

# “防爆安全技术”讲座

## 第5讲 防爆仪表通用技术要求

徐建平

(上海仪器仪表自控系统检验测试所,上海 200233)

### 1 常见的仪表防爆型式

半个多世纪以来,我国仪表防爆技术有了突飞猛进的发展。其产品不仅为我国国民经济生产及其安全发挥了重要作用,而且部分仪表产品已开始走向国门,销往世界各地。

表1所示是工业自动化仪表及系统在进行防爆设计时可以采用的主要防爆型式。

表1 我国采用的防爆型式

序号	防爆型式	标志
1	隔爆型	Ex d
2	增安型	Ex e
3	本质安全型	Ex ia, Ex ib
4	正压外壳型	Ex px, Ex py, Ex pz
5	油浸型	Ex o
6	充砂型	Ex q
7	n型	Ex nA, nC, nR, nL, nZ
8	浇封型	Ex ma, Ex mb
9	粉尘防爆型	DIP A, DIP B

众所周知,每一种防爆技术都有其不同技术特点和应用范围。表2给出了典型自动化仪表产品中常用的防爆型式。我们在设计具体的防爆仪表产品或自控系统时,应结合产品的特征和应用要求选择合适的防爆型式。

随着电子技术的快速发展,特别是由于电子元器件功耗不断降低,本质安全技术在自动化仪表产品中应用的优势日显突出。据不完全统计,在自动化仪表领域,本质安全防爆技术的应用最为广泛,其次是隔爆型防爆技术。近年来,由于2区防爆新技术的出现,限制能量型防爆技术在自动化仪表领域的应用也明显增多。

表2 常用的防爆型式

仪表产品类别	常见的防爆型式
压力变送器	本安型、隔爆型、限制能量型、粉尘防爆型
温度变送器	本安型、隔爆型、限制能量型、粉尘防爆型
物位(液位)仪表	本安型、隔爆型、限制能量型
流量传感器	本安型、隔爆型
电磁流量计	隔爆/浇封/本安复合型
电动执行机构	隔爆型、增安型
电气阀门定位器、转换器	本安型、隔爆型、限制能量型
电磁阀	浇封型、隔爆型、本安型、限制能量型
安全栅	本安型(关联设备)、隔爆/本安复合型
显示仪表	本安型、隔爆型、隔爆/本安复合型
可燃气体探测器	本安型、隔爆型
其他传感器(如速度)	本安型、浇封型
仪表控制盘	正压型
记录仪	本安型(关联设备)、正压型

### 2 仪表通用设计要求

GB 3836.1-2000《爆炸性气体环境用电气设备第1部分:通用要求》是爆炸性气体环境用电气设备的通用要求,适用于包括工业自动化仪表及系统在内的爆炸性气体环境用电气设备,但不适用于医用电气设备、发爆器、发爆器试验仪和点火电路试验仪。

GB 3836.1-2000主要规定了爆炸性气体环境用电气设备、Ex引入装置、Ex元件的结构、检验和标志的通用要求及检验程序,并明确说明这些规定可由防爆型式专用标准补充和修改。GB 3836.1-2000标准规定的通用要求主要是针对1区场所用电气设备提出的,不适用于2区危险场所用Exn型电气设备。Exn型电气设备只需满足GB 3836.8-2003标准规定的要求。

对于不同型式的防爆产品,除应满足通用要求标准外,还必须同时满足相应防爆型式的专用标准规定的要求。对于采用未包括在国家标准的防爆型式时,经检验单位认可,可认证为特殊型电气设备“Ex s”。

特殊型电气设备可以是专门为 0 区设计、也可以是为 1 区或 2 区设计。特殊型电气设备的认证通常需要制定详细的技术方案、检验方法和试验程序,并通过合适的方式予以确认。

下面就爆炸性气体环境用仪表产品设计通用技术要求,作较为全面的介绍。

### 2.1 使用环境温度

防爆电气设备运行的环境温度通常为 -20 ~ 40 ℃。标准规定的技术要求和试验参数大多是基于这一环境温度范围设定的。如果环境温度超出上述范围,则应视为特殊情况,制造厂应将环境温度范围在资料中给出,并在产品铭牌上标出特殊的环境范围,或在防爆合格证编号后加符号“X”。

当环境温度超出标准规定的范围时,应充分分析对相关防爆技术的影响,必要时应修正或调整有关技术参数甚至试验方法,以确保产品在特殊环境条件下的防爆安全水平。例如,对于隔爆型产品,若环境温度低于 -20 ℃时,应考虑外壳材料可能的冷脆现象,必要时实验室应在极限低温条件下进行外壳冲击试验,并在进行外壳强度试验时适当提高试验压力,以确定能否使用。

### 2.2 表面温度

防爆电气设备与普通电气设备一样,在正常运行时和可能的故障情况下会引起温升。由于设备周围可能存在的爆炸性气体混合物将不可避免地接触到这些高温表面,当设备表面温度高于可燃性气体混合物的自然温度时,就会引起爆炸事故。因此,我们在进行防爆电气设备设计时,必须对其可能产生的表面温度加以限制,确保设备最高表面温度低于设备周围环境可能存在的爆炸性危险气体的引燃温度。表 3 是 II 类电气设备的最高表面温度分组。

表 3 II 类防爆电气设备最高表面温度分组

温度组别	T1	T2	T3	T4	T5	T6
允许最高表面温度/℃	450	300	200	135	100	85

所谓最高表面温度是指可能与爆炸性气体环境接触的电气设备的最高表面温度。通常,防爆电气设备最高表面温度的确定与设备采用的防爆型式有关。例如,对于隔爆型和浇封型电气设备,通常只需考虑外壳表面和浇封自由表面的最高温度;而对于本质安全型和增安型电气设备,不仅要考虑设备外壳的温度,同时也必须考虑内部电路、导线甚至接线端子部件的温度,取两者较高者。

对于总表面积小于 10 cm<sup>2</sup> 的小元件,其最高表面

温度允许超出设备标志的组别温度(本安电气设备电路中的小元件除外):

- ① T1、T2、T3 组电气设备为 50 ℃;
- ② T4、T5、T6 组和 I 类电气设备为 25 ℃。

对于 I 类防爆电气设备的最高表面温度为 T1,如果考虑煤矿井下有煤粉尘堆积时,表面温度应限为 150 ℃。

需要说明的是,工业自动化仪表不同于其他电气设备,除环境温度外,仪表的过程温度也将影响设备最高表面温度。一般情况下,最高表面温度为电气设备自身温升加上规定的最高使用环境温度。但对于过程自动化仪表,当其涉及的介质温度高于产品的最高使用环境温度时,在进行产品设计时还应考虑介质温度对产品温度组别影响的可能性。只要安装合适,工程实践通常要求保证仪表可能与爆炸性气体环境接触的任何表面的最高温度不超过气体引燃温度。实验室为了确定介质温度对最高表面温度的影响,可以模拟实际安装使用条件,在可能的最高介质温度条件下测定最高表面温度。有时,为了简化繁琐的试验程序,经分析确认并征得客户同意的情况下,可直接参照表 4 确定设备温度组别。例如,假设设备环境温度为 60 ℃,在常温下测得设备温升为 10 K,而产品实际介质温度为 500 ℃,则可认定设备温度组别为 T1 ~ T6,具体与环境温度、介质温度的关系如表 4 所示。

表 4 设备温度组别与允许的环境温度和介质温度

设备温度组别	环境温度/℃	允许介质温度/℃
T1	60	430
T2	60	280
T3	60	185
T4	60	120
T5	60	85
T6	60	70

### 2.3 对内置大电容和加热元件的安全要求

对于内部具有大的储能电容或内装电加热元件的电气设备应设置延时开盖警告标志。

对于存在大电容的情况,当充电电压高于 200 V 时,延时开盖的时间应大于由断电至电容器放电到下列剩余能量所需的时间:

- I 类和 II A 类设备为 0.2 mJ;
- II B 类设备为 0.06 mJ;
- II C 类设备为 0.02 mJ。

当充电电压高于 200 V 时,延时开盖的时间应大于由断电至电容器放电到上述限值 2 倍的能量所需的

时间。

对于存在加热元件的情况,延时开盖时间应大于由断电至热元件温度降至低于电气设备允许的最高表面温度所需的时间(如 T4 设备为 130 ℃)。

对于同时具有内置大电容和加热元件的情况,应分别测定开盖时间,取较大者。

## 2.4 外壳材料要求

防爆电气设备的外壳材质,可选用铸钢、铸铁、铸铝或其他有色金属。由于轻铝合金与锈铁摩擦会放出大量的热能,为此对于采用轻合金材料的外壳,对于 II 类电气设备外壳材料的含镁量(质量百分比)不允许大于 6%;对于 I 类电气设备,材料中铝、钛和镁的总含量不允许大于 15%。对于 I 类手持式或支架式电钻(及附带插接装置)、携带式仪器仪表、灯具的外壳,可采用抗拉强度须大于等于 120 MPa,且按 GB 13813 规定的摩擦火花试验方法考核合格的轻合金制成。

此外,防爆电气设备的外壳也可使用塑料、陶瓷等材料制成。考虑到塑料等非金属材料具有冷脆性、易积聚静电、易老化等缺点,非金属材料应满足下列要求或通过相关的试验。

(1) 材料允许的工作温度必须高于设备外壳最高表面温度。

(2) 塑料和轻铝合金制造的外壳,其外壳应能承受 GB 3836.1 规定的冲击试验,试验后不得有影响防爆性能的变形或损坏。

(3) 塑料外壳须能承受 GB 3836.1 规定的耐热、耐寒、机械、老化、耐化学试剂等试验。

(4) 为有效避免非金属外壳表面积聚静电,可采取下列任一技术措施来满足:

① 合理选材,使其须按 GB 1410《固定电工绝缘材料绝缘电阻、体积电阻系数和表面电阻系数试验方法》测得的表面电阻值不超过  $1 \times 10^9 \Omega$ 。

② 限制外壳最大表面积: I 类设备表面积  $\leq 100 \text{ cm}^2$ ; II A、II B 类设备表面积  $\leq 100 \text{ cm}^2$ (当塑料裸露部分用接地金属框架围着时可不超过  $400 \text{ cm}^2$ ); II C 类设备表面积(含透明窗)  $\leq 20 \text{ cm}^2$ (当塑料部件有附加防静电措施,可增至  $100 \text{ cm}^2$ )。0 区场所使用时应有更进一步的限制。

③ 选择合理尺寸、形状和布置、或其他安全措施使其不产生危险静电电荷。如果不能通过外壳的设计来避免印染危险时,则应设置一个警告牌标明在运行中采取的安全措施。

(5) 塑料外壳须采用不燃性或难燃性材料,并满足 GB/T 11020 中规定的火焰垂直试样法(FV)的 FV2 级要求。

## 2.5 紧固件

防爆电气设备外壳主体和盖用螺栓和螺母紧固,其可靠程度将直接影响防爆性能。为此标准要求为保证防爆型式或用于防止触及裸露带电零件所必须的紧固件,只允许用工具才能松开或拆除。含轻金属的外壳用的紧固螺钉允许用轻金属或塑料制成,只要紧固件材料适用于外壳材料即可。

对于在防爆型式专用标准中要求的特殊紧固件,应确保其螺距符合 GB 9144 标准,公差配合应达到 GB 9145 的 6 g/6 H;螺栓或螺母应符合国家有关标准。

电气设备的特殊紧固件用孔应满足:

① 螺纹深度应大于相应规格紧固件螺母的全部高度。

② 螺纹应符合 6H 级要求,并且螺栓头下面孔的允许间隙小于 ISO286-2 规定的 H13 级间隙;当使用细杆螺栓时,细杆螺栓头或螺帽下面的孔应攻丝,以保证螺栓不脱落,螺栓头与被连接件的接触面积应大于等于非细杆螺栓在光孔中的接触面积。

③ 对于内六角螺栓,螺纹公差应为 6H 级,紧固后螺栓不得从螺孔中凸出。

## 2.6 接线空腔和连接件

接线空腔应设计成符合标准规定的任一防爆型式,并便于接线,确保接线后的电气间隙和爬电距离符合相应防爆型式标准规定的要求。

电气设备应有连接件与电缆或导线外部电路相连,但电气设备在制造中有永久电缆者除外。所有带有永久电缆的设备应标志“X”,以表明应有适当措施连接电缆的自由端。电缆的自由端应作适当保护。

接线空腔和出线口应有足够的尺寸以方便导线连接。

接线空腔内的连接件应有足够的机械强度,结构要保证连接可靠,不允许在振动和温度变化情况下,发生振动而产生火花或过热现象。连接件之间和与外壳之间的电气间隙、爬电距离必须满足标准的规定。

## 2.7 接地连接件

防爆电气设备外壳接地除为了防止人身触电事故外,更重要的是防止漏电发生火花,避免引起爆炸性气体混合物的点燃。因此,电气设备不仅应在接线空腔内的电路连接件旁设置接地连接件(即内接地端子),而且电气设备的金属外壳还应设置辅助的外接地连接件(外接地端子),外接地连接件应与内接地连接件有电气连接。

但对于移动式电气设备,当使用具有接地芯线或等效接地芯线的电缆时,可不设外接地端子。电气设备外接地连接件至少应能与截面积有  $4 \text{ mm}^2$  的接地线有效连接。

接地连接件应有有效的防腐措施,并采用能防止导线松动、扭转的结构,并确保连接件具有持久的接触压力。当接地连接件与轻合金连接时,必须采用钢质过渡件或其他特殊的连接措施。

此外,按照标准规定,具有双重绝缘或加强绝缘的电气设备或安装有金属导管系统的电气设备也可不设外接地和内接地。

### 2.8 电缆和导管引入装置

引入装置是外部电源和控制电路引入或引出防爆电气设备的通道,是防爆电气设备重要的外壳部件。由于引入装置直接与周围爆炸性混合物相接触,且经常要被维护、操作人员打开接线。因此电缆引入装置是防爆电气设备最为薄弱的部位,其结构设计必须安全可靠。

根据标准规定,引入装置可与设备设计为一体型,其防爆安全性能与设备一起考核取证;引入装置也可以以独立部件的方式存在,并可单独进行试验和取证。

电缆引入装置密封的方式可采用弹性密封圈、金属/复合密封圈或填料。图1和图2分别是传统的(一体型)电缆布线式引入装置和钢管布线式引入装置。图3是典型的分离型电缆引入装置。

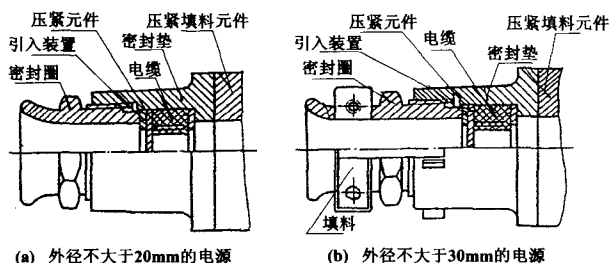


图1 一体型电缆布线式引入装置

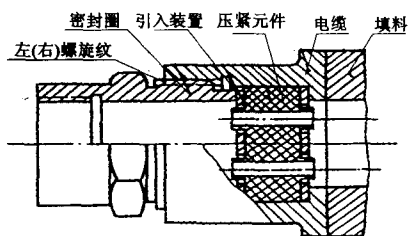


图2 一体型钢管布线式引入装置

引入装置的结构设计应满足其在安装后仅通过工具才能打开的要求。引入装置部件装配到电气设备上时,它们的结构和固定方式不应损害电气设备的防爆特性,其具体连接结构可以是满足相关的防爆型式要求的螺纹或光孔,并达到要求的外壳防护等级,且当其连接结构在经受规定的夹紧和冲击试验后,不应产生

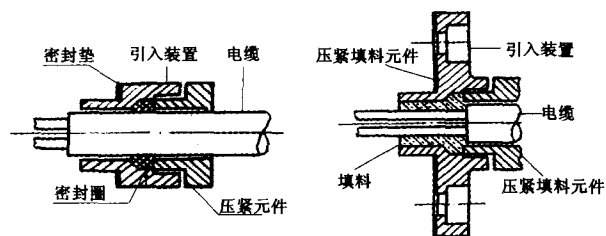


图3 分离型电缆引入装置

影响相应设备的整机防爆性能要求。

可弯曲电缆进线口圆角如图4所示,电缆引入装置的电缆引入通道应光滑,以防止划破电缆;电缆进线口应有半径为1/4 电缆直径,但不能超过3 mm、张角为75°的圆弧。

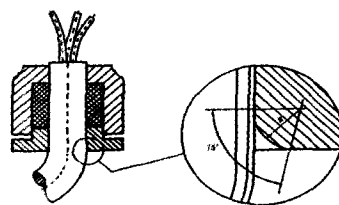


图4 可弯曲电缆进线口圆角

弹性密封圈的形状应适合所用的电缆,密封圈材料应符合标准规定的老化试验。对于采用填料结构时,制造厂应提供证明文件,以保证材料具有足够的热稳定性,并要求材料的极限温度应至少超出电气设备的最高温度20 K。

当电缆引入装置的外露件为非金属材料时,应满足前述的抗静电荷的要求。

电缆引入装置应通过夹紧装置、密封圈或填料夹紧电缆,以防止引入电缆被拔脱或扭转。但I类电缆引入应设置夹紧装置,以防止电缆的转动传递到连接件。对于II类固定安装电气设备,其电缆引入装置不采用夹紧结构时,规定的夹紧试验值可降低25%。此时合格证号加后缀“X”。

对于配用认可的电缆引入装置的电气设备,制造厂应在提交给检验单位的文件中指明引入电缆或导管的位置和最大允许数量。电气设备上存在冗余的电缆引入通孔时应应用堵封件堵封,要求堵封件只能用工具才能拆除,并符合相应防爆型式要求。对于额定工作条件下,电缆入口温度高于+70℃或电缆芯线分支处温度高于+80℃时,电气设备外部应设一标示牌,标出温度,以指导用户选配合适的电缆或导线。

有关电缆引入装置更多的设计和试验技术要求,可参阅GB 3836.1-2000附录D。对于隔爆型电缆引入装置还应满足GB 3836.2-2000标准规定的要求。

## 2.9 专用规定

GB 3 836.1 标准还对旋转电动机、开关、熔断器、插接装置、灯具、空间加热器等设备作出了详细的补充规定。

在设计自动化仪表及系统过程中,涉及这些元件或产品时,应依照标准规定的要求执行。

## 2.10 设备标志

电气设备主体明显处应设置标志。标志应考虑到在可能存在化学腐蚀的情况下仍然清晰耐久。为此,标准建议采用如青铜、黄铜或不锈钢等耐腐蚀的材料。

(1) 电气设备标志牌(铭牌)应包括下列内容:

- ① 制造厂名称或注册商标;
- ② 产品型号名称;
- ③ 产品编号(接线用附件和表面积较小的电气设备除外);
- ④ 防爆标志(须加“Ex”前缀);

⑤ 防爆合格证号(有特殊安全要求时加后缀“X”,为部件认证时加后缀“U”);

⑥ 检验单位标志;

⑦ 对于复合型电气设备,应在不同防爆型式的外壳上标出相应的防爆型式;

⑧ 其他专用防爆标准规定的补充项目(如本安设备安全参数等);

⑨ 其他必要的信息。

(2) Ex 元件应标志下列内容:

① 制造厂名称或注册商标;

② 产品型号名称;

③ 防爆标志(符号 Ex、防爆型式、组别);

④ 防爆合格证号(加后缀“U”);

⑤ 检验单位名称或标记;

⑥ 其他必要的信息。



## 防爆安全技术基本术语

### · 额定值 rating

通常是指由制造厂商规定的有关元件、设备或装置特定操作条件的一个量值。

### · 正常工作 normal operation

是指在电气和机械方面都符合本安型电气设备或关联设备设计要求的工作状态。

### · 故障 fault

是指未被定义为可靠的、且将影响电路本安性能的任何元件的任何失效,包括元件之间的分隔、绝缘或连接的失效。

### · 计数故障 countable fault

符合标准结构要求的电气仪表零部件上发生的故障。

### · 非计数故障 non-countable

不符合标准结构要求的电气仪表零部件上发生的故障。

### · 导电粉尘 conductive dust

电阻系数等于或小于  $1 \times 10^3 \Omega \cdot m$  的粉尘、纤维或飞扬物。

### · 可燃性粉尘环境 explosive dust atmosphere

在大气环境条件下,粉尘或纤维状的可燃性物质与空气的混合物点燃后,燃烧传至全部未燃混合物的环境。

### · 防粉尘点燃 dust ignition protection (DIP)

国家标准 GB 12476.1 规定的适用于电气设备上有关避免粉尘层或粉尘云点燃的所有措施(如防止粉尘进入和限制表面温度)。

注:GB 12476.1 标准包含了 A 型和 B 型两种不同型式的电气设备。这两种型式具有相同的保护水平。

### · 尘密外壳 dust-tight enclosure

能够阻止所有可见粉尘颗粒进入的外壳。

### · 防尘外壳 dust-protected enclosure

不能完全阻止粉尘进入,但其进入量不会妨碍设备安全运行的外壳。粉尘不应堆积在该外壳内易产生点燃危险的位置上。

### · 粉尘层的最低点燃温度 minimum ignition temperature of a dust layer

规定厚度的粉尘层在热表面上发生点燃的热表面的最低温度。

### · 粉尘云的最低点燃温度 minimum ignition temperature of a dust cloud

炉内空气中所含粉尘云出现点燃时炉子内壁的最低温度。