

数字隔离器可应用在本质安全应用中

Mark Cantrell
ADI公司

对于设备信号输入和输出方面的困难，本质安全 (IS) 设备设计师了然于胸。有些新技术拥有诱人的特性，可以使设计变得更小、更简单、功耗更低、速度更快或者四者兼而有之，但是由于IS安全标准的要求，我们根本不知道能否以及如何使用它们。

简介

如果你并不熟悉本质安全 (IS)，相关术语和概念可能使你不知所措。本质安全似乎是一个独立的电子设计世界，需要一些时间才能了解相关的术语和世界观（此处为双关义）。我们先来回顾一下本质安全隔离器组件背后的主要概念。本质安全就是关于易燃环境和粉尘的安全问题。主要概念是要从设计上确保不因能量产生火花，保证在可以设想的每一种故障场景下，绝缘机制都能安然无恙。IEC 60079-11中规定的全部测试和设计要求的其实都是为了实现这两个目标。该标准实现安全的方式是对表面沿线的厚度、距离等绝缘属性提出强制性规定。这是实现绝缘安全的常用方法，但所选安全裕度比IEC标准的典型做法要保守得多。

本质安全世界分为两个区域：粉尘和气体形成危险条件的本质安全区，世界其余部分（即非本质安全区）。在本质安全区内，能量受限，工作电压范围为24 V至60 V；电流也受到限制，处于安全特低电压 (SELV) 范围。在该环境中，组件必须能消耗系统可为其提供的最大能量且不产生火花或燃烧。可以通过几种方式实现这一目标。一种方法是制造结实耐用的组件，使其能消耗大量能量而不发热。另一种方法用分立元件保护输入和输出，这些分立元件会把能量限制在器件能承受的范围以内。一般地，限幅组件由一个用于限压的齐纳二极管和一个用于限流的保险丝或电阻构成。如果你考虑设计一个组件不多的现代系统，结果可能是每个有源元件周围都有大量的无源元件。你我所在的非本质安全区的线路电压在100 V至250 V之间，并且可能有无限的电流。

要做到安全，隔离器件就必须能承受线路供电故障，并且不能使其绝缘机制失效或者导致会影响到本质安全区的电弧火花或燃烧。这意味着要采用超级鲁棒并且能应付高能量故障的接口和保护器件。鲁棒的保护器件甚至会采用更多、更大的组件，占用更多的电路板空间。

我是不是提到过，本质安全标准委员会非常保守，不会很快采用新技术？用于在两个区之间实现逻辑层通信的首选技术是令人尊敬的光耦合器。光耦合器制造商与本质安全标准保守的绝缘要求之间的关系一直都很紧张。本质安全标准对绝缘体的质量着墨不多，只认可两类绝缘。第一类是可以覆盖相对可靠的IC用塑封材料的铸模材料，以及受控程度低得多的灌注材料。第二类绝缘材料是能绝缘且为固体的所有其他材料，包括从玻璃、聚合物薄膜到蜡纸的一切材料。这些绝缘材料的性能及其应用的质量大相径庭。标准采用保守方法，要求采用较厚的绝缘层。如果光耦合器在设计时采用的是标准中规定的最小厚度，就会很难制造出速度令人满意的组件。在标准演进的过程中，有关人士努力降低绝缘要求，因而可以采用性能更好的光耦合器。新的试验方案出现了，即光耦合器碳化试验，用于验证在施加非本质安全区存在的超高功率时，光耦合器不会破裂。结果喜忧参半，多数设计师和光耦合器公司对这种折衷方案并不满意。

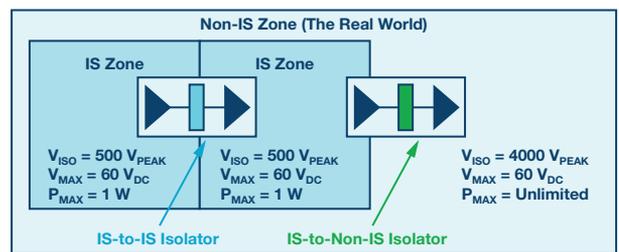


图1. 本质安全系统的隔离布局。

IEC60079-11的要求

IEC60079-11标准，“易爆环境”小节——第11部分：通过本质安全“l”保护设备（第6版）——就开发可在化工厂、有易燃粉尘的区域等易爆环境中安全使用的系统提出了指导意见。标准从四个方面规定了隔离器的特性。

绝缘体周围及表面沿线的距离、爬电距离和电气间隙

封装的爬电距离和电气间隙取决于要求的工作电压和安装等级（IEC60664绝缘协调与染污等级2或3，因具体应用而异）。

容错

必须能承受最高可用系统电压故障，不造成燃烧、电弧，也不会使绝缘体失效。根据可用能量，这可能要求采用外部组件，也可能无此要求。这是高温环境下的绝缘完整性问题——对组件功能无要求。

额定瞬态电压

对于SELV类环境，可以从安装等级和系统电压推算出此项指标。在本质安全区内部，通常为500 V rms；如果是线路电压，则可能高达6000 V_{PEAK}。此项特性涉及的是绝缘体在高压条件下的完整性。对组件功能无要求。

绝缘距离

绝缘协调标准只是规定，不能可靠地预测绝缘体击穿和磨损，必须通过试验推算。对于本质安全-非本质安全屏障，IEC60079-11标准宁可预留过多的安全裕量，选择的绝缘距离值足够大，几乎任何绝缘都能做到安全。对于线路电压，这意味着需要采用1 mm至2 mm的绝缘体；对于受控环境，则要求采用0.2 mm的绝缘体。对于本质安全转本质安全接口，绝缘距离要求不适用。

在本质安全应用中必须穿过两个屏障，其一是本质安全转非本质安全屏障（线路电压存在于非本质安全一端），其二是本质安全区内部的本质安全转本质安全屏障（用于隔离系统中来自分布式电容或电源的能量）。电源通常处于SELV水平。标准对各类屏障端的隔离器规定了不同的要求。

隔离器特性

IEC60079-11的要求会对设计师在本质安全应用中使用隔离器的能力产生什么样的影响？爬电距离和电气间隙距离要求以及额定瞬态电压与任何工业标准的要求相似。几乎所有的光耦合器和数字隔离器都能达到这些要求。决定隔离器是否合适的是隔离器的故障条件承受能力以及表5或IEC60079-11标准附录F中要求的绝缘距离。

光耦合器自发明至今已有大约50年。它们都是标准技术，本质安全设计师可以用它们取得进出本质安全区的逻辑电平信号。人们早就认识到，对光耦合器来说，绝缘和功耗要求太高了。例如，

1 mm绝缘要求会使光信号发生衰减，结果导致高速光耦合器丧失实用性。虽然可以制造低速光耦合器，但需要牺牲性能。

多年以来，随着行业提出更多、更快的通信需求，标准也几经变化。为了适应光耦合器的需要，人们从两个方面进行了努力。其一，针对比标准正文更干净的安装环境（污染等级2）而制定了附录F。这样就可以缩短爬电距离和电气间隙。另外，绝缘距离被降至0.2 mm，这样，多数光耦合器都能满足要求。其二，增加了特殊试验一节，其中针对本质安全转非本质安全边界故障规定了光耦合器的相应特性，无需采用外部限制组件。这部分包括大量过载试验和所谓的碳化试验。不幸的是，这些试验非常严格，很少有光耦合器能达到标准这部分的要求。

目前，标准针对光耦合器进行了充分修正，已经能用光耦合器制造出行之有效的接口了。然而，在本质安全应用中，光耦合器在所有工业应用中存在的不足都成了问题。这些不足包括光耦合器尺寸大、速度慢、功耗高、难以与其他功能的集成，或满足不同通道方向，并且其参数也会随时间而变化。

替代技术是数字隔离器，该器件可以解决光耦合器存在的几乎全部功能问题。数字隔离器具有功耗超低、封装超小、同一封装多个通道方向、速度高得多、可轻松集成接口功能、性能稳定等特点。这些特性极大地提高了其对本质安全设备设计师的吸引力。然而，为了实现这些特性，他们采用的是厚度范围为10 μm至40 μm的薄膜绝缘方案。我们前面提到，表5规定的绝缘厚度约为1 mm，附录F规定的绝缘厚度约为0.2 mm，数字隔离器的绝缘体远远低于这些要求。这时，多数设计师会重重地叹口气，再次开始浏览光耦合器目录。

不要这么快下结论！如前所述，绝缘体周围及表面沿线的距离、爬电距离和电气间隙并不适用于本质安全区或本质安全隔离，所以可以在该边界使用数字隔离器。在本质安全转本质安全应用中，电压通常被限制在SELV电压限值以下，同时还要限制功率。所以，瞬态隔离电压通常为500 V_{PEAK}，爬电距离和电气间隙只有0.5 mm至4 mm，具体取决于采用的是哪张表。这意味着，在这些接口中，可以利用数字隔离器的小封装特性。突然之间，数字隔离器变得极富魅力。剩下要解决的唯一问题是容错问题。

在本质安全转本质安全边界的限压和限流环境中，可以通过数种方式解决容错问题，比如保护I/O引脚和电源，或者从设计和质量上确保引脚能消耗足够的能量。外置保护方案会占用较大的电路板空间，其占用的空间可能比采用小型封装节省的空间还要大。另一个方案是评估器件在故障条件下的行为，并基于此生成实体参数。实体参数是针对电压、电流和功率的一组限值，其作用是确保器件不会产生电弧、断裂或使其绝缘体失效。在这些条件下，器件可能会因消耗能量而经历升温过程。加上最大额定环境温度，结果可以得到用在本质安全散热分析中的最大封装温度。

实例, ADI ADuM144x四通道隔离器

ADI ADuM144x系列*iCoupler*® 数字隔离器拥有多种特性, 是系统设计师的不错选择。其功耗处于微安级别, 数据速率高达2 Mbps, 有4个数据通道, 采用小型QSOP或SSOP封装, 绝缘性能出色。这些数字隔离器的爬电距离、电气间隙和瞬态电压(超过6000 V_{PEAK})等规格高于本质安全环境的要求。该器件非常适合1 Mbps SPI通信。这款器件优异的技术规格使其成为本质安全应用的良好选择, 并且其经评估符合IEC60079-11标准, 因而具有突出的易用性。

就如所有数字隔离器一样, 该系列器件绝缘体的厚度未达到本质安全转非本质安全的隔离要求, 其实体参数也未经评估。这意味着该器件可以用在本质安全转本质安全屏障中, 与外置保护装置相配合。然而, 该器件能承受可能的超高功耗故障, 加上适当的实验实体参数, 可以在不带保护措施的条件上使用——这使其成为本质安全转本质安全环境的理想选择。

ADI公司与CSA/SIRA合作为该系列器件生成ATEX和IECEX认证, 这样, 本质安全系统设计师就可以轻松地将其集成到他们的设计当中。CSA/SIRA需要解读适用于数字隔离器的现有标准要求。例如, 这些器件中使用的脉冲变压器在绝缘特性方面更接近电容。它们只存储极少的能量, 所以在它们上面运用变压器设计规则是没有意义的。实体参数的试验程序也需要从头开始设计。

实体参数和环境条件如表1和表2所示。额定功耗旨在维持绝缘完整性而非超出安全范围时的器件功能。这样就可以指定更高的功耗, 还能消除外部组件的必要性。需要注意的是, 必须符合所有实体参数限值, 以确保绝缘安全, 所以, 在实际应用中, 总功率会限制电压和/或电流。表2中的最高表面温度反映的是特性测定中观察到的最高表面温度。封装越大, 温度越低。这是通过易爆环境通用组件等级认证的首款数字隔离器, 因为它符合标准中有关制造质量的所有要求。

表1. ADuM144x实体参数

封装类型	第1侧实体参数	第2侧实体参数
QSOP-16	U _i = 42 V I _i = 275 mA P _i = 1.3 W L _i = 0 C _i = 4 pF	U _i = 42 V I _i = 275 mA P _i = 1.3 W L _i = 0 C _i = 4 pF
SSOP-20	U _i = 42 V I _i = 275 mA P _i = 1.3 W L _i = 0 C _i = 4 pF	U _i = 42 V I _i = 275 mA P _i = 1.3 W L _i = 0 C _i = 4 pF

表2. ADuM144x散热特性

封装类型	第1侧最高功率 (W)	第2侧最高功率 (W)	最高组件温度 (°C)	环境温度 (°C)
16引脚QSOP	1.3	1.3	189.8	85
20引脚SSOP	1.3	1.3	218	85

未来的发展趋势是什么?

在某些情况下, 限定数字隔离器的用途是不错的选择, 但实践证明, 把过于保守的非特定绝缘厚度要求用于所有类型的隔离器会导致用途受限或者性能受限于结构。本质安全相关群体早就认识到了这一点, 并且已经从标准层面着手解决这个问题。有人正在研究一种新的本质安全隔离器方案, 并且准备纳入下一次修订版标准当中; 修订后的标准会对光隔离器和数字隔离器一视同仁, 并在最新版标准中为绝缘要求提供替代方案。同时还将优先用于避免使用外置保护装置的容错试验。在本质安全应用领域, 高性能数字隔离器的运用会大幅增加。

作者简介

Mark Cantrell是ADI公司*iCoupler*® 数字隔离器部的应用工程师, 也是IEC60079-11维护团队成员。他的专业领域是*iCoupler*数字隔离产品, 包括*isoPower*® 隔离电源器件和²C、USB隔离器等通信总线器件。他还负责所有*iCoupler*数字隔离器产品的机构安全认证。Mark毕业于美国印第安纳大学, 获得物理学硕士学位。联系方式: mark.cantrell@analog.com。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区, ANALOG DEVICES 中文技术论坛

与ADI技术专家互动。

提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答, 或参与讨论。

请访问 ezchina.analog.com

全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2018 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA16516sc-0-1/18

analog.com/cn

