

# 无綫电导航原理

高 惠 均 等 編  
周 德 新

通信兵雷达工程学院

1962.12.

## 說 明

本教材是根据“无线电导航原理”教学大纲选編的。

本教材的内容由无线电导航原理、雷达原理及指示设备三部分組成。各部分内容結合在一起編写的。全部内容共十章分上下兩冊出版。

本教材主要内容选自“无线电观测原理”和“雷达原理及显示设备”(戴树强編)及其他有关的参考資料。参考書目列于每冊之最后。

由于編写过程中時間仓促加以編写者水平很低,因而錯誤、遺漏、不当之处再所难免希多批評指正。

編 者

# 目 录

## 緒 論

- 一、导航技术的发展..... ( 1 )
- 二、无线电导航在近代导航中的地位和作用..... ( 2 )
- 三、无线电导航在军事上的应用..... ( 4 )
- 四、雷达及其在无线电导航中的作用..... ( 6 )

## 第一章 无线电导航的基本原理、分类和要求

- §1. 无线电导航的基本原理..... ( 9 )
  - §1.1 确定位置的基本原理..... ( 9 )
  - §1.2 导航参量测量的基本原理..... ( 12 )
  - §1.3 基本导航参数和基本位置线..... ( 14 )
  - §1.4 利用测角、测距、测距差系统进行导航..... ( 19 )
- §2. 无线电导航设备和系统的分类..... ( 25 )
- §3. 对无线电导航设备和系统的要求..... ( 30 )

## 第二章 无线电导航设备和系统的误差原理和工作区

- §1. 概述..... ( 34 )
  - §1.1 影响确定位置误差的因素..... ( 34 )
  - §1.2 无线电导航测量误差的一般特性..... ( 35 )
  - §1.3 随机误差的基本理论..... ( 37 )
- §2. 测量导航参量的持续时间对定位准确度的影响..... ( 42 )
- §3. 各种无线电导航系统的位置误差..... ( 43 )
- §4. 测定目标位置的准确度..... ( 47 )
  - §4.1 定位误差的等概率误差椭圆理论..... ( 47 )
  - §4.2 均方根误差..... ( 53 )
- §5. 无线电导航系统的工作区域..... ( 59 )
  - §5.1 无线电导航系统工作区的定义和建立原则..... ( 59 )
  - §5.2 各类无线电导航系统的工作区域..... ( 63 )
  - §5.3 根据最大距离处的准确度比较无线电导航系统..... ( 68 )

### 第三章 无线电导航测距。

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| §1. 概述.....                        | ( 70 )  |
| §1.1 无线电测距器的物理基础.....              | ( 70 )  |
| §1.2 无线电测距器的最大准确度.....             | ( 71 )  |
| §2. 脉冲无线电测距.....                   | ( 73 )  |
| §2.1 脉冲法测距原理.....                  | ( 73 )  |
| §2.2 测距误差来源.....                   | ( 74 )  |
| §2.3 减少读数误差的方法.....                | ( 78 )  |
| §2.4 距离分辨率.....                    | ( 83 )  |
| §3. 自动测距.....                      | ( 84 )  |
| §3.1 自动测距原理.....                   | ( 84 )  |
| §3.2 距离分辨率.....                    | ( 101 ) |
| §4. 脉冲测距无线电导航设备和系统.....            | ( 101 ) |
| §4.1 飞机导航测距设备的原理和特点.....           | ( 101 ) |
| §4.2 从机上进行询问,用于飞机导航和轰炸瞄准的测距系统..... | ( 105 ) |
| §4.3 从地面上询问,用来进行轰炸的系统.....         | ( 108 ) |
| §5. 噪音干扰对脉冲无线电导航设备的影响.....         | ( 110 ) |
| §5.1 基本概念和定义.....                  | ( 110 ) |
| §5.2 按脉冲前沿进行重合时噪音干扰的影响.....        | ( 114 ) |
| §5.3 噪音干扰对脉冲自动测距的影响.....           | ( 124 ) |
| §6. 频率无线电测距.....                   | ( 128 ) |
| §6.1 作用原理.....                     | ( 128 ) |
| §6.2 调频无线电高度表理论基础.....             | ( 129 ) |
| §6.3 寄生振幅调制和都卜勒效应对调频测距的影响.....     | ( 142 ) |
| §7. 频率式无线电高度表.....                 | ( 148 ) |
| §7.1 频率式小高度无线电高度表.....             | ( 148 ) |
| §7.2 消除了读数间断性的频率式无线电高度表.....       | ( 152 ) |
| §7.3 在中频频率上进行放大的频率式无线电高度表.....     | ( 157 ) |
| §7.4 调频高度表的准确度.....                | ( 158 ) |
| §8. 相位无线电测距.....                   | ( 161 ) |
| §8.1 作用原理.....                     | ( 161 ) |
| §8.2 相位测距的准确度.....                 | ( 165 ) |
| §8.3 保证测距单值性.....                  | ( 168 ) |
| §9. 指示方法与指示设备.....                 | ( 171 ) |
| §9.1 概述.....                       | ( 171 ) |
| §9.2 相位测量和指示方法.....                | ( 172 ) |

|                      |       |
|----------------------|-------|
| §9.3 圆形扫描距离显示器       | (179) |
| §9.4 精确距离显示器参数的选择和设计 | (185) |

#### 第四章 无线电导航测角

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| §1. 概述                    | (194) |
| §1.1 测角设备的用途和分类           | (194) |
| §1.2 确定目标角座标的方法           | (196) |
| §2. 雷达测定方位角的原理            | (201) |
| §2.1 利用环视雷达测定方位的原理        | (202) |
| §2.2 测角误差的计算              | (203) |
| §2.3 用环视显示器测量角度时测角准确度和分辨率 | (209) |
| §3. 高低角和高度的测量             | (214) |
| §3.1 概述                   | (214) |
| §3.2 利用地面反射波测量目标高低角和高度    | (215) |
| §3.3 不利用地面反射波测量高低角和高度的方法  | (219) |
| §3.4 V形波瓣测高法              | (224) |
| §4. 自动测角原理                | (227) |
| §4.1 圆锥扫描法自动方向跟踪          | (227) |
| §4.2 单脉冲法自动方向跟踪           | (233) |
| §5. 振幅式无线电测向器             | (236) |
| §5.1 测角设备的定向天线            | (236) |
| §5.2 振幅式无线电测向器的一般概念       | (240) |
| §5.3 E型测向器                | (242) |
| §5.4 接收信号的振幅调制            | (257) |
| §5.5 M型测向器                | (270) |
| §6. 振幅无线电信标               | (277) |
| §6.1 概述                   | (277) |
| §6.2 无线电指点标               | (277) |
| §6.3 航路无线电信标              | (280) |
| §6.4 测向无线电信标              | (299) |
| §7. 噪音干扰对振幅式无线电导航设备工作的影响  | (307) |
| §7.1 讯号和噪音通过无线电接收设备       | (307) |
| §7.2 按最小值工作的振幅设备的角灵敏度     | (314) |
| §7.3 利用比较法工作的振幅式设备的角灵敏度   | (319) |
| §8. 相位法测角原理和设备            | (325) |
| §8.1 利用旋转方向性图的相位测角设备      | (326) |
| §8.2 干涉式相位测角设备            | (341) |

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| §8.3 利用旋轉全方向性天綫的相位測角設備..... | ( 347 ) |
| §9. 指示方法和指示設備.....          | ( 357 ) |
| §9.1 概述.....                | ( 357 ) |
| §9.2 听觉指示.....              | ( 359 ) |
| §9.3 视觉指示.....              | ( 361 ) |
| §9.4 二度空間显示器.....           | ( 368 ) |
| §9.5 粗測指示器的参数选择和設計.....     | ( 389 ) |

#### 附录:

|                                                        |         |
|--------------------------------------------------------|---------|
| 1. 等概率分布密度曲綫的求法.....                                   | ( 398 ) |
| 2. 被测位置在誤差橢圓范围的概率的求法.....                              | ( 403 ) |
| 3. 被测位置在誤差橢圓体范围内的概率的求法.....                            | ( 404 ) |
| 4. 概率积分表.....                                          | ( 405 ) |
| 5. $J_e(K, x) = \int_0^x e^{-t} I_0(k, t) dt$ 函数表..... | ( 406 ) |

#### 参考書目:

## 緒 論

### 一、导航技术的发展

导航即引导和航行的意思，通常将引导飞机和舰艇的航行称之为导航。实际上导航的意义要更广泛些，随着航海和航空的出现，帮助船舰或飞机航行的仪器和设备都可以称之为导航设备。直到近代除了对飞机和舰艇以外，包括对无人驾驶兵器的引导都属于导航的范围。

飞机和舰艇为什么要导航呢？正如人们在地面上行走，例如，由甲地到乙地需要根据地图，对照地面的实际情况，判断方位按照一定的路线行走。人们可以根据地物或者藉助于其他工具来判断自己行走的路线是否正确，或者确定自己已经到达的位置。但是飞机或舰艇在天空或海洋上航行时就没有其他的物体，可以帮助判断方位，确定位置。而必须藉助于一定的工具（即导航设备），来帮助飞机和舰艇确定自己是否在预定的航线上，或者确定自己的位置。

导航技术的发展有很长的历史的。古代的人们就知道利用星辰来判断方位。利用简单的工具来计算路程、判断方位、确定位置。（例如：我国历史上有指南车、记里鼓等都可以看做是世界上最早和最原始的“导航”工具。）导航技术最早还是从航海开始的，导航技术应用在航空方面还是近几十年的事。导航技术的发展是和航空和航海的发展分不开的。我国是航海事业发展最早的国家之一。明朝时的三宝太监下西洋，在那样的技术条件下，就能正确的进行远洋航海，说明了我国的航海术在当时还是相当发达的。

近代导航只是在最近几十年随着航空、航海和舰艇制造技术的发展而发展起来的。所谓近代导航，主要指除了一些简单的工具，如指北针（或磁罗盘、磁罗经）、计程仪、时钟…等以外而主要是用无线电技术或其他精密仪器进行导航。随着近代科学技术的发展，导航技术也有了飞速的发展。利用无线电、惯性或天文等方法，能够在远距离准确的确定飞机或舰艇的位置。最近几年来苏联成功的发射宇宙飞船，准确的将火箭击中月球和拍下月球的照片以及发射载人宇宙飞船的成功都说明了近代在控制技术和导航技术方面的很大成就。导弹的制导就是自动控制与导航技术的结合，因此制导技术的发展也是和导航技术有密切关系的。

利用无线电技术装置进行导航称为无线电导航。它是随着无线电技术的发展而发展起来的。自从波波夫发明无线电以后，无线电技术很快就被应用于导航方面（最初的应用为无线电测向），到现在已有了几十年的历史，现在已经有了供飞机和舰艇应用的相当完善的各种无线电导航设备和系统。因此，无线电导航在近代导航中占着重

要的地位，是应用得最广泛和最普遍的一种。本课程的中心内容将介绍无线电导航的基本原理。为了说明无线电导航在近代导航中的地位，我们在下一节中准备将其他导航方法做一个简单介绍。

我国的无线电导航事业，在旧中国是很不发达的。解放前除了少数的机场有些简单的归航设备和在近海有二、三个无线电信标台外，根本没有较为现代化的导航设备。解放以后在党和政府的关怀下，我国的导航事业有了很大的发展，随着无线电事业的发展，无线电导航事业也有了相应的发展，已经有条件用自己的无线电导航设备来装备到飞机或舰艇上去。（例如：测向、着陆设备……等）但是从建设现代化国防需要和目前我国无线电导航事业的发展水平来看，还是很不夠的，为了适应现代化国防建设的需要，用优良的、完善的导航设备装备飞机和舰艇，与航空技术和舰艇制造发展水平相适应，还必须急起直追为在较短的时间内建立一套适合我国特点、适应我军需要的现代化的、独立完整的导航体系而努力。

## 二、无线电导航在近代导航中的地位和作用

随着近代科学技术的发展，适应飞机和舰艇导航的不同需要，有许多种导航的方法，例如：天文导航、地理导航、惯性导航、红外线导航、无线电导航……等等。为了比较各种导航的特点，说明无线电导航在近代导航中的地位和作用，我们将各种导航方法做一个简单介绍：

**惯性导航：**惯性导航属于一种推测航行的方法，即已知一点的位置（坐标），根

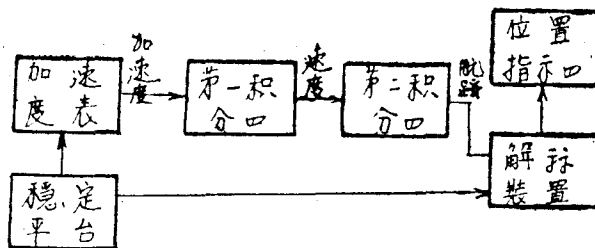


图1 惯性导航原理图

据连续测得的航向角和速度推算出下一点的位置（坐标），因而可以连续的测出运动物体的当前位置（坐标）。在惯性导航中航向角的测量是依靠精密的陀螺仪，而速度的测量是根据牛顿定律测出运动物体的加速度积分而得的。

惯性导航的原理方框图，如图1所示，加速度表用来测量机（舰）运动的加速度，经过一次对时间积分得到其速度，再经过一次对时间积分即可得到距离。稳定平台由陀螺仪及平台等组成，加速度计即放于其上面，这样用来保证加速度计平稳（不致于在机舰运动时发生影响），同时能分别测出东西、南北方向的分量，即测出加速度之向量。由陀螺仪测出的方位数据和经过积分后得到的距离数据，经过解算装置，



即可計算出机（艦）的当前位置。

**慣性导航**的优点是：（1）都属于自备式导航，即可以不籍助于地面其他设备来确定位置，不会被敌人发现和干扰，因而保密性强。（2）不受天候，地理条件的限制，都能工作，因此它特别适合飞机和潜艇的远距离导航。（3）有着较高的精确度，目前它的精确度可达总距离的0.5—1%。

**慣性导航**存在的主要问题是：（1）测定位置是利用推测法，积累误差较大。因而远距离导航精确度不够高。（2）结构复杂，要求设备非常精密（主要是陀螺仪及稳定平台）因而价格贵，制造困难。因此慣性导航目前还不可能广泛的应用到所有的飞机和舰艇上。

**天文导航**：它是利用根据已经掌握的天体运行规律，根据星球的位置来确定自己的位置。天文导航实际上很早已被人们所掌握应用于航海。近代在航空及航海中还有应用。基本原理还都是一样只不过仪器更加完善更加精密。

天文导航是基于测量二个星球的高度（仰角），以确定在地球上的两条位置线，根据两条位置线的交点来确定位置的。利用光学方法进行天文导航的基本工具是：天文钟，六分仪和各种天体运行规律的图表……等。

天文导航的主要优点是：（1）不需要外界其他设备可以测定位置，因此不会被敌人发现和干扰。（2）精确度较高。例如：在海上定位误差可达±1哩以下。

但是光学方法的天文导航，存在着严重的缺点：（1）受时间及天候影响，在航海时只有利用黄昏和黎明（日出及日落）时进行定位，如遇到不能观察情况则不能定位。（2）定位时间长，操作及计算复杂…甚至需要几分钟，因而它不能满足精确、迅速、连续定位的要求。特别是对于高速飞机来讲是更加不适用。

近年来由于射电天文学的发展，用无线电六分仪代替光学六分仪，克服了天文导航的这些缺点。

**地理导航**：根据地形、地物的情况，来判断自己位置的称为地理导航。除了依靠人们直接观察外，可以利用航空摄影及电视等方法。但是这些方法还都是仅能根据地面的情况来大致地确定自己的位置。因此通常它只能做为一种辅助的方法，因而我们也就不做详细的讨论了。

**红外线导航**：利用红外线代替平常的可见光也可用来导航。例如：可以应用红外线的“灯塔”来进行导航…等。但是因红外线只能在直视范围内传播，且衰减很大，因而限制了它的应用，所以它只能做为近距离导航的另一种补充方法，而不可能做为一种主要的导航方法。

**无线电导航**：利用无线电方法来确定飞机或舰艇的位置，并引导其正确、安全的航行的称为无线电导航。它主要是利用了无线电波传播的一些基本特性。即在媒质不连续边界面上必然反射，在均匀媒质中必然是直线传播和恒速传播的特性。从反射性质可以发现目标，从直线传播可以测定幅射或散射无线电波的目标的方向。从恒速性质，可以确定到目标的距离，这样目标位置就能完全得到测定。

無線導航的主要优点是：

(1) 不受時間、天候的影响。

(2) 有着較高的精确度，目前看来不論远距离導航或近距离導航，無線電導航还是精确度較高的一种。

(3) 設備簡單，工作可靠，測量位置的時間短。

(4) 在某些情況下，無線電導航甚至是唯一的一种導航方法。例如：在飞机的着陸阶段。

它的主要缺点是：

(1) 易被敌人发现 and 受到干扰，因此保密性不强。在受到自然及人为的干扰时，甚至无法工作。

(2) 需要地面設備配合，因而也限制了它的工作区域。

無線電導航由于它有保証飞机和舰艇在任何气象条件下迅速、准确定位的优点，所以它在目前还是应用得最广泛最普遍的一种導航方法。

綜上述可以看出，随着近代科学技术的发展，在導航方面有了一些新的成就，例如慣性導航，在远距离飞机和潛艇導航方面，具有較之無線電導航的一些較大的优越性，是很有发展前途的。但是無線電導航仍然占着重要的地位。这是因为，一方面無線電導航也出現了一些新支，例如都卜勒雷達導航，無線電天文導航…等，它們不需要地面无線電設備，具有和慣性導航同样的优点。另一方面就目前的技術水平来讲，慣性導航的精确度还有一定的限制，設備也太复杂，因而無線電導航仍然是不可缺少的。因此無線電導航在近代導航中，就目前來說，仍然是最基本、最主要的一种導航方法。它和其他導航方法是各有所长，互相补充的。事实上在現代的飞机和舰艇上也經常是几种導航方法同时結合使用的，例如用無線電導航做为校准其他儀器的設備，而且有时是几种導航的結合，例如：都卜勒導航和慣性導航結合，無線電導航和天文導航結合等。

最后还应提一下雷達導航的問題。雷達——無線電定位，既然可以用来确定位置因而也可以用来導航，我們这里所指的無線電導航实际上是包括雷達導航在內的雷達導航是無線電導航的一个方面。关于雷達在無線電導航中的作用将在緒論的最后部分做較詳細的說明。

### 三、無線電導航在軍事上的应用

在現代戰爭中，为了完成战略或战术的任务，飞机和舰艇必須按照其預定航綫航行，并精确的确定自己的位置。導航設備即用来保証这一任务的实现。随着高速飞机的发展，原子潛艇的出現，对導航提出了更高的要求，沒有相应发展的導航設備，这些新的飞机和舰艇也不能發揮其作用，例如对載有導彈的潛艇，要对預定目标进行攻击，必須准确知道自己的舰位，又如在與敌舰相遇时能否先发制人的攻击对方，也决定于是否有准确、迅速定位的導航設備，因此導航設備在現代戰爭中有着重要的作用。

归結起来，在飞机和舰艇的航行中导航設備的作用，可以分为三方面：

- (1) 保证飞机和舰艇沿着預定航綫航行。
- (2) 保证飞机和舰艇确定自己的位置。
- (3) 保证飞机和舰艇在航行中的安全。

为了更清楚的說明无綫电导航在飞机和舰艇的导航中的应用，下面我們分別按照对飞机和舰艇的导航来讲无綫电导航的任务。

对飞机导航来讲，无綫电导航設備应能保证完成下述任务：

(1) 保证飞机沿預定航綫航行，检查其航綫是否正确。为完成这一任务，导航設備必須測出到导航台的方位和距离，检查是否在預定的航綫上，如偏离預定航綫，应給飞行员（或领航員）指示如何修正航綫。

(2) 保证飞机能随时确定自己的位置。导航設備应能保证根据需要随时确定出自己的位置（座标）。

(3) 保证将飞机引导到着陆机場，通常称之为归航。飞机在执行任务后返回机場时，导航設備应指示出着陆机場的方向，将其引导到着陆机場的上空。完成这一任务，因为其准确度不高，通常都希望使用些尽量簡單的設備。

(4) 保证飞机在着陆机場上空和进入着陆的单架飞机和机組的安全运动。这也就是通常所讲的空中交通管制。它要求导航設備应能保证在机場上空飞机密度較大时，不发生碰撞，并調整飞机之間の間隔，进行調度，使其依次序着陆。

(5) 保证飞机在夜間和任何复杂气象条件下飞机之降落、下滑和着陆的安全。亦即通常所讲的保证飞机在任何時間条件下能不依靠飞行员的观察（即目視着陆）而按照仪表的指示或地面命令进行着陆，称之为盲目着陆。完成这一任务需要一套严格保证飞机按預定下滑軌迹，下降的着陆設備。

(6) 保证飞机在机場內的安全运动。随着机場內飞机数目增多，調度頻繁为保证在任何复杂气象条件下的安全运动，需要有調度，監視和指揮系統。通常它是由机場的監視和調度雷达、計算設備和通信設備…等来完成的。

(7) 保证在任何复杂气象条件下，进行轟炸。即通常称之为盲目轟炸。它要求导航設備必須保证将飞机引导到目标的上空，精确的确定到目标的距离、方位和飞机的高度。

精确度要求高是这一任务的特点。

如果采用盲目轟炸雷达，則只需要測出到目标的相对方位和距离。在对預定目标（已知其座标）用盲目轟炸仪时，則需精确的确定飞机本身的位置。

(8) 保证飞机的集合和編队。

对舰艇导航来讲，根据飞机和舰艇的不同特点，例如舰艇較之飞机航速慢、航行時間长……等，因此对于舰艇导航应主要解决以下几个任务。

(1) 沿預定航綫航行。（与飞机导航相同）

(2) 精确的确定舰位（包括潛水艇水下定位）。舰艇为了完成所担负的战斗任务必須准确的知道自己距目标的相对位置。特别是在导弹和火箭技术发展的情况下，

要能发挥这些武器的作用必须解决迅速、准确定位的问题。

(3) 保证舰艇在近海和狭水道航行的安全。由于在近海海域内,情况较复杂,因此导航设备应能引导舰艇在预定的航线上航行。解决这一任务通常除了应用无线电设备外还有一些其他辅助设备。

(4) 保证在任何复杂气象条件下,舰艇进出港的安全其中包括在布雷海区,水面舰艇和潜艇航行的安全。解决这一任务通常需要精确定位的雷达和测距导航系统,在水下依靠磁性电缆进行引导...等。

飞机和舰艇的无线电导航设备,根据其所完成任务不同和飞机与舰艇的不同特点是不完全相同的。无线电导航设备既然是用来保证飞机从起飞执行任务到着陆,舰艇由出港执行任务到返航、进港...等整个航行过程,而这些任务根据其特点不同,对导航设备的要求也不相同,因此导航设备的种类是很多的,飞机和舰艇导航设备也有所区别。在本教材中我们将主要讨论飞机无线电导航。

#### 四、雷达及其在无线电导航中的作用。

雷达(Radar)又称无线电定位,这是“无线电侦察和测距”(Radio Detection and Ranging)这几个英文字缩写后的译音。简单的来讲,雷达即是利用目标(如飞机和舰艇)对电波反射的特点来发现目标,并确定其位置。通常雷达测定目标位置都是用三个坐标来表示的。如图2所示以雷达所在地 $O$ 为坐标原点,而目标的位置由下列三个坐标确定:即(1)斜距 $R$ ,它是由雷达到目标的直线距离;(2)方位角 $\alpha$ (起始方位线 $ON$ 取于午线或飞机、军舰的轴线);(3)仰角 $\beta$ (由水平面算起。这些坐标都能够由雷达直接测量出来。

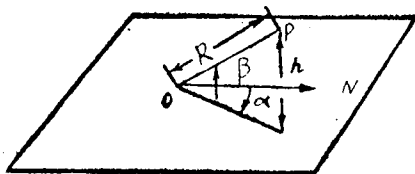


图2 确定目标位置的方法。

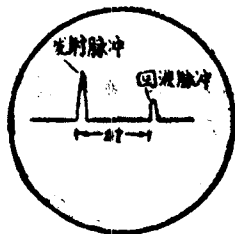


图3 距离指示器荧光屏的图形

雷达测量目标座标的基本原理,可以简单的归纳如下:

**距离的测量:** 距离测量是基于电波恆速传播的特点,以脉冲雷达为例可以利用测量发射脉冲和反射脉冲(回波脉冲)的时间间隔的方法来确定距离。如图3所示,在雷达指示器的荧光屏上可以测量出发射脉冲和回波脉冲的时间间隔 $\Delta t$ ,而 $\Delta t$ 的大小是与距离成正比,可用式:

$$\Delta t = \frac{2R}{c} \quad (1)$$

来表示,式中 $\Delta t$ ——发射脉冲与回波脉冲的时间间隔

$R$ ——斜距

$c$ ——光速 (按  $3 \times 10^8$  米/秒)

**角度的测量:** (仰角和方位角) 角度的测量, 是基于利用电波直线传播的特点。在振幅法测角中利用天线的方向性来进行的。以图 4 为例, 按最大信号法测量角度, 只要将天线的方向图按一定方向旋转, 根据接收回波信号最大, 即可确定目标所在的方位  $\alpha$  同理只要使方向图在仰角上变化, 亦可根据反射信号的大小, 确定目标的仰角  $\beta$ 。

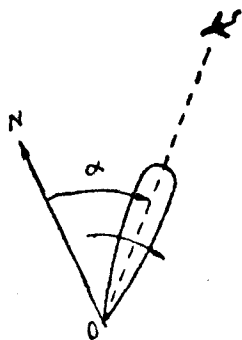


图 4 最大信号法测角原理

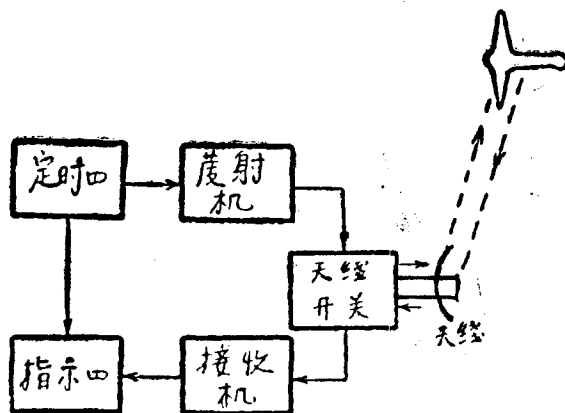


图 5 脉冲雷达的原理方框图

脉冲雷达的基本方框图, 可以如图 5 所示, 由定时器产生的基准脉冲去触发射机, 使其产生一个高频脉冲, 经过天线开关、天线辐射出去, 辐射出去的高频脉冲反射后被天线接收, 以后再经过天线开关送入接收机中, 接收机经过放大和检波后将回波脉冲与由定时器来的基准脉冲同时送入指示器, 因而指示器就可指示出发射脉冲和回波脉冲的时间间隔。角度的测量在方框图中没有表示出来, 它是通过一套伺服系统 (或称自动控制系统) 将天线的位置数据指示出来的。

雷达由于其军事上有着重要的作用, 因而得到了广泛的应用。它的种类也很多, 按照用途分: 在陆地上的有警戒雷达, 引导雷达, 火炮瞄准雷达, 探照灯雷达……等; 飞机上的有搜索雷达, 瞄准雷达, 雷达高度表, 雷达测距计……等; 在舰艇上有搜索雷达, 航行保证雷达……等等。

归纳起来各种雷达的作用基本上有三点: 即 (1) 搜索目标; (2) 测量目标座标; (3) 对目标进行跟踪。尽管各种雷达的形式可能不一致, 但基本上都属于这种类型。

由于雷达可以测定目标的座标或对目标进行跟踪, 因而也可以用来导航, 也可以说应用于导航是雷达应用的一个重要方面。因此雷达技术和无线电导航技术是有密切关系的, 雷达导航可以做为无线电导航的一个重要组成部分, 当然无线电导航本身所包括的范围更广泛些。

随着无线电技术的发展, 雷达应用于导航方面也更加广泛, 目前在导航中雷达的

应用可以分为这样几方面：

(1) 用于引导、調度和監視。在飞机导航中目前一般机場都裝有引导雷达，用于观察机場上空飞行的情况，引导飞机到机場的方向。到距离机場一定距离后則可以用調度雷达将飞机引导到着陆区域的上空。为了保証在机場內飞机运动的安全可以采用場面監視雷达。

(2) 保証飞机着陆的安全。飞机的盲目着陆設備种类很多，利用雷达保証飞机着陆安全的設備目前有二类，一种是地面控制雷达着陆系統，它利用着陆雷达測量飞机的航向和下滑角度，飞行员根据地面的命令进行着陆。另一种是雷达引导自动着陆系統，它是利用精密跟踪雷达連續測出飞机的位置，通过計算設備，計算出应修正的飞行状态的数据，用无綫电方法发送給飞机，通过自动駕駛仪来自动进行的。

(3) 保証飞行过程中安全。例如飞机的雷达高度表，防碰撞的預警裝置、……等。

(4) 都卜勒雷达导航。它是根据都卜勒效应的原理，利用雷达測出飞机的地速和偏流角利用推测方法进行导航，是目前无綫电导航的一个新的成就。

綜上所述，雷达在无綫电导航中有着重要作用，雷达技术和无綫电导航技术是分不开的，因此对于从事无綫电导航的工作人员必須具有相当丰富的雷达技术知識。

本教材根据教学大綱的要求包括二部分：无綫电导航原理和雷达原理。由于这二部分内容很多是共同的，因此我們結合在一起进行討論，有关雷达原理及雷达指示設備我們將只側重与无綫电导航有关的方面。

# 第一章

## 无线电导航的基本原理分类和要求

### §1. 无线电导航的基本原理

在緒論中已經說明无线电导航即是利用无线电方法,帮助飞机和舰艇来确定位置,引导飞机和舰艇的航行和保证航行过程中的安全。和雷达做为无线电定位一样实际上最基本的問題是利用其确定位置,因而本节将着重討論确定位置的基本原理,以及根据这些原理怎样来导航飞机和舰艇。

#### §1.1 确定位置的基本原理:

在說明怎样用无线电方法来确定位置的原理前,先說明确定位置的一般原理。归结起来确定位置的原理可以分为二个基本方法。

(一) 推测法: 即根据一个已知点的位置(座标)、根据航向、航速和時間就可知道下一点的位置,以此类推就可以知道机(舰)当前的位置。它的基本原理示于图1-1-1。如从起点。开始以航向角 $Ky_1$ ,按航速 $v_1$ 航行 $\Delta t_1$ 的时间,则在 $t_1$ 時間后到达第一点。以后可以航向角 $Ky_2$ 按航速 $U_2$ 航行 $\Delta t_2$ 時間在 $t_2$ 時間到达第二点、……以此类推。这是最基本的航行方法之一。从最古老的利用記里鼓、指南車等简单工具来計算路程,到在飞机上利用磁罗盘、空速表和航空钟来推算位置都是如此。上面曾經提到的慣性导航和都卜勒雷达导航也都是基于推测航行的原理,所不同的只是它們測量速度和測量航向的方法和原理不同,精确度也不一样。

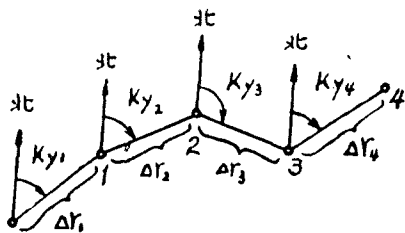


图1-1-1 推测航行原理

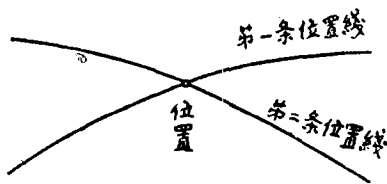


图1-1-2 根据二条位置綫交点来确定位置

(二) 定位法: 即根据二条位置綫的交点来确定位置的方法。在几何上我們知道确定平面上一点的位置需要知道它的二个座标。(例如在直角坐标系中如果已知 $x, y$ 二个座标,根据二个座标值所决定的直綫的交点,即可确定出位置。)从几何原理来讲这个座标可以是任意的,根据測量結果所确定座标值即确定了二条曲綫,二条曲綫的

交点，即目标的位置。我们通常将对应于坐标值一定点的轨迹称为位置线。因此一般的来讲确定位置的方法即根据二条位置线的交点来定位如图1-1-2所示。

在无綫电导航中，通常将无綫电导航设备所测量的几何量，例如：角度、距离和距离差……等，称之为无綫电导航设备的参量。相当于参量某一数值的轨迹称为位置线。因此定位法确定位置的基本原理，即利用无綫电导航设备测得二个导航参量，根据由此参量对应的位置线的交点来确定位置。

位置线的形状决定于参量本身的特性。在无綫电导航中常用的位置线，有以下几种：

(1) 当由定点到动点方位不变时(图1-1-3)，同样，当由动点到定点的方位不变(图1-1-4)时，目标的位置线都是直线。通常称为等方位线或等角线。

(2) 当由动点到二定点的方位差不变时，位置线是过 $A$ 、 $B$ 和 $M$ 点的圆弧(见图1-1-5)。通常称为等夹角线。

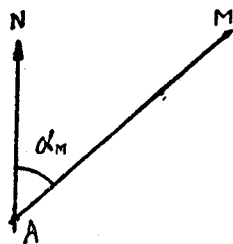


图1-1-3 由定点到动点的等方位线

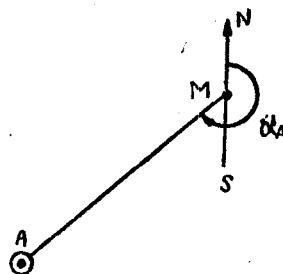


图1-1-4 由动点到定点的等方位线

(3) 当由动点到定点的距离不变时，位置线是过 $M$ 点的圆，圆心在 $A$ 点(见图1-1-6)通常称为等距离线。

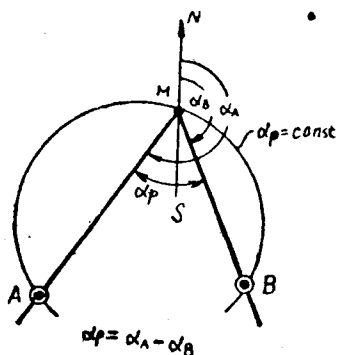


图1-1-5 由定点到两定点的等方位差曲线

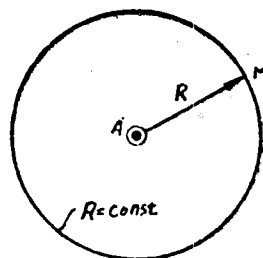


图1-1-6 由一动点到一定点的等距离曲线

(4) 当由动点到两定点的距离之差不变时，位置线是过 $M$ 点的双曲线的一支(见图1-1-7)，定点 $A$ 和 $B$ 是该双曲线的焦点。通常称为等距离差线。



(5) 当由动点到两定点距离之和不变时,位置线是过  $M$  点的椭圆(见图 1-1-8), 定点  $A$  和  $B$  是该椭圆的焦点。通常称为等距离和线

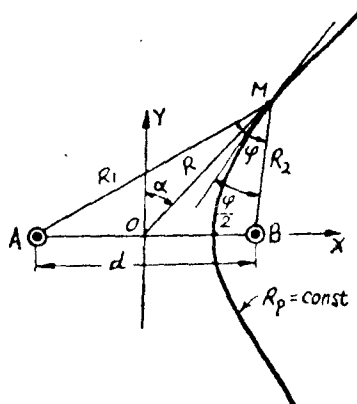


图 1-1-7 由一-动点到两定点等差  
距曲线

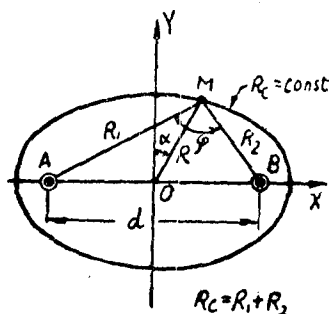


图 1-1-8 由一-动点到两定点的等和  
距曲线

上述每个参量有不同常数值时对应于一个位置线族。

第一种和第二种情况的位置线是径向直线族。第三种情况是过二个定点的圆族, 第四种情况是同心圆族, 第五种情况是共焦点双曲线族, 最后, 第六种情况是共焦点椭圆族。

雷达上通常只用第一、第二、第四种位置线。无线电导航中各种位置线都要用到, 在现有的航空无线电导航设备中以第一、二、四、五种情况用得最多。

测定平面上的目标位置, 必须找到二个互相交叉的位置线。两条位置线的交点即所求位置,

各种可能的定位法中最常用的有:

(1) 测向法, 采用这种方法时, 目标位置是由两条直线的交点决定的(图 1-1-9);

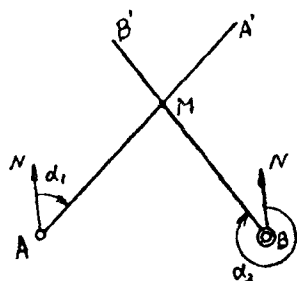


图 1-1-9 测定目标位置的测向法

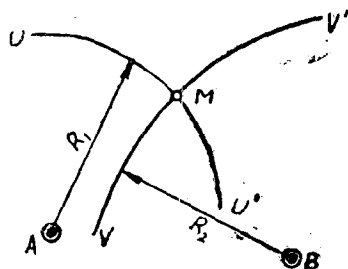


图 1-1-10 测定目标位置的测距法

(2) 测距法, 用这种方法时目标位置由两个圆弧的交点决定(图 1-1-10);

(3) 差距测量法, 用这种方法时, 位置由两条双曲线的交点决定(图 1-1-11);