

化工输送管线在用阀门阀体开裂原因分析

南 鹏（国家管网西部管道公司酒泉输油气分公司，甘肃 酒泉 735000）

摘 要：某化工输送管线在用阀门投用半年后发生开裂，开裂位置位于阀杆侧阀体法兰根部。通过对化工输送管线在用阀门阀体宏观检查、化学成分分析、力学性能测定、金相分析、断口形貌分析、应力仿真分析等方法，对阀门开裂原因进行分析。结果表明，化工输送管线在用阀门阀杆侧阀体法兰根部制造时未加工倒角，属于几何不连续部位，导致局部应力较大；且阀体中存在微观裂纹、孔洞、夹杂等原始铸造缺陷，在应力的作用下易发生扩展；因此在两者共同作用下最终导致化工输送管线在用阀门阀杆侧法兰开裂。

关键词：化工输送管线；阀门；开裂；应力集中；铸造缺陷

石油化工装置中不可避免会用到各类阀门，其中闸阀最为常见，工作原理为闸板在动力源的带动下沿着阀体内腔轴线垂直移动，在化工输送管线中用于切断介质，即全开或全闭使用，优点是流道通畅，流体阻力小，启闭扭矩小；缺点是高度大，启闭时间长，在启闭过程中，密封面容易被冲蚀，不适用于含悬浮物和析出结晶的介质，也难于用非金属耐腐蚀材料来制造。

1 概述

某化工输送管线在用阀门投用半年后发生开裂，该阀门位于的低点，失效阀为闸阀，整体铸造，开裂部位位于阀杆侧阀体法兰根部，见图 1（a），失效时，阀门处于关闭状态。

经查阅资料，该化工输送管线设计压力 2.2MPa，操作压力 2.0MPa，设计温度 340℃；操作温度 310℃，阀体材质为 ASTM A216 WCB；介质为蒸汽。为分析阀门失效原因、明确失效机理，笔者通过宏观检查、化学成分分析、力学性能测定、金相组织分析、断口形貌分析、应力仿真分析等方法判断化工输送管线在用阀门失效原因，提出预防措施。

2 理化检验

2.1 宏观检查

化工输送管线在用失效阀门外部呈铁锈色，大部分防护漆脱落，内壁成灰色、附着有少量黄色粉末状垢物，阀体内外均未发现明显氧化、腐蚀痕迹。从裂纹形貌观察，阀杆侧阀体法兰根部 2/3 周长部位存在裂纹，裂纹开口最大处位于阀体两通道之间，开口宽度约 10mm，其中一侧裂纹尖端向螺栓孔、法兰面延伸；对应阀体内侧亦为开口最大部位，开口宽度约 8mm，裂纹长度约占法兰内周长的 1/2，见图 1（a），由此判断阀门优先在两通道之间部位开裂，从阀体外壁向

阀体内壁扩展，且裂纹周边无明显的塑性变形。同时对比观察阀体三个法兰根部形貌，发现与介质通道相连的 2 个端部法兰根部存在倒角，见图 1（b），阀杆侧阀体法兰根部无倒角，见图 1（c），法兰面与阀体呈 90°。阀门正常服役时，阀杆侧阀体法兰与其上部阀盖法兰用螺栓紧固，阀杆侧阀体法兰根部受拉应力，在法兰根部无倒角部位属于应力集中部位，局部应力较大，存在开裂风险。



(a) 开裂阀门



(b) 右侧端部法兰



(c) 阀杆侧阀体法兰
图 1 失效阀门

2.2 化学成分分析

为排查化工输送管线阀门冶金质量，在失效部位截取试样对阀门化学成分进行分析，结果见表 1，阀门化学成分符合 ASME 中 SA-216 中 WCB 的化学成分要求。经计算，阀体碳当量为 0.35，符合标准要求（ ≤ 0.55 ）。

表 1 化学元素含量 /mass%

元素	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	V
标准值	≤ 0.30	≤ 0.045	≤ 0.04	≤ 0.60	≤ 1.00	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.20	≤ 0.30	≤ 0.03
实测值	0.19	0.012	0.019	0.50	0.87	0.05	0.02	0.02	0.02	< 0.01

2.3 力学性能测定

针对显微组织分析中发现的铸造缺陷，对阀体力学性能进行了测定，结果见表 2。阀体力学性能符合 ASME 中 SA-216 中 WCB 的要求，说明缺陷的存在不影响阀体的整体强度。

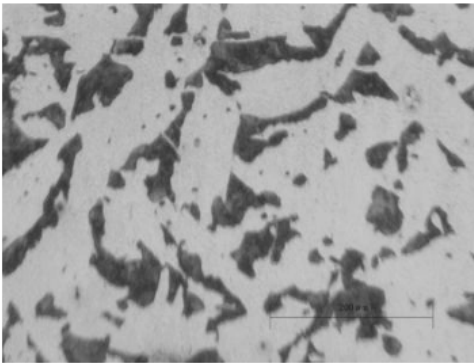
表 2 力学性能测定结果

	Rm/MPa	Rel/MPa	A/%	Z%	硬度 /HBW10/3000
实测值	553	312	24	38	148,149,148
标准值	485-655	≥ 250	≥ 22	≥ 35	/

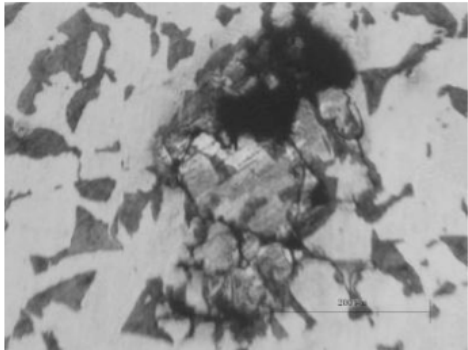
2.4 显微组织分析

化工输送管线失效阀门开裂部位取样，对阀门金相组织及微观缺陷进行分析，阀门组织为铁素体 + 珠光体，金相组织正常，与供货态组织相符，见图 2(a)，但在阀杆侧阀体法兰根部附近发现了微观裂纹、孔洞、

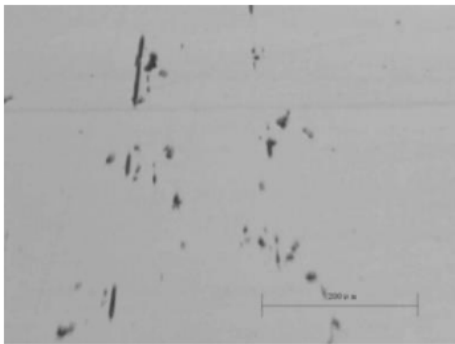
夹杂等铸造缺陷，铸造缺陷见图 2(b) - (c)，孔洞缺陷周围存在裂纹，裂纹特征为穿晶裂纹，由于孔洞边缘不光滑，在边缘尖角部位属于应力集中部位，易萌生裂纹，且在应力作用下容易扩展；对于铸件，夹杂物的存在会在一定程度降低材料的塑形。



(a) 阀体金相组织



(b) 阀体铸造缺陷（孔洞、裂纹）



(c) 阀体铸造缺陷（夹杂物）

图 2 显微组织及缺陷

2.5 应力仿真分析

对化工输送管线的阀体进行有限元仿真分析，阀体材料为均质连续，载荷为法兰螺栓预紧力，结果见图 3，阀体所受应力最大值与阀体失效启裂位置相对应，通过应力仿真可以判断阀杆侧法兰根部应力最大，最大应力值为 57.87MPa，该部位连接部位未加工倒角，属于应力集中部位。

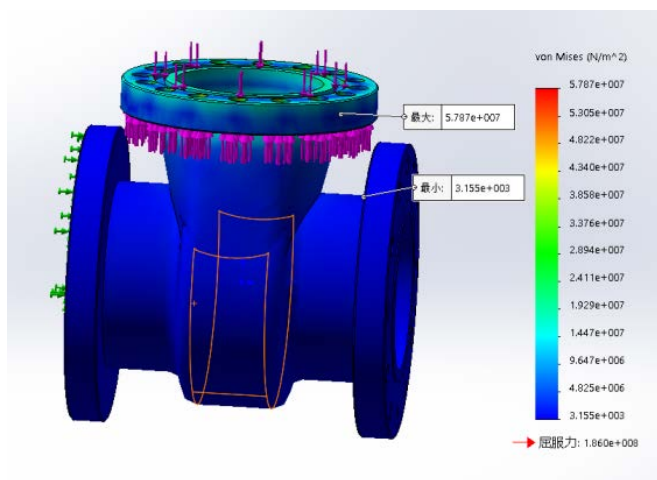


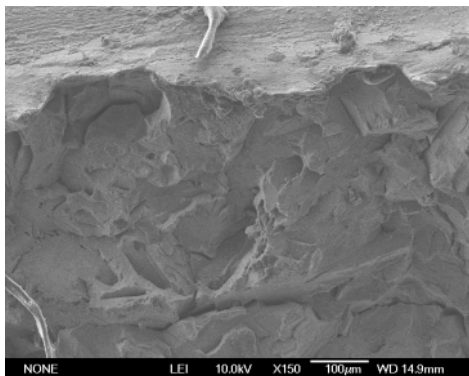
图3 应力仿真分析

2.6 断口宏观形貌

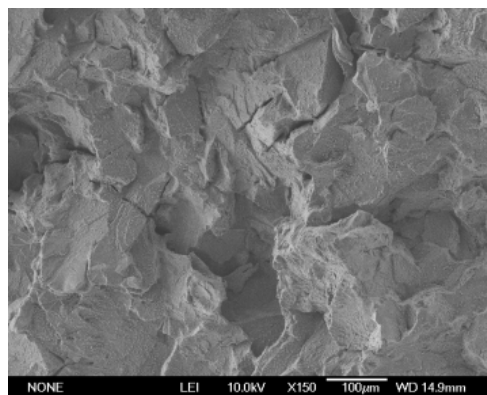
为进一步分析裂纹扩展机理,在化工输送管线阀杆侧阀体法兰根部开裂部位取样,打开裂纹,以裂纹面为观察面。裂纹开口最大部位启裂区断面平整,呈褐色,存在金属小颗粒,且断面存在由阀体外侧向阀体内侧扩展的条纹,近阀体内壁存在剪切唇,壁厚方向最大宽度0.5mm;经扫描电镜观察,近外侧存在裂纹特征,其余部位以河流状花样为主。法兰根部环向裂纹尖端断面存在较大起伏,最后断裂区位于阀体内壁,其中亮白色区域为认为撕裂区域,经扫描电镜观察,裂纹断面以河流状解理花样为主,且存在二次裂纹,见图4(a)~(c)。



(a) 宏观形貌



(b) 外侧微观形貌



(c) 芯部微观形貌

图4 断口形貌

3 失效原因分析

冶金质量对开裂的影响:阀体化学成分、力学性能符合设计、制造要求,但在金相检验中发现了裂纹、孔洞、夹杂等缺陷,经了解阀体为整体铸造件,在冶炼的过程中因脱氧产物未能全部排除,或浇注过程中温度下降,继续反应生成的脱氧产物来不及上浮残留在钢液中,形成夹杂物;大多数夹杂物以点状、条带状存在,尺寸小且边界光滑,见图2(c);个别夹杂物呈任意分布的尖角状,见图2(b),此类夹杂物因边缘呈尖角状,易产生应力集中。但这些应力集中如果出现在阀体芯部,则不会影响其力学性能,若出现在阀体边缘则会萌生微裂纹,促进裂纹的扩展。

结构对开裂的影响:开裂部位在阀杆侧阀体法兰根部,该部位为直角,无倒圆角处理,属于结构不连续部位,容易产生应力集中,此处应力较大。通过ANSYS有限元分析结果看,阀体在运行过程中受内压力、闸阀螺栓紧固应力、温差应力等共同作用,这些应力在直角部位叠加,阀杆侧阀体法兰根部应力最大,当应力大于材料屈服强度则导致阀体开裂失效。

解理断裂只有在平面力状态(即三向拉应力状态)下才能发生,断裂形式为脆性断裂,断裂前几乎无塑性变形,断口边缘没有或很少有剪切唇,它的裂纹发展十分迅速,常常造成零件或构件灾难性破坏。解理断裂常见于体心立方和密排六方金属及合金,低温、冲击载荷和应力集中常促使解理断裂的发生,由于开裂处法兰壁厚较大,法兰侧根部无倒角,存在机械加工平台,且阀体内存在宏观裂纹、孔洞和夹杂等缺陷,造成这些部位产生应力集中,是发生起裂的重要原因。

4 结论

化工输送管线在用阀门制造过程中阀杆侧阀体法兰根部未加工倒角,属于几何不连续部位,导致局部

应力较大;且阀门存在微观裂纹、孔洞、夹杂等原始铸造缺陷,在应力的作用下易发生扩展;因此在两者共同作用下最终导致阀杆侧阀体法兰开裂。

5 建议

①改进阀门铸造工艺,消除或减少金属中的有害杂质,避免铸造缺陷(气孔、非金属夹渣和裂纹)的存在。不同形态的夹杂物混杂在钢材内部,破坏了钢材的连续性和完整性。夹杂物与钢材之间存在间隙,使得钢材的结构受到破坏,并且钢材与夹杂物的弹性、塑性不同以及热膨胀系数的差异,会使得钢材的塑性、韧性、疲劳极限等受到显著影响。钢铁在冶炼过程中应尽量减少夹杂的形成,防止非金属夹杂的措施有:熔体炉内净化、熔体炉外净化、吹氢搅拌、保护浇注、控温浇注等;②优化设计,避免应力集中。合理设计零件结构,使得应力均匀分布,以降低零件的应力状态,使得构件在低应力状态下工作;构件服役过程中应尽量避免深槽缺口,以免引起应力集中,发生脆性断裂;③加强化工输送管线在用阀体的保温。在冬季

停用期间,应排空介质,必要时加伴热保温,防止阀门内结冰。

参考文献:

- [1] 孙磊. 化工管道设计中常用阀门的特点及选择 [J]. 能源技术与管理, 2017, 42(5): 168-169.
- [2] 刘爱武. 高温平板闸阀失效的因素与改进措施 [J]. 化工管理, 2020(25): 138-139.
- [3] 郑文祥. 某热电厂压力阀门断裂失效分析 [J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2022, 27(3): 104-107.
- [4] 郭方文, 魏玉伟, 王小林. 焦化加热炉重污油线切断闸阀阀体开裂失效分析 [J]. 石油和化工设备, 2021, 24(11): 14-16.
- [5] 张应迁, 唐克伦. 基于阀门设计的应力集中分析 [J]. 化工自动化与仪表, 2021, 38(7): 90-92.

作者简介:

南鹏(1985-),男,汉族,陕西礼泉人,本科,工程师,研究方向:管道工艺设备管理。

