

doi: 10.7690/bgzd.2016.11.014

# GPS 和罗兰 C 导航系统抗压制式干扰分析

刘文超<sup>1,2</sup>, 王光辉<sup>1</sup>, 苏 烨<sup>3</sup>(1. 海军航空工程学院研究生二队, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军 92026 部队, 山东 威海 264300;  
3. 中国人民解放军 92001 部队, 山东 青岛 266011)

**摘要:** 基于 GPS 和罗兰 C 导航系统的原理及信号传播特点, 在考虑地球曲率、大气折射、电磁衰减、地波损耗等因素条件下, 研究大功率干扰机对 2 种导航系统压制式干扰效果的问题。介绍 GPS 系统和罗兰 C 系统, 通过计算 GPS 接收机最低干扰功率和 GPS 接收机的干扰距离分析 GPS 干扰机作用模型, 同时, 研究罗兰 C 干扰机作用模型, 并对 2 种系统进行算例分析。研究结果表明: 在相同干扰距离上, 要达到同样的干扰效果, 对罗兰 C 系统的压制干扰功率要远大于 GPS 系统; 因此, 用罗兰 C 作为 GPS 导航系统的备份可在一定程度上解决 GPS 导航系统抗干扰能力弱的问题。

**关键词:** GPS; 罗兰 C; 压制式干扰; 干扰功率**中图分类号:** TJ861 **文献标志码:** A

## Analysis of Anti-oppressive Interference of GPS and Loran-C Navigation System

Liu Wenchao<sup>1,2</sup>, Wang Guanghui<sup>1</sup>, Su Ye<sup>3</sup>(1. No. 2 Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China;  
2. No. 92026 Unit of PLA, Weihai 264300, China; 3. No. 92001 Unit of PLA, Qingdao 266011, China)

**Abstract:** Based on the theory and signal transmitting characteristics of GPS and Loran-C, considering the curvature of the earth, atmosphere refraction, electromagnetism attenuation, and earth-wave loss and other factors, study the effect of 2 kinds of navigation system with high power jamming machine. Introduce GPS system and Loran C system, by calculating the minimum interference power of the GPS receiver, and the interference distance of the GPS receiver, the model of the GPS interference machine is analyzed, at the same time, study on the effect of Loran C interference model, and 2 kinds of systems are analyzed. The results show that under the same interference distance, to achieve the same effect of interference, the interference power of Loran-C is much larger than GPS system; therefore, Loran-C working as a backup of GPS can help to solve the problem of poor anti-interference ability of GPS to some extent.

**Keywords:** GPS; Loran-C; oppressive interference; interference power

### 0 引言

GPS 技术已经在军事领域得到了全方位的应用。由于 GPS 存在接收信号弱、易被干扰的缺点, 在充满电子干扰的战场, 一旦 GPS 受到干扰, 武器装备的作战性能就会大幅度降低, 甚至丧失作战能力, 所以研究 GPS 导航系统的备份, 一直是相关专家的重要研究课题。

压制式干扰实质就是利用强大的干扰能量影响接收机的正常接收, 使真实信号模糊不清或完全丧失, 从而导致接收机接收不到有用的信号进行定位。研究表明: 在导航信号所有的威胁中, 压制性干扰是其最大的威胁。压制干扰方式有瞄准式、阻塞式和相关干扰等<sup>[1]</sup>。GPS 和罗兰 C 导航系统有频率固定、频带已知、信号格式公开、数据格式不变或不易轻易改变等特点, 笔者仅从干扰距离的角度, 对 GPS 和罗兰 C 导航系统形成有效干扰, 研究干扰机所需功率问题。

### 1 导航系统描述

#### 1.1 GPS 系统简述

全球定位系统 (globe positioning system, GPS) 是美国政府组织研究的第二代卫星导航定位系统, 具有全天候、全时段、连续的测速、导航、定位能力。系统主要由空间卫星、地面监控和用户设备 3 大部分组成。

GPS 系统采用的是扩频通信, 中心频率固定, 在 L1 (载波为 1 575.42 MHz) 上有码速率为 1.023 MHz 的 C/A 码、10.023 MHz 的 P 码及 50 b/s 的导航电文, 而在 L2 (载波为 1 227.6 MHz) 上仅调制了 P 码及导航电文。GPS 信号的特点是: 在自由空间中沿直线传播, 在国际范围内 C/A 码公开使用, 码短, 易破译且 2 个载频均为已知的固定频率。

GPS 信号由空间卫星上的 12 个螺旋天线发射, 天线阵形成约 30°宽的波束, 覆盖地球表面, 卫星发射机输出功率在 30 W 左右。GPS 卫星的空间轨

收稿日期: 2016-07-11; 修回日期: 2016-08-28

作者简介: 刘文超 (1986—), 男, 山东人, 硕士, 助理工程师, 从事无线电导航研究。

道平均高度约为 20 200 km, 其到达地球表面时的信号功率约为 -160 dBW 左右, 极其微弱<sup>[2]</sup>。

## 1.2 罗兰 C 系统简述

罗兰 C 系统 (long range navigation) 是覆盖全球大部分沿海地区的一种远程陆基无线电导航系统, 系统频率为 90~110 kHz, 属于无线电波的中长波, 其信号是 100 kHz 载频的调制脉冲信号, 以脉冲组形式发射, 以地波的形式沿地球表面传播。

罗兰 C 的主要特点是系统覆盖范围大, 采用固态大功率发射机, 发射功率峰值可达 2 MW, 用户接收到的有效场强范围为 30~120 dB $\mu$ V/m。罗兰 C 系统最早是由美国在二战期间开发建设的, 20 世纪 70 年代我国开始建立罗兰 C 系统, 即长河二号系统。系统共有 6 个地面发射台, 3 个监测站和 1 个控制中心<sup>[3]</sup>。目前, 长河二号系统已经成为我国完全自主的无线电导航系统。

## 2 GPS 干扰机作用模型分析

GPS 干扰机和干扰对象及 GPS 导航卫星的关系如图 1 所示。

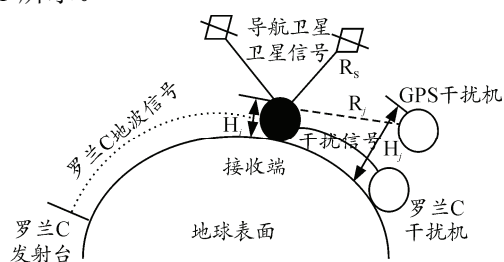


图 1 导航信号传播及干扰

### 2.1 GPS 接收机最低干扰功率计算

GPS 接收机灵敏度很高, 但接收的信号很微弱, 只需要较小的干扰功率就能轻易使接收机失锁, 进而无法正常工作。对压制式干扰而言, 关键是将干扰信号的能量集中到被干扰信号的频带上。干扰信号在频带内的功率使载波环路的等效载噪比  $(C_s/N_o)_{eq}$  小于  $(C_s/N_o)_{门限}$ , 就可成功让接收机失锁。由 BPSK 扩频通信原理知:

$$J/S = 10 \lg \left[ QR_C \left[ 10^{\frac{(C_s/N_o)_{eq}}{10}} - 10^{\frac{C_s/N_o}{10}} \right] \right] \quad (1)$$

其中

$$C_s/N_o = P_R - N_o - L_r \quad (2)$$

式中:  $C_s/N_o$  为无干扰情况下的载噪比;  $(C_s/N_o)_{eq}$  为跟踪门限载噪比;  $J/S$  为干扰信号和有用信号功率之比, 则计算得:  $J/S = 34.6$  dB。

L1 C/A 码信号接收机最低的接收功率约为 -160 dB·W, 则对宽带压制干扰, 使接收机无法锁定的最低干扰功率就为 -125.4 dB·W<sup>[4]</sup>。

### 2.2 GPS 接收机干扰距离计算

电磁波在不同媒质中传播时, 随着传播距离的增加, 球面波的自然扩散会引起衰减, 称为自由空间传播损耗; 传输媒质以及障碍物等对电波的吸收、反射、绕射等也会产生损耗, 称为媒质传播损耗<sup>[5]</sup>。

设干扰机距离接收机距离为  $d_m$ , 干扰机发射功率为  $J_T$ , 接收机收到的干扰信号功率为  $J_R$ , 则  $J_R \geq 125.4$  dB·W, 接收机被干扰成功。对  $d_m$  计算<sup>[6]</sup>得:

$$J_R = J_T + G_T + G_R - L - 20 \lg(4\pi d_m / \lambda) = -125.4 \quad (3)$$

式(3)即为干扰机发射功率和有效干扰距离间的关系<sup>[4]</sup>。其中:  $20 \lg[(4\pi d_m) / \lambda]$  为干扰信号在空间传播的功率损耗。

地球是一个不规则的球体, 地球曲率和大气折射对干扰的视线存在着明显的影响, 修正后的干扰视距公式<sup>[7]</sup>为:

$$R_0 = 4.124 \times (\sqrt{H_j} + \sqrt{H_i}) \quad (4)$$

从公式(4)以及 GPS 信号直线传播的特性可以看出: 由于视在距离的限制, 要实施有效干扰, 除了干扰功率等要求外, 干扰高度的选择也很重要, GPS 干扰机放置的高度越高, 干扰距离就会越大, 同样情况下所需的干扰功率就越小<sup>[8]</sup>。

## 3 罗兰 C 干扰机作用模型分析

罗兰 C 干扰机和干扰对象及罗兰 C 导航系统的关系如图 1 所示。

对长波而言, 平坦的地球表面可以看成是光滑球面。由于地球表面是半导体媒质, 使得地波信号在传播过程中有地面吸收损耗, 接收场强也随着距离的增大而变小。在地表传输介质不变的情况下, 无线电接收机得到的预期场强为:

$$E = \frac{3 \times 10^5}{d} A \sqrt{PG_s} \quad (5)$$

式中:  $E$  是接收点的电场强度;  $A$  是由地表损耗的衰减因子;  $P$  是发射机的输出功率;  $G_s$  是发射天线指向远方接收点的增益。

考虑到电磁衰减, 在长波地波传播时, 罗兰 C 系统采用垂直极化天线发射, 其衰减因子  $A$  用下面的经验公式<sup>[9]</sup>来表示:

$$A \approx \frac{2 + 0.3p}{2 + p + 0.6p^2} - \sqrt{\frac{p}{2}} \exp(-1.44p \log e) \sin \beta \quad (6)$$

其中数值距离  $p$  和相位常数  $\beta$  为:

$$p \approx 1.745 \times 10^{-4} \frac{f \cos \beta \cdot d \times 10^3}{\sigma \lambda}; \quad (7)$$

$$\beta \approx \arctan \frac{(\varepsilon + 1)}{1.8 \times 10^4 \sigma}. \quad (8)$$

式中:  $\varepsilon$  是地表的介电常数<sup>[10]</sup>;  $\lambda$  是该频率对应的波长;  $\sigma$  是电导率;  $d$  是发射点和接收点间的距离。

则由式(5)~式(8)即可推算出干扰机发射功率和有效干扰距离的关系。

#### 4 算例分析

例 1: 假设干扰机在足够的高度, 且和接收机空间在同一直线上, 干扰机发射天线增益  $G_T$  为 0 dB, GPS 接收机天线指向干扰机方向的增益  $G_R$  为 -3 dB, 宽带干扰分布在接收机接收频带内, 射频前端对干扰信号损耗系数  $L$  取 0 dB。对不同的干扰距离, 通过上述模型, GPS 干扰机发射功率  $J_R$  和有效干扰距离  $d_m$  之间的关系如图 2 所示。

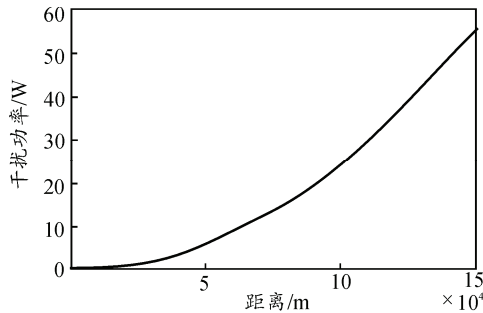


图 2 GPS 干扰机发射功率和干扰距离关系

例 2: 假定干扰机在光滑地球面上, 发射天线为全向垂直天线, 罗兰 C 用户接收机接收到的最低有效场强为 30 dB  $\mu$ V/m, 发射天线指向远方的接收点的增益  $G_s$  为 1, 电波在海上传播时电导率  $\sigma$  为 5 s/m, 介电常数  $\varepsilon$  为 70。对不同的干扰距离, 通过上述模型, 罗兰 C 干扰机发射功率  $P_G$  和有效干扰距离  $d_G$  之间的关系如图 3 所示。

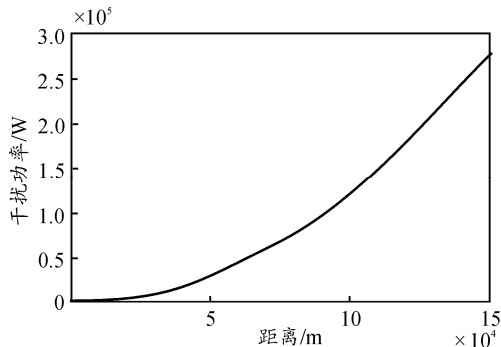


图 3 罗兰 C 干扰机发射功率和干扰距离关系

为了更直观地比较罗兰 C 和 GPS 系统干扰机发

射功率间的关系, 将两者相比得到图 4。从图中分析可以看出: 在干扰距离相同的情况下, 对同一地点的罗兰 C 和 GPS 接收机实施大功率的压制式干扰, 前者需要的干扰功率更大, 数量级差在  $4.4 \times 10^3$  倍以上, 且随着干扰距离的增加倍数也更大, 充分说明在实际工程应用中罗兰 C 干扰机需要更大功率的发射机, 更高的发射天线和其他一些复杂的硬件设备才能够实施压制式干扰。这在战时无疑更增添了实施难度, 也充分说明了单从干扰能量压制方面来说, 罗兰 C 导航系统有着更强的抗干扰能力。

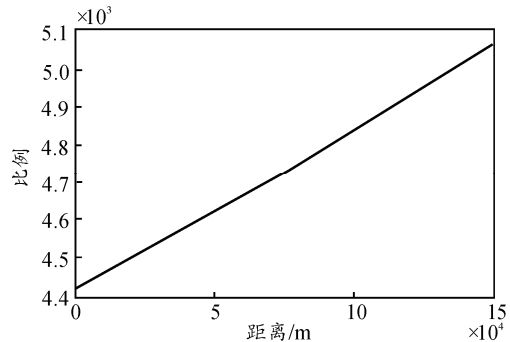


图 4 相同距离下罗兰 C 和 GPS 干扰机功率比

#### 5 结束语

笔者从干扰能量的角度, 对 GPS 和罗兰 C 导航系统干扰机发射功率进行了研究, 通过仿真对比, 得出在同等干扰距离下, 罗兰 C 干扰机所需的功率远大于 GPS 干扰机, 有力地证明了复杂电磁环境条件下, 罗兰 C 作为 GPS 导航备份的可行性和可靠性。

#### 参考文献:

- [1] 姜鹏, 边少锋, 占乃洲. 基于导航战的 GPS 压制式干扰技术研究[J]. 舰船电子工程, 2010, 30(8): 66-67.
- [2] 郑治国. GPS 信号特性及其干扰技术的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007: 9-10.
- [3] 李彬玉, 王丰乐. 长河二号系统在我国南海的定位误差分析[J]. 青岛大学学报, 2003, 16(4): 53.
- [4] 汪捷, 赵学军. 导航对抗背景 GPS 信号宽带压制干扰分析[J]. 海军工程大学学报, 2010, 22(6): 31-33.
- [5] 赵小龙. 不同电波传播模式的传输损耗比较[J]. 天水师范学院学报, 2006, 26(2): 31-32.
- [6] Rinder P, Bertelsen N. Design of a Single Frequency GPS Software Receiver[D]. Aalborg: Aalborg University, 2004: 117-121.
- [7] 顾云涛, 王忠. GPS 干扰与抗干扰能力分析[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(2): 62-63.
- [8] 任菁圃, 吴卫凯. GPS 电子干扰范围及效果分析[J]. 现代电子技术, 2006, 29(3): 19-21.
- [9] Braun G. Planning and Engineering of Short Wave Links[M]. London, Heyden & Son. Ltd 1982: 225-258.
- [10] 郭海峰. 长波通信链路特性及干扰研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011: 8-12.