动力站HPK-Y型热水循环泵应用分析

王超群
（三角轮胎股份有限公司，山东 威海 264200）

摘要：分析动力站HPK-Y型热水循环泵的应用情况。针对水泵最常见的机械密封泄漏和汽蚀问题，重点从端面比压和摩擦副材料分析，提出热水泵弹簧材料选择硬化高镍不锈钢1Cr18Ni12Mo2Ti代替原碳素弹簧钢65Mn或60Si2Mn及摩擦副采用1Cr13堆焊钴铬钨硬质合金与碳化硅配对的解决办法；从水泵汽蚀条件分析水泵运行特性，并通过实例分析，提出及时检查更换硫化罐嘴子垫和检修硫化管路，同时在过热水硫化循环回水管路上加装自动调压装置的解决措施。对HPK-Y型热水泵生产使用具有实际指导意义。

关键词：离心泵；机械密封；端面比压；摩擦副材料；汽蚀；运转特性
中图分类号：TH311　　**文献标志码**：B　　**文章编号**：1006-8171(2018)00-0000-05

我公司工程机械轮胎转型升级搬迁，新安装动力站系统沿用过热水硫化工艺[过热水工艺条件为[(178±3) ℃/(2.8±0.1) MPa]。3台10 t燃煤锅炉产生的1.20 MPa饱和蒸汽进入热力除氧器中将水加热达到工艺规定温度；热水经过循环泵加压，达到工艺压力条件。热力除氧器和热水循环泵都是动力站提供工程机械轮胎硫化过热水温度和压力条件的关键设备。

1　热水循环系统概述

热力除氧器过热水循环管路如图1所示。除氧器的结构分为除氧头和储水箱两部分。除氧头的作用是最大限度地增加水、汽接触面积，以利于水加热至饱和温度及水中气体析出过程。储水箱的作用是存储一定量的除氧过热水，保障供水需求，同时进行深度除氧。

动力站使用3台HPK-Y80-400型单级式热水离心泵对高温、高压过热水加压循环，通常情况为一开二备，对该泵汽蚀余量要求严格，同时压头要高。动力站系统按年产10万套工程机械轮胎设计，供应14台硫化罐和6台硫化机过热水，除氧器工作压力为(0.9±0.05) MPa，循环泵相关参数：流量 178 $m^3 \cdot h^{-1}$，扬程 204 m，转速 2 900 $r \cdot min^{-1}$，效率 62%，汽蚀余量 3.9 m。

热力除氧器安装至动力站二楼，3台热水循环泵安装在一楼，泵出口热水循环管路位于地沟内，泵安装高度为－6.0 m，属于倒灌装置。

2　循环泵使用情况分析

自2016年5月正式投入运行，在过热水循环系统中，热水循环泵最常见的问题是机械密封泄漏和水泵汽蚀，下面分别进行分析并提出相应的解决措施。

2.1　机械密封泄漏

热水循环系统投用后发现，其密封副使用寿命不理想，一副机械密封仅正常运行7天左右就开始泄漏。开始怀疑备件质量存在问题，联系相关厂家更换数次，但不能彻底解决，严重影响动力站正常运行。针对上述情况，我们认真分析泵使用条件，对密封副和弹簧材质等进行改进，取得显著效果，使用寿命延长到4个月以上，简介如下。

2.1.1　现场使用情况分析

作为HPK-Y型热水泵传动装置的核心部件，机械密封的动环用顶丝固定在传动轴套上，随轴转动，静环则用防转销(与压盖销槽配装)防止转动。在弹簧和密封液体的共同作用下，动环与静环紧密贴合在一起进行相对的径向旋转运动，在动、静环的两端面形成油膜，起密封作用。另外，动环辅助密封圈可有效防止动环与传动轴之间的

作者简介：王超群(1974—)，男，安徽颍上人，三角轮胎股份有限公司工程师，学士，从事橡胶设备技术与管理工作。
E-mail：1410004241@qq.com

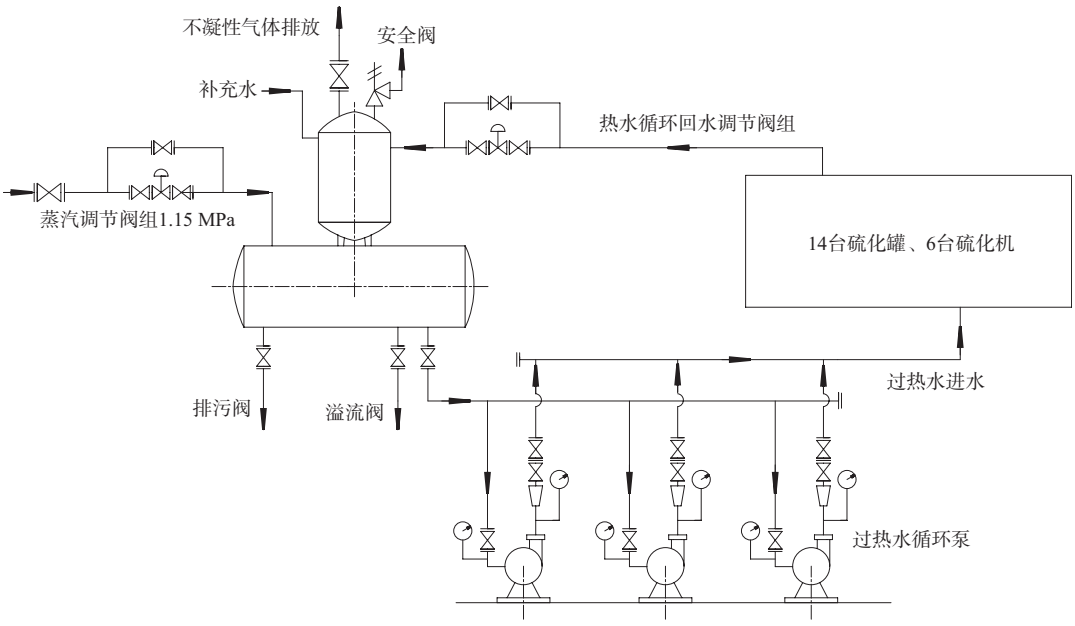


图1 除氧器热水循环系统

热水泄漏;静环辅助密封圈防止静环与压盖的泄漏,并起一定的缓冲作用,如图2所示。

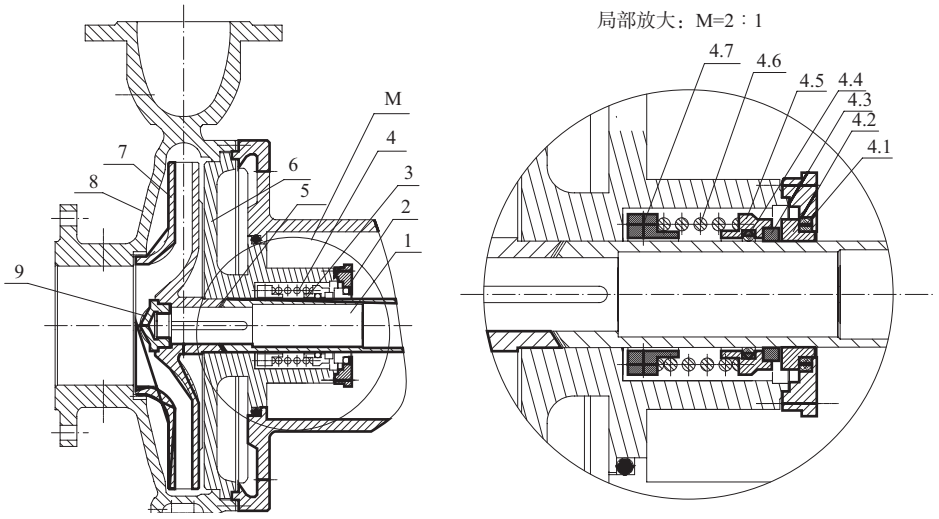
经多次拆卸机械密封检查发现会出现如下问题:弹簧卡住静环、离位,有时弹簧断裂;辅助密封圈卷曲变形,在硬质密封面上有清晰的环形摩擦沟痕,有时密封面严重磨损,无法使用;密封腔内有磨损掉落的石墨颗粒物,甚至石墨环破碎、断裂。经分析,存在以下原因。

(1)由于弹簧卡住或压合力不足等原因,静环和动环受力不平衡,密封面不能完全贴合,二者瞬间分离致使密封面开启,出现严重泄漏。

(2)密封腔内过热水中有沙粒等杂质,其进入密封端面之间会造成密封端面出现划伤、损坏。

(3)密封副材质选择不当,造成机械密封泄漏失效。

(4)由于热水温度过高,其在叶轮入口的低压区极易汽化,又在高压区产生凝聚、汽泡瞬间破裂,使周围的热水冲击占据原汽泡空间,形成汽



1—轴;2—机械密封压盖;3—轴套;4—机械密封;5—垫;6—泵压盖;7—叶轮;8—泵体;9—叶轮螺母。4.1—静环密封圈;4.2—静环;4.3—动环;4.4—动环密封圈;4.5—推环;4.6—弹簧;4.7—动环座。

图2 热水循环泵机械密封结构

蚀，剧烈的水力冲击使机械密封产生轴向振动而损坏。

2.1.2　解决措施

针对机械密封由于汽蚀原因造成的损坏，在第2.2节进行专门论述。至于泵介质中含有颗粒物等杂质，需加强对热水循环系统内水质的控制，通过加装过滤装置和定期排污等方式可减轻对机械密封的损坏。下面重点介绍端面比压和摩擦副材质对机械密封的影响。

(1)端面比压。端面比压是决定机械密封性能的重要条件，端面比压过大，端面液膜因摩擦生热快而迅速蒸发，使磨损加剧；端面比压过小，动静环贴合不紧，容易泄漏失效。另外，弹簧的材质和高温稳定性直接影响端面密封效果，弹性过大，会造成密封端面之间润滑液膜厚度减小、摩擦生热加快，造成热裂；弹性过小，不能保证端面摩擦副紧密贴合，易造成泄漏[1]。针对以上情况，经多次试验，为高温高压过热水的循环热水泵弹簧材料选择硬化高镍不锈钢1Cr18Ni12Mo2Ti代替原来的碳素弹簧钢65Mn或60Si2Mn，提高了弹簧的高温强度和高温稳定性，确保了弹簧的比压稳定。

(2)摩擦副材质。摩擦副密封面的配对材料应根据被密封介质的特性选择(见表1)，否则会直接影响机械密封的性能[2]。

表1　机械密封材料常见组合

介　质	动环	静环
含泥沙常温清水	9Cr18，1Cr13堆焊钴铬钨，铸铁	浸树脂石墨，青铜，酚醛塑料
含泥沙常温河水	碳化钨	碳化钨
含泥沙常温海水	碳化钨，1Cr13堆焊钴铬钨，铸铁	浸树脂石墨，碳化硅，金属陶瓷
含泥沙160 ℃以上过热水	碳化钨，1Cr13堆焊钴铬钨，铸铁	浸树脂石墨，碳化硅，金属陶瓷

该3台热水泵刚开始使用时，机械密封选择的是不锈钢对石墨，尽管石墨具有极好的自润滑性、导热性、耐腐蚀性、抗热性和摩擦因数较小等优点，但是不锈钢作为摩擦副材料存在硬度低、热导率小、线膨胀系数大及易发生粘着磨损等缺点，更换使用一周时间即出现泄漏，现场拆解发现密封腔内有大量磨损的石墨粉和密封液混合物。拆卸检查零部件，O型环无损坏和开裂，动环磨损量为0.15～0.22 mm，静环密封凸台完全磨损，动静环磨损量大致相同，这说明选择摩擦副动静环材质不合适导致快速磨损是造成机械密封失效的主要原因。因此，离心泵机械密封摩擦副配对材料改用硬质合金对石墨或对青铜，但因热力除氧器热水循环系统内过热水中含有泥沙等颗粒物，而石墨或青铜都有不耐颗粒磨损的缺点，使用周期仅延长至1个月左右。最后经与设备生产厂家沟通，采用1Cr13堆焊钴铬钨硬质合金与碳化硅配对，更换使用4个月，无异常情况，取得较好效果。

2.2　热水泵汽蚀

2.2.1　热水泵汽蚀条件

汽蚀余量(H_n)为泵吸入口处单位质量过热水汽化压力的富余能力(以米液柱计，即单位为m)。

有效汽蚀余量(亦称装置汽蚀余量，与泵结构无关，H_a)和必需汽蚀余量(泵本身汽蚀性能参数，与装置条件无关，H_r)均随流量的变化而变化。一般H_r随流量的增加而增大，而H_a则随流量的增加而减小(见图3)，处于临界点的流量(Q)称为临界流量(Q_c)。对于一定的吸入装置，要保证泵在运行中不发生汽蚀，则必需使Q小于Q_c。此外，水泵在小流量运行时会使泵内水温升高，使气化压力增大，相应H_a降低，所以还必须使Q大于最小流量。

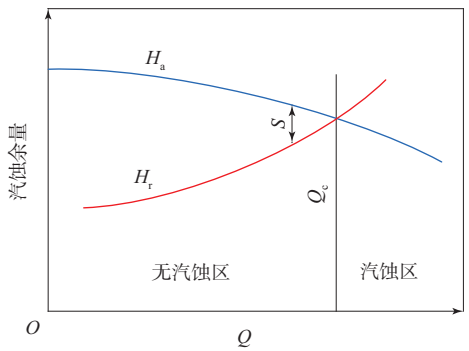


图3　热水循环泵汽蚀曲线

为确保不发生汽蚀，离心泵的H_a必需有安全余量(S)，即$H_a-H_r\geqslant S$，对于该离心泵，S取0.6～1.0 m。

2.2.2　装置扬程及特性曲线、泵运转工况点

装置扬程(H_z)是指把单位质量的液体从吸入

液面输送到排出液面所需要的能量(以米液柱计,即单位为m)。

H_z由位能(h_a)、压能(h_p)和整个装置管路系统(泵本身除外)的阻力损失(h_v)三部分组成。

$$H_z=h_a+h_p+h_v \quad (1)$$

$$h_p=(P_2-P_1)/\rho g \quad (2)$$

$$h_v=KQ^2 \quad (3)$$

式中,P_1和P_2分别为进口压力和出口压力,ρ为介质密度,g为重力加速度,K为阻力损失系数(可查表得到)。

把离心泵扬程(H)特性曲线与装置扬程特性曲线绘制在一起,其交点(M)就是泵稳定运转的工况点,如图4所示。在该点单位质量液体通过泵增加的能量(即H)正好等于将单位质量液体从吸水液面送到排水液面需要的能量(即H_z)。如果泵偏离M点在A点工作,这时$H>H_z$,多余的能量使管内流速提高,泵流量增大,工况点从A点移到M点。反之,如泵在B点工作,这时$H<H_z$,管内流速减慢,泵流量减小,工况点从B点移到M点。

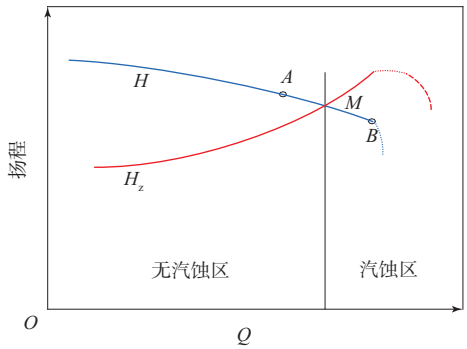


图4 热水循环泵运转特性曲线

2.2.3 热水泵汽蚀案例

按过热水硫化工艺条件,过热水温度为180 ℃,查过热水压力与温度对应表可得表压0.902 63 MPa,HPK-Y80-400型单级式热水离心泵扬程为204 m,折合压力2.04 MPa;安装高度-6 m,折合压力-0.06 MPa;泵汽蚀余量为3.9 m,折合压力0.039 MPa,因此泵吸入口的总压力为0.902 63+0.039-0.06≈0.882 (MPa)。推算泵出口压力应保持在2.04+0.882=2.922 (MPa)以上,才能保证进入泵体内的过热水不被汽化。从图4可以分析得出,此时泵扬程即为热水循环系统装置扬程,水泵达到稳定运行状态。

输送180 ℃过热水时各处压力(MPa)汇总如下:表压 0.902 63,H_n 0.039,泵自身压力2.04,进口总压力 0.882,出口总压力 2.922。

由此可知,对于180 ℃过热水、出口阀门全开状态,最大流量为178 $m^3 \cdot h^{-1}$,出口总压力为2.922 MPa,泵的进口压力为0.882 MPa。在工程机械轮胎实际硫化过程中,常出现硫化罐模具之间嘴子垫或硫化机管路泄漏造成的泵出口压力下降的情况,此时为保证不致硫化失压过大造成废胎,常采用出口阀门不关、向除氧器内迅速补充大量过热水(除氧器过热水不足时需补充大量冷水)的应急处理办法。此过程,泵体内压降(即h_p)减小,所需能量减少,即H减小,因泄漏反而出现一阶段流量增大保压的情况,由式(1)—(3)可知,h_z不会立即下降。当$Q>Q_c$时(见图3),汽蚀产生,流量迅速下降,装置扬程迅速减小。由图4可以看出,泵在汽蚀区运行时$H<H_z$,泵能量不足,管内流速减慢,泵流量减小,相当于泵在B点工作。此时,因管路泄漏,泵扬程无法提升,工况点(B点)无法回到M点,常出现泵汽蚀停机。如果在未发生汽蚀时手动关闭出口阀门,则可保持压力,但人为增大排水系统阻力,增加排水能耗,泵运行效率降低,同时热水流量减小,会造成硫化模具内压力不足,出现硫化废次品。

若硫化机(硫化罐)泄漏严重,势必造成出口失压减小,流量一段时间相对变大,导致进泵口压力下降使过热水汽化,很快使密封副形成干磨而损坏,或者造成水力冲击,使机械密封产生轴向振动而损坏,若泵体内产生异常声音,数分钟内密封副即不能使用。根据实际使用经验,在泵的总压力和阀门开启程度不变的情况下,出口压力下降幅度不能大于0.3 MPa。大部分密封副的损坏事故都是在压力波动范围超过允许值时发生的。

硫化罐(硫化机)因过热水泄漏轻者造成压力波动,硫化轮胎降级;重者失压产生批量废次品,直接损失数万或数十万元。因此,必须及时检查更换硫化罐嘴子垫和检修硫化管路,保持硫化循环管路压力相对稳定。同时,在过热水硫化循环回水管路上加装自动调压装置,当硫化管路泄漏掉压时,循环管理压力下降至设定值时,自动调节阀关闭,保证循环管路的压力波动减小。如果泄

漏严重，自动压力调节只起暂时调压作用，从根本上还要及时查找泄漏点，迅速组织检修。

3　结语

热水循环泵运转质量是关系动力站系统平稳、安全运行的关键，应彻底、清晰地认识和掌握热水泵机械密封等关键部件使用情况及汽蚀等关键问题的处理办法，提高热水泵使用性能，延长使用寿命，更好地为生产服务。

参考文献：

[1] 忻贤钊. HPH-Y型热水循环泵密封副的改进[J]. 橡胶技术与装备，1997，23(1)：38-40.

[2] 全国化工设备设计技术中心机泵技术委员会. 工业泵选用手册[M]. 2版. 北京：化学工业出版社，2011.

收稿日期：2017-08-19

Application Analysis on HPK-Y Hot Water Circulating Pump　　WANG Chaoqun