

無線電導航測角系統

В. В. 別斯特良科夫著



國防工業出版社

无綫电导航測角系統

B. Б. 別斯特良科夫 著

李毅康等譯



國防工業出版社

內 容 提 要

本书叙述了无线电导航技术设备的一般問題，并着重研究了测角系統（作用原理、特性、綫路和結構等）。

本书可供从事于設計和使用无线电导航测角设备的无线电工程师、中等技術人員和領航人員閱讀，同时也可供有关专业的高等院校师生参考。

苏联 В. Б. Пестряков 著 “Радионавигационные угломерные системы” (Госэнергоиздат 1955 年第一版)

*

國防·工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787×1092 1/25 印張 17²¹/₂₅ 359 千字

1960 年 1 月第一版

1960 年 1 月第一次印刷

印数：0,001—1,550 册 定价：(11) 2.75 元

NO. 3134 統一書号 15034 419

目 录

前言	2
緒論	5
第一章 无綫电导航系統的測定	8
1-1. 飞机和船舰导航概論	8
1-2. 用无綫电导航系統进行測定和导航的几何原理	26
第二章 无綫电导航測定誤差	65
2-1. 誤差的分量和特性	65
2-2. 由于平均准确度的增加通頻帶和指示延迟之間的相互关系	81
2-3. 杂音(干扰)对无綫电导航仪器准确度和工作的影响	90
2-4. 測定飞机位置誤差的基本理論	102
2-5. 誤差的橢圓或扩散橢圓	110
2-6. 以不同方法測定飞机位置时所产生的誤差的比較	122
2-7. 工作区域	128
2-8. 无綫电导航点数目增加时的准确度和工作区	135
第三章 无綫电导航測角系統的定向天綫	140
3-1. 无綫电导航測角系統定向天綫的特点	140
3-2. 寬瓣定向天綫	146
3-3. 窄瓣定向天綫	198
3-4. 方向图的旋轉	204
第四章 无綫电測向仪	223
4-1. 測向仪的类型	223
4-2. 非自动測向仪的測向方法	225
4-3. 听觉測向仪	231
4-4. 以视觉指示讀数位置的測向仪	245
第五章 自动測向仪	276
5-1. 无綫电半罗盘和听觉測向仪的缺点	276
5-2. 相位式自动測向仪	277

5-3. 振幅比較自动测向仪·····	313
5-4. 有随动系统的自动测向仪·····	340
5-5. 相位式测向仪·····	365
5-6. 脉冲测向仪·····	370
第六章 航向无綫电指标 ·····	375
6-1. 无綫电指标的类型·····	375
6-2. 不同类型无綫电航向指标的作用原理·····	376
6-3. 等强訊号的定向航向无綫电指标的技术特性·····	383
6-4. 确定各种特性的公式·····	385
6-5. 特征与方向图的形式和被利用部分的关系·····	399
6-6. 各种指标的綫路图的特点和示例·····	404
第七章 全方向无綫电指标(自定向指标或方位指标) ·····	410
7-1. 全方向无綫电指标的特征·····	410
7-2. 方向图慢旋轉的指标·····	411
7-3. 方向图快旋轉的指标·····	416
7-4. 帶旋轉8字形方向图的全方向指标的重要参数和特性·····	423
7-5. 准确度高的全方向指标·····	426
参考文献 ·····	443

无綫电导航測角系統

B. Б. 別斯特良科夫 著

李毅康等譯



國防工業出版社

前 言

無線电导航在空运和海运中起着很大的作用。

無線电导航設備与仪器在無線电設備的总产量中占着相当大的比重。

無線电导航理論与技术迅速地发展和改善着。导航設備和仪器的結構和綫路等日趨完美并出現了許多新的更完善的类型。無線电仪器和設備的技术和生产提高得很快，但近十年来尚未出版过一本試图总结所累积的經驗并使其系統化的书籍。

本书叙述了空中和海上导航所用無線电技术設備的一般問題，但主要研究測角系統（作用原理、特性、綫路和結構的特点）。关于測距系統、測距差系統和自足無線电导航仪器等，均不是本书的研究題目。

作者謹向对本书提出批評和建議的讀者事先表示感謝。

作 者

目 录

前言	2
緒論	5
第一章 无綫电导航系統的測定	8
1-1. 飞机和船舰导航概論	8
1-2. 用无綫电导航系統进行測定和导航的几何原理	26
第二章 无綫电导航測定誤差	65
2-1. 誤差的分量和特性	65
2-2. 由于平均准确度的增加通頻帶和指示延迟之間的相互关系	81
2-3. 杂音(干扰)对无綫电导航仪器准确度和工作的影响	90
2-4. 測定飞机位置誤差的基本理論	102
2-5. 誤差的橢圓或扩散橢圓	110
2-6. 以不同方法測定飞机位置时所产生的誤差的比較	122
2-7. 工作区域	128
2-8. 无綫电导航点数目增加时的准确度和工作区	135
第三章 无綫电导航測角系統的定向天綫	140
3-1. 无綫电导航測角系統定向天綫的特点	140
3-2. 寬瓣定向天綫	146
3-3. 窄瓣定向天綫	198
3-4. 方向图的旋轉	204
第四章 无綫电測向仪	223
4-1. 測向仪的类型	223
4-2. 非自动測向仪的測向方法	225
4-3. 听觉測向仪	231
4-4. 以视觉指示讀数位置的測向仪	245
第五章 自动測向仪	276
5-1. 无綫电半罗盘和听觉測向仪的缺点	276
5-2. 相位式自动測向仪	277

5-3. 振幅比較自动测向仪.....	313
5-4. 有随动系统的自动测向仪.....	340
5-5. 相位式测向仪.....	365
5-6. 脉冲测向仪.....	370
第六章 航向无线电指标	375
6-1. 无线电指标的类型.....	375
6-2. 不同类型无线电航向指标的作用原理.....	376
6-3. 等强信号的定向航向无线电指标的技术特性.....	383
6-4. 确定各种特性的公式.....	385
6-5. 特征与方向图的形式和被利用部分的关系.....	399
6-6. 各种指标的线路图的特点和示例.....	404
第七章 全方向无线电指标(自定向指标或方位指标)	410
7-1. 全方向无线电指标的特征.....	410
7-2. 方向图慢旋转的指标.....	411
7-3. 方向图快旋转的指标.....	416
7-4. 带旋转8字形方向图的全方向指标的重要参数和特性.....	423
7-5. 准确度高的全方向指标.....	426
参考文献	443

緒 論

無線电导航在飞机和船舰的导航中起着重大的作用。

目前，無線电导航仪器是每一飞机和船舶所必备的设备。

飞机和船舰無線电导航技术设备能使航行正常和安全，并能为我们解决许多新的问题（准确的水文测量、航空摄影和航空探矿等）。苏联是無線电导航的祖国。

偉大的发明家和科学家 A. C. 波波夫第一个在世界上指出了利用無線电导航的可能性。从那时起，我国在发展無線电导航设备理论、技术和生产事业中获得了相当大的成就。

在近几年来，在無線电导航技术设备方面得到了更大的成就。

由于采用了雷达技术的许多新的原理，线路及结构等，使無線电导航技术增添了許多新的东西。雷达技术的基本任务是用無線电设备来发现和测定反射無線电波的各种目标的位置，因此在許多方面与無線电导航相似。但無線电导航技术设备有其特点，因此無線电导航和雷达仍按自己的道路继续发展着，相互間既不排斥亦不互相代替。

导航这个词译自拉丁文，它表示引导船舰航行的意思，因此空中导航就是引导飞机和飞艇航行。

导航这一术语应理解为：乘员为了安全、正确和及时地到达指定地点，在导航测定（测定飞机或船舰的位置），确定和保持运行方向及速度等方面所进行的动作。

导航测定是多种多样的；其中包括下列几种：

1) 测定对地面指标的距离及方位，测定后根据位置线不仅可以求得对地面指标的相对位置，而且还求得在地面上或地图上的位置（即所谓“飞机的位置”以前叫做“算定位置”）；这里当然是指指标在地面上的位置，也就是说指标的地理座标是已知的；

- 2) 測定对指标的航向角;
- 3) 測定飞机或船舰的速度(地速和空速)以及运动方向(“航向”——表示运动方向与地理子午綫的夹角);
- 4) 測定風向、風速和偏流角。

导航測定是乘員借助各种設備、仪器, 或如現時我們通常所說的, 利用各种技术設備进行的。

导航技术設備是指机上(船上)仪器和地面設備(电台)或地面导航設備。有些机上(船上)导航技术設備(如磁罗盘, 无线电高度表等), 不需要地面設備。把这类技术設備, 有时叫作“自足”技术設備; “非自足”技术設備則要求設置地面設備——为了进行測定而設立的指标。

按所采用的技术設備, 导航測定可分为:

- 1) 以磁罗盘和速度表等导航技术設備为基础的罗盘导航測定;
- 2) 无线电技术导航測定(无线电导航測定);
- 3) 利用天文学仪器为基础的天文导航測定。

有时会遇到一些較為簡短而不精确的術語: “罗盘导航”、“无线电导航”和“天文导航”等; 有时在无线电技术导航設備方面, 同样也运用簡短而不精确的術語“无线电导航設備和仪器”。

无线电技术导航設備一部分由地面(无线电导航)設備組成。这些設備安置在地面的一定点上, 这些点的座标是已知的; 这就是无线电指标或叫作“无线电导航点”, 无线电导航測定就是对无线电导航点的測定。自足无线电技术設備不需要安装地面設備。

无线电技术导航設備的第二部分是安装在飞机或船舰上的、与地面設備(电台)协同工作或自足工作的无线电导航仪器。整套无线电导航仪器常称为飞机(船舰)“无线电导航設備”。

无线电导航設備是机上(船上)无线电設備的一部分。

无线电导航技术設備或者无线电导航設備及仪器可根据各种

不同的作用原理制成。因此便經常使用“無線电导航系統”这个術語，对这个術語应理解为以一定的作用原理为基础并用来測定某一表示运动位置或导航状态等的数值的地面設備（电台）和机上儀器的綜合。例如，測角、測距、測距差無線电导航系統以及脉冲和相位系統等等。

因此，可以用簡短的術語“無線电导航系統的測定”来代替完整而精确的術語“利用無線电导航技術設備的导航測定”。

为了节省篇幅起見，以后我們將采用簡短的術語来代替上述完整而精确的定义。

第一章 無線电导航系統的測定

1-1 飞机和船舰导航概論

一、飞机（船舰）导航原理

引导飞机和船舰航行，即导航，在目前已发展成为一門相当重要的科学和技术。

海上导航是最先出現的。海上导航的发展导致船舰导航理論的产生并創造了許多不同的导航仪器和设备。

空中导航（飞机导航）发展得較晚，但由于空中导航有着自己的特点（速度大，在空中停留時間短，位置的第三座标——高度和必須着陆等），所以不能全部以船舰导航理論和技术为基础，必須研究它自己的理論和技术设备。

但在理論和技术设备方面，船舰和飞机导航有許多共同点，因此就可以把某些共同的原理一起进行研究。

导航是以檢查和利用飞机（船舰）的位置、航綫、航向和速度等基本特性为基础，来控制飞机（船舰）的。

下面我們將进一步說明这一点。在运动过程中領航員必須知道飞机（船舰）所处的位置，沿那一条航綫移动，飞机（船舰）的运动方向及速度（相对速度和地速）。航綫或运动的路綫是与航向有区别的，而地速与相对速度（直接測出的）由于風向和气流的作用也是不同的。

这些数据对一般的导航来讲是足够了。領航員可以根据这些数据，弄清是否正确地沿着航綫前进并可根据地图判断出方向，判定是否接近目的地或有危險的地方等。

然而，在飞机（船舰）运动速度很大或必須完成复杂的导航任务时（如向着一定的方向在指定的時間內到达指定地点），这些

数据便显得不够了。

在第一种情况下，要求防止与其它飞机（船舰）碰撞的可能性，为此可借助于无线电导航仪器或调度部门在调度站来控制飞机（船舰）的运动，因为调度站可监视指定地区内所有飞机（船舰）的位置并可向个别飞机（船舰）发出（例如用无线电）改变航向、高度和速度等的指示。

在第二种情况下，要求进行领航计算，在进行领航计算时为了保证计算的准确性，必须知道风向和风速或气流的方向和速度以及偏流角。

没有无线电技术设备，也可进行飞机和船舰的领航，例如在能见度好的条件下，可以利用测向法和光学仪器（航空光学观测镜、航海目测方位仪等）。这时可根据磁罗盘来检查和确定运动的方向，在夜间则利用海上照明灯塔。

在气象条件差，能见度不好的情况下，或天气虽好，但是在辽阔的海上或在沙漠及冻土地带的上空飞行时不可能与地图上的某些指标联系时，就很难进行导航。在这种条件下，运动中所需轨迹的测定是以“计数法”进行的。路程计数法在于首先知道起点，在运动中经常地监视航向（根据磁罗盘、液压罗盘或船舰上的陀螺罗盘）和速度。当知道航向（运动的方向）和速度时，就可算出运动路程。

但“路程”计数法的准确度是有一定限制的，因为这时所有导航仪器（磁罗盘、速度表、钟錶）都会产生误差；此外，风或气流也会引起“偏流”，在这种情况下航线或航迹角是与航向有区别的，而地速则与所测的相对速度也不同。

知道了导航要素就可以进行修正，但导航要素的判定不是在任何时候都有可能。经验证明：在引导飞机时如不进行复杂的计算和修正，那么在计算中只能获得粗略准确度：误差可达实际距离的5~10%。因此尽可能在计算中进行校正，这样就可把准确度提高到2~3%。

在船舰导航中，由于罗盘較准，風和海流的影响較小，从航程計数中可以得出較准确的结果：誤差一般不超过实际路程的1%。但如果在航行中船舰遇到了大風，那么航程的計算便不能得到滿意的結果。

在很多情况下，航程計数法的准确度已足够保証航行了，同时船舶或飞机按計数法向航綫的中点或終点航行（例如，向航空港或海港地区航行）时，可按某些指标和照明灯塔等来核定自己的位置和航綫，然后再依靠目测定向法繼續航行。

很明显，这种普通的或如人們常說的“罗盘式的”，即主要是利用磁罗盘的导航系統并不能經常滿足导航要求的，因此船舶导航自古以来就利用天文学。

如果观测星座（太阳、月亮、星星）在地平綫上的高度，准确地記下观察時間并具有天文表等，即可测定位置綫（根据一个星座）或位置（根据两个星座）。天文測定需要繁杂准确的計算和在地圖上划綫，因此要費不少時間。天文測定的准确度在莫大程度上取决于測量計算的仔細程度。簡單的測定需5~10分钟，其准确度为10~20公里。准确的、反复多次的、長時間計算需20~30分钟，其准确度可在2公里以內。

但是天文仪器不能解决全部問題，因为不是在任何时候都能观测到星座，当然更談不到进行繁杂的計算了。

上面列举的情况便导致利用无綫电技术設備来进行飞机和船舰导航的必要性了。

无綫电导航是一門闡述应用无綫电的方法和无綫电技术設備来进行飞机和船舰导航的科学。导航給无綫电提出的任务是測定和檢查位置（空中导航为“飞机位置”，海上导航为“算定位置”）、航綫、运动方向和速度以及其它导航要素并依次用所得的結果来控制航行（自动或用手控制）。

飞机（船舰）的所有这些运动特性均可借助各种无綫电設備及仪器来測定（参考文献1-1~1-5）。

二、利用無線电技术設備导航

測定目标在地面上的位置（或目标在地面上的投影位置—对于飞机）是最通用的方法（飞机位置縮写为MC），在书中还可遇到“算定位置”的术语，縮写为PM。

用地理座标——經度和緯度来表示MC最方便。

領航員知道了飞机所处位置的經、緯度，就可以把飞机位置标在地图上，从而得出他所需要的答案，即飞机或船舰是否偏离指定航綫，是否接近航綫終点（KTM）及是否接近危險地带（淺滩、山峰、悬岩等）等等。但此时領航員却没有关于飞机（船舰）向何方运动，再經過多少時間就可到达何地，应如何改变运动方向（航向）等方面的数据。而这些数据对領航員來說却是很必需的，当然可以用磁罗盘、陀螺磁罗盘和陀螺罗盘来获得这些数据；而無線电导航仪器中可以用来获得上述数据的則只有無線电測向仪。

一般說来，在設有地图的情况下，領航員是不能直接利用經緯度数字来引导飞机或船舰。因此，甚至就是在無線电导航仪器直接給出經緯度讀数（几乎所有的导航系統都不給出这种讀数）的情况下，也必須应用地图。必須利用地图，这就使得利用导航仪器更加复杂化，使我們难于不間断地監視位置的变化。

能自动地而且不間断地在地图上指出位置，同时再把所指的位置記載下来并标出与所經過的航綫相符的航迹的导航系統是一目了然而且較为方便的系統，但到目前为止这一問題仍未徹底解决。由于指示器的体积受到限制，在監視航綫的过程中必需要換地图（隨讀数而更換）以及存在着許多技术方面的困难，实际上現時只能作出一种准确度不大或者作用距离不大而在許多場合下会使仪器大大复杂化的类似系統。有时，利用相对座标，可以采用較为明显和較簡單的表示位置特性綫的方法，相对于地面某已知点的方位和距离的位置特性曲綫是最方便的。例如，可以選擇航

綫的終点（或航綫中点）作为这一点。如果无线电导航仪器能給出直觀的数值，例如直接根据度盘讀出距导航点之距离和方位的数值，那么这将是十分方便的。在若干情况下，領航員可以利用这些数字直接控制飞机（船舰）。已知导航点（PHT）的位置，还可以利用地图来測定位置，即飞机（船舰）在地图上的位置点及其地理座标。

領航員掌握了这些数据，就可以檢查在指定航綫上的航行情况和进行各种領航計算（如确定需經多少時間可到达一定地点等）。

但遺憾的是无线电导航仪器并不是在任何時間都可以令人滿意地測定对导航点的方位和距离。

此外，一种更为簡單的系体获得了广泛的采用。在这种系統中同样也利用无线电导航点，但位置的測定不像在測方位-距离系統中那样直觀而是按两个方位、两个距离（距位置不同的两个导航点的距离）或更复杂的方法进行的。

在这种情况下，广泛利用无线电导航仪器的示数来直接控制飞机和船舰运动的可能性是很小的（某些已定航綫除外，关于这一点下面还要談到）。

这类仪器的示数大半是用于在地图上測定位置，然后，如前所述，領航員就可利用所获得的这些数据来完成各种导航任务。

由前面所述可知，在測定位置时几乎經常需要地图，需要在地图上划綫和进行計算。因此用測定位置的方法虽然对完成各种导航任务提供了相当大的可能性，但由于要利用地图，要进行計算而且还要在地图上划綫，所以这种方法很不方便。

在許多場合下这些不便是不允許的，因为进行計算要占去很多時間或要对領航員进行特殊的无线电导航訓練，或者沒有进行計算和在地图上作图的地方，或者因为領航員負担其他任务过重等。

因为那些能直接測定船舰（飞机）所在地或者直接示出其座标