

双曲线导航

(日) 无线电导航研究会 编

姚仲良 译 武定国 校

624297

国防工业出版社

624297

TN966/01

双曲线导航

〔日〕无线电导航研究会 编

姚仲良 译

武定国 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书从应用角度介绍了国际上使用的双曲线导航系统的基本原理、接收机和发射方式、定位方法和定位精度的分析。书中对劳兰系统、台卡系统、奥米加系统的设备情况和使用方法介绍得比较全面，并对双曲线导航今后的发展提出了见解。

本书可供海军、海运、渔业和海洋开发等船舶驾驶人员以及有关专业的技术人员阅读，也可作为海校和海运院校有关专业的师生教学参考书。

双曲线航法

〔日〕电波航法研究会 编

海文堂 1977

*

双曲线导航

〔日〕无线电导航研究会 编

姚仲良 译

武定国 校

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张57/8 151千字

1986年6月第一版 1986年6月第一次印刷 印数：001—730册

统一书号：15034·2966 定价：1.35元

目 录

1	双曲线导航概要	1
1.1	导航方式与双曲线导航	1
1.2	双曲线导航原理	3
1.3	双曲线导航的历史	7
1.4	各种双曲线导航系统	10
1.5	双曲线导航与电波传播	11
1.6	双曲线导航的误差与有效范围	17
2	劳兰系统	27
2.1	劳兰 A 系统	27
2.1.1	原理与发射信号方式	27
2.1.2	劳兰 A 台的配置	30
2.1.3	电波传播	34
2.1.4	接收机	37
2.1.5	接收信号操作的概要	39
2.1.6	船位的确定及其精度	46
2.2	劳兰 C 系统	58
2.2.1	原理与发射方式	58
2.2.2	劳兰 C 台的配置	61
2.2.3	劳兰 C 电波的传播	62
2.2.4	接收机	66
2.2.5	接收信号操作概要	67
2.2.6	船位的确定及其精度	72
2.3	日本各公司的劳兰接收机	75
2.3.1	各公司有代表性的劳兰接收机	75
2.3.2	各公司的劳兰接收机介绍	75
3	台卡系统	81
3.1	台卡系统的原理与发射信号方式	81
3.1.1	台卡的历史	81
3.1.2	台卡的原理	81
3.1.3	有效范围	86

3.1.4	台卡发射台	87
3.2	台卡台的配置与现况	89
3.3	台卡接收机	94
3.3.1	MS-1A型接收机	96
3.3.2	MS-2A型接收机	102
3.3.3	MS-3A型接收机	106
3.4	台卡接收机的使用方法及船位确定	111
3.4.1	台卡接收机的使用方法	111
3.4.2	船位的确定	119
3.5	台卡定位的误差	122
4	奥米加系统	129
4.1	原理与发射方法	129
4.2	奥米加电波的传播	135
4.3	奥米加接收机	149
4.4	实际的奥米加接收机	151
4.5	奥米加图与奥米加表	158
4.6	奥米加接收机的操作	161
4.7	按照奥米加表计算船位	164
4.8	奥米加导航得到的船位误差及其问题	168
5.	双曲线导航的应用	170
5.1	测定时间差、相位差的直接应用	170
5.2	监视航路方面的应用	171
5.3	与其它导航方法所得位置线的综合应用	172
5.4	自动跟踪式及自动测位式接收机	172
5.5	台卡系统的应用	173
5.6	奥米加系统的应用	177
5.6.1	差奥米加	177
5.6.2	相对导航	178
5.6.3	奥波耳	178
5.6.4	组合奥米加	179
5.7	今后的课题	180

I 双曲线导航概要

1.1 导航方式与双曲线导航

为使舰船沿着预定的航线航行，必须正确地知道本船的位置、速度（或航向与速率）。利用无线电技术进行导航称为无线电导航。近来，除了利用无线电导航外，还开发了利用声波、光、惯性力等的导航方法，在这些方法中由于利用了电子计算机，称为电子导航。

电子导航的方式分为：（1）不依赖于外部的援助，仅用船上的装置可以完成的导航称为自备式导航。（2）在陆上或海上的固定地点设置作为基准的岸台，测定船与岸台的相对位置完成的导航称为他备式导航。

推算航法、多普勒导航、惯性导航等为自备式导航；使用无线电测向仪和劳兰、奥米加、台卡等双曲线导航系统为他备式导航。

双曲线导航是根据从两个台各自发射的电波到达观测点（船上）时，产生电波传播的时间差求得位置，由于求取位置所用的时间差为一定轨迹的双曲线，所以称为双曲线导航。

各种导航方式

如图 1.1，用舰船 P 与岸台 A 之间的距离 R 和舰船的方位 θ 求取船位 P 的方法，为距离-方位组合导航。因为距离一般用希腊字母 ρ 表示，而方位用 θ 表示，所以这种方法也叫做 $\rho - \theta$ 导航。方位可用无线电测向仪、距离可用测距仪分别求取。普通导航

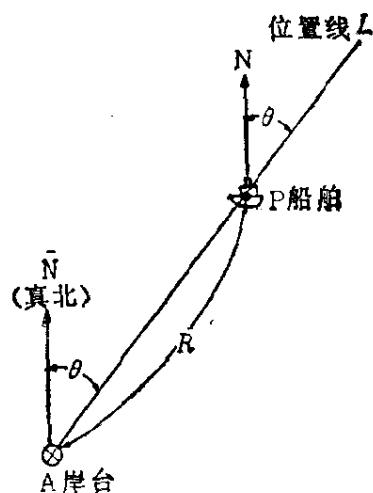


图1.1 距离-方位导航
($\rho - \theta$ 导航)

用的PPI(平面位置显示器)雷达测定陆标等,就是应用 $\rho-\theta$ 导航。

如图1.2所示,从A和B两个岸台分别测定舰船的方位 θ_A 和 θ_B ,画出两条位置线 L_A 和 L_B ,由其交点求取船位P,由于这种方法是方位与方位的组合,所以叫做 $\theta-\theta$ 导航。

一般,在船上观测两个固定点的方位 θ_A 和 θ_B ,画出两条直线位置线,用其交点求取本船位置的交叉方位法就是 $\theta-\theta$ 导航。

如图1.3,测定舰船P到两个岸台A与B各自的距离 R_A 和 R_B ,分别以A和B为圆心,画出以 R_A 和 R_B 为半径的圆弧位置线 L_A 和 L_B ,由其交点求取船位P,因为这种方法是距离与距离的组合,所以称为 $\rho-\rho$ 导航。

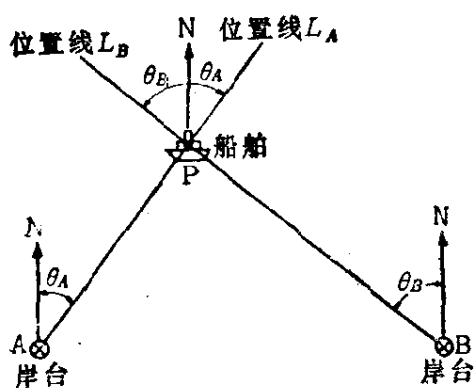


图1.2 方位-方位导航
($\theta-\theta$ 导航)

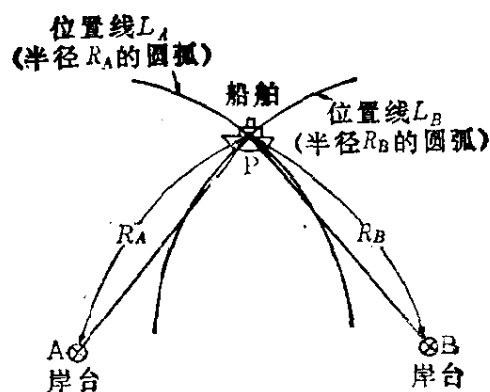


图1.3 距离-距离导航
($\rho-\rho$ 导航)

图1.4表示双曲线导航。设由岸台A和B到舰船P的距离分别为 R_A 和 R_B ,距离差 $\Delta R=R_A-R_B$ 一定时的船位轨迹是以A和B为焦点的双曲线。即画出 ΔR 为定值时的位置线族,在某一条位置线上,由舰船P到岸台A和岸台B的距离差 $\Delta R=R_A-R_B$ 是一定的。因此,如果在船上能利用电波测定该距离差 ΔR ,就可知道本船位置在该 ΔR 值的位置线上。同样,再求取岸台C与A的另一个距离差 $\Delta R'$,画出另一条位置线,两条位置线的交点即为本船P的位置。

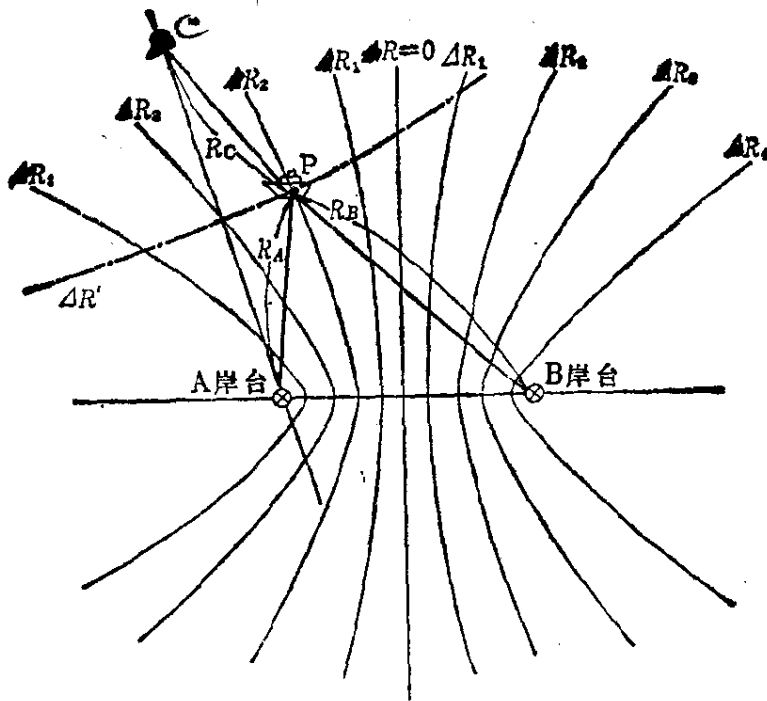


图1.4 双曲线导航

作为双曲线导航的特征，其优点是：（1）船上的装置只有接收机就可以了，不必发射电波；（2）船上装置比较简单，维修容易；（3）在广阔的海域内，有可能实现高精度定位。然而，其缺点是：（1）由于电波传播上的变化和噪声的干扰等原因，使测位产生误差，特别是电波由各个台分别发射，但一组合（主台与副台）之间在发射时间上又要保持一致（称为同步），如果不同步，就会产生系统所固有的位置误差；（2）由于几何学上的原因，故会产生因地域不同而误差大小也不同的双曲线导航固有的误差；（3）因为位置线成双曲线族，所以用纬线、经线那样的直角坐标求位置，必须进行坐标变换计算。虽然如此，在世界上它还是广泛应用的一种优良的导航方式。

1.2 双曲线导航原理

前节所述双曲线导航，从数学上讲，就是利用“到两定点的距离差等于定值的点的轨迹为双曲线”这一原理的导航方法。如图1.5，设A、B为两定点，若设由两定点到D的距离分别为400海里和700海里，到E点的距离为200海里和500海里，到F点的

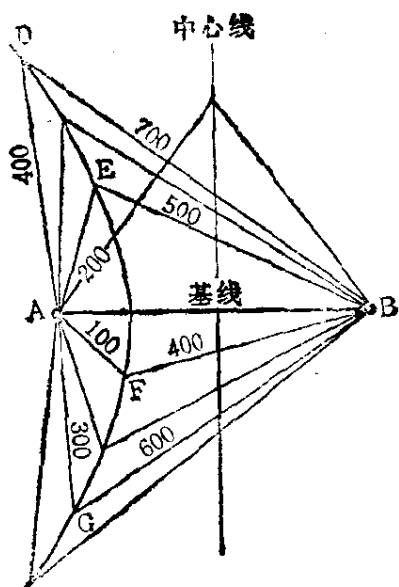


图1.5 到两点距离差相等的
线为双曲线

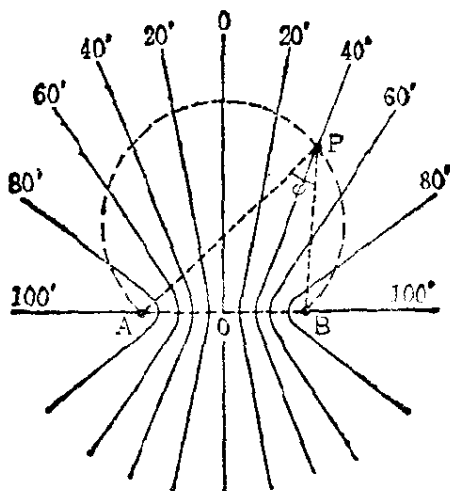


图1.6 距离差每隔 20 海里的
双曲线族与等精度圆

距离为100海里和400海里，到G点的距离为300海里和600海里，其差值都是300海里，连接D、E、F、G各点的连线就是以A与B为焦点的一条双曲线。另外，到两定点的距离始终相等的线为两点连线（称为基线）的垂直二等分线，该线上的任一点到两定点的距离差为零。如果只考虑到两点距离差的绝对值，就能以距离差等于零的直线为对称轴，画出两侧对称的双曲线族。图1.6为各双曲线之间，距离差间隔等于20海里所画的双曲线族。

这样的双曲线族有以下性质：

- a. 基线上距离差间隔相等的双曲线，其间隔都相等。
- b. 在基线上相邻的两条双曲线，其间隔最小，同时随着离基线距离越远而逐渐变大。
- c. 在中线附近距离差间隔相等的双曲线，其间隔小，同时随着离中线越远而逐渐变大，在基线延长线上为最大。
- d. 各双曲线间隔相等的点，其轨迹为过A、B两定点的圆弧族。图1.6上的APB表示其中的一个圆弧。用公式表示为

$$s = a \csc \frac{1}{2} \varphi \quad (1-1)$$

式中 s ——在任意点 P 的双曲线间隔；

a ——基线上双曲线的间隔；

φ —— P 点对 A 、 B 的张角。

该式对于确定双曲线导航精度是必不可少的。

位于某一点的舰船，如果能求出舰船与 A 、 B 的距离差，那末，舰船就在此距离差的双曲线上。也就是说，双曲线就是位置线。因为用计算法求得每次测定值的双曲线是很麻烦的，所以预先以 A 、 B 作为焦点，将距离差一定的双曲线族画在海图上，测定距离差后，从双曲线族中找出对应于测定值的双曲线，就可简便地求出位置线。同样，如果从其它台组所作的双曲线族中求出另一条位置线，则两位置线交点即可决定船位。画有这样双曲线族的海图称为双曲线海图。

通常，用以下三种方法求上述两台的距离差：

① 脉冲比较法；

② 相位比较法；

③ 两者并用法。

(1) 脉冲比较法

设图1.5中的 A 、 B 两台同时发射脉冲电波。如果在船上能测定这两个脉冲波到达的时间差，则可按照“时间差×电波的速度”求出至 A 、 B 两点的距离差，劳兰 A 就是采用这种方式。

(2) 相位比较法：

设从 A 、 B 两台发射的电波频率相同，相位也完全相等。因为两个电波同时到达基线中点 m (如图1.7)，所以两电波的相位应始终相等。自 m 点向 A 台靠近 $1/4$ 波长到 l 点，这样， A 台的电波比在 m 点的相位提前了 $1/4$ 波长， B 台的电波比在 m 点的相位延迟了 $1/4$ 波长，所以在 l 点 A 台电波与 B 台电波的相位差为 $\frac{1}{2}$ 波长。如果自 l 点再向 A 台靠近 $1/4$ 波长到 K 点，则

A 台电波比在 m 点的相位提前 $1/2$ 波长， B 台电波比 m 点的相位延迟 $1/2$ 波长，所以其相位差为一个波长，即相位差为零。电

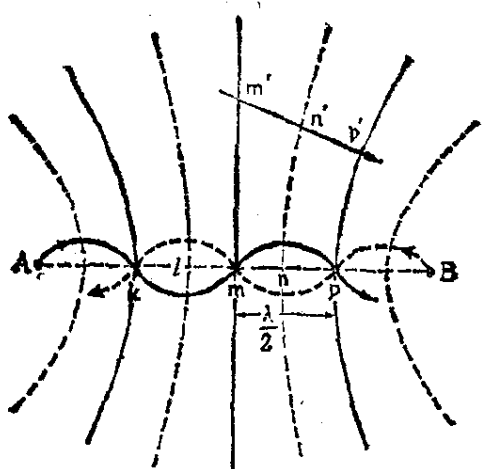
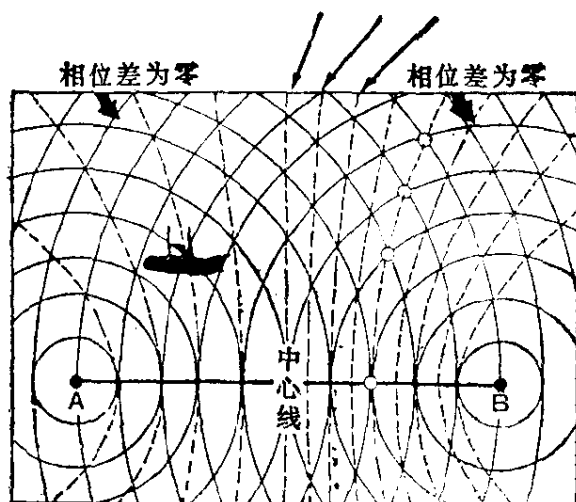


图1.7 距离差与相位的关系

图1.8 以每隔 $1/2$ 波长的同心圆的交点作相位差为零的双曲线

波自 m 点向 B 台靠近 $1/4$ 波长到 n 点，诸如靠近 $1/2$ 波长到 P 点等的情况与上面的情况相同。即由两个台发射同波长、同相位的电波，则每隔 $1/2$ 波长可以得到两电波的相位差为零的点。因此，若从 A 、 B 两台每隔 $1/2$ 波长分别画出同心圆，则同心圆的交点就是相位差为零的点。在图1.8上可以看出，连接相位差为零的点的连线为双曲线。

这样，根据测定两个台发射电波的相位差，就可求出双曲线位置线。

台卡和奥米加就是使用这种方式的代表。

用相位比较法，相位差为零的双曲线有若干条，由这些相位差为零的位置线所夹的区域称为巷。所以在一巷的范围内两电波的相位差变化 360° 。

因为每巷的相位差变化 360° ，例如相位差为 50° 时，若不指定在哪一巷，则不能确定位置线。用这样的相位比较法即使知道相位差，但不知道在哪一巷，就存在巷的不确定性，这种不确定性称为多值性。为了消除多值性，必须进行所谓巷识别，在相位比较法中，巷识别必须与相位比较同时考虑。

(3) 脉冲比较与相位比较并用法

这是用脉冲比较求大概的时间差，再根据相位比较进行高精

度的测定，劳兰 C 是采用这种方式的典型。

上述问题，将在以下各章中详细叙述。

1.3 双曲线导航的历史

如果说第二次世界大战以前的无线电导航采用的是无线电方位测定方式，那末，在第二次世界大战中，由于飞机轰炸和引导或船舶定位等军事上的需要，各国大力研究无线电导航，先以雷达为开端，之后，研制劳兰、台卡等现代航海不可缺少的无线电导航系统，从而达到今日兴旺的地步。

1940年，美国为军用提出研制一种引导飞机用的精密导航系统，要求：（1）有效范围在500海里以上，（2）有效高度在3500英尺以上，（3）距离在200海里范围内，精度为1000英尺。并在1940年12月，按以上要求成立了研制委员会，由哈佛大学的 A. 皮尔斯（J. A. Pierce）等人负责研究。几乎同一时间，1940年10月，当时美国的微波委员会主席艾尔弗雷德 L. 鲁米斯（Alfred L. Loomis）向微波委员会提出了使用脉冲的双曲线作为位置线的远程导航方法的提案。此后，脉冲方式的双曲线导航方法被采用了，1942年6月，双曲线导航的试验台建成，所用频率为1950千赫和7.5千赫，重复频率为25赫——33 1/3 赫，并进行了试验。这种方法取远程无线电导航（LONG RANGE Navigation）的字头缩写而命名为劳兰（LORAN）。试验的结果，认为用这种方法得到的位置线精度很高，应将这种劳兰在实际中很快地得到使用。1942年10月，在北大西洋开始建设四个劳兰台，相互形成了三个劳兰网，发射了试验电波。1943年6月，这些台建成，并正式投入使用。这种劳兰曾称为标准劳兰，因为在其同步上使用 A 型方式，所以现在又称它为劳兰 A。在1942年11月开始在“纽约”号军舰上安装劳兰 A 船用接收机。

另一方面，在英国研制出一种与劳兰 A 类似的“奇”（GEE）导航系统用于飞机的引导，1942年开始实际使用，在诺曼蒂登陆作战中与台卡并用。这种导航系统由于使用20-80兆赫的超短波，

其有效范围狭小，操作也不简便，所以没有多大发展。

由于劳兰A和“奇”导航系统的使用范围狭小，所以有必要研制使用范围更大的新系统。研究劳兰的领导者皮尔斯发现，在200~300海里的距离处观测劳兰天波时，误差非常小，而且在相当远的距离传播状态很稳定。1943年4月10日夜间，在离芬尼克岛台1100海里的纽芬兰岛的博纳维斯塔上进行天波同步试验，其位置线误差仅有0.5海里，这一结果被美国麻省理工学院(MIT)的辐射实验室予以确认，因而研制出天波同步劳兰(SS劳兰)。SS劳兰使用长基线，其精度高、在陆上的衰减小，并且也和在海上一样能在陆上使用等优点，所以于1944年春在欧洲建设了四个SS劳兰台，但是，由于SS劳兰只能在夜间使用，并在第二次世界大战后，劳兰A台的建设得到迅速地发展等原因而被废止。

由于劳兰A使用2兆赫频带的中短波，所以其覆盖的区域较小，如果把劳兰A的载波变为长波，加长基线，就能扩大其使用范围，1944——1945年在美国进行了180千赫低频劳兰(LF劳兰)的试验。该试验仍使用劳兰A的定时器和劳兰A改进了的部分发射机与接收机。试验结果认为低频劳兰可充分利用，但是，不久由于第二次世界大战结束，所以低频劳兰(LF劳兰)未供实际使用。

此后，随着舰船、飞机的大型化、高速化，对劳兰A在有效范围、精度和操纵使用的简便等方面的要求提高了。美国的斯伯利公司为了弥补劳兰A的缺点，研制一种使用80-100千赫的长波的新系统，这种系统首先用脉冲方式测定概略的时间差，然后比较载波的频率以提高测定时间差的精度。它是一种比较频率的劳兰，英语为“Cycle Matching Loran”，简称“Cyclan”。以后美国海军与空军和斯伯利公司协作进行研究，并得到战术空军司令部的支持，取名为西塔克(Cytac)，该系统是以有关低频劳兰(LF劳兰)的资料为基础，使用80——100千赫的劳兰。1955年该系统达到了实际使用的要求，并把美国东海岸的试验台改为

实用台，称为劳兰 C。到1971年，世界上建成 8 个台链、34 个劳兰 C 台，现正在使用。

另外，第二次世界大战前，美国人奥布兰与英国台卡公司技师修瓦尔茨协作研究台卡系统，并由英国的台卡公司研制。以后在英国海军的援助下得到发展，第二次世界大战期间，诺曼蒂登陆作战中，用该系统引导舰船取得了预期的效果，从而展现了它的优越性，战后在英国运输部和海军的共同努力下，使台卡系统发展到现在的状况。最初，于1946年在英国南部开始建设台卡链，而后，于1947年5月在纽约召开的“无线电导航第二次国际会议”上，确定该系统在国际上使用。1948年建成丹麦链，于1951年建成德国链。此后，在法国、瑞典、西班牙、意大利等欧洲地区以及在北美大陆、波斯湾、印度等地逐步建台。日本的北海道链、北九州链于1967年和1969年先后投入使用，1976年东北链开始工作。这种系统的巷识别方法于1948年底完成。由于台卡系统精度高，操作简便，作为中程导航系统占有重要地位。

如上所述，对双曲线导航系统的研究，着眼于更广泛的使用范围、更高的精度和使用上的简便。J. A. 皮尔斯在1947年指出：“未来的无线电导航方式，应从劳兰那样的测定时间差方式转到测定相位差方式”，他提出用200赫正弦波调制50千赫附近频率的测定相位差系统。美国海军电子研究所进行的这种系统试验，命名为雷达克斯 (Radux)。因为这种系统在扩大有效范围和提高测位精度方面没有得到理想的要求，因此，又对40千赫和40千赫以下频率进行试验。1955年对10千赫与40千赫附近的几种频率进行雷达克斯——奥米加 (Radux-Omega) 的综合试验，这些试验都未能达到实用的效果。之后又重复对10千赫附近的低频进行试验，为此，1957年在巴拿马运河区域设置主台，在夏威夷、纽约、威尔士设置副台进行实用试验。试验结果使美国海军对这种导航系统的实用性抱有很大信心，该系统用希腊字母表的最后字母 Ω 表示，命名为奥米加系统 (OMEGA System)。1965年6

月设立了奥米加的研制中心，作为推进世界导航系统的动力。从1966年开始，在夏威夷、纽约、挪威和特立尼达设置了4个试验台，进行世界规模的试验，接着用8个台覆盖全世界的构思，相继建设新的发射台。到1976年，除澳大利亚台外，其余7个台都投入了使用或发射试验电波。1975年在日本长崎的对马建设了发射台，并已投入使用。

美国海军研制的海军导航卫星系统（NNSS）也可认为是双曲线导航系统的一种。1957年苏联发射世界上第一颗人造卫星“人造地球卫星-1”时，美国霍普金斯大学的W. 盖里（W. Guire）和韦芬贝克（Weiffenback）等发现来自卫星的电波显示出“多普勒频移”的现象，并用“多普勒频移”求卫星轨道要素获得成功。而该大学的弗兰克 T. 麦克卢尔（Frank T. McClure）利用这一成功证明了用测定已知卫星位置的“多普勒频移”可求出接收信号点的位置，并提出了这种导航系统的方案。美国海军采用了这一方案。1960年发射导航卫星“子午仪1号”，作为测位系统进行试验。试验的结果认为有可靠的实用价值，继而发射数颗“子午仪”卫星进行试验，其结果于1964年被美国海军导航卫星系统正式应用。过去，这种系统因是军用，而未公开，直至1967年向民用开放。

双曲线导航系统由于使用简便，精度高，所以也用于航空和测量等领域，对此和 NNSS 这里不作阐述。

1.4 各种双曲线导航系统

在双曲线导航系统的发展过程中，有的导航系统只进行了研究而未能实用，也有的导航系统被新的导航系统所代替。

所有这些双曲线导航系统列入表1.1。

有代表性的双曲线导航系统，如劳兰、台卡和奥米加各系统在以下章节详细介绍。

表1.1 各种双曲线导航系统

系统名称	使用频率 (千赫)	有效距离 (海里)	精度(海里) (大约)	基线长 (海里)	测定方式	对象	备考
奇(GEE) 系统	20,000~ 85,000	150~ 450	200米~5	75	脉冲比较	飞机	
劳兰A	1,750~ 1,950	昼 700 夜 1,400	1~3	300~ 500	脉冲比较	船舶飞机	现用
SS劳兰	1,900	夜 1,300	1~5	1,200~ 1,300	脉冲比较	船舶飞机	废止
LF劳兰	180	昼 1,000 夜 1,500	3~16	600	脉冲比较	船舶飞机	未实用
西塔克 (Cytac)	100	1,500	1/4~3		脉冲比较 周波重合	船舶飞机	未实用
劳兰C	100	昼 1,700 夜 2,400	1/4~3	1,000~ 1,500	脉冲比较 周波重合	船舶飞机	现用
台卡	70~130	昼 600 夜 300	数米~2	80~200	相位比较	船舶飞机	现用
奥米加	10~13	7,000	1~2	5,000	相位比较	船舶飞机	现用
康索尔	250~ 300	1,000	$\pm 0.4^\circ$	5公里~ 6公里	无线电 标 识	船舶飞机	现用
海军导航卫星 系统(NNSS)	150兆赫 400兆赫	全世界	昼 ± 0.3 夜 ± 0.1		多普勒 频 移	船舶飞机	现用
戴勒克 (Delrac)	10~14	3,000	± 5	750	相位比较	船舶飞机	未实用
台卡跟踪和 测距系统 (Dectra)	84~86	1,700	频率误差 ± 5 距离误差 ± 10	80	脉冲与 相位比较	船舶飞机	现用
哈菲克斯 (Hi-Fix)	50~2000	25~50	在基线上 0.8米	10~60	相位比较	测量用	携带用
富迪斯特 (RAYDIST)	1.6兆赫	200	3米		相位比较	测量用	携带用

1.5 双曲线导航与电波传播

所谓电波是指从10千赫到3,000,000兆赫电振荡的总称。电波因频率不同而传播状况也不相同。各种双曲线导航都是利用电波，

但使用不同的频率，其有效范围和误差也不相同。

表 1.2 为国际通信条约规定的电波频段与各种双曲线导航系统所用频带的对照表。频率从 30 千赫以下的甚低频 (VLF) 到 300 千兆赫的极高频 (EHF) 分为八个频段，虽然现用的主要双曲线导航系统使用的频率在 10 千赫的奥米加到 150 兆赫与 400 兆赫的 NNSS 之间，但使用微米波的系统也正在研究。

表 1.2 电波的频段与双曲线导航

频段名称	频率范围	波长名称	日本使用的名称	主要的双曲线导航
甚低频 VLF	30 千赫以下	万米波	长波 (10 千赫~100 千赫)	奥米加, 戴勒克, 台卡, 劳兰 C
低频 LF	30 千赫~ 300 千赫	千米波	中波 (100 千赫~ 1,500 千赫)	哈菲克斯, 康索尔, 低频劳兰
中频 MF	300 千赫~ 3,000 千赫	百米波	中短波 (1,500 千 赫~6 兆赫)	劳兰 A, SS 劳兰, 相位比较仪
高频 HF	3,000 千赫~ 30 兆赫	十米波	短波 (6~30 兆赫)	奇 (GEE)
甚高频 VHF	30 兆赫~ 300 兆赫	米波	超短波 (30 兆赫~ 300 兆赫)	奇 (GEE), NNSS
特高频 UHF	300 兆赫~ 3,000 兆赫	分米波	极超短波 (300 兆 赫~3,000 兆赫)	NNSS
超高频 SHF	3,000 兆赫~ 30 千兆赫	厘米波	微米波 (1,000 兆 赫~30 千兆赫)	
极高频 EHF	30 千兆赫~ 300 千兆赫	毫米波	毫米波	

用电波定位是假定电波以一定速度直线前进的，而实际上电波是以各种不同路径传播的，它的传播速度也因频率不同和传播路径的状态而变化，从而使定位产生误差。

图 1.9 为典型的电波传播路径。从发射台发射的电波沿地球表面传播，而被接收台接收的电波称为地波。地波衰减比较大，传播距离不能很远，频率越低衰减越小，并且有夜间比白天衰减稍大等特征，但，因其传播状态稳定，所以利用地波的双曲线导