

高压柱塞泵故障分析及解决对策

徐新亭

中国石油乌鲁木齐石化公司化工生产部 新疆 乌鲁木齐 830019

摘要: 针对高压法三聚氰胺装置高压甲铵泵和高压氨水泵在运转过程中出现的不同故障,根据水泵的构造特点和介质特殊性,通过整个生产操作过程的摸索和实施,开展技术分析,寻找解决方法和避免办法,并采取相应的技术保护措施。这些措施从根本上解决了影响甲铵泵长期运转的技术瓶颈,确保了设备的稳定运转。

关键词: 高压甲铵泵;密封;甲铵液;泄漏;运行周期

1 概述

乌鲁木齐石化有限公司化工技术处生产三聚氰胺的设备为30kt/a高压设备,其基础设计是由德国欧洲设计技术有限公司完成,详细设计由东华工程科技股份有限公司完成。该设备通过了最新的高压技术,在反应器中通过高温高压的方式生产三聚氰胺,实现了百分之99.8的废弃熔融尿素经过循环使用,以实现环境保护。该设备于2008年4月7日进行了投料试验并成功。然而,在试验阶段,部分设备存在问题,包括高压甲铵泵的工作时间短、事故频发等,对设备的稳定生产造成严重影响。化工产品部通过对装置特性和工艺参数的摸索与调整,成功延长了单泵运转期限至100天,实现了长循环运转,保证了三聚氰胺设备的长期稳定工作^[1]。

2 高压甲铵泵故障原因分析及解决对策

2.1 设备原因

高压甲铵泵类型为3JA-39.36/21-TB,属于三柱塞卧式往复泵,由上海大隆机器有限公司设计制造。该泵通过变频调速控制系统,工作转速范围为48-120转每分钟。其出口压力(绝压)为21兆帕,最高出口流速为16-39m³/h。

高压甲铵泵是一种用于化学分析、医疗、生物技术和实验室等领域的仪器。

该泵由上海大隆机器有限公司设计制造,采用变频调速控制系统,可以在48-120转每分钟的范围内调整转速。

泵的出口压力(绝压)为21兆帕,最高出口流速为16-39m³/h。

泵的工作转速范围较宽,适用于不同的应用场景。

2.1.1 液力端与桁架密封面泄漏及处理

1) 阀组方形的压盖,枪机未拧紧。当将插杆、阀组件等配置好之后,通过安装方压盖,压紧阀组件,并压紧在阀组件和主填料函中间的尼龙密封垫,阻止介质向外泄漏,若阀组方形压盖螺栓未紧固到位,则聚酰胺密封垫就起不了密封作用,而介质也将从液力端面和纵桁

密封面之间外泄。

2) 桁架梁构件的液力端,紧固螺钉不拧紧。甲铵泵液力端与动力端之间的贴合是用螺钉连接,同时固定颗螺栓承受了整个液力端的重量,在这个连接端面靠尼龙密封垫密封,但如果枪机不均匀拧紧,则尼龙密封垫就起不了完全密封作用,而溶剂也将从液力端与钢筋的桁架密封面上渗出^[2]。

3) 尼龙密封垫对于阀组和主填料函的重要性。甲铵泵的尼龙垫需要使用φ1351555的环形密封垫,曾尝试使用PEEK等新型材料制作密封垫以延长使用寿命,但检测结果表明不适宜使用PEEK密封垫,因其脆裂变形。尼龙垫看起来是静态的密封圈,但实际上承载了交变应力。当阀组吸气时,密封的气压为泵入气压;而在阀组流出时,密封的气压是油泵输出气压。因此,在油泵工作时,聚酰胺垫一直受到高压差的交变作用力,这也是其寿命的重要限制因素。若阀组和主填料函的中间尼龙垫损坏,材料就会从液力端和钢筋桁架的密封面泄漏。

4) 阀组端部和装填料函端面的加工方向不平行。聚酰胺密封垫通常放置于填料函端部的沟槽中,但如果阀组端部和填料函端面的设计不平行,则尼龙垫密封面受力不平衡,可能封闭不严,从而造成渗漏。

在2008年4月的试验中,以水为主要媒介,当出口水压增加至6~10MPa时,出现了液力端与桁架柱的密封面泄漏的情况,同时泵出水压也因此减至最低。经过检查,发现泄漏源头并非排除的那些因素,而是因为阀套方形压盖紧固螺钉以及纵桁与液力端紧固螺钉没有拧紧^[1]。

处理对策:先把阀组压盖彻底松开,打紧桁架梁的枪机后,再拧紧阀组压盖的螺钉,泵工作后正常,此处也不会出现漏气。

在2008年5月,又发生了主填料函位置的渗漏事件。经检测,拆开阀组后发现尼龙垫已经变质失去了弹性,很显然这种渗漏是由尼龙垫的损坏导致的。

解决对策：更换密封垫后，泵运行正常。

2.1.2 阀组故障及处理

自2008年4月开始运营以来，高压甲铵泵已经经历了23次液力端拆卸检测，其中大多发生在工作初期。主要是因为阀组故障，这种故障表现为泵在工作阶段突然出现电压规律性大幅变化，流量也发生周期性变化，且表现为随机性。

高压甲铵泵阀组出现泄漏故障，原因可能是密封圈失效或阀芯受损卡塞。该泵的阀组通过双相不锈钢 $00Cr_{25}Ni_6Mo_2N$ ，耐甲铵液腐蚀性能较好^[2]。阀组密封圈共有4种、共计21个。然而，该泵运行初期仅约3天左右就已出现阀组故障。因此无法在线处理，必须对该泵的液力端进行解体维修，对阀芯进行研磨检修，并更换密封圈。

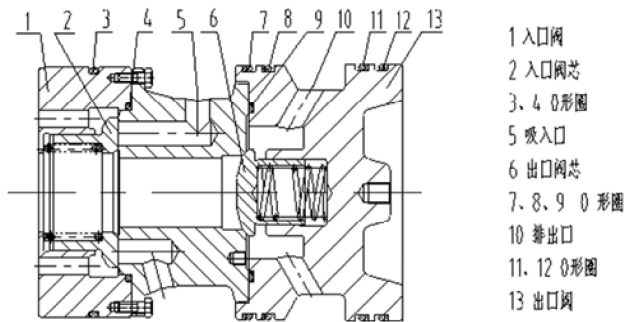


图1 甲铵泵阀组

高压甲铵泵的进出口阀为组合式结构，其中入口阀（低压侧）位于液力端的里侧，而出口阀（高压侧）位于液力端的外侧。该泵的阀组共有7个“O”型密封圈，具体包括： $\phi 1955.7$ （件号7、8）共2个、 $\phi 1935.7$ （件号4、5）共2个、 $\phi 1355.7$ （件号2、6）共2个以及 $\phi 1905.7$ （件号1）共1个，如图1所示。

为确保高低压间的密封性，必须进行内密封^[1]。阀组的6需要封闭，4和5之间的高低压外圈也需要内密封。所使用的密封圈材料必须能够抵御甲铵液介质的腐蚀和老化变性，以确保其密封性能。原装密封圈为氯丁橡胶材料，但在检修拆卸后需检查其情况。若“O”型圈失去弹性并产生裂纹，则必须更换。我们改用由丁二烯和丙烯腈共聚制成的丁腈橡胶密封圈，具有较好的耐油、抗老化和气密性能，并具备高耐磨性。检查阀组时，必须确保“O”型圈加挡圈以保证其正常使用。对于静密封的“O”型圈圈内径 $> 50\text{mm}$ ，工作水压 $> 10\text{MPa}$ 时，必须使用挡圈；对于动密封的工作水压 $> 10\text{MPa}$ 时，也需要使用挡圈。阀组损坏的一个原因是在检修时漏装线圈挡

圈。这导致阀组沟槽间距过大，高压下造成了机械损坏。

2.1.3 高压甲铵泵柱塞填料处泄漏及处理

1) 填充物与插杆之间的摩擦随着时间的推移而逐渐增加^[2]。由于插杆的往复运动与填充物摩擦，即使填充物内圆被密封液体润滑，长期使用中也会受到损坏，与插杆的间隙逐渐扩大，导致介质或清洗水通过泄漏的密封隙缝隙，泄漏逐渐扩大。为解决问题，可以使用专用的钩头或扳手缓慢拧紧填料的调节帽，一般拧紧六分之一至1/2圈，填料将因变形而恢复密封间隙，泄漏量约为1~3滴/s比较适宜，但太紧则会损坏填料。因此，在调整填充物之后，应注意填充物函外壳的工作温度不要骤然提高，一般比正常环境温度高出约 $30\sim 40^\circ\text{C}$ 即可。当填料调节帽已经拧紧到无余量时，需要拆开并用新的成型填充物环更换。而导向套的更换也十分重要。甲铵泵导向套应选用具有一定硬度、耐磨耐蚀性的石墨环。导向套的主要功能是支承和引导柱塞，使柱塞在往复运动时不会因重力而磨损填充物。因此，在更换填充物时，应当同时更换导向套。若损坏的导向套未能及时更换，将无法发挥保护填充物的作用，还会加剧新填充物的偏磨。

2) 由于柱塞铬色品质不良，镀层容易剥落。高压甲铵泵插杆选用奥氏体不锈钢耐酸钢板 $0Cr_{18}Ni_{12}Mo_3Ti$ 制作，插杆表层为铬色，外观不应有其他瑕疵^[1]。铬色品质差则更容易出现大小不一的“小坑”，在柱塞往复运动过程中会刮磨填充物，使填充物内产生径向刮槽，介质水或冲洗液沿着刮沟泄漏而出。通过紧固填充物压封则效力不大，不能解决问题。此外，甲铵液对“小坑”中裸露的柱塞侵蚀增强，铬色层剥落的范围增大，小坑增加，渗漏量变大。若发生此类情况，则需更换新插杆，从根本上解决泄漏问题。目前已经更换三条柱塞。

3) 如果甲铵泵主副填料密封出现介质渗漏，就会导致填料的密封冲洗量过小或者不畅通。若介质向主填充物中渗漏，副填料函会起到封闭作用，同时冲洗水也可以带走介质。同时，填料与柱塞之间的碰撞会产生大量热能，因此密封冲洗液可在柱塞表面形成一层极薄的液膜，以避免干摩擦的产生，还能够带走产生的热能，使填充物处于一定工作温度，防止过热引起填充物变质。填料层的冲洗水量过小会导致甲铵液渗漏出来，流入清洗水管道，从而增大渗漏量^[2]。因此，巡检中确保甲铵泵填充物冲洗通畅非常重要。同时，应该在确定阀门开度等参数后及时调整阀门并挂上禁动标志，不应因填充物渗漏量大而减小冲洗阀的开度。

2.2 工艺原因

工艺设计指标：甲铵液浓度： $37\%\text{NH}_3$ 、 $38\%\text{CO}_2$ 、

25% H_2O 。

2.2.1 中压吸收塔的工艺参数（高压甲铵泵入口压力，甲铵液的温度）的影响

在甲铵泵生产初期的2008年4月，高压甲铵泵的入口压力控制在1.8MPa左右。然而，在操作时压力波动较大，在1.67~1.98MPa之间。在这种条件下使用甲铵泵，极易产生汽化物，从而导致填料密封圈出现严重变形，进而导致泄漏。为了避免高压甲铵泵频繁汽化，将水泵的入口气压从1.8MPa增加到了1.9MPa，并严禁产生剧烈震荡^[1]。

为了避免甲铵液结晶，甲铵液的温度通常为100~105℃，而温度越高，甲铵泵也越易汽化。在实际使用中缓慢减小甲铵液的温度范围，将其控制在95~100℃。

2.2.2 甲铵液的浓度影响

为稳定尿素的高压制备体系，必须采取处理高浓度有机废水的方法处理甲铵液，以降低水分浓度，将甲铵液的浓度参数减少20%。这样可以确保尿素的高压生产过程具有更高的效率。但是，这种方法忽视了高温甲铵泵运行环境，导致高温甲铵泵的工作周期变短，组合阀和填充料泄漏的几率也变得很大。因此，在稳定尿素的高压制备过程中，也要重视高温甲铵泵的操作环境，以保证其正常运行。

通过甲铵液组份计算，结果显示在运行初期甲铵液含水率波动在15%到37%之间，水碳比最低可达到0.85，这导致尿素含量装置工作不平稳，高压甲铵泵出现了多起事故^[2]。针对此情况，人们采取了一些稳定甲铵液含水

量的方法，使其控制在20%到25%之间。

2.2.3 降低高压甲铵泵的运行负荷

高压甲铵泵的最大运行流速范围是16-39 m^3/h ，而其提供的甲铵水流量最大只有17 m^3/h ，这样降低了水泵的工作效率。进行技术改造后，在高压甲铵泵的出口加了副线调节阀，通过开放副线调节，部分甲铵液循环于中压吸收塔内，只有少量输送至化肥和尿素设备。此外，由于三胺投料的压力较小，高压尾气中释放的甲铵液一般只有4~5 m^3/h 以下。通常高压甲铵泵的工作压力保持在80%以下。同时，高压甲铵泵的工作压力过高也是导致工作周期缩短的重要因素之一，因为高压会带来较大的插轴和密封环之间的摩擦，做功时也会产生更高的热量，导致密封环的寿命受到损害。通过调节副线阀的开度和调频降低速度，将分配阀位从最初的14%开度调整至5%左右，大幅减少了阀组故障的数量^[1]。

结语

经过改革和技术调整，甲铵泵的工作条件得到实质性改善，故障率明显降低，运转时间已达三个月。下一步，我们将攻关提高高压甲铵泵的工作时间，确保整个三聚氰胺设备满负荷稳定运行。

参考文献

- [1]王松汉.石油化工设计手册.北京：化学工业出版社，2001.页码
- [2]任晓善,王治方,胡锡章.化工机械维修手册.北京：化学工业出版社，2004.页码