

天线与电波传播





▼ 天线与电波传播



课程公告

课程基本信息

课程介绍

教师信息

考核方式

在线学习

电子参考书

学习任务单

课程讲稿 (pdf)

互动交流

课外拓展

作业

学习任务单

创建内容

测验

工具



学习任务单--1

已启用: 统计跟踪



学习任务单--2

已启用: 统计跟踪



绪 论

《天线与电波传播课程》第 1 次课

学习任务单

一、学习指南：

1. 主要内容：

绪论，

专题一：基本辐射元（1.1 基本辐射元）；

2. 学习目标：

绪论：（1）了解课程的学习目的、内容、特点、方法和要求；

（2）理解无线电传输体系的构成；

（3）了解天线概念、功能、分类及天线技术的发展。

专题一：基本辐射元，

（1）理解天线远区、近区的概念；

（2）理解并掌握电基本振子的辐射（远区场）特征；

（3）了解磁基本振子的辐射。

3. 学习资料：

（1）教材，

电子参考书：

《微波技术与天线》. pdf P. 1-P. 184.

《如何成为电子工程师丛书系列-第 7 篇-微波技术、天线与电波传播》. pdf

P. 7-77——P. 7-81.

（2）“中国大学慕课”厦门大学“天线与电波传播”1.1 和 1.2 视频，

（网址 <https://www.icourse163.org/course/XMU-1207481802>）

（3）Bb 平台：绪论.pdf，

专题一：基本辐射元.pdf。



绪 论

二. 学习任务

1. 课程内容学习：

参考阅读电子参考书相关章节；

自主学习慕课

预习 Bb 平台发布的 pdf 学习文档；

请带着以下问题开展学习：

- (1) 何谓天线？天线的基本功能有哪些？按照结构形式分类，天线大致可以分为哪些天线？
- (2) 什么是电基本振子？其辐射特性？

2. 作业：

- (1) 完成本次课程发布的教材上作业题（见平台上发布）

作业提交形式：可采用 word 文件、也可写在作业本上拍照后提交。

三. 答疑：

学习中的疑问可在 Bb 平台讨论版或课堂提出（可以上传图片等），教师将尽可能及时反馈；



绪 论

一、有关课程

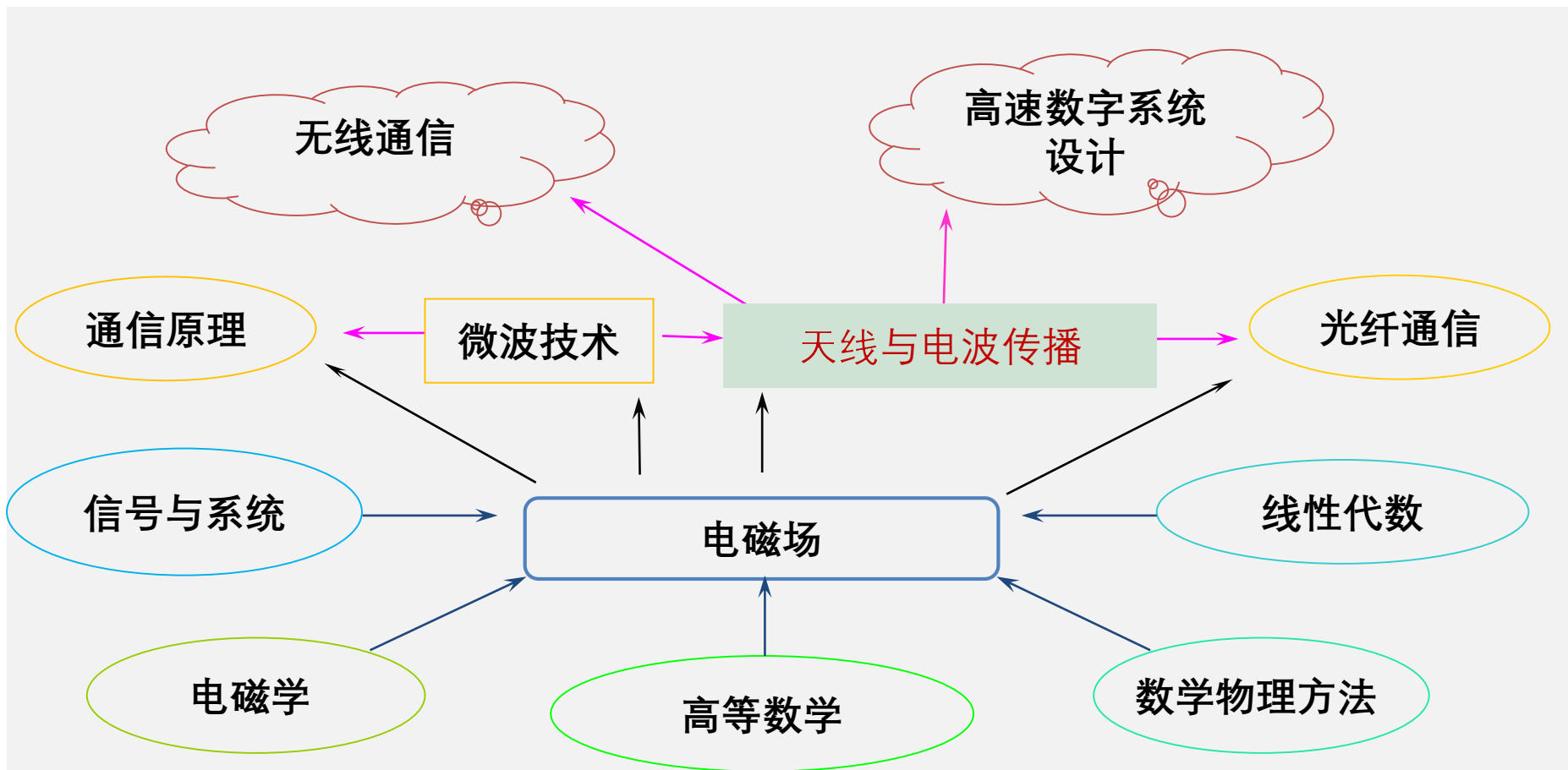
1. 课程类别
2. 教材及参考书
3. 学习内容、体系结构及特点
4. 学习目的、方法及要求
5. 考核方式

二、天线概述

1. 天线的功能
2. 天线发展简史
3. 天线的分类



1.课程类别: 是通信工程、电子及相关专业的一门重要的**专业基础课**。



本课程与相关课程的关系

2. 教材

《天线与电波传播》，宋铮等，西安电子科技大学出版社。

参考书：

1. C. A. Balanis, Antenna theory-analysis and design, 3rd ed., Wiley &sons, New Jersey, 2005
2. 《天线理论－分析与设计》上、下册，巴拉尼斯著，北京：电子工业出版社，1988.
3. 《天线理论与设计》，Stutzman and Thiele著，北京：人民邮电出版社，2006
4. 《天线（第三版）》，Kraus and Marhefka著，北京：电子工业出版社，2007
5. 《天线理论与技术》，钟顺时，北京：电子工业出版社，2011.



电子参考书



电子工业技术词典 电波传播与天线



如何成为电子工程师丛书系列-第7篇-微波技术,天线与电波传播



天线与电波传播 - - 张建华



通信天线建模与MATLAB仿真分析



微波技术与天线



3.学习内容、体系结构及特点

3.1 学习内容

天 线

第1章 天线基础知识

第2章 简单线天线

第3章 行波天线

第4章 非频变天线

第5章 缝隙天线与微带天线

第8章 面天线

第6章:手机天线

第7章:测向天线

第9章:新型天线

电波传播

第10章 电波传播的基础知识

第11章 地面波传播

第12章 天波传播

第13章 视距传播



3.1 学习内容

天线

- 第1章 天线基础知识** {
 - 专题一：基本辐射元
 - 专题二：天线的电参数
 - 专题三：对称振子
 - 专题四：有关天线阵
- 第2章 简单线天线 — 专题五：简单线天线
- 第3章 行波天线 {
- 第4章 非频变天线 } 专题六：宽带天线
- 第5章 缝隙天线与微带天线 — 专题七：缝隙天线与微带天线
- 第8章 面天线 — 专题八：面天线
- 第6章:手机天线 {
- 第7章:测向天线 } 专题九：移动通信天线进展及天线设计软件简介
- 第9章:新型天线 }



3.1 学习内容

电波传播

第10章 电波传播的基础知识

第11章 地面波传播

第12章 天波传播

第13章 视距传播

专题十：电波传播简介



专题内容索引----1

| 专题序号 | 教材内容 |
|------------|--|
| 专题一：基本辐射元 | 1.1 基本振子的辐射 |
| 专题二：天线的电参数 | 1.2发射天线的电参数 1.3互易定理与接收天线的电参数 |
| 专题三：对称振子 | 1.4对称振子 |
| 专题四：有关天线阵 | 1.5 天线阵的方向性 1.6 对称振子阵的阻抗特性 1.7 无限大理想导电反射面对天线电性能的影响 |
| 专题五：简单线天线 | 第2章 简单线天线 |
| 专题六：宽带天线 | 第3章：行波天线 第4章：非频变天线 |



专题内容索引----2

| 专题序号 | 教材内容 |
|----------------------------|--|
| 专题七： 缝隙天线与微带天线 | 第5章： 缝隙天线与微带天线 |
| 专题八： 面天线 | 第8章： 面天线 |
| 专题九： 移动通信天线进展及 天线设计软件简介 | 第6章:手机天线 第7章:测向天线 第9章:新型天线 |
| 专题十： 电波传播简介 | 第10章： 电波传播的基础知识 第11章： 地面波传播 第12章： 天波传播 第13章： 视距传播 |

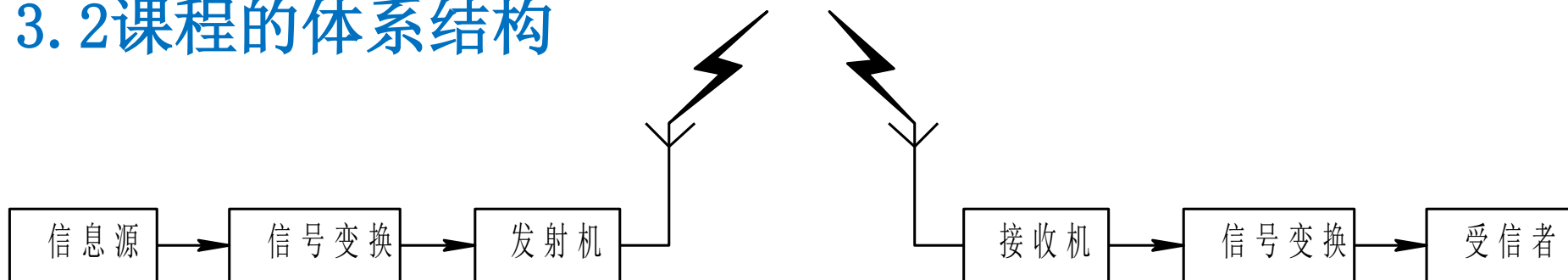


3.1 学习内容

- ◆ 天线与电波传播的基本理论、 基本概念和基本分析方法；
- ◆ 典型天线的特性及设计原理



3.2课程的体系结构



无线电通信系统框图

- 微波、天线与电波传播研究的对象和目的有所不同；

微波-----研究如何导引电磁波在微波传输系统中有效传输。

天线-----将导行波变换为向空间定向辐射的电磁波(发射天线)，
或将在空间传播的电磁波变为微波设备中的导行波(接收天线)；

电波传播----分析和研究电波在空间的传播方式和特点。



3.2课程的体系结构

- 微波、天线与电波传播研究的对象和目的有所不同；

- 有机的整体

三者是无线电技术的重要组成部分；

三者的共同基础是电磁场理论；

三者是电磁场在不同边值条件下的应用；



3.3 课程特点

- 理论性强
- 数学工具
- 兼有专业基础课程和专业课程的特点



4. 学习目的、要求

- 掌握天线的**基本理论**和**基本分析方法**
- 掌握**典型天线**的设计原理与电特性，了解其基本的工程计算方法。
- 了解电波传播的**基本特性**及基本指标的**计算方法**。
- 培养分析和解决实际问题的能力以及将理论与实际相结合的能力。



要 求:

1. 课前——预习，找到难点。
2. 课堂——跟上思路，记好笔记；
3. 课后——例题要会，基本公式要记住。
独立作题，及时总结。



5.考核方式

- 最终成绩 = 平时成绩*30% + 期末卷面成绩*70%
- 平时成绩：上课、测试、作业
- 期末考试：闭卷笔试

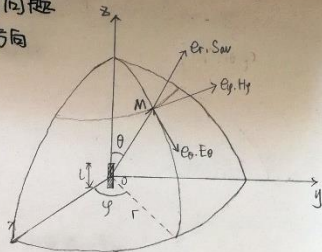
绪论

一、有关课程

第1章 习题 - / 1. 5. 9. 12

1. 电基本振子如图放置在z轴上, 请解答下列问题

- (1) 指出辐射场的传播方向、电场方向和磁场方向
- (2) 辐射场是什么极化的波
- (3) 指出过M点的等相位面的形状
- (4) 若已知M点的电场E, 试求该点的磁场H
- (5) 辐射场的大小与哪些因素有关
- (6) 指出最大辐射的方向与最小辐射的方向
- (7) 指出E面和H面, 并画出方向图



解: (1) 传播方向 E_r , 电场方向 E_θ , 磁场方向 E_ϕ

(2) 线极化波

(3) 球面

(4) $H = \frac{E_\theta}{\eta} e_\phi = \frac{E_\theta}{120\pi} e_\phi$

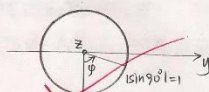
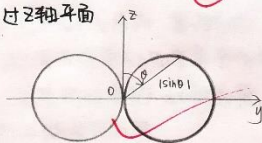
(5) \therefore 表达式 $H_\phi = j \frac{I l}{2\lambda r} \sin\theta e^{jkr}$
 $E_\theta = j \frac{60\pi I l}{\lambda r} \sin\theta e^{jkr}$
 $H_r = H_\theta = E_r = E_\phi = 0$

\therefore 与 I, l, λ, r, θ 有关

(6) $\theta = 90^\circ$, 辐射最大; $\theta = 0^\circ$ 或 180° , 辐射最小, 为0

(7) E面: 过z轴平面

H面: $\pi O y$ 平面



5. 计算基本振子E面方向图的半功率波瓣宽度和主功率波瓣宽度的20dB

解: $F(\theta, \phi) = |\sin\theta|$

半功率点: $F(\theta, \phi) = |\sin\theta| = 0.707$

$\therefore \theta = 45^\circ, 135^\circ$

$2 \times 45^\circ = 90^\circ$

取 $\theta = 45^\circ$

$20_{dB} = 180^\circ - 2 \times 45^\circ = 90^\circ$

主功率点: $F(\theta, \phi) = |\sin\theta| = 0$

$\therefore \theta = 0^\circ$ 或 180°

取 $\theta = 0^\circ$

$20_{dB} = 180^\circ - 2 \times 0^\circ = 180^\circ$

9. 已知基本振子归一化方向函数为 $F(\theta) = \begin{cases} \cos^2\theta & |\theta| \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 & |\theta| > \frac{\pi}{2} \end{cases}$, 试求其方向系数D

解: $D = \frac{4\pi \int_0^\pi \int_0^{2\pi} F(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} F(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi}$
 $= \frac{4\pi \int_0^{\pi/2} \cos^2\theta \sin\theta d\theta}{\int_0^{\pi/2} \cos^2\theta \sin\theta d\theta} = 10$

12. 方向函数 $f_1(\theta) = \sin^2\theta + 0.5$, 求该方向图的半功率角 $2\theta_{0.5}$

$F_1(\theta) = \frac{f_1(\theta)}{f_{max}} = \frac{\sin^2\theta + 0.5}{1.5}$

$\theta = \frac{\pi}{2}$ 时, 有最大值1

令 $F_1(\theta) = \frac{\sin^2\theta + 0.5}{1.5} = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta = 48.5^\circ$

$2\theta_{0.5} = 180^\circ - 2 \times 48.5^\circ = 83^\circ$

习题 - / 26. 27(a), 28

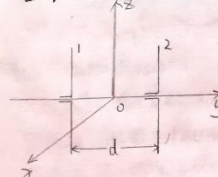
26. 形成天线阵不同方向性则主要因素有哪些?

$F(\delta) = f_1(\delta) \times f_a(\delta)$

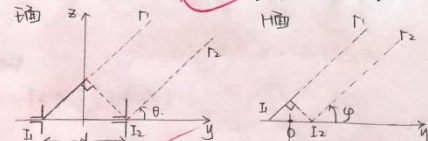
$f_1(\delta)$ 决定于单元天线结构, 按阵方位

$f_a(\delta)$ 决定于各天线单元上的电流分布关系, 各阵元间的相对位置

27. 二半波振子等幅同相激励, 如图放置, 间距分别为 $d = \lambda/2, \lambda$, 计算其E面和H面方向函数并画出方向图.



等幅同相激励, $M=1, S=0$



相位差 $\psi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r = kd \cos \theta$

阵因子 $f_a(\theta) = 12 \cos \frac{\psi}{2} = 12 \cos(\frac{1}{2} kd \cos \theta)$

元因子 $f_1(\theta) = \left| \frac{\cos(\frac{7}{2} \sin \theta)}{\cos \theta} \right|$

\therefore 方向图相乘原理

$\therefore f_E(\theta) = f_1(\theta) \times f_a(\theta) = \left| \frac{\cos(\frac{7}{2} \sin \theta)}{\cos \theta} \right| \times 12 \cos(\frac{1}{2} kd \cos \theta)$

① $d = \lambda/2$ 时, 平面方向函数 $f_E(\theta) = f_1(\theta) \times f_a(\theta) = \left| \frac{\cos(\frac{7}{2} \sin \theta)}{\cos \theta} \right| \times 12 \cos(\frac{1}{2} kd \cos \theta)$

平面归一化方向图:

② $d = \lambda$ 时, 平面方向函数 $f_E(\theta) = \left| \frac{\cos(\frac{7}{2} \sin \theta)}{\cos \theta} \right| \times 12 \cos(7 \cos \theta)$

平面归一化方向图:

侧面: $\Delta r = d \cos \psi$

$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r = kd \cos \psi$

阵因子 $f_a(\psi) = 12 \cos \frac{\psi}{2} = 12 \cos(\frac{1}{2} kd \cos \psi)$

元因子 $f_1(\psi) = 1$

$\therefore f_H(\psi) = 12 \cos(\frac{1}{2} kd \cos \psi)$

一、有关课程

1. 课程类别
2. 教材及参考书
3. 学习内容、体系结构及特点
4. 学习目的、方法及要求
5. 考核方式

二、天线概述

1. 天线的功能
2. 天线发展简史
3. 天线的分类



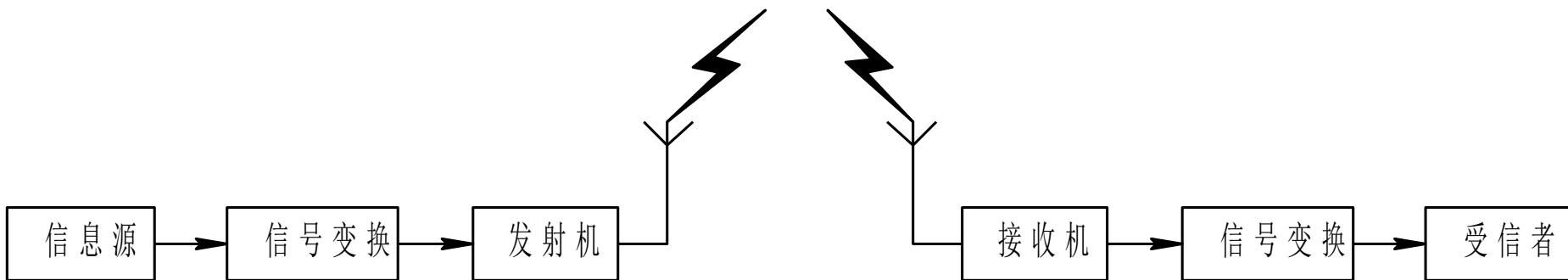
- 1. 天线的功能
- 2. 天线发展简史
- 3. 天线的分类



请带着以下问题开展学习：

1. 何谓天线？
2. 天线的基本功能有哪些？
3. 按照结构形式分类，天线大致可以分为哪些天线？





无线电通信系统框图

天线：无线电系统中发射或接收电磁波的器件。

◆ 天线是各种无线电系统中必不可少的部件之一。

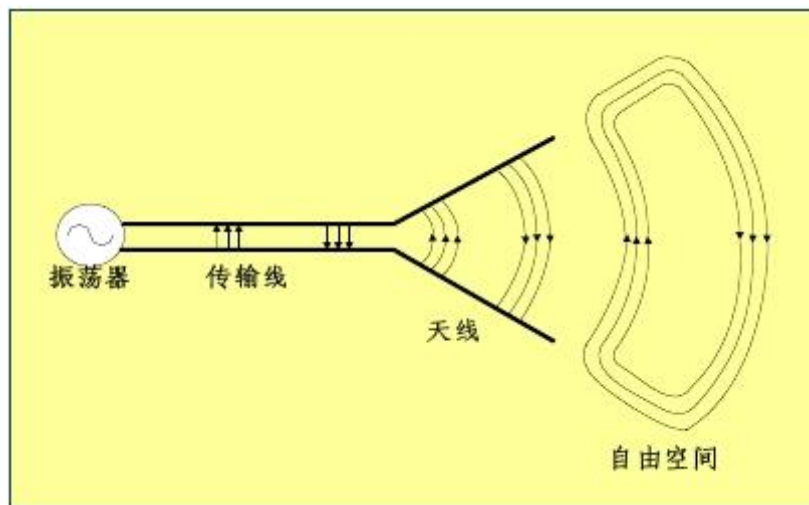
诸如：无线电通信、广播、导航、雷达、测控、微波遥感、射电天文及电子对抗等各种民用和军用无线电系统。

- 1. 天线的功能

1. 能量转换；
2. 能量接收与发射具有方向性
3. 辐射或接收指定的极化波
即能形成所需极化



功能1：能量转换：



发射天线的能量转换



- 天线是波源与空间的匹配件。

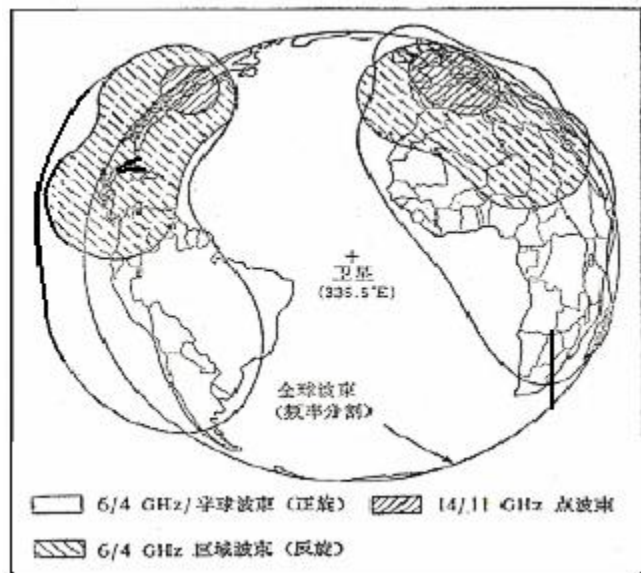
功能2: 能量接收与发射具有方向性

即具有对能量做空间分配或选择的功能

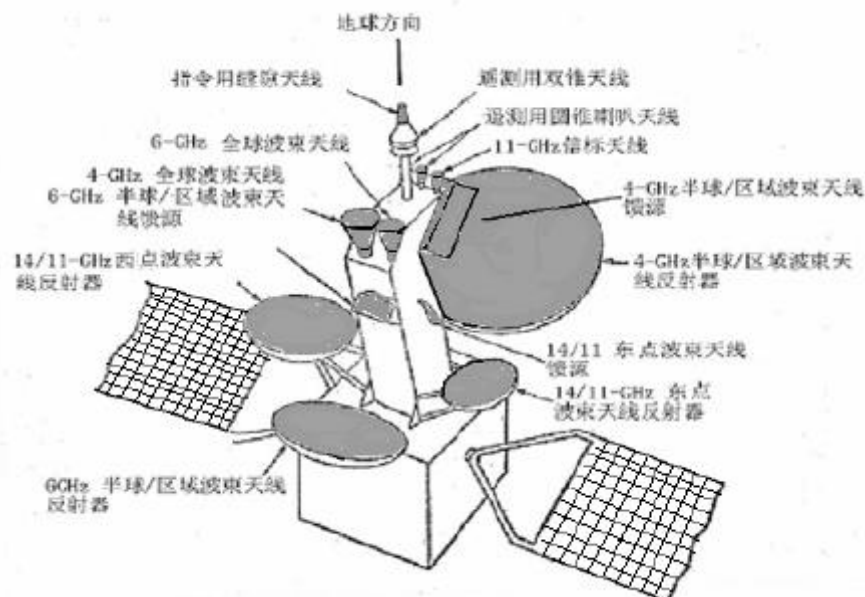


卫星地面站天线

功能3：辐射或接收指定的极化波 即能形成所需极化



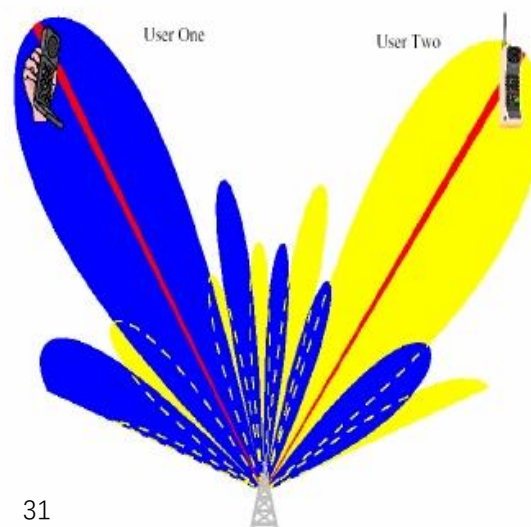
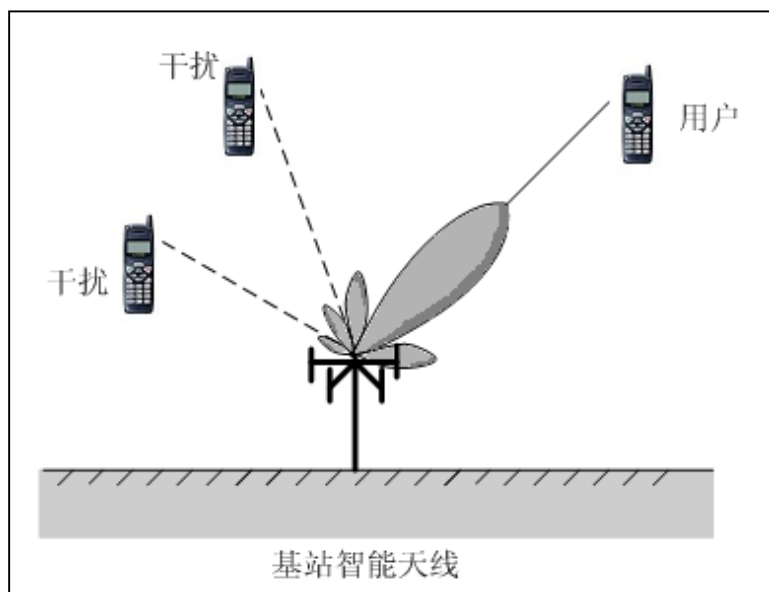
大西洋区Intelsat V卫星的半球和区域波束覆盖区



Intelsat V卫星的天线配置

◆天线的功能也在发展中

- 相控阵天线能将波束进行电控扫描;
- 单脉冲天线能形成“和”、“差”波束
- 智能天线动态地形成指向用户的波束并使波束零点对准干扰方向;
- 天线用于能量传输: 微波输能的整流天线, 微波波束武器, 医用辐射计等



2. 天线发展简史

1873年：Maxwell理论上预言了电磁波的存在

1887年：赫兹证实了电磁波的存在，
当时所用电偶极子谐振器是最早的发射天线



Heinrich R. Hertz
(1857-1894)
海因里希 赫兹

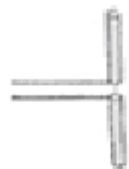
1. 线天线时期：19世纪末~20世纪30年代初
2. 面天线时期：20世纪30年代初~ 50年代末
3. 大发展时期：20世纪50年代末至今

发展方向：

多功能化、智能化、小型化、集成化及高性能化等。



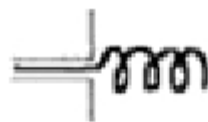
3.天线的分类



对称振子



圆环



螺旋线

线天线



波导缝隙



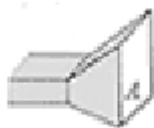
微带贴片

(b)



微带缝隙

缝天线



喇叭



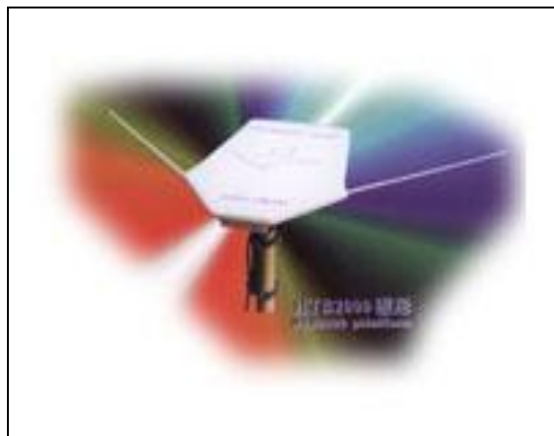
抛物面反射器

(c)



介质透镜

面天线
(口径天线)





微波接力天线

天线图片展示



第二次世界大战时期美国
SCR-270雷达的同相水平天线



北京密云射电天文望远镜的
50米直径反射面天线

第1章 天线基础知识

- 专题一：基本辐射元
- 专题二：天线的电参数
- 专题三：对称振子
- 专题四：有关天线阵

第2章 简单线天线

专题五：简单线天线

第3章 行波天线

第4章 非频变天线

专题六：宽带天线

第5章 缝隙天线与微带天线

专题七：缝隙天线与微带天线

第8章 面天线

专题八：面天线

第6章:手机天线

第7章:测向天线

第9章:新型天线

专题九：移动通信天线进展及天线设计软件简介

