

大跨径悬索桥主缆防腐技术的研究

刘俊

江苏中矿大正表面工程技术有限公司 江苏 徐州 221008

摘要: 主缆的腐蚀是目前大跨径悬索桥工程中的一个共性问题。主缆是悬索桥结构中最重要受力构件,其结构的安全与耐久性对大跨径悬索桥的使用年限有很大影响。为此,必须对主缆进行防腐,以确保大跨径悬索桥的安全运行,延长其使用寿命。为了更加经济方便地对主缆进行保护,同时也为了更好地从长远角度考虑,必须对主缆的防腐技术进行深入的研究。为此,本文重点对大跨径悬索桥主缆的防腐技术进行研究。

关键词: 悬索桥;主缆;防腐技术

引言:在大跨径悬索桥中,主缆是一种高强度并联钢丝绳索,具有较高的拉伸强度和弹性模量。但是,由于外部环境的复杂性,使得主缆钢丝的腐蚀难以避免。因此,对大跨径悬索桥主缆进行全面的防腐研究,以提高悬索桥的安全性和使用寿命是十分必要的。从上个世纪九十年代开始,悬索桥在我国得到了迅速的发展。经过二十余年的发展,大跨径悬索桥施工技术已经达到了国际领先水平。但是,由于大跨径悬索桥的发展时间比较短,所以在主缆抗腐蚀方面的研究还比较少,抗腐蚀性能已成为目前我国大跨径悬索桥设计与使用中亟待解决的重要问题。

1 主缆内部的腐蚀环境

大跨径悬索桥往往在我国处于比较恶劣的使用环境中,由于沿海区域受氯离子污染,空气中含有较多氯化钠、氯化镁等颗粒物;城镇及工业企业排放的 SO_2 , CO , CO_2 , H_2S 等多种废气,使得主缆极易发生化学及电化学腐蚀。另外,随着温度的升高、水分的含量的增加,化学及电化学腐蚀的速度也会加快。

2 大跨径悬索桥主缆防腐技术分析

2.1 传统的主缆防腐技术

常规的主缆防护系统是在主缆的外部涂抹不干性腻子+缠丝+密封胶/涂料,从而达到密封防护的目的。其具体步骤为:在经过紧缆处理后的圆形主缆钢丝外层刮不干性腻子,然后缠丝(4mm圆形钢丝或者S型缠丝),最后涂装密封胶/涂料,从而形成主缆密封防护体系。

尽管大跨径悬索桥在完工之后,其主缆会被封闭起来,但是由于两个原因,雨水还是会进入其中。首先,主缆在进行防腐工程施工之前,要经历一个较长的

施工周期,水分、盐份和其它污染源会进入钢丝绳并残留其中。其次,主缆温度变化引起的伸缩等导致涂膜开裂,即使在主缆完成,用钢丝缠绕和油漆封闭之后,水仍可能进入主缆内部,水分使主缆内部具有较高的相对湿度,造就了主缆内部钢丝的腐蚀环境,加速了主缆钢丝的腐蚀。

2.2 注入干空气的防腐技术

由于现有的主缆防护体系在桥梁工程中的缺陷与问题,需要对主缆防护体系进行研究。为了降低主缆腐蚀,当前主流采用向主缆通入干空气,降低主缆内部相对湿度从而降低主缆腐蚀速率。

空气输送系统主要包括:过滤器、除湿机、送风机、送风阀、排气阀。用初效、中效、高效三级过滤器能够防止灰尘和盐粒堵塞转轮和主缆内部的孔隙,并能防止盐粒进入主缆内部带来的加速腐蚀。送风机采用容易调整送气量和压力的鼓风机,可方便地调整送风量及送风压力。在已有大跨径悬索桥的常规保护模式下,在装设干燥空气防护系统时,需除去送气阀和排气阀处缠绕钢丝,并设置从外部可观察主缆钢丝状况的检查窗送气系统。

与常规主缆保护方式不同,供气系统不在其表面涂不干性腻子,而在表面形成一层“包覆”结构,可防止主缆钢丝被盐分侵蚀,并具有比普通密封体系体系更好的防腐效果。大跨径悬索桥除湿作为一种新型的主缆防护方法,可从根本上切断缆索的腐蚀源,有效地保障缆索的设计使用寿命,是一项较为可靠的防护技术。

3 大跨径悬索桥主缆防腐保护方法

3.1 主缆腻子缠丝涂装防护法

在我国,主缆腻子缠丝涂装防护法是目前我国悬索桥最常用的保护技术之一,其中包覆层保护技术中最关键的一步就是包覆层保护。具体的缠丝工艺是利用镀锌

作者简介: 刘俊(1982年2月-),男,汉族,四川省资阳市安岳县人,大学本科,助理工程师,主要研究悬索桥主缆密封防护与除湿;

钢丝(分圆形缠丝和S型缠丝)在主缆两个索夹之间的腻子层上,沿着主缆的圆周方向上进行缠绕,然后进行密封胶+涂料层施工,形成一个保护层,从而达到对主缆的密封效果。但在实际工程中,因主缆伸缩变形,使得缠绕钢丝之间出现空隙,造成涂层开裂,致使主缆的防腐蚀效果无法达到预期目的。为此,需要解决缠绕钢丝之间的间隙和外层保护涂料的固化等问题,从而使得缠绕钢丝的包覆保护成为一种行之有效的保护方式^[1]。

针对当前国内普遍使用的主缆腻子缠绕涂层保护系统中存在的问题,提出了相应的解决方案。

第一,从主缆安装到主缆保护工作结束,大约需要1年的时间,在这1年的时间内,有大量的雨水进入和积累在主缆中。尽管部分积水能够通过索夹排水孔排除,但是主缆的孔隙很小,而且水受主缆钢丝的粘附作用,流速很慢,只能排除一小部分,剩余的大量积水还是会导致主缆索的锈蚀。

第二,外层涂料,嵌缝材料,不干性腻子可能发生粉化,开裂,氧化等问题。主缆钢丝表面及缠绕钢丝表面的间隙用腻子来填嵌,以达到对主缆线面进行密封的目的。而且,腻子层的固体组分中包含了锌、铝等金属层,可对钢丝起到阴极保护作用。在缆索上涂抹腻子时,腻子应能适应缆索的变形,并具有较强的抗变形性能。然而,因为主缆缠丝表面涂料的老化开裂,会将腻子暴露在空气中,再加上主缆内存在着大量的积水,在水和空气的共同作用下,会导致腻子的物理化学性质发生改变,出现粉化、开裂、氧化等现象。由于嵌缝料直接接触空气,容易发生老化开裂。这种现象在国内外悬索桥的测试中均有发生。在外层涂层的选用方面,以前多选用聚氨脂,但这种涂层在空气中也容易产生老化、开裂等问题。

第三,缠丝间有空隙。通常情况下,缠绕钢丝是一种直径约4mm的圆镀锌软钢丝。但由于受到施工工艺、生产设备等条件的制约,再加上钢丝的加工误差,很难做到百分百无间隙。另外,由于拉索受力、温度等因素的影响,密封防护层上存在着较小的夹缝,从而导致了外部湿气的渗入。

针对圆形钢丝存在的夹缝问题,提出S型缠绕钢丝方案,以取代原有的圆形钢丝方案。S型缠丝比圆形缠丝的最大优点,在于缠绕后,主缆线面相互连接,更加平滑,不容易被湿气渗透,可以降低悬索桥主缆线在酸性环境下的侵蚀,延长主缆线的寿命^[2]。

3.2 合成护套防护法

第一,缠包带+涂层方案。针对悬索桥缆索保护中存

在的问题,拟在缆索表面包覆一层预成型半硫化的氯磺化聚乙烯缠包带,并对其分段进行热熔连接,以实现缆索的整体保护。在螺旋缠绕过程结束后,对缠包带进行加热硫化,由此将两个邻近的各层间的接头封闭起来,并且缠包带被气囊压住,并紧贴在主缆上。一种多层胶带的外层,事先用适当的颜料着色,这样就不必再给胶带上涂料了,使胶结构的相邻两个部分的色彩相配。这个方法被用来在诸如布鲁克林大桥这样的主要缆索上进行缠绕后的表面保护。近年来,在悬索桥的主缆改建中,仍持续进行了改良,并在主缆进行了缠绕式的防护,以及主缆的除湿封口防护。

第二,玻璃纤维树脂涂料复合防护方法。主要内容是:采用聚乙烯衬垫,外覆尼龙薄膜,外覆玻璃钢(一层玻纤,二层玻纤,外覆数层丙烯酸树脂),外覆耐候层,内覆玻璃钢。

3.3 主缆内部干燥空气除湿法

对于具有最佳密封性的主缆,若因种种原因,例如在安装时,有水从主缆缝隙中渗透进来,而使主缆内仍然存有水,则必须降低主缆内的水份,以确保主缆不受腐蚀。主缆的除湿原理是将干气压入主缆的内腔,保证干气在主缆间不停地流通,防止湿气对主缆的侵蚀。在此基础上,可通过一段时间逐步清除索体内残余的水分,从而实现索体内部长期处于密闭、干燥状态,避免水分对索体的损伤。

主缆钢丝采用干气带走内部的水份。主缆内的空气相对湿度在50%以下,能有效地保护主缆不受锈蚀;在进气点140m的距离内主缆钢丝能得到有效的干燥;用于主缆的干燥空气的理想湿度应低于40%;以及需要改进外覆层材料的密封性;必须将盐粒及粉尘过滤。主缆除湿系统分为三大部分:除湿系统,自动控制与监控系统,气夹与气管系统^[3]。

3.4 主缆检修与修复措施

桥梁主缆的检验方法;用最少的工作和费用达到最优的数据采集标准;主缆的强度计算方法。但是,这个指导方针只适合于使用并联主缆的悬索桥,主要部分是关于内部检验和评价主缆索的强度的相关规定。具体而言,资料建议对主缆进行三步检查,即由维修人员对主缆进行目视检查,每两年进行一次检查,并对主缆进行内衬检查;主缆样本的物理化学试验要求,包括张力试验,用试验来测定主缆的化学成份及镀锌情况;对主缆的内部损伤情况进行记录、记录,并对试验结果进行统计和分析;建立了三种计算主缆强度的数学模型。

目前,对主缆损伤状况的评价主要采用了目测和有

代表性的线材试样。破坏可以用非破坏性探伤法探测到,在直径达4in(0.1016m)的索股中通过无损检测技术能够检查出破损。虽然从理论上讲,较大直径的线缆还能被探测到,但其在实践中的可行性还没有被证明。桥梁缆索结构的无损检测涉及到对电磁场要求非常高的漏磁、磁致伸缩、涡流等电磁效应。为区别损坏与完整的线缆,还需要在线缆上贴上标签,以便判断出线缆是否损坏,而非主要线缆。因此,采用非破坏或远距离联接技术难以获得其关键信息。

而声学断开监控技术则是利用声音信号对断开线路进行判断的一种方法。在主缆的外部装有加速传感器,人工采集数据,并对断开导线的位置进行分析。该方法对评价主缆的劣化速率是很有效的,但是在安装之前不能监控断线。通过对主缆中断线的声音进行实时监控,并对近期断线情况进行汇总,从而判断下次检修的时机,特别是检修的位置。在老式主缆的检测中具有很大的优越性,检测时机与地点的选择很关键。所以,利用音频监控技术,可以很好地对钢丝绳的异常状况进行监控,但是不能对钢丝绳进行预先监控,也不能对钢丝绳的性能退化进行监控。

4 悬索桥主缆防腐保护建议

目前,以树脂为基体的纤维增强型热固性或热塑性复合材料已被广泛地应用于土木工程领域。该材料具有轻质、高强、耐腐蚀、耐疲劳、耐腐蚀的特点,是悬索桥主缆索防腐的重要发展方向。提出在安装主缆除湿装置的同时,应着重对主缆腻子层的防护装置进行改造^[4]。举例来说,代替常规的包覆体系用于缠丝的外部,用一个特定的宽度(大约30 cm)的预成型的纤维强化复合材料辊子覆盖在主缆的表面上,从而构成一个完全的主缆外壳结构。在复合卷材中预先制备了一种连续的长纤维,能

够很好地起到抗撕裂的效果。采用这种方法,可以明显地减少主缆的保护时间,并改善其抗腐蚀性能。同时,在高强度、高模数的FRP防护体系中,也可替代盘绕式FRP,起到拉丝和抗腐蚀的作用。

在此基础上,提出在悬索桥主缆上开展声发射健康监控,并将其作为一项具有自主创新能力的技术,尤其是对断丝状态下的诊断都有较大的帮助。在此基础上,通过对断缆信号演化过程及承载力变化规律的分析,构建断缆安全性能评价方法,为实际工程应用奠定基础。

结语

在悬索桥结构中,主缆索是一种无法更换的受力元件。目前,主缆的长度、钢丝间存在着缝隙等缺陷,使得主缆的防腐蚀性能不能满足要求,极易造成主缆钢丝的严重腐蚀。所以,在世界范围内,悬索桥的防腐蚀已成为一项全球性的难题,而加强悬索桥的防腐蚀技术就显得尤为重要。所以,需要对主缆的保护进行科学的研究,并在此基础上,不断探索出一种适用于我国国情的干燥保护技术,从而真正地解决掉主缆的除湿这一最关键的技术难题。

参考文献

- [1]陈兴文.大跨径悬索桥主缆防腐蚀技术探讨[J].建筑工程技术与设计,2019(30):1715.
- [2]严生贵,倪雅,康壮苏,等.特大跨径悬索桥防护用硅烷改性聚醚密封剂及其应用技术研究[Z].江苏中矿大正表面工程技术有限公司,2018.
- [3]叶觉明,欧阳恺.悬索桥主缆除湿防腐蚀技术应用和探讨[J].腐蚀与防护,2004,25(12):529-531,534.
- [4]彭关中,缪小平,贾代勇,等.悬索桥主缆通风除湿系统的设计[J].深圳大学学报(理工版),2013,30(2):179-185.