

化工容器的高温蠕变 及化工低温压力容器

化工容器的高温蠕变

- 一、金属材料的高温蠕变
- 二、化工容器的高温设计
- 三、高温压力容器的残余寿命

一、金属材料的高温蠕变

- 大量的化工容器是在高于室温的条件下工作的。金属材料的强度随温度而发生变化。
- 对高温压力容器要区别两种不同的情况。
- 第一种是工作温度在容器材料的蠕变温度以下，设计时是以该材料在工作温度下的机械强度为基准，按通常的安全系数选取许用应力。
- 第二种是工作温度在容器材料的蠕变温度以上，此时必须考虑材料的蠕变特性，按照容器的设计寿命来确定许用的应力水平。本节要讨论的是第二种情况。

一、金属材料的高温蠕变

- 蠕变温度指材料开始呈现蠕变现象的温度，对各种不同材料是不同的。一般金属材料的蠕变温度 T_c 为：

$$T_c > (0.25 \sim 0.35) T_m \quad \text{K}$$

式中， T_m 为金属材料的熔点(K)。实际上，每种具体钢号或金属牌号都有不同的蠕变温度。大体上：

碳钢 > 350°C

低合金钢 > 400~450°C

耐热合金钢 > 600°C

- 有色金属及其合金的蠕变温度较低，如铅及钛等在室温时受载就会发生蠕变。
- 当金属材料在高于蠕变温度的温度下工作时，会产生两种现象：**蠕变变形**与**蠕变断裂**。在这里不作金属学的探讨，而从工程应用的观点作现象学的分析。为了叙述简便，下面把“高于蠕变起始温度”简称为“高温”。

一、金属材料的高温蠕变 (一) 蠕变变形

- 金属材料在高温与应力的共同作用下，会产生缓慢的不可回复的变形，称为蠕变变形，如以应变表述，即为蠕变应变 ϵ_c 。
- 在光滑试样单向拉伸试验下，在恒定温度与恒定应力作用下，试样的应变—时间关系如图所示。
- 蠕变变形有三个阶段，第一阶段(01)为减速阶段，第二阶段(12)为恒速阶段，第三阶段(23)为加速阶段，到点3发生断裂。

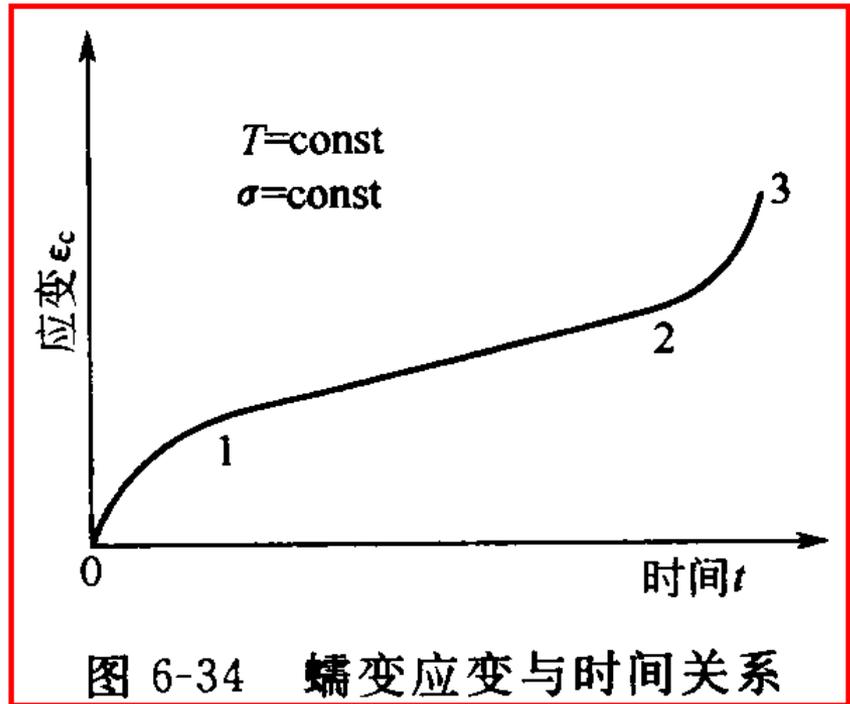


图 6-34 蠕变应变与时间关系

一、金属材料的高温蠕变 (一) 蠕变变形

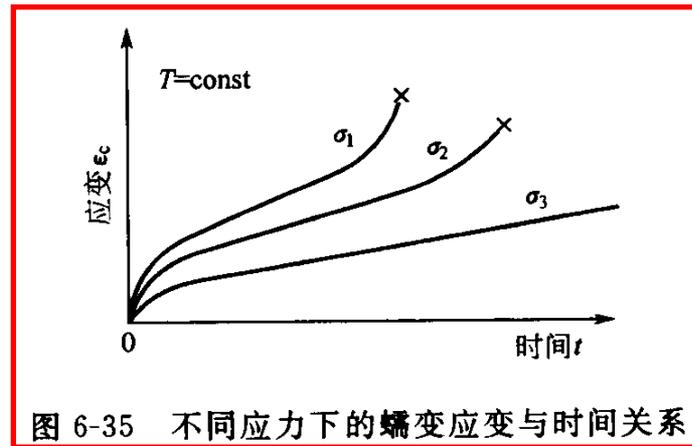
- 在恒定温度与不同应力下测试时，可以得到一组曲线，如图所示。图中 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ 。应力越小则应变越小，相应地，应变速率越小。

- 通常在8个以上的不同应力水平做试验，归纳出蠕变应变与应力、时间的关系式： $\epsilon_c = f(T, \sigma, t)$

如果温度 T 恒定，则 $\epsilon_c = f'(\sigma, t)$

- 工程上为计算方便，常忽略第一阶段与第三阶段，仅取第二阶段，即恒速阶段。蠕变的应变速率可以用下式表达：

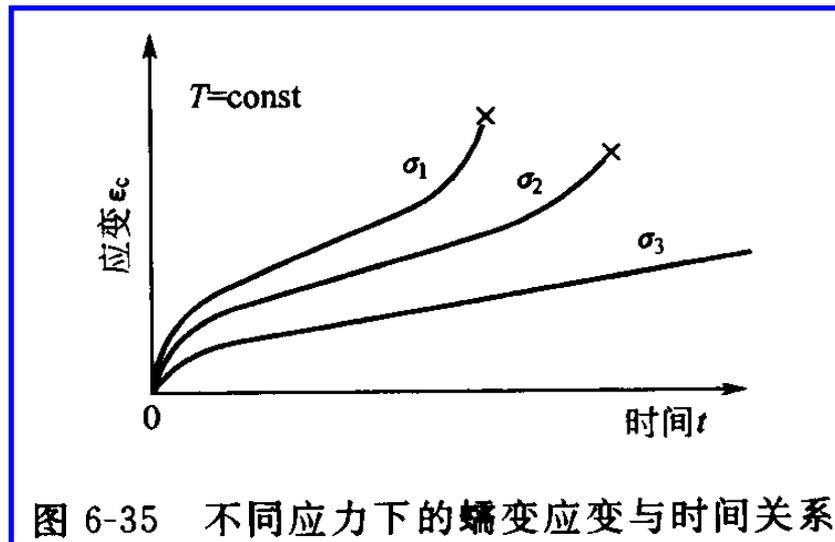
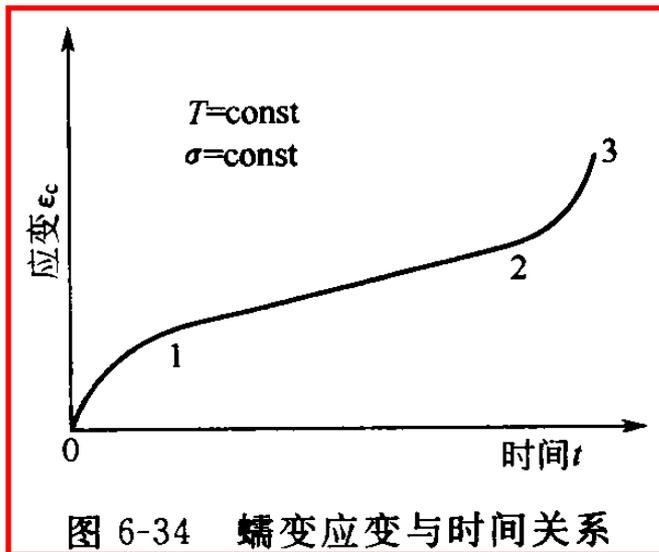
$$\dot{\epsilon}_c = \frac{d\epsilon_c}{dt} = \frac{\epsilon_c}{t} = A\sigma^N \quad \text{或} \quad \dot{\epsilon}_c = A\sigma^N$$



这就是有名的Norton-Bailey公式，沿用了几十年。但应当指出，它是一个粗略的公式，不能满足按分析设计的要求。

一、金属材料的高温蠕变 (二) 蠕变断裂

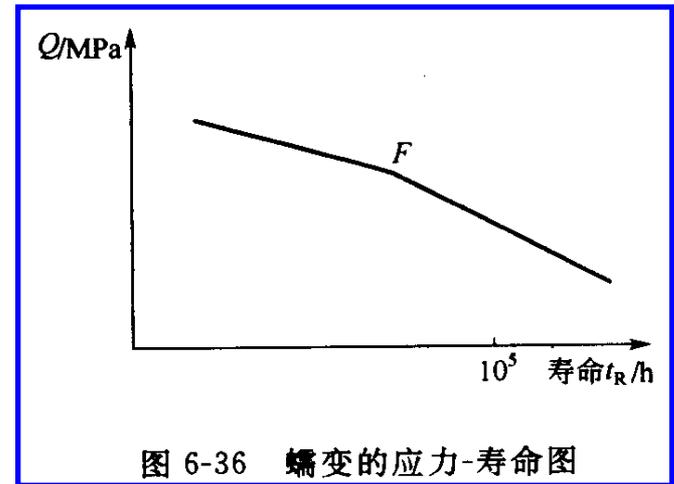
- 在高温和应力的长时间作用下，金属材料到一定时间就会断裂，从下面两张图可以看出。蠕变断裂寿命 $2R$ (小时) 随应力的降低而延长。通常用光滑试样在恒定应力和恒定温度下作试验。在一定应力下的蠕变断裂时间称为该应力下的蠕变断裂寿命，反过来，在一定时间内产生蠕变断裂的应力称为该时间内的“持久强度”。



一、金属材料的高温蠕变

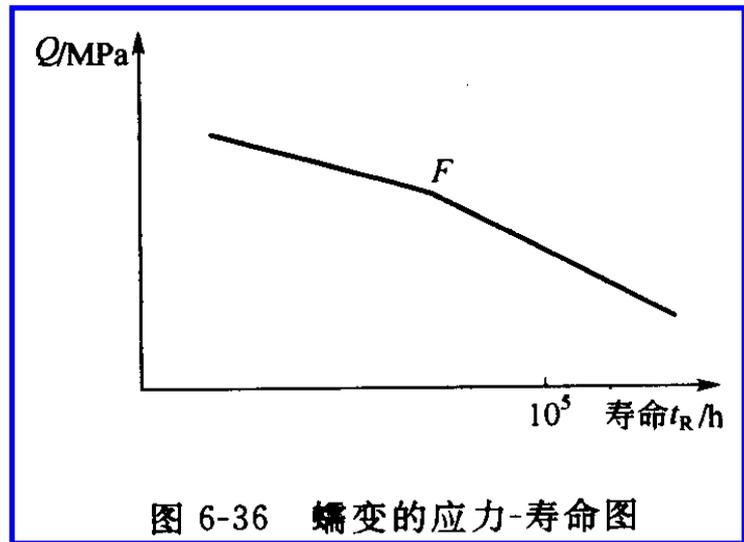
(二) 蠕变断裂

- 多个试样在不同应力水平下进行试验，得到材料的持久强度与蠕变断裂寿命的关系曲线。
- 多个试样在不同应力水平下进行试验，得到材料的持久强度与蠕变断裂寿命的关系曲线。
- 多数钢材，应力-寿命曲线有一个转折点 F ，标志断裂机制的转变。
- 当应力高于 F 点时，断裂是穿晶的，断口为韧窝状，纵断面上可观察到晶粒的拉长。
- 当应力低于 F 点时，断裂机制为沿晶界面的断裂(沿晶断裂)，晶界上由于孔穴或微裂纹的积聚连贯而最终导致沿晶的宏观裂纹扩展，引向断裂。



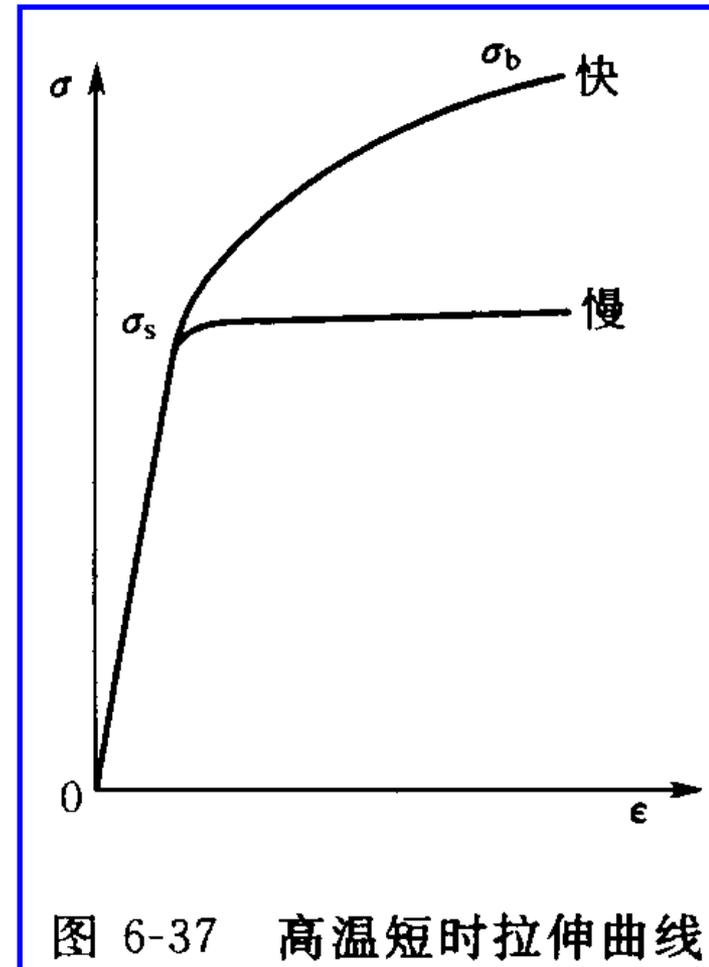
一、金属材料的高温蠕变 (二) 蠕变断裂

- 蠕变与持久试验中数据的分散性很大，要在相当多的试样的基础上才能得到一条代表性的平均曲线。如果曲线的两段均可近似地看作直线，则 σ 与 t_R 的关系可用下式表述： $t_R = B\sigma^m$ t_R : 断裂寿命
- 式中，指数 m 为负值。显然，对二段曲线， B 与 m 的值是不同的。
- 工程上，由于设计寿命要求较长，在 10^5 h以上，所以 σ 较低，此情况，是沿晶断裂，且总应变量比较小，所以失效时呈现“脆性断裂”的特征，但实际上与通常意义上的脆性断裂是有区别的。



一、金属材料的高温蠕变 (二) 蠕变断裂

- 以上都是在高温下作长时间试验的情况。
- 高温下短时拉伸试验，仍然可以获得材料在该温度下的屈服点 σ_y 抗拉强度 σ_b 与塑性形变曲线。但试验的速度相对要快一些。
- 若试验速度慢于高应力下的蠕变速度，则会出现应力平台，此时应力上不去而应变不断增加。图示是高温下短时拉伸试验的示意图。
- 高温短时拉伸曲线(快速拉伸)有时对计算应力集中部位初始加载时的变形量有用。



化工容器的高温蠕变

一、金属材料的高温蠕变

二、化工容器的高温设计

三、高温压力容器的残余寿命

二、化工容器的高温设计

- 对于在蠕变温度以上工作的化工容器，失效的判据与一般压力容器不同，通常考虑两种失效形式：
- 第一种是由于蠕变而产生过大的永久变形，导致部件的失效，对此，应设定在设计寿命范围的允许变形量；
- 第二种是由于在恒应力作用下，材料达到了蠕变断裂寿命而开裂，对此应根据容器的设计寿命找出相应的持久强度值，并限制工作应力小于持久强度。

二、化工容器的高温设计

(一) 高温压力容器的常规设计

常规设计的思路是对重要部位的最大主应力加以限制。在我国规范中，针对上述两种失效形式，规定了高温下许用应力的设定方法。

- (1) 变形准则 按照100,000h后应变不超过1% (0.01) 的限制，从蠕变数据中找到应变速率为：

$$\dot{\epsilon} = \frac{0.01}{100000} = 10^{-7}$$

时的应力，称之为材料的蠕变强度，代号为 $\sigma_{10^{-7}}$ 。蠕变试验数据的温度应与容器工作温度相同。

- 此时，许用应力为： $[\sigma] = \sigma_{10^{-7}} / n_n$ 式中，安全系数 $n_n = 1.0$ 。

二、化工容器的高温设计

(一) 高温压力容器的常规设计

常规设计的思路是对重要部位的最大主应力加以限制。在我国规范中，针对上述两种失效形式，规定了高温下许用应力的设定方法。

- (2) 断裂准则 按照100,000h的持久强度为基准，保证材料在工作 10^5 h后不发生断裂。 10^5 h的持久强度取代号为 σ_{10^5} ，则许用应力为：

$$[\sigma] = \sigma_{10^5} / n_D$$

式中，安全系数 n_D 取为1.5~1.6。实际设计的许用应力取两者之小值。

二、化工容器的高温设计

(一) 高温压力容器的常规设计

- 可以讨论的是，对压力容器与管道而言，产生一点永久变形并无多少妨碍；再说，1%的变形量似乎也限制得太严了一点。
- 所以近年来的英国规范已取消了按变形准则设计。在有些国家的规范上尚未取消，只是由于保留传统做法而已。
- 世界各国已普遍认识到，对于高温压力容器，真正危险的是蠕变断裂。

二、化工容器的高温设计

(一) 高温压力容器的常规设计

- 再一方面， 10^5h 的设计寿命对有些重要装置来说又显得不够。现代的化工、石油、动力等装备趋向大型化，尺寸越来越大，设备成本很高，要求使用寿命长。
- 不少国家的锅炉行业已经把设计寿命定为20年或 $2 \times 10^5\text{h}$ ，核电站趋向于更高。这一趋势带来的问题是蠕变数据缺少，因为做蠕变与持久试验是很花钱很费时的，而数据外推的方法的可靠性总还是要一定数量的实时数据来验证。
- 蠕变数据的积累需要广泛的国际合作，这种合作已进行若干年了。

二、化工容器的高温设计

(二) 高温压力容器分析设计的思路

- 美国规范ASMEⅧ—1是常规设计，它的范围包含了高温压力容器设计，具体的处理就是在给定材料的许用应力时当工作温度超过蠕变温度，就以蠕变极限或持久强度为基准。
- ASMEⅧ—2是分析设计，它在适用范围中明确规定不涉及有蠕变的压力容器，在给定许用应力时也只限于在蠕变温度以下。
- ASMEⅢ与ASMEⅧ—2相同，但是在实际应用时碰到了一个问题，即某些核反应堆是在蠕变温度以上工作的。为此，ASME在20世纪70年代后期编写了一份《规范案例N-47》)，作为高温压力容器分析设计的依据，并期望在使用若干年后编入ASMEⅢ的正文。
- N-47同样也适用于非核压力容器。在石油化工和煤化工行业中近代的大型加氢反应器严格讲也应属于按分析设计的重大设备，

二、化工容器的高温设计

(二) 高温压力容器分析设计的思路

- 对高温压力容器进行分析设计，涉及许多理论和实际经验问题，也涉及更周到的材料性能试验问题。这里仅提及一些重要的考虑因素：
- (1) 蠕变计算方法 必须考虑到容器部件总是处在多向应力状态下，而蠕变的基础数据是在单向拉伸下获得的 $[\varepsilon_c = f(T, \sigma, t)]$ 。
 - 如何选择适当的当量流变应力使之有可能利用基础数据是一个应力分析中首先要解决的问题。
 - 其次，实际构件中的多向应力又往往是沿厚度变化或不均匀分布的，随着时间的进程，各点上的蠕变应变是不一样的，由此就引起了“蠕变应力再分布”。
 - 简言之，不仅要研究初始应力分布，而且要分析应力历史。

二、化工容器的高温设计

(二) 高温压力容器分析设计的思路

- (2) 蠕变断裂寿命估算 在多向应力下，如何利用单向拉伸的应力-寿命数据，这是一个在科学研究中尚未解决的问题，设计者须选择一种合理的假设。再者，从上一段所述，应当考虑应力历史对寿命的影响，亦即采用一种合适的累积寿命规律。
- (3) 蠕变与疲劳交互作用 当高温压力容器要求作疲劳设计时，必须考虑蠕变与疲劳的交互作用。这种作用对不同的材料是不同的，而且与应力水平、应力幅、应变速率等因素都有关系。这时需要有足够的实验数据，并且考虑到单向拉压试件与实际结构的多向应力状态之间如何联系起来。

二、化工容器的高温设计

(二) 高温压力容器分析设计的思路

- (4) 松弛问题 对高温容器的螺栓连接，要作松弛分析。在初安装时，应力和应变是一定的，而这应变是弹性应变。在工作时，总应变量保持不变，由于蠕变的关系，蠕变应变一步步取代弹性应变，这样螺栓中的应力就会下降。应采取措施使密封处保持不漏，或者估算出定期再上紧螺栓的时间间隔。
- 以上简要地提了一些应考虑的项目，真正要进行按分析设计需要相当深入的专题学习和研究。

化工容器的高温蠕变

- 一、金属材料的高温蠕变
- 二、化工容器的高温设计
- 三、高温压力容器的残余寿命

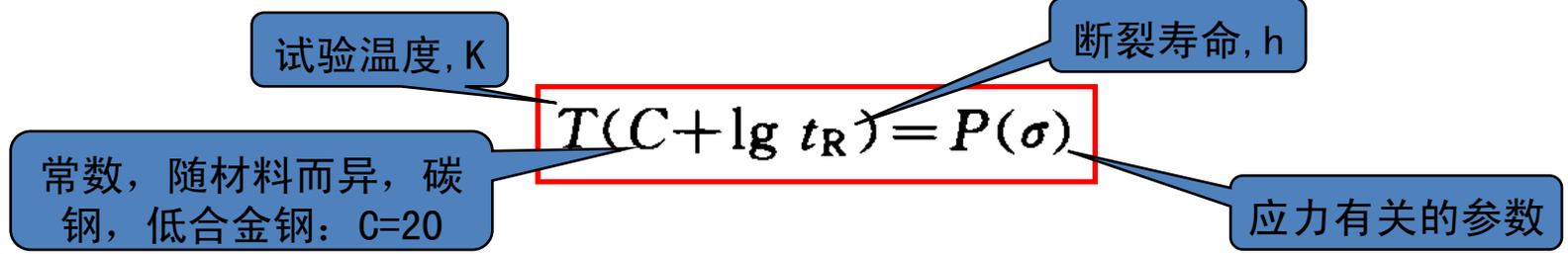
三、高温压力容器的残余寿命

- 高温压力容器的研究目前还很不充分，而在工业上的应用却已有几十年的历史，以前设计并投产的高温压力容器大多数是保守的，所以现在工业界面对着大量的“超期服役”的高温压力容器，其使用期远超过 10^5 h，这些压力容器能否继续安全服役，是工业界普遍关心的问题。另一方面，也有一些较新的容器，虽然设计寿命未到，但在定期检查中发现了裂纹，在此情况下，还能有多少残余寿命，是否需要焊补，也是工程师关心的问题。
- 残余寿命问题可分为两类：第一类是未发现宏观裂纹但材料已经过长期使用(高温和应力下)，还能用多久；第二类是发现了宏观裂纹，裂纹的扩展速率如何，还有多少时间会达到临界尺寸。

三、高温压力容器的残余寿命

(一) 未发现宏观裂纹的材料

- 对这种材料，无损检测是无能为力的。表面金相也未必能代表整个材料的内部情况，因此，往往必须取样分析。
- 取样以后，最老实的办法是重做蠕变或持久试验。但这种试验旷日持久，解决不了工程上迫切需要决策的问题，例如，要决定下一次大修中要不要换下。工程上很早就采用加速试验法，即提高试验温度和应力水平，然后外推到工作温度和工作应力水平。最早获得广泛应用的是20世纪50年代Larson-Miller提出的参数外推公式：



如在较高温度与较高应力下做实验，得到P(σ)与σ的关系曲线，就可外推到较低温度与较低应力下，计算出JR。

三、高温压力容器的残余寿命

(一) 未发现宏观裂纹的材料

- 由于Larson-Miller法不尽完善，近三十年来有相当多的学者发展了各种不同的参数外推法，总的目标是要通过加速试验来外推需要长时间试验才能得到的、实际工作温度与工作应力下的寿命数据，对已使用过的材料，这就是残余寿命估计。
- 除参数外推法外，还有一些其他的估计残余寿命的方法，如“蠕变内应力法”等。

三、高温压力容器的残余寿命

(二) 发现宏观裂纹的情况

- 如果在容器或管道的某些部位经探伤发现了宏观裂纹，这时问题的性质已起了变化，进入了高温断裂力学的范畴。
- 首先是要了解蠕变裂纹的扩展速率，并且把它与一个合适的断裂力学参数联系起来。
- 最初是在20世纪70年代初，英国针对电站中发生的由蠕变裂纹扩展而造成的事故以及查出大量的裂纹存在，用同样的材料进行了蠕变裂纹扩展的测试。Siverns和Price提出用应力强度因子K来归纳数据，其公式为：

$$\frac{da}{dt} = AK^n$$

n为指数，铬钼钢n≈6

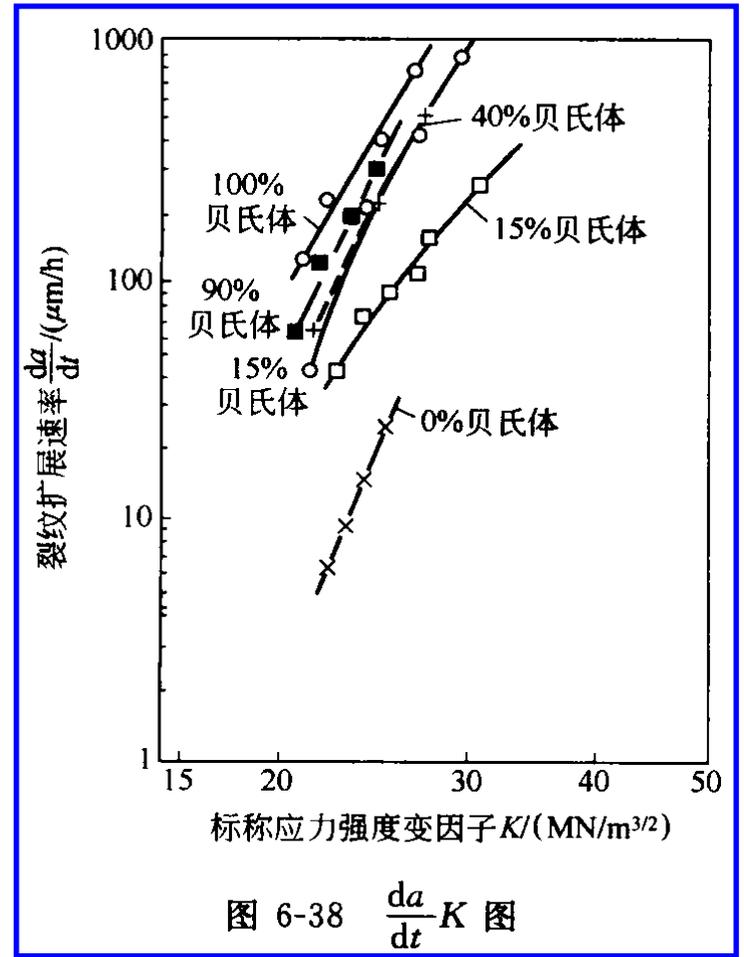
A为常数

当时利用这些研究结果，认定90%的裂纹可不必返修。

三、高温压力容器的残余寿命

(二) 发现宏观裂纹的情况

- 其后的研究表明，用K来归纳蠕变裂纹扩展数据，分散带很宽，
- 指数($n \approx 6$, 常大于6)很高，影响外推的准确性。
- 从理论上说，在蠕变状态下，材料具有很高的塑性和韧性，用线弹性断裂力学参数K并不合理。



三、高温压力容器的残余寿命

(二) 发现宏观裂纹的情况

- 1976年Landes和Begley提出了一个新的参数，命名为 C^* ，数据归纳公式为：

$$\frac{da}{dt} = BC^* \phi$$

指数 ϕ 值对铬
钼钢约为0.82

- C^* 的提出有一定的理论背景，十几年来相当多的人通过研究对 C^* 得到较好的评价。从试件结果来看，用 C^* 参数有两个明显的优点，一是数据分散性明显减小，二是指数 ϕ (约0.8)较低，有利于外推。
- 然而 C^* 在应用上碰到一个大问题，即实际结构中裂纹的 C^* 值如何算法，这方面研究还刚开始。对比之下，结构裂纹的 K 值计算却有大量文献可以参考。
- 目前的状况是，用 K 不合理、不完善，但工程上可以应付一下急迫的问题；用 C^* 合理，数据归纳较有规律，但工程上应用相当困难，相信在今后几年或十几年中会有新的进展。

化工低温压力容器

一、低温容器的材料选用

二、低温容器设计、制造中需注意的问题

一、低温容器的材料选用

- 设计温度低于或等于 -20°C 的碳素钢和低合金钢制造的压力容器属于“低温压力容器”。
- 化工厂中有不少容器的工作条件处于低温下，例如液化乙烯、液化天然气、液氮等的贮罐，石油化工装置中的低温分离系统等。
- 有一些容器虽不属于低温操作，但由于环境温度影响，壳体的金属温度可能达到低于或等于 -20°C (例如中国北方地区的室外的无保温的容器)，也应当按照低温压力容器处理。
- 奥氏体高合金钢制低温容器在设计温度高于或等于 -196°C 时，可不作为低温压力容器处理。

一、低温容器的材料选用

- 钢材随着使用温度的降低，会由延性状态转变为脆性状态，抗冲击性能会有很大的降低。
- 当存在难以避免的缺陷时，在低于脆性转变温度下受力，会导致脆断，脆断的发源点往往在应力高度集中的部位，因此对低温压力容器在设计时应给予特别的重视。
- 低温压力容器的强度设计与常温容器相同，但是在选材及其力学性能检验、结构设计和制造要求等方面有更严格的规定。
- GB 150《钢制压力容器》附录C“低温压力容器”即为现行的低温压力容器设计、制造、检验与验收规程。

一、低温容器的材料选用

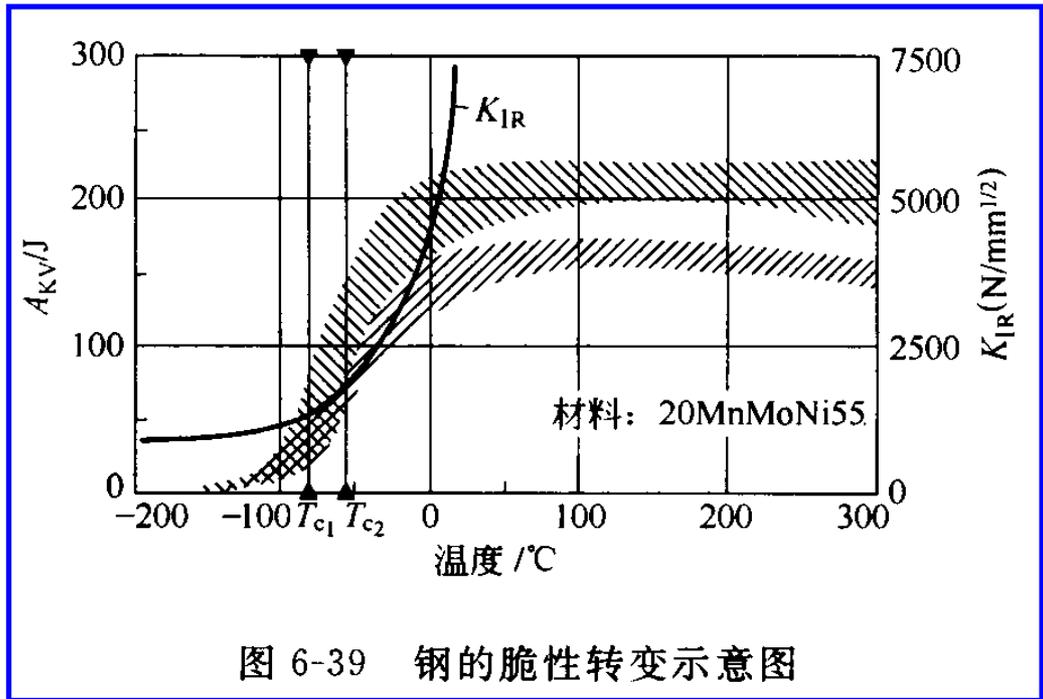
(一) 低温容器材料的韧性

- 韧性是压力容器钢的重要指标，更是低温压力容器用钢严格控制的指标。材料的韧性是强度与塑性的综合反映，衡量钢材韧性的指标有多种，目前用标准V形缺口夏比试样用冲击试验机测得冲击吸收功值AK_v，单位:J(焦耳)。
- 低温容器用钢对冲击功值有更为严格的要求，因为随着温度的降低一些钢(主要指铁素体钢)的韧性会下降。

一、低温容器的材料选用

(一) 低温容器材料的韧性

- 图为钢材冲击功值随温度变化的示意图，存在一个转变温度 T_c (脆性转变温度)。
- 在此温度以下，冲击功之值突然降低，断裂韧性值 K_{IR} 也明显降低，标志着钢材进入了脆性状态。
- 钢材的使用温度须高于脆性转变温度。同时低温冲击功值 A_{KV} 必须大于某一数值，才能确保足够的韧性，避免发生脆断。



一、低温容器的材料选用

(一) 低温容器材料的韧性

- GB150规定了常用低温容器钢板的最低冲击试验温度。实际上就是钢板允许的最低使用温度。

表 6-4 压力容器钢板最低冲击试验温度

钢 号	使 用 状 态	厚度/mm	最低冲击试验温度/℃
16MnR	热轧	6~25	-20
	正火	6~120	
07MnCrMoVR	调质	16~50	-20
16MnDR	正火	6~36	-40
		>36~100	-30
07MnNiCrMoVDR	调质	16~50	-40
15MnNiDR	正火, 正火加回火	6~60	-45
09MnNiDR	正火, 正火加回火	6~60	-70

一、低温容器的材料选用

(一) 低温容器材料的韧性

- GB150还给出了不同强度等级钢的低温冲击时最低冲击功的值。低温容器钢板复验时必须做低温冲击试验，冲击试验温度必须低于或等于容器或其受压元件的最低设计温度。

表 6-5 低温夏比 (V 形缺口) 冲击试验最低冲击功规定值

钢材标准抗拉强度下限值 σ_b /MPa	三个试样的冲击功平均值 A_{KV} /J
≤ 450	18
$> 450 \sim 515$	20
$> 515 \sim 650$	27
奥氏体钢焊缝金属	31

注：1. 试验温度下三个试样的冲击功平均值不得低于表中的规定；其中单个试样的冲击功可小于平均值，但不得小于平均值的 70%。

2. 抗拉强度大于 655MPa 的螺栓等钢材的冲击功值按抗拉强度下限值等于 655MPa 钢材的要求，但 40CrNiMo 的低温冲击功应不小于 31J（三个试样平均值）。

一、低温容器的材料选用

(一) 低温容器材料的韧性

- 值得注意的是，奥氏体钢不像铁素体钢存在有低温下的韧性降低和脆性转变温度的问题。奥氏体钢不仅在常温下有非常优良的韧性，而且随着温度的降低其韧性几乎保持不变。当温度降到 -196°C 时仍然如此。因此奥氏体不锈钢是优良的低温容器用钢，只是其价格远高于常用铁素体类低温用钢。对到 -196°C 时奥氏体不锈钢几乎是惟一可以选用的低温容器用钢，任何铁素体类钢无法代替。
- 有色金属铝和铜也是具有优良低温塑性和韧性的金属材料。近年来大型空气分离装置低温部分的容器大量采用铝材制造，价格也较便宜。铜(紫铜和青铜)因其资源不多和价格较高，也已逐渐不用于制造低温容器。而且铝、铜等有色金属的强度也较低，不大适合制造大型低温容器。

一、低温容器的材料选用

(二) 低温容器用钢

- 我国《钢制压力容器》(GB 150)采用了《低温压力容器用低合金钢厚钢板技术条件》(GB 3531)中4种铁素体型低温容器用钢：16MnDR、07MnNiCrMoVDR、15MnNiDR、09MnNiDR。均属于无镍或节镍的低温用钢。
- 而对于-20°C的容器推荐采用20R或16MnR，因而构成了上表所列的6种低温用钢。钢号中的DR是汉语拼音“低容”的代号，其中20R是属于抗拉强度 $\sigma_b < 450\text{MPa}$ 等级的碳素低温($\geq -20^\circ\text{C}$)用钢。而其余皆为强度等级为 $>450 \sim \leq 515\text{MPa}$ 的低温用钢。在设计钢种时，-70°C级以下的低温钢所追求的不在于提高强度，而在于保证低温下能达到对韧性的要求。

一、低温容器的材料选用

(二) 低温容器用钢

- 作为低温容器用钢与普通的压力容器用钢相比，低温容器用钢有其较高的冶炼与检验要求。主要有如下几点。
- 在化学成分上，低温容器用钢的含碳量更低，添加少量韧化元素锰和镍，对各元素分析的偏差控制加严，允许的磷、硫含量严于压力容器用钢，GB 3531中规定低温钢的磷、含量不得超过0.025%、硫不超过0.015%，而GB 6654压力容器用钢要求不超过0.035%。
- 在供货的热处理状态上，低温容器用钢不允许以轧制状态交货，必须是正火状态或调质状态，这都为了确保材料的韧性。
- 在力学性能上低温钢略微降低了对强度(σ_b 、 σ_y)的要求，体现了宁可放弃些强度而要确保韧性的思想。

一、低温容器的材料选用

(二) 低温容器用钢

- 在冲击功值上由于要求在低温下做冲击试验，如果仍以常温的 A_{KV} 值来要求将显得过于苛求，采用国际上通用的要求：对 $\sigma_b > 450 \sim < 515 \text{MPa}$ 的低温钢，要求 $A_{KV} \geq 20 \text{J}$ ，而20R由于强度等级低，要求在18J以上即可。低温容器制造厂必须进行低温冲击功的复验。
- 用于低温容器壳体钢板的厚度大于20mm时，应逐张进行超声波探伤，剔除分层缺陷超标的钢板。

一、低温容器的材料选用

(二) 低温容器用钢

- 我国的低温钢种曾因考虑资源而采用无镍的铁素体钢，而国际上则较多采用含镍的铁素体钢，如2.5%镍钢、3.5%镍钢，用于-100°C时则采用低碳含镍的马氏体9%镍钢，直至采用奥氏体不锈钢。
- 我国常用的低温压力容器用钢归纳起来可以分为三类。
——**第一类属铁素体类低温钢**，仅用于-40~-70°C范围，包括GB 3531中列入的16MnDR、15MnNbDR、09Mn2VDR、09MnNbDR等4种。GB150标准于2002年7月修改，不再推荐09Mn2VDR，而推荐了06MnNbDR(-90°C)和强度较高的07MnNiCrMoVDR(-40°C)

一、低温容器的材料选用

(二) 低温容器用钢

——第二类为低碳含镍马氏体钢，如Ni9钢，适用于-100~-120°C，常用于建造大型液化天然气贮罐，钢板厚度不超过50mm的焊接时可不预热，焊后可不做热处理。但由于Ni9钢焊接时易形成热裂纹，常用于高镍焊条焊接。

——第三类低温钢是低镍奥氏体钢，主要用1Cr18Ni9(-196~C)和15Mn26A14(-253~C)，一般在固溶化状态使用。

化工低温压力容器

一、低温容器的材料选用

二、低温容器设计、制造中需注意的问题

二、低温容器设计、制造中需注意的问题

(一) 结构与制造中需注意的问题

- 在低温压力容器的结构设计方面，原则上应当尽力避免会造成局部高应力的结构因素，GB150指出：
 - (i) 结构应尽量简单，减少约束；
 - (ii) 避免产生过大的温度梯度；
 - (iii) 应尽量避免结构形状的突然变化，以减小局部高应力；接管端部应打磨成圆角，使圆滑过渡；
 - (iv) 不应使用不连续的或点焊连接焊缝；
 - (v) 容器的支座或支腿需设置垫板，不得直接焊在壳体上。

二、低温容器设计、制造中需注意的问题

(一) 结构与制造中需注意的问题

- 对容器的焊接接头的设计亦应特别注意。焊缝应采用对接，即使接管根部的角焊缝也应采用可以全焊透的结构。
- 在制造和检验方面，特别要注意焊接和热处理问题，焊接材料要选用高韧性的与母材匹配的材料，对焊接工艺的评定要着重评定焊缝和热影响区的低温冲击功 A_{KV} 值，焊接接头厚度大于16mm的碳素钢和低合金钢制低温压力容器或元件应进行焊后热处理。对焊缝的探伤要求也比一般常温压力容器高。

二、低温容器设计、制造中需注意的问题

(二) 关于“低温低应力工况”容器

- “低温低应力工况”系指容器或受压元件的设计温度虽然低于 -20°C ，属于低温的范畴，但其环向薄膜应力(或其他一次应力)小于或等于钢材标准常温屈服点的 $1/6$ ，且不大于 50MPa 的低应力工况，在这种情况下虽遇低温，但由于应力低，即使结构存在局部的应力集中，其最大应力(包括一次、二次和峰值应力)也达不到名义应力的六倍，因此达不到材料的屈服应力，也就是在峰值应力作用点上材料不会发生屈服和弹性失效。

二、低温容器设计、制造中需注意的问题

(二) 关于“低温低应力工况”容器

- 对于“低温低应力工况”下的低温容器，若设计温度加 50°C 后高于 -20°C 则不必按低温容器的规程进行设计制造。
- 对于“低温低应力工况”下的低温容器，若设计温度加 50°C 后仍低于 -20°C ，则钢材的冲击试验温度须低于或等于最低设计温度加 50°C 。要求的冲击功值仍应满足上述的要求。其他的材料要求、设计要求与制造要求均按低温容器规程执行。

二、低温容器设计、制造中需注意的问题

(三) 关于低温容器的其他受压元件

- 与低温容器配用的接管、螺栓螺母及锻件等受压元件，设计时也应采用与壳体板材相对应的钢材。锻件材料的低温冲击试验要求可参见GB150-1998的4.4.3款。配用的无缝钢管如无相应的低温钢管时允许采用一些优质低碳钢和低合金钢无缝管，但必须在规定的低温下做钢材的冲击试验。具体的规定和要求可参见GB150—1998的附录C。

完

谢谢大家!