



敏思传感技术有限公司

MinSi (Henan) Sensing Technology Co., Ltd.

产品承认书

SPECIFICATION

客户名称 CUSTOMER	
产品名称 PRODUCTION	四系二氧化碳气体传感器模组
产品型号 MODEL	MS-CO2-15BMS
版本号 VERSION NO	A2.0

敏思传感技术有限公司

电话：400-8638-732

网址：http:// www.minsisensor.com

邮箱：minsi@ minsisensor.com



客户确认 CUSTOMER CONFIRMATION	审 核 CHECKED BY	编 制 PREPARED BY
	张毅	王洪波



声明

本说明书版权属**敏思传感技术有限公司**(以下称本公司) 所有, 未经书面许可, 本说明书任何部分不得复制、翻译、存储于数据库或检索系统内, 也不可以电子、翻拍、录音等任何手段进行传播。

感谢您使用**敏思传感**的系列产品。为使您更好地使用本公司产品, 减少因使用不当造成的产品故障, 使用前请务必仔细阅读本说明书并按照所建议的使用方法进行使用。如果用户不依照本说明书使用或擅自去除、拆解、更换传感器内部组件, 本公司不承担由此造成的任何损失。

您所购买产品的颜色、款式及尺寸以实物为准。

本公司秉承科技进步的理念, 不断致力于产品改进和技术创新。因此, 本公司保留任何产品改进而不预先通知的权力。使用本说明书时, 请确认其属于有效版本。同时, 本公司鼓励使用者根据其使用情况, 探讨本产品更优化的使用方法。

请妥善保管本说明书, 以便在您日后需要时能及时查阅并获得帮助。

敏思传感技术有限公司



MS-CO2-15BMS系列传感器特点

- 标准尺寸、出厂校准
- 低功耗
- 小型一体化设计、内置温度补偿
- 本安、防爆设计
- 防尘防水设计
- 故障诊断及故障码输出
- 数字信号、线性模拟信号双输出
- 数字通讯模式、波特率、模拟输出范围用户可选
- 测试电路板配合 PC 工具软件可快速实现传感器数据监测、标定及参数配置



应用场合

- CO2 浓度测量终端
- 通风控制
- 农业过程监控
- 安全防护
- 空气质量监测
- 工业过程

概述

基于红外吸收原理气体传感器相比传统原理气体传感器具有稳定性好、选择性强、无氧气依赖性、检测范围宽、寿命长、维护周期长、抗干扰能力强等优点，是气体检测发展的趋势，可快速替代传统原理气体传感器。

MS-CO2-15BMS红外气体传感器使用最新技术设计，采用低功耗处理器、红外光源，控制整体功耗的同时，实现传感器工作电流的稳定，传感器采用最新设计的算法，包含气体浓度算法、校准算法、温度补偿算法等。传感器采用 32 位核心工业级微处理器，其运算速度快、工作温度范围宽，配合最新算法可保障传感器数据运算的高效率、高精度度、稳定可靠，并适应不同工作环境。

传感器模拟电压信号最小输出值 0V，最大输出值 2.5V，用户使用 PC 工具软件可以配置零点输出电压值、满量程输出电压值、电压输出偏移值、输出模式等，方便用户在各种需求下可快速、灵活的进行调整，配置参数可断电保存。

传感器数字通讯波特率用户可设置为 9600、19200、38400 或 115200 中的其中之一，传感器的数字通讯有主动模式和被动模式。主动模式下，传感器按配置的数据发送间隔时长（1-99S）主动连续发送实时测量数据；被动模式下，传感器实时等待终端读取数据的命令后才发送测量数据，配置参数可断电保存。



技术规格

表一 硬件及电气技术参数

	最小	典型	最大
电源			
输入电压	3.2VDC	3.3VDC	5.5VDC
输入电流	65mA	70mA	75mA
温度			
工作温度	-20°C	+20°C	+60°C
存储温度	-20°C	+20°C	+60°C
湿度			
工作湿度	0	/	95% (无冷凝)
存储湿度	0	/	95% (无冷凝)
压力			
工作压力	80kPa	/	120kPa
存储压力	80kPa	/	120kPa
尺寸、重量、材质、寿命			
直径	/	20.0mm	/
高 (不含外部管脚)	/	16.5mm	/
外部管脚高	4.0mm	5.0mm	6.0mm
重量	/	<20g	/
外壳材质	/	不锈钢	/
寿命	/	>5 年	/
模拟输出			
输出电压	0VDC	0.4-2.0VDC	2.5VDC
输出电流	/	/	3mA
数字输出 (TTL-3.0V)			
低电平	/	/	0.4V
高电平	2.4V	/	/
数字输入 (TTL-3.0V)			
低电平	-0.3V	/	0.8V
高电平	0.7*3V	/	3.3V
串行通信			
波特率	9600	38400	115200

传感器工作电压推荐 3.3V 供电, 最小 3.2V, 最大 5.0V, 超过 5.5V 可能损坏传感器。基于红外吸收原理的气体传感器测量气体浓度与气体分子密度相关, 而分子密度与气压直接相关, 因此, 气压高低会影响传感器测量数据, 当传感器使用环境的大气压范围较宽时, 建议用户增加压力传感器及软件补偿, 后续章节会给出典型压力测试数据图表, 以供参考。

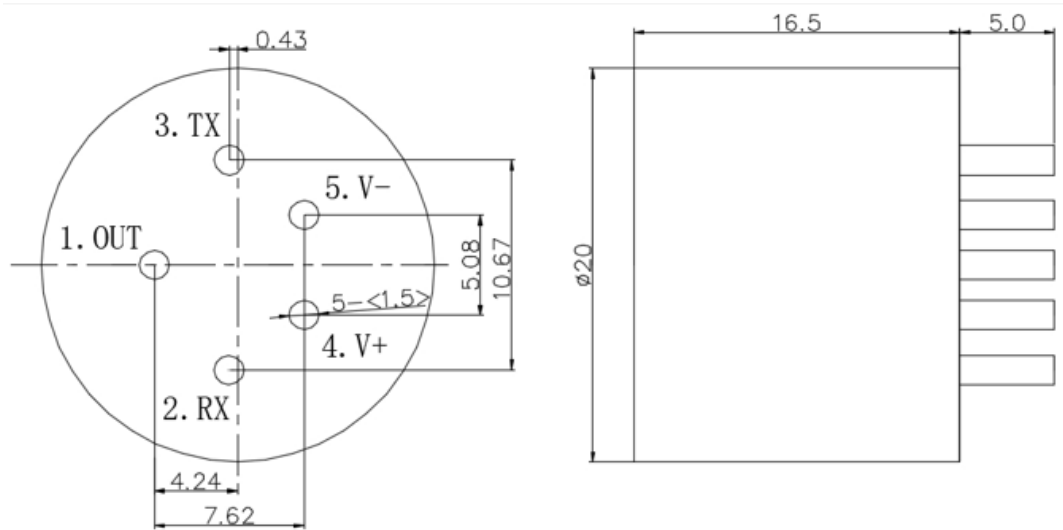


表二 气体测量技术参数

开机预热稳定时间	60S
响应时间	T90≤25S（环境温度 20℃）
量程及分辨率 （如需其他量程请与我司联系）	0~5000ppm、0~10000ppm：10ppm 0~2%VOL：0.005%VOL 0~5%VOL：0.01%VOL 0~10%VOL、0~20%VOL： 0~5%VOL：0.01%VOL 5%VOL~FSD：0.05%VOL
零点重复性	±2%FSD（环境温度 20℃）
灵敏度重复性	±2%FSD（环境温度 20℃）
长期漂移	±1%FSD/月（环境温度 20℃）
精度	0~5000ppm、0~10000ppm：±(200ppm+真值的 5%) 0~2%VOL、0~5%VOL： 0~1%VOL：±0.1%VOL 1~5%VOL：±(0.05%VOL+真值的 5%) 0~20%VOL：±6%FSD

传感器上电前 60S 处于初始化及上电预热过程，不会响应外部串行命令，且有可能输出初始化数据，用户应忽略传感器上电前 60S 输出数据。

外部引脚定义



图一 传感器外形尺寸（底视图）

引脚序号	名称	说明
1	OUT	模拟输出，与数字输出同步，终端可接 ADC 或电压表
2	RXD	传感器 UART 通信接收端，与用户终端的 TXD 相接
3	TXD	传感器 UART 通信发送端，与用户终端的 RXD 相接
4	V+	传感器电源正极，对 V- 电压应为 3.3-5.0V
5	V-	传感器电源负极，模拟输出和数据通信公共地端



硬件设计说明

为确保传感器正常稳定的工作，传感器对应的硬件设计有几点需要注意。

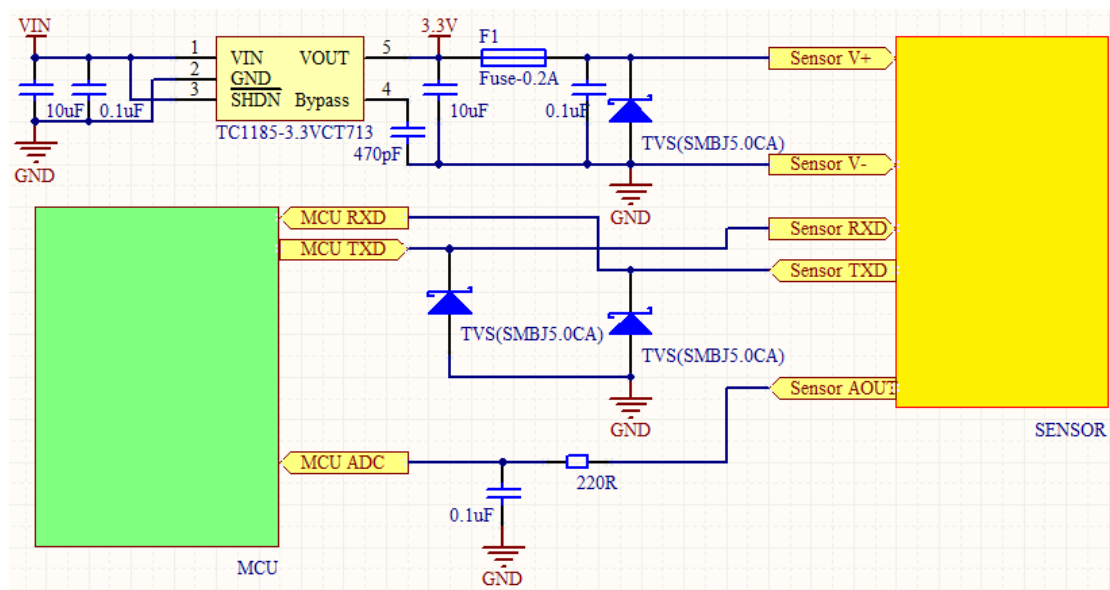
1. 建议硬件设计限压电路 (V+、RXD、TXD)，推荐使用 TVS (瞬变电压抑制二极管) 进行限压保护，可选择保护电压为 5.0V 左右的 TVS。

2. 建议硬件设计限流电路，推荐使用自恢复保险器件，限流值可选择 150mA-250mA 之间，且自恢复保险器件后端应设滤波电容。

3. 建议传感器供电为独立 IC，输出电压建议 3.3V，输出电流不小于 150mA，LDO (低压差线性稳压器) 拥有更小的纹波电压，因此应首选 LDO。

4. 传感器外部引脚严禁焊接、截断。

图二为传感器典型应用电路图，因传感器串行通信为 TTL 电平，图中 MCU 直接与传感器串行接口 (TXD、RXD) 连接，实时读取传感器数据，若使用 PC 机标准 RS232 电平与传感器进行通信，则需要增加 TTL 转 RS232 转换电路。



图二 传感器典型应用电路图

应用说明

输出方式

传感器有模拟输出和数字输出两种输出方式。

用户使用第一种模拟输出方式时，应使用数模转换器 (ADC) 读取传感器模拟电压输出，传感器输出的模拟电压值与测量的气体浓度值为线性关系，此方式使用比较简单，但只能单



向读取模拟电压值, 不能向传感器发送命令 (即无法完成校零、校准等操作)。由于气体浓度是由模拟电压值转换得到, 因此, 终端获得的气体浓度值将产生额外误差, 此误差值主要由传感器内部 DAC 精度、终端 ADC 精度、公共地线压差值构成。

用户使用第二种数字输出方式时, 应使用通用异步串行通信 (UART) 数字接口与传感器进行数据发送与接收, 数字接口输出数据包含气体浓度、温度等多项测量数据, 这些数据有助于使用者更多的了解工作环境和传感器工作状态, 且可以快速对传感器进行校零、校准等操作, 建议使用此方式。

数字输出

传感器数字输出采用通用异步串行通信 (UART), 它是一种多个设备间相互通信的协议, 尤其适用于 MCU 之间或 MCU 与 PC 机之间相互通信的协议, 其通用性强, 可实现传感器的任何应用。无论是想与另一个 MCU 或 PC 机通过串行通信协议进行通信, 都必须保证两个设备的设置相同, 否则可能出现通信出错或不稳定的现象, 传感器的 UART 通信使用表三的推荐设置, 尝试与传感器通信时或通信失败时, 请确认你的通信设置是否与传感器相同。

表三 UART 参数表

序号	参数名称	参数值
1	波特率 (Baud Rate)	38400
2	数据位长 (Data Bits)	8
3	校验位 (Parity)	无 (None)
4	停止位 (Stop Bits)	1
5	握手信号 (Handshaking)	无 (None)

说明: 由于传感器波特率用户可配置, 默认波特率为 38400, 若用户更改过波特率, 则使用时需要根据实际波特率进行配置。

传感器数字输出分两种模式, 一种是“被动模式”, 一种是“主动模式”。

传感器处于“被动模式”时, 等待终端发送一次读取数据的命令返回一次实时测量数据。传感器处于“主动模式”时, 无需等待终端发送读取数据的命令, 而按用户事先设定好的数据输出周期循环发送实时测量数据。

传感器无论处于“被动模式”或“主动模式”, 均为十六进制输出, 此外“主动模式”还提供“ASCII 输出”。

模拟输出

传感器模拟输出电压值范围为 0-2.5VDC, 输出电压值与测量浓度值成线性关系, 最大输出电流 3mA, 使用中请勿超出其最大输出电流, 否则可能导致传感器工作异常。传感器模拟输出有多个参数供使用者根据各自情况进行灵活选择, 分别是“模拟输出偏移量 (DacOffset) ”、“模拟输出零点输出值 (DacZero) ”、“模拟输出满量程输出值 (DacFsd) ”和“模拟输出量程 (DacOutRange) ”, 可满足在大多数应用场合的需求。



模拟输出偏移量 (DacOffset): 模拟输出电压值偏移量, 单位为 V, 即当传感器根据浓度换算出输出模拟电压值时, 再叠加 DacOffset 后为最终输出值。需要说明的是, DacOffset 设置值加上 DacZero 不应小于 0.0V, DacOffset 设置值加上 DacFsd 不应大于 2.5V。

模拟输出零点输出值 (DacZero): 模拟输出零点值, 即当传感器测量气体浓度为 0 时对应的模拟电压输出值, 其设置范围为 $0.0V \leq \text{DacZero} \leq 2.0V$, 且同时满足 $(\text{DacZero} + \text{DacOffset}) \geq 0.0V$ 。

模拟输出满量程输出值 (DacFsd): 模拟输出满量程值, 即当传感器测量气体浓度为满量程时对应的模拟电压输出值, 其设置范围为 $0.4V \leq \text{DacFsd} \leq 2.5V$, 且同时满足 $(\text{DacFsd} + \text{DacOffset}) \leq 2.5$ 和 $\text{DacFsd} \geq \text{DacZero}$ 。

模拟输出量程 (DacOutRange): 模拟输出量程, 可配置为 0.1,0.2,0.5,1,2,5,10,20%,50%,100%VOL, 模拟输出量程不能超过数字输出量程。

由于传感器上电输出值和模拟输出的故障输出值小于等于 0.2V, 建议使用者配置传感器模拟输出 $(\text{DacZero} + \text{DacOffset}) > 0.2V$, 模拟输出相关参数出厂默认值见表四。

表四 模拟输出参数表

序号	参数符号	参数名称	默认值
1	DacOffset	模拟输出偏移量	0.0 (V)
2	DacZero	模拟输出零点输出值	0.4 (V)
3	DacFsd	模拟输出满量程输出值	2.0 (V)
4	DacOutRange	模拟输出量程	0-5% (VOL)

当传感器模拟输出参数 $(\text{DacZero} + \text{DacOffset}) > 0.2V$ 时, 传感器模拟输出典型值相关说明见表五。

表五 模拟输出典型值

序号	模拟输出值	出现情况
1	0.2V	传感器上电前 60S
2	0.1V	传感器模拟输出参数错误或故障
3	0V	传感器模拟输出故障
4	DacZero+DacOffset	检测到的气体浓度值为零值
5	DacFsd+DacOffset	检测到的气体浓度值为满量程值或超出量程范围的值
6	>2.55V	传感器模拟输出故障

零点校准

发送零点校准命令后, 传感器根据环境数据等条件将收到零点校准命令前 10S 左右数据作为零点数据保存至断电存储器中, 传感器完成零点校准后返回执行结果命令一般在 2S 以内。为保证零点校准的准确性与可靠性, 终端应当在数据完全稳定至少 30S 后再向传感器发送零点校准命令。

提示: 建议做零点校准前, 传感器先上电预热 2 小时以上。发送校零命令后,



终端应该等待传感器返回的命令，因操作有误或传感器等问题，返回的命令可能不是 ACK 数据包，若是 NAK 数据包，则需要查看 NAK 数据包中的错误代码，以排除潜在的问题。

灵敏度校准

发送灵敏度校准命令后，传感器根据环境数据等条件将收到灵敏度校准命令前 10S 左右数据作为灵敏度数据保存至断电存储器中，传感器完成灵敏度校准后返回执行结果命令一般在 2S 以内。为保证灵敏度校准的准确性与可靠性，终端应当在数据完全稳定至少 30S 后再向传感器发送灵敏度校准命令。

提示：建议做灵敏度校准前，传感器先上电预热 2 小时以上，且使用的校准气体浓度值与发送的校准命令中的浓度数据相同，否则可能导致校准失败或校准后测量不准确的问题。

发送校准命令后，终端应该等待传感器返回的命令，因操作有误或传感器等问题，返回的命令可能不是 ACK 数据包，若是 NAK 数据包，则需要查看 NAK 数据包中的错误代码，以排除潜在的问题。

“零点校准”和“灵敏度校准”间隔时间越短越好，先执行“零点校准”，后执行“灵敏度校准”，避免单独只执行两者中的一个。

“零点校准”和“灵敏度校准”间隔时间越短，两者校准之间的环境差（如温度、湿度、压力等）就越小，由环境带来的额外数据误差越小，能有效提升传感器检测精度。“灵敏度校准”的气体浓度值建议使用满量程 50% 及以上的标准气体，如传感器量程为 0-5%VOL 建议使用 2.5%VOL 及以上标准气体。

典型压力测试数据

测试条件

标准气体：2%VOL CO₂;

压力范围：80-120 kPa。

测试顺序

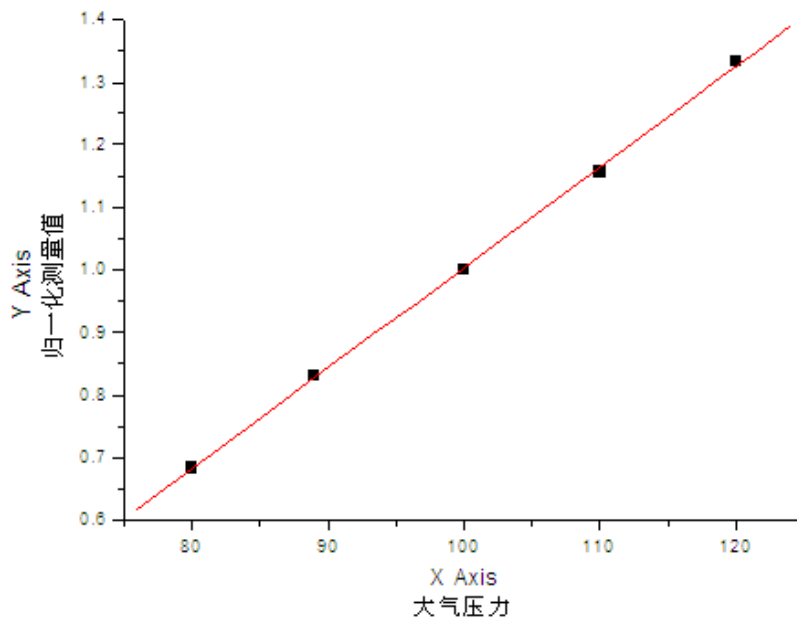
以 10kPa 为步进值，压力由大至小，测试数据如表六所示。

表六 压力——气体测量值测试数据

序号	压力值 (kPa)	气体测量值 (VOL%)	气体测量值归一化后
1	120	2.60	1.3333
2	110	2.25	1.1538
3	100	1.95	1
4	90	1.62	0.8308
5	80	1.33	0.6821



以压力值为标准大气压 100kPa 对应的气体测量值 1.95%VOL 为基准值, 对气体测量值作归一化处理。使用归一化处理后的气体测量值数据和气压值进行线性拟合, 拟合图形见图三。



图三 气压——气体测量值关系图

拟合公式为: $Y=A+B \cdot X$

其中, $A=-0.60673$, $B=0.01611$, Y =气体测量值, X =气压值。由此, 可见拟合直线的斜率 $B=0.01611$ 。

实际应用中, 可使用固定值斜率 B 和气压实时测量值 X 对气体测量值进行压力补偿, 以下补偿方法之一, 供参考。

$$Y_{\text{comp}} = Y/[1+B \cdot (X-100)]$$

式中:

Y_{comp} 为压力补偿后的气体测量值;

Y 为传感器实时输出气体测量值;

B 为固定值斜率 0.01611;

X 为气压实时测量值。

例如当气压实时测量值 $X=120$ kPa 时, 由于工作中气压高于标准气压, 传感器实时输出气体测量值 $Y=2.60$ VOL%, 此时, 传感器工作场所真实气体测量值 Y_{comp} 为:

$$\begin{aligned} Y_{\text{comp}} &= Y/[1+B \cdot (X-100)] \\ &= 2.60/[1+0.01611 \cdot (120-100)] \\ &= 1.97(\text{VOL}\%) \end{aligned}$$



例如当气压实时测量值 $X=80$ kPa 时, 由于工作中气压低于标准气压, 传感器实时输出气体测量值 $Y=1.33$ VOL%, 此时, 传感器工作场所真实气体测量值 Y_{comp} 为:

$$\begin{aligned} Y_{comp} &= Y/[1+B*(X-100)] \\ &= 1.33/[1+0.01611*(80-100)] \\ &= 1.96(\text{VOL}\%) \end{aligned}$$

由此可见, 因工作环境的特殊性, 即使工作场所压力与标准气压不同, 通过简单的线性压力补偿后, 可使气体测量值达到正常测量水平。

注意事项

1. 传感器接触橡胶材料。与传感器有接触的橡胶材料不应使用含氰、腈类材料, 如异氰酸酯类材料, 其可能会对传感器造成检测失灵甚至损坏传感器。

2. 传感器内部禁水。传感器内部为光学通道, 液体进入后将污染光学通道, 使传感器性能降低甚至损坏, 使用中应当在传感器进气口粘贴防水透气膜 (出厂时已配)。

3. 避免在腐蚀性气体环境中使用。腐蚀性气体对传感器检测目标气体不会产生影响, 但传感器长时间工作在含腐蚀性气体的环境中, 会对传感器光学通道产生缓慢腐蚀, 进而影响传感器性能甚至损坏传感器。

4. 校准操作问题。在某些场合对传感器校准需要使用通气罩, 由于传感器测量数据受压力影响, 因此, 通气罩必须带有进、出口, 保证气流平稳、气压平衡。



通信协议

说明: 此协议适用于 MS-CO₂-15BMS 系列红外气体传感器 (以下简称传感器) 和其它终端 (如 PC 机、手持仪表) 之间的通信, 主要实现对传感器测量数据的读取、校零和校准。此协议仅用于购买传感器的用户, 请勿发布于网络。

框架定义

序号	1	2	3	4	5	6
协议序列	包头	命令类型	数据载体	数据链路	包尾	校验码
符号定义	START	CMD	PAYLOAD	DLE	EOF	CHECK
长度 (Byte)	1	1	根据命令类型确定	1	1	4 (接收) /2 (发送)
说明	值定义为: 0XA5	信息包的 命令类型	由命令类型 决定长度	值定义为: 0X10	定义包结 束符为: 0X1F	校验和方式, 两字节校验码

协议说明

1. 包头 (START)

信息包传输过程的第一个字节为数据链路, 定义为: 0XA5。

2. 命令类型 (CMD)

信息包中有效信息所包含的命令类型, 定义如下:

序号	描述	命令	字节内容	二进制
1	读数据命令	RD	0X13	(00010011)
2	写数据命令	WR	0X15	(00010101)
3	应答信号 ACK, 表示接收者已正确接收上一信息包	ACK	0X16	(00010110)
4	重发请求 NAK, 表示接收者没有正确接收到上一信息包	NAK	0X19	(00011001)
5	单数据帧	DAT	0X1A	(00011010)

3. 数据载体 (PAYLOAD)

读或写传感器的具体数据。传感器接收时 PAYLOAD 的长度为定长 9 字节, 发送时则根据发送数据类型而定。因此, 传感器接收数据包总长度为 $9+8=17$ 字节。

终端向传感器发送读写命令时, 数据载体为具体操作对象, 数据载体 (PAYLOAD) 的第一个字节详细说明如下表所示:



序号	字节内容	信息类型	描述
1	0X06	读传感器测量数据	仅被动模式
2	0X02	Zero Sensor (零点校准)	
3	0X03	Span Sensor (Span 校准)	

4.数据链路 (DLE)

定义为: 0X10。

5.包尾 (EOF)

信息包传输过程的最后一个字节 (除校验码外), 定义为: 0X1F。

6.校验码 (CHECK)

校验和方式, 校验码为 4 (传感器接收时) / 2 (传感器发送时) 个字节。校验和是从每个数据包包头 (START) 开始, 到数据包包尾 (EOF) 结束。传感器接收时校验码 1 个字节将高低 4 位分成 2 个字节组成, 高 4 位在前, 低 4 位在后; 传感器发送时校验码则整个字节发送。

比如, 当终端向传感器发送一个数据包的校验和 CHECK 值为 0x12AB, 则传感器依次接收到的 CHECK 数据应为: 0X01, 0X02, 0X0A, 0X0B (4 个字节); 当传感器向终端发送一个数据包的校验和 CHECK 值为 0x12AB, 则终端依次接收到的 CHECK 数据应为: 0X12, 0XAB (2 个字节)。

数据列表

传感器实时测量数据存放于测量数据列表中, 详见下表。

传感器测量数据列表

序号	变量类型	变量名称	默认值	数据长度 (Byte)	说明
1	float	Concentration	0	4	气体浓度
2	float	Temperature	0	4	温度
3	float	Humidity	0	4	湿度
4	float	Fa	0	4	吸收率

通信举例

1.读传感器测量数据

终端向传感器发送数据包的字节依次如下:

包头	读命令	数据载体	数据链路	包尾	高字节		低字节	
1BYTE	1BYTE	9BYTE	1BYTE	1BYTE	2BYTE		2BYTE	
START	RD	PAYLOAD	DLE	EOF	CHECK:0X00		CHECK:0XED	
0XA5	0X13	0X06, 0X00, 0X00, 0X00, 0 X00, 0X00, 0X00, 0X00, 0 X00	0X10	0X1F	高 4bit	低 4bit	高 4bit	低 4bit
					0X00	0X00	0X0E	0X0D



传感器如成功接收到数据包，则返回如下字节：

包头	数据命令	数据载体		数据链路	包尾	高字节	低字节
START	DAT	PAYLOAD		DLE	EOF	CHECK	CHECK
		DATA_LEN	DATA				
0XA5	0X1A	0X10	...	0X10	0X1F	0Xxx	0Xxx

DATA_LEN 占一个字节，它只包含 DATA 长度，且 DATA_LEN 小于 255。

0x10 DATA_LEN
 0Xxx 0Xxx 0Xxx 0Xxx DATA 浓度
 0Xxx 0Xxx 0Xxx 0Xxx DATA 温度
 0Xxx 0Xxx 0Xxx 0Xxx DATA 湿度
 0Xxx 0Xxx 0Xxx 0Xxx DATA 吸收率

读传感器测量数据命令，传感器返回 23 个字节，DATA_LEN 1 个字节，DATA 16 个字节，数据包其它 6 个字节。

2. 写零点校准

终端向传感器发送数据包的字节依次如下：

包头	数据命令	数据载体	数据链路	包尾	高字节		低字节	
1BYTE	1BYTE	9BYTE	1BYTE	1BYTE	2BYTE		2BYTE	
START	WR	PAYLOAD	DLE	EOF	CHECK:0X00		CHECK:0XEB	
0XA5	0X15	0X02,0X00, 0X00,0X00,0X00,0 X00, 0X00,0X00,0X00	0X10	0X1F	高 4bit	低 4bit	高 4bit	低 4bit
					0X00	0X00	0X0E	0X0B

当终端接收到传感器返回的 ACK 数据包时，则写操作成功完成（写零点时传感器完成并返回 ACK 数据包需耗时 2S，最长不超过 4S）。

3. 写灵敏度校准

终端向传感器发送数据包的字节依次如下：

包头	数据命令	数据载体	数据链路	包尾	高字节		低字节	
1BYTE	1BYTE	9BYTE	1BYTE	1BYTE	2BYTE		2BYTE	
START	WR	PAYLOAD	DLE	EOF	CHECK:0Xxx		CHECK:0Xxx	
0XA5	0X15	0X03,0X, 0X,0X,0X,0X,0X,0X ,0X	0X10	0X1F	高 4bit	低 4bit	高 4bit	低 4bit
					0X	0X	0X	0X

当终端接收到传感器返回的 ACK 数据包时，则写操作成功完成（写 Span 校准时传感器完成并返回 ACK 数据包需耗时 2S，最长不超过 4S）。

写灵敏度校准说明：

1) PAYLOAD 后 8 个字节为校准气体浓度值 (x%VOL)。

2) 所有数据均以小端模式进行读写（即高地址存高位数据）。

3) 如校准气体浓度值为 2.0%CH₄，浮点数 2.0 转换为字节依次为：0x00, 0x00, 0x00, 0x40；1 个字节的高低 4 位拆分后，则 PAYLOAD 后 8 个字节依次为：0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x04, 0x00。终端向传感器发送数据包的字节依次为：0xA5, 0x15, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x04, 0x00, 0x10, 0x1F, 0x00, 0x00, 0x0F, 0x00。



4) 如校准气体浓度值为 20.0%CH₄, 浮点数 20.0 转换为字节依次为: 0x00, 0x00, 0xA0, 0x41; 1 个字节的高低 4 位拆分后, 则 PAYLOAD 后 8 个字节依次为: 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0A, 0x00, 0x04, 0x01。终端向传感器发送数据包的字节依次为: 0xA5, 0x15, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0A, 0x00, 0x04, 0x01, 0x10, 0x1F, 0x00, 0x00, 0x0F, 0x0B。

错误代码

传感器如成功接收到校零或校准数据包并完成写操作后, 返回 ACK 数据包, 内容如下:

包头	ACK 命令
START	ACK
0xA5	0x16

终端对传感器的发送数据包时, 如传感器接收错误或操作失败, 则返回如下字节:

包头	NAK 命令	错误原因
START	NAK	Reason
0xA5	0x19	0Xxx

此处 Reason 为一个字节, 表示的错误原因依靠传感器型号而定, 一般有如下错误信息:

序号	错误代码	错误描述
1	01	变量不可读
2	02	变量不可写
3	03	超出操作范围
4	04	错误的数据长度
5	05	未定义命令或字节
6	06	校验失败
7	07	版本错误
8	08	传感器正忙
9	16	零点数值超出正常范围
10	18	低浓度范围校准值偏差过大
11	20	高浓度范围校准值偏差过大
12	24/26/28	输入的校准气体浓度数值超出正常范围