

# 基于 nRF2401 的鼓式制动器温度监测系统 系统设计

杨鹏飞,付锐,王畅

长安大学汽车学院,西安 710064

**摘要** 针对鼓式制动器温度测量中存在的难点,设计了一种基于无线数据传输的制动鼓温度测量系统。系统分为温度测量发射模块与温度接收存储模块,温度测量发射模块安装在制动鼓上随车轮一起转动,温度接收存储模块安装于驾驶室内。温度测量发射模块由温度传感器、MAX6675、单片机及 nRF2401 组成,温度接收存储模块由单片机、nRF2401、MAX232 串口芯片和上位机组成。MAX6675 采集到的温度数据经单片机计算处理之后通过 nRF2401 无线发送,温度接收存储模块接收无线数据包,对数据进行校核后将温度值发送到数据采集上位机。数据采集计算机将接收到的温度数据实时显示并在计算机中保存。应用表明,系统具有体积小、重量轻、抗干扰强的特点,满足鼓式制动器温度测量的需求。

**关键词** 鼓式制动器;温度;无线通信;nRF2401

**中图分类号** U467.41

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)18-0084-05

## Design of Temperature Monitoring System for Drum Brake Based on nRF2401

YANG Pengfei, FU Rui, WANG Chang

School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China

**Abstract** In view of the difficulty of temperature measurement for drum brake, a drum brake temperature measurement system based on wireless data transmission was designed. It consists of two modules: the temperature data acquisition and transmission module and the temperature data receiving and storage module. The temperature data acquisition and transmission module is installed in the brake drum and rotates with the drum brake. The temperature data receiving and storage module is installed in the driver's cab. The temperature data acquisition and transmission module consists of temperature sensors, MAX6675, a singlechip and nRF2401. The temperature data receiving and storage module consists of a singlechip, nRF2401, MAX232 serial communication chip and the host computer. The singlechip treats the temperature data collected by MAX6675 and transmits the temperature data in the form of wireless communication packets using nRF2401. The temperature data receiving and storage module receives the wireless packets, checks their validity, and transmits them to the host computer, where they are displayed and saved. Its applications indicate that the system enjoys features of small size, light weight and strong anti-jamming ability, and can meet the requirement of temperature measurements for drum brake.

**Keywords** drum brake; temperature; wireless communication; nRF2401

### 0 引言

目前,中国使用的货车及其他大中型车辆普遍采用鼓式制动器进行制动,中国山区公路里程长、坡度大,连续长大下坡路段多,使用鼓式制动器的车辆行驶在这些路段或者在紧

急制动情况下会导致制动鼓温度过高,出现制动效能热衰退的现象<sup>[1-3]</sup>。统计数据表明,2007年中国由于制动失效或制动不良而引发的事故12376起,造成5220人死亡,14676人受伤<sup>[4]</sup>。研究表明,制动鼓温度过高是造成鼓式制动器制动失效

收稿日期:2010-04-07;修回日期:2010-05-20

基金项目:国家道路交通安全科技行动计划项目(2009BAG13A05)

作者简介:杨鹏飞,博士研究生,研究方向为交通安全,电子信箱:75056724@qq.com;付锐(通信作者),教授,研究方向为道路交通安全,电子信箱:furui@chd.edu.cn

的主要原因,在针对鼓式制动器的研究中需要得到车辆行驶过程中制动鼓的温度变化情况;另一方面,在行车过程中,也需要驾驶员实时了解制动鼓的温度值以保证行车安全。

制动鼓随车轮一起转动,在车辆实际运行过程中对制动鼓进行温度测量十分困难。目前一般采用两种方法对制动鼓温度进行间接测量:①将温度传感器安装在制动蹄片上,用制动蹄片的温度值来反应制动鼓的温度值;②采用非接触式红外温度传感器对制动鼓外表面进行温度测量。对于第一种方法,由于直接测量的对象是与制动鼓发生摩擦作用的制动蹄,而制动蹄与制动鼓的温度值和温度变化趋势存在一定的差异,因而该方法所测量的数据不能完全真实地反应制动鼓的温度变化规律。第二种方法受到鼓式制动器结构的限制,通常用于将制动鼓拆卸后在试验台架上试验,不适合在实际道路试验中采用。

由制动鼓的结构特点可知,制动鼓内表面的温度值是真实反应制动鼓工作情况的参数,但目前还没有有效的测试系统能够在实际道路试验中对制动鼓内表面温度进行测量。

## 1 系统组成和硬件设计

### 1.1 制动鼓温度监测系统组成

制动鼓温度监测系统主要由温度传感器、温度信号处理模块、无线收发模块、数据存储模块组成。由于制动鼓与车轮一起高速旋转且与车辆其他部件相对独立,因此不能采用有线传输方式进行数据传输。系统中将整个测试系统分为两个模块,温度采集发射模块和温度接收存储模块,两个模块之间相互独立且通过无线数据传输方式连接。图1为温度采集发射模块与温度接收存储模块的系统示意图。

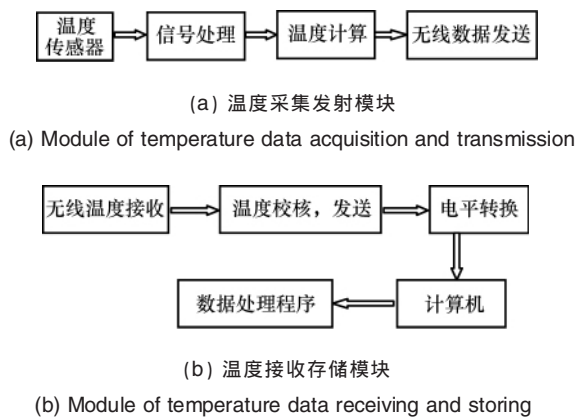


图1 系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the system

### 1.2 系统硬件设计

系统硬件设计的重点是温度采集发射模块,该模块安装在车轮轮辋上随车轮一起高速旋转。轮胎中轮辋部分结构紧凑,可供安装温度采集发射模块的空间狭窄,另外在车轮上安装温度测量发射模块会对车轮的动平衡造成影响,因此,

系统中所设计的温度采集发射模块要体积小、质量轻,满足在车轮上安装使用的要求。对于动平衡影响,可以采用在一个车轮上对称安装两个模块,对制动鼓的两个点同时进行测量的方法解决。除了体积和质量方面的要求之外,系统中所设计的制动鼓温度采集发射模块还应该具有良好的抗干扰性和持续工作稳定性,这是因为车辆在行驶过程中发动机的运转,各种车载电器设备的工作都会对周围空间产生电磁干扰,对系统的正常工作,特别是对无线数据收发过程会造成很大的干扰。因此,系统硬件设计时要充分考虑到以上特殊要求,提高系统的可靠性。

#### 1.2.1 K型热电偶

制动鼓在工作过程中的温度变化范围为环境温度到300℃以上,温度变化范围大,而且变化速度快,因此,系统所选用的温度传感器应该具有广泛的测温范围和快速响应性能。本文选用的温度传感器为K型热电偶,该型热电偶的测温范围为-200~1300℃,满足车辆运行过程中制动鼓温度变化范围测量需求。此外,K型热电偶具有线性度好、热电动势较大、灵敏度高、稳定性较好的优点,满足制动鼓温度测量系统的测量精度要求。

#### 1.2.2 MAX6675

热电偶测量温度输出的信号为mV级的电压信号。为了得到准确的温度值,需要对热电偶的输入信号进行电压放大、温度补偿和AD转换3个处理过程。通常情况下,电压放大电路、温度补偿电路、AD转换电路3部分电路所组成的电路板体积大,采用元器件多,不能满足制动鼓温度测量系统所要求的体积小、质量轻和抗干扰性强的要求。为了满足上述要求,同时能够对K型热电偶的输出信号进行准确并快速地进行处理,系统中选用MAX6675芯片处理热电偶的输出信号。

MAX6675是美国Maxim公司生产的K型热电偶温度测量转换专用芯片,其接受K型热电偶的输出信号,在芯片内部对输出信号进行电压放大、去噪、温度补偿、AD转换之后得到12位二进制的温度数据。MAX6675温度测量范围为0~1023.75℃,测量精度为0.25℃<sup>[5]</sup>,满足制动鼓温度测量系统的性能需求;MAX6675采用8引脚SO-8封装,芯片的体积小、质量非常轻,适合在对元器件体积与质量有严格要求的制动鼓温度测量系统中使用。图2为MAX6675的引脚示意图。

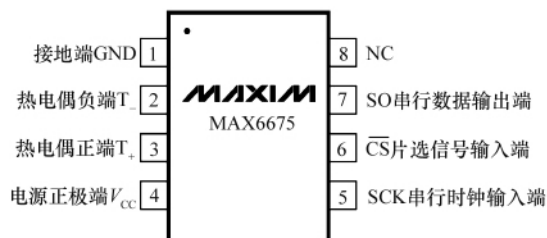


图2 MAX6675 引脚示意图

Fig. 2 Schematic diagram of pins of MAX6675

### 1.2.3 AT89C2051

为了符合制动鼓温度测量系统对元器件的体积、质量要求,在满足系统需求情况下,系统应选用体积小、质量轻的单片机。温度测量发射模块采用 AT89C2051 单片机作为系统采集温度、计算温度值、发送温度值的主控芯片,选用其作为主控芯片的主要原因是该型号单片机采用 20 引脚封装形式,而 51 系列单片机通常采用 40 引脚封装<sup>[6]</sup>。AT89C2051 单片机采用 20 引脚封装,具有 15 个复用 I/O 端口,2 个 16 位计数/定时器,1 个可编程串口。制动鼓温度测量发射模块中,MAX6675 芯片以及无线发送模块与 AT89C2051 之间通过 I/O 口连接,占用不到 10 个 I/O 口。因此,AT89C2051 完全满足系统需求,同时具有体积小,质量轻,抗干扰性强的优点,适合在制动鼓温度测量发射模块中采用。

### 1.2.4 nRF2401

系统设计时,将系统分为温度测量发射模块和温度接收存储模块。其中温度测量采集发射模块安装在轮辋上随车轮一起转动,而温度接收存储模块安装在驾驶室内,两个模块

之间采用无线数据传输方式连接。系统中通过无线数据传输方式传输温度值,系统测量速度不高,5 次/s 的速度已完全满足系统需求。因此,无线数据传输部分主要考虑系统的抗干扰性和传输稳定性。

系统中采用 nRF2401 无线收发芯片进行温度数据传输。nRF2401 是 Nordic 公司生产的 2.4GHz 无线数传芯片,该芯片采用复用双工技术,由控制程序决定芯片处于发射功能或接收功能。nRF2401 内部具有两个通信频道,通信频率分别为 433、434MHz,处于公用频道范围内,使用时无需申请许可证。nRF2401 将频率合成器、功率放大器、GFSK 滤波模块等外围功能部件集成到芯片内部,简化了系统结构,减少了无线收发系统的体积与质量,符合温度测量发射模块的需求。本系统中对 nRF2401 采用内置天线形式进行数据收发,进一步降低了系统的体积与质量。nRF2401 芯片采用的 FSK 调制方式使其具有很好的抗干扰能力,200m 内几乎不会受到干扰。工作时频率稳定,功耗低,空闲模式时电流仅为 1 $\mu$ A,适合于在制动鼓上安装使用。nRF2401 的应用原理如图 3 所示<sup>[7]</sup>。

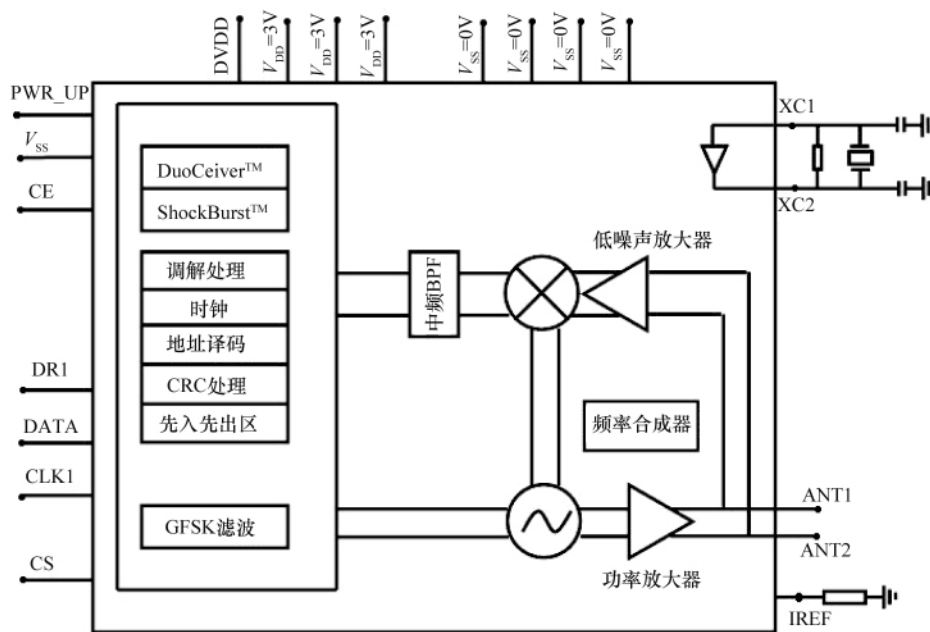


图 3 nRF2401 的应用原理

Fig. 3 Principle diagram theory of nRF2401

### 1.3 系统电路设计

温度测量发射模块和接收存储模块均采用 AT89C2051 单片机作为模块中的处理器,nRF2401 作为无线收发芯片,其中 nRF2401 由控制程序决定其进行数据发射或接收。发射和接收模式中,nRF2401 与 AT89C2051 单片机之间的连接电路是相同的。因此,温度测量发射模块与接收存储模块的基本电路是一致的,系统电路设计时只介绍温度测量发射模块。图 4 为温度测量发射模块的电路图。

图 4 中,K 型热电偶的信号输出端接入 MAX6675 的 T<sub>1</sub>

引脚,另一端接地。MAX6675 与 AT89C2051 单片机之间采用三线制串行通信方式进行连接,具体为 MAX6675 的 SCK、 $\overline{CS}$ -6、SO-7 引脚分别与 AT89C2051 单片机的 P3.4、P3.1、P3.0 引脚连接。无线收发芯片 nRF2401 与 AT89C2051 单片机之间采用三线制串行通信,其中 nRF2401 的 CS、CLK、DATA1 引脚分别与 AT89C2051 单片机的 P1.1、P3.7、P3.3 引脚连接。除三线制数据通信外,nRF2401 与 AT89C2051 单片机之间还通过 PWR\_UP、CE、DR1 引脚连接,用于单片机对 nRF2401 芯片进行配置及相关的控制指令传输。看门狗芯片 MAX813 的 6

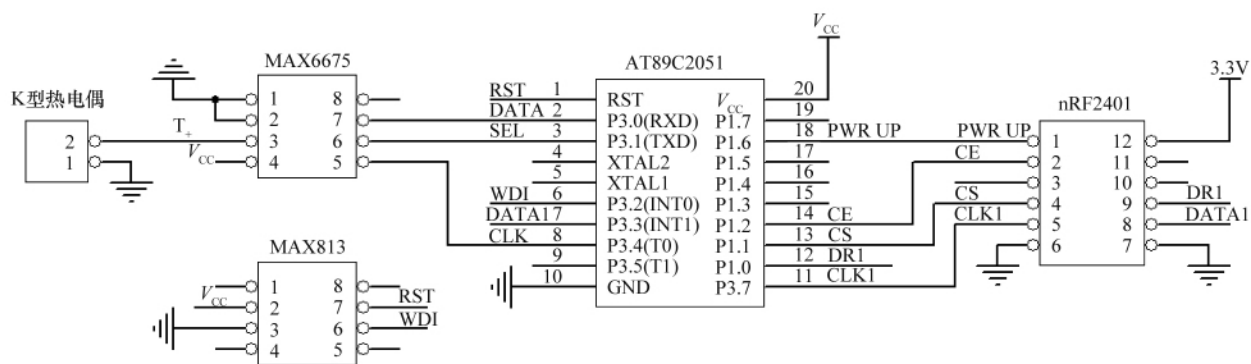


图 4 温度测量发射模块电路图

Fig. 4 Circuit diagram of temperature data acquisition and transmission module

引脚与单片机的 P3.2 引脚连接,复位信号输出引脚 7 与单片机的 RST 引脚连接,用于非正常情况下对单片机进行复位。

温度测量发射模块安装在车轮上随车轮一起转动,因此该模块具备体积小、质量轻的基本要求,系统电路设计时充分考虑这一要求。系统中的元器件选用贴片封装(PCB),能减少系统体积及质量。PCB 布线步骤过程中,在保证系统正常工作的情况下尽量使用短的导线并使用双层布线方法减少 PCB 电路板的体积,PCB 电路板制作完成之后,大小仅约 4cm×2cm,实现了减少系统体积和质量的要求。

温度接收存储模块中,使用 nRF2401 接收发射模块的温度数据,接收模块中所采用的单片机与发射模块一致,nRF2401 与 AT89C2051 之间的电路连接与发射模块完全一致。接收模块中单片机接收到温度数据后,对其进行校验,校验之后将其通过 MAX232 向数据采集计算机发送。

## 2 软件程序设计

### 2.1 温度采集发送程序

温度采集发送程序主要完成 MAX6675 及 nRF2401 的初始化、温度采集、温度发送。程序运行过程中,单片机通过 SPI 串行方式读取 MAX6675 输出的 12 位二进制温度值数据,然后转换成精度为 1℃的十进制温度值。转换完成之后单片机对温度值进行数据打包,在温度值前后分别添加 CRC 校验码和地址校验码,然后将由 CRC 校验码、温度值、地址校验码组成的数据包发送到 nRF2401,由 nRF2401 以无线数据包的形式向周围空间发送,其中 MAX6675 读取温度的主要实现源代码如下:

```

unsigned int read_max6675() {
    SPI_SEL=0;           //MAX6675 片选信号
    delay(10);          //延时
    for(i=0; i<16; i++) {
        SPI_CLK=1;      //模拟串行时钟信号
        delay(5);
    }
}

```

```

if(SPI_DATA)           //判读二进制位值
    value=value*2+1;
else
    value=value*2;
SPI_CLK=0;             //模拟串行时钟信号
delay(5);
}
SPI_SEL=1;             //关闭 MAX6675 片选信号
delay(10);
return value;         //返回温度值
}

```

### 2.2 温度接收程序

温度接收程序完成对 nRF2401 芯片的初始化、温度接收、数据校验以及向上位机发送温度数据。温度接收模块启动后单片机首先对 nRF2401 进行初始化,使其处于接收模式。初始化完成后,nRF2401 对周围空间中的数据包进行监测,监测到数据包之后将其传送到 AT89C2051 的单片机。单片机收到 nRF2401 传送的数据包后,对数据包进行双重数据校验,首先进行数据包地址校验。地址校验有两种作用,一是判断所接收的数据包是不是温度采集发送模块所发射的,二是根据不同地址判断该数据包来自哪个温度采集发射模块,从而判断该温度值是属于哪个车轮。制动鼓温度监测系统中,由于车辆通常有 4 个或 4 个以上的车轮,因此系统中采用多个温度采集发射模块,使用一个温度接收存储模块统一接收多个温度采集发射模块所采集发射的温度值。对每个温度采集发射模块赋予不同的地址,在数据校验的时候根据不同地址判断该数据包来自哪个温度采集发射模块。地址校验完成之后进行 CRC 校验,CRC 校验的作用是判断数据在无线传输过程中是否出现数据错误。无线数据包在空间传输时容易受到周围空间电磁场的干扰,特别容易受到车辆运行所带来的电磁干扰,使得接收到数据包中的数据与发送数据包中的数据不一致,CRC 校验码的作用是判断有没有出现数据

不一致的情况。经 CRC 校验完成得到的数据是制动鼓温度的真实值,单片机得到该温度值后启动串口数据发送程序将温度数据通过 MAX232 发送到上位机中。接收程序的流程图如图 5 所示。

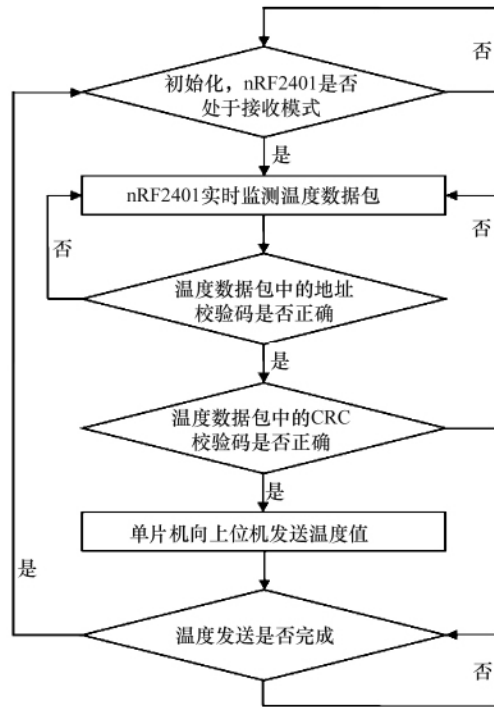


图 5 温度接收程序流程图

Fig. 5 Flow chart of temperature data receiving program

### 2.3 上位机采集软件

系统在运行过程中,上位机实时接收来自温度接收模块中单片机通过 MAX232 发出的温度数据,上位机接收到温度数据后将温度数据实时显示,同时将温度数据保存到计算机中,供后续分析研究使用。上位机采集软件采用 Visual C++ .NET 编写,使用串口通信类 Cserial 采集上位机中串口接收到的数据。采集系统启动时,温度采集软件自动在上位机中创建 txt 文本文件,温度接收显示的过程中,软件将接收到温度数据按照时间序列保存到文本文件中供后续分析研究使用,其中串口通信类 Cserial 的主要实现程序如下:

```

m_fp=fopen("c:\\temperature.txt", "wb");
//在 C 盘根目录建立温度数据文件
m_serial.Open(1, 19200);
//打开串口通道 1,波特率设置为 19200
SetTimer(0, 0, NULL); //设定采集定时器
r=m_serial.ReadData(rec, 1024); //接收温度数据
for(int i=0; i<r; i++)
fprintf(m_fp, "%c", rec[i]); //将温度数据字符组成字符串
if(r>0)
SetDlgItemText(IDC_EDIT1, CString(rec, strlen(rec)));
    
```

//显示保存温度值

### 3 结论

1) 在分析制动鼓温度测量系统需求的基础上,设计了一种适合在车轮上安装使用的制动鼓温度测量系统。

2) 将系统分为温度测量发射和温度接收存储两个独立的模块。温度测量发射模块安装在轮辋上随车轮一起转动,与温度接收存储模块通过 2.4GHz 无线数传方式发送温度值,实现了对鼓式制动器进行实车实际道路温度测量。

3) 与其他方案相比,该系统具有体积小、质量轻、抗干扰强等优点。

4) 一个温度接收模块可以同时接收多个温度发射模块的温度数据包,方便对被测车辆的多个车轮同时进行制动鼓温度测量。

### 参考文献 (References)

- [1] 郭应时, 付锐, 杨鹏飞, 等. 鼓式制动器瞬态温度场数值模拟计算[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(3): 87-90.  
Guo Yingshi, Fu Rui, Yang Pengfei, et al. *Journal of Chang'an University: Natural Science Edition*, 2006, 26(3): 87-90.
- [2] 郭应时, 袁伟, 付锐. 实验法求解汽车鼓式制动器对流换热系数[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(4): 92-94.  
Guo Yingshi, Yuan Wei, Fu Rui. *Journal of Chang'an University: Natural Science Edition*, 2006, 26(4): 92-94.
- [3] 余强, 陈荫三, 马建, 等. 发动机制动、排气制动与缓速器联合作用时的非线性控制系统的研究[J]. 中国公路学报, 2005, 18(1): 117-121.  
Yu Qiang, Chen Yinsan, Ma Jian, et al. *China Journal of Highway and Transport*, 2005, 18(1): 117-121.
- [4] 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报 [R]. 北京: 公安部交通管理局, 2008.  
Traffic Administration Bureau of Chinese Public Security Ministry. *Statistics annals of road traffic of PRC*[R]. Beijing: Traffic Administration Bureau of Chinese Public Security Ministry, 2008.
- [5] 李平, 李亚荣. 基于 MAX6675 的温度控制器设计[J]. 仪表技术与传感器, 2004(7): 29-30.  
Li Ping, Li Yarong. *Instrument Technique and Sensor*, 2004(7): 29-30.
- [6] 王文虎, 任艳惠, 赵波. 基于 nRF2401 的汽车轮胎温度监测装置设计[J]. 电子测试, 2008(4): 56-60.  
Wang Wenhui, Ren Yanhui, Zhao Bo. *Electronic Test*, 2008(4): 56-60.
- [7] Nordic Semiconduct. nRF2401 Datasheet [R/OL]. <http://www.sparkfun.com/datasheets/IC/nRF2401A.pdf>.

(责任编辑 岳臣)

### 本期好玩的数学——豹子号答案

423576÷1908=222

593406÷1782=333

703296÷1584=444

759240÷1368=555