

核电厂CFI系统水闸板底部海生物清理设备及工艺

邹洁彬

中核检修有限公司昌江分公司 海南昌江 572700

摘要: 核电厂CFI系统闸板在核电换料检修期间需下放水闸板至进水隧洞渠道及PX泵房进水渠道阻断海水,以便人员清理进水隧道内或鼓网腔室内的海生物及淤泥及设备的检修。闸板下放后的密封性是否良好、渗水量是否满足作业要求将直接影响大修期间冷源系统的所有检修工作,本文主要针对现状设计一套装备及工艺来解决潜水员下水清理的高风险作业,供电厂参考。

关键词: 水闸板; 海生物; 清理设备; 高压水射流

Marine biological cleaning equipment and process for CFI system sluice bottom of nuclear power plant

Jiebin Zou

Changjiang Branch of China Nuclear Maintenance Co., LTD. Changjiang 572700, China

Abstract: During the refueling maintenance of the nuclear power plant, the CFI system RAMS of the nuclear power plant shall be discharged into the inlet tunnel channel and the inlet channel of the PX pump house to block seawater so that the Marine organisms and silt in the inlet tunnel or drum mesh chamber can be cleaned and the equipment can be repaired. Whether the seal of the gate is good or not and whether the water seepage meets the operation requirements will directly affect all the maintenance work of the cold source system during overhaul. This paper mainly designs a set of equipment and technology according to the current situation to solve the high-risk operation of diver underwater cleaning, and power supply plant reference.

Keywords: sluice board; Marine biology; cleaning equipment; high-pressure water jet

引言:

核电厂CFI系统水闸门底部由于长时间的开放连通海水一个运行周期18个月,仅有停堆大修27天左右,处于关闭状态,浸泡在海水中的水闸门密封位置会吸附海生物(如藤壶、贝类、石子等沉积物),导致检修时水闸门密封不严,从而影响后续检修工作。目前国内各核电厂所使用的CFI系统水闸板均采用PGM型平板钢闸板,均采用的是在闸板下放前由潜水员下潜至底部(约10m水深)进行人工清除闸板导轨及闸板槽底部的海生物附着物,清理完后下放闸板还需二次潜水检查闸板密封性的方式。该方式存在较大危险性,且受潮位及水流速度等条件的限制,潜水员下水作业存在淹溺风险,工作效率极低,如:某电厂在103大修期间因B列鼓网进水闸板槽底部堆积约40mm厚的淤泥及海生物附着物,需人下潜至水下闸板底部进行人工铲除清理,无法清理,导致

1#机组B列冷源相关设备的检修工作均已取消。

为了寻求更好的解决方案,分析水下清淤的高风险因素,结合实际情况,采用高压水射流作为吹扫的动力源^[1],设计一套适合水闸板导轨及闸板槽底部海生物及淤泥的清理设备,以解决现场实际应用就显得十分必要。

1 重要性

新设备新工艺的投入使用将取代潜水员下水的高风险作业且不受环境、时间的影响。此装置上的高压水射流装置会直接将闸板导轨、闸板槽底部上附着的海生物和淤泥将会被吹扫开,使其闸板槽底部及导轨附着的海生物脱落至其他位置,在闸板下放后不存在硬质海生物凸起问题影响其密封性,省去人工清理效率低且耗时,为后续相关冷源设备的检修工作争取更多的时间窗口,下图1为水闸板密封示意图。

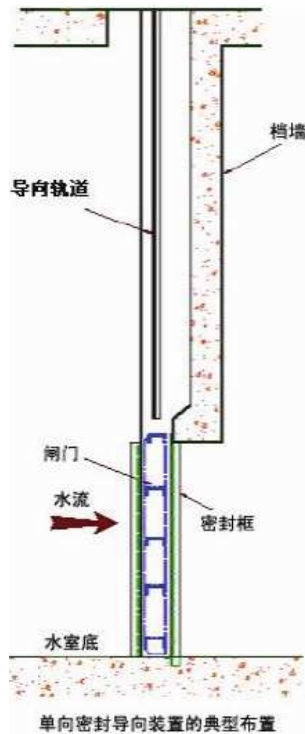


图1

2 国内外发展趋势及应用情况^[2]

对核电厂CFI系统水闸板底部贝类海生物清理设备进行设计,将形成一套新的装置和一套新的贝类海生物清理工艺。其是主要针对国内核电站进水隧洞渠道及PX泵房进水渠道工况,而国内核电站目前未有采用自动化清理方式,主要采用下水人工清理方式,目前国内已有清理设备采用高压水射流技术清除海洋生物,但未见应用于核电厂CFI系统闸板槽底部的清淤设备。查阅相关文献,国外有水下船体清洁机器人的设计,定期使用这类机器人来保护船体,防止船体海生物污染,但针对水闸板底部海生物自动化清理未见国内外有类似报道,目前无国内外竞争力,同时此清理海生物处理技术也能对国内外核电厂类似水闸板底部贝类海生物进行半自动或全自动清理。

3 海生物清理设备

3.1 设计目标

通过对核电厂CFI系统水闸板构造以及槽底部贝类海生物及淤泥清理工作的研究,开发出一套可视化清理的专用设备,用于取代潜水员下水进行人工清理的高风险作业,且不受环境、时间的影响,完成贝类海生物及淤泥的可视化清理,形成了核电厂CFI系统水闸板槽底清理新的装备和工艺,降低电厂相关人员施工风险,提高了作业效率,形成核电厂贝类海生物、淤泥清理的核心技术。

3.2 设计思路

此设计主要考虑抓取大件物体(如木棍)、去除贝类、藤壶等海生物,查阅相关资料最终选用高压水射流作为动力源进行吹扫附着物,利用铲斗作为大件物体抓取的部件,来实现大件物体的清除和水闸板底部凹凸不平的贝类海生物吹扫,从而使水闸板下放尽可能密封。

3.2.1 主体框架

根据CFI具体尺寸设计一套水下移动的框架导轨机构(图2)。该机构上下移动依托于原来闸门的起重机构半臂吊,下放时为保证其稳定性,为了使框架导轨机构装有与原来下方闸门的导向轨道很好啮合,也在框架导轨机构两侧各设计了两个导向块;采用模块化拼接结构,可以根据不同尺寸的闸门对装置进行长度调节,此设备可以适应不同尺寸钢闸板的工况,从而节约制作成本。框架导轨结构选用槽钢、H型钢,使结构简单,同时又能减轻整个装置的重量且能保证其强度。

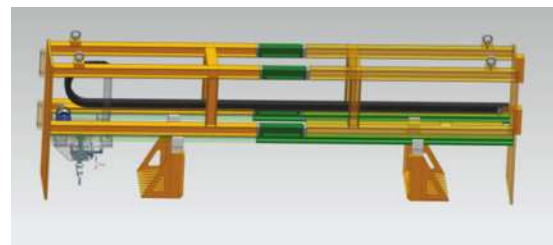


图2 框架导轨机构及多模块化固定平台整体结构示意图

3.2.2 多模块化固定平台

在框架导轨机构上设计多模块化固定平台(图3),能实现调节高度达到调节旋转喷头的靶距,更好的吹扫底部、导轨两侧海生物附着物,并且通过平台的推力实现对左右铲斗的推动以实现闸门底部大件物品的铲取并落入柔性网兜进行收集。平台采用的是SBR50直线导轨于执行机构框架连接,实现左右滑动,平台动力来源于一套液压传动机构,通过对压力流向的控制实现平台的左右移动、暂停的铲取动作,从而解决水闸门密封面遇到的障碍附着物清理问题,满足不同工况需求。

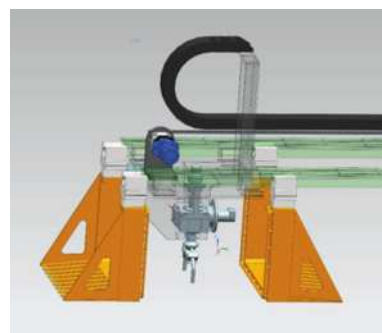


图3 多模块化的固定平台示意图

3.2.3 可视化

为了使水下清理装置具备可视化功能,故在框架左右两侧及多模块固定平台下方左右两端共放置4个摄像头,利用闸板原有起吊装置下放与提升框架,通过清理机构的移动使水下摄像头装置对闸板左右两侧导轨以及底部淤泥层实况监测进行实时反馈,再根据水下不同工况对射流位置调整起到对闸门底部及闸门导槽附着物彻底吹扫。当高压清洗机进行吹扫时,摄像头可以时时捕捉吹扫情况,故水下的工况以及水射流清理的效果可以直观反馈到屏幕,使操作人员依据具体工况进行调整,保证其精准性,达到良好的清理效果。

3.2.4 功能构件设计

对功能构件设计进行优化设计,功能构件设计包括旋转喷头夹具及大件物体清运构件。旋转喷头采用压液驱动旋转喷头,辐射式喷嘴臂,具有超强打击力,并可调节转速,以达到调节吹扫强度。

大件物体清运构件包括可提供推力的平台部分、水下广角摄像头机构、铲斗(平台左右各一个)、网兜连接左右两铲斗,用于收集铲斗左右移动时所收集的海生物及大件物品,铲斗与地面平行,可以铲除闸门底部附着的海生物且不会对砸门底部造成损伤。

增加附属结构设计以满足功能构件更加合理,例如信号电缆、水射流高压软管、驱动组件链条链轮合理布局。由于高压软管直接与多模块化平台相连,来回移动时高压水管容易被装置的棱边磨损,为了避免高压软管缠绕折弯风险,使布线的合理性,故采用坦克链对信号线及动力线管进行收集,并使用单链条平铺加驱动链轮以驱动平台从而实现平台的左右移动,且布局单链条可以根据不同闸门的宽度调节链条数量以匹配长度,链条一端为固定锚点,另一端为可调节长度锚点以保证传动的链条为紧固状态。

3.2.5 装置清理工艺原理

此吹扫工艺选择液压驱动旋转喷头,旋转喷头由变速箱驱动组件控制不同的转速已达到控制出水压力。该组件由一个旋转齿轮驱动,一个液压电机提供动力。有两种不同的变速箱减速比可用。减速箱有一个60:1的比率,生产的速度范围从10到50rpm;快速变速箱有一个5:1的比率,生产速度从150到500rpm。通过电机调节,在一定的范围内控制旋转速度,从而控制组件的压力范围。

吹扫效率每个喷头的打击截面宽度为10mm,双喷头螺旋覆盖每周覆盖有效宽度为20mm,当转速10rpm—

50rpm时每分钟可行进200mm—1000mm。可控制平台移动速度使起吹扫步距加密或扩大,以实现对目标物的吹扫时间及间隔的控制保证有效去除目标物。

3.2.6 设备调试

利用三维技术,模拟运动轨迹,分析清理设备的稳定性,制作样机,同时联合电厂对整套设备进行安全性、可靠性认证的调试。

根据CFI系统水闸板的具体尺寸,在试验场地组装试验设备。试验设备包括水池、与水闸板同等宽度的导轨(高度根据实际情况而定),水池底部模拟淤泥等物理条件,水闸板与导轨间模拟贝类海生物的附着条件。新设备投入运行前,按照制定的计划对研究的设备样机进行调试,记录各方面参数,为调整相关实施方案及优化设备提供依据。最初成型的样机,在稳定性、实用性方面可能会出现一些问题,需要在试验时记录设备的相关参数、清理效果,试验后出具试验报告,通过对比评估,对实施方案、相关设备、设备构件、控制线路、控制方式等进行优化、更新,最终改良出一套最佳且实用的清理设备。

4 设备结构

水闸板底部海生物清理设备主要的机构为高压水射流装置,是吹扫贝类海生物及淤泥主要由进给机构1、清理机构2、清洗动力机构3三部分组成(如下图4所示),清洗动力机构3为高压水射流装置,是吹扫贝类海生物及淤泥主要动力源装置,通过进给机构1可以实现清理机构2沿水闸门底部密封面进行左右的往复运动,确保其清淤面可以覆盖闸门底部密封面。采用高压水射流在水下吹扫作业可以避免人工下水清理,大件物体可以通过抓斗进行抓取,降低人工下水清理的风险,清理机构2的喷头组件2-2可以快速拆装,单独功能使用,传动支撑板2-3在清理机构当中起到承上启下的作用,一方面连接液压马达,另一方面连接滑块,从而把液压动力传奇到滑块,使其左右带动喷头组件,也可带动大件抓取机构2-4;水下摄像头2-5设计共有4处,在框架的左右两端内侧和传动支撑板2-3左右两侧处,观测时更加全面清晰。

该设备可以对清理的情况实时反馈,对一次清理效果不理想之处反复清理,最终达到理想状态。下面从详细阐述三部分的功能结构:

4.1 进给机构

进给机构1主要由主体支架式框架1-1、尼龙导向块1-2、液压摆线马达1-3、链条1-4、坦克履带1-5、加长

模块1-6和铝托光轴导轨套装1-7组成,进给机构采用链传动+直线导轨,链条传动结构简单容易实现长距离传动,在水下作业不容易卡涩,优于滚珠丝杆传动。

其中,主体支架式框架1-1采用钢板和工字钢组合,强度得到保证,直线导轨选用成品的铝托直线导轨,可以自由选型进行长距离组合适用不同的水闸板密封面宽度;尼龙导向块1-2开有导向槽,此槽宽度和水闸板槽口左右两端预埋件的角铁匹配,留有一定将间隙的间隙配合,使整体框架更好的下放,起到一个导向的作用;液压摆线马达1-3固定在传动支撑板2-3平台上,通过液压站3-3提供传动压力;链条1-4固定在主体框架上的小侧板上,小侧板同时也起到托起坦克链1-5的作用,坦克链1-5选择合适的规格以适应高压水射流水管的弯曲半径,用于高压水管线和摄像头信号线以及液压管线,图中未标注出来线路的走向;加长模块1-6用以适用不同水闸板宽度,调整整体框架正好匹配水闸板导槽,设计V型凹凸配合,便于快速安装和定位;铝托光轴导轨套装1-7由滑块+导轨组成,能很好在水下顺畅左右移动,避免杂物深入其中导致卡涩,滑块固定于传动支撑板2-3,使其连入液压传动系统。

4.2 清理机构

清理机构2包括旋转喷头组件(可选旋转喷头或集成扇形喷头,若选用扇形喷头,喷头组件2-1、喷头夹具2-2)、传动支撑板2-3、大件抓取机构2-4以及水下摄像头2-5组成,大件抓取机构2-4由铲斗和柔性网兜组成,铲斗加柔性网兜背靠背设置两个,确保左右两侧的大件物体能铲取到,其中选取的柔性网兜装卸大件物体较为方便,两个铲斗之间通过绳子连接,喷头组件(2-1、2-2)处于两个铲斗之间,当液压站3-3输出动力至液压马达1-3,通过传动支撑板2-3左右移动带动抓取机构进捞取大件物体,同时也喷头组件2-1左右移动,实现对淤泥和附着海生物进行吹扫。水下摄像头2-5在左右内两侧和传动支撑板2-3左右两侧各设计一个,通过摄像头2-5实现对水闸门处的实时监控及对大件物体的捞取,也可以对清理的情况实时反馈,对一次清理效果不理想处实施反复清理,最终达到理想状态,使吹扫清理区域无死角、无盲区。

其中,清理机构2的喷头组件可快速拆装(不同类型的喷头选用不同的夹持机构);喷头组件安装在传动支撑板2-3下部,上部分通过铝托光轴导轨连接在导轨上,连接板中间部分的平台安装液压马达1-3,通过齿轮和上部的链条1-4进行传动左右移动,上部竖直部分

顶端固定坦克链1-5。

4.3 清洗动力机构

清洗动力机构3为高压水射流装置,是吹扫贝类海生物及淤泥主要动力源装置,主要由高压泵站3-1、水箱3-2(或接入水源)、压液站3-3,电控箱3-4和终端操作平台3-5组成,高压泵站3-1提供吹扫压力,通过高压软管经喷嘴喷出,到达吹扫的目的;水箱3-2为没有水源的情况,在有水源时直接介入水源;液液站3-3为液压马达提供动力,通过齿轮和链条进行左右移动,电控箱3-4可以集成控制系统,便于集中操作,终端操作平台3-5主要是水摄像头实时监控的影像界面,以便及时调整吹扫或抓取杂物机构的位置^[3]。

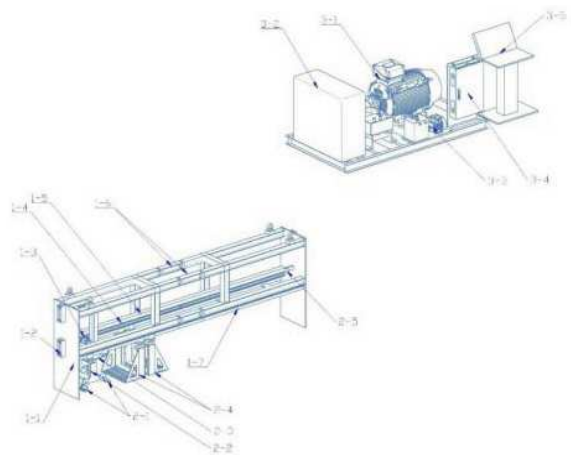


图4 清理设备示意图

5 海生物清理工艺

海生物清理设备主要考虑去除贝类、藤壶等海生物,查阅相关资料最终选用高压水射流作为动力源进行吹扫附着物,利用铲斗作为大件物体抓取的部件,来实现大件物体的清除和水闸板底部凹凸不平的贝类海生物吹扫,从而使水闸板下放尽可能密封,进给机构根据水闸板渠口左右两侧预埋的角钢设计和原水闸板一样的尼龙导槽,目的在于顺利导向,进给机构主体框架能顺利下行,不至于前后跑位偏离,见清理设备下放过程演示图5,清理机构采用旋转喷头,双喷头螺旋覆盖每周覆盖有效宽度为20mm,连续移动吹扫清理,可以更好把贝类海生物贝类剥离,且可以在下方或提升过程中吹扫左右两侧预埋的角钢导轨附着物,清洗机构利用喷嘴夹具作为连接件,通过液压马达的输出动力使清洗机构可以左右移动,不仅可以连接动力,且连接滑块,使其在铝托光轴导轨上顺畅左右移动,同时可以带动大件抓取物铲斗进行左右移动铲取大件物体,大件物体落入两铲斗之间的柔性网兜,通过半臂吊起吊整个装置,从而把大件物体取出。



图5 清理设备下放过程演示图

整个清理过程即工作原理如下:

依据水闸板渠口的宽度,选用合适的加长模块1-6,组装好进行机构1和清理机构2,动力机构3中敷设好高压软管、摄像头线、液压站管线,接入电源和水源,用吊索系好装置的四个吊点。

第一步:利用半臂吊起吊后缓缓沿着导向轨道放入,利用水下摄像头进行实时监测,旋转喷头初始状态是放在一边,下方过程中如左右两端导轨如有贝类附着物,开启高压水射流进行吹扫一边,再通过液压站调节使其移动至另一侧进行吹扫(若有附着物),若无附着物或吹扫干净则关闭高压水射流,当底部时开启从一侧开始吹扫通过液压站使其向另一侧吹扫,若检测到底部有大件物体,且吹扫移动不了,则停止吹扫,通过半臂吊起吊至地平台上;

第二步:拆卸旋转喷头,同时装上大件抓取机构2-4,重新下放,到达底部进行往左或往右至使其大件物体落入网中,起吊半臂吊至地面平台,清理大件杂物;

第三步:若第一步骤可以清理干净底部,则无需操

作最后一步,若第一步还没清理干净,则卸掉大件抓取机构2-4,重新安装上拆卸喷头组件,再下放至底部进行左右移动吹扫至附着物干净为止,提升半臂吊至地面平台,用清水清洗设备污垢,拆卸主要部件,收拾场地,至此整个过程完毕。

6 结语

此水闸板底部海生物清理设备首先应用于某核电站CFI系统闸板底部海生物及淤泥清理,水下作业部分的高压水射流喷嘴提供的压力范围50MPa~100MPa,清扫宽度620mm,同时水下400万像素的摄像头可以在清洗过程中全局观测清理的效果,达到可视化清理。在清理过程中的稳定可靠,对海生物吹扫去除不留附着物,清理效果良好,避免人工潜水作业淹溺风险,缩短作业时间,提高作业效率,为后续的冷源相关设备的检修争取更多的时间,保障核电运维安全。后续可推广应用于其它核电站的CFI闸板检修活动,通过结构上的改进,可以应用于类似场景下贝类海生物及淤泥清理的工作,由人工操作转为半自动或全自动机械化作业,解决类似的高风险作业。

参考文献:

- [1]王云,王岩.高压水射流清洗技术的应用.化学清洗,第11卷,第4期,1995年
- [2]王洪仁.有关高压水射流清洗技术现状及发展前景.商,2016(20).295
- [3]庄蕾.高压水射流清洗应用喷嘴及喷头.清洗世界,第19卷,第12期,2003年.