**《航空航天导航导论复习提纲》**

说明：

（1）将主要知识点分为掌握、理解和了解三个层次；

（2）掌握和理解部分是教学的重点；

（3）各部分大致比例为 掌握：理解：了解 = 6：3：1

绪论篇

## 知识点1：定位导航技术的基本要素

在统一的空间和时间参考系下，通过参考物、观测对象、测量手段和解算方法四个要素的联合作用，形成定位导航能力。

卫星定位导航技术篇

# 第一章 卫星导航定位系统的组成

## 知识点1. 卫星导航定位基本原理（掌握）

定位前提条件： 卫星坐标位置已知

基本定位原理： 接收机测量到多颗卫星的距离，即可为每个卫星得到一个以卫星为中心、以距离为半径的球，多个球（不少于三个球）的交会点（或误差球），即为接收机的位置，如果卫星的空间坐标已知，则交会点的坐标可以计算得出。

## 知识点2：卫星定位导航系统的四要素和坐标系（掌握）

（1）参考站：卫星

（2）观测对象：电磁波

（3）测量手段：测距码测距、载波相位测距

（4）解算方法：牛顿迭代法、最小二乘法、动态（卡尔曼）滤波

（5）参考系统：协议地球坐标系、原子时系统

## 知识点3. 卫星定位导航系统的组成（掌握）

（1）总体组成：空间卫星部分 + 地面监控部分 + 用户接收部分

（2）地面监控站的组成：“监测站->中心站->注入站”形成闭环回路

（3）空间卫星的作用（理解）

（4）接收机的作用（理解）

（5）其他部分为了解

## 知识点4：全球四大卫星定位导航系统（掌握）

（1）全球四大卫星定位导航系统：GPS系统、北斗系统、伽利略系统、格洛纳斯系统

（2）GPS系统、北斗系统、伽利略系统的信号体制均为码分多址；

（3）格洛纳斯系统的信号体质为频分多址；

（4）GPS系统的星座情况（基本要求6x4，）

（5）北斗系统的星座情况（基本要求：5 + 3 + 3x 8）

（6）GPS和北斗系统的主要频点

（7）其他内容为了解

# 第二章 卫星定位导航信号的组成

## 知识点1：无线电信号的基础知识（了解）

（1）无线电传输模型；

（2）无线电频率的划分；

（3）无线电通信的特点；（理解）

（4）信号调制的原理和类型；

（4）扩频调制的原理和特点（理解）；

## 知识点2 卫星定位导航信号的组成（掌握）

（1）卫星定位导航信号的总体组成（载波信号 + 测距码 + 导航电文）

（2）GPS和北斗载波频点

（3）随机噪声码、测距码（扩频码）的特点和区别

（4）GPS系统中采用的主要测距码有哪些（C/A码、P码、M码、C码）

（5）C/A码的特性（码元、码元宽度0.97752微秒、码元理论距离293.1米、码长1023个码元、码周期1毫秒、码周期理论距离约300公里、数据率1.023Mbps）

（6）C/A码的测距能力（分辨力为0.01个码元，即约2.91米）

（7）P码的特性及测距能力（了解，码元宽度为C/A码的十分之一，码元理论距离为29.3米，码周期约267天，分辨力为0.01个码元，即约0.291米）

（8）导航电文的主要内容（卫星星历、卫星状态、卫星钟参数、摄动改正项、大气折射改正项、其他卫星的历书等，约1个小时更新一次）

（9）导航电文的帧长度与数据率（1500bit、发送时间约30s，数据率50bps）

（10）导航电文的帧结构（5个子帧，每个子帧10个字，每个字30个字节，1个子帧共300bit，前三个子帧是卫星自身信息，后两个子帧是其他卫星的历书）

## 知识点3：卫星导航信号的传输特性（掌握）

（1）测距的本质：距离=时延 x 速度，假设速度为理想的光速，则测距的本质是测量时延。

（2）信号传输特点：卫星信号在从卫星到接收机的传播过程中，传输速度并非是理想的光速，大气层对电磁波存在大气折射现象，并且造成了距离测量误差，影响接收机定位精度。

（3）影响卫星导航信号传输的主要因素：对流层的介质构成和气象条件、电离层的电子密度。

（4）电离层对导航信号传输的影响特点：同一电子密度条件下不同频率的电磁波大气折射规律不同，通过多个频率的测量，可估算电离层效应，并有效削弱电离层大气折射的影响。

（5）其他内容为了解。

## 知识点4：卫星定位导航的误差来源（掌握）

（1）误差总体构成：卫星相关部分 + 信号传输部分 + 接收机部分

（2）卫星部分的主要误差： 卫星轨道误差 + 钟差 + 频漂

（3）卫星部分误差改正方法：卫星轨道通过地面观测建模，生成轨道根数和摄动改正项，通过导航电文播发；钟差和频漂通过地面误差校正，校正参数通过导航电文播发；

（4）信号传输部分误差：电离层传输误差 + 对流层传输误差 + 多径效应；

（5）信号传输部分误差改正方法：电离层采用地面观测建模的方法，或利用双频接收机计算；对流层主要是通过地面观测建模来计算；电离层和对流层信号传输误差模型参数均通过导航电文播发；多径效应目前尚无非常好的改进办法，主要通过天线的改进实现。

（6）接收机部分误差：钟差 + 分辨误差 + 安置误差 + 相位中心误差

（7）接收机部分误差的改正方法：

钟差： 作为未知数解算；

分辨误差： 通过载波跟踪或码跟踪，基本能够达到1%的分辨率；

相位中心误差：改善天线的加工精度。

# 第三章 卫星定位导航的坐标系统与时间系统

## 知识点1：卫星导航电文采用的坐标系和时间系统（掌握）

真天球坐标系 + GPS原子时

## 知识点2：接收机的坐标输出和时间输出（掌握）

协议地球坐标系 + 世界协调时

## 知识点3：各种坐标系统和时间系统的定义（了解）

## 知识点4：坐标系的转换过程（理解）

协议天球坐标系 --> 平天球坐标系 --> 瞬时真天球坐标系 --> 瞬时地球坐标系 --> 协议地球坐标

## 知识点5：时间系统的转换过程（理解）

地球质心力学时（TDT） + 32.184s = 国际原子时（IAT） + 19s = GPS原子时IAT + n跳秒 = 世界协调时（UTC）

# 第四章 卫星位置的确定

## 知识点1： 卫星位置确定的基本原理（掌握）

根据万有引力定律，卫星围绕地球运转的轨道是时间的函数，有固定规律可循，因此，可以通过对卫星轨道建立模型，并利用时间来确定卫星位置。

## 知识点2：卫星的无摄运动（掌握）

（1）理论基础：万有引力定律

（2）卫星轨道特点：开普勒三大定律

（3）卫星轨道的描述方法：六个开普勒轨道参数或轨道根（需清楚各参数的定义）

## 知识点3：卫星的受摄运动（了解）

（1）力学基础：太阳/月球引力，地球形状，潮汐变化，太阳光压等非中心力造成卫星并非按照理想轨道运行。

（2）难点：时变，难以建立精确的模型

（3）解决方法：通过地面测控站监测，对某一时间段内的摄动力影响进行量化拟合，并将拟合结果参数播发给接收机，以辅助接收机修正摄动力影响

## 知识点4： 导航电文中的卫星星历（理解）

1. 共通过16个参数确定卫星位置；
2. 1个参考历元；，
3. 无攝运动的描述：6个相应参考时刻的开普勒轨道参数
4. 受摄运动的描述：9个反映摄动力影响的改正参数。
5. 摄动改正的主要要素：升交点赤经1个、轨道倾角3个、升交距角2个、地心距2个、平均角速度1个（了解）
6. 通过导航电文计算卫星位置的十二步骤（了解）

# 第五章 测距码定位原理

## 知识点1：卫星定位的主要类型和观测量（掌握）

1. 主要类型：按处理方法分为绝对定位、相对定位；按接收机动态性分为动态定位、静态定位；按测距方式分为测距码测量定位、载波相位测量定位。
2. 卫星定位采用的主要观测量：测码伪距、载波相位
3. 伪距的概念
4. 常见的定位类型

动态绝对定位 -- 以测距码定位方式为主，精度在10米左右，典型应用如：手持、车载、船载、机载等导航型接收机；

静态绝对定位 -- 主要用于测量单个固定点的坐标，使用场景较少，以双频载波相位长时间观测方式为主，精度在分米-米级。

动态相对定位 -- 存在伪距差分和载波相位差分两种形式，其中伪距差分精度为1米左右，载波相位差分精度在厘米级；

静态相对定位 -- 主要用于大地测量，采用载波相位观测，通过组网平差能够得到毫米级精度。

## 知识点2：测码伪距观测方程（掌握）

（1）基本观测方程

伪距 = 星站几何距离 + 光速×（接收机钟差 - 卫星钟差） + 电离层误差 + 对流层误差

观测方程中的未知数：测站坐标（x,y,z） + 接收机钟差

（2）观测方程的线性化

为便于解算，通常将星站距离函数进行泰勒展开，保留一次项，从而形成线性化形式

（3）观测方程组的构成与解算方法

每个卫星对应1个观测方程；

多颗卫星的观测方程联立构成方程组；

由于未知数只有4个，因此，能够观测到4颗卫星即可进行定位；

四颗星时，可以采用牛顿迭代法解方程组；

超过四颗星时，可以采用最小二乘法解方程组。

各种方程形式和公式作为了解内容。

（4）卫星几何分布对定位精度的影响（了解）

（5）速度和时间测量原理（了解）

# 第六章 载波相位定位原理（了解）

# 第七章 接收机原理

## 知识点1：接收机的主要功能（掌握）

接收卫星信号 --> 增强卫星信号 --> 提取观测量 --> 解算P.V.T -->输出结算结果

## 知识点2：接收机的主要组成部分及作用（掌握）

天线部分 + 射频前端部分 + 基带处理部分 + 应用处理部分 + 显控输出部分

## 知识点3：接收机的主要性能指标（掌握）

定位精度、测速精度、授时精度、定位启动时间、灵敏度

几种不同的定位启动时间（理解）

## 知识点4：接收机涉及的关键技术（掌握）

1. 涉及的关键技术（掌握）

射频部分：天线技术、高增益低噪声射频技术（低噪声放大、下变频、滤波、采样频率、量化位数、自动增益控制）

基带部分：快速捕获技术、稳定跟踪技术、位同步急速、帧同步技术

应用部分：动态滤波技术

（3）接收机的卫星捕获（掌握）

捕获的目的、捕获的方法、捕获时间的计算、捕获时间的受限因素及其与启动时间的关系

1. 辅助GPS的原理（理解）
2. 跟踪技术（了解）
3. 位同步技术（了解）
4. 帧同步技术（了解）

## 知识点5：软件接收机技术（了解）

# 第八章 动态滤波原理

## 知识点1：动态滤波原因、基本原理及本质（掌握）

## 知识点2：线性系统的动力学方程（掌握）

包含状态方程和观测方程两部分，状态方程和观测方程公式。

## 知识点3：卡尔曼滤波算法

（1）卡尔曼滤波过程：预测状态量 --> 预测观测量 -->校正状态量（掌握）

（2）卡尔曼滤波的计算公式（了解）

（3）卡尔曼滤波的特点和优势（掌握）

（4）卡尔曼滤波与最小二乘法的比较（理解）

## 知识点4：动态定位常用状态量（理解）

（1）8变量法：（x，y，z， vx， vy ， vz ，δt ， δf ）

（2）11变量法：（x，y，z， vx， vy ， vz ，ax，ay，az，δt ， δf ）

## 知识点5：静态定位常用状态量（理解）

5变量法：（X，Y，Z） + （δt ， δf ）

无线电定位导航技术篇

# 第一章 无线电定位导航技术概论

**知识点1：无线电定位导航的优缺点（掌握）**

优点：不受时间、天候限制；定位精度和可靠性高；定位快、可以连续定位

缺点：容易受到自然或人工信号干扰和破坏

**知识点2：无线电导航的分类（掌握）**

（1）按所测几何参量分：测角/测距/测距差/混合系统；

（2）按所测电信号参量分：振幅/频率/相位/脉冲/混合系统；

（3）按工作方式分：有源/无源系统；

…

**知识点3：无线电导航的关键技术指标（掌握）**

（1）关键指标：导航精度、 工作区、 系统容量、连续性、可用性、可靠性、完好性等。

（2）导航精度的衡量方法：是一个统计量，通常按照样本一定置信区间内的均方根值表达。

（3）常用的置信区间：

方法1：按照正态分布的方差1σ（68.3%置信度）、2σ（95.4%置信度）、3σ（99.7%置信度）

方法2：CEP（50%置信度）、RMS（65%置信度）、2DRMS（95%置信度）

# 第二章 无线电测向导航技术

**知识点1：无线电测向导航的基本原理（掌握）**

载体接收和处理导航台站发射的电参量，获取载体相对台站的方位角，并建立该测量量与导航参量（载体位置）间对应关系，然后通过解方程或其它等效方法求得所需导航参量。

**知识点2：无线电测向导航的基本方法（掌握）**

（1）主要方法：归航法、单台测向定位法、双台测向定位法

（2）双台测向法的数学解析：每个导航台和载体之间构成一条直线，两条直线的交点即为载体位置

**知识点3：无线电测向的主要方法（掌握）**

（1）无线电测向的物理基础：天线的方向性

（2）主要方法：振幅测向法、相位测向法；

（3）振幅测向法常用的测量方法：最小值法、最大值法、双天线比较法

（4）相位测向法的基本原理：利用一个全向天线和一个按照一定角速度旋转的心形天线向外辐射无线电信号，其中全向天线辐射基准信号，心形天线辐射周期性的测向信号，测向信号与基准信号之间的相位差与载体所在方位成一一对应关系，即载体接收机能够提取出测向信号与基准信号之间的相位差，即可确定自身相对于导航台的方位。

**知识点4：典型的无线电测向导航系统（理解）**

（1）典型系统：无线电测向仪（无线电罗盘）、仪表着陆系统、甚高频全向信标伏尔、多普勒伏尔

（2）无线电测向仪系统与甚高频全向信标伏尔系统的技术差异：无线电测向仪系统导航台部署全向天线，接收机采用心形旋转天线，采用振幅测向法；甚高频全向信标伏尔系统导航台部署全向天线和心形旋转天线，接收机部署全向天线，采用相位测向法。

（3）甚高频全向信标伏尔导航台与多普勒伏尔导航台的技术差异：甚高频全向信标伏尔系统导航台通过旋转心形天线发射调幅测向信号，通过全向天线发射调频基准信号；多普勒伏尔通过旋转一个全向天线形成的多普勒效应产生和发射调频测向信号，通过全向天线发射调幅基准信号。

# 第三章 无线电测距导航技术

**知识点1：无线电测距导航的基本原理（掌握）**

载体接收和处理无线电波的电参量，获取载体相对地面导航台站的距离，并建立该测量量与导航参量（载体位置）间的对应关系，然后通过解方程或其它等效方法求得所需的导航参量。

**知识点2：无线电测距差导航的基本方法（掌握）**

（1）主要方法：多站测距定位法、测距测角混合定位法

（2）多站测距定位法的数学解析：每个导航台和载体之间构成一个圆，多个圆的交点即为载体位置。

**知识点3：无线电测距差导航的主要方法（掌握）**

（1）主要方法：相位测距法、频率测距法、脉冲测距法；

（3）相位测距法基本原理：利用电磁波从导航台到载体之前的相位差计算距离，距离 = （整周期数 + 不足整周期的相位余量）x波长 ，由于整周期数存在不确定性，因此该方法需解决多值性问题。

（4）频率测距法基本原理：载体发射线性调频信号，经目标反射后，反射回载体，载体接收反射信号并与此时发射的信号频率进行对比，载体与目标之间的频率差与两者之间的距离成正比。

距离 = （接收信号频率 – 发射信号频率）/ 调频宽度 x 调频周期 x 光速 / 2

（5）脉冲测距法基本原理：通过测量发射脉冲和接收脉冲的时间差计算距离。载体接收机仅接收脉冲不发射脉冲的情况被称为无源定位；载体接收机既发射脉冲又接收导航台返回脉冲的情况被称为有源定位。距离 = （脉冲接收时间 – 脉冲发射时间） x 光速

**知识点4：典型的无线电测距导航系统（理解）**

（1）典型系统：GPS/北斗系统（相位测距+脉冲测距）、无线电测高仪（频率测距）、无线电测距仪（脉冲测距）

（2）无线电测高仪系统工作原理（了解）

（3）无线电测距仪系统工作原理（了解）

（4）仪表着陆系统工作原理（了解）

# 第四章 无线电测距差导航技术

**知识点1：无线电测距差导航的基本原理（掌握）**

载体接收和处理的电参量是无线电波的脉冲传播时间或相位，进而获取载体相对2个地面导航台站的距离差，并建立该测量量与导航参量（载体位置）间的对应关系，然后通过解方程或其它等效方法求得所需的导航参量。

**知识点2：无线电测距差导航的基本方法（掌握）**

（1）主要方法：双曲线定位法

（2）数学解析：两个导航台和载体之间构成一条距离差双曲线，另外两个导航台与载体之间构成另外一条距离差双曲线，两者的交点即为载体位置。

（3）由此可见，距离差定位方法至少需要3个导航台站才能形成导航能力。

**知识点3：无线电测距差的主要方法（掌握）**

（1）无线电测距的物理基础：电磁波在介质中的传播，距离 = 传播速度x传播时间

（2）主要方法：相位测距差法、脉冲测距差法、脉冲相位混合测距差；

（3）相位测距差法基本原理（理解）。

（4）脉冲测距差法基本原理（理解）。

（5）脉冲-相位混合测距差法基本原理（理解）。

**知识点4：典型的无线电测距导航系统（理解）**

（1）典型系统：罗兰C系统、长河二号系统

（2）罗兰C系统/长河二号系统工作原理（理解）

自主定位导航技术篇

# 第一章

**知识点1：空基飞行器常用的定位导航方法（掌握）**

自主导航：惯性导航、地形辅助导航、景象匹配导航、地磁导航、天文导航、重力导航等

无线电导航：全向伏尔、多普勒伏尔、仪表着陆系统、罗兰C/长河二号、卫星定位导航等

**知识点2：地形辅助导航技术**

（1）地形辅助导航的基本原理：

（2）地形辅助导航的两种基本方法：间歇性匹配导航（典型如：TERCOM系统）、连续性匹配导航（典型如：SITAN系统）

（3）间歇性匹配导航（TERCOM系统）基本原理

飞行前，在规划的飞行航路上优选高程匹配特征较为显著的地形匹配区，并将地形匹配区数字高程数据装订到飞行器中；在飞行过程中，一方面飞行器通过测高仪获得实测地面数字高程剖面，另一方面结合INS位置信息和地形匹配区数字高程数据，获得一组参考数字高程剖面；实测数字高程剖面和每一条参考数字高程剖面之间按一定算法作相关分析，所有相关结果中的极值所对应参考数字高程剖面就是匹配后的真实位置。

（4）间歇性匹配导航（TERCOM系统）参考数字高程剖分的获取方法

--- 以INS导航系统估算的最后位置为中心画出一个选定大小的不确定区域；

--- 保留±3δ的误差幅度，以确保巡航导弹的真实位置位于该区域之中；

--- 依次将不确定区域内的每个网格点视为起点，从数字地图中提取一条与导航系统指示位置相平行的数字高程剖面；

--- 所获得的地形剖面的数目等于不确定区域内的网格个数。

（5）间歇性匹配导航（TERCOM系统）常用的数字高程剖面相关分析算法

--- 互相关法（COR）：实测数字高程剖面中的每一个高程点，与参考数字高程剖面中对应的高程点做乘法后求平均数，平均数为极大值者认为匹配成功。

--- 平均绝对差发（MAD）：实测数字高程剖面中的每一个高程点，与参考数字高程剖面中对应的高程点做减法后取绝对值，而后求平均数，平均数为极小值者认为匹配成功。

--- 均方差发（MSD）：实测数字高程剖面中的每一个高程点，与参考数字高程剖面中对应的高程点做减法后取平方，而后求平均数，平均数为极小值者认为匹配成功。

（6）间歇性匹配导航（TERCOM系统）的优缺点

**优点：**

--- 如果地形特征足够显著，且搜索范围足够大，该系统不受初始位置误差影响；

--- 不同地形匹配区之间不相关，可分别独立定位；

--- 无需对参考地形数据做线性预处理和高斯平滑处理。

**缺点：**

--- 相关算法要在获得一串地形高程序列后才能进行，属于后验估计或批处理方法，因而实时性较差；

--- 由于是间断性修正，因此在每两次修正之间导航系统的位置误差将增长；

--- 对航向误差较敏感，在定位过程中不能机动飞行，只能按既定航路飞行；

--- 定位精度受数字高程数据分辨率约束。

（7）连续性匹配导航（SITAN系统）基本原理

飞行前，在飞行器中预装导航区内所有数字高程数据；在飞行初始阶段，飞行器通过测高仪获得实测地面数字高程数据，结合INS位置信息在导航区的一定误差邻域内搜索起始位置（方法类似TERCOM系统）；一旦实现初始定位，飞行器即进入跟踪状态，即利用测高仪实测数据和数字高程数据，通过卡尔曼滤波实现递推方式的地形匹配跟踪；如果在匹配跟踪过程中发生失锁现象，则需要重新进行捕获和跟踪。

（8）连续性匹配导航（SITAN系统）的三个模式

搜索模式（3状态）🡪跟踪模式（5状态）🡪丢失模式

（9）连续性匹配导航（SITAN系统）的卡尔曼滤波方程

状态量选择：（x,y,z,vx,vy）5变量

状态方程与观测方程： 参见PPT

滤波过程：

--- 预测状态量和先验方差：利用5个初始状态量，通过状态方程预测新的5个状态量，利用初始方差计算得到先验方差；

--- 预测观测量和卡尔曼滤波增益：通过5个预测状态量，在数字高程数据中提取预测的数字高程值，并通过预测方差计算获得卡尔曼滤波增益矩阵；

--- 校正状态量并获得后验方差：利用预测的数字高程值、卡尔曼滤波矩阵和实测高程值，通过观测方程对预测状态量进行校正，并计算获得后验方差；

--- 递推至下一循环。

（10）连续性匹配导航（SITAN系统）的优缺点

优点：

--- 算法是连续、实时、递推;

--- 不仅能修正位置误差，还可以修正速度误差、姿态误差;

--- 容许有较大速度和航向误差，飞行路线不受既定路线约束；

缺点：

--- 对初始位置精度要求较高；

--- 需对地形作线性化预处理，有可能使滤波发散造成失锁。

**知识点3：景象匹配导航技术**

（1）景象匹配的基本原理

在已知坐标的基准影像图基础上，通过特定方法，把飞行器实时获取到的图像对齐到基准图的相应位置，由此推算出飞行器位置。

（2）景象匹配的基本框架

图像获取与预处理 🡪 特征提取或面元提取 🡪 特征匹配或面元匹配 🡪变换估计与匹配优化 🡪 飞行器位置计算

（3）景象匹配常用的对象

**面元：**以某个参考点为中心的小范围图像邻域（如：5x5,7x7,9x9等邻域）为对象，采用面元方式进行匹配对旋转和尺度变化较为敏感，对平移不敏感。

**特征：**以图像中的点、线或面状特征物为对象，采用特征方式进行匹配，对旋转、尺度变化和平移都不敏感。

（4）景象匹配中常用的特征及提取算法

点特征：Movarec算子、Forstner算子、Harris（Plessey）算子、SUSAN算子等

线特征：DOG（高斯差分）算子、LOG（高斯拉普拉斯）算子、Canny算子等

面特征：在线特征基础上，求封闭的线

（5）景象匹配中常用的特征匹配算法

点特征：Cross－Correlation（相关测度）、SSD（距离测度）、直方图不变矩、灰度不变矩匹配等；

线特征：链码匹配、傅里叶描述子匹配等。

面特征：面积、周长匹配等。

（6）常用的变换估计与匹配优化算法

最小二乘估计、Ransac估计、距离比直方图与贡献打分法等。

# 第二章 天文导航技术

（1）什么是天文导航

以已知准确空间位置的自然天体为基准，通过天体测量仪器被动探测天体位置，经解算确定测量点所在载体的导航信息。

（2）天文导航与自主导航

自主导航：指不与外界进行信息传输和交换、不依赖于地面设备的定位导航技术。

主要的自主导航方法：天文导航、惯性导航、地形导航、地磁导航等

天文导航与惯性导航相比，具有误差不随时间积累的优势。

（3）天文导航的优缺点

优点：

--- 被动式测量、自主式导航

--- 在太空中的导航精度较高

--- 抗干扰能力强、可靠性高

--- 可同时提供位置和姿态信息

缺点：

--- 在某些情况下会受到外界环境的影响。如在航空、航海领域的应用容易受到气候条件的影响等；测量手段产生的误差，如：像差、视差；天体变化对导航精度的影响，如：地球极轴的章动。

（4）常用的导航天体：恒星、地球、太阳、月亮、四大行星（金星、火星、木星和土星）

（5）天文导航的基本过程

--- 设计航天器运行轨道、建立动力学方程

--- 选择导航用的天体和天文导航几何解析方法

--- 探测导航天体并进行探测器姿态测量

--- 建立卡尔曼滤波模型，并解算航天器位置和速度

（6）人造卫星的天文导航

要素一：轨道动力学方程：椭圆轨道的动力学方程

拉格朗日摄动方程、高斯摄动方程（参见轨道动力学教材）

要素二：导航天体与观测方法的选择

主要导航天体：太阳、地球、恒星、月亮

要素三：几何解析方法的选择

直接敏感地平的方法：星光角距、星光仰角、日地月信息等

间接敏感地平的方法：星光折射视高度、星光折射角等

（7）月球探测器转移轨道的天文导航

要素一：轨道动力学方程

综合考虑地球引力、月球引力、太阳引力、太阳光压、地球形状、月球形状等摄动力，建立动力学方程

要素二：导航天体与观测方法的选择

主要导航天体：地球、月球、恒星

要素三：几何解析方法的选择

利用导航星与地球、月球之间的星光角距建立观测方程

可选用地（月）平或地（月）心矢量

（8）深空探测的天文导航

要素一：轨道动力学方程

综合考虑航天器周围天体影响建立动力学方程

要素二：导航天体与观测方法的选择

主要导航天体：恒星、近天体

要素三：几何解析方法的选择

恒星仰角、两个近天体之间的夹角、一个近天体和一个远天体的夹角、掩星观测

# 第三章 地磁导航技术

（1）什么是地磁导航

（2）地磁导航的基础条件

地磁场可测量，且相对稳定

不稳定的部分可建模或对定位影响不大

（3）地磁场模型

地磁场 = 主地磁场 + 地壳地磁场+ 干扰地磁场

（4）地磁导航采用的主要磁场

地磁导航主要：基于地壳地磁场：

原因：“主磁场+地壳地磁场”是地表地磁场的主体，占99%以上；地壳地磁场非常稳定，短时间内变化不大；地壳地磁场主要来源于磁化的岩石，能够体现局部地磁场特性。

主磁场： 基本磁场 or 背景磁场

地壳地磁场： 异常场 or 磁异常

（5）地磁导航的主要优势

--- 地磁导航是一种无源导航方法，不向外发射能量,具有高度的隐蔽性。

--- 地磁匹配精度由地磁分布特征和传感器精度决定,匹配误差不随时间积累。

--- 地磁场为矢量场，不仅有幅值信息可用，其方向信息也可被作为导航参考。

（6）地磁导航的主要原理

在载体运动过程中，通过磁传感器测量获得载体航迹上的地磁数据，通过与背景磁场求差，可获取地壳地磁场（磁异常）分布数据，通过与基础地壳地磁场（磁异常）数据库进行比对，获得载体的估计位置，用此估计位置对惯导系统进行修正，从而实现高精度、长航时的自主导航定位。

（7）地磁导航的基本过程

--- 探测：磁传感器测得的磁场强度总量， 包括地磁场和环境干扰磁场；

--- 预处理：通过野值剔除和误差补偿等手段提取出地磁场信号，而后减去由地磁场模型给出的主磁场信号, 然后做日变校正等处理, 得到地磁异常强度的测量值。

--- 匹配：根据导航系统的位置输出，在地磁异常图上搜索实测值相匹配的地磁异常强度, 获得实测位置, 该位置与导航系统位置输出之间的差值反映导航定位误差;

--- 修正：对导航系统的位置输出进行修正, 使得导航系统指示的异常强度向着实测值靠拢, 即使得导航系统的定位结果向着真实位置靠拢。

（8）地磁匹配的主要相关算法

--- 互相关法（COR）

--- 平均绝对差发（MAD）

--- 均方差发（MSD）

（9）常见地磁导航算法

间歇性地磁导航算法：CM算法、ICCP算法（基本原理类似于地形匹配的TERCOM系统）

连续性地磁导航算法：基本原理类似于地形匹配导航的SITAN算法。

（10）地磁导航的主要优缺点

地磁匹配导航的优点：

--- 原理简单, 可以断续使用;

---航行载体需要导航定位时, 即开即用;

---对初始误差要求低, 导航不存在误差积累;

---具有较高的匹配精度和捕获概率。

地磁匹配导航的缺点：

---需要存储大量的地磁数据。

考试安排

一、考试覆盖内容

（1）覆盖章节：绪论篇 + 卫星定位导航技术篇 + 无线电定位导航技术篇

（2）覆盖内容：复习提纲中的掌握和理解部分

二、考试题型

（1）填空题（10道，每空2分） 26分

（2）单项选择题（10道，每题2分） 20分

（3）多项选择题（8道，每题3分） 24分

（4）简答题（4道，每道5-10分） 30分

三、其他要求

（1）填空题和选择题主要考概念、组成、方法、特性、原理等基础理论知识。其中填空题力求概念准确，填空时不要给出模糊或错误的概念。

（2）简答题主要考大家对主要定位导航技术中系统性工作原理或关键要素的理解程度（典型如：GPS卫星信号的组成、GPS定位导航系统误差的组成和来源、测码伪距观测方程及解算方法、GPS接收机的基组成与工作原理、卡尔曼动态滤波工作原理、甚高频全向伏尔的工作原理、多普勒伏尔的工作原理、无线电测高仪的工作原理、无线电测距机的工作原理等），因此，要求对基本原理、计算过程、工作步骤等描述基本完整，具体公式形式不用严格按照课件，可根据自身理解以中文形式给出。