

弹簧全启式安全阀的快速拆装结构设计与可靠性研究

林秀武

浙江欧德机械科技有限公司 浙江 温州 325000

【摘要】本文综合运用文献研究、机械设计等方法对其深入研究。先分析工作原理、常见结构及优缺点，明确不同场景下对快速拆装和可靠性的需求。接着围绕缩短拆装时间等目标，遵循相关原则，设计包含创新连接方式和便捷操作机构的快速拆装结构，优化密封与定位结构，探讨材料选择与强度分析。同时，用 FMECA 和 FTA 等方法确定可靠性指标，通过实际案例剖析故障模式及原因，提出改进措施并评估效果。此外，还研究了快速拆装结构与可靠性的关联。本研究成果为其设计优化提供理论与实践依据，有助于提升应用性能，但在结构耐久性和复杂故障分析等方面仍需深入研究。

【关键词】弹簧全启式安全阀；快速拆装结构；可靠性；故障模式及影响分析；故障树分析

DOI:10.12417/2705-0998.25.21.041

1 引言

工业生产中，安全至关重要。弹簧全启式安全阀是工业系统重要安全保护装置，当系统内压力超预设安全阈值，能迅速自动开启释放多余压力，避免超压引发的设备损坏等严重事故，保障生产安全稳定。

在石油化工行业，反应釜和管道输送易燃易爆、有毒有害介质，弹簧全启式安全阀关键时刻启动保障安全；电力行业，锅炉等设备需稳定压力，该安全阀可防压力异常升高损害设备，确保发电持续稳定。

传统弹簧全启式安全阀拆装耗时长、人力多，需专门复杂工具和繁琐步骤，降低维护效率、增加成本，紧急情况无法快速拆装更换或延误故障处理，引发安全事故。因此，设计快速拆装结构对提高维护效率、降低成本、保障生产连续性意义重大。

安全阀可靠性关乎工业系统安全运行，故障如超压未起跳、起跳不回座或泄漏等，会致系统压力失控，引发事故造成损失。统计显示，安全阀故障引发的工业事故占一定比例。深入研究其可靠性，分析故障模式及原因，提出改进措施和评估方法，对提高可靠性、保障生产安全有现实意义。

2 弹簧全启式安全阀基础概述

弹簧全启式安全阀由阀体、阀瓣、弹簧、调节螺杆等组成，工作原理基于弹簧弹力与介质压力的相互作用。正常工作时，系统介质压力低于设定开启压力，弹簧弹力使阀瓣紧压阀座，阀门关闭，保证系统密封、防泄漏。当系统压力因设备故障、操作失误、外部干扰等升高至或超过设定开启压力，介质压力对阀瓣的推力大于弹簧弹力，阀瓣被顶起，安全阀开启，多余介质经间隙和排放通道排出，系统压力下降。当系统压力降至回座压力，弹簧弹力主导，推动阀瓣下移贴合阀座，安全阀关闭，停止排介质，系统恢复正常。安全阀的开启和回座压力可通过调节螺杆调整弹簧预紧力，以适应不同系统压力要求。

3 快速拆装结构设计要点

3.1 设计目标与原则

传统安全阀拆装繁琐，需专用工具，导致设备维护停机时间长。快速拆装结构通过创新连接方式和便捷操作机构，可让工作人员短时间完成拆装，提高维护效率，减少停机经济损失。

降低劳动强度也是重要目标。传统拆装耗力，易致操作失误。新结构采用省力设计，使操作轻松，降低劳动强度，提高准确性与安全性。

提高拆装便捷性也不容忽视。该结构操作流程应简单易懂，减少对操作人员专业技能和经验的依赖，让更多人能快速上手。

设计过程需遵循重要原则。可靠性原则是关键，快速拆装结构要确保安全阀正常工作的可靠性与稳定性，连接部位要牢固，避免松动、泄漏等问题。

安全性原则至关重要。设计要考虑操作人员安全，防止拆装时出现意外伤害，确保安全阀开启和排放介质时不危害周围人员和设备。

兼容性原则要求结构与现有管道系统、设备及相关部件良好兼容，尺寸和接口形式符合标准，便于不同工业场景安装使用，降低应用成本和难度。

经济性原则体现在设计要考虑成本，在保证性能和质量的前提下，选用低成本材料和工艺，减少复杂设计，降低生产和维护成本，提高产品性价比与市场竞争力。

3.2 关键结构设计

3.2.1 连接方式创新

快速插拔式连接是创新连接方式，借鉴电子设备插拔式接口理念。在安全阀阀体和管道连接部位设特殊插头和插座结构，实现快速连接与分离。安装时，将插头对准插座插入即可，操作简单快捷，能短时间完成安全阀安装，提高工作效率；拆卸时，施加外力拔出插头即可。

卡箍式连接是新型连接方式，灵感源于管道连接的卡箍技术。在安全阀与管道连接部位用高强度卡箍箍紧，实现紧密连接。卡箍由金属制成，强度和韧性高，能承受较大压力。安装时，将卡箍套在连接部位，拧紧螺栓或螺母使卡箍收紧，无需大量螺栓螺母，减少安装时间和工作量。其密封性能良好，卡箍与安全阀、管道接触部位设橡胶或金属密封垫，卡箍收紧时密封垫填充间隙，防止介质泄漏。还具有一定柔性，能适应管道轻微变形和位移，减少连接故障，提高可靠性和稳定性。

3.2.2 便捷操作机构

快速开启关闭装置是关键，采用独特机械结构，工作人员通过简单手柄或按钮，短时间内就能完成安全阀开启和关闭。开启时，拉动或按下手柄克服弹簧弹力打开阀瓣排放介质；系统压力正常后，再操作手柄关闭阀瓣停止排放。该装置考虑人体工程学，手柄设计便于握持操作，减少难度和疲劳；内部采用高效传动方式，有效传递力实现快速准确控制。省力扳手也是重要操作机构，传统拆装用普通扳手费力且耗时，省力扳手采用特殊杠杆结构和力学原理，减小所需施加的力。它有可调节杠杆长度，能根据螺栓规格和拧紧力矩灵活调整以达最佳省力效果，还配备防滑手柄，提高操作便捷性和效率。

3.2.3 密封与定位结构优化

在弹簧全启式安全阀的快速拆装结构中，密封结构优化很重要。为确保拆装时的密封性，采用新型密封材料和结构。如高性能橡胶材料，弹性和柔韧性好，受挤压可填充间隙，部分还添加特殊添加剂，适应复杂介质和高温环境。密封结构采用多道密封防线理念，除主密封垫，周边增加辅助密封结构，如密封唇、密封环，可补充密封，防止泄漏扩大。

定位结构优化对确保拆装稳定性关键。采用高精度定位销和定位槽，连接时定位销插入定位槽，实现快速准确定位，保证安装位置正确。严格控制尺寸和配合精度，多次拆装也能保持良好定位效果。

在阀体和管道连接部位设导向结构，如导向键、导向套，使安全阀安装时沿其顺利插入管道，减少安装难度和误差，提高效率和稳定性。运行中，导向结构能支撑固定安全阀，防止位移，确保正常工作。

3.3 材料选择与强度分析

适合弹簧全启式安全阀快速拆装结构的材料应具备多种特性。材料需有较高强度和韧性，以承受安全阀工作时的压力、冲击力和振动等载荷。高压下，若材料强度不足，会导致部件破裂、泄漏，影响设备安全运行；韧性好则能防止冲击时脆性断裂，提高可靠性和安全性。

耐腐蚀性是重要特性。工业场景中，安全阀会接触腐蚀性介质，不耐腐蚀的材料会降低其使用寿命和性能，应选不锈钢、耐腐蚀合金等耐腐蚀性好的材料，确保长期稳定运行。

材料的耐磨性也不容忽视。快速拆装时部件间有相对摩擦，耐磨性差会影响连接紧密性和设备正常工作，应选硬度和耐磨性高的材料，如表面硬化处理的金属材料，延长部件使用寿命。

材料的加工性能也需考虑。为便于制造和加工，应选易切削、成型和焊接的材料，降低成本和难度，提高生产效率。

材料强度直接影响安全阀可靠性。强度不足，安全阀开启和排放介质时部件可能变形、破裂，失去保护作用，高温、高压等恶劣工况下强度下降更明显，需选不同工况下都能保持足够强度的材料。

合理的材料强度设计能提高安全阀使用寿命。强度足够可承受长期交变载荷和腐蚀，减少疲劳损坏和腐蚀失效，降低维护和更换成本。选择材料时，要根据工况条件进行详细强度分析和计算，确保满足实际要求，保障安全阀可靠性。

4 基于实际案例的可靠性分析

4.1 案例选取与背景介绍

本研究选取石油化工和电力行业典型案例，剖析弹簧全启式安全阀实际运行表现。在石油化工行业，选某大型炼油厂常减压蒸馏装置，它是核心生产单元，分离原油，运行涉及高温、高压和易燃易爆介质。该装置常压塔塔顶管道装弹簧全启式安全阀，设定开启压力 1.2MPa，工作温度 200-350°C，介质为含硫化氢的油气混合物，用于防塔顶超压。在电力行业，选某火力发电厂锅炉系统，锅炉是关键设备，产生高温高压蒸汽发电，对安全阀可靠性要求高。该电厂高压锅炉过热器出口管道装弹簧全启式安全阀，设定开启压力 13.5MPa，工作温度约 540°C，介质为高温高压蒸汽，用于防锅炉超压，保障发电系统安全稳定运行。

4.2 故障模式及原因分析

在石油化工行业案例中，该炼油厂常减压蒸馏装置的弹簧全启式安全阀出现泄漏故障。经检查分析，主要原因一是密封面损伤，油气混合物含硫化氢等腐蚀性成分，长期作用使阀瓣与阀座密封面被严重腐蚀，有明显划痕和磨损，致密封性能下降而泄漏；二是弹簧弹性下降，长时间高温工作使弹簧材质性能改变、弹性系数降低，无法提供足够弹力压紧阀瓣，加剧泄漏。

该安全阀还出现超压不起跳故障。排查发现，调节螺杆松动使弹簧预紧力改变，实际开启压力远高于设定值，系统压力达设定开启压力 1.2MPa 时未能正常开启，险些引发事故。

在电力行业案例中，火力发电厂锅炉系统的弹簧全启式安全阀出现排放后阀瓣不回座故障。经详细检查分析，原因一是弹簧弯曲变形，长期在高温高压恶劣环境下工作，弹簧应力过大逐渐弯曲，无法正常复位，致阀瓣不能回座；二是阀杆和阀

瓣安装位置有偏差,开启和关闭时阀瓣受力不均,加剧弹簧变形和阀瓣卡滞,使阀瓣难回座。

该安全阀还存在启闭滞后问题,系统压力达设定开启压力时不能迅速开启,下降到回座压力时不能及时关闭。主要是阀体内部结垢严重,蒸汽杂质沉积增加阀瓣运动阻力,使动作响应速度变慢。

4.3 改进措施与效果评估

针对石油化工行业案例中安全阀泄漏问题,采取改进措施:更换耐腐蚀性更强的密封材料,如表面堆焊钴基合金密封面,增强抗腐蚀和耐磨性能;升级弹簧,选用高温性能稳定材料并进行特殊热处理,提高弹性稳定性和抗疲劳性能。针对超压不起跳问题,重新调整调节螺杆确保预紧力准确,增加防松装置;精细研磨和清洗阀瓣与阀座,去除杂质保证阀瓣自由活动。改进后经运行监测,泄漏问题解决,密封良好无明显泄漏,超压不起跳故障未再发生,安全阀能准确开启,保障常减压蒸馏装置安全运行。

对于电力行业案例中安全阀排放后阀瓣不回座问题,更换质量更好、强度更高的弹簧,确保高温高压下弹性和形状稳定;精确调整阀杆和阀瓣安装位置,减少卡滞。针对启闭滞后问题,增加蒸汽吹扫结构定期吹扫阀体内部防结垢,优化弹簧设计提高弹性响应速度。改进后的安全阀运行良好,排放后阀瓣及时回座,避免蒸汽持续排放和能源浪费,启闭滞后问题明显改善,能在设定压力准确启闭,保障锅炉系统稳定运行。性能测试和数据分析显示,动作响应时间缩短,可靠性大幅提高。

5 快速拆装结构与可靠性的关联研究

为满足弹簧全启式安全阀可靠性要求,快速拆装结构设计需多方面调整优化。连接方式选择设计要考虑可靠性,快速插

拔式连接结构用优质材料和精密工艺,提高插头插座耐磨性和耐腐蚀性,增加多重锁定机构防松动;卡箍式连接结构优化卡箍设计,提高强度韧性,改进密封垫设计与选材,用耐高温、高压和耐腐蚀材料,优化形状尺寸提高密封性能。操作机构设计要考虑可靠性对操作的要求,快速开启关闭装置提高操作稳定性,采用可靠传动和控制方式;省力扳手设计更人性化,提高操作便捷性,减少对安全阀的损坏。密封与定位结构需进一步优化,密封结构采用多道防线,增加辅助密封结构;定位结构更精确稳定,用高精度定位销和槽,增加强度刚度,保证安全阀在各种工况下的稳定性。

6 结论

本研究聚焦弹簧全启式安全阀,在快速拆装结构设计与可靠性研究方面取得成果。

在快速拆装结构设计上,以缩短拆装时间、降低劳动强度、提高便捷性为目标,遵循可靠性、安全性、兼容性和经济性原则。通过创新连接方式实现安全阀与管道快速连接分离,缩短拆装时间;设计便捷操作机构降低操作难度和劳动强度;优化密封与定位结构,采用新型密封材料和多道密封防线提高密封性能,用高精度定位销和定位槽确保安装准确性和稳定性。在材料选择上,确定适合快速拆装结构的材料应具备高强度、韧性、耐腐蚀性、耐磨性和良好加工性能等特性,分析了材料强度对安全阀可靠性的影响。

在可靠性研究方面,运用故障模式及影响分析(FMEA)和故障树分析(FTA)等方法确定开启压力偏差、泄漏率和动作响应时间等可靠性指标。通过分析石油化工和电力行业实际案例,找出安全阀常见故障模式及原因并提出改进措施,提高了可靠性。研究还探讨了快速拆装结构与可靠性的关联,为优化设计提供依据。

参考文献:

- [1] 王宝旭,焦子婕.全启式弹簧安全阀弹簧的设计与分析[J].企业导报,2014(9):131-132.
- [2] 林银河,郑魏.全启式弹簧安全阀的现场校检调试[J].电力安全技术,2001,003(2):49-50.
- [3] 刘强.基于 FMEDA 方法的弹簧全启式安全阀可靠性分析[D].浙江:浙江工业大学,2016.
- [4] 吴健,周建强.全启式弹簧安全阀的结构与性能分析[J].化工设备与管道,2006,43(6):15-17.