

大口径负压管道的壁厚设计研究

赵冬梅 刘忠涛 (洛阳瑞泽石化工程有限公司, 河南 洛阳 471000)

摘要:石油化工作为国民支柱性产业,对于社会经济的稳定发展而言,起着至关重要的作用,而管道运输作为石油化工装置的重要组成部分,直接关系到能源运输的质量和效率以及石油化工产业的发展水平,因此科学设计石油化工管道,是加快石油化工产业现代化进程的重要举措。本文简要分析了石油化工装置中负压大口径管道的选用标准,基于负压管道壁厚的计算方法,结合乙二醇装置工艺管道的实际情况,重点阐述了大口径负压管道的壁厚设计要点,旨在提高大口径负压管道的整体设计质量,为我国能源运输的安全性和稳定性,提供坚实的保障。

关键词:大口径; 负压管道; 壁厚设计

0 引言

随着社会经济的不断发展,石油化工产业的发展质量和效率显著升高,对管道的运输能力也提出了更高的要求,因此科学设计压力管道的各项参数,成为石油化工产业研究的重点内容和方向。以运输介质的特性为导向,科学设计大口径负压管道的壁厚,不仅能够提高压力管道运输的安全性及稳定性,还能够提高石油化工装置的运行效果。由此可知,深层次分析并研究大口径负压管道的壁厚设计方法,对于我国石油化工产业的可持续发展而言,具有深远的意义。

1 石油化工装置中负压大口径管道钢管的选用标准

负压管道指的是通过人工或者机械的方式,将管道内部的真空度控制在一定的范围内,实现对介质的有效运输,不同于一般的正压压力管道,负压管道维持内部压力低于大气压。通过对负压管道的综合分析可知,这种管道普遍具有两方面显著的特点,一方面是真空负压运输,即在运输各种介质的过程中,无需额外的作用力对介质进行驱动,并且介质的流速不会对管道产生干扰和影响,有利于提高介质的输送效率。另一方面是负压管道系统的安全性较强,通常用于输送危险化学品或易挥发物质等场合,以防止介质泄漏和环境污染。负压大口径管道的优化设计,是促进我国石油化工产业生态化、环保化的必由之路。

在负压大口径管道壁厚设计工作正式开始前,需要对管道钢管的选用标准进行科学的分析。在选择大口径管道钢管的过程中,不仅要全面系统的了解《流体输送用不锈钢无缝钢管(GB/T14976-2012)》等相关制度条例,还要对输送介质的压力、特性以及温度等重要参数进行分析。对于石油化工装置而言,无缝钢管的应用频率较高,这类管道具备较强的承压能力,

不同的大口径管道钢管性质以及运行参数存在较大的差异性,因此在设计管道壁厚的过程中,需要在充分掌握大口径管道各方面技术参数的基础上,准确计算出负压管道壁厚的设计数值,再综合制定设计方案,以提高管道的质量性能,为石油化工产业的长效健康发展,注入源源不断的动力。

2 大口径负压管道壁厚的计算方法

在设计石油化工装置大口径负压管道壁厚的过程中,很多设计人员只考虑保管道运行的安全性选择厚壁管,但经实践证明,盲目增加管道的壁厚,会影响管道热应力,在操作温度较高的工艺条件下,若管道壁的厚度较大,热应力也会随之增加,反而使得管道系统的安全性下降,风险系数升高。并且大口径管道的壁厚直接关系到管道整体的设计成本和施工费用,随意增加壁厚,不仅会大幅度加大管道结构设计的复杂性以及难度,还会提高施工成本。因此在开展管道壁厚的设计工作时,要从科学的角度出发,综合考虑管道刚度以及外径等多方面因素后,统筹设计管道的壁厚。根据SH/T 3059-2012《石油化工管道设计器材选用规范》(以下简称规范),管道壁的厚度要>外径的1/150,应用以下计算方法:

2.1 内压直管壁厚计算

《规范》中明确表明,在计算大口径管道的壁厚时,科学应用公式(1)这种计算方法的准确性较高,误差较小:

$$t = \frac{PD_0}{2[\delta]\phi W + 2PY} \quad (1)$$

$$\bar{T} = t + C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

在公式(1)中t、P、D₀分别代表管道的壁厚(mm),

管道设计压力 (MPa) 以及管道的外径 (mm); $[\delta]^t$ 代表设计温度下管子材料的许用应力 (MPa); ϕ 表示焊缝系数; Y 与 W 分别代表直管壁厚受温度影响的修正系数, 以及焊缝接头强度降低系数; C_1 — C_4 分别代表材料厚度参数负偏差 (mm), 管道冲蚀、腐蚀裕量 (mm), 管道的机械加工深度 (mm), 管道厚度的圆整值 (mm)。这种计算方法在我国管道壁厚的设计中应用较为广泛, 计算结果相对准确, 为管道整体结构的优化设计, 提供了科学的指导。

2.2 负压条件下管道壁厚校核方法

通过 2.2 的公式 (1), 计算出常规正压工况的管道壁厚后, 应根据负压的工艺条件, 校核此管道壁厚的数值, 以满足负压操作条件下管道的强度和刚度, 确保管道的安全稳定运行。

根据 GB/T 20801-2020《压力管道规范》, 直管的外压 (或真空) 设计应符合的相关规定, 对于 L/D_0 以及 D_0/T_e 的值, 分别在 25 与 65 以上, 且设计温度不超过 300℃, 直管许用外压的计算方法, 如公式 (2) 所示:

$$[P] = \frac{2.2}{3} E \left(\frac{T_e}{D_0} \right)^3 \quad (2)$$

其中 $[P]$ 代表直管许用外压。

3 大口径负压管道的壁厚设计要点

以乙二醇装置工艺管道为例, 对大口径负压管道的壁厚设计要点进行介绍。

3.1 乙二醇原料分析

乙二醇是一种重要的石油化工基础有机原料, 在塑料、胶黏剂以及 PET 等化工制品的生产中发挥着关键的作用, 在输送煤质乙二醇的过程中大口径负压管道得到了广泛的运用。随着科学技术的不断发展, 我国能源输送工艺愈发成熟, 大口径管道的运输能力, 也从 10 万吨 / 系列向 50 万吨系列发展, 为满足国内对乙二醇原料的需求, 石油化工企业还需要投入更多的资金资源, 用于大口径负压管道的创新升级中, 确保管道的安全性符合对乙二醇输送的需求, 进一步提高我国乙二醇的生产能力。这就要求在设计大口径负压管道时选择合理的管道壁厚, 来满足管道运输的强度和刚度的同时, 降低管道投资, 实现我国乙二醇的生产进步。

3.2 乙二醇附塔管线的壁厚设计

脱丁二醇塔顶气相管道在乙二醇装置中占据重要的地位, 管道正常工作压力以及工作温度等参数, 如

表 1 所示:

表 1 乙二醇装置脱丁二醇塔顶气相管道参数

序号	项目内容	技术参数
1	介质	乙二醇
2	材质	304 不锈钢
3	工作压力	-0.08MPaG
4	工作温度 /℃	150℃
5	设计压力	0.4MPaG
6	设计温度	200℃
7	管径	DN2400

通过对表 1 的观察和分析可知, 这种管道具有三个显著的特点, 即操作温度较高、微负压以及口径大。在开展管道的设计工作时, 要对内外压强度以及失稳等问题进行综合考虑, 首先计算满足管道内外压强度的管道壁厚。

3.2.1 内压工况壁厚设计

在开展管道内压的设计工作时, 将 t 的值设定在 $D_0/6$ 以下, 可利用公式 (1), 计算出直管的壁厚。其中 Y 代表的是计算系数, 当 $t < D_0/6$ 时, 可根据标准中给出的数值查得, 当 $t \geq D_0/6$ 时, 可利用公式 (3):

$$Y = \frac{d+2C}{D_0+d+2C} \quad (3)$$

在公式 (3) 中, d 、 c 分别代表的是管道内径、厚度的附加值 ($C=C_2+C_3$), 各数值的取值为: $t < D_0/6$, $P=0.4\text{MPa}$, $D_0=2420\text{mm}$, $Y=0.4$, $\phi=0.85$, $S=138\text{MPa}$, 根据上述数值, 计算出在内压工况下, 管道壁厚为 8.4mm, 考虑管道厚度附加值, 管道壁厚取值为 9.6mm。若 t 的值在 $D_0/6$ 及以上, 在计算直管壁厚的过程中, 还要综合考量大口径管道的疲劳机理、稳定性以及温差应力等。

3.2.2 负压工况壁厚设计

在负压的工艺条件下, 管道壁厚的校核方法由上述公式 (2) 所述, 根据以上内压工况计算出的管道壁厚值 9.6mm, 可得直管许用外压 $[P]=0.08\text{MPa} < P_e$ (标准大气压), 若使得直管许用外压大于大气压, 直管壁厚至少取值 23mm, 计算得到 $[P]=0.12\text{MPa} > P_e$ 。由此可以看出, 内压工况计算出的壁厚在负压的校核条件下, 难以满足管道强度及刚度的要求, 壁厚取值 23mm 时才能满足管道对各项性能的需求, 但若以此管道壁厚进行设计, 将面临着管道自重、管道造价、施工成本高等问题。因此在负压工况设计时, 我们考

考虑利用加强圈的形式,在满足管道强度与刚度的情况下,将管道壁厚设计在合理范围内,以降低工程造价。

3.3 大口径负压管道外压加强圈设计

3.3.1 外压筒设计

在设计负压管道外压筒的过程中,要考虑圆筒的稳定性校核,圆筒的计算长度要合理取值,外压圆筒长度的取值应选择相邻2个支撑线间的距离,本文中管道公称直径为DN2400,管道考虑设置加强圈,则圆筒的计算长度取相邻加强圈中心线间的最大距离,如图1所示。

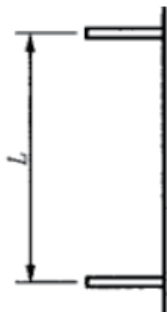


图1 负压大口径管道外压圆筒长度计算取值方法

根据GB 150-2011《压力容器》,对于 D_0/T_e 大于等于20的圆筒,先根据 L/D_0 和 D_0/T_e 查得外压应变系数A,然后由A值查得外压应力系数B,最后根据公式(4)

$$[P] = \frac{B}{D_0/T_e} \quad (4)$$

计算许用外压力 $[P]$ 。 $[P]$ 应大于 P_e (标准大气压),否则需调整管道壁厚重复上述计算,直到 $[P]$ 大于 P_e ,经过推算,当 $L=3000\text{mm}$, $T_e=14\text{mm}$ 时, $[P]=0.32\text{Mpa} > P_e$ 。即根据标准在管道上设置加强圈,相邻加强圈的间距 $L=3000\text{mm}$,此时管道壁厚设计为14mm,在负压工况下校核管道壁厚,管道许用外压力大于标准大气压,则管道满足强度和刚度的使用要求。

3.3.2 加强圈位置确定

在负压大口径管道中加强圈可设置在管道的内部或外部,应在圆筒的圆周处整圈围绕加强圈。在连接加强圈与圆筒圆周的过程中,可采用连续性焊接或者间断性焊接的施工模式,若在管道的外部设置加强圈,每侧间断焊接的总长度设定为圆筒外圆周的1/2以上,若在管道的内部设置加强圈,每侧间断焊接的总长度设定为圆筒内圆周的1/3以上。对于焊脚的设计,要根据焊件的厚度综合设定,一般情况下不得小于较薄件的厚度。

本项目的大口径管道输送介质为流体,因此若采用内加强圈的施工模式,可能会导致管道内部阻力升高,使得管线无法有效维持真空度,同时还会影响到

真空泵对能源的消耗。因此在负压大口径管道加强圈的设计中,优先采用外部的施工模式。

3.3.3 加强圈管道保温

在管道不需要保温的情况下,外压加强圈的长度无需特殊设计,按照正常的规格即可。在管道需要保温的情况下,就要做好保温支撑圈的优化设计和安装工作,而外压加强圈本身具有保温以及支撑的功能,因此可替代保温支撑圈,安装到管道上。

若管道输送介质温度属于中温或者是低温,并且管道公称直径大于DN100,在设置外压加强圈的过程中,为充分发挥出外压加强圈的保温和支撑作用,管道节点位置的保温支撑设计,要全方位的将加强圈包裹到保温层里,以确保保温质量和效果。另外,当管道保温层厚度小于外压加强圈的宽度时,要做好保温层局部区域的外包处理,外包部分做好保护层,这种施工方法有利于隔绝雨水等外部因素的渗透,进一步提高保温成效。

3.3.4 管道造价分析

本项目在管道上设置外压加强圈,同时还需要利用到扁钢、不锈钢管架以及不锈钢管件等材料,最终计算,此种方案较管道无加强圈的方案,管材可节省10t。

管道计算壁厚为14mm时,无需使用加强圈,但此时壁厚无法满足大口径管道对刚度和强度的要求,管子计算壁厚为23mm的情况下,想要减少管道造价及施工成本可以考虑科学地设置外加强圈,一方面能够减轻管道自身的重量,减轻对设备或钢结构的管道荷载,另一方面能够减少管道工程投资成本,为企业创造更多的经济价值。

4 结论

综上所述,石油化工管道壁厚的科学设计,对流体的运输质量和效率起着关键性作用,在保证管道的刚度和强度前提下,确保石油输送工程能够高效推进,要综合考虑管道的壁厚,确保管道壁厚的设计符合负压大口径管道对高稳定性、安全性运行的需求,助推我国石油化工产业的高质量、高效率发展。

参考文献:

- [1] 刘海龙,张凯灵,田海州,等.高钢级大口径天然气管道壁厚选择原则探讨[J].石油和化工设备,2022,25(05):86-88.
- [2] 徐葱葱,刘少柱,齐健龙,等.大口径油气管道动火连头无损检测技术比选[J].油气田地面工程,2021,40(02):77-81.