

PSA 程控截止阀阀体设计研究

钟建辉

(西南化工研究设计院有限公司双流分公司, 四川 成都 610000)

摘要 PSA 变压吸附装置在各行业得到广泛应用, 其装置对配套设备的质量及可靠性要求越来越高。程控截止阀即是其中的重要组件, 阀门在装置中起着流体介质控制、压力转变等重要作用, 直接影响最终产品的质量及成本。阀体作为程控截止阀最重要的部件之一, 又直接影响着阀门顺利运行, 因此阀体部件重要性不言而喻。本文以 WCB 材质的程控 PSA 截止阀阀体为例, 从理论计算和三维软件结构设计、铸造工艺、加工工艺、阀体生产等方面进行深入研究, 以期对提升 PSA 装置中程控截止阀阀体的质量水平有所裨益。

关键词 PSA 截止阀; 阀体; 阀体结构设计; 阀体设计计算

中图分类号: TH13

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)01-0001-03

1 PSA 程控截止阀概述

PSA (Pressure Swing Adsorption 简称 PSA) 技术简介: 变压吸附是一种新型气体吸附分离技术, 始创于 20 世纪 60 年代初, 并于 20 世纪 70 年代实现工业化生产。20 世纪 80 年代, PSA 技术得到迅速的发展, 与传统的深冷空分装置相比, PSA 具有启动时间短、开停车方便、能耗较小、运行成本低、自动化程度高、维护简单、占地面积小、土建费用低、应用范围广等特点。20 世纪 90 年代以来, 变压吸附技术逐渐被国内广泛应用, 为相关产业链带来了巨大的效益。PSA 程控截止阀是一种用于控制工业管道中的流量、压力和流体温度等参数的自控阀门, 主要应用于化学工业、制药工业、石油化工等领域。其作用是通过自控装置对阀门的控制从而实现对介质的流量、压力、温度进行自动调节和控制, 实现 PSA 既定的工艺目的。一般而言, PSA 装置设备的结构主要由压力容器、吸附床、各种进出口阀门、压缩机、冷却器、加热器、控制系统等组成。其中对流体进行温度、压力、流量调节的重要组件就是各类程控阀门, 故程控阀门是 PSA 装置中的最关键的控部件之一, 程控阀的质量好坏对整个 PSA 装置有着至关重要的影响。为了提升程控阀门整体质量, 必须了解 PSA 程控截止阀的主要特点: (1) 密封性能好, 能达到零泄漏标准; (2) 执行动作快、寿命长, 质量稳定性高; (3) 适合用于易燃、易爆、有毒、重粉尘等的恶劣工作环境; (4) 具备双向耐压性和抗高速气流冲刷性能; (5) 易实现调节功能和阀位状态显示, 现场指示及运转等功能。

程控阀阀体是程控阀的最核心的零部件, 其制造工艺包含了铸造、焊接、机加工、热处理、表面处理

等复杂特殊的生产过程, 相对程控截止阀的其他零部件, 其设计计算内容多、加工工艺复杂、难度较大。程控截止阀“腰鼓型”阀体参见图 1。

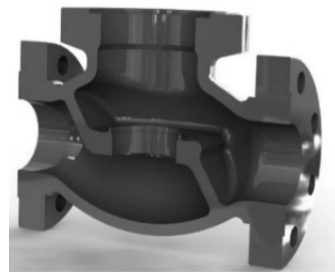


图 1 程控截止阀阀体结构

2 PSA 截止阀 WCB 材质阀体结构设计计算

2.1 阀体材质的选择

阀体的材料选用原则有四个方面: 第一, 强度、刚性、可靠性、安全性; 第二, 耐腐蚀性, 须保证适应多种流体介质和环境特性的应用场景; 第三, 宽泛的温度适应性。材料的耐温性不好, 会导致密封失效或因热膨胀和收缩而导致泄露, 严重影响使用安全、产品质量以及装置的稳定运行; 第四, 材料的可焊接性能, 阀体密封座一般是需要堆焊的, 且部分锻造阀体在装配时需要进行焊接法兰, 因焊接是特种作业过程, 其作业难度较大, 质量稳定性相较于其他加工更差, 因此材料的焊接性能越好, 其整体质量可靠性越高。在实际应用中, 常用的阀体材料有铸铁、铸钢、不锈钢、钛合金等。为了兼顾经济性、使用可靠性和环境适应性, 一般选择铸钢、不锈钢, 如 WCB、304、321 等牌号的钢材。当然, 设计阀体时也应该考虑顾客条件和第三方条件, 综合决定设计阀体的选材, 本文就选择以 WCB 为例^[1]。

2.2 阀体外形的选择

根据目前PSA阀门常用的国标GB/T 12235-2007《石油、石化及相关工业用钢制截止阀和升降式止回阀》中截止阀图中阀体的典型结构都为腰鼓形。“∞”胖形截止阀阀体已经很少见,若无特殊要求,新设计截止阀可使用腰鼓形阀体。采用腰鼓型阀体较可以使得阀体外形的设计更加适合铸造工艺的流道设计,以达到最优铸造质量,减少阀体铸造缺陷,本文就选择以腰鼓型阀体为例。

2.3 阀体连接方式和结构长度的选择

一般来讲,阀体的连接方式有:法兰连接、焊接端连接、外螺纹连接、内螺纹连接等。根据本公司生产的PSA装置特点,本文选择法兰连接的方式,结构长度按照GB/T12221-2005《法兰连接截止阀、节流阀及止回阀结构长度》进行选择。

2.4 阀体流通能力简述

PSA阀门流通能力是阀门的重要指标之一,因为流通能力对PSA装置的产出及采购成本影响较大,故设计阀体时应着重考虑阀体中介质的流道设计,以保证最大的流通能力,才能尽可能保证整套PSA装置的采购支出和最终产品的产能的增加。

3 PSA截止阀阀体设计计算(以CL300 12"为例)

3.1 设计工艺环境参数的选择

本文按照如下工艺参数对阀门进行设计,着重强调阀体的结构设计,设计参考工艺参数如下。工艺介质CO₂等无腐蚀性气体;操作温度:-20℃~100℃;环境温度-20℃~40℃;操作压力:5MPa;最大压差:3MPa,选择阀门本体CL300 12",正反向可开启压差分别是0和0.5MPa;正反向可密封压差分别是0和3MPa,阀体法兰标准HG/T 20615-2009RF。阀门本体材质:WCB。

3.2 阀体壁厚的设计和计算

本文采用WCB材质的铸钢阀体,根据GB26640-2011《阀门壳体最小壁厚要求规范》,查询可知最小参考壁厚为20.6mm,设计初选21mm。阀体壁厚计算参照《实用阀门设计手册》^[2],具体如下:(1)计算压力 P_n :5MPa;(2)公称直径设计给定 D_n :300mm;(3)腐蚀余量C设计给定4mm;(4)计算厚度 $t_B = p \cdot D_n / \{2.3 \cdot (\sigma_t) - p\} + C = 20.5\text{mm}$;(5)许用拉应 (σ_t) 查WCB材料《实用阀门设计手册》^[3]即得92MPa;(6)实际厚度 t_B 设计初选21mm;(7)最小厚度 t_B 查询GB26640-2011,取得20.6mm。

3.3 阀体密封面的设计计算

本文采用WCB材质的铸钢阀体,阀体本体为铸钢,阀座密封面是在本体WCB材质面上堆焊507MoNb与阀芯

为PEEK平面接触式密封,根据《实用阀门设计手册》^[4]对阀体阀座进行校核,具体如下:(1)密封面内径、密封面宽度 D_{MN} 、 b_M 设计给定值305mm、2.5mm;(2)密封面上必须比压 q_{MF} 查《实用阀门设计手册》^[5]可得8MPa;(3)计算压力 p 设计给定值0.5MPa;(4)密封面上总作用力 $F_{MZ} = F_{MF} + F_{MJ} = 56424\text{N}$;(5)密封面处介质作用力 $F_{MJ} = [\pi \cdot (D_{MN} + b_M)^2 \cdot p] / 4 = 37113\text{N}$;(6)密封面上密封比压 $F_{MF} = \pi \cdot (D_{MN} + b_M) \cdot b_M \cdot q_{MF} = 19311\text{N}$;(7)密封面上密封比压 $q = F_{MZ} / [\pi \cdot (D_{MN} + b_M) \cdot b_M] = 23.4\text{MPa}$;(8)密封面许用比压 (q) 查《实用阀门设计手册》^[6]为50MPa;经上计算: $q_{MF} \leq q \leq (q)$ 为合格,故设计的密封副符合要求。

对于阀门整体设计而言,本文省略其他相关计算过程。

3.4 中法兰强度的设计计算

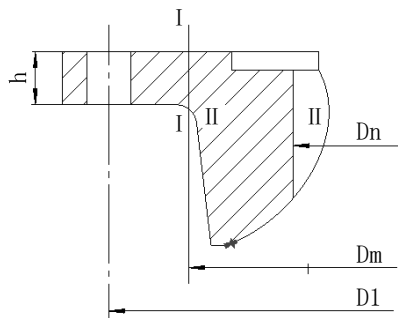


图2 中法兰处设计计算示意图

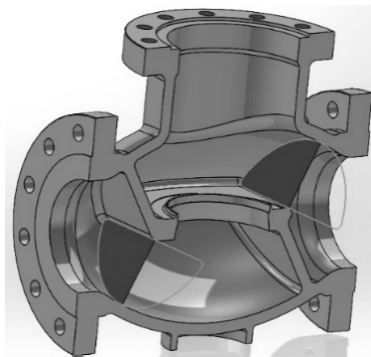


图3 腰鼓型阀体最小流通面积示意图

确定了螺栓的载荷后,便可以根据《实用阀门设计手册》^[7]对阀体中法兰强度进行计算和校核。虽然法兰连接结构简单,但至今还没有统一的计算方法,许多国家都有各自的计算标准或者法规。我国GB/T17186.1-2015《管法兰连接计算方法 第1部分:基本强度和刚度的计算方法》规定了用于管道上使用的Class系列管法兰,推荐采用符合GB/T9124.2、GB/T13402、GB/T17241、GB/T15530规定的Class系列管法兰;但仅限于各标准内的尺寸及压力~温度额定值。设计的阀门阀体中法

兰符合以上标准中的各项条件时,一般不需要计算。但不符合其规定条件的,应根据设计实际情况进行强度和刚度的校核,本阀门阀体的中法兰的设计不符合上述标准情况,需要进行计算校核,本文中涉及的中法兰为铸造一体式,为整体钢法兰的应力计算和校核,计算图示如图 2,具体如下:(1)常温时比值系数 $n=F_L/(\sigma_w)=622.1\text{mm}^2$;(2)计算载荷 $F=F_L=379502\text{N}$;(3)螺栓计算载荷 F_L 通过双头螺柱强度计算得出的值 379502N ;(4)许用弯曲应力查《实用阀门设计手册》^[8]得 $\sigma_w=610\text{MPa}$;(5)I-I 断面弯曲应力 $\sigma_{wI}=F_L/W_I=99\text{MPa}$;(6)力臂 $l_1=(D_1-D_m)/2=29.5\text{mm}$;(7)螺栓孔中心圆直径 $D_1=194\text{mm}$ 设计给定;(8)中法兰根径 $D_{II}=135\text{mm}$ 设计给定;(9)断面系数 $W_I=\pi * D_m h^2/6=113040\text{mm}^3$;(10)中法兰强度 $h=40\text{mm}$ 设计给定;(11)II-II 断面弯曲应力 $\sigma_{wII}=0.4 * F * l_2/W_{II}=541.8\text{MPa}$;(12)力臂 $l_2=l_1+(D_m-D_n)/4=35.75\text{mm}$;(13)公称直径设计给定 $D_n=110\text{mm}$;(14)断面系数 $W_{II}=\pi * (D_m+D_n) * ((D_m-D_n)/2)^2/12=10016.9\text{mm}^3$ 。

通过上述计算,可以得到 $\sigma_{wI} < (\sigma_w)$ 且 $\sigma_{wII} < (\sigma_w)$,设计所初选的尺寸符合中法兰尺寸要求。通过中法兰计算后,加之选用的中法兰垫片和中法兰螺栓尺寸,可选择中法兰外圆的最小尺寸,且符合设计计算要求。对于阀门整体设计而言还需要依据《实用阀门设计手册》^[9]对阀盖进行强度计算,本文将省略该步骤。

4 阀体结构设计的方法

依据设计计算结果中的参数,结合相关资料参数,使用 3D 设计软件进行 PSA 阀体的图样绘制和分析,优化阀体结构。如图 1 所示,按照 GB/T12224-2015《钢制阀门壁厚及连接尺寸》、HG20592-20635《钢制管法兰、垫片、紧固件》^[10]《实用阀门设计手册》^[11]《铸造工艺学》^[12]等标准中的数据,结合上述计算结果选择适宜的壁厚、两端法兰内外径、中法兰内外径、三个法兰的止口、中法兰高度、中法兰厚度等尺寸。按照不同铸造受委方的工艺要求,结合砂模铸造的特点,选择阀体的“端法兰”,“中法兰”上下模拔模角度为 $1^\circ \sim 7^\circ$,可满足铸造工艺要求,且能保证产品的经济型采购要求。为保证铸造工艺可执行,在设计阀体时,应保证阀体壁厚的尺寸及其公差一致性,和非壁连接的倒角尺寸 $\geq 10\text{mm}$,以免因设计缺陷造成阀体壁厚尺寸及与壁厚衔接处的各个阀体部位过渡不顺畅,导致阀体铸造时的液态金属在不同的厚度处流动性不足和热积累现象,造成阀体铸造缺陷(如浇不足、夹渣、气孔等)。由于阀体计价以重量计算,在铸造工艺允许范围内最大限度地减少拔模角度,可最大限度地减轻阀体铸造重量,控制铸造阀体的铸造成本。之后我们可以利用三维软件 SolidWorks 进行图形绘制,充分

利用信息化软件的优势,在软件配置图纸属性、尺寸属性、快速链接进行系列化设计,优化提升设计效率。

阀体的最小流通面积的确定。从图 3 阀体结构上可以看出,影响该类型结构阀体流通能力的地方有两个,分别是阀体的进出口端中间阀座隔板与上下壁之间的两个位置,我们如何确定哪个面对应的流通面积最小呢?要搞清楚这个问题,我们必须知道设计阀体时中间阀座隔板倒角的半径尺寸和阀体上下腔体壁厚的半径尺寸。从圆的特性可知,链接两圆的圆心延长至壁厚处的距离是最短的,故其与阀体壁厚面所形成的封闭面的面积是最小的,进而得到阀体的两端口最小流通面积。

按《阀门设计手册》^[13]中关于阀体流通面积的要求,理论上讲流通面积越大、阻流面积越小则流通能力越强。但受制于阀体切断流体的结构原理不同,实际情况一般是达不到 100% 的流通能力的。通过物理流通能力试验,一般设计在 $80\% \sim 95\% D_n$ (“ D_n ”为公称直径)即可满足阀体流通能力设计需要。本文中的阀体最小流通面积为公称通径的 90%,完全能满足该通径阀门的流体流通要求。继而设计完成阀体。

5 结语

依从 PSA 装置的运行环境,结合相关标准、资料及经验数据引用、确定各类设计参数,再通过 3D 设计软件可快速且直观地设计、优化阀体结构,是解决实际问题的一种有效的途径和手段,对制定 PSA 阀门阀体相关设计流程的优化和设计效率的提升都有积极的意义。

参考文献:

- [1] 张清双,尹玉杰.阀门手册:选型[M].北京:化学工业出版社,2013.
- [2] 陆培文.实用阀门设计手册[M].北京:机械工业出版社,2012.
- [3] 同[2].
- [4] 同[2].
- [5] 同[2].
- [6] 同[2].
- [7] 同[2].
- [8] 同[2].
- [9] 同[2].
- [10] 全国化工设备设计技术中心站.钢制管法兰、垫片、紧固件[M].北京:人民出版社,2009.
- [11] 同[2].
- [12] 董选普,李继强.铸造工艺学[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [13] 杨源泉.阀门设计手册[M].北京:机械工业出版社,1995.