

文章编号: 1002-5855 (2007) 05-0001-03

## S42F8 - DN25 型形状记忆合金疏水阀的研制

黄玉琴<sup>1</sup>, 杜兆年<sup>2</sup>

(1. 甘肃建筑职业技术学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学, 甘肃 兰州 730050)

**摘要** 介绍了利用形状记忆合金功能设计的 S42F8 - DN25 型无阀杆热静力型蒸汽疏水阀的工作原理、优良特性及核心部件的设计方法。

**关键词** 蒸汽疏水阀; 形状记忆合金; 设计

**中图分类号**: TH134 **文献标识码**: A

### Study on S42F8-DN25 type of steam trap with shape memory alloy

HUANG Yu-qin<sup>1</sup>, DU Zhao-nian<sup>2</sup>

(1. GanSu Construction Vocational Technical College, Lanzhou, GanSu, 730050, China;

2. LanZhou Technology University, LanZhou, GanSu, 730050, China)

**Abstract**: A S42F8-DN25 type of thermostatic steam trap is designed with shape memory alloy (SMA). The operation principle of the S42F8-DN25 type of the no valve shaft SMA steam trap are described in this paper, and its important part have been designed.

**Key words**: steam trap; SMA; design

#### 1 概述

飞速发展的信息化和智能化技术正不断改变着工农业生产和人们社会生活的面貌。阀门作为控制管道中流体运动的执行机构, 如果能够将智能技术植入阀门产品中去, 将会赋予阀门以全新的概念, 从而产生完全不同于原有产品的全新的结构和工作机理, 实现阀门产品真正的升级换代。本文介绍的新研制的 S42F8 - DN25 型形状记忆合金 (SMA) 热静力型蒸汽疏水阀, 其主要是利用 SMA 材料做成的驱动元件与阀门结成一体, 用以控制阀门的启闭。该阀标识符号 S 表示疏水阀, 4 表示法兰连接, 2 表示 SMA 弹簧结构形式代号, F 表示密封面材料为聚四氟乙稀, 8 表示公称压力为 0.8MPa, DN25 表示公称通径是 25mm。该阀以 SMA 材料制成的驱动元件对温度有“记忆”能力, 利用蒸汽与凝结水温度的差异及时有效地开启或关闭疏水阀, 阀门动作迅速可靠, 对于节能增效有很好的作用。

#### 2 设计

根据 TiNi 形状记忆合金的热敏感性及驱动特性, 设计了 S42F8 - DN25 型 SMA 疏水阀 (图 1)。

疏水阀工作时, 其 SMA 弹簧腔内将积存凝结水。当腔内温度降至 SMA 的“记忆温度” $M_S$  以下时, SMA 弹簧的刚度降低, 阀瓣在偏压弹簧力的作用下开启, 凝结水通过阀瓣上的排放槽排出, 同时 SMA 弹簧被压缩。当系统中冷凝水排放完毕, 蒸汽 (或高于相变点  $A_S$  温度的凝结水) 进入 SMA 弹簧腔时, SMA 弹簧将迅速恢复其所记忆的初始形状, 并产生足够大的回复力使阀瓣关闭, 同时压缩偏压弹簧。只要 SMA 弹簧腔内介质的温度高于  $M_S$ , 阀门将始终保持关闭状态。当凝结水温度降至  $M_S$  以下时, 阀瓣将再次被开启, 排放凝结水, 如此反复循环<sup>[1]</sup>。

##### 2.1 阀体壁厚

根据阀门的总体设计、安装要求和材料工艺性能确定阀体的制造方法及结构形式。由于铸造的优点是通过铸件造型, 能达到所要求的几何形状, 而且流道的形状可少受重量方面的限制, 故阀体采用铸造的方法。对于用铸铁等脆性材料制造的阀体, 其壁厚按第一强度理论计算<sup>[2]</sup>。

基金项目: 甘肃省自然科学基金 (ZR - 96 - 033)。

作者简介: 黄玉琴 (1971 - ), 女, 甘肃省兰州人, 讲师, 从事阀门和通风空调的教学和科研工作。



$D_{MN}$ ——密封面内径 ( $D_{MN} = 34.7\text{mm}$ ),  
mm

$F_1$ ——介质对阀瓣的作用力 (可视为定  
值), N

$$F_1 = A_1 P_N = \frac{1}{4} 33.8^2 \times 0.8 = 717.5\text{N}$$

$A_1$ ——阀瓣端面有效面积 (取密封环中径  
 $D_{M2}$ 处的面积),  $\text{m}^2$

$P_N$ ——介质压力, MPa

由式 (2) 可知, 当蒸汽进入阀腔, 温度升高  
时, 若使阀门及时可靠地关闭, SMA 弹簧回复力  
须满足  $P_H F_2 - F_1 + k_B l_1$ 。

### (2) 阀门开启

取阀瓣为分析对象, 由于在工程中通常将凝  
结水回收, 则在疏水阀出口存在一定的背压, 此研  
究中不考虑背压, 即将凝结水排入大气。忽略轴向摩  
擦力及重力, 其受力状况如图 3 所示。根据静力学  
平衡定理可得

$$P_L + F_1 = k_B l_1 \quad (3)$$

式中  $P_L$ ——阀门开启瞬间 SMA 弹簧作用力, N

由式 (3) 可知, 当凝结水进入阀腔, 温度下  
降时, 要使阀门及时可靠地开启, SMA 弹簧回复  
力须满足  $P_L k_B l_1 - F_1$ 。

## 2.6 SMA 弹簧

弹簧采用表观设计法<sup>[4]</sup>。

### (1) 弹簧负载

设高温时载荷  $P_H$  和低温时载荷  $P_L$  的压缩量  
分别是  $l_H$  和  $l_L$ , 载荷和压缩值必须满足<sup>[5]</sup>

$$\frac{P_H}{l_H G_H} = \frac{P_L}{l_L G_L} \quad (4)$$

设  $l_L = 40\text{mm}$ ,  $l_H = 50\text{mm}$ , 可得  $P_H =$   
 $848.7\text{N}$ ,  $P_L = 369\text{N}$ ,  $k_B = 27.1\text{N/mm}$ 。

### (2) 低温状态下剪切应变

弹簧最大剪切应变  $\gamma_{\max}$  取决于载荷循环次数。  
要求循环寿命越长,  $\gamma_{\max}$  越小。当循环寿命取  $10^6$   
时,  $\gamma_{\max} = 0.8\%$ 。当循环寿命取  $10^5$  时,  $\gamma_{\max} =$   
 $1.5\%$ 。由于低温状态下, SMA 弹簧的剪切弹性模  
量较小, 同样载荷下, 此时的应变较大, 因此一般  
取  $\gamma_L = \gamma_{\max} = 1.5\%$ 。

### (3) 高温状态时的剪切应变和剪切应力

剪切应变与载荷  $P$  成正比, 与剪切弹性模量  
 $G$  成反比, 故高温状态时的剪切应变  $\gamma_H$  为

$$\begin{aligned} \gamma_H &= \frac{P_H G_L}{P_L G_H} \gamma_L \\ &= \frac{848.7 \times 11.3}{369 \times 31.2} \times 0.015 \\ &= 0.0125 \\ &= 1.25\% \end{aligned}$$

高温状态时的剪切应力  $\tau_H$  为

$$\tau_H = \gamma_H G_H = 0.0125 \times 31.2 = 0.39\text{GPa}$$

### (4) 弹性指数及应力修正系数

弹性指数  $C$  为

$$C = \frac{D}{d} \quad (5)$$

式中  $D$ ——SMA 弹簧中径, mm

$d$ ——SMA 弹簧丝直径, mm

一般取  $C = 4 \sim 16$ , 常用范围  $5 \sim 8$ , 选取弹性  
指数  $C = 5$ 。采用 Wahl 公式求得应力修正系数  $K$

$$\begin{aligned} K &= \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} = \frac{4 \times 5 - 1}{4 \times 5 - 4} + \frac{0.615}{5} \\ &= 1.31 \end{aligned}$$

### (5) 几何参数

根据公式  $\tau_H = \frac{8 P_H D}{G_H d^3}$  得

$$\gamma_H = \frac{\tau_H}{G_H} = K \frac{8 P_H D}{G_H d^3} \quad (6)$$

则弹簧丝直径  $d$  为

$$\begin{aligned} d &= \sqrt[3]{\frac{8 K P_H C}{\gamma_H}} \\ &= \sqrt[3]{\frac{8 \times 1.31 \times 848.7 \times 5}{3.14 \times 0.39 \times 10^9}} \\ &= 6.03 \times 10^{-3}\text{m} \end{aligned}$$

取  $d = 6.5\text{mm}$ 。弹簧中径  $D$  为

$$D = C d = 5 \times 6.5 = 32.5\text{mm}$$

根据位移 - 剪切应变  $\gamma = \frac{d S}{n D^2}$ , 将 SMA 弹簧  
工作行程  $S$  及高温和低温的剪切应变之差  $\gamma_H - \gamma_L$  代入,  
得弹簧有效圈数  $n$  为

$$\begin{aligned} n &= \frac{d S}{D^2 (\gamma_H - \gamma_L)} \\ &= \frac{6.5 \times 10}{3.14 (0.015 - 0.0125) 32.5^2} = 7.84 \end{aligned}$$

取  $n = 9$ 。

## 2.7 偏压弹簧

根据受力分析, 由 GB/T 2089 - 1994 可查得  
偏压弹簧的参数<sup>[6]</sup>。弹簧丝直径  $d = 2\text{mm}$ , 弹簧  
中径  $D = 18\text{mm}$ , 许用应力  $\sigma_p = 735\text{MPa}$ , 弹簧刚  
度  $27.1\text{N/mm}$ , 试验载荷  $F_s = 128.3\text{N}$ , 一圈弹簧

(下转第 7 页)

$M_1$  —— 阀杆与阀杆螺母之间的摩擦力矩，  
N·mm

$R_M$  —— 开启状态螺纹摩擦半径，mm  
—— 开启状态螺纹当量摩擦角

$f_L$  —— 开启状态螺纹摩擦系数 ( $f_L = f_L + 0.1$ )

$M_2$  —— 轴承的摩擦力矩，N·mm

$M_3$  —— 阀杆与填料的摩擦力矩，N·mm

需要说明的是阀杆是以单头梯形螺纹、阀杆螺母带轴承结构为研究对象。若为多头梯形螺纹阀

杆，则式中的螺距  $L$  为导程。若阀杆螺母不加轴承，则式中的轴承摩擦系数为阀杆螺母与其接触面的摩擦系数，轴承的外圆直径与内圆直径为阀杆螺母与支架的摩擦接触面内外径。若阀杆为光杆不带阀杆螺母，则， $M_2 = 0$ ， $M_3 = 0$

## 6 数据对比

通过理论计算数据与实测数据的对比 (表 1) 可以看出，理论计算数据与实测结果具有较好的吻合性，能够应用本理论进行楔式弹性闸板闸阀的设计计算和校核。

表 1 理论计算数据与实测数据的对比

公称压力 PN/MPa	公称尺寸 DN/mm	设计压力 MPa	关闭时最大 推力计算值 kN	开启时最大 推力计算值 kN	关闭时最大 扭矩计算值 N·m	开启时最大 扭矩计算值 N·m	实测最大 推力 kN	实测最大 扭矩 N·m
20	250	1.96	38.08	42.86	194.82	200.54	44	220
20	300	1.96	53.44	61.47	292.83	293.31	60	300
20	350	1.96	63.98	75.35	378.05	405.54	70	400
20	400	1.96	82.55	98.58	492.08	546.49	90	550
20	450	1.96	105.11	126.02	687.65	749.2	110	750
20	500	1.96	128.67	155.58	856.99	960.32	132	1000

## 7 结语

本文所推导出的楔式弹性闸板闸阀在关闭时与开启时的最大推力及最大扭矩计算式已在设计中得到应用，本理论计算数据与实测结果具有很好的吻合性，在闸阀主要部件的设计、校核及驱动装置的选择中起到重要的作用。

## 参 考 文 献

- [1] 陆培文. 实用阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [2] 成大先. 机械设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [3] 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.

(收稿日期: 2007.06.06)

(上接第 3 页)

的试验变形量  $f_{sd} = 4.74$ mm。根据最大压缩量  $l_1 = 40$ mm，可计算有效圈数  $n$  为

$$n = \frac{l_1}{f_{sd}} = \frac{40}{4.74} = 8.4$$

取  $n = 9$ 。

## 3 结语

以新型记忆合金为驱动元件的疏水阀具有很多优点。结构新颖，变形量大，变形力大，动作可靠，可实现大排量工作。SMA 弹簧和介质压力共同作用于锥形密封面上，使密封力得到较大的提高，密封更加可靠。可以自动排放管路系统中的不凝性气体，无需另行设置专门的机构。可以实现较大的过冷度，使凝结水的显热也能在系统中得到充分的利用。可以立式或卧式安装，增加了疏水阀的适用性。

S42F8 - DN25 型 SMA 疏水阀是一种新型热静力型蒸汽疏水阀，其实际性能还需要进一步试验确

定，但是这种疏水阀对解决用户面临的高压力、大排量等高参数的疏水问题具有很大的潜力，同时可以有效地减小蒸汽的泄漏量，有利于工程系统的节能和提高热效率。

## 参 考 文 献

- [1] 何世权, 杜兆年, 俞树荣, 等. SMA 应用阻汽排水装置的研究 [J]. 流体机械, 2001, 29 (9): 37 - 39.
- [2] 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [3] 阀门实用技术手册 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1992.
- [4] 王金辉, 徐峰, 阎绍泽, 等. SMA 弹簧驱动器驱动机理及实验 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2003, 43 (2): 188 - 191.
- [5] 舟久保康康. SMA [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [6] 张英会, 刘辉航, 王德成. 弹簧手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [7] GB 12232 - 1989, 法兰连接铁制闸阀 [S].
- [8] GB 12250 - 2005, 蒸汽疏水阀结构长度 [S].
- [9] GB 4216.4 - 1984, 整体铸铁管法兰 [S].
- [10] GB 2089 - 1994, 圆柱螺旋弹簧尺寸与参数 [S].

(收稿日期: 2007.06.06)