

非安转本安隔离安全栅的设计与应用

介绍了安全栅的原理，分析了齐纳式安全栅、隔离式安全栅的优缺点，着重介绍了隔离式安全栅的结构安全设计要求和电气安全设计要求，并依此设计了非安转本安通信信号隔离安全栅。

徐 直/中煤科工集团常州研究院有限公司



徐 直/工程师

1913年英国南威尔士煤矿发生井下瓦斯爆炸，爆炸引发400多人死亡的重特大事故，事故调查得出结论：下班电铃接通时能量过大引发瓦斯爆炸。数年后英国科学家通过改进电铃系统，限制电铃供电电压，并使用无感电阻限制激励电流，减少断路火花能量达到不能点燃瓦斯，现在称之为本质安全技术。同期的德国专家贝林研究得出金属间隙宽度小到一定程度可以阻止爆炸火焰的传播并冷却爆炸产物的温度，这样就能达到熄灭火焰和隔离爆炸产物的穿出，现在称之为隔爆外壳保护技术。

两种技术为目前最常用的防爆技术。但有些设备的能量一旦被限制，将无法正常工作，这些设备无法做成本质安全型，而通常放置在隔爆外壳内。根据中华人民共和国行业标准MT 209—1990《煤矿通信、检测、控制用电工电子产品》中3.3条的规定：除动力线载波传输的信号外，所有在矿井中传输的语音、检测及监控信号应符合本质安全要求。这就要求将这些设备做成隔爆兼本质安全型，将非本质安全信号转化为本质安全信号。

关键词/Keywords

安全栅 ·
齐纳式安全栅 ·
隔离式安全栅 ·
本质安全电路 ·
有效绝缘 ·

安全栅原理

安全栅又称为安全保持器，是本质安全回路的安全接口，在非本质安全回路与本质安全回路之间双向传递信号，用于限制非本质安全回路向本质安全回路输送的能量，以达到危险侧的能量符合本质安全的相关要求。安全栅一般分为齐纳式安全栅和隔离式安全栅。

1. 齐纳式安全栅

齐纳式安全栅又称为二极管安全栅，由熔断器、可靠电阻和组合保护的分流二极管组成。其原理如图1所示。

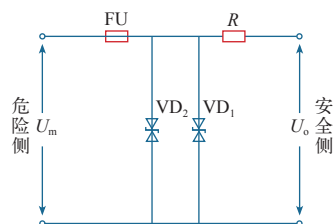


图1 齐纳式安全栅

当能量危险侧的电压超过安全侧最大电压，齐纳二极管 VD_1 和 VD_2 导通，将超过部分的电压分压。当能量危险侧提供的电流超过安全侧最大电流，由电阻 R 限制电流，当电流继续增大时，熔断器 FU 断开，安全侧无输出，达到安全保护的作用。齐纳式安全栅的原理相对比较简单，电路较容易实现，价格普遍低廉，但准确度低抗干扰能力差。

2. 隔离式安全栅

隔离式安全栅在齐纳式安全栅的基础上增加了电隔离器件，电隔离器件是用于从电气上隔离远动设备和运行设备的一种器件，如隔离变压器、光电耦合

中煤科工集团重点项目（2012ZD001）。

器和继电器等。其原理如图2所示。

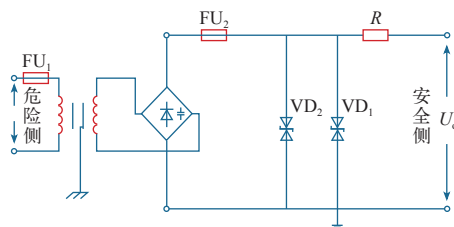


图2 隔离式安全栅

隔离式安全栅的能量危险侧与能量安全侧没有直接联系，通过电隔离器件的耦合原理，将危险侧能量与安全侧分开，但在通往安全侧的回路里仍需齐纳安全栅的限制电压限制电流来保证安全侧的本质安全特性。隔离式安全栅原理相对比较复杂、制造成本较高，但通用性强、可靠性高。

隔离式安全栅设计

1. 结构设计要求

由于安全栅的一端为能量危险侧，另一端为通往爆炸性环境的能量安全侧，所以两端均需做好标记，防止将能量危险侧输出给爆炸性环境。通常的做法是：将能量危险侧标记为红色；将能量安全侧标记为蓝色。

对于安全栅，应具有良好接地特性。安全栅的全部组件应作为一个整体安装使用，防止检修或替换时影响本质安全特性。

2. 电气设计要求

1) 对于电隔离元件的要求。根据中华人民共和国国家标准GB 3836.4—2010《爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的设备》中6.3.12条的规定：本质安全电路和非本质安全电路之间的绝缘应能承受 $2U+1\,000\text{ V}$ 交流有效值试验电压，但不小于 $1\,500\text{ V}$ 。 U 为本质安全电路和非本质安全电路的电压有效值之和。

2) 对于熔断器的要求。根据中华人民共和国国家标准GB 3836.4—2010《爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的设备》中7.3条的规定：用熔断器保护其他元件时，熔断器应能连续通过 $1.7 I_n$ 电流；熔断器的时间—电流特性应保证不超过被保护元件的瞬态额定值。

3) 对于限流电阻的要求。根据中华人民共和国国家标准GB 3836.4—2010《爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的设备》中7.1条的规定：在正常工作和第5章规定的故障条件下，不得在超过元件安装条件和温度范围的最大电流、电压和功率额定值 $2/3$ 的情况下工作。

4) 对于齐纳二极管的要求。根据中华人民共和国国家标准GB 3836.4—2010《爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的设备》中7.5条的规定：在关联设备内，半导体器件应能承受由可靠串联电阻值除交流电压峰值和最高直流电压值得到的电流。

安全栅的应用

根据安全栅的原理和设计要求，针对煤矿井下和化工企业实际情况“将非本质安全的网络信号转换成本质安全的网络信号进行传输”特设计了通信信号隔离安全栅。本通信信号隔离安全栅体积小，两端设计有螺丝孔，可以固定安装在机架内，整体浇封，只有输入输出端网络口露出表面，使用非常方便。

根据安全栅结构设计要求，结构设计如图3所示。

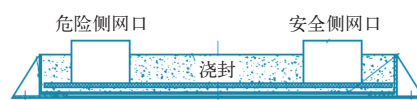


图3 通信信号隔离安全栅结构图

在通信信号隔离安全栅两端的网络通信口处分别用红色标签标注“危险侧网口”和蓝色标签标注“安全侧网口”，方便使用者分辨接线连接；通信信号隔离安全栅外壳采用不锈钢材质，两端的螺丝固定后能形成良好的接地性能；为防止安装使用过程中，不预期的情况损害本质安全特性，通信信号隔离安全栅采用全浇封结构型式，除供用户使用的两端网络接口外，其余电路元件均浇封在不锈钢的外壳内，正常使用时，不用担心元件本质安全特性的损伤，此外该结构型式具有一定的防尘防水特性，一体化设计方便整体更换安装；另外根据中华人民共和国国家标准GB 3836.4—2010《爆炸性环境 第4部分：由本质

安全型“i”保护的《设备》中6.2.1条的规定：本质安全电路端子与非本质安全电路端子裸露导电部件之间的电气间隙应不小于50 mm。特本产品的危险侧网口与安全侧网口实际设计为100 mm以上，保证了网线不预期的位移时本质安全电路与非本质安全电路的非触碰。

根据安全栅电气设计要求，原理设计如图4所示。

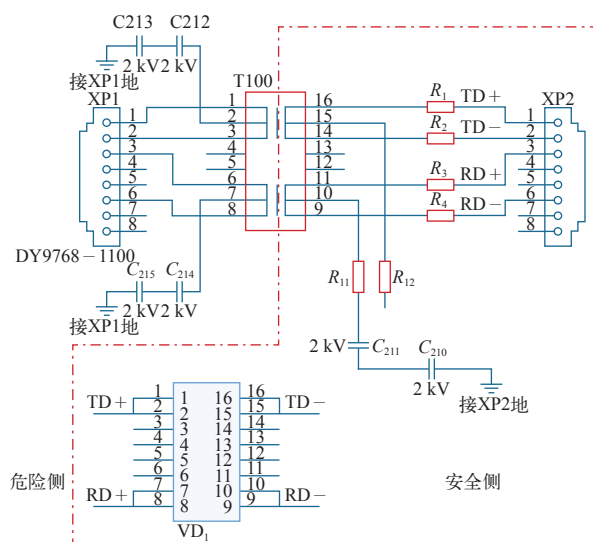


图4 通信信号隔离安全栅原理图

本产品中传输的网络信号通常不大于10 V，根据计算公式得出：耐压等级应为1 020 V，但不小于1 500 V，在该产品中选用T100网络隔离变压器为电隔离元件，其耐压等级至少在2 500 V以上，这样保证了本质安全电路与非本质安全电路之间的有效绝缘。

本产品使用VD₁齐纳二极管来限制网络中的危险电压，该齐纳二极管具有双向抑制效果。为保证二极管能承受来自电源的任何预期瞬态过程，使用矩形电流脉冲器产生5次持续时间为50 μs的矩形电流对二极管进行击穿试验，试验后测量电压之差远小于标准规定的5%，也就是说该齐纳二极管具有很可靠的电压钳位功能。而且该齐纳二极管具有独立的两路输出，可以保证即便一路出现故障状态，另一路仍可起到安全保护作用。

限流电阻R₁~R₄的电阻阻值需同时考虑信号的传输性能和防爆性能，电阻阻值过小，起不到安全保障作用，电阻阻值过大，通信信号传输距

离将大幅减少，通过实验选用了固定阻值的限流电阻。通过电压、电流相关计算和试验，该值满足国家标准GB 3836.4—2010《爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的《设备》中10.1条规定的火花点燃试验，即通过限流电阻以后输出的通信信号是本质安全的；再根据国家标准GB 3836.4—2010《爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的《设备》中7.1条对电阻功率进行计算得出该限流电阻应选用功率电阻，通过热试验，该电阻热效应也满足相关标准要求。

结束语

本文从安全栅原理出发，分析总结了齐纳式安全栅、隔离式安全栅的优缺点，在符合隔离式安全栅的结构安全设计要求和电气安全设计要求的前提下为煤矿、化工用户设计了一款非安转本安通信信号隔离安全栅。该款非安转本安隔离安全栅解决了将非本质安全的网络信号转换为本质安全的网络信号用于危险区域的现场传输问题。该安全栅在煤矿、化工企业的安全生产领域具有一定的推广价值。但在设计时，仍需注意齐纳二极管和限流电阻的选型，用齐纳二极管钳位危险高压，可保证安全电压，但也需选用合适档位，过低档位易造成通信信号不稳定，用电阻限制危险电流，可保证安全电流，过大电阻易造成通信距离的大幅减少。

参考文献

- [1] 中华人民共和国能源部. GB 3836.4—2010 爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的《设备》[S]. 北京：中国标准出版社，2011.
- [2] 中华人民共和国能源部. MT 209—1990 煤矿通信、检测、控制用电工电子产品通用技术要求[S]. 北京：中国标准出版社，1990.
- [3] 徐建平. 仪表本安防爆技术[M]. 北京：机械工业出版社，2002.
- [4] 张曦，李长坤. 二极管安全栅和安全分流器的型式试验探讨[J]. 电气防爆，2010(2).

(收稿日期：2015-04-01) EA