

电气设备防爆基本知识


在石油、化工、冶金、制药、天然气等生产过程中，经常会出现具有爆炸性物质存在的危险场所，这些场所使用的电气设备必须遵循有关爆炸性环境用的国家标准，并取得国家授权机构的认证。

爆炸性物质的分类、分级、分组

| 代表性物质 | 物质分组体系 | | 点燃特性 |
|-----------|--|-----------------------|--|
| | 中国 / IEC / 欧洲国家 GB3836.1 / IEC60079-0 / EN50014 | 北美 (美国、加拿大) NEC500 | |
| 乙炔 | II C 级 | I 级 A 组 | 易  难 |
| 氢气 | II C 级 | I 级 B 组 | |
| 乙烯 | II B 级 | I 级 C 组 | |
| 丙烷 | II A 级 | I 级 D 组 | |
| 甲烷 | I (煤矿) | (无分组) | |
| 金属粉尘 | 待定 (III) | II 级 E 组 | |
| 煤尘 | | II 级 F 组 | |
| 农业粉尘 | | II 级 G 组 | |
| 纤维 (毛、棉屑) | | III | |

电气设备的最高表面温度组别

按照我国国家防爆标准 GB3836.1-2000 的有关规定，电气设备的温度组别与设备允许最高表面温度和适用气体引燃温度的关系如下：

| 温度组别 | 最高表面温度 | 适用危险气体引燃温度 T (°C) | 电气安全性能 |
|------|---------|-------------------|---|
| T1 | ≤ 450°C | 450°C ≤ T | 低  高 |
| T2 | ≤ 300°C | 300°C ≤ T | |
| T3 | ≤ 200°C | 200°C ≤ T | |
| T4 | ≤ 135°C | 135°C ≤ T | |
| T5 | ≤ 100°C | 100°C ≤ T | |
| T6 | ≤ 85°C | 85°C ≤ T | |

危险场所的区域划分

中国、欧洲、IEC 及北美对危险场所分类进行区域划分描述。具体表示如下：

| 中国的描述 | 爆炸性气体环境连续出现或长时间存在 | 在正常运行时，可能出现爆炸性气体环境 | 在正常运行时，不可能出现爆炸性气体环境，如出现也是偶尔发生并且仅是短时间存在 | 参考标准（文献） |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------|--|--|
| 欧洲的量 化描述 | > 1000 小时 / 年 | 10 - 1000 小时 / | < 10 小时 / 年 | |
| 中国 / 欧洲 /IEC 气体 | Zone 0 | Zone 1 | Zone 2 | GB3836.14-2000 IEC60079-10:2002 EN1127-1 |
| 中国 / 欧洲 /IEC 粉尘 | Zone 20 | Zone 21 | Zone 22 | IEC61241-3:1997 |
| 北美的描述 | 在正常运行条件下，连续地、间断地或周期性地存在易燃气体或蒸汽并达到危险浓度 | | 危险气体、蒸汽仅在其容器或系统偶然破裂或发生故障时，或设备异常运行时才能释放形成危险 | |
| 北美气体 或固体 | Division 1 | | Division 2 | NEC Article 500-3(c) |

电气设备的防爆型式

目前我国可以接受的防爆型式如下：

| 防爆技术 | 防爆型式 | 防爆标准及符号 | 技术措施 | 典型应用 |
|---------|-------|------------------|--------------|---------------------|
| 隔离措施 | 充油型 | o (GB3836.6) | 隔离存在的点火源 | 变压器、开关装置 |
| | 正压型 | p (GB3836.5) | 设法防止产生点火源 | 控制室、仪表盘、马达、分析仪器 |
| | 充砂型 | q (GB3836.7) | 限制点火源的能量 | 仪表装置 |
| | 浇封型 | m (GB3836.9) | 把危险物质与点火源隔开 | 仪表、控制装置 |
| 特定的结构设计 | 增安型 | e (GB3836.3) | 把危险物质与点火源隔开 | 马达、照明灯具、接线盒 |
| | n 型 | n (GB3836.8) | 把危险物质与点火源隔开 | 马达、灯具 |
| | 本质安全型 | ia/ib (GB3836.4) | 限制点火源的能量 | 仪表、控制装置 |
| 防爆保护外壳 | 隔爆型 | d (GB3836.2) | 隔离存在的点火源 | 开关装置、马达、泵、阀、仪表、控制装置 |
| 特殊设计 | 气密型 | h (GB3836.10) | 用外壳保护和限制表面温度 | 气体探测器 |

本安防爆技术

工业领域自动化控制的电气设备防爆最常用型式是：本质安全型、隔爆型和增安型。本质安全型是唯一可适用于0区的防爆技术。

本安防爆技术的基本原理

本安防爆技术的基本原理是从限制能量入手，可靠地将电路中的电压和电流限制在一个允许的范围内，以保证电气设备在正常工作或发生短接和元器件损坏等故障情况下产生的电火花和热效应不致于引起其周围可能存在的危险气体的爆炸。这类电气设备称为本安电气设备。

本安防爆技术的特点

- 本安电气设备结构简单、体积小、重量轻；
- 可带电维护、标定和更换零件；
- 不会因为外结构件损坏等原因降低电气设备的安全可靠性；
- 它是一种“弱电”技术，现场的应用不会引起触电伤亡等事故的发生；
- 是唯一可适用于0区危险场所的防爆技术；
- 简单设备（如热电阻、热电偶等）不需特别认证即可接入本安防爆回路系统。

本安电气设备的安全等级

本安电气设备及相关设备，按其使用场所或相连场所的安全程度可分为ia和ib二个安全等级。

ia级是指在正常工作、一个计数故障和两个计数故障情况下均不能点燃爆炸性气体混合物。ia级的本安电气设备可用在0区、1区、2区危险场所。

ib级是指在正常工作和一个计数故障情况下不能点燃爆炸性气体混合物。ib级的本安电气设备可用在1区、2区危险场所。

本安电气设备温度等级

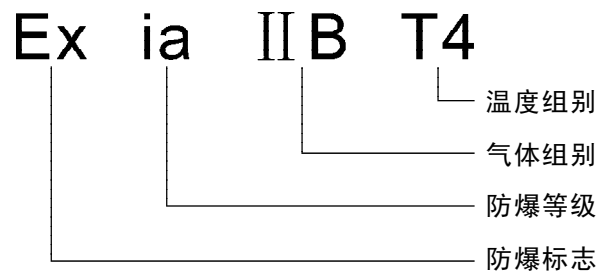
设备温度等级规定了设备表面的最高允许温度值。

设备温度等级一定要小于使用该危险场所环境中可燃物质的点燃温度，否则会引起燃烧爆炸。

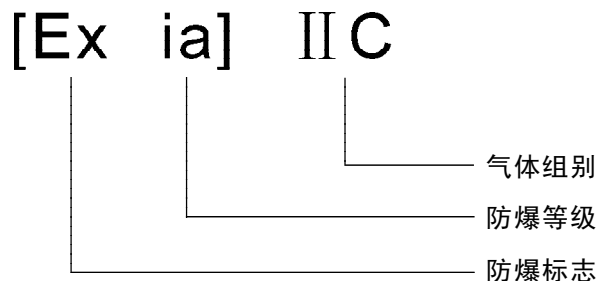
温度组别对照表

| | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 电气设备最高表面温度(℃) | 450 | 300 | 200 | 135 | 100 | 85 |
| 温度组别 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |

本安电气设备防爆标志



关联设备（安全栅）防爆标志



认证标准和认证机构

认证标准：

国家标准 GB3836.1-2000 《爆炸性气体环境用电气设备 第1部分：通用要求 (eqv IEC 60079-0: 1998)》和 GB3836.4-2000 《爆炸性气体环境用电气设备 第4部分：本质安全型“i”(eqv IEC 60079-11: 1999)》

国家标准是等效采用 IEC 60079 标准，该标准于 2000-10-17 发布，2001-06-01 实施，替代原来的 GB3836-1983 标准。

认证机构和认证标志：

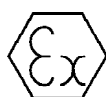
国家级仪器仪表防爆安全监督检验站 (NEPSI)。

她是行使国内及进口仪器仪表防爆产品安全监督和检验认可工作的归口单位。并分别与美国工厂联研会 (FMRC)、德国联邦物理技术研究院 (PTB) 等国外机构取得防爆认证技术互认 (参见网址 WWW.NEPSI.COM)。



国外认证机构的认证标志：

欧洲国家：



美国：

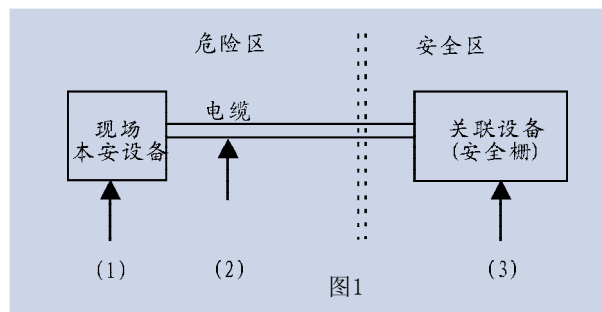


加拿大：



本安回路系统的基本构成

本质安全防爆系统简称为本安回路系统，见图 1。



现场本安电气设备

一般简单设备和本安设备。

简单设备

根据制造商的技术条件，电气参数值均不超过 1.2V, <0.1A, <25mW, <20 μJ 的电气设备，它们无需防爆认证。可以自由地配置在本安回路中。如：电阻 (包括可变电阻)、发光二极管、开关、热电偶、热电阻、应变仪。

一般本安设备

具有储能元件，是需要防爆认证的安电气设备，如变送器、接近开关等。

本安设备本安性能认证参数

本安设备本安性能参数在防爆认证给出，参数含义如下：

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。

关联设备（安全栅）

装有本质安全电路和非本质安全电路，且结构使非本质电路不能对本质安全电路产生不利影响的电气设备。

安全栅本安性能认证参数：

安全栅本安性能认证参数由产品防爆认证时给出，参数含义如下：

最高电压（交流有效值或直流 U_o ）：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 ）：在开路条件下，在设备连接装置施加电达到最高电压（包括 U_o 和 U_1 ）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。

连接电缆

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。它的本安性能的基本参数如下：

$$\text{电缆最大允许分布电容 } C_c = C_k \times L$$

$$\text{电缆最大允许分布电感 } L_c = L_k \times L$$

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。

一般符合本安性能的电缆参数

$$C_k = 0.1154 \mu F/km$$

$$L_k = 0.20mH/km$$

本安回路系统参数防爆认证

为保证设备的安全正常使用，本安回路系统各配置间必须满足以下条件。

①、本安电气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、本安电气设备与连接电缆认证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 | 本安仪表参数 + 电缆参数 |
|-------|----------|---------------|
| U_o | \leq | U_i |
| I_o | \leq | I_i |
| P_o | \leq | P_i |
| C_o | \geq | $C_i + C_c$ |
| L_o | \geq | $L_i + L_c$ |

安全栅

安全栅主要有齐纳式安全栅和隔离式安全栅两大类。

齐纳式安全栅

齐纳式安全栅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，见图2。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。

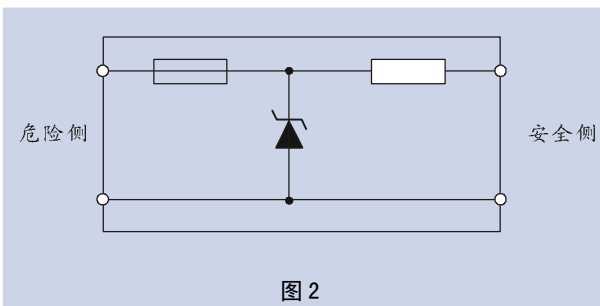


图2

使用齐纳式安全栅注意点

- ①、使用齐纳式安全栅，工厂必须要有专门的本安接地系统，本安电路的接地电阻必须小于 $1\ \Omega$ 。
- ②、使用齐纳式安全栅，危险区现场本安仪表必须为隔离型的，非隔离型的仪表不能采用。
- ③、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使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。
- ④、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系统影响尤为突出。

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、信号和电源隔离单元、信号处理单元组成。其基本功能框图见图3。

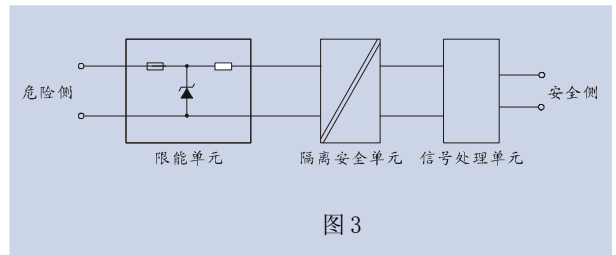


图3

隔离式安全栅应用的优点

- 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的选择隔离式安全栅。
- 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。
- ③、使用隔离式安全栅，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。
- ④、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。
- ⑤、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。
- ⑥、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、Pt100变为4~20mA等等。这样给现场仪表和控制系统的应用提供了更大的方便、合理和有效。
- ⑦、当用户同时应用DCS和ESD时，选用一进二出的安全栅，可以有效地将两个系统隔离开来，避免系统之间互相影响。
- ⑧、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。

本安回路系统设计一般要求

本安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, 且其能量不超过 $20 \mu\text{J}$ 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、热电阻、pH 电极、应变片和开关等, 它们的典型特点是仪表设备的内部等效电感 $L_i=0$, 内部等效电容 $C_i=0$ 。

一般本安电气设备:

- ①、是否已按照 GB3836.1-2000 和 GB3836.4-2000 要求设计并已被国家授权的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 认证参数。
- 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。

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电气设备的防爆标志的等级。
- ②、确定安全栅的端电阻及回路电阻可以满足本安电气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本安参数防爆认证的要求。
- ④、根据本安电气设备的电源极性 & 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 (它们之间区别见 11 页)。

连接电缆的选用原则

用于本安系统中连接本安电气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, 且每根芯线的截面积不小于 0.5mm^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

在本安回路系统中, 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。

③、参考: KVV 电缆参数: $C_k=0.115 \mu\text{F}/\text{km}$, $L_c=0.20\text{mH}/\text{km}$ 。

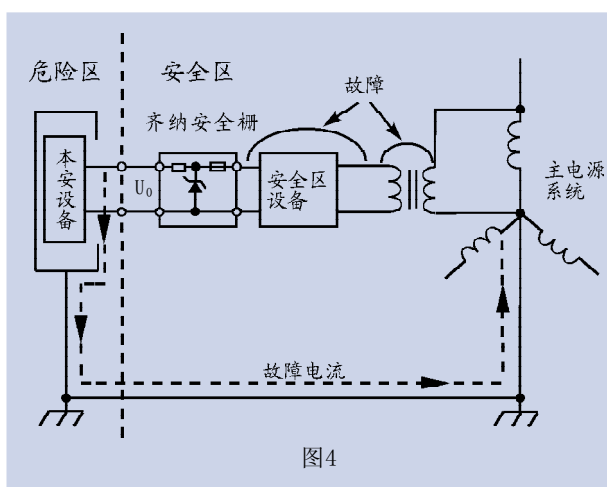
本安系统现场布线原则

- ①、整个系统的接线必须按检验机构认可的系统组成。
- ②、谨防本安回路与非本安回路混触。
- ③、从控制室到现场的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。
- ④、从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。
- ⑤、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。
- ⑥、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。
- ⑦、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。
- ⑧、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)。

安全栅的接地分析

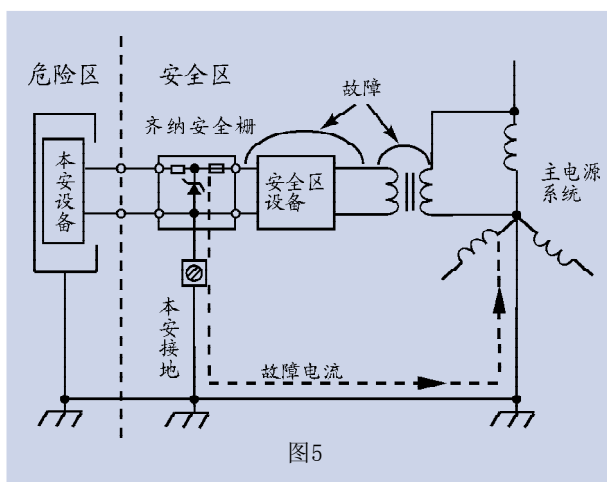
齐纳式安全栅不接地, 大电流可能引入危险区

齐纳式安全栅如果不接地, 如下图4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, 该电势将可能被引入危险区, 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。



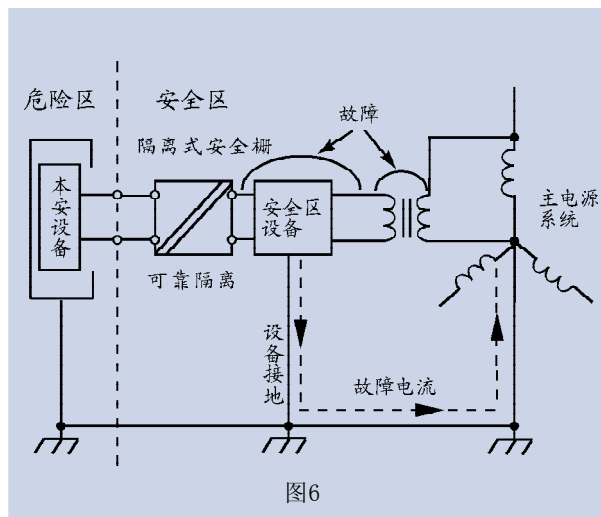
齐纳式安全栅必须“本安接地”

若安全栅有可靠接地, 如下图5所示。当同样的故障发生时, 齐纳管限制了对地的电势, 故障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”。



隔离式安全栅无须“本安接地”

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, 见图6。



隔离式安全栅单点接地

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, 见图7。

