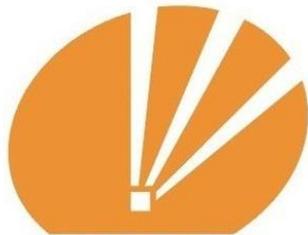




# PL51WT020 & PL116X

## 2.4G RF 天线设计说明

---



**PMICRO**

**Sincerity, Cooperation, Innovation**

**Design Department**

**V1.0**

**Confidential**

*Created by:* \_\_\_\_\_ R.W.

*Reviewed by:* \_\_\_\_\_ R.W.

*Approved by:* \_\_\_\_\_ B.H.

## 简述

本文使用简单的术语介绍了天线的设计情况，并推荐了两款经过测试的低成本 PCB 天线。这些 PCB 天线能够与 PL51WT020、PL116X 系列中的 2.4G RF 解决方案配合使用。为了使性能最佳，2.4G RF 射频必须与其天线正确匹配。

## 概述

天线是无线系统中的关键组件，它负责发送和接收来自空中的电磁辐射。为低成本、消费广的应用设计天线，并将其集成到手提产品中是大多数原装设备制造商（OEM）正在面临的挑战。终端客户从某个 RF 产品（如电量有限的纽扣型电池）获得的无线射程主要取决于天线的设计、塑料外壳以及良好的 PCB 布局。

设计优良的天线可以扩大无线产品的工作范围。从无线模块发送的能量越大，在已给的数据包误码率（PER）以及接收器灵敏度固定的条件下，传输的距离也越大。另外，天线还有其他不太明显的优点，例如：在某个给定的范围内，设计优良的天线能够发射更多的能量，从而提高错误容限化（由于干扰或噪声引起的）。同样，接收端良好的调试天线可以在极小的辐射条件下工作。

最佳天线可以降低 PER，并提高通信质量。PER 越低，发生重新传输的次数也越少，从而可以节省电池电量。

## 天线原理

天线一般指的是裸露在空间内的导体。该导体的长度与信号波长成特定比例或整数倍时，它可作为天线使用。因为提供给天线的电能被发射到空间内，所以该条件被称为“谐振”。

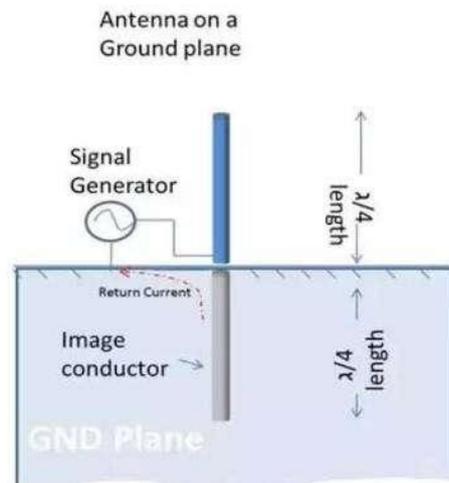
导体的波长为  $\lambda/2$ ，其中  $\lambda$  为电信号的波长。信号发生器通过一根传输线（也称为天线馈电）在天线的中心点为其供电。按照这个长度，将在整个导线上形成电压和电流驻波。

输入到天线的电能被转换为电磁辐射，并以相应的频率辐射到空中。该天线由天线馈电供电，馈电的特性阻抗为  $50\ \Omega$ ，并且辐射到特性阻抗为  $377\ \Omega$  的空间中。

长度为  $\lambda/2$  的天线被称为偶极天线。但在印刷电路板中，大多作为天线使用的导体长度仅为  $\lambda/4$ ，但仍具有相同的性能。

通过在导体下方一定距离的位置上放置接地层，可以创建与导体长度相同的镜像 ( $\lambda/4$ )。被组合在一起时，这些引脚作为偶极天线使用。这种天线被称为四分之一波长 ( $\lambda/4$ ) 天线。

PCB 上几乎所有的天线都按铜制接地层上四分之一波长的尺寸实现。请注意，该信号现在是单端馈电，同时接地层作为返回路径使用。



图：1/4 波长天线

对于大多数 PCB 中使用的四分之一波长天线，需要特别注意：

1. 天线长度
2. 天线馈电
3. 接地层和回流路径的形状和尺寸

## 天线类型

如前部分所述，在自由空间中裸露的波长为  $\lambda/4$  的所有导体被放在一个接地层上，并为其提供合适的电压，那么该导体可以作为一个天线使用。根据不同的波长，天线可能与汽车的 FM 天线一样长，也可能与信号浮标上的走线一样短。对于 2.4GHz 的应用，大部分 PCB 天线都属于下面的类型：

1. **导线天线**：这是在 PCB 上延长到自由空间中的一段导线，它的长度为  $\lambda/4$ ，并被放置在接地层上。这种天线是由  $50\ \Omega$  阻抗的传输线供电的。通常，该导线天线提供的性能和辐射范围最好。该导线可以是直线、螺旋或是回路的。它是一个三维（3D）的结构，其中天线高出 PCB 约 4-5mm，并伸出到空间内。

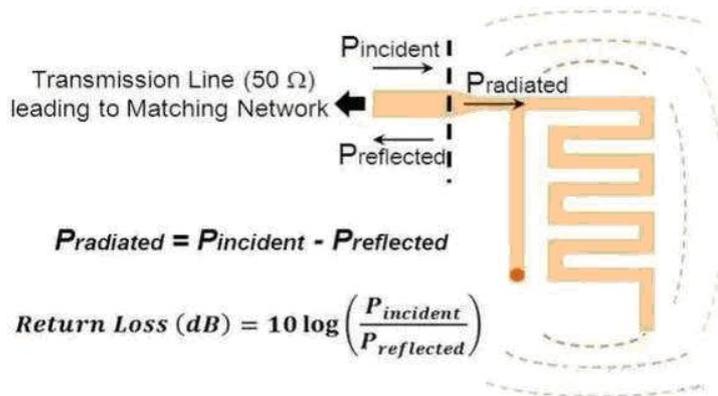
2. **PCB 天线**：它是 PCB 上的一根 PCB 走线，并且可以将其画成直线形走线、反转的 F 形走线、蛇形或圆形走线等。在一个 PCB 天线中，与导线天线不同的是，该天线没有被露到外部空间内，而是在同一个 PCB 层上以二维（2D）结构形式存在。当裸露到空间外的 3D 天线被放置到 PCB 层上作为 2D 的 PCB 走线时，必须遵循一定的指南。一般情况下，与导线天线相比，它需要的 PCB 空间更大，效率也低，但成本低，并且可以给 2.4G RF 应用提供可接受的无线距离。

3. **芯片天线**：这是一种带有导体的天线，天线和导体都被组装在小型的 IC 封装中。当天线被封装在很小的尺寸内时，它会变得很有优势。无线 USB 的收发器等应用会使用这种天线，当 PCB 上没有足够的空间来布局 PCB 天线时。

## 天线参数

下面部分提供了天线性能的某些关键参数。

**回波损耗：**天线的回波损耗表示天线如何与阻抗为  $50\ \Omega$  的传输线 (TL) 实现匹配。通常，这个 TL 的阻抗值为  $50\ \Omega$ ，但也可以是其他数值。对于工业标准，商业天线和它的测试设备的电阻为  $50\ \Omega$ ，因此建议您最好使用该值。回波损耗指出：由于不匹配，天线反射的入射功率大小。一个理想的天线会发射全部功率，不会产生任何反射。



**带宽：**是指天线的频率响应。它表示在采用的整个频带上，即在 2.4G RF 应用的 2.4GHz 至 2.48GHz 的范围内，该天线与  $50\ \Omega$  的传输线如何相互匹配。

**辐射效率：**指的是非反射功耗中的一部分被消耗为天线中的热量。产生热量是由于 FR4 基板中的介电损耗以及铜线中的导体损耗造成的。该信息作为辐射效率。辐射效率为 100% 时，全部非反射的功耗都被发射到空间内。对于小型的 PCB 外形因素，热耗最小。

**辐射图型：**该图型表示辐射的方向性，即表示在哪个方向上的辐射更大，哪个方向上的辐射更小。这有助于在应用中准确地确定天线的方向。无方向性天线可以按与轴线相垂直的平面上所有方向进行等效发射。但大多数天线都达不到这个理想的性能。

**增益：**增益提供了所采用方向的辐射与各向同性天线（即可从所有方向进行发射）进行对比的信息。增益单位为 dBi，即表示在与一个理想的无方向性天线进行对比时辐射的场强。

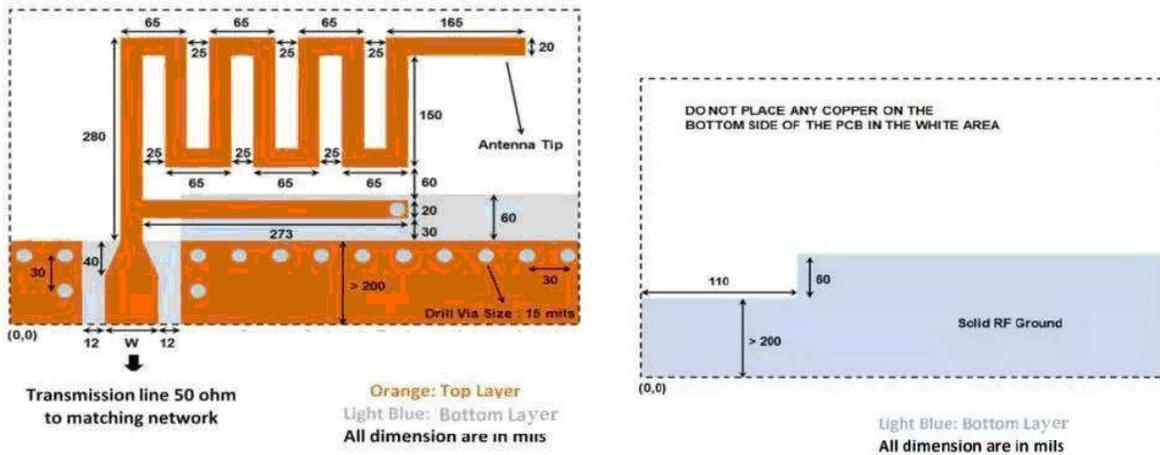
## 2.4G RF 天线

2.4G RF 推荐使用蛇形倒 F 天线 (MIFA) 和倒 F 天线 (IFA) 这两种 PCB 天线，这些天线既便宜又容易设计，这是因为它们是 PCB 的组成部分，并且能够提供良好的性能。

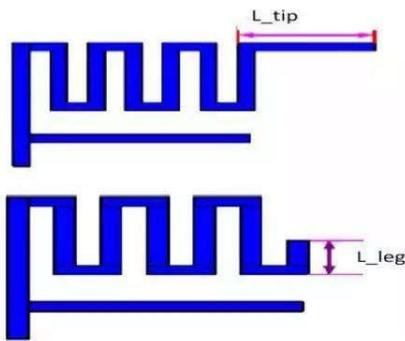
**蛇形倒 F 天线 (MIFA)：** MIFA 是一种普通的天线，被广泛地使用在各个人机接口设备 (HID) 中，因为它占用的 PCB 空间较小。如图显示的是所推荐的 MIFA 天线的详细布局，其中包含了双层 PCB 的顶层和底层。



图:MIFA布局

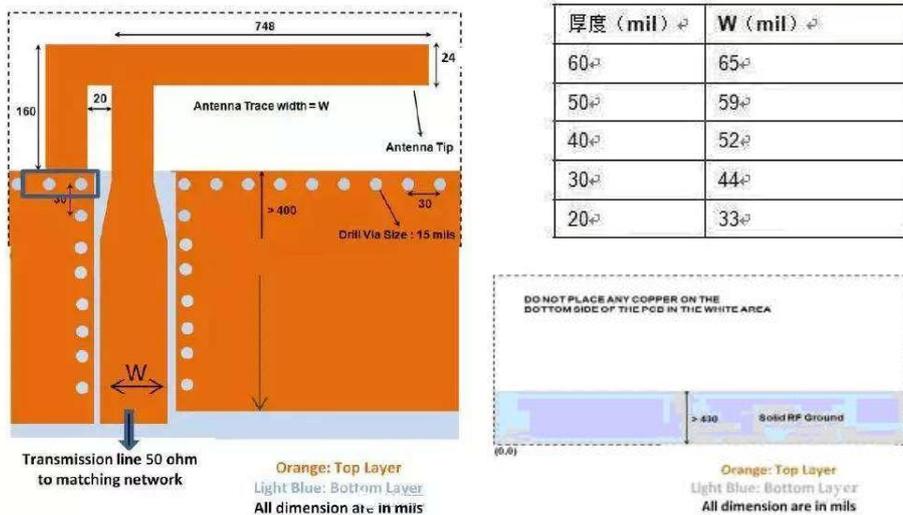


天线长度的考量：根据 PCB 的不同厚度，需要调整 MIFA 天线的长度，这样才能调整天线辐射的阻抗和频率选择。



天线的L_Tip/L_leg	PCB厚度
L_tip=353Mils	16Mils
L_tip=165Mils	31mils
L_tip=125Mils	47Mils
L_leg=215Mils	62Mils

倒 F 天线 (IFA)：对于天线的尺寸有一定限制条件的应用中，推荐您选用这种 IFA。与 MIFA 相比，IFA 的宽高比（宽度和高度的比例）更大。

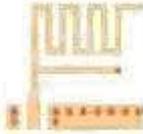


**导线天线：**导线天线是传统的旧式天线，将一条铝线或铜线固定在 PCB 上面便构成了这种天线。由于它们作为 3D 天线裸露在空气中，所以它们的射频性能非常好。这种天线具有最好的信号范围和最等向的辐射方向图。

对于要求小外形天线的 2.4GRF 应用，不建议使用这种天线，因为它会占用较大空间和垂直高度。

但如果有足够的空间（如智能照明应用中），那么这种天线可实现最佳的射频范围、方向性以及辐射方向图等性能。

导线天线具有最佳的射频性能。与其他天线相比，导线天线的天线增益和辐射性能是最好的。

频率为 2.44 GHz 时的属性	MIFA	IFA	芯片天线	导线天线
外观				
建议应用	较小空间 (无线键盘、鼠标、遥控器、模块等)	高度限制	小空间	更高 (6 mm) 无线开关、遥控器、智能灯泡、模块)
尺寸 (单位为 mm)	7.2 × 11.1	4 × 20.5	3.2 × 1.6	6 × 30
价格 (单位为美元)	最小	最小	0.1-0.5	0.1
天线增益 (单位为 dBi)	1.6	1.1	0.5	2

## 环境对天线性能的影响

通常消费类产品中所使用的天线对 PCB 射频接地层的大小和产品的塑料外壳非常敏感。可将天线模拟为一个 LC 谐振器，当 L（电感）或 C（电容）增加时，该 LC 谐振器的谐振频率会下降。更大的射频接地层和塑料外壳会增大有效电容，从而降低谐振频率。

**接地层的影响：**通过实验和测量证，射频接地层的面积越大，那么谐振频率越低，并且接地层也越好，因此回波损耗也会越小。这便是好的 PCB 布局中的关键条件。给四分之一



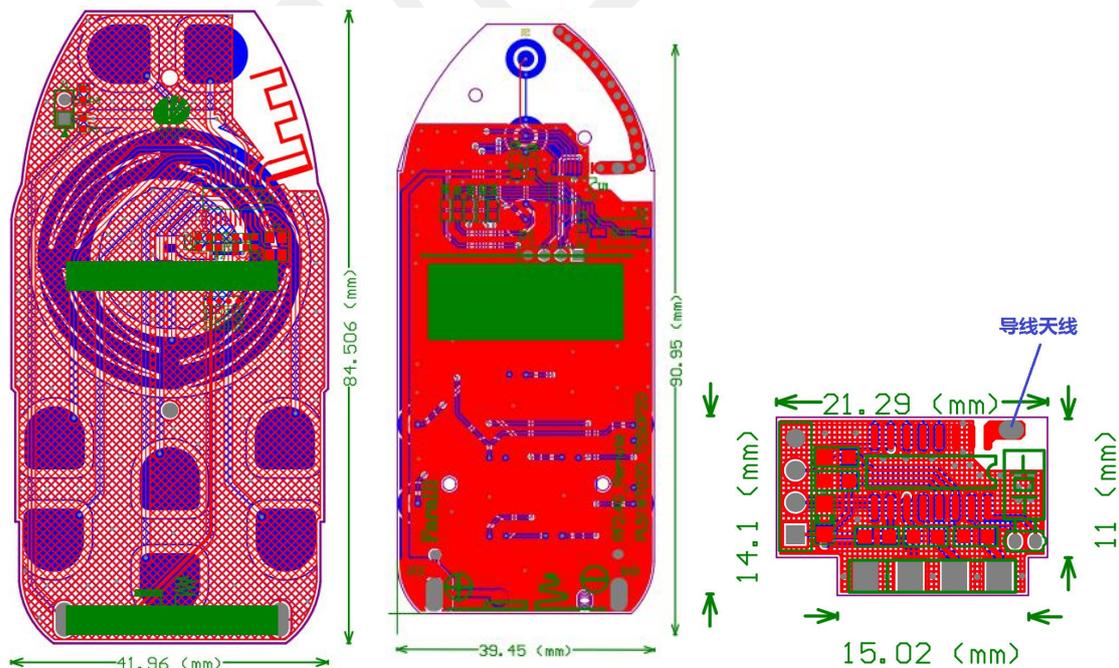
波长的天线提供的接地层越好，它与理论性能的关系也会越好。这是进行天线设计中的关键概念，可以解决没有足够空间提供给接地小型模块天线的困难。

**塑料外壳的影响：**将天线放置在靠近塑料外壳的地方时，谐振频率会降低。

## 产品外壳和接地层说明

- ◇ 必须确保在天线末梢或天线长度范围附近不能有任何组件、固定螺钉或接地层。
- ◇ 电池线或音频线不能穿过天线或 PCB 上天线布线的同一侧面。
- ◇ 不能将金属外壳完全覆盖天线。如果产品外壳是金属的或是一个保护罩，请不要将外壳完全覆盖掉天线。
- ◇ 天线的方向应该符合最终产品的方向，这样使天线在所需的方向上具有最大的辐射。
- ◇ 应该具有足够的空间：接地层越大，MIFA、IFA、芯片天线和导线天线的 S11 参数值（回波损耗）会越高。
- ◇ 天线正下方不应该存在任何接地层。
- ◇ 从天线到接地层要有足够的空间（间隙），该接地层的宽度应该最小。

## 典型智能照明应用 PCB 图



以上设计说明仅供参考，由于产品的外观、需求的多样性及复杂度不同，实际产品设计中需要详细调试并测试考核，选择合适的天线类型及参数。