

爆破针型泄压阀的技术特点、标准及应用

刘良海¹ 王磊² 刘海亮²

1 中国石化工程建设公司 北京 100029

2 江苏瑞朗博机械设备有限公司 江苏 南京 211300

【摘要】本文介绍了一种新型压力泄放装置—爆破针型泄压阀。爆破针型泄压阀巧妙地应用了压杆失稳的欧拉定律，触发爆破针失稳进而实现泄压。相比于传统的压力泄放装置，爆破针型泄压阀具有泄放精度高、不受介质温度和腐蚀性影响、无疲劳、无碎片、复位简单、维护成本低等优势，并开始在相关领域得到越来越多的应用。

【关键词】压力泄放装置 爆破针 压力容器 压力管道

安全泄压装置是锅炉、压力容器、压力管道以及其它承压设备的保护装置，用来防止承压设备中的压力超过设计允许值，从而保护设备及其运行人员的安全。安全泄压装置通常不依赖任何外部能源而动作，所以常常作为承压设备的最后一道保护装置。从这个意义上说，它的作用是其它保护装置所无法替代的。

按照其发生泄压动作后能否自动复位关闭，泄压装置可以分为重闭式和非重闭式两种类型。应用最为广泛的重闭式泄压装置是弹簧式安全阀，当介质压力达到某一预定值时，安全阀自动开启，继而全通量泄放，以防止压力继续升高。当介质压力由于安全阀的排放而降低至另一预定值时，阀门又能自动关闭，阻止介质继续排出。应用最为广泛的非重闭式泄压装置是爆破片装置，爆破片装置由爆破片（或爆破片组件）和夹持器（或支承圈）等零部件组成。在设定的爆破温度下，当爆破片两侧压力差达到设定值时，爆破片即刻动作（破裂或者脱落）从而泄放介质，且在泄压后不能重新闭合。

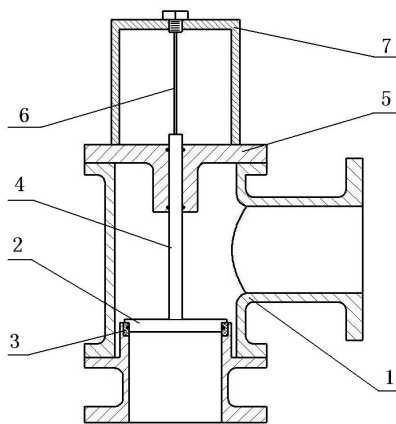
对于非重闭式泄压装置，ASME 锅炉及压力容器规范及其规范案例在对爆破片装置相关要求之规定之外，还规定了针型泄压装置在制造、测试和使用等方面的要求^[1-2]。在满足相关要求的前提下，针型泄压装置可以作为非重闭式泄压装置使用。作为针型泄压装置中的一种，较爆破片装置而言，爆破针型泄压阀的泄压精度高且不受介质温度和腐蚀性影响，不会因承压设备中压力变化而疲劳失效，泄压后无需拆卸管道即可快速更换泄压元件实现复位，停工成本低，无碎片无堵塞，长期使用成本低廉。由于这些优点，爆破针型泄压阀已经成为很多工况下的首选泄压装置。本文将探讨爆破针型泄压阀的技术特点、标准和典型应用，供有关人员在工作中参考。

1 爆破针型泄压阀简介

1.1 爆破针型泄压阀的工作原理

爆破针型泄压阀最早出现于上世纪80年代末，设计之初是为了解决壳牌公司当时所面临的一类安全隐患，即在某些工况下其使用的先导式安全阀间或出现不能准确泄压的问题。

爆破针型泄压阀的设计依据均是压杆失稳的欧拉定律，其典型结构如图1所示。



1-阀体；2-活塞式阀瓣；3-阀座；4-阀杆
5-阀盖；6-爆破针；7-针笼

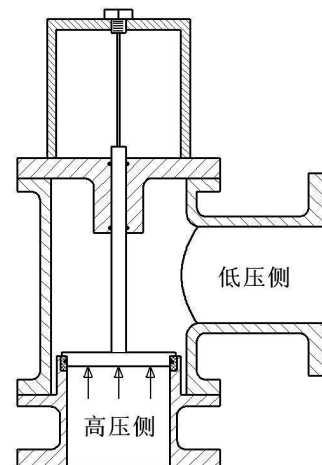
图1 爆破针型泄压阀典型结构图

活塞式阀瓣和阀座是泄压阀的密封件。当阀瓣与阀座紧密接触时泄压阀实现密封，当阀瓣与阀座分离时泄压阀实现泄压。爆破针是控制阀门密封或泄压的关键部件，其安装于阀体外部，一端与针笼内侧相接而另一端与阀杆相连，通过阀杆向阀瓣施加载荷，控制阀瓣与阀座的接触与分离，进而控制泄压阀的密封与泄压。

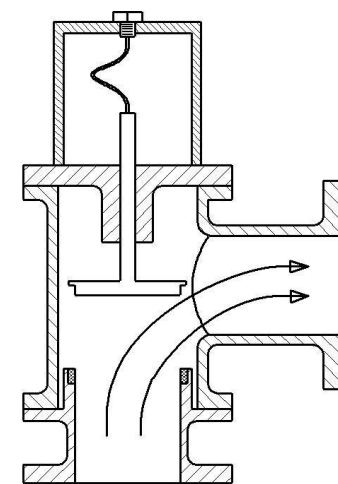
根据压杆失稳的欧拉定律，对仅承受轴向压缩载荷的细长压杆（在爆破针型泄压阀中即为爆破针）而言，当载荷 F 小于杆的失稳临界载荷 F_{cr} 时，压杆将维持直线平衡状态，并具有抗侧向干扰的稳定性。当载荷 F 达到失稳临界载荷 F_{cr} 时，压杆将在瞬间由直线平衡转变为不稳定的侧弯曲线平衡，此时施加的侧向干扰将是不可逆的。这种压杆丧失其直线形状的稳定平衡而转变为非稳定曲线平衡的过程才称为失稳或屈曲。发生失稳后，杆件就丧失了承载能力，压力的微小增加将引起弯曲变形的显著增大。这种细长杆的稳定和失稳的特性非常适合用于压力泄放装置的触发。

欧拉定律的应用需要满足一定的条件，例如，材料均匀性的保证，初始预应力、初始侧弯和偏心压缩的消除，压杆直线度和粗糙度的要求，以及支座缺陷处理等。当然，在爆破针型泄压阀的实际设计中，还需要考虑阀瓣与阀座之间以及阀杆与阀盖之间的摩

擦力等因素对泄压精度的影响。



正常工作状态



泄压状态

图2 爆破针型泄压阀的正常工作状态和泄压状态

在正常工况下，承压设备内部压力处于封闭系统能够承受的安全压力之下，泄压阀高压侧与低压侧的压差 P 小于设定压力 P_{cr} 。阀瓣2通过阀杆4施加在爆破针6上的轴向压缩载荷 F 也将小于爆破针6的失稳临界载荷 F_{cr} ，爆破针6保持稳定。同时，爆破针6的反推力通过阀杆4将阀瓣2推向阀座3，使阀瓣2

与阀座3紧密接触,此时泄压阀处于密封状态。

在非工况下,承压设备内部压力上升至封闭系统的安全压力之上,泄压阀高压侧与低压侧的压差 P 大于或等于设定压力 P_{cr} 。阀瓣2通过阀杆4施加在爆破针6上的轴向载荷 F 也将大于或等于爆破针6的失稳临界载荷 F_{cr} ,爆破针6发生失稳,其有效长度瞬间大幅度减小。爆破针6作用在阀杆4上的推力会骤然降低,从而阀瓣2在介质压力作用下与阀座3瞬间分离,实现准确、快速泄压。爆破针型泄压阀的密封状态和泄压状态如图2所示。

通过观察爆破针及阀杆的状态,可以判断爆破针型泄压阀是否发生了泄压。另外,也可以在相应位置安装位置开关等感应元件,实现阀门泄压信号的远传,操作人员在中央控制室即可集中监控多台爆破针型泄压阀的状态。

当承压设备的内部压力恢复至安全压力之下时,现场操作人员可以借助外力将阀杆复位,使得阀瓣与阀座重新密封后,更换爆破针,阀门恢复密封状态,实现爆破针型泄压阀的复位。

1.2 先导式爆破针型泄压阀的工作原理

另外一种爆破针型泄压阀称为先导式爆破针型泄压阀,其依靠先导阀排出介质来驱动或控制阀门的泄压,此类泄压阀所采用的先导阀本身是爆破针型泄压阀。先导式爆破针型泄压阀的典型结构如图3所示。

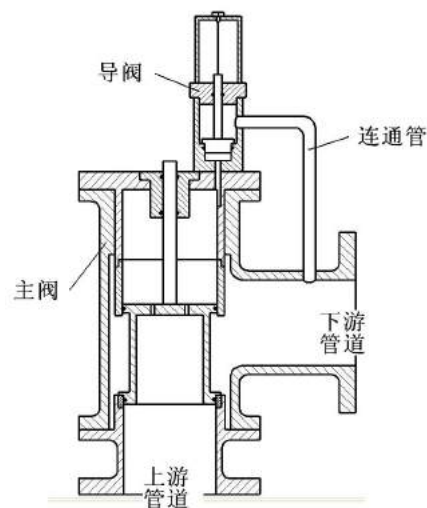


图3 先导式爆破针型泄压阀典型结构图

先导阀上腔通过连通管与系统下游管道连通,先导阀泄压时介质会向系统下游管道泄放,先导阀下腔与主阀上腔连通。主阀上腔和主阀下腔通过主阀阀瓣上的小孔与系统上游管道相连。因此,主阀下腔、主阀上腔和先导阀下腔都与上游管道相连通,这几个区域内的介质压力与上游管道介质压力相等。

通过合理设计主阀阀瓣上表面和下表面的表面积,可以达到主阀阀瓣上下表面压力的自平衡,使主阀阀瓣在泄压前能稳定地与主阀阀座紧密接触而形成可靠密封。

当系统压力超过泄压设定值时,先导阀高压侧和低压侧压差 $P \geq P_{cr}$,作用在先导阀爆破针上的载荷大于等于其失稳临界载荷,爆破针发生失稳。在介质压力作用下,先导阀阀瓣与先导阀阀座脱离而使先导阀上、下腔连通。因为先导阀的上腔是通过连通管与系统下游管道连通的,而先导阀下腔又与主阀上腔相连通,所以此时主阀上腔的压力会迅速向下游管道泄放而骤然降低。主阀下腔与上腔的压力不会很快平衡,下腔与上腔之间的压差会使主阀阀瓣的下表面压力大于上表面压力,此压力差会将主阀阀瓣从主阀阀座上推开,从而到达上游介质向下游泄压的作用。

先导式爆破针型泄压阀的状态判断、阀位状态信号的远传、阀门在泄压之后的复位、爆破针的更换等环节都与普通的爆破针型泄压阀相似。

2 爆破针型泄压阀的主要技术特点与优势

2.1 爆破针型泄压阀与应用最为广泛的爆破片型泄压阀相比具有如下技术特点与优势

(1) 泄压精度较高。如果爆破针的加工工艺得当、热处理工艺合理,且相关部件之间的摩擦力计算准确,爆破针型泄压阀的泄压精度通常能达到 $\pm 5\%$ 以内。如果用户有特殊要求,泄压精度甚至能够达到 $\pm 2\%$ 以内,这是爆破片很难达到的。

(2) 泄压精度不受管道内介质温度和腐蚀性的影响。由于压力泄放的触发部件爆破针安装于阀门外部,完全不与介质接触,介质的温度和腐蚀性对于泄放压力没有影响,而爆破片的泄放压力受介质因素的影响很大。

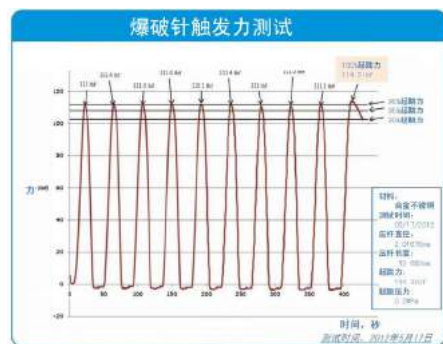


图4 爆破针触发力测试

(3) 阀门的泄放压力不会由于管道内压力的循环变化而发生改变。爆破针失稳时的内部应力要低于材料的屈服极限,即处于材料的弹性变形范围内。因而,即便管道内的压力经常变化,爆破针也不会出现疲劳而改变其失稳临界载荷。这意味着阀门的泄放压力不会发生改变,只要爆破针型泄压阀没有泄压动作,就无需定期更换爆破针。而爆破片则需要定期更换,以避免因发生疲劳而提前爆破。我们曾对爆破针承受交变应力后的触发精度进行试验确认,图4为相应的试验结果。在每一次试验中,我们均将力提高到爆破针失稳临界载荷的98%,压力保持10

秒钟后将压力撤掉,如此重复9次,并在第10次时持续增加压力,直至爆破针失稳为止。我们所记录到的爆破针失稳力误差仍然小于 $\pm 2\%$,即爆破针型泄压阀仍然能精确泄压。

然而,普通爆破片爆破时的片内应力高于材料的屈服极限,即处于材料的塑性变形范围内。若由于管道内脉冲压力或循环压力的作用,爆破片的应力经常达到屈服极限以上而没有发生爆破,爆破片会发生疲劳进而导致其性质改变。受此影响,使得我们无法预估爆破片的爆破压力,这也是很多标准均规定爆破片需要定期更换的原因之一^[1]。

(4) 复位简单、停工成本低,复位过程不会对环境造成污染。在阀门泄压之后,无需拆卸管道和阀门,从阀门外部即可将阀门复位并更换爆破针。然而,爆破片在发生泄压之后,必须将其拆卸才能完成更换。以20"的管道为例,爆破针型阀的复位仅需10分钟以内的时间,而更换20"的爆破片通常需要8-10小时。另外,拆卸管道意味着大量介质的流失,这会对环境造成污染。有毒或者腐蚀性以及易燃、易爆的介质,还需要采取特殊的防护措施以保证安全。

(5) 阀门是否发生泄压易于判断。操作人员通过观察爆破针及阀杆的状态,可以很容易地判断爆破针型泄压阀是否发生了泄压。也可以通过在相应位置安装位置开关等感应元件,实现阀门泄压信号的远传,在中央控制室即可监控爆破针型泄压阀的状态。而对于爆破片而言,除非采用特殊的监控装置,否则很难判断其是否发生了泄压。

(6) 阀门泄压过程中不会产生碎片。用户通常会担心爆破片爆破过程中产生的碎片会影响下游设备的运行,而爆破针型泄压阀的使用者完全没有必要担心因泄压而产生碎片。

(7) 阀门安装后可以在线调整其设定压力。如果用户有调整爆破针型泄压阀设定压力的需求,只要其在订货时提前说明,阀门生产厂家可以提供相应的解决方案,通过改变爆破针直径或有效长度等参数调整阀门的设定压力,并且此类调整可以在不拆卸管道和阀门的情况下完成。然而,若要通过更换爆破片以达到调整爆破压力的目的,则必须要进行管线拆卸。

(8) 长期使用成本低廉。尽管爆破针型泄压阀的初次采购成本要高于爆破片,但爆破针的购置成本和更换时的停工成本均远低于爆破片,并且爆破针无需定期更换(根据相关标准规定,爆破片需要定期更换^[1]),所以爆破针型泄压阀的长期使用成本要远低于爆破片装置。

2.2 爆破针型泄压阀与弹簧式安全阀相比,具有以下技术特点与优势

(1) 在爆破针型泄压阀泄压之前,即便在压力系统内的压力接近设定点时,爆破针型泄压阀始终可以保证紧密密封,不会出现安全阀常见的渗漏或频跳等现象。

(2) 爆破针型泄压阀的设定压力不会因为管道内压力的循环变化而发生改变,无需定期校验。而循环变化的压力却可能导致安全阀内弹簧的疲劳失效,这也是安全阀需要定期校验的重要原因。

(3) 在工作压力很低或者很高时,爆破针型泄压阀依然可以保证较高的泄压精度,而这对安全阀而言是极难实现的。

(4) 介质的温度和腐蚀性对于爆破针型泄压阀的泄压精度没有影响,而对普通安全阀的泄压精度却影响较大,尤其是低温等苛刻工况更是如此。

3 爆破针型泄压阀相关标准

从上世纪90年代开始,ASME锅炉及压力容器规范标准将爆破针型泄压阀列为可以采用的非重闭式泄压装置,并在第VIII卷第1册UG篇对其制造、测试和使用进行了相关规定^[1]。2003年,ASME根据爆破针型泄压阀的实际使用情况和反馈编写了规范案例2091-3《爆破针型泄压阀》^[2],对于爆破针型泄压阀的制造、测试和使用进行了更为详尽的规定。此规范案例沿用至今,最新版的ASME锅炉及压力容器规范依然收录了这一案例。另外,API 520-I(2001版)《压力泄放装置的尺寸确定和选择》中规定了爆破针型泄压阀的设置和尺寸确定^[4],API 520-II(2003版)《压力泄放装置的安装》中规定了爆破针型泄压阀的安装要求^[5]。

目前,与上述国际标准对应的国内标准,如:GB 150(2011版)《压力容器》和GB/T 24921.1(2010版)《石化工业用压力泄放阀的尺寸确定、选型和安装标准》还没有涉及爆破针型泄压阀。国内已有企业参照上述国际标准制定了企业标准,作为企业制造和测试爆破针型泄压阀的依据。

4 爆破针型泄压阀的应用领域

由于爆破针型泄压阀具有上述的技术特点与优势,相关领域内越来越多的用户在逐渐了解其特点后,开始采用爆破针型泄压阀。爆破针型泄压阀可以应用在使用爆破片的绝大多数工况,并且可以胜任常规安全阀使用效果不理想的工况。以下为爆破针型泄压阀的几个典型应用:

(1) 作为地面火炬分级控制阀的旁路阀,以保证分级控制阀因故障无法正常开启时火炬系统的安全。近年来,在中石油乌鲁木齐石化分公司和中国石化武汉分公司的地面火炬系统中均采用了爆破针型泄压阀。

(2) 作为管壳式换热器的过压保护装置。由于管壳式换热器存在管束破裂的可能性,壳体内部的压力可能会急剧升高。目前,多数换热器均设置弹簧式安全阀作为其过压保护装置。但是由于安全阀泄压能力有限,依然存在隐患,若采用爆破针型泄压阀即可解决这一问题。

参考文献

[1] ASME 锅炉及压力容器规范. 第VIII卷第1册 UG138,压力容器建造规则 爆破针型泄压阀的最低要求,2010
 [2] ASME 锅炉及压力容器规范. 规范案例 2091-3,爆破针型泄压阀,2010
 [3] 工艺系统工程设计技术规定.HG/T 20570.3-95,爆破片的设置和选用,1996
 [4] ASME 锅炉及压力容器规范. 第VIII卷第1册 UG127,《压力容器建造规则 不重新闭合泄压装置》,2010

[5] ASME 锅炉及压力容器规范. 第VIII卷第1册 UG131,压力容器建造规则 泄压装置泄放量的验证,2010

作者简介

刘良海,男,2002年毕业于北京化工大学化工设备与机械专业,高级工程师。

王磊,男,2009年毕业于大连理工大学工程力学专业,工学博士。

刘海亮,男,2005年毕业于北京化工大学化工过程设备专业,工学硕士。

爆破针型阀技术支持: 13951709111

(上接第108页)

确保整个油井修井作业过程中挤水泥作业的稳定开展;

(5) 油井修井作业在进行挤水泥操作之前应当针对井口位置及管线位置进行试压处理。在一般情况下,试压压力应当控制在挤水泥作业控制工作压力参数的1.2倍范围之内;

(6) 在挤水泥施工作业过程当中,若选取防喷器装置针对挤水泥原材进行半封处理,则应当针对油管悬重过程中的挤水泥压力进行充分且有效的承受,从而防止因挤水泥压力过大而出现的管柱上顶问题;

(7) 油井修井挤水泥作业过程当中需要安排专业工作人员针对挤水泥压力进行有效控制,此种作业方式的最主要目的在于最大限度的防止水泥浆原材在顶替到位之前出现明显性失水问题。与此同时,若出现挤水泥压力参数过高的问题,则应当针对泵入排量参数或是水泥浆密度参数进行有效控制,同时也能够确保挤水泥压力作业过程中的实时参数能够得到充分且有效地控制。

6 结束语

伴随着现代科学技术的持续发展与经济社会现代化建设进程日益完善,社会大众持续增长的物质文化与精神文化需求同时对新时期的能源开发及利用作业给予了更为系统与全面的关注,由此也带动着油井生产建设事业的蓬勃发展。从油田建设生产的角度上来说,建井过程中一大关键环节即为固井作业,固井作业在确保油田建设生产安全可靠运行中所占据的重要性程度是可想而知的。总而言之,本文针对有关油井修井作业中的挤水泥措施中相关影响因素做出了简要分析与说明,希望能够引起相关工作人员的特别关注与重视。

参考文献

[1] 李军,陈勉,张辉,等.水泥环弹性模量对套管外挤载荷的影响分析.[J].石油大学学报(自然科学版).2005.29.(06).41-44
 [2] 王坤,杨利平,雷明平,等.延时挤灰封堵产层工艺在苏丹六区富拉油田的应用.[J].内蒙古石油化工,2011.37.(23).146-147
 [3] 李军,陈勉,柳贡慧,等.套管、水泥环及井壁岩层组合体的弹性分析[J].石油学报,2005,26.(06).99-103

[4] 徐守余,李茂华,牛卫东,等.水泥环性质对套管抗挤强度影响的有限元分析[J].石油钻探技术,2007,35.(03).5-8

[5] 吴军现,吴巧玲,王山林,等.明确职责划分提高打水水泥塞(挤水泥)施工成功率[J].现代企业教育,2010,(20).88-89

[6] 狄勤丰,胡以宝,陈占锋,等.非均匀地应力下套管偏心对套管抗挤强度的影响[C].第十届石油钻井院所长会议论文集,2010,750-758

[7] 刘振通,宋元洪,吴洪波,等.特殊注水泥作业“插旗杆”事故案例分析与思考[J].钻井液与完井液,2011,28.(06).81-83.87

[8] 李茂华,徐守余,牛卫东,等.水泥环厚度和弹性模量对套管抗挤强度的影响[J].石油地质与工程,2007,21.(03).84-88

[9] 方明晖,方旭慧,赖俊英,等.丙烯酸酯乳液改进挤塑聚苯板界面拉伸粘结性能的研究[J].新型建筑材料,2008.35.(07).18-21

[10] 吴松贵,陈江红,谢焰,等.孔壁地层超静孔隙水(气)压力的形成及其对瓦斯抽排井套管稳定性影响[J].中国煤炭地质,2011,23(06).65-68

作者简介

卓龙成 毕业于大庆石油学院华瑞学院石油工程专业,目前就业于华东石油局试采大队江苏项目部,主要从事油水井新井试油、措施作业等。

(上接第239页)

视长期计划的严肃性和短期计划的灵活性,根据上下游的生产计划和生产特点,制定科学的调度运行方案^[6],充分发挥长输管网作为上下游的纽带作用。

参考文献

[1] 百度. 百科冬季.[EB/OL].[2013-1-10].http://baike.baidu.com/view/19085.htm
 [2] 中国社会科学院.2012《城市竞争力蓝皮书》发布及中国城市竞争力研讨会在京召开:肇路十年铸一剑.[EB/OL].(2012-5-21).[2013-1-10].http://www.ccsn.cn/news/489145.htm
 [3] 蒋方美,吴长春,等.西气东输管道的短期调峰方案.油气储运,2004,23(9)7-10
 [4] 姜笃志,宫敬.管道末端储气调峰分析方法.油气储运,2005,24(6)19-21,37
 [5] 李宏勋,等.从电力需求侧管理看中国天然气调峰.天然气工业,2011,31(2):107-109
 [6] 李长俊,等.输气管道优化运行技术.天然气工业 2005,25(10):106-109

作者简介

王龙刚,1979年生,工程师,工学学士;2001年毕业于中国石油大学(华东)油气储运专业;主要从事天然气长输管网的管理研究工作。