

# 低功耗广域网在电磁环境复杂厂区的应用

黄伟<sup>1</sup> 马巍<sup>1</sup> 徐胜平<sup>2</sup>

(1. 中色集团大冶有色金属集团控股有限公司, 湖北 黄石 435005;

2. 湖北银河星科技有限公司, 湖北 黄石 435005)

**[摘要]** 由于厂区内有大量的金属结构和机电设备,电磁环境复杂,LPWAN 的应用效果难以判断。本文研究 LPWAN 节点的理想部署方式,并在具有代表性的复杂电磁环境下进行通信测试,研究 LoRa 近距离、中远距离和 NB-IoT 中远距离的数据收发情况。实际应用和测试结果表明,影响 LPWAN 通信丢包的主要因素是金属结构的屏蔽性、机电设备的电磁干扰,而不是通信距离。在电磁环境复杂的厂区应用 LPWAN,应采用轮询收发,天线延长线套装屏蔽网等措施;要尽量将发送端的 LPWAN 终端布置在厂房的高处,做到收发对视,以减少电磁干扰。

**[关键词]** 低功耗广域网; LoRa; NB-IoT; 物联网组网; 电磁环境

**[中图分类号]** TP393; TF811 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1008-5122(2021)01-0054-04

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.01.011

## Application of LPWAN in the Factory with Complex Electromagnetic Environment

HUANG Wei, MA Wei, XU Sheng-ping

**Abstract:** Due to a large number of metal structures and electromechanical equipment in the plant area, the electromagnetic environment was complex, so the application effect of LPWAN was difficult to judge. This paper studied the ideal deployment mode of LPWAN nodes, and carried out communication test in a representative complex electromagnetic environment, and analyzed the data transmission of LoRa in short distance, medium distance and long distance of NB-IoT. The practical application and test results showed that the main factors affecting the packet loss of LPWAN communication were the shielding property of metal structure and the electromagnetic interference of electromechanical equipment, rather than the communication distance. In order to the apply LPWAN in the plant area with complex electromagnetic environment, measures such as polling reception and dispatch and antenna extension cord suit shielding net should be adopted. In addition, the LPWAN terminal of the sending end should be arranged as tall as possible to achieve reception and dispatch visual, so as to reduce electromagnetic interference.

**Key words:** Low-Power Wide-Area Network; LoRa; NB-IoT; networking of internet of things; electromagnetic environment

## 0 前言

某公司转炉车间从 2018 年开始研究低功耗广域网(Low-Power Wide-Area Network, 简称 LPWAN)

技术<sup>[1]</sup>,以替代一些简单性、常规性的点巡检,并将部分终端设备的数据收发从有线连接改造为无线连接,以节省材料成本、维护成本和信息化运行成本<sup>[2]</sup>。在研究应用过程中发现,由于冶炼型厂区内的厂房多为混凝土墙,钢结构密集,加上大量机电设备运行,电磁环境比较复杂<sup>[3]</sup>;此外,冶炼型厂区大多地处偏远,公网基站信号难以保证;而 LPWAN 模块厂家提供的通信速率、通信距离等参数是在理想

**[收稿日期]** 2020-10-10

**[作者简介]** 黄伟(1984—),男,湖北黄石人,硕士,工程师,主要从事设备管理工作。

环境下测试所得的,应用参照意义不大。因此,在冶炼型厂区应用 LPWAN,需要因地制宜设计好组网方案<sup>[4]</sup>,并对近距离与中远距离、一般遮挡物与屏蔽性遮挡物、一般电磁干扰与强电磁干扰这些环境下的通信丢包情况进行统计分析,调整改进不理想的部署方式,以发挥 LPWAN 的特点优势,使其在冶炼型厂区中的应用取得良好效果。

## 1 组网方案设计

LPWAN 的特点和优势在于运行功耗低、覆盖范围广(即收发距离远),短板在于收发速率低(低于 20 kbps)、有一定延时(几秒至十几秒)。LPWAN 可细分为几类,我国当前的应用主流是 NB-IoT 和 LoRa。NB-IoT 在授权频段下运行,依赖公网通信;LoRa 使用免许可的 433M 频段,不依赖公网通信。除此之外,两者的其他性能参数接近<sup>[5]</sup>。

根据 LPWAN 的特点优势,组网方案设计首先要筛选出 LPWAN 技术适用的终端。研究认为,除了高速率(如视频类)、低延时(如音频)的数据终端以及重要设备的控制执行机构之外,其他大多数终端可以采用 LPWAN 连接。第二,组网方案要因地

制宜,根据厂区内的公网基站信号状况灵活设计。例如,在公网信号不好的场所或者为了节约流量资费,可采用 LoRa 一体式仪表或者 LoRa 模块 + 终端的方式组网,接收端汇总数据后进入本地后台,或者通过 4G DTU 连接公网<sup>[6]</sup>;如果公网的 NB-IoT 信号良好,可选用 NB-IoT 一体式仪表或者 NB-IoT 模块 + 终端的方式直接向公网发送数据<sup>[7]</sup>,以便于安装、配置。第三,组网方案设计要考虑后台系统数据的存储安全性、调用便捷性,考虑报警速度以及整套系统的扩容便捷性。LPWAN 组网示意图如图 1 所示。

如图 1 所示,采集层为各类终端。比较分散的终端采用一对一的连接方式,即 1 个 LoRa 模块与 1 个终端连接,向周边发送数据;NB-IoT 仪表也采用一对一的连接方式(图 1 为便于观看,把它画入通信层,其内部也是仪表的集成电路板 + NB-IoT 模组)。对于比较集中的多个终端设备,采用“多对一”方式,用短距离线缆把所有终端级联,数据汇总至 LoRa 通信箱。

中间层为通信层。一对一的 LoRa 模块和发送端通信箱里的 LoRa 模块设置好频段、速率、ID、波

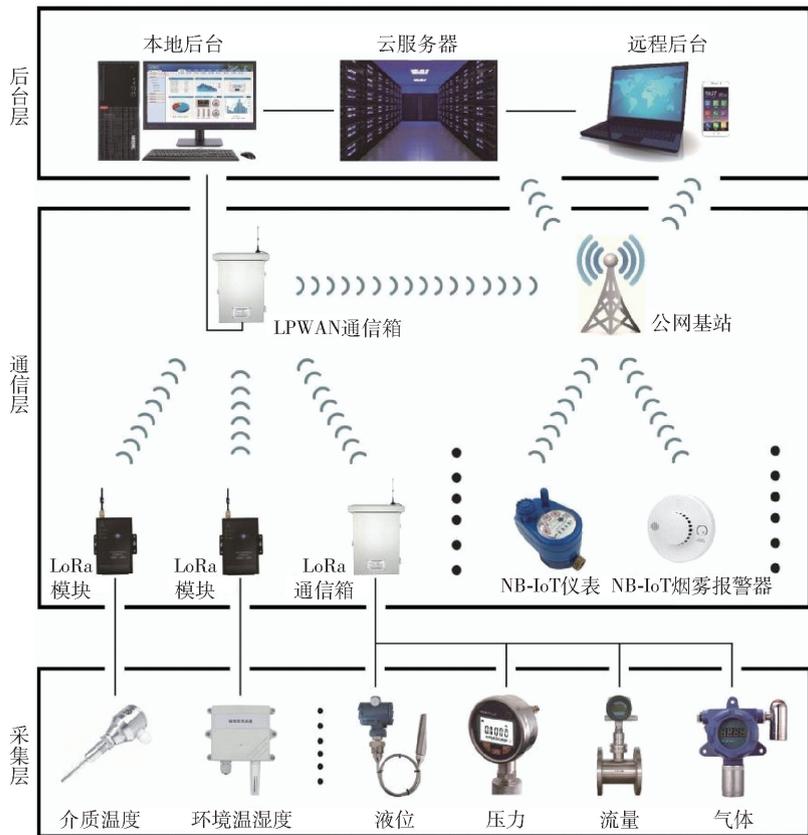


图 1 LPWAN 组网示意图

特率等参数,注意波特率要和终端一致。除 ID 之外,接收端通信箱里的 LoRa 模块参数与发送端参数一致。接收端的通信箱可以分两路输出,一路是通过 RS485 线缆连向本地后台 PC,另外一路配 4G DTU 连向公网基站。NB-IoT 仪表则直接连向公网基站。

后台层包括本地后台、云服务器、远程后台。本地后台 PC 上安装相关软件,完成数据的存储、监测、分析、报警、控制、设置等功能。本地后台可以根据需求来决定是否进入互联网。接收端通信箱的 4G DTU 连接公网基站,再连接云服务器、远程后台 PC 和手机,通过云服务器实现监测与控制等。

## 2 组网方案实施

### 2.1 LoRa 近距离数据收发分析

#### 2.1.1 PLC 机房组网方案部署及参数设置

组网方案于 2018 年 8 月份开始实施,第一批是在 PLC 机房安装温湿度计(曾经发生过由空调故障导致 PLC 柜发热的误动作),将温湿度计数据发送到值班室。PLC 机房的墙是混凝土墙,周边是金属管道、钢结构、金属设备等,电磁环境复杂。4 个 PLC 机房与值班房在位置上呈“7”字形,道路距离分别约为 120 m、160 m、220 m、260 m,对视距离分别约为 100 m、130 m、170 m、210 m。具体部署方法是各温湿度计与 LoRa 模块一对一连接,由 LoRa 模块向值班室的 LoRa 通信箱发送数据,通信箱经过 RS485 线缆转 USB 与本地后台连接,实现对 PLC 机房的温湿度监测。若温湿度超出设定阈值,本地后台会报警。PLC 机房组网平面示意图如图 2 所示。

LoRa 模块的出厂参数为:供电电压 DC12V,发射功率 20 dBm(60 mA),接收电流 26 mA,休眠电流 3 mA,信号灵敏度 -138 dBm,对视通信距离 3.5 km。其他参数修改设置为:频段 433 MHz,波特率 9 600 (和温湿度计一致),速率 0.3 kbps(速率与收发距

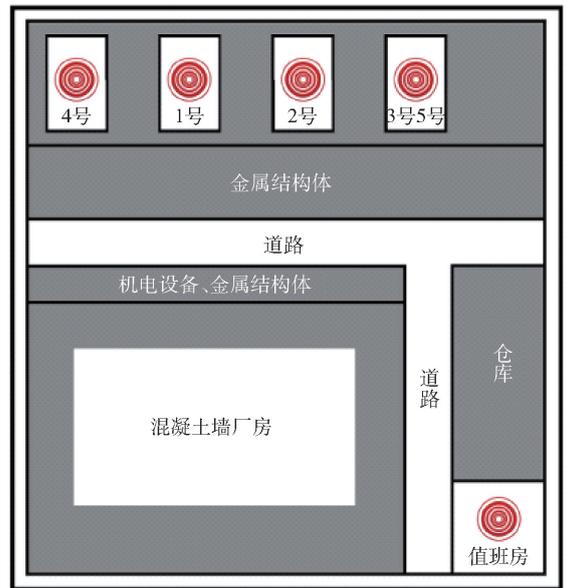


图 2 PLC 机房收发点示意图

离成反比,最高为 5.5 kbps)<sup>[8]</sup>。1 个 LoRa 模块连接 1 个温湿度计,每次收发的数据约 30 个字节。鉴于 PLC 柜控制室的温度缓慢上升,温湿度的采集频次设定为 1 次/5 min。

经过研究讨论,为确保数据收发具有较高的成功率,采取了如下措施:

1) 多个 LoRa 模块同时向接收端发送数据时,可能出现同频造成的冲突<sup>[9]</sup>,因此,在每个发送端的箱内电源后加了一个延时器,各个发送端的延时时间设置为 2 s、3 s、4 s、5 s 不等。

2) 将收发的 LoRa 模块天线固定在靠近窗户的地方,以减少混凝土墙对信号的阻拦。天线可以定制长一点,但不宜超过 3 m,否则天线信号会有所衰减。

3) 为了减少其他电磁波对整个回路的干扰,箱体内部的通信线采用屏蔽电缆,天线延长线套铜丝屏蔽网。

#### 2.1.2 LoRa 近距离数据收发情况

组网方案连续运行 6 个月的数据接收情况见表 1。

表 1 LoRa 近距离数据接收统计表

终端地点	收发对视 距离/m	收发之间的电磁环境	延迟时间/ s	累计丢包 次数/次	数据收发 完好率/%
1 号 PLC 柜控制室	170	截面 5 m × 10 m 金属结构 + 2 面混凝土墙 + 大型机电设备	3	26	99.95
2 号 PLC 柜控制室	130	截面 5 m × 10 m 金属结构 + 2 面混凝土墙	3	17	99.97
3 号 5 号 PLC 柜控制室	100	截面 5 m × 10 m 金属结构 + 1 面混凝土墙	2	5	99.99
4 号 PLC 柜控制室	210	截面 5 m × 10 m 金属结构 + 2 面混凝土墙 + 大型机电设备	3	29	99.94

数据收发完好率的计算方法如下:

$$\text{数据收发完好率} = \frac{\text{后台实际接收数据次数}}{\text{收发数据总次数}} \quad (1)$$

在6个月里,除开3d停电检修时间,后台实际运行180d。因此,6个月收发数据总次数为 $60/5 \times 24 \times 180 = 51\,840$ 次。

从表1可以看出:1)数据延迟时间均没有超过3s,对于温度缓慢上升的PLC机房来说,延时3s在允许范围之内;2)数据失败次数与通信距离、延迟时间与通信距离都不是正比关系,说明数据收发状况、延迟时间两者与通信距离的关系不大;3)经过查看,所有数据收发失败(丢包)的情况都不是连续

的,即前一次收发失败,接下来一次收发都是正常的。因此,判断数据收发失败可能是某些变频器起动的干扰造成的<sup>[10]</sup>。

## 2.2 LoRa 中远距离数据收发分析

为测试该组网方案下LoRa中远距离的通信状况,在与值班室对视距离为600m、1000m的两处地点各放置1个温度计、1个压力计、1个pH值监测仪。将它们分别连接LoRa终端,进行空载模拟测试。终端发送频次设定为1次/1min,测试运行时间为10d,3个终端在每处共发送数据43200次,数据接收情况见表2。

表2 LoRa 中远距离接收统计表

终端地点	收发对视/ m	收发之间的电磁环境	延迟时间/s	累计丢包 次数/次	数据收发 完好率/%
硫酸车间办公楼	600	6面混凝土墙的厂房+金属结构+大型机电设备	—	31609	26.83
厂外东居民楼楼顶	1000	1面居民楼墙	5	451	98.96

从表2可以看出,虽然厂外测试点距离值班室更远,但数据收发完好率较理想,LoRa终端基本可以长期使用;而硫酸车间测试点虽然距离值班室更近,但数据丢包次数反而高很多,这表明阻挡物和大型机电设备的干扰是数据丢包的主要原因。

## 2.3 公网基站的NB-IoT通信效果分析

为测试该方案下公网基站的NB-IoT通信效果

(公网基站位于厂办公楼楼顶),在表1、表2中的各地点分别放置1个NB-IoT温湿度传感器,进行了10d共240h的运行测试。终端发送频次设定为1次/5min,每个终端共发送数据2880次,数据接收情况见表3。

从表3可以看出,NB-IoT型终端的数据丢包次数很多。通过查看后台系统,发现丢包时间不是均

表3 NB-IoT 中远距离接收统计表

终端地点	收发对视 距离/m	收发之间的电磁环境	延迟时间/ s	累计丢包 次数/次	数据收发 完好率/%
1号PLC柜控制室	370	截面5m×10m金属结构+2面混凝土墙+大型机电设备	—	747	74.06
2号PLC柜控制室	330	截面5m×10m金属结构+2面混凝土墙	—	752	73.89
3号5号PLC柜控制室	300	截面5m×10m金属结构+1面混凝土墙	—	763	73.51
4号PLC柜控制室	410	截面5m×10m金属结构+2面混凝土墙+大型机电设备	—	746	74.10
硫酸车间办公楼	750	无阻挡物	—	753	73.85
厂外东居民楼楼顶	850	无阻挡物	—	755	73.78

匀分布的,而是数据在某些时间段同时丢包。由于6个测试点位置不同,特别是后2个点,与公网基站之间没有阻挡物,基本可以排除数据丢包原因是信号被屏蔽或者机电设备的干扰。数据丢包极有可能是公网基站的NB-IoT信号不稳定所致。

## 3 结束语

通过分析上述数据可以看出,物联网LPWAN

技术在电磁环境复杂的工业厂区应用时,可以传送低速率、低发送频率的数据。如果收发之间没有密集金属结构、混凝土墙、大功率变频器等阻挡干扰,可以实现1km左右的稳定通信。但如果收发之间存在上述物体,稳定通信距离会大幅缩短,200m之内的通信较为稳妥。

为提高通信效果,在条件允许的情况下,可以将

(下转第74页)