



API RECOMMENDED
PRACTICE 530
SECOND EDITION
1978

美国石油学会推荐实用规程

炼油厂加热炉炉管壁厚计算

第二版

石油工业部炼油设备设计技术中心站

炼油厂加热炉炉管壁厚计算

美国石油学会推荐实用规程 API RP530

第二版

1978年5月

王兰田 译

卢鹏飞 校

石油工业部炼油设备设计技术中心站

1980年2月·北京

Recommended Practice for
Calculation of Heater Tube
Thickness in Petroleum Refineries

Refining Department
API RECOMMENDED PRACTICE 530
SECOND EDITION, MAY 1978

API RP530

炼油厂加热炉炉管壁厚计算

石油工业部炼油设备设计技术中心站

(北京市10053信箱 北京石油设计院)

燕山石油化学总公司印刷厂印刷

工本费: 1.50元

资料编号: B-80-1-3

前 言

本推荐规程是以炼油厂、火焰加热炉制造厂家和工程承包厂家积累的知识和经验为基础编写的。本文的目的是提供一个推荐设计方法，以便对炼油厂加热炉炉管进行设计和采购。

本规程需要购方规定一些细节。虽然我们了解到购方可能要求对规程某些章节进行修改、删节和补充，但我们坚持认为，对本规程宁可进行增补，而不愿进行改写或将某些章节并入其它的完整规程内。

请提出修改意见并送交华盛顿D.C.20037西南2101 L大街美国石油学会炼油部负责人。

出 版 说 明

本书是1978年版“美国石油学会炼油厂加热炉炉管壁厚 计算 推荐实用规程”。这个新版本比1958年版本增加了新的内容，并在计算程序上进行了许多修改。

目前，世界各国石油化工公司大部分都采用这种方法计算石油、化工工艺加热炉的炉管壁厚。为便于国内使用并核算国外引进装置炉管壁厚，特将其翻译出版。需要说明的是，这个推荐实用规程的原文版本中，对各种材质的“温度—应力曲线”是根据两种不同单位制分别绘制的。一套用英制单位“温度 $^{\circ}\text{F}$ ——应力磅/英寸 2 ”（原版中图3—A到图3—Q），一套用国际单位制“温度 $^{\circ}\text{C}$ ——应力百万巴斯卡”〔原版中图3—A(SI)到图3—Q(SI)〕。从我国具体情况出发，本译文删去了原文版中英制单位的温度—应力曲线图（图3—A到图3—Q）。但对所有例题中用两种单位制分别计算的结果均予以保留，以保持译文的完整性。

本规程中使用的部分单位，如应力单位百万巴斯卡，热强度单位瓦特/米 2 等，以往国内使用较少，为方便读者，特将某些单位的换算附于正文之后。

另外，将原文中的图4、5、6，分别改为计算表1、2、3。

在译文中可能有错误及欠妥之处，请同志们批评指正。

石油工业部炼油设备设计技术中心站

任何API规程所包括的内容，根据其含意或其它理由都不能解释为是对涉及专利权的任一方法、设备或产品的制造、销售或使用授予的任何权利，也不能解释为任何人违反专利权可不承担责任。

API规程可供愿意执行规程的任何人使用，本学会尽了一切努力保证规程数据的准确性和可靠性。但是，本学会对API各种规程不代理、不担保或不承担责任。并明确表示：对使用API规程引起的任何损失或损害、对与API规程有矛盾而违反了联邦、州或市的规定、或由于使用API规程而引起违反任何专利权等行为，本学会不承担任何义务或责任。

目 录

第一章	概述	1
1.1	范围.....	1
1.2	需要的数据.....	1
1.3	限制条件.....	1
1.4	术语定义.....	2
第二章	设计	3
2.1	概述.....	3
2.2	应力公式.....	4
2.3	弹性设计(较低温度).....	4
2.4	断裂设计(较高温度).....	4
2.5	中间温度范围.....	5
2.6	对最小壁厚的实用限制.....	5
2.7	最小厚度和平均厚度.....	5
2.8	当量管壁金属温度.....	6
第三章	许用应力	9
3.1	概述.....	9
3.2	弹性许用应力.....	10
3.3	断裂许用应力.....	10
3.4	断裂指数.....	10
3.5	屈服强度和抗拉强度.....	10
3.6	拉伸—米勒尔参数曲线.....	10
3.7	极限设计金属温度.....	11
3.8	许用应力曲线.....	12
第四章	计算例题	13
4.1	弹性设计.....	13
4.2	热应力校核(仅对弹性范围).....	13
4.3	在恒温下的断裂设计.....	15

4.1 在温度线性变化下的断裂设计.....	16
附录A 数据来源.....	20
附录B 腐蚀分数和温度分数的推导.....	24
附录C 最高管壁温度的计算.....	30
附录D 热应力限制—弹性范围.....	38
附录E 炉管剩余寿命的估算.....	41
附录F API RP-530计算表.....	45
参考文献.....	47
附 单位换算.....	43

表:

表1 对新炉管最小壁厚的实用限制.....	5
表2 计算公式汇总.....	7
表3 计算温度分数用的材料常数.....	8
表4 加热炉管钢材设计金属温度的限制.....	11
表5 许用应力曲线索引.....	12
表A-1 屈服、抗拉和断裂强度数据来源.....	21
表E-1 管子过去的操作条件.....	42
表E-2 每个周期的寿命分数.....	42
表E-3 最小强度下未来寿命分数.....	44
表E-4 平均强度下未来寿命分数.....	44
计算表1 弹性设计计算实例.....	17
计算表2 断裂设计计算实例(温度不变).....	18
计算表3 断裂设计计算实例(温度改变).....	19

图:

图1 腐蚀分数.....	49
图2 温度分数.....	9
图3-A(SI) 低碳钢.....	50
图3-B(SI) 中碳钢.....	51
图3-C(SI) 碳—1/2Mo.....	52
图3-D(SI) 1 1/4Cr—1/2Mo.....	53
图3-E(SI) 2 1/4Cr—1 Mo.....	51
图3-F(SI) 3 Cr—1 Mo.....	55
图3-G(SI) 5 Cr—1/2Mo.....	56
图3-H(SI) 5 Cr—1/2Mo—Si.....	57
图3-I(SI) 7 Cr—1/2Mo.....	58
图3-J(SI) 9 Cr—1 Mo.....	59
图3-K(SI) Type 304和304H.....	60

图3-L(SI) Type 316和316H.....	61
图3-M(SI) Type 321	62
图3-N(SI) Type 321H.....	63
图3-O(SI) Type 347和347H	64
图3-P(SI) Alloy 800H	65
图3-Q(SI) HK —40.....	66
图C-1 管内液体流动传热 系数.....	31
图C-2 炉管周向最高热强度与平均热强 度比值.....	33

第一章 概 述

1.1 范围

本推荐实用规程规定了石油炼厂加热炉新炉管所需壁厚的计算方法和设计准则。这些方法适用于有腐蚀及无腐蚀两种情况下炉管的设计，是专门为炼油厂炉管（直接火焰加热，吸热管位于炉膛内）设计而推导出来的。这些方法不能用于外部配管的设计。

本推荐方法是根据当前有关知识得出的实用的工程方法。它的根据和来源，设计公式和应力，分别包括在第二章和第三章中。

附录A详细叙述了确定许用应力所用数据的来源。附录B给出了腐蚀分数和温度分数公式的推导。炉管壁温计算方法见附录C。附录D则包括炉管内的热应力限制。

本实用规程不包括炉管报废厚度的推荐值，但炉管剩余寿命的估算方法已在附录E中给出。

1.2 需要的数据

在说明这个推荐实用规程的使用时，必须给出常用的设计参数：即设计压力、设计流体温度、腐蚀裕度、管子材质等。另外，以下数据也必须提供：

1. 设计寿命；
2. 是否应用当量温度概念。如果需要，必须提供一个运转周期开始和终了的条件；
3. 温度裕量，若有时则应提出；
4. 腐蚀分数，仅在与图1所给数据不同时才需提出；
5. 是否应用弹性范围热应力限制。

如果未提出以上五项中的任一项时，则可以采用下列数据：

1. 设计寿命 = 100,000小时；
2. 设计金属温度采用最高金属温度；
3. 温度余量 = 25°F (15°C)；
4. 腐蚀分数按图1查用；
5. 应用弹性范围热应力限制。

1.3 限制条件

本文所述设计方法的限制条件是1.3.1~1.3.7。

1.3.1 许用应力仅仅是根据屈服强度和断裂强度考虑的，没有考虑采用塑性应变或蠕变应变。应认识到，在某些应用中，由于采用了这些许用应力而会出现小的永久变形。但不管怎样，这些小的变形不会影响炉管的安全性和操作能力。

1.3.2 没有考虑不利因素的影响，如石墨化，渗碳或氢浸蚀。氢浸蚀界限按“纳尔逊

曲线”的规定¹⁾。

1.3.3 这些设计方法是根据无缝管推导出来的。当采用有纵向焊缝的管子时,许用应力值必须乘以适当的焊接系数。

1.3.4 该设计方法是用薄壁管推导出来的,管子壁厚与外径之比应小于0.15。厚壁管的设计需另作考虑。

1.3.5 没有考虑交变压力或交变热载荷的影响。

1.3.6 设计负荷仅包括内部压力。热应力限制在附录D中给出。由于重量、支架、端部连接等等引起的应力限制未包括在内。

1.3.7 在图3—A(SI)到图3—Q(SI)中的拉申—米勒尔(Larson—Miller)参数曲线,大部分不是拉申—米勒尔的传统曲线,而是如A.3说明中所述,是由100,000小时断裂强度推导出来的。因此,这些曲线不适用于估算设计寿命小于20,000小时或大于200,000小时的断裂强度。

1.4 术语定义

下述各术语是本推荐实用规程中所采用的。

1.4.1 设计金属温度 T_d , °F (°C), 是用于设计的管子金属(管壁)温度。通常是由计算得出的最高管子金属温度(附录C中的 T_m)或当量管子金属温度(1.4.2中的 T_e)再加上适当的温度余量(见1.4.6)定出的。由热强度计算最高管子金属温度的方法包括在附录C中。注意在采用当量管子金属温度时,最高操作温度可能比设计金属温度高。

1.4.2 当量管子金属温度 T_e , °F (°C), 是一个计算出来的不变的金属温度。它是在给定时间内,由于金属温度线性变化而产生相同的蠕变破坏的温度(见2.8)。

1.4.3 弹性设计压力 P_e , 磅/英寸²(表)[百万巴斯卡(表)], 是炉子盘管短期可能出现的最高压力,通常与安全阀定压、泵最高压力等有关。

1.4.4 断裂设计压力 P_r , 磅/英寸²(表)[百万巴斯卡(表)], 是考虑管段任意点在正常操作下所承受的最高操作压力。这是炉管在长时间操作中必须承受的压力。如果在操作运转期间压力有变化,则必须采用最高操作压力。

断裂设计压力通常小于弹性设计压力。区分这两种压力的特点是它们作用的时间长短不同。断裂设计压力是长期负荷的条件,相对稳定周期为几年。弹性设计压力通常是短期负荷条件,典型的是几小时,也可能是几天。断裂设计压力用在断裂设计公式中,因为在操作或长时间应力作用下,最终会出现蠕变破坏。弹性设计压力用在弹性设计公式中,以防止在最高压力期间管内应力过大。

1.4.5 腐蚀裕度CA, 英寸(毫米), 是指管子厚度中供腐蚀的部分。

1.4.6 温度余量TA, °F (°C), 是指设计金属温度的一部分,它通常包括工艺过程的变化或烟气的不均匀分配,操作中的未知因素及设计不准确等方面。这个温度余量与计算出的最高管壁金属温度或当量管壁金属温度相加即可得出设计金属温度(见1.4.1)。

1.4.7 最小厚度 t_m , 英寸(毫米), 是新管子要求的最小壁厚,包括各种适当的余量。

1.1.8 应力厚度 t_s ,英寸(毫米),是除去所有厚度余量的中间厚度,它是根据许用应力公式计算出来的。

1.4.9 外径 D_o ,英寸(毫米),新管子的外径。

1.4.10 实际内径 D_i ,英寸(毫米),新管子的内径,实际内径用于附录C中管壁温度的计算及附录D中热应力的计算。

1.4.11 内径 D_i' ,英寸(毫米),是去掉腐蚀裕度后的内径。铸造管内径是去掉疏松层和腐蚀裕度后的内径。这个内径用在设计计算中。

1.4.12 设计寿命 L_d ,小时,是用作管子设计基础的操作时间。设计寿命不一定与报废时间或更换时间相同。

1.4.13 弹性许用应力 S_e ,磅/英寸²(百万巴斯卡),是弹性范围许用应力。更明确的定义见3.2。如果管子有纵向焊缝则见1.3.3。

1.4.14 断裂许用应力 S_r ,磅/英寸²(百万巴斯卡),是蠕变—断裂范围许用应力,更明确的定义见3.3。如果管子有纵向焊缝则见1.3.3。

1.4.15 断裂指数 n ,是蠕变—断裂范围设计中所用的一个参数。更明确的定义见A.4。

第二章 设 计

2.1 概述

在热油炉管内操作温度为575°F(300℃)的碳钢与在催化重整炉管内操作温度为1110°F(600℃)的铬钼钢,两种工况是有根本区别的。在较高温度下的钢材即使应力低于屈服强度也会发生蠕变(永久变形)。当管壁金属温度高到足以有显著的蠕变时,甚至在腐蚀或氧化作用不太厉害时,管子也会由于蠕变—断裂而失效。处在较低温度下的钢材,蠕变效果不存在或可忽略。在这种情况下,现有的经验表明,除非存在腐蚀或氧化作用,否则管子会长期使用下去。

因为在这两种温度下材料的工况有着根本区别,所以炉管有两种不同的设计考虑方法。这就是所谓的“弹性设计”和“蠕变—断裂设计”,后者又简称“断裂设计”。弹性设计是“弹性范围”内的设计(较低温度),其许用应力是根据屈服强度确定的(见2.3)。断裂设计是“蠕变—断裂范围”内的设计(较高温度),其许用应力是根据断裂强度确定的(见2.4)。

区分炉管弹性范围和蠕变—断裂范围的温度不是一个简单数值,而是根据不同合金钢确定的温度范围。对碳钢管,这个温度范围的下限约800°F(425℃);347型不锈钢温度范围的下限约1100°F(590℃)。影响设计范围的其它因素还包括弹性设计和断裂设计的压力、设计寿命和腐蚀裕度。

在温度区位于弹性许用应力和断裂许用应力交叉点附近时,弹性设计和断裂设计两种公式都需采用,其中 t_m 的较大值作为设计采用值(见2.5)。用这种方法计算的一个例题

见第四章。RP—530计算表（见附录F）适用于最小壁厚及当量管壁金属温度的简化计算。其应用实例见计算表1、2、3。

所有本章给出的设计公式全部综合在表2中。

2.2 应力公式

弹性范围和蠕变—断裂范围两种设计公式都是根据平均直径公式求管内应力。在弹性范围内，采用弹性设计压力 P_e 和弹性许用应力 S_e 。在蠕变—断裂范围内，则采用断裂设计压力 P_r 和断裂许用应力 S_r 。

平均直径公式可以准确估计薄壁管（薄壁管定义见1.3.4）内整个管壁产生屈服时的压力，平均直径公式也提供了受压管的蠕变—断裂和单轴试样之间的准确关系。所以，它是在弹性范围和蠕变—断裂范围两种条件下的理想应用公式〔2, 3, 4, 5〕。计算应力的平均直径公式如下：

$$S = \frac{P}{2} \left(\frac{D_o}{t} - 1 \right) = \frac{P}{2} \left(\frac{D_i'}{t} + 1 \right) \quad (1)$$

可由此公式推导出2.3及2.4应力厚度 t_s 的公式。

2.3 弹性设计（较低温度）

设计基础：当腐蚀裕度已经耗尽，接近设计寿命末期时，防止在最高压力状态下（压力接近到 P_e ）由于破裂而损坏。

$$t_s = \frac{P_e D_o}{2S_e + P_e} \quad \text{或} \quad t_s = \frac{P_e D_i'}{2S_e - P_e} \quad (2)$$

$$t_m = t_s + CA \quad (\text{见2.6}) \quad (3)$$

式中 S_e = 设计金属温度下的弹性许用应力。

2.4 断裂设计（较高温度）

设计基础：在设计寿命期间，防止由于蠕变—断裂而损坏。

$$t_s = \frac{P_e D_o}{2S_r + P_r} \quad \text{或} \quad t_s = \frac{P_r D_i'}{2S_r - P_r} \quad (4)$$

$$t_m = t_s + fCA \quad (\text{见2.6}) \quad (5)$$

式中 S_r = 在设计金属温度及设计寿命下的断裂许用应力；

f = 腐蚀分数。它是图1中B和 n 的函数；

n = 断裂指数。 n 是设计金属温度的函数，如图3-A（SI）到图3-Q（SI）所示。

参数B由下式求出：

$$B = CA/t_s \quad (6)$$

腐蚀分数由附录B导出。在推导过程中，其前提是认为由于腐蚀裕度使应力减小了，并相应使断裂寿命增加。

这个设计公式适用于炉管。但在特殊条件下，用户要求更保守的设计，则腐蚀分数可以采用1（ $f=1$ ）。

2.5 中间温度范围

在温度位于图3—A(SI)到图3—Q(SI)中的 S_e 及 S_r 曲线交点附近时，设计可能根据弹性考虑，也可能根据断裂考虑。在这个温度范围内，应用两种设计公式（见2.3和2.4）进行计算，其中较大的 t_m 即为设计采用值。

2.6 对最小壁厚的实用限制

新管子的最小壁厚（包括腐蚀裕度） t_m 不得小于表1中所规定的数值。对铁素体钢，所示值是平均管厚为标准号40（Schedule 40）管子的最小壁厚。对奥氏体钢，所示值是平均管厚为标准号10S（Schedule 10S）的管子的最小壁厚。这些最小值是根据工业实践确定的（表5中给出了哪些合金钢属铁素体，哪些属奥氏体）。注意该值不是使用管子的报废厚度或更换厚度。

表1 对新炉管最小壁厚的实用限制

炉 管 外 径		铁素体钢炉管最小壁厚		奥氏体钢炉管最小壁厚	
英 寸	毫 米	英 寸	毫 米	英 寸	毫 米
2.375	60.3	0.135	3.4	0.095	2.4
2.875	73.0	0.178	4.5	0.105	2.7
3.50	88.9	0.189	4.8	0.105	2.7
4.00	101.6	0.198	5.0	0.105	2.7
4.50	114.3	0.207	5.3	0.105	2.7
5.563	141.3	0.226	5.7	0.117	3.0
6.625	168.3	0.245	6.2	0.117	3.0
8.625	219.1	0.282	7.2	0.130	3.3
10.75	273.1	0.319	8.1	0.144	3.7

2.7 最小厚度和平均厚度

最小厚度由2.3和2.4计算。根据最小厚度订货的管子，其平均厚度应较大。厚度公差在美国材料试验协会（ASTM）各个规范中均有规定。表示在图3—A（SI）到图3—Q（SI）上的大部分ASTM规范，热轧管最小厚度公差是 $-0, +28\%$ ，冷拔管为 $-0, +22\%$ ，分别相当于平均壁厚公差 $\pm 12.3\%$ 及 $\pm 9.9\%$ 。另外规定要求最小厚度必须大于0.875倍平均厚度，相当于平均壁厚公差 $\pm 12.5\%$ 。

公差为 $-0, +28\%$ ，按最小规定壁厚为0.500英寸（12.7毫米）订货的管子，其平均壁厚为

$$(0.500) \left(1 + \frac{0.28}{2} \right) = 0.571 \text{ 英寸 (14.5 毫米)}$$

为了使最小壁厚为0.500英寸(12.7毫米),在订货的管子平均壁厚公差为 $\pm 12.5\%$ 时,平均壁厚必须按以下规定

$$(0.500) / (1 - 0.125) = 0.571 \text{ 英寸 (14.5 毫米)}$$

所有规定的壁厚都应指明是最小值还是平均厚度。用于确定最小厚度和平均壁厚的公差值应在订货管子说明中写明。

2.8 当量管壁金属温度

在蠕变—断裂范围内,破坏的积累是实际操作温度的函数。应用上包括运转开始与终了的管壁温度差,根据最高温度设计可能过高,因为实际操作温度往往低于最高温度。

在金属温度从运转开始的管壁金属温度 $T_{s.or}$ 到运转终了的管壁金属温度 $T_{e.or}$ 成直线变化时,可以用下式计算出当量管壁金属温度 T_e 。在 T_e 下操作的管子的蠕变破坏和由 $T_{s.or}$ 到 $T_{e.or}$ 操作的管子相同。

$$T_e = T_{s.or} + f_T (T_{e.or} - T_{s.or}) \quad (7)$$

式中 T_e = 当量管壁金属温度, $^{\circ}\text{F}$ ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{s.or}$ = 运转开始时管壁金属温度, $^{\circ}\text{F}$ ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{e.or}$ = 运转终了时管壁金属温度, $^{\circ}\text{F}$ ($^{\circ}\text{C}$);

f_T = 温度分数。

温度分数在图2中给出,其推导过程见附录B,它是参数 V 和 N 的函数,(式中 $\ln$ 为自然对数):

$$V = n_o \left(-\frac{\Delta T}{T_a} \right) \ln \left(\frac{A}{S_o} \right)$$

$$N = n_o \left(-\frac{\Delta t}{t_o} \right)$$

式中 n_o = 在 $T_{s.or}$ 下的断裂指数;

$\Delta T = T_{e.or} - T_{s.or}$, 操作周期 L_o 年中的温度变化, $^{\circ}\text{F}$ ($^{\circ}\text{C}$);

$T_a = T_{s.or} + 460$, $^{\circ}\text{R}$ ($T_{s.or} + 273$, $^{\circ}\text{K}$);

$\Delta t = RL_o$, 操作周期 L_o 年中的壁厚变化, 英寸(毫米);

R = 腐蚀速度, 英寸/年(毫米/年);

t_o = 运转开始时的最初壁厚, 英寸(毫米);

S_o = 运转开始时的最初应力, 用公式1计算, 磅/英寸²(百万巴斯卡);

A = 材料常数, 磅/英寸²(百万巴斯卡)。

常数 A 由表3给出。其意义在B.5中说明。

温度分数和当量温度应按第一个操作周期的数据计算。如在应用中腐蚀速率很高,最末一个周期的温度分数将比第一个周期大。在这种情况下,温度分数和当量温度必须根据最末

一个周期的数据计算。

如果由运转开始到运转终了的管壁金属温度不成直线变化时,对采用图2给出的 f_T 值必须进行校核。也要注意到管子的计算壁厚随当量温度而变化,但反过来当量温度又与最初应力下的壁厚有关。所以,在设计中需要进行几次反复猜算。这点由4.4计算例题加以说明。

表2 计 算 公 式 汇 总

弹性设计 (较低温度)

$$t_s = \frac{P_e D_o}{2S_e + P_e} \quad \text{或} \quad t_s = \frac{P_e D'_1}{2S_e - P_e} \quad (\text{公式2})$$

$$t_m = t_s + CA \quad (\text{公式3})$$

断裂设计 (较高温度)

$$t_s = \frac{P_r D_o}{2S_r + P_r} \quad \text{或} \quad t_s = \frac{P_r D'_1}{2S_r - P_r} \quad (\text{公式4})$$

$$t_m = t_s + fCA \quad (\text{公式5})$$

式中 P_e = 弹性设计压力, 磅/英寸² (表) [百万巴斯卡(表)];

P_r = 断裂设计压力, 磅/英寸² (表) [百万巴斯卡(表)];

D_o = 外径, 英寸 (毫米);

D'_1 = 不包括腐蚀裕度的内径, 英寸 (毫米);

S_e = 在设计金属温度下的弹性许用应力, 磅/英寸² (百万巴斯卡);

S_r = 在设计金属温度和设计寿命下的断裂许用应力, 磅/英寸² (百万巴斯卡);

t_s = 应力厚度, 英寸 (毫米);

t_m = 包括腐蚀裕度的最小壁厚, 英寸 (毫米);

f = 腐蚀分数, 是B和n的函数, 在图1中给出;

n = 断裂指数, 是设计金属温度的函数, 见图3—A(SI)到图3—Q(SI)。

$$B = \frac{CA}{t_s} \quad (\text{公式6})$$

当量管壁金属温度

$$T_e = T_{s.o.r} + f_T (T_{e.o.r} - T_{s.o.r}) \quad (\text{公式7})$$

式中 T_e = 当量管壁金属温度, °F (°C)

$T_{s.o.r}$ = 运转开始管壁金属温度, °F (°C);

$T_{e.o.r}$ = 运转终了管壁金属温度, °F (°C);

f_T = 温度分数, 是V和N的函数, 由图2给出;

$$V = n_o \left(\frac{\Delta T}{T_i} \right) \ln \left(\frac{A}{S_o} \right);$$

$$N = n_o \left(\frac{\Delta t}{t_o} \right) ;$$

n_o = 在 $T_{s o r}$ 下的断裂指数;

$\Delta T = T_{e o r} - T_{s o r}$, °F (°C), 操作周期 L_o 年中的温度变化;

$T_a = T_{s o r} + 460$, °R, 或 $T_{s o r} + 273$, °K;

$\Delta t = R L_o$, 英寸 (毫米), 操作周期 L_o 年中的壁厚变化;

R = 腐蚀速度, 英寸/年 (毫米/年);

L_o = 操作周期, 年;

t_o = 运转开始时的最初壁厚, 英寸 (毫米);

S_o = 运转开始时的最初应力, 用公式 1 计算, 磅/英寸² (百万巴斯卡);

A_o = 材料常数, 见表 3, 磅/英寸² (百万巴斯卡)。

表 3 计算温度分数用的材料常数

材 料	型号或级别	常 数	
		磅/英寸 ²	百万巴斯卡
低碳钢		1.08×10^8	7.46×10^5
中碳钢	B	4.17×10^7	2.88×10^5
碳 - $\frac{1}{2}$ Mo 钢	T1 或 P1	2.91×10^9	2.01×10^7
$1\frac{1}{4}$ Cr - $\frac{1}{2}$ Mo 钢	T11 或 P11	7.49×10^9	5.17×10^7
$2\frac{1}{4}$ Cr - 1 Mo 钢	T22 或 P22	1.25×10^8	8.64×10^5
3 Cr - 1 Mo 钢	T21 或 P21	3.07×10^8	2.12×10^6
5 Cr - $\frac{1}{2}$ Mo 钢	T5 或 P5	7.97×10^7	5.49×10^5
5 Cr - $\frac{1}{2}$ Mo - Si 钢	T5b 或 P5b	4.18×10^7	2.88×10^5
7 Cr - $\frac{1}{2}$ Mo 钢	T7 或 P7	2.37×10^7	1.64×10^5
9 Cr - 1 Mo 钢	T9 或 P9	1.09×10^9	7.54×10^6
18Cr - 8Ni 钢	304 或 304H	2.25×10^8	1.55×10^6
16Cr - 12Ni - 2 Mo 钢	316 或 316H	1.79×10^8	1.24×10^6
18Cr - 10Ni - Ti 钢	321	1.92×10^8	1.32×10^6
18Cr - 10Ni - Ti 钢	321H	4.00×10^7	2.76×10^5
18Cr - 10Ni - Cb 钢	347 或 347H	1.79×10^8	1.23×10^6
Ni - Fe - Cr	Alloy 800H	1.50×10^7	1.03×10^5
25Cr - 20Ni	HK - 40	3.63×10^7	2.50×10^5