

高压长输天然气管道球阀内漏常见原因分析及处理方法探讨

付显朝¹ 祖志成¹ 苏玉山² 欧定平¹

(1. 国家管网集团广西天然气管道有限责任公司, 广西 北海 536002)

(2. 中国石油管道局工程有限公司管道投产运行分公司, 广西 北海 536002)

摘 要: 在高压长输天然气管道中大口径球阀一般设置在站场和沿线截断阀室, 主要用于干线气流截断及工艺流程调整。但由于某些原因, 随着天然气管网的运行球阀内漏故障会时常出现。球阀内漏给长输管道安全生产运行带来极大隐患, 特别是涉及动火作业时, 带来极高作业安全风险的同时, 也极大增加了维检修作业的难度和作业成本。本文就高压长输天然气管道常见球阀内漏故障原因、内漏程度判断及处理方法进行了探讨。

关键词: 球阀; 内漏原因; 内漏程度; 预防; 处理建议

1 球阀的结构及工作原理

球阀主要由阀体、球体、阀座、阀杆、上腔体、下腔体、密封装置、传动装置构成。球阀的启闭件为球体, 而且球体内的孔洞也是圆形, 当球体内的孔洞和管道平行时, 阀门打开, 天然气从中流过。当球体旋转至孔洞和管道垂直时, 阀门关闭, 天然气不能流过。通常顺时针旋转球阀为关, 此时球体旋转 90°, 球阀从全开位置转为全关位置。

在高压长输天然气管道中常采用双活塞效应密封设计的球阀作为截断阀门。双活塞效应密封设计上下两个方向的密封是互相独立的, 弹簧预紧力使阀座与球体接触, 同时在管线上游侧(下游侧)和阀体中腔压差作用下密封, 无论哪边的介质压力高, 上下游侧的阀座总是和球体紧密接触而完全阻塞流体, 即使任何一侧阀座出现损伤, 随着管线压力进入阀腔, 该压力将作用于上、下游阀座密封圈密封面的内侧, 从而使阀座密封圈与球体接触更加紧密以达到良好密封。

2 球阀内漏原因分析

2.1 建设施工阶段

①制造质量把控不严格。阀门在制造过程中, 密封结构存在缺陷, 严密性试验不到位导致阀门本体存在缺陷从而引发内漏。阀门在试压完成后排污、干燥过程中不及时不彻底, 密封面形成锈蚀引发内漏; ②现场验收和存储环节存在偏差。验收项目覆盖不全面, 验收检查执行不到位, 现场验收压力试验执行要求不统一, 都有可能造成阀门验收把关不严, 导致缺陷阀门流入施工现场。阀门储存条件不符合要求、长期存储的阀门未进行必要的维护保养等问题也可能

造成阀门内漏; ③施工过程保护不当。设备在运输、吊装过程中保护不当, 阀门两侧保护罩遗失, 固体杂质进入阀腔划伤密封面, 雨水进入阀腔锈蚀引发内漏; 设备吊装就位后两侧管道未及时进行焊接, 阀门长时间被雨水浸泡, 阀门密封件损坏造成内漏; 焊接过程中焊接预热不充分、焊接温度控制不严格、以及焊渣等施工遗留物未完全清理, 划伤球体密封面、阀座软密封也会引发内漏; ④安装位置不当。阀门在安装时限位位置调整不准确产生微小渗漏, 在投产运行前无法发现, 在正式投入使用后由于气流以及管道内固体颗粒长时间冲刷, 导致密封面损伤引发泄漏。

2.2 运行阶段

①阀门阀位不正确。正常情况下, 球阀从开位旋转到关位, 球体需要旋转 90°, 反之亦然。如果由于操作不当或阀门开关限位设定不正确而使阀门没有在正确的开关位置上, 球体只要偏离正确位置 2°~3°, 就会造成持续的内漏;

②阀门开关操作不当。带有电动执行机构的球阀, 在不超扭矩的情况下强制关闭阀门, 也会出现软密封损坏引发内漏;

③阀门密封面油脂硬化或存在杂质。在管网日常运行中由于维护保养不当, 如长期未对阀门进行注脂清洗, 导致密封面表面存在硬化的密封脂; 以及在长输管道清管作业后下游场站的进出站球阀阀腔内存在固体杂质, 都将导致球体密封面和阀座密封面无法有效的接触, 从而难以形成可靠的密封, 造成阀门内漏;

④球面损伤失效。施工过程中未清除的铁屑、焊渣、熔渣等硬质颗粒在阀门开关过程中挤压球面、密

封圈是造成密封损伤失效最主要的原因，阀门内漏预防过程中应重点关注减少阀座密封副划伤。阀门启闭件（球体）表面镀层厚度、硬度、结合力不足，镀层易发生开裂、起泡、剥落失效，降低密封性能，应严格管控启闭件镀层质量；

⑤阀座密封圈损伤失效。阀座橡胶密封圈易发生剪切断裂、爆裂失效，主要由橡胶密封圈老化、松弛与开关瞬间的流体冲击、压力快速泄放共同作用造成。细小的硬质颗粒往复划擦、嵌入密封圈，密封圈与启闭件粘连，密封面油脂硬化结垢，加剧磨损；

⑥阀门密封脂失效。这种情况主要出现在已经存在内漏的阀门，前期经过堵漏处理后不漏的阀门。由于阀门长期不动作以及长时间未进行注脂维护保养，导致阀门密封脂失效，再次出现阀门内漏；

⑦阀门节流导致密封失效。长输天然气管道输送气体流量变化大，流速快，球阀在开关操作时出现频繁的短时间节流现象。例如在某些小口径输气计量或者调压进口阀门设置是普通球阀，但未在此球阀两端加装旁通阀，每次通气时就会出现短时间的节流现象，气流和杂质均会对球心和密封面产出冲刷，出现密封面损伤，进而出现阀门内漏现象；

⑧长时间未动作引起密封件损坏。站场、阀室均设有预留阀门，长时间无法动作，无法进行正常常规维护保养，软密封与球芯长时间紧密贴合，在长期暴晒的环境中，出现软密封与球芯黏贴抱死，阀门一旦动作就会球芯就会将软密封损坏，导致阀门内漏；

⑨运行工况变化。日常运行时发现作为隔断或者预留的球阀，在运行压力升高到一定程度时出现轻微内漏现象，压力下降后内漏随之消失，分析原因可能是阀座弹簧长期保持一个位置，处于一种疲劳状态，在高压差时未能及时做出反馈，出现假漏现象，这种情况不需要额外处理，等运行工况恢复即可改善。

3 球阀内漏程度判断

球阀内漏程度是治理内漏故障以及日常检维修作业的一个重要指标。从理论上讲，只要在全关位检测阀后引出的气体上升情况就能判断阀门的内漏程度，生产现场长输管道常采用压力法进行内漏程度检测。选用高精度压力表（一般采用0.5级数字压力表），安装在阀腔引出管线上（泄放阀、排污管线、放空管线等均可），通过阀腔压力变化判断阀门密封副完好状态。依据在规定时间内压力上升情况来判断阀门泄漏量，泄漏程度判断标准见表1。

表 1 压力法密封试验泄漏程度判断标准

阀门规格	所有弹性密封阀门 压力上升 KPa/min	金属密封阀门压力 上升 KPa/min	泄漏 情况
DN100~150	0	0~105	合格
	0~70	105~210	微漏
	70 以上	210 以上	大漏
DN200~DN350	0	0~105	合格
	0~105	105~210	微漏
	105 以上	210 以上	大漏
≥ DN400	0	0~210	合格
	0~140	210~420	微漏
	140 以上	420 以上	大漏

4 球阀内漏故障预防与处理建议

4.1 建设施工阶段

4.1.1 提高设备到场验收质量

新改扩建工程施工阶段，现场监督人员需严把质量关，按照采购技术协议认真核对使用说明书、安装维护手册、焊缝检验标准与检验报告、原材料成分分析报告、主要部件原材料力学特性测试报告、主要部件无损检测报告、镀层检验报告、压力试验报告、出厂检验报告、合格证等相关资料及各种参数，检查出厂包装，包装符合订货合同要求，无破损、严重变形；同时要要进行阀门完整性试验，确保进场的阀门全部符合标准，从源头预防阀门内漏。

4.1.2 做好现场施工监护

监理单位增强责任心，严格把控阀门安装和施工进度质量关。设备到场后，做好设备在现场的保护工作，避免杂质和水分进入；焊接阀门在预热和焊接时，为防止损坏密封，应采取适当保护措施确保密封/阀座范围的温度不超过阀门供货商的要求；焊接过程中加强管道清管力度，当天施工的工艺管道需及时进行封堵，避免脏物进入管道；水压试压前，严格按照施工规范，对管道进行清扫，并达到合格标准，试压用水进行过滤清洁。

4.1.3 做细设备调试和维保工作

做细设备单体调试工作，确认阀门处于全开位、全关位且开关正常；对于远控阀门还需完成设备远程开关测试，确认阀门是否能够正常开关。同时，正式

投产前由专业队伍进行阀门维护保养,使用合适型号清洗液对阀门进行清洗,适当进行润滑保养,但不允许使用密封脂。对于延期投产管道的阀门应制定维保计划,定期进行维护保养,阀门需每半年进行至少1次开关动作。管道投产时,不应将球阀用于节流。管道投产试运行结束后,宜及时进行全线阀门内漏排查。

4.2 正式运行阶段

在正式运行阶段时,首先应按操作规程内容做好球阀日常维护保养与定期维护保养。球阀内漏维护调整一般按照调整阀门限位、清洗密封副、润滑脂润滑、加强密封脂封堵四个步骤进行,并结合现场实际情况重复单个或多个步骤。

4.2.1 调整阀门限位

针对微小泄漏,通过调整阀门机械限位,基本可解决或减小泄漏量。对于已做过开关限位标识的阀门,将阀门置于全关位,松开阀门变速箱关限位螺栓,调整阀门开度至关限位标识位置,再锁紧关限位螺栓;对于没有做过关限位标识的阀门,将阀门置于全关位,打开阀门变速箱端盖,松开关限位螺栓,调整阀门开度至阀杆键槽开口方向与阀门所在管线方向垂直位置,锁紧关限位螺栓,并做关位标识;通过观察放空或排污大小调整阀门限位,将阀门置于全关位,打开放空、排污或安装泄漏检测仪,缓慢调整阀门限位,通过观察泄漏量或阀腔压力变化情况,判定阀门限位准确性和阀门内漏初始状态。带有执行机构的阀门还需调整执行机构开关行程,将球阀处于真正的全关位。

4.2.2 清洗密封副

调整阀门限位后仍存在泄漏的情况,建议按照阀门尺寸注入适量阀门清洗液,对阀门的密封面以及阀座进行清洗。一般浸泡4~12h,如果有必要可以浸泡几天,待固化物全部溶解后再做下一步处理。在此过程中开关阀门3~4次,确保固化物溶解充分。

4.2.3 注入润滑脂润滑

清洗完成后先注入一定量的润滑脂看是否能止漏,这时注入速度一定要慢,同时观察注脂枪出口压力表指针的变化来确定阀门的内漏情况。注脂时,注脂枪保持最少高出管线压力1000PSI的压力,时刻注意监视注脂枪上压力表表值的变化,阀座注入压力一般不超过6000PSI。

4.2.4 注入密封脂封堵

若完成以上三步在全关位进行检查仍有泄漏,应注入加强级密封脂,同时打开阀腔进行放空,这样可

以产生大的压差,有助于密封,一般情况下,通过注入加强级密封脂内漏可以消除。注密封脂后的阀门应使用润滑脂置换阀门注脂通道内密封脂。注入密封脂后的阀门每次阀门开启前应使用清洗液浸泡,避免由于开关加重阀门内漏。

生产现场实际运行发现,球阀严重内漏时反复加注加强密封脂也无法达到治理效果,此时大漏情况基本都是单侧漏,可以判断为软密封出现较大损坏,无法修复,必须进行更换。单侧内漏的球阀虽暂时可以起到气流截断作用,但阀腔内气体排放不尽,为日常检维修作业特别是涉及干线放空的动火作业带来极高的作业风险。内漏球阀的更换可结合干线以及站场新改扩建项目同步施工更换,最大程度降低干线放空成本。

5 结束语

高压长输天然气管道大口径球阀内漏是长输管道企业日常运维时经常面对的难点痛点,处理起来极其繁琐。在后续管线建设、试运投产、日常维护中,为尽可能减少出现阀门内漏的情况,在此提出三点建议:

- ①前期设备采购时,运行单位需仔细核对设计院提供的设备技术规格书要求,明确是否满足后期运行要求;供货期间根据实际需求,采购人员可在设备制造与试验检验时前往工厂检查,把控设备本体制造质量;
- ②建设单位应加强“建管一体化”管理,对接属地运行单位积极参与到施工建设阶段,把控好设备到场验收、现场整体试压等重要环节的施工质量,避免在投产前就出现阀门本体缺陷,引发内漏;
- ③运行单位在运行时期规范员工操作,严格按照设备操作规程和周期做好日常维护保养与定期维护保养,避免因操作不当和长时间维护保养不到位导致阀门内漏。

参考文献:

- [1] 朱喜平.天然气管道球阀的结构特点及使用中需要注意的问题[J].上海煤气,2008(01):26-29.
- [2] 张天一.输油气管道阀门内漏问题原因分析及判断[J].化学工程与装备,2022(12):90-91.
- [3] 郝小虎,赵炜,李建国等.长输管道阀门内漏失效分析和控制措施[J].全面腐蚀控制,2020,34(07):117-119.
- [4] 朱丽娜.油气储运资产完整性管理规范第3部分.油气站场设备设施[S].2022(09):35-37.
- [5] 张丽珍.阀门内漏原因分析及完整性保障方案研究[J].化工管理,2023(04):130-132.