

磨蚀防护技术在水力机械的应用研究

冉启飞

西华大学, 四川 成都 610039

[摘要]我国水力机械领域的磨蚀防护技术一直备受关注与研究。随着我国水力能源的迅速发展,水力机械长期运行中的磨损和腐蚀问题逐渐显现,为了提高设备的可靠性和使用寿命,迫切需要有效的磨蚀防护技术。本篇文章探讨了水力机械领域磨蚀防护技术的应用现状和发展趋势,介绍了水力机械在实际运行中面临的磨蚀挑战,包括水流冲击、颗粒磨损等问题,并综述了各种磨蚀防护技术的研究进展,分析了这些技术在水力机械中的应用效果和实际应用情况。最后,对水力机械领域磨蚀防护技术的未来发展进行展望,以促进水力机械行业的可持续发展。

[关键词]磨蚀防护技术;水力机械;应用研究

DOI: 10.33142/ect.v2i7.12744

中图分类号: TK72

文献标识码: A

Research on the Application of Erosion Protection Technology in Hydraulic Machinery

RAN Qifei

Xihua University, Chengdu, Sichuan, 610039, China

Abstract: The wear and corrosion protection technology in the field of hydraulic machinery in China has always been of great concern and research. With the rapid development of hydraulic energy in China, the wear and corrosion problems in long-term operation of hydraulic machinery have gradually become apparent. In order to improve the reliability and service life of equipment, effective wear and corrosion protection technology is urgently needed. This article explores the application status and development trend of wear and corrosion protection technology in the field of hydraulic machinery, introduces the wear and corrosion challenges faced by hydraulic machinery in actual operation, including water flow impact, particle wear, and other issues, and summarizes the research progress of various wear and corrosion protection technologies, analyzes the application effects and actual application situation of these technologies in hydraulic machinery. Finally, prospects are provided for the future development of erosion protection technology in the field of hydraulic machinery, in order to promote the sustainable development of the hydraulic machinery industry.

Keywords: erosion protection technology; hydraulic machinery; application research

引言

水力机械作为重要的能源装备之一,在水电发电、水资源利用等领域具有广泛的应用和重要的地位。然而,由于长期受到水流的冲击和摩擦,水力机械工作部件容易发生磨蚀现象,导致设备性能下降、能效降低,甚至设备损坏和事故发生。因此,研究和应用磨蚀防护技术对于提高水力机械的抗磨蚀能力、延长设备的使用寿命、保障设备的安全稳定运行具有重要意义。随着材料科学、表面工程、纳米技术等领域的不断进步和发展,磨蚀防护技术在水力机械领域得到了广泛关注和应用。传统的磨蚀防护方法包括表面涂层、材料改性、结构改进等,通过改变工作部件的表面特性、材料性能和结构设计,提高了工作部件的抗磨蚀能力和耐久性。同时,新型磨蚀防护技术如纳米材料应用、生物仿生材料、先进涂层技术等出现,为磨蚀防护技术的发展带来了新的突破和机遇。本文将对磨蚀防护技术在水力机械中的应用进行深入研究和探讨。首先,将介绍磨蚀对水力机械的影响,包括磨蚀机理、磨蚀影响因素等内容。然后,将综述传统磨蚀防护方法和新型磨蚀防护技术的原理、特点和应用情况。最后,将探讨磨

蚀防护技术的发展趋势和展望,展望未来磨蚀防护技术在水力机械领域的发展方向和应用前景,为水力机械的安全运行和高效率能源利用提供技术支持和保障。

1 磨蚀防护技术在水力机械中的重要性

磨蚀防护技术在水力机械中的重要性不可低估。水力机械作为转换水能为机械能的重要设备,在水电站、水泵站等水利工程中起着至关重要的作用。然而,由于水流中含有的颗粒物质、气泡、流体动压等因素的作用,水力机械的工作部件常常受到磨蚀的影响。磨蚀不仅会导致水力机械的性能逐渐下降,还可能引发设备的损坏甚至故障,进而影响到水力发电系统的稳定运行和生产效率。因此,磨蚀防护技术的研究与应用对于提高水力机械的使用寿命、降低维护成本、保障水电工程的安全稳定运行具有至关重要的意义^[1]。通过有效的磨蚀防护技术,可以减缓水力机械受到的磨蚀程度,延长设备的使用寿命,提高水电系统的可靠性和经济性,从而更好地满足社会对清洁能源的需求,促进水利工程的可持续发展。

2 磨蚀对水力机械的影响

磨蚀是水力机械长期运行中不可避免的问题,其对水

力机械的影响是多方面而复杂的。首先,磨蚀会直接导致水力机械的工作部件表面逐渐磨损,这一过程可能是逐渐的、缓慢的,也可能是急剧的,取决于水流中悬浮颗粒物质的浓度、硬度以及工作部件的材料和结构特性。随着磨蚀的发展,工作部件表面的粗糙度会增大,进而增加了水流与工作部件表面的摩擦阻力,降低了水力机械的效率。其次,磨蚀还会改变水流的流态特性,增大了水流的湍流程度,导致了水流在水力机械内部的紊流运动加剧。这会引发额外的冲击和振动,加速工作部件的磨损,增加了机械零部件的疲劳破坏风险,降低了设备的可靠性和稳定性。另外,随着磨蚀的发展,水力机械的工作部件形状和尺寸可能会发生变化,例如叶片的形状可能会因磨蚀而变得不规则,导致了水流在水轮机或泵内的分布不均匀,影响了水流的流动状态和分布,进而降低了水力机械的性能和输出功率。

3 磨蚀防护技术综述

3.1 传统磨蚀防护方法

3.1.1 表面涂层

表面涂层是传统的磨蚀防护方法之一,通过在水力机械工作部件的表面涂覆一层特殊的涂层材料,来提高工作部件的抗磨蚀性能。这种方法的原理在于,涂层材料能够形成一层硬度较高、耐磨性较强的保护层,从而降低了工作部件表面与水流之间的直接接触,减缓了磨蚀的发展速度。表面涂层的选择与设计至关重要,需要根据水流的特性、工作条件和工作部件的材料等因素来确定合适的涂层材料和涂层工艺。常见的涂层材料包括陶瓷、金属合金、聚合物等,它们具有不同的特性和适用范围。例如,陶瓷涂层具有硬度高、耐磨性好的特点,适用于高速水流和高磨蚀环境下的水力机械;而聚合物涂层则具有良好的耐腐蚀性和耐磨性,适用于对环境要求较高的水力机械工作部件。值得注意的是,表面涂层虽然能够有效地提高工作部件的抗磨蚀性能,但其耐久性和稳定性也是需要考虑的重要因素。在实际应用中,涂层的选择和施工工艺需要充分考虑到水力机械的工作环境、使用条件和长期耐久性,以确保涂层能够在长期运行中保持良好的磨蚀防护效果。

3.1.2 材料改性

材料改性是传统磨蚀防护方法中的重要手段之一,其基本思想是通过改变材料的组成和结构,提高材料的硬度、耐磨性以及抗腐蚀性能,从而增强水力机械工作部件的抗磨蚀能力。在材料改性方面,常见的方法包括合金化、表面渗碳、表面氮化等。合金化是通过向基础材料中添加合金元素,改变其晶格结构和化学成分,提高材料的硬度和耐磨性。表面渗碳和表面氮化则是通过在材料表面形成富含碳或氮的硬化层,提高表面的硬度和耐磨性,减缓磨蚀的发展速度。此外,材料改性还可以通过热处理、表面喷涂等方法来改善材料的性能^[2]。热处理可以通过调整材料的晶粒结构和组织形态,提高材料的强度和硬度,增强其

抗磨蚀能力。表面喷涂则是在材料表面喷涂一层特殊的涂层材料,形成一种硬度较高、耐磨性较强的保护层,减少工作部件表面与水流的直接接触,从而延长工作部件的使用寿命。

3.1.3 结构改进

结构改进是传统磨蚀防护方法中的重要手段之一,其核心在于通过改变水力机械工作部件的结构设计,使其在水流作用下能够减少磨蚀的发生和程度。结构改进的目标是优化工作部件的形状、尺寸和布局,减少水流在工作部件表面的冲击和摩擦,从而降低磨蚀的发展速度。在进行结构改进时,需要考虑多种因素,包括水流特性、工作条件、工作部件的材料和结构等。例如,在水轮机叶片的设计中,可以通过调整叶片的截面形状、叶片的倾角和倾翼角度等参数,使水流在叶片表面的冲击和摩擦减小,从而减缓叶片的磨蚀速度。在泵类设备中,可以通过优化叶轮和泵壳的设计,减少水流在叶轮和泵壳之间的流动不稳定性,降低叶轮和泵壳的磨损程度。此外,结构改进还可以包括对工作部件的支撑和固定方式的优化,以增强工作部件的稳定性和耐磨性。例如,在水轮机的轴承支撑结构中,可以采用滚动轴承或磁悬浮技术,减少轴承与轴颈之间的摩擦和磨损,提高轴承的使用寿命。

3.2 新型磨蚀防护技术

3.2.1 纳米材料应用

纳米材料应用作为新型磨蚀防护技术,近年来备受关注。其基本思想是利用纳米材料的特殊性质和微观结构,通过改变水力机械工作部件表面的纳米结构,提高其抗磨蚀性能和耐久性。首先,纳米材料具有较高的比表面积和表面活性,能够形成均匀、致密的纳米保护膜,覆盖在工作部件表面上,有效阻止了水流与工作部件直接接触,降低了磨蚀的发生和程度。其次,纳米材料具有优异的力学性能和化学稳定性,能够在极端条件下保持稳定的抗磨蚀性能,从而延长了工作部件的使用寿命。在纳米材料应用方面,常见的方法包括纳米涂层技术、纳米复合材料技术等。纳米涂层技术是将纳米材料与传统的涂层材料结合,形成具有纳米级结构的保护膜,提高了涂层的硬度、耐磨性和抗腐蚀性能。纳米复合材料技术则是将纳米材料与基础材料进行混合,形成纳米级的复合结构,提高了材料的整体性能和抗磨蚀能力。

3.2.2 生物仿生材料

生物仿生材料作为新型磨蚀防护技术,借鉴了生物界中一些生物体表面具有的特殊结构和性质,将其应用于水力机械工作部件的表面改性,以提高其抗磨蚀能力和耐久性。生物仿生材料的设计灵感来自于一些生物体表面的特殊结构,例如莲叶、鲨鱼皮肤等,这些生物体表面具有微观结构的特殊排列,使其表面具有超疏水、自清洁、低摩擦等特性。生物仿生材料的主要优势在于其具有的超疏水性能。通过将仿生材料涂覆或加工到水力机械工作部件表

面,可以形成类似于莲叶表面微观结构的超疏水层,使水流无法在表面附着,从而减少水流对工作部件的摩擦和冲击,延缓磨蚀的发生^[3]。此外,生物仿生材料还具有自清洁性能,能够降低水流中颗粒物在工作部件表面的沉积,减少了污垢对表面的影响,进一步提高了工作部件的抗磨蚀性能。另外,生物仿生材料的应用还能够降低水力机械的维护成本和环境影响。由于其具有超疏水和自清洁性能,生物仿生材料能够减少水力机械工作部件表面的污垢和污染物沉积,降低了清洗和维护的频率,减少了对环境的影响。

3.2.3 先进涂层技术

先进涂层技术作为新型磨蚀防护技术,在水力机械领域具有重要的应用前景。这种技术通过在水力机械工作部件表面形成一层特殊的涂层,提高了工作部件的抗磨蚀性能和耐久性。先进涂层技术的关键在于选择合适的涂层材料和施工工艺。涂层材料通常具有高硬度、耐磨性和耐腐蚀性,能够有效地保护工作部件表面不受水流的磨损和腐蚀。常见的涂层材料包括陶瓷、金属合金、聚合物等,它们具有不同的特性和适用范围,可以根据水力机械的工作条件和要求选择合适的涂层材料。此外,施工工艺也是影响涂层性能的重要因素。先进涂层技术通常采用高温喷涂、等离子喷涂、激光熔覆等先进的涂层工艺,能够使涂层与工作部件表面结合更牢固,提高了涂层的附着力和稳定性,延长了涂层的使用寿命。先进涂层技术的应用具有多重优势。首先,涂层能够有效地保护工作部件表面不受水流的磨损和腐蚀,延长了工作部件的使用寿命,减少了设备的维护和更换成本。其次,涂层能够提高工作部件的表面硬度和耐磨性,降低了水流与工作部件表面的摩擦阻力,提高了水力机械的效率和性能。此外,先进涂层技术还可以实现对工作部件表面的功能化修饰,例如实现超疏水性、抗污染性等特性,进一步提高了工作部件的抗磨蚀能力和稳定性。

4 磨蚀防护技术发展趋势与展望

磨蚀防护技术的发展趋势和展望在当前环境下显得尤为重要。随着全球能源需求的不断增长和对可再生能源的迫切需求,水力机械作为清洁能源的重要来源之一,其安全稳定运行对于能源供应的可持续性至关重要。在这一背景下,磨蚀防护技术的发展将在多个方面取得重要进展。首先,材料科学和工程领域的不断发展将为磨蚀防护技术提供更多的可能性。新型材料的开发和应用,包括具有高强度、高耐磨性、高耐腐蚀性等特性的先进材料,将成为未来磨蚀防护技术的重要基础。例如,纳米材料、复合材料、金属陶瓷材料等将成为研究的热点,它们具有优异的抗磨蚀性能和耐久性,能够在水力机械工作部件表面形成有效的保护层,延长设备的使用寿命。其次,表面工程技术的不断创新将为磨蚀防护技术提供更多的解决方案。先

进的涂层技术、表面改性技术、纳米涂层技术等将成为磨蚀防护的重要手段,能够在工作部件表面形成均匀、致密的保护层,提高工作部件的抗磨蚀性能和耐久性^[4]。同时,通过仿生学原理设计和制备具有特殊表面结构的材料,也将成为磨蚀防护技术的重要发展方向,这些表面结构能够降低水流在工作部件表面的摩擦和冲击,延缓磨蚀的发生。此外,智能化技术的应用将为磨蚀防护技术带来新的突破。智能感知、智能修复等技术的引入,将使磨蚀防护技术具有更强的自适应性和自我修复能力,能够根据不同的工作环境和条件自动调整其性能,提高水力机械工作部件的稳定性和可靠性。

5 结语

在水力机械领域,磨蚀防护技术的研究与应用一直备受关注。通过本文的探讨,我们深刻认识到磨蚀对水力机械设备长期运行的严重影响,也明白了各种磨蚀防护技术在解决这一挑战中的重要性。从材料科学到工程设计,再到涂层技术,不同的技术手段为水力机械的性能提升和寿命延长提供了有效的解决方案。然而,磨蚀防护技术仍然面临诸多挑战。在实际应用中,我们需要克服技术成本高、施工难度大、耐久性等方面的问题,以确保技术的可持续性和可靠性。此外,水力机械设备的工作环境复杂多变,需要针对不同情况设计相应的磨蚀防护方案。为了进一步推动磨蚀防护技术的发展,我们建议加强跨学科的合作,引入新颖的材料科学和工程设计理念,推动技术的创新与进步。同时,注重技术的实践应用,加强对技术在实际工程中的验证与优化,确保技术的可靠性和实用性。此外,还需加强对磨蚀机理的深入研究,为技术的进一步优化提供更为坚实的理论基础。

相信在各方共同努力下,磨蚀防护技术必将迎来更加广阔的发展空间,为水力机械行业的发展注入新的活力和动力。

[参考文献]

- [1] 陈小明. 水力机械过流部件抗磨蚀关键技术及产业化[J]. 水利部产品质量标准研究所, 2018(9): 30.
 - [2] 张雷. 水工混凝土和水力机械磨蚀防护与修复技术[Z]//中国腐蚀与防护学会. 第十一届全国腐蚀与防护大会论文摘要集. 黄河水利委员会黄河水利科学研究院学院; 河南省水电工程磨蚀测试与防护工程技术研究中心; , 2021: 2.
 - [3] 张宏中, 田磊, 赵小康. 水力机械抗磨蚀技术的应用与发展[J]. 内燃机与配件, 2017(24): 137-138.
 - [4] 李贵勋, 张雷, 郑军, 等. 磨蚀防护技术在水力机械的应用研究[J]. 水电站机电技术, 2017, 40(5): 21-23.
- 作者简介: 冉启飞(1995.10—), 男, 西华大学, 能源与动力工程, 助理工程师。