

DS18B20 温度传感器在地下盐湖遥测系统中的应用与改进

房毅卓¹, 陈亮²

(1. 广东机电职业技术学院, 广东 广州 510515; 2. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008)

摘 要:介绍了 DS18B20 温度传感器在地下盐湖遥测系统中实现远距离温度检测应用的关键编程、传感器铠装壳体的封装工艺 2 个方面的改进与实施方法, 实现了 DS18B20 在地下盐湖遥测系统中卤水温度参数的长距离、低成本、高质量的数据采集。

关键词:温度传感器; 时序; 编程; 封装工艺

中图分类号: P641.464

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2022)03-0107-05

干盐湖和沙下湖是盐湖存在的主要形态。由于盐湖普遍地处环境恶劣的边远地区, 因此盐湖遥测是盐湖监测和研究的重要手段之一, 而卤水温度、水位、密度是当前盐湖遥测系统的主要参数。其中卤水温度、密度也是盐湖化工生产中盐田工艺管理关心的核心数据。干盐湖和沙下湖的地下卤水一般在地下几米—几十米范围, 这对遥测系统中从传感器到数据采集系统的中间阶段——数据传输有了较高要求。

笔者自 20 世纪 90 年代参加国家“八·五”相关盐湖遥测项目至今, 一直致力于盐湖遥测系统中相关传感器选型与改进, 以及基于不同网络数据传输系统的研究。DS18B20 是美国 DALLAS 半导体公司生产的一种改进型智能温度传感器, 因其体积小、测温精度高、价格便宜、采用单总线(即: 1-Wire)传输等优点, 在工农业生产中的常温环境下的使用非常普遍。因此, 非常适合作为在盐湖遥测系统中盐湖卤水温度测量的传感器。

将 DS18B20 温度传感器用在传感器与数据采集站点距离较近的站点系统时, 具有数据传输效率高、线材成本低等显著优势。但实际应用中也发现, 使用当前网络公开的程序, 在地下卤水较深的地下盐湖遥测系统中(传感器和数据采集站点距离远远超过 3 米), 测量数据传输就会频繁

出现错误。张元良等(2017)研究发现 DS18B20 总线线材采用普通信号电缆的传输距离超过 5m 时, 读取的测温数据将会发生错误, 若将总线电缆改为屏蔽双绞线时, 通信距离可达到 500 m^[1], 但其文献没有提供相应的核心通信程序。另外, 由于 DS18B20 温度传感器长期浸泡在卤水环境中, 对在空气或短期液体中使用的普通传感器铠装壳体的封装工艺也存在缺陷。经过多年的探索, 我们对采用 DS18B20 温度传感器的数据采集系统在关键编程、电路参数选取、传感器铠装壳体的封装工艺 3 个方面进行了改进, 系统数据传输距离超过 100 米, 远远超出了我们预期的距离。通过长期的不断改进, 我们还有效解决了因传感器铠装保护工艺不良、导致卤水渗漏进入铠装腔体造成的 DS18B20 温度传感器损坏的难题。该成果应用在团队承担的国家自然科学基金项目中, 在深达 20 米的地下盐湖自动观察站点, 已连续使用 1 年多, 检测到的温度数据非常稳定。

1 DS18B20 温度传感的选择

1.1 DS18B20 温度传感器的选择

DS18B20 采用的是 Maxim 公司专有的 1-

收稿日期: 2021-08-12; 修回日期: 2021-09-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671521); 国家自然科学基金项目(U20A2088); 青海省科技基础条件平台项目(2020-ZJ-T03)

作者简介: 房毅卓(1965-), 男, 教授, 主要研究方向自动控制技术。Email: 592897768@qq.com。

write 总线协议的数字式温度传感器集成电路^[2]。由于其仅需要一个控制信号就可以和数据采集系统进行通信,因此所采用的 TO-92 封装的集成电路仅有 3 个引脚,应用电路结构非常简单,加之价格便宜等优点,在常温范围的温度数据检测系统中得到普遍应用。由于介绍 DS18B20 温度传感器的文献非常多,本文不再对其特点进行赘述。

由于 DS18B20 应用非常广泛,导致市场销售的各种品质的同型号产品特别多,质量良莠不齐,这给选型带来了一定困难。我们选择的经验主要包括 3 个方面:

- 1) 选择专业经营集成电路的公司购买原装产品;
- 2) 产品如图 1 所示。采用光刻集成电路文字信息,文字边缘清晰,且其另一面有“P”标志;
- 3) 选择引脚外观好、管脚比较粗(也比较硬)的产品。

使用单片机对 DS18B20 进行通信测试,要求测量数据的一致性和稳定性良好。

1.2 DS18B20 温度传感器的电路参数选择

DS18B20 温度传感器生产厂商提供的典型主要有 2 线式寄生电源供电和 3 线式外部电源供电 2 种应用电路。

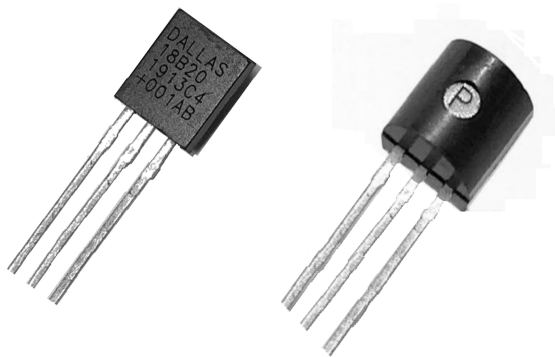


图 1 DS18B20 外观图

Fig. 1 appearance of DS18B20

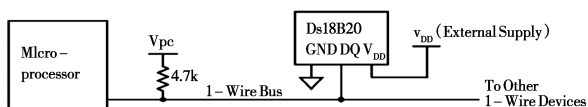


图 2 典型 3 线式 DS18B20 外部电源供电方案

Fig. 2 Typical 3-wire DS18B20 external power supply solution

实验证明,如图 2^[3] 所示的 3 线式外部电源供电方案在较长距离的数据采集系统中稳定性更好。

在图 2 所示电路的基础上采用 3 米 TRVVP 高柔 3 芯屏蔽线作为传输线,连接单片机和 DS18B20 温度传感器,并参考生产厂家产品文档提供的标准通信时序编制通信程序,调整由 R1 和 RW 串联组成的上拉电阻电路中 RW 的电阻值,并使用示波器对数据总线波形进行 1 分钟间隔实验观测。发现当 R1 和 RW 的总电阻在 1.46 kΩ 时波形最好,读取到的数据非常稳定,也没有出现丢失数据的问题。这里需要特别说明的是,使用屏蔽线时必须注意“一端接地”的接线原则,否则系统抗干扰特性将大幅度减弱。接线方法如图 3 所示。

2 DS18B20 温度传感器测温系统的总线通信编程

2.1 DS18B20 温度传感器读数据时隙分析

由于使用 DS18B20 温度传感器的测温系统非常普遍,关于用其组成的温度数据采集系统的程序已有很多文献介绍,但笔者查阅了所有文献,均未见相关远距离传输的核心程序代码,厂商提供的资料也没有对其数据传输距离的相关内容说明。因此本文仅就 DS18B20 单总线通信中和通信线长度直接相关的读取数据时序问题进行研讨。又因盐湖遥测系统对温度数据的实时性要求不高,因此我们使用其默认设置的最高 12 位精度(0.012 5℃),只需对 DS18B20 初始化后,再读取 DS18B20 温度传感器检测到的温度数据即可。网络资料和文献中提供的读取 DS18B20 温度传感器内部数据的代码大同小异,以下是文献提供的用 C51 语言编的位读入函数的程序代码^[3]:

```
1 uchar BitRead(void)//位读取函数 BitRead()
2 {
3     uchar i;
4     /*请求读取 DS18B20 温度数据位
5     DS18B20_DQ = 0; //拉低总线,发请求读
6     时隙
```

```

5 DS18B20_DQ = 1; //释放总线。
6 for(i = 0; i < 3; i++) //延时,准备读 1
  位温度数据;
7 Return DS18B20_DQ; //返回 DQ 的数据
8 }

```

实验发现,使用以上程序读取到的温度数据在传输线长度小于 3 米时,读取到的温度数据非常稳定,但当传输线长度大于 10 米时,读取到的温度数据错误率就会提高,不能达到项目预期 99.9% 的稳定性要求。

从图 3^[2]所示的 DS18B20 生产商提供的资料中关于其单总线读写时序图可知,DS18B20 初始化的时隙无论收、发都大于 $15\mu\text{s}$,而读/写时隙中的 $T_{\text{INT}} + T_{\text{RC}} + T_{\text{Master samples}} = 15\mu\text{s}$ 。由于通信线越长,信号线之间的电容量越大,线间电容对信号线引起的脉冲电平变化延迟效应就越强。

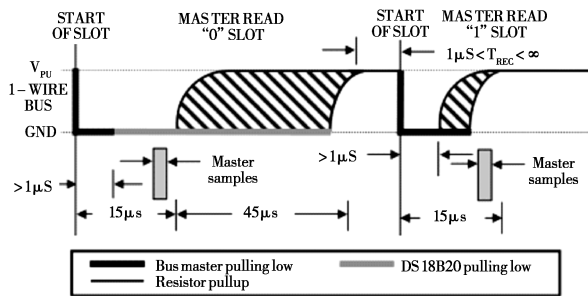


图 3 DS18B20 读时序图

Fig. 3 DS18B20 read time slot sequence diagram

结合图 3 和上述文献的程序代码可知,数据采集单元从 DS18B20 读取 1 位二进制温度数据经过了以下步骤:① 数据采集单元执行第 4 行代码“DS18B20_DQ = 0”总线拉低,向 DS18B20 发出 $T_{\text{INT}} > 1\mu\text{s}$ 的低电平时隙;DS18B20 申请发送一位数据;② 数据采集单元通过执行第 5 行代码“DS18B20_DQ = 1”释放总线;③ 由 DS18B20 总线控制器采样总线数据,将一位数据发送到总线(必须注意:①-③步执行的总时隙需要 $15\mu\text{s}$);④ DS18B20 总线控制器发送完数据到总线后保持一定的时隙供数据采集单元读取数据,数据为“0”则总线保持时隙为 $45\mu\text{s}$,数据为“1”,则等待数据采集单元读取数据后再进行下一位数据传输过程。

由于 DS18B20 生产商提供的资料中关于图 3 中只有 $T_{\text{INT}} > 1\mu\text{s}$ 的说明,因此写代码时很容易

只注意到将 T_{INT} 略大于 $1\mu\text{s}$,而忽略了传输线材带来的影响。

2.2 DS18B20 温度传感器读数据时序时隙测试

2.2.1 DS18B20 温度传感器读数据时序时隙测试电路设计

由以上分析可见,DS18B20 温度传感器读数据时序时隙设计时不仅要注意 $T_{\text{INT}} > 1\mu\text{s}$,而且要注意 $T_{\text{INT}} + T_{\text{RC}} + T_{\text{Master samples}} = 15\mu\text{s}$,以及数据传输线材的传输特性。由于厂商资料没有说明 $T_{\text{Master samples}}$ 的大小,为此我们设计了图 5 所示结构的 DS18B20 温度传感器读数据测试电路。

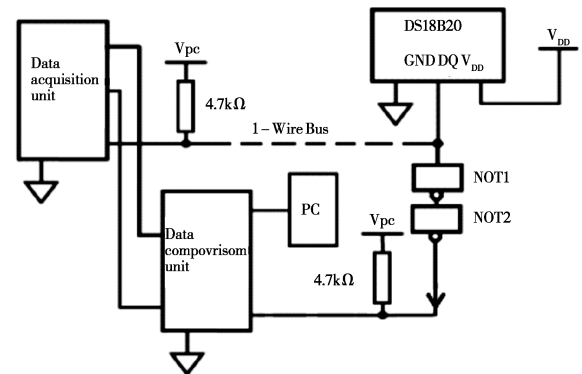


图 4 DS18B20 温度传感器读数据测试电路

Fig. 4 DS18B20 temperature sensor read data test circuit

图 4 中数据采集单元通过空闲端口向数据对比单元提供它通过总线收到的温度数据;而数据对比单元通过另一个端口连接在总线末端,直接接收 DS18B20 温度传感器的数据,通过数据对比程序判定来自数据传输线材不同途径的数据。对同长度的数据传输线材在不同 T_{INT} 时隙条件下的数据传输对比结果进行计数,从而得出客观的测试结论。另外,图 4 中虚线表示可选择长度的总线数据传输线材,NOT1 和 NOT2 为 6 非门 TTL 数字集成电路 74HC04 非门,它的作用是降低数据对比单元对数据传输线材右端的插入影响。

2.2.2 DS18B20 温度传感器读数据时序时隙测试代码设计

由于前文提及文献中所提供的用 C51 语言编的位读入函数的程序代码很规范,无需再做实质性修改。测试时,用数据采集单元空闲的 2 个端口与数据对比单元进行通信。其中 1 个空闲端

口发送同步读取 DS18B20 温度传感器数据信息(利用 DS18B20 时序图中的 $45\mu\text{S}$ 等待读取数据时隙),然后各自读取直接来自 DS18B20 温度传感器的温度 DQ 数据和来自数据传输线(总线)的温度 DQ 数据;另 1 个空闲端口发送当前收到的温度 DQ 数据到数据对比单元。数据对比单元将直接来自 DS18B20 温度传感器数据和来自数据采集单元的数据进行对比,如果 2 个数据不同,就对错误数据存储器的数据 $\text{DE} + 1$,然后再进行下一位温度数据对比。设定每个 $T_{\text{INT}} + 1\mu\text{S}$ ($T_{\text{INT}} + 1\mu\text{S} < 13\mu\text{S}$, 为 $T_{\text{Master samples}}$ 预留 $1\mu\text{S}$) 时隙条件下的数据传输 10 万位温度数据,并将最终统计结果发送到 PC 显示。

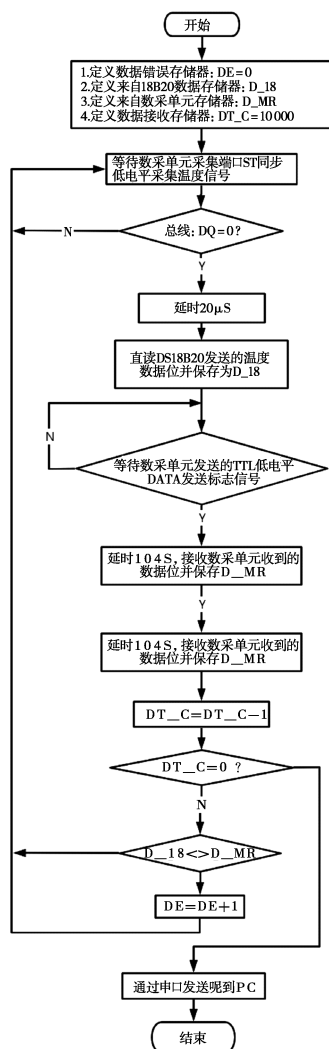


图 5 数据对比单元程序流程图

Fig. 5 Data comparison unit
program flow chart

由于数据采集单元和数据对比单元接收温度数据的程序比较简单,文中不再详述。数据对比单元的程序流程图见图 5。

通过每次对 T_{INT} 增加约 $1\mu\text{S}$ 测试发现,当 T_{INT} 在 $3 \sim 12\mu\text{S}$ 时,数据传输线的长度已经达到 100 米,(位)数据传输成功率超过 99.99%,能够满足系统设计要求。依此结论我们修改数据采集单元代码后做了完整过程测试,发现在数据传输线的长度 100 米时温度数据传输成功率仍超过 99.9%。

3 DS18B20 温度传感器铠装壳体的封装工艺

盐湖遥测系统使用的大部分传感器需长期浸泡在不同浓度、温度的卤水中,其壳体密封如果出现细微渗漏,就会因卤水对传感器的引线的电化学腐蚀造成传感器损坏。因此对 DS18B20 温度传感器铠装壳体的封装工艺要求非常高。我们测试了多个不同厂家生产的铠装 DS18B20 温度传感器,使用稳定性均不理想,究其原因都是因为铠装套管的壳体内有空腔体,造成了卤水渗漏腐蚀传感器引线,最终导致传感器失效。为此我们进行了多次的反复试验,最终确定了采用预先在密封端钻有 1 mm 小孔的 6 mm × 50 mm 的 304 不锈钢封头管作为铠装壳体。先用 EP 环氧树脂胶把焊接好导线的 DS18B20 温度传感器部分导线灌封在 6 mm ~ 7 mm 的塑料管里,等胶固化后使用车床分多次将多余塑料管和多余的 EP 环氧树脂胶除去,留下直径 5.2 mm 的部分,舍弃目视观察 EP 环氧树脂胶包裹部分有明显缺陷的次品胚料;然后再把配料装入灌注了少量 EP 环氧树脂胶的 6 mm × 50 mm 的 304 不锈钢套管里,在插入胚料时用电吹风进行加热,以增加 EP 环氧树脂胶的流动性。插入胚料完成后,立刻用车床加工 2 个密封凹槽,最终样品如图 6。待 EP 环氧树脂胶固化后,将样品整体浸入 90 °C 左右的水中进行 1 分



图 6 铠装温度传感器样品

Fig. 6 Sample of armored temperature sensor

钟封装效果测试,如果观察不到有气泡从不锈钢壳体溢出,则证明封装效果良好。

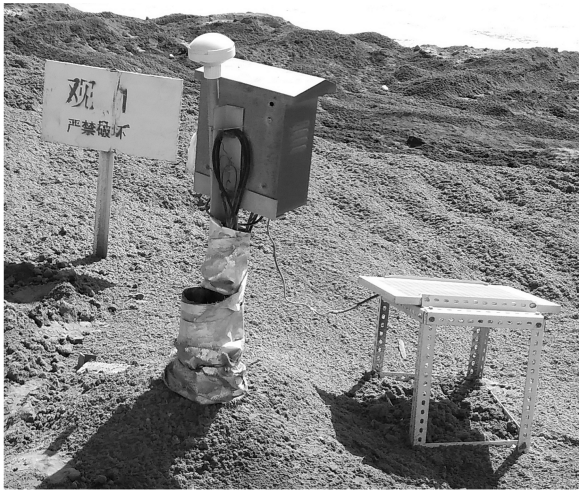


图7 地下盐湖自动观察站点的实物照片

Fig.7 Physical photos of automatic observation station of Underground Salt Lake

图7为安装在青海西台吉乃尔盐湖现场使用“北斗”卫星短报文模块的地下盐湖自动观察站点的实物照片。该站点于2018年初完成安装,至

今已正常使用4年。

4 结 论

本研究项目的遥测系统中使用了经长期反复改进的DS18B20温度传感器,最终较好地解决了盐湖地下卤水监测系统中出现的难题,为深度在50米之内的卤水监测提供了一个可行的低成本解决方案。也可供新疆、西藏等地区的地下卤水遥测系统研究参考。但地下卤水遥测系统中还存在密度传感器和水位传感器因表面结盐现象导致传感器失效的问题,未来还需进一步研发。

参考文献:

- [1] 张元良,何希平,张敏,等. 具有故障自诊断的粮仓温湿度监控系统[J]. 机械工程与自动化,2017(6):166-168.
- [2] 朱凯,朱惠斌,白丽珍,等. 基于ZigBee和C#的农田数据采集系统[J]. 传感器与微系统,2017,36(8):95-98
- [3] Juventus9554. 应用AT89S52单片机和DS18B20嵌入式数字温度传感器设计的V-T曲线控制补偿系统[EB/OL]. <https://www.21ic.com/app/control/201201/104107.htm>

Application and Improvement of DS18B20 Temperature Sensor in Underground Salt Lake Telemetry System

FANG Yi-zhuo¹, CHEN Liang²

(1. Guangdong Mechanic & Electrical Polytechnic, Guangzhou, 510515, China;

2. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008)

Abstract: This paper introduces the improvement and implementation of DS18B20 temperature sensor in remote temperature detection of underground salt lake telemetry system in two aspects: key programming and encapsulation technology of sensor armored shell, and realizes the long distance, low cost and high quality data acquisition of DS18B20 in underground salt lake telemetry system.

Key words: temperature sensor; Timing; Programming; Encapsulation process