

第五篇

管道工程施工计算

第一章 管道强度计算

第一节 管道本体强度计算

压力管道内有均匀分布的压力,在管壁的任何一点,都存在因内压力而产生的三个互相垂直的应力,其受力方向如图 5-1-1 所示;第一个是沿管壁圆周切线方向的应力,称为周向应力(σ_{zx}),有的技术书籍中也称为切向应力或环向应力;第二个是平行于管子轴线的轴向应力(σ_{zh});第三个是沿管壁直径方向的径向应力(σ_{jx})。如果从材料力学角度分析归纳上述三种应力,要使用高等数学的计算方法,但这不是本书的任务。这里还是从技术工人的施工实践出发,用通常的简明方法阐述向应力和轴向应力。

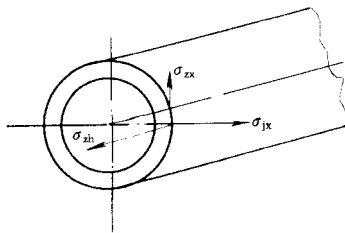


图 5-1-1 管子承受内压力时的应力状态

一、径向应力

管道承受内压力时,就必然产生径向应力,其计算公式为:

$$\sigma = \frac{pD}{2\delta} \quad (5-1-1)$$

式中 σ ——径向应力, MPa;

p ——管道内压力, MPa ;

D ——管道内径, mm ;

δ ——管壁厚度, mm。

下面介绍的碳钢和合金钢管的计算公式(5-1-2)就是在式(5-1-1)的基础上转化而来的。为了节约篇幅,我们不再介绍式(5-1-2)的转化、完善过程,而是把已经被大部分技术书籍认可的这一计算方法介绍如下:

$$\delta = \frac{pD_w}{2[\sigma]\phi} + C \quad (5-1-2)$$

式中 δ ——管壁厚度, mm ;

p ——内压力, MPa ;

D_w ——管子外径, mm ;

$[\sigma]$ ——计算温度下管材的许用应力, N/mm² 或 MPa ;

ϕ ——焊缝系数,对无缝钢管取 1.0,有缝钢管取 0.7~0.8 ;

C ——厚度附加值,一般取 1.5~2.5mm。

厚度附加值 C ,也可按下式确定:

$$C = c_1 + c_2 + c_3 \quad (5-1-3)$$

式(5-1-3)中, c_1 为管材厚度负偏差,这是因为钢管的实际壁厚不可能绝对等于设计壁厚,总是出现一定的正偏差或负偏差,而对于选择管材壁厚来说,正偏差是有利条件,而负偏差是不利条件,负偏差一般可按设计壁厚的 15% 考虑,但不是小于 0.5mm ; c_2 为腐蚀裕度,既要考虑到介质对管内壁的腐蚀,又要考虑到周围环境对管外壁的腐蚀,对于输送低腐蚀性介质(如蒸汽)的碳素钢管,可取 1.0~1.5mm。石油化工类管道规定,单面腐蚀取值 1.5mm,双面腐蚀取值 2~2.5mm ; c_3 为管子减薄量,如管子上不车制螺纹时,此值为零,如车制螺纹时,按螺纹深度考虑。在施工现场用管子制作弯管时,由于弯曲半径一般都在 3.5~4 倍管径以上,故 c_3 值也可取为零,而在工厂制作小弯曲半径的管头或弯管时,要考虑到管壁的实际减薄值而选用适当加厚的管材。

式(5-1-1)中计算温度下的许用应力 $[\sigma]$,随着温度的升高而降低,在选用许用应力时,必须考虑管道的工作温度。即使在常温下,同一种材料也会因使用场合不同而采用不同的许用应力。常用管材的许用应力见表 5-1-1。

表 5-1-1 常用钢管的许用应力

钢号		机械性能		下列温度(℃)下的许用应力(N/mm ²)					
		抗拉强度	屈服点	≤150	200	250	300	350	400
		σ _b (N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)						
钢管	10	333	206	108	98	88	83	74	66
	20	392	245	127	118	108	98	90	81
	16Mn	510	343	170	165	157	146	137	123
	12CrMo	412	245	131	125	119	113	100	100
	15CrMo	441	255	138	131	125	119	113	106
	15MnV	529	392	170	170	170	166	153	144
	12Cr1MoV	470	255	138	125	131	119	113	106
	Cr2Mo	392	176	105	103	103	98	95	92
	1Cr18Ni9Ti	549	(206)	137	118	127	113	110	108

现举例说明管子壁厚和径向应力的计算。

例如 :已知某蒸汽管道规格为 φ325×8 ,蒸汽压力为 2.5MPa ,试验算管子壁厚是否符合强度要求(许用应力值 [σ] 为 100MPa ,厚度附加值采用 2.0mm)。

解 为了验算实际应力 σ 是否在许用应力 [σ] 允许的范围内 ,根据式(5-6) ,并以 σ 代替 [σ] ,则 :

$$\sigma = \frac{p}{2\phi} \left(\frac{D_w}{\delta - C} - 1 \right) \text{ 或 } \sigma = \frac{p [D_w - (\delta - C)]}{2 (\delta - C) \phi}$$

将已知数据代入上式

$$\sigma = \frac{2.5}{2 \times 1} \left(\frac{325}{8 - 2} - 1 \right) = 66.46 \text{MPa}$$

计算结果表明 σ < [σ] ,故管壁厚度符合要求。

实际上 ,中、低压管道使用的无缝钢管 ,其壁厚往往是不需要计算的。无缝管有一个最小采用壁厚 ,见表 5-1-2。如果按公式(5-6)计算出的壁厚小于最小采用壁厚 ,则应当选用表 5-1-2 规定的最小采用壁厚。

表 5-1-2 无缝钢管的最小采用壁厚(mm)

外径	最小采用壁厚	外径	最小采用壁厚
14 ~ 17	2	140 ~ 159	4.5
18 ~ 34	2.5	219	6
38 ~ 60	3	273	7
76 ~ 89	3.5	325	8
108 ~ 133	4	377 ~ 530	9

当工作温度在 200℃以内时 ,表 5-1-2 中所列最小采用壁厚适用于 (1)当管子外径 $D_w \leq 377\text{mm}$ 时 ,可满足公称压力为 4.0MPa 的强度要求 (2)当管子外径 $D_w \geq 426\text{mm}$ 时 ,可满足公称压力为 2.5MPa 的强度要求。也就是说 ,在上述条件下 ,可以直接选用最小采用壁厚。

二、轴向应力

由于内压力作用下产生的轴向应力较小(只有径向应力的 1/2) ,因此 ,不再讨论这方面的问 题 ,而是转向因为管道运行和安装的温度不同而产生的轴向应力。

在常温下安装的管道投入运行后 ,如果介质温度高于安装时的温度 ,管道就会产生热膨胀。根据虎克定律 ,当杆件横截面上的正应力未超过某一极限值时 ,应力与应变成正比 ,它的数学表达式是 :

$$\sigma = E \cdot \epsilon \tag{5-1-4}$$

式中 ,应力 σ 的极限值称为比例极限 ,这在前面已经介绍过了。 E 称为材料的弹性模量 ,它表示材料抵抗变形的能力 , E 值越大 ,抵抗变形的能力也就越强 ,材料不同 , E 值就不同。即使同一种材料 ,在不同的温度下 ,其 E 值也不同。 E 值是通过试验测定出来的。 ϵ 是纵向应变的比值或称相对压缩量 ,即 $\epsilon = \Delta L / L$, L 为杆件(或管道)的原有长度 , ΔL 为膨胀伸长量。因此 ,式(5-1-4)可改写为 :

$$\sigma = E \cdot \frac{\Delta L}{L} \tag{5-1-5}$$

而管道受热后的膨胀量是按下式计算的 :

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta t \cdot L \tag{5-1-6}$$

式中 ΔL ——管道热膨胀长度 ,mm ;
 α ——管材的线膨胀系数 ,取 0.012mm/(m·℃) ;
 Δt ——管道工作温度与安装温度之差 ,℃ ;
 L ——管段长度 ,m。

将式 5-1-6 代入式 5-1-5 则为 :

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta t \tag{5-1-7}$$

式中 σ ——管道伸缩受到限制时产生的应力 ,MPa ;
 E ——管材的弹性模量 ,见表 5-1-3 ;
 α 、 Δt 同式(5-1-6)。

式(5-1-7)就是因为管道的运行温度和安装温度不同 ,使管道热胀或冷缩时而产生的轴向应力。有的技术书籍中用 σ_x^2 表示上述轴向应力 ,而用 σ_x^1 表示由于内压力的存在而产生的轴向应力。

表 5-1-3 管材的弹性模量

管材种类	弹性模量 E (MPa)	管材种类	弹性模量 E (MPa)
钢管	$(2 \sim 2.2) \times 10^5$	钢筋混凝土管	2.1×10^4
铜管	$(0.91 \sim 1.3) \times 10^5$	石棉水泥管	3.3×10^4
铝管	0.71×10^5	硬聚氯乙烯管	$(3.2 \sim 4) \times 10^3$
铸铁管	$(1.15 \sim 1.6) \times 10^5$	玻璃管	0.56×10^5

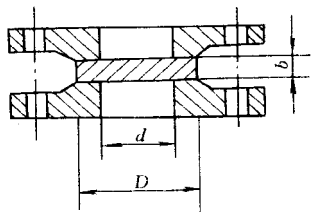


图 5-1-2 夹在法兰中的盲板

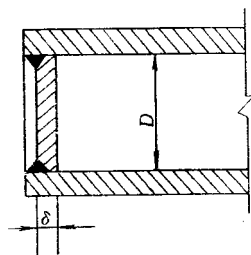


图 5-1-3 平堵头

第二节 封头、支架强度计算

一、管道平板式封头的强度计算

管道施工中常用的封头主要是平板式封头,有以下三种:

1. 夹在法兰中的盲板,见图 5-1-2;
2. 平堵头,见图 5-1-3;
3. 圆形平端盖见图 5-1-4。由于受到管道或容器内部介质的压力,在上述三种封头上会产生很大的应力。

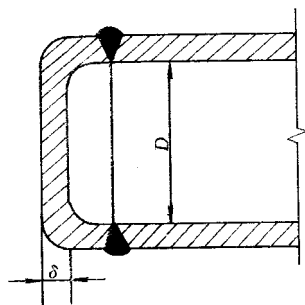


图 5-1-4 圆形平端盖

但是,上述三种平板式封头的力学性能不如压力容器上常用的半球封头、椭圆形封头及碟形封头好,也就是说,在相同真径和相同压力条件下,以半球形封头的壁厚为最小,椭圆形封头、碟形封头次之,平板式封头最厚。但由于平板式封头制作简单,在现场能就地取材,因而在管道施工中应用较多。当管径较大或内压力较高时,可用式(5-1-8)计算平板式封头的厚度。

$$\delta = KD\sqrt{\frac{P}{[\sigma]}} \tag{5-1-8}$$

式中 δ ——平板式封头的厚度,mm;
 K ——条件系数,图5-1-2取0.4,图5-1-3取0.6,图5-1-4取0.4;
 D ——图5-1-2取盲板直径,图5-1-3、图5-1-4取管道内径,mm;
 P ——内压力,MPa;
 $[\sigma]$ ——许用应力,200℃以内取100N/mm²。

二、关于管道悬臂支架和三角形支架

管道支架中,以悬臂式支架和三角形支架应用最多,见图5-1-5及图5-1-6。就支架使用的型钢来说,以角钢和槽钢居多。如果要根据支架承受的载荷选用型钢规格,或者已知型钢规格,通过计算复核支架的应力,计算难度是比较大的,不但要查找各种型钢的惯性矩、抗弯断面系数、型钢截面积等有关技术参数,还必须掌握一套涉及理论力学和材料力学的计算方法,因此,这方面的内容不适合现场工作的安装技术工人,甚至对施工技术人员来说,也有相当难度。管道支架一般采用标准图或设计院的重复使用图,即使是设计人员也很少进行一般管道支架的计算,因此,这里不再介绍这方面的内容。

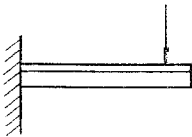


图 5-1-5 悬臂支架

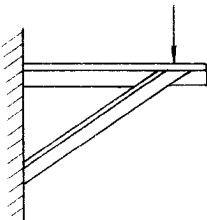


图 5-1-6 三角形支架

三、法兰紧固强度

法兰的型式有若干种,它的各部尺寸都是按国家标准或行业标准确定的,工作中只要按法兰的既定型式和公称压力等级选购或自行加工就可以了。

法兰连接的严密性,主要取决于法兰螺栓拧紧后的受力状态。在管道通入介质以前,将法兰的连接螺栓拧紧称为预紧状态。预紧时产生的紧固力与垫片的有效密封面

积的比值,称为垫片密封比压。也就是说,法兰螺栓的紧固力越大,密封比压也越大。当垫片密封比压为定值时(即垫片材质和形状一定),欲减少螺栓载荷,必须减小垫片的有效面积。在同样的螺栓紧固力作用下,垫片的有效面积越小,其密封比压就越大。密封比压与介质压力无关,只和垫片的材质和形状有关。不同材质的垫片密封比压数值是由试验决定的,如橡胶石棉垫片的厚度为3mm时,其密封比压值为11MPa,软钢平垫片的密封比压值为110~126MPa。垫片的密封比压大,密封性好,但过高的密封比压也是不可取的,会造成垫片弹性的丧失或垫片的损坏。

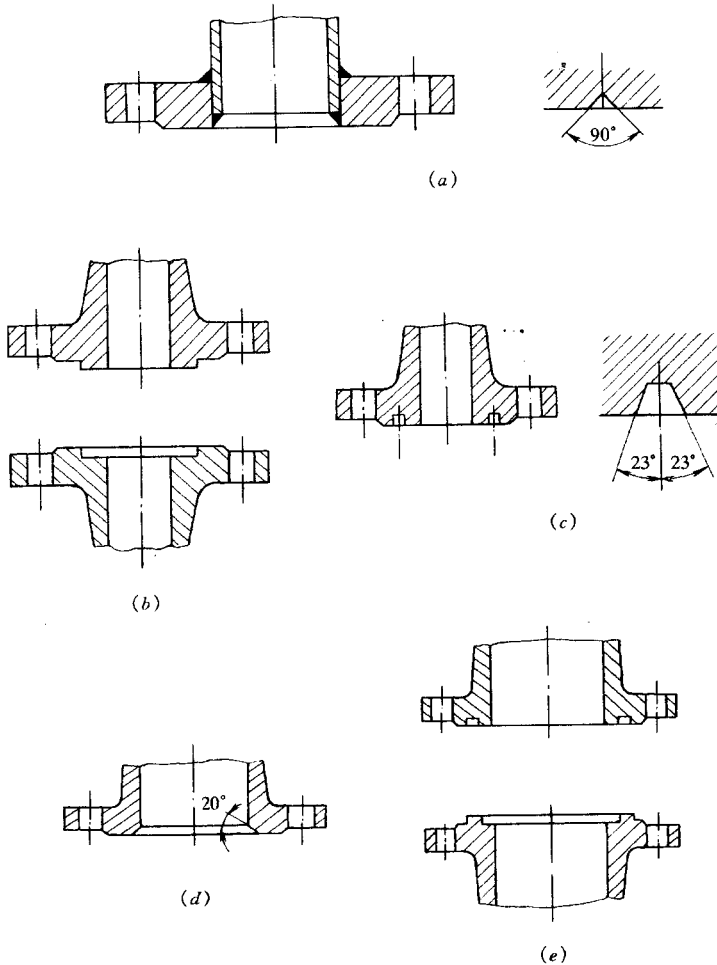


图 5-1-7 法兰密封面的型式

(a) 光滑式 (b) 凹凸式 (c) 梯形槽式 (d) 透镜式 (e) 榫槽式

当管道通入压力介质以后,法兰承受着温度应力和内压力,此时称为法兰的工作状态。在工作状态下,由于介质内压力的作用,会产生力图使两片法兰分开的轴向力和对垫片的侧向推力,如果垫片的回弹力不足或法兰连接螺栓紧固力不一致,就会发生泄

漏。因此,法兰密封面要对垫片具有一定的表面约束,使垫片不致发生移动。表面约束越好,接口严密性就越高。总之,法兰连接的严密性主要取决于法兰螺栓的紧固力大小和各个螺栓紧固力的均性、垫片的性能和法兰密封面的型式。

法兰密封面的型式有:光滑式、凹凸式、榫槽式、透镜式和梯形槽式,见图 5-1-7,其中以光滑式和凹凸式应用最多。至于与法兰密封强度有关的理论计算,就没有必要介绍了,因为这会占用较多的篇幅,而又没有多大实际应用价值。

第二章 管道重量、尺寸、壁厚计算

第一节 管道重量、尺寸计算

一、管子重量计算

求管子的重量也是以管子的体积乘材质的密度。

一般碳钢密度为 7.85g/cm^3 ,铸铁为 7.2g/cm^3 。

管子重量计算公式为

$$P = \pi L (D - S) S \gamma \quad \text{g}$$

式中 P ——管子重量(g);

L ——管子长度(cm);

D ——管子外径(cm);

S ——管子壁厚(cm);

γ ——管子材质的密度。

例如 求 $\phi 219 \times 10$ 碳钢无缝钢管 1m 长的重量。

解 代入式中

$$\begin{aligned} P &= \pi L (D - S) S \gamma \\ &= 3.1416 \times 100 (21.9 - 1) \times 1 \times 7.85 \\ &= 2466 \times 20.9 \\ &\approx 51.54\text{kg} \end{aligned}$$

二、弯曲管道尺寸计算

任意弯曲角度和弯曲半径的弯管(图 5-2-1),可按表 5-2-1 进行计算。

例如 已知图 5-2-2 所示管段的转角 $\alpha = 32^\circ$,弯曲半径为 320mm ,已装管段距转弯点 O 为 1200mm 现取一根直管制作弯管 ,试作划线图。

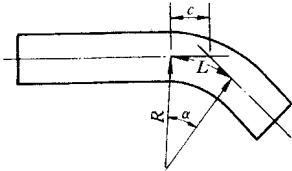


图 5-2-1 任意弯曲角度和弯曲半径的弯管

解 加工弯管的直管段长度 $b = 1200 - c$

表 5-2-1

弯曲角度 α ($^\circ$)	半弯直长 c	弯曲长度 L	弯曲角度 α ($^\circ$)	半弯直长 c	弯曲长度 L
1	0.0087R	0.0175R	46	0.4245R	0.8029R
2	0.0175R	0.0349R	47	0.4348R	0.8203R
3	0.0261R	0.0524R	48	0.4452R	0.8378R
4	0.0349R	0.0698R	49	0.4557R	0.8552R
5	0.0436R	0.0873R	50	0.4663R	0.8737R
6	0.0524R	0.1047R	51	0.4769R	0.8901R
7	0.0611R	0.1222R	52	0.4877R	0.9076R
8	0.0699R	0.1396R	53	0.4985R	0.9250R
9	0.0787R	0.1571R	54	P.0595R	0.9425R
10	0.0875R	0.1745R	55	0.5205R	0.9599R
11	0.0962R	0.1920R	56	0.5317R	0.9774R
12	0.1051R	0.2094R	57	0.5429R	0.9048R
13	0.1139R	0.2269R	58	0.5543R	1.0123R
14	0.1228R	0.2443R	59	0.5657R	1.0297R
15	0.1316R	0.2018R	60	0.5774R	1.0472R
16	0.1405R	0.2793R	61	0.5890R	1.0647R
17	0.1494R	0.2967R	62	0.6009R	1.0821R
18	0.1584R	0.3142R	63	0.6128R	1.0996R
19	0.1673R	0.3316R	64	0.6249R	1.1170R
20	0.1763R	0.3491R	65	0.6370R	1.1345R
21	0.1853R	0.3665R	66	0.6494R	1.1519R
22	0.1944R	0.3840R	67	0.6618R	1.1694R
23	0.2034R	0.4014R	68	0.6745R	1.1868R
24	0.2126R	0.4189R	69	0.6872R	1.2043R
25	0.2216R	0.4363R	70	0.7002R	1.2217R
26	0.2309R	0.4538R	71	0.7132R	1.2392R

续表

弯曲角度 α ($^{\circ}$)	半弯直长 c	弯曲长度 L	弯曲角度 α ($^{\circ}$)	半弯直长 c	弯曲长度 L
27	0.2400R	0.4712R	72	0.7265R	1.2566R
28	0.2493R	0.4887R	73	0.7399R	1.2741R
29	0.2587R	0.5061R	74	0.7536R	1.2915R
30	0.2679R	0.5236R	75	0.7673R	1.3090R
31	0.2773R	0.5411R	76	0.7813R	1.3265R
32	0.2867R	0.5585R	77	0.7954R	1.3439R
33	0.2962R	0.5760R	78	0.8098R	1.3614R
34	0.3057R	0.5934R	79	0.8243R	1.3783R
35	0.3153R	0.6109R	80	0.8391R	1.3963R
36	0.3249R	0.6283R	81	0.8540R	1.4173R
37	0.3345R	0.6458R	82	0.8693R	1.4312R
38	0.3443R	0.6632R	83	0.8847R	1.4486R
39	0.3541R	0.6807R	84	0.9004R	1.4661R
40	0.3640R	0.6981R	85	0.9163R	1.4835R
41	0.3738R	0.7156R	86	0.9325R	1.5010R
42	0.3839R	0.7330R	87	0.9484R	1.5184R
43	0.3939R	0.7505R	88	0.9657R	1.5359R
44	0.4040R	0.7679R	89	0.9827R	1.5533R
45	0.4141R	0.7854R	90	1.0000R	1.5708R

查表 5-2-1 ,当 $\alpha = 32^{\circ}$ $c = 0.2867R = 0.2867 \times 320 \approx 91.7\text{mm}$

因此 ,直段长 $b = 1200 - 91.7 = 1108.3\text{mm}$

查表 5-2-1 ,当 $\alpha = 32^{\circ}$, $L = 0.5585R = 0.5585 \times 320 \approx 178.7\text{mm}$

根据计算结果 ,可进行划线 ,如图 5-2-2b 所示。

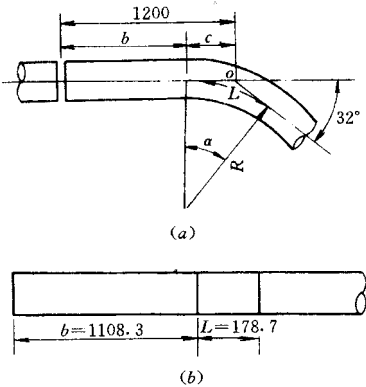


图 5-2-2 弯管计算图
(a)弯管 (b)直管

三、管道直径计算

已知管道介质流量及流速,求取所用管道直径,可用下式计算:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{3600\pi v}} \text{ m}$$

式中 Q ——介质流量(m^3/h);

v ——介质流速(m^3/s);

管道中的介质流速,通常采用下列数值:

1. 水及低粘滞性液体(酒精、苯、弱酸及弱碱溶液)—— $1 \sim 2.5 \text{ m/s}$;
2. 高粘性液体(各种油类)—— $0.5 \sim 1.5 \text{ m/s}$;
3. 压缩空气及饱和蒸汽—— $20 \sim 30 \text{ m/s}$;
4. 过热蒸汽及高压气体—— $30 \sim 60 \text{ m/s}$ 。

根据计算求得的管径值,由生产的管子规格中,按管子外径及壁厚选定所用的管子。

第二节 管道壁厚计算

一、直管壁厚计算

工程上一般采用简化方法进行强度计算

实际计算中,将所需要的壁厚分为两上部分:

1. 承受内压力所需壁厚;
2. 壁厚附加值。

钢管承受内压所需壁厚按下列二式之一计算(适用于 $S_y \leq D_w/4$ 的条件下):

$$S_y = \frac{PD_w}{20[\sigma]\phi + P}$$

$$S_y = \frac{PD_n}{20[\sigma]\phi + P}$$

式中 S_y ——钢管承受内压所需壁厚(mm);

P ——计算内压力,指表压力,可采用管内介质压力(MPa);

D_w ——管子外径(mm);

D_n ——管子内径(mm);

$[\sigma]$ ——管子在工作温度下的额定许用应力(以管材的强度极限除以安全系数)
(MPa);

ϕ ——管子的焊缝系数，

无缝钢管 $\phi = 1$ mm 焊缝钢管 $\phi = 0.8$ mm。

钢管的计算壁厚为：

$$S = S_y + C$$

式中 C ——壁厚附加值(mm)。

在求得管子计算壁厚以后，应化整到与钢管常用壁厚相接近的较大值来选定壁厚值。也可在 $0.03(S_y + C)$ 的范围内向小的方向化整。

反之，如已知管壁厚度 S ，需根据管道的内压力来验算管子耐压强度时，可由公式求得管子容许承受的最大应力为：

$$\sigma_{zs} = \frac{P[D_w - (S - C)]}{200\phi(S - C)} \text{MPa}$$

式中 σ_{zs} 称为内压折算应力，其值不得大于材料的额定许用应力，即 $\sigma_{zs} \leq [\sigma]$ 时，认为管子耐压强度合格。

常用钢管和钢板的额定许用应力可查表而得。

在选取许用应力时，管壁温度可近似采用等于管内介质温度。

壁厚附加值(C)包括下列三项：

1. 壁厚负公差：制造管材时的壁厚负公差应考虑在壁厚附加值之内。因壁厚负公差而减少的厚度，即壁厚负公差附加值为：

$$C_1 = \frac{m}{100 - m} S_y$$

各种无缝钢管壁厚负公差的百分数可参照制造厂产品标准。

各种钢管的壁厚负公差的采用值，均不得小于 0.5mm。

2. 腐蚀裕度：因腐蚀介质对管壁的腐蚀而增加的管壁厚度称为腐蚀裕度。

3. 螺纹深度：当管道采用管螺纹连接形式时，其壁厚的附加值还应包括螺纹深。一般管道螺纹深度附加值表见表 5-2-2 所示。

表 5-2-2 普通管螺纹深度附加值表(mm)

管子公称 直径 D_N	螺纹深度 附加值
10 ~ 20	1.162
25 ~ 180	1.479

二、弯管的壁厚计算

弯管壁厚除需考虑钢管的负公差和腐蚀减薄量外，还须考虑弯管所引起的壁厚减

薄和弯曲应力的影响。在工程上可采用下列方法确定弯管壁厚：

- 1. 弯管的弯曲半径 $R \geq 3.5 D_w$ (或 D_g) 时 , 由于影响量不大 , 可以采用直管壁厚 ；
- 2. 弯管的弯曲半径 $R < 3.5 D_w$ (或 D_g) 时 , 以及采用冲压弯头时 , 可将弯制时的壁厚减薄和弯曲应力的影响一并考虑在壁厚附加值内 , 并用下式计算：

$$\left. \begin{aligned} C &= A_1 S_y + (1 \sim 1.5) \\ A_1 &= \frac{\frac{50}{n(4n+1)} + m}{100 - m} \end{aligned} \right\}$$

式中 A_1 ——弯管壁厚附加系数；
 n ——管子弯曲半径与管子直径的比值，

$$n = \frac{R}{D_w} (\text{或 } n = \frac{R}{D_g})$$

其他符号同前。

在实际计算中 , 弯管壁厚附加系数的采用值如下：

当 $n = 2 \sim 3$ 时 : $m = 15$ 、 $A_1 = 0.22$; $m = 12.5$ 、 $A_1 = 0.18$

当 $n = 1.5$ 时 : $m = 15$ 、 $A_1 = 0.24$; $m = 12.5$ 、 $A_1 = 0.22$

当 $n = 1$ 时 : $m = 15$ 、 $A_1 = 0.30$; $m = 12.5$ 、 $A_1 = 0.26$

三、管道最小壁厚计算

钢管的壁厚除考虑强度因素外 , 还要考虑刚度、外力冲击以及实际产品的规格。要根据影响壁厚的综合因素 , 规定管壁的最小采用厚度。如果计算求得的壁厚小于最小采用壁厚 , 应选用最小采用壁厚。表 5 - 2 - 3 列出碳钢与合金钢无缝钢管的最小采用壁厚。这些最小采用壁厚 , 当管子外径 $D_w \leq 377\text{mm}$ 时 , 可满足公称压力 $P_g \leq 4\text{MPa}$ 耐压强度要求 , 当管子外径 $D_w \geq 426\text{mm}$ 时 , 可满足公称压力 $P_g \leq 2.5\text{MPa}$ 的耐压强度要求。

例如 现有规格为 $\phi 159\text{mm} \times 145\text{mm}$ 的 10 号钢无缝钢管 , 能否用于输送工作压力为 2.5MPa、温度为 400℃ 的过热水蒸汽？

解 管子壁厚附加值按 2mm 考虑 , 求得的内压折算应力为：

表 5 - 2 - 3 碳钢与合金钢无缝钢管的最小采用壁厚

外径(mm)	最小采用壁厚(mm)	外径(mm)	最小采用壁厚(mm)
14 ~ 17	2	108	5
18 ~ 34	2.5	219	6
38 ~ 60	3	273	7
76 ~ 39	3.5	325	8
108 ~ 133	4	377 ~ 530	9
140 ~ 159	4.5		

$$\begin{aligned}\sigma_{zs} &= \frac{P[D_w - (S - C)]}{200\delta(S - C)} \\ &= \frac{25 \times [159 - (4.5 - 2)]}{200 \times 1 \times (4.5 - 2)} = 78.3 \text{ MPa}\end{aligned}$$

查相关表格得,10号钢号在400℃下的额定许用应力为 $[\sigma] = 81 \text{ MPa}$,大于上述求得的折算应力,即 $\sigma_{zs} < [\sigma]$,所以,这种管子完全能满足工作条件的要求,可用于输送压力为2.5MPa、温度为400℃的过热水蒸汽。

第三节 容积、焊条用量计算

一、卧式容器与管道中液体容积计算

管道安装完毕,进行水压试验,以测定管道的耐压强度及密封性。试验时常利用已制备好的卧式容器蓄水,这样就需预先计算卧式容器的蓄水容积及管道容积。

卧式容器的蓄水容积利用下式计算:

$$V = VC \cdot K \quad \text{m}^3$$

式中 VC ——容器的容积,等于 $\frac{\pi d^2}{4} L \quad \text{m}^3$;

K ——倍数,根据表5-2-4按 $\frac{h}{d}$ 的比值选用;

d ——容器的内径(m);

h ——容器内的水高度(m);

L ——容器长度(m)。

例如,卧式容器的容积 $V_c = 10.35 \text{ m}^3$,内径为 $d = 1.2 \text{ m}$, $L = 9.6 \text{ m}$,蓄水高度为 $h = 0.88 \text{ m}$,

$$\text{则} \quad \frac{h}{d} = \frac{0.88}{1.2} = 0.733$$

查表5-2-4,取 k 值,

$$\frac{h}{d} = 0.72 \text{ 及 } \frac{h}{d} = 0.74$$

k 值在0.771及0.793之间,利用内插法求得 $k = 0.785$ 。代入公式

$$V = 10.85 \times 0.785 = 8.52 \text{ m}^3$$

管内蓄水的体积利用管外径、管子壁厚、每米长管道的表面积和管道截面面积求得,其有关数据见表5-2-4及表5-2-5。

表 5－2－4 h/d 与 k 值的对应关系

h/d	k	h/d	k	h/d	k	h/d	k	h/d	k
0.02	0.005	0.22	0.163	0.42	0.339	0.62	0.654	0.82	0.878
0.04	0.013	0.24	0.185	0.44	0.424	0.64	0.676	0.84	0.897
0.06	0.025	0.26	0.207	0.46	0.449	0.66	0.7	0.86	0.897
0.08	0.038	0.28	0.229	0.48	0.475	0.68	0.724	0.88	0.932
0.1	0.952	0.3	0.252	0.5	0.5	0.7	0.748	0.9	0.948
0.12	0.069	0.32	0.276	0.52	0.526	0.72	0.771	0.92	0.963
0.14	0.085	0.34	0.3	0.54	0.551	0.74	0.793	0.94	0.976
0.16	0.103	0.36	0.324	0.56	0.576	0.76	0.816	0.96	0.987
0.18	0.122	0.33	0.349	0.58	0.601	0.73	0.837	0.98	0.995
0.2	0.142	0.4	0.374	0.6	0.625	0.8	0.858	1	1

表 5－2－5 1m 长管道根据不同管径的截面积与表面积

管子外径 D_w (mm)	截面积 (cm^2)	表面积 (m^2)	管子外径 D_w (mm)	截面积 (cm^2)	表面积 (m^2)	管子外径 D_w (mm)	截面积 (cm^2)	表面积(m^2)
18	2.545	0.057	133	138.9	0.418	720	4.071	2.262
25	4.909	0.79	159	198.6	0.5	820	5.281	2.576
32	8.042	0.1	219	376.7	0.688	920	6.648	2.890
38	11.34	0.119	273	585.3	0.858	1020	8.171	3.204
45	15.9	0.141	325	829.6	1.021	1120	9.852	3.519
57	25.52	0.179	377	1116	1.184	1220	11.690	3.833
26	45.36	0.239	426	1425	1.338	1420	15.837	4.461
89	62.21	0.23	530	2206	1.665	1620	20.612	5.089
108	96.61	0.339	630	3117	1.979			

二、各种型材理论重量的计算方法

各种型材理论重量的计算方法见表 5－2－6 和表 5－2－7。

表 5－2－6 基本公式

$$W(\text{重量 kg})=F(\text{断面积 mm}^2)\times L(\text{长度 m})\times \rho(\text{密度 g/cm}^3)\times 1/1000$$

注：由于型材在制造过程中的允许偏差值，因此用公式计算的理论重量与实际重量有一定的出入，只能作为估算时的参考。

表 5-2-7 钢材断面积的计算公式表

项目	钢材类别	计算公式	代号说明
1	方钢	$F = \alpha^2$	α —边宽
2	圆角方钢	$F = \alpha^2 - 0.8584r^2$	α —边宽 ; r —圆角半径
3	钢板、扁钢、带钢	$F = \alpha \times \delta$	α —宽度 ; δ —厚度
4	圆角扁钢	$F = \alpha\delta - 0.8584r^2$	α —0 宽度 ; δ —厚度 ; r —圆角半径
5	圆钢、圆盘条、钢丝	$F = 0.7854d^2$	d —外径
6	六角钢	$F = 0.866a^2 = 2.598s^2$	α —对边距离 ; s —边宽
7	八角钢	$F = 0.8284a^2 = 4.8284s^2$	
8	钢管	$F = 3.1416\delta(D - \delta)$	D —外径 ; δ —壁厚
9	等边角钢	$F = d(2b - d)$ $+ 0.214(r^2 - 2r_1^2)$	d —边厚 ; b —边宽 ; r —内面圆角半径 ; r_1 —端边圆角半径
10	不等边角钢	$F = d(B + b - d)$ $+ 0.214(r^2 - 2r_1^2)$	d —边厚 ; B —长边宽 ; b —短边宽 ; r —内面圆角半径 ; r_1 —端边圆角半径
11	工字钢	$F = hd + 2t(b - d)$ $+ 0.8584(r^2 - r_1^2)$	h —高度 ; b —腿宽 ; d —腰厚 ; t —平均腿厚 ;
12	槽钢	$F = hd + 2t(b - d)$ $+ 0.429(r^2 - r_1^2)$	r —内面圆角半径 ; r_1 —边端圆角半径

注 :1. 钢材相对密度一般按 7.85 计算。
2. 其他型材如钢材、铝材等一般也可按上表计算。

三、管道焊口、法兰焊条使用量

管道焊口和法兰焊条使用量见表 5-2-8。

表 5-2-8 管道焊口和法半焊条使用量(实耗)

序号	主材规格 (mm)	外围周长 (cm)	焊缝宽度 (mm)	需用环焊焊条		开眼三通焊条需用数 (kg)	平焊法兰 2.5~10kg/cm ²			平焊法兰 16~25kg/cm ²	
				根 ^①	kg		根 ^①	焊条直径 (mm)	kg	根 ^②	kg
1	108×4	34	8	4	0.13	0.1	3	3	0.1	4	0.21
2	108×4.5	34	8	4	0.13	0.17	4	3	0.13	4	0.21
3	108×5	34	8	4.5	0.15	0.2	4.5	3	0.15	5	0.26
4	108×6	34	10	6.5	0.21	0.27	3.5	4	0.18	6.5	0.34
5	133×4.5	41.8	8	5	0.17	0.22	4.5	3	0.15	5	2.7
6	133×5		8	5.5	0.18	0.23	5.5	3	0.18	6	0.32
7	133×6		10	8	0.26	0.34	4.5	4	0.23	8	0.42
8	159×4.5	50	8	6	0.2	0.26	5.5	3	0.18	6	0.32
9	159×5		8	6.5	0.21	0.21	6.5	3	0.22	7	0.37
10	159×6		10	9.5	0.31	0.4	5	4	0.26	10	0.53
11	159×7		12	12.5	0.41	0.53	6.5	4	0.34	13	0.69
12	159×8		14	16	0.53	0.69	8.5	4	0.45	16	0.85
13	219×6	68.8	10	8.4	0.42	0.55	7	4	0.37	13.5	0.71
14	219×7		12	9.5	0.5	0.65	9	4	0.48	17.5	0.92
15	219×8		14	12	0.64	0.83	11.5	4	0.61	2.2	1.16
16	219×9		14	15	0.79	1.03	14	4	0.74	28	1.48
17	219×10		16	16	0.85	1.10	17.5	4	0.92	33	1.75
18	219×11		16	17.5	0.93	1.21	20.5	4	1.08	40	2.12
19	219×12		18	21	1.11	1.44	24	4	1.27	47	2.4
20	273×7	85.7	12	12	0.64	0.83	11	4	0.58	22	1.13
21	273×8		14	15	0.79	1.03	14	4	0.74	28	1.48
22	273×9		14	18	0.96	1.25	18	4	0.95	34.5	1.83
23	273×10		16	20	1.06	1.38	21.5	4	1.14	41.5	2.2
24	273×11		16	22	1.16	1.51	2.6	4	1.38	50	2.65
25	273×12		18	26	1.38	1.79	30	4	1.59	58	3.07
26	325×7	102	12	14	0.74	0.96	15.5	4	0.82	26	1.38
27	325×8		14	17.5	0.93	1.21	17	4	0.9	33	1.75
28	325×9	102	14	19	1.0	1.3	20	4	1.06	40.5	2.15
29	325×10		16	24	1.27	1.65	25.5		1.35	49.5	2.62
30	325×11		16	26	1.38	1.79	30		1.59	59	3.13
31	325×12		18	31	1.64	2.13	36		1.9	70	3.71
32	377×8	118.4	14	20.5	1.09	1.42	19		1	38	2.01
33	377×9		14	22.5	1.19	1.55	24.5		1.3	47	2.49
34	377×10		16	27.5	1.48	1.92	30		1.55	57.5	3.05
35	377×11		16	30	1.59	2.07	35		1.85	69	3.66
36	377×12		18	36	1.91	2.48	41.5		2.2	80.5	4.3
37	426×8	133.8	14	25	1.32	1.71	22		1.17	43	2.28

续表

序号	主材规格 (mm)	外围周长 (cm)	焊缝宽度 (mm)	需用环焊焊条		开眼三通焊条需用数 (kg)	平焊法兰 2.5~10kg/cm ²			平焊法兰 16~25kg/cm ²	
				根 ^①	kg		根 ^①	焊条直径 (mm)	kg	根 ^②	kg
38	426×9		14	25.5	1.35	1.75	27.5		1.46	53	2.8
39	426×10		16	31	1.64	2.13	33.5		1.78	65	3.44
40	426×11		16	34	1.8	2.34	39.5		2.09	76.5	4.05
41	426×12		18	40.5	2.14	2.78	47		2.49	84	4.45
42	478×8		14	26	1.38	1.79	25		1.36	48.5	2.57
43	478×9		14	28.5	1.51	1.96	31		1.64	60	3.18
44	478×10		16	35	1.86	2.41	37		1.96	73	3.87
45	478×11		16	38	2	2.6	44.5		2.36	87	4.61
46	478×12		18	45	2.38	3.09	52		2.76	102	5.4
47	529×8		14	28.5	1.51	1.96	27		1.43	54	2.86
48	529×9		14	31.5	1.67	2.17	34		1.83	66	3.5
49	529×10		16	42.5	2.25	2.92	41		2.17	67	3.55
50	529×11		16	46	2.43	3.16	49		2.6	96	5.09
51	529×12		18	55	2.91	3.78	59		3.13	113	5.99
52	630×8		14	37.5	1.98	2.57	32.5		1.72	64	3.39
53	630×9		14	41	2.17	2.82	40		2.12	79	4.18
54	630×10		16	52	2.75	3.57	49		2.6	96	5.09
55	630×11	198	16	55	2.91	3.78	59		3.13	115	6.1
56	630×12		18	65.5	3.47	4.51	69		3.66	135	7.16
57	630×14		20	82.5	4.37	5.68	93		4.93	180	9.54
58	720×9	226	14	47	2.49	3.23	46		2.44	90	4.77
59	720×10		16	58	3.07	4	56.5		3	110	5.3
60	720×11		16	61	3.23	4.2	67		3.55	131	6.94
61	720×12		18	75	3.97	5.16	79		4.18	154	8.16
62	720×14		20	94	4.98	6.47	106		5.62	205	10.86
63	820×9	258	14	53.6	2.83	3.81	53		2.8	103	5.46
64	820×10		16	66	3.5	4.55	65		3.44	124	6.57
65	820×11		16	71.5	3.79	4.93	76		4.03	150	7.98
66	820×12		18	85.5	4.53	5.89	90		4.77	175	9.28
67	820×14		20	107.5	5.69	7.4	121		6.41	232	12.3
68	920×9		14	60	3.18	4.13	59		3.13	115	6.1
69	920×10		16	73.5	3.89	5.05	72		3.82	121	7.48
70	920×11		16	80	4.24	5.51	86		4.56	167	8.85
71	920×12		18	96	5.08	6.6	101		5.35	197	10.44
72	920×14		20	121	6.41	8.33	136		7.21	263	13.94
73	1020×9	320	14	67	3.55	4.61	65.5		3.47	127	6.73
74	1020×10		16	82	4.34	5.64	80		4.24	154	8.16
75	1020×11		16	89	4.71	6.12	95		5	186	9.86

续表

序号	主材规格 (mm)	外围周长 (cm)	焊缝宽度 (mm)	需用环焊焊条		开眼三通焊条需用数 (kg)	平焊 2.5~10kg/cm ² 法兰			平焊 16~25kg/cm ² 法兰	
				根①	kg		根①	焊条直径 (mm)	kg	根②	kg
76	1020×12		18	106	5.62	7.31	112		5.93	218	11.5
77	1020×14		20	134	7.1	9.63	150		7.95	292	15.47
78	1120×9	352	14	73.5	3.89	5.05	72		3.82	141	7.47
79	1120×10		16	91	4.82	6.26	88		4.66	171	9.06
80	1120×11		16	98	5.19	6.74	105		5.56	204	10.81
81	1120×12		18	141	7.47	9.71	123		6.52	239	12.66
82	1120×14	352	20	147	7.79	10.12	165		8.74	320	16.7
83	1220×10	383	16	98	5.19	6.74	95		5.03	186	9.86
84	1220×12		18	127.5	6.75	8.77	135		7.15	260	13.78
85	1220×14		20	160	8.48	11.02	180		9.54	347	18.39
86	1220×16		22	196.5	10.41	13.53	251		13.3	462	24.5
87	1320×10	415	16	106	5.63	7.31	104		5.51	202	10.7
88	1320×12		18	138	7.31	9.51	145		7.68	283	15
89	1320×14		20	173	9.17	11.93	195		10.33	377	20
90	1320×16		22	213	11.29	14.67	271		14.36	500	26.5
91	1420×10	446	16	114	6.04	7.05	111		5.88	217	11.5
92	1420×12		18	148	7.85	10.19	157		8.32	313	16.55
93	1420×14		20	186	9.85	12.8	209		11.07	407	21.57
94	1420×16		22	229	12.13	15.77	294		15.58	538	28.5
95	1620×12	507	18	169	8.95	11.63	179		6.73	248	13.14
96	1620×14		20	213	11.29	14.57	239		9.48	345	10.28
97	1620×16		22	263	13.94	18.12	333		17.6	6.4	32.5
98	1620×18		22	290	15.37	20	376		19.9	735	38.95
99	1820×12	572	18	190	10	13	200		10.6	378	20
100	1820×14		20	238	12.6	16.38	268		14.2	519	27.5
101	1820×16		22	293	15.53	20.2	374		19.8	689	36.5
102	2020×12	634	18	211	11.18	14.53	223		11.82	432	22.9
103	2020×14		20	266	14.1	18.33	298		15.89	576	30.5
104	2020×16		22	325	17.22	22.38	412		21.83	765	40.5
105	2020×18		22	362	18.89	24.56	468		24.8	917	48.6
106	2020×20		22	398	21.09	27.42	589		31.2	1117	59.2

① 焊条直径约为 3mm。

② 焊条直径均为 4mm。

附：电石与氧气的配比：

氧炔焊接：氧气：电石=1：3.4；

氧炔切割：氧气：电石=1：1.7。