

# 高压潜水电机腔内部冷却系统研究

俞凤

合肥盛亚电机电器有限公司

**[摘要]** 本文研究了一种高压潜水电机腔内部冷却系统,能够降低高压潜水电机腔内部的温升,降低高压潜水电机腔内部温升的目的主要是为了防止高压潜水电机腔内部温度过高而引起高压潜水电机绕组绝缘层破坏,从而烧毁高压潜水电机。高压潜水电机腔内部冷却系统主要包括转子、离心风扇、通风管、螺旋槽、定子、轴流风扇、导风罩、通风槽等结构,本冷却系统能够使定、转子之间的温差从90℃下降到30℃左右,使转子膨胀后的气隙减小相对值 $\leq 15^\circ$ ,从根本上解决了潜水电机由于电机腔内部温度过高而引起的潜水电机烧毁问题。

**[关键词]** 高压潜水电机、冷却系统、风路冷却、可靠性

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.11.818

## 一、高压潜水电机腔内部冷却系统的研究背景

高压潜水电机腔的温升是决定高压潜水电机能否长期运行的一个重要性能参数。以前潜水电机一般主要为潜入水中运行,冷却条件较好,电机腔内的温升问题不是需要解决的主要问题。但是,根据我司长期制造高压潜水电机的经验,以及高压潜水电机的使用情况,发现高压潜水电机腔的温升,特别是大型高压潜水电机腔的温升,对于高压潜水电机的安全稳定运行有着很大的影响,尤其是高压潜水电机腔内部的转子温升,由于高压潜水电机定子的热量可以直接通过机壳与周围工作水流进行热交换。如果高压潜水电机腔内部没有设计合理的通风散热冷却系统,则会导致高压潜水电机腔内部温升升高,使定转子之间存在较大的温度差,由于潜水电机定子的散热空间大,而转子的散热空间相对定子而言比较小,转子的热膨胀将远远大于定子的热膨胀,导致定转子之间的气隙减小,在很严重的情况下可能造成定转子相擦,潜水电机定转子相擦会直接影响到潜水电机的安全运行。因此控制高压潜水电机定转子温升,以及设计一个合理的通风散热系统是大型潜水电机设计研究中的一项重要课题,也是目前电机行业需要解决的问题。

随着社会文明的进步及经济规模的扩大,在国民经济各部门对使用潜水电泵配套的潜水电机的功率、电压等方面都提出大型化的要求,世界各国的潜水电泵配套的潜水电机的研发单位和生产企业都为大型化进行了不懈的研究工作。

国内外的同业,在大型化过程所遇到一个共同技术难关是干定子潜水电泵配套的潜水电机,潜水电机定、转子在长期运行过程中,一般是在3~4小时后,发生定、转子相擦的严重故障。随着潜水电机各部份产生的能量损耗转变成热,提高了潜水电机腔内部的工作温度,即所谓温升,而干定子式潜水电机的外壳有冷却水流流通,具有良好的冷却条件,定子铁芯及定子线圈是直接装配在定子外壳的内壁,散热条件良好,因此尽管定子铁芯中有涡流损耗及磁场损耗,并且定子线圈中欧姆损耗及附加损耗是产生热量的主要成份,但是因散热条件良好,最终定子能在某一温度下达到发热和散热的动态平衡。由于转子绕组对异步电机是鼠笼转子或绕组转子,对同步潜水电机是励磁绕组在运行时有感应电流或励磁电流流过,同样有欧姆损耗和杂散损耗产生。转子损耗产生的热量使转子温度不断提高,而对干定子式转子的散热条件很差,转子不通过金属传热体与水冷的电机外壳接触,而是通过鼠笼转子的端环和定、转子之间的间隙传递热量。由于转子散热条件比定子散热条件差很多,这样就会出现转子温度高于定子温度的现象。众所周知,物体热胀冷缩的物理现象,转子温度高,转子直径热膨胀量大于定子内孔的热膨胀量,这就使得定转子之间的间隙变小,而间隙变小到一定程度在不平衡离心力和定、转子间隙之间的单边磁拉力的作用下,就很可能发生定、转子相摩擦故障的现象,这是很严重的潜水电机故障。定、转子相擦产生磨擦功转换成热量,使磨擦面温度很快上升,甚至熔化转子导体,潜水电机腔内部的高温彻底破坏定子绕组的绝缘,使整台潜水电机绕组烧毁,从而整台潜水电机报废。

我公司于2021年9月份曾计算和测量过一台电压为10kV、250kW、12极的潜水电机,在带泵运行4小时后,转子温度为

185℃,定子温度为95℃,定、转子之间的温差为90℃,其转子的直径为490mm,定、转子之间的间隙为1.4mm,转子在95℃的温差下的直径膨胀量0.8mm,占气隙的相对值50%,现在为了满足高压潜水电机的功率因数要求,达到有关标准要求,在设计高压潜水电机时,就会无形把高压潜水电机的定、转子之间的间隙缩小,减小高压潜水电机的定、转子之间的间隙,可以大大提升高压潜水电机的功率因数。依据电机设计中转子刚度设计的原则,当电机定子和转子之间的间隙占气隙的相对值 $\geq 25\%$ 时,在单边磁拉力的作用下,就会发生定、转子相擦的现象。高压潜水电机向大型化发展,转子直径越大,膨胀量越大,很容易造成潜水电机定、转子相擦,导致潜水电机腔内部温度过高,从而破坏定子绕组的绝缘,使整台电机烧毁报废。

合理的设计高压潜水电机腔内部的通风冷却系统是降低高压潜水电机腔内部温升的一项关键措施。

## 二、高压潜水电机腔内部冷却系统的基本构成

高压潜水电机腔内部的冷却系统,主要包括转子、离心风扇、通风管、螺旋槽、定子、轴流风扇、导风罩、通风槽,转子上设置有离心风扇、辐铁和轴流风扇,轴流风扇外侧设置有导风罩,转子外圆上设有螺旋槽;转子外部设置有定子,定子上下方分别设置有上法兰和下法兰,定子机座中段上设置多根通风管和散热筋,定子内腔设置有通风槽。此高压潜水电机腔内部的冷却系统,特点在于,通风管可替换为通风槽,通风管穿设在定子机座的上法兰和下法兰之间,且通风管两端与法兰焊接,通风槽设置在定子槽口。

## 三、高压潜水电机腔内部冷却系统的基本工作原理

高压潜水电机腔内部冷却系统的潜水电泵是由潜水电机和水泵通过同一根轴及联接法兰组成一个整体,潜水电机是潜没在水中工作的,潜水电泵运行时的同时潜水电机也正常运行,带动潜水电机转子旋转,带动水泵叶轮转动,从而将水从下向上抽出,水流是冷水流,流经定子表面,对定子进行冷却。

潜水电机腔内部冷却原理是:

(1) 电机运行时,在电机腔内部的第一风路冷却循环回路:电机下腔中的冷空气通过转子上的轴流风扇、导风罩加压、转子铁芯内孔、冷空气带走转子内孔中的热量成为热空气、离心风扇内腔、通过离心风扇加压、电机上腔、通风管或通风槽、热空气在通风管或通风槽中与定子外逆向冷水流进行空水冷却交换成为冷空气、电机下腔,完成第一风路冷却循环;

(2) 电机腔内部第二风路冷却循环回路:电机下腔中的冷空气、通过转子上的轴流风扇、导风罩加压、转子铁芯内孔、冷空气带走转子内孔中的热量成为热空气、离心风扇内腔、通过离心风扇加压、电机上腔、定转子气隙、转子螺旋槽、定子通风槽、带走定转子表面热量、电机下腔,完成第二风路冷却循环。

这两条风路都加强了电机内腔的空气循环,并将电机内腔的温度通过电机外壳传递到外部水流带走,从而极大地降低电机腔内部的温升,极大地提高了潜水电机的可靠性。

## 四、高压潜水电机腔内部冷却系统的结构特征

高压潜水电机腔内部通风系统中,加强潜水电机定、转子间气隙的强制通风,即在现有潜水电机的转子表面车削大导程

的多头螺旋槽。在转子旋转时,螺旋槽起到螺旋鼓风机的作用,为增大风量螺旋槽采用多头螺纹,由于螺旋槽鼓风作用,比原有离心风扇在定、转子间隙产生的轴向风速高4~10倍,有力地带走了转子产生的热量。为了增加定、转子间的间隙以增大轴向通风面积,而又不增加定、转子间隙值,在定子槽口设置轴向通风槽。加强潜水电机腔内部热空气与潜水电机周围工作水流的热交换能力,即在定子机座的上法兰和下法兰之间,在圆周方向穿过多根通风管和散热筋或通风槽和散热筋,两端与法兰焊接,使之不漏水。由离心风扇产生的高压区中的热空气经通风管、线圈端部、与螺旋槽送出的定、转子间的热风汇合、转子的内通风道、回到离心风扇的负压区,形成内部空气流动的回路。当热空气流经通风管或通风槽时,四周都有水流逆向流过,产生热交换,热空气的热量被工作水流带走,通风管起到了水空冷却器的作用。为了加强转子内部的通风,在转子内通风口的进口处设置了轴流风扇及导风罩。

高压潜水电机腔内部冷却系统,使定、转子之间的温差从90℃下降到30℃左右,转子膨胀后的气隙减小15°,从根本上解决了定、转子相擦这一潜水电机向大型化发展中的可靠性关键技术之一。

#### 五、高压潜水电机腔内部的冷却系统的应用

在潜水电机大型化发展的过程中,国内、外各潜水电机制造企业普遍存在定、转子相擦的故障可以说是阻止潜水电机发展的最严重问题,针对现有技术存在的不足,高压潜水电机腔内部冷却系统的研究提供了一种大型干定子防定转子相擦的潜水电机。有效地解决了潜水电机发展遇到的阻碍。

#### 六、结束语

高压潜水电机腔内部冷却系统能够大大降低高压潜水电机腔内部的温升,防止潜水电机腔内部温度过高而引起

的潜水电机烧毁,定、转子之间的温差下降明显,转子膨胀后的气隙明显减小,从根本上解决了定、转子相擦这一潜水电机向大型化发展中的可靠性关键技术之一,有十分广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1]陈维,邓陶然.浅谈干式高压潜水电机设计[J].电动工具,2017(02):23-26.
- [2]张琦,李增亮,董祥伟,刘延鑫,王雨婷.大功率潜水电机冷却系统分析方法与试验研究[J].中国机械工程,2021,32(03):368-377.
- [3]电机工程手册编委会编.电机工程手册:电机卷,北京:机械工业出版社,1996.
- [4]陈世坤主编.电机设计,北京:机械工业出版社,1982.
- [5]程福秀,林金铭.现代电机设计,北京:机械工业出版社,1993.
- [6]魏永田,孟大伟,温嘉斌编著.电机内热交换,北京:机械工业出版社,1998.
- [7]傅丰礼.异步电动机起动温升的工程计算方法,电机技术,1993.2.
- [8]傅丰礼.异步电动机起时的转子温升计算方法,中小型电机,1990.2.
- [9]傅丰礼.异步电动机起时的轴向温度场计算,大电机技术,1990.1.
- [10]马邦勇,高建虎.海洋平台海水泵潜水电机冷却系统的改造及应用[J].水泵技术,2020(05):35-38.
- [11]阎,佟宁泽,于涛.潜水电机的结构与特点[J].沈阳工业大学学报,2005(03):270-273.

(上接第1575页)

活动空间,实现群众文化场地的扩展,将不同的场地与群众文化活动相结合,向不同的群体宣传群众文化活动的精神内涵。例如,在学校中开展群众文化活动,与学生产生文化思想上的碰撞,丰富学生的文化素养,促进校园与社会的和谐进步。再如,在企业中开展群众文化,将基层群众与基层工作者的思想进行连接,将企业与社会文化进行有机地结合。单一的文化空间不能满足现阶段群众对文化活动的精神需求,实现活动空间的突破,才能保证群众文化工作的空间得到和延伸,这不仅打破了群众文化只体现在基层群众生活中的束缚,更实现了群众文化活动规模的进一步扩展。

#### (四)完善设备,保证基层文化活动的传承

完善的设备是支撑文化活动的开展的基础,也是传承文化内容的主要场所,文化活动工作者必须要重视该项工作的开展。一方面,完善的基础设备,能为群众提供舒适的文化活动场所。群众文化工作者应当针对当地的实际情况,向相关部门申请资金与物力的支持,保证文化设施设备的完整性和多样性。一来这为提高群众个人素养做足了准备工作;二来这能将群众文化融入到群众的日常生活中,达到激发群众参与热情的目的。

另一方面,中华文化博大精深,在悠悠历史长河中经历了无数次洗涤,积淀下来的都是文化精髓。群众文化工作者必须将发扬中华优秀传统文化作为自己的工作导向之一,通过将传统文化与当地特色进行有机的连接,实现当地文化风俗的传播、中华优秀传统文化的传承。一来群众非常熟悉当地的文化特色,这能拉近群众与文化活动的距离;二来这能提高群众的参与积极性,有利于传统文化的进一步传承。

#### (五)升华机制,践行针对性的文化活动

在国家政策的支持下,群众文化的兴起是必然的。群众文化工作者应当拥有大局观念,实现文化活动机制的升华,践行具有针对性的文化理念。将公益和经营相结合,丰富群众活动的开展模式,使群众活动开展,更具内涵和深意。一方

面,公益性群众文化活动的开展,主要是为活动对象提供公益性质的演出和服务,可由政府部门作为活动的主导者,对场地活动内容进行安排和制定。

另一方面,经营性群众文化活动的开展,主要是以市场需求为导向,要与市场现阶段的热点、观众的喜好相结合,在满足观众观看需求的基础之上,充分突出当地的文化风貌。公益性文化活动与经营文化活动的本质都是宣扬群众文化风貌,二者的区别是担负着不同的社会作用,但都能实现文化市场的蓬勃发展,体现文化活动的社会效益。

#### 结束语:

想要在多视角下做好群众文化工作,获得良好的工作成果,就必须深入领悟群众文化在国家发展、社会建设中的重要意义。群众文化工作者要将提升全民思想水平与群众文化活动相结合,在新时代背景下突破群众文化工作困境,将振兴群众文化作为重要的工作任务,借助蕴含优秀传统文化、极富当地特色的文化风俗,开展群众文化活动,丰富群众的精神风貌,提升群众的综合素养。

#### 参考文献:

- [1]张国萍.对乡村振兴视角下群众文化工作的几点思考[J].文学少年,2020(18):2.
- [2]陈伟健.推进群众文化建设的路径分析[J].赤子,2020,000(004):56.
- [3]王莎莎.论新形势下如何开展群众文化工作[J].参花:上,2020(3):1.
- [4]杨光燕.基于乡村振兴视角探究群众文化工作[J].市场周刊·理论版,2020(29):1.

作者简介:李静(1979.11-),女,汉,山东东营人,群文馆员,从事群众文化管理工作,大学。