

工 艺 设 备 的 防 爆

〔苏〕 В. И. 沃佳尼克 著

34.2

化 学 工 业 出 版 社

工艺设备的防爆

〔苏〕B.И.沃佳尼克 著

邵国威 译

化学工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了各种爆破膜、防爆阀、阻火器、速动火焰阻
断器和自动抑爆系统等化工设备防爆装置的结构和工作原
理。可供从事易燃易爆产品加工生产的设备设计和生产操作
的工程技术人员和工人参考使用。

Виктор Иванович Водяник
ВЗРЫВОЗАЩИТА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Киев "Техніка"

1979

工艺设备的防爆

〔苏〕 В.И.沃佳尼克 著
邵国威 译

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 $4^{3/4}$ 字数106千字印数1-9,110

1983年7月北京第1版1983年7月北京第1次印刷

统一书号15063·3507定价0.52元

前 言

要解决包括加工生产易燃易爆产品在内的诸多工艺过程的强化问题，不仅需要对现有的设备防爆方法和手段进一步加以改进，而且还需要研究和创造出新的防爆方法和手段。

工艺设备和生产厂房内的工艺介质发生爆炸，对于化工企业以及和化工企业相类似的其他工业企业来说，乃是一种最危险和最常见的事故。而生产厂房发生的爆炸，又往往是由于设备先发生爆炸而引起的。所以，如何防止工艺设备发生爆炸就成了保证安全生产的一项主要任务。

现在，在如何防止爆炸和怎样减轻爆炸可能造成的危害程度方面，已积累了许多经验。本书的目的，就是要对现有的工艺设备防爆装置简要地作一介绍，并试图对这类装置的计算、设计和使用的基本原则系统地加以论述，以期对设计和制造部门，以及工业企业的工程技术人员在解决安全生产中的各种实际问题时有所裨益。

本书着重介绍了一些能使设备在发生爆炸（不论发生的原因如何）后避免遭到破坏，以及能阻止爆炸通过工艺管道波及到其他设备这样一类防爆装置，如爆破膜、防爆阀、阻火器、速动火焰阻断器和自动抑爆系统等。

工艺设备如能普遍而又恰当地使用各种安全保护装置，可以使工业生产的劳动安全性大大提高。当然，从长远考虑，要真正保证生产的安全，主要应当是开发更加完善的工

艺生产过程和工艺设备。这不仅从主要技术经济指标的观点来看是如此，而且从安全的观点其中也包括从防爆的观点来看亦是如此。但是，采用各种类型的安全装置和保护系统后，总归可以弥补工艺生产过程和工艺设备的某些不足。

目 录

前言

爆炸压力泄放装置	1
膜片式防爆装置的结构	3
爆破膜设定爆破压力的计算	20
爆破膜的爆破动力学	39
爆破膜的制造	48
防爆阀	56
爆炸泄压装置排放能力的计算	64
爆炸阻隔装置	82
管内燃烧	82
干式阻火器	87
安全水封	96
速动火焰切断器	98
爆炸抑制系统	111
爆炸抑制系统的作用原理	112
冷却抑爆法	139
自动防爆系统的应用范围	143
参考文献	146

爆炸压力泄放装置

所谓工艺设备的防爆，就是防止工艺设备由于其内部的蒸气-气体或粉尘-气体混合物发生燃烧而遭到破坏。设备内的气体或粉尘发生的爆炸与炸药的爆炸有着本质的区别。气体和粉尘在燃烧时（如果不考虑爆轰的话），并不产生爆炸波（即压力陡增），而且在设备内部各点上的压力实际上是同时增高，并且增高得比较慢。从这个意义来说，大多数可燃蒸气-气体和粉尘-气体混合物的燃烧过程不能称作爆炸，尽管这种叫法早已为人们所习惯。这想必是因为，当这类混合物一旦在设备里或厂房内燃烧起来时，由于压力大大升高，会使设备或厂房遭到破坏，而这种破坏就其性质和外部现象而言，又都带有爆炸的特点。所以，如果不把燃烧过程同物件受到破坏的本身区别开来，而是把全部现象作为一个整体来看的话，那末，把这类事故称作爆炸事故在某种程度上也不是不可以的。

因此，当我们把可燃蒸气-气体和粉尘-气体混合物称作“爆炸危险混合物”，把它们的燃烧称作“爆炸”，以及当我们确定各种物质的某些“爆炸危险性”指标时，应当记住这些术语是有一定条件的。

在化工、石油化工、石油炼制和其他一些工业部门，制定大多数可燃物料加工过程的工艺操作规程时，都规定了可燃物不允许达到爆炸危险浓度。但实践表明，虽然做了这样的规定，在设备和管道里形成具有爆炸危险的蒸气-气体混

合物的情形还是时有发生。爆炸危险混合物的形成和事故的发生，常常是因为要进行混合的气体在混合比上出了问题。之所以如此，无非是由于生产中缺少压力或流量调节器、止逆阀、截止阀和联锁装置，或虽有但出了故障，或者是由于操作人员误操作所致。大家都知道，含氧化剂和可燃气体的气体混合物凝结时，由于部分低沸物转变为液相，未凝结部分的气体组成在数量比上遂发生变化，从而导致形成爆炸危险浓度。电解氯（氯和氢的混合物）在冷凝时之所以发生过一些事故，就是由于这个原因。在真空条件下加工处理可燃物料时，也具有潜在的爆炸危险性。因为系统的密闭性一旦出了问题，就往往会形成爆炸危险浓度。

在加工处理可燃性粉料的设备里，即使在生产过程正常时，也经常会产生有爆炸危险的粉尘空气混合物，不过爆炸却未那样经常发生。这只是由于诱发粉尘起爆需要有足够的能量的缘故。因此，为了预防这类爆炸的发生，在生产中不允许有电火花、明火和机器零件过热等情况发生。分析表明，在工业生产发生的各类爆炸事故中，粉尘爆炸事故仅占10%，但是，一般说来，粉尘爆炸事故的后果却是最严重的。粉尘爆炸可能发生的场合，主要是加工生产有机产品、无机产品、合成材料、金属粉末、饲料酵母、化学纤维、除莠剂、食品等使用的喷雾式或其他型式的干燥器、过滤器、旋风分离器、料仓、磨碎机、物料管道等。

可燃蒸气-气体和粉尘-空气混合物在密闭容器里发生爆炸时的一个最危险的现象，是压力急剧升高，如果把爆轰除外，最大爆炸压力可比初始压力高8~10倍，有时甚至12倍。防止工艺设备内部发生爆炸，从实质上说，不外乎是避免设备在压力作用下受到破坏。一般地说，爆炸时产生的高温

(通常可达 2000 K) 不会对设备造成明显的损害, 因为它的作用时间不长, 而且与设备材料的热容相比, 气体爆炸产物的热容要小。所以, 最简单而又最保险的保护方法, 是使设备本身能够足以经受得住爆炸时产生的总压力。但是, 在绝大多数情况下, 这种办法从经济上考虑是不可取的, 尽管有些在交变载荷下操作的设备常常是按 0.6~0.8 兆帕的压力进行设计的。这里所说的交变载荷, 是指可燃性原料 (如易燃液体) 的加工阶段是在常压下进行, 而得到的非可燃性成品的出料则是用压缩气压送。可以认为, 这样的设备设计就防爆来说已经是没有危险的了, 即使是不要再花费什么还可使其强度再有所提高。

还有一些应用得非常普遍的保护设备的方法, 是通过安全装置把爆炸压力泄放掉, 象爆破膜和一些特殊结构的阀就能起到这样的作用。要使这种防爆方式真正安全可靠, 必须具备两个条件, 一个是保证安全装置在给定的压力下具有速动性, 再一个是保证安全装置具有足够的排放能力。因此, 安全装置的选择及其主要特性的计算, 乃是设备设计的一个非常重要的环节, 必须按照有科学根据的规程规范和方法行事。

膜片式防爆装置的结构

爆破膜具有结构极为简单、动作非常快速的特点, 因而在现有的工艺设备防爆装置中称得上是最可靠的一种防爆装置。与其他防爆装置相比, 爆破膜在一定范围内受工艺介质结晶作用和聚合作用影响程度较小, 在爆破前能完全保证设备的密闭性, 泄放能力不受限制。但是, 膜片一旦爆破后, 在没有更换上新膜片之前, 设备便一直处于敞开状态,

这样一来就会引起生产过程中断，并造成大量有害物质逸入大气。这也许是爆破膜唯一的，但却是最根本的缺点。当然，这与设备遭到破坏以至于发生更严重的伤亡事故相比，又算不得什么了。然而，如果对膜片使用不当，或者超过了膜片规定的更换期限，也可能使膜片即使在未出现事故状态时便自行破裂。这种不必要的泄压会给生产和环境保护带来很大损失和损害。这些都必须确定膜片的爆破压力和规定更换期限时加以考虑。为此，在爆破压力与正常工艺操作条件下可以允许的最大操作压力之间，必须规定足够的压差。

目前，在工业生产中采用的爆破膜，类型很多，结构各异^[27]。爆破膜据以分类的最具代表性的特征，是膜片的爆破特性。根据膜片的爆破特性，爆破膜可分为断裂型、碎裂型、剪切型、逆动型（反拱形）和特种爆破膜几种。用薄金属板制的断裂型爆破膜（图1），是结构最简单、用得最广泛的一种型式^[42]。这种爆破膜组合件通常是由膜片3和一夹持环4、5组成。膜片只靠夹持环夹紧，不加任何垫片，因而对夹持环密封面的质量（几何形状和光洁度）要求非常严格。为便于在连接法兰之间安装爆破膜组合件，夹持环要用两块成相反方向排布的连接板1和螺钉2扣牢。连接板上的两个螺钉孔中要有一个是长圆形的，以便在把紧法兰时连接板不致妨碍膜片与夹持环均匀而紧密地配合。

图1之a表示的是供装于榫槽面法兰之间的爆破膜组合件结构。对于其他型式的法兰，爆破膜组合件的结构除夹持环与法兰接触的表面形状不同外，均与此类似。夹持环与法兰接触的表面在任何情况下都必须与法兰密封面的形状完全吻合。

图1之b和c分别表示借锥面和透镜面夹持的断裂型爆

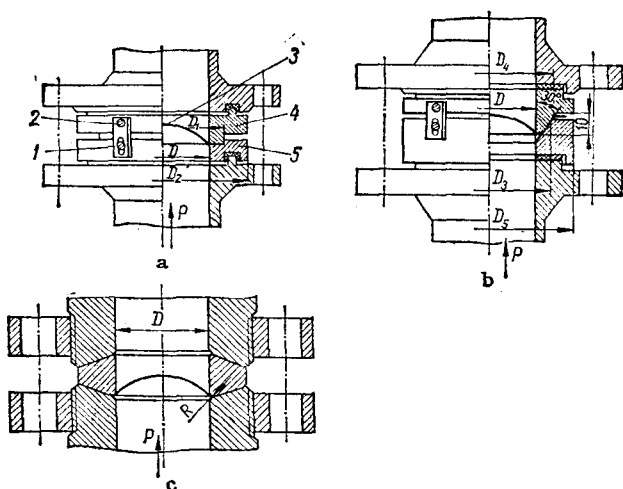


图 1 断裂型爆破膜

破膜组合件。这几种组合件的主要尺寸列于表 1。如果采用透镜面夹持, 就不必另加夹持环, 只要把膜片直接安放在透镜垫下即可。这里采用的透镜垫与标准透镜垫的不同之处, 只是多了一个曲率半径 R 。

膜片在受到操作压力作用后, 会产生很大的塑性变形, 明显地出现近似球缺的隆起。所以在制造膜片时, 经常是先对膜片施以约等于断裂压力 90% 的压力, 使之凸起。这样一来, 实际上已使材料的塑变量几乎达到极限, 因而增大了膜片的速动性。

断裂型膜片通常是用塑性金属薄板如铝、镍、不锈钢、黄铜、铜、钛、蒙耐尔等制成。也有用非金属膜片的, 如聚乙烯薄膜、氟塑料薄膜、纸、纸板、石棉橡胶板、石棉板

表 1 断裂型爆破膜组合件的主要尺寸

(参见图1)

毫米

D	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	R
6	—	—	—	—	—	0.5
10	—	—	—	—	—	0.5
15	—	—	—	—	—	1.0
25	48	60	—	—	—	1.0
32	56	70	—	—	—	1.5
40	66	80	60	61	80	1.5
50	76	90	70	71	90	2.0
65	96	110	85	86	110	2.0
80	112	128	100	101	128	2.0
100	138	148	120	121	148	2.5
125	166	178	145	146	178	2.5
150	188	202	170	171	202	3.0
175	210	232	195	196	232	3.0
200	240	258	220	221	258	3.0
225	260	282	245	246	282	—
250	300	312	270	271	312	—
300	356	365	320	321	365	—
350	410	415	370	371	415	—
400	462	465	420	421	665 ^①	—
450	516	520	470	474	520	—
500	568	570	520	521	570	—

① 分析此数字有误，可能为465——译者。

等，甚至还有用胶合板的。但是这些材料的机械性能很不稳定，用这些材料制的膜片，爆破压力变化幅度大，所以不宜广泛使用。

目前生产的金属薄板材，在品种规格上限制了制做爆破压力低的膜片的可能性。为了解决这个矛盾，人们想法在膜片上做出辐射状（图2之a）或环状（图2之b）的刻槽。辐

射状刻槽更易加工，但这种膜片在爆破时常常只是一两个刻槽破裂，因而无法保证全孔口面积泄压。带环状刻槽的膜片则一般可以全面积爆破。为了防止膜片爆破后崩出，环状刻槽要做成不闭合的，并在背向压力一侧刻槽的两个端头处装设一个弓形挡板，挡板的弦长要能盖住刻槽的两端（见图 2 之 b）。但是，要加工出深度有严格规定的刻槽，其工艺在目前尚不完善，因此膜片的性能也就很不稳定。在这方面，带开槽的膜片要算是一种比较好的结构型式了^[44]（图 2 之 c）。这种膜片均为两层重合在一起，密封层 2 用耐 腐 蚀、

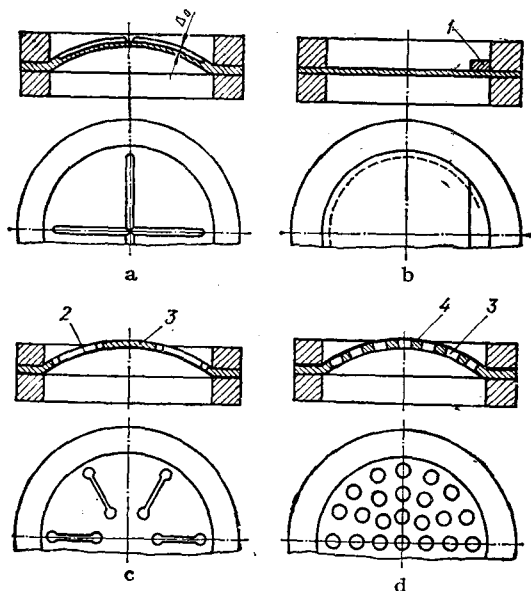


图 2 断裂型爆破膜的几种不同形式
1—弓形挡板；2—密封层；3—膜片；4—负压支承

强度低的材料制成。

如果被保护的设备既受正压又受负压作用，而膜片的凸面由于抵抗不了负压的作用有可能被压瘪的话，那末，为了膜片的正常工作，应设一负压支承。图 2 之 d 所示的是这种支承的型式之一。

最适合于这种交变载荷设备用的一种保护装置，是逆动型爆破膜^[43]。逆动型爆破膜（图 3）的膜片 8 与上述断裂型膜片的主要差别是，逆动型膜片的凸面是朝向高压侧。当设备内部超压时，球面便失却稳定性，并迅速向外翻鼓，随即碰到十字形刀架的刃口上，被剖成四瓣。

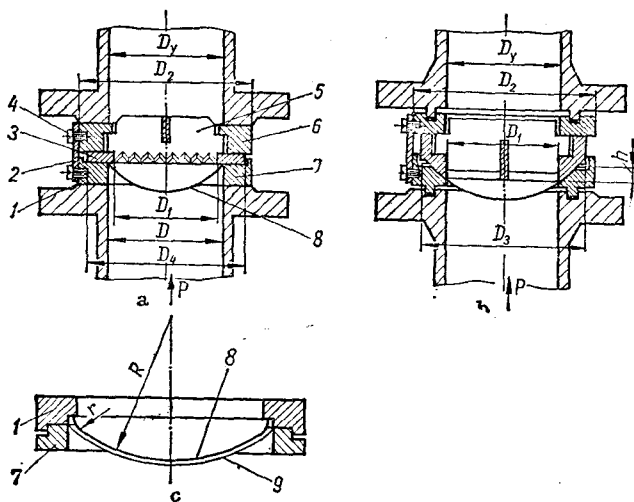


图 3 逆动型爆破膜

a—带平型夹持器和齿形刀刃；b—带锥座型夹持器和平口刀刃；c—曲率变化的松置膜片；

1、6、7—夹持环；2—连接板；3—垫片；4—螺钉；5—刀刃；

8—膜片；9—薄膜

只要逆动型爆破膜是按最低爆破压力（即使是远远小于0.1兆帕）计算的，它就足以经受得住设备内出现完全真空时的负压。在对承受不变载荷或交变载荷的设备的保护中，正是利用了逆动型爆破膜的这个特点。逆动型爆破膜的另一个特点是，甚至当压力接近爆破压力时，膜片材料产生的应力也大大低于强度极限，而且甚至常常不超过弹性极限。这就大大延长了逆动型爆破膜与其他类型的爆破膜在同样工作压力和压力波动条件下相比的使用寿命。但目前对这个无可怀疑的事实还研究得不够，还缺乏合乎标准的计算资料。有的文献^[28]指出，逆动型爆破膜能经受10万次从0到90%的爆破压力的作用，如果是断裂型爆破膜，经受从0到85%的爆破压力作用1万次后就破裂了。就是说，在相同的工作条件下，逆动型爆破膜的使用寿命要比断裂型爆破膜长10~15倍。

逆动型膜片有时不采用平面翻边的方式夹持，而是借与球面相切的锥面固定，如图3之b所示。在其他条件相同时，这种固定方式可稍许提高膜片的爆破压力，并能提高组合件的严密性。逆动型爆破膜的一些主要尺寸列于表2。

增加十字形刀架后，会使逆动型爆破膜的结构大大复杂化，而且会降低可靠性。因此，在实际应用中有时也采用带覆盖膜的膜片形式。膜片8（见图3之c）松置于夹持环的毂孔内，为了使膜片固定住并保证组件的密闭性，在夹持环1和7之间夹一层强度低的耐腐蚀薄膜9，如聚乙烯薄膜或氟塑料薄膜。当超压时，膜片即失去稳定性，并向外翻转而从环内脱出，薄膜9也很容易地随之破裂。与刚性夹持相比，采用松置的方式会使膜片工作的稳定性有所降低，因此，这种膜片的爆破压力变化幅度也大。为了避免这点，可改变

表 2 逆动型爆破膜组件的主要尺寸

(参见图 3)

毫米

$D_y = D_1$	D	D_2 当公称压力 P_y 为			D_3	D_4	h
		0.6兆帕 以下	1.0兆帕	1.6兆帕			
50	54	90	102	102	80	84	8
65	69	110	122	122	100	103	8
80	84	128	138	138	115	120	8
100	104	148	158	158	137	140	8
125	131	178	188	188	166	168	10
150	156	202	212	212	191	193	10
175	181	232	242	242	223	220	10
200	206	258	268	—	249	246	10
225	231	282	295	—	276	270	10
250	256	312	320	—	303	298	10
300	308	365	370	—	356	350	12
350	358	415	—	—	406	400	12
400	408	465	—	—	456	450	14
450	458	520	—	—	509	503	14
500	508	570	—	—	561	554	16

膜片凸面的曲率,使外圈的曲率半径 r 大大小于中间的曲率半径 R 。这样就可使膜片外圈的强度高于中间的强度,而这样的固定方式也就不再对膜片的工况有什么影响了。

国外在实际应用中有用锡焊或粘合的方法把膜片固定在夹持环上的,但这种方法在苏联没有采用。

不久以前,工业生产中所用的爆破膜约有一半是碎裂型爆破膜。目前,这种型式的爆破膜在许多场合已成功地被断裂型爆破膜所代替。碎裂型爆破膜是用诸如铸铁、石墨、硬橡胶、聚氯乙烯、玻璃等脆性材料制成。这种爆破膜在爆破前不发生明显的塑性变形,所以惯性最小。碎裂型爆破膜能在动

载荷的条件下良好地工作。由于这种膜片是车制的，因而其厚度，亦即其爆破压力，可在加工过程中给定，而这一点对于用一般薄金属板制的断裂型爆破膜来说，是根本做不到的。

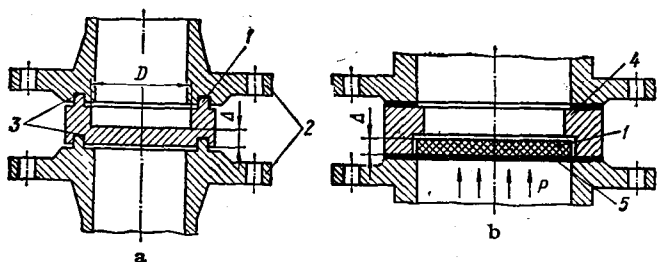


图 4 碎裂型爆破膜
a—棒槽式；b—松置式

铸铁制棒槽式碎裂型爆破膜是目前应用最广泛的一种型式（图 4 之 a）。这种型式的膜片是借法兰 2 和垫片 3 紧固，而不用夹持环。碎裂型爆破膜，尤其是用玻璃、石墨等脆性材料做的，对用法兰夹持时的均匀性极为敏感。如果不遵守安装条件的规定，膜片不是在安装时破裂，就是由于受有初应力的作用而在操作压力下提前破裂。从这个意义上说，图 4 之 b 所示的不夹紧的膜片最具有稳定性。由图可见，膜片 1 松置于环 4 的毂孔里，为了保证组合件的密封性，可加一层低强度的软质膜片 5。

国外实际应用的碎裂型爆破膜多用石墨制造，石墨用有机树脂浸渍，以消除透气性。苏联国产的石墨中，AI-1500 石墨适合用来制造膜片，因为这种石墨非常致密，非常均一。石墨膜片的主要优点是，耐腐蚀，抗交变载荷，热稳定