

测 距 机

现代飞机电子设备知识丛书

XIANDAI FEIJI DIANZISHEBEI
ZHISHI CONGSHU

马士忠 编



3 2 2 4 2 5 0 1

1241.6

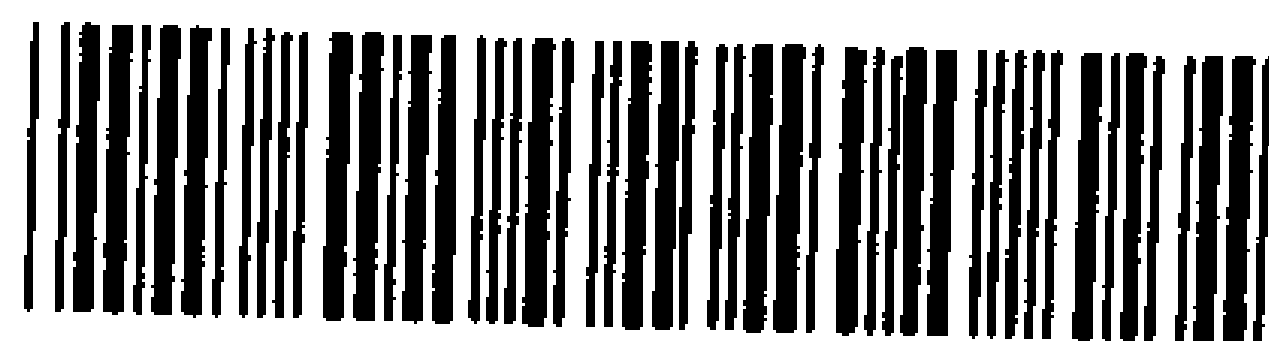
04

现代飞机电子设备知识丛书

测 距 机

马士忠 编

HK45/25



C0311534

国防工业出版社

V-2

25

25

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

测距机/马士忠编. —北京:国防工业出版社,1994
(现代飞机电子设备知识丛书/李钊主编)
ISBN 7-118-01232-7

I. 测…

II. 马…

III. ①飞机-测距设备-基本知识 ②测距设备-飞机-基本知识

IV. V241.6

现代飞机电子设备知识丛书

测 距 机

马士忠 编

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 7 1/4 187 千字

1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月北京第 1 次印刷 印数:1—2500册

ISBN 7-118-01232-7/V·106 定价:9.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《现代飞机电子设备知识丛书》

编辑委员会

主任委员

李 钊

副主任委员 陆家沂 莫 及 王维民

李振达 刘得一 钦庆生

委 员(以姓氏笔划为序)

马士忠 王长昇 王章铸 李 煜(常务)

陆芝平 祁元福 杨颂伟(常务) 张永生

张德馨 周其焕 周宝魁 周瑞璉 郑连兴

高 柱(常务) 翟建平 蔡成仁 黎廷璋

主编单位 中国民用航空局适航司

中国民用航空局科教司

中国民航学院

中国民用航空局第一研究所

责任编辑 马征宇

出版说明

随着近代电子技术的迅速发展,现代飞机采用了大量新型的先进电子设备。近几年,我国民航使用了许多新型现代飞机,为了帮助从事航空电子技术的广大工程技术人员系统地了解和学习现代飞机电子设备所涉及的新知识、新理论和新技术,为了适应广大航空电子技术爱好者对新技术的了解和自学的需要,我们组织编写了这套《现代飞机电子设备知识丛书》。

本丛书不同于一般现代航空电子技术专著,也不同于民航院校的教科书,而是一套较通俗易懂的丛书,着重于内容的科学性、知识性、趣味性、启发性和实用性,主要介绍现代飞机上所采用的具体设备和系统的功能、作用、原理和结构。考虑到实际工作的需要,本丛书保留了少量英制单位,全书的单位一律采用中文名称。

本丛书约 24 分册,各册内容独立,自成体系,陆续分册出版。

本丛书将是目前从事航空电子设备的科研、设计、制造、使用和维修工作的广大专业人员提供适合其工作特点的理论参考书,可作为大、中专院校有关专业的师生在开阔视野方面的一套参考读物。本丛书还可供在航空部门工作的其他同志阅读。

《现代飞机电子设备知识丛书》编辑委员会

序 言

自本世纪初人类首次实现了具有动力并可由人控制的飞行以来,民用航空已获得了惊人的发展。

我国民航在实现社会主义现代化进程中,其发展速度为国际民航界所瞩目。1984~1987年航空运输总周转量和旅客运输量年递增率分别为30.0%和33.2%。近年我国民航事业为适应国民经济建设的需要,推进技术装备现代化,加快民航生产力发展,先后淘汰了一批适航性差的老旧飞机,增添了一批现代化飞机。仅在1985~1988年4年间,就新增大、中型运输机126架。

这些现代飞机的电子设备有了飞跃的发展,普遍采用了计算机、数据传输和屏幕显示等新技术,实现了自动飞行控制。这就对民航广大技术人员提出了更高的要求。

科技的发展,经济的振兴乃至整个社会的进步,都取决于劳动者素质的提高和大量合格人才的培养。科学技术的进步和管理水平的提高,将从根本上推动我国民航事业的现代化建设进程。我希望这套《现代飞机电子设备知识丛书》的出版,对促进我国民用航空事业的发展起到有益的作用。

杨 屹 屹
3/8-1989

前 言

测距机(DME)是目前干线飞机普遍装备的一种航空电子设备。它为飞行管理计算机提供距离信息,从而使其实现精确定位和多种导航用途。本书较系统地介绍了DME系统(包括机载设备和地面设备)的功能、组成、方框图原理及其使用维护知识,同时还对DME系统的换代设备——微波着陆系统的必要组成部分——精密测距机(DME/P)作了概括的介绍。

本书是在编者多年从事航空电子设备的教学与研究,及对多种典型的DME设备的资料进行分析综合的基础上编写而成的。在本书编写过程中,力图体现《现代飞机电子设备知识丛书》的编写原则,以700系列DME设备为依据,详细说明DME的基本原理、DME工程问题及具体电路方框图原理。在文字上力求通俗易懂,图文并茂。同时为了体现知识性、系统性和完整性,本书对DME技术的有关知识,诸如:飞机无线电导航定位、测距原理及DME/P等内容,也用一定篇幅作了介绍。

本书由中国民用航空学院原无线电系主任彭图强同志担任审校,他提出了许多重要修改和补充意见,周其焕教授为编写本书提供了有关资料。同时,在本书编写过程中,《现代飞机电子设备知识丛书》编委会对本书结构和内容安排提出了许多修改和补充意见,在此一并致谢。由于受编者学识水平所限,书中定有不少错误之处,敬请读者批评指正。

编者 一九九三年六月

内 容 简 介

本书主要介绍测距机 (DME) 的功能、组成、方框图原理及其使用维护知识。第一、二章介绍飞机无线电导航基本概念和测距原理;第三、四章重点介绍 DME 工程问题及典型的 DME 设备——700 系列 DME 的功能、组成及方框图原理;第五章简要介绍 DME 地面信标设备;第六章为精密测距机 (DME/P)。

本书可供航空机务维护、飞行调度、航空管理部门的管理干部和技术人员阅读,也可供有关院校师生参考。

目 录

第一章 飞机无线电导航的基本概念	(1)
1.1 飞机无线电导航的理论基础	(1)
1.2 确定飞机位置的方法	(5)
第二章 飞机无线电导航测距原理	(11)
2.1 概述	(11)
2.2 脉冲法测距	(12)
2.3 频率法和相位法测距	(23)
2.4 距离跟踪原理	(25)
2.5 距离自动跟踪的实现方法	(31)
2.6 数字式测距	(41)
第三章 测距机(DME)系统	(44)
3.1 DME 系统的组成及其工作原理	(44)
3.2 DME 系统使用的信号格式	(50)
3.3 DME 系统使用的频率和信道安排	(55)
3.4 频闪测定技术	(57)
3.5 回波及其抑制方法	(59)
3.6 地面信标台的过载与欠载问题	(61)
3.7 信标回答效率	(63)
3.8 DME 系统在飞机导航中的使用方案	(67)
第四章 DME 系统机载设备	(85)
4.1 700 系列 DME 的设计特点	(85)
4.2 Bendix DMA-37A DME 询问器简介	(89)
4.3 Collins DME-700 简介	(94)
4.3.1 Collins DME-700 综述	(94)
4.3.2 DME-700 主要技术性能指标	(98)
4.3.3 DME-700 简化方框图原理	(100)

4.4	DME-700 微机控制原理	(104)
4.4.1	微机的工作原理	(105)
4.4.2	DME-700 微机	(108)
4.5	ARINC 接口	(109)
4.5.1	MARK 33 DITS 简介	(111)
4.5.2	DME-700 ARINC 接口分析	(123)
4.6	DME-700 各组件方框图原理	(128)
4.7	DME-700 故障监控器	(146)
4.8	DME-700 使用维护	(153)
4.8.1	DME-700 使用	(153)
4.8.2	DME-700 维护实施	(165)
第五章	DME 系统地面设备	(169)
5.1	DME 系统地面设备简介	(169)
5.2	DME 地面信标应答器	(172)
第六章	精密测距机(DME/P)	(181)
6.1	DME/P 系统工程综述	(181)
6.2	双脉冲/双方式 DME/P 技术	(186)
6.3	脉冲形状及脉冲到达时间(TOA)估计技术	(190)
6.4	DME/P 系统效率	(196)
6.5	DME/P 系统应答器与询问器典型设备	(200)
附录一	缩略语英汉对照表	(207)
附录二	频率配对方案——X 信道与 VHF 导航频率 的关系	(214)
附录三	信道选择频率表	(215)
附录四	DME-700 询问 PROM 输出与距离计数器 输出及 PROM 地址的关系	(221)
参考文献		(222)

第一章 飞机无线电导航的基本概念

通常将引导飞机按既定航线进行航行的过程称为导航。飞机无线电导航系指利用无线电技术和方法测量飞机的位置及其有关参数，诸如：方位、距离、高度和速度等，并进而引导飞机安全、正确、经济地航行的方法和技术。用以实现飞机无线电导航的装置，称为飞机无线电导航系统。本章叙述飞机无线电导航的理论基础及利用无线电导航设备确定飞机位置的方法。

1.1 飞机无线电导航的理论基础

飞机无线电导航是靠安装在飞机上的电子设备接收和处理无线电波获得导航参数来实现的。无线电导航的理论基础是根据如下的无线电波传播特性和规律：

(1) 无线电波传播的直线性 在自由空间，无线电波是沿直线传播的，即沿发射与接收点之间的最短距离传播的；

(2) 无线电传播的恒速性 在自由空间，无线电波传播速度等于光速，约为 $299\,792\,458 \pm 1$ 米/秒；

(3) 无线电波碰到物体的反射性 无线电波在任何两种媒质的边界上必然产生反射，反射场强的大小与该两种媒质的电气性能有关。

根据上述 (1)、(2) 两个特性，无线电波的传播为等速直线运动，这就是在无线电导航中，用它来测向、测距和测距差的理论基础。由物理学我们知道：在等速直线运动时，距离、速度和时间之间的关系可用下式来表示：

$$s = vt \quad (1-1)$$

式中, v 为电磁波传播的速度, 即光速, 是个常数。故当测量出无线电波传播所用的时间 t 时, 就可求出它经过的距离 s 。

上述无线电波传播的第 (3) 个特性是空中交通管制 (ATC) 一次雷达及某些导航系统工作的原理基础, 它给出了用无线电方法探测、发射和测量目标的可能性。

无线电波的电场可由下式表示:

$$e = E \sin(\omega t - \varphi) \quad (1-2)$$

式中, E 为振幅, ω 为角频率, t 为无线电波传播的时间, φ 为初相角。这四个电参量都可以携带导航信息, 故只要测出其中某个电参量就可以得到相应的导航参数。比如: 若测出无线电波在机载与地面导航设备之间传播的时间 t , 就可按公式 (1-1) 求出飞机到地面导航台的距离 s 。

事实上, 当无线电波在地球周围的空间传播时, 由于大气和电离层的存在, 其传播特性与频率有着密切的关系。并不是任何频率的无线电波都能适用于飞机无线电导航系统。

无线电波通常指的是频率为 3 千赫 ~ 300 吉赫 (波长为 100 000 ~ 0.001 米) 的电磁波。电磁波按其传播特性的区别通常划分为若干波段, 如表 1-1 所示。

表 1-1 无线电波波段划分

名称	缩略语	频率	波长
甚低频或万米波 (超长波)	VLF	3~30 千赫	100 000~10 000 米
低频或千米波 (长波)	LF	30~300 千赫	10 000~1000 米
中频或百米波 (中波)	MF	300~3000 千赫	1000~100 米
高频或十米波 (短波)	HF	3~30 兆赫	100~10 米
甚高频或米波 (超短波)	VHF	30~300 兆赫	10~1.0 米
特高频或分米波 (微波)	UHF	300~3000 兆赫	1.0~0.1 米
超高频或厘米波 (微波)	SHF	3~30 吉赫	0.1~0.01 米
极高频或毫米波 (微波)	EHF	30~300 吉赫	0.01~0.001 米

飞机无线电导航系统所使用的主要频段列于表 1-2。

表 1—2 飞机无线电导航系统使用的频段

系统	频段
奥米伽	10~14 千赫
台卡	70~130 千赫
罗兰 C	100 千赫
自动定向机	200~1700 千赫
指点标	75 兆赫
仪表着陆系统（航向信标）	108~112 兆赫
甚高频全向信标	108~118 兆赫
仪表着陆系统（下滑信标）	320~340 兆赫
测距机	960~1215 兆赫
二次监视雷达	1030 兆赫，1090 兆赫
无线电高度表	4.2~4.4 吉赫
微波着陆系统	5.031~5.09 吉赫
气象雷达（C）	5.5 吉赫
多普勒雷达（X）	8.8 吉赫
气象雷达（X）	9.4 吉赫
多普勒雷达（K）	13.3 吉赫
卫星导航（GPS）	$L_1=1575.42$ 兆赫， $L_2=1227.6$ 兆赫

无线电波各波段的传播特性如下：

1. 超短波（USW）

电离层不能反射该波段信号，超短波可以穿透电离层而射向宇宙空间。在电离层以下，超短波信号仅按直线传播，因而它的作用距离近，受视线距离的限制。

由于超短波的频率高，周期短，故可产生很窄的脉冲。同时由于其传播方式的直线性，用于测距可得到高的测距精度。

由于波长短，可用尺寸小的天线，得到尖锐的方向图，从而提高测向的精度和作用距离。

该波段主要用于某些近程导航系统，如甚高频全向信标（VOR）、测距机（DME）、塔康（TACAN）、仪表着陆系统（ILS）和微波着陆系统（MLS）和卫星导航系统等。

2. 短波（SW）

短波主要靠电离层反射的空间波来传播。该波段的电波传播衰减很大，传播时间、相位和振幅都很不稳定。另外，当电离层的结构和高度发生变化时，电波传播随着变化，因而天线接收的地波和天波合成电场的幅度和相位发生变化，即产生衰落现象。故一般无线电导航系统不使用此波段。

3. 中波（MW）

具有稳定的传播特性，既可以地面波的形式传播，也可以空间波的形式传播。白天地面波较强，而夜间空间波较强。因此，该波段在无线电导航中得到了应用，特别是在双曲线导航中应用更多。

但在此波段上不能获得宽度很窄的脉冲和尖锐的方向图，测量精度很低。另外，在该波段上需要用很大几何尺寸的天线，方可得到较好的效率。加之又有大量广播电台的广播波段包含在此波段中，故未来导航系统将不会选用此波段。

4. 长波（LW）

传播方式有两种：一是地波；二是由电离层低层反射的天波。但在其传播过程中信号的幅度和相位稳定性比中波好，因此信号可靠性和相位测量精度较高；另一方面，长波传播的损耗小，因而适用于远程传播。某些远程无线电导航系统如罗兰C等就是根据长波的传播规律而工作在该波段的。

5. 超长波（ULW）

传播方式是在电离层与地面之间反射传播，如同雷达电波在波导中传播一样。所以，这种传播方式称为波导模。超长波的相位稳定性比长波好。一些远程导航系统如奥米伽导航系统就是工

作在此波段。

1.2 确定飞机位置的方法

飞机是在空中飞行的航行体，每一瞬间飞机在空间的位置可用飞机的飞行高度及其在地球表面上投影点的坐标来表示。通常将飞机在地球上的投影点称为飞机位置。飞机位置一般用地理坐标——纬度 (LAT) 和经度 (LONG) 来表示。据此，飞机导航可看成是飞机在地球表面投影点的定位和引导问题。飞机的高度由以下两种方法测定：一种是根据当地机场的气压，由机上的气压高度表测出；另一种方法可利用无线电高度表测出飞机相对于地球表面的真实飞行高度。本节将介绍确定飞机位置的几何原理及基本方法。

一、确定飞机位置的几何原理

假如我们把一定区域的地球表面近似地看作平面，则在此平面上至少必须有两条线相交才能确定一个点的坐标。这些线可为直线、圆和双曲线等。在飞机无线电导航中，通常将地面上具有相同导航参数的点的连线称为位置线。所用导航参数可以是飞机相对于导航台的方位，或至导航台的距离，或至两个导航台的距离差，或飞机的速度（地速或空速）等等。由此可见，确定飞机位置实际上是求两条位置线的交点。因此，要定出飞机的位置，至少需要属于两个无线电导航台的位置线，亦即至少需要两簇不同的位置线网。这两簇位置线网的形状可以是相同的，也可以是不同的，从而得出各种定位体制：

1. 圆-圆 (ρ - ρ) 体制定位

利用无线电波测定飞机与地面导航台之间的距离的系统称为“无线电测距系统”。因为测距的位置线是个圆，故又叫做圆 (ρ) 系统。

一个地面导航台仅决定一条圆位置线，要测定飞机的位置，必须有两个地面导航台的圆位置线相交。由飞机分别测得到达两个

地面导航台 A 和 B 的距离 ρ_A 和 ρ_B ，然后根据两条位置线的交点 M 定出飞机的位置（见图 1-1）。

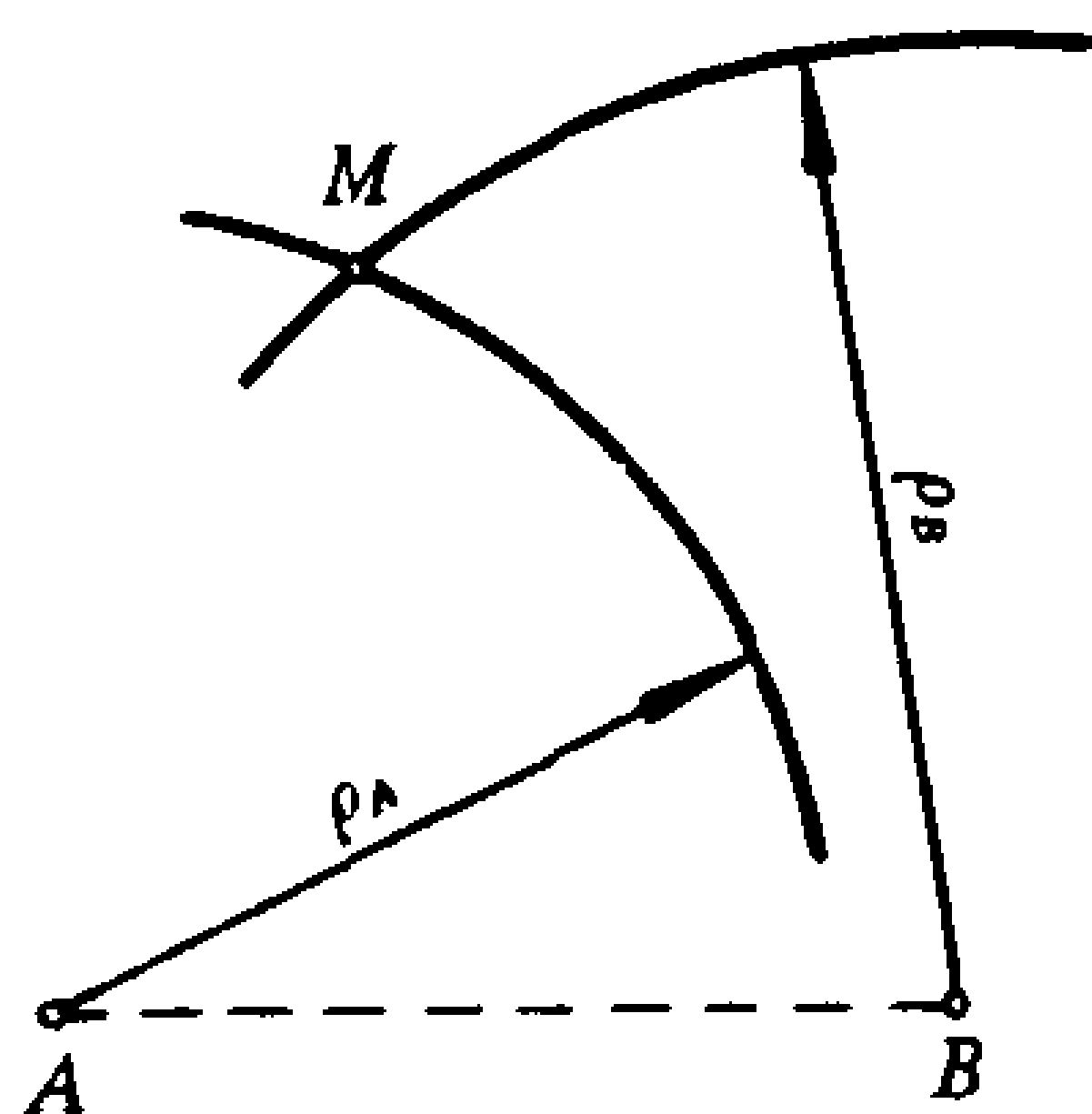


图 1-1 ρ - ρ 体制定位

ρ - ρ 体制定位的优点是具有较高的精度，缺点是这种定位方法存在着多值性，即两个地面导航台的各一条圆位置线所得到的交点位置有两个。实践中可由三个地面台，即所谓 ρ - ρ - ρ 定位系统来消除多值性。

ρ - ρ 体制定位的设备有无线电测距机（DME）。

2. 测向-测向（ θ - θ ）体制定位

利用无线电波测定飞机相对于地面导航台的方位的系统称为“测向（角）系统”。因测向系统的等方位位置线是一根径向线，故又叫“径向线（ θ ）系统”。

一个地面导航台仅能定一条飞机所在方位的径向线，故必须有两个地面导航台各一条飞机位置线互相相交，才能定出一个确定的位置（见图 1-2）。

在 θ - θ 体制定位系统中，当两个导航台的两条位置线相交成直角时，其几何定位精度最高；交角不等于直角时，精度将减小。如交角为 0° （或 180° ），两位置线重合，交点为多值， θ - θ 体制将不能进行定位。

θ - θ 体制定位的设备有：无线电定向机（DF）、甚高频全向信标（VOR）和仪表着陆系统（ILS）等。

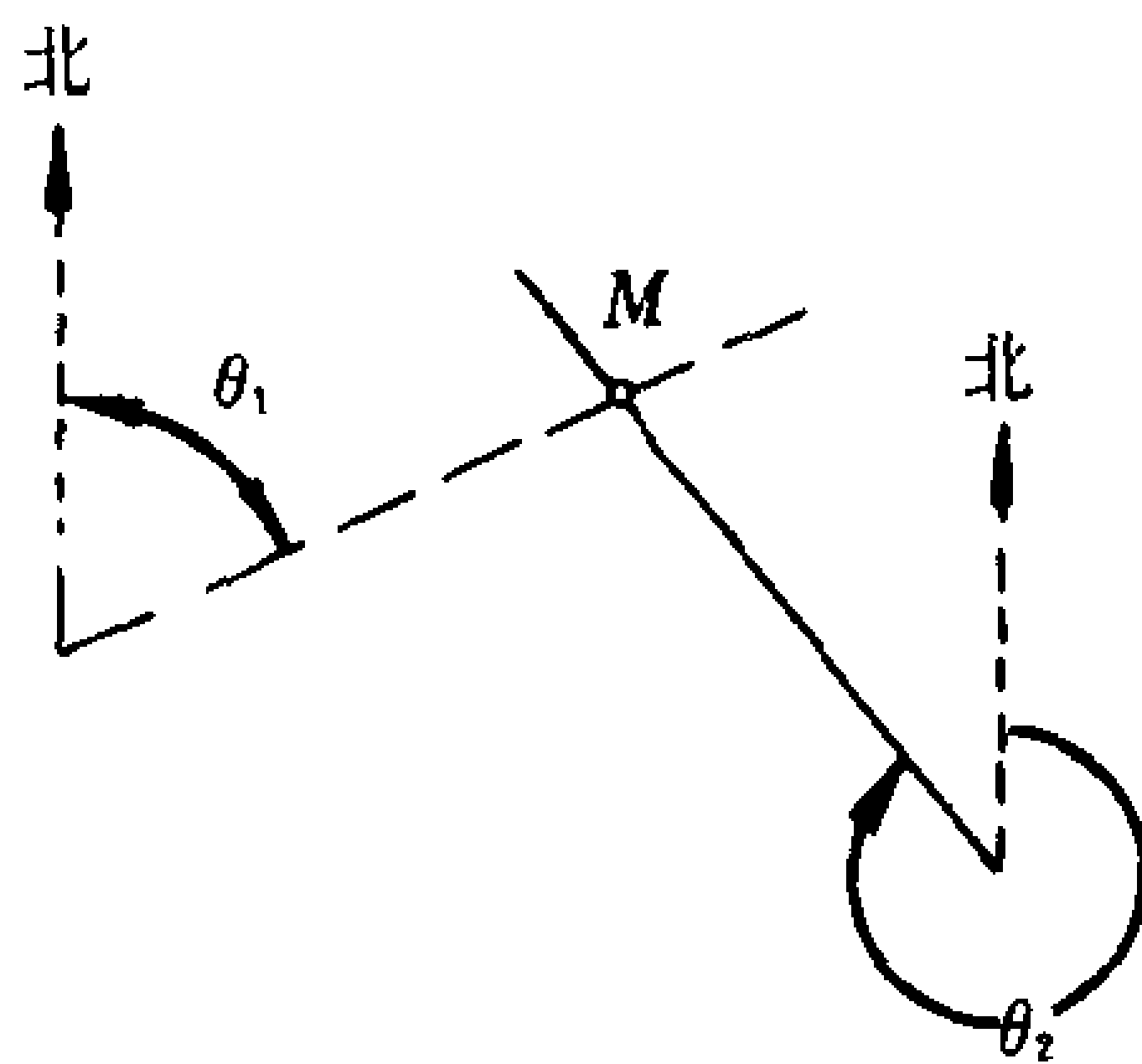


图 1—2 测向-测向 (θ - θ) 体制定位

3. 测距-测向 (ρ - θ) 体制定位

ρ - θ 体制定位是测距和测向的综合系统, 即由测距系统的等距位置线 (圆) 与测角系统的等方位位置线的交点确定飞机的位置。 ρ - θ 体制定位系统实际上是以极坐标形式确定目标位置, 故又称为“极坐标系” (见图 1—3)。

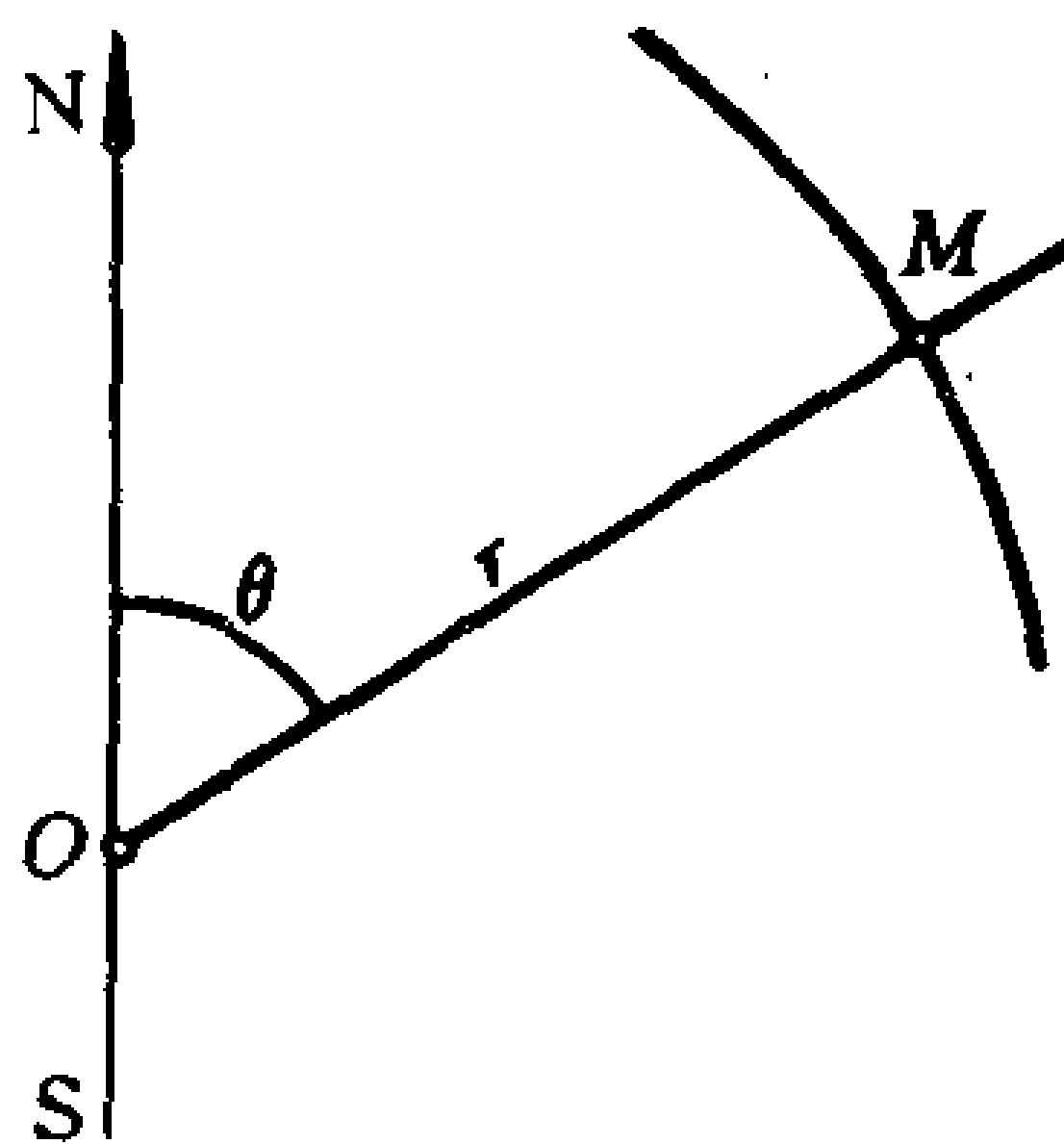


图 1—3 测距-测向 (ρ - θ) 体制定位

ρ - θ 系统所得到的位置线是单值的, 所以不存在多值性问题。而且由于在该体制中两条位置线总是正交成直角的, 故在径向线和等距离位置线误差一定的情况下, 该系统定位具有最高的精确度。

ρ - θ 体制定位的设备和系统有: 塔康系统 (TACAN)、伏塔克 (VOTAC)、ATC 一次监视雷达等。