

管道应力分析和设计软件

CSiPlant

ASME B31.4-2019 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.....	8
3.1 规范章节.....	8
3.2 约束状态.....	8
3.3 设计分类.....	8
3.4 压力校核.....	9
3.5 持续应力和偶然应力校核.....	9
3.6 位移应力范围校核.....	12
3.7 水压试验校核.....	13
3.8 屈曲校核.....	14
4. 设计属性.....	16
5. 应力增大系数和柔性系数.....	21
6. 设计首选项.....	22
7. 使用局限.....	23
8. 更多内容.....	24
9. 参考文献.....	24

1. 简介

本手册介绍了在 CSiPlant 中使用 ASME B31.4-2019 进行管道应力校核。

2. 符号

α	管道材料的热膨胀系数
Ag	管道公称横截面积
A	用于计算设计应力的管道横截面积
c	腐蚀、侵蚀和螺纹沟槽的材料余量总和
δ	API RP 1111-2015 中定义的管道椭圆度
D_f	陆上管道设计系数，见表 403.3.1-1
Do	管道外径
Di	管道内径
ε	管道允许的弯曲应变
ε_b	纯弯曲下的屈曲应变
ε_{cf}^{crit}	局部屈曲压缩应变极限
ε_L	与纵向应力对应的纵向应变
ε_n	现场最大弯曲应变（安装或在位）
E	操作温度下的杨氏模量
E	表 403.2.1-1 中的焊接接头系数，用于陆上管道压力校核
Ea	环境温度下的杨氏模量
F	基于地区等级的陆上管道压力校核的设计系数
F_1	基于表 A402.3.2-1 中管道类型（管线或平台管道/立管）的海上管道环向应力校核的设计系数
F_2	基于表 A402.3.2-1 中管道类型（管线或平台管道/立管）的海上管道纵向应力校核的设计系数
F_3	基于表 A402.3.2-1 中管道类型（管线或平台管道/立管）的海上管道组合应力校核的设计系数
F_a	纵向轴向力，用于持续、偶然和水压试验设计类别（包括压力和自重）。对于位移应力范围设计类别，表示轴向力范围。

- F_{cr} 临界屈曲应力
- F_e 弹性屈曲应力
- F_{EC} 压力荷载产生的盲板力，仅存在于非完全约束的系统中
- F_v 内压荷载作用下泊松收缩产生的纵向轴向力，仅存在于完全约束的系统中
- f 应力范围系数，最大值为 1.0
- fc 组合弯曲和外压导致的垮塌校核中使用的垮塌系数
- fn 弯曲安全系数
- fo 外压引起的垮塌中使用的垮塌系数，该值为 0.70
- fp 屈曲扩展设计系数，该值为 0.80
- $g(\delta)$ 垮塌折减系数
- i_i 平面内弯曲应力增大系数 (陆上管道位移应力范围类别或海上管道所有应力类别)
- i_o 平面外弯曲应力增大系数 (陆上管道位移应力范围类别或海上管道所有应力类别)
- i_t 扭转应力增大系数 (位移应力范围设计类别)
- I_i 平面内弯曲应力增大系数 (持续、偶然或水压试验应力类别)， $0.75i_i$ 或 1.0 中的较大值
- I_o 平面外弯曲应力增大系数 (持续、偶然或水压试验应力类别)， $0.75i_o$ 或 1.0 中的较大值
- I_t 扭转应力增大系数 (持续、偶然或水压试验应力类别)， $0.75i_t$ 或 1.0 中的较大值
- λ_i 第 i 阶屈曲模式的屈曲系数
- M_i 持续、偶然或水压试验设计类别的平面内弯矩 (包括压力和重量)，对于位移设计类别代表力矩范围
- M_o 持续、偶然或水压试验设计类别的平面外弯矩 (包括压力和重量)，对于位移设计类别代表力矩范围
- M_t 持续、偶然或水压试验设计类别的扭转力矩 (包括压力和重量)，对于位移设计类别代表力矩范围
- ν 泊松比
- N_E 参考位移应力范围的循环次数
- N_i 相关应力范围的循环次数， S_i
- P_c 垮塌压力
- P_e 外部表压设计压力

P_{el}	弹性垮塌压力
P_i	内部表压设计压力
P_p	屈曲扩展压力
P_y	垮塌时的屈服压力
q_i	S_i / S_E
r	管道的平均半径, 计算长细比时的回转半径
r_i	管道的内半径
r_o	管道的外半径
σ_{long}	基于材料最小强度、设计系数的许用纵向应力
$\sigma_{combined}$	基于材料最小强度、设计系数的许用组合应力
σ_{buckle}	基于材料最小强度、设计系数的许用屈曲应力
S_B	弯曲产生的纵向应力
S_C	参考应力范围中的最低温度下的材料许用应力
$S_{C,n}$	使用公称截面属性且不考虑 SIFs 计算的峰值压应力
S_h	参考应力范围中的最高温度下的材料许用应力
S_H	拉梅公式计算的环向应力
$\overline{S_H}$	平均环向应力, 通过平衡方程或沿壁厚对拉梅公式进行积分
S_L	纵向应力
S_P	基于规范的内压引起的纵向应力
ΔS_P	纵向应力修正, 以修正平均环向应力到峰值环向应力
S_{PR}	完全约束的系统中基于规范的内压引起的纵向应力
S_{PU}	非完全约束的系统中基于规范的内压引起的纵向应力
S_T	基于规范的轴向热应力引起的纵向应力
S_X	管道中轴向力产生的纵向应力
S_i	参考应力范围以外的任何应力范围
S_y 或 $SMYS$	规定的最小屈服强度
S_u 或 $SMTS$	规定的最小抗拉强度
T_1	管道安装时的温度, 连头或埋设时
T_2	运行期间最高或最低的管道温度
t_{nom}	管道的公称壁厚

tol 以百分比表示的制造公差

Z 弹性截面模量

3. 方法和基础

3.1 规范章节

ASME B31.4-2019 适用于陆上和海上管道。第 II 章介绍了陆上管道的设计，第 IX 章介绍了海上管道。CSiPlant 能够进行 ASME B31.4-2019 陆上和海上管道的设计校核。此外，持续和水压试验设计类别可包括 API RP 1111-2015 垮塌校核。

3.2 约束状态

ASME B31.4-2019 将管道的约束状态区分为“完全约束”和“非完全约束”。在完全约束的系统中，热伸长和泊松收缩应力的产生是由于系统不能自由地适应与荷载相关的轴向应变。完全约束系统的一个例子是，埋地管道在任何弯头处都有良好的土壤压实，以抵抗轴向伸长。相反，对于非完全约束的系统，由于热伸长和泊松收缩带来的轴向应变可以自由膨胀或收缩，因此产生很少或没有应力。

3.3 设计分类

ASME B31.4-2019 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、侵蚀和机械螺纹等材料余量。

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。

3.4 压力校核

ASME B31.4-2019 的压力校核给出了一个主要结果，即需求能力比 (Demand Capacity ratio, DCR)。

DCR 根据设计压力下的环向应力与规范中规定的许用环向应力之比计算。用于压力校核的环向应力的计算是基于内径的拉梅公式 (Lame Equations)。相比之下，规范中的公式是一个近似公式，通常被称为巴洛公式 (Barlow equation)，但巴洛公式仅适用于薄壁管道。方程 1a 和 1b 分别给出了基于内径的拉梅公式和巴洛公式。

$$S_H = \frac{r_i^2 P_i - r_o^2 P_e}{(r_o^2 - r_i^2)} + \frac{(P_i - P_e) r_o^2}{(r_o^2 - r_i^2)} \quad (1a)$$

$$S_H = \frac{P_i D_o}{2t_{nom}} \quad (1b)$$

拉梅公式正确地考虑了管道的相对壁厚。当管道的外径 D_o 与壁厚 t_{nom} 相比很大时，拉梅公式和规范公式非常接近。当比值 D_o / t_{nom} 变小时，巴洛公式与拉梅公式偏差增大。除了处理厚壁管道外，拉梅公式还能精确地处理外部压力。

ASME B31.4-2019 关于材料余量和其它的管道公差是通过设计系数 F 和 F_1 考虑的。默认情况下，计算环向应力使用公称壁厚。

陆上管道的许用应力根据公式 (2a) 计算，系数 D_f 根据表 403.3.1-1 确定。海上管道的许用应力根据公式 (2b) 计算，系数 F_1 根据表 A402.3.2-1 确定。

$$\sigma_{hoop} = SFET \quad (2a)$$

$$\sigma_{hoop} = F_1 ST \quad (2b)$$

DCR 是环向应力与规范中的许用应力的比值，公式如下：

$$DCR = \frac{S_H}{\sigma_{hoop}} \quad (3)$$

3.5 持续应力和偶然应力校核

ASME B31.4-2019 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。对于偶然荷载工况，存在非永久性的额外荷载。除了纵向应力校核外，对

于完全约束的管道还需要考虑组合应力。

纵向应力

陆上和海上管道纵向应力的计算不同。对于陆上管道，纵向应力受约束状态的影响。ASME B31.4-2019 陆上完全约束和陆上非完全约束管道的纵向应力公式见 (4a) 和 (4b)。

$$S_L = S_P + S_T + S_X \pm S_B \quad (4a)$$

$$S_L = S_P + S_X \pm S_B \quad (4b)$$

对于完全约束状态，内压产生的纵向应力见公式 (5a)，温度产生的纵向应力见公式 (6)。对于非完全约束状态，内压产生的纵向应力见公式 (5b)。

$$S_{PR} = 0.3S_H \quad (5a)$$

$$S_{PU} = 0.5S_H \quad (5b)$$

$$S_T = -\alpha E_a (T_2 - T_1) \quad (6)$$

公式 (5a)、(5b) 和 (6) 中所示的基于规范的应力假设管道系统完全受约束或非完全受约束。在设计要求校核设置中启用压力/温度伸长 (Pressure/Temperature Elongation) 时，分析将基于实际系统刚度和约束包含压力和温度的影响。如果未启用该设置，则使用公式 (5a)、(5b) 和 (6) 计算压力和温度应力。

内压产生的纵向应力可能有两个来源：泊松收缩应力和盲板力。在 CSiPlant 中，泊松收缩应力 (公式 7) 基于平均环向应力 (公式 8)：

$$S_P = \nu \overline{S_H} \quad (7)$$

$$\overline{S_H} = \frac{P_i(D_o - 2t_{nom}) - P_e D_o}{2t_{nom}} \quad (8)$$

平均环向应力与公式 (5a) 中所使用的峰值环向应力略有不同。平均环向应力是计算压力荷载引起的管道总轴向力的更好方法。在非完全约束的系统中，推力/盲板力产生的应力根据平衡方程导出，如公式 (9) 所示，内压作用于管道的内截面积。

$$S_P = \frac{r_i^2 P_i - r_o^2 P_e}{r_o^2 - r_i^2} \quad (9)$$

如果启用伸长设置，盲板力或泊松收缩的影响以及热膨胀应力 (如果存在) 将自动包含在轴向力中。轴向力引起的应力计算如公式 (10) 所示。

$$S_X = \frac{F_a}{A} \quad (10)$$

陆上和海上管道的弯曲应力的计算是不同的，尽管均采用公式 11 进行计算。陆上管道的合成力矩如公式 12a 所示包含扭转项。海上管道的合成力矩如公式 12b 所示不包含扭转项。

$$S_B = \frac{M_R}{Z} \quad (11)$$

$$M_R = \sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2 + (I_t M_t)^2} \quad (12a)$$

$$M_R = \sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2} \quad (12b)$$

陆上管道的许用应力根据公式 (13a) 计算，系数 D_f 根据表 403.3.1-1 确定。海上管道的许用应力根据公式 (13b) 计算，系数 F_3 根据表 A402.3.2-1 确定。

$$\sigma_{long} = D_f S_y T \quad (13a)$$

$$\sigma_{long} = F_3 S_y T \quad (13b)$$

纵向应力的 DCR 使用公式 (14) 计算：

$$DCR_{long} = \frac{S_L}{\sigma_{long}} \quad (14)$$

组合应力

组合应力可以根据 Tresca 应力或 Von Mises 应力准则计算。

对于陆上管道的组合应力校核，Tresca 和 Von Mises 应力计算分别采用公式 (15a) 和 (15b)。对于海上管道的组合应力校核，Tresca 和 Von Mises 应力计算分别采用公式 (15c) 和 (15d)。

$$\sigma_e = \max(|S_H - S_L|, |S_H|, |S_L|) \quad (15a)$$

$$\sigma_e = \sqrt{S_L^2 - S_L S_H + S_H^2} \quad (15b)$$

$$\sigma_e = 2 \sqrt{\left(\frac{S_L - S_H}{2}\right)^2 + S_t^2} \quad (15c)$$

$$\sigma_e = \sqrt{S_H^2 - S_L S_H + S_L^2 + 3S_t^2} \quad (15d)$$

陆上管道的许用应力根据公式 (16a) 计算, 系数 D_f 根据表 403.3.1-1 确定。海上管道的许用应力根据公式 (13b) 计算, 系数 F_3 根据表 A402.3.2-1 确定。

$$\sigma_{combined} = D_f S_y T \quad (16a)$$

$$\sigma_{combined} = F_3 S_y T \quad (16b)$$

组合应力的 DCR 使用公式 (17) 计算:

$$DCR_{comb} = \frac{\sigma_e}{\sigma_{combined}} \quad (17)$$

3.6 位移应力范围校核

ASME B31.4-2019 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。

位移应力范围采用公式 (18a)、(18b) 和 (18c) 计算。

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + 4S_t^2} \quad (18a)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} \quad (18b)$$

$$S_t = \frac{i_t M_t}{2Z} \quad (18c)$$

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 (18a) 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 in^2 ， $E = 29400 \text{ ksi}$ 的直管，安装温度为 70°F ，热膨胀系数为 $6.5\text{E-}6 \text{ (in/in)/}^\circ\text{F}$ 。条件 (a)： $T_1 = 170^\circ\text{F}$ ， $T_2 = 80^\circ\text{F}$ 。条件 (b)： $T_1 = 170^\circ\text{F}$ ， $T_2 = 60^\circ\text{F}$ 。两种条件下， T_2 与安装温度的差值均是 10°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 (19a) 或 (19b)（如果 $S_h > S_{LS}$ ）进行计算。

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad (19a)$$

$$S_A = f(1.25S_c + 1.25S_h - S_{LS}) \quad (19b)$$

$$f = 6N^{-0.2} \leq 1.2 \quad (20)$$

$$N = N_E + \sum(q_i^5 N_i) \text{ for } i = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

位移应力范围的 DCR 使用公式 (22) 计算：

$$DCR = \frac{S_E}{S_A} \quad (22)$$

3.7 水压试验校核

ASME B31.4-2019 水压试验校核将压力校核和持续应力/偶然应力校核合并为一种校核类型。

所涉及的计算完全遵循上述规定。

3.8 屈曲校核

ASME B31.4-2019 要求同时考虑整体屈曲和局部屈曲。局部屈曲考虑了持续、偶然和水压试验应力类别。此外，除应力类别以外，还可进行特征值屈曲分析。然而，需要注意的是，特征值屈曲分析结果未考虑非弹性屈曲，因此仅对弹性整体屈曲有效。

局部屈曲

ASME B31.4-2019 并未给出明确的局部屈曲校核指南，目前局部屈曲是使用 ASME B31.8-2018 §833.10(b)中规定的压缩应变极限：

$$\varepsilon_{cf}^{crit} = 0.4 \frac{t}{D} - 0.002 + 2400 \left(\frac{(P_i - P_e)D}{2tE} \right)^2 \quad (24a)$$

当 $\frac{(P_i - P_e)D}{2tS} < 0.4$ 时，

$$\varepsilon_{cf}^{crit} = 0.4 \frac{t}{D} - 0.002 + 2400 \left(\frac{0.4S}{E} \right)^2 \quad (24b)$$

局部纵向应变为：

$$\varepsilon_L = \frac{S_{c,n}}{E} \quad (25)$$

式中 $S_{c,n}$ 是给定位置处的最大纵向压应力。如果每个位置都处于拉应力状态， $S_{c,n}$ 报告为 0。 $S_{c,n}$ 使用公称壁厚的截面属性计算，不考虑应力增大系数。局部纵向应变的 DCR 按公式 26 计算。

$$DCR = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_{cf}^{crit}} \quad (26)$$

垮塌校核

如果外压大于内压，则管道存在垮塌的可能性。对于持续和水压试验设计类别，可以基于 API RP 1111-2015 进行垮塌校核。

将净外压与垮塌设计的三种极限状态进行比较：

- 垮塌压力：基于弹性和非弹性屈曲，导致管道垮塌所需的压力必须超过净外压。
- 考虑外压的组合弯曲：在存在外压情况下，许用应变必须超过预期的现场应变。
- 屈曲扩展：屈曲扩展发生时的压力必须超过净外压。

垮塌压力极限状态必须满足公式 (27) 中所示的不等式。垮塌压力使用公式 (28) 计算。

弹性垮塌压力和垮塌时的屈服压力分别使用公式 (29) 和 (30) 计算。DCR 使用公式 (31) 计算：

$$f_o P_c \geq (P_e - P_i) \quad (27)$$

$$P_c = \frac{P_y P_{el}}{\sqrt{P_y^2 + P_{el}^2}} \quad (28)$$

$$P_{el} = 2E \frac{(t/D)^3}{(1-\nu^2)} \quad (29)$$

$$P_y = 2S \frac{t}{D} \quad (30)$$

$$DCR = \frac{(P_e - P_i)}{f_o P_c} \quad (31)$$

考虑外压的组合弯曲极限状态必须满足公式 (32) 中所示的不等式。弯曲应变安全系数和最大现场弯曲应变由用户根据已知现场条件指定。许用应变使用公式 (33) 计算。DCR 使用公式 (37) 计算。

$$\varepsilon \geq f_n \varepsilon_n \quad (32)$$

$$\varepsilon = \left[g(\delta) - \frac{(P_e - P_i)}{f_c P_c} \right] \varepsilon_b \quad (33)$$

$$\varepsilon_b = \frac{t}{2D} \quad (34)$$

$$g(\delta) = (1 + 20\delta)^{-1} \quad (35)$$

$$f_c = \frac{f_o}{g(\delta)} \quad (36)$$

$$DCR = \frac{f_n \varepsilon_n}{\varepsilon} \quad (37)$$

屈曲扩展压力极限状态必须满足公式 (38) 中所示的不等式。屈曲扩展压力使用公式 (39) 计算。DCR 使用公式 (40) 计算。

$$f_p P_p \geq (P_e - P_i) \quad (38)$$

$$P_p = 24S \frac{t^{2.4}}{D} \quad (39)$$

$$DCR = \frac{(P_e - P_i)}{f_p P_p} \quad (40)$$

4. 设计属性(Design Properties)

根据B31.4-2019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

Material Type (Default = Steel)

用于应力校核的材料类型。目前只使用钢材料。

Collapse design Factor (Default = 0.7)

设置API RP 1111-2015垮塌压力校核的垮塌设计系数f0的值。仅在进行海上管道校核且选择API RP 1111-2015作为垮塌校核时可见。

荷载工况设计属性

Design Factor Mode (Default = From Request Settings)

指定是否需要覆盖特定荷载工况的设计系数。不适用于操作工况。

Onshore Hoop (Pipeline) (Default = 0.72)

设置陆上管道当前荷载工况下压力校核的设计系数。默认值取决于地区等级。如果模式 (Mode) 设置为用户值，则可用于以下设计类别：压力和水压试验。

Onshore Hoop (Riser) (Default = 0.6)

设置陆上管道当前荷载工况下压力校核的设计系数。默认值取决于地区等级。如果模式 (Mode) 设置为用户值, 则可用于以下设计类别: 压力和水压试验。

Offshore Pressure (Pipeline) (Default = 0.72)

设置海上管道 (管线) 当前荷载工况下压力校核的设计系数。如果模式 (Mode) 设置为用户值, 则可用于以下设计类别: 压力和水压试验。

Offshore Pressure (Platform/Riser) (Default = 0.60)

设置海上管道 (平台管道或立管) 当前荷载工况下压力校核的设计系数。如果模式 (Mode) 设置为用户值, 则可用于以下设计类别: 压力和水压试验。

Onshore Long. (Restrained) (Default = 0.9)

设置陆上管道当前荷载工况为完全约束状态时纵向应力校核的设计系数。如果模式 (Mode) 设置为用户值, 则可用于以下设计类别: 持续和水压试验。

Onshore Long. (Unrestrained) (Default = 0.75)

设置陆上管道当前荷载工况为非完全约束状态时纵向应力校核的设计系数。如果模式 (Mode) 设置为用户值, 则可用于以下设计类别: 持续和水压试验。

Onshore Long. (Riser) (Default = 0.8)

设置陆上管道立管 (Inland Riser) 当前荷载工况纵向应力校核的设计系数。如果模式 (Mode) 设置为用户值, 则可用于以下设计类别: 持续、偶然和水压试验。

Onshore Combined (Default = 0.9)

设置陆上管道立管 (Inland Riser) 当前荷载工况组合应力校核的设计系数。如果模式 (Mode) 设置为用户值, 则可用于以下设计类别: 持续、偶然和水压试验。

Offshore Long. (Pipeline) (Default = 0.8)

设置海上管道 (管线) 当前荷载工况纵向应力校核的设计系数。如果模式 (Mode) 设置为

用户值，则可用于以下设计类别：持续、偶然和水压试验。

Offshore Long. (Platform/Riser) (Default = 0.8)

设置海上管道（平台管道或立管）当前荷载工况纵向应力校核的设计系数。如果模式（Mode）设置为用户值，则可用于以下设计类别：持续、偶然和水压试验。

Offshore Combined (Default = 0.9)

设置海上管道当前荷载工况组合应力校核的设计系数。如果模式（Mode）设置为用户值，则可用于以下设计类别：持续和水压试验。

Onshore Displacement (Restrained) (Default = 0.9)

设置当前荷载工况完全约束状态下位移应力范围校核的设计系数。可用于以下设计类别：位移。

Onshore Long. (Unrestrained) (Default = 0.75)

设置当前荷载工况非完全约束状态下纵向应力校核的设计系数。可用于以下设计类别：持续和水压试验。

Onshore Long. (Riser) (Default = 0.80)

设置陆上管道立管（Inland Riser）当前荷载工况纵向应力校核的设计系数。如果模式（Mode）设置为用户值，则可用于以下设计类别：持续、偶然和水压试验。

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19a或19b计算。

Maximum Field Strain (Default = 0.15%)

设置用于垮塌校核的最大预期现场应变。此参数在安装工况和运行工况可能不同。

Strain Safety Factor (Default = 2.0)

用于最大现场应变的安全系数。此参数在安装工况和运行工况可能不同。

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。ASME B31.4-2019通常使用公称属性进行设计，海上平台管道或立管除外。CSiPlant允许用户在设计要求设置 (Design Request settings) 中包含额外的材料余量。

Pipe Tolerance (Default = 0%)

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。ASME B31.4-2019通常使用公称属性进行设计，海上平台管道或立管除外。CSiPlant允许用户在设计要求设置 (Design Request settings) 中包含额外的材料余量。

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计算中使用的厚度是来自截面指定还是来自覆盖值。

Custom Elbow Thickness (Default = from section assignment)

如果“弯头厚度覆盖 (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。

Code Chapter Overwrite

指定管道是采用设计要求中的规范章节还是局部指定其它的章节。

Code Chapter

指定管道是否使用ASME B31.4-2019的陆上或海上章节。仅当“规范章节覆盖 (Code Chapter Overwrite)”设置为“用户值 (User Value)”时可见。

Combined Stress Overwrite

指定管道的组合应力是使用设计要求中的设置还是进行局部指定。

Combined Stress

指定用于管道对象的组合应力校核的组合应力标准。仅当“组合应力覆盖 (Combined Stress Overwrite)”设置为“用户值 (User Value)”时可见。

Pipe Restraint Overwrite

指定管道的约束状态是使用设计要求中的设置还是进行局部指定。

Pipe Restraint Condition

指定用于设计校核的管道的约束状态是完全约束还是非完全约束。仅当陆上管道“管道约束状态覆盖 (Pipe Restraint Overwrite) ”设置为“用户值 (User Value) ”时可见。

Piping Type Overwrite

指定管道类型是使用设计要求中的设置还是进行局部指定。

Piping Type

指定管道是海底管道还是平台管道/立管。仅当海上管道“管道类型覆盖 (Piping Type Overwrite) ”设置为“用户值 (User Value) ”时可见。

Supplemental Checks

提供补充设计属性。

5. 应力增大系数和柔性系数

ASME B31.4-2019 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 B31.4-2019 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。

在没有其他信息的情况下，ASME B31.4-2019 表 402.1-1 提供了在设计和分析中考虑的柔性系数和应力增大系数的计算公式。除 ASME B31.4-2019 表 402.1-1 外，CSiPlant 还支持 ASME B31.1 附录 D、ASME B31.3 附录 D 和 B31J-2017“金属管道元件应力增大系数、柔性系数及其确定”。

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。

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。

Code Chapter (Default = ASME B31.4 Chapter IV)

指定用于对当前设计要求执行应力校核的方法。

Combined stress criterion (Default = Von Mises)

指定计算组合应力时使用的标准。

Restraint condition (Default = Restrained)

指定陆上管道纵向应力校核中用于计算许用应力的管道约束状态。

Piping Type (Default = Pipeline)

指定海上管道应力校核中使用的管道类型。

Collapse Check Method (Default = API RP 1111-2015)

设置执行外压垮塌校核时使用的方法。目前，只有API RP 1111-2015可用。

Ovality (Default = 4%)

允许的最大椭圆度，用于计算组合弯曲和外压允许应变。

SIF Mode (Default = ASME B31.4 2016 Table402.1-1)

指定当前设计要求用于计算SIFs的方法。

Flexibility Factor Mode (Default = ASME B31.4 Table402.1-1)

指定当前设计要求用于计算柔性系数的方法。

Connection SIF Mode (Default = ASME B31.4 Table402.1-1)

指定当前设计要求用于计算连接处SIFs的方法。

Consider pressure correction (Default = Yes)

指定是否在分析中考虑弯头的压力修正。

Consider Material Allowance (Default = no)

指定材料余量是否用于应力校核。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19b。

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19a或公式19b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 19a 或公式 19b 的应力系数。仅在应力系数计算方法设置为“用户”时可见。

7. 使用局限

在 CSiPlant 中使用 ASME B31.4-2019 进行设计校核存在以下局限：

- 目前未实施轴向应力增大系数 (SIF)
- 弯头半径或斜接弯头未进行修正。与 B31.1 和 B31.3 规范不同，B31.1 和 B31.3 规范要求考虑管道周向位置 (内弧、中心线、外弧)，对弯头/斜接弯头的环向应力/压力进行校核。B31.4 规范没有此类规定，因此不考虑修正。

- 仅对钢管进行设计校核
- 未对整体屈曲进行设计校核
- 局部屈曲校核未考虑壁厚方向的应力变化（例如平面截面保持平面）
- 铁路和公路穿越的有效应力计算目前尚不可用

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

AISC, 2010. AISC 360-10 “Specifications for Structural Steel Buildings”. June 2010.

R.D. Ziemian, “Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures”. Wiley, 2010

ASME, 2019. ASME B31.4-2019 Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries,
ASME Code for Pressure Piping B31, November 2019.

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