

塔康与 DME 协同定位技术在复杂电磁环境下的性能分析

刘新强 李天成

天津七六四通信导航技术股份有限公司 天津市 300385

摘要：文章深入探讨了塔康（TACAN）与DME协同定位技术在复杂电磁环境下的性能表现。通过精心设计的实验方案，系统分析了该技术在定位精度、抗干扰性能、系统稳定性与可靠性等方面的表现。实验结果显示，尽管复杂电磁环境对塔康与DME协同定位技术构成了一定挑战，但该技术仍展现出良好的性能。本文的研究为塔康与DME协同定位技术在复杂电磁环境下的应用提供了理论依据和实践指导。

关键词：塔康（TACAN）；距离测量设备（DME）；协同定位技术；复杂电磁环境；性能分析

1 塔康与 DME 系统概述

1.1 塔康（TACAN）系统

塔康（TACAN）系统，全称为“Tactical Air Navigation System”（战术空中导航系统），是一种重要的无线电导航系统，主要用于为飞机提供精确的方位和距离信息，以保障飞行安全和提高导航精度。塔康系统主要由地面塔康台站和机载塔康设备两部分组成。地面塔康台站负责发送带有频率调制的无线电信号，这些信号包含了方位角和距离信息。机载塔康设备则用于接收这些信号，并通过解调获取导航数据。地面塔康台站可以架设于机场、航路点或航空母舰等位置，以便为不同区域的飞机提供导航服务。塔康系统的工作原理基于频率调制和询问-应答原理。在频率调制方面，地面塔康台站会发送两种不同频率的信号，分别表示不同的方位角。机载设备根据接收到的信号频率变化来判断飞机相对于地面塔康台站的方向。这种测向原理与伏尔（VOR）导航系统颇为相似，都是通过测量信号的相位差来确定方位角。在距离测量方面，塔康系统与距离测量设备（DME）协同工作。机载DME设备向地面塔康台站发送一系列脉冲询问信号，地面台站接收到这些信号后进行处理并发送回应答信号。机载设备通过计算信号往返时间来计算出飞机与地面台站之间的斜距。这种测距原理与DME测距仪如出一辙，都是利用无线电波在空间中传播的速度进行距离测量。塔康系统能够为飞机提供方位和距离的双重信息，实现单台设备的精准定位，并直接导出位置坐标。这使得塔康系统在现代军用飞机中扮演着至关重要的角色。它不仅可以作为军用标准导航系统使用，还承担着建立航线、归航、空中战术机动以及作为位置坐标传感器等多重功能。塔康系统还广泛应用于舰载机的导航，为舰载机提供从几十千米到几

百千米距离范围内的导航服务，保障飞机按预定航线飞向目标。

1.2 距离测量设备

距离测量设备（DME）是一种用于测量目标之间距离的无线电技术。它广泛应用于航空领域，用于飞机导航和精确定位。DME的核心原理是利用无线电波在空间中传播的速度进行距离测量。无线电波在真空中的传播速度为光速，约为每秒300,000公里。但在大气中，由于湿度、温度等因素的影响，无线电波的传输速度会稍有差异。DME设备需要对无线电波在大气中的速度进行校正，以确保测量结果的准确性。在测量过程中，DME设备首先发送一个脉冲信号，该信号会被目标物体（如地面台站）接收并返回^[1]。然后，DME设备再次接收到返回的信号，并计算信号往返的时间差。为了确保接收到正确的信号并避免干扰，DME设备使用特定的编码技术来发送和接收脉冲信号。常见的编码技术包括脉冲间隔编码（PIM）和脉冲宽度编码（PWM）等。DME系统通常由机载设备和地面台站两部分组成。机载设备负责发送询问信号并接收地面台站的应答信号，而地面台站则负责接收询问信号并发送应答信号。通过计算询问信号与应答信号之间的时间差，DME系统可以准确测量出飞机与地面台站之间的距离。DME设备在航空领域有着广泛的应用。它不仅可以为飞机提供精确的飞行导航和定位信息，还可以与其他导航系统（如GPS）结合使用，进一步提高导航精度和可靠性。DME设备还具有距离显示功能，可以将测量出的距离以数字或图形的形式显示出来，方便飞行员进行观察和判断。

1.3 塔康与DME的协同定位机制

塔康与DME的协同定位机制是基于两者的工作原理和系统组成的有机结合。在协同工作过程中，塔康系统

负责测量飞机相对于地面台站的方位角，而DME系统则负责测量飞机与地面台站之间的距离。机载设备同时接收塔康和DME的信号，并通过计算处理得出飞机的精确位置。这种协同定位机制使得塔康与DME系统能够相互补充、相互验证，提高导航精度和可靠性。塔康与DME的协同定位机制具有显著的应用优势。首先，它能够提供全方位的导航信息，包括方位角和距离信息，为飞行员提供全面的导航支持。其次，由于塔康和DME系统都是基于无线电波进行测量的，因此它们不受天气和地形等因素的影响，具有较高的可靠性和稳定性。另外，塔康与DME的协同定位机制还可以与其他导航系统（如GPS）结合使用，进一步提高导航精度和可靠性。

2 复杂电磁环境对导航系统的影响

2.1 复杂电磁环境的构成

复杂电磁环境是指由密集、重叠、无序的电磁波构成的电磁环境，这种环境通常由多种电磁源产生，包括自然电磁辐射、民用电磁设备辐射、军事电子对抗等。自然电磁辐射是复杂电磁环境的基础组成部分，自然环境中存在大量的电磁现象，如雷电、静电、宇宙射线等，这些现象会产生电磁波，并对周围的电子系统产生影响。虽然自然电磁辐射的强度通常较低，但在某些特定条件下，如雷电天气，其影响仍然不容忽视。民用电磁设备辐射也是复杂电磁环境的重要组成部分，随着无线通讯技术、电力电子技术、计算机技术的高速发展及运用，民用电磁设备数量急剧增加，如移动通信基站、广播电视发射塔、高压输电线路等。这些设备在工作过程中会产生电磁波，并可能对其他电子系统产生干扰。在军事领域，电子对抗是夺取制电磁权的重要手段，包括通信对抗、雷达对抗、光电对抗等。这些对抗活动会产生大量的电磁波，并可能对敌方的电子系统造成干扰或破坏^[2]。

2.2 复杂电磁环境对塔康与DME系统的影响

复杂电磁环境对塔康与DME系统的影响主要表现在几个方面：首先，复杂电磁环境可能导致塔康系统方位角测量误差增大，塔康系统通过测量地面台站发送信号的频率变化来确定方位角，但在复杂电磁环境中，其他电磁源的干扰可能导致信号频率发生变化，从而引入测量误差。这种误差会影响塔康系统的导航精度，甚至可能导致导航失效。其次，复杂电磁环境对DME系统的距离测量也构成挑战，DME系统通过测量询问信号与应答信号之间的时间差来计算距离，但在复杂电磁环境中，其他电磁源的干扰可能导致信号传输延迟或丢失，从而影响距离测量的准确性。如果干扰信号的强度足够大，

还可能掩盖DME系统的应答信号，导致系统无法正常工作。最后，复杂电磁环境还可能对塔康与DME系统的协同定位机制产生负面影响，由于塔康和DME系统都依赖于无线电波进行测量，因此它们都可能受到复杂电磁环境的干扰。当两个系统同时受到干扰时，其协同定位机制的精度和可靠性将受到严重影响，甚至可能导致整个导航系统失效。

3 塔康与DME协同定位技术在复杂电磁环境下的性能分析

3.1 实验设计与数据获取

在复杂电磁环境下，对塔康（TACAN）与DME（Distance Measuring Equipment）协同定位技术的性能分析，首先需要设计合理的实验方案以获取准确的数据。实验设计应遵循科学、严谨的原则，确保实验结果的可靠性和有效性。首先，选择具有代表性的复杂电磁环境作为实验场景，复杂电磁环境可以模拟多种电磁源产生的干扰，如民用电磁设备辐射、军事电子对抗等。实验场景应尽可能真实地反映实际应用环境，以便准确评估塔康与DME协同定位技术的性能。其次，确定实验设备。实验设备应包括塔康系统、DME系统、信号发生器、信号接收器等。这些设备应经过严格校准，以确保实验数据的准确性。为了模拟复杂电磁环境，还需要准备相应的电磁干扰源，如模拟通信基站、雷达等^[3]。在数据获取方面，实验应记录塔康与DME系统在复杂电磁环境下的各项性能指标，如方位角测量误差、距离测量误差、系统响应时间等。还应记录电磁干扰源的强度、频率等参数，以便后续分析。数据获取过程中，应确保数据的完整性和准确性，实验人员应严格按照实验方案进行操作，避免人为误差。同时应使用高精度测量设备，以提高数据精度。

3.2 定位精度分析

定位精度是衡量塔康与DME协同定位技术性能的重要指标之一。在复杂电磁环境下，定位精度可能受到多种因素的影响，如电磁干扰、设备性能等。电磁干扰是影响定位精度的重要因素之一，复杂电磁环境中的电磁干扰可能导致塔康系统方位角测量误差增大，DME系统距离测量误差增大。这些误差会直接影响协同定位技术的精度。设备性能也对定位精度产生重要影响，塔康与DME系统的设备性能包括设备精度、稳定性等。设备精度越高，定位误差越小；设备稳定性越好，定位精度越稳定。为了分析定位精度，在相同实验条件下，分别测量塔康与DME系统在无干扰和有干扰情况下的定位误差，通过对比可以评估电磁干扰对定位精度的影响。对

实验数据进行统计分析,计算定位误差的平均值、标准差等指标,以评估定位精度的稳定性和可靠性。通过定位精度分析,可以得出以下结论:在复杂电磁环境下,塔康与DME协同定位技术的定位精度受到电磁干扰和设备性能的影响。为了提高定位精度,需要采取有效的电磁防护措施,提高设备性能。

3.3 抗干扰性能分析

抗干扰性能是衡量塔康与DME协同定位技术在复杂电磁环境下性能优劣的关键指标。在复杂电磁环境中,电磁干扰可能导致系统无法正常工作或性能下降。塔康与DME系统的抗干扰性能主要取决于几个方面:一是系统信号处理技术,系统采用的信号处理技术越先进,抗干扰能力越强。二是系统结构设计,系统结构设计合理,可以减小电磁干扰对系统性能的影响。例如,采用冗余设计、分集接收等技术可以提高系统的可靠性和稳定性。三是设备性能,设备性能越好,抗干扰能力越强。例如,采用高灵敏度、低噪声的接收器等可以提高系统的抗干扰性能。为了评估塔康与DME系统的抗干扰性能,在实验室环境中,使用信号发生器模拟复杂电磁环境中的电磁干扰,测量系统在干扰下的性能指标,如系统响应时间、误码率等。在实际应用环境中,对塔康与DME系统进行现场测试,评估系统在复杂电磁环境下的抗干扰性能。通过抗干扰性能分析,可以得出以下结论:塔康与DME系统在复杂电磁环境下具有一定的抗干扰能力,但受到电磁干扰的影响时,系统性能可能下降。为了提高系统的抗干扰性能,需要采用先进的信号处理技术、合理的系统结构设计和高性能的设备。

3.4 系统稳定性与可靠性分析

系统稳定性与可靠性是衡量塔康与DME协同定位技术性能的重要指标之一。在复杂电磁环境下,系统稳定性与可靠性对于保障导航系统的正常运行至关重要。系统稳定性主要指系统在长时间运行过程中的性能稳定性。在复杂电磁环境下,电磁干扰可能导致系统性能波动,影响系统的稳定性。为了评估系统的稳定性,可以采用以下方法:第一、长时间运行测试法,在实验室环

境中,对塔康与DME系统进行长时间运行测试,观察系统性能的变化情况。第二、现场监测法,在实际应用环境中,对塔康与DME系统进行现场监测,记录系统性能数据,分析系统性能的稳定性^[4]。系统可靠性主要指系统在复杂电磁环境下能够正常工作的能力。为了评估系统的可靠性,在实验室环境中,人为地引入故障,观察系统的响应情况和恢复能力。对塔康与DME系统进行可靠性测试,评估系统在复杂电磁环境下的故障率和可靠性指标。通过系统稳定性与可靠性分析,可以得出以下结论:在复杂电磁环境下,塔康与DME协同定位技术具有一定的稳定性和可靠性,但受到电磁干扰的影响时,系统性能可能下降。为了提高系统的稳定性和可靠性,需要采取有效的电磁防护措施、优化系统结构设计和提高设备性能。

结束语

综上所述,塔康与DME协同定位技术在复杂电磁环境下的性能分析表明,该技术具有广阔的应用前景和重要的研究价值。未来,将继续深化对该技术的研究,探索更加有效的电磁防护措施和系统优化设计方法,以进一步提高塔康与DME协同定位技术在复杂电磁环境下的性能表现。同时也期待该技术能够在更多领域得到广泛应用,为导航定位技术的发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]纪风有,陈志勇.基于多线程处理的高低重频雷达信号分选方法[J].信息技术与信息化,2021(08):180-182.
- [2]周兰兰,仇洪冰,周隰,顾宇,狄城弘.基于数据场聚类与时差的雷达信号分选方法[J].桂林电子科技大学学报,2021(02):92-98.
- [3]牛憶莹,周瑶,李福昌.900MHz频段5G NR与邻频DME系统共存研究[J].邮电设计技术,2024(1):66-69. DOI:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.01.014.
- [4]李维,谢明,高峰.塔康机载设备识别信号的设计与实现[J].现代导航.2019,(5).DOI:10.3969/j.issn.1674-7976.2019.05.005