

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.06.017

基于 ZigBee 技术的电梯无线通讯系统研究*

叶 凯, 赵国军*, 汤晨昱

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要:针对传统电梯控制系统中电梯通讯随行电缆线路复杂、故障难排查,并且随着楼层日趋增高、电缆成本高昂的问题,经过对电梯控制系统中通讯需求分析,提出了一种基于 ZigBee 技术的新型电梯无线通讯方案。设计了系统整体通讯方案,确定了 ZigBee 无线通讯组网结构,制定了系统通讯协议;通过编程以及实验平台的搭建,对系统无线通讯可行性、软件通讯协议、无线通讯异常时系统响应情况、紧急信号传递时系统延时、不同天线增益下无线通讯距离进行了实验测试。研究结果表明:相比传统电梯有线通讯技术,该无线通讯系统不仅可以建立稳定的通讯平台,还实现了电梯无随行电缆化,对现有的有线电梯通讯技术具有现实意义。

关键词: 随行电缆; ZigBee; 无线通讯

中图分类号: TH211+.6; TU857; TN92

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2018)06-0632-06

Elevator wireless communication system based on ZigBee technology

YE Kai, ZHAO Guo-jun, TANG Chen-yu

(Key Laboratory of Special Equipment and Advanced Manufacturing Technology,
Ministry of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming the traditional elevator control system by complicated communication cable, difficult to troubleshoot the problem, and the cost of cable is more and more expensive with the increase of the floor, through the analysis of communication demand in elevator control system, a new elevator wireless communication scheme based on ZigBee technology was put forward. The overall communication scheme of the system was designed, the structure of ZigBee wireless communication network was established, and the system communication protocol was formulated. The system wireless communication feasibility, software communication protocol, the response of the system when the wireless communication is abnormal, system delay in emergency signal transmission and wireless communication distance under different antennagain were tested by writing programs and building test platform. The results indicate that relative to traditional elevator cable communication, the wireless communication system can not only establish a stable communication platform, but also achieved no traveling cable in the elevator, there is an important practical significance to current cable elevator communication technology.

Key words: traveling cable; ZigBee; wireless communication

0 引 言

在传统的电梯控制系统中,系统各模块之间的通讯主要采用随行电缆,然而随着使用时间延长,随行电缆线路疲劳易断,并且由于楼层的日趋增高,井道中随行电缆的长度也不断增加,存在着安全隐患。

于此同时,Wi-Fi、蓝牙、ZigBee 等无线通讯技术也

逐渐被应用到电梯控制领域。例如德国奔克公司研发的 BP308 电梯控制系统中包括了基于蓝牙通讯的 WinMos-300 手机监控系统,该系统能通过手机获取和修改电梯参数,同时还能兼容 Wi-Fi 通讯方式。中国移动和沈阳蓝光网络数据技术有限公司共同推出了互联网电梯无线远程监控产品“电梯卫士”,能够将电梯运行、故障、维护数据经过 GPRS 传输到电梯控制管理

收稿日期:2017-11-28

基金项目:浙江省科技计划资助项目(2005C21117)

作者简介:叶 凯(1992-),男,浙江丽水人,硕士研究生,主要从事电梯控制系统方面的研究。E-mail:465991531@qq.com

通信联系人:赵国军,男,教授,硕士生导师。E-mail:cnzgj@163.com

平台^[1]。由此可以看出:目前无线通讯技术主要多应用于电梯监控通讯,尚未被应用于电梯的轿厢通讯中。

因此,本文将提出一套电梯无线通讯系统,将 ZigBee 技术运用到电梯轿厢通讯系统中以实现电梯无随行电缆化。

1 电梯控制系统无线通讯方案设计

本文设计的电梯无线通讯系统主要是针对电梯主控制器与轿厢控制器以及端口与速度控制器之间的通讯。

轿厢控制器主要包括两个模块:安装在轿厢内的轿厢串行板和安装在轿顶检修盒中的轿顶板。轿厢串行板主要负责轿厢内楼层显示、轿厢内呼梯等功能。轿顶板主要负责轿厢照明、风扇控制,同时为轿厢上的各个开关提供接口电路。轿厢控制器采集到上述一系列信号后,将信号转化打包成报文,通过 ZigBee 无线通讯发送给电梯主控制器,主控制器接收到信息后反馈相应控制数据给轿厢控制器,从而进行数据交互。端口与速度控制器的主要功能是负责采集电梯控制系统内中电气信号的输入,并通过串行通讯将采集到的信号发送至电梯主控制器,同时根据从电梯主控制器发送的输出信号控制相应电气输出端口,其中包括变频器多段速信号、行驶方向控制信号,主接触器、抱闸接触器控制信号和紧急电动等信号。

于此同时,该板还要根据电梯主控制器转发的电梯井道数据信号实时地计算出电梯速度值,并将得到的速度值转换成相应电压模拟量输出给变频器从而控

制电梯正常运行。

无随行电缆电梯安装示意图如图 1 所示。

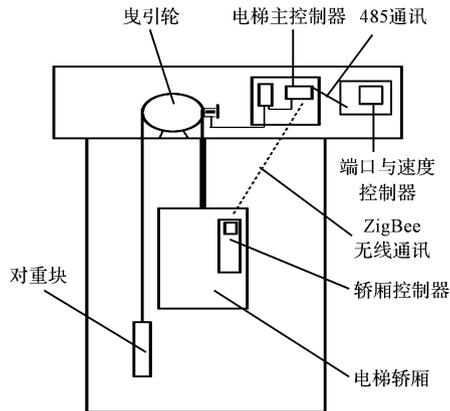


图 1 无随行电缆电梯安装示意图

2 ZigBee 无线通信介绍

2.1 ZigBee 硬件设计

本文采用 ZigBee 无线通讯模块接口,经综合考虑成本、通讯距离等因素,采用浙江瑞瀛科技有限公司 RE3SP 模块,该模块主芯片为 STM32W108^[2],具有良好的 RF 性能,同时该芯片内部还固化有 SimpleMac 协议栈^[3]。

本文还需要对电梯轿厢通讯接口的 ZigBee 芯片和 TJA1050 芯片的 TXD(即主芯片端的 RXD)线路进行合理设计。

ZigBee 通讯接口电路原理图如图 2 所示。

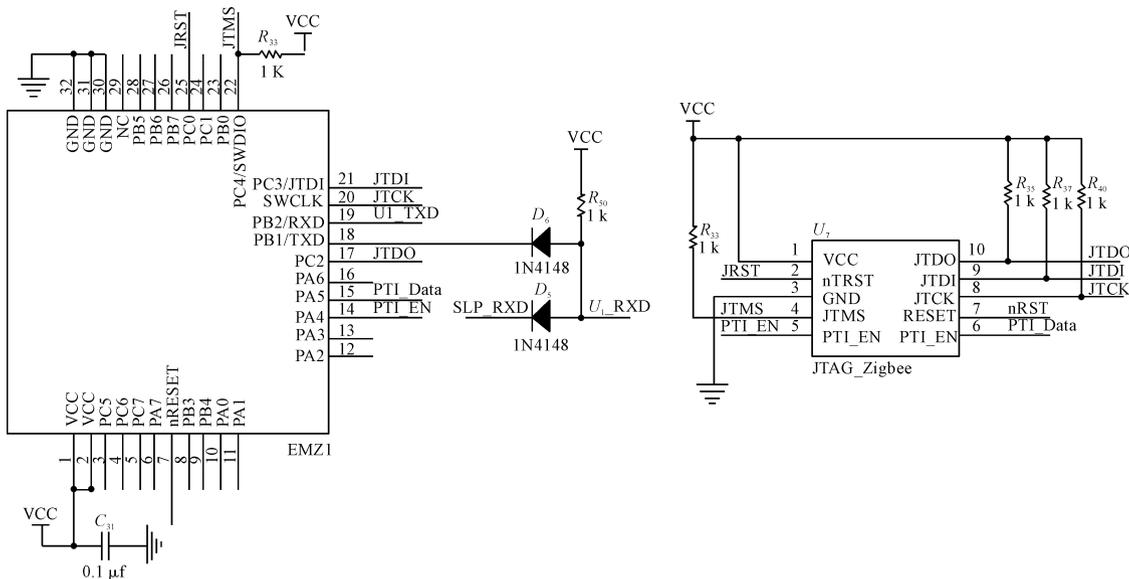


图 2 ZigBee 通讯接口电路原理图

2.2 ZigBee 无线组网通讯实现

依照 IEEE802.15.4 标准定义 ZigBee 网络具有以下两类网络节点^[4-5]:

第一类是全功能设备(FFD)。它不仅充当个人局域网中的协调器,而且与其他设备进行信息交互,同时也可作为普通节点使用。因此,全功能设备可以适合

任何网络拓扑。

第二类是精简功能设备(RFD)。该设备的特点是结构简单,但是携带的资源以及通讯能力有限。它只能和 FFD 设备进行通信,不能充当协调器,并且只适合星型网络拓扑。

在同一物理通信范围内,一个无线局域网的组成需要至少两个设备。ZigBee 网络拓扑结构常用的有两种:星型网络和点对点网络。每个 ZigBee 网络需要至少一个 FFD 设备来充当网络协调器。点对点拓扑网络中 ZigBee 本身就可以充当 PAN 协调器^[6-8],网络中的任意两个邻居节点都可以进行双向通信。星型拓扑网络由一个 PAN 协调器以及若干个 RFD\FFD 设备组成,PAN 协调器必须作为中心节点^[9-11]。该拓扑网络与点对点网络不同的是当网络中的 FFD 设备通过一个唯一的 64 位标识符来成为网络中 PAN 协调器后,ZigBee 网络则组建完成。ZigBee 网络星型拓扑和点对点拓扑结构如图 3 所示。

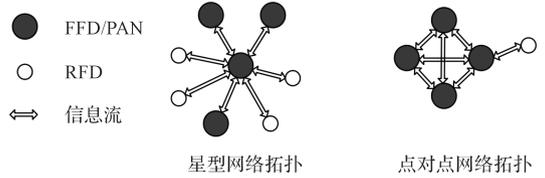


图 3 ZigBee 网络星型拓扑和点对点拓扑结构

为了提高通讯效率,本文采用点对点主从网络拓扑方式。

3 系统通讯软件设计

电梯主控制器和端口与速度控制器的通讯采用有线 RS485 通讯方式,而电梯主控制器与电梯轿厢控制器则采用 ZigBee 无线通讯方式。因此本文设计的系统无线通讯协议能够完成电梯主控制器、端口与速度控制器、电梯轿厢控制器三者之间的通讯。

具体系统无线通讯软件时序图如图 4 所示。

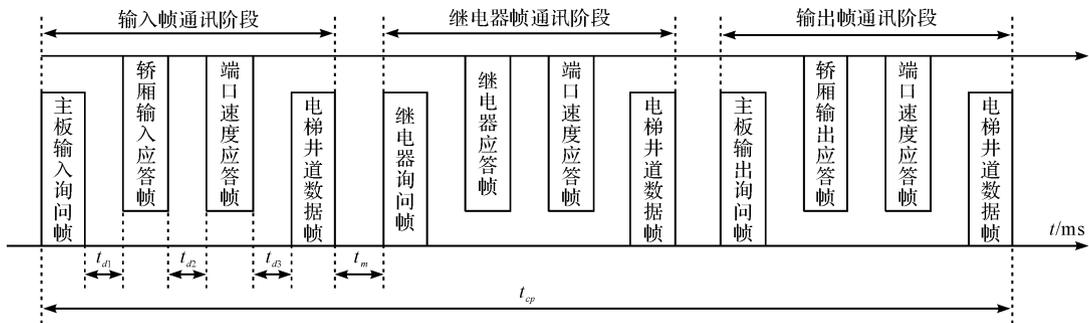


图 4 系统无线通讯软件时序图

在本文电梯无线通讯系统软件通讯协议中,一个完整的通讯周期 t_{cp} 共分为 12 帧。可以根据通讯内容的不同将通讯周期分为 3 个不同通讯阶段,其中分别为输入帧通讯阶段、继电器帧通讯阶段和输出帧通讯阶段。在输入帧通讯阶段,电梯主控制板会定时发送一帧输入询问帧,电梯轿厢控制板和端口与速度控制板在接收到输入询问帧后会按照特定的时序各回复一帧应答帧,用来返回各控制板自身所采集到的输入端口信号;在继电器通讯帧和输出通讯帧阶段,同理电梯主控制板会定时发送一帧询问帧,在接收到相应的询问帧后,电梯轿厢控制板和端口与速度控制板则会对询问帧的内容进行解析,完成对继电器以及其他输出端口的控制并按照特定的时序回复应答帧。另外由于端口与速度控制板需要获取轿厢在井道内实时位置信息,故无线电梯主控制板会在每个通讯阶段最后发送一帧电梯井道数据帧。

在系统各个通讯阶段内,数据帧详细定义如表 1 所示。

表 1 数据帧详细定义表

名称	长度	说明
帧头	1 个字节	固定为 0x7E
帧长度	1 个字节	帧长度等于帧内容的长度加上校验和的长度。长度以字节为单位(即字节数)。
安全回路字节	1 个字节	主板询问帧为安全继电器控制字节;轿厢应答帧为轿厢安全回路状态字节。
特征代码	4 个字节	0x00 0x80 0x01 0x02
帧内容	X 个字节	可以是指令、数据、应答结果等
校验字节	1 个字节	帧长度、安全回路字节、特征代码和帧内容的所有字节的算术累加和,超过 2 字节的进位忽略。
帧尾	1 个字节	固定为 0x18

为满足电梯控制系统实时性需要,要求通讯方案每个通讯周期 t_{cp} 应不大于 50 ms。该系统无线通讯

波特率采用 57 600 Baud,并且每帧的通讯数据量已经固定,因此可以计算得到通讯过程中每帧数据帧通讯所用时间,从而可以得到一个完整通讯帧的通讯周期。为了保证系统通讯的实时性,本研究通过计算得到两帧数据间的通讯间隔 $t_{d1} = t_{d2} = t_{d3} = 2 \text{ ms}$,各个通讯阶段通讯间隔 $t_m = 5 \text{ ms}$ 。

综合考虑通信可靠性等方面原因,该系统无线通讯方案采用通用异步串行的通讯方式,其中电梯主控制器与端口与速度控制器之间的通讯采用 RS485 半双工异步通讯方式进行通讯,电梯主控制器与电梯轿厢控制器之间则采用 ZigBee 方式。

本文无线通讯软件接收中断的流程如图 5 所示。

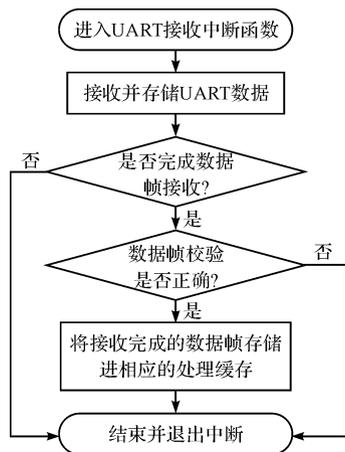


图 5 系统无线通讯软件接收中断流程图

通讯建立后,系统软件接收中断程序首先判断首字节是否为数据帧帧头,在确定数据帧帧头接收完成后,开始接收第 2 个字节即帧数据帧长度字节,根据该字节内容可以知道当前通讯数据帧的总字节数,然后按照通讯帧的长度接收剩余通讯帧数据字节,并且在接收完校验字节后进行数据校验,当校验通过后则认为该帧数据准确无误,最后将根据数据帧中的特征代码将数据帧存储到相应的数据处理缓存中。

4 实验测试

本文搭建的系统无线通讯方案测试平台如图 6 所示。

其中包括无线电梯主控制器、电梯智能轿厢控制器、端口与速度控制器、ZigBee 无线模块,开关电源、示波器等。

4.1 系统无线通讯协议测试

系统无线通讯的协议测试是运用示波器对主控制板上 CAN 通讯收发器的发送端(TXD)和接收端(RXD)进行波形测量。由于 CAN 收发器具有自发自收的功能,所以若通讯正常完整,则在示波器上可以看到主控制器发送的询问帧、井道信息数据帧以及接收到相应轿厢控制器和端口与速度控制器返回的应答帧。

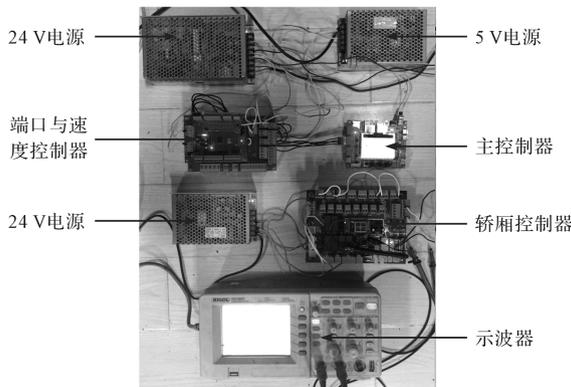


图 6 系统无线通讯测试平台

测试点 1: 电梯主控制板 CAN 通讯收发芯片 TJA1050TXD 引脚。

测试点 2: 电梯主控制板 CAN 通讯收发芯片 TJA1050RXD 引脚。

系统通讯周期波形图从左至右 3 个虚线框内分别为通讯 3 个阶段,如图 7 所示。

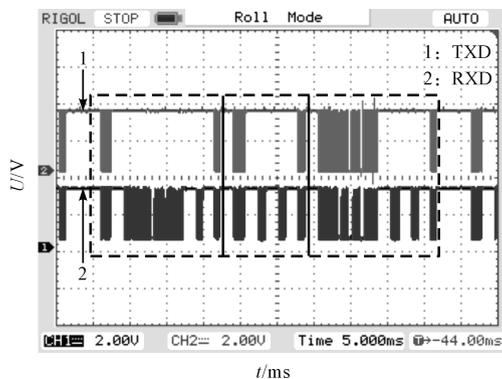


图 7 系统无线通讯串口波形

本文所设计的电梯无线通讯方案的通讯周期可以控制在 50 ms 以内,在一个完整的通讯周期内,针对每个通讯阶段,当电梯主控制器发送一帧询问帧后,轿厢控制器和端口与速度控制器分别会在 2 ms 和 4 ms 左右后返回相应的应答帧,主控制器会在接收完毕两帧应答帧数据并延时 2 ms 左右后,广播一帧井道数据信息帧。另外由图中可以看到:每个通讯阶段的时间间隔均在 2 ms 左右。通过实验测试结果可知:系统无线通讯过程与前文所制定的通讯协议相符,可以满足实时性要求。

4.2 系统无线通讯异常测试

本文对通讯出现异常的情况进行测试。采用直接断开电梯主控制器和轿厢控制器之间的通讯信号,即断开轿厢控制器端 ZigBee 模块供电电源来模拟通讯异常,观察端口与速度控制板上抱闸继电器响应情况。

测试点 1: 端口与速度控制器抱闸继电器控制端引脚。

测试点 2: 电梯主控制板 CAN 通讯收发芯片

TJA1050 接收引脚。

无线通讯异常时测试波形图如图 8 所示。

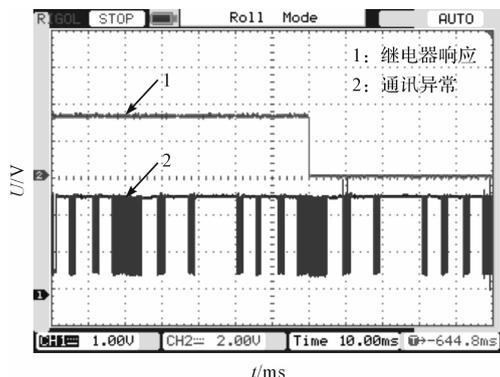


图 8 无线通讯异常时测试波形图

系统无线通讯波形图中缺少来自轿厢控制器的应答帧,因此当电梯主控制器在连续 3 个的通讯周期内无法检测到正常的通讯数据帧时,则认为通讯异常,输出信号停止电梯的运行。

4.3 系统紧急响应延时测试

具体测试方式为:在系统建立正常通讯一段时间后,按下轿顶急停开关按钮,轿厢控制器在检测到轿顶急停信号后将分别通过无线通讯方式告知电梯主控制器,电梯主控制器接收到急停信号后发送停梯信号到端口与速度控制板,由端口与速度控制器驱动负责抱闸接触器的继电器来控制电梯的运行。

测试点 1:端口与速度控制器上抱闸继电器控制端引脚。

测试点 2:轿厢控制器急停开关按钮输入端引脚。

无线通讯下继电器的响应时间波形分别如图 9 所示。

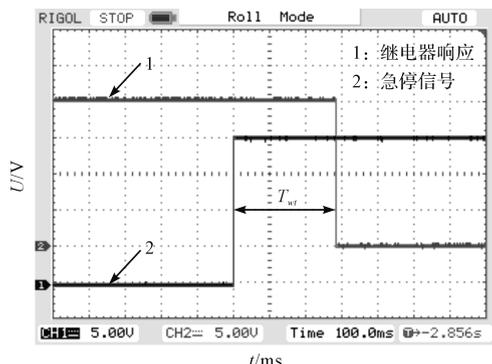


图 9 无线通讯响应时间波形图

可以看到:无线通讯方式对急停信号的响应时间 $T_{wr} \approx 280$ ms,但是由于人为操作按钮的时间一般需要 200 ms ~ 300 ms,故无线通讯方式也能满足紧急情况下响应延时要求。

4.4 系统无线通讯距离测试

笔者对系统 ZigBee 通讯距离进行测试。本文选取同样空旷操场用来模拟井道进行通讯距离测试,示

意图如图 10 所示。

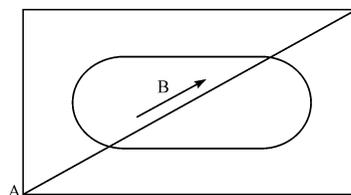


图 10 无线通讯距离测试示意图

图中,点 A 代表电梯主控制板所在位置,由测试人员手持轿厢控制板 B 沿箭头指示方向移动,实际测试距离按每步数 0.5 m 进行计算。

具体测试方法:由测试人员甲将电梯主控制板放置在点 A,并且驻点观察主板液晶显示器内容。由测试人员乙分别手持带有 3 种不同天线增益的 ZigBee 无线轿厢控制板沿箭头指示方向缓慢移动,并实时观察轿厢控制板上无线通讯指示灯变化。若通讯正常,则甲可以观察到主控制板显示“no entry”;若通讯异常,则显示“no CSBE-connection”。同样的,当电梯轿厢板接收到主控板发送的信息时指示灯亮,当回复应答数据帧时灯灭。若通讯正常,则测试人员乙可以观察通讯指示灯均匀闪烁,若观察到通讯指示灯闪烁不均匀、常亮或常灭,则认为通讯故障。因此,当系统检测到通讯完全断开时,此时 AB 之间的距离即为该增益下最远通讯距离。

该系统在 3 种不同天线增益下 ZigBee 无线模块间的最远通讯距离如表 2 所示。

表 2 不同天线增益下通讯距离

A 板天线增益	B 板天线增益	最远通信距离/m
0dBi 棒状天线	0dBi 棒状天线	30
0dBi 棒状天线	5dBi 棒状天线	66
0dBi 棒状天线	14dBi 棒状天线	160

由表 2 可知:当本文所设计电梯主控制器和轿厢控制器 ZigBee 模块携带 14dBi 平板天线增益时,其实际最远通讯距离可达 160 m。若目前国内建筑按照单层高度为 3 m 计算,则该系统可以满足最高约 50 楼层建筑物电梯无线通讯,因此,该系统无线通讯方案可以达到一般楼层里对电梯通讯距离要求。

5 结束语

本文提出了一种电梯无线通讯方案,并通过搭建实验平台对系统可行性进行了实验测试。研究结果表明:该系统能够满足电梯控制系统的通讯实时性、稳定性、通讯距离等要求,并且能对无线通讯故障和紧急信号传递及时响应。

另外,由于现代化的电梯大楼里可能会存在 Wifi 覆盖,而 ZigBee 同样作为无线通讯,两者都主要工作在 2.4 GHz 频段,可能会有相互干扰的问题,本文建议

从以下两个方面考虑来解决:动态信道的分配和功率的控制^[12]。动态信道分配即在设备工作时,首先对 ISM 频段进行扫描,判断选取最佳的传输信道,避免两者占用相同信道;功率控制即考虑适当降低无线系统发射功率来削弱信号间的相互干扰,以此来提高系统的抗干扰能力。

参考文献 (References):

- [1] 李毅. 基于无线通讯网络的远程电梯监控系统[C]. 第十二届中国科协年会论文集,福州:福州出版社,2010.
- [2] STMicroelectronics group of companies. STM32W108 Wireless system-on-chip Datasheet Revision2. 1[M]. Geneva: STMicroelectronics group of companies,2000.
- [3] 浙江瑞瀛网络科技有限公司. REXBEE 产品手册[M]. 杭州:浙江瑞瀛网络科技有限公司,2011.
- [4] 邱铁. STM32W108 嵌入式无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2014.
- [5] 沈建华,郝立平. STM32W 无线射频 ZigBee 单片机原理与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.

- [6] YAO Y K, WANG G. Efficient distributed address assignment algorithm based on topology maintenance in Zigbee networks[J]. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*,2013,20(3):53-59.
- [7] FRANCESCA C, ANNA A. Cross-layer network formation for energy-efficient IEEE 802. 1. 5. 4/ZigBee wireless sensor networks[J]. *Ad Hoc Networks*,2013,11(2):672-686.
- [8] HYUNJUE K, CHUNG J M. Secured communication protocol for internetworking ZigBee cluster networks[J]. *Computer Communications*,2009,32(13):1531-1540.
- [9] 张雪坤,陈金鹰,季翔宇. ZigBee 技术在传感网中的应用研究[J]. *通信与信息技术*,2010(2):48-50.
- [10] 宁炳武. Zigbee 网络组网研究与实现[D]. 大连:大连理工大学电子与信息工程学院,2007.
- [11] 杨鹏. 基于 ZigBee 的油田监控系统无线组网技术应用研究[D]. 西安:西安石油大学计算机学院,2012.
- [12] 姜伟,朱凯,刘童. 浅谈 ZigBee 和 Wi-Fi 的共存和干扰[J]. *科技视界*,2013(16):43-43.

[编辑:张豪]

本文引用格式:

叶凯,赵国军,汤晨昱. 基于 ZigBee 技术的电梯无线通讯系统研究[J]. *机电工程*,2018,35(6):632-637.

YE Kai, ZHAO Guo-jun, TANG Chen-yu. Elevator wireless communication system based on ZigBee technology[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2018,35(6):632-637.

《机电工程》杂志;<http://www.meem.com.cn>

(上接第 585 页)

(2) 对于回气管道。 $[\sigma]_j = 245 \text{ MPa}$; $[\sigma]'_j = 208.6 \text{ MPa}$;将已知条件代入式(1),得到许用应力为 358.4 MPa。计算结果云图如图 6(b)所示,最大等效应力为 44.0 MPa,小于许用应力,故二次应力校核合格。

4 结束语

针对燃气轮机冷却管道在高温高压工作环境下的结构强度失效问题,本文对某型 E 级燃气轮机冷却管道进行了应力计算及强度校核。通过上述的计算与分析,得到以下结论:

(1) 可采用有限元软件 ANSYS 中不同的单元包括 PIPE16、PIPE18、Beam188 及 Combin14 来模拟管道、弹簧和支架结构。采用合理的方法简化了支吊架结构及抽/回气段管道的边界条件,计算了管道在安装工况和运行工况下的应力水平;

(2) 参考国标 GB/T 20801-2006,对管道进行一次应力校核和二次应力校核,校核通过,说明管道及支吊架设计合理;

(3) 本文采用的建模、简化以及有限元分析方法具有一定的通用性,适用于同等级燃气轮机冷却管道的强度分析。

参考文献 (References):

- [1] 清华大学热能工程系动力机械与工程研究所,深圳南山热电股份有限公司. 燃气轮机与燃气-蒸汽联合循环装置[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [2] 韩介勤桑地普·杜达,斯瑞纳斯·艾卡德. 燃气轮机传热和冷却技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,2004.
- [3] 宋思远,杨锐. M251S 型燃气轮机工程计算及经济性分析[J]. *机电工程*,2009,26(8):9-12.
- [4] 安市亚太. ANSYS User's Manual 15. 0[Z]. 安市亚太,2014.
- [5] LISEGA. LISEGA 标准支吊架[Z]. LISEGA,2010.
- [6] 孙义冈,阎占良. 小汽轮管道变形原因的有限元分析[J]. *发电设备*,2006,20(1):17-21.
- [7] 宋尚尚. 压力管道设计及工程实例[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
- [8] 叶官清. 水射流清洗机压力管道孔径选型的优化[J]. *液压气动与密封*,2016(12):39-41.
- [9] GB/T 20801-2006. 压力管道规范-工业管道[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [10] 中国航空材料手册编辑委员会. 中国航空材料手册[M]. 北京:中国标准出版社,1988.

[编辑:张豪]