

文章编号: 1002-5855 (2007) 06-0041-04

阀门故障分析及其分类

黄燕¹, 周密¹, 黄卫星¹, 李晓钟², 罗志远²

(1. 四川大学 化学工程学院, 四川 成都 610065; 2. 中国核动力研究设计院, 四川 成都 610041)

摘要 探讨了根据阀门故障的发生特点、影响程度和起因对阀门故障分类的方法。按照机械产品故障模式特点对阀门常见故障模式进行分类, 是一种切实可行的综合分类方法。应用该分类法, 对特定类型阀门——安全阀的主要故障现象进行了分析和分类。

关键词 阀门; 故障分类; 故障模式

中图分类号: TH134 文献标识码: A

The valve failure analysis and classification

HUANG Yan¹, ZHOU Mi¹, HUANG Wei-xing¹, LI Xiao-zhong², LUO Zhi-yuan²

(1. College of Chemical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Nuclear Power Institute of China, Chengdu 610041, China)

Abstract: The classification methods of valve failure was discussed based on the occurrence characteristics, the effect degree and the cause. The comprehensive classification method according to the failure mode of machinery products is more feasible. This classification method was applied to one of the specified valves, i. e. safety valve to failure phenomenon analysis and classification.

Key words: valve; failure classification; failure mode

1 概述

目前工业上用的阀门种类繁多, 数量庞大。在装置运行过程中, 由于阀门故障引起的事故占很大比例。为了便于分析和统计阀门的故障模式, 将阀门常见故障模式进行合理的分类整理是十分必要的。本文介绍了阀门故障的四种不同分类方法, 选择按照通用机械产品故障模式特点对阀门常见的故障进行分析及分类, 归纳得到阀门的故障模式表, 并以安全阀为特例, 利用此分类法对安全阀的主要故障模式和故障类别进行了分析。

2 机械产品故障的预防和纠正

故障分析是指对已经发生故障或可能发生故障的产品及其组成结构进行逻辑系统的研究, 鉴别其故障模式, 确定故障原因和失效机理, 以及评估分析该故障模式对系统产生的影响^[1,2]。

故障分析分为事前分析和事后分析。事前分析主要采用逻辑思维方法, 例如进行可靠度计算、故障模式影响及危害分析、故障树分析、可靠性评审

等, 主要目的是预防故障事件的发生。事后分析是指应用传统的故障分析技术, 产品在试验或使用阶段发生故障后, 找出故障原因和分析故障机理, 是常用的故障分析技术。预防和纠正故障是进行机械可靠性设计的主要任务, 通过故障分析可以为积极预防故障找到有效的途径, 减少和预防产品同类故障的发生, 同时积累可靠性工程经验, 为可靠性工程提供必要的基础, 也为修订产品技术规范及标准提供依据^[3], 从而提高设备运行和使用的可靠性。

随着科学和工业的不断向前发展, 特别是在航空、航天、航海、国防军工等领域, 对机械产品的安全可靠要求越来越高, 加上机械产品日趋复杂化, 其发生故障或失效所造成的损失也越来越大。机械产品的故障模式和影响因素复杂多样, 因此有必要系统地研究分析机械产品的故障。关于阀门方面的故障研究, 仅有一些结合工程实际问题所做的单一故障分析。而没有具体的分类整理。

一些机械行业通过故障分析, 编制了故障模式

作者简介: 黄燕 (1982 -), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 从事阀门的可靠性设计与分析研究。

表。如中国汽车工业总公司发布了 QC/T 34 - 92 《汽车的故障模式及分类》。通过研究现役装甲车辆装备使用的可靠性，编制了装甲车辆的故障模式表^[1]。在 ANSI/IEEE Std500 - 1984 《用于泵和驱动装置，阀门驱动装置和阀门的可靠性数据》中，编写了泵和阀门的能动件故障模式表以及非能动件故障模式表。本文结合阀门故障的分类方法，将其分散的故障模式进行统一的分析和分类，为阀门的可靠性设计及分析提供参考。

3 阀门故障分类方法

阀门在某段工作时间内连续地保持并完成给定的功能要求，使给定参数值维持在所规定的范围内的这种性能被称为无故障性，当阀门的这种性能受到破坏就会产生故障。阀门故障的分类主要根据故障出现特点、故障影响程度、故障起因和机械产品故障模式特点等进行（图 1）。

3.1 故障特点

出现故障时有突然故障与渐进故障两种形式。

突然故障的特点是一种或几种给定的工作参数发生了阶跃式的变化。属于此类的具体故障模式有阀瓣与阀座粘结、电路接触受到破坏、隔膜受到破坏、阀瓣不能密封、阀瓣驱动机构或阀瓣被楔住等。

渐进故障的特点是一种或几种给定参数发生逐渐的变化。具体故障模式有介质通过填料、阀体与

阀盖法兰间和管道与阀体连接法兰间产生泄漏，由于磨损、腐蚀或形成水垢而在关闭件上产生泄漏，由于阀瓣的浸蚀性磨损使调节阀水力特性改变，磨蚀性液流对阀体的磨损，零件的磨蚀性损耗，阀杆螺母或阀杆螺纹的磨损等。

3.2 故障影响程度

故障对系统运行的影响存在差异，有的严重，有的轻微。

严重故障发生后，阀门将停止运行。具体故障模式有壳体零件（如阀盖、外壳、楔块等）、阀瓣的驱动零件（如阀杆、阀杆螺母和齿轮等）、波纹管 and 紧固件（阀体和阀盖连接的螺栓）等受到破坏。

轻微故障发生后，阀门按功能要求还能继续使用，只是功效降低了。例如，通过重新拧紧螺母可以消除的填料泄漏和垫片连接处泄漏的故障，不需要从管道上卸下阀门就可以消除的故障，不需要拆除电气设备就可以消除的电路接触故障，及时发现并在不需要拆装电气设备就可以消除的信号系统故障等。

根据故障特点和影响程度分类在很大程度上是假定性的，对可修复类阀门和不可修复类阀门来讲，同一故障模式也可能属于不同的故障类别，所以对于不同的阀门，故障模式不具有统一性。

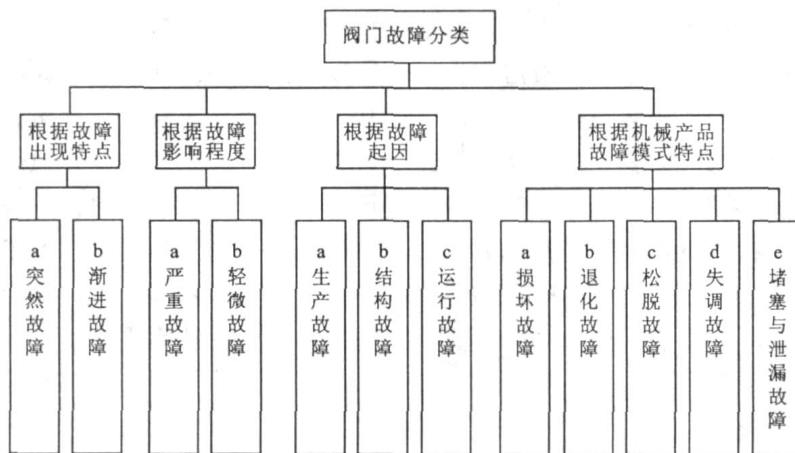


图 1 阀门故障分类方法

3.3 故障起因

根据阀门故障起因的特点，可分为生产性故障、结构性故障和运行性故障^[4]。生产性故障是因为没有遵守阀门所规定的生产和检修程序造成的，结构性故障是由于阀门的设计存在问题造成的，运行故障是没有遵守阀门所规定的运行条件和

相关规程。

引起阀门故障的原因很多，其部件的故障可能是独立故障，也可能是因为其他部件故障引起的从属故障。所以故障原因的划分不能完全独立和简单地考虑。

3.4 机械产品故障模式特点

由于各种阀门结构和功能的不同,划分类别较多,对不同工况下的不同类型阀门来讲,其故障模式和故障原因也有所不同,但阀门的零部件故障模式却是具有相似性的。按照机械产品故障模式特点,阀门的故障模式主要归纳为损坏型、退化型、

松脱型、失调型和堵塞与泄漏型故障模式。

4 阀门主要故障分析

采用机械产品故障模式特点的分类方法对阀门故障主要形式进行分析(表1)。

表1 阀门故障模式

类别	故障模式	故障分析	故障举例
损坏型	断裂	阀门零件在外力或内应力作用下断开	轴类、杆类、支架、弹簧等的断裂
	碎裂	阀门零件在外力的作用下 超过强度极限而被破坏形成碎块	轴承、缸套等的碎裂
	开裂	阀门零件因强度不够,裂开可见的缝隙	橡胶件的开裂
	裂纹	阀门零件表面或内层产生细微纹路	轴类、杆类、支架等的裂纹
	塑性变形	阀门零件的许用应力超过弹性极限而产生永久变形	轴类、杆类、弹簧等的塑性变形
	点蚀	阀门零件表面在循环变化的接触应力作用下,由于疲劳而产生的点状剥落	凸轮、轴承滚道等出现的点蚀
	滑扣	螺纹紧固件因螺纹损坏而不能拧紧	阀杆螺母的螺纹磨平滑扣
	黏附	阀门零件间的接触表面因为过热等原因,使接触表面处材料分子转移而产生局部吸附	阀瓣与阀座的黏附
	开焊	焊缝或焊缝与基体间出现裂纹或开裂	法兰与阀体焊缝的开裂
	咬住	阀门零件间接触表面由于黏附或滞卡严重,产生阻力而导致相对运动中中断	紧固件、螺纹连接处的咬住
失调型	干涉	阀门运动件与运动件之间或运动件与固定件之间发生碰撞或摩擦,多因安装设计不当造成	设计问题
	行程过大或过小	阀门操纵件或运动件所能到达极限位置之间的距离不符合技术要求,多因安装调整不当造成	阀瓣开启高度不符合要求,阀瓣颤
	间隙过大或过小	阀门配合间隙不符合技术要求	导向件之间配合问题
	指示不准或无指示	阀门监测仪表指示值与实际情况值不符	阀门阀瓣实际开启高度与指示值不对应
松脱型	松动	阀门紧固件、连接件丧失应有的紧固力	法兰螺栓、铆钉等连接件的松动
	脱落	因连接失效造成被连接阀门零件与原安装位置分离	法兰螺栓、铆钉等连接件的脱落
退化型	锈蚀	由于水或杂质的原因使阀门零件表面发生化学反应生锈被腐蚀	阀轴锈蚀
	剥落	金属或涂层因承受高的接触应力,以薄片状从零件表面脱落	阀瓣堆焊层金属的剥落
	老化	阀门非金属因机械磨损和热磨损,与工作环境因素有关	橡胶零件(隔膜、垫片、填料环)因失去弹性而老化
	异常磨损	因为设计、制造、装配或使用等原因使运动件表面产生超过正常磨损	紧固件在运动中异常磨损
堵塞与渗漏型	外漏	由于密封面有划痕、填料压盖不合格、阀体破裂、法兰变形以及安装不当等引起	阀体、填料、法兰密封面的外漏
	内漏	由于焊接缺陷、选材不当、热处理不当或铸件缺陷、在阀瓣上落入异物、预紧力降低等问题引起密封不严而使介质泄漏	阀体与隔膜,阀瓣与阀座间的泄漏
	堵塞	阀门管路中有异物阻挡,造成液体或气体不能流动或流动不畅	控制管线的堵塞,如先导阀脉冲管堵塞

5 举例

作为一种定期动作的阀门,安全阀是压力系统应用广泛的一种安全装置,用以防止系统压力超过允许的极限值,保证压力系统的安全运行。以安全阀为例,从故障的现象着手,总结得到其主要故障模式及故障原因(表2)。

6 结语

故障分析是可靠性工程中的重要基础工作,将阀门故障模式进行统一的分析和整理,形成阀门故障分类表,便于明确阀门故障所属的类型以及分析故障模式的产生原因,从而可以更加直观地确定阀门可靠性的薄弱环节和关键件,针对每个故障模式

进行相应的设计改进和采取补偿措施，为阀门的可靠性设计提供预测及预防故障的信息依据，最终达到消除故障和提高阀门机械可靠性的目的。

表 2 安全阀主要故障模式分类及原因分析

类别	故障模式	原因分析	备注
损坏型	弹簧塑性变形	弹簧刚性降低,许用应力超过弹性极限,承受热交变应力	渐进故障
	阀瓣未到整定值突然开启	阀体和阀盖上有砂眼、松散组织、夹渣、焊接不良或应力裂纹等缺陷	渐进故障
失调型	阀瓣起跳、回座压力偏高或偏低	弹簧断裂或整定不当	突然故障
	不能达到完全开启状态	整定值偏低或有异物卡塞阀瓣驱动机构	运行故障 严重故障
	振荡	调整不当,安全阀入口处理不当或距离上游侧弯头太近,导致气流产生涡流而引起扰动	运行故障
	频跳	调整不当或排气管水平段太长,选型不当	严重故障 运行故障
	管道系统震动	管道系统防震措施达不到要求	结构故障
退化型故障	拒动	控制部分失效(如电池阀不动作),或有异物卡塞阀瓣驱动机构,或相关部件配合间隙太小	突然故障 致命故障
	弹簧磨损变形	介质腐蚀磨损	渐进故障
堵塞与渗漏型故障	阀体与阀盖间密封件泄漏	没有按照相关产品说明或现场实际情况进行正确的调整	严重故障
	阀瓣与阀座之间的密封面泄漏	阀瓣的浸蚀性磨损或腐蚀,密封面硬质合金磨损或脱落,研磨质量欠佳	渐进故障

参 考 文 献

[1] 李良巧. 机械可靠性设计与分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
 [2] 刘民治, 钟明勋. 失效分析的思路与诊断 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.

[3] 孙智, 江利, 应鹏展. 失效分析 - 基础与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005 年.
 [4] 古列维奇等著, 肖隆水译. 核动力装置用的阀门 [M]. 北京: 原子能出版社, 1988.

(收稿日期: 2007.08.03)

(上接第 21 页)

GB 9439 的规定, N 牌号的灰铸铁, 其抗拉强度为 $N - (n + 100)$, 实际抗拉强度为 250 ~ 350 MPa 之间, 其耐压性完全可以保证。另外铁水经过孕育处理, 不仅基体组织均匀细化, 同时内应力显著降低, 可避免应力腐蚀。

表 1 相同试验条件下材料腐蚀量 $mg/m^2 \cdot a$

铸造合金材料	铸钢	普通灰铸铁	可锻铸铁	球墨铸铁	孕育铸铁
腐蚀量	158	140	131	118	54

表 2 孕育铸铁 HT250Ni2 成分 (Wt %)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
2.8 ~ 3.2	1.3 ~ 1.6	0.8 ~ 1.2	<0.08	<0.10	1.8 ~ 2.0	0.2 ~ 0.4

必须强调的是镍与铬的加入量, 镍在共晶温度时的石墨化系数为 +0.4, 铬的石墨化系数 -1.2,

故为防止晶界有碳化物析出, $Ni/ Cr > 3/1$, 还应留有余量消除 Mn 形成碳化物的作用。实践已证明在灰铸铁中含有 0.5% 的 Cr, 便形成大量的碳化物, 以至切削困难, 所以含 Cr 量不是越多越好。

4 结语

铸铁阀门材质选择孕育铸铁加适当合金如选用 HT250Ni2 既可以保证其组织为均匀细化的单一珠光体, 晶界没有碳化物析出, 并能使铸件仅具较小的内应力, 铸件的表面及内部组织一致, 可有效防止局部腐蚀、晶间腐蚀及应力腐蚀。使应用于海水及中水生产的阀门厚度的平均腐蚀速率 0.5 mm/a, 延长了阀门的使用寿命。

参 考 文 献

[1] GB 9439 - 1988, 灰铸铁件 [S].

(收稿日期: 2007.01.25)