

分子筛脱水装置程控阀的选型应用探讨

罗军¹ 胡静¹ 习帆¹ 胡成通²

1. 北京迪威尔石油天然气技术开发有限公司; 2. 中国石油集团工程设计有限责任公司北京分公司

摘要: 针对分子筛脱水装置程控阀所处的运行工况和工艺流程特点, 分析了程控阀在实际应用中出现故障的原因, 结合阀门类型、材质以及硬化工艺等关键选型参数, 提出了针对性改进措施和建议, 优化的程控阀选型方案减少了后期检维修费用, 同时保障了工艺装置连续、稳定运行, 对类似工艺流程程控阀选型具有一定的指导意义。

关键词: 分子筛脱水装置; 全通径球阀; 程控阀; 故障

分子筛脱水装置设置两个分子筛脱水塔, 由 A 塔进行吸附时, B 塔进行脱水冷吹再生, 并依次规律进行往复循环。在此过程中介质温差变化大, 阀内件密封性能下降, 存在内漏的风险; 程控阀的选型及其配置不能完全满足长期稳定运行要求, 通常此类缺陷会随长时间运行愈加明显并开始出现关闭卡涩、开不到位、关不到位及密封性能下降等情况。

文献 [1] 针对程控阀该类问题, 认为导致该类问题主要原因是执行机构及其附件选型不合适, 采用将仪表风泄压孔缩径, 电磁阀选用两位五通的开关结构, 并采取拔叉式气缸阀门等措施。文献 [2] 针对阀杆故障, 分析了导致阀杆变形断裂的原因, 从阀杆选材与气路优化等方面改进了选型方案。文献 [3] 主要针对执行机构的性能和操作应用, 提出了故障处理方法以及执行机构国产化改进措施。以上研究均提出了改进措施, 本文结合可能影响阀门性能的因素、已建项目使用情况、考虑经济性和目前的加工工艺等方面, 对该类装置的程控阀选型应用探讨。

1 工艺流程

该分子筛脱水撬设计处理能力 $50 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{d}$ 。该装置对油田天然气进行回收处理, 脱出其中的水分, 处理合格的天然气外输至下游管网。

分子筛脱水撬具有预冷分离、过滤、吸附、再生等功能, 经分子筛脱水后的天然气可实现带压水露点 $\leq -42^\circ\text{C}$ 。

1.1 工艺流程说明

分子筛脱水撬工艺流程主要分为三个过程: 吸附过程、加热再生过程以及冷吹过程。

1) 吸附过程: 原料气首先进入预冷换热器进行预冷, 再经预冷分离器进行气液分离, 之后进入分子筛脱水塔 A 进行脱水, 同时分子筛脱水塔 B 等待进入脱水工作, 正常循环工况下, 分子筛脱水塔 B 处于加热再生过程以及冷吹过程。经脱水后的天然气经加压后外输至下游管网; 2) 加热再生过程: 分子筛再生为干气再生工艺, 再生气经过电加热器加热到一定温度后, 从分子筛的底部进入, 对床层中饱和分子筛进行加热再生至一定温度, 再生后的再生湿气经再生冷却器冷却至常温后回到预冷换热器

的入口; 3) 冷吹过程: 再生结束后由于分子筛温度高对水吸附能力下降, 需要对分子筛脱水塔床层进行冷吹降温。冷吹气体依旧为脱水后从主路原料引出的气体, 冷吹气从分子筛塔的底部进入, 对床层中高温分子筛进行降温冷吹, 直至分子筛脱水器床层分子筛达到正常工作温度。

整个过程循环往复, 利用 PLC 编程实现逻辑控制, 整个过程由 10 台开关阀实现过程切换。

1.2 自动控制方案

该分子筛脱水装置具有较多的控制阀, 液位控制以及压力控制等可以由常规的单回路控制实现, 工艺流程切换需要顺控程序来完成, 且需做到无扰切换, 使整个工艺运行达到“安、稳、长、满、优”要求。

分子筛脱水装置采用 PLC 进行过程控制, 在对过程参数温度、压力、液位及流量检测的同时, 利用 PID 控制策略以及顺控程序实现工艺流程切换, 顺序控制变量可根据工艺实际运行状况, 以及露点仪的检测值是否合格及时进行调整。根据进口原料气以及出口天然气

的温度、压力以及流量等情况进行分析,适时调整顺序控制的策略,在保证产品质量的前提下,尽可能提高分子筛装置运行的经济性。

2 分子筛脱水装置程控阀特点及选型思路

目前已建多套该类装置中,阀门类型分别使用过球阀、轨道球阀以及球形阀,分子筛脱水装置的开关阀属高频开关动作程控阀,其开关要求每8h开关各1次,且在操作条件下连续运行不低于3年。是实现分子筛脱水装置正常运转、稳定工作的关键。也是整个装置的逻辑控制的核心执行机构。因此对于该程控阀的要求远高于普通阀门,在选型时必须考虑频繁开关的工况要求。

程控阀故障一般可由3方面原因导致:1)高频动作,阀芯和阀座频繁摩擦易导致磨损使得密封性能下降,从而发生内漏;执行机构频繁动作,阀杆易变形导致关不到位,开不到位,阀位检测失效,顺序控制会因此中断,整个装置发生停车事故;2)工艺介质为天然气,虽然工艺装置入口设置有过滤器,但是难免还会有固体颗粒,固体颗粒在阀门密封面会导致阀门卡死及阀芯阀座磨损等故障;3)工艺介质温差较大,阀内件与阀体材质不相同,热膨胀的速度也不相同,阀芯与阀座密封面不断磨损,导致卡死或者内漏的情况,下面分别依据实际项目中使用情况,探讨球阀、轨道式球阀以及截止阀在阀门材质、阀芯阀座硬化工艺以及阀门执行机构等方面选型应用探讨。

2.1 球阀

《GB/T 50892—2013 油气田及管道工程仪表控制系统设计规范》给出了阀门类型适用的通用工况,比如“5.8.6 球形控制阀宜用于下列工况:1)高黏度、含有纤维、固体颗粒或污秽流体。2)V形球阀宜用于连续控制且要求流通能力大、可调范围宽の場合。3)O形球阀

宜用于两位式开关的工况。”本装置结合标准规范以及市场上已有阀门在该工况的应用情况,选定全通径O形球阀,如图1所示。由于需要双向切断能力以及高频动作,所以应选择固定式球阀-浮动阀座密封。无论采用柱簧还是采用板簧,浮动阀座针对弹簧腔室应通过弹性密封圈进行动密封。

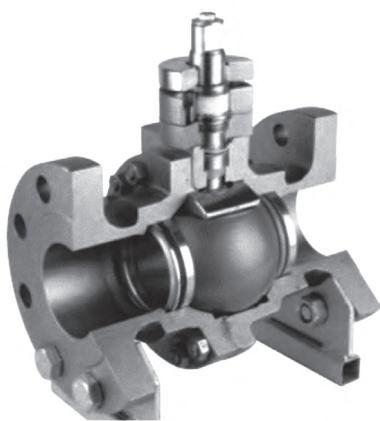


图1 全通径球阀

阀门为全通径、耐磨设计,结构如图2所示,通道尺寸应符合ASME B16.34,且不小于连接管道内径。阀座与阀体采用分离形式,便于阀座的更换维修。阀门的阀杆密封填料为密封设计,在高温下不会产生颗粒也不会发生断裂。阀杆为防吹出设计。阀门防火标准满足API 607,钢制阀门的结构长度符合ASME B16.10的要求。阀门重型结构设计、消解因频繁动作产生的应力对阀门和管线造成影响,延长使用寿命。阀体流道采用抛光处理,内表面光滑,避免物料在阀腔内堆积。但是经长期运行发现,由于介质温差大,高温介质

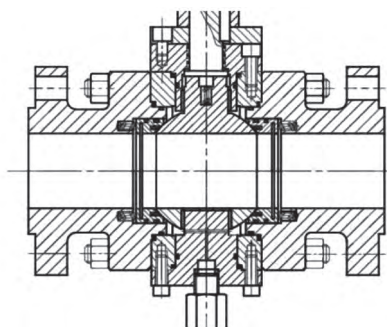


图2 某型全通径球阀剖面

能达到260℃,低温介质能达到-30℃,而且冷热交替频繁,每8h会进行一次,因此常发生阀门卡死不动作的情况,导致流程暂停,需要操作人员现场使用手轮打开阀门才能继续投产。

2.2 阀门材质

阀门全部采用锻造材料,质量高且具有可靠的机械性能,在频繁快速开关的情况下有较好的延展性,能消解因阀门频繁动作产生的应力对阀门和管线造成的影响,延长阀门的使用寿命。另外应具有良好的热稳定性,在工况温度变化下,尽可能使阀内件材质的热膨胀系数仍能良好匹配。避免在使用碳钢阀体情况下使用不锈钢的阀内件,不锈钢的热膨胀速度远远大于碳钢材质的阀体,因此在高温下,使得阀座与阀体之间急剧挤压造成永久性变形。

球阀的阀杆经过热处理及硬化处理后,其强度高,阀杆与球体结合处堆焊硬质合金,会提高耐磨、耐冲刷能力。阀杆直径大于普通硬密封球阀的阀杆直径,具有更大的强度,其扭转强度设计为阀门最大启闭力矩的2倍,确保在极端情况下阀杆不会被扭断、变形和损坏。

本装置再生过程利用电加热器会将天然气的温度加热到260℃左右,输送到分子筛脱水塔中带走大量水分,此时程控阀长时间在高温工况下工作,球阀在高温工况下由于热膨胀而容易引起球体与阀座的抱死,从而导致阀门无法开启。对于有高温需求的,还应进行高温测试系统测试,对产品在高温状态下进行动态模拟、扭矩测试和寿命试验等。保证阀门在高温下不会被抱死,并能够在高温下灵活启闭。

阀杆处于较强交变负荷应力场,且程控阀执行机构动力气源一般较大,造成阀杆会加速疲劳裂纹的形成,减少阀杆的使用寿命,大量使用数据表明,马氏体沉淀硬化型不锈钢17-4PH具有良好的抗腐蚀疲劳、抗衰减性能及抗水滴性能强的特点,此类钢材硬度更高,

抗拉强度可大于 1 310 MPa, 屈服强度可大于 1 180 MPa, 断后伸长率可大于 10%, 断面收缩率可大于 40%, 调质硬度在 28 ~ 40HRC。

2.3 轨道球阀

轨道式球阀采用上装式结构, 阀杆中部有两道对称的螺旋槽, 与固定在支架上的导向销相互配合, 如图 3 所示, 控制着阀杆的上升、下移及旋转运动。

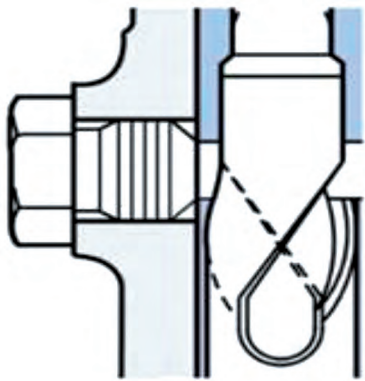


图 3 导向销结构

轨道式球阀宜加工为钢制整体球, 球体下端为万向节机构, 增加了球体的适配性, 上端与偏心曲轴状的阀杆阀组成凸轮机构。当杆上升时, 球体脱离阀座后, 密封面分开, 并依万向节中心向中轴线摆动, 再随着螺旋槽的轨迹旋转 90°, 阀门开启。

当阀杆下移时, 阀杆连同球体随着螺旋槽的轨迹旋转 90°, 同时通过凸轮机构将整体球依万向节的中心向阀门出口端摆动倾斜, 压紧阀座, 形成密封, 阀门关闭。实现了阀门的无摩擦开启与关闭, 保证阀门的低扭矩操作和密封的长期可靠性。

轨道式球阀结构特点: 阀杆下端的凸轮斜面提供一个机械的楔紧力以保证持续的紧密封; 同时实现了球阀具有越关越紧的强制密封功能; 球体偏离阀座后再转动, 消除了与阀座的摩擦, 解决了传统球阀、闸阀密封磨损问题; 机械强制球体压紧阀座如同截止阀阀瓣平行移动压向阀座形成的密封一样, 无擦伤, 磨损小, 经久耐用; 阀门密封面无摩擦,

开关扭矩轻, 启闭速度比闸阀、截止阀快; 阀杆螺旋槽的导向采用滚动轴承配合销钉导向, 在阀门开关过程中导向销滚动运行, 有效降低导向摩擦, 不会出现断销、卡阻现象; 球体下轴定位为球形万向节机构, 球体摆动及旋转灵活, 且球面接触不积液、不易磨损; 固定式单阀座设计, 能够保证双向零泄漏, 如遇阀腔中异常升压, 阀腔压力与进口端压力自动平衡, 可预防异常升压事故; 阀杆设有上密封装置, 上密封和填料的双重密封, 更有效防止阀门外漏和阀杆飞出; 顶装式设计, 在系统泄压后, 可以在线检查和维修, 使维护简单化。

因此该结构的阀门特别适用于高危气体及各种软质性质介质与悬浮液等介质, 在高温、低温及温差变化较大、要求非常苛刻的工况能够正常启闭。轨道式球阀相较于球阀具有一定的优势, 在实际项目运行中, 也不易出现故障, 但其造价较高, 不具有经济性优势。

2.4 球形阀

球形阀通常称作 Globe 阀, 一般用来做调节阀使用, 流体流道呈 S 形, 如图 4 所示。其工作原理是在执行机构驱动力的作用下, 执行机构推杆做上下直线运动, 适用于高温差的场合, 因此在对阀门部分结构做了特殊要求后用来做程控阀起切断作用。

阀门有限位结构, 确保启闭时阀芯位置准确; 阀门采用锥形密封, 密封安

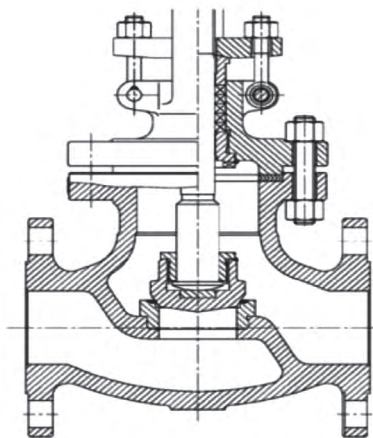


图 4 球形阀结构

全可靠。结构紧凑、质量轻; 阀体通道阀盖表面控制表面粗糙度, 降低流阻系数; 阀芯为锻件加工成形; 阀芯表面有较高的表面硬度、表面质量、耐腐蚀和耐冲蚀等特性; 阀芯密封面按照订单要求堆焊材料, 焊层耐蚀性不低于阀体材料。密封副堆焊后按工艺要求进行热处理, 机械加工后堆焊层厚度 $\geq 1.6 \text{ mm}$; 阀芯密封面堆焊后再机械加工完成后进行研磨处理, 研磨后表面粗糙度值 R_a 为 $0.2 \mu\text{m}$, 装配前再与阀座配磨; 阀座为阀座或锻造成型, 再机加工成形; 阀座密封面按照订单要求堆焊材料, 焊层耐蚀性不低于阀体材料。密封副堆焊后按工艺要求进行热处理, 机械加工后堆焊层厚度 $\geq 1.6 \text{ mm}$; 阀座密封面堆焊后再机加工完成后进行研磨处理, 研磨后表面粗糙度值 R_a 为 $0.2 \mu\text{m}$, 装配前再与阀瓣配磨。

长期使用发现, 球形阀运行稳定且造价也较低, 新建或者改造的分子筛脱水装置建议使用该种类型的阀门结构。

2.5 阀芯阀座硬化工艺

阀芯阀座的硬化工艺, 不同制造厂有不同的解决方案, 见表 1, 一般有以下几种方案。根据本装置程控阀适用工况, 选择表面堆焊硬质合金可满足本工况的要求, 一般选择堆焊司太莱合金, 厚度 3 ~ 5 mm, 可应对天然气中携带的少量固体颗粒对阀内件的磨损。

2.6 阀门执行机构、阀位开关及电磁阀

阀门执行机构及电磁阀选型原则, 首先根据工艺条件, 确保执行机构在高温、高压、高频动作下提供充足的推动力, 保证阀门的正常操作。

阀门执行机构根据使用经验, 一般选择拨叉式双作用执行机构, 如图 5 所示, 拨叉式气缸具有扭矩大、空间小, 通过拨叉盘将活塞的直线运动转化为圆盘的旋转运动, 从而带动阀门转动, 其力矩在阀门开度为 0 ~ 50%, 越来越小。在开度为 50% ~ 90%, 力矩大小逐渐变大, 最终只有开启力矩的 70%。阀门

表 1 球阀内件表面硬化处理工艺对比

表面硬化处理工艺	洛氏硬度 /HRC
表面堆焊 (或热喷焊) 硬质合金	40
表面镀铬	60 ~ 65
等离子氮化	60 ~ 65
超音速喷涂 (HVOF)	70 ~ 75

基础扭矩值根据经验扩大数,再在此基础上考虑至少 2 倍安全系数,最终给出阀门的扭矩,并以此确定执行机构选型。执行机构选定后,再选择适合的气路附件和配管,保证动作时间及功能要求。所有的执行机构均应为自润滑类型,执行机构的承压壳体应该采用铸钢或者阳极氧化铝,不允许采用铸铁或其他材质。

电磁阀的选型遵循《GB/T 50892—2013 油气田及管道工程仪表控制系统设计规范》:“5.8.21 控制阀附件的选型应符合下列要求:电磁阀的选择应符合下列规定:控制双作用气缸执行机构、活塞式执行机构以及使用切断球阀的自控系统中实现自动切换控制或联锁程序控制的场合,宜用二位五通电磁阀。”因执行机构是拔叉式双作用执行机构,因此电磁阀也根据规范要求选用二位五通电磁阀且采用低温型,满足现场环境温度要求。防爆等级 Exdb IIB T4 Gb,防护等级 IP65,整体带有防爆接线盒。

阀位开关会出现阀门已关到位或者开到位,但是检测信号未显示的情况,经诊断发现,是由于设计时将阀位开关信号的电缆接到了阀自身配的接线盒里,由于该段电缆又配了防爆挠性管,新增应力使得探头偏离信号检测敏感区,导致触点信号丢失,阀位开关因受应力倾斜如图 6 所示。

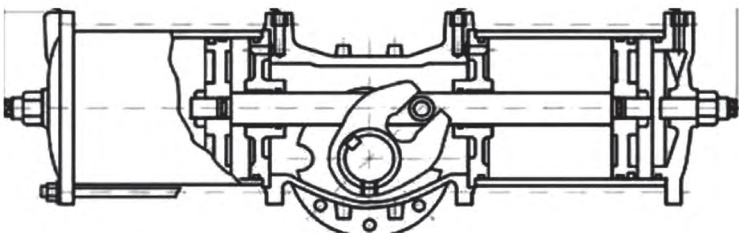


图 5 拔叉式双作用执行机构

为解决这一问题,考虑消除应力的措施,将阀位开关做到接线盒里,并将接线盒固定牢固,这样阀位开关与接线盒之间没有应力拉扯,阀位信号可以稳定检测。

3 结语

现代流程工业正朝着产业化、规模化、智能化方向发展,对装置的长周期可靠稳定运行和核心关键设备的质量、性能提出更高要求。程控阀作为流程工业测控系统中关键装备,直接影响着装置的稳定性和可靠性,程控阀的质量成为装置运行效率的关键要素。因此需特别注重工况对程控阀的影响,吸取过往工程运行中的经验教训,优化选型细节。

参考文献:

[1] 王秀凡,张友超,李永强.S Zorb 装置程控阀故障分析与技术改造[J].炼油技术与工程,2022,52(12): 37-40.

[2] 魏予都,韩永振.PSA 程控阀运行维护与优化改造研究[J].化肥设计,2022,60(04): 50-54.

[3] 魏臻,魏剑萍.PX 装置程控阀的故障分析及改进措施[J].石油化工自动化,2021,57(04): 96-98.

[4] ASME B16.34-2013, Valves- Flanged, Threaded and Welding End[S]. 2013.

[5] ASME B16.10-2017, Face-to-Face and End-to-End Dimensions of Valves[S]. API607.

[6] FCI 70-2-2013, Control Valve Seat Leakage[S]. 2013.

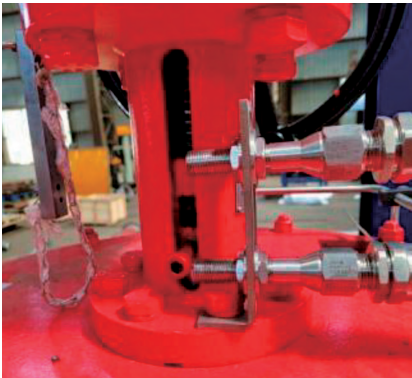


图 6 阀位开关因受应力倾斜

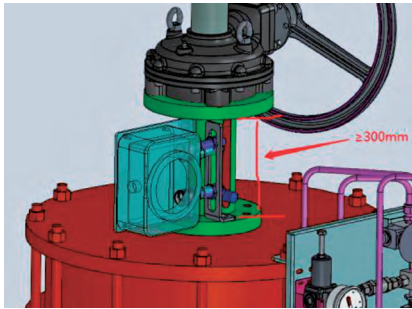


图 7 优化后的阀位开关结构

[7] GB/T 50892 - 2013, 油气田及管道工程仪表控制系统设计规范[S].

[8] 黄步余,范宗海,马睿.石油化工自动控制设计手册[M].4版.北京:化学工业出版社,2020.

[9] 四川石油设计院.石油地面工程设计手册[M].东营:石油大学出版社,1995.

[10] 林融,黄步余,任军,等.石油化工自动化仪表选型设计规范[S]: SH/T 3005 - 2016[S].北京:中国石化出版社,2016.

[11] 陈鹏轩,张井鲁,张硕,等.新疆某天然气处理站分子筛脱水撬投产故障分析及处理措施[J].中国石化,2017(08): 166-168.

[12] 肖述琴,于志刚,樊莲莲,等.苏里格气田气井井口远程控制电磁阀研究[J].油气田地面工程,2009,28(09): 23-25.

[13] 陈晓刚,苗成,何蕾,等.气井远程控压开关技术在神木气田的探索与试验[J].油气田地面工程,2020,39(11): 11-17.