

# 管道应力分析和设计软件

## CSiPlant

### ASME B31.3-2020 设计手册

(版本: 2021 年 12 月)



**VIBRATION** 万博瑞升 (天津) 科技有限公司  
Vibration(Tianjin)Technology Co.,Ltd.

## 版 权

计算机程序 CSiPlant™ 及所有相关文档均是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Computers & Structures, Inc.（中文版版权同属于万博瑞升（天津）科技有限公司）。未经 CSI 和万博瑞升（天津）科技有限公司预先书面授权，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

未经出版商预先明确书面许可，不得以任何形式或方式复制或分发本出版物的任何部分，或将其存储在数据库或检索系统中。

获得更多信息和本文档的副本请联络：

万博瑞升（天津）科技有限公司

地址：天津滨海高新区华苑产业区海泰华科三路 1 号 6 号楼-803

电话：022-86422566

邮箱：csiplant@pipevibration.com

网址：www.pipevibration.com

### **Computers & Structures, Inc.**

邮箱：support@csiamerica.com

网址：www.csiamerica.com/

Copyright © Computers & Structures, Inc., 1978-2021

All rights reserved.

The CSI Logo® and SAP2000® are registered trademarks of Computers & Structures, Inc.

CSiPlant™ and Watch & Learn™ are trademarks of Computers & Structures, Inc.

Windows® is a registered trademark of the Microsoft Corporation.

Adobe® and Acrobat® are registered trademarks of Adobe Systems Incorporated.

## 免责声明

本程序的开发和测试花费了大量的时间、精力和费用。然而，在程序使用方面，使用者接受并理解开发者或经销商在程序的准确性或可靠度上没有做任何直接或间接或暗示性的担保。

本程序是一款实用且功能强大的结构设计工具。然而，使用者必须清晰地理解程序在如下方面的基本假设：建模、分析和设计算法，以及没有提及的方面。

程序生成的信息必须由有资质且经验丰富的工程师来校核。工程师必须独立地核查结果，并对所使用的信息承担专业责任。

## 目录

1. 简介.....	5
2. 符号.....	5
3. 方法和基础.....	7
3.1 设计分类.....	7
3.2 压力校核.....	8
3.3 持续应力校核.....	9
3.4 偶然应力校核.....	10
3.5 位移应力范围校核.....	11
3.6 水压试验校核.....	13
4. 设计属性(Design Properties).....	14
5. 应力增大系数和柔性系数.....	17
6. 设计首选项 (Design Preferences).....	18
7. 使用局限.....	20
8. 更多内容.....	20
9. 参考文献.....	21

## 1. 简介

本手册介绍了在 CSiPlant 中使用 ASME B31.3-2020 进行管道应力校核。

## 2. 符号

$A_g$	管道公称横截面积
$c$	腐蚀、侵蚀和机械加工的材料余量总和
$d$	管道内径
$D_o$	管道外径
$E$	操作温度下的杨氏模量
$E_a$	环境温度下的杨氏模量
$E_j/E_c$	焊接质量系数 $E_j$ , 或铸件质量系数 $E_c$ , 根据 ASME B31.3-2020 强制性附录 A 选取。
$F_a$	纵向轴向力, 持续、偶然及水压试验设计类别 (包含压力、重量)。对于位移设计类别, 表示轴向力范围。
$f_m$	应力范围系数的最大值。对于规定最小抗拉强度不大于 517MPa 且循环条件下最高金属温度不大于 371°C 时, 铁基材料应力范围系数的最大值为 1.2; 其他情况应力范围系数的最大值为 1.0。
$i_a$	轴向应力增大系数 (位移设计类别), 缺少更多数据时, 对弯管、弯头、焊接弯头取 1.0, 对于其他管件 $i_a = i_o$ 。
$i_i$	平面内弯曲应力增大系数 (位移设计类别)
$i_o$	平面外弯曲应力增大系数 (位移设计类别)
$i_t$	扭转应力增大系数 (位移设计类别)
$I$	根据弯头弯曲半径进行调整, 对于直管 $I = 1.0$
$I_a$	轴向应力增大系数 (持续、偶然或水压试验设计类别)。除非用户特别指定, 否则取 1.0。
$I_i$	平面内弯曲应力增大系数 (持续、偶然或水压试验设计类别)。取 0.75 $i_i$ 或 1.0 的较大值。
$I_o$	平面外弯曲应力增大系数 (持续、偶然或水压试验设计类别)。取 0.75 $i_o$ 或 1.0

	的较大值。
$I_t$	扭转应力增大系数（持续、偶然或水压试验设计类别）。取 $0.75 I_t$ 或 1.0 的较大值。
$k$	持续因子
$M_i$	平面内弯矩，持续、偶然或水压试验设计类别（包含压力和重量）。对于位移设计类别，表示位移弯矩范围。
$M_o$	平面外弯矩，持续、偶然或水压试验设计类别（包含压力和重量）。对于位移设计类别，表示位移弯矩范围。
$M_t$	扭矩，持续、偶然或水压试验设计类别（包含压力和重量）。对于位移设计类别，表示位移扭矩范围。
$N_E$	最大位移应力范围的循环次数
$N_i$	相关位移应力范围 $S_i$ 的循环次数
$P_i$	管道内部设计压力（表压）
$P_e$	管道外部设计压力（表压）
$P_{test}$	试验压力。
$q_i$	$S_i / S_E$
$r$	管道平均半径
$R$	弯头的弯曲半径
$S_c$	最大位移应力范围内，金属材料在最低温度下的许用应力
$S_E$	$S_h$ 与焊接质量系数 $E_j$ 或铸件质量系数 $E_c$ 的乘积
$S_h$	用来计算纵向压力应力的环向应力
$S_h$	最大位移应力范围内，金属材料在最高温度下的许用应力
$S_i$	最大位移应力范围外的任何其它应力范围
$S_y$	试验温度下材料的屈服强度
$T$	管道 1-1 轴的弯矩
$t_a$	偶然荷载发生的年持续时间
$t_m$	所需的最小壁厚
$t_{nom}$	管道的公称壁厚
$t_o$	偶然荷载每次发生的持续时间

$tol$	以百分比表示的制造公差
$T_b$	相连支管壁厚
$T_h$	三通或主管相连管道的壁厚，不包括补强
$T_s$	三通支管有效壁厚，对于位移设计类别取 $T_h$ 或 $iT_b$ 的较小值，对于其他设计类别取 $0.75iT_b$ 。
$W$	焊接强度降低系数，见表 302.3.5。非蠕变范围内的管道， $W = 1.0$ 。
$Y$	系数，当 $t < D/6$ 时，取自 ASME B31.3-2020 表 304.1.1；当 $t \geq D/6$ 时， $Y = \frac{d+2c}{D+d+2c}$
$Z$	弹性截面模量
$Z_e$	支管的有效截面模量， $Z_e = \pi r^2 T_s$

### 3. 方法和基础

#### 3.1 设计分类

ASME B31.3-2020 根据荷载来源和相应的系统响应对荷载进行分类。管道应力校核的类别如下：

##### 压力 (Pressure)

压力类别用于评估由内部或外部压力引起的管道环向应力，并考虑腐蚀、侵蚀和机械加工等材料余量。

##### 持续应力 (Sustained)

持续应力评估因自重、压力和任何其他持续荷载产生的纵向应力。

##### 偶然应力 (Occasional)

偶然应力评估因自重、压力、其他持续荷载和偶然荷载（包括地震）产生的纵向应力。

##### 位移应力范围 (Displacement)

位移应力范围评估由于热膨胀或其他循环荷载的影响而产生的纵向应力范围。

##### 水压试验 (Hydrostatic Test)

水压试验类别评估由于试验压力和自重的影响而产生的纵向和环向应力范围。

### 3.2 压力校核

ASME B31.3-2020 的压力校核给出两个结果，所需最小壁厚及需求能力比（Demand Capacity ratio, DCR）。

公式 1a 和 1b 给出了计算最小壁厚的两种方法。使用的公式取决于计算是使用直径还是外径（请参见“设计首选项”部分）。

如果所设计的管道是弯管或弯头，则所需壁厚由变量  $I$  修改，并使用式 2a、2b 和 2c 在管道周向的三个不同位置进行计算。CSiPlant 报告弯管或弯头的三个位置所需的壁厚。

提供的管道壁厚不得小于要求的最小壁厚。CSiPlant 计算提供的壁厚，如公式 3 所示。

$$t_m = \frac{PD_o}{2(SEW/I+PY)} + c \quad (1a)$$

$$t_m = \frac{P(d+2c)}{2(SEW/I-P(1-Y))} + c \quad (1b)$$

$$I = \frac{4(R/D_o)-1}{4(R/D_o)-2} \quad (\text{at Intrados}) \quad (2a)$$

$$I = \frac{4(R/D_o)+1}{4(R/D_o)+2} \quad (\text{at Extradados}) \quad (2b)$$

$$I = 1.0 \quad (\text{at Centerline}) \quad (2c)$$

$$t_{prov} = t_{nom}(100 - tol)/100 \quad (3)$$

非斜接管道的 DCR 计算是设计压力与许用压力之比，将  $t_m$  替换为  $(t_{prov} - c)$ ，重新排列公式 1a 和 1b，分别得计算公式 4a 和 4b。

$$DCR = \frac{2SEW(t_{prov}-c)}{P(D_o-2y(t_{prov}-c))} \quad (4a)$$

$$DCR = \frac{2SEW(t_{prov}-c)}{P(d-2y(t_{prov}-c)+2t_{prov})} \quad (4b)$$

对于斜接管道，使用公式 4c、4d 和 4e 计算 DCR。对于多个斜接，将报告公式 4c 和 4d 的最大 DCR。对于斜接角度不大于 22.5° 的单斜接，使用公式 4a 计算 DCR。否则，使用公式 4e 计算。

$$DCR = \frac{SEW(t_{prov-c})}{Pr} \left( \frac{t_{prov-c}}{(t_{prov-c}) + 0.643 \tan \theta \sqrt{r(t_{prov-c})}} \right) \quad (4c)$$

$$DCR = \frac{SEW(t_{prov-c})}{Pr} \left( \frac{R-r}{R-0.5r} \right) \quad (4d)$$

$$DCR = \frac{SEW(t_{prov-c})}{Pr} \left( \frac{t_{prov-c}}{(t_{prov-c}) + 1.25 \tan \theta \sqrt{r(t_{prov-c})}} \right) \quad (4e)$$

### 3.3 持续应力校核

ASME B31.3-2020 的持续应力校核是将持续荷载（如压力和重量）产生的纵向应力与许用应力进行比较。

持续纵向应力使用公式 5a 至 5d 计算。

$$S_{LS} = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad (5a)$$

$$S_a = \frac{I_a F_a}{A_g} \quad (5b)$$

$$S_a = I_a \left( \frac{F_a}{A_g} + \frac{P_i d^2 - P_e D_o^2}{D_o^2 - d^2} \right) \quad (5b1)$$

$$S_a = I_a \left( \frac{F_a}{A_g} + 0.5S_h \right) \quad (5b2)$$

$$S_h = \frac{r_i^2 P_i - r_o^2 P_e}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{(P_i - P_e) r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (5b3)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z} \quad (5c1)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z_e} \quad (5c2)$$

$$S_t = \frac{I_t M_t}{2Z} \quad (5d)$$

默认情况下，持续应力校核的截面属性基于公称尺寸减去材料余量。

启用压力伸长（Pressure elongation）时，使用公式 5b。禁用压力伸长，当管道参考直径设置为内径，使用公式 5b1。禁用压力伸长，当管道参考直径设置为外径，使用公式 5b2。

公式 5b3 是基于内半径的拉梅环向应力。

当选择采用 ASME B31J 计算应力增大系数时，默认选项（根据 ASME B31.3-2020 的要

求) 是使用公式 5c1 计算弯曲应力 $S_b$ 。当选择采用除 B31J 以外的方法计算三通处应力增大系数时, 使用公式 5c2。

持续应力校核的许用应力 $S_h$  取自附录 A 中的表 A-1 或 A-1M。

DCR 为持续应力与许用应力之比。

$$DCR = \frac{S_{LS}}{S_h} \quad (6)$$

### 3.4 偶然应力校核

ASME B31.3-2020 的偶然应力校核是将偶然荷载 (如风和地震) 和持续荷载 (如压力和重量) 产生的纵向应力与许用应力进行比较。

偶然纵向应力使用公式 7a 至 7d 计算。

$$S_{LO} = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad (7a)$$

$$S_a = \frac{I_a F_a}{A_p} \quad (7b)$$

$$S_a = I_a \left( \frac{F_a}{A_g} + \frac{P_i d^2 - P_e D_o^2}{D_o^2 - d^2} \right) \quad (7b1)$$

$$S_a = I_a \left( \frac{F_a}{A_g} + 0.5S_h \right) \quad (7b2)$$

$$S_h = \frac{r_i^2 P_i - r_o^2 P_e}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{(P_i - P_e)r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (7b3)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z} \quad (7c1)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z_e} \quad (7c2)$$

$$S_t = \frac{I_t M_t}{2Z} \quad (7d)$$

默认情况下, 偶然应力校核的截面属性基于公称尺寸减去材料余量。

启用压力伸长时, 使用公式 7b。禁用压力伸长, 当管道参考直径设置为内径, 使用公式 7b1。禁用压力伸长, 当管道参考直径设置为外径, 使用公式 7b2。公式 7b3 是基于内半径的拉梅环向应力。

当选择采用 ASME B31J 计算应力增大系数时, 默认选项 (根据 ASME B31.3-2020 的要

求) 是使用公式 7c1 计算弯曲应力  $S_b$ 。当选择采用除 B31J 以外的方法计算三通处应力增大系数时, 使用公式 7c2。

偶然应力校核的许用应力可基于三种不同的方法: 使用大于 1 的 K 系数的许用强度、使用小于 1 的 K 系数的屈服强度或恒定的应力限值。

DCR 为偶然应力与许用应力之比。

$$DCR = \frac{S_{LO}}{kS_h} \quad (8a)$$

### 3.5 位移应力范围校核

ASME B31.3-2020 位移应力范围校核是将位移荷载 (如热荷载或沉降) 引起的纵向应力范围与考虑荷载循环性质的许用应力进行比较。

最大位移应力范围采用公式 9a~9d 计算。当选择采用 ASME B31J 计算应力增大系数时, 默认选项 (根据 ASME B31.3-2020 的要求) 是使用公式 9c1 计算弯曲应力  $S_b$ 。当选择采用除 B31J 以外的方法计算三通处应力增大系数时, 使用公式 9c2。

$$S_{LD} = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad (9a)$$

$$S_a = \frac{i_a F_a}{A_g} \quad (9b)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} \quad (9c1)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z_e} \quad (9c2)$$

$$S_t = \frac{i_t M_t}{2Z} \quad (9d)$$

默认情况下, 位移应力范围的截面属性基于公称尺寸计算。应力范围是任何给定循环荷载的最大应力范围。应该认识到, 根据系统对位移荷载的响应, 应力范围在模型内, 甚至在管道内可能会发生变化。对于每个校核位置, 应使用公式 (9a) 确定位移应力范围。

除了校核用户定义的位移荷载工况下的应力范围外, 还需要评估从一种工况到另一种工况的应力范围。CSiPlant 通过创建内部荷载工况来自动考虑该应力范围, 这些工况是从设计要求 (Design Request) 中包含用户定义的位移工况中提取 (distilled) 出来的。根据两个用户定义的位移工况之间的差计算一个提取的荷载工况。由于应力计算的平方和的平方根性质, 提取的应力范围与荷载工况顺序无关。一般来说:

- 对于给定的提取工况, 用户定义的位移荷载工况的工作温度均高于或均低于安装温度时, 定义荷载工况的内力和力矩将具有相同的符号。因此, 提取的工况将返回较小的值 (例如  $2-1=1$ ), 相应的应力值也较低。在这种情况下, 位移应力范围的结果将由定义荷载工况控制。
- 当存在高于和低于安装温度的运行条件时, 定义荷载工况的内力和力矩将具有不同的符号。因此, 差值将返回更大的值 (例如  $2-(-1)=3$ ), 相应的应力值也较高。在这种情况下, 位移应力范围的结果将由提取工况控制。

考虑以下简单算例: 一根面积为  $16.05\text{in}^2$ ,  $E = 29400\text{ ksi}$  的直管, 安装温度为  $70^\circ\text{F}$ , 热膨胀系数为  $6.5\text{E-}6\text{ (in/in)/}^\circ\text{F}$ 。条件 (a):  $T1 = 170^\circ\text{F}$ ,  $T2 = 80^\circ\text{F}$ 。条件 (b):  $T1 = 170^\circ\text{F}$ ,  $T2 = 60^\circ\text{F}$ 。两种条件下,  $T2$  与安装温度的差值均是  $10^\circ\text{F}$ 。不同条件下的内部轴向力总结如下:

Case	Case type	Condition (a)	Condition (b)
GR->T1+(-GR)	User-defined	306.7 kip	306.7 kip
GR->T2+(-GR)	User-defined	30.7 kip	-30.7 kip
[GR->T1+(-GR)]- [GR->T2+(-GR)]	Distilled	276.0 kip	337.4 kip
Controlling		GR->T1+(-GR)	[GR->T1+(-GR)]- [GR->T2+(-GR)]

此外, 许用应力将受到位移荷载循环性质的影响。

对于非循环位移荷载 (如支撑沉降), 位移应力范围的许用应力使用公式 10 计算。

$$S_A = 3.0S_C \quad (10)$$

对于循环位移荷载 (如热伸长、波浪荷载), 有必要考虑每个应力范围内的循环次数的影响。位移应力范围的许用应力可使用公式 11a 或 11b (如果  $S_h > S_{LS}$ ) 进行计算。对于所有材料,  $S_c$  和  $S_h$  的最大值为  $20\text{ ksi}$ 。

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad (11a)$$

$$S_A = f(1.25S_c + 1.25S_h - S_{LS}) \quad (11b)$$

$$f = 6(N)^{-0.2} \leq f_m \quad (12)$$

$$N = N_E + \sum(q_i^5 N_i) \text{ for } i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

DCR 为位移应力范围与许用应力之比。

$$DCR = \frac{S_{LD}}{S_A} \quad (14)$$

### 3.6 水压试验校核

ASME B31.3-2020 的水压试验校核给出了两种类型的结果, 压力环向应力校核和试验条件下的持续纵向应力校核。水压试验校核将报告两个独立的 DCR: 压力 DCR 和纵向应力 DCR。

根据计算中使用的是内径还是外径, 压力 DCR 根据公式 15a 或 15b 计算。

$$DCR = \frac{2S_y(t_{prov}-c)}{P_{test}(D_o-2y(t_{prov}-c))} \quad (15a)$$

$$DCR = \frac{2S_y(t_{prov}-c)}{P_{test}(d-2y(t_{prov}-c)+2t_{prov})} \quad (15b)$$

水压试验纵向应力使用公式 16a~16d 计算。

$$S_{LS} = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad (16a)$$

$$S_a = \frac{I_a F_a}{A_g} \quad (16b)$$

$$S_a = I_a \left( \frac{F_a}{A_g} + \frac{P_i d^2 - P_e D_o^2}{D_o^2 - d^2} \right) \quad (16b1)$$

$$S_a = I_a \left( \frac{F_a}{A_g} + 0.5S_h \right) \quad (16b2)$$

$$S_h = \frac{r_i^2 P_i - r_o^2 P_e}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{(P_i - P_e)r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (16b3)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z} \quad (16c1)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z_e} \quad (16c2)$$

$$S_a = \frac{I_t M_t}{2Z} \quad (16d)$$

启用压力伸长时, 使用公式 16b。禁用压力伸长, 当管道参考直径设置为内径, 使用公式 16b1。禁用压力伸长, 当管道参考直径设置为外径, 使用公式 16b2。公式 16b3 是基于内半径的拉梅环向应力。

当选择采用 ASME B31J 计算应力增大系数时，默认选项（根据 ASME B31.3-2020 的要求）是使用公式 16c1 计算弯曲应力  $S_b$ 。当选择采用除 B31J 以外的方法计算三通处应力增大系数时，使用公式 16c2。

DCR 为持续应力与许用应力之比。

$$DCR = \frac{S_{LS}}{S_y} \quad (17)$$

## 4. 设计属性(Design Properties)

根据B31.3-2020进行设计校核时，有必要提供以下信息。

- 材料属性设计属性 (Material Property Design properties)
- 荷载工况设计属性 (Load case Design Properties)
- 管道截面设计属性 (Pipe Section Design Properties)
- 管道对象设计属性 (Pipe Object Design Properties)

### 材料属性设计属性

*Y Material Type* (Default = Ferritic)

用于压力设计校核中程序计算Y系数所需的材料类型。根据表104.1.2 (A) 确定。

*Y Method* (Default = Program Determined)

指定Y系数的方法。“程序确定”或“用户定义”。

*W Material Type* ((Default = Carbon (Norm.))

用于压力设计校核中程序计算W系数所需的材料类型。根据表102.4.7确定。

*W Method* (Default = Program Determined)

指定W系数的方法。“程序确定”或“用户定义”。

### 荷载工况设计属性

*Annual Duration*

当K Factor Mode指定为“程序确定”时，用于偶然应力校核确定K系数。

### *Operating Duration*

当K Factor Mode指定为“程序确定”时，用于偶然应力校核确定K系数。

### *K Factor Mode (Default = Program Determined)*

用于偶然应力校核指定如何计算K系数。设置为“用户”允许直接指定K系数。

### *K Factor Basis (Default = On Allowable)*

只有当K系数模式设置为“用户”时，*K Factor Basis*才可见。三种方式可用来计算偶然应力的许用应力 $kS_n$ 。

如果将K系数模式设置为“用户”，则可以基于K系数基准，通过以下方式应用K系数：

<i>K Factor Basis</i>	方法
许用应力 (Allowable)	K 系数用于操作温度下的材料许用应力。
屈服强度 (Yield)	K 系数用于操作温度下的材料屈服应力。
应力限值 (Stress Limit)	应力限值需直接指定，且对于各个温度，应力限值不变。

### *K Factor*

k系数用于定义偶然应力校核的许用应力 $kS_n$ 。如果将K系数模式指定为程序确定，则该属性为只读，其值为1.33。

### *Stress Limit (Default = 0)*

指定偶然应力校核的许用应力 $kS_n$ 。仅当K系数模式设置为“用户”且K系数基准设置为“应力限值”时可见。

### *Number of Cycles (Default = 0)*

当设计要求首选项中的应力系数模式 (Stress Factor Mode) 指定为程序确定时，用于位移应力范围校核。默认设置为非循环位移。如果荷载是循环荷载，则有必要指定非零的循环次数。循环位移荷载的许用应力使用公式11a或11b计算。

### 管道截面设计属性

#### *Material Allowance* (Default = Basic – (0in, 0in))

管道内外壁所需的材料余量。用户可以选择指定腐蚀、侵蚀和加工对材料余量的不同贡献。压力校核需要考虑材料余量，其他校核可以根据设计要求首选项 (Design Request Preference) 考虑材料余量。

#### *Pipe Tolerance* (Default = 12.5%)

用于计算的管道壁厚的公差。由于制造公差，计算壁厚可能小于公称壁厚。用于压力校核。

### 管道对象设计属性

默认情况下，各个管道对象的设计属性在设计要求中定义。可通过将每个对象上的设计属性的设计设置从“从设计要求设置 (From Request Settings)”更改为“用户值 (User Value)”进行覆盖。

#### *Tee Type* (Default = As Defined)

指定是否采用建模时的三通类型计算SIFs。

#### *Overridden Tee Type*

用于覆盖建模时的三通类型的可用的三通类型。仅当三通类型设置为“覆盖 (Overridden)”时可见。

#### *Elbow Thickness Overwrite* (Default = As Defined)

指定在SIF/Flex计算中使用的壁厚是来自截面指定还是来自覆盖值。

#### *Custom Elbow Thickness* (Default = from section assignment)

如果“弯头壁厚覆盖 (Elbow Thickness Overwrite)”设置为“覆盖”，则输入在SIF/Flex计算中所用弯头壁厚的值。

#### *Flexibility Factor Mode*

指定用于确定平面内、平面外和扭转柔性系数k的方法。

### *SIF Mode*

指定用于确定平面内、平面外和扭转应力增大系数i的方法。

### *Flexibility Factor*

如果模式 (Mode) 设置为用户, 这些字段将变为可编辑字段, 可以输入用户指定的值, 否则这些值将是只读的。

### *Stress Intensification Factor*

如果模式 (Mode) 设置为用户, 这些字段将变为可编辑字段, 可以输入用户指定的值, 否则这些值将是只读的。

### *Supplemental Checks*

提供补充设计属性。

## 5. 应力增大系数和柔性系数

ASME B31.3-2020 要求在分析过程中, 对管道对象的刚度进行修改, 以反映实验中观察到的与理论刚度的差异。ASME B31.3-2020 还要求在应力校核中, 修改应力以反映局部应力效应。

柔性系数用于修改管道对象的刚度。应力增大系数 (SIF) 用于修改应力结果。

ASME B31.3-2020 中默认的应力增大系数和柔性系数计算采用 ASME B31J。用户仍然可以选择其他方法, 但这样将恢复到规范早期版本的计算公式 (不考虑轴向 SIF、有效三通支管截面属性等)。工程师有责任确定适当的应力增大系数和柔性系数。除了 B31J-2017 应力增大系数 (i 系数) 和柔性系数 (k 系数), CSiPlant 还支持 ASME B31.3-2018 附录 D, ASME B31.1 附录 D, ASME B31.8 附录 E。

CSiPlant 根据所选方法和对象的必要设计信息自动确定柔性系数和应力增大系数。也可以为所有相关的应力增大系数和柔性系数指定用户值。

### **轴向 SIF**

B31.3-2020 推荐了以前版本中未包含的轴向应力增大系数。根据规范指南：

对于位移应力范围，弯头、弯管及斜接弯管的 $i_a=1.0$ 。对于其他管件， $i_a = i_o$ 。对于非位移应力范围（持续、偶然或水压试验） $I_a=1.0$ 。

如果不采用默认的 $i_a$ 或 $I_a$ 值，可以指定用户定义值。

## 6. 设计首选项 (Design Preferences)

除了管道对象设计属性外，还有设计首选项允许控制设计要求中包含的管道对象。由于每个设计要求都有自己的设计首选项，因此有必要更新适用的设计要求而不是使用默认首选项。

### *Pipe Reference Diameter (Default = Outside)*

指定压力校核及持续、偶然和水压试验校核压力项的基准。

### *SIF Mode (Default = ASME B31J)*

指定当前设计要求计算SIF的方法。

### *Flexibility Factor Mode (Default = ASME B31J)*

指定当前设计要求计算柔性系数的方法。

### *Connection SIF Mode (Default = ASME B31J)*

指定当前设计要求计算连接处应力增大系数的方法。

### *Consider Material Allowance (Default varies by check)*

指定材料余量是否用于应力校核。压力、持续和偶然应力校核默认考虑材料余量。位移应力范围和水压试验校核默认不考虑材料余量。

### *Consider Sustained Stress (Default = yes)*

指定位移应力范围校核的许用应力计算是否基于公式11b。

### *Consider Temperature Scaling (Default = true)*

指定位移应力范围校核时应力结果是否采用比值 $Ea/E$ 进行缩放。仅当位移应力范围校核包含基于温度的刚度时才考虑。

### *Stress Factor Calculation Method (Default = User)*

指定位移应力范围校核公式11a或公式11b的应力系数是用户定义还是程序确定。

### *Stress Factor (Default = 1.0)*

指定位移应力范围校核公式 11a 或公式 11b 的应力系数。仅在应力系数计算方法设置为“用户”时可见。

## **纵向压力应力**

在压力荷载下，纵向压力应力与其他轴向应力和弯曲应力组合在一起。

如果设计要求中包含压力伸长，CSiPlant 将计算压力产生的轴向力，并在分析时将其与其他轴向力组合。如果不包含压力伸长，CSiPlant 将手动计算纵向压力应力，并将其与设计应力结果相组合。手动计算的纵向压力应力有两种可能的形式（均假定管道为非完全约束，即无泊松收缩）。

## **伸长/刚度设置**

在设计要求（Design Request）的设计检查（Design Checks）选项卡下，用户可以直接在分析中包含不同的荷载效应。不同的设计要求可进行不同的设置，这只影响具体设计要求的结果，不会影响基本结果。

有三种主要荷载效应可以控制，每个设计应力类别可单独控制。

可控制的荷载效应描述如下：

- 包含刚度-温度相关性（Include Stiffness Temperature Dependence）：此设置使 CSiPlant 能够基于给定的温度计算杨氏模量。材料性能保持线性，杨氏模量的变化是可恢复的，这意味着当温度荷载被移除时，杨氏模量恢复到施加荷载之前的值。对于线性分析，始终使用切线刚度（工况开始时的值）。
- 包含压力伸长（Include Pressure Elongation）：此设置使 CSiPlant 可以直接在分析中包含压力荷载。考虑了两种类型的压力荷载：泊松收缩/伸长和盲板力/压力推力荷载。分

析得出的轴向内力的大小取决于所分析管道的约束程度。如果禁用此设置，则不会在每个步骤计算由于压力而产生的内力，根据计算压力将纵向压力应力项（假设管道是非完全约束）手动添加到设计应力结果中。

- 包含温度伸长 (Include Temperature Elongation)：此设置允许 CSiPlant 直接在分析中包含热荷载。如果禁用此设置，则不会计算由温度引起的内力，也不会手动将温度应力项添加到结果中。计算每个步骤的温度，并在设计过程中用于温度相关计算，如设计许用应力。

一些常见的设置：

- 位移应力类别包含温度伸长以获得膨胀应力；通常不包含刚度-温度相关性，因为应力增大系数是基于室温的；通常不包含压力伸长（膨胀应力计算通常不考虑压力荷载的波动）。
  - 压力应力类别不包含压力伸长、温度伸长或刚度-温度相关性，因此不会对管道内力或力矩产生影响。计算每个步骤的压力和温度，将其用于设计应力方程中。
  - 持续/偶然/水压试验应力类别不包含压力伸长、温度伸长或刚度-温度相关性，因此不会对管道内力或力矩产生影响。计算每个步骤的压力和温度，将其用于设计应力方程中。
- 注：对于完全约束的系统，有必要包含压力和温度伸长，以正确获得温度伸长和泊松伸长。**

## 7. 使用局限

在 CSiPlant 中使用 ASME B31.3-2020 进行设计校核存在以下局限：

- 目前未实施高压校核
- 完全约束状态的管道的压力引起的纵向应力校核公式不可用。如果管道约束状态为完全约束，建议启用压力和温度伸长。

## 8. 更多内容

更多内容请了解 CSiPlant 帮助文档中的以下部分：

荷载工况定义

设计要求定义

设计属性定义

弹簧定义

补充校核

## 9. 参考文献

ASME, 2020. ASME B31.3-2020 Power Piping, ASME Code for Pressure Piping B31, June 2021.

L.C. Peng and T.L. Peng, "Pipe Stress Engineering". ASME Press, June 2009