

实验名称	实验四 温度传感器实验		
姓 名	张厚今	组别	
同组实验者			
指导教师	徐文正	实验日期	2020.05.09
指导教师评语	指导教师签名: _____ _____年____月____日		
实验成绩			

山东科技大学实验报告书

实验四 温度传感器实验

一、实验目的

掌握温度传感器的选择方法，掌握温度传感器的种类、精度等静态性能和动态性能、使用方法等，掌握温度传感器的性能分析步骤。

二、实验要求

根据温度检测的范围、精度等来选择某一温度传感器，分析其性能，阐述选择方法，然后来计算其动态性能，看是否符合要求，并介绍其使用方法。

三、实验步骤

3.1 温度传感器分类

温度传感器是当今众多产品应用中最常用的技术之一，比如应用在汽车、白电和工业类产品等中。为了进行可靠的温度测量，选择合适的温度传感器十分重要。了解不同类型温度传感器的优缺点有助于在测量前做出正确的选择。

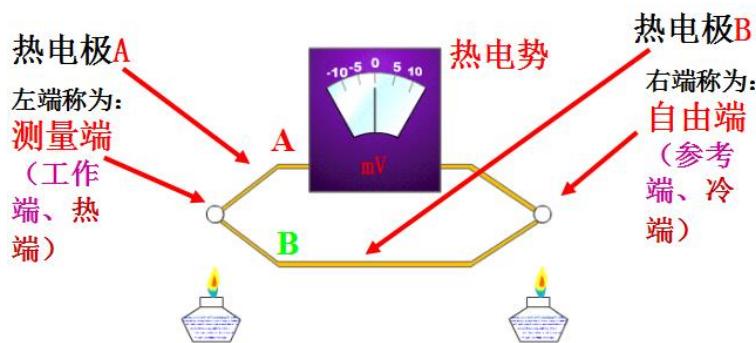
热电偶、热敏电阻（NTC / PTC）、电阻温度检测器（RTD）和芯片型温度传感器是测量中最常见的类型，它们主要的特征区别如下。

	热电偶	热敏电阻	RTD	芯片型
典型温度范围 (大约)	-270 to 1800°C	0 to 100°C	-250 to 900°C	-55 to 150°C
线性	较差	最差	好	最好
准确性	好	依赖校准	最好	好
优点	自供电 坚固耐用	快速响应温度变化 灵敏度高	最准确 最稳定	线性表现良好 可以支持数字接口
缺点	非线性 需要参考数值 最不稳定 最不敏感	非线性 有限的温度范围 需要电流源	需要电流源 电阻变化小 响应慢	需要电源 自加热 温度范围有限
典型应用	极端温度传感 如烤箱，测试设备	低精度 中等温度范围 如吹风机，保护电路	高精度 延长温度范围 如气体和流体流动	计算机 可穿戴设备 和数据记录

山东科技大学实验报告书

3.1.1 热电偶

热电偶是温度测量中最常用的传感器。其主要好处是宽温度范围和适应各种大气环境，而且结实、价低，无需供电，尤其最便宜。热电偶由在一端连接的两条不同金属线（金属 A 和金属 B）构成，如下图所示。当热电偶一端受热时，热电偶电路中就有电势差。可用测量的电势差来计算温度。



热电偶温度由于电压和温度是非线性关系，因此需要为参考温度（ T_{ref} ）作第二次测量，并利用测试设备软件和 / 或硬件在仪器内部处理电压-温度变换，以最终获得热偶温度（ T_x ）。热电偶价格低廉、易于更换，测量时不需要外加电源，有标准接口，且具有很大的温度量程。主要的局限是精度，系统误差通常大于 0.1 摄氏度。

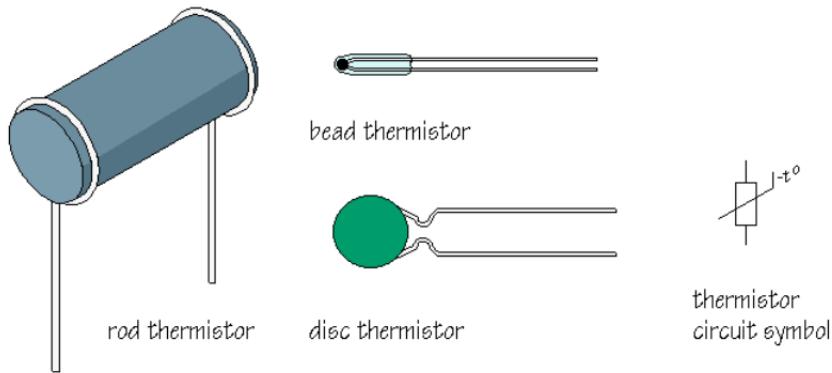
简而言之，热偶是最简单和最通用的温度传感器，但热偶传感器并不适合高精度的应用。

3.1.2 热敏电阻

热敏电阻是用半导体材料，大多为负温度系数，即阻值随温度增加而降低。温度变化会造成大的阻值改变，因此它是最灵敏的温度传感器。但热敏电阻的线性度极差，并且与生产工艺有很大关系。制造商给不出标准化的热敏电阻曲线。

有两种主要类型的热敏电阻，即正温度系数（PTC）和负温度系数（NTC）。NTC 热敏电阻具有随温度升高而下降的特性，这些最常用于温度测量。常见的热敏电阻类型如下图所示。

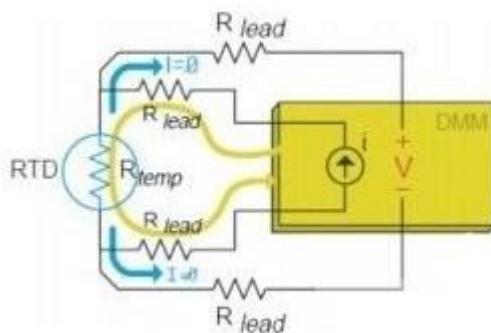
山东科技大学实验报告书



热敏电阻一般应用在家用电器（空调，烘衣柜、暖风机等）、航空航天、电力工业、通讯等电子电气温度控制相关的领域。

3.1.3 RTD 温度传感器

与热敏电阻相似，铂电阻温度传感器（RTD）也是用铂制成的热敏感电阻。当通过测量电压计算 RTD 温度时，数字万用表用已知电流源测量该电流源所产生的电压。这一电压为两条引线 (V_{lead}) 上的压降加 RTD 上的电压 (V_{temp})。例如，常用 RTD 的电阻为 100Ω ，每 1°C 仅产生 0.385Ω 的电阻变化。如果每条引线有 10Ω 电阻，就将造成 26°C 的测量误差，这是不可接受的。所以应对 RTD 作 4 线欧姆测量，测量示意图如下。



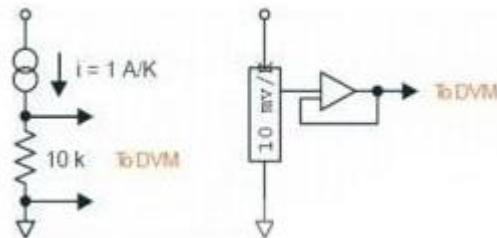
RTD 是最精确和最稳定的温度传感器，它的线性度优于热偶和热敏电阻。但 RTD 也是最慢和最贵的温度传感器。因此 RTD 最适合对精度有严格要求，而速度和价格不太关键的应用领域。

3.1.4 温度 IC 芯片

温度集成电路（IC）是一种数字温度传感器，它有非常线性的电压 / 电流-温度关系。有些 IC 传感器甚至有代表温度、并能被微处理器直接读出的数字输出形式。

山东科技大学实验报告书

温度 IC 的输出是非常线性的电压，其大小与温度呈线性关系，室温时的 1℃ 输出约为 3V。温度 IC 需要有外电源。通常温度 IC 是嵌入在电路中而不用于探测。因此常见的温度 IC 主要有电流测量和电压测量两类，如下图所示。左侧为电流传感器，右侧为电压传感器。



温度 IC 缺点是温度范围非常有限，也存在同样的自热、不坚固和需要外电源的问题。总之，温度 IC 提供产生正比于温度的易读读数方法。它很便宜，但也受到配置和速度限制。

3.2 温度传感器选型

接下来以“为单片机选择温度传感器外设进行室温检测”场景为例，对温度传感器进行选型。首先收集常见的传感器特性数据，整理为传感器选型表。

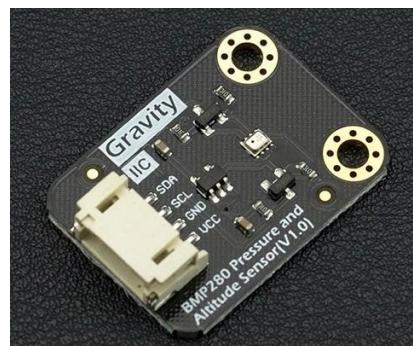
名称	IIC BMP280 气压温度传感器 Gravity: I2C BME280 Environmental Sensor	模拟LM35线性温度传感器 Gravity: Analog LM35 Temperature Sensor For Arduino	DS18B20防水温度传感器套件 Waterproof DS18B20 Sensor Kit	DS18B20数字温度传感器 Gravity: DS18B20 Temperature Sensor	350度高湿传感器 Gravity: Analog High Temperature Sensor
货号 (SKU)	SEN0226	DFR0023	KIT0021	DFR0024	SEN0198
工作电压	3.3V/5V	3.3V/5V	3.0V~5.5V	3.3V~5V	3.3V~5.5V
工作电流	2.7μA	<133μA	<3μA	<3μA	2.8μA
工作温度	-40°C~85°C	-40°C~150°C	-55°C~125°C	-55°C~125°C	30°C~350°C
温度测量范围	0°C~65°C	0°C~100°C	-55°C~125°C	-55°C~125°C	-20°C~400°C
温度测量精度	0.01°C	0.5°C	0.5°C	0.5°C	0.5°C
温度误差	±0.5°C	±0.5°C	±0.5°C	±0.5°C	±2% F.S.
模块尺寸	30*22(mm)	30*22(mm)	33*22(mm)	22*32(mm)	42*32*18(mm)
接口	Gravity-I2C接口	Gravity-模拟接口	Gravity-数字接口	Gravity-数字接口	Gravity-模拟接口
数据类型	数字	模拟	数字（单总线）	数字（单总线）	模拟
价格	¥59.0	¥20.0	¥35.0	¥25.0	¥99.0
简述	BMP280气压温度传感器，具有温度检测和大气压检测的功能，可运用气压计来增强GPS导航或者配合IMU传感器实现室内和室外导航。具有较好的线性和较高的精度，低耗能的特点。 应用领域： 温度检测、大气压强检测、海拔高度检测、室内导航（楼层检测、电梯检测）、户外导航（休闲和运动的应用程序、医疗保健应用程序（如肺量测定法）、垂直速度指示（如上升/下降速度）	可用于对环境温度进行定性的检测，其输出的电压与温度成正比。此款温度传感器具有较好的线性和较高的精度。 应用领域： 医疗、民用控制、工业控制以及航空航天技术	此款温度传感器可以运用到土壤湿度检测和热水器温度控制等，解决了不能潜水下测温的问题，同时具备多点测温。 应用领域： 恒温控制、工业系统消费电子产品温度计、或任何热敏敏感系统、冷冻库、粮仓、储罐、电讯机房、电力机房、电缆线槽等测温及控制领域	可用于检测周围的空气温度，可以将多个DS18B20并联在唯一的三线上，实现多点测温。 应用领域： 恒温控制、工业系统消费电子产品温度计、或任何热敏敏感系统、冷冻库、粮仓、储罐、电讯机房、电力机房、电缆线槽等测温及控制领域	采用PT100电阻式高湿探头作为传感器的探头，通过高湿模块实现30~350度范围内的温度探测。 应用领域： 医疗、电机、工业、温度计算、温值计算等高精温度设备，范围非常广泛

传感器选型对照表中，选取了五种常用的温度传感器。查阅资料了解五种温度传感器的主要特征指标。

山东科技大学实验报告书

3.2.1 BMP280 气压温度传感器

BMP280 气压传感器支持 Arduino 代码控制，具备温度检测和大气监测两种功能。传感器外观如下图所示。



BMP280 基于压电式压力传感器技术，具有高稳健性，高精度，低功耗等特点。精度约为 $\pm 0.12 \text{ hPa}$ ，相当于高度误差为 $\pm 1 \text{ m}$ ，支持 $0\text{~}65^\circ\text{C}$ 温度检测。此款温度传感器采用 Gravity-IIC 4Pin 标准接口，模块通过 I2C 接口与 Arduino 通信。可以根据测出的温度和气压，计算出芯片所在的海拔高度。

可以看到，BMP280 温度传感器主要用途为大气压强和海拔高度检测。是通过检测温度气压等环境信息，计算出当地海拔高度的一种传感器。而我们的应用场景为“为单片机选择温度传感器外设进行室温检测”，所以该传感器不太合适。

3.2.2 模拟 LM35 线性温度传感器

LM35 是由美国国家半导体公司生产的温度传感器，是一种运用比较广泛的温度传感器。可以随不同的温度变化而产生不同的电压，为线性关系。 0° C 时输出为 0V ，每升高 1° C ，输出电压增加 10mV 。其外观如下所示。



LM35 温度传感器模块不仅可以通过一根 3P 传感器连接线直接插到 Arduino Sensor 传感器扩展板上，还可以与各种单片机开发板、机器人控制器相连接，轻松实现周围环境温度检测，是制作互动作品与智能机器人的常用传感器。

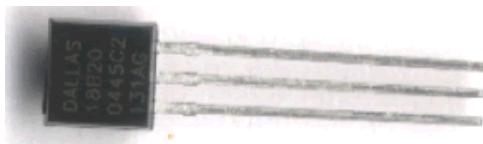
由于 LM35 芯片自身的输出电压较低，如果采用常见的 Arduino 主控板测

山东科技大学实验报告书

量，可能会导致数据有偏差，也会因为受到干扰产生抖动。如果需要精密测量，则需要更高位数 ADC 的主控板。

3.2.3 DS18B20 数字温度传感器

DS18B20 数字温度传感器具有较简单的测温系统、测温精度较高。又因为占用线口少（仅用一根 I/O 口便可实现测温），所以在连接方面也比较方便。其外观如下所示。



DS18B20 温度传感器可以用到很多地方，比如土壤温度检测、室内温度控制等等。具有体积小，硬件开销低，抗干扰能力强，精度高的特点。

3.2.4 高温传感器

PT100 电阻式高温探头作为传感器探头，通过高温模块，就能实现 30-350 度范围内的温度探测。高温传感器模块兼容 3.3V-5.5V 的输入电压，所以 Arduino 和 STM32 等 MCU 均能使用高温传感器模块。其外观如下所示。



以 PT100 电阻作为高温探头的高温传感器，适合于测量高温环境。与我们“测量室温”的应用场景也不太适合。

综上所述，适合“为单片机选择温度传感器外设进行室温检测”场景的传感器有两款，分别为 LM35 温度传感器和 DS18B20 温度传感器。对比来看，DS18B20 温度传感器有更宽的温度测量范围、更小的工作电流，而且单总线的设计使它更容易在单片机上使用。因此，综合温度检测范围、测量精度、耗电量、检测方式、价格等因素，最终选择 DS18B20 温度传感器。

山东科技大学实验报告书

3.3 传感器性能检测

经过传感器选型过程，确定了本次“为单片机选择温度传感器外设进行室温检测”所用的传感器为 DS18B20 温度传感器。

DS18B20 数字温度传感器是美国 DALLAS 公司生产的一总线数字温度传感器。其测温范围 $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ ，固有测温分辨率 0.5°C 。支持多点组网功能，多个 DS18B20 可以并联在唯一的三线上，实现多点测温，测量结果以 9~12 位数字量的方式串行传送。

DS18B20 性能描述如下：

- (1) 精度: DS18B20 在 $-10^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ 范围内精度为 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 分辨率: DS18B20 的分辨率由 9-12 位 (包括 1 位符号位) 数据在线编程决定。
- (3) 温度转换时间: DS18B20 的转换时间与设定的分辨率有关，当设定为 9 位时，最大转换时间为

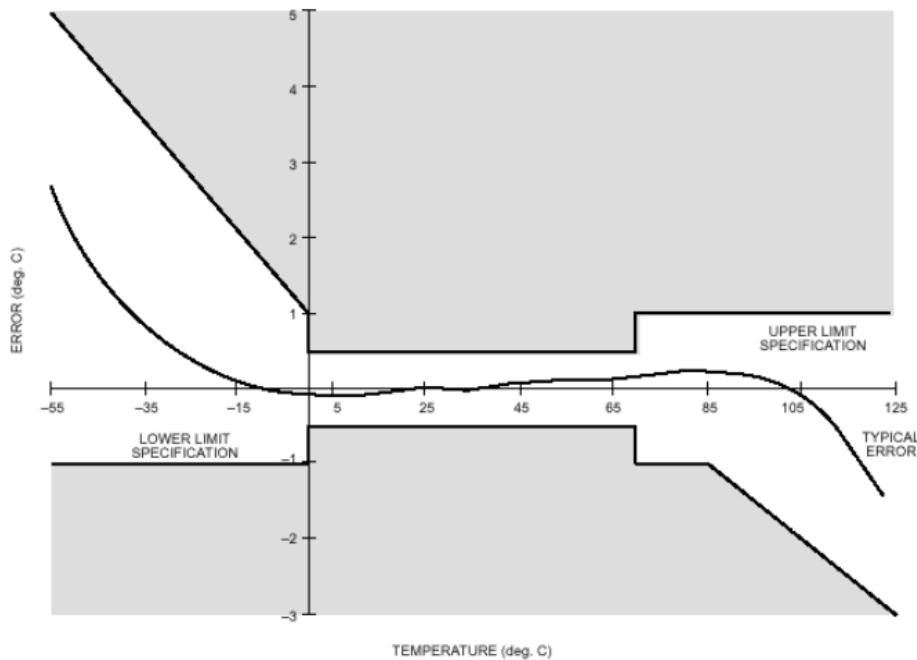
93.75ms ; 10 位时，为 187.5ms ; 11 位时，为 375ms ; 12 位时，为 750ms 。

- (4) 电源电压范围: 在保证温度转换精度为 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 的情况下，电源电压可为 $+3.0\text{V} \sim +5.5\text{V}$ 。

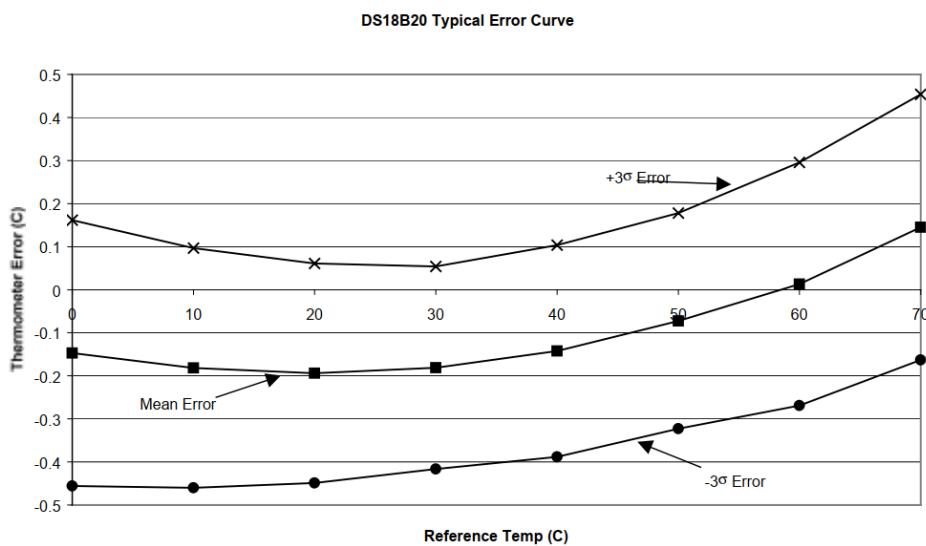
查阅 DS18B20 芯片手册，可以找到其“典型误差曲线”以及“读数与恒温源误差曲线”。

读数与恒温源误差曲线如下图所示：

山东科技大学实验报告书

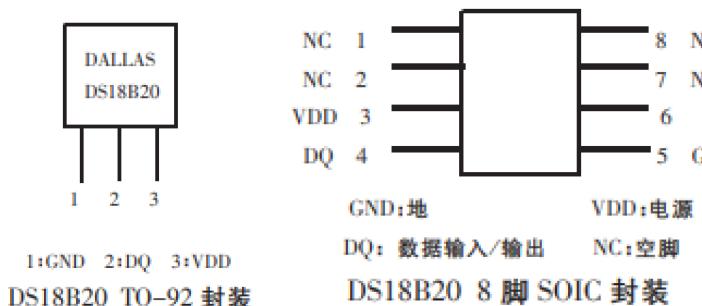


典型误差曲线如下图所示：



3.4 DS18B20 使用方法

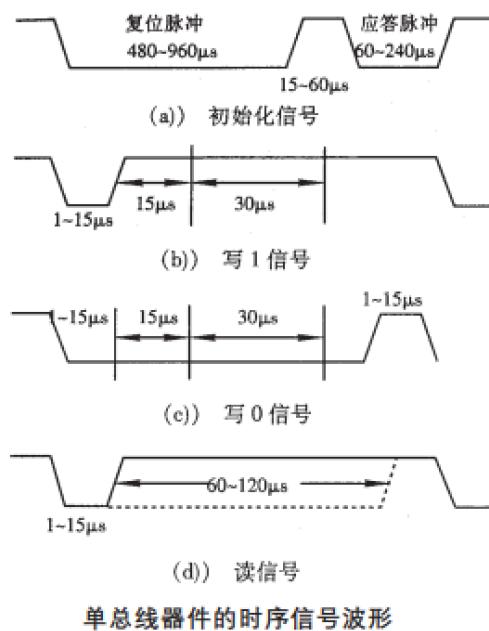
DS18B20 采用了 TO--92 封装或 8 脚 SOIC 封装。其引脚排列如下图所示。



山东科技大学实验报告书

DS18B20 的供电方式有两种：一种是寄生电源；另一种为外电源供电，因为多个器件挂在总线上，为了识别不同的器件，在程序设计中一般有四个步骤：初始化命令；传送 ROM 命令；传送 RAM 命令；数据交换命令。下面就 DS18B20 温度传感器来具体介绍其每一部分的时序。

单总线上每一个器件的使用都是从初始化开始的，初始化的时序是计算机先发出 480-800 μs 的复位脉冲，在 15-60 μs 后，一个或多个单总线器件发出 60-240 μs 的应答脉冲，其时序波形下图所示。



单总线器件的时序信号波形

如果计算机检测到单总线上有器件存在，就可以发出传送 ROM 命令。具体的传送 ROM 命令格式如下图所示。

指令	说明
读 ROM 命令 (33H)	读总线上 DS18B20 的序列号
匹配 ROM 命令 (55H)	对总线上 DS18B20 寻址
跳过 ROM 命令 (CCH)	该命令执行后，将省去每次与 ROM 有关的操作
搜索 ROM 命令 (FOH)	控制机识别总线上多个器件的 ROM 编码
报警搜索命令 (ECH)	控制机搜索有报警的器件

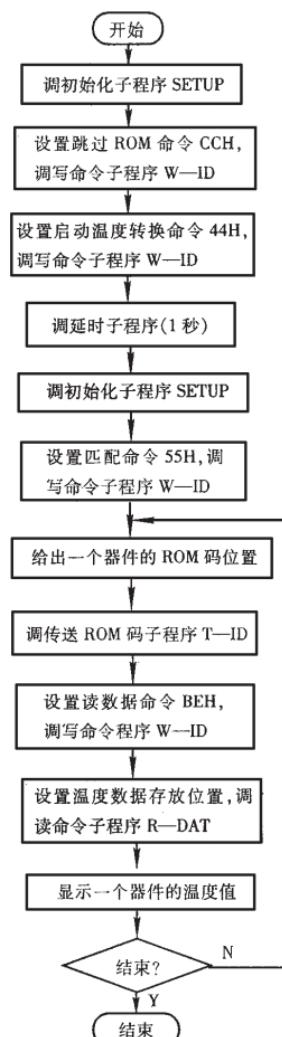
传送 RAM 命令是当上述命令之一被成功执行后，控制机发出的控制命令，它用来访问被选中的器件的存储和控制部件，例如，启动单总线温度传感器 DS18B20 温度转换的命令。具体命令如下图所示。

山东科技大学实验报告书

指令	说明
温度变换命令 (44H)	启动温度变换
读存储器命令 (EBH)	从 DS18B20 读出 9 字节数据 (其中有温度值, 报警值等)
写存储器命令 (4EH)	写上、下限值到 DS18B20 中
复制存储器命令 (48H)	将 DS18B20 存储器中的值写入 EEPROM 中
读 EEPROM 命令 (B8H)	将 EEPROM 中的值写入存储器中
读供电方式命令 (B4H)	检测 DS18B20 的供电方式

数据交换命令是用具体的读 7 写时序脉冲读出单总线上器件所输出的数据，或者向单总线上器件写入数据，具体写“1”写“0”和读信号时序。只要将复位、读、写的时序了解清楚，使用 DS18B20 就不会出现什么困难了。

将 DS18B20 数据端口连接单片机 IO，电源和地线也与单片机相连。编写单片机程序，控制 18B20 读写数据，经过温度转换后，就可以通过串口监视器查看到温度数据了。单片机使用 DS18B20 采集温度数据的过程如下图所示。



山东科技大学实验报告书

四、实验结果

经过传感器对照选型，选择了 DS18B20 温度传感器作为“为单片机选择温度传感器外设进行室温检测”场景下的传感器。通过查阅资料找到了该传感器相关功能特征，其温度检测范围在-10C-+85C 之间，精度为+0.5C；温度转换时间在 93.75ms 到 750ms 内可调；电源电压可为+3.0V-+5.5V。这些特征在单片机应用中非常合适。

另外，由 DS18B20 芯片手册查阅到的“典型误差曲线”以及“读数与恒温源误差曲线”，也符合单片机室温检测场景下的检测精度要求。

五、收获与心得

本次实验首先讨论了温度传感器的分类，主要研究了热电偶、热敏电阻、RTD 温度传感器和温度 IC 芯片的测温原理及其常见的应用场景。之后以“为单片机选择温度传感器外设进行室温检测”场景为例，对温度传感器进行了选型。对比了 BMP280 气压温度传感器、模拟 LM35 线性温度传感器、DS18B20 数字温度传感器以及 PT100 高温传感器四种传感器类型。综合了温度检测范围、测量精度、耗电量、检测方式、价格、温度转换时间等因素，最终选择了 DS18B20 作为本次实验场景下的温度传感器。

接下来对 DS18B20 传感器的性能特征进行详细探讨。由于没有实物，因此通过查阅手册资料的方式找到了该传感器的部分性能指标及特性曲线。与实际需求相比较，符合本次实验的传感器要求。最后简要描述了 DS18B20 在单片机中的使用方法。

通过本次实验，掌握了温度传感器的选择方法，研究了温度传感器的种类、精度等静态性能，通过查阅资料了解了温度传感器的动态性能、使用方法等，掌握了温度传感器的性能分析步骤。