



安全工程技术丛书

爆破片技术及应用

◎ 李志义 喻健良 编著



化学工业出版社
教材出版中心

安全工程技术丛书

爆破片技术及应用

李志义 喻健良 编著



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

爆破片技术及应用/李志义, 喻健良编著. —北京:
化学工业出版社, 2005. 12
(安全工程技术丛书)
ISBN 7-5025-8089-1

I. 爆… II. ①李… ②喻… III. 压力容器-安全
技术 IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 152842 号

安全工程技术丛书

爆破片技术及应用

李志义 喻健良 编著

责任编辑: 程树珍

文字编辑: 丁建华

责任校对: 李 林

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 7 $\frac{3}{4}$ 字数 167 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8089-1

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前言

超压破坏严重威胁着流体压力设备的安全运行,有时甚至会酿成重大恶性事故。安全泄放是防止流体压力设备发生超压破坏的有效手段,它可将设备内的压力限定在安全范围内。爆破片和安全阀是目前使用的两类主要的安全泄放装置。爆破片技术已成为流体压力设备安全技术的重要内容。

20世纪70年代末,随着大型石油化工装置的成套引进,爆破片作为这些装置的安全附件被引入我国。当时,爆破片技术在我国尚属空白,既没有产品生产,也没有使用、维护经验。而这些引进装置的安全运行,必需有充足和及时的爆破片备件供应。为解决生产急需,国内一些高等学校、科研机构以及使用单位紧密配合,对爆破片技术进行开发研究,很快就形成了我国自己的爆破片产品定点生产厂,并于1989年颁发了我国第一部爆破片技术专业标准GB 567—89《拱形金属爆破片技术条件》,于1998年颁布了修订版GB 567—98《爆破片与爆破片装置》。目前,我国已经建立了爆破片装置的设计、制造、使用与管理体系,形成了自己的爆破片技术,且总体上已达到了国外先进水平。

随着我国爆破片技术的快速发展,其应用也日益广泛。与安全阀技术相比,爆破片技术具有许多突出的特点和优势,在许多场合下,正在逐步取代传统的安全阀技术,或与安全阀技术相结合,形成新的安全泄放技术。爆破片技术,已广泛地应用于化工、石油化工、炼油、制药、食品、冶金、航空航天等诸多工业领域。在国外,爆破片技术已有百余年的发展历史;在国内,虽然其发展历史只有20余年,但发展相当迅速。爆破片技术的不断进步和应用范围的不断扩展,已经积累了相当丰富的相关知识,同时也有越来越多的人投身于该技术领域。遗憾的是,目前尚未看到一本全面介绍该技术的著作,虽然在一些相关的学术期刊和会议文集上,可以查到一些关于该技术的资料,但它们很分散,没有系统性。对此,从事爆破片设计、制造、使用和管理的人员一直感到十分不便。鉴此,我们参阅了大量国内外有关爆破片技术的资料,结合多年来在爆破片研究、设计、制造和管理等工作中的积累经验和体会,编著了此书。

本书在编著过程中力求系统性、完整性和实用性,其内容涉及爆破片的技术基础和实用技术,包括了爆破片结构、性能、设计、制造、使用、维护和管理等许多方面。本书可供从事爆破片研究、设计、制造、

使用和管理工作的人员参考，也可作为相关人员的培训教材以及大专院校相关专业的教学参考书。毕明树、由宏新、温殿江、徐晓惠、刘宗海、马源、周一卉、刘东学、王淑兰、刘学武等大连理工大学化机系及大连理工大学安全装备厂的老师和技术人员，对本书的编著给予了不同程度的支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中不妥之处，敬请批评指正。

编著者

2005年9月

目 录

1 流体压力设备的超压及安全泄放	1
1.1 流体压力设备的超压及其危害	1
1.1.1 设备内物料突然积聚引起的超压	1
1.1.2 物料受热膨胀引起的超压	2
1.1.3 过热液体突沸引起的超压	2
1.1.4 瞬时压力脉动引起的超压	3
1.1.5 饱和液化气体受热蒸发引起的超压	3
1.1.6 可燃气体(蒸气)的燃爆超压	4
1.1.7 可燃粉尘的燃爆超压	4
1.1.8 放热化学反应失控引起的超压	6
1.2 防超压安全泄放原理及装置	6
1.2.1 防超压安全泄放原理	6
1.2.2 防超压安全泄放装置	7
1.2.3 爆破片技术术语	9
2 爆破片的结构类型与性能	12
2.1 爆破片的基本类型	12
2.2 正拱形爆破片	14
2.2.1 普通正拱型爆破片	14
2.2.2 正拱开缝型爆破片	17
2.2.3 正拱带槽型爆破片	19
2.3 反拱形爆破片	21
2.3.1 反拱带刀型爆破片	21
2.3.2 反拱腭齿型爆破片	22
2.3.3 反拱带槽型爆破片	23
2.4 平板形爆破片	24
2.5 其他特殊类型的爆破片	26
2.5.1 非金属爆破片	26
2.5.2 超高压爆破片	26
3 被保护设备的安全泄放量及爆破片泄放面积的设计计算	28
3.1 物理超压时容器的安全泄放量	28

3.1.1	贮存压缩气体或蒸汽时容器的安全泄放量	28
3.1.2	贮存液化气体时容器的安全泄放量	29
3.2	爆破片的泄放能力	30
3.2.1	泄放介质为气体时的泄放能力	30
3.2.2	泄放介质为液体时的泄放能力	36
3.2.3	泄放介质为水蒸气时的泄放能力	36
3.3	介质为多组分混合蒸气时爆破片泄放能力计算	38
3.3.1	T 的确定	38
3.3.2	Z 的确定	41
3.3.3	M 的确定	41
3.3.4	C 的确定	41
3.4	粉尘爆炸时的泄放面积计算	43
3.4.1	爆炸指数诺谟图法	43
3.4.2	粉尘爆炸等级诺谟图法	46
3.4.3	诺谟图的外推与内插	48
3.5	可燃气体爆炸时的泄放面积计算	48
3.5.1	气相爆炸泄放诺谟图	49
3.5.2	诺谟图的内插	51
3.5.3	氢诺谟图的应用	54
3.5.4	诺谟图的外推	54
3.5.5	可燃液体雾的泄爆	54
3.5.6	可燃液体泡沫的泄爆	54
3.5.7	混杂混合物的泄爆	54
3.6	有泄放管的设备的爆炸泄放	55
3.6.1	泄放管的设置	55
3.6.2	有泄放管时泄放面积的计算	55
3.6.3	有管道连接的贮罐泄爆	56
3.6.4	贮罐、料斗和筒仓的泄爆	56
4	爆破片的选用	57
4.1	确定爆破片的爆破温度	57
4.2	确定爆破片的爆破压力与制造范围	61
4.2.1	爆破片爆破压力的确定原则	61
4.2.2	爆破片的制造范围及合理选定	61
4.3	确定爆破片的泄放直径	64
4.4	爆破片的选材	67
4.4.1	常用爆破片材料特征	67
4.4.2	爆破片选材时应考虑的一些主要因素	67

4.5	爆破片的选型	72
4.6	爆破片订货须知	73
4.6.1	爆破片的标记	73
4.6.2	爆破片设计制造原始条件	76
4.6.3	一些需要注意的问题	76
5	爆破片的配置、安装与维护	78
5.1	爆破片在设备上的设置方式	78
5.2	隔离式安全阀	80
5.2.1	隔离式安全阀的基本组成及其泄放原理	80
5.2.2	隔离式安全阀的基本特性	80
5.2.3	隔离式安全阀的结构要点	80
5.2.4	爆破片的排放面积	81
5.2.5	隔离式安全阀的排放能力	82
5.2.6	隔离式安全阀的安全保护压力	82
5.2.7	对安全阀的现场试验	82
5.2.8	对单独使用的安全阀的现场改造	83
5.3	爆破片爆破对设备产生的反作用力	83
5.4	爆破片的安装与维护要点	85
6	爆破片的质量控制	88
6.1	质量管理及质量保证的基础知识	88
6.1.1	关于质量管理和质量保证的常见术语	88
6.1.2	全面质量管理	92
6.1.3	质量保障体系	96
6.1.4	质量管理与 ISO 9000 标准系列的关系	100
6.1.5	提高产品质量的意义	102
6.2	爆破片产品质量控制	103
6.2.1	设计控制	103
6.2.2	采购过程控制	105
6.2.3	库存控制	106
6.2.4	生产过程控制	106
6.2.5	检验和试验	108
6.2.6	标志、包装、运输、贮存、质量证明书	112
	参考文献	113

1

流体压力设备的超压及安全泄放

化工等行业的工艺装置及贮运设备，所处理的物料大都为流体（液体、气体或蒸气）。为了满足工艺和贮运要求，处理这些流体物料的设备，均应有一定的承受压力的能力。设备的承压能力一般在设备设计时就给定了，一旦流体的实际压力超过设备的承压能力，设备就会出现过度塑性变形甚至破裂而遭到破坏。所谓安全泄放，是一种防止流体压力设备发生超压破坏的安全技术。本部分内容首先简要介绍流体压力设备超压的类型及其产生原因，然后介绍防超压安全泄放原理及安全泄放装置，最后就有关爆破片技术的一些常用技术术语作一简单介绍。

1.1 流体压力设备的超压及其危害

流体压力设备的超压，实际上是由于物料的流动或其能量处于非平衡状态，使物料或能量（或两者）在容器内积累造成的。从引起这种积累的途径上，可将超压分成物理超压和化学超压两大类^[1]，见图 1-1。

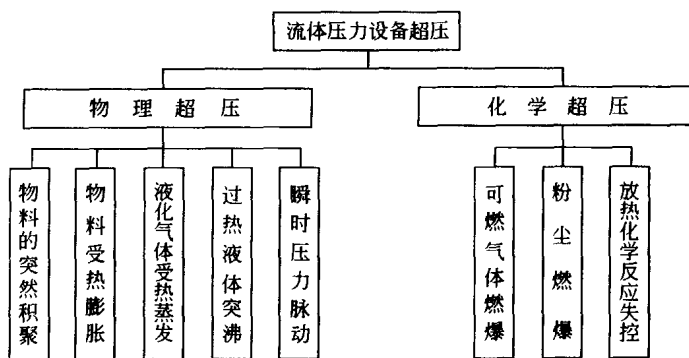


图 1-1 流体压力设备的超压类别及原因

1.1.1 设备内物料突然积聚引起的超压

对于一些中间贮存容器（例如压缩机的缓冲罐，锅炉汽包、气液分离罐等），出口管线受阻（如错误地将出口阀关闭），对于气体贮罐或其他容器的过量充装，均可由于物料在容器内积聚引起超压。对于位于高压设备下游的低压容器，由于减压阀失灵，也会使低

压力容器超压。这种类型的超压，大都是由于操作失误，或控制阀失灵引起的。例如某市油漆厂一个液氯预热罐（夹套容器），设计要求在夹套内通入压力为 0.4MPa 的蒸汽，将器内的液氯预热，而厂内所用的锅炉蒸汽压力为 1.3MPa，所以蒸汽经减压阀降压至 0.4MPa 才进入夹套。1974 年 4 月 4 日，因为生产需用气量较大，为加快液氯的蒸发速度，操作工人将旁通阀打开，使压力为 1.3MPa 的蒸汽直接进入夹套内。而夹套上又没有装设安全泄压装置，结果夹套因超压而发生爆炸。

1.1.2 物料受热膨胀引起的超压

当设备内的液体或气体物料受到意外的热输入时，由于其体积膨胀会使容器超压。例如，盛装液化气体的容器，有时会因装液过量致使器内在较低的温度时即被液体所充满。由于液体的体积热胀系数较大，而它的压缩系数很小，因而当器内液体的温度受环境的影响稍有升高时，压力即急剧增大。这类事故多见于气瓶等一类小型盛装容器。

1.1.3 过热液体突沸引起的超压

过热液体是不稳定的，它很容易破坏过热状态产生突沸现象。此时由于大量蒸气的突然产生会使设备内的压力急剧上升。这种现象有时称作蒸气爆炸。

一种类型的蒸气爆炸是由于饱和液体突然受热后处于过饱和状态引起的。水蒸气爆炸是这类爆炸中最常见的形式。例如炼钢厂的熔融铁或高温炉渣、熔融铝、碳化钙制造厂的熔融碳化钙、造纸厂回收熔融盐等，它们与水接触时就会引起水蒸气爆炸。

当具有不同沸点的饱和液体混合时，在一定条件下，由于高沸点的饱和液体对低沸点的饱和液体突然加热，使低沸点的饱和液体暂时处于过饱和状态。例如，在盛有液化丁烷（沸点温度为 0.5°C ）的容器内，注入液体甲烷（沸点温度为 -162°C ），就会发生激烈的蒸气爆炸。对于碳氢化合物，由于它们能在任意比例下混合，所以这种混合极易发生蒸气爆炸。

另一类蒸气爆炸是由于密闭设备内饱和液体与饱和蒸气的平衡被破坏引起的。例如锅炉汽包由于某种原因突然降至常压，汽包内的饱和液体失去原有的平衡，而变为不稳定的过热状态。发生这种蒸气爆炸的必要条件如下。

- ① 设备内过热液体量要大。
- ② 液体的加热温度和其常压沸点间的温差要大。
- ③ 接近设备气相部分的液面处，产生尽可能大的裂开口，设备内的压力急速下降等。

即使设备产生裂口，如果其裂口面积较小，蒸气爆炸也不会发生，设置在设备气相部分的超压泄放装置，由于排放面积较小，即使超压泄放装置动作，设备内压也不会急剧下降，一般无需担心发生蒸气爆炸。

只有在设备气相部分形成较大裂口，才可能发生蒸气爆炸。如果在液相部分产生裂口时，尽管液体流出并产生瞬时快速蒸发，但由于液体的流动阻力大，内压的下降速度缓慢，设备内液体的蒸发爆炸就难以发生。

万一设备中没有气相部分，而完全被高压状态的液体充满时，即使设备上的很小裂缝，使少量液体泄漏就能引起内压的显著下降，这时就有可能发生蒸气爆炸。

1.1.4 瞬时压力脉动引起的超压

a. 水锤作用 在充满液体的系统中，由于控制阀门迅速关闭，可能会在系统中引起冲击波——通常称为水锤作用。发生水锤作用时，系统中的压力可以在极短的时间内，剧增至原来的许多倍，此时现有的任何超压泄放装置都无济于事。

b. 气锤作用 对于可压缩流体，如果系统中的控制阀迅速关闭，也可能形成冲击波——通常称为气锤作用，其危害与水锤作用类似，避免使用速动阀门，可防止气锤作用的发生。

1.1.5 饱和液化气体受热蒸发引起的超压

贮存液化气体的贮罐，受到外部热输入时，就可能因液化气体蒸发而发生超压，对于高压液化气（临界温度较低），受热后有可能全部汽化。而低压液化气受热后可能由于液相的体积膨胀而充满容器。

常温液化气体容器由于器内介质意外受热导致温度和压力的显著增大，一般有以下3种情况。

(1) 因操作失误或自动调节装置失灵使容器内液化气体受热

有些液化气体贮罐为了工艺上的需要，使器内液化气体的蒸气压力始终保持稳定，装有自动调节装置。器内压力低时，装在容器内的加热器就自开启，使液化气体温度升高，压力恢复到需要的范围；反之，压力高时，冷却装置又自动开启，使器内温度和压力下降。如果这种自控装置由于操作失误或其他原因而失灵，液化气体温度就可能升高并导致器内压力增大。1969年3月1日，日本福岛县的一个炼钢厂发生了一起液体二氧化碳贮罐爆炸事故。该罐为直径1.4m，长5.6m，容积8.2m³，壁厚11mm，设计压力为2.5MPa的卧式圆筒形贮罐。按工艺要求，罐内的自动调节装置应使其压力保持在1.86~1.93MPa的范围内（-20℃左右低温贮存）。为了检修，曾于事故前一天下午将所有连通安全阀、压力表的阀关闭，并切断冷冻机电源，但加热器的电源仍然接通。大概经过11h左右，器内液体大量蒸发，液面高度从最初的65cm下降到13cm，罐内上部气体的温度约升高到45℃，超过了二氧化碳的临界温度，压力估计达到9.5MPa以上。根据此压力计算，器壁的周向应力高达600MPa以上。超过了材料的抗拉强度限。于是贮罐发生爆炸，断裂成7大块。因受爆炸冲击被伤害而死亡的有3人，伤38人。在半径为1km内的建筑物都受到程度不同的破坏。由爆破后的罐体可以看出，容器有明显的塑性变形，壳体沿轴向有长约2.2m的裂口，壁厚变形减薄至5.2mm，即由原来的11mm减薄至一半。

(2) 贮罐内高分子单体聚合放热

随着高分子化学工业的发展，石油化工厂中用以贮存高分子单体的贮罐、中间反应罐日益增多。由于这些高分子单体是具有化学活性的物质，通常在贮存时应加入阻聚剂使其稳定。如果不加阻聚剂，或添加的阻聚剂失效，或液状单体中混入酸、碱等对聚合具有促进作用的杂质，则单体在贮罐内就会部分地自动聚合，并产生大量反应热。例如丁二烯的聚合反应热为 1.36×10^3 kJ/kg，氯丁烯的反应热为 6.24×10^2 kJ/kg，环氧丙烷的反应热为 1.3×10^3 kJ/kg等。这些热量将使贮罐内的液状单体温度升高，饱和蒸气压力增大，严

重时会导致贮罐破裂。1964年6月11日,日本川崎市化工厂一个容积为 14m^3 的粗制环氧丙烷贮罐发生爆炸,死18人,伤117人。容器爆炸的原因就是环氧丙烷中混入了碱,它促进贮罐内液状单体的聚合,反应热使液化气体温度升高,饱和蒸气压力增大。先是液面计损坏,喷出液体,附近冒白烟。数秒钟后,罐体沿纵向开裂,内压瞬时下降,器内处于过热状态的环氧丙烷发生“爆沸”(蒸气爆炸),容器进一步开裂。上封头、圆筒体等均从爆缝处裂开,下封头与裙式底座从爆缝处断裂飞出。容器内径为 1.98m ,壁厚为 7mm ,材料的抗拉强度为 110MPa 。按薄壁壳体理论公式计算,其破裂压力约为 2.89MPa ,与此压力相对应的饱和温度约为 180°C 。

(3) 贮罐周围火灾使液化气体受热

在液化气体贮罐中,有许多是可燃介质,如液化天然气、液化石油气等。如果贮罐的进出口管道发生泄漏,或用以运输液化气体的槽(罐)车因碰撞或脱轨事故而造成管件开裂,则喷漏出的可燃气体有可能被点燃而在贮罐周围着火。在火焰的烘烤下,罐内液体升温蒸发,压力增大,而且贮罐上部气相部分的壳体金属也会在高温下因强度降低而促使容器开裂并造成灾难性事故。例如,1966年1月4日在法国费赞炼油厂的液化石油气球罐爆炸,使一个现代化的炼油厂化为灰烬。

1.1.6 可燃气体(蒸气)的燃爆超压

在化学、化工、石油化工等行业所处理的物料往往是易燃易爆的气体或蒸气,这些气体(或蒸气)一旦与氧气(或空气)混合后的浓度在一定范围(称为燃爆范围)内时,就会被引燃而发生化学燃爆。尽管在工艺上已作了严格规定,严禁可燃气体(或蒸气)进入其燃爆范围,但实践表明,由于操作失误,控制失灵等人为或机械原因,在设备内形成燃爆混合物,发生化学燃爆的事故难以杜绝。设备内发生可燃气体(或蒸气)燃爆,是化工、石油化工等行业中的一种最危险的超压现象,它可以在极短的时间(毫秒级)内,使设备内的压力剧增至其初始压力的 $8\sim 10$ 倍,有时甚至达 12 倍。

设备内发生这类事故,大都是由于操作失误引起的,其损失往往十分惨重。例如1966年4月23日在日本埼玉县化工厂发生的氨罐爆炸事故,就是由于误将氧气当作氮气造成的。这次事故致使值班操作的3名技术人员全部死亡。发生爆炸事故的容器是用以贮存氨(利用苯胺为原料,在温度 300°C 、压力 2.2MPa 下,经催化剂作用制造二苯胺过程中产生的副产品)的缓冲罐,直径为 0.48m ,高 2m ,壁厚 9mm ,设计压力 3MPa 。由于能量较大,顶封头从环焊缝处脱开,飞出 8m 远,落在一民房的屋顶上。筒体沿轴向开裂,向相反的方向卷曲,倒落在附近。附属的连接管道均成碎段飞出。1981年5月15日,国内某化工厂合成氨分厂也发生过器内混合气爆炸事故。原因是操作失误,系统停车检修完毕开车时,连接管道上有两个应该关闭的阀门没有关闭,使氧气窜入可燃气体系统内,导致压缩机的气罐、缓冲器和冷却器发生爆炸。

1.1.7 可燃粉尘的燃爆超压

具有一定分散度的固体粉末(如塑料、染料、颜料、纤维、面粉、木屑、铝粉等),当其悬浮在空气中的浓度达到一定值时,就能被点燃形成所谓的粉尘燃爆^[2]。

粉尘燃爆是损失惨重的工业灾害之一，它涉及许多行业及许多加工过程与设备。例如，据联邦德国财产保险部门的统计，在联邦德国直接损失达 20 万元人民币的粉尘爆炸事故，每年要发生 300 多起。表 1-1 所列的是 1970~1980 年这 10 年中，在联邦德国所发生的粉尘爆炸事故中，损失最惨重的 10 起。

表 1-1 联邦德国 1970~1980 年间 10 起损失最惨重的粉尘爆炸事故

发生年代	行业(设备)	损 失			发生年代	行业(设备)	损 失		
		死/人	伤/人	直接损失 /百万马克			死/人	伤/人	直接损失 /百万马克
1970	糖厂	无	2	>1	1973	化工厂	1	1	>1
1970	粮仓	6	16	35	1974	粮仓	4	15	4.5
1971	混合饲料厂	3	2	严重损失	1976	粮仓	2	7	数百万
1971	化工厂	4	28	严重损失	1976	化工厂	无	5	数百万
1972	食品厂	1	无	严重损失	1979	面粉厂	14	无	>100

发生爆炸的各类可燃粉尘，占爆炸总数的比例（频度）见表 1-2。发生粉尘爆炸的不同设备所占比例（频度）见表 1-3。

表 1-2 可燃粉尘的爆炸频度

粉 尘 类 别	频度/%	粉 尘 类 别	频度/%
木屑	34	金属粉尘	10
食品与饲料	24	纸与纤维素	2
塑料及化工原料	14	其他	6
煤粉	10		

表 1-3 发生粉尘爆炸的设备频度

设 备 名 称	频度/%	设 备 名 称	频度/%
料仓	21	燃烧设备	6
粉末粉碎设备	13	混合设备	5
粉尘输送设备	11	研磨、抛光设备	5
除尘设备	11	过滤设备	2
干燥设备	9	其他	17

由表 1-3 可见，发生在料仓中的粉尘燃爆在这类事故中占很大比例，如粮仓及化工厂粉粒体物料贮仓。例如 1977 年 12 月在美国接连发生了两起粮仓粉尘燃爆事故，造成了非常惨重的人员伤亡和财产损失：路易斯安那州的大陆谷物仓的粉尘燃爆，死亡 36 人，财产损失估计 1500 万英镑；得克萨斯州的农场主输出谷物仓的粉尘燃爆，死亡 8 人，估计损失 1200 万英镑。

1.1.8 放热化学反应失控引起的超压

在化工过程中，有许多反应是放热反应，如聚合反应、氧化反应、硝化反应、氯化反应、臭氧化反应、磺化反应、酯化反应、中和反应等。进行这些反应的容器一般都装设有搅拌装置以及夹套或蛇管等冷却装置，以排除反应热，防止器内压力和温度的过分升高，使反应平稳地进行。但是如果冷却不足，器内就会积聚反应热，物料的温度将逐渐升高。而温度的上升，有时又使反应速度加快，随之而来是反应热的不断增加和温度的急剧升高，这就是反应失控。这种恶性循环有时会在很短时间内使反应器内的温度、压力都激增，并造成容器破坏，在聚合反应中，这种失控现象又称为“爆聚”。

反应失控的产生可以有多方面的原因，如投料计量错误、原料不纯、催化剂使用不当等。也可能是因为搅拌或冷却装置故障，例如因停电使搅拌装置停止转动或冷却水停止循环等。有时甚至还可能会由于器内反应物料黏度较大而随搅拌翼一起转动，因而得不到充分冷却，造成局部高热，最后导致失控。

除了上述的聚合、合成反应失控会导致容器超压以外，分解反应（特别是放热的分解反应）失控时，器内的压力不但会由于气体温度的升高而增大，更由于分解产生的气体的体积增加而急剧上升。一般来说，分解反应大多数是吸热反应，但也有些物质的分解是放热的。对于这类反应必须严加注意。1960年1月，美国密西西比州一个化工厂由于无水马来酸（ $C_4H_2O_3$ ）在容器中发生分解反应，产生二氧化碳气体和聚合物，并放出大量分解热，使一个直径1.5m、高1.8m、容积 $3m^3$ ，设计压力为0.7MPa的不锈钢容器发生爆炸，2人当场死亡。不但设备毁坏，还引起火灾，造成巨大损失。

1.2 防超压安全泄放原理及装置

如前所述，尽管从工艺上和技术上，已采取了相应的措施来防止此类事故的发生，但一次又一次损失惨重的事故告诫人们，流体压力设备的超压因素难以完全消除。对于有超压危险的流体压力设备，除了从消除超压因素采取安全措施（称为一级安全措施）外，还必须从限制超压影响（破坏作用）入手采取安全措施（称为二级安全措施）。安全泄放是目前限制超压对流体压力设备影响的最有效的安全措施。国内外有关压力容器的规范或标准均已作了明确规定，对有超压危险的压力容器，必须采用安全泄放措施^[3,4]。

1.2.1 防超压安全泄放原理

流体压力设备的防超压安全泄放，是指设备内一旦发生超压，设备的预定部位会立即敞开一条泄放通道，将造成超压的“多余”能量和（或）物料排放到设备以外的安全处，使设备内的压力始终保持在某一规定值以内，从而避免设备因超压造成过度塑性变形甚至破裂。

流体压力设备的防超压安全泄放，是由设置在设备上的安全泄放装置实现的。所谓安全泄放装置，是指设置在设备预定部位，且在设备发生超压的情况下能自动动作，为超压介质提供泄放通道的安全装置。显然，泄放装置要完成其功能，或者说设备要达到超压安

全泄放的目的，对泄放装置有两个基本要求，即动作准确和排放能力大。前者指泄放装置要在设备内的压力上升至某一规定值时准确动作；后者指泄放装置在动作后，要有足够的排放能力，使设备内的压力不超过某一规定值。

泄放装置动作后，能否将设备内的压力限制在某一规定压力下，取决于设备的安全泄放量和泄放装置的排放能力。前者指由超压因素造成的设备内相对于正常操作工况“多余”的能量或物料，通常由流体介质质量流量 W_s 表示，kg/h；后者指由泄放装置的结构决定的泄放通道，为被泄放的流体介质所能提供的最大质量流量 W ，kg/h。流体压力设备的防超压安全泄放原理如图 1-2 所示。

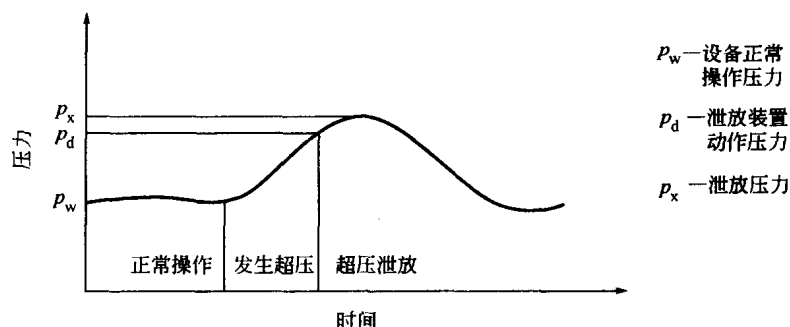


图 1-2 防超压安全泄放原理

流体压力设备防超压安全泄放设计条件为

$$W \geq W_s$$

其中 W 及 W_s 的计算与确定方法在第 3 部分中介绍。

1.2.2 防超压安全泄放装置

防超压安全泄放装置从功能上分有：阀型、断裂型、熔化型和组合型；从作用原理上分有压力敏感型和温度敏感型；从使用角度分有一次性使用型（非自动复位型）和可重复使用型（可自动复位型）等。尽管如此，常见的防超压安全泄放装置有：安全阀，爆破片和易熔塞 3 种。其中易熔塞属于温度敏感型，它一般只用于气瓶等一些小型容器；安全阀与爆破片同属于压力敏感型，是目前应用最广泛的两种流体压力设备的安全泄放装置。

安全阀是可重复使用的泄放装置，其动作原理可由图 1-3 来说明。

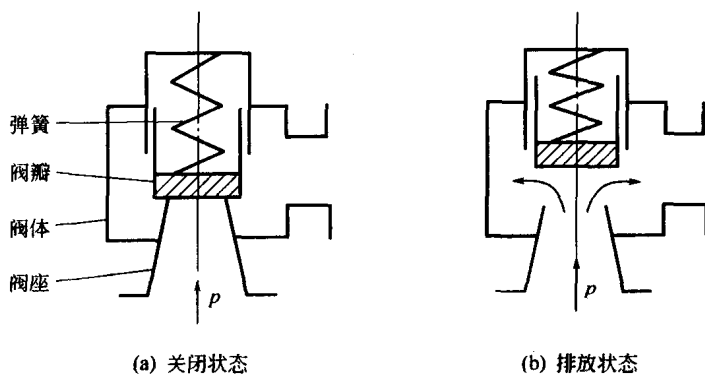


图 1-3 安全阀动作原理

流体压力设备在正常操作压力下，安全阀处于关闭状态 [见图 1-3 (a)]。此时，弹簧力通过阀瓣，克服压力介质的作用力，在阀座与阀瓣的密封面上形成一定的密封力（密封比压），以实现阀瓣与阀座间的密封，从而使流体压力设备处于密闭状态。当设备内发生超压且其压力达到某一规定值时，阀瓣上所受的弹簧力与压力介质作用力相等，阀瓣与阀座密封面上的密封比压降至零，压力介质连续地通过该密封面泄漏出来，如果在阀瓣与阀座上按照流体力学原理设置有反冲机构，则泄漏出来的压力介质就会通过反冲机构对阀瓣施加一个“附加”作用力。在该附加作用力的作用下，阀瓣迅速压缩弹簧向上位移，达到规定的开启高度，从而为超压介质提供一条泄放通道 [见图 1-3 (b)]。当设备内的压力降至某一规定值（安全阀的回座压力），阀瓣在弹簧力的作用下，克服压力介质的作用力，向下位移至关闭状态，并重新与阀座在其密封面之间建立起密封，使流体压力设备回复到其密封状态。

图 1-4 所示为爆破片的动作原理，其压力敏感元件为一个金属（或非金属）薄片，该薄片便成为设备的一个强度薄弱点。在正常操作压力下，爆破片通过其自身相配的夹持器固定后，一起被夹持在设备法兰之间，成为设备的一个强制密封点，使设备处于密闭状态 [见图 1-4 (a)]。当设备内发生超压且其压力上升至某一规定值（爆破片的爆破压力）时，爆破片便立即动作，金属（或非金属）薄片破裂或脱落，为设备内超压介质提供一条泄放通道 [见图 1-4 (b)]。爆破片一旦爆破，泄放口径便无法自行封闭，直至泄放完成（完全泄放），更换新的爆破片，才可使设备恢复到密闭状态。

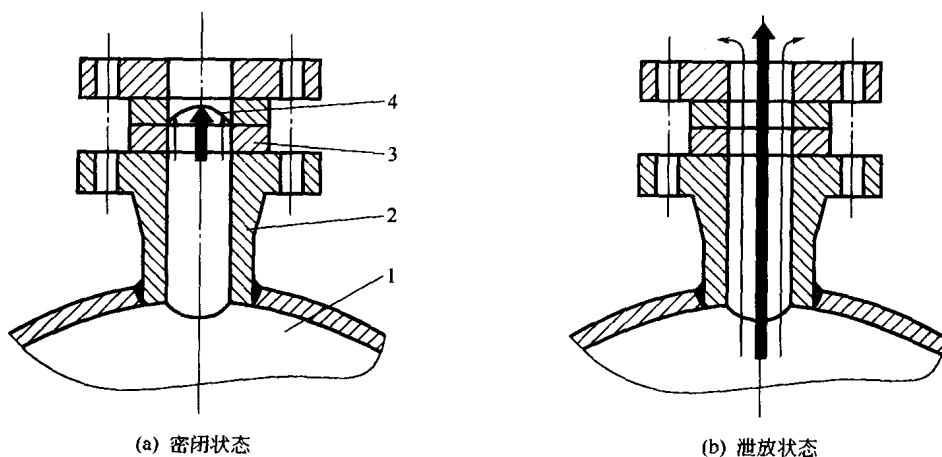


图 1-4 爆破片的动作原理

1—被保护设备；2—设备法兰；3—夹持器；4—爆破片

作为流体压力设备的主要安全泄放装置，安全阀与爆破片各有其优点与缺点。安全阀的最大优点是具有自动复位功能，但密封性能差；爆破片最大优点是容易实现密封（可实现全密闭），但其最大缺点无自动复位功能。爆破片与安全阀的特点对比见表 1-4^[5]。

与安全阀相比，爆破片作为流体压力设备的安全泄放装置，在下列场合选用较为合适。

- ① 设备内压力可能急剧升高时，此时由于安全阀的惯性难以及时排除过高的压力。
- ② 为避免有毒介质（或贵重产品）泄漏而需要提供一个可靠的密封装置时，此时由

于安全阀密封性差难以满足密封要求。

③ 工作介质不洁净或易于结晶、聚合的场合，此时安全阀可能会受介质的影响产生误动作或不动作。

④ 与安全阀组合使用时。

⑤ 当压力介质的腐蚀性很强时，此时须用昂贵的材料（如金、银、铂金等）制造安全阀，成本较高，而爆破片的成本相对较低。

⑥ 当操作温度较低影响安全阀正常工作时。

表 1-4 爆破片与安全阀特点对比

内 容		对 比 项	爆 破 片	安 全 阀
结构型式	1	品种	多	较少
	2	基本结构	简单	复杂
适用范围	3	口径范围	$\phi 3 \sim 1000 \text{mm}$	大或小均困难
	4	压力范围	几十毫米水柱 $\sim$ 几百兆帕	很低或高压均困难
	5	温度范围	$-250 \sim 500^{\circ}\text{C}$	低温或高温均困难
	6	介质腐蚀性	可选用各种耐腐蚀材料或可作简单防护	选用耐腐蚀材料有限，防腐蚀结构复杂
	7	介质黏稠、有沉淀、结晶等	不影响动作	明显影响动作
	8	对温度敏感性	高温下动作时压力降低，低温下动作时压力升高均较敏感	不很敏感
	9	工作压力与动作压力差额	较大	较小
	10	经常超压的场合	不适用	适用
防超压动作	11	动作特点	一次性爆破	泄压后可以复位，多次用
	12	灵敏性	惯性小，急剧超压时反应迅速	不很及时
	13	正确性	一般 $\pm 5\%$	波动幅度大
	14	可靠性	一旦受损伤，爆破压力降低或升高	甚至不起跳，或不闭合
	15	密闭性	无泄漏	可能泄漏
	16	动作后对生产造成损失	较大，必须更换后恢复生产	较小，复位后生产正常进行
维护与更换	17		简单	较复杂

1.2.3 爆破片技术术语

爆破片的一些常用技术术语及其意义如下。

爆破片装置 由爆破片（或爆破片组件）和夹持器（或支撑圈）等装配组成的压力泄放安全装置。当爆破片两侧压力差达到预定温度下的预定值时，爆破片即刻动作（破裂或