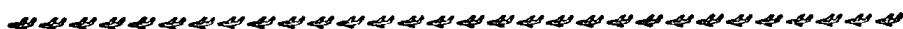


第23章 管道修理



第1节 管道修理中的 常用计算

(一) 管道计算常用数据

1. 常用管道规格和材料特性数据

表23-1-1 常用管道规格和材料特性数据

公称直径 D_N (mm)	外 径 D_W (mm)	壁 厚 δ (mm)	内 径 d (mm)	管 内 断 积 F (cm^2)	管 壁 断 积 f (cm^2)	管子断面 惯性矩 I (10^{-8}m^4)	管子断面 抗弯矩 W (10^{-6}m^3)	管子刚度($E \cdot I$) ($10^4\text{N} \cdot \text{m}^2$)	
								200°C	350°C
25	32	2.5	27	5.73	2.32	2.54	1.58	0.467	0.422
32	38	2.5	33	8.55	2.79	4.41	2.32	0.811	0.733
40	45	2.5	40	12.57	3.30	7.55	3.36	1.388	1.255
50	57	3.5	50	19.63	5.88	21.11	7.40	3.882	3.509
65	73	3.5	66	34.2	7.64	46.3	12.40	8.513	7.696
80	89	3.5	82	52.81	9.41	86	19.3	15.813	14.295
100	108	4	106	78.54	13.1	177	32.8	32.55	29.42
125	133	4	125	122.7	16.2	337	50.8	61.97	56.02
150	159	4.5	150	176.7	21.9	652	82	119.89	108.38
200	219	4	211	349.5	27	1559	142	286.66	259.14
200	219	6	207	336.5	40.2	2279	208	419.05	378.82
250	273	4	265	551	33.8	3053	219	561.37	507.48
250	273	7	259	526.9	58.4	5177	379	951.92	860.54
300	325	5	315	778.9	50.2	6424	395	1181.21	1067.81
300	325	8	309	749.9	79.7	10010	616	1840.59	1663.89
350	377	5	367	1057	58.4	10092	535	2057.92	1677.52
350	377	9	359	1012	104	17620	935	3239.87	2928.84
400	426	6	414	1346	79	17460	820	3210.45	2902.25
400	426	9	408	1307	118	25600	1204	4707.19	4255.3

注：表中管子刚度系指碳素钢管而言，其余管子的 $E \cdot I$ 值请查阅有关资料。

2. 常用管材单位管长容积

表23-1-2 常用管材单位管长容积

(L/m)

管 外 径 D_W (mm)	管 壁 厚 度 δ (mm)									
	2.0	2.5	3.0	3.5	4	4.5	5.0	6	8	10
13	0.154	0.133	0.113	0.095	0.079	—	—	—	—	—
25	0.346	0.314	0.284	0.254	0.227	0.201	0.177	0.133	—	—
32	0.616	0.573	0.531	0.491	0.452	0.415	0.38	0.314	0.201	—
38	0.903	0.856	0.804	0.755	0.707	0.661	0.616	0.531	0.38	—
46	1.32	1.256	1.195	1.134	1.075	1.018	0.962	0.855	0.661	0.491
57	2.206	2.124	2.043	1.963	1.886	1.809	1.735	1.59	1.32	1.075
76	4.071	3.959	3.848	3.739	3.631	3.526	3.421	3.217	2.827	2.463
89	5.674	5.542	5.411	5.281	5.183	5.027	4.902	4.657	4.185	3.739
108	8.495	8.332	8.171	8.021	7.864	7.698	7.543	7.238	6.648	6.082
133	—	12.87	12.67	12.47	12.27	12.08	11.88	11.5	10.75	10.03
159	—	18.63	18.38	18.16	17.91	17.67	17.44	16.97	16.06	15.17

管 外 径 D_w (mm)	管 壁 厚 度 δ (mm)								
	4.5	5.0	6	8	10	12	14	16	18
219	34.64	34.31	33.65	32.37	31.1	29.86	28.65	27.46	26.3
273	54.74	54.32	53.5	51.97	50.27	48.69	47.14	45.62	44.11
325	78.43	77.92	76.94	74.99	73.06	71.16	69.28	67.43	65.6
377	106.4	105.8	104.6	102.4	100.1	97.87	95.66	93.48	91.33
426	136.6	135.9	134.6	132	129.5	126.9	124.4	121.9	119.5
530	—	212.4	210.7	207.5	204.3	201.1	197.9	194.8	191.7
630	—	301.9	300	296.1	292.2	288.4	284.6	280.9	277.1
720	—	395.9	393.7	389.3	384.8	380.5	376.1	371.8	367.5
820	—	515.3	512.8	507.7	502.7	497.6	492.7	487.7	482.7
920	—	650.4	647.5	641.8	636.2	630.2	624.9	619.3	613.8
1020	—	801.2	798	791.7	785.4	779.1	772.9	766.7	760.5
1120	—	—	964.2	957.3	950.3	934.4	936.6	929.7	922.9

3. 管子重量的计算

管子重量计算式为

$$G_n = \pi L (D_w - \delta) \delta \rho \quad (23-1-1)$$

式中 G_n ——计算管段的重量 (kg);

L ——计算管段长度 (m);

D_w ——管道外径 (m);

δ ——管壁厚度 (m);

ρ ——管材的密度 (kg/m³).

(二) 管道的水力计算

1. 水力计算的任务

管道水力计算的主要任务是:

1) 按已知的流量和允许压力降或允许流速选择管径。

2) 按已知的管径和流量, 计算管道的压力降及管道中各点的压力值。

3) 按确定的管径及允许压力降, 计算或校核管道的输送能力。

4) 根据管道水力计算的结果, 确定管道系统选用设备的规格型号。

2. 水力计算表

为了简化管道水力计算的工作量, 一般常用管道的水力计算均借助于现成的水力计算表进行, 当计算精度要求不高时, 可直接查表进行计算, 其结果具有一定的准确性, 能满足一般管道工程计算的要求。当对计算精度要求较高时, 应根据各专业管道水力计算资料及编制使用要求进行计算修正。现将常用的各种介质输送管道水力计算表予以节选, 具体见附录。

3. 流速及管壁粗糙度

在进行管道水力计算过程中, 介质流速是计算

表23-1-3 常用介质允许流速的选择

1. 按管径定		
介质名称	管 径 D_N (mm)	允许流速 v (m/s)
饱和蒸汽	15~32	10~20
	40	20~25
	50~80	25~30
	100~200	30~35
	>200	35~40
过热蒸汽	15~32	20~25
	40	25~30
	50~100	30~35
	100~200	35~45
	≥200	45~60
压缩空气	≤50	≤8
	≥70	≤15
发生炉煤气及城市煤气	25~50	≤4
	70~100	≤6
	100~200	≤8
	250~500	≤14
给水、热水及加压凝结水	25~32	0.5~0.7
	40~50	≤1.0
	70~80	≤1.6
	≥100	≤2.0~2.5
废汽	≤150	20(利用) 80(排放)
	≥200	30(利用) 80(排放)
2. 按压力定		
介质名称	表压力 P (kPa)	允许流速 v (m/s)
二氧化碳	<294	8~12
乙炔	<9.8	车间 3~4 厂区 1~2
	9.8~147	车间 4~8 厂区 2~4
氢气	<98	2~6
氮气	<98	6~12

的关键因素，不同性质的介质，其允许流速选取范围均不相同。现将常用介质的允许流速选择范围列于表23-1-3内，供水力计算时参考。

4. 管径、流量及阻力损失的计算

(1) 管径的计算 根据已知流量和允许流速范围确定管径，是工业管道工程中最常见的计算，其计算式如下：

$$D = 594.5 \sqrt{\frac{q_m}{\rho v}} \quad (23-1-2)$$

$$\text{或} \quad D = 18.8 \sqrt{\frac{q_v}{v}} \quad (23-1-3)$$

式中 D ——管道内径 (mm)；
 q_m ——质量流量 (t/h)；
 q_v ——体积流量 (m³/h)；
 v ——介质流速 (m/s)；
 ρ ——介质密度 (kg/m³)。

(2) 流量的计算 根据已知管径及流速来计算管道的输送流量公式如下：

$$q_m = \rho v w \quad (23-1-4)$$

$$\text{或} \quad q_v = v w \quad (23-1-5)$$

$$\text{而} \quad q_m = \rho q_v$$

式中 w ——管道的过流断面面积 (m²)。

公式中其余各符号所表示的含义与管径计算公式符号同。

(3) 阻力损失的计算 管道的阻力损失分沿程阻力损失和局部阻力损失两种形式。管道的总阻力损失指计算管段的沿程阻力损失与局部阻力损失之和，其表达式为：

$$h_w = \Sigma h_f + \Sigma h_j \quad (23-1-6)$$

式中 h_w ——管道的总阻力损失 (Pa)；

Σh_f ——管路中各管段的沿程阻力损失之和 (Pa)；

Σh_j ——管路中各处局部阻力损失之和 (Pa)。

各计算管段的沿程阻力损失 h_f ，可按下列式计算：

$$h_f = RL \quad (23-1-7)$$

式中 R ——每米管长的沿程阻力损失 (Pa/m)；

L ——管段长度 (m)。

计算时，各种介质输送管道单位管长的沿程阻力损失 R 值可由事先编制好的水力计算表中直接查得。

管道中管件的局部阻力损失 h_j ，可按下列式进行

计算：

$$h_j = \zeta \frac{\rho v^2}{2} \quad (23-1-8)$$

式中 ζ ——管件的局部阻力系数；

ρ ——被输送介质的密度 (kg/m³)；

v ——管道内介质流速 (m/s)。

各种不同规格的管道配件及附件的局部阻力系数可查表而得。

在一般情况下，室内外管网的局部阻力损失也可按表23-1-4规定进行估算。

表23-1-4 各类管道的局部阻力占沿程阻力的百分比

管道类别		局部阻力占沿程阻力的百分比(%)	
室内管道	给水、热水	20~30	
	供热管道	自然循环热水供暖系统	100
		机械循环热水供暖系统	100
		低压蒸汽供暖系统	60~70
		高压蒸汽供暖系统	25
		高压凝结水管路	25
	压缩空气	15~30	
氧气	15~20		
室外管道	热力管网	热水采暖管网	15~30
		高压蒸汽	20
		低压蒸汽	30~50
	给水、热水	10~20	
	压缩空气	10~25	
氧气	10~15		

(三) 管道的强度计算

管道强度计算的主要任务具体包括：选取管壁厚度，确定管道支架的间距，计算管道的热伸长，选用合适的补偿器等内容。

作用在管道上的负荷多种多样，在进行管道的强度计算时，主要考虑以下几方面的负荷所引起的应力：

1) 由于管道内的流体压力作用所产生的应力。

2) 管道在外载负荷作用下所产生的应力，其

外载负荷主要是管道的自重（管子、管内介质及保温层的重量），室外管道还需考虑风载荷。

3) 管道由于热胀和冷缩产生的应力。

管道强度计算的理论和实践表明，在各种不同的强度计算要求下，只有一些负荷所产生的应力是主要的；计算时，只计算一种或几种主要负荷所产生的应力，而不把所有负荷都考虑在内。例如在计算管壁厚度时，仅考虑内压力的作用；在计算管道支座间距时，只考虑外载负荷的作用；而在计算补偿器时，仅考虑由热胀冷缩所引起的应力。

1. 各种许用应力的确定

在进行强度计算时，各种不同计算情况对管材的许用应力也规定了不同的意义和数值，其确定方法如下：

1) 额定许用应力 $[\sigma]$ 它取决于管材的强度特性，是应力验算中最基本的一个许用应力值，国产碳素钢管的额定许用应力 $[\sigma]$ 值见表23-1-5。

表23-1-5 国产碳素钢管的额定许用应力 $[\sigma]$ 值 (MPa)

计算温度 (°C)	钢 号		
	10	20 g、20	22 g
20	129.45	143.18	168.67
100	123.56	138.27	160.83
150	120.62	135.33	155.93
200	117.68	133.37	151.02
222	111.8	132.39	147.10
240	106.89	131.41	143.18
250	104.93	130.43	141.22
260	102.97	127.49	139.25
280	98.07	122.58	134.35
300	94.14	117.68	131.41
320	87.28	111.8	127.49
340	81.4	105.91	—
350	78.45	103.95	—
360	74.53	101.01	—
380	68.65	96.11	—
400	62.76	91.2	—

2) 许用外载综合应力 $[\sigma_w]$ 在强度计算中，如只考虑外载负荷所引起的综合应力，则不应大于规定的许用外载综合应力 $[\sigma_w]$ 值。许用外载综合应力 $[\sigma_w]$ 值可按下式确定：

$$[\sigma_w] = 0.87[\sigma] \sqrt{1.2 - \left(\frac{\sigma_{zs}}{[\sigma]}\right)^2} \quad (23-1-9)$$

式中 $[\sigma_w]$ ——许用外载综合应力 (MPa)；

$[\sigma]$ ——额定许用应力 (MPa)；

σ_{zs} ——管道的内压折算应力 (MPa)。

管道的内压折算应力可按下式进行计算：

$$\sigma_{zs} = \frac{p[D_w - (S - C)]}{2\phi'(S - C)} \quad (23-1-10)$$

式中 p ——管内介质工作压力 (表压力) (MPa)；

D_w ——管子外径 (mm)；

S ——选用管子的额定壁厚 (mm)；

ϕ' ——纵向焊缝减弱系数；

C ——管子壁厚的附加值 (mm)。

10号钢材的无缝钢管 ($D_N < 200\text{mm}$) 及焊缝钢管 ($D_N \geq 200\text{mm}$) 的许用外载综合应力 $[\sigma_w]$ 值见表23-1-6。

表23-1-6 供热管道的内压折算应力及许用外载综合应力

管子规格 $D_w \times S$ (mm)	工作压力 13×10^5 Pa 下的内压折算应力 σ_{zs} (MPa)	工作温度 200°C, 工作压力 13×10^5 Pa 下的许用外载综合应力 $[\sigma_w]$ (MPa)	工作温度 350°C, 工作压力 13×10^5 Pa 下的许用外载综合应力 $[\sigma_w]$ (MPa)
32×2.5	9.56	111.8	74.27
38×2.5	11.47	111.7	74.13
45×2.5	13.7	111.49	73.85
57×3.5	12.23	111.31	74.06
73×3.5	15.84	111.29	73.44
89×3.5	19.45	110.78	72.82
108×4.0	20.69	110.68	72.56
133×4.0	25.62	109.96	71.39
159×4.5	27.27	109.65	70.85
219×6	35.21	107.91	68.22
273×7	37.76	107.19	67.19
325×8	39.32	106.77	66.5
377×9	40.6	106.37	65.91
426×9	45.9	104.83	63.23

注：管材钢号为10号钢， $\phi 219$ 以上为焊缝钢管，计算内压折算应力时，考虑了一个焊缝系数 $\phi' = 0.8$ 。

3) 许用合成应力 $[\sigma_h]$ 在强度计算中，如只考虑外载负荷和热补偿同时作用所产生的合成应力，则不应大于规定的许用合成应力 $[\sigma_h]$ 值。许用合成应力 $[\sigma_h]$ 值可按下式确定：

$$[\sigma_h] = 0.87[\sigma] \sqrt{2 - \left(\frac{\sigma_{zs}}{[\sigma]}\right)^2} \quad (23-1-11)$$

上式中各符号同式 (23-1-9) $[\sigma_h]$ 值的单位为 MPa。

4) 许用补偿弯曲应力 $[\sigma_{bw}]$ 在补偿器的强度计算中,如只考虑补偿器弹性力所产生的应力时,则不应大于规定的许用补偿弯曲应力 $[\sigma_{bw}]$ 值。

采用方形伸缩器,在进行供热管道强度计算时,热态应力验算和冷态应力验算所规定的许用补偿弯曲应力 $[\sigma_{bw}]$ 采用不同的数值。但对于热媒计算温度低于250°C的供热管道,一般可不必进行冷态的应力验算。

采用自然补偿或方形伸缩器的方法来补偿管段的热伸长时,应力验算中推荐采用的许用补偿弯曲应力 $[\sigma_{bw}]$ 值见表23-1-7。

表23-1-7 方形伸缩器的许用补偿弯曲应力 $[\sigma_{bw}]$

管子 外径 D_w (mm)	壁厚 S (mm)	热媒参数			
		$p = 13 \times 10^5 \text{ Pa}$ $t = 200^\circ \text{ C}$		$p = 13 \times 10^5 \text{ Pa}$ $t = 350^\circ \text{ C}$	
		热态	冷态	热态	冷态
		$[\sigma_{bw}]_R$ (MPa)	$[\sigma_{bw}]_L$ (MPa)	$[\sigma_{bw}]_R$ (MPa)	$[\sigma_{bw}]_L$ (MPa)
32	2.5	96.11	104.93	53.94	92.18
38	2.5	93.16	101.99	50.99	86.3
45	2.5	91.2	100.03	48.05	82.38
57	3.5	95.12	104.93	54.92	93.16
73	3.5	96.11	105.91	53.94	92.18
89	3.5	96.11	104.93	52.96	90.22
108	4	97.09	105.91	54.92	94.14
133	4	96.11	104.93	53.94	91.2
159	4.5	96.11	104.93	53.94	91.2
219	6	98.07	107.87	57.86	98.07
273	7	98.07	107.87	48.05	82.38
325	8	95.12	103.95	58.84	100.03
377	9	95.12	104.93	58.84	98.07
426	9	88.26	98.07	56.88	96.11

注:本表中数值适用的条件:

1. 管材是10号钢的无缝钢管。
2. 固定支架跨距按表24-5-18
3. 自然补偿管段长臂的长度(即固定点至管段转弯点的最大距离),不大于固定支架跨距的0.6倍。
4. 方形伸缩器中心线离固定点的距离,不大于固定支架跨距的0.6倍。
5. 热态状况下,热媒参数相同时,自然补偿管段许用补偿弯曲应力与方形伸缩器许用补偿弯曲应力相同。

2. 管壁厚度的确定

1) 承受内压力的管道壁厚计算 承受内压力的管道壁厚,可用下列公式计算:

$$S' = \frac{pD_w}{2[\sigma]\phi' + p} + C \quad (23-1-12)$$

$$\text{或 } S' = \frac{pD}{2[\sigma]\phi' - p} + C \quad (23-1-13)$$

式中 S' ——管子计算壁厚 (mm);
 p ——管内介质工作压力(表压力)(MPa);
 D_w ——管子外径 (mm);
 D ——管子内径 (mm);
 $[\sigma]$ ——管材在计算温度下的额定许用应力 (MPa),可按表23-1-5选用;
 ϕ' ——纵向焊缝减弱系数,对于无缝钢管 $\phi' = 1$,焊缝钢管 $\phi' = 0.8$,螺旋焊缝钢管 $\phi' = 0.6$;
 C ——管子壁厚的附加值 (mm)。

对于无缝钢管,管子壁厚的附加值 C ,可按下列式计算:

$$C = \frac{AS}{1+A} \quad (23-1-14)$$

式中 S ——选用管子的额定壁厚 (mm);
 A ——管子壁厚的偏差系数,一般无缝钢管壁厚公差取-15%,可采用 $A = 0.239$,则 $C = 0.193S$ 。

管子壁厚的附加值不得小于0.5mm。对于钢板接管,钢板厚度为4.5~5.5mm时, $C = 0.5\text{mm}$;厚度为6~7mm时, $C = 0.6\text{mm}$;厚度为8~25mm时, $C = 0.8\text{mm}$ 。

2) 根据管子内压力验算管壁厚度 若已知管壁厚度 S ,需根据管子内压力来验算管壁厚度时,则由内压力产生的折算应力不得大于管材在计算温度下的额定许用应力,即

$$\sigma_{rs} \leq [\sigma] \quad (23-1-15)$$

3. 管道活动支座间距的确定

管道活动支座可能的最大间距(允许间距)应按下列两个原则来确定:

1) 按强度条件确定活动支座的允许间距 活动支座间距计算,主要考虑外载负荷(自重及风荷载)的影响。这些外载负荷作用在管道断面上的最大应力,不得超过管材的许用外载综合应力 $[\sigma_w]$ 值。

连续敷设的水平直管中的活动支座允许间距,可按下列式计算:

$$L = \sqrt{\frac{15[\sigma_w]W\phi}{9d}} \quad (23-1-16)$$

式中 L ——活动支座的允许间距 (m);
 W ——管子断面抗弯矩 ($10^{-6}m^3$), 见表 23-1-1;
 $[\sigma_w]$ ——管材的许用外载综合应力 (MPa);
 ϕ ——管子的横向焊缝系数, 见表 23-1-8;
 q_d ——外载负荷作用下的管子单位长度的计算重量 (N/m)。

表 23-1-8 管子横向焊缝系数 ϕ 值

焊接方式	ϕ 值	焊接方式	ϕ 值
手工电弧焊	0.7	手工双面加强焊	0.95
有垫环对焊	0.9	自动双面焊	1.0
无垫环对焊	0.7	自动单面焊	0.8

对于地下敷设和室内管道, 外载荷重就是管子自重 q 值 (管子本身、管内介质及保温层等重量, 对于水管还应加上水的重量)。室外架空敷设的管道, q_d 值还应考虑风载荷的影响。

2) 按刚度条件确定活动支座的允许间距计算公式为:

$$L = 5 \sqrt[3]{\frac{iEI}{q_d}} \quad (23-1-17)$$

式中 L ——按刚度条件确定的活动支座的间距 (m);
 i ——管道的坡度;
 E ——管材的弹性模数 (N/m^2);
 I ——管子断面惯性矩 (m^4) (见表 23-1-1);
 EI ——管子的刚度 ($N \cdot m^2$) (见表 23-1-1);
 q_d ——外载负荷作用下的管子单位长度的计算重量 (N/m)。

对于连续敷设的水平直管, 还可以采用控制管道的最大允许挠度 y_{max} 的方法, 用下列方程组来确定活动支座的允许间距。

$$L = L_1 = \frac{24EI}{q_d x^3} \left(y_{max} + \frac{ix}{2} \right) + x \quad (23-1-18)$$

$$L = L_2 = 2x + \sqrt{x^2 - \frac{24EI}{q_d} - y_{max} \frac{1}{x^2}} \quad (23-1-19)$$

式中 L, L_1, L_2 ——活动支座的允许间距 (m);
 x ——管道活动支座到管子最大挠曲面的距离 (m);
 EI ——管子的刚度 ($N \cdot m^2$) (见表

23-1-1);

q_d ——单位管长的计算重量 (N/m);

y_{max} ——最大允许挠度, $y_{max} = (0.02 \sim 0.1) D_N$ (m);

i ——管子坡度。

采用以上公式计算时, 先用试算法求解, 直到 $L = L_1 = L_2$ 为止, 由此可确定活动支座的允许间距 L 值。

(四) 管道的热伸长及其补偿

1. 热伸长量的计算

蒸汽、凝结水、热水等热媒输送管道安装后, 由于管内热媒的加热作用而引起管道受热伸长, 其热伸长量可按下式计算

$$\Delta L = \alpha (t_1 - t_2) L \quad (23-1-20)$$

式中 ΔL ——计算管段的热伸长量 (m);
 α ——管材的线膨胀系数 (见表 23-1-9) ($m/m \cdot ^\circ C$);
 t_1 ——管壁最高温度 ($^\circ C$), 可取热媒的最高温度;
 t_2 ——管道安装时的温度 ($^\circ C$), 一般按 $-5^\circ C$ 计算, 当管道架空敷设于室外时, t_2 应取供暖室外计算温度;
 L ——计算管段长度 (m)。

当管道材质为普通碳素钢时, 上式可化为:

$$\Delta L = 12 \times 10^{-6} (t_1 - t_2) L \quad (23-1-21)$$

表 23-1-9 不同材质管材的线膨胀系数

管道材质	线膨胀系数 α	
	$m/(m \cdot ^\circ C)$	$mm/(m \cdot ^\circ C)$
碳素钢	12×10^{-6}	0.012
铸铁	11.4×10^{-6}	0.0114
中铬钢	11.4×10^{-6}	0.0114
不锈钢	10.3×10^{-6}	0.0103
镍钢	13.1×10^{-6}	0.0131
奥氏体钢	17×10^{-6}	0.017
紫铜	16.4×10^{-6}	0.0164
黄铜	18.4×10^{-6}	0.0184
铝	24×10^{-6}	0.024
聚氯乙烯	80×10^{-6}	0.08
氯乙烯	10×10^{-6}	0.01
玻璃	5×10^{-6}	0.005

2. 管道中常用补偿器的计算

1) 自然补偿器的计算 常用的自然补偿器有

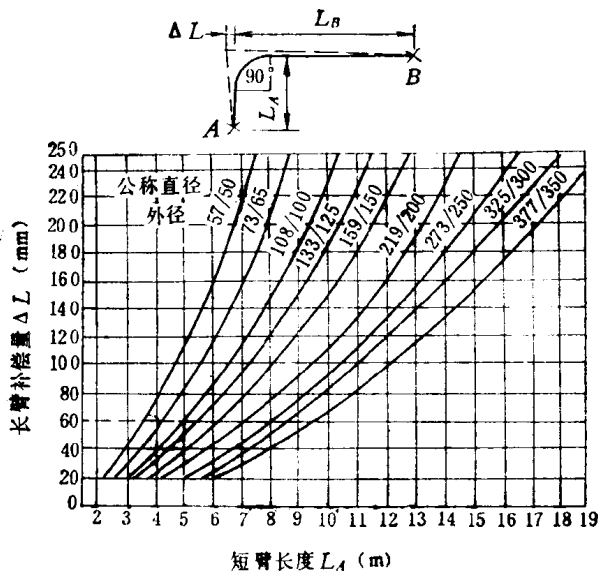


图23-1-1 L型补偿器的选择

L型及Z型两种，L型自然补偿器的选择，可按图23-1-1根据长臂的补偿量来确定短臂的最小长度，也可按下式进行计算：

$$L_A = 1.1 \sqrt{\frac{\Delta L \cdot D_w}{300}} \quad (23-1-22)$$

式中 L_A ——L型补偿器的短臂长度 (m)；
 ΔL ——长臂 L_B 的热伸长量 (mm)；
 D_w ——管子外径 (mm)。

Z型补偿器可按图23-1-2根据 $L_A + L_B$ 的补偿量来确定补偿器伸出部分 L 值的最小长度。图中

$$\Delta L = 0.012 (L_A + L_B) \Delta t, \quad K = \frac{L_A}{L_B}$$

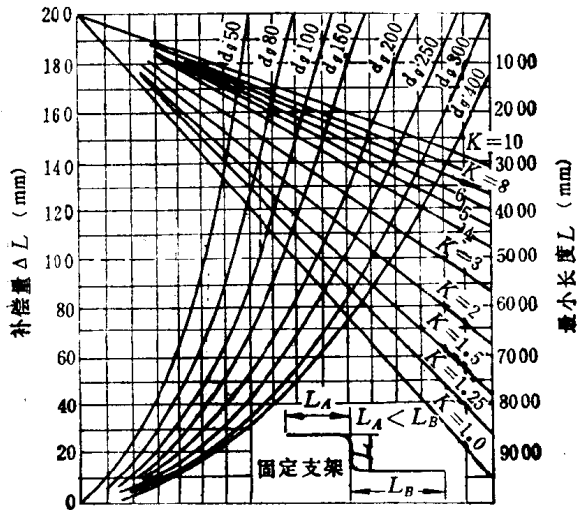


图23-1-2 Z型补偿器的选择

Z型补偿器伸出部分 L 值的最小长度也可按下式计算：

$$L = \sqrt{\frac{6 \Delta t \cdot E \cdot D_w}{10^3 [\sigma_{bw}] (1 + 1.2K)}} \quad (23-1-23)$$

式中 L ——Z型补偿器的短臂长度 (m)；
 Δt ——计算温差 (°C)；
 E ——材料的弹性模数 (见表 23-1-10) (N/m²)；
 D_w ——管子外径 (mm)；
 $[\sigma_{bw}]$ ——许用补偿弯曲应力 (N/m²)；
 K ——等于 L_A/L_B 。

表23-1-10 碳素钢管弹性模数及线膨胀系数

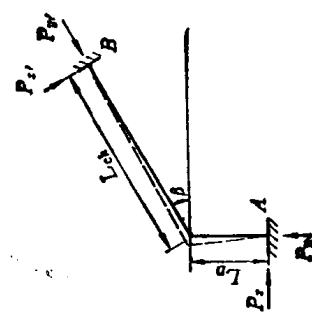
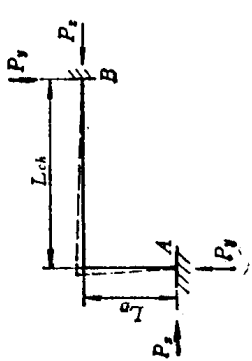
管壁温度 t (°C)	弹性模数 E (N/m ²)	线膨胀系数 α [m/(m·°C)]	$E \cdot \alpha$ [N/(m ² ·°C)]
20	20.104 × 10 ¹⁰	1.18 × 10 ⁻⁵	23.723 × 10 ⁵
75	19.515 × 10 ¹⁰	1.2 × 10 ⁻⁵	23.418 × 10 ⁵
100	19.368 × 10 ¹⁰	1.22 × 10 ⁻⁵	23.629 × 10 ⁵
125	19.123 × 10 ¹⁰	1.24 × 10 ⁻⁵	23.716 × 10 ⁵
150	18.927 × 10 ¹⁰	1.25 × 10 ⁻⁵	23.659 × 10 ⁵
175	18.78 × 10 ¹⁰	1.27 × 10 ⁻⁵	23.851 × 10 ⁵
200	18.387 × 10 ¹⁰	1.28 × 10 ⁻⁵	23.537 × 10 ⁵
225	18.113 × 10 ¹⁰	1.30 × 10 ⁻⁵	23.547 × 10 ⁵
250	17.848 × 10 ¹⁰	1.31 × 10 ⁻⁵	23.381 × 10 ⁵
275	17.554 × 10 ¹⁰	1.32 × 10 ⁻⁵	23.171 × 10 ⁵
300	17.211 × 10 ¹⁰	1.34 × 10 ⁻⁵	23.063 × 10 ⁵
325	16.936 × 10 ¹⁰	1.35 × 10 ⁻⁵	22.864 × 10 ⁵
350	16.622 × 10 ¹⁰	1.36 × 10 ⁻⁵	22.606 × 10 ⁵
375	16.328 × 10 ¹⁰	1.37 × 10 ⁻⁵	22.369 × 10 ⁵
400	15.985 × 10 ¹⁰	1.38 × 10 ⁻⁵	22.059 × 10 ⁵
425	15.69 × 10 ¹⁰	1.40 × 10 ⁻⁵	21.966 × 10 ⁵
450	15.396 × 10 ¹⁰	1.41 × 10 ⁻⁵	21.708 × 10 ⁵

注：1. 钢材指A₂、A₃、A₄、10、15及20号钢；
 2. 表中 α 为由0°C加热到 t °C的平均线膨胀系数。

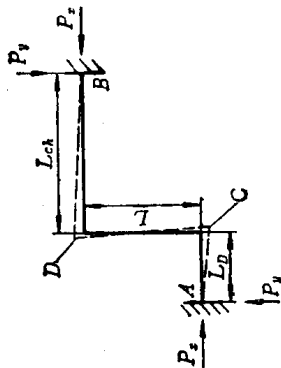
自然补偿管段的计算弹性力 (P_x 、 P_y) 及轴向补偿弯曲应力 σ_{bw} 的简化计算公式见表23-1-11，供设计选用时参考。

2) 方形补偿器的计算 方形补偿器的选型计算时，应先确定需要补偿管段的伸长量 ΔL ，再根据安装地点的具体情况查表 22-3-12 直接选型，并

表23-1-11 自然补偿管段计算弹性力(P_x 、 P_y)及轴向补偿弯曲应力 σ_{bw} 的简化公式表

自然补偿管段形式	计 算 公 式		备 注
	P_x 、 P_y 及 σ_{bw}	系 数 A 、 B 、 C	
L型自然补偿管段 	$P_x = A \frac{\alpha EI \Delta t}{L_h^2} (N)$ $P_y = B \frac{\alpha EI \Delta t}{L_D^2} (N)$ $P_x' = A' \frac{\alpha EI \Delta t}{L_D^2} (N)$ $\sigma_{bw(A)} = C_{(A)} \frac{\alpha E D_w \Delta t}{L_D} (Pa)$	$A = \frac{8[(n^3 + 4n^2 + 3) + \sin \beta (n^2 + 7n)]}{n(1+n)\cos \beta}$ $B = 3[(3n^3 + 4n + 1) + n^2 \sin^2 \beta (n^2 + 7n) + n \sin \beta (n^4 + 4n^3 + 10n + 1)] / [n^3 \cos^2 \beta (1+n)]$ $A' = \frac{9[(3n^3 + 4n + 1) + \sin \beta (7n^2 + n)]}{n^3(1+n)\cos \beta}$ $B' = 5[n^2(n^3 + 4n^2 + 3) + \sin^2 \beta (7n^2 + n) + \sin \beta (n^4 + 10n^3 + 4n + 1)] / [n^3(1+n)\cos^2 \beta]$ $C_{(A)} = \frac{1.5(n^3 + 2n^2 + 1)}{n(n+1)\cos \beta} + \frac{1.5(n+3)}{n+1} \frac{1}{\sin \beta}$	$n = \frac{L_{ch}}{L_D}$
直角弯自然补偿管段 	$P_x = A \frac{\alpha EI \Delta t}{L_D^2} (N)$ $P_y = B \frac{\alpha EI \Delta t}{L_D^2} (N)$ $\sigma_{bw(A)} = C_{(A)} \frac{\alpha E D_w \Delta t}{L_D} (N)$	$A = \frac{3(n^3 + 4n^2 + 3)}{n(n+1)}$ $B = \frac{3(3n^3 + 4n + 1)}{n^3(n+1)}$ $C_{(A)} = \frac{1.5(n^3 + 2n^2 + 1)}{n(n+1)}$	$n = \frac{L_{ch}}{L_D}$

Z型自然补偿管段



$$P = \frac{Lch + LD}{L}$$

$$n = \frac{LD}{Lch + LD}$$

$$A = \frac{3[(P^3 + 4P^2 + 3) - 6n(1-n)(2P^2 - P + 1)]}{P(1+P)(1-3n+3n^2)(1+3Pn-3Pn^2)}$$

$$B = \frac{3[3P^3 + 4P + 1 + 6nP^2(1-n)(2-P+P^2)]}{P^3(1+P)(1-3n+3n^2)(1+3Pn-3Pn^2)}$$

$$C(A) = \frac{2Pn + P^2}{2(1+P)} B - \frac{1 + 2P - 2Pn}{2(1+P)} A$$

$$C(B) = \frac{1 + 2Pn}{2(1+P)} A - \frac{P^2 + 2P - 2Pn}{2(1+P)} B$$

$$C(C) = \frac{P^2 - 2Pn^2}{2(1+P)} B - \frac{1 + 2P - 2Pn}{2(1+P)} A$$

$$C(D) = \frac{1 + 2Pn}{2(1+P)} A + \frac{P^2 - 2Pn}{2(1+P)} B$$

$$P_x = A \frac{\alpha E I \Delta t}{L^2} (N)$$

$$P_y = B \frac{\alpha E I \Delta t}{L^2} (N)$$

$$\sigma_{bw(A)} = C(A) \frac{\alpha E D_w \Delta t}{2L} (N)$$

$$\sigma_{bw(B)} = C(B) \frac{\alpha E D_w \Delta t}{2L} (N)$$

$$\sigma_{bw(C)} = C(C) \frac{\alpha E D_w \Delta t}{2L} (N)$$

$$\sigma_{bw(D)} = C(D) \frac{\alpha E D_w \Delta t}{2L} (N)$$

注：1. Z型自然补偿管段中计算系数C(A)、C(B)、C(C)、C(D)值可能为正值或负值，在计算σ_{bw}时，系数的符号不必考虑。

2. 表中公式只是近似值，因为其中没有考虑管道弯曲时刚度的降低和活动支架的摩擦阻力。

3. 表中各公式符号所表示的含意为：

E——管材的弹性模数 (N/m²);

I——管子的惯性矩 (m⁴);

α——管道的线膨胀系数 [m/(m·°C)];

Δt = t₁ - t₂——管道热伸长的计算温度差 (°C);

D_w——管子外径 (m);

L_{ch}——长臂长 (m);

L_D——短臂长 (m);

L——中间臂长 (m)。

进行有关计算。

管段的热伸长量可按下式计算：

$$\Delta L = \alpha (t_1 - t_2) L \quad (23-1-24)$$

式中 ΔL ——管段的热伸长量 (m)；

α ——管道的线膨胀系数 [m/(m·°C)]，碳素钢管的线膨胀系数见表23-1-10；

t_1 ——管壁最高温度，可取热煤的最高温度(°C)；

t_2 ——管道安装时的环境温度(°C)；

L ——计算管段的长度 (m)。

对方形补偿器的弹性力和弹性弯曲应力进行计算时应该注意的几个问题及计算方法如下：

减刚系数 K 弯管刚度降低的系数称减刚系数。当弯管为光滑弯管时，其减刚系数按下式计算：

$$\text{当 } h \leq 1 \text{ 时 } K = \frac{h}{1.65} \quad (23-1-25)$$

$$\text{当 } h > 1 \text{ 时 } K = \frac{1 + 12h^2}{10 + 12h^2} \quad (23-1-26)$$

式中 K ——弯管减刚系数；
 h ——弯管尺寸系数。

不同规格光滑弯管的各特性系数值 (K 、 h) 见表23-1-12，也可按公式进行计算，具体方法请查阅有关资料。

P_x 值的确定 图23-1-3为采用“弹性中心法”

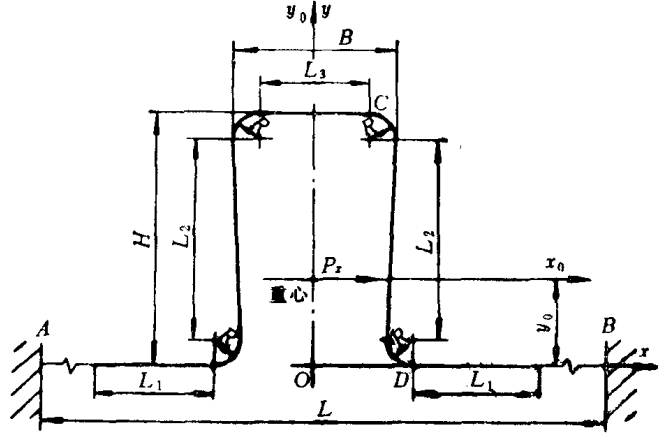


图23-1-3 光滑弯管方形补偿器计算图

计算光滑弯管补偿器弹性力和弹性弯曲应力的计算简图。其弹性中心坐标位置 (对应 $x-y$ 坐标轴) 为：

$$x_0 = 0$$

$$y_0 = \frac{(L_2 + 2R) \left(L_2 + L_3 + \frac{3.14R}{K} \right)}{L_{zh}} \quad (23-1-27)$$

式中 K ——弯管减刚系数；
 R ——管子弯曲半径 (m)；
 L_{zh} ——光滑弯管方形补偿器的折算长度 (m)；

$$L_{zh} = 2L_1 + 2L_2 + L_3 + \frac{6.28R}{K} \quad (23-1-28)$$

表23-1-12 光滑弯管特性系数表

公称直径 D_N (mm)	外径×壁厚 $D_w \times \delta$ (mm)	弯管半径 R (mm)	平均半径 r_p (mm)	弯管尺寸系数 h	弯管减刚系数 K	弯管应力系数 m
25	32×2.5	150	14.75	1.724	0.803	1
32	38×2.5	150	17.75	1.19	0.667	1
40	45×2.5	200	21.25	1.107	0.636	1
50	57×3.5	200	26.75	0.978	0.593	1
65	73×3.5	300	34.75	0.87	0.527	1
80	89×3.5	350	42.75	0.67	0.406	1.172
100	108×4	500	52	0.74	0.448	1.1
125	133×4	500	64.5	0.481	0.291	1.466
150	159×4.5	600	77.25	0.452	0.274	1.525
200	219×6	850	106.5	0.45	0.273	1.533
250	273×7	1000	133	0.396	0.24	1.67
300	325×8	1200	158.5	0.382	0.232	1.71
350	377×9	1500	184	0.4	0.242	1.66
400	426×9	1700	208.5	0.352	0.213	1.8

L_1 ——方形补偿器两边的自由臂长度 (m),

L_2 ——方形补偿器凸出边的直管段长度 (m),

L_3 ——方形补偿器宽度边的直管段长 (m)。

计算中, 方形补偿器的自由臂长度 L_1 可近似地取 $40D_N$ 值 (D_N 为管子公称直径)。

根据补偿器弹性力和管段变形的关系可求得:

$$P_N = \frac{\Delta x EI}{I_{x0}} \quad (23-1-29)$$

$$P_y = 0$$

式中 Δx ——固定支架之间管道的计算热伸长量 (m);

E ——管道的弹性模数 (N/m^2);

I ——管道断面的惯性矩 (m^4);

I_{x0} ——折算管段对 x_0 轴的线惯性矩 (m^3);

$$I_{x0} = \frac{L_1^3}{6} + (2L_2 + 4L_3) \left(\frac{L_2}{2} + R \right)^2 + \frac{6.28 R}{K} \left(\frac{L_2^2}{2} + 1.635 L_2 R + 1.5 R^2 \right) - L_{x0} y_0^2 \quad (23-1-30)$$

上式中的代表符号同前。

方形补偿器的应力验算 由于方形补偿器的弹性力 P_x 的作用, 在管道某一截面上的最大弹性弯曲应力 σ_{b_w} 可按下式确定。

$$\sigma_{b_w} = \frac{M_{max} m}{W} \quad (23-1-31)$$

式中 σ_{b_w} ——管道某一截面上最大弹性弯曲应力 (Pa);

W ——管子断面抗弯矩 (m^3);

M_{max} ——最大弹性力的弯曲力矩 ($N \cdot m$);

m ——弯管应力修正系数。

弹性力产生的最大弹性弯曲力矩 M_{max} 为:

当 $y_0 \leq 0.5H$ 时, 位于 C 点 $M_{max} = (H - y_0) P_x$ (23-1-32)

当 $y_0 \geq 0.5H$ 时, 位于 D 点 $M_{max} = -y_0 P_x$ (23-1-33)

由于弯管横截面不圆而引起应力的改变, 以弯管应力修正系数 m 表示之。 m 值可由下式确定:

$$m = \frac{0.9}{h^{2/3}} \quad (h < 0.85) \quad (23-1-34)$$

式中 h ——弯管尺寸系数。

计算所得的最大弹性弯曲应力 σ_{b_w} 不得大于规定的许用补偿弯曲应力 $[\sigma_{b_w}]$ 值, 即

$$\sigma_{b_w} \leq [\sigma_{b_w}] \quad (23-1-35)$$

第2节 钢管的修理

(一) 钢管的调直与切断

1. 钢管的调直

钢管的调直方法较多, 归结为冷调和热调两种。调直操作方式、弯曲度允许偏差和检查方法列于表 23-2-1。

表23-2-1 钢管调直与检查

调直形式	公称直径 (mm)	操作方式	允许偏差 (mm/m)	检查方法
冷调	$D_N \leq 100$	① 微弯管用锤子敲打调直: 将管子放在平直架上, 用两把锤子, 一把顶住管子凹向起点, 以它为支点, 用另一把锤子敲打管子背面凸起部位, 依次敲打调直 ② 弯曲度较大的管在长木板上调直: 将管子放在平直木板上, 一人从管子的一端观察管子的弯曲部位, 另一人按观察者的指点, 用锤敲打, 反复矫正	0.5	用拉线或直尺检查
	$D_N > 100$	将管段放置在操作平台上, 使管段固定好, 插入套管扭曲矫正, 或在矫直机上进行矫正	1.0	
热调	$D_N \leq 100$	把管段弯曲部位加热到 $600 \sim 800^\circ\text{C}$ (火红色) 后, 放在滚动平直架上滚动调直	0.5	用拉线或直尺检查
	$D_N > 100$ 及 > 200 短管	将管段弯曲部位加热后, 用冷水浇曲管背部, 使管段急剧收缩而调直	1.0	

2. 钢管的切断

钢管的切断方法有

锯割: 手工锯割和机械锯割, 如割管锯切割;

刀割: 用割管器、俗称切管滚刀刀割;

磨割: 用高速旋转的磨轮将管子切断, 又称无

齿锯切割；

车割：将管子固定在机床卡盘上作旋转运动，用车刀切割。可用专用车床或普通车床；

气割：主要是用氧—乙炔焰切割，一般公称通径在40mm以下钢管不用氧—乙炔焰切割。

钢管切口要求表面平整、不得有裂纹、重皮、毛刺、凸凹、缩口现象，切口平面应与管子轴线垂直，切口平面同角尺的间隙 a 允许为管径的1%，但不得大于2mm，检查方法如图23-2-1所示。

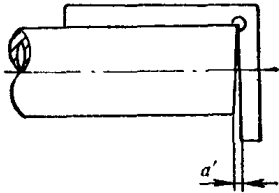


图23-2-1 角尺检查管端平整

(二) 钢管的连接

钢管的连接有焊接连接、螺纹连接和法兰连接三种方式。

1. 钢管的焊接连接

焊接连接是管道连接的主要形式，常用的有气焊、手工电弧焊、手工氩弧焊、埋弧自动焊等，在施工现场焊接碳素钢管道，最常用的是气焊和手工电弧焊。

电焊焊缝的强度比气焊高，而且比气焊经济，因此应优先采用电焊焊接。手工气焊一般只宜用于公称通径小于80mm、壁厚小于4mm的管子。但因条件限制，采用电焊施焊有困难，也可以用气焊焊接公称通径大于80mm的管子。

壁厚大于4mm的管子对焊时，焊口应开坡口，坡口尺寸列于表23-2-2。

表23-2-2 碳素钢管切坡口尺寸

壁厚 S (mm)	间隙 a (mm)	钝边 b (mm)	坡口角度 α (°)
4.5~8	1.5~2	1~1.5	60~70
8~12	2~3	1.5~2	60~70

壁厚不同的管子对焊时，两管壁厚之差不得大于管壁厚度的15%，并不得超过3mm。如超过上述规定，应对壁厚较大的管子端头进行适当的加工，使管壁平稳地过渡，如图23-2-2。

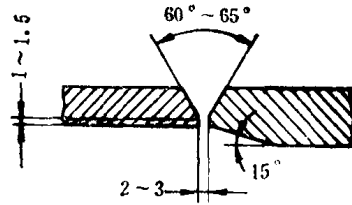


图23-2-2 不同壁厚的管子对焊坡口

焊接三通应在支管或主管上开坡口，如图23-2-3。

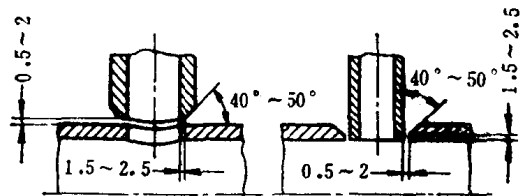


图23-2-3 焊接三通的坡口及对口形式

焊接前，坡口及其周围20mm范围内、外表面，应除净铁锈、泥土和油污，直到露出金属光泽。不圆的管口应进行修整。

管子对口应保证两管段中心线在同一条直线上，允许的错口值不得超过表23-2-3的规定。

表23-2-3 管子对口允许错口范围

管壁厚度 S (mm)	<5	6	8	10	≥12
允许最大错口值(mm)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5

一般管道对口可采用如图23-2-4措施。小口径管道的对口工具如图23-2-5所示。大口径管道的对口工具如图23-2-6所示。

管口对好后，用点焊固定3~4处，每处点焊长度为8~12mm，点焊的高度为管壁厚度的三分之二。为提高焊接质量和焊接速度，凡是可转动的管子都应采用转动焊接，减少仰焊和立焊。

管道接口所处位置应符合下列要求：

- ① 接口距支架边缘不得小于50mm。
- ② 直管段相邻的对接焊缝间的间距不得小于200mm，且不得少于管子外径。
- ③ 管道弯头的弯曲部分不允许有对接焊缝，焊缝距弯曲起点不小于管子外径，且不应小于100mm。
- ④ 较大管径对口焊接时，各管段的纵向焊缝

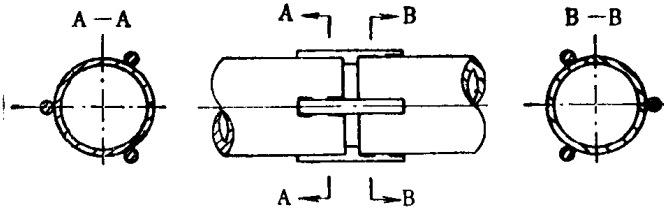


图23-2-4 一般管道的对中心措施

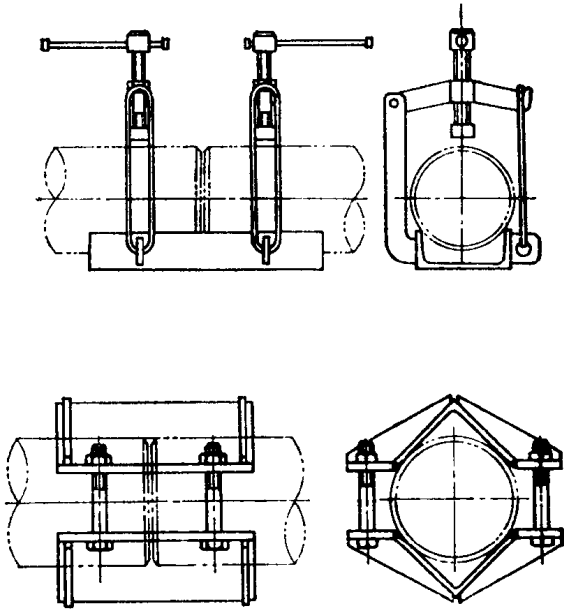


图23-2-5 小口径管道的对口工具

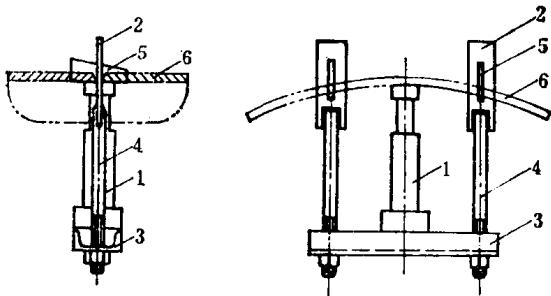


图23-2-6 大口径管道的对口工具

1—千斤顶 2—带孔扁钢 3—槽钢 4—螺栓
5—楔子 6—管子

应互相错开，距离不小于100mm。

⑤ 纵缝位置力求安置在容易检查和修理的地方。

不同直径的管子对焊时，应将大管焊接端口加热缩小到与小管直径相等，然后与小管对焊，也可将小管插入大管中作承插焊接。

公称压力不大于 0.6MPa 的不同直径的管子对

焊，允许将大管焊接端抽条加工成大小头，也可用钢板制作异径管。

钢管的焊接要正确地选择和执行焊接工艺，碳素钢管焊接用的气焊条（焊丝）牌号列于表 23-2-4。

焊丝表面应清洁、无油脂、锈蚀等脏物。

碳素钢焊丝直径有 1、1.2、1.6、2.5、3、3.5、4、5、6、6.5、7、8mm 等多种。应根据管壁厚度选择适当的焊丝，表23-2-5可作参考。

表23-2-4 碳素钢管用焊丝牌号

钢材牌号	A ₃ F	A ₃	10	20
焊丝牌号	H08	H08 H08A	H08A H08MnA	H08A H08MnA

表23-2-5 焊丝直径选择

管壁厚度 (mm)	1~2	3~4	5~8	9~12
焊丝直径 (mm)	1.5~2	2.5~3	3.5~4	4~5

钢管电焊焊接常用电焊条牌号列于表23-2-6。

表23-2-6 钢管电焊常用电焊条

钢管牌号	焊条牌号或型号		备注
	统一牌号	相当国际型号	
A ₃ F	结422	T 422	
A ₃	结422 结426 结427	T 422 T 426 T 427	
10	结422 结426 结427	T 422 T 426 T 427	壁厚大于 20 mm，且焊接环境温度较低时，宜用结426、结427
20 20g	结422 结426 结427	T 422 T 426 T 427	壁厚大于 20 mm，且焊接环境温度较低时，宜用结426、结427
16Mn	结502 结503 结506 结507	T 502 T 503 T 506 T 507	用于焊接操作温度低于350℃的管道 用于焊接操作温度350~450℃的管道
12CrMo	奥107	TAI-7	
	热207	TR2-7	焊前 焊件预热至 150~300℃ 焊后 经570~710℃回火处理

(续)

钢管钢号	焊条牌号或型号		备 注
	统一牌号	相当国际号	
15CrMo	奥107	TA1-7	焊前 焊件预热 250~350℃ 焊后 经680~720℃ 回火处理
	热307	TR3-7	
15MnV	结553		用于焊接操作温度 低于350℃的管道
	结556或结557	T 556或 T 557	用于焊接操作温度 350~450℃的管道

钢管焊接时的环境温度和预热温度应满足表23-2-7的要求。

表23-2-7 钢管焊接的环境温度和预热温度

钢 号	允许焊接的最低环境温度(℃)	预 热 要 求	
		常温焊接	低温焊接
含碳量 ≤0.2% 的碳钢	-30	环境温度高于-20℃时,可不预热	环境温度低于-20℃时,预热100~150℃
含碳量 >0.2%~0.3% 的碳钢	-20	环境温度高于-10℃时,可不预热	环境温度低于-10℃时,预热100~150℃
16Mn	-10	0℃以上可不预热	环境温度低于0℃时,预热150~200℃
16Mo 12CrMo 15CrMo	-10	预热150~200℃ 200~250℃ 250~300℃	环境温度低于0℃时,预热250~400℃
Cr5Mo	0	预热300~400℃	

注: 预热时, 焊口每侧 预热宽度 应不小于 40mm, Cr5Mo钢管应不小于400mm。

管子对接时, 对接接头焊接层数、使用电焊条直径和焊接电流的大小, 应根据管壁厚度来选择, 表23-2-8可作参考。

焊缝应形成平滑而微凸的表面, 沿接头周长力求均匀。管内不得有渗漏的金属溶渣。

焊缝加强面应符合表23-2-9的规定。

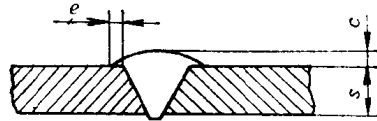
焊缝有下列缺陷则不合格:

- ① 裂纹。

表23-2-8 管子对接接头层数、焊条直径及焊接电流

管壁厚度 (mm)	焊接层数	焊条直径 (mm)	焊接电流 (A)
3~6	2	2~3.2	80~120
6~10	2~3	3.2 4	105~120 160~200
10~13	3~4	3.2~4 4	105~180 160~200
13~16	4~5	3.2~4 4	105~180 160~200
16~22	5~6	3.2~4 4~5	105~180 160~250

表23-2-9 焊缝加强面标准



管壁厚度 s (mm)	<10	10~20	>20
加强面高度 c (mm)	1.5+1	2+1	3+1
遮盖宽度 e (mm)	1~2	2~3	2~3

② 未焊透的深度大于管壁厚度的10%, 或延伸长度大于焊口周长的1/4。

③ 夹渣与气泡的深度大于管壁厚度的10%, 或延伸长度大于焊口周长的1/4。

④ 连续成网状的夹渣和气孔, 深度大于壁厚的10%和长度大于30mm的夹渣或未焊透以及长度大于15mm的聚集气泡。

⑤ 咬肉(咬边)深度大于或等于0.5mm、长度大于或等于40mm。

⑥ 严重的焊瘤。

焊缝缺陷如不超出表23-2-10规定之范围时可以修补, 否则应将焊口完全割除, 再用短管连接重焊。

2. 钢管的螺纹连接

螺纹连接、亦称丝扣连接。管螺纹连接用于:

1) 管子公称通径不大于70mm, 介质工作压力在1MPa以下, 温度在100℃以内便于检查和修理的低压流体输送用焊接钢管(即黑铁管)的连接。

2) 低压流体输送用镀锌焊接钢管(亦叫白铁

表23-2-10 焊缝缺陷原因及修补方法

允许修补的缺陷范围	产生缺陷的主要原因	修补方法
表面残缺、焊缝不直、高、宽不均	焊工技术不熟练、或工作不认真、施焊时马虎	重焊修补
未焊透部分的延伸长度小于焊口周长的1/4	1. 坡口开的不正确、钝边太厚，对口间隙太小 2. 焊接速度快、电流小焊条熔点低 3. 焊口表面有脏物	清除焊缝缺陷部分露出管子金属，然后进行补焊
夹渣或气泡的延伸长度小于焊口周长的1/4	1. 焊接速度快、焊条摆动不当、熔化金属粘度大 2. 下层焊渣清理不净，焊接表面有油脂或脏物 3. 焊条药皮太重、或焊条潮湿	清除焊缝缺陷部分露出管子金属，然后进行补焊
咬肉的深度大于0.5mm，长度大于40mm	焊条摆动不当，工作不熟练	清理后进行补焊
公称通径小于100mm 裂纹长度小于20mm 公称通径大于100mm 裂纹长度小于50mm	1. 热应力集中，冷却太快 2. 焊缝有硫、磷杂质	将该段焊缝切除露出管子金属，然后补焊

管)的连接。

3) 钢管和带有管螺纹的管件、阀件和设备的连接。

管螺纹按形状分为圆柱管螺纹和圆锥管螺纹，按螺线方向可分为左螺纹和右螺纹。

圆柱管螺纹的形状与基本尺寸列于表23-2-11，圆锥管螺纹的形状尺寸列于表23-2-12。

圆锥管螺纹的倾斜角 $\phi = 1^\circ 47' 24''$ ，圆锥度 $2tg\phi = 1:16$ ，齿形角为 55° ，其基面直径与圆柱形管螺纹相等。

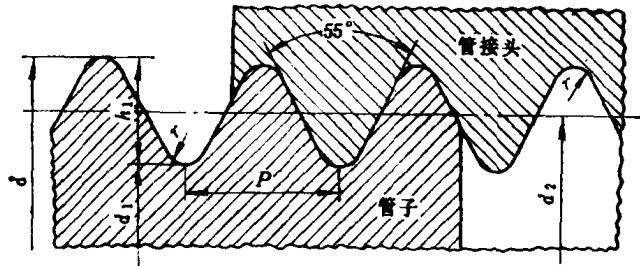
圆柱形管螺纹的牙型代号为G，圆锥形管螺纹的牙型代号为ZG。

管螺纹连接有短丝连接、长丝连接和活接头连接，无论用那种方式，都应在管子外螺纹与管件或阀件的内螺纹之间加适当填料，常用填料有麻丝、石棉线、铅丹油（鱼油拌铅丹）、白铅油（鱼油拌白厚漆）、黑铅油（鱼油拌石墨粉）等。近年来，国内外已广泛采用聚四氟乙烯密封带作管螺纹的密封填料。填料的选用是根据管道输送介质的温度和特性确定。管螺纹连接方式及其所用填料列于表23-2-13。

管螺纹连接的缺点是较易渗漏。管螺纹不严的原因有如下几种情况：

- 1) 管螺纹加工质量不好。
- 2) 附件或设备管螺纹不标准。
- 3) 填料选用不当或填料密封不严。
- 4) 管螺纹与配件拧的不紧。

表23-2-11 圆柱管螺纹形状及基本尺寸

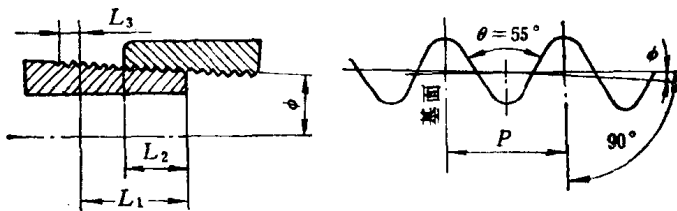


螺纹规格 (in)	每英寸牙数 (n)	螺距 P (mm)	螺纹直径 (mm)			牙形高度 A ₁ (mm)	圆弧半径 r (mm)
			大径 d	中径 d ₂	小径 d ₁		
3/8	19	1.337	16.663	15.807	14.951	0.856	0.184
1/2	14	1.814	20.956	19.794	18.632	1.162	0.249
3/4	14	1.814	26.442	25.281	24.119	1.162	0.249
1	11	2.309	33.250	31.771	30.293	1.479	0.317
1 1/4	11	2.309	41.912	40.433	38.954	1.479	0.317

(续)

螺纹规格 (in)	每英寸牙数 (n)	螺距 P (mm)	螺纹直径 (mm)			牙形高度 h_1 (mm)	圆弧半径 r (mm)
			大径 d	中径 d_2	小径 d_1		
1 1/2	11	2.309	47.805	46.326	41.847	1.479	0.317
2	11	2.309	59.616	58.137	56.659	1.479	0.317
2 1/2	11	2.309	75.187	73.708	72.230	1.479	0.317
3	11	2.309	87.887	86.409	84.930	1.479	0.317
4	11	2.309	113.034	111.556	110.077	1.479	0.317
5	11	2.309	138.435	136.957	135.476	1.479	0.317
6	11	2.309	163.836	162.357	160.879	1.479	0.317

表23-2-12 锥管螺纹的形状和基本尺寸



管子公称直径		螺距 P (mm)	每 in 扣数	基面直径 (mm)			螺纹工作 长度 L_1 (mm)	由管端到基 面长度 L_2 (mm)	螺尾 L_3 (mm)
(mm)	(in)			中径	大径	小径			
6	1/8	0.907	28	9.148	9.729	8.567	9	4.5	0.581
8	1/4	1.337	19	12.302	13.158	11.446	11	6	0.856
10	3/8	1.337	19	15.807	16.663	14.951	12	6	0.856
15	1/2	1.814	14	19.794	20.958	18.632	15	7.5	1.162
20	3/4	1.814	14	25.281	26.442	24.119	17	9.5	1.162
25	1	2.309	11	31.771	33.250	30.293	19	11	1.479
32	1 1/4	2.309	11	40.433	41.914	38.954	22	13	1.479
40	1 1/2	2.309	11	46.326	47.805	44.847	23	14	1.479
50	2	2.309	11	58.137	59.616	56.659	26	16	1.479
65	2 1/2	2.309	11	73.708	75.187	72.230	30	18.5	1.479
80	3	2.309	11	86.409	86.887	84.930	32	20.5	1.479
100	4	2.309	11	111.556	113.034	110.077	38	25.5	1.479

表23-2-13 管螺纹连接方式及其所用填料

连接方式	填 料	备 注
圆柱形套入 圆柱形	介质为水或压缩空气 (温度在 100°C 以下)。用铅丹油或白铅油中浸润过的麻系缠到管螺纹上以后, 沿管螺纹再抹铅油	
圆柱形套入 圆锥形	介质为蒸汽, 缠抹在黑铅油中浸润过的石棉线或不缠填料而抹矿物油	用锥形螺纹的钢管与圆柱形螺纹的附件连接, 连接较紧密
圆锥形套入 圆锥形	不缠填料, 沿螺纹抹矿物油	连接紧密, 一般用于蒸汽管道

3. 钢管的法兰连接

法兰连接常用于明装管路需要检修拆卸的部位和用于连接带法兰的阀件、仪表和设备。法兰及垫片的选用参照表22-3-23~表22-3-24。

法兰加工尺寸应符合标准, 法兰表面应光滑, 不得有砂眼、裂纹、斑点、毛刺等能降低法兰强度和连接可靠性的缺陷。螺栓孔位置的偏差不得超过表23-2-14的规定。

法兰的软垫片一般有成品供应, 但经常在现场根据需要自行加工。加工的方法有手工剪制和工具切制。手工剪制时常剪成带柄的, 便于安装时调整垫片位置。常用切软垫片的工具如图23-2-7、图23-