

# 粉煤气化粉煤输送单元阀门应用及改进

路文学<sup>1</sup>, 龚欣<sup>1</sup>, 刘珂<sup>2</sup>

(1. 华东理工大学资源与环境学院, 上海 200237;

2. 水煤浆气化及煤化工国家工程研究中心, 山东 滕州 277527)

**摘要:** 针对粉煤气化粉煤输送单元阀门经常出现内漏和卡涩的现象, 分析了阀门发生故障的原因和机理, 提出一些特种阀门的结构形式并加以应用。中试装置3年的运行情况表明, 通过对球阀的改造和采用新型结构阀门, 有效地降低了故障发生的频率, 保证了粉煤气化粉煤输送单元的长周期运行。

**关键词:** 硬密封球阀; 文丘里角阀; 盘阀; 内漏

**中图分类号:** TP214

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2011)11-0068-05

## Application and modification of pulverized coal transportation element in pulverized coal gasification unit

LU Wen-xue<sup>1</sup>, GONG Xin<sup>1</sup>, LIU Ke<sup>2</sup>

(1. School of Resources and Environmental Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China; 2. National Engineering Research Center for Coal Slurry Gasification and Coal Chemicals, Tengzhou 277527, China)

**Abstract:** According to frequent phenomena of internal leakage and jamming in valves of conveying unit of pulverized coal gasification system, some special structure forms of valves are proposed and applied through analyzing causes and mechanism of valves faults. Experimental results show that the faults are effectively reduced by remolding ball valve and adopting new valve structure, which ensures a long period running of conveying unit of pulverized coal gasification system.

**Key words:** hard sealing ball valve; venturi angle valve; poppet valve; internal leakage

兖矿集团、华东理工大学、中国天辰工程公司共同承担国家高技术研究发展计划(“863”计划)项目(2008AA050301)“高灰熔点煤加压气流床气化”, 以兖矿开阳化工有限公司年产50万t合成氨项目为依托, 在贵州开阳建设日处理煤1000t级粉煤加压气化示范装置, 实施高灰熔点煤的气流床粉煤加压气化技术工业化示范。“高灰熔点煤加压气流床气化”项目包括实验室研究、中试研究和工业化示范3部分内容。其中, 中试研究建设了1套日处理30t煤水冷壁粉煤加压气化装置, 进行气化炉开发实验, 完成了北宿煤、鲍店煤、南屯煤和贵州田坝煤4个煤种和1个混配煤种的试烧任务, 完成了工业规模大管径煤粉输送实验工作。工业示范装置包括粉煤制备、粉煤供料与输送、气化框架和渣水处理4个工段。

针对粉煤气化粉煤输送单元经常出现故障, 兖矿集团、华东理工大学、中国天辰工程公司联合攻

关, 分析了阀门发生故障的原因和机理, 联合有关厂家试制出一些特殊结构的阀门, 在水煤浆气化及煤化工国家工程研究中心中试装置上进行应用。实验表明, 通过对球阀的改造和采用新型结构的阀门, 有效地降低了故障发生的频率, 保证了粉煤气化煤粉输送单元的长周期运行。

## 1 粉煤气化煤粉输送单元简介

煤粉输送是将煤粉由常压煤粉储仓经粉煤锁斗输送至粉煤发料罐的过程, 一般采用煤粉锁斗变压(0~4.6 MPa)操作形式, 将粉煤分批次地从常压粉煤仓送至恒压(4.6 MPa)粉煤发料罐中。

### 1.1 中试装置煤粉输送

在中试装置(图1)中, 煤粉锁斗采用单系列, 即1个煤粉储料罐、1个煤粉锁斗、1个煤粉发料罐, 设备间通过阀门进行控制, 图1为煤粉输送单元集散控制系统(DCS)控制画面。

收稿日期: 2011-05-25

基金项目: 国家“863”计划项目(2008AA050301); 兖矿集团2008年科技研发项目(08-27)

作者简介: 路文学(1974-), 男, 博士生, 高级工程师, 从事煤气化及煤化工开发工作, 0632-2362727, luwenxue@sina.com; 龚欣(1959-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事气流床煤气化过程与技术研究开发, 通讯联系人, 021-64252521, gongxin@ecust.edu.cn。

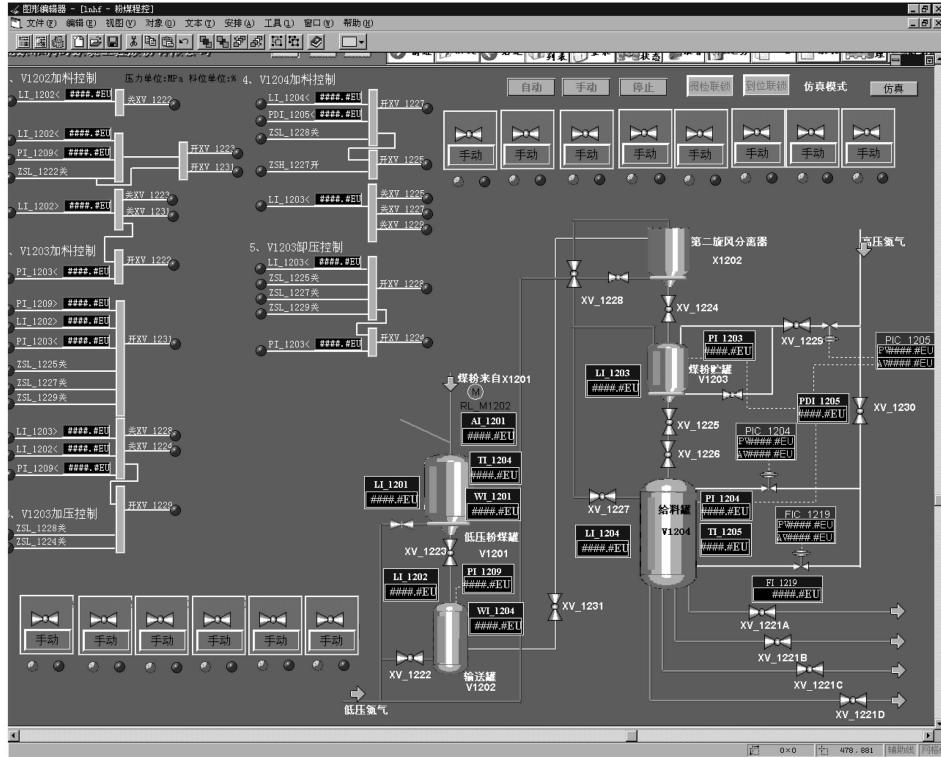
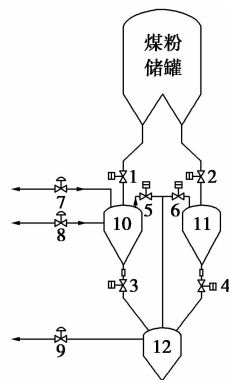


图 1 中试装置煤粉程控示意图

### 1.2 工业示范装置煤粉输送

煤粉输送单元示意图见图 2。



- 1,2,3,4—煤粉切断阀;5,6—平衡阀;7—锁斗压力调节阀;
- 8—锁斗冲压/放空阀;9—发料罐放空阀;10—煤锁斗 A;
- 11—煤锁斗 B;12—发料罐

图 2 煤粉输送单元示意图

工业示范装置煤粉输送系统包含 2 套锁斗系统,由 1 套顺控逻辑自动控制系统控制,2 套锁斗交替运行,每个锁斗的循环周期约 30 min。单个锁斗的运行过程共分 5 步,下面以 A 系列锁斗运行举例说明。

第 1 步:锁斗受料。按程序打开粉煤锁斗受料阀 1,锁斗开始受料,待锁斗料位达到高料位要求时,关闭锁斗受料阀 1,粉煤锁斗受料完毕。

第 2 步:充压。打开锁斗充压阀 8 对锁斗进行充压,待锁斗压力达到要求后,关闭锁斗充压阀 8,锁斗充压结束。

第 3 步:锁斗等待。将锁斗压力调节阀 7 投入自动调节,保持罐压等待下料。

第 4 步:锁斗下料。打开粉煤锁斗下料阀 3、平衡阀 5 开始下料,待锁斗料位开关低报警时,关闭

(上接第 67 页)

[4] 吕术森,陈雪莉,于广锁.应用电导探针测定鼓泡塔内气泡参数[J]. 化学反应工程与工艺,2003,19(4):344-351.

[5] 王丽雅,庄华洁,宋景祯,等.高气速下鼓泡塔内气含率分布的测定[J]. 化学反应工程与工艺,2006,2(1):1-6.

[6] Rampure M R, Kulkarni A A, Ranade V V. Hydrodynamics of bubble column reactors at high gas velocity: Experiments and computational fluid dynamics (CFD) simulations[J]. Ind Eng Chem Res, 2007,46(25):8431-8447.

[7] Kang Y, Cho Y J, Woo K J, et al. Bubble properties and pressure fluctuations in pressurized bubble columns [J]. Chem Eng Sci,

2000,55(2):411-419.

[8] Son S M, Kang S H, Kim U Y, et al. Bubble properties in three-phase inverse fluidized beds with viscous liquid medium[J]. Chem Eng and Proc, 2007,46(8):736-741.

[9] Van Der Welle R. Void fraction, bubble velocity and bubble size in two-phase flow [J]. Int J Multiphase Flow, 1985, 11(3):317-345.

[10] 张炎,黄为民.气泡大小对反应器内氧传递系数的影响[J]. 应用化工,2005,12(12):734-740.

[11] 冯诺,李化茂.声化学及其应用[M].合肥:安徽科学技术出版社,1992. ■

锁斗下料阀 3、平衡阀 5,锁斗下料结束。

第 5 步:锁斗泻压。打开锁斗放空阀 8,将锁斗分级泻压至常压,锁斗泻压结束。

至此 A 锁斗完成了 1 个循环周期。

## 2 阀门操作条件及选型

### 2.1 粉煤切断阀

#### 2.1.1 操作条件

操作介质为煤粉和氮气,介质质量浓度为  $200 \sim 600 \text{ kg/m}^3$ ,煤粉的粒度为 90% 小于  $60 \mu\text{m}$ ,100% 小于  $90 \mu\text{m}$ 。

操作温度  $60 \sim 100^\circ\text{C}$ ,操作压力  $0.05 \sim 5.0 \text{ MPa}$ ,阀门的最大承压  $5.0 \text{ MPa}$ ,开启和关闭时差压为  $0.3 \text{ MPa}$  左右,正常运行时开关频率为 40 次/d。

#### 2.1.2 阀门的选型

针对该部分阀门的操作条件,考虑到煤粉的黏附和磨蚀特性,粉煤气化中试装置设计中采用的是金属硬密封球阀。

阀体形式为球阀(固定球)。阀体材质为碳钢,阀体与介质接触部分覆盖焊 Duplex SS SAF-2205,机械加工后双相钢厚度  $\geq 3 \text{ mm}$ 。阀球材质为 Duplex SS SAF-2205,堆焊司太莱合金 SF-20,机械加工后司太莱合金涂层厚度  $\geq 0.6 \text{ mm}$ 。阀座材质为 Duplex SS SAF-2205,阀门采用防火防静电处理,阀座采用刮刀设计。填料材质为柔性石墨。阀门泄漏等级为 ANSI B16.104 Class VI,阀门耐压  $5.0 \text{ MPa}$ 。

### 2.2 粉煤锁斗放空及平衡气管线上的阀门

#### 2.2.1 操作条件

操作介质为放空氮气夹带少量煤粉,正常工况为  $0.1 \text{ kg(煤粉)/m}^3$ (放空氮气),介质流速较高(最高时为超音速)。

操作温度  $60 \sim 100^\circ\text{C}$ ,操作压力  $4.0 \sim 5.0 \text{ MPa}$ ,阀门的最大承压  $5.0 \text{ MPa}$ ,正常运行时阀 8 前后差压为  $4.0 \sim 5.0 \text{ MPa}$ ,阀 5、6 前后差压为  $2.0 \sim 2.5 \text{ MPa}$ 。

#### 2.2.2 阀门的选型

粉煤气化中试装置设计中采用金属硬密封球阀。

阀体形式为球阀(固定球)。阀体材质为碳钢,阀体与介质接触部分覆盖焊 Duplex SS SAF-2205,机械加工后双相钢厚度  $\geq 3 \text{ mm}$ 。阀球材质为 Duplex SS SAF-2205,并堆焊司太莱合金 SF-20,机械加工后司太莱合金涂层厚度  $\geq 0.6 \text{ mm}$ 。阀座材质为 Duplex SS SAF-2205,阀门采用防火防静电处理,

阀座采用刮刀设计。填料材质为柔性石墨。阀门泄漏等级为 ANSI B16.104 Class VI,阀门耐压  $5.0 \text{ MPa}$ 。

### 2.3 粉煤锁斗和发料罐压力放空调节阀

#### 2.3.1 操作条件

操作介质为氮气夹带少量煤粉,正常工况为  $0.1 \text{ kg(煤粉)/m}^3$ (放空气),介质流速较高(最高时为超音速),煤粉的粒度为 90% 小于  $60 \mu\text{m}$ ,100% 小于  $90 \mu\text{m}$ 。

操作温度  $60 \sim 100^\circ\text{C}$ ,操作压力  $4.0 \sim 5.0 \text{ MPa}$ ,阀门的最大承压  $5.0 \text{ MPa}$ ,正常运行时阀门前后差压为  $4.0 \sim 5.0 \text{ MPa}$ 。

#### 2.3.2 阀门的选型

该部分阀门的操作条件特殊,即气体夹带少量煤粉高速流过阀门,对阀门的磨损较为严重,在粉煤气化中试装置中采用的是金属硬密封的单座调节阀。

阀体形式为单座,阀门采用防火防静电处理。阀座形式为金属硬密封。阀体材质为 ASTM A216 WCB。阀芯材质为 ASTM A182 316/司太莱合金。填料材质为 PTFE。阀座材质为 ASTM A182 316/司太莱合金。阀门泄漏等级为 ANSI B16.104 Class IV。

## 3 阀门故障及原因分析

### 3.1 常见问题

作为消耗品的特种阀,由于价格、性能、服务和供货周期等方面的原因,产品需要实现国产化<sup>[1]</sup>。目前国产的金属硬密封锁渣阀已成功应用在水煤浆气化装置的渣水锁斗上,并已逐步取代了进口阀门。但从粉煤气化装置的运行情况来看,国产阀门使用效果不理想。

粉煤气化煤粉输送单元阀门操作条件恶劣,阀门动作频繁,在运行中阀门故障率较高,使用寿命较短,已经成为制约粉煤气化装置长周期运行的重要因素<sup>[2]</sup>。煤粉切断阀采用的是金属硬密封球阀,球阀出现了卡涩和憋压的现象;锁斗罐和发料罐的压力放空调节阀则因介质流速较高,阀门极易磨损;国产球阀与调节阀均逐渐出现了内漏现象。

### 3.2 原因分析

#### 3.2.1 阀门内漏原因分析

在工业生产中,阀门内泄漏的产生主要有 2 个原因:一是密封面硬质合金之间的黏结;二是介质对密封面的冲刷<sup>[3]</sup>,大部分的阀门内泄漏都是这 2 个

因素共同作用的结果<sup>[4]</sup>。

### (1) 粉煤切断球阀

通过对金属硬密封球阀进行拆检,发现球阀与密封面之间有煤粉黏结并形成了微焊现象,经过长期的阀门开关运行后,黏结的煤粉就会逐渐撕裂破坏阀门密封面上的硬质合金涂层,阀门就会出现微漏。当阀门出现微漏后,由于阀门在关闭时的最大差压为4.5~5.0 MPa,泄露的部分便会有气流夹带煤粉高速流过,对阀门的密封面又一次产生了强烈的冲刷与磨蚀,阀门的密封面最终因磨蚀、冲刷和黏结的煤粉造成内泄漏与失效。这种情况在粉煤锁斗进料与出料阀门上表现得比较突出。

实践证明,解决密封面硬质合金之间的黏结问题应从2个方向入手,一是选用合适的密封面材料,密封面的涂层材料并非越硬越好,应筛选适合工艺介质的密封面材料;二是要采用合理的密封面结构<sup>[1]</sup>,避免情况恶化。

### (2) 粉煤锁斗放空及均压气管线上的阀门

粉煤锁斗泄压放空阀和粉煤锁斗均压阀这2部分硬密封球阀在拆检时发现,阀门唇口处的球体和密封面有严重的磨蚀痕迹,长期使用后,密封面将因磨蚀而逐渐积累,最终导致阀门失效。经分析,此处的阀门由于阀门前后差压大,在阀门开启的瞬间气流夹带少量煤粉( $0.1 \text{ kg/m}^3$ )高速地流过阀门,如图3所示,阀门唇口处的球体和密封面磨损较为严重,最终导致阀门内漏。对故障球阀进行拆检发现,故障球阀的球体磨蚀严重,在球体和主密封面上由于冲刷形成了很多光滑的凹槽,球体的完整性遭到了破坏。

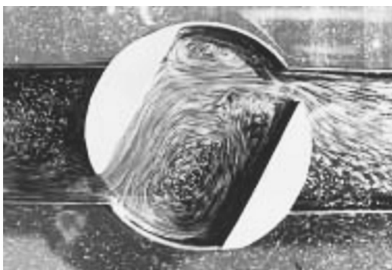


图3 球阀开启瞬间

### (3) 粉煤锁斗和发料罐压力放空调节阀

粉煤锁斗与发料罐压力调节阀最初使用的是单座金属硬密封调节阀,在运行了3个月后便出现了较为严重的内漏现象,此处阀门的内漏早在意料之中,因为压力调节阀在正常运行时前后差压在4.4~4.6 MPa,阀前的压力为系统压力,阀后则接近

常压,气体夹带着煤粉( $0.05 \sim 0.1 \text{ kg/m}^3$ )高速流过阀门,虽然阀门的密封采用的是堆焊硬质合金,但也无法承受粉煤颗粒长时间高速冲刷。因此解决问题的根本是重新选择较为理想的阀门结构。

### 3.2.2 卡涩与憋压原因分析

根据中国石化集团宁波技术研究院章晨晖等人<sup>[3]</sup>的观点,粉煤锁斗阀的卡涩现象主要与双球阀串联造成的憋压有关。粉煤锁斗下料阀为串联球阀,装置中使用的是固定球阀,当煤粉下料结束后锁斗开始泄压。在泄压过程中锁斗阀在下游压力的作用下,下游阀座向上抬起与球体紧密结合形成有效密封。如果下阀座与球体的密封存在泄漏的情况,双阀之间的压力会很快降低,与锁斗内压力达到平衡。在锁斗泄压和锁斗受料结束后,锁斗开始升压,在升压时球阀的上阀座在阀门上游的压力作用下与球体紧密接触形成有效密封,此时阀门的前后就形成了较高的差压,当锁斗开始下料时锁斗阀要执行开阀的动作,此时球阀前后的差压已达到4.0 MPa左右,远远高于设计时的阀门开启差压0.3 MPa,直接导致阀门卡死无法开启。

这种卡涩憋压的现象还存在于阀1和阀2的串联球阀之间。同样的机理,在浮动球阀的串联阀门之间也同样存在这种现象。

## 4 解决方案

根据相关粉煤气化厂家锁斗阀的使用经验,锁斗阀应满足以下几个条件<sup>[1]</sup>:

(1) 球体和阀座密封面一般喷焊镍基合金,要求加工后的厚度不低于0.5 mm,硬度HRC 58~60。对于超音速喷涂工艺,由于喷涂层和基体为机械结合,应慎用。

(2) 阀座应设刮扫刃,防止附着在球面上的粉体嵌入密封面。

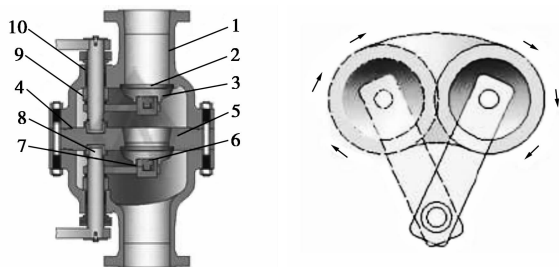
(3) 阀体流道应做耐磨处理。

(4) 阀杆与轴套之间应防止煤粉进入,阀座与阀体之间的弹簧腔应防止固体进入。

按照上述原则,在前面的分析结果来看,造成上述阀门出现故障的原因,也不单单是材质上的问题,有些阀门单纯地考虑使用更加耐磨的硬质合金,已经无法解决故障的根本问题,必须采用针对特定工况设计的特种结构阀门。经过与国内一些技术研发能力较强的阀门制造厂家共同努力,对主要阀门的结构形式进行了调整,在中试装置上进行应用。实验证明,以上问题已得到解决。

#### 4.1 粉煤锁斗受料阀和出料阀

因为此处管径较大,阀门开启时前后差压较小,因此选用了一种新型的国产平面密封阀门——双盘阀,1个双盘阀替代2个硬密封球阀。这种阀在国内硅化工粉料处理系统中已经得到了广泛的应用,并已经应用到了SGCP粉煤气化装置中。从硅化工行业的使用情况来看,该阀的免维护时间已超过了进口球阀。其结构及原理如图4所示。



(a) 双盘阀 (b) 作用原理

1—阀体;2—阀座;3—阀盘;4—密封垫;5—中法兰;  
6—弹簧座;7—弹簧;8—阀杆;9—轴套;10—填料

图4 双盘阀结构及原理

盘阀的密封面借助弹簧与阀座紧密结合,弹簧的弹力迫使阀盘始终紧密贴合在阀座密封面上,同时又允许阀盘在密封面的垂直方向上有微小的移动,借此来补偿阀门零件由于热胀冷缩而引起的变形和多次开关后的微量磨损。克服背压变化对密封的影响,并能防止颗粒介质进入密封面。盘阀的密封阀盘在运动时不仅是主轴的转动,同时阀盘还会因摩擦力自转,因此阀盘与物料的接触点每次都不同,阀门密封面的磨损是均匀的,同时阀盘在转动时与密封面又形成了自研磨,对于密封面起到了良好的补偿效果。且阀盘的自清洁刮刀经实际应用验证,清洁功能较为理想,减少了煤粉在密封面上的黏结,同时在阀腔设置吹扫口,以此来减少煤粉在阀腔内的堆积。

#### 4.2 粉煤锁斗均压气管线上的阀门

这部分阀门仍然使用金属硬密封球阀。过去使用的球阀虽然进行了硬化处理,但硬质合金仅有1~2 mm厚。参考实际应用经验,经与重庆市白市驿锻制阀门研究所共同研究,在阀球的唇口处堆焊20 mm左右的司太莱合金,堆焊后再喷焊硬质合金,这样做的好处是唇口处的密封面有磨损时,只是磨损了喷焊层和硬质合金,大大地延长了阀门的使用寿命,避免了唇口处因磨损很快露出阀体基材的弊病。

根据有关工厂的使用经验,可以在阀门外部设置吹扫管线,对阀门进行清扫,但在吹扫时应避免吹扫气流速太高,气流夹带煤粉高速冲刷球心,可以考虑气吹扫口法兰处加装孔板以降低吹扫气流速<sup>[5]</sup>。

#### 4.3 粉煤锁斗放空阀、粉煤锁斗和发料罐压力放空调节阀

这些阀门的使用工况比较恶劣,阀门前后差压为4.4 MPa左右,气体夹带着煤粉,以超音速的高速流过阀门,对阀门的磨损最为严重。通过与上海大通自控设备厂多次论证,选用了国产的文丘里角阀。国内高压角阀的产品质量已达到进口产品的水平,已成功地应用到气化装置渣水工况中,其结构特点为高耐磨特性,阀内设置了消力盲管结构,当气体夹带着少量煤粉(0.05~0.1 kg/m<sup>3</sup>)高速地流经阀门时在消力盲管中消力池的作用下,流速减缓并化解了煤粉对阀门的撞击和磨蚀。

#### 4.4 应用效果

水煤浆气化及煤化工国家工程研究中心日处理30 t煤中试装置煤粉输送系统按照上述解决方案进行了改造,目前已运行3年,有效地提高了锁斗系统的运行水平,实际使用效果证实了改造方案的可靠性、有效性。

## 5 结语

通过对粉煤输送系统各种阀门的改造,延长了阀门的使用周期和免维护周期,减少了阀门故障频率,通过中试装置3年的运行验证,表明对阀门的改造是成功有效的,同时也证明了国内厂家有能力依靠自己的专有技术,打破国外阀门在煤化工领域的垄断格局,最终实现煤化工装置阀门的国产化。

## 参考文献

- [1] 王渭,明友.壳牌粉煤气化装置用阀结构类型与特性的分析[J].阀门,2010,(6):22-24.
- [2] Christopher H, Maarten V. Gasification[M]. 2nd edition. Gulf Professional Publishing: Elsevier, 2007: 195-199.
- [3] 章晨晖,刘欣,邓长松.粉煤锁斗阀故障原因分析及解决方案[J].自动化仪表,2010,31(7):47-50.
- [4] 杜兆年.阀门设计手册[M].兰州:甘肃工业大学出版社,1999: 9-11.
- [5] 张来.孔板技术在航天炉中的应用[J].小氮肥,2010,38(10): 24-25. ■