

# 水泵水轮机主轴密封及烧损故障处理

程云山

(河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要** 大容量、高转速水泵水轮机主轴密封相对常规水轮机主轴密封更容易发生故障。分析 3 种典型水泵水轮机主轴密封即平衡式流体静压径向双端面机械密封、非平衡水压自调整轴向式分瓣机械型平面密封、弹簧复位式浮动型双端面机械密封的结构、工作原理和故障发生原因, 提出了这 3 种水泵水轮机主轴密封的故障处理方法。

**关键词** 水泵水轮机 主轴密封 故障处理

**中图分类号** :TK730.3+25

**文献标识码** :B

**文章编号** :1006-7647(2007)06-0044-05

**Main shaft seal and burn-out accident treatment of pump turbines**//CHENG Yun-shan (College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract** :The main shaft seal of pump turbines with large capacity at high rotational speed is more liable to failure as compared with that of conventional pump turbines. The structure, operational principle, and cause of failures of three types of main shaft seal were analyzed, including the dual-end face mechanical seal in radial direction by balanced static pressure of fluid, the mechanical plane seal in petals in axial direction by self-regulated non-balanced water pressure, and fluctuated dual-end face mechanical seal by spring reposition. Finally, the methods for failure treatment of the three kinds of main shaft seal were put forward.

**Key words** :pump turbine ; main shaft seal ; failure treatment

水轮机的主轴密封是转动部件与固定部件之间的封水装置,其作用是在机组发电、抽水和停机工况时,阻止尾水经主轴与顶盖构成的间隙上溢,以防水导轴承和顶盖被淹<sup>[1]</sup>。在调相工况时,阻止转轮室的压缩空气经主轴与内顶盖构成的间隙冒出,减小机组吸收功率。水轮机的主轴密封按照使用原理分接触式密封和非接触式密封两大类。目前常规机组的主轴密封技术已基本趋于成熟和完善,较少发生事故,一旦发生故障,技术处理经验也比较成熟。文献[2-7]介绍了常规水轮机主轴密封的故障原因分析及处理。双向旋转的水泵水轮机,由于安装高程比较低、密封压力比常规水轮机高等诸多原因,其对主轴密封的要求比常规水轮机高得多,发生烧损和故障的机会大大增加,而相应的处理技术方案还不够成熟。本文针对 3 种典型的水泵水轮机主轴密封,介绍它们的工作原理和故障发生原因,并提出了相应的处理措施。

## 1 水泵水轮机主轴密封及烧损故障

### 1.1 水泵水轮机主轴密封形式

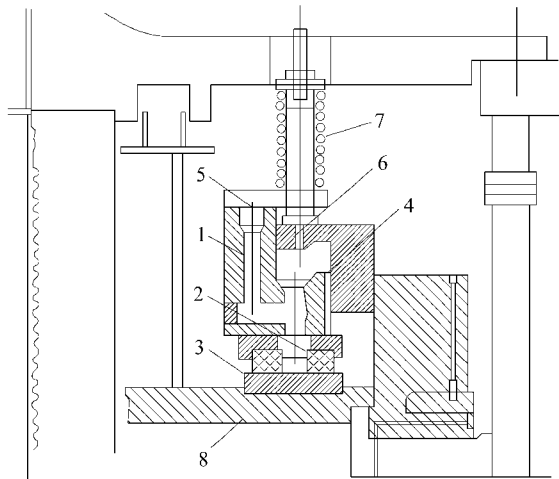
水泵水轮机主轴平面密封形式有采用密封环在

上的自平衡式轴向平面密封(结构 1)和采用密封环在下并旋转的非平衡式的平面密封(结构 2)以及弹簧复位式浮动型双端面机械密封(结构 3)<sup>[8-9]</sup>,现就各密封的结构形式及特点分述如下。

#### 1.1.1 结构 1

平衡式流体静压径向双端面机械密封结构形式如图 1 所示。

a. 主要部件及功能 :①可上下移动的浮动环。②浮动环上部装有由 6 套弹簧、螺栓和导向杆构成的弹簧平衡装置,对浮动环起向下紧压的作用,弹簧的固定螺杆有效地限制了浮动环的旋转,同时,浮动环可以在轴向一定范围内自由平衡,使主轴密封碳精环与抗磨环之间的接触面能趋于紧密结合。③紧固于浮动环下端槽内的碳精密封环与下面的不锈钢抗磨环相贴合组成摩擦副。④导环与浮动环间有适当间隙,用 U 形橡胶密封圈封水,同时起限制浮动环径向移动的作用。⑤当机组运转时,通过浮动环上部配有节流装置的不锈钢管向密封环下部的供水腔供水,同时通过导环上部的平衡腔供水管向导环与浮动环之间的平衡腔供水以平衡压力,碳精密



1. 浮动环; 2. 碳精密封环; 3. 不锈钢抗磨环; 4. 导环;  
5. 节流管; 6. 平衡腔供水管; 7. 弹簧平衡装置; 8. 油箱上盖

图1 平衡式流体静压径向双端面机械密封

封外环外圈压力为被密封水压,碳精密封内环内圈压力为大气压,节流管供水压力通常大于被密封水压力,且在一定程度上起到稳定密封面水膜压力变化的作用。

**b. 工作原理** 密封供水减压后,经过滤器分两路送到密封装置。一路至平压腔,另一路经节流片调节后送到内外碳精环之间的供水腔。当碳精密封环与不锈钢抗磨环两相对滑动面密切接触时,供水腔内的水压及被密封水压使浮动环向上浮起,使两滑动面分离;当两滑动面间隙过大时,由于漏水量增加,供水腔内的水压势必下降,浮动环在平压腔水压、弹簧弹力及自重作用下迫使两相对滑动面靠近。所以,只要将水压调整合适,并设计合理的浮动环尺寸,就可使浮动环浮起并处于力的平衡状态,即两相对滑动面始终保持微小的间隙。

### 1.1.2 结构 2

非平衡水压自调整轴向式分瓣机械型平面密封结构形式如图 2 所示。

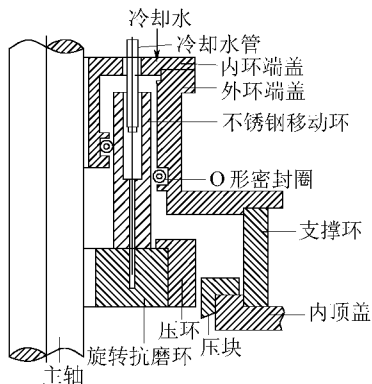


图2 非平衡水压自调整轴向式分瓣机械型平面密封

a. 主要部件及功能 :① 润滑冷却水由减压阀减压供水,压力保持恒定。② 由内环端盖、外环端盖及不锈钢移动环构成操作腔,不锈钢移动环由两个导

向键与外环相连,沿上下方向运动。密封环开有5 mm宽的槽,润滑油穿过压环内的4个供水孔到该槽,起到润滑作用。操作腔与密封腔独立,压力不相通。③旋转抗磨环与大轴连接在一起随大轴旋转,与不锈钢移动环构成摩擦副,抗磨环表面积比不锈钢移动环面积大。④由旋转抗磨环、不锈钢移动环、外环端盖、支撑环、顶盖、压块、压环构成密封腔,密封腔经过转轮减压孔与尾水相连。

**b. 工作原理** 密封供水经减压并过滤处理后进入操作腔 在正常运行时,将不锈钢移动环压贴在旋转抗磨环上 密封腔润滑水来自尾水。当操作腔和密封腔的压力达到平衡时,在不锈钢移动环和旋转抗磨环之间形成一层良好的润滑水膜,使不锈钢移动环与旋转抗磨环不发生干摩擦或过度摩擦,从而减少磨损量,并带走摩擦产生的热量。

### 1.1.3 结构 3

弹簧复位式浮动型双端面机械密封结构形式如图 3 所示。

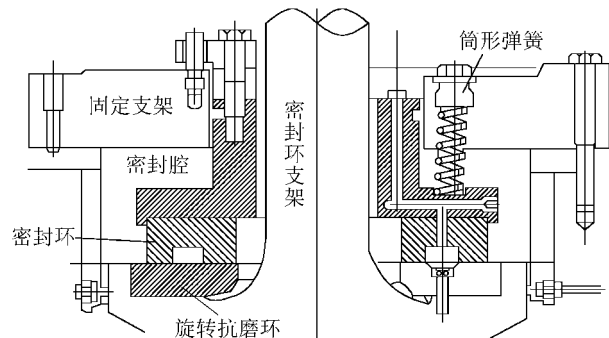


图3 弹簧复位式浮动型双端面机械密封

a. 主要部件及功能 运用新型密封材料,具有适应较大吸出高度和较大密封表面线速度的功能。

①位于水导轴承下方、紧靠水轮机大轴法兰的主轴密封由固定支座支撑,固定于水轮机顶盖上的固定支座设有防止密封环支架水平移动的限位装置导向带和导向杆,密封环支架与固定支座之间的间隙由 O 形橡胶圈密封,确保与尾水相通的密封腔不往机组泄流。

②合成耐磨树脂材料的密封环固定在密封环支架上形成一个整体,密封环磨损后能保持原来的形状不变。

③旋转抗磨环直接把合在大轴法兰上,与静止的密封环形成水膜润滑摩擦副。

④密封环支架与固定支座由筒形弹簧实现软连接,筒形弹簧将密封环压紧在旋转抗磨环上,密封环及其支架可轴向运动,形成浮动型结构。

⑤取自球阀前压力钢管的密封供水,经环管减压、过滤器和水力旋流器双重过滤后,由不锈钢管接通到密封环支架,润滑水经过支架内 4 个供水孔进入密封表面,通过更换供水管路上的节流片,可调节主轴密封供水流量和压力。

b. 工作原理:设计的密封润滑供水压力能够顶开密封环与旋转抗磨环,形成1层约0.03~0.08 mm厚的润滑水膜,使密封环与旋转抗磨环不发生干摩擦,并在机组旋转时与筒形弹簧的下压力及密封腔形成的下压力保持平衡,在密封环与旋转抗磨环之间形成水膜润滑摩擦副。润滑水膜厚度不随密封磨损而变化,从而减少密封磨损量,并带走摩擦产生的热量。流经内环的润滑水将自流漫过密封上部,通过排水管路流至集水井,流经外环的润滑水进入与尾水相通的密封腔,抵消尾水泄流压力,起到密封作用。

## 1.2 水泵水轮机主轴密封故障

### 1.2.1 结构1主轴密封事故

主轴密封采用结构1的广州抽水蓄能I期电站在机组安装调试期间就屡次发生碳精密封烧损事故,自1993年投入运行,因主轴密封失效导致停机的重大事故就达数十起,事故的发生大致分为两个阶段。第一阶段在机组试运行及投产初期,密封多次烧损失效,一般表现为碳精密封环出现大量裂纹乃至大面积破碎,不锈钢抗磨环严重磨损。第二阶段将自润滑软环改成碳精密封环,电站1号、2号机主轴密封运行一个阶段后相继发生密封严重烧损事故,这是由于高速干摩擦生热而成为热载体,致使不锈钢抗磨环表面几乎完全被烧熔。

### 1.2.2 结构2主轴密封事故

主轴密封采用结构2的天荒坪抽水蓄能电站当负荷自200 MW增至280 MW后约7 min,主轴密封温度自16℃突然升高至33.62℃而报警,运行人员打开主轴密封操作腔排气阀使操作腔压力由0.82 MPa降低至0.7 MPa,主轴密封温度下降恢复至16℃左右。其后,在抽水工况正常运行125 min后,主轴密封温度在不到1 min时间内突然自17℃升高至36.5℃而报警,打开操作腔排气阀一定开度后,温度仍能恢复到17℃左右。但在拆卸主轴密封装置检查时发现①仅能耐温150℃的纤维增强树脂复合材料密封环表面已烧焦,且宽度为39 mm的移动环已将密封环磨出深槽。②移动环导向键和键槽之间因发生较严重的磨损而卡涩,导致移动环上下移动困难,同时主轴密封温度探测元件也严重损坏,密封环磨损量机械指示器无法检测确切的磨损量。③由于主轴密封操作腔内外端盖刚度不够,变形较大,造成移动环外侧的O形密封圈失效,内外环端盖结合面密封不严致使尾水或调相压水用气泄漏。

上述故障主要发生在抽水调相启动工况,在其他工况(包括空载启动)稳定运行时,也经常发生主轴密封温度过高报警现象,造成经常性事故停机,大幅度降低了电站的经济效益。运行期间,前后共更

换了20多套密封环。制造厂家虽采取了更换操作腔外环材料、加厚外环和支撑环、增强密封刚度等积极措施,也解决了原不锈钢外环把合面变形漏水等问题,但仍需在开停机前后人工频繁调整操作腔压力,依然存在流量调节阀磨损大、密封装置工作温度过高、磨损过快等关系系统结构设计和制造方面的严重问题,导致机组不能长期稳定运行。

### 1.2.3 结构3主轴密封事故

主轴密封采用结构3的广州抽水蓄能II期电站第一次事故发生在2000年机组投入试运行初期,当时机组带190 MW负荷发电运行仅30 min 主轴密封温度就升高至40℃且居高不下。停机后切断密封供水,发现密封漏水量增大,投入供水密封内环仍间歇冒水。拆开检查时发现密封内环情况基本良好,但外环磨损最大处已达0.35 mm,且密封表面有不同程度的结碳,抗磨环磨损约为0.6 mm并有一定程度的扭曲变形。这表明密封发生了不均匀干磨损,密封表面已呈波浪形,且产生了大小不一的间隙。更换密封环和抗磨环后再次开机,机组升速至额定转速后密封供水压力出现0.3 MPa波动,密封温度很快升至35℃,立即停机再检查,外环和旋转抗磨环均发生同样的磨损。

第二次事故发生在2个月后,机组带333 MW负荷在抽水工况下运行约20 min,密封温度迅速上升至45℃报警停机,停机过程中温度继续上升高达53℃。此时,打开密封腔的原水力旋流器排污口,流出的热水温度高达50℃。打开密封供水阀测得内环排水量为密封总供水量的2/3,供水压力在0.7~1.0 MPa之间波动。经拆卸检查发现主轴密封内环基本良好,外环和旋转抗磨环严重磨损,外环磨去约0.35 mm,抗磨环磨损3.06 mm并扭曲变形。

## 2 水泵水轮机主轴密封故障原因分析

### 2.1 结构1密封事故原因

对于主轴密封第一阶段出现的故障,以下几种情况都有可能导致密封环急剧磨损,甚至烧坏①水质不纯,混有大于50 μm的颗粒杂质。②抗磨环上表面或密封环下表面的粗糙度和不平度(波浪度)超过0.05 mm。③抗磨环径向倾斜度达3.7 mm/m。④抗磨环上平面的波浪度达到0.08~0.11 mm。⑤浮动密封环碳精密封底座面的波浪度最大值达0.10 mm。⑥密封环的设计参数不合理,导致上浮力和下压力不平衡,如密封双端面面积过大降低了水膜承载能力。⑦启动或工况转换阶段,某种不稳定因素扰动所造成的影响超过了密封系统的承受能力。当机组处于调相运行或水泵启动工况时,为保持正常

的压水水位,由气压为 7.4 MPa 的气系统向转轮室直接补进高压气并迅速扩散,密封压力(介质为气体)上升到 1.3 MPa。若此时正值供水过滤器清污导致供水压力下降,润滑冷却水必然会在气体压力作用下减少流量甚至瞬间倒流,水膜可能变为气水两相膜,由于气膜的承载力远小于水膜,碳精环与抗磨环极有可能局部接触产生干磨,导致密封温度急剧上升。而当补气结束或过滤器清污完成以后,密封的润滑冷却水又恢复至原来的状态,密封温度随即下降。⑧当机组运行于水泵启动工况并网后的充水排气过程中时,转轮室的空气由顶盖上的排气管引到集水井直接排入大气,此时密封压力下降到只有 0.5 ~ 0.6 MPa,必然导致水膜厚度减小、承载力降低,注轴密封会由于转轮叶片搅水作用不可避免地引发较大水力、机械振动而产生难以估量的危害。密封损坏的历史记录也表明,密封失效大多发生在水泵工况启动过程中以及启动过程完成后不长的时段内。⑨结构刚度不足是另一重要的内在因素。

## 2.2 结构 2 密封事故原因

a. 机组运行工况转换时,由于受电站下库水位变化大的影响,密封腔压力变化最大范围为 0.45 ~ 1.2 MPa。当机组从抽水调相转抽水或机组停机至发电时,密封腔压力从 1.2 MPa 左右快速降至 0.5 MPa 左右。对于采用恒定操作腔压力的密封势必失去密封和移动环的压力平衡,造成冷却水流量不足甚至中断,密封发生干摩擦,温度上升,磨损加快乃至烧损导致跳机事故。而在抽水调相压气的瞬间,密封腔压力上升,压环被抬起造成密封失效、调相失败,大大影响了机组启动的成功率,甚至引发水淹厂房事故。

b. 由于移动环窄于密封环,运行一段时间后,移动环会嵌入密封环致使摩擦面积增大,摩擦热量也增大,同时机组旋转的大轴摆度使移动环嵌入密封环的间隙增大,也影响密封的冷却水流量和冷却效果,甚至会造成密封环的碎裂。

c. 移动环的节流孔径(6 mm)偏大,润滑水膜刚度偏小,水膜承载能力较差。

d. 受机组双向旋转及频繁开停机的影响,密封环的导向键与键槽壁反复撞击将产生凹坑、毛刺,不但影响了移动环的上下灵活移动,而且导向键在运行 4 个月左右就可能被撞坏。

e. 分半组合结构的主轴密封外环累集水轮机流道内水压力对主轴密封基座的水轮机顶盖、内顶盖、检修密封自身等的作用,其所产生的变形可能导致外环组合面间隙增大,造成水压泄漏,影响操作腔压力,破坏了主轴密封的水压平衡。

f. 运行中移动环的上下移动、机组的振动,特别是移动环的向上抬起极易造成穿过操作腔连接到移动环上的密封磨损指示杆断裂而冲出,导致密封失效。

## 2.3 结构 3 密封事故原因

a. 第一次烧损的原因是密封供水的水力旋流器排污管设计不合理。由于排污管接至密封腔,排污管排污时密封腔压力产生较大波动,外环水的流动受到影响致使排水不畅,引发密封烧损。

b. 第二次烧损的原因为:机组运行中,由于检修密封(空气围带)损坏,水进入围带内腔并使之膨胀抱紧大轴,堵塞了主轴密封外环排水通道,在外环排水流量减少的情况下,外环与抗磨环之间的热量无法随水流散发,水温升高、润滑水膜被破坏,密封面局部处于干摩擦状态,导致主轴密封烧损。

## 3 水泵水轮机主轴密封故障处理措施

### 3.1 结构 1 密封事故处理

结构 1 密封事故处理措施有:①将原设计的不锈钢耐磨环由 4 瓣组合改为 2 瓣组合以提高刚度及安装精度。②局限于工地条件,采取重新加工、加垫等措施反复处理后,抗磨环波浪度达到了不超过 0.05 mm、径向倾斜度(不论凹下还是凸起)不超过 0.5 mm/m 的商定标准。③减少碳精环内环的外径  $R_2$ ,增大外环内径  $R_3$ ,优化结构使浮动密封环所受到的总上抬力与总下压力基本平衡,且上抬力略高于下压力更有利于克服 2 道 U 形盘根的摩擦阻力并形成厚度足够的水膜。④针对不锈钢抗磨环硬度不够的问题,采用浸渍锑工艺处理的 MY10K 材质的碳精取代原来的 CY10F 以加强石墨环的强度、减少气孔率并改善干摩擦的自润滑性能。经改进的主轴浮动密封环结构使机组运行情况得以改善,如图 4 中曲线 1 反映了碳精密封改造前的温度上升状况,开机仅 6 min 即达到 30.8 °C,曲线 2 是碳精密封改进后的温度上升曲线,50 min 后即稳定在 27.6 °C,运行工况得到明显改善。⑤4 台机组的密封供水过滤器电动阀出口均安装 2 个串联的节流板以减小清污时的

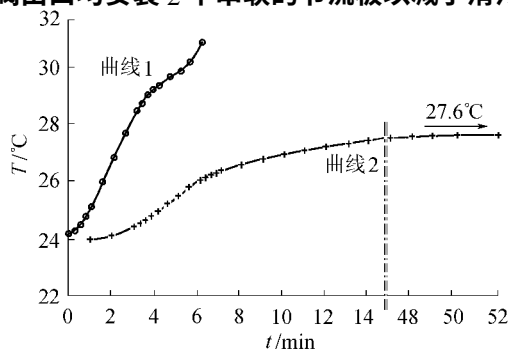


图 4 电站主轴密封温度上升曲线

供水压力下降。⑥关闭减压阀和过滤器之间引出压力信号的阀门,单独取过滤器之后的水压信号反馈,避免过滤器自动清污时由于过滤器进出口水压在压差的作用下流动而减弱减压阀的稳压作用。⑦根据设计计算,供水压力取 1.3 ~ 1.4 MPa,密封压力取 0.8 ~ 1.0 MPa。供水压力受水膜厚度、节流孔流量系数、弹簧刚度等多种因素的影响,密封压力还受水轮机水力学特性的影响。⑧在每台机组的充水排气阀出口加装 1 个节流板,以减少充水排气过程中密封压力的下降,并大幅度减小机组在这一过程中的振动。⑨优化设计,如调整节流孔流量系数、弹簧刚度、密封环尺寸等,力求使正常工况的水膜厚度不小于 0.1 mm。⑩将碳精环的边缘加工成圆弧过渡或 45°倒角,避免碳精环边缘的应力集中。⑪将碳精密封外环适当磨低,并将抗磨环内侧垫高,同时,调整碳精密封环的预紧压力,如图 5 所示。由于每台机组的情况不同,处理后的补偿量也有差异,往往需要多次反复调整才能够确定合适的调整量。

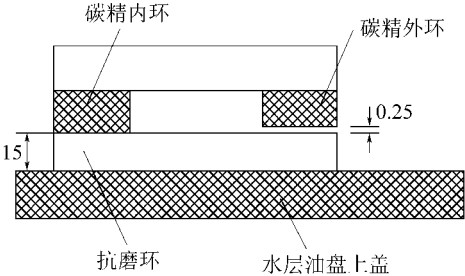


图 5 电站碳精密封调整示意图(单位:mm)

3.2 结构 2 密封事故处理

非平衡水压自调整轴向式分瓣机械型平面密封事故处理采用了新型的主轴密封。新型主轴密封结构形式如图 6 所示,其工作原理为 新型主轴密封取消了原主轴密封的固定压力操作腔,通过改变移动环及密封环的受力面积和压力使密封在压力变化范围内自动平衡,移动环上的压紧力将随尾水压力自动变化,合理选择受压面积的移动环使密封能够自动适应工况转换而运行稳定。新型主轴的特点如下 ①正常运行条件下,主轴密封的外环、移动环、支撑环、密封环和抗磨环形成的压力腔内充满尾水,尾水压力随下库水位、机组转速、运行工况等变化而变化。②冷却水在主轴密封环与抗磨板处形成压力  $P_2$ ,  $P_2$  沿内侧方向泄至零,沿外侧方向泄至尾水压力。  $P_2$  既受机组供水压力影响,也受机组密封环与抗磨板之间的水膜厚度的影响。③为了保证主轴密封稳定运行,并补偿密封环长期运行的不均匀磨损,在移动环上均匀布置 6 只压力调节气缸,以便正常运行时进行调节。④由于移动环(包括密封环)在水压作用下的变形和移动环所受的竖直方向的力都将

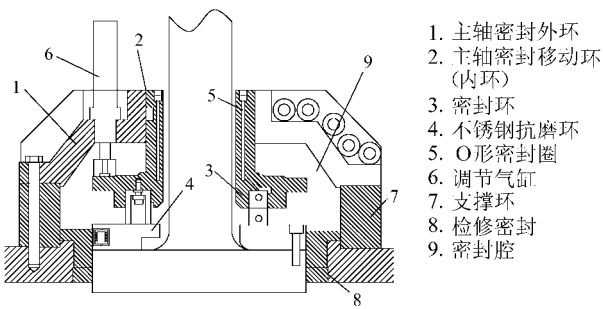


图 6 新型主轴密封结构示意图

影响水膜厚度和压力分布,从而影响移动环的平衡,所以,结构设计要素(密封环的厚度、高度、位置以及移动环上的受力面积)控制移动环所受的力和变形;不但要避免移动环所受向上的合力过大导致主轴密封移动环向上抬起而造成主轴密封泄漏,还要避免移动环所受的向下的合力过大导致密封环与抗磨板之间的水膜过薄或冷却水中断而发生干摩擦。

新型主轴密封与原密封相比有以下特点 ①密封环把合于上方的移动环,其面积小于下方的不锈钢抗磨环,被磨损后接触面形状不变,对其冷却润滑水回路不构成影响,且仍将处于自由状态而不因大轴摆动影响导致水膜破坏、密封失效,能确保密封面处于良好的液体摩擦状态,磨损率较低。②移动环压紧力随尾水变化而自动调整,运行稳定可靠,工况转换时不需要人工调整压力,同时安装磨合期短,首次开机磨合约 10 min 就可投入运行,且温度不高。③取消了操作腔,结构简单,安装方便。防转动装置安装在主轴密封外部,更换方便,不用拆卸外环重新打压,同时磨损指示装置不再穿过操作腔,因而不会造成泄压导致密封抬起。④主轴密封内环是一个受压的圆柱体,抗变形能力强,而外环在水压作用下微量变形所产生的把合面漏水、漏气不会对主轴密封的密封性能产生影响,也不会造成主轴密封因运行温度升高而烧损,仅增加了主轴密封的漏水、漏气。⑤供气压力取自同一压力源的调节气缸,保证了移动环 6 个方向受力均匀,同时压力调整装置可放在水车室外,调整方便。⑥新型密封环采用高温树脂减摩改性胶料,混合有机芳纶(KEVLAR)碳纤维与无机纤维,并添加了石墨粉、二硫化钼粉、铜粉等固体润滑剂,使密封环能在 250 ~ 300℃ 温度变化范围内正常工作,具有摩擦系数小、磨损率低的特点。

3.3 结构 3 密封事故处理

利用有限元分析方法,对密封环结构和受力重新进行分析和计算。从计算结果可以看出,密封环及其支架在高达 364 648 N 的径向推力作用下,形成一个以密封环支架上端为轴的转动力矩,密封环支架下端向大轴倾斜,使外环与抗磨环间隙减小、润滑水膜变薄,导致外环温度升高、磨损(下转第 89 页)

等对蒸发机理的影响程度和影响规律,都需进行进一步探索。大风和逆温条件下的实测资料尚需更多的积累和分析。作为经验公式,本项研究成果虽然已具有良好的科学依据,但仍有待更多实践的检验,需进一步充实提高。

参考文献：

[1] GB/T50102—2003,工业循环水冷却设计规范[s].  
[2] 陈惠泉,毛世民,何树椿,等.超温水体水面蒸发与散热[J].水利学报,1989(10) 27-31.  
[3] 陈惠泉,毛世民.水面蒸发系数全国通用公式的验证[J].水科学进展,1995,6(2) 16-20.  
[4] 毛世民.冷却池附加蒸发的计算[J].水科学进展,1999,10(4) 435-438.  
[5] 施成熙,卞毓明,朱晓原.确定水面蒸发模型[J].地理科学,1984,4(1) 1-10.

[6] RYAN P J, HARLEMAN D R F, STOLZENBACH K D. Surface heat loss from cooling ponds [J]. Water Resources Research, 1974, 10(5) 930-938.  
[7] ADAMS E E, DOUGLASS J C, KARL R H. Evaporation from heated water bodies [J]. Water Resources Research, 1990, 26(3) 425-435.  
[8] БРАСЛАСКИЙ А Л, НУРКАЛЬЕВ С Н, KARL R. Новая формула расчета испарения с учетом разности между водой и воздухом [М]. Проблемы Гидроэнергетики И Водного Хозяйства, 1966 195-206.  
[9] КОСТИИ А Г, ДОМАНОВ В Н. Анализ существующих методик расчета теплоотдачи испарением [J]. Изв Внииг, 1988, Т210 12-17.  
[10] БРАСЛАСКИЙ А Л, КУМАРИНА М Н, СМЕРНОВА М Е. Тепловое влияние объектов энергетики на водную среду [М]. Ленинград Гидрометеозидат, 1989.

(收稿日期 2007-07-15 编辑 骆超)

(上接第 48 页)

加剧。多次密封故障均是外环烧损也证实了这一结论。从密封环及其支架运行中变形的计算机仿真可以看出,密封环支架偏转是轻微的,变形主要集中于材料为耐磨树脂、强度较低的密封环上,密封环出现了明显的扭曲现象。为了改善密封环外侧的受力并减小变形,采取了以下改进方案 ①在密封环的薄弱部位,即密封内环侧增加一个起限位作用并约束密封环变形的支撑环,支撑环用 M10 螺栓固定在密封环支架上,并与密封环支架焊接成整体以保证支撑环可靠限位,如图 7 所示。计算机仿真结果表明,此时密封环及其支架在径向推力的作用下变形大大改善。②选用高性能的合成耐磨树脂材料,避免密封面出现裂块而导致事故扩大。

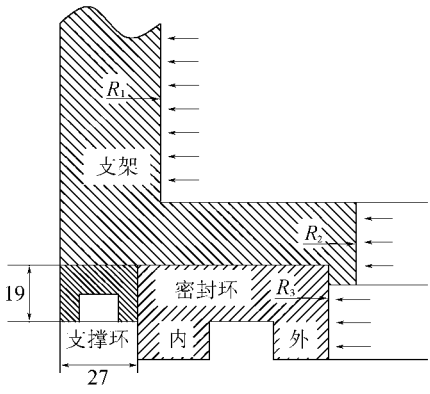


图 7 密封环受力分析及改造示意图(单位：mm)

4 结 语

抽水蓄能电站主轴密封故障的成功处理表明：

在密封结构具有高刚度、合适的密封摩擦副磨损率及水膜弹性润滑能力强并能随尾水压力变化自动调整等设计制造条件下,保证高 PV 值主轴密封的安装精度并对新安装或经大修的主轴密封摩擦副进行低转速磨合,以消除制造、加工、安装所造成的表面不平度至为关键。文中密封故障处理措施为我国高水头、大容量、高转速水泵水轮机主轴密封技术故障处理积累了宝贵的经验。

参考文献：

[1] 郑源,鞠小明,程云山.水轮机[M].北京:水利水电出版社,2000.  
[2] 李胜亮.双岭水电站水轮机工作密封改造[J].水力发电,2007,33(1) 77-79.  
[3] 陈以武.高坝洲电厂 3 号水轮机主轴密封改造[J].水电站机电技术,2006,29(4) 72-73.  
[4] 黄更生.HLA244-LJ-160 型水轮机主轴密封电水处理[J].水利科技,2006(2) 51-52.  
[5] 林锦生.水轮机工作密封的技术改造[J].中国农村水电及电气化,2006(6) 44-45.  
[6] 周康武.万家寨水电站 5 号机主轴密封漏水原因分析与处理[J].中国农村水电及电气化,2005(9) 59-60.  
[7] 戴强.新型水轮机主轴密封组合式密封环的应用[J].大电机技术,2005(6) 55-57.  
[8] 陈湘匀.主轴密封结构剖析及烧损分析[J].水电站机电技术,2001(3) 49-50.  
[9] 袁丰江.广州蓄能水电厂 B 厂机组主轴密封浅析[J].水电站机电技术,2007,30(1) 12-13.

(收稿日期 2007-04-26 编辑 骆超)