

# Application Note

## HART 协议基本指南



Joseph Wu

### 摘要

许多工厂自动化和控制系统中都使用可寻址远程传感器高速通道 (HART®) 协议。该协议使用已有的 4-20mA 环路在智能变送器和主机之间发送数字信号，从而获得可用于实现控制、监控或安全的数据。本应用手册首先概述了 4-20mA 系统和 HART 变送器，并讨论了支持 HART 的器件的开发协议。本应用手册还讨论了具有 HART 连接的不同 TI 器件。

### 内容

<b>1 HART 协议简介</b> .....	<b>2</b>
1.1 HART 协议的不同形式.....	2
1.2 HART 增强 4-20mA 环路.....	3
1.3 HART FSK 信号.....	4
1.4 HART 配置.....	4
1.5 HART 协议结构.....	6
<b>2 HART 协议和测试规格</b> .....	<b>10</b>
2.1 OSI 协议模型.....	10
2.2 HART 协议规范.....	11
2.3 HART 测试规格.....	11
<b>3 TI 支持 HART 的器件</b> .....	<b>12</b>
3.1 具有 HART 连接的 TI DAC.....	12
3.2 TI HART 调制解调器.....	15
<b>4 结论</b> .....	<b>17</b>
<b>5 参考文献</b> .....	<b>18</b>

### 商标

FOUNDATION™ is a trademark of Fieldbus Foundation.

HART®, WirelessHART®, and HART-IP® are registered trademarks of FieldComm Group, Inc.

PROFIBUS® is a registered trademark of PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 HART 协议简介

可寻址远程传感器高速通道 (HART) 协议增强了 4-20mA 仪表的向后兼容性，可实现与基于微处理器的智能现场器件的双向通信。

对于工厂自动化和控制 (FA&C) 应用，4-20mA 电流环路通信是一种常用的方法，可将数据从测量工厂变量的远程变送器发送回接收和处理数据的主机。电流值是远程变送器发送的主要变量，在某种程度上代表温度、流量或压力的大小。

HART 信号叠加到该 4-20mA 电流环路上，并针对双向数字通信进行调制。4-20mA 环路已成为 FA&C 应用中广泛使用的标准。由于此技术向后兼容并可与现有的基础设施配合使用，因此 HART 易于采用且具有成本效益。

HART 是一种命令/响应协议，其中主机发送命令，远程变送器返回标准化响应。命令接收到的数据可以传达器件状态和诊断信息。数据还可以包括器件测量浮点数字值、主要变量的工程单位以及有关远程变送器的其他信息。

HART 协议也可用于标准化操作过程，例如测试电流环路、电流环路的范围设置以及来自变送器的校准信息。

HART 修改了仅发送电流值主要变量的 4-20mA 系统，并增加了具有更多功能的数字通信。

### 1.1 HART 协议的不同形式

标准 HART 传输是叠加在 4-20mA 信号上的移频键控 (FSK) 信号。FSK 位以 1200 位/秒 (bps) 的速率传输。FSK 表示位信号以两种不同的频率传输，使用数字 1 和数字 0 代表两种频率。

标准 FSK 信号的替代方案是同调 8 路相移键控 (C8PSK) 信号。此版本的 HART 提高了数字传输速率。此版本使用具有 8 个不同相位的 3200Hz 载波获取信息。在 3200Hz 下，八个相位可提供 9600bps 的有效位传输速率。C8PSK 类似于标准 FSK，与 4-20mA 环路上的模拟信令兼容。

此外，HART 协议还可用于其他信号系统。一些制造商已经开发了使用 HART 通信数据包 (通过 RS-485 发送) 的器件。

WirelessHART® 使用基于 IEEE 802.15.4 标准的 2.4GHz 时分多址 (TDMA) 通信来集成无线通信。该协议旨在与现有的 HART 协议和 HART 器件协同工作。WirelessHART 本质上是一个无线网状网络，用于将现场器件连接至 WirelessHART 网关。

HART-IP® 使用互联网协议 (IP) 通过以太网发送 HART 通信。HART-IP 可连接到单个器件，也可连接到 WirelessHART 器件的无线网关。HART-IP 实质上是使用 IP 寻址的 HART。以太网连接使用 Ethernet-APL，这是一种双线环路供电式以太网物理层，用于加工厂中的恶劣危险环境。

在本应用手册发布时，TI 现有的支持 HART 的器件采用标准 FSK HART。因此，本应用手册仅讨论 HART FSK。

## 1.2 HART 增强 4-20mA 环路

图 1-1 展示了在 4-20mA 环路上安装的远程变送器的基本方框图。

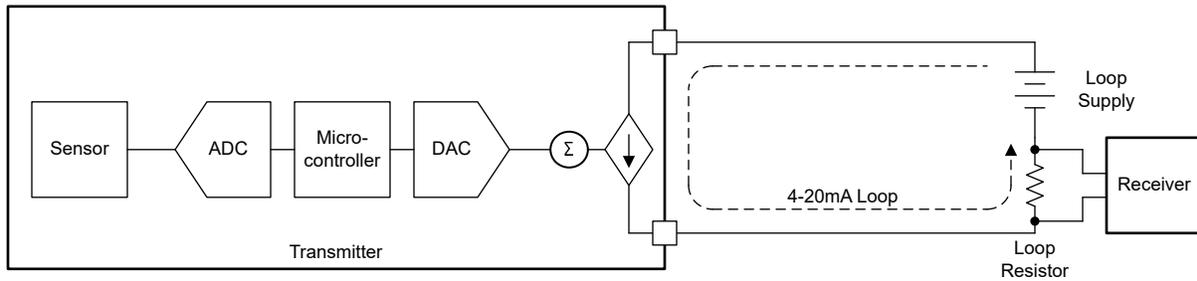


图 1-1. 4-20mA 环路上的远程变送器

远程变送器将传感器的测量值转换为标准电流并在 4-20mA 环路上传输。测量数据可以是用于工业控制的变量：温度、压力、流量或工厂车间所需的任何其他测量值。此测量值被转换为一个主要变量，主要变量有一个已定义好的满标量程。这个主要变量在 4-20mA 环路中转换为与测量信号成正比的值。例如，环路电流 4mA 表示零标度，环路电流 20mA 表示满标度。如果从加热室获得的温度测量值具有 0°C 到 1000°C 整个范围，则环路中的电流 4mA 表示 0°C，环路中的电流 20mA 表示 1000°C。中间值以线性方式转换到此标度。主要变量的值由连接到主机的接收器测量。要将主要变量反译为具体的测量值，需使用模数转换器 (ADC) 来测量电阻，以确定环路中的电流。

如前所述，HART 通信使用 4-20mA 环路，并使用 HART 调制解调器向环路中添加数字信号。HART 通信使用 FSK 信号来调制通信中的数字位。调制解调器指令发送两种不同的频率，在数字通信中用 0 或 1 表示。图 1-2 展示了向变送器添加 HART。

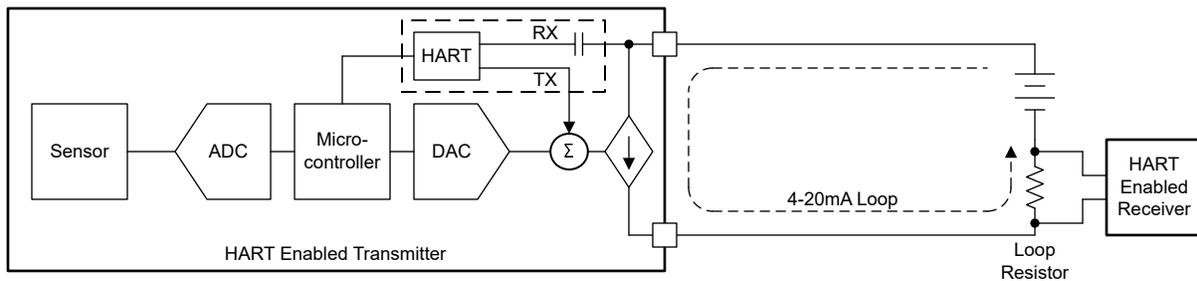


图 1-2. 将 HART 添加到 4-20mA 环路

变送器包含一个 HART 调制解调器，其传输显示为 TX。调制解调器对环路中的电流进行调制，以传输数字信号。HART 信号被添加到表示主要变量的电流值中。调制解调器还会容性耦合电压信号以接收数字信号。调制解调器的这一部分在远程变送器内部显示为接收器 (RX)。

另一个连接到主机的支持 HART 的接收器用于测量环路中电阻器上的电压，以确定主要变量。主机使用低通滤波器接收主要变量测量值，以滤除 HART FSK 信号。通信使用的电阻范围为 230 Ω 至 600 Ω，250 Ω 是 HART 应用中使用的典型电阻。同时，主机使用带通滤波器接收 HART FSK 数字信号。主机和现场变送器都可以发送和接收与传感器和支持 HART 的变送器相关的数据。该 HART 信号必须经过带通滤波才能被远程变送器接收到。

### 1.3 HART FSK 信号

HART FSK 数字信号是在 4-20mA 环路上调制的正弦波。名义上，HART FSK 是一个  $1\text{mA}_{\text{PP}}$  正弦波。图 1-3 显示了用 HART 调制信号表示环路中的瞬时电流。4-20mA 电流表示主要变量。

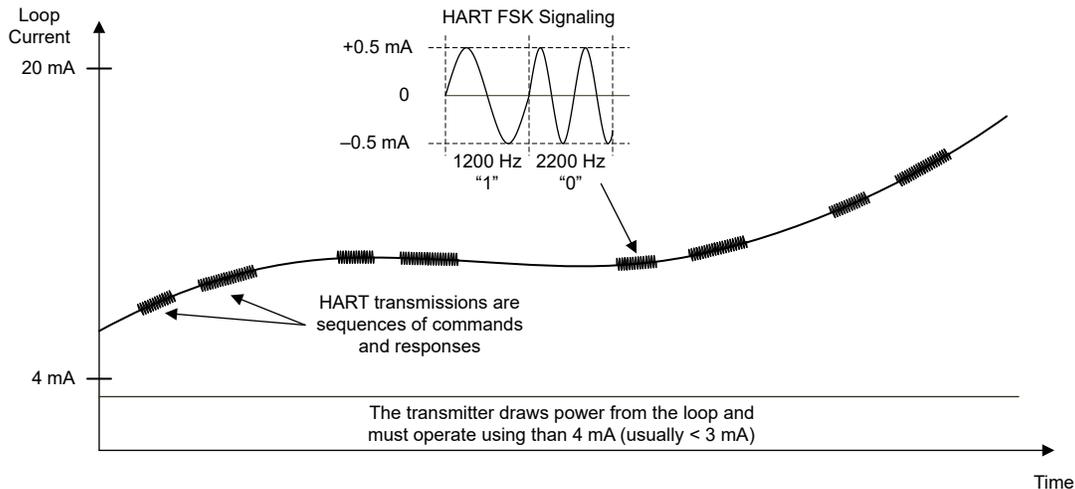


图 1-3. 4-20mA 环路上的 HART 传输

如前所述，位表示为两个不同的 FSK 信号。1200Hz 信号是数字 1，2200Hz 信号是数字 0。数据以 1200 波特率发送，每位长度为  $833\mu\text{s}$ 。

请注意，许多变送器都是由环路电源供电。这意味着施加到环路的电源也会用于为变送器供电。由于没有其他电源，并且环路的零标度为  $4\text{mA}$ ，因此变送器运行时的电流预算必须低于此电流量。在某些情况下， $3.5\text{mA}$  的电流会视为误差信号，因此变送器的实际运行电流最大预算必须为  $3\text{mA}$ 。

主要变量和 HART 信号共享相同的传输，每个信号必须经过滤才能接收到。图 1-4 显示了主要变量和 HART 信号的频率成分。

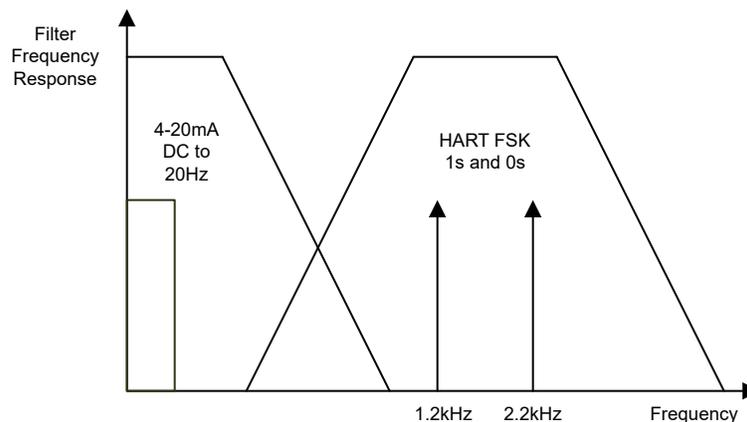


图 1-4. 过滤主要变量和 HART FSK

在支持 HART 的接收器中，使用低通滤波器来读取主要变量，以测量电阻两端的电压。此信号通常低于  $20\text{Hz}$ ，低通滤波器的截止频率可以为  $25\text{Hz}$ 。HART 传输采用更高的频率，FSK 位为  $1200\text{Hz}$  和  $2200\text{Hz}$ 。此 HART 信号是使用一个工作频率通常为  $500\text{Hz}$  至  $10\text{kHz}$  的带通滤波器接收的。

### 1.4 HART 配置

可通过两种基本方法将 HART 器件连接到控制系统。图 1-5 展示了控制系统与支持 HART 的现场变送器的点对点连接

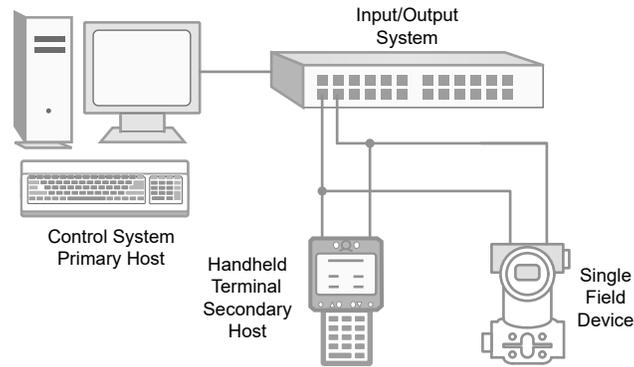


图 1-5. HART 主机和支持 HART 的现场变送器的点对点连接

主机可以通过交换机提供多个输入。当有通信时，每个输入都有电源和接收器。主机从单个现场器件发送命令和接收数据。第二主机可用于发送命令和接收数据，但环路上只有单个现场器件。

将 HART 器件连接到控制系统的第二种基本方法是多点模式。在多点模式下，多个现场器件并行连接。使用此模式时，没有主要变量，每个现场器件的电流固定在 4mA。图 1-6 显示了在多点模式下设置的多个现场变送器。

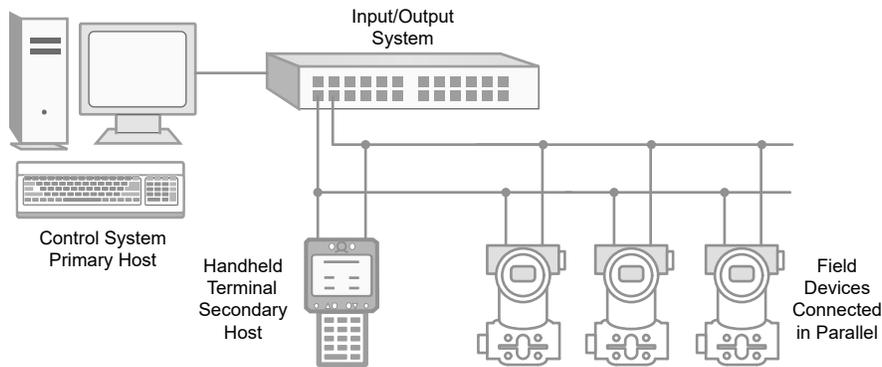


图 1-6. 在 HART 多点模式下设置的现场变送器

每个器件通过唯一的地址进行标识。通过这种方式，主机可以与环路上的单个器件进行通信。HART 的不同版本允许不同数量的地址：

- 地址 0：点对点器件的默认地址
- 地址 0 至 15：多点环路器件的 HART 版本 5 或更早版本的地址范围
- 地址 0 至 63：多点环路器件的 HART 版本 6 或更高版本的地址范围

## 1.5 HART 协议结构

作为一种协议，所有 HART 传输都整理为字节组。以下各节介绍了基本通信、字节和帧结构以及器件寻址。

### 1.5.1 HART 通信

HART 协议通信是半双工的。主机可以与现场变送器通信，而现场变送器也可以与主机通信。不过，4-20mA 环路上只有一条通信线路，并且在任何给定的时间只有其中一条能够发送命令或数据。

主机和现场器件之间有两种 HART 通信模式。第一种通信模式是请求-响应模式。主机发送命令，现场变送器进行响应。通信由主机器件发起。

其次，一些 HART 器件支持突发模式通信。在突发模式下，主机发送命令以启动突发模式响应。一旦启动，现场变送器便会以重复的 HART 响应进行响应。例如，响应可以是主要变量的数字读数。现场变送器重复发送主要变量的值，直到主机发送一条停止突发模式的命令。图 1-7 和图 1-8 显示了 HART 器件处于请求-响应模式和突发模式下的帧通信。传输的主要变量可以用于过程控制的各种测量的单位表示。

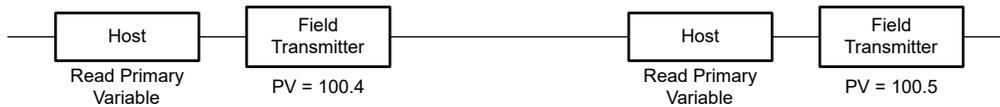


图 1-7. 请求-响应模式下的 HART 通信

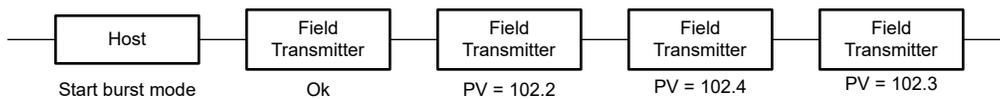


图 1-8. 突发模式下的 HART 通信

对于较长的 HART 数据包和 1200bps 的波特率，请求-响应模式通信速度可达每秒两到三次数据更新。突发模式可将数据更新增加至每秒三到四次。

### 1.5.2 HART 字节

在每次传输中，HART 使用一个基本字节结构。此结构类似于 UART 格式。HART 字节如图 1-9 所示。

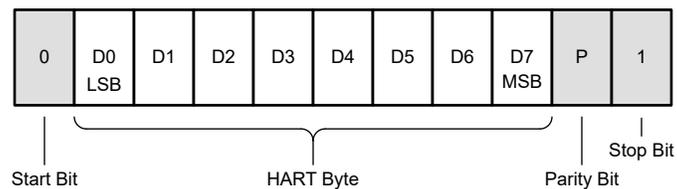


图 1-9. HART 协议字节

第一个传输位是 0，表示开始位。接下来的 8 个位是 HART 字节，首先以最低有效位 (LSB) 传输，以最高有效位 (MSB) 结束。下一位是奇校验位，最后一位是 1，表示停止位。每个 HART 字节都使用这种 11 位格式进行传输。

### 1.5.3 HART 数据帧结构

HART 使用特定的数据帧结构进行通信。主机发送命令，远程变送器发送具有特定结构的帧作为响应。HART 帧包含 9 段按照特定顺序发送的 HART 字节。

表 1-1 显示了 HART 通信数据包中的不同字段。

表 1-1. HART 数据帧结构中的字段

字段名称	长度 (以字节为单位)	用途
前导码	5-20	HART 帧以 5 至 20 字节的前导码开始。这是传输的开始部分，并使用一组连续的 0xFF 字节。前导码传输为帧确定载波检测和同步。

表 1-1. HART 数据帧结构中的字段 (续)

字段名称	长度 (以字节为单位)	用途
起始字节	1	在 HART 数据帧的开头使用起始字节 (也称为定界符) 来指示数据包的起源位置。起始字节可以指示主机号以及消息和地址格式, 还可以指示数据包是来自现场器件的响应还是来自突发模式下现场器件的数据。定界符指定地址类型、扩展字节数、物理层和数据帧的来源。
地址	1 或 5	HART 地址为 1 或 5 个字节。该地址表示第一主机或第二主机, 或来自器件的 4 位轮询地址。长帧总共使用五个字节, 其中 14 位用于扩展的器件类型, 另外三个字节用于器件 ID 编号。该地址还可以指示突发模式运行。
扩展	0-3	扩展字节用于潜在扩展。该字段的长度为 0 到 3 个字节, 长度由起始字节指示。这些字节被保留用于将来可以实现的协议增强。
命令	1	命令字节会告知器件或主机正在传输什么信息或要执行什么操作。字节指示要执行的命令的数值。
字节计数	1	该字节表示数据帧中数据字节的数量。该值描述了包括状态字节在内的数据字段的大小
状态字节	2	状态字节用于器件到主机的传输, 其中包含有关通信错误、命令状态和器件信息的信息。
数据字段	0-253	该部分是根据命令在现场变送器 and 主机之间传输的 0 到 253 字节数据, 反之亦然。前面提到的字节计数字段由 1 个字节表示, 最大计数为 255。字节计数包括状态字节和数据字节。通用和常见做法命令的数据长度最多为 33 字节。
校验和	1	HART 帧以校验和结束。该单字节是从起始字节到数据最后一个字节的所有字节的异或运算。

以下各节简要介绍了 HART 数据帧的一些部分。

### 1.5.3.1 HART 起始字节

在传输 HART 前导码 (几个字节的 0xFF) 之后, 会发送起始字节定界符。定界符描述了所发送帧内的信息。图 1-10 显示了定界符的结构。

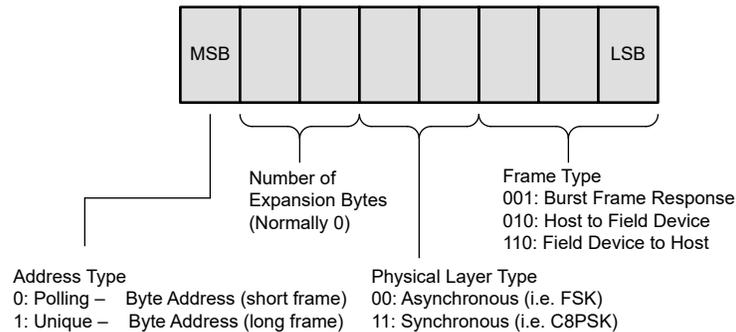


图 1-10. HART 起始字节

定界符的 MSB 指示该帧使用的地址类型。如果该位为零, 此地址是 4 位轮询地址。如果该位为 1, 此地址使用唯一的器件 ID 来指示该器件。接下来, 两个位用于 HART 扩展。这些位通常为零。

两个位描述了用于 HART 传输的物理层类型。位 00b 描述了异步 FSK 传输, 而位 11b 描述了同步 C8PSK 传输。

最后三位描述了帧的类型和传输的来源。位 001b 表示帧是器件在突发模式下的传输。位 010b 表示帧是从主机到现场器件的传输。位 110b 表示帧是从现场器件到主机的传输。

### 1.5.3.2 HART 器件寻址

用于指示 HART 地址的寻址形式有两种。1 字节的短帧地址和 5 个字节的长帧地址。

短帧地址字节为八位 (没有开始位、奇偶校验位或停止位)。第一位表示第一主机或第二主机。第二位指示突发模式传输。第三位和第四位始终为零, 最后四位表示 HART 地址。图 1-11 中显示了 HART 短帧地址。

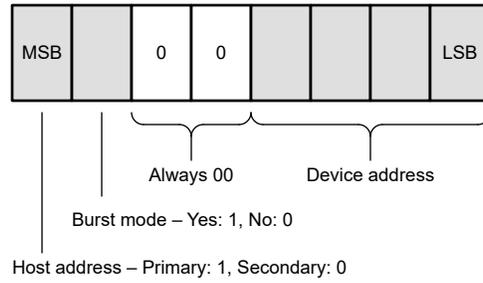


图 1-11. HART 短帧地址字节

长帧地址由五个字节组成，如图 1-12 所示。器件由扩展的器件类型和器件 ID 号进行标识，这五个字节中总共有 38 位。在第一个字节中，第 1 位表示第一主机或第二主机，第 2 位表示突发模式。扩展的器件类型使用串联到第二个字节 (14 位) 的第一个字节的最后六位。长帧地址的最后三个字节指示器件的器件 ID 编号 (24 位)。

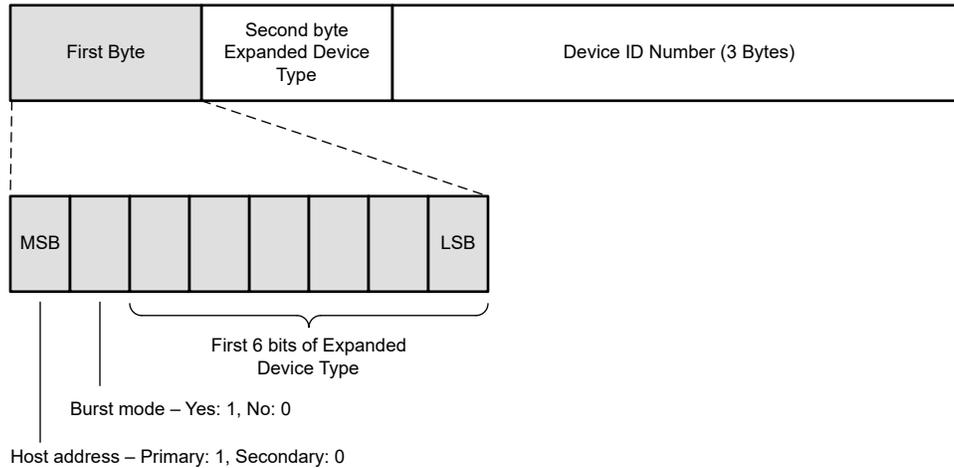


图 1-12. HART 长帧地址

### 1.5.3.3 HART 命令

HART 命令在帧中的扩展字节之后以单个字节形式发送。从主机到现场器件的命令可以从器件读取变量、状态等信息或器件信息。命令还可以写入现场器件以设置轮询地址以及写入描述符和消息。

命令分为几个类别。首先，所有现场器件都需要通用命令，HART 协议必须支持这些命令。其次，以标准格式对许多（但非所有）器件实现了常见做法命令。还有一些可用于特定器件或器件制造商的器件专用命令。最后，还有一些器件系列命令，可用于一组器件类型的标准功能或制造商定义的测量值，以便对该系列进行通用访问。

通用命令是针对命令 0 - 30、38 和 48 定义的，描述了主机与现场器件之间的基本事务。通用命令用于读取器件标识、动态变量和其他信息。这些命令还会将轮询地址和其他标识信息写入器件存储器。为了符合 HART 协议，必须实现通用命令。请注意，使用单字节时，基本命令限制在 0 到 255 之间。命令 31 指示数据字段中显示的 16 位命令编号，该编号会将可能的命令显著扩展到现场器件。

常见做法命令的定义范围为 32 至 121（38 和 48 除外），并非用在所有现场器件中。使用时，必须按照协议中所述实现常见做法命令。其他常见做法的命令包括扩展后的命令 512 - 767。

命令 122 - 126 供工厂使用，129 和 254 至 511 是保留命令。还有额外的器件专用命令（具体取决于现场器件的传感器或传动器类型），以及用于无线器件和 16 位扩展内的 WirelessHART 的其他命令。

## 2 HART 协议和测试规格

HART 是由 Rosemount Incorporated ( 目前归 Emerson Electric 所有 ) 于 20 世纪 80 年代中期制定的。该协议基于 Bell 202 调制解调器通信标准。HART 协议现在由 FieldComm Group 管理。FieldComm 负责维护该协议并监督该协议的任何更改或修订。FieldComm 还会注册符合 HART 的器件。截至本应用手册发布之日，HART 目前处于修订版 7。

符合 HART 标准的器件的注册首先由制造商进行测试。制造商会运行一组物理层测试，并测试对 HART 命令的响应。制造商测试 HART 器件后，FieldComm 会再次测试此类器件，以验证是否符合 HART 协议，从而确认注册。

### 2.1 OSI 协议模型

HART 协议遵循七层开放系统互连 (OSI) 协议模型。OSI 模型描述了计算机系统用于通过网络进行通信的七个层。图 2-1 所示为 OSI 协议模型和 HART 协议的比较。

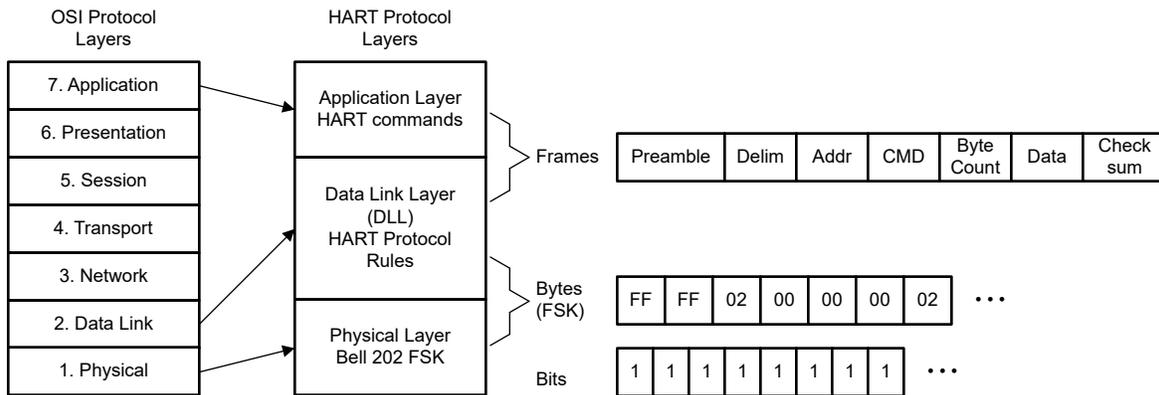


图 2-1. HART 协议与 OSI 协议模型比较

在 OSI 模型的七个层中，HART 协议使用三个层来描述网络通信。

底部是一个 HART 物理层。这是基于 Bell 202 标准的 HART 传输的 FSK 格式。该信号以 1200 波特发送数据，并叠加在 4mA 到 20mA 模拟测量信号上。

接下来，HART 数据链路层 (DLL) 定义主机和变送器之间的通信格式和时序规则。总线上可以有两台不同的主机，并且在多点模式下，可以并行连接多达 15 个器件 ( HART 版本 3 至 5 ) 或 62 个器件 ( HART 版本 6 或更高版本 )。

最后，应用层会进行一些人机或计算机交互，定义协议中使用的命令、响应和数据格式。如前所述，应用层的命令分为多个类别。这些命令包括通用命令、常见做法命令和器件专用的命令。

每个层都通过测试来验证 HART 协议中的不同规则。HART 注册测试分为三层，涵盖物理层、数据链路层和应用层命令。

## 2.2 HART 协议规范

以下是 HART 协议规范列表。这些规范概述了 HART 器件如何响应命令并描述了协议的物理层。

- [HART 通信协议规范 \(HCF\\_SPEC-13 FCG TS20013\)](#)
- [FSK 物理层规范 \(HCF\\_SPEC-54 FCG TS20054\)](#)
- [令牌传递数据链路层规范 \(HCF\\_SPEC-81 FCG TS20081\)](#)
- [命令摘要规范 \(HCF\\_SPEC-99 FCG TS20099\)](#)
- [通用命令规范 \(HCF\\_SPEC-127 FCG TS20127\)](#)
- [常见做法命令规范 \(HCF\\_SPEC-151 FCG TS20151\)](#)

上述规范可在 [FieldComm 网站](#) 上在线查看，但非成员公司无法下载。这些规范可作为装订册购买。成员公司可以下载 PDF 格式的电子副本。公司从 FieldComm Group 购买会员资格。

## 2.3 HART 测试规格

以下是 HART 协议测试规格列表。这些测试规格描述了针对协议不同层的 HART 测试的详细信息。测试规格描述了测试的构成以及不同测试故障的外观。

- [FSK 物理层测试规格 \(HCF\\_TEST-2 FCG TT20002\)](#)
- [令牌传递数据链路层测试规格 \(HCF\\_TEST-1 FCG TT20001\)](#)
- [通用命令测试规格 \(HCF\\_TEST-3 FCG TT20003\)](#)
- [常见做法命令测试规格 \(HCF\\_TEST-4 FCG TT20004\)](#)

对于测试规格，只能在给定网站上在线查看目录。非成员公司必须购买装订册。

这四个测试协议管理 HART 注册所需的测试。物理层测试规格涵盖了环路上 HART 信号的物理方面。这包括移频键控 (FSK) 信号形状和频率、工作频带内的容许噪声、FSK 和传送至电路板的数字信号之间的时序，以及电路板本身的输出阻抗。

令牌传递数据链路层测试 (DLL 测试) 控制 HART 主机和远程变送器之间的通信。通用命令测试 (UAL 测试) 涵盖所有 HART 器件必须支持的命令。常见做法命令测试 (CAL 测试) 涵盖经常在 HART 器件中实现的命令。DLL、UAL 和 CAL 测试需要使用专用的 HART 测试仪，该测试仪以不同的格式传输不同的命令，从而检查器件的响应。

### 3 TI 支持 HART 的器件

德州仪器 (TI) 生产多种旨在用于集成 HART FSK 信号的器件。其中一些器件为具有电压或电流输出的数模转换器 (DAC)，它们与 HART 信号耦合并在输出端进行调制。另一些器件是调制解调器，它们通过 UART 接口或 SPI 发送和接收 HART 信号。

表 3-1 列出了可以与 HART 协议连接的 TI 器件。以下各节将更详细地讨论这些器件。

表 3-1. 器件参考

器件类型	TI 器件	DAC 分辨率	特性	HART 连接
适用于现场变送器的 DAC	<a href="#">DAC161S997</a>	16 位	现场变送器用精密 DAC (具有内部基准、集成运放、SPI 和用于设置电流环路驱动的匹配电阻器)	HART 信号从 C2 引脚容性耦合到 DAC 输出
	<a href="#">DAC161P997</a>	16 位	现场变送器用精密 DAC (具有内部基准、集成运放、单线接口和用于设置电流环路驱动的匹配电阻器)	
电流输出 DAC	<a href="#">DAC8750</a>	16 位	具有内部基准的单通道可编程电流输出 DAC，适用于 4-20mA 电流环路应用	HART 信号通过 HART-IN 引脚容性耦合到 DAC 输出
	<a href="#">DAC7750</a>	12 位		
电流和电压输出 DAC	<a href="#">DAC8760</a>	16 位	具有内部基准的单通道可编程电流和电压输出 DAC，适用于 4-20mA 模拟输出应用	HART 信号通过 HART-IN 引脚容性耦合到 DAC 输出
	<a href="#">DAC7760</a>	12 位		
	<a href="#">DAC8771</a>	16 位	单通道可编程电流和电压输出 DAC，具有内部基准和降压/升压转换器，适用于模拟输出应用	HART 信号通过 HART-IN_x 引脚容性耦合到 DAC 中
	<a href="#">DAC8775</a>	16 位	四通道可编程电流和电压输出 DAC，具有内部基准和降压/升压转换器，适用于模拟输出应用	
HART 调制解调器	<a href="#">DAC8740H</a>		带 UART 接口的 HART 调制解调器	HART 信号容性耦合到调制解调器的 MOD_IN 或 MOD_INF 上，具体取决于输入滤波、MOD_OUT 上的 HART 正弦输出
	<a href="#">DAC8741H</a>		带 SPI 的 HART 调制解调器	
	<a href="#">DAC8742H</a>		具有 SPI 和 UART 接口的 HART 调制解调器	
具有 DAC 的 HART 调制解调器	<a href="#">AFE881H1</a>	16 位	现场变送器用精密 DAC (具有 0.15V 至 1.25V 输出范围、内部基准和 ADC)	HART 信号容性耦合到调制解调器的 MOD_IN 或 MOD_INF 上，具体取决于输入滤波、MOD_OUT 上的 HART 正弦输出
	<a href="#">AFE781H1</a>	14 位		
	<a href="#">AFE882H1</a>	16 位	现场变送器用精密 DAC (具有 0V 至 2.5V 输出范围、内部基准和 ADC)	
	<a href="#">AFE782H1</a>	14 位		

#### 3.1 具有 HART 连接的 TI DAC

[DAC161S997](#) (SPI) 和 [DAC161P997](#) (单线接口) 是 16 位  $\Delta$ - $\Sigma$  DAC。这些器件具有外部 NPN 晶体管，可用于构建低功耗、高精度、工业 4-20mA 变送器。DAC、一个内部运放和几个内部精密电阻器用于为变送器构建电压转电流 (V-I) 级。对于此器件，HART FSK 信号可容性耦合到器件内部的 RC 滤波器。图 3-1 显示了现场变送器应用中 [DAC161S997](#) 的方框图。HART FSK 信号通过与 C2 引脚的连接调制到电流环路上。



单通道 DAC8771 和四通道 DAC8775 具有适用于工业过程控制应用的电流和电压输出，但这些模拟输出具有双极范围。另一个新增特性是用于为 DAC 输出供电的集成式降压/升压转换器。图 3-3 展示了 DAC8775 的方框图。HART 信号通过 HART-IN 引脚调制到电流或电压输出上。

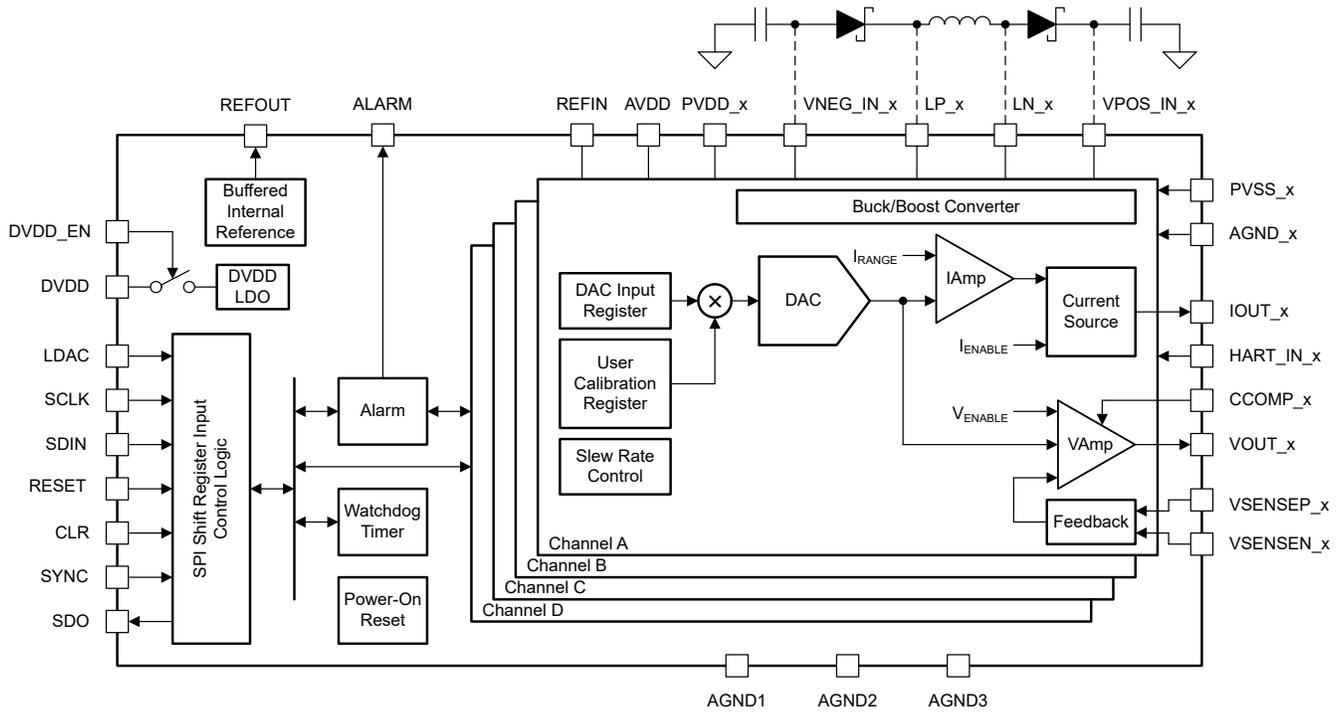


图 3-3. DAC8775 的方框图

### 3.2 TI HART 调制解调器

DAC874xH 器件是符合 HART 标准的调制解调器系列，同时还兼容 FOUNDATION™ 现场总线和 PROFIBUS® PA。此系列器件是低功耗调制解调器设计，适用于工业过程控制和工业自动化应用。

DAC8740H 是一款 HART 调制解调器，可将 HART FSK 信号转换为 UART 信号，反之亦然。DAC8741H 是基于寄存器的，使用 SPI 而非 UART 进行通信。DAC8741H 使用 FIFO 缓冲器进行 HART 通信，并通过读取和写入寄存器来传输数据，从而与 FIFO 缓冲器交换数据。DAC8742H 能够使用 UART 和 SPI 传输 HART 数据。图 3-4 展示了 DAC874xH HART 调制解调器的方框图。HART 调制信号来自 MOD\_OUT 引脚，而 HART 信号是通过 RX\_IN 或 RX\_INF 引脚（具体取决于外部滤波）接收的。

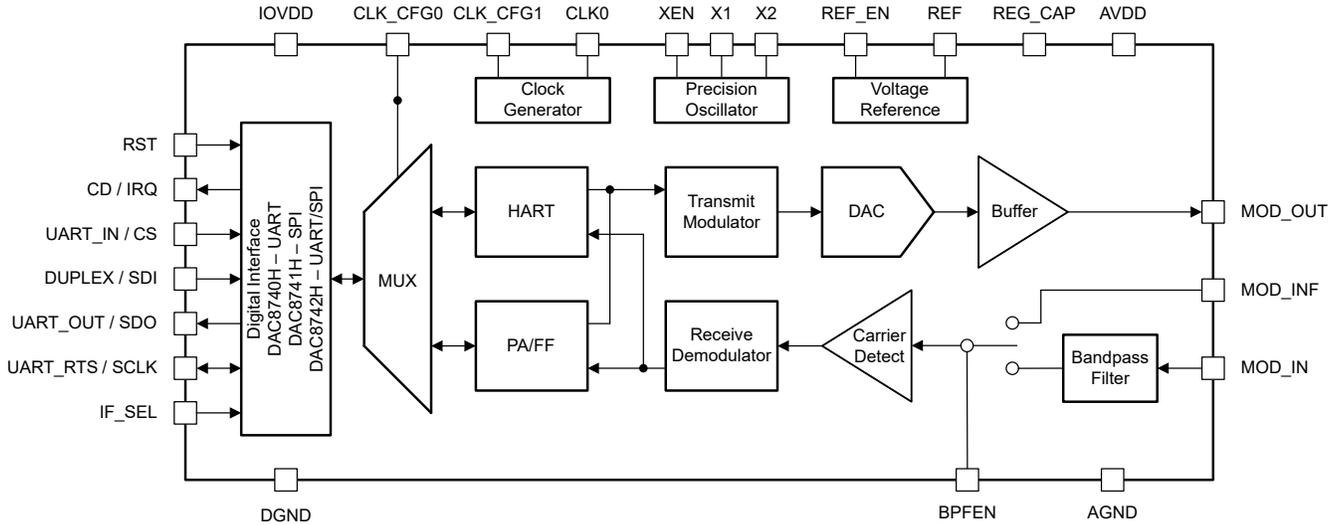


图 3-4. DAC874xH HART 调制解调器方框图

AFEx81H1 和 AFEx82H1 器件也是 HART 调制解调器，但集成了 16 位或 14 位电压 DAC。输出电压可与 V-I 级配合使用，为远程变送器设置环路电流。

通过外部增益，DAC 的输出电压可用于将系统设置为不同的电压输出范围。AFEx81H1 的 DAC 输出范围为 0.15V 至 1.25V，而 AFEx82H1 的 DAC 输出范围为 0V 至 2.5V。图 3-5 显示了这些器件的方框图。HART 调制信号来自 MOD\_OUT 引脚，而 HART 信号是通过 RX\_IN 或 RX\_INF 引脚（具体取决于外部滤波）接收的。

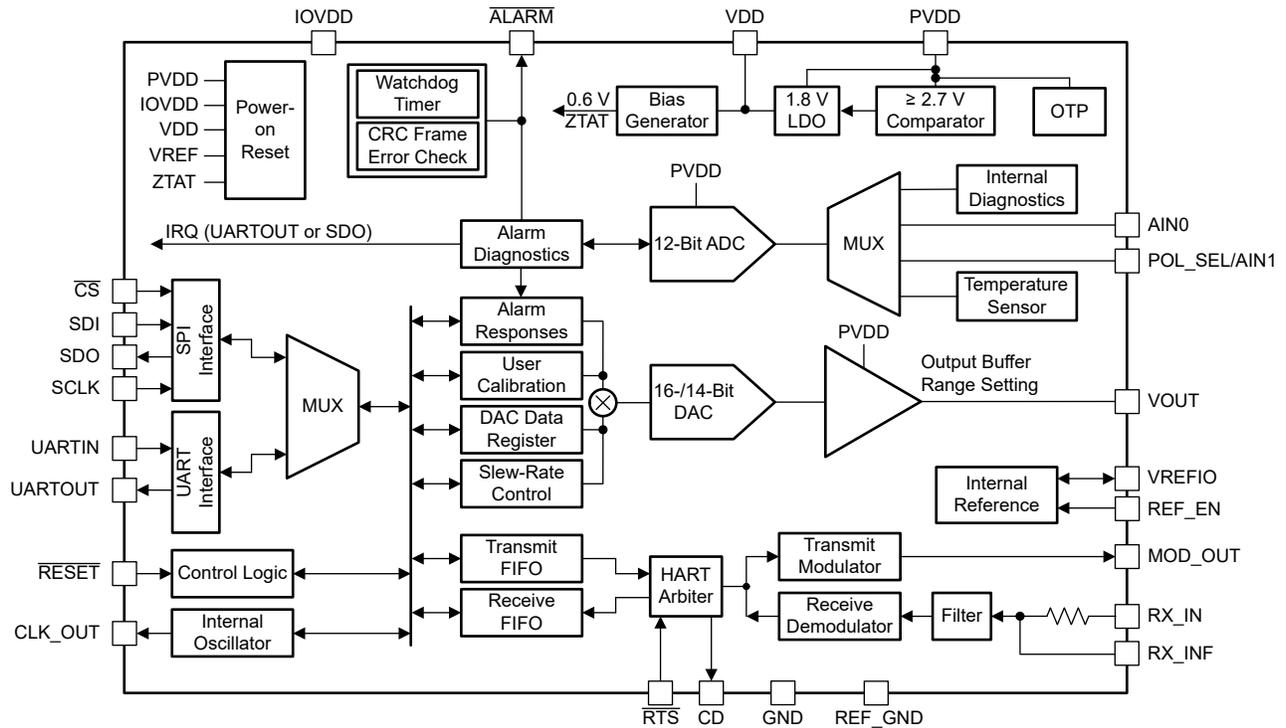


图 3-5. AFEx81H1 和 AFEx82H1 HART 调制解调器方框图

## 4 结论

HART 协议增强了 4-20mA 环路，增加了与已有模拟系统的数字通信。该通信协议广泛用于工厂自动化和控制。本应用手册介绍了 HART 协议的基础知识，展示了其在现有 4-20mA 环路中的实现、物理传输中的 FSK，以及数据结构。HART 协议规范和 HART 协议测试规格可指导开发人员通过 FieldComm Group 注册流程来创建支持 HART 的器件。TI 生产的许多 DAC 器件可轻松将 HART 信号集成到 FA&C 应用。

## 5 参考文献

- 德州仪器 (TI), [DAC161S997 4-20mA 环路用 16 位 SPI 可编程 DAC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [DAC161P997 4-20mA 环路用单线制 16 位 DAC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [DACx750 适用于 4-20mA 电流环路应用的单通道、12 位和 16 位可编程电流输出数模转换器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [DACx760 适用于 4-20mA 电流环路应用的单通道、12 位和 16 位可编程电流和电压输出数模转换器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [DAC8771 具有自适应电源管理功能的单通道 16 位电压或电流输出数模转换器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [DAC8775 具有自适应电源管理功能的四通道 16 位可编程电流输出和电压输出数模转换器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [DAC874xH HART® 和 FOUNDATION Fieldbus™ 以及 PROFIBUS PA 调制解调器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [DAC874xH HART® 和 FOUNDATION Fieldbus™ 以及 PROFIBUS PA 调制解调器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [DAC8742H、HART 和 FOUNDATION 现场总线/PROFIBUS PA 调制解调器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI), [AFEx81H1 具有内部 HART® 调制解调器、电压基准和诊断 ADC 的 16 位和 14 位低功耗 DAC, 适用于 4-20mA 环路供电应用数据表](#)。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司