

# “防爆安全技术”讲座

## 第6讲 隔爆型仪表

徐建平

(上海仪器仪表自控系统检验测试所,上海 200233)

### 1 隔爆型仪表的设计依据及原则要求

#### 1.1 设计依据

GB 3836.1-2000《爆炸性气体环境用电气设备第1部分:通用要求》和 GB 3836.2-2000《爆炸性气体环境用电气设备第2部分:隔爆型“d”》是隔爆型仪表产品的主要设计依据。

#### 1.2 设计原则

根据 GB 3836.2 标准的规定,隔爆型仪表的设计实际上就是要设计一个符合标准规定的机械外壳,并确保该外壳能承受内部爆炸性气体混合物的爆炸压力,并能阻止内部的爆炸向外壳周围爆炸性混合物传播。

如前所述,隔爆型外壳的防爆机理是基于“间隙防爆”原理。由于仪表产品在正常工作或可能的故障条件下,将不可避免地产生电火花或危险高温,为此工程实践中通常将相关的电子线路或电气零部件放在一个或几个满足“间隙防爆”原理要求的外壳中,从而来避免由这些电气因素引起点燃源点燃周围爆炸性环境而产生爆炸。因此,隔爆外壳的设计必须满足两个基本条件:

① 外壳机械强度条件,即外壳具有足够强度,能承受内部的爆炸压力而不损坏,且不产生影响防爆性能的永久性变形。

② 控制接合面间隙不传爆条件,即外壳接合面具有足够小的间隙和足够长的啮合长度,内部的爆炸产物(炽热火焰或颗粒)不会窜出外壳并点燃周围环境中的爆炸性混合物。

当两个或多个隔爆外壳组合在一起时,每个单独外壳都应满足上述外壳设计基本要求。

### 2 隔爆型仪表基本设计要点

#### 2.1 隔爆外壳

##### 2.1.1 外壳材质

隔爆外壳材质一般可采用铸钢、铝合金、不锈钢、塑料、陶瓷、玻璃钢及高强度复合材料等,其性能应符合

合 GB 3836.1-2000 标准中有关“外壳材料”的要求。

当非金属隔爆外壳和隔爆外壳的非金属部件直接被用来支撑裸露带电部件时,外壳内壁表面或外壳部件的耐泄痕性和爬电距离应符合表 1 和表 2 的要求。并通过 GB 3836.2 附录 A 规定的耐热性能的高温试验、耐热性能的低温试验、机械试验和可燃性试验等。对 I 类电气设备额定电压 1140 V 的最小爬电距离和最小电气间隙可用线性内插法计算。

表 1 电气间隙和爬电距离

工作电压 $U/V$	最小爬电距离/mm			最小电气间隙/mm
	材料级别			
	I	II	III A	
$U \leq 15$	1.6	1.6	1.6	1.6
$15 < U \leq 30$	1.8	1.8	1.8	1.8
$30 < U \leq 60$	2.1	2.6	3.4	2.1
$60 < U \leq 110$	2.5	3.2	4.0	2.5
$110 < U \leq 175$	3.2	4.0	5.0	3.2
$175 < U \leq 275$	5.0	6.3	8.0	5.0
$275 < U \leq 420$	8.0	10.0	12.5	6.0
$420 < U \leq 550$	10.0	12.5	16.0	8.0
$550 < U \leq 750$	12.0	16.0	20.0	10.0
$750 < U \leq 1100$	20.0	25.0	32.0	14.0
$1100 < U \leq 2200$	32.0	36.0	40.0	30.0
$2200 < U \leq 3300$	40.0	45.0	50.0	36.0
$3300 < U \leq 4200$	50.0	56.0	63.0	44.0
$4200 < U \leq 5500$	63.0	71.0	80.0	50.0
$5500 < U \leq 6600$	80.0	90.0	100.0	60.0
$6600 < U \leq 8300$	100.0	110.0	125.0	80.0
$8300 < U \leq 11000$	125.0	140.0	160.0	100.0

表 2 绝缘材料的耐泄痕性

材料级别	相比漏电起痕指数 (CTI)
I	$600 \leq CTI$
II	$400 \leq U < 600$
III A	$175 \leq U < 400$

##### 2.1.2 外壳结构

根据爆炸理论,爆炸性气体的爆炸压力一般在 0.7 ~ 1.0 MPa。试验表明,当外壳是由两个或多个连

通空腔组成,或是被设备内部的部件隔开时,则爆炸性气体在腔体内的爆炸可能产生压力重叠,此时的最大爆炸压力可达几兆帕到几十兆帕。为此,应尽可能地消除压力重叠现象,特别是应尽量避免小通孔或细长通道腔体结构,必要时可采取增大联通孔面积或堵封分腔的措施来避免压力重叠现象的产生。在无法避免产生压力重叠时,必须提高外壳的机械强度。

当外壳内电子线路或电气零部件在正常工作情况下可能产生火花、电弧或危险温度时,按照现行标准规定,可采取直接电缆引入结构,将产品设计成一个腔体结构。一般建议将外壳设计成两腔体结构。这主要是考虑到电缆引入装置是隔爆外壳结构中最为薄弱的部分,加上具有电缆引入的腔体用户经常会打开,容易产生隔爆结构的人为损坏或安装不到位,从而导致可能的局部隔爆性能下降。此时,如果将具有火花、电弧或危险高温的部分单独设计成一个独立于接线腔的隔爆主腔体,即使主腔体内产生爆炸也不致于穿透到隔爆性能较为薄弱的接线盒腔。

### 2.1.3 外壳机械强度

如前所述,隔爆外壳应能承受内部爆炸压力而不发生损坏或引起外壳结构强度降低或不产生影响隔爆性能的变形。因此,隔爆外壳强度的设计(包括腔体壁厚的强度计算)必须以满足国家标准 GB 3836.2 规定的爆炸试验压力为前提。一般情况下,技术人员基于下列压力值进行隔爆外壳强度验算:①I类设备、II A类设备和 II B类设备为 1 MPa;②II C类设备为 1.5 MPa。

为了评判外壳是否具有足够的机械强度,防爆检验机构首先需要依据冲击试验能量表中的规定进行冲击试验。在冲击试验合格的基础上,检验机构将按标准规定的要求对每个隔爆外壳腔体测定参考压力,并对该隔爆腔体进行压力为参考压力 1.5 倍(但至少为 0.35 MPa)、持续为 10 s 的静压试验,或进行最大压力为实测参考压力 1.5 倍的动压试验加以验证。

### 2.1.4 外壳防护等级

标准没有对隔爆外壳的外壳防护等级作出明确规定。但是,在进行结构设计时应充分了解产品应用特征,对于特定环境下使用的仪表产品,应确保其外壳防护等级与实际使用环境相适应。

## 2.2 隔爆接合面

### 2.2.1 隔爆接合面通用要求

所谓隔爆接合面是指为了阻止内部爆炸向外壳周围爆炸性气体混合物传播,隔爆外壳不同部件相对应的表面配合在一起(或外壳连接处)且火焰或燃烧生成物可能会由此从外壳内部传到外壳外部的部位。按

照隔爆接合面的形状,除一些特殊的外壳可采用适用于圆筒轴承和滚动轴承的曲路隔爆接合面(图1)和锯齿接合面(图2)结构外,通常隔爆接合面应设计成平面隔爆接合面(图3)、圆筒隔爆接合面、止口隔爆接合面和螺纹隔爆接合面。

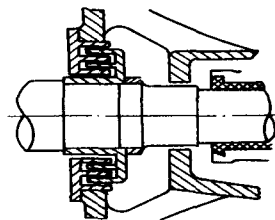


图1 隔爆接合面结构

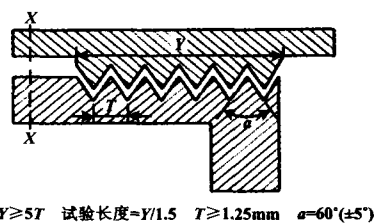


图2 锯齿形接合面

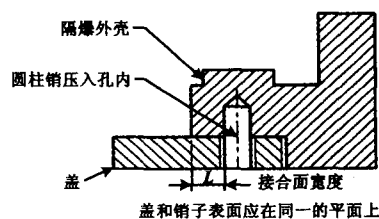


图3 I类设备平面接合面

无论是长期关闭或是经常打开的外壳,所有的接合面的结构参数均应符合相关标准的规定和补充规定。

### 2.2.2 隔爆接合面补充规定

#### 2.2.2.1 非螺纹接合面

##### (1) 接合面宽度

非螺纹型接合面的宽度应符合相关标准规定的尺寸。但是对于圆筒形金属部件(如,压入容积 $\leq 2000 \text{ cm}^3$ 的金属隔爆外壳壁的衬套),其结构符合下列要求时,接合面宽度可以缩短到 5 mm:

- ① 不依靠过盈配合来防止部件受力时产生位移;
- ② 在最不利的过盈配合公差时,该结构能通过标准规定的冲击试验;
- ③ 过盈配合部件的直径不超过 60 mm。

接合面可以设计成锥形表面,但对于 II C 结构,其锥度不得大于  $5^\circ$  要求。

##### (2) 接合面间隙

除快开门或盖的情况,平面接合面之间不应存在

有意造成的间隙,假如接合面之间存在间隙,应符合相关标准规定的尺寸。

对于I类电气设备,平面接合面结构应设计成能直接或间接检查经常打开的门或盖的平面接合面间隙,如图3所示。对于操纵杆、轴和转轴,其间隙是指最大的直径差。对于锥形接合面,其间隙应是垂直于接合面表面的间隙,要求其接合面间隙均匀。对于止口接合面结构,当需要考虑接合面长度为圆筒部分和平面部分接合面长度累加( $L=c+d$ )时,应满足: $C \geq 6$  mm(只对II C), $d \geq 0.5L$ (只对II C), $f \leq 1$  mm。

当只考虑圆筒部分的接合面长度时,对于I类、II A和II B,平面部分不必满足相关标准规定的尺寸,但对于II C,平面部分的间隙不应超过标准对圆筒部分所规定的最大间隙。此时,如果在平面部分安装有衬垫,要求在压缩衬垫前后均应保持圆筒部分接合面的最小宽度,要求衬垫被压缩后平面部分的间隙应满足标准规定的间隙值或要求衬垫被压缩后平面部分的每一表面与密封衬垫之间的间隙都满足标准规定的间隙值。

对用于含有乙炔爆炸性环境的II C设备,只有当 $L \geq 9.5$  mm,间隙 $\leq 0.040$  mm,且外壳容积不超过 $500$  cm<sup>3</sup>的情况下,允许采用平面隔爆接合面。此时,还要求采取适当的措施(如设置衬垫等),以防止不完全燃烧的物质直接窜出接合面而点燃周围环境爆炸性混合物。

### (3) 隔爆外壳上的轴

有时为了实现对隔爆外壳内部部件的操作或传递内部动力至外部,需要在隔爆外壳上设置引出(入)轴或操纵杆。靠外壳壁支撑的操纵杆或轴的接合面宽度和间隙应满足相关标准规定。对正常使用中可能因磨损而增大间隙时,则应设置可更换的衬套或采取其他类似措施。

凡是转轴穿过隔爆外壳壁的地方均应设置隔爆轴承盖。轴承盖可以是曲路式、圆筒式或浮动式。轴承盖的结构应设计成不能因轴承的磨损或偏心而受到磨损。如果带有滑动轴承的旋转电动机上采用圆筒式或曲路式轴承盖,并且定子、转子间的单边间隙大于轴承盖所允许的单边间隙位移时,则轴承盖应由无火花材料(如黄铜)制成。

对于II C旋转电动机不允许采用滑动轴承。轴承盖隔爆接合面参数应满足相关标准规定的值,并符合下列补充规定:轴承盖直径间隙不应小于 $0.10$  mm;装有滚动轴承的转轴轴承盖的最大单边间隙 $m$ (如图4)不得超过相关标准规定值的三分之二;旋转电动机转轴结构的设计应控制其最小单边间隙 $K$ ,对I类、II A和II B应不小于 $0.075$  mm,对于II C应不小于 $0.05$  mm;

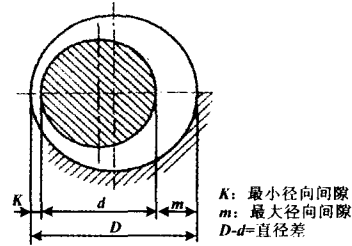


图4 旋转电机转轴的接合面

### (4) 表面粗糙度

接合面的表面平均粗糙度 $R_a$ 不得超过 $6.3$   $\mu\text{m}$ 。

### (5) 其他形式的平面接合面结构

隔爆外壳的一些接合面也可采用胶粘接合面,此时从隔爆腔体内部到外部通过胶粘接合面的最短通路应满足:

- ① 当 $V \leq 10$  cm<sup>3</sup>时,不小于 $3$  mm;
- ② 当 $10$  cm<sup>3</sup>  $< V \leq 100$  cm<sup>3</sup>时,不小于 $6$  mm;
- ③ 当 $V > 100$  cm<sup>3</sup>时,不小于 $10$  mm。

对于胶粘为一体的结构,胶粘接合面不必满足上述非螺纹接合面相关的要求。

在维修中不经常打开的部件(如,绝缘套管和透明件接合面间)可采用衬垫作为隔爆措施,但此时的衬垫应是金属或是金属包覆的符合ISO1210规定的可压缩不燃材料制成,且安装后的衬垫,结构上应保证不会脱落,特别是当外壳内产生爆炸压力时也不会被挤出。

衬垫的外形应设计成:衬垫厚度不小于 $2.0$  mm;接合面宽度:当外壳容积不大于 $100$  cm<sup>3</sup>时,不小于 $6.0$  mm;当外壳容积大于 $100$  cm<sup>3</sup>时,不小于 $9.5$  mm。

对于一些仅仅为了达到一定外壳防护等级,防止潮气、粉尘侵入或阻止液体渗入而设置的衬垫只能作为隔爆接合面的一个辅助件。

### 2.2.2.2 螺纹接合面

对于I类、II A和II B外壳,螺纹接合面的最小啮合扣数为 $5$ 扣,当容积大于 $100$  cm<sup>3</sup>时,最小轴向啮合长度为 $8$  mm;当容积不大于 $100$  cm<sup>3</sup>时,最小轴向啮合长度为 $5$  mm。

对于I类电气设备的隔爆螺纹接合面需有防止自行松脱的措施,且不允许直接在非金属材料制成的外壳上制作紧固用螺纹(出线口除外)。

### 2.3 紧固件

紧固件是确保隔爆型电气设备隔爆性能的关键部件。设计需满足GB 3836.1和GB 3836.2规定。

当采用可拆卸螺钉或螺栓紧固隔爆外壳的任何部件时,这些螺钉或螺栓孔不应穿透外壳壁,且孔周边的金属厚度应不小于孔径的三分之一,至少为 $3$  mm。在

结构或工艺原因需要穿透时,应按螺纹隔爆接合面要求用螺塞堵住,并采取适当的方式将其固定(如,焊接或铆接)。一般情况下,应采取防止紧固件因振动而松脱的措施。紧固件的材质(抗拉强度)、结构尺寸、数量配置(螺栓间距)等应按照不同的防爆等级(ⅡA、ⅡB或ⅡC)及隔爆腔容积大小和腔壁厚度等因素进行校核计算。

#### 2.4 观察窗(透明件)

观察窗是一个在不打开外壳的前提下,可对隔爆型电气设备的运行数据进行观察、测量的隔爆腔体部件。透明件材料应满足:①可采用物理化学性能稳定,且能承受设备额定运行条件下的最高温度;②透明件须承受 GB 3836.1 中有关冲击试验、热剧变试验等。

透明件在隔爆外壳上的安装结构应确保不会产生内部机械应力,具体可采用下述形式之一:①透明件可直接密封在外壳内,与它形成一个整体;②透明件可以用或不用衬垫直接紧固在外壳内;③透明件可以密封或胶粘在一个框架上,框架紧固在外壳内,这样使观察窗可作为一个整体部分进行更换,而不需要在现场进行密封处理。

#### 2.5 电缆和导线引入和连接

电缆和导线引入主隔爆腔体的方式有:①间接引入,用接线盒引入的方式;②直接引入,用直接接入主外壳的方式。

采用间接引入方式时,一般会使用一个接线盒来过渡引入,且接线盒通常是隔爆型或增安型。此时一方面要求接线盒腔和主隔爆外壳腔之间的电路连接可采用绝缘套管或密封压盖式导线引入结构,并满足隔爆性能要求;另一方面如果接线盒是增安型,则接线盒

还应符合 GB 3836.3 标准规定的要求,如果接线盒是隔爆型,则接线盒还应满足下列有关直接引入方式的相关要求。

对于直接引入方式,电缆和导线的直接引入应采用不会改变外壳隔爆性能的密封填料盖或密封圈的方法。压紧密封圈后,密封的最小轴向尺寸  $X$  应符合相关标准规定的火焰通路的最小长度要求。

GB 3836.2 标准规定,对于 I 类设备采用直接引入方式时,应满足下列两项条件:①正常运行时不产生火花、电弧或危险温度;②电气设备的额定功率不大于 250 W,且电流不大于 5 A。

对于 II 类工业自动化仪表产品,尽管标准没有任何限制条件,但是笔者根据国内外的实践,建议尽量采取间接引入方式。

此外,按照标准规定,导线或电缆引入的结构除采用引入装置结构外,还有导管引入结构。导管引入结构是基于北美的实践提出的,鉴于实际推行的困难和可能出现的安全应用问题,笔者不推荐使用。

#### 2.6 呼吸装置和排液装置

因技术原因需要在隔爆外壳上设置呼吸装置、传声装置和排液装置时,不能采用故意增大接合面间隙的方法来实现呼吸、传声和排液。必须采用隔爆面的缝隙来实现时,应在标准规定的接合面参数的基础上留有适当的安全余量。具体的设计要求和试验方法可参阅 GB 3836.2 附录 B。

#### 2.7 隔爆型设备的标志

隔爆外壳的标志应符合 GB 3836.1 规定,且对于正常运行时产生火花或电弧的设备,其盖子应设置联锁装置或设有通电时不准打开的标牌。

### 防爆安全技术基本术语

#### · 隔爆外壳 flameproof enclosure

电气设备的一种防爆型式。

其外壳能够承受通过任何接合面或结构间隙渗透到外壳内部的可燃性混合物在内部爆炸而不损坏,并且不会引起外部由一种、多种气体或蒸气形成的爆炸型环境的点燃。

#### · 容积 volume

外壳的内部总容积。若外壳和内装部件在使用中不可分开时,其容积是指净容积。

#### · 隔爆接合面 flameproof joint

隔爆外壳不同部件相对应的表面配合在一起(或外壳连接处)且火焰或燃烧生成物可能会由此从外壳

内部传到外壳外部的部位。

#### · 火焰通路长度(接合面宽度)

#### length of flame path (width of joint)

从隔爆外壳内部通过接合面到隔爆外壳外部的最短通路长度。

#### · 间隙(直径间隙) gap (diametral clearance)

隔爆接合面相对应表面之间的距离。对于圆筒形表面,该间隙是直径间隙(两直径之差)。

#### · 压力重叠 pressure piling

点燃外壳内某一空腔或间隔内的爆炸性气体混合物而引起与之相通的其他空腔内的被预压的爆炸性气体混合物点燃时呈现的状态。