

无线电测向技术

WU XIAN DIAN CE XIANG JI SHU

鲁道夫 格拉鲍(德)主编

平良子 翻译

王崇厚等审校



西南电子电信技术研究所

无线电测向技术
PDG

译 者 的 话

这本书是德国 AEG—Telefunken 公司、罗德/施瓦茨公司和 C. 普拉特公司及其他有关部门的 17 名专家共同编写的，由退休上校、现任罗德/施瓦茨公司顾问的鲁道夫格拉鲍担任主编。该书从理论、工程和应用的角度，全面系统地论述了无线电测向技术的各个方面，有较大的实用性，适合于不同层次的人员阅读，对于理论研究人员、工程设计人员、操作人员、管理人员、教学人员及大专院校学生均有很大参考价值。

本书第 2、4、5 章由王崇厚同志技术审校，第 6、7、10 章由王开运同志技术审校，第 8、9 章由余健同志技术审校。在出版过程中金玉兰等同志做了大量的工作。

译 者

1993 年 9 月

主 编 前 言

正是德国的科学家和工程技术人员100多年来为无线电测向达到目前的水平做出了自己的贡献，他们当中有布朗、迪克曼、埃索、盖布勒、哈塞尔贝 克、赫 尔、克 拉 马 尔、迈斯纳、普伦德尔、林德弗莱施、谢尔霍斯、斯坦纳、特罗斯特、韦希特勒和佐舍尔。在研制和生产技术复杂的测向设备方面，德国的工业界过去和现在一直处于世界领先地位。多年来，联邦德国的AEG公司（以前的Telefunken/Debeg）、C.普拉特（C. plath）公司和罗德/施瓦茨（Rohde & Schwarz）公司一直向全世界提供无线电测向设备；除此之外，早些时候哈根努克（Hagenuk）和洛伦茨（Lorenz）公司也从事这方面的工作，后者（今天的SEL）后来放弃了测向技术而转向雷达和无线电侦察领域。第二次世界大战之前和战争期间，首先由通信装备实验所（NVA），后来的通信实验指挥部（NVK）、无线航空技术实验所（DVL）和飞行无线电研究所（FFO）推进了“测向术”的发展。许多高等院校传授了这个专业范围的知识。但令人奇怪的是：称得上专家、精通这一专业的数量不多的科学家和技术人员，在他们的专业技术领域突飞猛进向前发展的情况下，没有时间以书本形式发表他们的知识和经验的实际水平。

就我所知，至今为止，在世界上只有唯一的一本书从内容上和目标上可以与本书相媲美，这就是R·基恩所著的“无线电测向”一书，它是伦敦的伊利费 and 索恩斯出版公司于1938年出版的，至今已过了50多年。显然应该对与基恩所著一书相当的、内容广泛的新测向专业书确定一个目标，该书的编写目的是：

- 从科学、技术和应用的角度论述整个无线电测向技术的当前水平；
- 作为教科书为深入研究这种专业技术打开通道；
- 从应用实践写起；
- 也可作为参考工具书。

愿望是将科学家、技术人员和使用人员的知识和经验总结起来。显然这样的介绍不可能是完全深入的，就是对于其中的单独一种测向方法也完全可以用与本书相同厚度的一本书去讨论。另一方面，目前的情况是，即是再精通测向技术的专家，也不可能对整个测向领域有权威地进行详细介绍。本书包括的题材范围有：

- 电波传播物理学，
- 天线技术，
- 测向接收机技术，
- 各种测向方法，
- 取向和信号处理方法，
- 测向误差的原因和消除方法，
- 定位方法，

- 测向地图的制作和使用，
- 各种实际应用和经验，
- 专用通信网的工作，
- 系统技术，
- 测向设备的应用（固定式，可移动式，地面，海上和空中移动式），
- 各种各样的工作过程，
- 测向领域的技术趋势。

这些题材不仅决定本书的内容结构（从基础开始，中间讨论技术和方法，最后到工作运用实践），也决定在构成本书时采取的方法，即将许多有权威的作者的作品组织成一本全面论述现有知识的书籍。

编写本书的意图首先在于要使科学家、技术人员以及使用人员等都能阅读和理解本书（象基恩一样）。但是，经过与各位作者深入的讨论，结果是，在目前情况下，对于这样一门深奥的技术不作广泛的数学描述不再可行了。其理由是，在早期阶段“测向术”是靠经验发展的：通常是首先进行实验和取得使用经验，然后（如果有的话）才产生与之相适应的理论，而近年来技术的进步是通过利用新的数学方法，以及使用大大精确的测量方法和仪器而达到的。在测向技术方面也已从经验发展到科学的精确性。首先是计算，紧接着进行测量，然后才是应用，而不象从前那样采取相反的步骤。在我们的时代这种技术发展的必然趋势不能不影响到本书的内容。时代的变化也是很显然的：早期几十年的“测向机教皇”是实验者，他们先是对他们获得的结果感到惊奇，然后即对其进行思考（我们经常是脚穿高过踝骨的高统靴站在十分潮湿的草地上）。今天雨衣和无反射的场地显然也是测向专业人员的重要配备和条件，但他们首先是计算，然后才考虑技术上的实现，在特别革新时期（大致在30年代末）推动了德国测向技术发展的一代人中没有人再能够参加本书的编写工作了，如果早开始10年的话或许还有人参加。但是，“当前一代”的人还在上一代人身边生活过，为了测向技术的进一步发展和应用，人们多么需要得到他们的经验和“感受”！希望他们能成功地将这些重要的知识介绍出来。想掌握这一专业技术学问的人，具有一定通信基础知识就可以掌握它，不需要具有特别的数学基础。作者们编写本书的文字和图表时都力图做到人们在阅读本书时能够独立地理解所述功能。但是，想进行深入一步研究的人则需要有数学基础，需要有与学习通信所应具有的相同的数学知识。

本书共包括来自17名作者的大约40篇独立的作品。这当中在题材范围上不可避免地会出现一些矛盾和重复；有些地方，这一作者从他的思考方法出发所代表的见解与另一作者的看法相矛盾。在本书中特意联系在一起的科学理论、工业发展和实际应用完全不可避免地要从不同的角度观察和分析相间的事实。主编固然在作者们之间进行了协调，但不能干涉一些实质性的见解，但重复和不同的看法同时也可使各种难点透明化，有利于建立完整印象。在附录中给出了作者简历，以便使读者容易了解各位作者特有的思考方法。

象在其他技术领域一样，无线电测向技术中的一些概念也是混乱的。在本书的题目

中就遇到了需要加以解释的概念：“Funk”（无线电）一词这里指的是，“所有有意的高频辐射的总称”即英文“radio”之意（不只局限于“无线信息传输的设备和方法”，即包括整个无线电频率范围，特别是也包括不带信息内容的所有辐射。而“测向”一词的定义是“借助于电磁波的传播独立地和无源地确定方向”，它不包括合作的方法（比如双曲线导航）。在附录中给出了无线电测向技术的一些定义，其内容是对现有相关概念的汇集，并出自本书作者及其同事们的作品和看法。这些定义既无法定的约束力，严格说来也无科学上的准确性。但是，这打开了通向无线电测向应用概念的大门，有利于对本书的正确理解。

关于阅读本书的几点说明

本书的每一小节，根据当时预定的范围，都是完整的一部分，所以很大程度上都能单独理解。至今为止还没有那里象本书第二章那样对无线电测向的物理基础进行如此简洁而全面的论述。另一方面，在测向方向（4章）、测向误差（6章）和定位（9章）等章中也都包括有必要的基础知识。所以，在没有事先阅读第2章的情况下，即可利用这些知识。本书开始介绍理论，中间论述测向技术和方法，然后讨论实际应用。但也可以倒过来阅读本书（即从后向前逐章阅读）。至今一点也没有接触过无线电测向的人特别适合于从后朝前阅读的办法。这样就可以从应用范围的知识（10章）和工作过程介绍（9章）出发比较附合实际的编排第4到第8章的基本内容。

作者的名字分别标在他所写章节题目的下面。在本书中，正文中的（）内给出的是公式的编号，〔〕内给出的是参考资料编号，引用的参考文献都附在每篇作品的最后。而附图编号是全书大流水排列的。虽然在统一全书公式中的符号和图中名称上也尽了很大的努力，但未能做到这一点，所以只能做到在每篇作品内统一。在附录中给出的参考文献仅是极少数不多见的文献，或者说都是主编不熟悉的文献。

最后我特别感谢作者们，感谢他们不辞辛苦将他们的知识用文字和图表表现出来，感谢他们与作为主编的我合作的过程中所表现出来的耐心和理解精神，特别是在统一手稿过程中，在基本按期交稿方面（尽管他们还有其他事情要做）这一点表现尤为突出。我还要感谢各个公司，是它们敦促其同事在百忙当中为本书撰写了作品，并给予了他们各种形式的支持。对本书所做的工作也促使一些技术人员重新仔细思考他们的工作，并激励他们用公正的科学论据重新审查他们偏爱的已经拿出来的意见，正象他们中的一个人坦率表露的那样，有时是“激动人心的沮丧”。也促使在公司内的专业人员之间、工业界与高等院校之间，以及在不同公司之间进行了广泛的专业讨论，这对于电子技术的这一多学科的特殊领域的未来进一步发展肯定不是一件坏事。我还要感谢克劳斯·普法夫博士先生。感谢他作为我的科学合伙人所做的工作，他的任务是负责科学论述的统一性和有理性。我也要感谢弗兰克宇宙出版公司，是该公司担着风险首次将这样一本书推到德国市场。在物理知识的技术应用的各个方面中，象在无线电测向技术中这样科学家、工程师和使用人员之间能够长期密切合作的领域是不多的，这或许是“无线电测向术”

能在德国取得成功的真正关键所在。100年后的今天这一点仍然是成立的，50年前，T.L.埃克斯利在他为基恩所著一书书写的前言中也指出了这一点：

“科学和技术是真正携手并进的，测向技术的实际发展得到了电波传播科学研究的巨大帮助，反过来电波传播科学又从测向机的实际发展中获得很大好处……另一方面，工业只有随着科学的进步而发展”。

鲁道夫 格拉鲍

目 录

主编前言

1	无线电测向技术	(01—1)
1.1	任务的提出	(01—1)
1.2	无线电测向技术的发展历史, 特别是在德国的发展历史	(01—2)
1.3	无线电测向技术的应用	(01—6)
2	无线电测向的物理基础	(02—1)
2.1	自由空间中的电磁波	(02—1)
2.1.1	电磁场的产生	(02—1)
2.1.2	球面波, 场强	(02—3)
2.1.3	近场, 远场	(02—5)
2.1.4	平面横波	(02—8)
2.1.5	极化	(02—9)
2.1.6	电波特性	(02—11)
2.1.7	非谐波特性	(02—14)
2.1.8	在空间和时间上的相干范围	(02—15)
2.2	波场中的传感器	(02—16)
2.2.1	在接收场中测向天线的作用	(02—17)
2.2.2	极化测量用的传感器	(02—17)
2.2.3	定向天线和测向函数	(02—18)
2.2.4	空间波测向机, 方向显示的限制	(02—20)
2.2.5	孔径扫描方法	(02—24)
2.2.6	大基础问题	(02—26)
2.3	电波传播中的不正常现象	(02—27)
2.3.1	连续变化的折射率	(02—27)
2.3.2	折射率的不连续性, 反射	(02—31)
2.3.3	电波的散射	(02—34)
2.3.4	受到引导的和弯曲的电波	(02—36)
2.3.5	在导电媒质中的效应	(02—39)
2.4	多波引起的麻烦	(02—41)
2.4.1	干扰波对测向准确度的基本影响	(02—43)
2.4.2	用定向天线测向	(02—44)

2.4.3	非相干波场	(02—46)
2.4.4	干扰场的孔径抽样	(02—49)
2.5	引起测向误差的噪声	(02—52)
2.5.1	噪声的特性	(02—52)
2.5.2	测向误差估算方法	(02—54)
2.5.3	在限定时间内的示向度平均和估算准确度	(02—56)
2.5.4	改善示向度的回归分析	(02—59)
2.5.5	取向: 估计的限制	(02—61)
2.5.6	手工取向的限制	(02—63)
3	测向原理及其分类	(03—1)
3.1	测向机的组成单元	(03—1)
3.1.1	天线元	(03—2)
3.1.2	测向信号预处理	(03—3)
3.1.3	单波道和多波道接收机	(03—5)
3.1.4	取向	(03—6)
3.2	测向方法的分类	(03—8)
3.3	由潜在用户做最后选择决定	(03—9)
4	测向方法	(04—1)
4.1	使用定向天线的测向方法	(04—1)
4.1.1	定向天线	(04—2)
4.1.2	旋转系统	(04—6)
4.1.3	取向	(04—7)
4.2	旋转环测向机	(04—8)
4.2.1	作为地波测向机的旋转环	(04—9)
4.2.2	模糊	(04—12)
4.2.3	天波入射时的旋转环测向机	(04—13)
4.2.4	铁氧体环	(04—15)
4.2.5	小结	(04—16)
4.3	旋转Adcock测向机	(04—17)
4.3.1	Adcock原理	(04—17)
4.3.2	同轴式和共面式双环测向机	(04—20)
4.3.3	小结和补充	(04—22)
4.4	角度计测向机	(04—22)
4.4.1	使用交叉环天线的角度计测向机	(04—23)
4.4.2	角度计测向机和4杆Adcock	(04—23)
4.4.3	小结	(04—24)

4.5	Adcock和Watson—Watt测向机	(04—26)
4.5.1	Watson—Watt原理和角度计测向机	(04—26)
4.5.2	Adcock天线	(04—28)
4.5.2.1	4杆Adcock	(04—28)
4.5.2.2	n杆Adcock	(04—32)
4.5.2.3	坐标变换	(04—33)
4.5.2.4	辅助天线	(04—37)
4.5.2.5	Adcock天线的结构形式	(04—37)
4.5.2.6	Adcock测向装置中的误差源	(04—40)
4.5.3	Watson—Watt视觉无线电测向机	(04—42)
4.5.3.1	测向图形和显示	(04—43)
4.5.3.2	波道平衡	(04—44)
4.5.3.3	波道调整	(04—45)
4.5.3.4	定单向	(04—46)
4.5.3.5	取向	(04—48)
4.5.3.6	通过相关改善信号噪声比	(04—50)
4.5.3.7	准多波道测向接收机	(04—51)
4.5.4	远景	(04—53)
4.6	多普勒测向机	(04—55)
4.6.1	基础	(04—55)
4.6.2	抗干扰特性	(04—59)
4.6.3	实际实现	(04—62)
4.6.4	改进	(04—63)
4.6.4.1	补偿混频器	(04—63)
4.6.4.2	梳状滤波器	(04—64)
4.6.4.3	左——右旋转	(04—65)
4.6.4.4	测向静噪	(04—66)
4.6.5	多普勒测向机主要组成部分	(04—66)
4.6.5.1	天线系统	(04—66)
4.6.5.2	接收机	(04—73)
4.6.5.3	同步	(04—78)
4.7	干涉仪测向机	(04—80)
4.7.1	定义和界线	(04—80)
4.7.2	干涉仪原理	(04—82)
4.7.3	干涉仪天线结构	(04—83)
4.7.4	干涉仪测向机的特性	(04—88)

4.7.5	在干涉仪测向机中的信号处理	(04—90)
4.7.6	测向图形的显示	(04—95)
4.8	单脉冲测向机	(04—99)
4.8.1	单脉冲原理	(04—99)
4.8.2	角度信息的产生和单脉冲方法的分类	(04—100)
4.8.3	角度测量值的获得	(04—102)
4.8.4	单脉冲技术的优点	(04—105)
4.8.5	在雷达技术中的单脉冲天线	(04—107)
4.9	采用多振子天线的无线电测向	(04—110)
4.9.1	采用多振子天线和补偿技术的定向接收	(04—110)
4.9.2	Wullenwever系统	(04—115)
4.9.3	用谱估计方法进行无线电测向	(04—117)
4.10	路尼伯格透镜	(04—124)
4.11	雷达电子支援措施接收机用的测向方法	(04—126)
4.11.1	采用旋转天线系统的测向方法	(04—127)
4.11.2	采用固定天线的雷达预警传感器	(04—130)
4.11.3	在电子战中使用的、固定天线式测向传感器	(04—132)
4.11.3.1	幅度比较测向机	(04—132)
4.11.3.2	相位比较测向机	(04—136)
4.11.4	使用特点	(04—140)
4.12	各种测向方法的比较评价	(04—140)
4.12.1	测向装置的参数	(04—141)
4.12.2	测向方法的比较	(04—143)
5	无线电测向技术的新发展	(05—1)
5.1	对于宽带和时短测向的基本考虑	(05—1)
5.2	时间差测向 (TOA—测向)	(05—9)
5.2.1	时间差测向原理	(05—9)
5.2.2	时间差测向机的基本功能	(05—12)
5.2.3	时间差测向的误差	(05—13)
5.2.4	特点	(05—15)
5.3	多波测向机	(05—16)
5.3.1	前言	(05—16)
5.3.2	时基算法	(05—16)
5.3.3	空基算法	(05—18)
5.3.4	在统计基础上的最佳算法	(05—20)
5.4	数字测向接收机	(05—23)

5.4.1	在无线电接收中的数字信号处理	(05—23)
5.4.2	接收机结构	(05—26)
5.4.3	抽样定理的意义	(05—27)
5.5	数字多信道测向机	(05—29)
5.5.1	数字多信道接收技术	(05—29)
5.5.2	数字多信道测向机	(05—32)
5.5.3	数据流的进一步处理	(05—32)
5.6	射电测向	(05—34)
6	测向误差	(06—1)
6.1	测向误差基础和定义	(06—1)
6.1.1	误差分类	(06—1)
6.1.2	测向校正	(06—2)
6.1.2.1	无线电测向校正	(06—2)
6.1.2.2	无线电测向的航向校正	(06—5)
6.1.2.3	无线电测向的地图校正	(06—8)
6.2	引起测向误差的原因	(06—8)
6.2.1	操作误差	(06—8)
6.2.2	技术—物理测向误差	(06—9)
6.2.2.1	测向系统误差	(06—10)
6.2.2.2	电波传播误差	(06—17)
6.2.2.3	信号辐射源误差	(06—20)
6.3	测向误差的检测和测量(无线电方位校正)	(06—20)
6.3.1	近无线电方位校正	(06—20)
6.3.2	远无线电方位校正	(06—21)
6.3.3	无线电方位校正结果的分析	(06—22)
6.3.3.1	由无线电方位校正曲线识别测向误差	(06—23)
6.3.3.2	测向误差的消除	(06—24)
7	测向设备的测量	(07—1)
7.1	设备参考点的测量	(07—1)
7.1.1	直接测量	(07—2)
7.1.2	交叉测向(前向/横向交会)	(07—2)
7.1.3	双角测量(反向交会)	(07—3)
7.1.4	天文定位	(07—3)
7.2	参考方向的测定	(07—4)
7.2.1	按地图定正北	(07—5)
7.2.2	按罗盘定正北	(07—5)

7.2.3	根据天体定正北	(07—6)
7.3	测向天线系统中天线元底脚的测量	(07—6)
8	定位	(08—1)
8.1	定位方法	(08—1)
8.1.1	采用相同位置线的定位装置	(08—2)
8.1.1.1	椭圆或 Σ 方法	(08—2)
8.1.1.2	圆或 P 方法	(08—2)
8.1.1.3	双曲线或 Δ 方法	(08—3)
8.1.1.4	直线或 Θ 方法	(08—4)
8.1.2	采用不同定位线的定位装置	(08—4)
8.1.2.1	圆/直线或 P/Θ 方法	(08—5)
8.2	球面三角学	(08—5)
8.2.1	球面坐标	(08—6)
8.2.2	球面三角形	(08—7)
8.2.3	球面基本三角形	(08—9)
8.2.4	定位计算示例	(08—10)
8.2.5	进一步的解题方法	(08—12)
8.3	测向处理用的地图	(08—14)
8.3.1	地图投影	(08—14)
8.3.1.1	投影面	(08—14)
8.3.1.2	投影面的位置	(08—16)
8.3.2	适合用于测向地图的投影方式	(08—16)
8.3.2.1	心射投影	(08—16)
8.3.2.2	墨卡托地图	(08—17)
8.3.2.3	锥形投影——国际世界地图	(08—20)
8.3.2.4	横向墨卡托投影	(08—20)
8.3.2.5	通用横向墨卡托投影 (UTM 投影)	(08—21)
8.3.3	UTM 坐标系统	(08—21)
8.3.4	地图比例	(08—23)
8.3.5	北方向	(08—24)
8.4	用测向机定位	(08—26)
8.4.1	通过交会确定定位结果	(08—26)
8.4.1.1	通过两条示向线的交会实现定位	(08—27)
8.4.1.2	通过两条以上的示向线交会确定 最可能的位置	(08—27)
8.4.2	交会时的定位准确度	(08—30)
8.4.2.1	两个测向站时误差四边形的面积	(08—30)

8.4.2.2	最可能的位置与真实位置之间的距离	(08—31)
8.4.2.3	误差椭圆	(08—31)
8.4.2.4	椭圆面积	(08—33)
8.4.2.5	误差圆半径	(08—33)
8.4.3	误差圆半径与位置的关系	(08—34)
8.4.3.1	用两部测向机交会时的误差圆轨迹	(08—34)
8.4.3.2	发射机处在定位基础的对称轴线上	(08—35)
8.4.3.3	用两部以上测向机交会时的误差圆轨迹	(08—37)
8.4.4	由一个移动平台进行多次测向实现定位	(08—38)
8.4.5	单站定位器 (SSL—方位角/仰角法)	(08—39)
8.4.5.1	原理	(08—39)
8.4.5.2	在理想传播条件下SSL的定位准确度	(08—39)
9	测向网的结构和工作过程	(09—1)
9.1	受控侦察站和测向站的合作	(09—1)
9.2	单个测向机和测向网	(09—2)
9.3	测向网的几何结构 (形式和宽度)	(09—5)
9.4	测向指挥和回报方法	(09—9)
9.5	测向指挥中心	(09—12)
9.6	测向指挥通信	(09—13)
9.7	传输方法	(09—15)
9.8	时间特性和数据量	(09—20)
9.9	位置的确定	(09—22)
10	测向技术的运用	(10—1)
10.1	固定测向站的建立	(10—1)
10.1.1	规划	(10—1)
10.1.1.1	对测向网的要求	(10—1)
10.1.1.2	对测向场地的要求	(10—3)
10.1.1.3	对基础设施的要求	(10—5)
10.1.1.4	环境条件的保证	(10—6)
10.1.2	固定测向站的勘察	(10—7)
10.1.2.1	查看	(10—7)
10.1.2.2	测量	(10—8)
10.1.3	固定测向站的建立	(10—12)
10.1.3.1	测向天线系统的测定	(10—13)
10.1.3.2	天线电缆	(10—13)
10.1.4	操作和维护	(10—13)

10.2	车载测向设备	(10—14)
10.2.1	完全机动的测向设备	(10—15)
10.2.2	半机动测向设备	(10—18)
10.2.3	车载测向设备的无线电偏差校正	(10—21)
10.2.4	测向天线支杆	(10—21)
10.3	船舶航行中的无线电测向	(10—23)
10.3.1	船用测向设备	(10—23)
10.3.2	船上特有的测向误差及其消除方法	(10—24)
10.3.3	测向的不稳定性	(10—25)
10.3.4	天线位置的选择	(10—25)
10.3.5	无线电测向的导航应用	(10—26)
10.3.6	他测	(10—27)
10.3.7	无线电测向导航的未来发展	(10—28)
10.4	机载测向机	(10—31)
10.4.1	归航设备	(10—31)
10.4.2	导航测向机	(10—32)
10.4.3	通信侦察测向设备	(10—34)
10.4.4	雷达信号测向设备	(10—37)
10.4.4.1	雷达预警机	(10—38)
10.4.4.2	雷达信号侦察测向机	(10—38)
10.5	飞行安全用的测向机	(10—40)
10.6	无线电监视用的测向机	(10—43)
10.7	便携式和隐蔽的测向机	(10—45)
10.8	自适应天线	(10—46)
10.9	军事应用条件下的测向机	(10—47)
10.9.1	军事侦察中的无线电测向机	(10—47)
10.9.2	无线电测向机在目标定位中的应用	(10—52)
10.9.3	电子战中的无线电测向机	(10—53)
10.9.4	军用导航测向机	(10—54)
10.9.5	无线电测向的其它军事应用	(10—54)
10.9.6	对军用无线电测向机的特殊要求	(10—55)
10.9.6.1	军事应用的要求	(10—56)
10.9.6.2	环境条件	(10—57)
10.9.6.3	场地的勘察	(10—58)
10.9.6.4	一机多用	(10—59)
10.10	作为系统组成单元的测向机	(10—59)

10.10.1	系统结构.....	(10—59)
10.10.2	系统规划.....	(10—61)
10.10.3	测向功能的系统综合.....	(10—64)
11	无线电测向技术的发展远景.....	(11—1)
附录 1	无线电测向及临近学科的定义.....	(F —1)
附录 2	缩写.....	(F —10)
附录 3	100MHz~100GHz内各频段的名称	(F —16)
附录 4	常用发射类型的名称	(F —17)
附录 5	无线电测向技术文献.....	(F —19)
附录 6	作者简历.....	(F —20)

第一章 无线电测向技术

(鲁道夫 格拉鲍)

1.1 任务的提出

每种电磁辐射,不论以哪种形式出现,都带有方向信息。用适当的测量方法可从以光速进行的波前中提取出来的这种方向信息允许有两方面的应用:一方面人们通过定向接收可以改善自己的接收条件(从而可以改善接收结果),另一方面也可以用来确定辐射源的方向。本来这两种功能是在单独一部设备中相互联系在一起的,但目前定向接收方法一般属天线技术范畴(发射和接收用定向天线),而无线电测向则理解为“确定电磁波的方向”,完全无意也接收被测信号。定向接收和无线电测向技术自古以来相互之间就密切联系在一起,近来出现的情况是,为解决比较困难的捕获问题两者又重新相互联合为一体。

无线电测向技术随着应用的增加和频段覆盖的需要而发展。如果说首先需要的是改善己方公众和军用无线电通信的接收质量,不久也提出捕获和分析外国和敌方无线电通信的任务。为此首先开辟了超长波、长波和中波(VLF, LF, MF)。在无线电侦察部门成功地窃听到军事统帅部的报告和命令后,自然也想知道其司令部在什么位置。这就出现了由多个点“定向接收”,通过示向度的简单交会而实现定位。

新型轮船和飞机的导航设备,即经纬仪和罗盘并不能完全满足需要,比较容易理解的办法是对船上或飞机上同样是新装的无线电台进行测向,并由此确定其位置。如果轮船和飞机上装上测向机,则它们可用自己的设备确定自己所处的位置。导航测向也首先是在前面提到的频段上发展起来的。

在第二次世界大战之前和战争期间,军事频率使用的需要迫使频率范围大大扩展,首先是扩大到短波范围,以后又扩大到移动超短波无线电台、飞机无线电及雷达工作的厘米波频段(VHF, UHF)。为对付配有无线电设备的特务人员的活动,要求进一步开发小型轻量的测向天线和测向接收机,能装入普通市售汽车内或者由人背负。雷达产生的威胁也要求采取相应的措施,即从地面、船上或飞机上对敌方的雷达进行测向,作为强烈威胁前的预警(雷达预警接收机),或获得敌人的有关信息(电子侦察)。

随着频率占用密度的增加,在无线电监视中也给无线电测向技术提出了新的要求。

(因原图不清略)

图1 军事应用的移动式旋转环测向机,1918年左右的产品,取自文献[1]。

(因原图不清略)

图2 使用电子管接收机的飞机导航用环形天线测向机,1919年前后的产品,取自文献[2]

目前,无线电测向复盖的频段已达到SHF,毫米波和光电子波段正在开发当中。测向机将同以前一样大量地应用于导航当中,虽然它以前的关键功能已经让给了其他能力更强的导航方法;人们仍然很赏识其工作可靠性和操作简单性。人们再也不能从通信侦察及电子侦察和无线电监视的应用中排除无线电测向了,这当中要求能够在极短的时间内对出现在很宽频率范围内的新信号波型进行测向,这对测向机研制者提出了新的越来越高的要求。在国内和国际范围内维护公共秩序的需要也表现出一种强烈增加的趋势。新开发的信号识别、数据传输和信息处理方法,以及越来越加强的系统设计及实现能力,别特是与有源和成象传感器结合起来,可以为测向机带来至今完全没有预见到的新前景。

所提出的多种任务要在物理上/技术上限制的可能范围内由测向技术来解决,这始终需要使用人员与研制人员之间的密切联系。要解决这些任务也应该看一看无线电测向技术的发展历史,所以,下面将对此进行介绍,在这当中首先要特别介绍“无线电测向技术”在德国的发展历史。

1.2 无线电测向技术的发展历史,特别是在德国的发展历史

无线电测向技术的发展是与电磁波及其应用的研究工作密切联系在一起的。这方面的研究人员、工程人员和使用人员始终在致力于:一方面是通过定向接收改善接收质量,另一方面是确定接收到的电波到底是从什么地方发射出来的。早在1888年,海因利希·赫兹在分米波段进行实验时就认识到了天线的方向作用,在火花式电报的最初应用中就已经利用了定向天线(曾尼科、布朗、马可尼、德弗罗斯特)。首先将长线式、环形和偶极子天线用于定向接收,但起初没有认识到定单向的可能性,即消除定向接收中的双值性。1899年布朗研究了一种旋转环测向机;1906年他介绍了通过将三个天线的方向图迭加而产生心形方向图的办法。大约在此同时,朗德用封闭的和敞开的天线进行了实验,但是由他发明的用两个天线产生心形方向图的办法并没有首先用于测向接收中的定单向。

1907年,贝利尼和托西(与汤姆同时)发明了以他们的名字命名的测向原理:将两个交叉环天线组合在一起,一个可旋转的线圈角度计与之接在一起用于确定方向。但是,贝利尼-托西原理(图3)不仅用于接收,而且也用于对发射能量的定向辐射。1907年还发明了第一种飞机导航测向方法(谢勒),1913年在齐柏林飞船上装上了第一部导航设备。第一次世界大战大大刺激了无线电测向技术的发展:除了旋转环测向机(图1)(因为接收设备的灵敏度低,其测向距离是很有限的),人们还应用了星形测向机(Sternpeiler),在这种测向机中,多达90个很长的单根导线接于一个带可旋转接头的环形线圈上(图4)。这种装置适合用于定向接收,出于大量接收以很宽频带辐射的熄灭式火花发报机信号,采用这种装置是必要的。