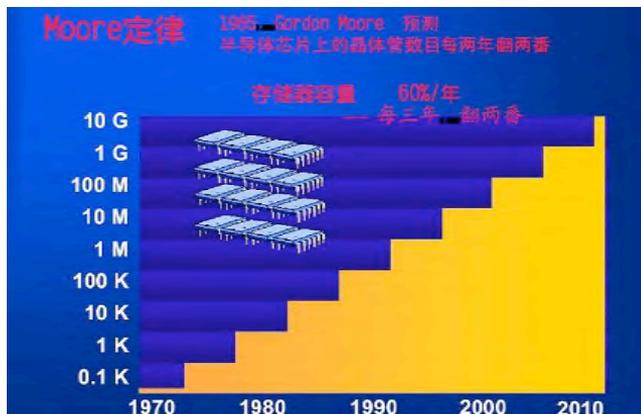
- 速度越来越快, 价格越来越便宜

# 摩尔定律

Transistors  
Per Die

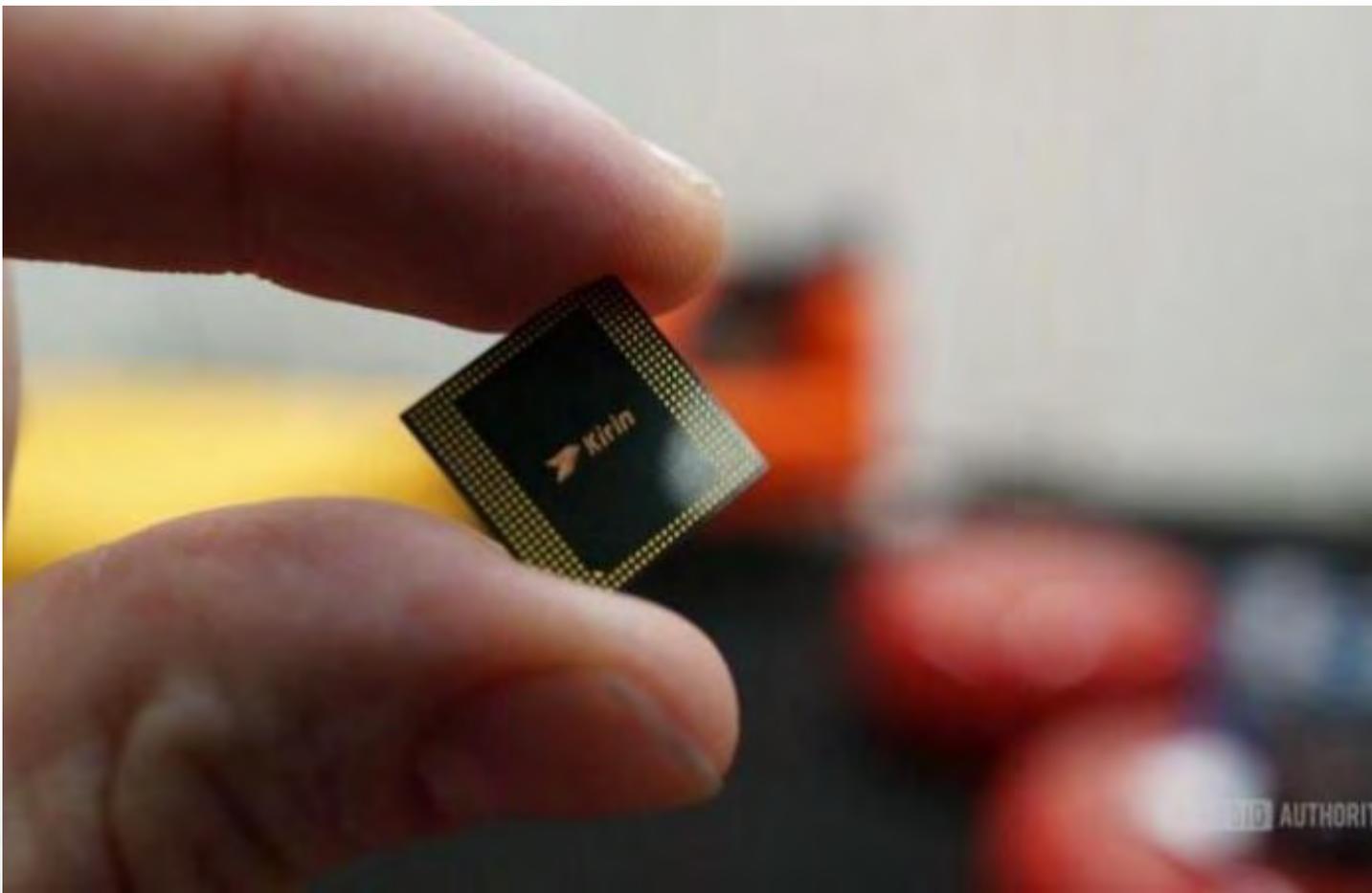


# 摩尔定律



|                       | 年份   | 晶体管数量      |
|-----------------------|------|------------|
| 4004                  | 1971 | 2,250      |
| 8008                  | 1972 | 2,500      |
| 8080                  | 1974 | 5,000      |
| 8086                  | 1978 | 29,000     |
| 286                   | 1982 | 120,000    |
| 386?processor         | 1985 | 275,000    |
| 486?DX processor      | 1989 | 1,180,000  |
| Pentium?processor     | 1993 | 3,100,000  |
| Pentium II processor  | 1997 | 7,500,000  |
| Pentium III processor | 1999 | 24,000,000 |
| Pentium 4 processor   | 2000 | 42,000,000 |

难道不能把芯片造得大一点吗？



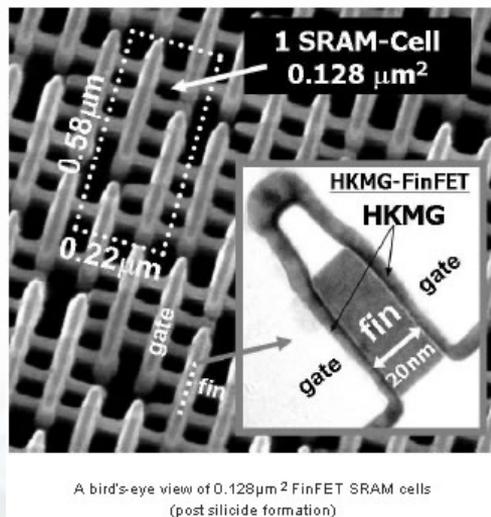
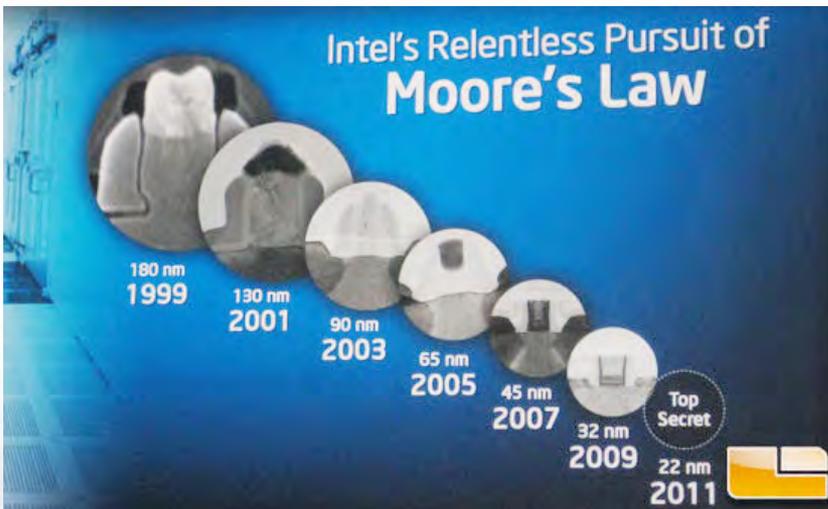
# 难道不能把芯片造得大一点吗？

## ■ 问题之二：晶体管大小限制

- ◆ “如果晶体管仍然持续不断地变小，他们很快就会变到一个原子那么大。任何纳米管和传统工艺都对这种情况没有办法。”

## ■ 问题之三：电泄漏

- ◆ 随着晶体管体积的不断缩小，其电泄漏的情形也不断增加，越来越影响芯片的计算能力。



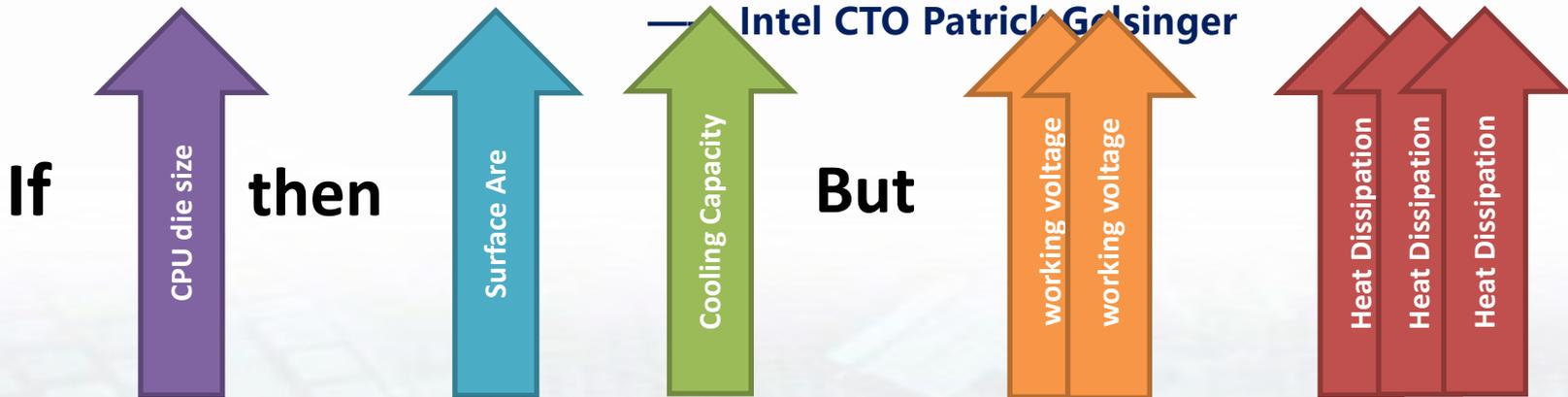
# 难道不能把芯片造得大一点吗？

## ■ 问题之一：散热

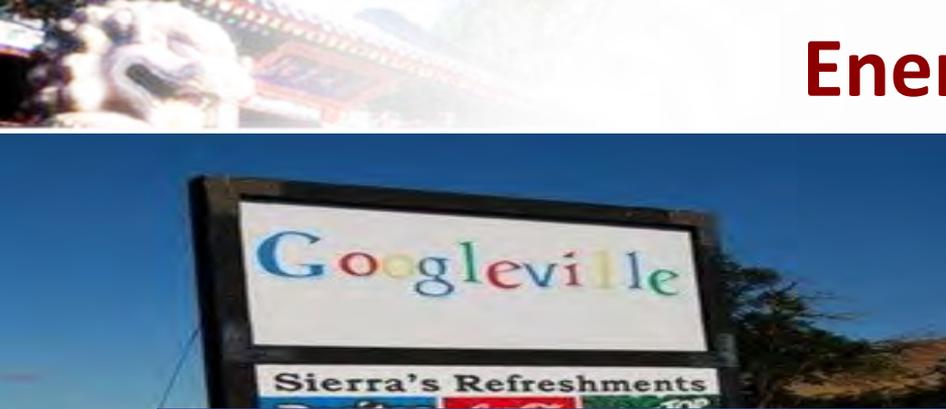
- ◆ 随着晶体管密度与速度的增加，芯片会消耗更多电力，产生更多的热能。

“如果芯片中的晶体管数量以现在的速率一直增长下去，到2005年一个高端的处理器每平方厘米散发的热量将和一个核反应堆外壳持平，到2010年可以和火箭助推器相提并论，到2015年就要和太阳表面一样热了。这是一个工程师必须面对的一个大难题。”

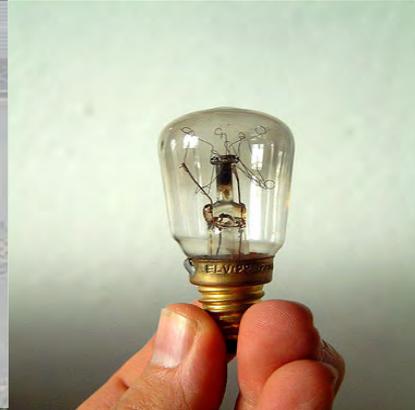
— Intel CTO Patrick Gelsinger



# Energy!



VS.



# We Need Green Computing!



■ How much energy does a google search consume?

- ◆ A single Google query consumes as much energy as an 11-watt light bulb does in one hour.
- ◆ It consumes as much as preparing a cup of coffee.
- ◆ *"performing two Google searches from a desktop computer can generate about the same amount of carbon dioxide as boiling a kettle" or about 7g of CO<sub>2</sub> per search.*

*(Google and you'll damage the planet, Jan 11)*



## TOP 10 - 06/2012

- 1 **Sequoia** - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom
- 2 **K computer**, SPARC64 VIIifx 2.0GHz, Tofu interconnect
- 3 **Mira** - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom
- 4 **SuperMUC** - iDataPlex DX360M4, Xeon E5-2680 8C 2.70GHz, Infiniband FDR
- 5 **Tianhe-1A** - NUDT YH MPP, Xeon X5670 6C 2.93 GHz, NVIDIA 2050
- 6 **Jaguar** - Cray XK6, Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA 2090
- 7 **Fermi** - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom
- 8 **JuQUEEN** - BlueGene/Q

## Lawrence Livermore's Sequoia Supercomputer Towers above the Rest in Latest TOP500 List

Thu, 2012-06-14 13:28



MANNHEIM, Germany; BERKELEY, Calif.; and KNOXVILLE, Tenn.—For the first time since November 2009, a United States supercomputer sits atop the TOP500 list of the world's top supercomputers. Named Sequoia, the IBM

BlueGene/Q system installed at the Department of Energy's Lawrence Livermore National Laboratory achieved an impressive 16.32 petaflop/s on the Linpack benchmark using 1,572,864 cores.

Sequoia is also one of the most energy efficient systems on the list, which will be released Monday, June 18, at the 2012 International Supercomputing Conference in Hamburg, Germany. This will mark the 39th edition of the list, which is compiled twice each year.

» [Read more](#)

## About Prices and Placeholders



此程序无法显示网页

## Recent Releases

June 2012

November 2011

June 2011

November 2010

June 2010

## HPCWire

[AMD Develops SeaMicro Server with Xeon, Opteron Configurations](#)

[Super Micro Shows Latest FatTwin Servers at IDF](#)

[Oak Ridge Receives First Batch of Kepler CPUs for Titan Supercomputer](#)



ISC Cloud '12

September 24 - 25, 2012  
Mannheim, Germany



# <https://top500.org/lists/top500/2023/11/>

| Rank | System  | Cores     | Rmax (PFlop/s) | Rpeak (PFlop/s) | Power (kW) |
|------|---|-----------|----------------|-----------------|------------|
| 1    | <b>Frontier</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE<br>DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory<br>United States                  | 8,699,904 | 1,194.00       | 1,679.82        | 22,703     |
| 2    | <b>Aurora</b> - HPE Cray EX - Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 52C 2.4GHz, Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11, Intel<br>DOE/SC/Argonne National Laboratory<br>United States | 4,742,808 | 585.34         | 1,059.33        | 24,687     |
| 3    | <b>Eagle</b> - Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C 48C 2GHz, NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR, Microsoft<br>Microsoft Azure<br>United States  | 1,123,200 | 561.20         | 846.84          |            |
| 4    | <b>Supercomputer Fugaku</b> - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu<br>RIKEN Center for Computational Science<br>Japan   | 7,630,848 | 442.01         | 537.21          | 29,899     |
| 5    | <b>LUMI</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE<br>EuroHPC/CSC<br>Finland   | 2,752,704 | 379.70         | 531.51          | 7,107      |

| Rank | System  | Cores     | Rmax (PFlop/s) | Rpeak (PFlop/s) | Power (kW) |
|------|---|-----------|----------------|-----------------|------------|
| 6    | <b>Leonardo</b> - BullSequana XH2000, Xeon Platinum 8358 32C 2.6GHz, NVIDIA A100 SXM4 64 GB, Quad-rail NVIDIA HDR100 Infiniband, EVIDEN<br>EuroHPC/CINECA<br>Italy                  | 1,824,768 | 238.70         | 304.47          | 7,404      |
| 7    | <b>Summit</b> - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM<br>DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory<br>United States | 2,414,592 | 148.60         | 200.79          | 10,096     |
| 8    | <b>MareNostrum 5 ACC</b> - BullSequana XH3000, Xeon Platinum 8460Y+ 40C 2.3GHz, NVIDIA H100 64GB, Infiniband NDR200, EVIDEN<br>EuroHPC/BSC<br>Spain                                 | 680,960   | 138.20         | 265.57          | 2,560      |
| 9    | <b>Eos NVIDIA DGX SuperPOD</b> - NVIDIA DGX H100, Xeon Platinum 8480C 56C 3.8GHz, NVIDIA H100, Infiniband NDR400, Nvidia<br>NVIDIA Corporation<br>United States                     | 485,888   | 121.40         | 188.65          |            |
| 10   | <b>Sierra</b> - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM / NVIDIA / Mellanox<br>DOE/NNSA/LLNL<br>United States     | 1,572,480 | 94.64          | 125.71          | 7,438      |

|    |   |            |       |        |        |
|----|---|------------|-------|--------|--------|
| 11 | <b>Sunway TaihuLight</b> - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C<br>1.45GHz, Sunway, NRCPC<br>National Supercomputing Center in Wuxi<br>China | 10,649,600 | 93.01 | 125.44 | 15,371 |
|----|---|------------|-------|--------|--------|

**Site:** National Supercomputing Center in Wuxi

**Manufacturer:** NRCPC

**Cores:** 10,649,600

**Linpack Performance (Rmax)** 93,014.6 TFlop/s

**Theoretical Peak (Rpeak)** 125,436 TFlop/s

**Nmax** 12,288,000

**Power:** 15,371.00 kW (Submitted)

**Memory:** 1,310,720 GB

**Processor:** Sunway SW26010 260C 1.45GHz

**Interconnect:** Sunway

**Operating System:** Sunway RaiseOS 2.0.5





|                            |   |
|----------------------------|---|
| Site:                      | National University of Defense Technology |
| Manufacturer:              | NUDT                                      |
| Cores:                     | 3,120,000                                 |
| Linpack Performance (Rmax) | 33,862.7 TFlop/s                          |
| Theoretical Peak (Rpeak)   | 54,902.4 TFlop/s                          |
| Power:                     | 17,808.00 kW                              |
| Memory:                    | 1,024,000 GB                              |
| Interconnect:              | TH Express-2                              |
| Operating System:          | Kylin Linux                               |
| Compiler:                  | icc                                       |
| Math Library:              | Intel MKL-11.0.0                          |
| MPI:                       | MPICH2 with a customized GLEX channel     |



Green500 List submissions for June 2013 are now closed.

The Green500 List June 2013 will be released on Friday, June 28, 2013.

## The Green500 List News And Submitted Items



### News

#### The Green500 List - November 2012

Wednesday, November 14, 2012 - 12:32

#### Heterogeneous Systems Re-Claim Green500 List Dominance

SALT LAKE CITY, UT - November 14, 2012 - The latest Green500 List was released today (<http://www.green500.org/lists/green201211>) and the top spots on the list have been taken over by machines that combine commodity processors with coprocessors or graphics processing units (GPUs) to form heterogeneous high-performance computing systems.

With all eyes on the new TOP500 number one system, Oak Ridge National Labs' Titan, it was a system belonging to a neighbor at the University of Tennessee that debuted at the top of the November Green500 List

### Search The Green500 Site

 Search



| Rank | TOP500 Rank | System   | Cores   | Rmax (PFlop/s) | Power (kW) | Energy Efficiency (GFlops/watts) |
|------|-------------|--|---------|----------------|------------|----------------------------------|
| 1    | 293         | <b>Henri</b> - ThinkSystem SR670 V2, Intel Xeon Platinum 8362 32C 2.8GHz, NVIDIA H100 800B PCIe, Infiniband HDR, <b>Lenovo</b><br>Flatiron Institute<br><b>United States</b>   | 8,288   | 2.88           | 44         | 65.396                           |
| 2    | 44          | <b>Frontier TDS</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, <b>HPE</b><br>DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory<br><b>United States</b>   | 120,832 | 19.20          | 309        | 62.684                           |
| 3    | 17          | <b>Adastra</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, <b>HPE</b><br>Grand Equipement National de Calcul Intensif - Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur (GÉNÉ-CINES)<br><b>France</b> | 319,072 | 44.10          | 921        | 58.021                           |
| 4    | 25          | <b>Setonix</b> - GPU - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, <b>HPE</b><br>Pawley Supercomputing Centre, Kensington, Western Australia<br><b>Australia</b>   | 181,248 | 27.14          | 477        | 56.983                           |
| 5    | 92          | <b>Dartel GPU</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, <b>HPE</b><br>KTH - Royal Institute of Technology<br><b>Sweden</b>   | 52,844  | 8.26           | 146        | 56.491                           |

|    |     |   |           |          |        |        |
|----|-----|---|-----------|----------|--------|--------|
| 6  | 8   | <b>MareNastrum 5 ACC</b> - BullSequana XH3000, Xeon Platinum 8640Y+ 40C 2.3GHz, NVIDIA H100 84GB, Infiniband NDR200, <b>EVIDEN</b><br>EuroHPC/BSC<br><b>Spain</b>                                   | 680,960   | 138.20   | 2,560  | 53.984 |
| 7  | 5   | <b>LUMI</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, <b>HPE</b><br>EuroHPC/CSC<br><b>Finland</b>   | 2,752,704 | 379.70   | 7,107  | 53.428 |
| 8  | 1   | <b>Frontier</b> - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, <b>HPE</b><br>DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory<br><b>United States</b>        | 8,699,904 | 1,194.00 | 22,703 | 52.592 |
| 9  | 84  | <b>Goethe-NHR</b> - Supermicro A5-612405-TNR, AMD EPYC 7452 32C 2.35GHz, AMD Instinct MI210 64 GB, Mellanox InfiniBand EDR, <b>MEGWARE / Supermicro</b><br>Universitaet Frankfurt<br><b>Germany</b> | 96,768    | 9.09     | 195    | 46.543 |
| 10 | 496 | <b>Olaf</b> - Lenovo ThinkSystem SR675 V3, AMD EPYC 9334 32C 2.7GHz, NVIDIA H100, Infiniband NDR 400, <b>Lenovo</b><br>Science Institute<br><b>South Korea</b>                                      | 3,936     | 2.03     | 45     | 45.117 |
| 11 | 223 | <b>ATOS THX.A.B</b> - BullSequana XH2000, Xeon Platinum 8358 32C 2.6GHz, NVIDIA A100 53M 64 GB, Quad-rail NVIDIA HDR100 Infiniband, <b>EVIDEN</b><br>Atos<br><b>France</b>                          | 25,056    | 3.50     | 86     | 41.411 |

65

170

**Advanced Computing System[PreE] -**

163,840

4.33

380

11.382

Sugon TC8600, Hygon Dhyana 32C

2GHz, Deep Computing Processor,

200Gb 6D-Torus, Sugon

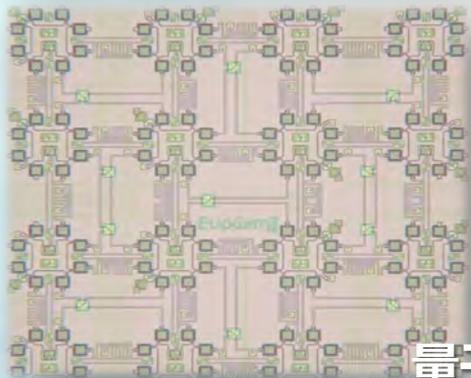
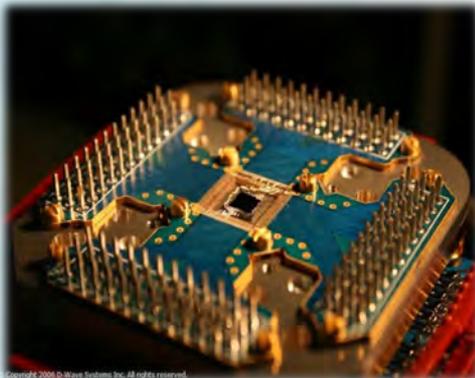
Sugon

**China**



# 摩尔定律失效以后.....

- 全新的计算机理论和计算模式



量子计算机

生物计算机

# 争论中的——首台商用量子计算机

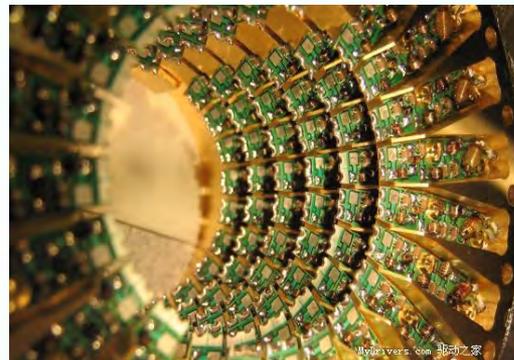
2011年5月，加拿大D-Wave Systems公司推出了“全球第一台商用实用型量子计算机” D-Wave One。（2007年2月曾推出原型机“Orion”）该计算机被冷冻在只比绝对温度高0.005°C (-273.145°C) 的超低温液氮中，售价高达一千万美元。



D-Wave One与D-Wave  
公司创始人兼CTO  
Geordie Rose



为硅芯片制冷的  
超低温设备  
Leiden Cryogenics



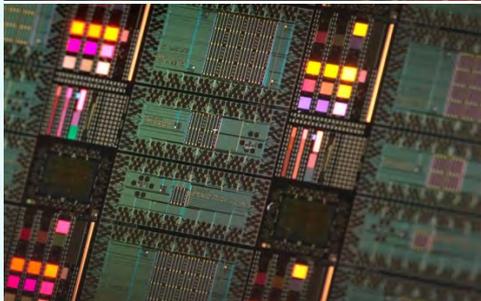
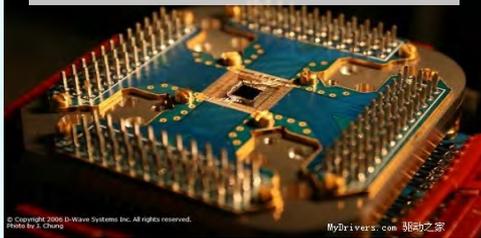
隔绝噪音和外来信号干扰的过滤器



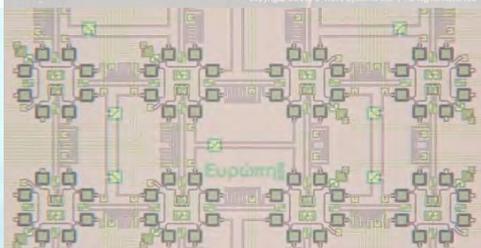
D-Wave One 的广告

# 争论中的——首台商用量子计算机

承载16个量子位的硅芯片



D-Wave One量子处理器晶圆



硅芯片上16个量子位的光学照片

关于D-Wave One的争论：

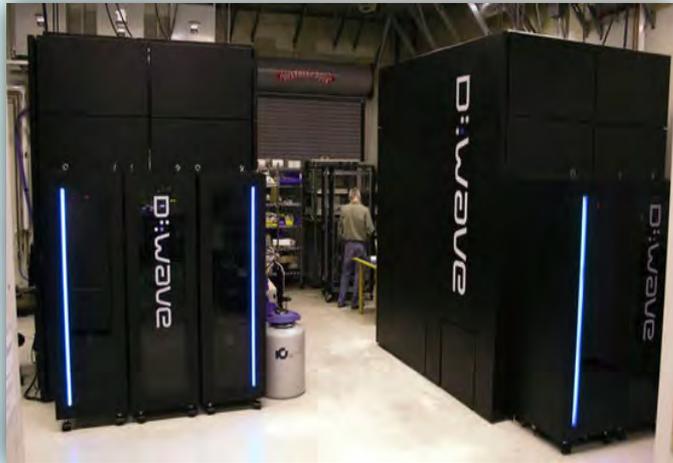
- 量子芯片使用超低温下呈超导态的铌金属构造，利用其中电流的顺时针、逆时针以及顺逆同时存在的混合状态模拟量子态，有些研究人员认为该系统没有证明真正的量子纠缠。
- 没有利用量子门电路控制量子位来进行计算，它并不是上文所说的理论中的量子计算机。
  - 只能处理经过优化的特定任务，通用任务方面还远不是传统硅处理器的对手；
  - 但 D-Wave 实现的量子退火算法确实利用了量子理论描述的效应，它是特殊的“量子计算机”。
- D-Wave公司也表示：

D-Wave One在基础构造和生产工艺上借鉴了现有半导体产业的成果，只是现有电子计算机的补充和增强，并非要取而代之。

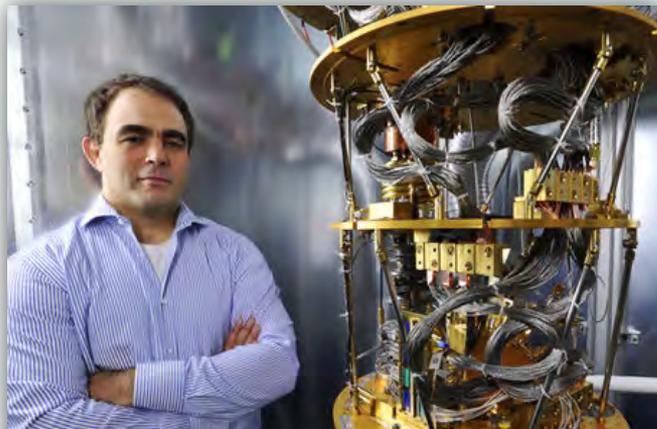
# 备受关注的量子计算机——D-Wave Two

2013年5月，谷歌、美国航天局（NASA）和美国大学空间研究联合会（USRA）达成合作关系，共同建立一个量子人工智能实验室，并为NASA的艾姆斯研究中心（NASA Ames Research Center）购入一台D-Wave Two量子计算机。

- D-Wave Two的处理器达到**512量子比特**，在某些特定问题上，D-Wave Two的处理速度可达到普通电脑的1-5万倍，售价1500万美元。



D-Wave Two的巨大机箱

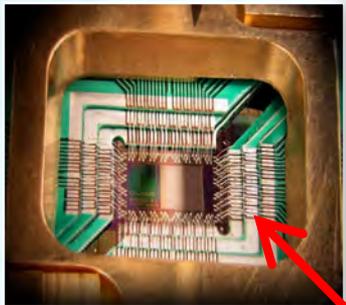


D-Wave创始人Geordie Rose  
与D-Wave Two的主要部件

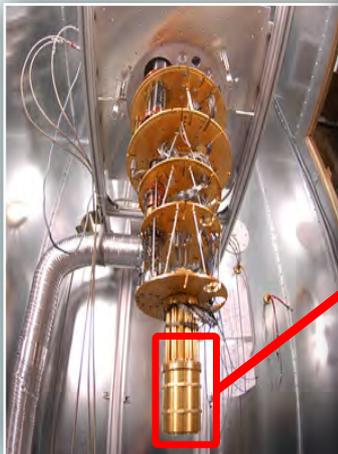


D-Wave Two的广告语

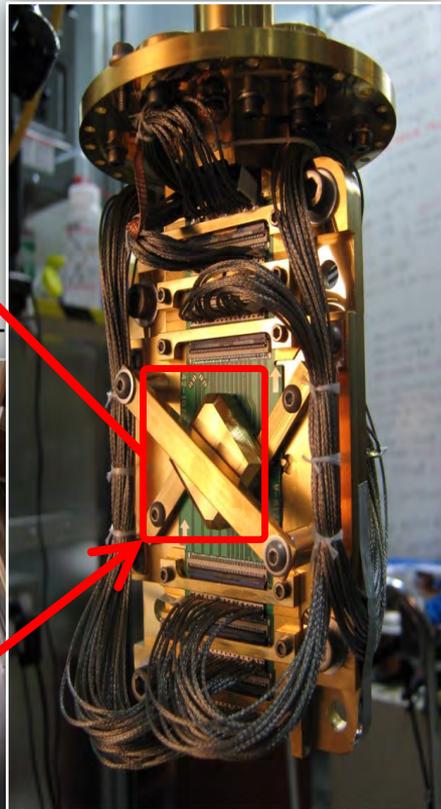
# 近期备受关注的量子计算机——D-Wave Two



D-Wave Two的芯片



承载D-Wave Two 芯片的冷却塔



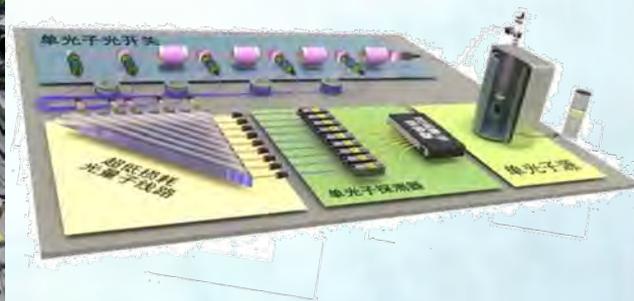
D-Wave Two实现了两个目标：

- 实现了“控制”多个量子位的自旋，量子位的数量提高到512个；
- 利用了隧道穿透效应，实现量子退火算法优化计算过程。

D-Wave Two将用于推进机器学习的研究，完成诸如线性规划，粒子能量计算，蛋白质折叠等类似的计算。

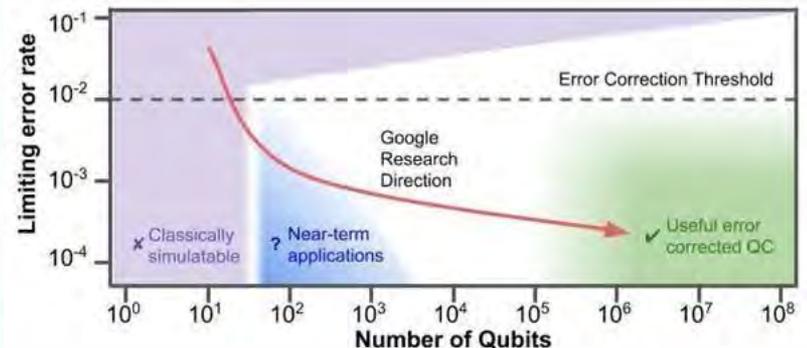
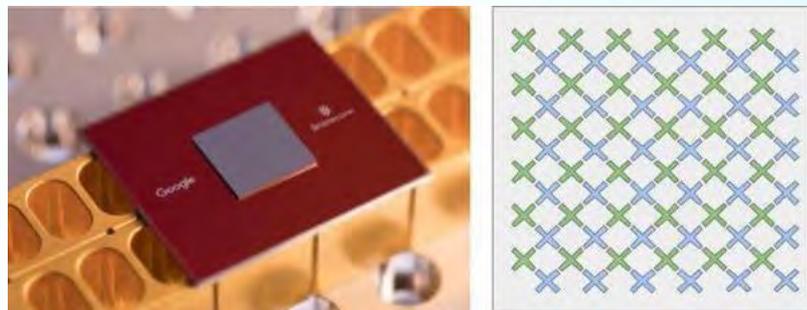
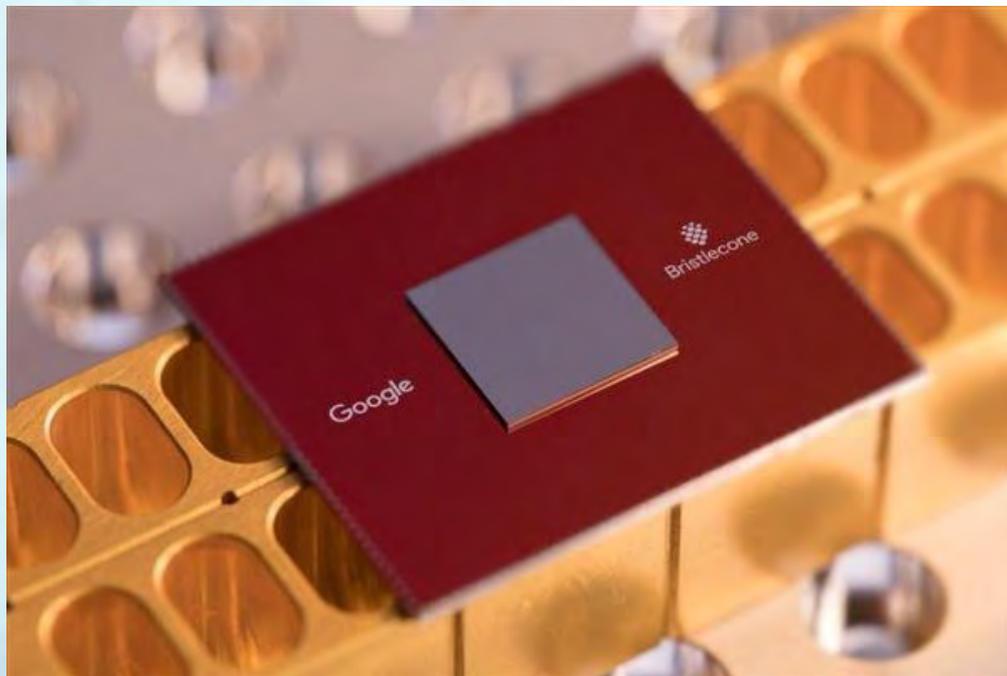
# 来自中国的光量子计算机

- 中国科学院2017年5月3日在上海发布**中国第一台光量子计算机**，由中国科技大学、中国科学院-阿里巴巴量子计算实验室、浙江大学、中国科学院院物理所等单位协同完成；
- 实验测试表明，该原型机的取样速度不仅比国际同行类似的实验加快至少**24000倍**，同时，通过和经典算法比较，也比人类历史上第一台电子管计算机（ENIAC）和第一台晶体管计算机（TRADIC）运行速度快10-100倍。



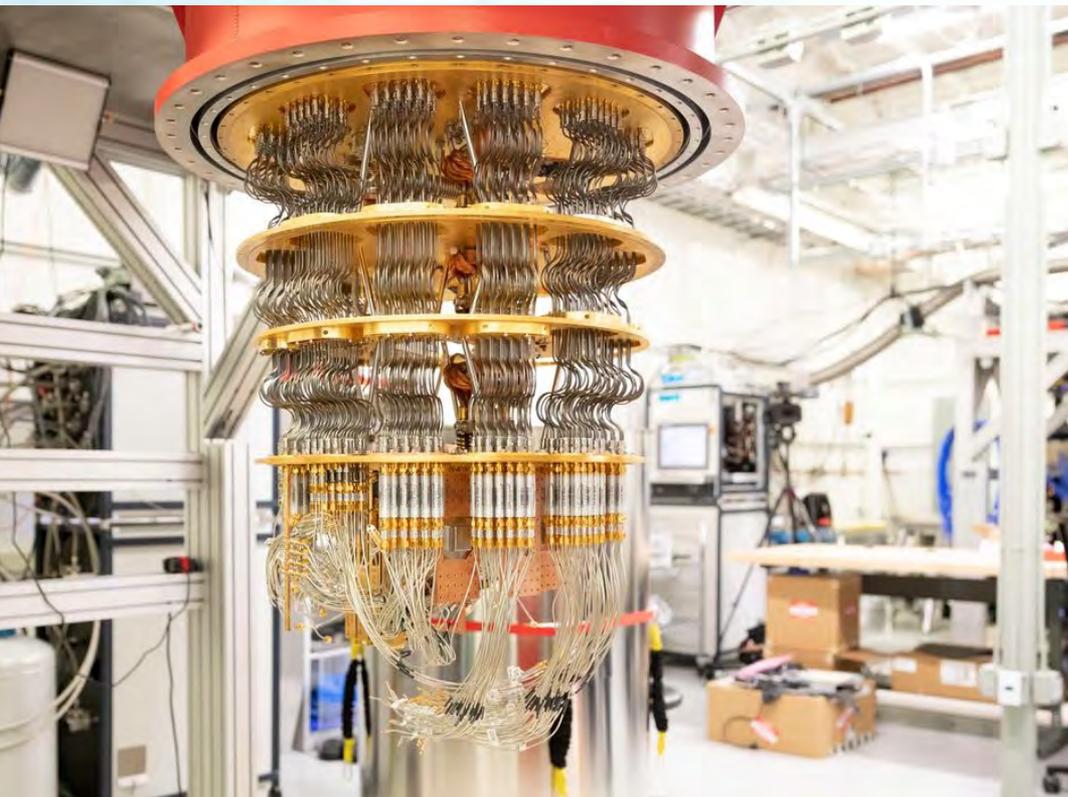
# Google的量子计算机

- 2018年3月6日，Google实验室的公布了最新一代量子处理器Bristlecone，Bristlecone是一款72位量子位处理器，错误率只有1%。



# Google的量子计算机

- 使用具有53个超导量子位的可编程处理器，占用状态空间为 $2^{53} \approx 10^{16}$
- 用**3分20秒**完成的计算，交给全球排名第一的超级计算机Summit，大概需要**1万年**



# 中国的量子计算机也在加紧研制



# 计算机领域的十五年周期律



Computers Appear

1950



PC becomes prevalent

1980



AI & Big Data

2010



Mainframe Age



Internet Revolution

- 1965年前后，以大型机为标志的变革
- 1980年前后，以计算机的普及为标志的变革
- 1995年前后，以互联网为标志的变革
- 2010年前后，以人工智能与大数据为标志的变革
- 2025年... 量子计算？智能编程？

and talks  
for the  
**opportunity**  
his new  
of

# 随堂在线考试



The image shows the ACM A.M. Turing Award trophy, a silver bowl with a pedestal base. The text "ACM" and "A.M. TURING AWARD" is engraved on the front of the bowl. The background is a light blue gradient with faint, abstract patterns.

ACM  
A.M. TURING AWARD