

面向应急环境监测的无线传感器网络节点设计*

沈君黎, 朱 华, 姚明海, 倪继峰
(浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 突发性环境污染事故的应急监测要求监测数据能及时而有效地采集和传输, 以便管理部门能够及时应对各种突发状况。针对传统的有线传输网络铺设麻烦、可移动性差和数据传输不稳定等问题, 设计了一种应用于污染源应急监测系统的无线传感器网络节点, 硬件上采用 C8051F340 微控制器和 XBee-PRO 无线传输模块构架节点, 并构建了一个基于 ZigBee 技术的无线传感器网络, 最终实现污染源现场数据的高效采集、传输以及处理。研究表明, 该无线传感器网络节点能应对各种突发情况, 具有很好的稳定性。

关键词: 应急监测; 无线传感器网络; ZigBee

中图分类号: TH86; TP29

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)11-0065-06

Design of wireless sensor network node for emergency environmental monitoring

SHEN Jun-li, ZHU Hua, YAO Ming-hai, NI Ji-feng

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Emergency monitoring for sudden environmental pollution accident requires that the monitoring data can be collected and transmitted timely and effectively in order that management can respond promptly to all kinds of unexpected dilemmas. Aiming at dealing with the drawback of the traditional wired transmission networks inconvenient pave, weak mobility, unsafe and unstable data transmission, a wireless sensor network node applied to pollution emergency monitoring system was designed. The system structured nodes with C8051F340 microcontroller and XBee-PRO wireless transmission module on the part of the hardware and built the wireless sensor networks based on ZigBee. The pollution sources on-site data collection, transmission and processing were realized. The results indicate that the nodes are stability enough to cope with various emergency situations.

Key words: emergency monitoring; wireless sensor networks; ZigBee

0 引 言

随着我国工农业生产和经济建设的快速发展, 环境污染事故(尤其是重大突发性环境污染事故)不仅在发生次数上而且在污染危害程度上均有增加的趋势。突发性环境污染事故的应急监测要求环境监测人员在尽可能短的时间内, 借助于一定的技术手段, 迅速确定污染情况, 为环境管理部门及时、准确地处理污染事故, 将污染程度控制在最小范围提供依据^[1]。应急监测车是环境污染应急监测系统中最基本配置, 当

由于地形等限制而导致应急车不能到达事故现场时, 通过无线传感器网络可以远程采集监测数据, 完成数据的及时传输。

ZigBee 是一种新兴的介于无线标记技术和蓝牙之间的技术提案, 相对于蓝牙、WiFi 等其他通信技术, 它具有低功耗、低成本、近距离、短时延、高容量、高安全等技术优势, 它的出现为传感设备的无线信息传输提供了新的解决方案。污染源应急监测系统采用基于 ZigBee 技术的无线传感器网络传输架构, 可以实现应急监测设备的快速自组织接入, 解决监测设备多样性、

便携移动性及分散性而带来的数据处理问题,从而实现监测数据自动快速地传输集中,使分布式集散型设备信息有机集成,完成数据的采集与传输。与传统的无线传感器网络相比,面向应急环境监测的无线传感器网络对节点能耗要求不高,但要求整个网络具有很强的健壮性和稳定性,在数据传输过程中应维持较低的丢包率,并有严格的数据重发机制。

本研究探讨了一种基于 ZigBee 技术且应用于污染源应急监测系统的无线传感器网络节点的设计方案以及无线传输网络的实现。

1 硬件总体架构及功能模块设计

1.1 硬件总体架构

无线传感器网络节点是应急污染源监测系统的一个重要组成部分,通过布置在污染源现场的多个节点的协调工作,整个无线传感器网络主要担负着数据的采集、传输和处理等任务,节点的系统框图如图 1 所示。无线传感器网络节点主要包括数据采集电路,电源供电电路和无线收发与数据处理电路 3 个部分,其中数据采集电路负责监测数据高速、高效的采集;电源供电电路是电源管理的一个部分,由于传感器网络节点的诸多特性(可移动、可携带和自组织接入等),这就要求节点配置可靠、简单的供电系统,而此节点主要应用于应急污染源监测系统,所以对节点的能耗要求不是很高,只需保证在应急条件下稳定地执行数据采集、数据传输和数据处理任务;无线收发与数据处理电路是整个无线传感器网络节点的核心部分,负责整个信息流的流向和整合,电路包括具有快速处理功能的单片机、具有自组网功能及传输协议支持的无线收发器、用于手动设置网络地址的 8 位拨码开关以及显示传感器网络节点状态的 LED 指示灯。

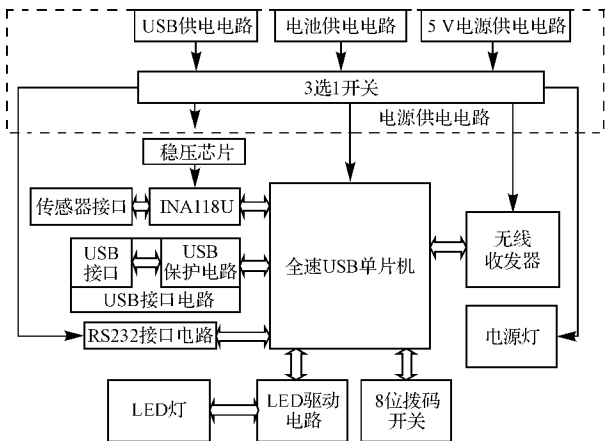


图 1 无线传感器网络节点的系统框图

1.2 数据采集电路

现在的环境应急监测车基本都配备了便携式气体、水质以及流量检测仪等各种环境应急监测设备,本设计提供环境监测设备常用的两种接口:USB 接口和 RS232 接口,以方便节点与其他设备的连接。为了防止浪涌冲击和 ESD 冲击等干扰,提高节点的稳定性,还设计了一个 USB 的保护电路,保护电路芯片采用安森美公司的 NUP2202W1,最大反向浪涌电流达到 28 A,可以有效地延长节点的使用寿命。除了提供两个常用接口外,采集电路还提供传感器接口实时采集周围的环境信号,通过仪表放大器 INA118U 对外部信号放大和整形,然后将信号送入微控制器进行处理,以便对温度和湿度等大气状况进行精确的记录。INA118U 是美国 B-B 公司生产的精密仪表放大器,它具有精度高、低功耗、共模抑制比高和工作频带宽等优点,适合对各种微小信号进行放大,其独特的电流反馈结构使得它在较高的增益下也能保持很高的频带宽度^[2]。传感器接口电路如图 2 所示。

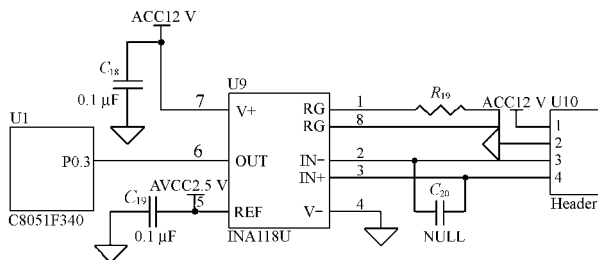


图 2 传感器接口电路

1.3 电源供电电路

由于使用环境等条件限制,应急污染源监测系统的无线传感器网络节点要求稳定而便捷的电源供电,而不要求节点长时间地工作,供电电路需要保证室内和室外两种状况下的电能供给,本研究提供 3 种不同的电源接口:普通的 5 V 稳压电源接口(室内条件下使用)、USB 的 5 V 电源接口(接计算机时使用)和 1~2 节 7 号干电池的 3 V 电池组接口(室外条件下使用)。节点选用的工作电压为 3.3 V,选用其他芯片时充分考虑到电压的统一,选用的单片机、无线收发器以及其他的芯片都可以在此电压下正常工作。L6920 是一款稳定而有效的稳压芯片,稳压范围为 2 V~5.2 V,这里笔者把管脚 FB 接地,使电池组的 3 V 电压经过 L6920 后稳压至 5 V,然后与其他两个电源接口一起接入单刀三掷开关 S1,经过 S1 的 3 选 1 后通过 AS1117 的降压,最后把电压稳定到 3.3 V 以便节点能正常工作。电源供电电路如图 3 所示。

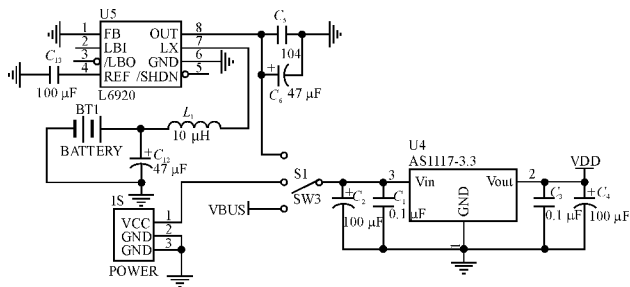


图 3 电源供电电路

1.4 无线收发与数据处理电路

微控制器是整个无线收发与数据处理电路的核心,所有设备的控制、数据处理和数据收发等都在它的支持下完成,所以微控制器的选择至关重要^[3]。本设计所选用的微控制器是 Silicon Laboratories 公司生产的 C8051F340 单片机,它是一款全速 USB flash 微控制器,1 个符合 USB2.0 规范的 USB 口,2 个 UART 口,片内调试电路提供全速、非侵入式的在系统调试,64 KB 的 Flash,4 352 B 的 RAM,40 个端口 I/O,集成精确校准的 12 MHz 内部振荡器,具有高速、流水线结构的 8051 兼容的微控制器内核,速度可达 48 MIPS^[4]。C8051F340 单片机可以高速有效地完成数据处理和数据存储任务,大容量的 RAM 用于临时保存监测数据,Flash 还可以模拟 E²PROM,以保存器件节点配置数据等信息^[5]。

无线收发器采用 digi 公司的 XBee-PRO 无线传输模块,传输输出功率低于 100 mW, RF 数据传输率 250 Kbps,工作频率为 2.4 GHz^[6]。XBee-PRO 模块以 Ember EM250 芯片为基础,EM250 是 Ember 公司推出的 ZigBee 片上系统,它集成了一个符合 IEEE 802.15.4

标准的 2.4 GHz 射频收发器和一个功能强大的高速率 16 位微处理器,支持网络级的调试,系统的软件开发更简便。XBee-PRO 在范围上可以超越传统 ZigBee 模块 2~3 倍,覆盖范围达到 100 m(室内),1.6 km(室外),模块由于具备接收灵敏度上的优势,在距离上获得的改进远胜于成本上的提高。因此,选用 XBee-PRO 不但可以节省应急车监测系统开发的成本,而且可以得到更高的性能。

无线收发与数据处理电路示意图如图 4 所示。图中 C8051F340 把 P0.4 和 P0.5 配置成 UART0 与 XBee-PRO 的 DOUT 和 DIN 相连,XBee-PRO 的 RESET、DTR、PWM0、ON、RTS、CTS 和 C8051F340 的 I/O 相连,用于控制 XBee-PRO 的数据发送、数据接收、网络重置以及模块状态信息的交互等。通过拨码开关的开关可设置 P4.0~P4.7 的高低位,以此手动设置节点多达 256 个不同的网络地址。利用 P1.4~P1.7 可控制 LED 灯的状态,这里笔者设计 5 种不同的 LED 显示灯:电源灯, XBee-PRO 正常工作灯,节点网络接入灯,休眠灯,数据传输灯。在实际工作中,无线收发与数据处理电路是整个无线传感器网络节点的“心脏”,负责数据的存储、收发和处理,节点的状态显示以及网络地址的标识,控制着整个数据流的流向。数据接口电路首先通过 RS232 口或 USB 口把环境监测设备测得的数据采集过来,对数据进行简单的分析后,去除一些不必要的数

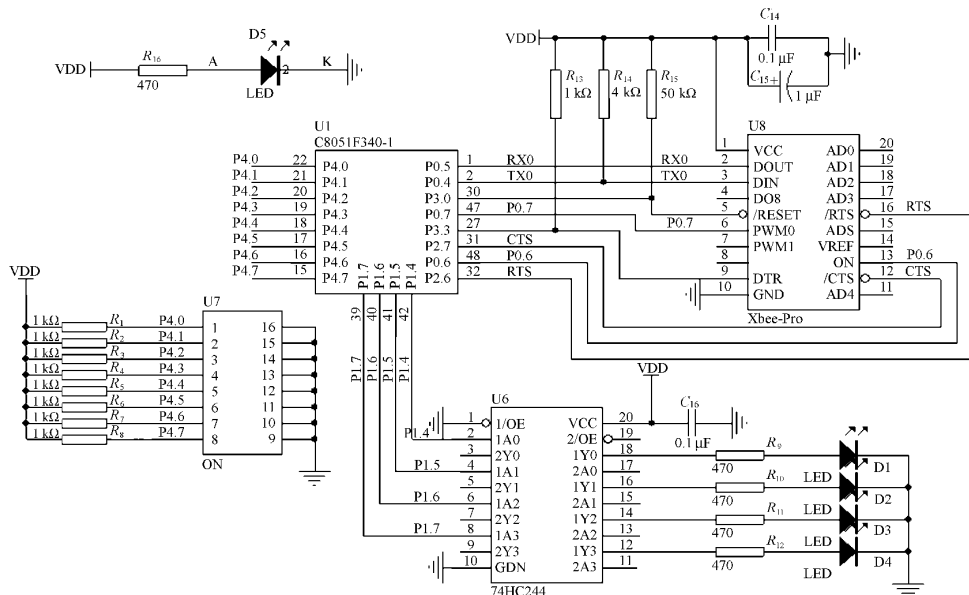


图 4 无线收发与数据处理电路示意图

2 无线传感器网络节点数据传输的软件设计

无线传感器网络节点的数据传输采用基于 802.15.4 的 ZigBee 无线传输协议, XBee-PRO 无线收发模块提供 2 种不同的操作模式: AT/透明操作模式和 API 操作模式。AT/透明操作模式通过便捷的参数配置即可实现数据的传输与命令模式的进入。API 操作模式主要应用于较复杂的网络传输, 可以通过改变目标地址来实现点对多点的传输任务, 传输速率较之 AT/透明操作模式快, 传输结束后返回确认信息(已发送, 发送失败), 模块接收数据时可以额外接收到发送端模块的发送信息(源地址, 网络地址, 目标地址等), 协调器可以对节点进行远程参数配置, 实现整个网络信息系统的在线参数配置。软件设计中使用基于复杂无线传感器网络的 API 操作模式。

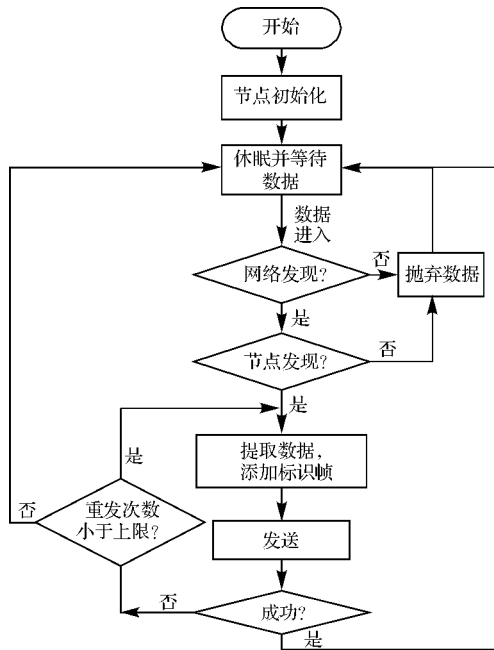


图 5 无线传感器网络节点的工作过程

无线传感器网络节点的工作过程如图 5 所示。节点的初始化主要包括振荡器初始化、I/O 口初始化、串口初始化(UART0, UART1 和 USB 初始化)和定时器初始化。传感器网络节点平时处于休眠模式, 此时整个节点消耗能量较少, 当环境监测设备采集到数据时, 节点退出休眠模式, 并尝试把数据发送出去, 处于空闲状态后又回到休眠模式。当建立复杂的无线传感器网络时, 每个节点还需要担负数据转发和数据处理等多种任务。以下是 API 操作模式下所用到的一些封装函数, 通过函数接口, 可以方便地完成远程配置节点参数和无线收发数据等功能:

```

void XBee_Reset();启动 XBee-PRO
int XBee_SetActive(int state);重置 XBee-PRO
void XBee_RequestATCommond( uint8 frameID, uint64 destination_addr, char * cmd, uint8 * params, uint8 datalength)
;远程参数配置请求
int XBee_ResponseATCommond( uint8 frameID, uint64 source_addr, char * cmd, uint8 * status, uint8 datalength)
;远程参数配置应答
bool XBee_CreateTxPacket( XBeePacket * xbp, uint8 frameID, uint64 destination_addr, uint8 options, uint8 datalength)
;数据发送
bool XBee_ReadRxPacket( XBeePacket * xbp, uint8 frameID, uint64 source_addr, uint8 options, uint8 datalength)
;数据接收
  
```

其中 state 是无线收发器状态, frameID 是网络标识, cmd 是 AT 命令, destination_addr 是目标地址, source_addr 是源地址, xbp 是发送的数据, params 是 AT 参数, status 是状态回复, datalength 是数据长度, options 是命令选项。

3 构建应急车监测系统的复杂无线传输网络

3.1 应急车监测系统数据传输的网络拓扑

在 ZigBee 网络中, 有 3 种类型的节点: 协调器、路由器和终端设备。其中终端设备只负责发送和接收数据; 路由器具有判断网络地址和选择路径的功能, 需要对其他节点传来的数据进行整合分析, 然后完成数据转发、路由发现和路由维护等任务; 协调器是整个网络的控制中心, 实现设备注册和访问控制等基本的网络管理功能^[7]。不论 ZigBee 网络采用何种拓扑方式, 网络中都需要有一个并且只能有一个网络协调器, 它可以选择信道的频段, 允许加入节点和删除节点。根据不同的应用需求, 无线传感器网络可以构建星状拓扑和点对点等拓扑网络, 其中星状拓扑网络信息传递通过协调器完成, 容易实现但导致协调器负担过重; 点对点等拓扑网络节点可自行建立和维护, 具有强大的自组织、自愈能力但需要耗费大量的网络资源^[8]。

整个无线传输网络是一个动态的网络, 具有以下特征: 每个节点可以随处移动, 节点间也相互不受干扰; 节点一启动, 就可以快速、自动地组成一个独立的网络; 由于网络中节点的通信距离有限, 在一定范围内只能与它相邻的节点进行通信, 网络需要支持“多跳”^[9]。在应急车监测系统中, 简单的星状拓扑和点对点等拓扑不能满足整个网络的需要, 不仅需要合理地利用节点的网络资源, 而且网络要具有很大的节点规模, 所以选用这两种网络的混合拓扑结构, 应用于应急车监测系统的网状混合拓扑网络如图 6 所示。

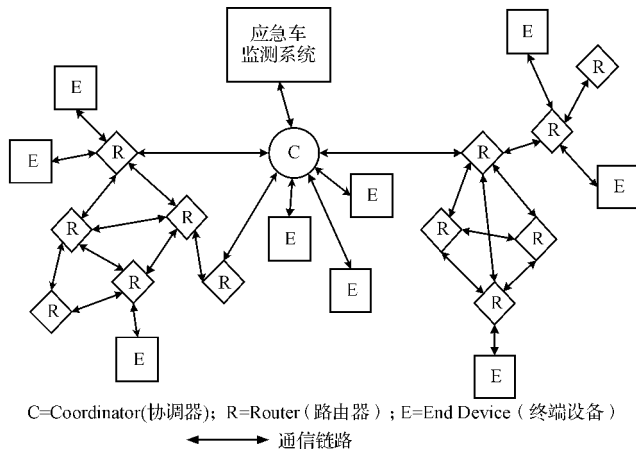


图 6 应用于应急车监测系统的网状混合拓扑网络

3.2 无线传感器网络节点的网络配置

无线传感器节点的网络配置主要是针对 XBee-PRO 的配置完成的,通过 XBee-PRO 开发板和 X-CTU 软件开发包可以方便地对无线传输模块 XBee-PRO 进行配置。首先将一块 XBee-PRO 模块插入开发板,打开 X-CTU 软件进入“Modem Configuration—Modem”,选择模块型号(XBP24-ZB),然后在“Function Set”中选择“ZIGBEE COORDINATOR API”将所用模块配置成 API 操作模式下的协调器,对于同一子网中的节点,其参数 ID(PAN ID)应配置成一样,如 123,参数 NI(Node Identifier)可分别配置成 R1, R2 等,最后“WRITE”完成。同理,终端设备和路由器也可按前述方式进行配置,其他的一些模块参数可根据 XBee-PRO 开发手册,按具体的网络情况配置。

3.3 无线传感器网络的稳定性

在应急车监测系统中,污染源现场环境往往复杂多变,由于地形、天气等因素的影响,环境监测人员通常不能及时地对监测系统做出合理的调配和维护,这时就需要整个无线传感器网络具备良好的稳定性,可以应对多种突发状况,完成环境数据的采集与传输。

本研究所设计的无线传感器网络节点布局紧密,各器件受环境因素影响小,抗干扰能力强,可工作在各种复杂的环境下。在无线传感器网络的通信中,冲突在所难免,冲突会造成数据丢失,信道质量、电子噪声等问题又会引入通信错误,这些问题都影响了数据的可靠性,这时就需要考虑数据重发。但另一方面,重发需要占用信道,会进一步造成信道拥塞,导致更多冲突,同时重发会消耗更多能量,极大限制了其性能,所以建立一个完整合理的数据重发机制是必不可少的^[10]。在本系统中,一旦因通信冲突而导致丢包时,考虑到重发的效率问题,节点不会向范围内的其他节点广播重

发的数据,而是依据路由算法选择一条通信良好的路径进行转发重发的数据,路径上的节点会记录重发的次数,一旦重发次数达到限定值时,就认为此路径无效,然后选择其他的路径进行转发,直到重发成功,如果没有一条路径重发成功,则抛弃这个数据包,并把此信息通知协调器。在无线传感器网络中,节点可以在网络中以任意速度和任何方式移动,节点的移动会导致通信链路的增加或消失,节点之间的相互关系也会发生相应的变化^[11]。而且受到无线发送装置发送功率的变化、无线信道间的相互干扰及地形和地物等综合因素影响,各移动节点间的连接关系也将时刻变化,因此,造成网络拓扑结构不断发生变化,而且变化的方式和速度都是不可预测的。整个无线传感器网络是动态可变化的,节点的移动、加入和退出只会引起整个网络结构的改变,但不会影响其他节点的正常工作,也不会影响数据的传输,具有自我组织和自我修复的能力。

4 结束语

针对应急环境监测远程采集数据和实时性较强的特点,本研究设计了一种用于应急环境污染条件下的无线传感器网络节点,可以有效地完成污染源监测任务。考虑到无线传感器网络的具体使用环境,笔者还对整个无线传输网络的拓扑结构和稳定性等做了比较深入的研究。

研究表明,网状混合拓扑结构更适合应急环境条件下的数据监测和数据传输,整个网络具有较好的稳定性和健壮性。

参考文献(References):

- [1] 职音. 对突发性环境污染事故及其应急监测的几点认识[J]. 黑龙江环境通报, 2000, 24(1): 24, 56-58.
- [2] 杨昌金, 王涛. 精密低功耗仪表放大器 INA118 及其应用[J]. 国外电子元器件, 2000(6): 14-15.
- [3] 居滋培, 白凌, 华闰祺. 基于 IEEE802.15.4 的无线传感器网络节点的设计[J]. 自动化仪表, 2009, 30(8): 22-24.
- [4] [作者不详]. C8051F34x datasheet[EB/OL]. [日期不详]. <http://www.silabs.com>.
- [5] DU Wen, DENG Jing, HAN Y S, et al. A Pairwise Key Pre-distribution Scheme for Wireless Sensor Network[C]// Proceeding of the 10th ACM Conference on Computer and Communications Security. Washington DC: [s. n.], 2003: 42-51.
- [6] [作者不详]. XBee-PRO datasheet[EB/OL]. [日期不详]. <http://www.digi.com>.

[7] [作者不详]. IEEE Std 802. 15. 4 - 2003: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)[EB/OL]. [日期不详]. <http://ieeestd.org/15/pub/TG4.html>.

[8] 瞿 雷,刘盛德,胡咸斌. Zigbee 技术及应用[M]. 1 版. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.

[9] TUBAISHTAT M, MADRIS S. Sensor networks: an overview

[J]. **IEEE Potentials**,2003,22(2):20-23.

[10] SOHRABI K, POTTIE G J. Performance of a Novel Self-organization Protocol for Wireless Ad Hoc Sensor Networks [C]//Proceedings of the IEEE 50th Vehicular Technology Conference. Amsterdam: [s. n.],1999:1222-1226.

[11] 周武斌,罗大庸. Zigbee 路由协议的研究[J]. 计算机工程与科学,2009,31(6):12-14,29.

[编辑:李 辉]

(上接第 59 页)

表 4 热平衡试验数据

测试项目	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号
电机温升/K	60	61	59	59	49	48
控制器温升/K	37	31	26	32	24	22
作业循环次数	133	132	134	134	141	142

通过表 4 可以看到,无论是在电机温升还是作业时间上矢量控制明显优于转差频率控制。虽然 3 号控制器的温升较低,这是由于控制器做得比较大,即与本身的散热铝板较大有关,可以排除。叉车在实际作业时,会频繁起制动,所以扭矩波动很大,转差频率控制对于扭矩的波动响应不够,降低了整体运行效率。而矢量控制很好地解决了这个问题,对扭矩的波动及时响应,提高了运行效率,降低了电机与控制器的发热。

4 结束语

(1) 叉车的牵引使用工况比较复杂,扭矩波动大,用矢量控制可以获得更高的效率,更加省电,所以矢量控制器更适合于作叉车的牵引控制。

(2) 对于扭矩连续波动很小的工况,转差频率控制与矢量控制效率相差不大。叉车的门架起升系统扭矩连续波动很小,就属于这种工况。转差频率控制的优点是控制器相对简单、成本低,所以可以将转差频率控制器应用于门架起升系统控制,以降低整车的成本。

(3) 由于转差频率控制技术对很多电机参数不能测试,这些参数的设置只能根据电机的性能人工进行录入,而参数的设置是否合理也直接影响运行效率,在实际应用时应充分考虑到这一点,控制器参数一定要与电机匹配好。

(4) 通过热平衡试验的数据可以得出转差控制器的发热量要比矢量控制大得多,所以在选择转差控制器和电机时,要比矢量控制放更大的富余量,因而需要更大尺寸的控制器和电机,或者通过强制散热来降低温升。

参考文献 (References):

[1] BOSE B K. Power Electronics and AC Drives[M]. Prentice-Hall,1986.

[2] YAMAMURA S. AC Motor for High-performance Applications(Analysis and Control)[M]. Newyork Marcel Dekker, 1986.

[3] 朱平平,陈伯时. 转差频率控制的动态改进[J]. 电气自动化,1990(5):10-14.

[4] DEPENBROCK M. Direct self control(DSC) of inverter-fed induction machines[J]. **IEEE Trans. PE.**,1988,3(4):420-429.

[5] BORD D M, NOVOTNY D W. Current control of VSI-PWM inverter[J]. **IEEE Trans. IA.**,1985,21(2):562-570.

[6] 李发海,王 岩. 电机与拖动基础[M]. 北京:清华大学出版社,1994.

[7] 郭庆鼎,王成元. 异步电动机的矢量变换控制原理及应用[M]. 沈阳:辽宁民族出版社,1988.

[8] 孙树勤. 无功补偿的矢量控制[M]. 北京:中国电力出版社,1998.

[9] PLUNKETT A B. Direct flux and torque regulation in a PWM inverter-in-duction motor drive [J]. **IEEE Trans. IA.**,1977(2):139-146.

[10] 机械电子工业部. JB/T3300-92 平衡重式叉车 整机试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,1992.

[编辑:李 辉]