

## 前导码发送时长

每个前导码发送占用的时长与扩频因子 SF、信道带宽 BW 有关，计算公式如下：

$$t_{\text{Preamble}} = \frac{2^{SF}}{BW} \quad (\text{式 1})$$

举例：

扩频因子 SF=8，信道带宽 BW=125kHz，则单个前导码发送时长为：

$$t_{\text{Preamble}} = \frac{2^{SF}}{BW} = \frac{2^8}{125\text{kHz}} = 2.048\text{ms}$$

扩频因子 SF=7，信道带宽 BW=500kHz，则单个前导码发送时长为：

$$t_{\text{Preamble}} = \frac{2^{SF}}{BW} = \frac{2^7}{500\text{kHz}} = 0.256\text{ms}$$

扩频因子 SF=12，信道带宽 BW=7.8kHz，则单个前导码发送时长为：

$$t_{\text{Preamble}} = \frac{2^{SF}}{BW} = \frac{2^{12}}{7.8\text{kHz}} = 525.128\text{ms}$$

发送数据时，一般前导码最少为 6 个，则前导码所用时长最少为单个前导码时长的 6 倍。

## 数据发送时长（空中速率）

数据传输空中速率与扩频因子 SF、信道带宽 BW、编码率 CR 有关，计算公式如下：

$$t_{\text{Rate}} = SF \times \frac{BW}{2^{SF}} \times CR$$

举例：

扩频因子 SF=8，信道带宽 BW=125kHz，编码率 CR=4/(4+2)，则空中传输速率为：

$$t_{\text{Rate}} = 8 \times \frac{125\text{kHz}}{2^8} \times 0.667 = 2.605\text{kbps}$$

即：每秒钟可传输 2.605k 位数据。

扩频因子 SF=7，信道带宽 BW=500kHz，编码率 CR=4/(4+1)，则空中传输速率为：

$$t_{\text{Rate}} = 7 \times \frac{500\text{kHz}}{2^7} \times 0.800 = 21.875\text{kbps}$$

即：每秒钟可传输 21.875k 位数据。

扩频因子 SF=12，信道带宽 BW=7.8kHz，编码率 CR=4/(4+4)，则空中传输速率为：

$$t_{\text{Rate}} = 12 \times \frac{7.8\text{kHz}}{2^{12}} \times 0.500 = 0.011426\text{kbps} = 11.426\text{bps}$$

即：每秒钟仅可传输 11.4 位数据。

每字节大约占用 10 位时长，故此以上结果除以 10 即是每秒可发送的字节数。

一次无线数据发送所用时长=发送前导码的时长+发送数据所用时长

## 接收灵敏度

接收灵敏度与扩频因子 SF、信道带宽 BW 有关，计算公式如下：

$$\text{Sensiti} = (-1) * \left( (SF - 7) \times 2.5 + \left( \log_2 \frac{500\text{kHz}}{BW} \right) \times 3 + 118.5\text{dBm} \right)$$

举例：

扩频因子 SF=8，信道带宽 BW=125kHz，则接收灵敏度为：

$$\text{Sensiti} = (-1) * \left( (8 - 7) \times 2.5\text{dBm} + \left( \log_2 \frac{500\text{kHz}}{125\text{kHz}} \right) \times 3 + 118.5\text{dBm} \right) = -127.0\text{dBm}$$

扩频因子 SF=7，信道带宽 BW=500kHz，则接收灵敏度为：

$$\text{Sensiti} = (-1) * \left( (7 - 7) \times 2.5\text{dBm} + \left( \log_2 \frac{500\text{kHz}}{500\text{kHz}} \right) \times 3 + 118.5\text{dBm} \right) = -118.5\text{dBm}$$

扩频因子 SF=12，信道带宽 BW=7.8kHz，则接收灵敏度为：

$$\text{Sensiti} = (-1) * \left( (12 - 7) \times 2.5\text{dBm} + \left( \log_2 \frac{500\text{kHz}}{7.8\text{kHz}} \right) \times 3 + 118.5\text{dBm} \right) = -149.0\text{dBm}$$

## 传输距离

传输距离与发送方的发射功率有关，发射功率越高时数据传输越远。

传输距离与接收方的接收灵敏度有关，灵敏度值越低越有利于接收较弱信号。

传输距离还与无线电波频率有关（433MHz、315MHz 等）。

传输距离还与传输介质对无线电波的衰减吸收程度有关（空气质量、遮挡物材质等）。

传输距离计算公式如下：

$$D = 10^{\left( \frac{\text{发射功率} - \text{接收灵敏度} - \text{介质损耗} - 32.44 - 20 \times \log_{10} \text{中心频率MHz}}{20} \right)}$$

举例：

发射功率=12dBm，接收灵敏度=-127dBm，介质损耗=35dBm，无线频率=433MHz，则理论上的传输距离为：

$$\begin{aligned} D &= 10^{\left( \frac{\text{发射功率} - \text{接收灵敏度} - \text{介质损耗} - 32.44 - 20 \times \log_{10} \text{中心频率MHz}}{20} \right)} \\ &= 10^{\left( \frac{12\text{dBm} + 127\text{dBm} - 35\text{dBm} - 32.44 - 20 \times \log_{10} 433\text{MHz}}{20} \right)} = 10^{\left( \frac{71.56 - 20 \times 2.6365}{20} \right)} \\ &= 10^{0.9415} = 8.7398\text{km} \end{aligned}$$

即：大约的通讯距离为 8.7 公里。

发射功率=5dBm，接收灵敏度=-118.5dBm，介质损耗=45dBm，无线频率=433MHz，则理论上的通讯距离为：0.46 公里。

发射功率=20dBm，接收灵敏度=-148dBm，介质损耗=45dBm，无线频率=433MHz，则理论上的通讯距离为：13.82 公里。

## 关于介质损耗

根据使用环境的估算值，以下可参考

可视：空旷 25dBm，乡村 30dBm，小城镇 35dBm，大城市 40dBm

墙：钢结构 15~25，混凝土 13~18，空心砖 4~6，石膏板 3~5，玻璃 3~5，镀膜玻璃 12~15

其它：汽车 8~12，火车车厢 15~30，电梯 30 左右，树林 10~20

在实际应用中，发送方与接收方之间的无线电信号强度损耗往往是多种介质损耗的累加和，即在 35dBm 的基础上再加上发送方到接收方之间的其它物质吸收损耗，总的介质损耗在 45dBm 较为合理。

通过传输距离计算公式可知，**发射功率、接收灵敏度或者介质损耗每变化 6dBm 时，传输距离会发生一倍的变化**，所以需要特别重视窗户、门、玻璃、墙体等物体的影响，将发送方和接收方的天线安装到最有利的地点。