

化工压力容器 操作和维修工必读

李 宁



劳动人事出版社

化工压力容器操作和维修工必读

李 宁

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

新华书店北京发行所发行

德外印刷厂印刷

787×1092 32开本 2印张 43千字

1985年7月北京第一版 1985年7月北京第一

印数1—20000册

书号：15238.0101

定价：0.50元

前 言

化工生产中所使用的容器或反应设备，大部分属于压力容器。化工压力容器的结构虽然比较简单，但其各承压部件的受力是比较复杂的，所应用的条件也比较特殊，例如高压、高温、低温、高变载荷、介质腐蚀等。另外，用来制造压力容器的材料又不可避免地存在各种缺陷，在容器的使用过程中又有可能发生异常情况。因此，压力容器的破坏率是比较高的，而且一旦发生爆炸事故，不仅整个设备遭到破坏，还常常波及周围的设备或建筑物，并造成人身伤亡事故。故其破坏性往往是很严重的。

压力容器的破坏率虽然比较高，但这并不是说，其发生事故是不可避免的。从大量的事故分析来看，有很多事故的发生并不是由于设计、制造或材料本身等方面的原因，而是操作人员或修理人员缺乏对压力容器的了解，不重视压力容器的安全操作，或不懂得如何处理异常情况而引起的。由此看来，对压力容器的操作和维修人员来说，懂得压力容器安全的重要性，看到发生事故的危害性，了解容器的基本性能、结构、受力特点，爆破特征，掌握正确地操作、维修及处理异常现象的本领，是保证压力容器安全的关键。

本书就是为广大化工压力容器的操作工和维修工编写的，旨在提高基本知识和基本技能的安全技术普及性读物。

本书以1982年5月原国家劳动总局颁布的“压力容器安全监察规程”为准则，并引用其中部分条款。

为推行国际单位制，并顾及目前使用的工程单位制，书中在涉及压强单位时，同时使用两种单位制。

目 录

前 言

第一章	化工压力容器的基本知识	(2)
第一节	化工压力容器的定义	(2)
第二节	压力容器的分类	(2)
第三节	压力容器的结构	(4)
第四节	受力特点	(17)
第五节	材料	(22)
第六节	压力容器的安全附件	(24)
第七节	容器的压力试验	(27)
第二章	压力容器的破坏简介	(30)
第一节	韧性破裂	(30)
第二节	脆性破裂	(34)
第三节	疲劳破裂	(34)
第四节	腐蚀破裂	(35)
第五节	蠕变破裂	(39)
第三章	压力容器的安全使用及维修	(40)
第一节	了解设备、熟悉操作条件	(41)
第二节	安全装置的安装及调节	(42)
第三节	操作注意事项	(46)
第四节	紧急情况处理	(49)
第五节	维护	(50)
第六节	检查	(51)

TQ051.3.22



C448141

FC60/07

第七节 修理.....	(53)
第八节 使用记录和安全操作规程.....	(55)
名词解释.....	(57)
参考文献.....	(62)

前 言

化工生产中所使用的容器或反应设备，大部分属于压力容器。化工压力容器的结构虽然比较简单，但其各承压部件的受力是比较复杂的，所应用的条件也比较特殊，例如高压、高温、低温、高变载荷、介质腐蚀等。另外，用来制造压力容器的材料又不可避免地存在各种缺陷，在容器的使用过程中又有可能发生异常情况。因此，压力容器的破坏率是比较高的，而且一旦发生爆炸事故，不仅整个设备遭到破坏，还常常波及周围的设备或建筑物，并造成人身伤亡事故。故其破坏性往往是很严重的。

压力容器的破坏率虽然比较高，但这并不是说，其发生事故是不可避免的。从大量的事故分析来看，有很多事故的发生并不是由于设计、制造或材料本身等方面的原因，而是操作人员或修理人员缺乏对压力容器的了解，不重视压力容器的安全操作，或不懂得如何处理异常情况而引起的。由此看来，对压力容器的操作和维修人员来说，懂得压力容器安全的重要性，看到发生事故的危害性，了解容器的基本性能、结构、受力特点，爆破特征，掌握正确地操作、维修及处理异常现象的本领，是保证压力容器安全的关键。

本书就是为广大化工压力容器的操作工和维修工编写的，旨在提高基本知识和基本技能的安全技术普及性读物。

本书以1982年5月原国家劳动总局颁布的“压力容器安全监察规程”为准则，并引用其中部分条款。

为推行国际单位制，并顾及目前使用的工程单位制，书中在涉及压强单位时，同时使用两种单位制。

第一章 化工压力容器的基本知识

第一节 化工压力容器的定义

化工行业中的许多设备，有的用来贮存物料，例如贮罐、计量罐、高位槽；有的用来进行物料的物理变化过程，例如换热器、蒸馏塔、沉降器、过滤器；有的用来进行化学反应，例如反应釜、聚合釜等等。这些设备虽然尺寸不同，形式不同，内部结构更是多种多样，但是它们都有一个壳体，这个壳体统称为容器。

所谓压力容器则是指同时具备下列三个条件的容器：

一、最高工作压力 ≥ 98 千帕，即工程单位制的1公斤力/厘米²（不包括液体静压力）；

二、容积 ≥ 25 升，而且压力与容积的乘积 ≥ 19.6 升·兆帕，即工程单位制的200升·公斤力/厘米²；

三、介质为气体、液化气体和最高工作温度高于标准沸点（指在一个大气压下的沸点）的液体。

某些压力容器虽然符合上述第一条与第三条，但其体积很小，压力与体积的乘积小于第二条规定的数值，不在本书讨论范围之内。

第二节 压力容器的分类

压力容器按其所承受的工作压力，可划分为低压、中

压、高压及超高压容器四个等级。其中压力为0.098~1.57兆帕,即工程单位制的1~16公斤力/厘米²的称为低压容器;压力为1.57~9.80兆帕,即工程单位制的16~100公斤力/厘米²的称为中压容器;压力为9.80~98.04兆帕,即工程单位制的100~1000公斤力/厘米²的称为高压容器;高于98.04兆帕,即高于1,000公斤力/厘米²的称为超高压容器。

为了有利于安全技术管理和监督检查,劳动人事部颁发的“压力容器安全监察规程”根据容器压力高低、容器内介质的危害程度以及在生产过程中的重要作用,将压力容器分为三类。对于化工压力容器来讲,这种分类综合了各种情况和条件,从安全角度进行了划分,既有利于管理和检查,也便于合理制定使用和维修的规章制度,故对于容器的安全是有利的。

具体分类如下:

一、属于下列情况之一者为一类化工压力容器:

(一) 非易燃或无毒介质的低压容器;

(二) 易燃或有毒介质的低压分离容器和换热容器;

二、属于下列情况之一者为二类化工压力容器:

(一) 中压容器;

(二) 剧毒介质的低压容器;

(三) 易燃或有毒介质的低压反应容器和贮运容器;

三、属于下列情况之一者为三类化工压力容器:

(一) 高压、超高压容器;

(二) 剧毒介质且压力与体积的乘积 ≥ 196 升·兆帕/米²,即2000升·公斤力/厘米²的低压容器或剧毒介质的中压容器;

(三) 易燃或有毒介质且压力与体积的乘积 ≥ 490 升·兆帕，即5000升·公斤力/厘米²的中压反应容器，或压力与体积的乘积 ≥ 4900 升·兆帕，即50000升·公斤力/厘米²的中压贮运容器。

关于剧毒介质、有毒介质和易爆介质的定义及具体物质名称可查阅“压力容器安全监察规程”。

此外，化工压力容器按其在生产工艺中的作用原理又可分为反应容器、换热容器、分离容器、贮运容器等四种，具体举例如下：

(一) 反应容器主要是指用来进行介质的物理、化学反应的容器。例如：反应釜、发生器、合成塔、聚合釜等等。

(二) 换热容器主要是指进行介质之间热量交换的容器。例如：冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、消毒锅等等。

(三) 分离容器主要是指用来完成介质的压力平衡及气体净化、气液分离的容器。例如：缓冲罐、分离器、过滤器、吸收塔等等。

(四) 贮运容器主要是指用来盛装气体、液体、液化气体的容器。例如各种型式的贮罐、槽车等等。

第三节 压力容器的结构

化工压力容器由于其用途各不相同，结构也不一样。但一般均具有筒体、封头、支座、法兰（包括管法兰和设备法兰），有些容器则还有人孔、手孔、夹层、视镜、液面计、内部冷却（或加热）管、搅拌器等等。此外，容器上还要安

装必不可少的安全附件。图1为常见卧式容器的主要结构。

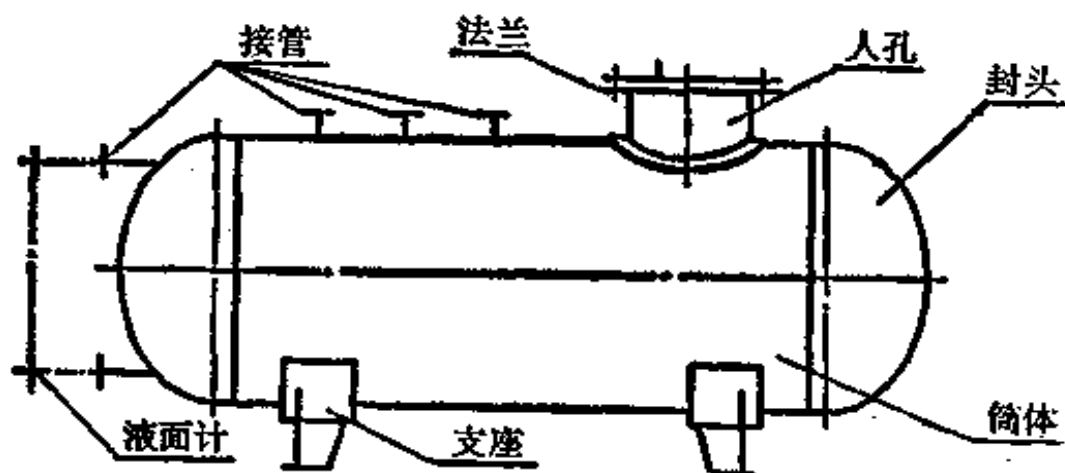


图1 卧式容器的结构

现将容器的各主要部件介绍如下：

一、筒体

筒体为容器的主体，其形状一般为圆柱形，随工作压力、温度、介质等条件不同而取不同的壁厚。筒体除整体锻造式（用于高压容器）外，绝大多数都是由钢板卷焊而成。因此，焊接后的强度、气密性及焊缝质量指标要求十分严格，在制造或焊接修理时均需执行焊接规定和程序，并进行严格的检验，不容许有任何疏乎大意，以保证筒体质量。

二、封头

封头即容器的端盖。常见的封头型式有半球形、椭圆形、碟形、锥形等。其形状见图2。

半球形封头是用数块弓形板成型后焊接而成的。它不仅承压能力强，而且就单位容积的表面积来说，比其它封头要小，即做成同样容积的各种封头以半球形封头最省材料。但由于半球形封头(特别是小直径的封头)曲率较大，成型比较困难，故其主要应用在大型球形贮罐上。

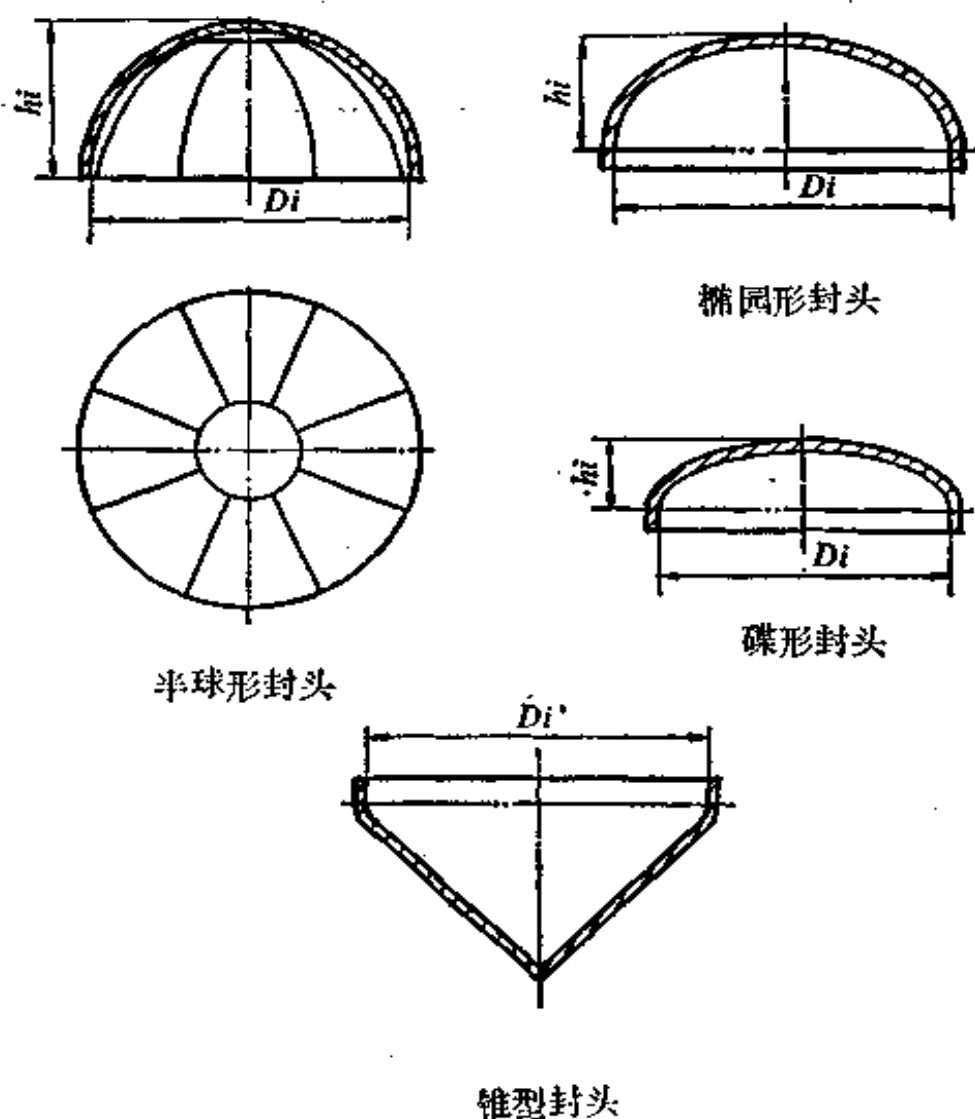


图2 容器的封头

椭圆形封头是压力容器中最应用最广的一种。它是由半个椭球（多采用长轴为短轴的两倍的椭圆球）和直边（一个与半椭球联成一整体的短圆筒）两部分构成。直边使封头与筒体的联接形成两个筒体的对接，使焊缝离开边缘应力较大的椭球边缘区域。虽然直径较大的椭圆形封头也需要由多块拼接，但其成型加工较半球形封头容易。

碟形封头是较椭圆形封头更趋于扁平的类似碟状的封头。它是由一个球面、过渡圆弧（即折边）和直边构成。这种封头由于其深度较浅，故成型较容易，尤其适于手工成型，土法上马。但用力学分析这种封头有明显的缺陷，而且各种材质和规格的椭圆形封头很容易买到或定做，因此目前很少采用碟形封头，绝大部分已被椭圆形封头代替。

锥形封头应用于化工生产工艺特殊需要的容器上。例如沉降器、分离器等。锥形封头锥顶角的大小可以根据需要选取。这种封头有带折边和不带折边之分。图2中的锥形封头就是锥顶角为 90° 的带折边封头，它是由圆锥体、过渡圆弧（即折边）和直边三部分构成。在实际应用中带折边的锥形封头多于不带折边的。

三、法兰及垫片

法兰是压力容器中最常用的可拆式联接结构。它是由一对法兰盘，中间加垫片，并由螺栓紧固对接起来，起到联接和密封的作用。它有较好的强度和密封性。

法兰有整体法兰、平焊法兰、活套法兰等三种形式（见图3）。这三种法兰在压力容器中都普遍采用，下面分别简要介绍如下：

整体法兰，又叫长颈法兰或高颈法兰。它带有锥形截面

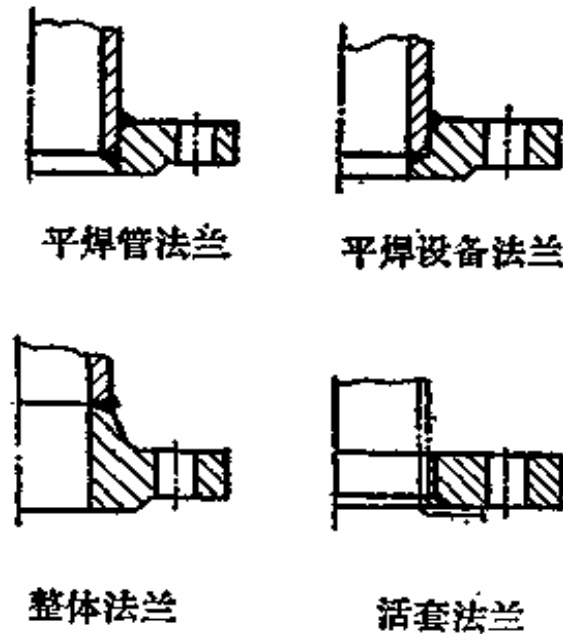


图3 常见法兰的结构

的颈脖，这就提高了法兰的强度和刚性。而且其与筒体（或管子）的联接采用对接焊缝，强度较好。故其适用于压力、温度较高的重要场合。

平焊法兰的结构简单，加工容易，但刚性较差，故多应用中、低压容器或管道上。

活套法兰的特点是法兰套在经翻边的管子或筒体的外面，形状简单，容易制造，便于装配，而且不会对筒壁或管壁产生附加弯曲应力。同时它可以用不同于容器或管道的材料制作，从而节约贵重金属材料，降低成本。例如，在不锈钢容器或管道上使用碳钢制活套法兰，就可以节约不锈钢。但这种法兰只适用于压力较低场合。

另外，螺纹法兰是属于活套法兰的一种派生形式，它是在法兰内孔壁加工好螺纹，然后与管子上的螺纹拧紧。此种

结构多用于高压管道。

用于中、低压容器或管道的法兰压紧面的形式，常有平面型、凹凸面型和榫槽面型三种（见图4）。

平面型压紧面为一光滑平面或在面上车制2—3道沟槽。这种压紧面结构简单，但垫片容易错位或被挤出，所以它常用于低压或无毒的场合。

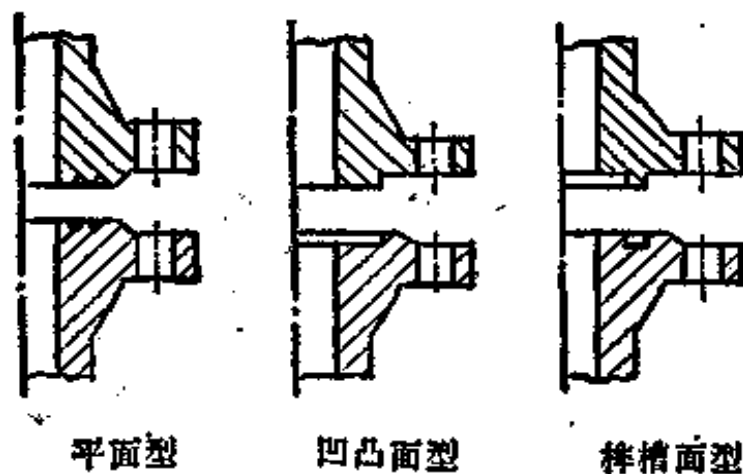


图4 中低压法兰密封压紧面的形状

凹凸型压紧面无平面型的缺点，垫片不会错位或被挤出，故可用于压力稍高处。

榫槽型压紧面虽然结构和制造较前两种复杂，更换和清理槽内垫片也比较麻烦，但其密封可靠，所以适用于易燃、易爆、有毒介质或压力较高容器的法兰。

对于高压容器来说，它的密封就不仅仅是一个压紧面所能解决的问题，而是普遍采用自紧式密封结构。这种结构主要是依靠容器内部的介质压力，在密封口产生必要的密封比压来达到密封的目的。高压容器的自紧密封有许多种，其中

双锥环密封是近年来国内应用较多的一种密封形式，它是依靠钢制双锥环在容器内的工作压力下产生径向弹性变形达到自紧，而起到密封作用的。

压力容器上使用的法兰，就其标准来说，共有两大类。一类是压力容器法兰即设备法兰，它是联接容器本身的。有些压力容器由于化工生产的要求或设备加工工艺的需要，不设计成筒体与封头直接焊接，而是用法兰联接起来。例如塔类设备的每节之间，都是用容器法兰联接起来的。另一类法兰是管法兰，即容器与外部管路相联接所用的法兰。例如容器接管上所使用的法兰。压力容器法兰和管法兰是属于两个标准系列的，一般情况下不能通用互换，应各自配对使用。

使用标准法兰，确定法兰尺寸时，必须知道法兰的公称直径与公称压力。对于在不同的工作压力和温度下使用的法兰，应按国家标准选取不同规格的法兰，以保证它有足够的强度和刚度。

法兰密封所使用的垫片，视容器（或管道）的压力、温度、介质腐蚀情况、法兰压紧面型式，并根据垫片材料的性质及适用温度范围而分别选用石棉胶板、胶、塑料、聚四氟乙烯、金属包垫（在石棉或石棉胶垫外包金属薄片）及金属等材质的垫片。

常用垫片的适用范围是：胶垫片的使用温度不要高于 120°C ；石棉胶板制垫片应使用在4.9兆帕即50公斤力/厘米²的压力以下，温度不高于 450°C （对水蒸气而言）或 350°C （对油类介质而言）的场合；对腐蚀性介质可选用耐酸石棉板、塑料或聚四氟乙烯垫片；缠绕式垫片适用于温度、压力有较大波动处；在高压条件下，可以采用铜、铝、

低碳钢、不锈钢等金属垫片。

四、容器的支座

容器的支座是起支承和固定容器作用的。它都是另行制作，然后焊接在容器上。容器的支座分为立式支座和卧式支座。图1中容器所使用的支座就是卧式支座，因其形状象马鞍形故称为卧式鞍形支座。对于小型卧式容器可以采用支腿，这是一种用钢管支承容器的简单结构。

立式容器的支座，有悬挂式和支承式两种（见图5）。这两种由钢板焊接而成的支座结构已经标准化。一般根据容

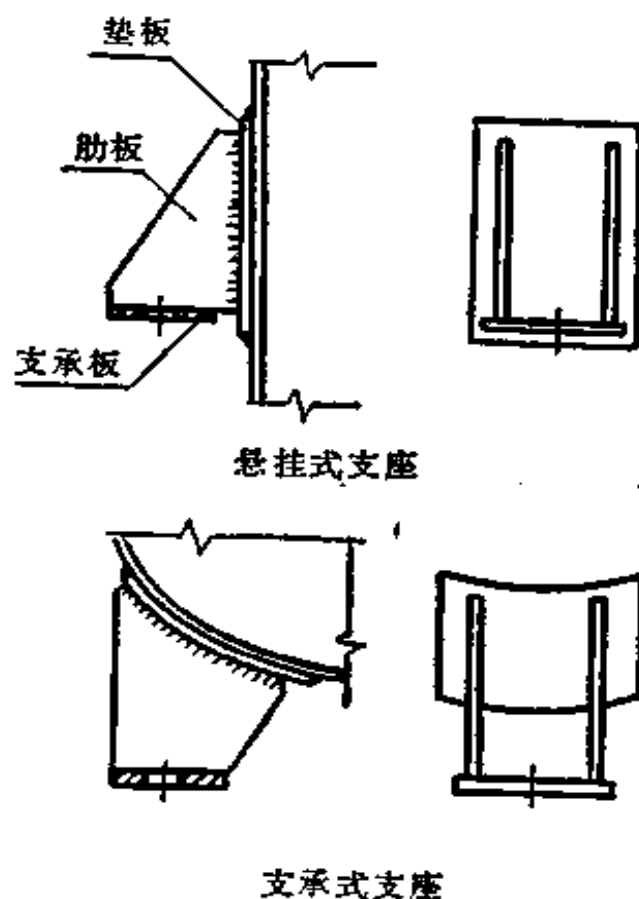


图5 立式容器的支座

器的总重量（包括物料的重量）及振动情况，选用适当规格的支座。对于器壁较薄的容器，在焊接支座时，需要在支座与器壁之间加衬一块垫板，以减少支承对器壁产生的局部压力，防止产生变形。对于高大直立的塔类设备，考虑到设备重量、振动、地震力和安装在室外的风载荷的影响，往往采用裙式支座。裙式支座是由钢板卷成一个筒节，然后焊在设备底部。

五、手孔与人孔

许多压力容器为了便于进行操作、安装内部结构、检查、修理等，在封头或筒体上开有手孔或人孔。其基本结构为一焊接在容器上的短圆筒（或短椭圆筒）并在上面盖上一盲板。手孔直径常取150~250毫米。人孔也大都采用圆形，因其加工制造要比椭圆形人孔简单。圆形人孔的直径一般不小于400毫米。有些容器在使用过程中需要经常打开手孔或人孔，这就需要采用快开式结构。图6为回转盖快开人孔的结构。

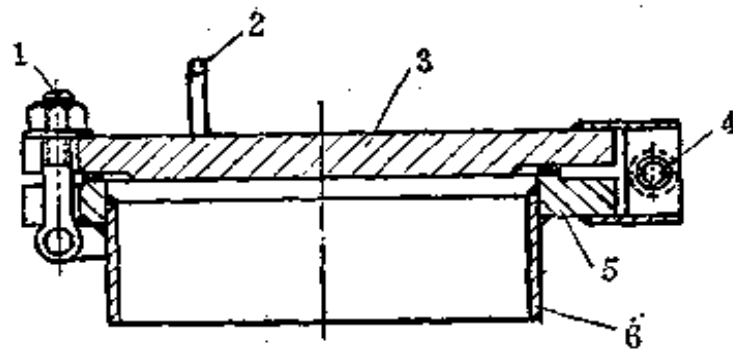


图6 回转盖快开人孔

1. 活节螺栓 2. 手柄 3. 人孔盖 4. 销子
5. 法兰 6. 人孔筒体

手孔和人孔的结构形式有多种，一般在设计容器时，可

根据容器的工作压力、温度、材质等情况查阅有关标准。

六、容器的补强结构

中、低压容器为了适应化工生产工艺上的需要，往往在筒体或封头上开孔并焊有各种接管，例如进、出料接管、液面计及其它备用接管，或焊接某些零部件，例如手孔、人孔、视镜等。

开孔的结果，不但会削弱容器壁的强度，而且会在开孔附近形成应力集中，其峰值应力通常达到容器中基本应力的数倍，加上接管上有时还有其他的外载荷，同时开孔处又不可避免地有缺陷（例如微裂纹和小缺口）和残余应力，于是开孔附近就往往成为容器的破坏源，引起容器的疲劳破裂或脆性破裂。因此，在容器的开孔附近要采取适当的补强措施，以使孔边的应力集中系数降低到材料所允许的数值。

补强的一般要求是，补强用的金属材料应与容器的材料相同，并应焊接在开孔与接管的联接部位，开孔处内外表面的棱角应修磨圆滑，补强件的焊缝必须保证焊接质量及焊缝尺寸要求等等。

补强的形式一般有贴板补强、接管补强和整锻件补强（见图7）。

贴板补强即在开孔周围贴焊补强圈。补强圈的厚度一般与壳体相同。为了获得良好的补强效果，补强圈与壳壁之间应很好地贴合，所有焊缝必须紧密焊接。为了便于焊后检查，可在补强圈上开小孔，并攻丝，以便通入压缩空气试漏。

贴板补强的结构简单，制造容易，有一定补强效果。但贴板补强的应力集中系数大于接管补强和整锻件补强，而且

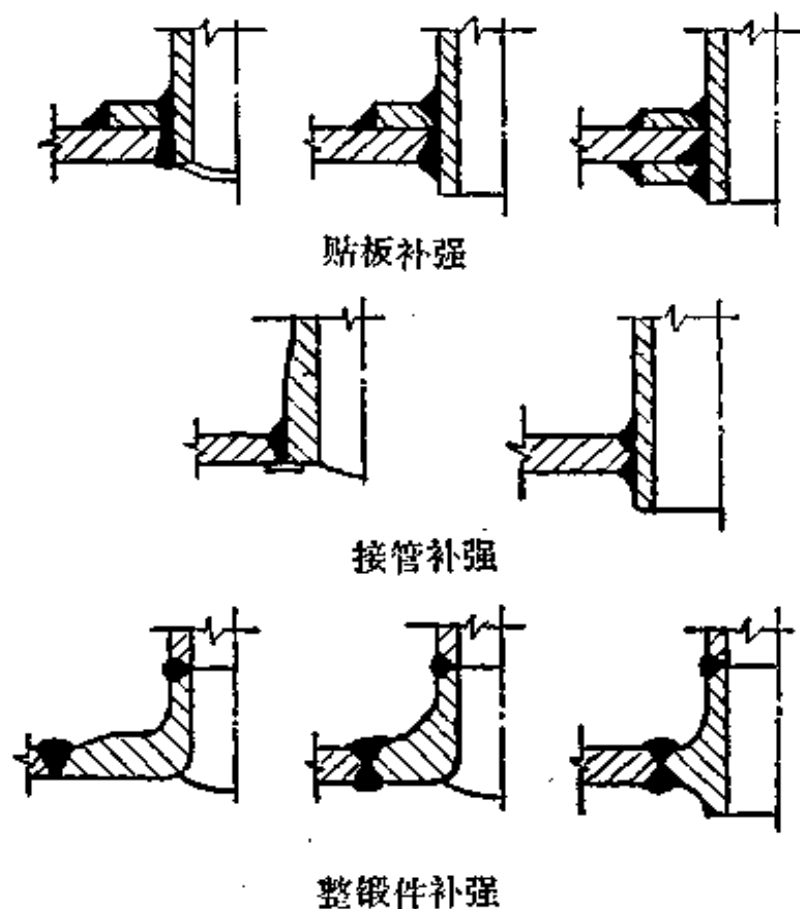


图7 补强结构

补强圈与壳壁之间不可避免地总会存在间隙，形成一薄层有静止空气的空间，对传热不利。并且贴板的搭接焊缝抗疲劳性能较差，补强后筒体的疲劳寿命仅为无孔筒体的70%。所以，贴板补强的形式常用于静压常温条件下的中、低压容器，而高温高压或压力波动范围大的容器，则不采用这种补强方式。

接管补强即在容器开孔处焊上一段加厚的接管。这段接管可用厚壁无缝钢管或钢板卷焊制做，它除承受管内压力所

需的壁厚外，还有较大的剩余厚度用来加强孔边，且加强部分正处于局部应力集中区，因而补强效果较好。

接管补强的结构简单，焊缝少，虽然与器壁焊接质量检查较难，但无贴板补强的其他缺点，故目前已被广泛采用。

整锻件补强是通过机加工制出整体补强锻件（结构如图7所示），然后以全焊透方法将其焊在壳体上。这种补强型式的补强金属集中在开孔应力最大的区域，应力集中系数小，并使焊缝及其热影响区离开最大应力集中点，所以补强效果也很好。但是，由于锻件加工量大，制造较麻烦，因此一般仅用于有严格要求的重要设备上。

以上三种补强面积大小的确定，目前通常采用等面积补强法，这是一种经验性的设计准则。其规定局部补强的金属截面积必须等于或大于开孔所减去的壳壁的截面积。

并不是所有的开孔都必须补强，我们也常见到一些低压容器较小直径的开孔接管部位没有补强结构。这是因为应力集中的局部性和由于容器实际选取钢板厚度，一般都大于计算壁厚，并在计算壁厚时考虑了焊缝系数，而使壁厚增加的原因，开孔附近的局部应力值可以有限度地超过壳体整体屈服的平均应力。一般允许开孔、接管处不另行补强的条件和范围，可查阅有关计算公式或规定。

七、压力容器结构上的要求

（一）强度：所谓强度是指容器或其零部件具有抵抗外力破坏的能力。压力容器在设计时要考虑到各种条件和因素，例如根据压力、温度、介质的腐蚀性以及容器的结构、体积等经过严格计算选取合适的材料及壁厚；在制造时执行严格的制造工艺规程，并认真地进行试压检验。这些都是为

了保证容器有足够的强度，使其不会在正常使用情况下发生爆破。但是，为了保证强度而盲目地增加壁厚是不合算的，因为这样不仅浪费材料，也会给加工制造带来不便。一般在设计时将各部件做成等强度，这样最省材料。有时故意将容器的一个部件的强度设计得特别低，当容器超负荷时，它会首先破裂泄压，从而保证整个容器的安全。例如容器上安装的防爆膜就起这个作用。

（二）刚度：所谓刚度是指容器或其零部件在外力作用下保持原来形状的能力。最常见的例子是某些受外压容器出现压瘪或折皱，或某些容器的部件在运输、安装、使用过程中出现变形，这些都是刚度不足的表现。

（三）耐久性：容器必须保持一定的使用年限。容器的壁厚除了要保证强度方面的要求外，还要考虑到介质对材料的腐蚀速率，有时还要考虑容器的疲劳及振动等条件。另外对容器的结构及制造工艺也要有一定要求，以保证容器能使用一定的期限。

（四）密封性：化工压力容器的密封性是十分重要的。容器密封的可靠性是保证安全生产的重要措施之一。因为化工生产中所使用的液体、气体有许多都是易燃、易爆和有毒的。如果这些气体或液体从容器中泄漏出来，不仅会造成损失和浪费，而且会造成周围环境的污染，给操作人员带来危害。另外有些气体的泄漏还会引起爆炸，造成重大事故。所以容器在设计、制造、安装、使用、检修时都不能忽视密封性问题。

化工压力容器除了应满足上述要求外，还应顾及到节约材料，便于制造，运输、安装、操作及维修的方便等等。

第四节 受力特点

容器在承受压力作用时，材料内部所产生的内力是很复杂的。这跟容器受内压还是受外压、容器的壁厚、材料特点、容器的结构形式、开孔部位、各部位焊接形式以及操作条件等因素有关。这里，为了从整体上分析容器的受力特点，我们仅从容器壁厚的角度来研究。从设计准则来看，厚壁圆筒和薄壁圆筒是不一样的。简单说来，薄壁容器的设计准则广泛采用无力矩理论，即由于容器的器壁较薄而把它简化成一薄膜，不考虑材料的内力矩。应用这种理论计算起来比较简单，而且计算结果也比较准确。而厚壁圆筒由于壁厚较大（有的高压容器壁厚达几百毫米），就不能把它看成薄膜，而要考虑材料的内力矩，情况就复杂多了。这里要说明的是，所谓厚壁筒和薄壁筒并不是压力容器的分类方法，而是为了便于分析容器受力特点而引入的概念。下面分别按厚壁容器、薄壁容器和外压容器来介绍其受力特点。

一、厚壁圆筒

容器壁的厚薄是相对而言的。高压和超高压容器因其承受较高压力，故筒壁较厚。惯用的分法如果是壁厚超过筒直径的 $1/10$ ，则被称为厚壁筒。反之，则称为薄壁筒。

厚壁的高压和超高压容器往往是化工生产中的关键设备。由于容器的内压、容器的体积、容器内的温度及介质种类等诸项因素，它一旦发生爆炸事故，危害极大。所以容器从设计制造到使用维修均有极严格的要求。

一台由韧性较好的钢材制成的整体式厚壁筒，在承受逐

渐增加的内压过程中，必然会经历弹性阶段、筒体部分屈服阶段（仅为内壁面屈服）、整体屈服（沿壁厚全部屈服）、材料硬化、筒体过度变形直至爆破等几个阶段。其中筒体壁整体屈服时的内压力即为极限压力，或称爆破压力。

为了均化筒壁应力分布，在保证厚壁筒的强度和安全的条件下，作到减少壁厚、节约材料、降低成本，设计、制造厚壁筒时广泛地采用预应力的方法。使厚壁筒内产生预应力的方法有两种，一种是高压容器的自增强，即将单层厚壁容器在制造时进行内部加压处理。此压力一般超过容器操作时的压力，使筒体内层屈服并产生塑性变形，而容器的外层仍为弹性状态。保持此压力一段时间后卸压。此时，内层受到外层企图复原的压缩作用而产生压应力，而外层又由于受到内层塑性区残余变形的阻挡不能完全恢复而产生拉应力。当容器在正常工作而受内压时，内压所引起的应力与器壁内的预应力相叠加，致使应力最大的内壁应力值降低，沿壁厚方向的应力分布均匀化。采用此种预应力的方法，可以提高容器承载的弹性范围。这种提高筒体强度的方法称为“自增强”。

使厚壁圆筒产生预应力的另一种是多层复合的方法。例如多层热套和多层包扎的方法。以双层热套厚壁圆筒为例，它是由内、外两层圆筒组成，在常温下两层圆筒未套合前，外层圆筒的内半径小于内层圆筒的外半径。装配时，将外层圆筒加热使其膨胀，直到其内径大于内圆筒外径时，将其套在内圆筒外。冷却后，外筒收缩，这时内筒受到外筒的压缩应力，外筒则受到拉伸应力。当容器制成后并投入使用承受内压时，由内压所引起的应力与套合时的预应力相叠

加。这样，内筒材料的应力有所降低，而且沿整个壁厚的应力分布也趋于均匀。

以上两种高压容器的预应力处理方法，就是根据厚壁圆筒的受力特点所采取的提高承压能力的措施。许多高压、超高压容器在制造时采用此种处理方法。

其他厚壁圆筒的制造方法，例如多层包扎式、绕带式、绕板式等等，也都是利用预应力的方法提高厚壁圆筒弹性承载能力，使容器壁面材料受力更均匀更合理。

二、薄壁容器

中、低压容器一般壁厚不大，其壁厚与容器内直径之比大都小于 $1/10$ ，故归属于薄壁容器范围。

薄壁容器就其受力特点来说，按无力矩理论（设计薄壁压力容器的基础）分析薄壁筒的结果是周向应力（或称环向应力）为经向应力（或称轴向应力）的两倍。周向应变为经向应变的四倍。由此看来，筒体的周向较弱，按爆破试验所观察到的结果可知筒体直径明显胀大，爆破大都是沿经向开裂。一般地说，筒体的轴向焊缝是爆破的位置。

根据力学方面分析，薄壁容器的封头在直径、壁厚和工作压力相同的条件下，半球形封头的应力最小，沿经线是均匀分布的。而椭圆形封头沿经线各点的应力是变化的，顶点处应力最大，但其与厚度相同的筒体联接时，与筒体强度近似相等。

从受力分析中可知，碟形封头的最大缺点是具有较小的折边半径。这一折边区的存在使得封头的经线不连续，以致使该处产生较大的经向弯曲应力和周向压应力。当折边半径与筒体半径比值愈小时，折边区的这些应力就愈大，因而有

可能发生周向裂纹，也有可能出现周向折皱。所以，小折边的碟形封头实际上并不适用于压力容器。

锥形封头在化工容器中之所以采用，并非因为其在力学上有很大优点，而是为了适应生产工艺的需要。例如锥形封头有利于沉降和排料等。锥形封头从受力特点来分析，锥顶尖部强度很高。故在锥顶尖开孔一般不需要补强。

平盖也是化工设备常用的一类端盖。经过计算，使用平盖做为端盖的压力容器在承受内压时，平盖内产生的最大应力比壳体大得多。因此，在同样的工作压力下，如果采用平盖就比采用凸形封头所需的壁厚要大得多。但由于平盖制造简单，在压力不大、直径较小的容器中，用起来比较方便，但需注意计算厚度的准确和与筒体角焊的焊接形式和检查。在高压容器中由于端盖很厚，而且直径一般不大，要制成凸形封头是比较困难的，故普遍采用平盖。

三、外压容器

在化工生产中，除了受内压的容器外，还有不少承受外压的容器。例如真空罐、减压蒸馏塔等。对带有夹层加热或冷却的反应器，当夹层中介质的压力高于容器内介质的压力时，也构成一种外压容器（这里要注意夹层如果符合本书第一节所述压力容器的条件，则其同时也视为内压容器）。即只要壳体外部压力大于壳体内部压力的容器均称为外压容器。

外压容器在某一外压作用下，壳体失去了稳定性，这种现象称之为失稳现象。因此，保证壳体的稳定性是外压容器能够正常操作的必要条件。容器失稳时，壳体的横断面由原来的圆形被压瘪而呈现波形。此时容器所受的压力称为该容

器的临界压力。容器被压瘪后，从外形就可以看出波数可能是两个、三个、四个……（如图8所示）。当容器的外压力低于临界压力时，壳体也可能发生变形，但在压力卸除后壳体立即恢复其原来形状；而当外压超过临界压力时，所产生的变形是永久变形，即使在压力卸除后，壳体也不能恢复其原来的形状。

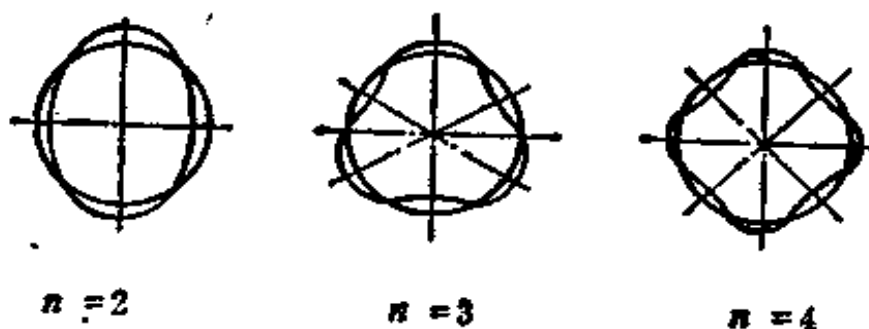


图8 圆筒形壳体失去稳定后的形状

应该指出，稳定性的破坏并不是由于壳体存在椭圆度或材料不均匀所致。因为即使壳体的形状很匀称，材料也十分均匀，当外力达到一定数值时，也会产生失稳现象。但壳体的椭圆度及材料的不均匀，能使其临界压力的数值降低，即在更低的外压力下就会产生折皱。

要想提高外压容器的临界压力即提高容器的稳定性，用增加设备壁厚的方法是不合算的。合理的方法是在圆筒的外部或内部装几个加强圈，以提高圆筒的刚度。如果容器是由不锈钢或其他贵重有色金属制成的，在其圆筒外部环向设置几个用角钢、槽钢或工字钢等制成的加强圈，就可以在不增加壁厚的情况下提高容器的许用外压，降低贵重金属的消耗量。因此，加强圈的结构是很有经济意义的。并且，这种结构在外压圆筒上应用得相当广泛。筒体与加强圈的联接可视

具体情况采用焊接、铆接等联接形式。

第五节 材 料

化工压力容器所使用的金属材料主要有普通碳素钢、低合金钢、特殊性能钢等。所有制造压力容器的材料都应具备以下几方面特性：

一、机械性能：材料的机械性能包括机械强度、弹性强度及硬度等。

机械强度主要是指材料的强度极限 σ_b 和屈服极限 σ_s （此两个概念请见本书名词解释部分）。材料的机械强度随其热处理情况及工作温度的不同而有所变化，故容器在使用时温度波动范围是设计选材时所要考虑的重要条件。

弹性强度是稳定性计算的主要依据。故在选用材料时应考虑材料的延伸率（衡量材料塑性的指标）、弹性模量及截面收缩率等。

硬度是指材料对局部塑性变形的抵抗能力。金属材料中常用的是布氏硬度HB和洛氏硬度HR。有些材料虽然硬度极限很高，但延伸率很小。这样的材料是不能用来制造压力容器的，用这种材料制造的压力容器极易发生破裂事故。

二、耐腐蚀性能：化工生产中所处理的物料大多数是有腐蚀性的物质。因此，容器所选用的材料必须具有良好的耐腐蚀性能，以保证容器的安全。

三、物理性能：材料的物理性能包括重度、导热系数、比热、熔点、线膨胀系数等。不同的工作条件对容器的材料有不同的物理性能方面的要求。

四、制造工艺性能：材料的制造工艺性能是很重要的。一般选择容器材料时，要考虑到可焊性、可铸性、可锻性、切削加工性、热处理性能以及冲压性能等。对不同的容器和制造工艺、所选择的材料应具有不同的性能。

从制造压力容器的材料来看，普通碳素钢具有适当的强度和塑性，加工容易，价格低廉，故常用来制造介质为非剧毒、压力温度无大波动的中、低压容器。常用的普通碳素钢有A3g、A3R、20g等牌号（g——代表锅炉用的钢板，R——代表压力容器用钢板）。此类钢中硫和磷杂质的含量一般不超过0.055%和0.045%。因为硫的含量过高，会导致材料在高温轧制或锻造时出现裂纹，即“热脆”现象。而磷的含量过高，会使钢材的塑性及韧性在低温下显著降低，即“冷脆”现象。

普通低合金钢是在普通碳素钢的基础上加入少量的金属元素。例如在A₃g及A₃R中加入1%左右的锰，并使材料中硅的含量在0.5%左右，就可以提高钢材的强度、耐腐蚀性能、低温性能和焊接性能。因此，采用普通低合金钢代替碳素钢来制造压力容器，可以取用较薄的壁厚。从而大大降低设备重量，节约了材料。最常用的普通低合金钢有16Mng和16MnR等。一定含量的Mn、Mo、Cr等元素的低合金钢，机械性能可得到进一步提高，可以做为高压、超高压容器用钢，例如20CrMog、18MnMoNb等材料。

对于某些由于介质的腐蚀性而不适于使用碳钢材料的容器，也可选用合适的低合金钢材料来制造或加做衬里，以达到防腐效果。例如在含碳量 $\leq 0.15\%$ 的碳钢中加入18%的铬，9~10%的镍和0.8%的钛，组成1Cr18Ni9Ti不锈钢，

可得到良好的耐腐蚀性能、耐热性能、低温和高温机械性能及焊接性能。

对于特殊条件下使用的容器，例如低温容器或高温容器，一般也不宜使用碳钢，而应视不同情况分别选用合适的低温用钢（例如锰钢或锰钒钢），或耐热钢（例如钼钢或铬钼钢）。

总之，由于化工生产的条件是多种多样的，所以需要根据具体情况合理选用材料，否则是很危险的。例如容器内介质为氢气，同时操作条件是高温、高压，在这种条件下，氢气对碳钢的应力腐蚀是严重的，氢渗入碳钢内部，使碳钢产生裂纹和鼓包。而且愈是含碳量高的材料，应力腐蚀也就愈严重。对于此类加氢反应器就不能选用碳钢，而应选用铬钼合金钢来制造。

第六节 压力容器的安全附件

为了防止压力容器由于超压而发生破裂事故，除了避免操作失误及杜绝或减少可能引起容器产生超压的客观因素以外，还必须在压力容器上安装安全泄压装置。

安全泄压装置是防止压力容器超压的一种保护装置。它具有这样的性能：当容器在正常工作压力下运行时，保持严密不漏，而一旦容器内压力超过规定的数值时，它就行自行将容器内气体迅速泄放，使容器内的压力始终保持在最高许用压力范围之内。

安全泄压装置不仅能在超过其预定的压力下开启排放，从而降低容器的压力，还能起到报警的作用。因为当它在开

放排气时，由于气体流速较高，常常发出较大的声音，能提醒操作人员注意，采取适当措施。

压力容器的安全装置使用最广泛的有安全阀和防爆膜。下面分别介绍一下它们的结构：

一、安全阀

最常用的安全阀是弹簧式安全阀。弹簧式安全阀利用压缩弹簧的力来平衡作用在阀瓣上的力。螺旋圈形弹簧的压缩量可以通过转动它上面的调整螺母来调节。利用这种结构就

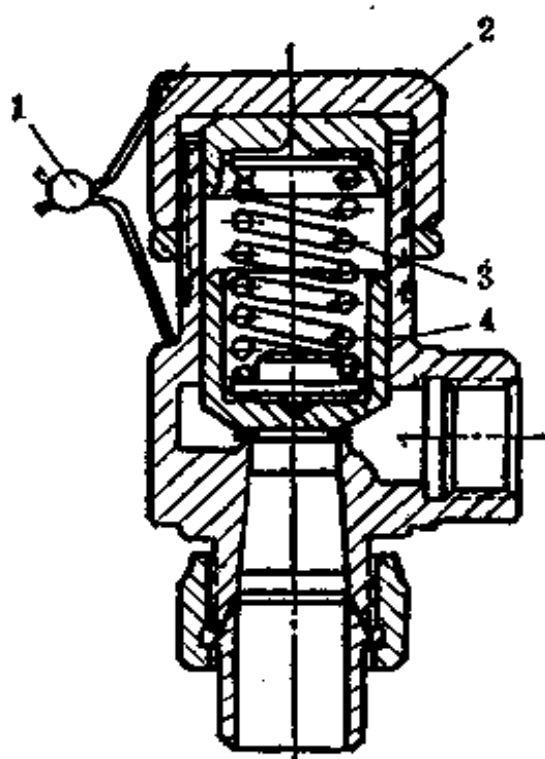


图9 弹簧式安全阀

1. 铅封 2. 调节螺母
3. 弹簧 4. 阀瓣

可以根据需要来校正安全阀的开启压力。弹簧式安全阀的结构见图9。这种安全阀具有结构简单，灵敏度比较高，安装位置不受严格限制等优点，而且对振动的敏感性低，所以可用在移动式压力容器上。其缺点是所加的载荷会随着阀的开启而发生变化。因此随着阀瓣的升高，弹簧的压缩量增大，作用在阀瓣上的力也跟着增加。这对于安全阀的开启是不利的。另外，安装在高温压力容器上的安全阀，由于长期受高温的作用，其弹簧

力减小，使安全阀的正常工作受到影响。

因为安全阀的主要参数是排泄量，并且排泄量的大小取

决于阀座的口径和阀瓣的开启高度。所以，就阀瓣的开启高度而言，弹簧式安全阀又分为微启式和全启式。上面介绍的就是微启式安全阀。这种安全阀开启高度一般为阀座直径的 $1/15\sim 1/20$ ，它适用于排量不大、要求不高的场合。

全启式安全阀则是利用气体的膨胀冲力，使阀瓣的最大开启高度达到阀孔直径的 $1/4\sim 1/3$ 。这是一种性能较好的带上下调节圈的全启式弹簧安全阀。这种安全阀的优点是灵敏度较高，气量大的高压容器常采用此种安全阀。

杠杆式安全阀不采用弹簧装置，而是利用重锤和杠杆来平衡作用在阀瓣上的力。这种安全阀有结构笨重和由于振动而产生泄漏现象等缺点，故目前较少采用。

脉冲式安全阀结构复杂，在化工压力容器上用得很少，一般只适用于泄放量很大的大型电站的锅炉等。

二、防爆膜

防爆膜也称为爆破片，是一种断裂型的安全泄压装置。它是利用在一定压力下使防爆膜破裂，以达到泄压的目的。由于在防爆膜破裂之后，容器不得不停止运行，所以这种安全装置只适于在不宜装设安全阀的压力容器中使用。

防爆膜的结构很简单，但制造时要求甚为严格。它是由一块特制的薄膜片和一对夹盘组成。其主要参数有膜片直径、厚度、材料等。防爆膜的材料主要有铝、铜、不锈钢、低碳钢以及硬质塑料等。

防爆膜从设计到使用，要先后经过实际爆破试验和按批抽样检验等程序。在防爆膜的制造过程中，对同批防爆膜的化学成分、热处理条件、加工方法及加工精度都有严格的要求和规定，以确保膜的质量，使其在规定的范围内爆破。

第七节 容器的压力试验

容器在制成以后或者修理（指涉及强度或结构方面的修理，例如焊接、热处理等）完毕，都要进行压力试验，以检验容器的耐压情况和密封性，确定其是否可以投入使用。

耐压试验要根据容器的设计规定，分别进行液压试验或气压试验。其中气压试验很少使用，除非原设计中有明确规定，才允许进行。

一、液压试验

在进行液压试验时，先在容器内灌满液体（一般用水），然后用试压泵加压。用水做加压介质的压力试验称为水压试验。

相比之下，水压试验要比气压试验危险性小得多。这是因为压缩一定容积的气体至某一压力所需要的功（等于气体的膨胀功），要比压缩同样体积的液体至相同压力时大得多。也就是说，相同体积、相同压力的气体爆炸时所释放的能量，要比液体大得多。故规定绝大部分的压力容器都使用液压试验。

进行水压试验的水温及环境温度，不得低于材料的无塑性转变温度，且不应低于 5°C 。液压试验的压力见表1。

液压试验开始时，只有待容器壁温与液体温度相同之后，才可缓慢升压。达到规定的试验压力之后，需保持10~30分钟，然后降到设计压力并至少保持30分钟。同时对容器整体及所有的焊缝及联接部位进行检查，以无异常响声、压力下降、油漆剥落、无渗漏现象和可见的变形为合格。

表1 液压试验压力

容器种类	试验压力 P_T , 千帕
内压容器	1.25 P , 不宜小于 $P+0.8$ 即 $(P+1)$ 公斤力/厘米 ²
外压容器: 带夹套	夹套内的试验压力按1.25 P
不带夹套	以1.5 P 作内压试验
真空容器	以196千帕即2公斤力/厘米 ² 作内压试验

注: P 为设计压力

立式容器卧置进行液压试验时, 试验压力应为立置时的试验压力加液柱静压力。

在容器内的压力超过工作压力以后, 试验人员最好不要靠近容器, 以免容器爆破伤人。

二、气压试验

容器在进行气压试验以前, 要反复、全面地查阅有关图纸文件。确属必须进行气压试验的容器, 要有可靠的安全措施, 并经制造单位技术负责人和安全部门检查批准后, 方可进行。

关于气压试验的压力, 对低压容器取设计压力的1.2倍, 对中压容器取设计压力的1.15倍。气压试验一般采用干燥、洁净的空气、氮气或其他惰性气体, 且气体温度不低于15°C。

试验时, 应先缓慢升压至规定试验压力的10%, 保持10分钟, 同时对所有的焊缝和联接部位进行初步检查。合格后继续升压至规定试验压力的50%, 其后按每级为规定试验压力的10%的级差逐级升至试验压力, 保持10~30分钟, 然后降到设计压力至少保持30分钟, 同时进行各项检查。

为了保证安全, 无论是液压或气压试验, 都应装两块经

过检验的压力表。对气压试验的容器，应在试验前对焊缝进行100%的探伤，并全面检查容器质量。

由于压力试验只能反映容器的宏观缺陷，而且试验是在常温下短时间内进行的。因此，不能只依靠上述试验来判断一个历史不清的现成容器能否保证安全使用。必要时，至少要经过验证性液压试验。

验证性液压试验的方法是先按现有壁厚估算容器的允许工作压力，并按工作压力推导出试验压力。然后在容器表面贴电阻应变片(测量应力与应变关系的元件)，并以试验压力的10%逐级升压，记录出应变仪的读数。达到试验压力时，保持30分钟。若应变与容器内压力保持直线关系，证明材料未达到屈服极限，尚在弹性范围以内，则该容器可以用于估算的工作压力。如在试验过程中，应变与应力不是直线关系，说明材料组织已发生变化，应立刻停止升压，然后根据失去线性前的最高工作压力，通过计算来确定容器的工作压力(计算公式从略)。

第二章 压力容器的破坏简介

要保证压力容器的安全，最重要的是要防止它在使用中发生破裂。因为压力容器在承压过程中发生爆破，会造成相当大的危害。要想有效地防止压力容器发生破裂事故，就必须了解容器破坏的各种形式、产生破裂的原因及其规律。为使压力容器的操作和维修人员掌握有关容器爆破的知识，提高分析和处理异常情况的技能，现把容器的五种不同形式的破裂分别介绍如下：

第一节 韧性破裂

一、压力容器的韧性破裂

压力容器的韧性破裂是在容器受到一定的内压力作用下，先出现不能恢复其原来形状的塑性变形，并在继续增大压力的情况下而产生的破裂。也就是说，容器承受的压力先超过材料的屈服极限，使材料的组织发生变化，然后在更大的压力下，达到或超过材料的强度极限而断裂。它的断裂先后经过了弹性阶段、屈服阶段、强化阶段和最后的断裂。这种属于因外力过大而使材料断裂的情况，这种情况往往在水压试验中能明显地看到。例如对一台壁厚明显减薄的旧容器进行水压试验，当容器内的压力升到某一数值时，虽然水泵仍在继续往容器内送水，但压力表的数值却静止不动，甚至

有稍微下降的现象。这就说明容器的体积在变大，材料已不在弹性限度以内，并已出现塑性变形。此时应立即泄压。如果继续增压，容器就会发生韧性破裂，造成事故。

二、韧性破裂的特点及预防途径

发生韧性破裂的容器，在其承受的压力、变形程度、断裂口的特点及破裂的情况，有以下特点：

容器的破裂是在较高的应力下发生的，压力超过了容器允许承受的数值。即容器内的压力先后超过最高工作压力、设计压力而达到了容器爆破的压力。容器在较高应力水平下破裂时，它的实际爆破压力往往与计算的爆破压力的数值接近。

观察发生破裂的容器，可知由于容器在爆破之前发生了大量的变形，故容器的直径明显地增大，器壁明显减薄。发生韧性破裂的容器一般无碎片飞出，只是裂开一个口，口的大小与容器爆破时所释放的能量有关。对于在液压试验中出现的韧性破裂，由于液体的可压缩性极小，因此容器的裂口也比较窄，最大的裂口也不会超过半径。容器由于内部气体压力急骤升高而引起的破裂，裂口就比较宽。

既然容器发生韧性破裂是由于超压而引起的，那么容器在试压和使用过程中就应该严禁超压，要严格按照有关规定进行压力试验与操作。同时，也应按规定安装合适的安全泄压装置，并保证其灵敏可靠。与此同时，也要加强对容器的维护与检查，发现器壁腐蚀、减薄、变形应立即停止使用。

第二节 脆性破裂

一、压力容器的脆性破裂

压力容器的爆破事故，并不是都属于上节所述的韧性破裂的范围。有很多压力容器在试验或使用过程中，并没有达到规定的压力，即在正常的压力范围内，在没有发现有塑性变形的情况下突然发生爆炸。例如1970年我国某厂首次用70毫米厚的合金钢试制了一台内径为900毫米的高压容器，设计压力为40.2兆帕，即410公斤力/厘米²，经过常规检查后，进行了水压试验。当压力升到50兆帕，即510公斤力/厘米²时（按规定试验压力应达到51兆帕，即520公斤力/厘米²），就突然爆炸，容器破裂成四大块。经过验证，容器在爆破压力下器壁的应力远低于材料的屈服极限。又如1962年1月我国某化肥厂的水洗塔（直径2.2米、高21米、壁厚44毫米）在正常操作下突然爆炸，整个容器碎裂成数十块，其中一块重1040公斤，飞出127米远，当场死伤十余人。经检查，塔内根本无可燃气体，而且根据破裂的碎片来看，容器并没有出现塑性变形。类似这种实例，国内外有很多。

由于此种破裂的形式与脆性材料的破裂很相似，即出现许多碎片，所以我们把这种低于材料的屈服极限，更低于强度极限时发生的爆炸称为脆性破裂。

虽然材料由韧性状态转变为脆性状态而发生脆性断裂，与容器在低温度下使用有一定关系（因为钢是具有冷脆性的）。但是，事实证明，有许多容器的脆性破裂并不是在低温下发生的。所以，低温并不是容器发生脆性破裂的唯一因素。

本世纪五十年代发展起来的一门新兴的学科——断裂力学不仅能圆满地解释常规设计所不能解释的低应力断裂事故，而且也为了避免这类事故的发生指明了方向。

断裂力学认为，构件材料并不是绝对均匀和连续的，总

难免存在微裂纹（对于其他缺陷，如夹渣、气孔、未焊透、大块杂物等也作为裂纹来看待），而这些裂纹的失稳扩展就导致了构件的破坏。所谓失稳扩展就是带有宏观裂纹的材料或构件受到外力作用时，裂纹尖端附近区域就产生应力应变集中效应。当此区域的应力应变达到一定数值，超过材料的负荷极限时，裂纹就迅速扩展，致使整个物件发生突然断裂。

二、脆性破裂的特点及预防途径

从上面介绍的情况可以看出，脆性破裂的特点与韧性破裂恰恰相反。首先是脆性破裂的容器并无塑性变形，器壁也没有减薄，爆破是在材料还处在弹性阶段中发生的，即出现在容器正常操作或进行水压试验的过程中。而且脆性破裂的容器不象韧性破裂那样仅仅是一个裂口，而是出现许多碎块，即使是在水压试验时也是如此。这是因为微裂纹的失稳扩展是在一瞬间发生的，而容器内的压力又无法通过一个裂口释放，故容器裂成许多碎片。另外，由于温度对材料韧性的影响，容器发生脆性破裂的可能性在低温度时要大一些。故容器在温度较低或温度突变时发生脆性破裂的事例相对较多。

鉴于脆性破裂的原因和特点，为了减少其发生的可能性，最主要的是选择缺陷较少、韧性适当的材料。

这里要说明的是，虽然所有的材料都或多或少地存在着微裂纹等缺陷，但并不是说所有的容器都会发生脆性破裂。因为压力容器是否会发生脆性破裂与材料性能指标、微裂纹尺寸的大小，容器所承受的压力、容器的结构是否合理等许多因素有关。所以压力容器的脆性破裂就选料来讲，只要

根据操作条件按照设计规范正确选用材料，是不会出问题的。

防止脆性破裂除了避免在选材时出现差错之外，在容器的结构设计方面应尽量减少应力集中，并要采取适当的措施消除残余应力，例如在焊接较厚的容器时，要在焊后进行消除残余应力的热处理。

此外，容器在制成以后，要认真地按规定进行宏观检查和无损探伤检查。

第三节 疲劳破裂

一、压力容器的疲劳破裂

压力容器的疲劳破裂是由于容器在频繁的加压、卸压使用过程中，材料受到交变应力的作用，经长期使用后所导致的容器破裂。此种破裂称为疲劳破裂。

所谓交变应力就是外加应力（工作应力）随时间的周期性变化的应力，也称为疲劳应力。容器在承压和卸压状态下，器壁所受的应力不同，而且可能相差很大，即也受到疲劳应力的作用。不过容器在使用过程中加压、排压重复的频率不快，所以材料所承受的是所谓低周疲劳应力。

经过长期研究，人们找到了容器发生疲劳破裂的真正原因：在交变应力的作用下，容器较高应力的部位会产生细微的裂纹等缺陷，并在裂纹的两端形成高度的应力集中。由于应力集中存在，使微裂纹逐渐扩大。同时，由于应力继续不断地交变，在裂纹扩大到一定程度后，如果载荷达到一定数值，或碰到冲击或振动时，容器就会沿着裂纹产生破裂。

二、疲劳破裂的特点及预防途径

实践证明，长期处在交变应力下工作的容器，虽然其最大工作应力低于材料的屈服极限，也会出现突然破裂，造成严重事故。而且即使是使用塑性较好的材料来制造压力容器，在长期交变应力作用下也会发生破裂。

疲劳破裂就其破裂的形式来讲与脆性破裂有所不同，容器不是破裂成碎片，而通常是开裂一个裂口。而其承受的应力在破裂时并没有超过材料的屈服极限，器壁没有减薄的特征，这与脆性破裂相同。

由于疲劳破裂是在容器经过多次反复的加压、卸压后发生的，所以疲劳裂纹从产生、扩展到断裂的发展是比较缓慢的。疲劳破裂的全过程要比脆性破裂长得多。

疲劳破裂的位置往往是在容器存在高度应力集中的部位，例如容器的接管处等等。

根据疲劳破裂产生的机理及特点，要防止疲劳破裂主要是在设计中尽量减少应力集中，采用合理的结构及制造工艺。同时，在使用中也应尽量减少不必要的加压、卸压或超过规定的压力波动及温度波动。

第四节 腐蚀破裂

一、腐蚀简介

根据金属被腐蚀的形式，可以分成全面腐蚀(均匀腐蚀)和局部腐蚀两大类。局部腐蚀又称为非均匀腐蚀，包括区域腐蚀、点腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀及腐蚀疲劳等。均匀腐蚀、点腐蚀及间接腐蚀的形式见图10。下面对上述几种腐蚀

做一简单介绍:

(一) 全面腐蚀: 全面腐蚀又称为均匀腐蚀。其特点是腐蚀作用均匀地发生在整个金属表面。这种腐蚀使容器的壁厚逐渐减薄, 但对材料内部未被腐蚀金属的机械强度不会产生影响。由于这种腐蚀发生在材料表面, 所以比较容易被发现。而且对于接触有腐蚀性介质的容器, 在设计时一般都考虑到腐蚀裕度, 即根据容器预计使用年限和介质对材料的腐蚀速率, 除强度计算所需厚度外, 另加一定量的壁厚, 以保证容器不致在使用期限内, 由于均匀腐蚀减薄壁厚而出现强度不够的现象。因此, 均匀腐蚀相对来讲是危险性最小的一种腐蚀, 在正常使用下由于均匀腐蚀而造成容器破坏是非常少见的。

(二) 点腐蚀、区域腐蚀: 点腐蚀是指构件表面受到点状腐蚀。点腐蚀的形状有的呈深坑状, 有的是较密的斑点。局部深坑腐蚀严重时会导致器壁产生穿透性的孔, 而使容器破坏。这是因为在深坑的周围产生较高的局部应力, 如果容器承受的是反复交变载荷, 也有可能产生疲劳破坏。

点腐蚀也有均匀腐蚀的特征, 即从外观上比较容易被发现, 特别是大面积密集的点腐蚀。另外在没有出现点腐蚀的部位, 材料仍然保持原来的机械强度。

区域腐蚀与点腐蚀的区别只是在于腐蚀的均匀强度不同。

虽然对压力容器的爆破事故来说, 点腐蚀、区域腐蚀不是常见的原因, 但也绝不能麻痹, 要根据腐蚀的程度采取适当的措施。

(三) 晶间腐蚀: 晶体腐蚀发生在材料内金属晶粒 (金

属是由金属晶体组成的。在晶体中，原子都按一定的次序作有规则的排列)的边缘上，腐蚀沿晶粒边缘向深处发展，使晶粒间的连接遭到破坏，材料的强度及塑性几乎完全消失。这样即使在很小的外力作用下，材料也会被破坏。晶间腐蚀从材料的外表不易被发现，材料的厚度也没有变薄，材料的破坏是突然发生的，因而这是最危险的一种腐蚀。

在压力容器中，晶间腐蚀常发生在用不锈钢制做的容器中，因为在黑色金属中，只有不锈钢会发生晶间腐蚀。

晶间腐蚀发生的位置，大都是在容器的焊缝处。因为不锈钢的晶间腐蚀倾向受加热温度和加热时间两个因素的影响。焊缝附近达到 $400\sim 850^{\circ}\text{C}$ 重复加热，并经过长时间停留后，则材料内部晶界处因不能抵抗介质的腐蚀作用而发生晶间腐蚀。

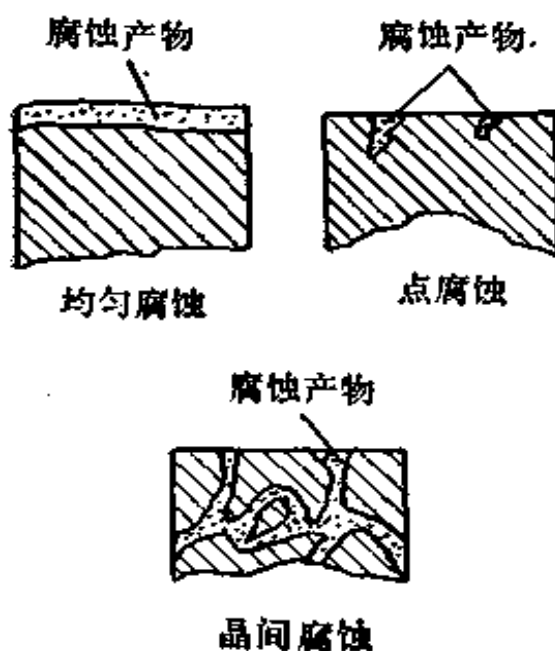


图10 腐蚀破坏的形式

(四) 应力腐蚀: 应力腐蚀是指金属材料在应力(指拉应力)和腐蚀性介质联合作用下产生的一种腐蚀。这种腐蚀使金属产生裂纹，导致容器突然破裂。

受应力腐蚀的容器，一方面受腐蚀介质的影响，表面形成缺口，产生应力集中，另一方面又在拉应力的作用下，使腐蚀向深处发展，使材料在低于其强度极限时断裂。

由于化工压力容器大都受到某种介质的腐蚀，并且在承受内压时，器壁又受到拉应力的作用，故大多数容器都受到应力腐蚀的作用。应力腐蚀常在未被发现的情况下使容器突然破坏，特别是在容器的开口接管等存在不同程度应力集中的部位。故对压力容器来讲，这也是最危险的一种腐蚀破坏。

(五) 腐蚀疲劳：金属材料在交变应力和腐蚀介质共同作用下的破坏叫做腐蚀疲劳。这种作用要比单独一种作用危害要大得多。由于腐蚀疲劳的作用，容器在腐蚀介质下，表面出现裂纹等缺陷并引起应力集中，同时又在容器加压、卸压的交变拉伸作用下，使裂纹扩展，最后导致容器破裂。

由于腐蚀疲劳而发生破坏的容器，常常是在低于材料疲劳极限的情况下出现，其原因是由于腐蚀而造成的。

二、腐蚀破裂的特点及预防途径

从以上介绍的腐蚀破裂形式来看，在压力容器中最常见、最危险的是应力腐蚀破坏。

由于应力腐蚀而造成容器破坏的例子很多，其中较为典型的是钢制容器的氢脆。在常温、常压下氢气对碳钢无明显腐蚀，但在高温、高压下则腐蚀相当严重，结果使材料的机械强度和塑性显著下降，直至容器被破坏，这种现象叫氢脆。

氢脆是由于氢气与钢材中的渗碳体在晶界上起化学作用而产生的。这种作用使晶界变宽，使材料产生裂纹或鼓包，材料的机械性能严重下降。氢脆引起的容器破坏属于脆性破坏，因而是相当危险的，特别是处在高压条件下，这种腐蚀会造成灾难性的破坏。

由于应力腐蚀主要与材料的成分、容器的应力状态和腐蚀介质有关，故在设计容器和选择容器的材料时要全面考

虑。对于腐蚀性介质可以选用耐腐蚀材料，也可以采用金属或非金属衬里结构。例如对上述氢脆现象，就可以选用铬钼合金钢代替碳钢来制作加氢反应器，来避免应力腐蚀。另外，容器在设计时应尽量避免应力集中，在制造时也要采取适当的措施消除残余应力等。

第五节 蠕变破裂

一、压力容器的蠕变破裂

金属材料在长期的高温下受到拉应力的作用，尽管拉应力小于材料的屈服极限，材料也会产生缓慢的塑性变形，我们把这种变形叫蠕变。

这里要注意的是，容器只有同时处在高温（对碳钢来说 400°C 以上，对低合金钢来说是 450°C 以上）较长时间的塑性变形积累和受拉应力这三个条件才会发生蠕变。发生蠕变的容器体积变大，器壁明显减薄，最后导致容器的破裂。这种由材料蠕变而使容器发生的破裂称为蠕变破裂。

二、蠕变破裂的特点及预防途径

容器的蠕变破裂相对而言是比较少见的。因为工作温度在 400°C 以上的容器，所占比例较小。另外，蠕变破裂一般发生在容器的某个部件，例如接管等部位。并且，蠕变破裂部位的材料都有明显地减薄。

为了防止容器蠕变破裂的发生，在选材和结构设计时都需要慎重考虑，特别要注意高温容器的材料选择。在制造容器时，要避免使用降低材料抗蠕变性能的方法。在使用容器时也应注意避免超温及局部过热的现象。

第三章 压力容器的安全使用及维修

对于第一线的压力容器的操作和维修人员来说，容器的强度在设计和制造方面是可以不必担心的，因为压力容器，特别是高压或超高压容器都是经过严格、准确地计算和校核，在制造时都有严格的工艺规程控制，并有科学的试验和检查手段，以保证容器的安全。但是，这并不意味着压力容器是绝对安全的，如果使用和维修不按操作规程或违反有关规定而蛮干，则压力容器随时都有爆炸的可能。

对于一个压力容器的操作人员来说，决不是仅仅会开阀门，会看压力表就算是会操作了。如果操作人员不懂得自己工作岗位的重要性，不掌握压力容器的操作规程，不知道自己所使用的压力容器的基本结构和特性，不了解容器内介质的物理、化学特性和有可能出现的问题，不知道如何使用和维护压力容器的安全附件及如何处理紧急情况等等，都有可能造成事故的发生，危及国家财产和人民生命安全。

同样，对于压力容器的维修人员来说，一切违反规定的检查或修理也都可能导致事故的发生。因此，正确地维修对压力容器来说，也同样是非常重要的。

每一台压力容器的操作方法和程序，都是由该岗位生产工艺的需要来确定的，其形式和条款也各不相同。但是其安全操作、维修和检查的基本原理和规定则是一样的。为了使压力容器的操作和维修工作更合理、更正确，使压力容器的

安全运行有更可靠的保证，现就有关使用和维修的各项规定及方法介绍如下：

第一节 了解设备、熟悉操作条件

操作人员在正式上岗操作之前，应该对自己所使用的压力容器有比较全面的了解，做到心中有数。这样，不仅有利于正确地操作，同时也有利于发现问题并及时进行处理。操作人员应了解和熟悉的问题有以下几个方面：

一、设备的来源及历史

要了解设备的生产厂家，设备出厂年月及已经使用的时间，如果设备是旧的，应了解设备的使用情况和历史，例如设备的腐蚀状况、是否进行过修理、修理的部位与方法，以及技术检验的结论等。对于历史不清楚的旧压力容器，不能仅仅按设备铭牌标示的压力和温度使用，而要提请有关技术人员警惕，在进行认真地、全面地检查和强度校核后方可使用。

二、掌握设备的基本数据及结构

操作人员应该对自己所使用的压力容器的最高工作压力、最高工作温度、允许温度波动范围、容器的材质（用来制造容器的材料）及其特点、容器的容积及外形尺寸、内部基本结构、容器的安全附件等有全面了解。不掌握以上基本知识，安全操作压力容器是不可能的。

三、熟悉操作工艺条件

操作人员应该对容器内介质的物理、化学性质有所了解。特别是容器内物料的反应条件、反应方程式、各种物料

的成分和含量也应该掌握。容器内的有毒有害物质万一泄漏出来时，所应该采取的措施和处理方法。对于容器内化学反应有可能出现的异常现象，也应该有思想准备。

第二节 安全装置的安装及调节

压力容器的安全装置，例如安全阀、压力表、防爆膜等是防止压力容器发生超压、爆炸事故的关键装置。合理地进行选用、安装、调节、定期检查、校验等才能保证安全装置的灵敏可靠，才能真正起到保护压力容器的作用。

属于下列情况之一的容器，必须装有安全阀(或防爆膜)和压力表：

(一) 生产过程中，可能因物料的化学反应使其内压增加的容器；

(二) 盛装液化气体的容器；

(三) 压力来源处没有安全阀和压力表的容器；

(四) 最高工作压力小于压力来源处压力的容器；

(五) 由于容器内介质(如粘性大、腐蚀、有毒)等原因，安全阀不能可靠地工作时，应装设防爆膜来代替安全阀，或采用防爆膜与安全阀共存的重叠式结构。

对于安全装置的选用安装与调节分别叙述如下：

一、安全阀的选用、安装及调节

压力容器的安全阀应由容器设计或使用单位的技术人员经过计算确定。正确计算及合理选用安全阀，对容器的安全是非常重要的。如果容器的安全阀选用不当，就有可能在容器超压的情况下不能及时、有效地排泄压力，致使容器发生

爆炸事故。对于容器的操作和维修人员来说，了解安全阀在选用时的依据和注意事项，对正确使用、维修及更新安全阀也是有利的。

安全阀在其结构形式确定以后（结构形式的分类及适用范围已在第一章第五节中叙述），选择它的规格是非常重要的。其一是安全阀工作压力的范围应与容器相适应，即不能在高压容器上安装强行将弹簧压缩了的工作压力低的安全阀，也不能在低压容器上安装较高压力范围的安全阀。因为这样安装的安全阀不能在正常状态下工作，也无法保证在规定的压力下开启。其二是安全阀的排气能力必须大于容器的安全泄放量（泄放量应进行计算），即不能小于容器的进气量或最大蒸发量，只有具有适当大小排气口径的安全阀，才能迅速将容器内的压力降至工作压力，以尽量减小超压幅度和超压时间，确保容器安全。

安全阀的安装应注意以下问题：

（一）安全阀应竖直安装，以保证安全阀工作的可靠性和在关闭时的严密性。所谓竖直安装指安全阀的阀瓣做上下运动来达到启闭作用。同时要避免把安全阀安装在容器内液面可能达到的位置以下，否则就有可能达不到排放气体迅速泄压的目的。安全阀一般都直接装在容器的接管上，容器与安全阀之间不得装有任何阀门。但对于盛装易燃、易爆、有毒或粘性介质的容器，为了便于安全阀的更换、清洗，可在容器与安全阀之间装有截止阀。截止阀的结构和通经尺寸应不妨碍安全阀的正常工作，在运行时截止阀必须保持全开，并加铅封。

（二）容器最高工作压力低于压力来源处压力时，在通

向容器进口的管道上应装置减压阀。在减压阀的低压侧都应安装安全阀和压力表。如果介质影响减压阀可靠地工作时，可用调节阀代替减压阀。

安全阀在安装使用之前都应进行校验和调整。对于重要的或中、高压容器上使用的安全阀，应先在专用的气体试验台上校正其开启压力是否在铭牌标示的范围之内。如有误差，可调节杠杆式安全阀重锤的位置或弹簧式安全阀弹簧的压缩量。然后才能安装在容器上进行调整，调整安全阀的开启压力为容器最高工作压力的1.05~1.10倍（调整时容器上的压力表要准确、可靠），并且安全阀应开启迅速、排气通畅、无振动或其他噪音。当恢复到工作压力的能自行关闭并保持严密不漏时，即可认为调节完毕。校验和调整时，必须有主管容器的技术人员在场。

安全阀在校验和调整时，要把有可能使开启压力发生变化的松动部件紧固好，并加铅封后再投入使用。

二、压力表的选用及安装

（一）低压容器上装设的压力表，精度不应低于2.5级，对中压以上容器则不得低于1.5级（压力表的精度等级在出厂检验证上均有标注）。

（二）压力表的表盘刻度极限值，应为容器最高工作压力的1.5~3倍，最好取2倍。为了提醒操作人员的注意，压力表刻度盘上应划有红线，指出容器最高工作压力。

（三）压力表盘直径不能太小（一般不小于100毫米）。装设压力表的位置应便于操作人员观察，且应避免受到热辐射、冻结及振动的影响。

（四）压力表与容器之间应装有三通旋塞或针型阀，并

有开启标记，以便校对与更换。盛装蒸汽的容器，在压力表与容器之间应有存水弯管。盛装高温或强腐蚀性介质的容器，在压力表与容器之间应有隔离缓冲装置。

(五) 未经检验合格和无铅封的压力表均不准使用。在使用过程中如发现压力表指示失灵、刻度不清、表盘玻璃破裂、卸压后指针不回零位、铅封损坏等情况，均应立即更换。

三、防爆膜的使用要求与注意事项

对于某些不适于安装安全阀的压力容器，可以使用防爆膜。这些容器需具有以下特点：

(一) 工作介质为不洁净气体的压力容器，如果使用安全阀就有可能被异物堵塞或粘住阀体通道，致使安全阀失效，不能按规定的压力开启。

(二) 由于物料的化学反应，使容器内的压力增加较快、较大的，也应安装防爆膜。这是因为容器内压力增加时，使用安全阀一般难以及时泄放压力，故使用防爆膜更为安全。

(三) 工作介质为剧毒气体的压力容器，也要使用防爆膜。因为对安全阀来说，微量泄漏是难免的，长期运行积累的剧毒气体也是相当可观的，这对于环境保护、改善操作条件均是不利的。

在安装和使用防爆膜时须注意以下问题：

(一) 防爆膜都是为特定的容器和特定压力、介质设计和制造的，所以不同容器之间的防爆膜一般都不能互换，只能用在指定的容器上。

(二) 对盛装易燃、有毒、剧毒介质的容器，应在安全

阀或防爆膜的排放口装设放空导管，并引至安全地点，以免介质喷溢出伤人。

(三) 防爆膜应定期更换，每年至少一次。对于超压而未爆破的防爆膜应立即更换。

(四) 防爆膜的设计爆破压力应比容器的最高工作压力高一些，以免压力稍有波动，防爆膜就破裂泄压，从而影响容器的正常运行。但防爆膜的爆破压力绝对不能大于容器的设计压力。

虽然防爆膜在设计时都经过了严格的计算，制造时也很精确，但为了确保安全，对于每一批防爆膜都要经过抽样试验后才能正式投入使用。此项工作必须在主管容器安全的技术人员监督下进行。

第三节 操作注意事项

从一些事故的统计资料来看，有不少压力容器的爆破是由于操作失误而引起的。例如，误将压力容器的出口阀门关闭，而继续向容器内输入气体，致使容器内压力愈来愈高，加上安全泄压装置失效，结果引起爆破事故。或者由于操作人员开错阀门，使高压气体进入容器或其他介质进入容器引起其他化学反应，使容器内温度、压力急骤升高而引起爆炸。由此可见，压力容器的正确使用是防止事故发生的关键。故在此介绍一下操作压力容器所要注意的问题：

一、所有的操作工在初次上岗操作之前，都要经过有关部门的考核，应当了解他们对压力容器知识、安全知识、岗位操作程序、操作法以及一般排除故障技能的掌握情况，只

有当他们达到要求的水平后，方能上岗操作。

二、操作人员在压力容器运行过程中，应坚守岗位，注意观察容器内介质反应情况，压力、温度的变化及有无其他异常等情况，切忌脱岗。因为许多容器随着内部介质的反应及其他条件的影响，往往会出现异常情况。这就需要操作人员及时进行调整和处理，以满足工艺要求，并保证容器安全。否则，就有可能在操作人员脱岗的时间内，容器内压力升高，而又无人处理，最后导致事故的发生。

三、压力容器的操作岗位都必须有明确的操作程序或操作法。这是由有关技术人员根据生产工艺要求和容器特点而制定的。操作人员应严格按照规定的程序操作，不得私自修改或变更。同时在一些关键岗位上，可采用挂牌的方法，上面注明阀门的开闭方向、开闭状态、注意事项等。

四、有一些压力容器的爆炸事故是由于所使用介质条件的改变（误加入其他介质，使用物料含量不合格或含有其他物质）而引起的。例如1976年4月某农药厂试制新产品时，由于对所使用的原料没有明确的规定要求，使用了含水分较多的原料，容器内发生了意外的化学反应，造成容器内压力骤然升高，从而发生爆炸，伤亡惨重。因此，压力容器的安全也与操作条件和生产工艺规程有关，对一些介质要有严格的化验和计量制度，以避免上述事故的发生。

五、压力容器在使用过程中无论是加压、升温、降温等速度都不易过快，应该缓慢进行。因为过高的加载速度，会使容器存在微小缺陷区域的材料韧性降低，容易引起脆性破裂。容器的急骤升温、降温也容易使容器产生过大的热应力。所以，尽可能平稳地加压、升温、降温对容器的安全是

有利的。

六、压力容器严禁超压运行。因为在超过设计压力以后，就有可能发生材料的塑性变形，压力继续升高就会导致容器的韧性破裂。所以，杜绝压力容器超压运行，是操作人员的一项重要的工作职责。

七、压力容器严禁超温运行。因为制造压力容器用材的各种机械性能与其所处的温度有密切的关系。在高温条件下，金属材料在小于屈服极限的应力时，也会发生塑性变形。在低温下钢会由韧性状态转变为脆性状态。压力容器在设计时已将温度的因素考虑进去，故在允许的温度变化幅度范围内是不会出问题的。但如果使用的温度超出设计范围，容器破坏的可能性会大大增加。

八、严禁在压力容器内进行各种未经小型试验的放大试验，或随意改变操作工艺条件，例如添加其他物料、加压、升温等。所有工艺不成熟的操作都可能引起意外事故的发生。

九、压力容器承压过程中不得松动任何零部件或打开人孔、手孔等。即使是容器内压力不高，这样做也容易造成人身事故。这是因为容器内压力高于外界压力，一旦有松动或开口，容器内气体就会喷出。如果是高温或有毒介质就有可能发生工伤。另外，如果容器内有液体，在有压力的情况下液体沸点升高，容器内的液体虽然温度很高，但也不可能不沸腾，当突然打开手孔或人孔时，压力急聚下降，液体沸点降低，就会出现剧烈地沸腾现象，并可能溢出伤人。所以，一定要待容器内压力完全卸除后，才能打开或松动各种部件。

第四节 紧急情况处理

一旦容器在运行中出现紧急异常情况，例如：压力和温度急骤上升而超过规定数值，安全阀或防爆膜在规定的压力下没有开启排气或爆破，容器的零部件突然断裂引起泄漏，容器在使用中出现鼓包、变形等。只要在岗操作人员立即采取紧急措施，是完全可能转危为安，避免事故发生的。反之，容器一出现特殊情况就惊慌失措，不采取任何措施，放下容器不管而逃之夭夭，则容器的情况就会恶化并导致事故的发生。

虽然压力容器的特殊情况有多种多样，但只要做到细心操作，多注意观察，不脱离岗位，熟练地掌握操作规程和反应原理，控制反应的条件等，就可以逐步做到遇到问题沉着，判断问题正确，处理问题果断，压力容器的安全就有了更可靠的保证。

容器的特殊情况与介质、容器本身、生产工艺等方面条件有关，而且形式也都互不相同。但可以归纳为几个方面，下面针对这几个方面的异常现象及应采取的措施介绍如下：

一、温度急骤升高，超过生产工艺条件所规定的范围或接近该容器允许的最高工作温度。此种情况的发生与容器内介质反应情况、加热或升温的操作、设备情况及其他因素出现异常有关。遇此情况应分别采取停止进料、停止加热、部分出料、冷却等方法控制容器内温度的继续升高。

二、压力上升，超过安全阀或防爆膜开启或爆破的压力

而没有泄压时，应在工艺要求允许的条件下采取开启泄压阀门、停止继续加压、停止进料、停止升温、冷却降温等措施。并待容器使用完后，立即由有关人员更换安全附件，以防再度发生类似事件。

三、容器的某一部件损坏、焊缝开裂而发生泄漏或容器产生变形时，应立即停止使用。即采取卸压或出料等措施，以防事态进一步恶化。这样做，不仅能防止和避免容器的爆炸事故，也能避免由于容器内的有毒介质继续大量泄漏而造成更大的危害。同时也需立即报告有关人员进行现场检查和处理。

四、容器附近发生火灾，又不能及时扑灭，可能危及容器的安全时，也必须立即采用泄压出料停止运行的措施，以防止由于火灾的高温引起容器的事故。

操作人员在处理紧急情况的同时，应立即与有关技术人员取得联系，以便更有效地控制险情，避免发生更大的事故。在紧急情况处理完以后要查明原因，总结经验，并进行书面记录。

第五节 维 护

加强压力容器的维护工作，是延长设备使用寿命，防止在运行中发生事故的一项重要措施。压力容器的维护工作，管理人员要管，检修人员要管，操作人员也要管，只有大家都重视并做好这项工作，使压力容器经常处于完好状态，安全生产才会有更可靠的保证。

容器的维护主要应做好以下几项工作：

一、在使用中应注意维护容器外部的防锈漆及内部衬里（如衬橡胶、搪玻璃等），它们是防止容器外部或内部受腐蚀的重要手段，应当注意不得用锋利、坚硬的工具随意撞击、敲打容器的外部与衬里。如发现衬里出现鼓包、裂纹、剥离等现象，应及时报告主管容器的技术人员。

二、压力容器的安全附件是防止容器超压的重要附件。乱拧、敲打、振动安全装置，都可能使它们失灵或不准确，影响安全附件的正常工作，导致事故的发生。当然，更不能将安全装置任意拆下或封闭不用。

三、压力容器的各个零部件应完好无损，并应防止产生“跑、冒、滴、漏”现象。“跑、冒、滴、漏”不仅浪费原料，污染环境，恶化操作条件，而且还会局部腐蚀设备，引起破坏事故的发生。特别是对有毒的或有腐蚀性的介质更应重视。

四、对于长期或临时停止使用的压力容器也应注意维护。要将容器内残存的介质清除干净，特别是腐蚀性介质，要经过排放、置换、清洗等技术处理，防止容器的“死角”中积存腐蚀介质。另外，容器内应保持干燥，并防止防腐层的破坏。因为长期的湿空气作用，不但会加速钢的腐蚀，也会使容器内已有的缺陷逐步扩展。

第六节 检 查

对压力容器只有严格执行定期检查制度，才能发现异常和隐患，从而采取有效措施，保证容器的安全。容器的检查是指在容器的设计使用期限内，每隔一定的时间，使用各种检查

手段和方法，对容器的各承压部件和安全装置进行检查或作必要的试验，查找容器的缺陷和问题。

由于压力容器多受到高温或腐蚀介质的影响，或经受频繁的加压或卸压，加之材料本身的缺陷及容器制造、焊接、安装误差等因素，随着使用时间的延长，其不安全隐患愈来愈多。如果没有严格的检查制度，压力容器就有可能在使用中突然发生事故。所以，压力容器的定期检查是非常必要的。

从事检验工作的人员，需经当地劳动部门考核批准。检验单位对容器进行检验，应由设备技术人员、主管容器的安全技术人员和检验人员共同进行。对于第三类容器的全面检验，应有当地劳动部门或劳动部门授权的代表参加。

容器的定期检验，按规定分为外部检查，内外部检验和全面检验。

容器的外部检查内容包括容器的防腐层、保温层及设备铭牌是否完好；容器外表面有无裂纹、变形、局部过热等不正常现象；容器的接管焊缝、受压元件等有无泄漏；安全附件是否齐全、灵敏、可靠；容器的紧固螺栓是否完好；基础有无下沉、倾斜等异常现象。以上内容对压力容器的操作人员和修理人员来说，也要经常甚至每班都要进行检查，发现异常现象，应及时报告有关人员。

容器的内外部检验，除了包括外部检查的内容外，还要检查容器的内部表面；开孔接管处有无介质的腐蚀或冲刷磨损等现象；容器的所有焊缝、封头过渡区域和其他应力集中的部位有无断裂或裂纹。有衬里的容器，要检查衬里是否有凸起、开裂及其他损坏现象，高压或超高压容器的主要紧固

螺栓应逐个进行外形宏观检查。如发现容器内外表面有腐蚀现象时，应及时测量壁厚。对有些由于温度、压力、介质腐蚀的作用，而有可能引起金属材料金相组织或连续性破坏的部位，还应进行金相检查和表面硬度测定。

容器全面检验的内容，除了包括外部检查和内外部检验的全部内容之外，对主要焊缝要进行无损探伤或超声波抽查，容器检验合格后要按规定进行耐压试验。

容器检验周期，应根据容器的技术状况和使用条件，由使用单位确定，但至少每年要进行一次外部检查，每三年至少进行一次内外部检验，每六年至少进行一次全面检验。

第七节 修 理

压力容器的修理，必须在使用单位技术人员的同意和组织下，按现行技术规范和制造技术文件，制定具体施工方案和工艺要求谨慎进行。对于第二、三类容器的修理方案要经厂技术总负责人批准。第三类容器的修理，还应报上级主管部门和当地劳动部门备案。

压力容器的修理应注意以下几个问题：

一、容器内部必须清洗干净，对有毒、有害、易燃、易爆气体必须进行彻底排除。容器与其他有危险气体或液体设备的连接管道，不能只采用关闭阀门的办法，而要加设盲板，以防阀门不严密而发生渗漏。容器检修过程中，设备人孔处要有人监护。对于带搅拌装置的设备，在人进入前，一定要先切断电源或摘除传动皮带。

二、在检修压力容器的零部件时，一定要在容器完全卸

除压力后进行，绝对不可以带压修理、紧固或敲打零部件。例如，当压力容器的视镜玻璃处的垫圈渗漏时，如果带压紧固，视镜玻璃就会破碎并飞出伤人。而且在容器承压时，如果有剧烈振动、撞击、敲打，就有可能使应力集中部位的微裂纹等缺陷迅速扩展，并发生破裂事故。

三、压力容器不得任意使用电焊、气焊进行焊接或切割，也不得任意进行热处理。对必须动火修理的设备，除按规定程序和要求执行外，参加修理的焊工需经劳动部门考核批准。未经考核批准的焊工不得焊接压力容器。动火修理后应进行试压检验，合格后方可投入使用。

四、进入容器内部检验或修理时，照明灯应使用不超过36伏的安全电压，电源电压超过36伏的检验仪器或修理用具等，必须可靠的接地。

五、压力容器内部检修完毕，应对内部进行彻底清理，特别要注意防止容器内残存可以与工作介质发生化学反应或引起腐蚀的物质，例如氧气容器中的残油，氯气容器中残留的水分和湿气等。

六、在更换容器的防爆膜时，应注意不要与其他容器的防爆膜搞混，更不允许用其他薄膜代替。即使是同样材质、同样厚度的材料，也不能做为防爆膜用在压力容器上。因为未经准确计算、特殊制造、严格检验和抽样试验检查的防爆膜，根本不能保证在规定的压力下破裂，无法保证容器的安全。

七、安全阀在更换时不能随意更换规格。直接在容器上调整未经校验的安全阀也是不安全的。

第八节 使用记录和安全操作规程

一、压力容器的使用记录

容器的使用记录，由管理人员或操作人员如实填写，并妥善保管。当容器调出原使用单位时，记录应与容器一同交给新单位。容器的使用记录主要包括以下内容：

(一) 容器的实际操作条件。包括操作压力、操作温度、工作介质、压力及温度的波动范围，间歇操作周期、工作介质的特性（对容器是否有腐蚀作用和在下什么条件下可能有腐蚀作用）等。

(二) 容器的使用情况。包括开始使用日期、每次开、停日期及变更使用条件的记录等。

(三) 容器的检查或修理情况记录。包括每次检查的日期、内容、结果、水压试验情况，以及发现有何缺陷或异常，容器的检修情况、检修部位、内容及修理人员名称等。

二、安全操作规程

为了保证容器的合理使用，防止因蛮干或盲目操作而发生事故，应根据生产工艺要求和容器的技术性能，由压力容器使用单位制定出该容器的安全操作规程。操作人员应严格按照操作规程操作。安全操作规程应包括以下内容：

(一) 容器的正确操作方法。

(二) 容器的最高工作压力和温度。

(三) 开、停车的操作程序和注意事项。

(四) 容器运行中的检查项目和部位，可能出现的异常现象及判断方法和应采取的紧急措施。

（五）容器停用时的维护和检查。

压力容器的登记表、登记卡片、压力容器的检查修理记录、检验鉴定登记表等均有统一格式，详见“压力容器安全监察规程”附件8~11。

名 词 解 释

一、绝对压、表压与真空度的关系

一个标准大气压等于760毫米汞柱。它的意义是一个标准大气压比绝对零压（即绝对真空下）高760毫米汞柱所形成的压强。凡是用绝对零压作起点计算的压强，称为绝对压。

如果流体的压强比当地当时的大气压高，则这部分高出的压强为表压（压力表所指示的值）。表压力只是表明容器中的压力比它周围的大气压力大多少，所以是一个相对值。在压力容器中所指的压力（压强）均指表压。

所以， 表压 = 绝对压 - 大气压

或者， 绝对压 = 大气压 + 表压

如果流体的压强低于当地的大气压，为真空或负压状态，则低于大气压的部分称为真空度。此时，容器中气体的真空度为大气压与绝对压的差值， 即：

真空度 = 大气压 - 绝对压

或者： 绝对压 = 大气压 - 真空度

大气压强的数值不是固定不变的，它是由大气温度、湿度和所在地区的海拔高度而定。因此，大气压强应以当时当地气

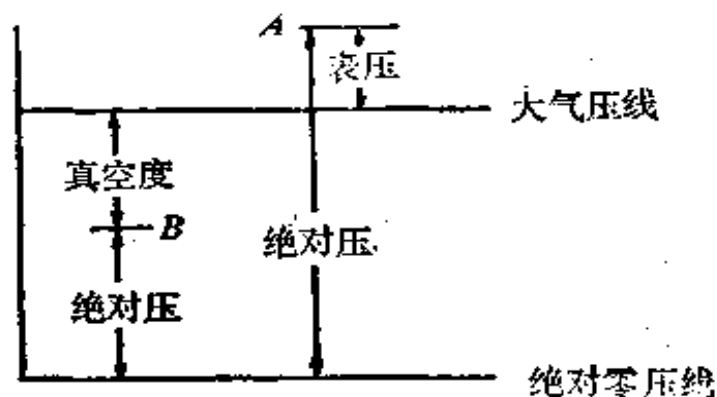


图11 绝对压、表压与真空度的关系

计压上的读数为准。因此在表示该体的压强时，要分清并注明是绝对压、压表或真空度。图11示出绝对压、表压与真空度的关系。

二、最高工作压力与设计压力的区别

最高工作压力是指容器内部在工作时可能产生的最高表压力。而设计压力则是在相应的设计温度下，用以确定壳壁计算厚度及其他零部件尺寸的压力。设计压力通常略高于最高工作压力。当液体静压力相对较大时（例如超过最高工作压力的5%），设计压力中也需将静压力考虑进去。某些容器还将重力、风力、地震力等载荷及温度差影响也考虑进去。

压力容器在使用时不得超过最高工作压力，安全装置在调节时也应应以最高工作压力为准。设计压力与最高工作压力的关系见表2。

表2 设计压力与最高工作压力的关系

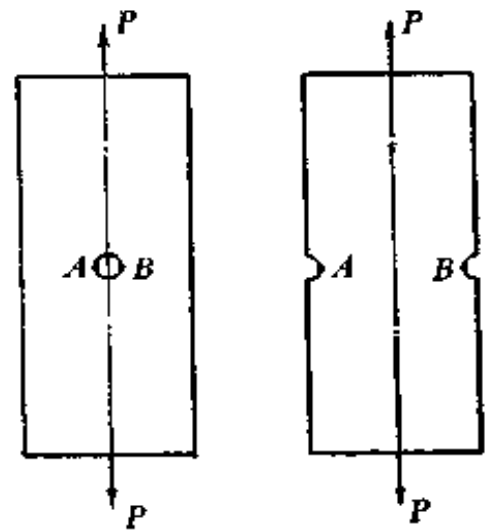
情 况	设计压力(P)取值
1. 容器上装有安全泄放装置	取安全泄放装置的初始起跳压力。
2. 单个容器不装安全泄放装置	取略高于最高工作压力。
3. 容器内是爆炸性介质	根据介质特性、气相容积、爆炸前的瞬时压力、防爆膜的破坏压力及堆放面积等因素作特殊考虑 [$\leq (1.15 \sim 1.30) P_{T_{max}}$]
4. 装有液化气体的容器	根据容器内的充装系数和可能达到的最高温度确定。
5. 外压容器	取略大于可能产生的内外最大压力差。
6. 真空容器	取98千帕 即1公斤力/厘米 ² ；当有安全控制时，取1.25倍的内外最大压力差或98千帕两者中较小值。

注：P_工为最高工作压力。

三、应力和应力集中

一个物体或一个零部件在受到外力作用时，例如受到拉力时，就一定会发生变形。当然，有时变形非常小，以致用眼睛观察不到。由于变形，物体内部各部分之间，因相对位置改变而引起的相互作用，就形成内力。即有外力就有内力，这种内力随外力的增加而加大，到达某一限度时就会引起构件的破坏。我们把内力集度即每单位面积上的内力称为应力。

实验和理论分析表明，在零件或构件尺寸突然改变的横截面上，应力并不是均匀分布的。例如开有圆孔和带有切口的板条（见图12），当其受轴向拉伸时，在圆孔和切口附近的局部区域内，应力的数值大大增加，而在离开这一区域稍远的地方，应力迅速降低而趋于均匀。这种由于外形突然变化而引起局部应力急剧增大的现象称为应力集中。



A、B点为应力集中

图12 带圆孔、切口板条的应力集中

在构件的应力超过材料所允许的应力值时应力集中部位就有可能首先开裂。

四、材料的强度极限和屈服极限

要说明材料的强度极限和屈服极限，就要以试件两端的拉力和长度变化量之间的关系图来说明。通常采用的试件是特制的低碳钢细杆类零件。在试验机上，杆两端的拉力逐渐加大并指示出杆的伸长量，即可画出拉力 P 与在事先标定的一

段杆长 l 被拉长的量 Δl 之间的关系图,即 $P-\Delta l$ 曲线(见图13)。从曲线上可以看出,一开始外力 P 从零加至较大时 Δl 变化很小,即曲线上 ob 段,此段为材料的弹性范围。 a 、 b 两点分别为弹性极限和比例极限,在工程上这两点并不严格区分。在

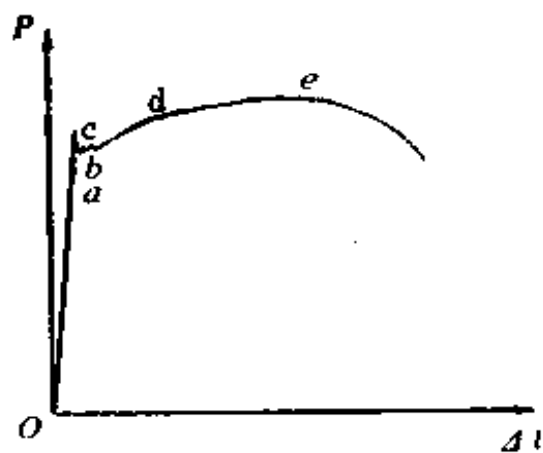


图13 $P-\Delta l$ 曲线

弹性范围内,外力卸除后杆件仍能恢复原来的长度。从 bc 段曲线可以看出在外力变化不大的情况下,长度变化量 Δl 有较大变化,这种现象叫屈服或流动。屈服阶段内的最低应力称为屈服极限或流动极限,用 σ_s 表示。材料达到屈服极限时,将出现显

著的塑性变形。这对于压力容器来说,这是很危险的。

对试件继续增大拉力,过了屈服阶段后,材料又恢复了一定的抵抗变形的能力。从 $P-\Delta l$ 图可以看出,从 c 点到 e 点 Δl 的增大是在外力 P 加大情况下才出现的。即要使材料继续变形,必须增加拉力,这种现象称为材料的强化。强化阶段中的最高点 e 所对应的应力是材料所能承受的最大应力,称为强度极限用 σ_b 表示。

屈服极限和强度极限是衡量材料强度的两个重要的指标,是容器选材时必须考虑的重要条件之一。

五、公称直径和公称压力

公称直径是标准化以后的标准直径。对容器或设备而言,是指它们的内径;对管子来说是指管子的名义直径,即不是管的内径,也不是管子的外径,而是与其内径相近似的

某个数值。例如Dg100无缝钢管，其外径为108毫米，而内径根据不同的壁厚有多种尺寸，但大部分都接近100毫米。法兰标准中的公称直径就是设备或管道的公称直径。例如Dg100的标准法兰，可以与Dg100的无缝钢管焊接，而不需要更改任何尺寸。压力容器的内径尺寸，都是按公称直径系列选取的。例如内径为800毫米、900毫米、1,000毫米等，而不能取它们之间的数值。因为任意选取容器的内径就无法选用标准法兰和封头。所以无论是法兰、管子、容器都有标准直径系列，也都必须按标准来选用。常用公称直径系列见表3。

表3 常用公称直径系列 (D_g) , 毫米

管子 及 管法 兰	10	15	20	25	32	40	50	70
	80	100	125	150	200	250	300	400
	500	600	800	1,000	1,200	1,400	1,600	
容器 及 容法 兰	300	400	500	600	700	800	900	1,000
	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000	2,200	2,400	2,600
	2,800	3,000	3,200	3,400	3,600	3,800	4,000	

公称压力是压力容器或管道的标准压力等级，即按标准化的要求将工作压力划分为若干个压力等级。每个公称压力是表示一定材料和一定温度下的最大工作压力。法兰的公称压力分级和容器的公称压力分级是一致的。例如对于工作压力和设计压力接近1.57兆帕即16公斤力/厘米²的容器，即可使用公称压力为Pg16的法兰。公称压力系列见表4。

表4 公称压力系列 (P_g)

0.098*	0.25	0.392	0.59	0.98	1.57	2.45	3.92	6.27	9.80
1**	2.5	4	6	10	16	25	40	64	100
15.69*	19.60	24.51	31.37	39.22	49.02	58.82	78.43	98.04	
160**	200	250	320	400	500	600	800	1000	

* 单位为兆帕

** 单位为公斤力/厘米²

参 考 文 献

1. 国家劳动总局: 《压力容器安全监察规程》, 劳动出版社, 1981。
2. 浙江大学等编: 《材料力学》, 1979年, 人民教育出版社。
3. 《化工设备机械基础》编写组编: 《化工设备机械基础》, 1978年, 石油化学工业出版社。
4. 天津大学等编: 《化工容器及设备》, 1980年, 化学工业出版社。
5. 北京经济学院劳动保护系编: 《压力容器安全工程学》, 1980年。
6. 吴粤燊编: 《压力容器安全技术》, 1980年, 化学工业出版社。