

水闸渠首工程金属结构腐蚀防护技术研究与应用

武艺

新疆昌吉方汇水电设计有限公司, 新疆 昌吉 831100

[摘要]水闸渠首工程金属结构长期使用过程中易受流水冲击、溶解氧、盐类、酸碱环境等因素的影响产生多样化腐蚀现象, 危害着该结构的安全与寿命。现阶段常规保护策略存在保护不够全面、管理不够系统、检测较为滞后的情况。文章探究了金属结构腐蚀状况与特色并提出了系统化的保护策略, 以求达到延长结构寿命、提升运行安全性的目的, 同时也可为此类工程的设计建设与维护保养提供合理有效的数据支撑促进其往智慧化和绿色化方向进步。

[关键词]水闸渠首工程; 金属结构; 腐蚀防护技术; 技术应用

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18439 中图分类号: TV34 文献标识码: A

Research and Application of Corrosion Protection Technology for Metal Structures in Water Lock and Canal Head Projects

WU Yi

Xinjiang Changji Fanghui Hydropower Design Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract: The metal structure of the water gate and canal head project is susceptible to various corrosion phenomena caused by factors such as water flow impact, dissolved oxygen, salts, acid and alkali environment during long-term use, which endangers the safety and service life of the structure. At present, conventional protection strategies suffer from insufficient comprehensive protection, inadequate systematic management, and lagging detection. The article explores the corrosion status and characteristics of metal structures and proposes systematic protection strategies to extend the service life of structures and improve operational safety. At the same time, it can also provide reasonable and effective data support for the design, construction, and maintenance of such projects, promoting their progress towards intelligence and green direction.

Keywords: water gate and canal head project; metal structure; corrosion protection technology; technology application

引言

水闸渠首工程是整个水利工程体系的一部分, 它不仅要担负起控制调节水流, 防洪防汛以及灌溉供水还有生态输水等多种任务, 而且对于其中的金属构件在结构稳定性和可靠运行方面有着严格的要求。近年来伴随着我国水利水电工程建设规模的逐渐扩大, 在水闸门、启闭机、底槛支撑、机械设备连接部件等方面广泛地应用了金属材料, 金属结构耐腐蚀程度也直接关系到整个工程项目的寿命长短及其安全性能。但是由于水闸渠首工程建设地点大多处于潮湿、涉水多、接触腐蚀性介质较多的环境下, 金属部件经常处于流水侵蚀、溶氧、氯离子和酸碱度变化等多种恶劣条件之下, 经常会发生电化学腐蚀、全面腐蚀、局部腐蚀甚至是应力腐蚀开裂的情况出现, 在极端情况下会导致结构强度下降、影响水闸门启闭效率等问题, 增加维修费用的同时, 还可能危及到整个工程的安全。所以深入探究水闸渠首金属结构的腐蚀原理并结合物理保护法、化学保护法、结构设计优化及智能化检测手段给出一系列综合性预防措施就成为保证水闸渠首工程长久安全稳定工作的必要前提。本文基于对水闸渠首金属结构所处环境、腐蚀状况以及相关影响要素的分析, 着重介绍了物理保护技术、化学保护方法、结构设计优化和管理制度、智能监

测预警与在线保护技术和综合防护体系与长效维护管理模式的实际应用情况, 目的在于为水闸渠首工程金属结构合理有效的防腐蚀提供相应的理论支撑和实际案例借鉴, 促进防护措施向着系统化、智能化和可持续的方向发展。

1 水闸渠首工程的结构特点

水闸渠首工程是整个调水系统中的一个枢纽点, 它所要起到的作用不仅仅是对于水流的控制还要承担着对防洪、抗旱和灌溉供水以及生态调水等功能, 因此在结构方面也比较复杂。总体来看, 水闸渠首工程是由闸室、上游连接段与下游连接段组成的, 共同构成一个完善的水流控制系统: 其中闸室是主要建筑物用于控制水位并联接两岸的部分, 包括了底板、闸墩、工作桥和交通桥等; 而上游连接段的功能便是使水流平顺流入到闸室内, 在保护河床及岸边的同时还具有一定的防渗任务; 下游连接段则是用来减少水能和防止冲刷还有排出渗透水的任务以保障水流能够顺利通过。而在结构形式的选择上可以根据具体的功能进行分类有开敞式的、胸墙式的和涵洞式的等来对应不同的任务比如开敞式的就适用于一般的引水控制、胸墙式的适用于高低水位差的情况和涵洞式的大多用于穿堤引排水等。此外闸首结构外形复杂、受力状况复杂, 它既要抵抗来自水压力、土压力以及其他外力的作用, 还可

能会集成了输水廊道和闸门和启闭机械设备,它的结构形式又可以分为整体式(闸墙与底板整体浇铸,刚性强)和分离式(适应不均匀沉降)。而且在结构的设计上还需要根据不同的功能要求来进行相应的调整,例如防洪闸是以闸门启闭系统为主便于迅速截断洪流;灌溉渠首闸是以引水流量精确控制为主;生态闸是以不间断的生态调水为主并且配合现代智能信息技术实现实时监测、自动调节。

2 水闸金属结构腐蚀现状与问题分析

2.1 金属材料腐蚀类型及表现

水闸渠首工程中的金属结构经常处于水、湿气和水中溶存的各种盐类等复杂的条件下,很容易遭受各种类型的腐蚀,腐蚀的表现方式也各不相同,而且腐蚀的过程比较隐秘,是逐步发展的。常见的腐蚀主要有均匀腐蚀、局部腐蚀、电化学腐蚀和应力腐蚀等几种类型。均匀腐蚀一般就是整块金属构件的金属表层被全面地氧化而变薄,引起横截面积减少、强度降低,腐蚀虽然进行得较慢,但由于持续不断的发展,最终会给人水闸金属结构的安全带来严重隐患。局部腐蚀主要是指点蚀、缝隙腐蚀、溃疡腐蚀,易出现于焊缝、螺栓孔、金属与非金属间,这种腐蚀进展快且不易用肉眼全部观察到,容易在一处产生穿透孔而导致失效。电化学腐蚀通常出现在两种不同的金属接触在一起或者是在水中产生原电池的情况下,它的腐蚀速度受导电性能的影响较大,水质情况和氧化还原状态对其也有较大的影响,经常会导致局部很快遭到破坏^[1]。应力腐蚀常常发生于承受外力作用的金属结构上的应力集中的地方,配合着腐蚀介质的存在而发生裂纹扩展甚至有时会导致脆断。除此之外,在水闸金属结构长期使用的过程中还会发生腐蚀疲劳以及由微生物引起的腐蚀,它们之间往往会发生相伴发生使得水闸金属结构的破坏多种多样。

2.2 腐蚀对水闸结构性能的影响

水闸金属结构腐蚀对于水利工程的危害是深刻且复杂的,它所造成的影响不仅仅局限于材料自身的消耗,更是关乎整个水闸构建物的安全稳固程度、持久耐用程度以及使用性能可靠程度。首先,腐蚀导致金属断面持续变薄,减弱了金属的承载能力,在外界设计荷载的作用下容易诱发结构发生形变、屈曲或局部失稳的情况,在闸门板、承重横梁以及各类连接件这些主要的受力构件中,哪怕仅有轻微的断面损失也会带来整个结构整体抗力的严重衰退。其次,腐蚀带来的表面粗糙程度改变以及点蚀、穿孔等局部缺损会在结构内部产生严重的应力集中情况,使得结构在受到水压或者运行荷载的过程中较易萌生裂纹或者发生脆性破坏的情况,提高了水闸结构遭受破坏的随机性。再者就是腐蚀过程中的材料自身机械性能衰退,如延展率、韧性、疲劳极限下降等都给水闸长期的周期性的开启关闭动作及水流的不断冲刷下的抗疲劳破坏能力提出了严峻考验。最后,腐蚀还会影响到金属结构同其它材料交汇界

面之间的密封效果和配合精度,像闸门跟门槽之间、铰链处还有各个紧固用的螺栓链接处如果配合间隙变大则会引起渗漏量增多、起落阻力加大甚至失效不能运作的现象,这就影响到了水闸的调蓄功能和挡水防洪效益。

2.3 现有防护措施存在的不足

虽然当前水闸的金属结构防锈措施可以在一定程度上可以减缓其锈蚀速率,但是依然存在着一些弊端阻碍着防锈作用的更好发挥。一方面传统的涂层保护需要建立在表面涂层完好和黏结的基础上之上,然而在水体长期的浸泡冲刷以及日光紫外线的照射和温差影响之下涂层会出现裂纹脱落或者起泡现象致使金属内层裸露引发局部锈蚀,同时阴极保护和防腐隔绝措施也经常受制于安装工艺、接触电阻以及后期管理水平的影响而导致保护电流分布不均或局部失效的情况比较普遍并且较难实现长期稳定的效果。另一方面目前常用的这些防护方式大多数只重视单一的技术方法而忽视系统的和贯穿整个寿命周期的防护管理策略,在水闸投入使用后其锈蚀的风险还是呈现出了累积叠加的特点,尤其是对于一些焊缝、螺孔、铰接位置以及外形复杂的连接处等都容易成为难以观察到的死角产生局部锈蚀情况。此外对于防护措施的设计和建造过程中很少会考虑到水体的化学成分、流速变化以及周围大环境条件对于腐蚀行为的影响从而导致实际防护性能与预期存在一定差异^[2]。再有就是现在所采用的一些检测维护手段也比较落后大多还是基于定期的人工巡检缺少必要的实时在线监控和报警措施以至于初期细微的腐蚀迹象不能被第一时间了解以致隐秘性的腐蚀要等到已经形成了明显的损坏之后才会被发现进而造成了更高的维修代价和风险。

3 水闸渠首工程金属结构腐蚀防护技术研究

3.1 物理防护技术

对于水闸渠首工程来说,物理防范措施是对金属结构防锈的主要措施之一,其主要思想是在金属表面覆盖一层隔绝层或者屏蔽层,在金属构件与腐蚀环境之间进行有效的分隔开来以达到减慢或者防止发生腐蚀的目的。常用的物理防范措施主要有涂层保护法、阴极保护以及使用防腐隔离材料等几种方式。其中应用最为广泛的便是涂装保护法,通过在金属表面涂抹涂料、环氧树脂或者是聚合物复合涂层来达到阻断水源、空气、腐蚀离子等接触金属表面的目的,并且能够为金属表面提供一定程度上的机械保护作用,降低冲蚀磨损带来的损害。而涂层的防护能力除了依赖于涂料本身的特性之外,同样受到制备方法、涂层厚度及其均匀程度和固化效果的影响,因此其防护寿命也就决定了水闸金属结构能够使用的年限长短。阴极保护也是一种电化学性质的物理保护措施,它的工作原理就是在金属结构上设置附加电流系统或者安装牺牲阳极装置从而使整个金属结构都保持在一个被保护的状态下的电位水

平之上进而可以有效的降低氧化速度,它可以在特定条件下长时间稳定地发挥作用,特别适用于经常处于水下或潮湿环境下易产生电化学反应的金属区域。

3.2 化学防护技术

化学保护技术也是水闸渠首工程金属结构防腐措施的一种,它是指利用化学方法处理金属表面状态或周围环境介质,来阻止或者延缓腐蚀发生及其发展过程,进而提高金属构件使用寿命的一种技术。常用的化学保护法主要有防腐剂和缓蚀剂处理、金属表面化学转换处理、合金化处理以及镀锌防腐等。防腐剂和缓蚀剂能在金属表面产生一层致密牢固的防腐钝化膜,或者溶于水中后与金属所处环境中的腐蚀物质发生作用,生成难溶的沉淀物,降低了氧化还原反应的速度,减慢腐蚀速度,这种方法特别适合不便喷涂和长期浸泡在水里的部件。对于金属表面进行的化学变质处理,比如磷化、阳极氧化、化学镀膜等可以在基体上形成连续紧密的保护膜,还可以改善基体表面的漆膜附着力和抗磨损性能,提高了金属的整体抗腐蚀性能和使用年限。合金化是在金属内部加入一些元素改变成分比例的过程,像往铁中添加铬、镍、钼等元素,使其在金属表面生成稳定致密的保护膜,在复杂的水域环境中自身具有抵抗腐蚀的能力,从根本上达到保护金属构件的目的^[3]。镀锌防腐就是在金属表面上覆盖一层锌金属膜,是一种牺牲阳极的做法,一旦基体发生腐蚀现象那锌会首先被氧化从而避免了金属的腐蚀损伤,无论是热镀锌还是电镀锌均能有效提高构件在高湿和水下环境中的耐久性。在具体应用过程中需要根据水闸渠首工程周边水质情况、pH值、溶解氧量、盐度、温度变化等因素合理选用化学保护技术和保护材料种类并采用合理的配套组合形式保证金属结构的长效防腐,这样可以大大增加水闸工程金属部件的使用寿命,提升了整个水利枢纽工作的可靠程度与安全性。

3.3 结构优化与管理措施

结构设计及管理手段是对水闸渠首工程金属结构防腐的有效辅助方法,主要是在结构设计、施工以及后期运维的过程中采取合理的方案和有效的管理手段来降低腐蚀发生的概率,延长整个结构体系的使用年限。在结构方面,针对水闸金属部件受力特征、水流影响以及环境因素等对其进行合理的截面形式、焊接工艺以及连接点分布的设计,尽可能避免存水积液、渗漏水以及旋涡水流对金属结构表面的冲击腐蚀;在水位变动区,增加金属结构设计尺寸作为锈蚀裕度,这样不仅提高结构刚性和整体稳定性,而且可以降低由于应力过于集中以及局部腐蚀造成的结构损伤。在施工层面要严格按照工艺标准以及施工要求进行操作,在金属结构的焊接点位、螺栓孔道以及一些复杂的组合构件交汇处做好防锈蚀工作,杜绝因为施工上的失误导致后续锈蚀的发生,在施工流程安排以及养护环节上做到合理规划,尽量降低周围环境对金属材质的影响程度。

对于后期运维来说则侧重日常的巡视检查、维修保养以及监测工作,制定一系列完善的规章制度,针对一些重要的节点、容易发生锈蚀的地方以及一些重要的承重部件要做好观测记录,以便及时捕捉到细微的损伤与锈蚀情况;结合以往的记录做好数据分析与评估工作。

3.4 智能监测与在线防护技术

智能化检测与在线式防护是今后水闸渠首工程金属结构防锈的重要研究方向,它是在传感技术和数据采集技术基础上结合信息化管理系统来实现实时检测并动态防护的一种新型金属结构腐蚀防护手段,在线式防护技术采用电化学传感器、腐蚀探针、应力应变测量仪器、温湿度测试仪和水质分析仪等,对主要受力件和易遭受腐蚀区域的腐蚀速度、表面状况以及周围环境进行不间断地追踪记录,可以及时捕捉到初期腐蚀以及微小损伤的发生,通过数据分析对可能出现的风险做出判断,提供可靠的数据支撑;此外智能检测系统还能够同在线式防护策略相互配合,比如依据监测结果自动调节阴极保护电流或者开启局部腐蚀抑制剂添加等措施,构成闭环式防护体系,进而达成腐蚀防护的主动性与针对性。构建云端数据库和信息化管理系统使得有关负责人可以通过网络远程查看监控数据、查阅历史记录并与以往情况进行比较研究,为周期性的维修计划制定、危险性评定乃至整个水闸使用寿命估计等工作提供可靠的理论基础。相对于传统的基于人员巡视检查的防护方式而言,智能检测与在线防护技术不但提升了腐蚀损害警告信号的即时性和精确度,而且大幅减少了日常维护开支和减少因主观原因造成的失误,让水闸金属结构得到更为合理、全面和持久有效的防护,大大提高了水闸枢纽面对复杂的水文条件的安全性能和稳定程度。

3.5 综合防护体系与长期维护管理

综合治理与长效管养是水闸渠首工程金属结构防腐蚀的根本方法,其核心就是将包括物理防护,化学防护,结构措施以及智能监测等各类防护技术有机结合起来的一种贯穿项目的设计、建设、运营管理全过程的一体化管理模式。综合治理从设计上合理选材、优化结构布置、节点设计,最大限度减少腐蚀易损位置,在源头处给予最有效的防护;建设过程中突出过程标准化,表面处理及涂装施工质量控制,焊接及连接处理细节把控,为后期的综合治理打下良好基础^[4];而运营中的综合治理则依赖智能化监测与实时在线防护,对重点位置的腐蚀状况及环境条件全天候采集数据信息,基于大数据分析对腐蚀状态进行风险识别与预报,及时发现腐蚀早期信号并迅速采取应对措施。长效管养则是基于定期检查巡查,特殊维护保养以及寿命周期管理,通过制定完善的维修档案、维养方案以及岗位责任制等来实行动态化防护治理。

4 结语

水闸渠首工程金属结构的安全长效运行对于水利工

程枢纽的作用有着非常重大的意义。基于金属结构腐蚀现状以及影响因素分析的基础上,通过采取物理防护方法、化学防护措施、结构设计优化、智能检测技术和综合维护保养等防护措施可以建立起系统全面、科学合理的防护方案并且可以在整个结构物寿命期内对其进行有效地防护。本文介绍了多种防护措施,并分析了它们的特点,提出可以考虑多种方法结合使用,不仅可以减缓金属结构的腐蚀速率并延长使用寿命而且还可以增加整个水闸渠首工程运行过程中的可靠性和安全性,可作为相关技术人员进行水利工程的设计、建造以及管理的技术借鉴和实际参考,更可以促进我国水利工程朝着智慧化、精准化和绿色方向不断发展。

[参考文献]

- [1] 何德林.水工金属结构腐蚀性危害分析[J].中国农村水利水电,2003(10):53-75.
 - [2] 张中建.水闸防腐蚀设计与分析[J].内蒙古水利,2018(12):30-31.
 - [3] 冉龙.水闸金属结构防腐处理措施的研究[J].建材与装饰,2017(7):282-283.
 - [4] 庄万里,刘伟,严岳同.浅谈水闸金属结构防腐处理措施[J].治淮,2019(12):35-36.
- 作者简介:武艺(1988.12—),男,汉族,新疆昌吉人,本科,工程师,研究方向:水利水电工程,农田水利工程,防洪工程。