

工业金属管道壁厚的选取

方剑华(上海纺织建筑设计研究院有限公司,上海 200060)

摘要:目前国内金属管道尺寸壁厚标准规范主要是GB/T 17395—2008, HG/T 20553—2011和SH/T3405—2017。论述三个钢管壁厚标准的不同,选取三者之一作为普通化工管道项目选材标准的原因。举例说明分别使用壁厚计算公式和管表号,求得同一设计条件下的蒸汽管道壁厚。比较两种不同方法得到的壁厚值,就此差异综述采纳管表号方法进行采购管材的合理性。

关键词:管道壁厚计算;管表号;SH/T 3059—2012;SH/T 3405—2017;蒸汽管道

0 引言

管道壁厚是管道材料规格中重要的数据,业主根据具体的规格采购相应的管道及管件,壁厚值大小直接影响到建设工程的多个层面。壁厚值过高会直接增大采购成本,间接影响管架跨距和土建荷载等;壁厚过薄,可能无法满足管道的强度需求,也影响管架的设计布局。因此,选取合适的管道壁厚对工程建设非常重要。

随着近年来国内各类制造技术的精进,国家标准、行业规范也在同步更新变化,过往项目的管道规格可能已不符合时的国标、行标。因而在了解和研究最新的各类钢管尺寸、壁厚标准的同时,初步计算所需壁厚及其管表号后,进行壁厚调整才事半功倍。

1 国内钢管尺寸三大标准规范的区别

目前国内钢管尺寸系列标准主要是GB/T 17395—2008、SH/T 3405—2017和HG/T 20553—2011(以下分别简称为GB 17395、SH3405和HG20553)。在SH3405和HG20553中,都增加了以前没有的管表号Sch5、Sch30壁厚系列,并填补了小管径的Sch10系列的壁厚值。GB 17395中没有提出管表号,只罗列了各管径下可使用的壁厚,这是它与SH3405、HG20553两个标准最大的区别。GB 17395中的壁厚数据没有任何使用条件,这给壁厚的选取增加了难度。由对比可见,使用SH3405和HG20553作为壁厚选择的标准比较可靠。

针对SH3405和HG20553进一步比较发现,SH3405内所有壁厚数据皆精确到小数点后2位,这表明该标准的管道加工精度比HG20553要高。再者,SH3405标准附录中附上了不同材料选用的制作标准,其中很多材料的制作标准采用国外ASTM标准,而HG20553标准的管道制作标准采用的是国标。这些差异导致SH3405标准管道的采购成本会比HG20553标准的管道高。

由于存在成本差异,设计人员一定要事先与业主沟通,确定使用的标准规范。在考虑降低采购成本以及扩大供货商范围的前提下,若业主没有强制要求使用石化行业标准,可采用化工行业标准进行设计。

2 壁厚选取

本文使用壁厚计算公式和管表号方式,对工作压力8bar,

工作温度258℃的过热蒸汽管道选取壁厚,选择有代表的管径尺寸DN25、100和300作为参考。

2.1 计算壁厚

根据工艺参数及选材,使用下列管道壁厚计算公式^[1]进行计算:

$$\delta = \frac{P \times D_o}{2 \times ([\sigma]^t \times \phi \times W + PY)} \quad (1)$$

$$\Delta = \delta + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (2)$$

式中: δ 为直管的计算壁厚,mm; P 为设计压力(MPa); D_o 为管道外径(mm); $[\sigma]^t$ 为设计温度下管道材料的许用应力(MPa); ϕ 为焊缝系数; W 为焊缝接头强度降低系数; Y 为温度对计算直管壁厚公式的修正系数; Δ 为名义厚度,规范上指标准规定的厚度(mm); C_1 为材料厚度负偏差,按材料标准规定(mm); C_2 为腐蚀、冲蚀裕量,mm; C_3 为机械加工深度(mm); C_4 为厚度圆整值(mm)。

此管道设计压力 P 取0.88MPa,设计温度 t 选取270℃,管道制作标准采用GB/T 8163—2018的碳素钢无缝钢管(热轧型)20号钢。

(1) 查常用钢管许用应力表^[2]可知 $[\sigma]^{300}=101\text{MPa}$, $[\sigma]^{250}=110\text{MPa}$,通过内插法计算得到 $[\sigma]^{270}=106.2\text{MPa}$ 。

(2) 使用无缝钢管, ϕ 、 W 均为1。在设计温度低于400℃的情况下, Y 取0.4。

(3) 将上述参数代入公式2-1,可得 $\delta=0.0041 \times D_o$,具体如下表1。

表1 直管计算壁厚结果

D_n	D_o	δ	单位
25	33.7	0.14	mm
100	114.3	0.47	mm
300	323.9	1.34	mm

(4) 名义厚度 Δ 计算

由公式2-2可以知, Δ 就是将计算壁厚 δ 与管道制造过程中可能产生的偏差、管道长年运行时受到的腐蚀和机械加工需要的深度综合考虑的结果。

①材料厚度负偏差 C_1 整理热轧型钢管壁厚允许偏差^[3] C_1 如下表2。

表2 壁厚允许偏差表

D_o/mm	Δ/D_o	规范要求壁厚允许偏差	C_1/mm
33.7	—	12.5% Δ 或 ± 0.4 , 取其中较大者	0.4 或 0.125 Δ
	≤ 0.05	15% Δ 或 ± 0.4 , 取其中较大者	0.4 或 0.15 Δ
>102	0.05~0.10	12.5% Δ 或 ± 0.4 , 取其中较大者	0.4 或 0.125 Δ
	>0.10	10% Δ	10% Δ

在腐蚀裕量和加工深度尚未明确时,无法得知最终名义厚度,因此 C_1 在最后阶段与 C_4 一同考虑。

② 腐蚀裕量 C_2 材料的耐蚀性和环境(如成分、浓度、温度、流速等)变化密切相关^[4]。管内介质含水会加速腐蚀,高温、高流速的工况下的腐蚀速率一般是低温、低流速介质的数倍乃至指数倍。

针对介质为蒸汽,碳钢管在蒸汽系统受溶解氧的腐蚀,温度在80~250℃间最为严重^[5]。本例管道正常操作时内部充满过热蒸汽,认为管内几乎无水,此时溶解氧不多不易产生点蚀。

一般蒸汽系统的碳钢管腐蚀速度取0.1mm/年,假定装置使用年限为15年,则该管线的理论腐蚀裕量 $C_2=0.10 \times 15=1.5\text{mm}$ 。^[6]

③ 机械加工深度 C_3 蒸汽系统不宜采用螺纹连接, C_3 值为0mm。

④ 名义壁厚 Δ 最终结果 所有因素确定后,依据表2重新对 C_1 取值,下表中 Δ 在最终时已进行圆整,故对 C_4 不进行描述和计算。

表3 壁厚允许偏差 C_1 表及最终名义壁厚 Δ

D_o	C_1	公式计算 Δ	Δ/D_o	最终 Δ/mm
33.7	0.4	2.1	—	2.1
	0.125 Δ	1.9		
114.3	0.4	2.4	符合 ≤ 0.05	2.4
	0.15 Δ	2.3		
323.9	0.4	3.3	符合 ≤ 0.05	3.3
	0.125 Δ	3.3		

2.2 管道壁厚的最终理论取值

根据规范规定,管道壁厚计算后需与其规定的最小壁厚以及 $D_o/150$ 的值比较,三者取其大为最终实际所需的管道壁厚^[1]。

表4 三种管道壁厚结果对比及最终理论取值

外径 D_o	名义壁厚 Δ	$D_o/150$	规定的最小壁厚	理论取值/mm
33.7	2.1	0.23	2.4	2.4
114.3	2.4	0.76	2.4	2.4
323.9	3.3	2.16	4.0	4.0

2.3 使用管表号确定管道壁厚

管材在化工建设项目中为大规模采购,工厂运行周期内也要一定量的维修与替代备用,因此在SH/T 3405中找到满足表4的标准壁厚尺寸就相对经济与便利。

(1) 确定管表号,即管道壁厚等级

SH/T 3405中的壁厚由管表号SCH 来表示,即:

$$\text{Sch.} = \frac{P}{[\sigma]^t} \times 1000^{[6]} \quad (3)$$

由于介质为高温蒸汽,管道得的试验压力并非简单的 $1.5P$,还需要乘上温度系数1.224,则公式2-3中的 P 为1.62MPa,代入公式可计得12.5。

管线采用对焊管件,管件应与管道管表号相同,即管件与管子等强度(而不是等壁厚)^[5],因而计算得到的SCH 往上取整作20。在SH/T 3405中可查得,DN25至DN150没有SCH20系列,如此DN25和DN100的壁厚等级往上一级选SCH30。

最终选择的管道壁厚如表5所示。

表5 管道壁厚

DN	管表号	壁厚/mm
25	Sch30	2.90
100	Sch30	4.78
300	Sch20	6.35

3 结语

比较表4与表5的壁厚差异可知,根据标准选定的管道壁厚比理论上计算得到的管道壁厚值大,造成这一结果的因素主要有二个。其一,管表号计算结果是圆整过的,比实际计算得到的要高出60%,从而导致得到的壁厚比理论壁厚值大。其二,由于标准中部分管径缺失管表号SCH20,造成SCH 向上一级选取,致使壁厚数值趋向更大。

依据标准壁厚等级选取的壁厚值过高,对采购成本势必产生影响,该类管道在所有管道材料中占比愈高,采购成本愈大。若选用符合理论值的特定尺寸管道固然比标准管道总重轻,但是由于尺寸特殊,货源较标准管道及管件难寻,供货商稀缺,其收取的费用并不一定比采购标准管道低廉。以此为由,采购符合标准SH/T 3405壁厚尺寸的管道及其组成件较为合理。

参考文献:

- [1] 中国石油化工集团公司. 石油化工管道设计器材选用规范:SH/T3059—2012[S]. 北京:中国石化出版社,2013.
- [2] 中华人民共和国原化学工业部. 工业金属管道设计规范:GB 50316—2000(2008版)[S]. 北京:中国计划出版社,2008.
- [3] 全国钢标准技术委员会(SAC/TC 183). 输送流体用无缝钢管:GB/T 8163—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
- [4] 左景伊. 腐蚀数据手册[M]. 北京:化学工业出版社,1982.
- [5] 宋岢岢. 压力管道设计及工程实例 第二版[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
- [6] 徐宝东. 化工管路设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2011.

作者简介:方剑华(1985-),女,汉族,江苏江阴人,工程师,本科,研究方向:纺织染色。