

一种低功耗本安型 H₂S 检测仪设计

Design of the Intrinsic Safety H₂S Detector with Low Power Consumption

诸葛云 王晓荣 程明霄 蔡亮 周凯

(南京工业大学自动化与电气工程学院,江苏 南京 211816)

摘要: 本安设计是通过限制电火花和热效应两个点燃源的能量来实现的。在爆炸性及有毒气体的作业环境下,根据 GB 3836.4-2010 的标准要求对 H₂S 检测仪进行本质安全的设计,具体包括电源电路设计、RL78/G13 芯片的选择等。计算结果表明,该检测仪的整体设计具有高安全性、低功耗、便携式、低电压输出等特性。本质安全设计为工业安全生产提供了安全保障,是一种安全可行的设计方案。

关键词: 电火花 热效应 低功耗 本安设计 H₂S 检测仪

中图分类号: TP212 **文献标志码:** A

Abstract: The intrinsic safety (IS) design is realized by restricting the energy of two of the ignition sources, i. e., the electric spark and thermal effect. For specific operating environment with explosive and toxic gas, in accordance with requirement of GB 3836.4-2010 standard, the IS design for H₂S detector is carried out; it includes circuit of power supply, and the selection of RL78/G13 chip, etc. The result of calculation indicates that the general design of the detector features high security, low power consumption, low voltage output characteristic and portability. The IS design provides security guarantee to safety industrial production, it is a feasible and safe design scheme.

Keywords: Electric spark Thermal effect Low power consumption Intrinsic safety design H₂S detector

0 引言

在石油、煤矿开采过程中,存在大量 H₂S 有毒气体。H₂S 的爆炸下限为 4%,最高允许浓度为 10 mg/m³[1]。在易爆有毒性的气体环境下,需要一种能实时检测气体浓度的报警设备。该设备需要具有本安特性。仪表常用的防爆形式是本安型、隔爆型、增安型。随着电子技术的发展,低功耗器件不断升级,本安技术也得到了进一步推广和应用。该技术在限制能量的同时,也限制产生火花及能量。本安设备因其具有独特优点而在监测和控制等弱电领域得到了广泛的应用。目前,国外最新本安仪器为美国英思科 G_{AS}B_{ADGE}P_{LUS},其产品特点为:待机时间长、可同时检测 4 种有毒气体、仪器可持续记录 15 次报警事件、安全系数得到多家煤矿机构的认可,但其价格昂贵、售后服务差。目前,国内最前沿的检测仪有济南本安科技。为延长工作时间,该产品采用充电锂电池。

结合煤矿安全作业的需要,采用防爆型锰酸锂电池[2],并设计了稳压限流电路。该本安型[3]检测仪具有安全度高、体积小、低功耗等特点。

1 硫化氢检测仪硬件结构

硫化氢检测仪[4]采用瑞萨公司最新推出的 RL78/G13 低功耗单片机作为核心处理芯片,通过低功耗单片机实现气体浓度的实时显示、多级报警、气体检测等功能。由于传感器输出的电流信号极其微弱,很容易被噪声干扰,因此在信号调理电路中选择了一款低功耗、双运算放大器 LM358。该芯片能将电流信号转换为 0.4~2.0 V 的电压信号。该电压信号较低,不会在电火花点燃周围产生爆炸气体。在信号进入单片机的 A/D 接口之前,为了提高信号安全性、稳定性,加入了电压跟随电路及滤波电路。将检测仪置于安全环境,通过与上位机串口通信实现数据处理。当硫化氢浓度值大于预设报警值时,报警模块工作;当硫化氢浓度值正常,则进行浓度显示、数据保存等操作。硫化氢报警仪结构如图 1 所示。

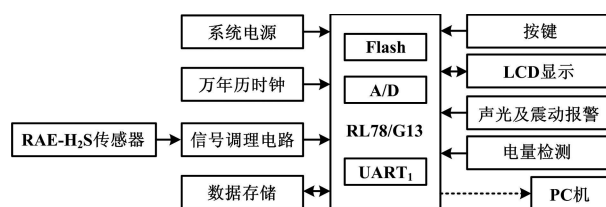


图 1 检测仪结构图

Fig. 1 Structure of the detector

修改稿收到日期:2012-08-20。

第一作者诸葛云(1988-),女,现为南京工业大学自动化与电气工程专业在读硕士研究生;主要从事分析仪器、嵌入式系统方面的研究。

1.1 主要器件的选择

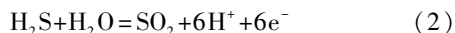
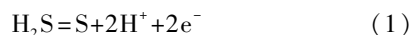
1.1.1 单片机 RL78/G13

检测仪的核心是单片机,其性能对整个系统设计有重要影响,所以选择一个高速、低功耗和多功能集成化的单片机非常必要。目前,国内主流 MSP430^[5] 为低功耗控制芯片,通过比较,无论是在工作模式,还是在待机模式下,RL78/G13 的功耗均较 MSP430 低。RL78/G13 芯片还具有高效 16 位精简指令结构,内含“合并 MCU”内核。该系列产品采用 130 nm 制程节点,更具节能效益,以 32 MHz 运行时,可提供 4.1×10⁸ 条指令/s。它在节约电池供电量的同时也满足本安要求。

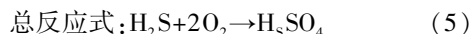
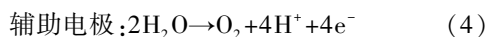
1.1.2 RAE-H₂S 电化学传感器

由美国华瑞公司生产的 RAE-H₂S 系列电化学传感器具有功耗低、体积小、线性范围宽、灵敏度高、抗干扰能力强、运行稳定可靠等优点。同时,它还得到 UL 本质安全认证,是一种广泛应用于工业、矿下等领域的电化学式传感器。

电化学传感器的电位极化原理具体如下^[6]:利用气相扩散阻力原理,获得稳定的传质条件,使 H₂S 在电极上发生定电势极化,产生正比于气体浓度的极限扩展电流,从而测量出 H₂S 的浓度。敏感电极上可能发生如下 3 种电极反应^[7]:



为了防止因电极反应生成单质硫而毒化工作电极,加入辅助电极使得产物为 SO₄²⁻:



1.2 本质安全电路设计

本质安全设备的核心就是本质安全电路。该电路要求从自身性能上满足本质安全,达到防爆的要求。检测仪通过限制电路能量,使电路实现本质安全性能。在 GB 3836.4-2010《爆炸性气体环境用电气设备 4 部分:本质安全型“i”》中,本质安全电路定义为:正常工作和规定的故障条件下产生的任何电火花或任何热效应均不能点燃规定的爆炸性气体环境的电路。

电源设计方案采用稳压限流相结合的方法,电源升压模块由低功耗、输出具有短路及过流保护的升压芯片 TPS61200、电容、电感组成。国标规定当电源电压达到 3.6 V 时,最小点燃电压为 3 A,而 TPS61200 芯片流过的电流大约为 100 mA,其安全系数为 20,符合国标中规定的正常工作系数大于 1.5 的要求。设计的检测仪电源电路如图 2 所示。

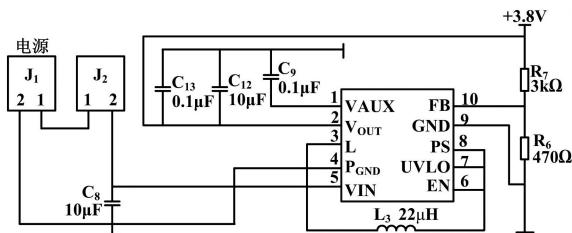


图 2 检测仪电源电路图

Fig. 2 The circuit of power circuit in detector

为了进一步提高本安电路的安全系数、降低功耗,防止过流工作,限流并控制电流的设计也是必不可少的,为此,本文设计了一个检测仪限流电路^[8],其示意图如图 3 所示。

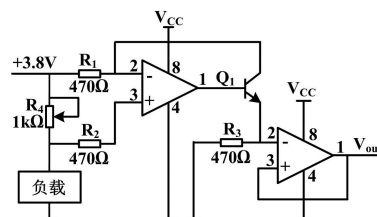


图 3 检测仪限流电路

Fig. 3 The current limiting circuit of detector

图 3 中, R₄ 是一个滑动电阻,用来调节电压的大小,使得负载可在 3.6 V 的恒压下工作,同时也能够输出恒定的电流。

根据计算式: $U_1 = U_4 = R_4 I_{\text{load}}$, 通过调节 R₄, 就使得负载在恒定的电压电流下工作。

根据计算式: $U_{\text{out}} = \frac{R_3}{R_1} \times U_4$, 实时输出电压并传给单片机 A/D 口。当 A/D 采样值超出设定的范围时,表明检测仪出现了故障。

2 检测仪火花放电计算

检测仪的硬件电路部分共分为 7 个模块,每个模块与电源相连的地方都设置有一个本安电阻,其阻值的大小是根据器件的工作电流和整个电路允许电流的范围来确定的。

通过下文本安电流及总能量计算来确定本安电阻是否合理;同时电路中的电感、电容的分析都必须通过国标的标准来验证。

2.1 火花电流计算

为了能够证实检测仪满足本安的环境,可参考 GB 3836.4-2010 中的电压与设备级别相对应的允许短路电流表,其数值如表 1 所示。其中, IIC 级×1.5 是气体是容易被点燃最高等级,其对应的安全电流都小于其他等级的电流。

表 1 电压对应允许短路电流

Tab. 1 The allowable short-circuit current corresponding to voltage

输入电压 /V	IIC 类安全系数 /A	IIC 类安全系数× 1.5/A	IIB 类安全系数 /A	IIB 类安全系数× 1.5/A	IIA 类安全系数 /A	IIA 类安全系数× 1.5/A
12.1	5.00	3.33	>5.00	>3.33	>5.00	>3.33
12.2	4.72	3.15	>4.72	>3.15	>4.72	>3.15
12.3	4.46	2.97	>4.46	>2.97	>4.46	>2.97
12.4	4.21	2.81	>4.21	>2.81	>4.21	>2.81

当电路中的器件都出现了短路故障时,通过最坏情况计算,检测仪的最大短路电流为 476.02 mA。在此电路中,短路电流应参考 IIC 类设备安全系数×1.5 的标准,计算得到其最大短路电流为 714.03 mA。由表 1 可知,短路电流在安质安全范围之内。

2.2 总热能的计算

总热能计算如表 2 所示,输入电压为 3.6 V,电阻误差精度小于 1%,且 7 个模块的总功耗之和小于 1.1 W (温度为 80 ℃)。

根据 GB 3836.4-2010 可知:当所有的器件不超过 20 mm²时,需满足最高升温小于 275 ℃即可。根据查阅对应的数据手册可知,所有的元器件工作时温升都不会超过 275 ℃。

表 2 总热能的计算

Tab. 2 The calculation of total energy

元器件	电压 /V	电阻 /Ω	最小阻值 /Ω	功率 /mW	表面积 /mm ²
Q 蜂鸣器	3.6	297.00	297.00	10.0	<20
Q 震动器	3.6	297.00	297.00	10.0	<20
Q 发光二极管	3.6	32.67	32.67	98.0	<20
Q 控制器电流	3.6	32.67	32.67	9.8	<20
Q 传感器电流	3.6	32.67	32.67	98.0	<20
Q 显示器电流	3.6	32.67	326.7	98.0	<20
Q 传感器电源电流	3.6	32.67	32.67	98.0	<20

2.3 电感分析

电感的允许最大能量如表 3 所示,根据 GB 3836.4-2010 中电感、电流及能量的关系来确定电路是否本质安全。

在本安型检测仪中,感性器件分别为蜂鸣器和振动电机。国标中规定电感最大不超过 1 H,其最大能量都可以通过公式 $Q = 0.5 I^2 L$ 计算得到,可以参考国标曲线来验证本设计的可行性。IIC 类电路允许的最大感性能量为 40 μJ。

表 3 电感的允许最大能量

Tab. 3 The maximum allowable energy of inductor

器件	电感量/mH	最大能量/μJ	允许最大能量/μJ
蜂鸣器	1.0	9.11	40
震动机	0.1	0.11	40

电感的最大允许电流如表 4 所示。

表 4 电感的最大允许电流

Tab. 4 The maximum allowable current of inductor

器件	工作电流	mA	
		安全系数×1.5	允许最大电流
蜂鸣器	9	13.5	300
震动机	1	1.5	3 500

2.4 电容分析

对于电路中的电容元件,国标根据电压与电容关系来确定。电压对应的允许电容如表 5 所示。已知电压为 3.6 V,安全系数应选取 IIC 类×1.5 的标准,则参考电压为 5.4 V,通过计算可验证本设计的可行性。IIC 类电路允许的最大电容为 100 μF,将电路中的电容值算数相加,得到总电容值为 63.2 μF,标准详见 GB 3836.4-2010 中附录 A-3 本安电容电路的评定。

表 5 电压对应的允许电容

Tab. 5 The allowable capacitance corresponding to voltage

输入电压 /V	IIC 类安全系数 /μF	IIC 类安全系数× 1.5/μF	IIB 类安全系数 /μF	IIB 类安全系数× 1.5/μF	IIA 类安全系数 /μF	IIA 类安全系数× 1.5/μF
<5	150.0	100	>150	>100	>150	>100
5.1	132.0	88	>132	>88	>132	>88
5.2	118.5	79	>118.5	>79	>118.5	>79
5.3	118.5	71	>118.5	>71	>118.5	>71

(下转第 48 页)