

工艺管道计算书

项 目 名 称：翁源县管道天然气管网系统及配套设施建设项目
翁城 LNG 气化站

计算书名称：工艺管道计算书

编 制：	吴蓬伟		2025 年 5 月 30 日
校 核：	汪 锐		2025 年 5 月 30 日
审 核：	梁泉水		2025 年 5 月 30 日

注：本计算书为“翁源县管道天然气管网系统及配套设施建设项目-翁城 LNG 气化站”施工图的必要补充，应结合施工图使用。

目录

一、管道壁厚校核	1
二、弯头壁厚校核	3
三、支吊架跨距计算	5
四、低温管道应力分析	7
五、液化天然气气化器安全阀计算	9

一、管道壁厚校核

（一）计算基础数据

1) 壁厚负偏差

根据《液化天然气用不锈钢无缝钢管》GB/T38810-2020，项目所选不锈钢无缝钢管的最大负偏差为10%；根据《高压化肥设备用无缝钢管》GB/T 6479-2013，项目所选 Q345D 无缝钢管的最大负偏差为10%；

2) 腐蚀裕量 C_2 ：工质天然气为非腐蚀性流体，计算按 1.50mm 记取；

3) 设计温度下材料的许用应力 $[\sigma]^t$ ：查《工业金属管道设计规范》GB 50316-2000（2008 年版），不锈钢无缝钢管和 Q345D 无缝钢管分别为 137MPa 和 163MPa；

4) 系数 Y：查《工业金属管道设计规范》GB 50316-2000（2008 年版），当 $t_s < D_0/6$ 时，为 0.4；

5) 焊接接头系数 E_j ：无缝钢管为 1.

（二）管道壁厚校核计算：

站内工艺管道设计压力有 1.0MPa，各路管道材质有 06Cr19Ni10 不锈钢和 Q345D，下面分别按照《工业金属管道设计规范》（GB50316-2000）（2008 年版）进行壁厚校核计算。

《工业金属管道设计规范》（GB50316-2000）（2008 年版）第 6.2.1 条规定：

$$t_s = \frac{PD_0}{2([\sigma]^t E_j + PY)}$$

管道的设计厚度 (t_{sd}) = 计算厚度 (t_s) + 壁厚负偏差 (C_1) + 腐蚀裕量 (C_2)

其中：

t_s —直管计算厚度 (mm)

E_j —焊接接头系数，无缝钢管取 1；

P—设计压力 (MPa)

$[\sigma]^t$ —在设计温度下材料的许用应力 (MPa，06Cr19Ni10 和 Q345D 分别为 137 MPa、163MPa)

D_0 —管道外径 (mm)

Y—系数（从选取壁厚分析，均满足 $t_s < D_0/6$ ），

当 $t_s < D_0/6$ 时，Y=0.4，

当 $t_s \geq D_0/6$ 时， $Y = \frac{D_i + 2C}{D_i + D_o + 2C}$

1) 设计压力 1.0MPa 的 Q345D 无缝钢管，校核结果如下表：

设计压力	管道外径	许用应力	焊接接头系数	γ	计算厚度	壁厚负偏差	设计壁厚	选取壁厚
1	323.9	163	1	0.4	0.99	0.28	2.77	8.5
1	273	163	1	0.4	0.84	0.26	2.59	8
1	159	163	1	0.4	0.49	0.22	2.21	6
1	108	163	1	0.4	0.33	0.20	2.03	5
1	89	163	1	0.4	0.27	0.20	1.97	4.5
1	57	163	1	0.4	0.17	0.19	1.86	4
1	32	163	1	0.4	0.10	0.18	1.78	3

2) 设计压力 1.0MPa 的不锈钢管道 (06Cr19Ni10)，校核结果如下表

设计压力	管道外径	许用应力	焊接接头系数	γ	计算厚度	壁厚负偏差	设计壁厚	选取壁厚
1	108	137	1	0.4	0.39	0.33	2.23	5
1	89	137	1	0.4	0.32	0.32	2.15	4.5
1	57	137	1	0.4	0.21	0.30	2.01	4
1	45	137	1	0.4	0.16	0.29	1.96	3.5
1	32	137	1	0.4	0.12	0.29	1.90	3
1	18	137	1	0.4	0.07	0.28	1.84	2.5

上述选取壁厚均不小于设计壁厚，管道壁厚符合要求。

二、弯头壁厚校核

（一）计算公式

根据《压力管道规范-工业管道 第3部分：设计和计算》（GB/T20801.3-2020）6.2 规定：

内压弯管的计算厚度（位于 $\alpha/2$ 处，最危险处）应按下式计算：

$$t_w = \frac{PD_o}{2 \left[\left([\sigma]^t E_j / I \right) + PY \right]}$$

当计算弯管的内侧厚度时：

$$I = \frac{4(R/D_o) - 1}{4(R/D_o) - 2}$$

当计算弯管的外侧厚度时：

$$I = \frac{4(R/D_o) + 1}{4(R/D_o) + 2}$$

式中 t_w —弯管（内、外侧）的计算厚度（mm）；
 α —弯管的转角（度）；
 I —计算系数；
 R —弯管在管子中心线处的弯曲半径（mm）；

（二）弯曲半径

设计选用管件执行标准为《钢制对焊管件 技术规范》GB/T13401-2017 中的无缝管件，弯头选用 $R=1.5D_o$ 弯头，外径为Ⅱ系列，管件端部壁厚最大负偏差为 12.5%。

(三) 选用弯头的壁厚校核

压力弯头壁厚强度校核														
设计压力	钢管外径	管道材质	许用应力 (20℃情况 下)	焊接接 头系数	计算系数 (R=1.5D _o 内侧)	计算系数 (R=1.5D _o 外侧)	计算系 数	计算厚度 (R=1.5D _o 内侧)	计算厚度 (R=1.5D _o 外侧)	厚度负 偏差	腐蚀裕 量	设计厚度 (R=1.5D _o 内侧)	设计厚度 (R=1.5D _o 外侧)	管件选取 壁厚
P(MPa)	D _o (mm)		[σ] ^t (MPa)	E _j	I	I	Y	t _s (mm)	t _s (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	t _{sd} (mm)	t _{sd} (mm)	(mm)
1	323.9	Q345D	163	1	1.25	0.875	0.4	1.24	0.87	0.39	1.50	3.13	2.76	8.5
1	273	Q345D	163	1	1.25	0.875	0.4	1.04	0.73	0.39	1.50	2.94	2.62	8
1	159	Q345D	163	1	1.25	0.875	0.4	0.61	0.43	0.39	1.50	2.50	2.32	6
1	108	Q345D	163	1	1.25	0.875	0.4	0.41	0.29	0.39	1.50	2.31	2.18	5
1	89	Q345D	163	1	1.25	0.875	0.4	0.34	0.24	0.39	1.50	2.23	2.13	4.5
1	57	Q345D	163	1	1.25	0.875	0.4	0.22	0.15	0.39	1.50	2.11	2.05	4
1	108	06Cr19Ni10	137	1	1.25	0.875	0.4	0.49	0.34	0.39	1.50	2.38	2.24	5
1	89	06Cr19Ni10	137	1	1.25	0.875	0.4	0.40	0.28	0.39	1.50	2.30	2.18	4.5
1	57	06Cr19Ni10	137	1	1.25	0.875	0.4	0.26	0.18	0.39	1.50	2.15	2.07	4
1	45	06Cr19Ni10	137	1	1.25	0.875	0.4	0.20	0.14	0.39	1.50	2.10	2.04	3.5
1	32	06Cr19Ni10	137	1	1.25	0.875	0.4	0.15	0.10	0.39	1.50	2.04	1.99	3
1	18	06Cr19Ni10	137	1	1.25	0.875	0.4	0.08	0.06	0.39	1.50	1.97	1.95	2.5

弯头的公称壁厚大于设计壁厚，故所选壁厚符合要求。

三、支吊架跨距计算

水平管道支吊架最大间距应同时满足管道强度和刚度两个条件。

（一）按强度条件确定管道支吊架允许跨距

管道自重弯曲应力不应超过管材的许用外载应力值，按强度条件支吊架最大允许跨距按下式计算：

$$L_{\max} = 2.24 \sqrt{\frac{1}{q} W \phi \sigma_t}$$

式中， L_{\max} ——管道支吊架最大允许跨距，m；

q ——管道单位长度计算荷载，包管材重、保温重，N/m；

W ——管道截面系数， cm^3 ；

ϕ ——焊缝系数，取 1；

σ_t ——钢管许用应力，取不锈钢钢管 137MPa。

（二）按刚度条件确定管道支吊架允许跨距

管道在一定跨距下总有一定的挠度，按刚度条件支吊架最大允许跨距按下式计算：

$$L_{\max} = 0.193 \sqrt{\frac{100}{q} E_t I i_0}$$

式中， L_{\max} ——管道支吊架最大允许跨距，m；

q ——管道单位长度计算荷载，包管材重、保温重，N/m；

E_t ——在计算温度下钢材弹性模量，取 195000MPa；

I ——管道截面二次矩， cm^4 ；

i_0 ——坡度，取 0.002。

（三）支吊架允许跨距计算

支吊架允许跨距计算统一按保温 LNG 管道计算，输送工质密度为 450kg/m^3 ，保温管道（公称直径 DN40 及以上）采用 100mm 厚 PIR（密度 70kg/m^3 ）。

工艺管道计算书

管道外径	壁厚	计算荷载	截面系数	截面二次矩	弹性模量	许用应力	强度条件 计算最大跨距	刚度条件 计算最大跨距	允许最大跨距
273	8	822	429	5853	195000	137	18.9	12.4	12.4
159	6	353	106.3	844.9	195000	137	14.4	8.6	8.6
108	5	203	39.81	215	195000	137	11.6	6.6	6.6
89	4.5	155	24.01	106.9	195000	137	10.3	5.7	5.7
57	4	93	8.29	24.87	195000	137	7.8	4.1	4.1
45	3.5	71	5.07	12.18	195000	137	7.0	3.6	3.6
32	3	23	2.14	3.58	195000	137	7.9	3.4	3.4
18	2.5	10	0.94	1	195000	137	8.1	3.0	3.0

设置的支架间距均未超过上述计算允许最大跨距，满足要求。

四、低温管道应力分析

（一）管道伸长量计算

低温管道由于工作温度低，且介质具有易燃易爆特征，故不采用波纹管补偿器，一般可采用弯头自然补偿，并合理设置方形补偿器，同时为减少温度应力，可对自然补偿进行预拉伸以减少管道相对自然状态下的补偿量，同时合理布置管道支架。

低温管道补偿量计算公式： $X=a \cdot L \cdot \Delta T$

式中： X ——管道膨胀量，mm；

a ——线膨胀系数，低温管道选用不锈钢管，取 $0.015314\text{mm}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

L ——补偿管线（所需补偿管道固定支座间的距离）长度，m

ΔT ——温差，其中低温管道取 225°C ；

经计算 1m 不锈钢管为 3.45mm。

（二）L 形直角弯自然补偿

L 形自然补偿管段如图 1 所示，其短臂长度按下式计算：

$$l = 1.1 \sqrt{\frac{\Delta L D_w}{300}}$$

式中 l —L 形自然补偿短臂长度（m）；

ΔL —长臂 L 的热伸长量（mm）；

D_w —管道外径（mm）；



图 1 L 形补偿管段

设计中固定支架 C1-C2、C2-E1 均为 L 形自然补偿，补偿能力复核如下表，因设计短臂长度均大于计算短臂长度，故复核通过：

固定支架	长臂L长度	单位长度伸长量	热伸长量	大管外径	计算短臂长度	设计短臂长度
C1-C2	16	3.45	55.13	114.3	5.04	5.2
C2-E1	12.5	3.45	43.07	114.3	4.46	5.4

(三) 方形补偿器补偿

E1-C3、之间热伸长量采用方形补偿器进行补偿，查《动力管道设计手册》表 6-2，补偿能力校核如下表，因补偿器补偿能力均大于热伸长量，故复核通过：

固定支架	长臂L长度	单位长度伸长量	热伸长量	补偿器型号	大管公称直径	补偿器外伸臂长度	补偿器补偿能力
E1-C3	12.7	3.45	43.76	2型	100	1000	50
A1-E1	18.6	3.45	64.09	2型	80	1100	75

五、液化天然气气化器安全阀计算

液化天然气气化器后的安全阀 PSV420~PSV424 计算根据《压力管道规范 工业管道 第 6 部分：安全防护》GB20801.6-2020 进行计算。合格标准为《城镇燃气设计规范》GB50028-2006（2020 年版）第 9.4.16 条：环境气化器的安全阀泄放能力必须满足在 1.1 倍的设计压力下，泄放量不小于气化器设计额定流量的 1.5 倍。

（一）计算公式

上述安全阀阀后直接经放空管排放，根据《安全阀的设置和选用》HG/T20570.2-95 的要求，弹簧式安全阀出口管道的动背压与静背压之和不大于设定压力的 10%，故满足

$\frac{P_o}{P_d} \leq 0.2 \leq \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 0.54$ ，故属于临界流动状态，则对于气化后的液化天然气，安全阀最小

泄放面积为：

$$A = 13.16 \frac{W_s}{CKK_b K_c \xi P_d} \sqrt{\frac{ZT}{M}}$$

上述式中：

P_o ——安全阀出口侧压力（绝压），MPa；

P_d ——安全阀最大泄放压力（绝压），分别按整定压力 0.77MPa 和 1.1 倍设计压力（1.1MPa）

进行计算；

A——安全阀的最小泄放面积，mm²；

W_s ——安全泄放量，分别按气化能力（5000Nm³/h）的 1 倍和 1.5 倍计算，分别为 3750kg/h、5625kg/h；

C——气体特征系数，查表为 348；

K——安全泄放装置有效泄放系数，气体介质的安全阀取 0.975；

K_b ——安全阀的背压校正系数，背压与设定压力表小于 10%的临界流动气体用普通型安全阀取 1.0；

K_c ——安全阀的组合校正系数，安全阀上游未安装爆破片装置或爆破针阀，取 1.0；

ξ ——安全泄放装置的液体动力粘度校正系数，液体粘度等于或小于水的粘度时取 1.0；

Z——在最大泄放压力及温度下，气体的压缩系数，查表为 0.92；

T——安全阀的泄放温度，取 293K；

M——气体的摩尔质量，取 16kg/kmol。

(二) 计算结果

安全泄放量	最大泄放压力	气体特征系数	压缩系数	泄放温度	摩尔质量	最小泄放面积	安全阀最小喉径
3750	0.77	348	0.92	293	16	756	31
5625	1.1	348	0.92	293	16	794	32

综

上，查阅产品手册需选用 DN50 安全阀。