

压力容器译文集

翻 译

梁永智

克拉玛依炼油厂设备研究室

1992.7

目 录

1、断裂安全设计	(1)
2、失效方式——一次应力和二次应力	(20)
3、铬钼钢制高温高压反应器剩余寿命的预测	(28)
4、长期使用后的反应器用铬钼钢微观组织和机械性能的变化	(47)

本专集由梁永智翻译整理

断裂安全设计

谢夫龙公司工程部

1.0 引言

这篇工作指导书提出了在工厂设计中防止脆性断裂的准则，强调要恰当地选择管道、压力容器、储罐和钢结构用的碳钢和低合金钢，本文还讨论了影响脆断敏感性的一些因素。

脆性断裂是结构和压力容器用材料在没有变形和屈服的条件下发生的拉伸断裂，这种断裂具有断裂面平整的特点，而且是发生在低于屈服应力的平均应力水平以下。脆断的开裂速度非常快，因此，脆断的发生都非常迅猛和难以预测。在常温和低于常温下，脆断能够发生在铁素体钢如碳钢、C— $\frac{1}{2}$ Mo钢、Cr—Mo钢和400系列不锈钢中，300系列不锈钢在-300°F以上对脆断不敏感，然而，当在1100°F以上暴露时， σ 相脆性会引起含有大量铁素体相的300系列不锈钢的焊缝金属在室温以上的条件下对脆性敏感。

脆断不是经常发生的，多数发生在水压试验时而不是操作时。然而由于断裂碎片和能量快速释放，脆断是灾难性的。

由于采用高质量的制造和维护标准，本公司很少发生脆断事故，下面叙述的是本公司经历过的二起脆断事故。

1.1 脆断实例

a) 1982年Clear Creek液化气容器的脆断空容器已用30年，由碳钢制成，制造时未采用现行标准，在Wyoming一个冬季的早晨，当气温降至-20°F时突然破裂，当时容器内盛有40000加仑液化气，容器碎成13块大碎片，有的碎片被抛出去450呎远，侥幸的是没有人员伤亡，也没有引起主要生产装置破坏。

b) 1978年Richmond硝酸厂铂过滤器脆断 该容器由429不锈钢（17Cr—Fe合金）制造，在气压试验时破裂，碎片飞出150呎远，侥幸的是未伤人。这种材料在经历了数千小时高温（700~950°F）使用后发生脆化，这是和铁素体不锈钢相似的脆性。

1.2 脆断的预防下列要求有助于防止脆断，详细叙述见后。

a) 选择韧性好，抗断裂的材料，常用的方法是使材料的使用温度高于其韧—脆性转变温度。

b) 按照实用规范和本公司标准设计，避免应力集中。

c) 保证制造质量，采用适当的无损检测技术，保证缺陷尺寸足够小。

2.0 影响脆断敏感性的因素

2.1 综述

为获得断裂安全设计，认真地选择材料，进行设计、制造和检验是必要的。本文首先介绍材料的选择，但是，仅靠适当选材的方法还不足以防止脆性破坏。为了减小脆性破坏的危险，设计上要防止应力集中，如缺口等。制造时要通过检验和无损检测发现和消除裂纹和其它缺陷，高于设计应力条件下的水压试验对减小使用时脆性破坏的危险也是很重要的。

断裂力学是对脆断敏感性进行定量分析的工具，在断裂力学中要考虑的主要因素有：

a) 缺陷尺寸 断裂力学的基本理论是，脆性断裂是从预先存在的缺陷（裂纹）中开始的，焊接结构中很少没有缺陷，制造过程中的检验对于限制已存在的缺陷是必要的。运行中疲劳和应力腐蚀开裂也会引起缺陷扩展，因此，周期性的检验是必要的。

b) 应力 拉伸应力对脆断的发生是必需的，由于应力集中使正常应力增加而产生高局部应力，对断裂很敏感，因此必须减少应力集中。由于成型和焊接而产生的残余应力也会影响局部应力水平。焊后热处理（PWHT）能够降低残余应力，因此减少了脆断的危险。

c) 断裂韧性 缺口韧性是材料在存在缺口即裂纹的情况下塑性变形的能力，因而韧性材料可以抵抗脆性断裂。正如强度一样，断裂韧性是材料的特性。缺口韧性是定性的量，描述了材料抵抗脆断的能力；断裂韧性是定量的，可以根据断裂力学的原理来测定。

2.2 缺陷尺寸、应力和缺口韧性的关系

断裂力学应用应力分析技术确定应力强度因子（ K_I ），它与应力的平方和缺陷尺寸的平方根成正比，当应力强度因子超过了临界值便发生断裂。对于给定的材料，临界值是温度，加载速率和材料厚度的函数。

对于缓慢加载，得到的临界值可用于静载，同时指定为 K_{Ic} ，对动载（如冲击试验）临界值指定为 K_{Id} 。在基本静载的条件下，我们通常感兴趣的是 K_{Ic} 值，但是我们也必须考虑快速加载的可能性，在这种情况下，会产生更低的 K_{Id} 值（见图3）。

K_{Ic} （或 K_{Id} ）是材料在给定温度和加载速率条件下的断裂韧性，它和屈服强度及抗拉强度一样是材料的特性。保证 K_{Ic} 的钢材在商业上是得不到的，因此我们必须用其它方法来确定材料的断裂韧性和购买材料，如采用夏比V型缺口试验。

图1表明对不同的 K_{Ic} 值许用应力和裂纹尺寸的限制条件，对给定的断裂韧性，在曲线以上断裂会发生。图1还显示出在给定的应力水平上，在使用韧性更好的材料时，大的裂纹是允许的，

2.3 缺口韧性试验

夏比V型缺口（CVN）冲击试验是测量缺口韧性常用的一种工业试验方法。在CVN冲击试验中，带有缺口的杆件受到摆锤的打击，在一系列试验温度下，试样被打断，打断试样的能量作为试验温度的函数记录下来。关于CVN试验的详细信息见ASTM A370。CVN冲击试验的结果使用ft-lb（英制）作单位，它不能直接用在断裂力学计算中，尽管 K_{Ic} 和 K_{Id} 值可以从CVN值中估计出来。当通过以往的韧性试验和使用经验不能保证适当的韧性时，公司要求作CVN冲击试验。图2表明了压力容器用碳钢试样的CVN冲击试验结果。

无塑性转变（NDT）温度试验是另一种铁素体材料的缺口韧性试验方法，ASTM E208给出了详细的试验方法。试样带有锯开一个缺口的脆性焊道，置于三点弯曲状态，在不同的温度下由落锤打击，NDT温度即试样发生脆性断裂的最高温度。NDT温度是海军研究所（NRL）断裂分析图（见后）的基础。NDT试验应用很不普遍，费用比CVN冲击试验高的多。

断裂力学（ K_{Ic} ）试验方法见ASTM E399，使用带有疲劳预开裂缺口的弯曲和紧凑拉伸试样，试样被加载至断裂，断裂时的应力强度因子可以通过计算得到， K_I 的单位是 $\text{ksi} \cdot \text{in}^{1/2}$ ，为了得到有效的 K_{Ic} 试验结果，试样必须满足以下尺寸要求，即：

$$\text{厚度} > 2.5 \left[\frac{K_{IC}}{\text{屈服强度}} \right]^2$$

设计中使用的大多数钢材是低强度而且有足够的韧性，这就需要用不现实的厚板和昂贵的试样才能得到 K_{IC} ，因此， K_{IC} 和 K_{Id} 通常是从其它试验结果中加以经验修正而得到的，最常用的是由CVN冲击值修正，见参考文献3和4。裂纹尖端张开位移（CTOD）是本文讨论的最后一种缺口韧性试验方法。英国标准BS5762—1979阐述了这种方法。将带有疲劳裂纹的三点试样加载至断裂，在加载过程中测量裂纹张开处的位移，从断裂时裂纹开口处的张开计算CTOD。CTOD试验的优点是提供了一种比CVN试验更能代表实际使用条件的方法，而不需要CVN试验使用的大试样。CTOD试验适用于在裂纹尖端前沿存在大量屈服的情况下，与此相反， K_{IC} 试验中试样尺寸的限制基本上保证在裂纹尖端前沿没有屈服。 K_{IC} 可以由经验公式从CTOD中求得，CTOD试验在联合王国得到广泛应用，在美国也得到承认。例如，API1104焊接管线标准，1983年5月版，提出了在焊接工艺评定中根据CTOD试验控制焊接缺陷尺寸的新建议。

2.4 影响缺口韧性的参数

a) 温度 铁素体钢（碳钢、低合金钢及400系列的不锈钢）当温度降低时，要经历一个韧—脆性转变，每一种这样的钢材都有一个韧—脆性转变温度范围，在转变温度以上，钢材是韧性的，在转变温度以下，钢材可能以脆性方式断裂。

图2描述了压力容器用碳钢的CVN冲击试验结果，CVN转变温度定义为一个最低温度，在这个温度以上，CVN试样需要高于某种规定能量才能断裂。建立转变温度所需要的能量随钢材强度的提高而增加。转变温度的其它定义，如根据断裂形貌确定的方法，由于不容易解释而很少用于规范和标准中。不管采用什么方法，钢的缺口韧性都显示出随温度而转变的现象，实际测得的转变温度随采用的试验方法不同而有所不同。

影响钢的转变温度的因素有：

1、化学成分：碳含量影响最大，随着含碳量的降低，转变温度降低，在2%的范围内，增加锰含量对降低转变温度有利。

2、脱氧过程 完全镇静钢（完全脱氧钢）比半镇静钢和沸腾钢具有更低的转变温度。

3、晶粒度 细晶粒钢的转变温度更低。

4、热处理方式 具有相同成分的钢，正火状态和淬火加回火状态比轧制状态具有更低的转变温度，这是由于晶粒细化的原因。

5、焊接 焊接通常使热影响区的转变温度比母材的高，前面讨论的能够降低转变温度的各种因素也适用于热影响区。高含碳量是不利的，因为它将产生硬而脆的热影响区。

历史上大部分脆性断裂是从焊缝附近开始的，焊缝趾部的应力集中，焊接缺陷和残余应力是比焊接热影响区韧性差更经常的原因。焊后热处理的结构一般具有更强的抗脆断能力。

6、脆化现象 某些金属学现象正在对一些特殊合金产生危害，在700°F到1000°F温度下暴露的2¼Cr—1Mo钢的回火脆化即是一例。已经制定了一些防止在脆化温度范围内操作的2¼Cr—1Mo厚板制的加氢反应器断裂的准则。某些400系列不锈钢在650°F到900°F会产生“885°F脆化”，无论回火脆化和“885°F脆化”都会引起转变温度上升，脆化了的合

金钢在常温下的缺口韧性很差。

b) 加载速率 低合金钢的韧性值随加载速率的增加而降低, 在特定的温度下, 冲击试验测得的韧性值比静载试验得到的值低。图 3 表示由于加载速率不同而引起转变温度的变移, 变移的大小取决于材料的屈服强度。

c) 厚度 由于两种原因, 使材料的断裂韧性随截面厚度的增加而降低。首先, 从冶金学方面考虑, 随着厚度的增加很难得到优良的韧性; 其次, 由于三向应力状态, 越厚的截面在缺口前面的约束越大, 超过一定的厚度, 可得到最大约束 (称作平面应变状态), 缺口韧性达到最小值。薄的材料具有二向应力状态 (称作平面应力状态), 对塑性流动的约束小, 延性好, 这就是在 K_{Ic} 试验中需要非常大的试件的原因。

由于复杂的应力状态, 为了获得相当于薄截面的抵抗脆断的能力, 厚截面需要更高的断裂韧性。

2.5 缺口韧性判据实例

a) 夏比试验判据 现在最广泛使用的确定低强度钢的韧性抗力的方法是 CVN 冲击试验, CVN 试验用来保证钢材的转变温度低于结构的最低承载温度, 这被认为是一种获得转变温度的方法。

这种方法是从二次大战后分析舰船断裂的经验中发展起来的。从一百多只舰船的断裂结构中取得的试样进行了研究和统计分析, 在这些钢材中, 人们发现断裂在高于 CVN 冲击能量 10 呎—磅转变温度以上是很难发生的, 还发现裂纹在 15 到 25 呎—磅转变温度以上是很难扩展的。根据这些发现, 在最低承载温度下具有 15 呎—磅 CVN 冲击要求成为广泛应用的断裂依据。

随着断裂力学方法的发展, 人们逐渐体会到, 建立转变温度的 CVN 要求取决于材料的屈服强度和厚度。下表中列出的数值是从断裂力学中计算出来的, 以满足全截面屈服判据, 这些数值与经验值有一定关系。

规定最低屈服强度 (σ_{ys}), ksi	厚度 (in)	横向 CVN 能量要求 (ft—lbs)	
		三个试样平均值	单个试样最低值
<35	≤ 4	13	10
	≤ 3	20	15
35~45	> 3	25	20
	$< 1\frac{1}{2}$	25	20
	$1\frac{1}{2} \sim 2$	30	22
	$2 \sim 3$	35	27
	> 3	40	30

其它一些当今工业标准规范中关于缺口韧性的要求见表 1 (附后)。

b) 断裂分析曲线 (FAD) 海军研究所的佩利尼 (Pellini) 等人研制了 FAD, 为低强度钢的使用提出了一个准则, FAD 见图 4。佩利尼定义了四种转变温度范围的设计点:

1、NDT 限制使用温度稍高于NDT，可以防止结构在受到相当于屈服应力水平的动载荷时从小裂纹处发生的断裂，NDT的定义在前面缺口韧性试验中已述及。

2、 $NDT + 30^{\circ}\text{F}$ 限制使用温度高于 $NDT + 30^{\circ}\text{F}$ ，在名义应力小于屈服强度一半时，提供止裂温度（CAT）

3、 $NDT + 60^{\circ}\text{F}$ 限制使用温度高于 $NDT + 60^{\circ}\text{F}$ （即FTE——弹性断裂转变），提出了在名义应力为屈服应力时的止裂温度。

4、 $NDT + 135^{\circ}\text{F}$ 限制使用温度高于 $NDT + 135^{\circ}\text{F}$ （即FTP——塑性断裂转变），提出了在任何应力水平下都能防止脆断的温度。

FAD适用于厚度在2吋以下的结构，随着材料厚度的增加和强度的提高，曲线向右移动。FAD没有得到广泛应用，一些规范制订机构如NRL和ASME第III卷已在它的基础上增加了某些要求。一般认为，它提供了阻止裂纹的判据，但对常用结构过于昂贵和保守。然而它却表明，当作用应力加上残余应力低于 $5 \sim 8 \text{ ksi}$ 时，脆断不会发生。

2.6 小结

结构对脆性断裂的敏感性由预先存在的裂纹尺寸、拉伸应力水平和材料的断裂韧性控制。裂纹尺寸和应力水平由设计、制造和检验来控制，韧性取决于温度，加载速率和厚度，且由材料的选择决定的。为了防止脆断，要减小裂纹尺寸，降低应力并且使用韧性好的材料。

转变温度的方法是使材料的使用温度高于CVN冲击试验确定的转变温度，因此是选择韧性好的材料的一种常用方法，CVN的要求必须随钢的屈服强度和厚度的增加而提高。

3.0 本公司在选择压力容器、储罐和管线用钢时的做法

公司在选定钢材时的做法是使设备承载时的最低金属温度适当高于CVN转变温度。载荷包括操作、水压试验、压力试验、停工和开工时的状况。前面介绍过的两起脆断事故都是发生在容器用钢的转变温度以下，LPG容器是在 -20°F 下断裂的，它的CVN转变温度大约是 $+80^{\circ}\text{F}$ ，过滤器用钢是在 70°F 下断裂的，而其CVN转变温度高达 200°F 。

3.1 压力容器和储罐

a) 最低承压温度：对于按ASME规范第VIII卷制造的压力容器，公司的做法是确定一个最低承压温度（MPT），MPT是容器在能够承受高于40%的许用工作压力时的最低温度，在工作压力低于最大许用工作压力40%时，被认为是低应力状态，基本上消除了脆断的危险（在没有别的重要应力如重力和热应力的情况下）。

为了确定新设备的MPT，除了考虑正常操作条件，还要考虑开工温度和合理的非正常操作条件，工作指导书第19篇考虑了LPG及自动冷冻的条件。如果设备在开工时不预热，那就必须使用可得到的局部地区的天气资料来确定开工时的温度，如果得不到局部地区的天气资料，在API—650中图2—1列出的最冷一天的平均温度是可用的。

加氢裂化、Isomax和其它厚壁 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 钢制反应器未包括在本篇中，这是因为由于回火脆性， $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 钢的韧——脆性转变温度会发生改变，因此将它单独编为一篇。对于储罐，可用API标准650中确定最低金属设计温度的方法。

b) 选择材料的要求：有二种方法可以确定钢材用在它们的转变温度以上，即材料选择标准图和夏比V型缺口冲击试验。对于压力容器和储罐，应优先使用材料选择标准图，从这些图中可获得足够的已知数据和使用经验。CVN冲击试验显著增加了材料的成本（大约每

磅2~10美分), 同时使交货更复杂。

材料选择标准图给出了使用点(综合考虑了材料厚度和设计金属温度), 在这些图中, 已知的数据和使用经验可以保证材料有足够的韧性, 即它们是用在转变温度以上。使用点综合考虑了材料厚度和最低承压温度即设计金属温度, 如果使用点在这种钢材曲线的上方, 说明这种钢材具有足够的韧性, 如果使用点在钢材曲线的下方, 必须用CVN冲击试验来证明钢材具有足够的韧性。CVN冲击试验的要求在下一章讨论。公司的目的是使用具有足够的内在韧性的材料, 而不要求做既费时又费钱的冲击试验。类似的免做冲击试验的方法在API⁶50和ASME第VIII卷第2册中都被采用, 公司的要求比ASME第VIII卷和API650更保守, 在ASME第VIII卷第1册中只有在低于-20°F时才普遍要求CVN试验, 第2册更严格, 在材料选择上使用类似于本公司材料选择要求的判据。

对于新的结构, 使用下列标准图, 对塔器、压力容器和换热器, 使用GC—C1042; 对储罐使用GD—D1047, 这些标准图的修订最近已完成, 它反映了对满意的操作要求的韧性更保守的估价。在新的结构中, 使用这些标准图的最新修订本。对在用压力容器和换热器可使用图5, 详见第4节。

c) 夏比V型缺口冲击试验——压力容器的储罐。

当钢材的使用点低于材料选择标准图的材料曲线时, 按标准曲线和材料规格要求CVN冲击试验以证明材料是否具备足够的韧性。CVN冲击试验的要求归纳如下:

1、每一张钢板、每一个锻件或钢管, 当使用点低于其标准图中的曲线时, 必须进行试验。通常每张钢板都要试验, 而锻件和钢管则按照其规格进行试验, 如SA—350和SA—333分别进行试验。

2、沿着与轧制方向(炼钢时)垂直的方向取三个试样进行试验, 使用横向试样而不是纵向试样是很重要的, 因为横向性能通常更差, 但无缝钢管除外, 它的性能在各方面变化不大, ASTM规定了横向和纵向试样的方式。

3、最大(最高)许用CVN冲击温度是最低承压温度即金属设计温度。

4、最小CVN冲击能量要求按各公司对压力容器的规定执行。

5、对于压力容器, 当母材要求作冲击试验时, 也要求对焊接工艺评定(WPQT)或产品试板的热影响区(HAZ)和焊缝金属作冲击试验, 这些术语的定义见ASME第VIII卷第1册UG—84节。要注意的是, 本公司的冲击试验要求比ASME的要求更严格。关于试样热处理的要求, 也可参见ASME规范UCS—66节, 试样的热处理必须与实际容器的热处理同时进行。

对储罐, 当设计金属温度低于+20°F时, 对焊接工艺评定要求CVN冲击试验, 公司的要求(EG—967)和API—650没有遵循这些更严格的要求。

3.2 管道

一般情况下, 如果设计温度高于-20°F, ANSI B31.3(表323.2.2)不要求作冲击试验, 本公司也遵循这条要求。但我们不能接受该表说明第2条, 即如果设计应力足够低, 在低于-20°F时也不需作冲击试验, 公司要求在设计温度低于-20°F时, 所有碳钢及低合金钢都要求作冲击试验, 同时建议对在-20°F以下使用的管线进行焊后热处理以减少脆性破坏的危险。与压力容器相同, 当管线要求作冲击试验时, 也要求通过对焊缝热影响区和焊缝金属的冲击试验对焊接工艺进行评定。

对厚度大于 $\frac{3}{4}$ "的碳钢及低合金钢管线在高压下操作且承压温度低于40°F时,建议对管线进行正火处理和冲击试验,厚度大于 $\frac{3}{8}$ "的碳钢及低合金钢管线必须经正火处理,低合金钢正火后必须回火。

4·0 防止在用设备破坏的准则

前面讨论了最低承压温度的概念和选择钢材的要求,本章将讨论用这些概念来确定防止在用设备脆性破坏的操作准则,设备在操作、液压试验、开工、停工和异常情况(如自动冷冻)时金属的温度和压力状态必须考虑。由钢材性能和容器的壁厚,可以建立起液压试验、开工或操作时的最低温度,对压力容器来说,最低温度通常就是设计的最低承压温度。要知道,现行的免检曲线可能比早先的版本更保守,因此在应用这些曲线于在用设备时需要进行判断。一般来说,使用较早的版本是适当的。对于1969年以前制造的容器,最低承压温度没有按常规作专门规定,因此在容器安全操作说明上可能找不到,对这些容器可以使用下面讨论的准则来确定最低承压温度。

下面将要讨论的一般准则是,当容器金属温度低于最低承压温度时,限制压力容器工作压力低于其最大许用工作压力的40%,同时不存在其它重要的应力如重力或热膨胀引起的应力。对于没有规定最低承压温度的容器可以使用这个规则。

4·1 用图5确定在役容器MPT的准则

1969年以来按照公司工程部规定建造的大部分压力容器已经在图纸上注明了MPT,对于容器图纸上和安全说明书中未注明MPT的碳钢和低合金钢容器,当壁厚小于3吋时可以根据结构材料和容器厚度利用图5来确定MPT。对于用图5中材料制造的容器,如果已知受压元件的厚度,可以直接用图5的曲线确定MPT。MPT是由图5中适当的曲线与受压元件的厚度的交点确定的。在求MPT时,只考虑焊接部件如筒体、封头、管箱、整体补强接管等,由具有最高MPT的元件的MPT值作为容器的MPT。

除非对脆性断裂的危险(如低温,自动冷冻以及相邻装置的影响等)要求特殊的预防措施,否则带补强圈的接管或不带补强圈的小接管不必考虑MPT。接管带有补强圈的容器的破坏通常发生在补强圈与壳体角焊缝处的壳体板上。但是对于整体补强的接管必须考虑MPT。

下面一些解释阐明如何使用图5来确定MPT。

- 1) 容器元件的厚度指的是焊接处的厚度。
- 2) 对非焊接元件如法兰盖或换热器管箱法兰盖,不必确定其MPT;
- 3) 在将曲线用于正火材料时,容器档案上必须注明材料是经过正火的,对SA—105和SA—204要按照表II的说明使用适当的曲线。
- 4) 对于经焊后消除应力热处理的碳钢容器其壁厚小于1.5吋时,要使用其下面较低的一条曲线而不遵守图5和表II中的准则。

- 5) 对于确定在用容器的MPT,参见图5中的注3、4和8。

4·2 用表II确定在用容器的MPT

对于图5中未包括的材料制造的容器参见表II的说明,对于碳钢钢板和锻件,当其级别未注明时,使用曲线A,若制造容器的材料作过CVN冲击试验,MPT即是CVN冲击试验温度。

如果容器制造有下列情况,请与公司材料专家联系:

- 1) 焊接壳体、封头或接管厚度大在 3 吋；
- 2) 表II中未包括的低合金钢；
- 3) 400系列的不锈钢（覆盖层除外）；
- 4) 永久性的支撑拉杆。

4.3 既往的MPT

对于在没有MPT下操作10年以上的容器，可以建立一个既往的MPT。研究过去装置操作记录和当地气象资料，以确定设备可能的壁温。建立既往的MPT的适当方法是，采取3个最低温度开工时估计的金属温度，如果这个温度低于从表5中确定的值，即作为既往的MPT。

如果操作记录没有保存，操作方法已经改变或无法得到气象资料，则这种方法是不适用的。

4.4 几点忠告

当容器的操作条件和使用方法改变时，考虑容器的最低承压温度（MPT）是很重要的。

自动冷冻是必须考虑的又一特殊情况，见工作指导第19篇及其附录II和工作指导第55篇。

液压试验具有特殊的意义，因为这时应力大于名义应力，有必要时，将液压试验时用水加热使金属温度高于MPT，对新制造的容器，ASME规范建议在液压试验时最低液体温度 60°F (13°C)。

5.0 参考资料

5.1 A.S. Tetelman and A.J. McEviley, Jr., 《结构材料的断裂》，Wiley and Sons, Inc. 1967。

5.2 R.D. Stout and W.D. Doty 《钢的焊接性》，焊接研究会（WRC），1971。

5.3 S.T. Rolfe and J.M. Barsom, 《结构的断裂和疲劳控制——断裂力学的应用》Prentice-Hall, Inc. 1977。

5.4 WRC文集，265《关于小尺寸试验与K_{IC}数据关系的简要报告》。

5.5 谢夫龙公司工程部标准，工作指导及标准图纸等（可从服务部和工程部获得，图纸和工作指导分别包含在标准图集和工作方法手册中）：

EG—967 带有抗风圈的焊接结构固定顶和浮顶油罐

EG—1322 带不锈钢覆盖层的焊接压力容器

EG—2318 厚壁碳钢和碳钼钢制容器

EG—2560 碳钢及低合金钢压力容器

EG—2583 管壳式换热器

GC—C1042 压力容器的标准冲击试验要求

GD—D1047 储罐的标准材料要求

RP—19 锅炉和压力容器要求

RP—55 用于LPG的管道和设备

表 I

缺口韧性要求汇总——现行工业标准和规范

1、ASME锅炉和压力容器规范第八卷第1册

在UG—84, UCS—66和UCS—67中列出了缺口韧性要求, 对碳钢和低合金钢, 在-20°F以下使用时, 要求CVN冲击试验, 这些要求是过时的, ASME委员会正在修改, 冲击试验温度不能超过容器最低操作温度, 这些要求是:

规定最小抗拉强度 ksi	CVN冲击能量ft—lb	
	完全脱氧钢	不完全脱氧钢
≤65	三个试样平均 13	10
	单个试样最小 10	7
>65~≤75	三个试样平均 15	13
	单个试样最小 12	10
>75~≤95	三个试样平均 20	
	单个试样最小 15	
>95	三个试样最小 侧向膨胀0.015吋	

2、ASME锅炉和压力容器规范第八卷第2册

该要求在AM204至AM218中给出, 根据最低使用温度和厚度, 某些材料可以不作冲击试验。当要求作冲击试验时, 其要求值与上述第1分篇相同。

3、API—650第7版、钢、制焊接石油储罐

材料根据强度和炼钢方法分组, 根据设计金属温度和厚度, 并考虑典型的CVN试验和以往的使用经验, 某些材料可以不作冲击试验, 由材料强度确定的冲击要求值如下:

规定最小屈服强度 ksi	三个试样平均值	
	纵向 (ft—lb)	横向 (ft—lb)
≤36 对某些级别厚度至4吋	15	13
>36~≤50 ≤1 ½吋 1 ½吋~1 ¾吋 1 ¾吋~2吋 2吋~4吋	30	20
	35	25
	40	30
	50	40
>50~≤60 ≤1 ½吋 1 ½吋~1 ¾吋 1 ¾吋~2吋 2吋~4吋	35	25
	40	30
	45	35
	50	40

试验温度为金属最低设计温度。

4、ANSI/ASME B31.3—1980年版，化工厂和炼油厂管道

在表323、2、2中给出，要求与ASME第八卷第1册相同，包括冲击能量。

5、API RP2A 固定式海上平台规划、设计和建造方法指导

钢材分组	屈服强度 ksi	CVN (ft—lb) (根据用途分类)
I	<40	15
II	40~52	15
III	>52	未规定，待调查

用途分类	说 明	CVN试验温度
C	低级结构元件，具有一定的厚度，中等应力集中，缓慢加载，超静定结构，使用温度高于冰点	不要求试验
B	厚度、约束及低温工作下的应力集中，冲击载荷，缺少超静定结构等条件要求改善缺口韧性	不超过最低使用温度
C	关键场合，上述各项中最不利的组合方式	根据材料强度，低于使用温度36~54°F

6、美国海运局 钢制容器建造和分类规则，1980年版
普通强度船体钢A、B、D、E、DS、CS级

屈 服 强 度	所有级别最低34ksi
CVN冲击要求	对B、D、E级纵向20ft—lbs， 横向14ft—lbs，A、DS、CS级不要求
CVN试验温度	B级厚度大于1吋时32°F D级14°F，E级-40°F
一般用途	A级限制使用厚度不超过 $\frac{3}{4}$ 吋，在低应力时可用到2吋，B级限制厚度不超过1吋，在A级使用条件下可用到2吋，D、CS和E级可用到2吋，DS级可用到1 $\frac{3}{8}$ 吋

高强度船体结构钢AH—32, DH—32, EH—32, AH—36, DH—36, EH36级

屈服强度	对32级别最小45.5kisi 对36级别最小51ksi
CVN冲击要求	纵向25ft—1bs或横向17ft—1bs
CVN试验温度	AH级不需要试验 DH级—4°F EH级—40°F
一般用途	AH级可用到 $\frac{1}{4}$ 吋, 低应力时 可用到2吋 DH级和EH级可用到2吋

表 II

用以选择图5中的适当曲线来确定在役容器MPT的有关资料

材 料	年 代	材 料 厚 度		
		$t \leq 1\frac{1}{2}"$	$1\frac{1}{2}" < t \leq 2"$	$t > 2"$
碳钢				
SA—105所有级别	1971年前	B (2)	B (2)	B (2)
	1971年后	A (1、3)	A (1、3)	A (3)
SA—201所有级别	全部	A (1)	A (1)	B (2)
SA—212所有级别	全部	A (1)	A (1)	B (2)
SA—515所有级别	全部	A (1)	A (1)	B (2)
SA—516所有级别	全部	C (1)	D (2)	D (2)
碳—钼钢				
SA—204所有级别	1968年前	A (1)	A (1)	B (2、4)
	1968~1973	A (1)	B (2)	B (2、4)
	1973年后	A (1)	B (2)	C (5)
铬—钼钢				
SA—301级别B、C	全部	B	B	B
SA—387级别D	全部	B (6)	B (6)	B (6)

说明:

1、如果记录表明筒体和封头用材料是正火处理的,使用较低的一条曲线,如对正火的SA—212使用曲线B而不是A。

2、根据材料标准需要正火,要记住检查整体补强接管的MPT。

3、根据标准,基本压力级别300psi以上规格的法兰锻件必须经正火处理。

4、如果记录表明容器筒体和封头材料采用细晶粒钢,使用曲线C。

5、遵守EG—2318修订本C和D制造的压力容器由正火或细晶粒钢制成,必须确定锻件的MPT。

6、2 $\frac{1}{4}$ Cr—1 Mo钢在700°F到1000°F暴露时,对回火脆性是敏感的,在这个温度范围内运行的容器的MPT请向材料专家请教。

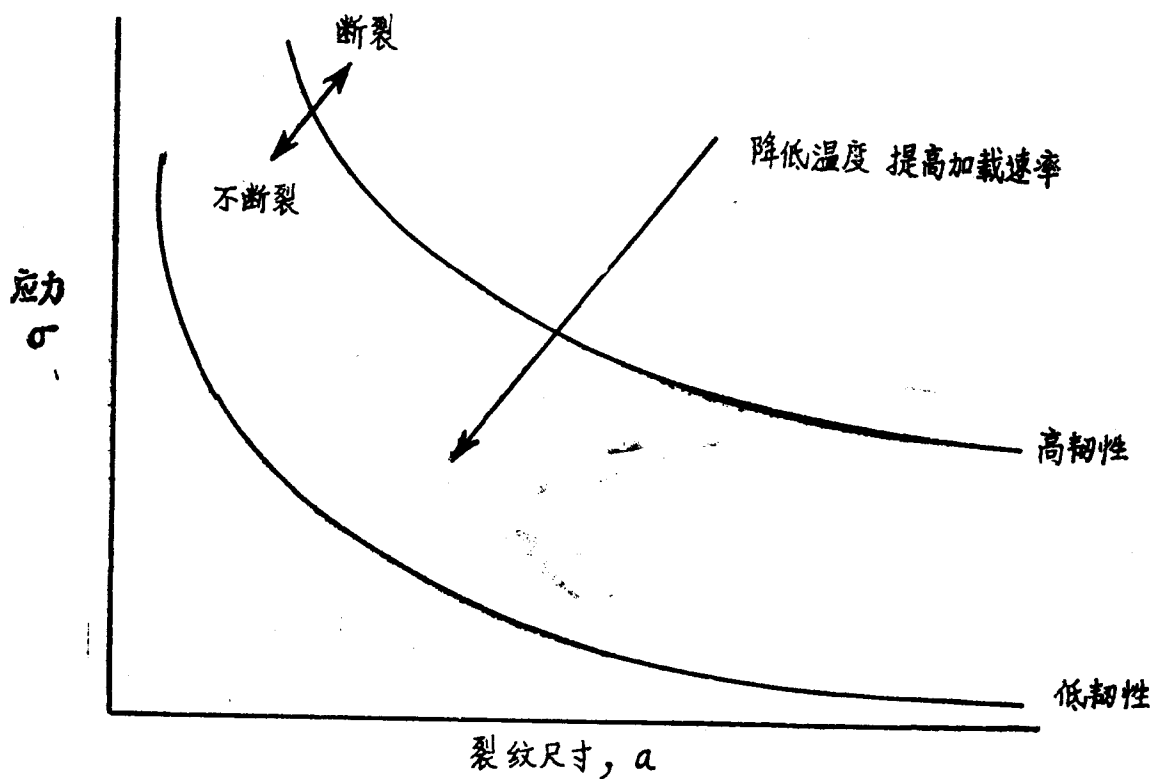
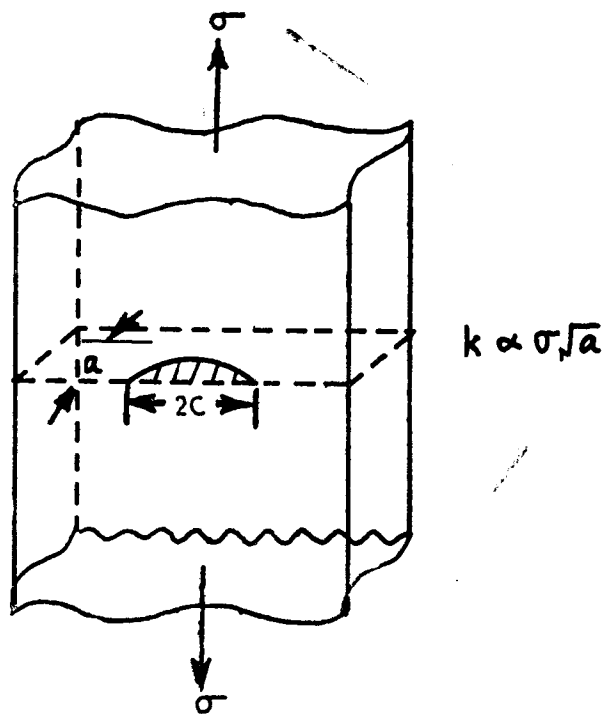
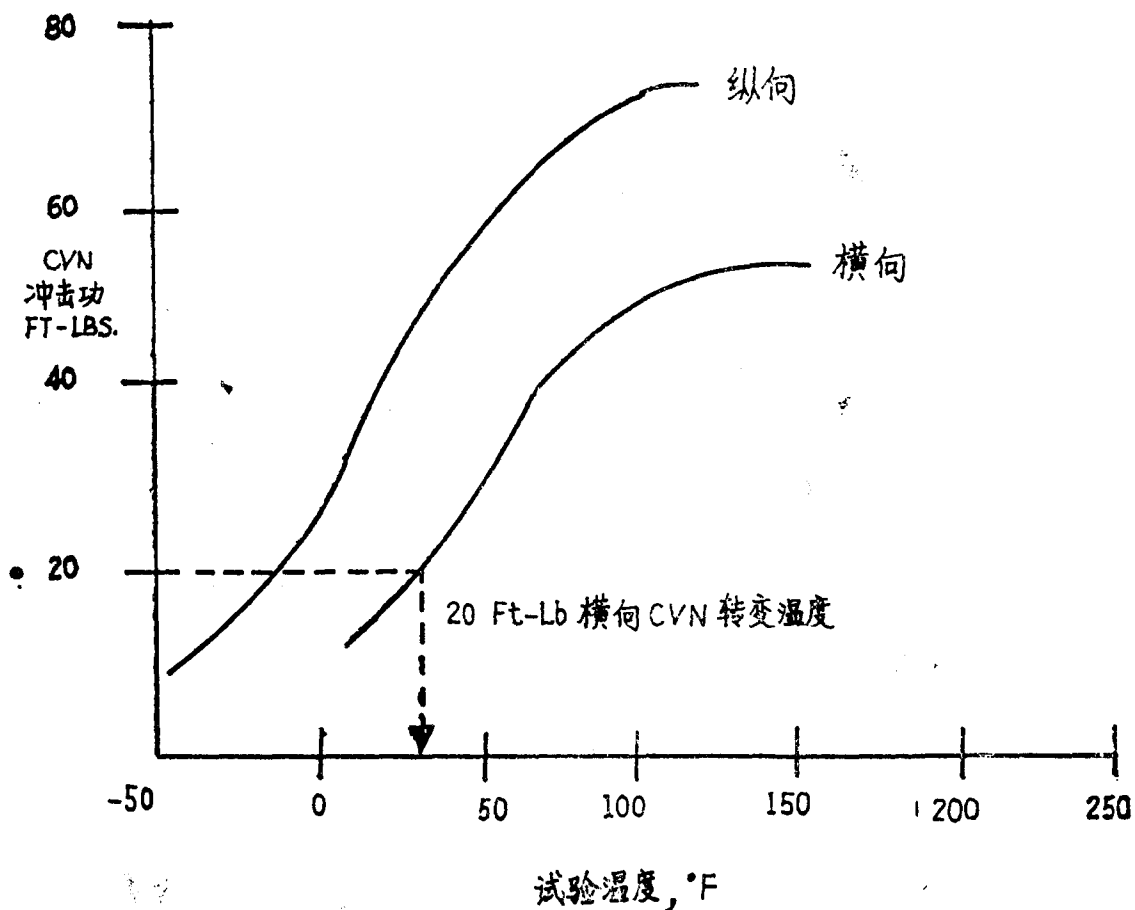


图 1 韧性、应力和裂纹尺寸的关系



说明.

1. 这个数据显示了 CVN 冲击功随温度和试样与主要受力方向有关的取向的关系。
2. 这个数据不是典型的, 即使在相同规格和厚度的板材上取样, 其变化范围也是很宽的。

图 2 一种高质量压力容器用碳钢的 CVN 冲击试验数据