

工业设备防炸



五机部第五设计研究院

北京

工 艺 设 备 防 爆

[苏] 维、依、沃嘉里克

前 言

许多工艺均要求强化其过程，其中包括爆炸危险产品的制造加工，这就必须进一步改进设备的现有防爆设施并制定新的防爆方法。

设备中及生产工房内的工艺介质爆炸，是化工企业及其它工业部门的一种最危险和最普通的事故。生产工房的爆炸经常是由设备爆炸引起的。所以工艺设备的防爆是保证生产安全的一项重要措施。

目前在防止或减少爆炸所产生的危害方面已经积累了大量经验。本书对工艺设备现有的防爆装置作一概述，力求对防爆装置的计算、设计及应用的基本原则作一系统介绍，从而给设计单位和工厂的工程技术人员提供解决生产安全实际问题的方法。

本书仅仅叙述发生爆炸(不管爆炸是怎样引起的)后防止设备破坏的防爆装置、阻止爆炸从一台生产设备沿工艺管道传入另一台设备的隔爆装置。这些装置包括安全膜、防爆阀、防火器、快速火焰隔断器及自动抑爆系统。

广泛而合理地应用工艺设备的防爆装置，能大大提高工业生产的劳动安全。当然今后的主要方向还是在于建立较完善的工艺过程和设备，不仅在主要技术经济指标方面，而且在安全方面，其中包括防爆，都应该是比较完善的。实际上任何安全装置和保护系统的应用总是为了弥补工艺过程 and 设备的某些不足。

目 录

前 言

爆炸压力排泄装置	1
膜片式安全装置的构造型式	3
安全膜动作压力的计算	18
安全膜动作的动力学	36
用轧制金属薄板制造安全膜	45
防爆阀	52
爆炸压力排泄装置通过能力的计算	60
隔爆装置	77
在管道内的燃烧	77
干式隔火器	82
液封式回火防止器	90
快速火焰隔断器	92
主动抑爆系统	104
抑爆系统动作原理	105
冷却抑爆法	128
自动防爆装置的应用范围	132
参考文献	135

爆炸压力排泄装置

工艺设备的防爆，是指防止设备内蒸气-气体或粉尘-气体混合物起火后引起的设备破坏。设备内气体和粉尘的爆炸与凝聚炸药爆炸的主要区别在于：气体和粉尘燃烧时（如果不考虑爆轰）不会形成爆轰波（压力突增），设备内空间各点上的压力实际上是同时上升的，而且上升较慢。从这个意义上来看，大多数蒸气-气体和粉尘-气体可燃混合物的燃烧过程不能称为爆炸，不过这种叫法已习以为常了。这是因为这些混合物在设备或工房内起火时，由于压力显著增高，设备遭到破坏，而这一破坏的本质及表面现象又具有爆炸的特征。所以，如果对燃烧过程与设备壳体的破坏不加以区分，而看成一个整体，那么对事故的这种叫法在某种程度上还是正确的。

把可燃蒸气-气体和粉尘-气体混合物称为“有爆炸危险的物质”，把这些混合物的燃烧称为“爆炸”并确定物质的某些“爆炸危险”指标时，必须注意这些术语的相对性。

在化工、石油化工、炼油以及其它工业部门对大多数可燃物质加工所制定的工艺规程，都不允许气体浓度达到爆炸危险极限。但是实践证明，设备及管道内还是形成了有爆炸危险的蒸气-气体混合物。爆炸危险混合物的形成，甚至于发生事故，其原因是没有装设压力和流量调节器、逆止阀、截止阀、联锁装置，或者这些装置失灵使混合气流的比例失调，

或者是操作人员控制工艺过程有误。当具有氧化能力的气体 and 可燃气体的混合物冷凝时，低沸点组份变成液相，所剩余的混合气体组份发生变化从而达到气体的爆炸危险浓度，这种情况也是常见的。电解氯（氢和氯的混合物）冷凝时发生事故就是这种原因。在负压下加工可燃性产品时，由于系统失去密封性而达到爆炸危险浓度时，在加工过程中就可能发生爆炸。

在加工可燃性粉状物质的设备中，在工艺过程正常进行的情况下也经常会出现有爆炸危险的粉尘-空气混合物，但并不经常发生爆炸，唯一的原因是粉尘起爆需要较大的能源。所以在这类生产中防爆措施旨在消除较强的电火花、明火、机器另件过热等。情况分析表明，在工业方面所有的爆炸中只有10%是粉尘爆炸，并且还都是重大事故。在喷雾干燥及其他干燥机、过滤器、旋风除尘器、料斗、粉煤机、物料输送管道，以及其他有机和无机产品、合成材料、金属粉末、饲料酵母、化学纤维、除莠剂、食品等生产设备中都可能发生粉尘爆炸。

密闭容器内蒸气-气体和粉尘-空气可燃物质爆炸最危险的外表特征是压力迅速增高，即使不考虑爆轰，爆炸的最大压力也可以超过初始压力的8~10倍，偶尔达12倍。防止工艺设备爆炸，其实质就是防止设备因受压力作用而破坏。爆炸产物的高温（一般达2000K）通常不会使设备受到明显的损坏，因为高温作用的时间非常短，而气态产物的比热又比设备材料的比热小。所以最简单和最可靠的保护办法就是安装足够强度的设备，以承受爆炸的总压力。从经济上来考虑，这种方法在绝大多数情况下是不适用的，然而某

些可燃物质(如易燃液体)的加工是在大气压下定期进行的,其非燃烧性生成物用压缩气体排出,设备的计算压力为0.6~0.8兆帕。象这样的设备可以认为是无爆炸危险的,或者说增加少量投资提高设备强度就可以了。

另一种应用极为普遍的设备保护方法是用安全装置将爆炸压力排泄出去,各种型式的安全膜或阀门就起着安全装置的作用。要使防爆装置足够可靠,必须具备两个条件:安全装置应能在给定压力下动作,安全装置应有足够的排泄能力。所以安全装置的选用及其基本规格的计算是设备设计中极为重要的阶段,应该按照有科学依据的建议和方法来进行设备的选型和计算。

膜片式安全装置的构造型式

安全膜结构极其简单,动作异常迅速,目前已成为工艺设备上最为可靠的一种防爆设施。膜片装置由于受容器内介质的结晶和聚合(在一定限度内)的影响比其它装置小,所以它能保证设备完全密封(膜片动作以前),而且排泄能力不受限制。膜片唯一的、但也是极其重要的缺点是:膜片动作后设备在更换破裂的膜片以前都处于敞开状态,致使工艺过程中断,大量有害物质排入大气。不过所有这些完全是合算的,因为保护了设备,避免了更大的事故。但是膜片应用不当,或者不按时更换,即使在正常情况下也会自行动作。这样的误动作会给生产造成重大损失,给周围环境造成污染。所有这些,在确定膜片的动作压力和更换周期时都必须加以考虑。同时还应考虑到动作压力与正常工艺过程中可能出现的最大工作压力之间还有足够的

差值。

目前在工业中使用的大量各种结构型式的安全膜^[27]，通常以膜片破裂方式的特征进行分类。因此安全膜可分为破裂式、碎裂式、切破式、突破式及其他特殊的型式。

最简单、最普通的型式是用轧制金属薄板制成的破裂膜^[42](图1)。破裂膜组件由膜片3及一对卡环4、5组成。膜片被卡环夹紧，中间不加垫圈，所以对卡环的表面质量要求很高(几何形状正确、加工光洁度高)。为了便于将膜组件装在法兰盘内，两个卡环之间用径向联板1和螺钉2固定。联板上的一个螺钉孔制成椭圆形，以便在紧固法兰盘时卡环能将膜片均匀地夹紧，使之不漏气。

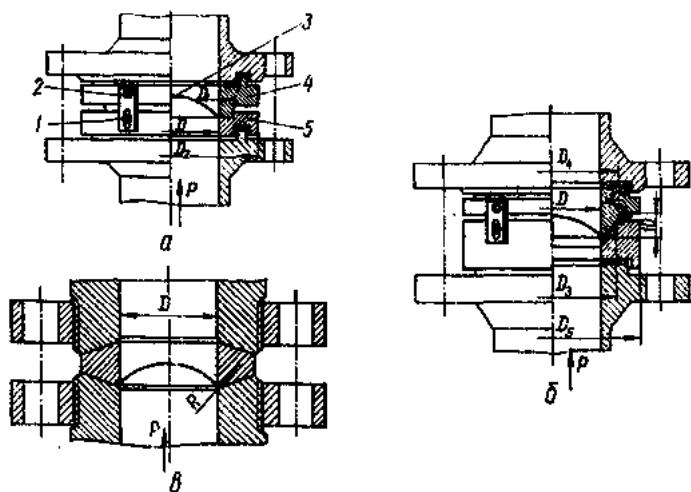


图1 破裂式安全膜

图1, a所示的膜组件结构用于安装在“榫-槽”密封面的

法兰盘内。对于其他法兰盘，膜组件的结构是相似的，只不过与法兰盘接触的卡环表面形状不同而已，卡环的表面形状在各种情况下都应与法兰盘密封面的形状一致。

图 1，6 及 8 分别示出用锥形和凸面夹环夹紧破裂膜片的情况。组件的一些基本尺寸列于表 1。用凸面夹环时不用附加卡环，膜片直接安装在凸面夹环下，该夹环与标准型夹环的差别仅仅是前者有半径 R 的倒角。

表 1 破裂膜组件的基本尺寸，毫米(图 1)

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	465	—
450	516	520	470	474	520	—
500	568	570	520	521	570	—

膜片受工作压力作用时发生较大的塑性变形，变成接近

球面的穹形。在制造中通常用相当于90%的膜片破裂压力去加工膜片，使之变成穹形。这样实际上就使膜片几乎完全塑性变形，使其动作更加迅速。

破裂膜一般用轧制金属薄板制成，如铝、镍、不锈钢、黄铜、紫铜、钛、蒙乃尔合金等。也可采用聚乙烯和氟塑料薄膜、纸、纸板、石棉橡胶板、石棉，以及胶合板制的膜片。但是这些材料的机械性能非常不稳定，用其制成的膜片动作压力值波动较大，不值得推广。

目前所生产的轧制金属薄板的品种限制了上述低动作压力膜片的制造。因此带径向刻线的破裂膜片（图2，a）或者带圆刻线的膜片（图2，b）得到应用。径向刻线制造简单，但这种膜片动作时经常沿着一、二条刻线破裂，不打开整个排泄截面。带圆刻线的膜片通常则完全打开。为了防止膜片脱落^[6]，刻线不作成闭合圆圈，而且刻在压力源的反向一面，用扇形压板安装在刻线的端头并压住它（图2，b）。但是制作深度要求严格的刻线工艺目前还不完善，所以膜片的性能非常不稳定。在这方面带型孔的膜片比较优越^[44]（图2，c）。这种膜片总是双层的，因为膜片下还要放一层耐腐蚀、低强度的密封垫层2。

如果所保护的设备内定期出现负压，穹形膜因经不起负压的作用而破裂，因此需要设置负压支撑以保证膜片正常工作。负压支撑见图2，1。

突破膜^[43]是保护定期产生负压的设备最有前途的一种措施。突破膜8（图3）与上述破裂膜的基本区别在于突破膜的凸起而向着压力增高一侧（向着设备内）。压力增高时球面失去稳定性而突然反向凸起。此时，膜片碰到十字形刀被

切成四瓣。

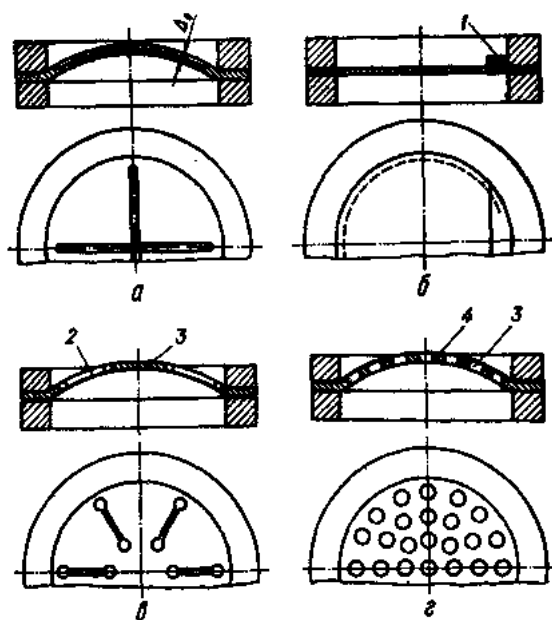


图 2 安全膜的各种型式

1 - 压板; 2 - 密封垫层; 3 - 膜片; 4 - 负压支撑。

即使突破膜是按极低的动作压力(甚至大大低于0.1兆帕)计算的,它也能轻易地承受设备的最大负压值。人们就是利用突破膜的这种特性来保护经常或定期受负压作用的设备。突破膜的另一特性是,即使其承受的压力接近动作压力时,膜片材料所受应力还远远低于强度极限,经常不超出弹性极限。这就会使突破膜的寿命大为延长,在工作压力与动作压力比相同时,要比其他类型膜片的寿命长。但是对这一无可

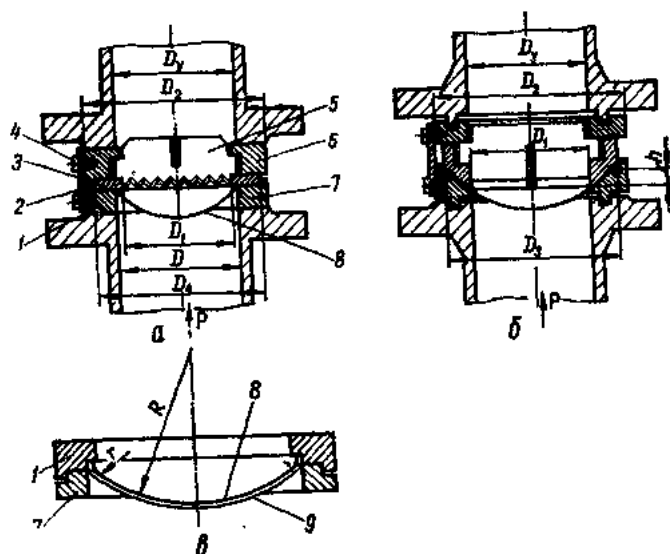


图 3 突破式安全膜

α —带平面夹具和齿形刀者； δ —带锥形夹具及平刃刀者； σ —曲率变化、自由嵌入者；1、6、7—夹紧环；2—联板；3—垫圈；4—螺钉；5—刀；8—膜片；9—垫层。

争议的事实还缺乏研究，暂时还没有这方面的计算标准。文献^[28]中指出，突破膜能经受住0~90%动作压力加载十万次，而同样材料的破裂膜用0~85%动作压力加载一万次就破裂了。在同样工作条件下，突破膜的平均寿命为破裂膜的10~15倍。

有时不是用平面边缘夹住突破膜，而是用与膜片球面成切线的锥面来夹住突破膜（见图3， δ ）。这种夹持方法在其他条件相同的情况下能稍微提高膜片的动作压力，并可改善组

件的密封性。突破膜的某些尺寸列于表2。

表2 突破式安全膜组件的基本尺寸(图3), 毫米

$D_v = D_1$	D	在公称压力 P_y (兆帕)下的 D_2			D_3	D_4	h
		0.6以下	1.0	1.6			
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	—	376	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

十字形切刀的存在使安全装置的构造大为复杂化,而且降低其可靠性。所以在实践中有时采用自由嵌入的突破膜。膜片8(图3, a)自由嵌入环槽, 为了支持膜片和使组件密封, 用卡环1和7将耐腐蚀、低强度垫层9夹紧, 垫层可用聚乙烯或氟塑料制成。动作时, 膜片失去稳定性而破碎, 碎片飞出卡环, 而垫层9也是容易破碎的。自由嵌入式膜片工作的稳定条件不如刚性夹紧的膜片, 所以这种膜片的动作压力值波动较大。为了避免这种现象, 改变膜片穹顶的曲率, 让边缘部分的半径 r 大大小于中部的半径 R , 这就使边缘部分的强度大于中部的强度, 自由嵌入的方式就不再影响薄膜的工作了。

国外使用的突破膜是焊或粘在卡环上的，但我国不采用这种固定膜片的方法。

不久以前，工业中膜片需要量的二分之一还是用碎裂膜来满足，而目前在许多情况下完全可用破裂膜来代替。碎裂膜用脆性材料，如铸铁、石墨、硬橡胶、聚氯乙烯、玻璃等制成。这种膜片在动作之前不会发生明显的塑性变形，所以惰性最小。碎裂膜适用于动荷载和脉动荷载的情况。这类膜片是切削加工制造的，所以膜片厚度，也就是说动作压力可以在加工过程中规定，而这点在用标准薄板轧材制造破裂膜时是根本不可能的。

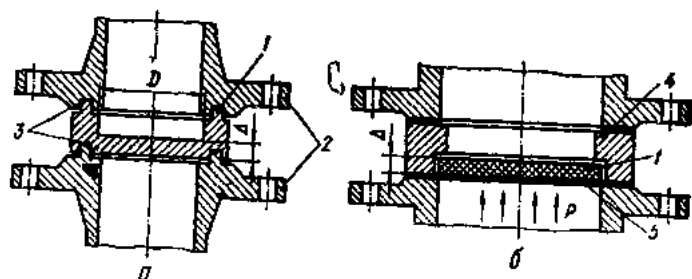


图 4 碎 裂 膜

a — 带环槽者；b — 自由嵌入者。

目前用得最广的是带环槽的铸铁碎裂膜(图4, a)。这类膜片用法兰盘2加垫片3固定，一般不用专门的中间环。对于碎裂膜，特别是用玻璃、石墨等制的膜片，拧紧法兰盘时用力必须非常均匀，否则在安装时会使膜片破裂，或使膜片受到较大的应力，以至于在工作压力下膜片也会误动作。在这方面，性能最稳定的是图4, b所示非夹紧式膜片。膜片1自由嵌入环槽4，而用低强度软垫层5来作密封组件。

国外广泛采用专用石墨制造的碎裂膜，为了防止透气，石墨用有机树脂浸渍。国产石墨中最好用AΓ-1500型来制造膜片，这种石墨材质最为密实均匀。石墨膜片的主要优点是耐腐蚀，不怕荷载变化，热稳定性极高（在2000℃以上），而且在1000℃以下动作压力不会发生变化。用纯石墨制成的膜片，其主要缺点是透气。用有机树脂浸渍石墨，又使膜片失去其优点——耐热性，因为此时它的耐热性已不超过180~210℃了。从这个意义上来看，用耐高温的碳来密实石墨的方法效果较好，不会使石墨耐热性下降。但是必须注意，只有在中性介质、还原介质中石墨的耐热性才高，而在含氧的介质中（包括空气），石墨的耐热性不超过300℃。

碎裂膜的主要缺点是动作压力值波动较大，所以这种膜片在许多情况下都不能可靠地保护设备，特别是非专业化机修厂制造的膜片更不行。例如某一化工厂按动作压力0.35~0.375兆帕制造的自用铸铁膜片，实际上其动作压力为0.05~0.9兆帕。

切破膜动作时被压环的锐边切破，使排泄截面完全打开而排出气体。图5, a所示膜片用软质材料制成，将整个工作部分加厚，以便最大限度地降低弯曲变形，让膜片完全靠剪切来破碎。图5, 6所示膜片用软薄板材制造，为了增加工作部分的抗弯刚性，加设托盘。托盘和压环用优质钢制成，有锋利的切刃，需淬火。这类膜片的主要缺点是动作压力值波动大，因为动作压力不仅决定于膜片材料的机械性能，而且还决定于托盘切刃的状况。

工业中也广泛采用其他类型膜片的安全装置。为了提高装置的动作准确性，提供调节动作压力的条件，加快装置的动作，延长装置寿命，提高其耐高温能力，以及满足一系

列其他特定的要求，目前正在探索新的结构型式。

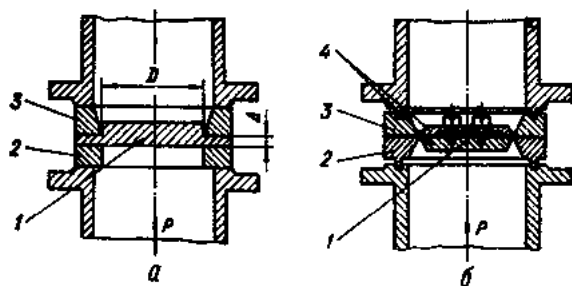


图 5 切 破 膜

1—膜片；2、3—压环；4—托盘

最近在实践中应用越来越广的是外力作用强制破裂的安全膜。图6,a就是这种安全膜^[2]的一个实例。装置由钢化玻璃制的膜片4和打击机构5组成。打击机构可以是用电磁装置、起爆装药推动的柱塞,或者其他快速动作机构。打击机构动作时,锤头6打击玻璃边缘。由于应力集中,钢化玻璃立即破裂成许多小块,这就保证膜片的整个排泄孔被打通。为了在锤头打击时固定住玻璃,在对面装一锐利的挡块9,以加速玻璃破碎。为了使玻璃膜片能承受设备内可能出现的负压作用,应装设格栅状的支撑3。支撑一侧装有弹簧2,当设备内为常压时,弹簧不会影响膜片动作和排泄孔的完全打开。垫层7用弹性材料制成,尺寸较膜片4稍大,两者同心地紧贴在一起,用环8夹紧。膜片4动作后,碎片贴在垫层7上不致于被气体抛出。

可以在设备内安装灵敏度高的压力传感器来发出使装置动作的电脉冲信号,这样,所测定的动作压力精度是非常高的。为了这一目的,也可以利用其他传感器,例如闪光传感器,它对设备内工艺介质爆炸产生的闪光感应灵敏,而这种

闪光的出现通常比压力上升提前得多。

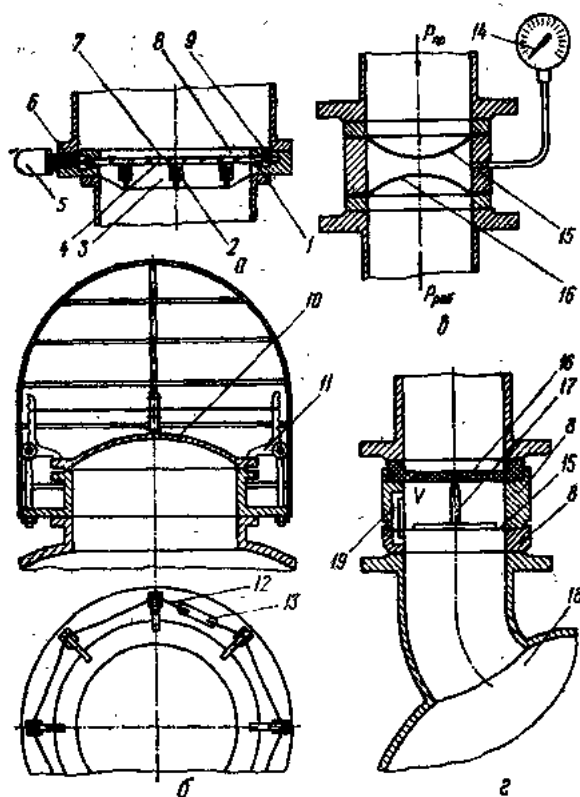


图 6 膜式安全装置的各种型式

- 1—垫圈；2—弹簧；3—支撑；4—膜片；5—打击机构；
6—锤头；7—垫层；8—压环；9—挡块；10—盖；11—角
形杠杆；12—张紧弦；13—螺帽；14—压力表；15—辅助膜片；
16—主膜片；17—刚性顶针；18—需保护的设；19—节流阀。

众所周知，可以应用各种各样的泄压盖和泄压孔，将盖