

# 基于本安防爆称重系统的设计

宁波控泰电气有限公司 杨青锋 李辉

**【摘要】** 称重计量技术的飞速发展，已广泛应用于石油、煤炭、化工和制药等爆炸危险场合。以人为本、安全生产的意识也在逐步提高。如何使称重技术很好的为它们服务，我们必须掌握相关防爆系统的设计，本文通过对本安系统的介绍引入了设计本安防爆称重系统需要达到哪些要求，应注意哪些细节。旨在抛砖引玉，推进该项技术的发展。

**【关键词】** 本安防爆 称重系统 安全栅

随着称重计量技术的发展，称重系统已广泛应用于用于石油、煤炭、化工、和制药等行业，这些行业中的危险化学品作业场所存在的易燃易爆气体种类繁多（目前世界上已经定性的有大约 4000 余种，其中定量的有 1900 余种），生产、储存、运输等环节工艺装备复杂多变，释放源种类繁多，爆炸危险因素难以分析判定。所以全面正确认识电气防爆安全技术，是我们必须重视和认真对待的事情。

## 一、本安系统的基本构成

本安系统是通过限制电气能量而实现电气防爆的电路系统，且不限使用场所（其中 ia 等级在 0 区、I 区和 II 区危险场所均适用）和爆炸性气体混合物的种类（即包括所有可燃性气体），具有高度的安全性、可维护性和经济性。

### 1、现场本安设备

从现场设备的储能元件角度考虑，使处于爆炸性气体危险环境中的现场设备按照本安防爆要求设计，对其中包含的电感和电容等储能元件回路采取相应措施，并使其尽可能减少的同时，考虑回路元件的功耗及温升问题，以保证该设备不论是正常工作还是故障状态，均不会产生由火花和热源引起的点燃。即现场设备必须是本安设备。

现场本安设备具有本安性能的主要参数：

最高输入电压 ( $U_i$ )：施加到本质安全电路连接装置上，而不会使本质安全性能失效的最高电压（交流峰值或直流）。

最大输入电流 ( $I_i$ )：施加到本质安全电路连接装置上，而不会使本质安全性能失效的最大电流（交流峰值或直流）。

最大输入功率 ( $P_i$ )：当电气设备与外电源连接不使本质安全性能失效时，可能在电气设备内部消耗的本质安全电路的最大输入功率。

最大内部等效电容 ( $C_i$ )：通过电气设备连接装置出现的电气设备总等效内电容。

最大内部等效电感 ( $L_i$ )：通过电气设备连接装置出现的电气设备总等效内电感。

### 2、连接电缆

从系统布线工程角度考虑，由于连接电缆存在分布电容和分布电感，使连接电缆成为储能元件。它们在信号传输过程不可避免地存储能量，一旦当线路出现开路或短路时，这些储能就会以电火花或热效应的形式释放出来，影响系统的本安性能。因此既要保证连接传输电缆不会受到外界电磁场干扰影响及与其他回路混触，又要限制布线长度和感应电动势所带来的附加非本安能量，依此来确定电缆的允许分布电容和允许分布电感，世界各防爆检验机构主

要采取以集中参数的方式考虑电缆分布参数的方法。连接电缆本安性能的基本参数如下：

电缆最大允许分布电容  $C_c=C_k \times L$

电缆最大允许分布电感  $L_c=L_k \times L$

式中  $C_k$ —电缆单位长度分布电容；

$L_k$ —电缆单位长度分布电感；

$L$ —实际配线长度。

### 3、关联设备（安全栅）

从控制室设备配置角度考虑, 该部分电气回路必须具备无论系统处于正常工作状态还是故障状态, 均能够将从安全场所的非本安回路传到危险场所的本安设备的能量抑制在点火极限(最小点燃能量)以下的保护功能。安全栅本安性能的基本参数：

最高电压(交流有效值或直流  $U_m$ )：施加到关联设备非本质安全连接装置上, 而不会使本质安全性能失效的最高电压。

最高输出电压( $U_o$ )：开路条件下, 在设备连接装置施加电达到最高电压(包括  $U_m$  和  $U_i$ )时, 可能出现的本质安全电路的最高输出电压(交流峰值或直流)。

最大输出电流( $I_o$ )：来自电气设备连接装置的本质安全电路的最大电流(交流峰值或直流)。

最大输出功率( $P_o$ )：能从电气设备获得的本质安全电路最大功率。

最大外部电容( $C_o$ )：可以连接到电气设备连接装置上, 而不会使本质安全性能失效的本质安全电路的最大电容。

最大外部电感( $L_o$ )：可以连接到电气设备连接装置上, 而不会使本质安全性能失效的本质安全电路的最大电感。

### 4、本安系统组合条件

为保证设备的安全正常使用, 本安系统各配置间必须满足以下条件。①现场本安设备的防爆标志级别不能高于安全栅的防爆标志级别②关联设备、现场本安设备与连接电缆参数之间要符合以下不等式。

安全栅参数	安全参数匹配条件	本安仪表、电缆等参数
$U_o$	$\leq$	$U_i$
$I_o$	$\leq$	$I_i$
$C_o$	$\geq$	$C_i+C_e$
$L_o$	$\geq$	$L_i+L_e$

## 二、本安防爆称重系统设计一般要求

### 1、本安防爆称重系统配置设备选用原则

本安防爆称重系统由本安现场设备、关联设备(也称安全栅)和连接电缆三部分组成, 就本安防爆性能而言, 它们必须满足  $U_o \leq U_i$ 、 $I_o \leq I_i$ 、 $P_o \leq P_i$ 、 $C_o \geq C_c+C_i$  和  $L_o \geq L_c+L_i$  四个条件。这些设备配置的选用原则是：

### (1) 本安仪表和传感器等电气设备的选用原则

简单设备:按照 GB3836. 4-2000 防爆标准规定,对于电压不超过 1.2V、电流不超过 0.1A,且能量不超过  $20\mu\text{J}$  或功率不超过 25mW 的电气设备可视为简单设备,其中最常见仪表设备有热电偶、电阻应变式称重传感器等,它们的典型特点是内部等效电感  $L_i=0$ ,内部等效电容  $C_i=0$ 。

本安称重电气设备:安装于危险场所的现场设备,必须明确以下问题:

1) 是否已按照 GB3836. 1-2000 和 GB3836. 4-2000 要求设计并已被国家防爆检验机构认可的本安电气设备;

2) 防爆标志规定的等级是否适用于使用的危险场所的安全要求;

3) 明确  $U_i$ 、 $I_i$ 、 $P_i$ 、 $C_i$  和  $L_i$  参数;

4) 本安电路是否接地或接地部分的本安电路是否与安全栅接口部分的电路加以有效隔离;

5) 信号传输是以何种方式进行;

6) 本安电气设备的最低工作电压及回路正常工作电流。

在上述问题明确的基础上,选择与之对应的安全栅。

### (2) 安全栅的选用原则

1) 安全栅的防爆标志等级必须不低于本安现场仪表和传感器的防爆标志的等级。

2) 确定安全栅的端电阻及回路电阻可以满足本安现场设备的最低工作电压。

3) 安全栅的本安端安全参数能够满足  $U_o \leq U_i$ 、 $I_o \leq I_i$ 、 $P_o \leq P_i$ 、 $C_o \geq C_i$  和  $L_o \geq L_i$  的要求。

4) 根据本安现场仪表的电源极性 & 信号传输方式选择与之相匹配的安全栅。

5) 避免安全栅的漏电流影响本安现场设备的正常工作。

6) 安全栅有两大类,一类为齐纳式安全栅,另一类为隔离式安全栅。

### (3) 连接电缆的选用原则

用于本安防爆称重系统中连接本安现场设备与安全栅的连接电缆,其分布参数在一定程度上决定了本安系统的合理性及使用范围,因此必须符合以下条件。

1) 连接电缆规格连接电缆为铜芯绞线,一般采用六芯电缆且每根芯线的截面积不小于  $0.5\text{mm}^2$ 。介质强度应能承受 2 倍本安电路的额定电压,但不低于 500V 的耐压试验。

2) 连接电缆长度的限制在本安系统中,现场本安仪表和连接电缆同为安全栅的负载,当安全栅与现场本安仪表选定后,也就决定了连接电缆的长度。其具体方法如下。

根据  $C_c \leq C_o - C_i$  和  $L_c \leq L_o - L_i$  公式计算电缆的最大外部分布参数;按照  $L = C_c / C_k$  和  $L = L_c / L_k$  公式分别计算电缆长度,取两者中的小值作为实际配线长度  $L$ ,但多芯电缆,应考虑相互叠加影响。目前国内已有多家电缆生产厂生产专为本安系统设计的本安用特殊电缆,为方便比较选用,下面表 1 给出了典型普通连接电缆的分布参数,表 2 给出了典型国产本安用特

殊电缆分布参数,以供参考。

表 1 典型普通电缆线的分布参数

名称	规格		分布参数		
	截面积 /mm <sup>2</sup>	绝缘厚度 /mm	C <sub>K</sub> (μF/km)	L <sub>K</sub> (mH/km)	R (Ω/km)
RVV	1.0	0.6	0.195	0.617	19.5
	1.5	0.6	0.207	0.577	13.5
	2.5	0.8	0.201	0.583	8.0
RVVP	1.0	0.6	0.248	0.722	19.5
	1.5	0.6	0.248	0.655	13.5
	2.5	0.8	0.241	0.682	8.0

**RVV:** 铜芯聚氯乙烯绝缘及护套软线 **RVVP:** 铜芯聚氯乙烯绝缘、金属屏蔽及护套软线

表 2 典型国产本安仪表用特殊电缆分布参数

聚乙烯绝缘双芯对绞屏蔽铜线		截面积/mm <sup>2</sup>		
		1.0	1.5	2.5
20℃ 直流电阻 R (Ω/km)	一般线芯	18.5	12.4	7.45
	多股软线芯	19	13.5	7.8
分布电容 C <sub>K</sub> (μF/km)		<0.094	<0.104	<0.115
分布电感 L <sub>K</sub> (mH/km)	一般线芯	0.46	0.31	0.19
	多股软线芯	0.48	0.34	0.20
400A/m 电磁干扰/mV		<200	<200	<200
10KV 静电干扰/V		<1	<1	<1

## 2、本安防爆称重系统的优化配置

实现本安防爆称重系统的优化配置应将上述环节统筹考虑。电缆的分布参数是影响本安系统应用的主要因素。为了提高系统允许的电缆分布参数,可以通过提高安全栅允许外接参数和降低本安设备内部等效参数的方法来实现。

(1)对于提高安全栅允许外接参数,可以通过优化分析,合理选择安全栅,尽量选择具有较低最高开路电压和最大短路电流的安全栅来实现。

(2)对于降低本安仪表内部等效参数,通常也可通过前述的抑制本安仪表电路中电容电感储能相同的方法来完成。但是在实践中,还有一种更有效地抑制本安仪表输入电容的方法,即在本安仪表输入端加上两个串联的正向二极管,并与整个本安电路胶封为一体。这种方法的应用,不仅使本安仪表具有反极性保护的功能,而且由于双重化二极管的作用,可靠地阻断了本安仪表内部电容对电路的放电回路,从根本上避免了仪表内部电容对外电路的影响,此时仪表的内部等效电容可近似的认为是零,即  $C_i=0$ ,从而大大提高了本安系统的允许电缆分布电容,此时,  $C_c=C_o$ 。

### 3、本安防爆称重系统现场布线原则

- (1) 整个系统的接线必须按照相关设计要求。
- (2) 防本安回路与非本安回路混触。控制室到现场的本安电缆与非本安电缆分别敷设在各自的汇线槽内,中间用隔板分开,汇线槽带盖,以防外部机械操作损伤。
- (3) 现场接线盒或汇线槽引到本安仪表的电缆敷设在钢管内,以防机械损伤及电磁感应引起的危险。本安电缆和非本安电缆不公用一根金属线管和同一个现场接线盒。
- (4) 连接电缆及其钢管、端子板应有蓝色标志(或缠上蓝色胶带),以便识别。
- (5) 齐纳式安全栅的接地汇流条及接地装置须满足安全栅的使用说明书及国家有关电气安全规程的要求。
- (6) 多个本安电路或关联电路不应共用同一电缆(电缆线芯分别屏蔽者除外)或共处同一钢管内(用屏蔽导线除外)。

### 4、安全栅选择,安全栅主要有齐纳式安全栅和隔离式安全栅两大类。

#### (1) 齐纳式安全栅

齐纳式安全栅(图 1)采用在电路回路中串联快速熔断丝、限流电阻和并联限压齐纳二极管实现能量的限制,保证危险区仪表与安全区仪表信号连接时安全限能。它采用器件非常少、体积小、价格低,但也有一些致命的缺陷,使应用范围受到较大的限制。目前采用呈下降趋势。

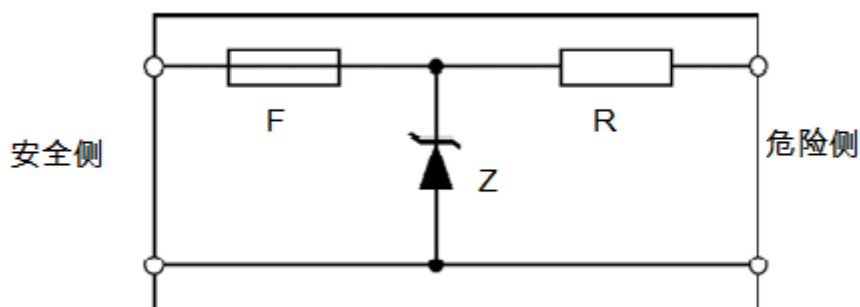


图 1 齐纳式安全栅

1) 使用齐纳式安全栅,工厂必须要有专门的本安接地系统,本安电路接地电阻必须小于  $1\Omega$ 。危险区现场本安表必须为隔离型的,非隔离型的仪表不能采用。

2) 使用齐纳式安全栅,对供电电源电压影响非常大,电源电压的波动可能会引起齐纳二极管的电流泄漏,从而引起信号的误差或者发出错误电平,严重时会使快速保险丝烧断而永久损坏,按规定齐纳式安全栅内部齐纳管、限流电阻、保险丝整体浇封,一旦损坏无法修复。

3) 使用齐纳式安全栅,信号负极均要接至本安接地,这样大大降低系统信号抗干扰能力,影响系统的可靠性,特别是对 DCS 系统影响尤为明显。

#### (2) 隔离式安全栅

隔离式安全栅不但有限能功能,还有隔离功能,它主要由回路限能单元、信号、电源隔离单元和信号处理单元组成。其基本功能框图如图 2:

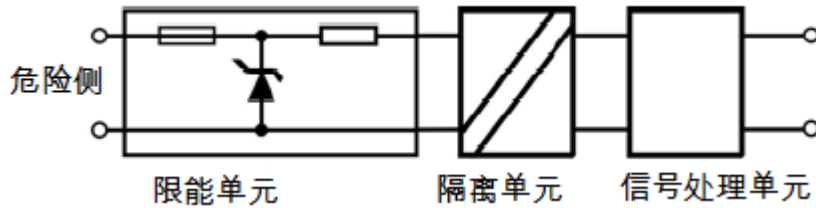


图 2 隔离式安全栅

它包括独立供电隔离式安全栅和回路供电隔离式安全栅两大类。

1) 隔离式安全栅与齐纳式安全栅相比，虽然价格要高一些，但是它许多优点和特点还是给用户带来许多方便，使越来越多用户偏向选择隔离式安全栅。

2) 使用隔离式安全栅，可以将危险区的现场回路信号和安全区回路信号有效隔离。这样本安自控系统不需要本安接地系统，简化了本安防爆系统应用时的施工。大大增强了检测和控制回路的抗干扰能力，提高系统可靠性。

3) 使用隔离式安全栅，允许现场仪表接地，允许现场仪表为非隔离型的。

4) 隔离式安全栅有许多保护功能电路，意外损坏的可能性较小，允许现场仪表带电检修。这样可缩短工程开车准备时间和减少停车时间

5) 隔离式安全栅有较强的信号处理能力。如开关量输入状态控制、mV 变为 4~20mA 等等。这样给现场仪表和控制系统的的应用提供了更大的方便、合理和有效。

6) 回路供电隔离式安全栅既保持有源隔离式安全栅的优点，又有齐纳式安全栅一样的接线方便，不需要另外 24V 电源供电，特别适合配 I/O 卡直接供电的 DCS 系统。

### 5 安全栅的接地分析

齐纳式安全栅如果不接地，如图 3 所示。若当安全区内配电故障导致一个对地高电势（交流 220V 的相线）落在安全栅上时齐纳管只限制齐纳式安全栅导线之间的电压  $U_0$ ，但无法限制任何一线对地的电势，该电势被引入危险区，一旦现场仪表对地绝缘隔离不好，对地产生短路，立即产生强大的地电流，这样的高电势和对地电流的能量并没有得到限制，因此，极可能产生火花而引起危险。

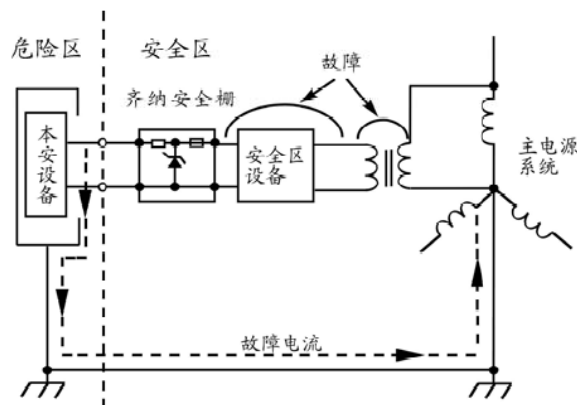


图 3 齐纳式安全栅不接地

若安全栅有可靠接地，如图 4 所示。当同样的故障发生时，齐纳管限制了对地的电势，

故电流只能在安全区内流过，这样确保危险区的现场安全。这个接地也叫“本安接地”。

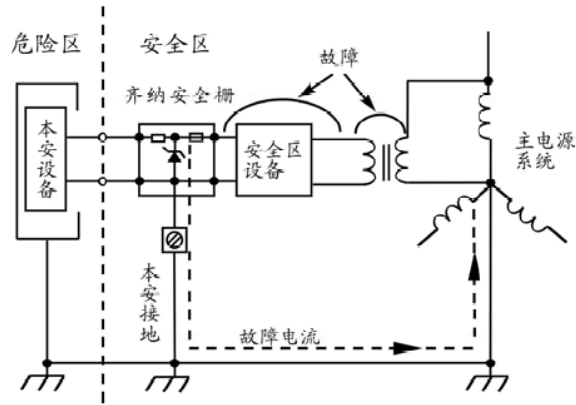


图 4 齐纳式安全栅可靠接地

采用隔离式安全栅的情况如图 5

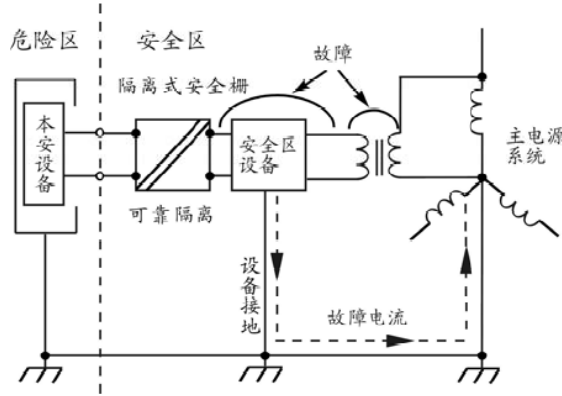


图 5 采用隔离式安全栅

当故障发生时，由于隔离式安全栅内有可靠的隔离单元，它对地产生电势，但对地电流不可能从可靠隔离单元流向危险区，因此在安全栅的本安电路侧不需要专门本安接地，只要按照一般要求。如利用屏蔽电缆的话，在现场仪表侧或控制室一侧把电缆屏蔽接地即可，如图 6

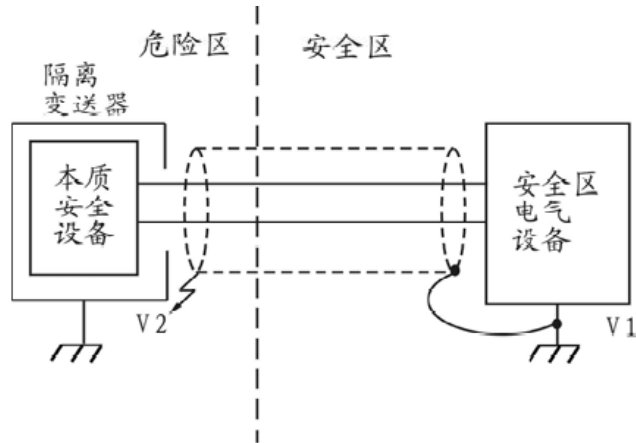


图 6 利用屏蔽电缆的隔离式安全栅

### 3、结语

在以人为本、安全生产的意识的前提下。本安防爆称重系统能在各行各业发挥重要的作用，为保障人民生命财产安全保驾护航。称重计量技术的发展，要求我们必须重视相关配套系统的设计和研发。本文重在抛砖引玉，推进本安防爆技术在称重领域的快速发展，以满足相关的应用。

#### 【参考文献】

- [1] 徐建平. “防爆安全技术”讲座 第7讲 本质安全基本知识[J]. 自动化仪表, 2008, (09) .
- [2] 徐建平. “防爆安全技术”讲座 第11讲 本安系统一般设计要求[J]. 自动化仪表, 2009, (01) .
- [3] 徐建平. “防爆安全技术”讲座 第12讲 现场总线本安防爆技术[J]. 自动化仪表, 2009, (02) .
- [4] 李达,范新媛. 本安防爆系统综述[J]. 石油化工自动化, 2000, (06) .
- [5] 赖兵. 隔离式安全栅设计的一些体会[J]. 中国仪器仪表, 2001, (03) .
- [6] 肖云涛,林磊. 本质安全系统仪表电缆的研制[J]. 电线电缆, 2010, (01) .
- [7] 上海辰竹仪表有限公司. 防爆产品技术资料。



**作者简介：**杨青锋（1979- ），男，大学本科，工程师，现为中国衡器协会技术专家委员会委员；中国衡器协会职业教育工作委员会委员；陕西工业职业技术学院客座教授；长期致力于称重测力传感技术和电子称重系统工程的研究和开发，在《中国计量》、《计量技术》、《衡器》等期刊发表论文

20 余篇。

作者通讯地址：浙江省宁波市江北区洪塘工业A区洪祥路25号。邮政编码：315033