



Microwave Technology

2018年8月



上海交通大學

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

Introduction



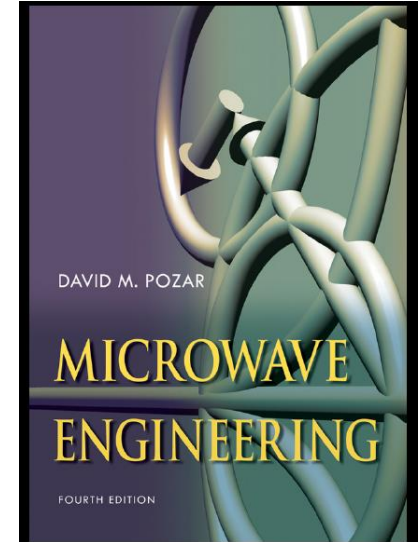
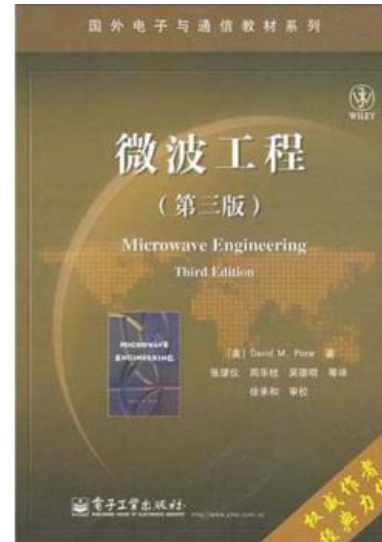
□ 李晓春

- 电子信息学院1号楼541室
- 电话:34205350
- Email: lixc@sjtu.edu.cn
- 网址 : hsic.sjtu.edu.cn

□ 平时成绩：40%

- 出勤率：10%
- 作业和实验：20%
- 口试：10%

□ 期末考试：60%



学时安排



- 40学时理论学习
 - 微波简介
 - 电磁理论
 - 传输线理论
 - 传输线和波导
 - 微波网络分析
 - 阻抗匹配和调谐
 - 微波谐振器
 - 功率分配器和定向耦合器
 - HFSS 电磁场仿真软件
- 8学时实验学习
 - 实验一 基本低功率微波波导测试系统的熟悉与正确调试
 - 实验二 驻波测量
 - 实验三 阻抗测量及匹配技术



Lec1 微波简介



上海交通大學

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

- 微波的定义
- 微波的历史
- 微波的应用
- 信息与通信行业史



微波的定义



□ What is microwave?

□ Electromagnetic wave

□ Described by **Maxwell's equation**

---**Standard circuit theory** is not valid because it is an approximation or special use of **electromagnetics** described by Maxwell's equation

□ Alternating current signals (交变电流信号) with frequencies between 300MHz and 300 GHz, with a corresponding electrical wavelength between $\lambda = c/f = 1\text{m}$ and $\lambda = 1\text{mm}$, respectively.

微波的频率范围和特点?

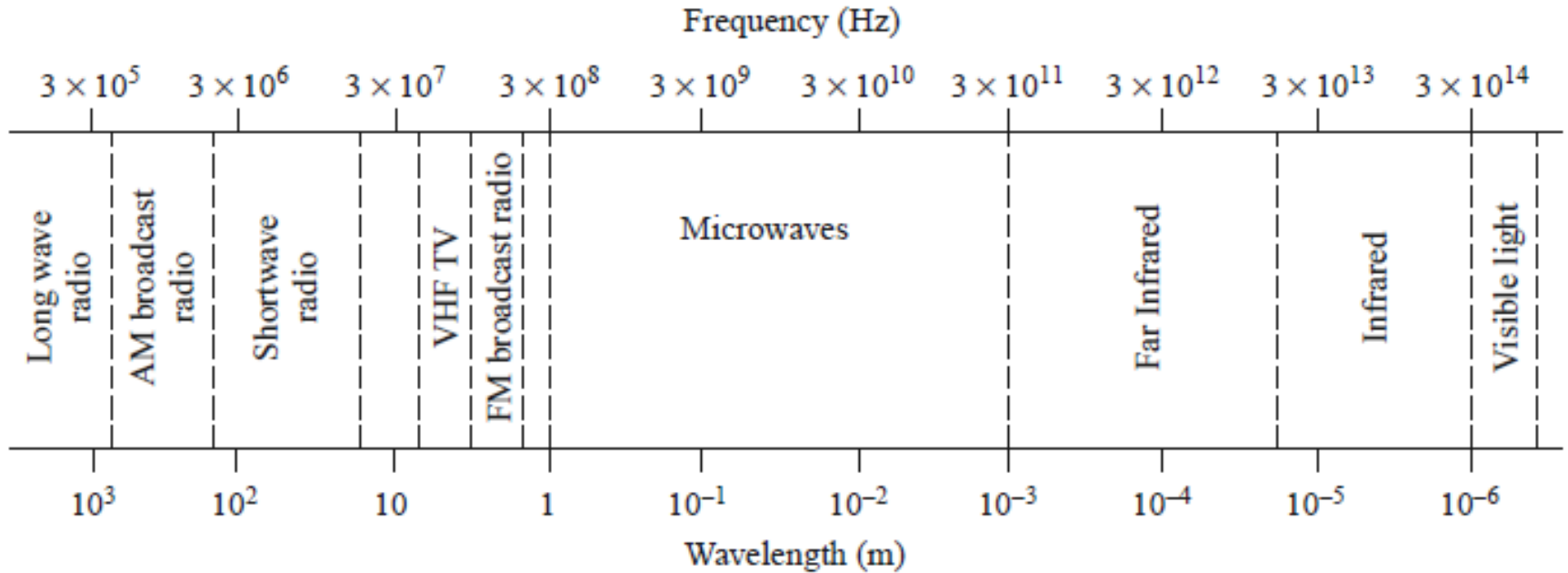
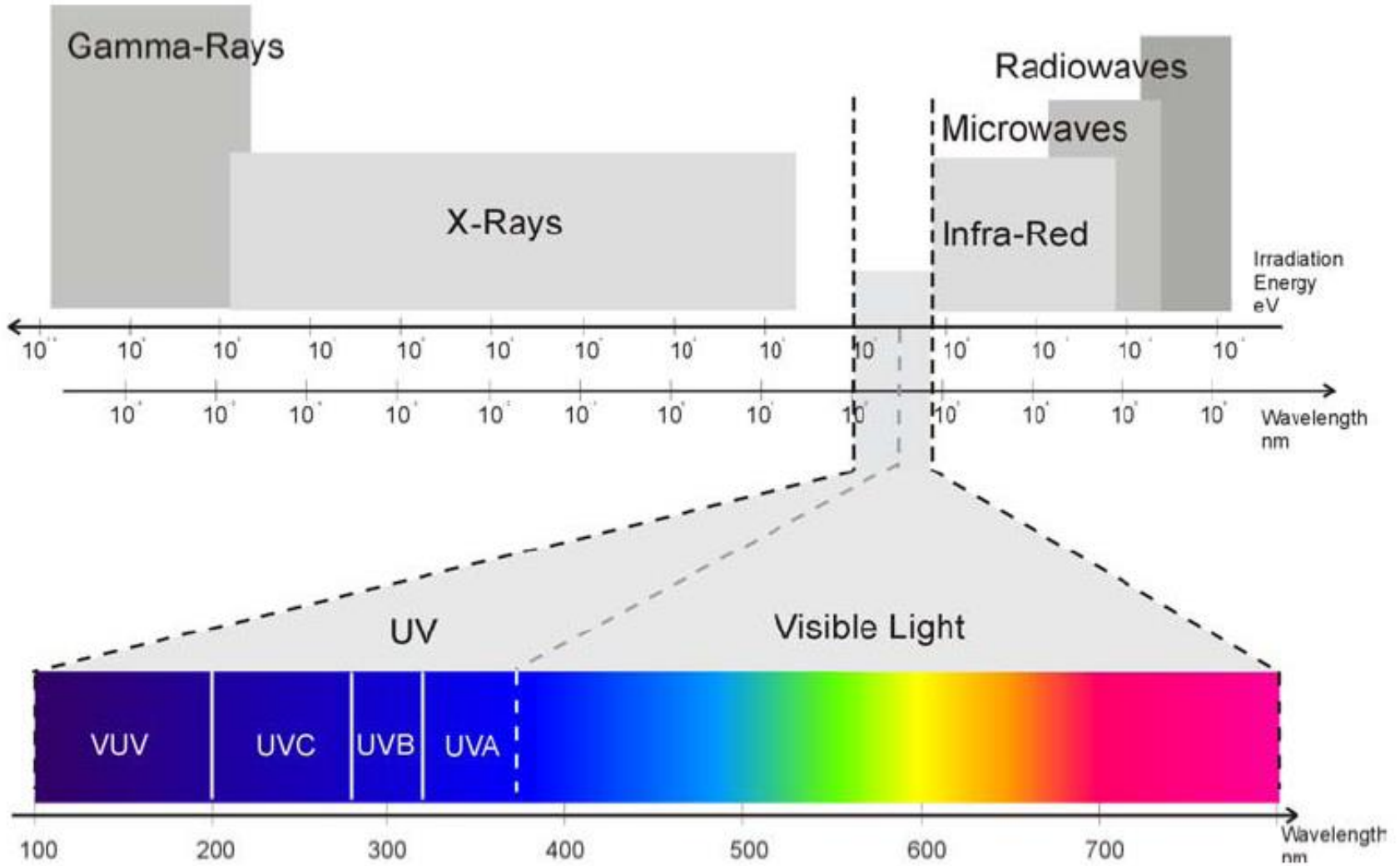


Fig. The electromagnetic spectrum.

Microwave length is close to the size of human body and can be easily used by people.

波长可同普通电路或元件的尺寸相比拟，即为分米、厘米、毫米量级，其他波段都不具备这个特点。





电磁波：

1. 随着频率升高，波长变短，包括无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、x射线、伽马射线。
2. 一种能量形式、无处不在。凡是高于绝对零度的物体都会释放出电磁波。

联想：

水波、声波、热波、力波、引力波都是波动形式；

电磁波： 电波与磁波相互耦合，共同形成能量传输。

即时变的电场引发磁场，时变的磁场引发电场。

静电场与静磁场不会形成电磁波，无能量传输。



波 -> 电磁波 -> 微波

□ 物质形态：波与粒子

粒子：牛顿：

波的概念晚于粒子

□ 电磁波

1. 磁

磁较早发现—指南针（司南和罗盘） 地球磁场

英国医生W Gilbert（1544-1623）在1600年发表《论磁和地磁》

2. 电

富兰克林 Franklin（1706-1790）由闪电发现了电

- 正电与负电

- 电荷守恒

至此，**电磁互不相干**



3. 电磁的结合

□ 丹麦哥本哈根大学教授 H.C. OERSTED (1777-1851)

- 1820年 发现电产生磁，**世界上第一次电磁结合**

通电导线周围存在着磁场的实验。如果在直导线附近(导线需要南北放置)，放置一枚小磁针，则当导线中有电流通过时，磁针将发生偏转。
难度：克服地球磁场。

1820年7月21日发表了题为《关于磁针上电流碰撞的实验》的论文，向科学界宣布了电流的磁效应。作为一个划时代的日子载入史册，它揭开了**电磁学的序幕**，标志着电磁学时代的到来。

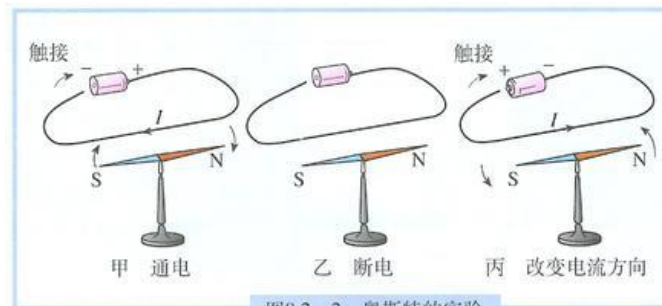
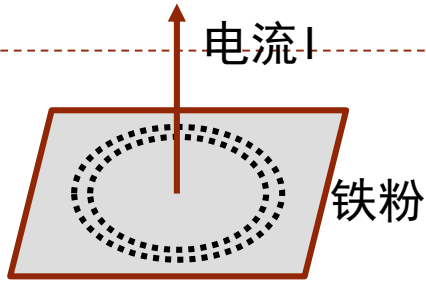


图8.2-2 奥斯特的实验



□ M. Faraday 法拉第 (1791-1867) (英国伦敦, 中学没读过)



主要贡献:

- 场 磁力线
- 对称性思想
- Oersted-电产生磁
- Faraday 磁产生电
- 发明世界上第一个发动机

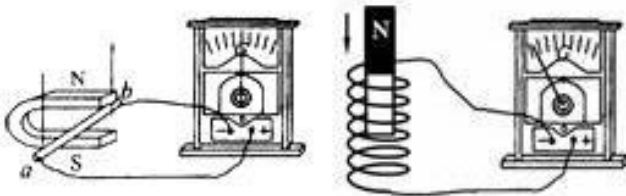


图 1

图 2

动磁产生电

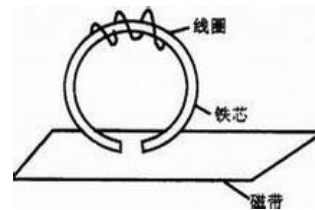


□ 安培 (André-Marie Ampère)

(1775-1836) 法国物理、化学、数学家

主要贡献:

- 磁的本质是电流
- 安培定则: 右手螺旋法则
- 安培定律: $\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$
电流产生磁场



- 分子电流假说:

构成磁体的分子内部存在一种环形电流——分子电流
物质磁性的重要依据



□ Maxwell电磁波方程

- Maxwell(1831-1879), 苏格兰人, 23岁剑桥正教授
- 1864 年论文《电磁场的动力学理论》内, Maxwell推导出电磁波方程。
- 由于这导引将电学、磁学和光学联结成一个统一理论。这创举现在已被物理学术界公认为物理学史的重大里程碑。



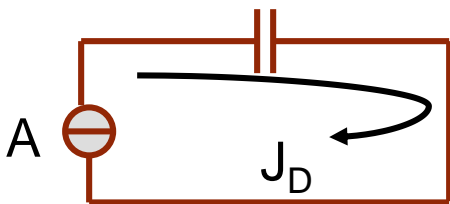
Maxwell

主要贡献:

- 完整的电磁场方程

 矢量场: 由旋度与散度共同确定

- 提出位移电流, 满足电流连续性, 服从安培定律



$$\mathbf{J}_D = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$



1860年，MAXWELL在29岁时提出

$$\nabla \times \bar{\mathcal{E}} = \frac{-\partial \bar{\mathcal{B}}}{\partial t} - \bar{\mathcal{M}},$$

← Maxwell–Faraday equation

$$\nabla \times \bar{\mathcal{H}} = \frac{\partial \bar{\mathcal{D}}}{\partial t} + \bar{\mathcal{J}},$$

← Ampère's circuital law
(with Maxwell's addition)
displacement current

$$\nabla \cdot \bar{\mathcal{D}} = \rho,$$

← Gauss's law

$$\nabla \cdot \bar{\mathcal{B}} = 0.$$

← Gauss's law for magnetism

数学将电磁规律升华！

$$\nabla \cdot \bar{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$$

$$\nabla \times \bar{A} = \hat{x} \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) + \hat{y} \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) + \hat{z} \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right)$$

附录1：电磁科学史总结



□ 电磁波的特点和参数

- 电磁波可以脱离源
- 电磁波可以脱离媒质

电磁波可在真空中传播，历史上曾认为真空中有以太（*ether*）

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kz + \varphi)$$

ω : 角频率

k : 波数

\vec{E}_0 : 振幅

φ : 相位



□ 德国物理学家海因里希·鲁道夫·赫兹
(Heinrich Rudolf Hertz) (1857-1894)

于1888年首先实验证实了电磁波的存在，并测出电磁波传播的速度跟光速相同，还进一步观察到电磁波具有聚焦、直进性、反射、折射和偏振等性。此外，发明了抛物面天线。



Hertz

- 1893年，J.J. Thomson预言了圆波导，给出了有限导电壁波导的初步理论。
- 1897年，Lord Rayleigh分析了矩形波导与圆波导的理论基础
- 1910年，D. Hondros 和P. Debye给出介质圆波导的原理。



□ George Clark Southworth

at Bell Telephone Laboratories

- In 1932 he observed wave propagation in a water-filled copper pipe, and by May 1933 transmitted waves through air-filled copper pipes up to 20 feet in length.
- constructed a 5-in. diameter **waveguide** with a length of 875 feet.
- Selected work: Principles and applications of **wave-guide transmission**, New York, Van Nostrand [1950], xi, 689 p. illus. 24 cm. Bell Telephone Laboratories series. LCCN 50009834.

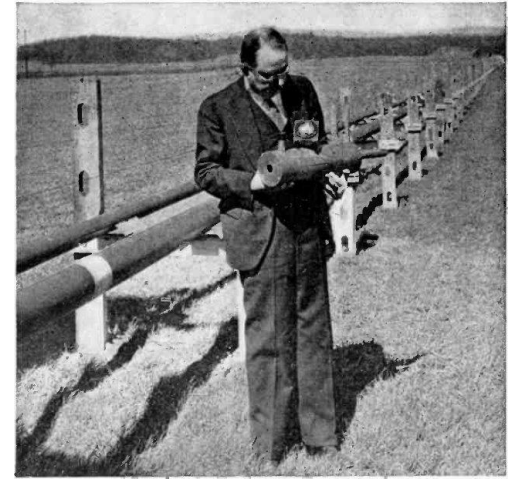


Fig. Southworth at Bell Labs in 1943 standing in front of experimental waveguide line



□ 美籍科学家 朱兰成

麻省理工学院教授，IEEE 院士，美国物理学会院士，美国科学院院士。

- 1938年发表了“椭圆形中空金属管子里的电磁波”（*Jour. Appl. Phys.*），是椭圆波导的第一篇论文。
- 1941年，J.A.斯特拉顿和朱兰成利用长椭球坐标，对中间旋转对称馈电的、偏心率接近于1的长椭球形天线进行了理论分析，应用分离变量法并根据边界条件直接求解麦克斯韦方程而得其场，再从后者求出天线上电流分布和输入阻抗。
- 在二战期间，他研究发展雷达及波导，以其卓著贡献荣膺美国总统科学奖章。





- 1938年,美国斯坦福大学 (University of Stanford)的 W .W .Hansen 教授发表了关于**谐振腔**(resonant cavity当时叫 Rumbatron)的想法。并且,知道Varian兄弟利用谐振腔对电子束进行速度调制,从而发明了双腔速调管 (Klystron) 。
- 1921年, A W Hull在Phys. Rev.杂志上探讨了**磁控管** (Magnetron)
- 1940年, 英国伯明翰大学的J. T. Randall和A. H. Boot发明了多腔磁控管。

磁控管是一种用来产生微波能的电真空器件。实质上是一个置于恒定磁场中的二极管。管内电子在相互垂直的恒定磁场和恒定电场的控制下,与高频电磁场发生相互作用,把从恒定电场中获得能量转变成微波能量,从而达到产生微波能的目的。

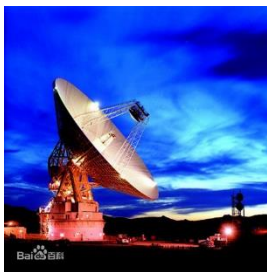




□ 二次世界大战，德英美等国开战雷达（Radar, radio detection and ranging）研究。

- 1935年英国罗伯特·沃特森·瓦特发明第一台实用雷达。
- 1939年 德国装备波长2.4m雷达
- 1940年 德国装备分米波（0.53m）雷达
- 1942年 英国生产厘米波机载雷达
- 1940年 美国MIT成立辐射实验室进行雷达研制

雷达的组成：发射机、发射天线、接收机、接收天线，处理部分以及显示器。还有电源设备、数据录取设备、抗干扰设备等辅助设备。



微波的应用



- Wireless networking and communications systems – High bandwidth
 - 2G 3G 4G 5G wireless communications
 - GSM, CDMA, DAMPS, PCS, and PHS
- Wireless networking systems
 - WLAN (Wireless local area networks) UWB (*ultra wide band*)
- Satellite broadcasting systems
 - Iridium (铱卫星 美国 Motorola) and Globalstar (全球星, 美)
- GPS systems
- Radar systems
- Microwave radiometry (辐射)
 - remote sensing of the atmosphere and the earth, medical diagnostics and imaging
- Microwave heating



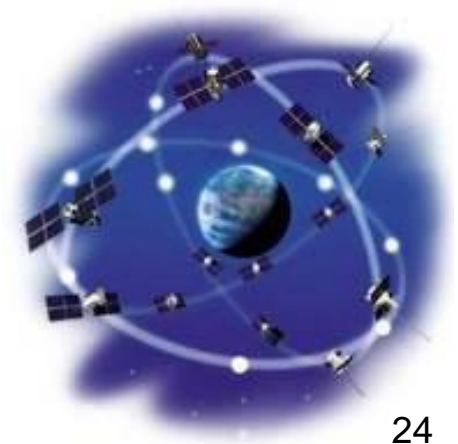
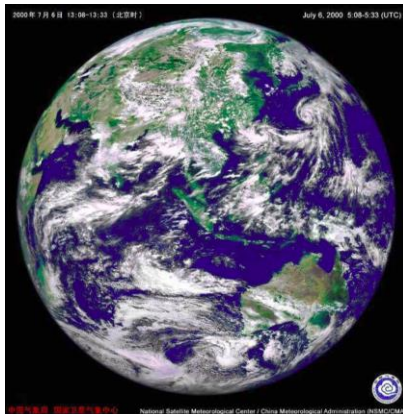
□移动通信

- **2G:** GSM **900**: 900MHz、GSM1800: 1800MHz 及 GSM1900: 1900MHz等几个频段
- **3G:** 中国电信cdma**2000**: 1920~1935MHz(上行), 2110~2125MHz(下行), 共15MHz×2;
中国联通**WCDMA**: 1940~1955MHz(上行), 2130~2145MHz(下行), 共15MHz×2;
中国移动**TD-SCDMA**: 1800~1900MHz, 2110~2025MHz
- **4G:** **2.5/2.6 GHz**频带, 75Mbps传输速率
- **5G:** 频段**28GHz**, 未来可达**1Gbps**传输速率



□ 卫星导航

- **GPS: L1: 1575.42 MHz, L2: 1227.60MHz**
- **GLONASS (俄导航) : L1: $1602++0.5625*kMHz$,
L2: $1246+0.4375*kMHz$**
- **北斗一代: Tx: $1615+/-5MHz$, Rx: $2492+/-5MHz$**



信息与通信行业史



□ AT&T-通信行业鼻祖

- 1877年，电话之父亚历山大贝尔（Alexander Bell）创立 AT&T(美国电报电话公司)，第一次实现了人类远程的交互通信。
- 1925年，成立Bell Labs，历史上最大最成功实验室（十多位诺奖获得者）。
贡献：通信、射电天文学、晶体管、半导体、计算机科学。
- 20世纪初，垄断美国电信业
- 1925年，分离出北方电信，加拿大最大电信公司（受制于反垄断）
- 1948年，实现了商用的微波通信，1962年，第一颗商用卫星
- 1996年，分离成AT&T（电信服务）、朗讯（设备）和NCR（计算机）三家公司。AT&T研究室分为贝尔实验室（朗讯）与香农实验室（AT&T）。
- 2005年，AT&T被SBC公司收购。
- 2006年，朗讯被法国阿尔卡特（Alcatel）公司并购，贝尔实验室迁往法国。



□朗讯-陨落的巨星

- 2000年之前，股票4年涨了13倍，市值2440亿美元。
- 2000年互联网泡沫破灭，每股近百美元跌到0.55美元。

□IBM-保守的百年老店

- 1924年，老沃森控股原制表机公司，改名IBM
- 1933年，IBM工程实验室成立
- 1943年，IBM研制出真空管放大器
- 1964年，IBM S/360大型计算机问世
- 1973年，电子隧道效应获诺奖
- 2005年，PC业务卖给联想
- 2006年，最早提出云计算概念的公司之一



▪ 苹果-几经沉浮

- 1976年，乔布斯等三人成立，研制出第一台通用的个人电脑Apple I
- 1984年，推出采用图像视窗界面操作系统的麦金托什电脑
- 1985年，乔布斯离开苹果
- 1997年，乔布斯接受亏损的苹果
- 1998年-2010年 黄金I时代，iMAC, iPod, iPhone, iPad
- 2011年，乔布斯去世，苹果成为全球市值最高公司
- 2015年，推出Apple Watch



□ 摩托罗拉 (Motorola) - 没落的贵族

- 曾经是无无线通信的代名词
- 1928年创立，生产汽车收音机
- 1942年，手提对讲机
- 1946年，发明汽车电话
- 1963年，发明了世界上第一个长方形的彩电显像管
- 1974年，彩电业务卖给日本的松下公司
- 1979年，成功推出68000通用微处理器（远领先同期的Intel公司）
- 1980s，发明蜂窝式移动电话；推出专用数字信号处理器（DSP）
- 1987年，铱星计划（世界科技史上最了不起也是最失败的项目）
- 2003年，剥离半导体部门，飞思卡尔公司上市
- 2011年，google收购摩托罗拉移动
- 2014年，google将其卖给联想



- 一百年来，IT技术使得信息与通信行业发展迅猛。AT&T公司、苹果公司，英特尔公司、微软公司、思科公司、雅虎公司、谷歌公司先后被推上浪潮之巅，有些已经衰落或正在衰落，但是它们都极度辉煌过。
- 20世纪八九十年代是科技工业史上群星闪耀的时代。在以前AT&T和IBM的时代需要半个世纪才能发生的事，可能在这10年里一下子就发生并结束了。
- 有些公司不论当初多么辉煌，当它开始走下坡路是，被人遗忘的速度比它衰落的速度更快。如，Sun公司，Novell公司，网景公司和RealNetwork公司。Sun公司从1982建立年至2000年达到顶峰（市值排名第一），下跌只用了一年。

参考文献：《浪潮之巅》，吴军。