

超压切断器及阀门装置的工作原理与应用分析

李乐宇

浙江三好智能科技有限公司 浙江 温州 325600

【摘要】：本文聚焦超压切断器及阀门装置，深入剖析其工作原理，涵盖超压切断、欠压切断及综合保护机制。通过分析结构组成与力学作用，阐述其在压力异常时的响应逻辑。同时，系统探讨其在燃气输配、石油化工、低温储运等领域的实际应用，结合行业规范与实际案例，揭示其对保障系统安全稳定运行的关键作用。研究旨在为相关领域的设计、应用和维护提供理论支持，提升系统安全防护水平。

【关键词】：超压切断器；阀门装置；工作原理；系统安全；应用领域

DOI:10.12417/2705-0998.25.21.038

1 引言

在工业生产与民用设施中，流体输送系统的安全性至关重要，压力异常是威胁系统稳定运行的主要因素之一，超压可能导致管道破裂、设备损坏甚至引发爆炸等严重事故，欠压则可能影响工艺流程的正常进行。超压切断器及阀门装置作为保障系统安全的关键设备，能够在压力超出设定范围时自动切断流体通道，有效防止事故的发生。深入理解其工作原理与应用场景，对于优化系统设计、提高安全性能具有重要意义。

从历史发展角度看，早期工业系统中对压力控制的手段较为简单，多依靠人工巡检和简单的机械限压装置，但随着工业规模的扩大和工艺复杂程度的提升，人工方式难以满足实时、精准的压力控制需求。在此背景下，超压切断器及阀门装置应运而生，并不断发展完善，如今，它们已成为各类流体输送系统中不可或缺的组成部分，广泛应用于多个行业领域，本文将围绕超压切断器及阀门装置展开详细探讨，为相关领域的技术人员提供参考。

2 超压切断器的工作原理

2.1 基于压力感应的机械触发机制

超压切断器的核心功能在于实时监测系统压力，并在压力超过预设安全值时迅速切断流体，其工作原理基于压力感应与机械触发的紧密结合。以常见的燃气超压切断阀为例，阀门内部设置有压力感应元件，该元件直接与阀后管道相连，实时采集管道内的压力信号，当系统压力处于正常范围时，压力感应元件处于平衡状态，阀门保持开启，流体正常流通。

一旦系统压力升高并超过预设的超压切断值，压力感应元件会发生形变，产生一个向上的作用力，这个作用力传递至执行机构中的推杆，推杆克服超压弹簧的预设阻力向下运动，推杆的运动带动平衡轴向下移动，进而打破预先设定的平衡状态。此时，平衡轴上的挂钩失去对控制杆的约束，阀座弹簧力推动阀瓣迅速向阀座运动，最终实现阀瓣与阀座的紧密贴合，切断管线气流，完成超压保护动作。

这种机械触发机制具有响应迅速、可靠性高的特点，由于

不依赖外部电源，仅依靠系统自身的压力变化和机械结构的相互作用，能够在各种复杂环境下稳定工作，尤其适用于对安全性要求极高的燃气输配系统。例如在一些偏远地区的燃气调压站，电力供应可能不稳定，机械式超压切断器可以不受电力影响，持续保障燃气系统的安全运行，而且其机械结构相对简单，零部件较少，减少了故障发生的概率，维护成本也较低。同时，机械结构的可预测性强，工程师可以根据其力学原理进行精确的设计和计算，确保在各种工况下都能可靠动作。

2.2 切断压力的设定与调整

超压切断器的切断压力设定是确保其有效保护系统的关键环节，切断压力通常根据系统的设计要求、设备承受能力以及安全规范进行确定，在实际应用中，需要根据具体的工艺参数和安全标准，精确设定超压切断值。

为了实现切断压力的灵活调整，超压切断器设计了专门的调整机构，以 RAQ 燃气超压切断阀为例，其内部设置有可调节的弹簧装置，通过旋转弹簧调节螺母，可以改变弹簧的预紧力，从而调整切断压力的大小，在调整过程中，需要使用专业的压力测试设备，确保切断压力的设定准确无误。

切断压力的调整还需要考虑系统的实际运行工况，在燃气输配系统中，不同季节、不同时段的气体需求和压力波动可能有所不同，在冬季，由于气温较低，气体的密度增大，系统压力可能会相对升高，此时可能需要适当调高超压切断值；而在夏季，燃气需求相对较小，系统压力波动范围可能较小，切断值可适当调低。此外，随着设备的使用年限增加，其性能可能会发生变化，也需要定期对切断压力进行校准和调整，在一些大型的燃气输配网络中，可能会设置多个不同切断压力的超压切断器，以适应不同区域和不同时段的气体变化，提高系统的安全性和稳定性。

3 欠压切断器的工作原理

3.1 压力下降引发的保护响应

与超压切断器相对应，欠压切断器主要用于监测系统压力是否低于安全下限，当系统压力因泄漏、设备故障等原因下降

至预设的欠压切断值时，欠压切断器会迅速启动保护机制，切断流体供应，防止因压力过低导致的工艺异常或设备损坏。

欠压切断器的工作原理同样基于压力感应与机械触发，常见的欠压保护装置其压力感应元件持续监测阀后管道的压力变化，当系统压力正常时，压力感应元件处于稳定状态，阀门保持开启，一旦系统压力下降并低于预设的欠压切断值，压力感应元件产生的向下作用力减小，推杆在欠压弹簧的作用下向上运动。

推杆的向上运动带动平衡轴向上移动，同样打破预先设定的平衡状态，此时平衡轴上的挂钩失去对控制杆的约束，阀座弹簧力推动阀瓣迅速向阀座运动，切断管线气流，实现欠压保护，在实际应用中，欠压切断器对于一些对压力敏感的工艺过程尤为重要，比如在化工生产中的聚合反应，如果反应釜内的压力过低，可能会导致反应速率下降，产物质量不合格，甚至引发反应中断。欠压切断器能够及时切断物料供应，避免这种情况的发生。

3.2 欠压切断的应用场景与重要性

欠压切断器在多个领域具有广泛的应用场景，在燃气输配系统中，欠压切断可以防止因燃气压力过低导致的燃烧不充分、回火等安全隐患。

在石油化工领域，欠压切断对于保护工艺设备和保证产品质量至关重要，许多化工生产过程对压力有严格的要求，压力过低可能导致反应速率下降、产品质量不合格等问题。此外，在电力行业的蒸汽系统中，欠压切断可以防止因蒸汽压力过低导致汽轮机效率下降，保障电力设备的稳定运行。在一些大型的工业园区，多种工艺系统相互关联，欠压切断器可以避免因某个系统的压力异常影响到其他系统的正常运行，提高整个园区的生产稳定性和安全性。

4 超压/欠压综合切断器的工作原理

4.1 双功能保护的协同机制

为了更全面地保障系统的安全运行，许多场合采用了超压/欠压综合切断器，这种切断器同时具备超压切断和欠压切断的功能，能够在压力超出或低于设定范围时自动启动保护。

超压/欠压综合切断器的工作原理结合了超压切断和欠压切断的机制，其内部设置有独立的超压感应元件和欠压感应元件，分别监测系统压力的上限和下限。当系统压力超过超压设定值时，超压感应元件触发超压切断机制；当系统压力低于欠压设定值时，欠压感应元件触发欠压切断机制。

在实际工作中，超压/欠压综合切断器的两个保护功能相互独立又协同工作，在燃气储罐的进出口管道上安装超压/欠压综合切断器，可以同时防止因充装过量导致的超压爆炸和因泄漏导致的欠压抽空事故，这种综合保护机制大大提高了系统的安

全性，减少了因单一压力异常引发事故的风险，而且，综合切断器可以简化系统结构，减少设备的数量和占地面积，降低安装和维护成本。

4.2 综合切断器的结构特点

超压/欠压综合切断器在结构设计上充分考虑了双功能保护的需求，其主体结构通常包括阀体、阀瓣、阀座、压力感应元件、执行机构和弹簧装置等部分。为了实现超压和欠压的独立监测，压力感应元件分为超压感应部分和欠压感应部分，分别与相应的执行机构连接。

执行机构的设计是综合切断器的关键，它需要能够准确响应超压和欠压信号，并迅速驱动阀瓣完成切断动作。一些先进的综合切断器采用了模块化设计，将超压和欠压的执行机构集成在一起，提高了设备的可靠性和维护便利性。同时，综合切断器的阀体通常采用高强度材料制造，能够承受较高的压力和温度，适应各种恶劣的工作环境，在一些高温、高压的化工生产环境中，阀体材料的选择和制造工艺至关重要，直接关系到切断器的使用寿命和安全性。此外综合切断器还可能配备有状态指示装置，方便操作人员直观地了解设备的工作状态。

5 阀门装置在超压/欠压保护系统中的作用

5.1 阀门的密封与切断功能

阀门装置是超压/欠压保护系统中的关键执行部件，其主要功能是实现流体的密封和切断，在正常工作状态下，阀门保持开启，确保流体顺利通过，当系统压力出现异常时，阀门迅速关闭，切断流体通道，防止事故的扩大。

优质的阀门通常采用高精度的加工工艺和先进的密封材料，确保在关闭状态下能够实现零泄漏，金属硬密封可以承受较高的压力和温度，而软密封则可以提供更好的密封效果，防止微小泄漏。

5.2 阀门与切断器的协同工作优化

阀门装置与超压/欠压切断器紧密协同工作，共同构成完整的压力保护系统，切断器负责监测系统压力并发出切断信号，阀门则根据切断信号迅速执行切断动作。

为进一步提升协同工作效率，可从信号传输与动作响应两方面优化，在信号传输上，采用高速、稳定的通信方式，确保切断信号能瞬间、准确传至阀门控制单元。例如，在一些大型化工企业中，采用光纤通信技术传输切断信号，具有传输速度快、抗干扰能力强的优点，动作响应方面，对阀门执行机构进行优化设计，选用高性能驱动元件，缩短阀门关闭时间，同时，建立反馈机制，阀门动作后向切断器反馈状态信息，便于切断器实时掌握系统状况，实现更精准的压力控制与保护。当阀门关闭后，向切断器反馈关闭信号，切断器可以根据该信号判断阀门是否正常动作，若出现异常可以及时采取措施。在一些自

动化程度较高的生产系统中,还可以通过上位机软件对阀门和切断器的工作状态进行实时监控和数据分析,进一步优化协同工作效果。

6 超压切断器及阀门装置的应用领域与发展趋势

6.1 应用领域的拓展与深化

超压切断器及阀门装置的应用已从传统燃气输配、石油化工领域,向新能源、环保等新兴领域拓展,在新能源领域,如氢能储存与运输中,氢气易燃易爆且对压力敏感,超压切断器及阀门装置可有效防止氢气泄漏与爆炸。氢气作为一种清洁能源,其储存和运输过程中的安全性至关重要,在氢气储罐和运输管道中安装超压切断器及阀门装置,可以在压力异常时及时切断氢气流动,避免发生危险。

在环保领域,污水处理、废气处理等系统对压力控制要求严格,这些装置能保障系统稳定运行,防止因压力异常导致的设备损坏与环境污染,在污水处理厂的曝气系统中,需要精确控制空气压力,以保证微生物的活性,超压切断器及阀门装置可以防止因压力过高损坏曝气设备,同时避免因压力过低影响污水处理效果。在废气处理系统中,通过控制压力可以确保废气处理设备的正常运行,防止废气泄漏对环境造成污染。

6.2 发展趋势与展望

未来,超压切断器及阀门装置将朝着智能化、集成化、绿色化方向发展,智能化方面,引入物联网、大数据等技术,实现设备远程监控、故障预警与智能诊断。通过在设备上安装传感器,实时采集设备的运行数据,并将数据传输到云端进行分

析,当设备出现异常时,系统可以及时发出预警,提醒维护人员进行检修,同时,利用大数据分析可以对设备的运行状态进行预测,提前制定维护计划,减少设备故障的发生。

集成化上,将多种功能集成于一体,减小设备体积,提高系统集成度,将超压切断、欠压切断、流量控制等功能集成在一个阀门装置中,减少设备的数量和占地面积,方便安装和维护

同时,随着行业标准的不断完善,设备的性能与安全性将进一步提升,为各领域的安全稳定运行提供更坚实保障,行业标准的制定可以规范设备的生产和使用,确保设备的质量和性能符合要求,通过严格的质量检测和认证,可以筛选出优质的设备,提高整个行业的水平。

7 结论

超压切断器及阀门装置作为保障流体输送系统安全运行的关键设备,其工作原理基于精确的压力感应和可靠的机械触发机制,通过超压切断、欠压切断以及综合切断等功能,能够有效防止因压力异常导致的各种事故,保障人员生命安全和设备正常运行。

未来,随着工业技术的不断发展和安全标准的日益提高,超压切断器及阀门装置将朝着更加智能化、可靠化和高效化的方向发展。通过引入先进的传感器技术、自动控制技术和材料科学技术,进一步提高设备的性能和安全性,为工业生产和民用设施的安全运行提供更有力的保障。同时,加强行业间的交流与合作,推动超压切断器及阀门装置技术的不断创新和发展,也将对整个行业的进步产生积极的促进作用。

参考文献:

- [1] 徐彬,李璐伶.自力式阀门与控制阀联合调流调压的应用[J].煤气与热力,2025,45(02):13-15.
- [2] 张笑,李波.工程机械回转控制阀性能提升研究[J].液压气动与密封,2021,41(07):27-28.
- [3] 韩吉田,裘烈钧,李广文,等.新型低压自力式压力调节器的研制[J].山东机械,1994,(02):5-7.
- [4] 刘兴煜,吴洋.通用控制阀泄漏标准探讨[J].油气田地面工程,2025,44(04):74-80.