

悬索桥主缆除湿防腐蚀技术应用和探讨

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:主缆是悬索桥最主要的承重构件之一,不可更换,因此,被称为悬索桥的“生命线”,其工作性能决定了全桥运营的安全性和耐久性。随着人们对结构耐久性问题的认识不断加深,悬索桥主缆的防腐性能设计也愈加被重视。采用除湿防腐蚀技术,对主缆通入干燥空气带出施工期水分,并将湿度控制在 $\leq 45\%$ 范围内,可减缓主缆的腐蚀。本文基于当前主缆密封防护和除湿保护方式,对其进行了分析探讨。

关键词:悬索桥;主缆;除湿防腐蚀

引言:悬索桥主缆钢丝的锈蚀与多种因素有关,在悬索桥中,主缆的腐蚀程度直接影响了桥梁的承载力和使用寿命。悬索桥由主塔、锚碇、鞍座、主缆、吊索、桥面支架和附属设备等构成。主缆索被誉为悬索桥“生命线”,是悬索桥最重要的承载力结构。悬索桥的主缆在河流、海洋等自然条件下,由于“锈蚀”、“应力腐蚀”等原因,极易发生破坏。为确保并提高悬索桥的使用寿命,对其主缆索进行防腐处理一直是备受重视的课题。主缆钢丝腐蚀主要是电化学腐蚀,由于毛细凝聚,化学凝聚,吸附凝聚作用金属表面液可形成 $0.001-0.01$ 微米水膜。当 $RH > 60\%$ 时,腐蚀速率呈指数上升;当 $RH \leq 60\%$ 时,钢结构的腐蚀速率有明显下降,腐蚀率非常低。

1 悬索桥主缆防护的传统方法

悬索桥是以新技术、新工艺、新材料和新结构为基础的新型桥梁。自悬索桥使用至今,主缆的除湿防腐蚀技术始终是一项重大的技术难题。随着主缆材质与防腐蚀技术的不断进步与发展,高强度镀锌丝在悬索桥中得到了广泛应用,

近年来主缆除湿技术逐步被国内认可,随着主缆除湿技术的发展对主缆密封防护逐渐提高。总结国内密封防护主要有如下四种方案

方案1: S型缠丝+柔性涂料方案,主缆紧缆后采用S型钢丝缠绕,然后采用柔性底、中、面漆,涂料总共 $200-300\mu\text{m}$ 。本方案从日本直接技术引进的主缆密封防护技术,配合除湿系统适用。国内应用的有润扬长江大桥、泰州大桥和南京长江四桥。

本方案特点: S型缠丝相对圆形缠丝密封性要好,但

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

是密封性还不足以满足除湿系统要求,其次是缠丝外表面的涂层太薄,在主缆振动过程中容易出现破损。

方案2: 不干性防腐腻子+缠丝+硫化型橡胶密封剂+高耐候,紧缆后刮涂一层腻子,再主缆缠丝,再刮一层 $2000-3000\mu\text{m}$ 的硫化性橡胶密封剂,然后涂装耐候面漆。本方案在引入除湿系统前较长使用,防护有较好的密封性。

本方案的特点: 由于该体系密封性好,主缆施工期进入的水汽很难再挥发出来,因此对主缆内部造成了一定的腐蚀;另外不干性腻子在一定时间通常是10年左右会变干且产生裂纹,不能很好地密封。

方案3: 缠丝+硫化型橡胶密封剂+高耐候面漆,此方案是方案2的改进方案,主要为了配合除湿系统,去掉了缠丝前的不干性腻子。目前是应用较多的设计方案之一。

方案4: 缠丝+缠包带,主缆紧缆后进行缠丝,然后进行主缆缠包带,本方案的特点: 在施工便捷方面: 新建桥梁施工便捷性优,旧桥维修施工便捷性较差;存在缠包带色牢度和喷霜等方面问题需要解决;虽然近年来发展出来了通长缠包带技术降减少了搭接缝隙,但是缠包带搭接处任然存在密封薄弱环节,施工过程的硫化监管比较难等,因此整体密封性能不如方案2和方案3。

由于上述色牢度性问题,在西墩门和伶仃洋大桥开始在缠包带外面做一层涂料,以改变缠包带色牢度问题。

2 主缆除湿防腐蚀技术的特点

主缆除湿防腐蚀技术与传统密封防护最大的不同在于,不需要在缠丝前刮腻子层。利用安装在塔上和桥面横梁中的干空气制备站,将在适当的温压情况下,经处理后的干空气,经由送风管及气夹,送入主缆中,将主缆中的湿气带走,从而实现主缆中的干燥。除湿防腐蚀技术主要作用是保证主缆的封闭状态,防止或减轻主缆在湿气、氯气等因素作用下的腐蚀。不仅可以排除在

施工期间积聚在索体内的水分,而且可以使主缆保持较干,同时还可以消除可能发生腐蚀的环境与条件,从而实现索体的防腐蚀。

在具体的应用中,主要是按照环境、结构条件、干燥空气的需要情况来对系统进行配置,每个部件的主要功能如下。第一,过滤装置,可以去除进风中的盐、尘等杂质,降低侵蚀性,降低对主缆和转轮的堵塞作用。第二,转轮除湿机,主要作用就是制造干空气。在选用设备时,应充分考虑除湿原理、干燥风量、除湿能力等因素。第三,送风及二次降温,使干气在适当的温度及压力下进入主缆。根据输送的干气流量,压力损失和送风情况,来选用所需的设备。第四,送风和排风气夹,其功能是将干空气送入主缆内部,并将湿气带出。气夹安装间隔可因应位置的不同而在100-200米间调节。第五,控制与监测装置,本系统设有观察窗、控制阀、安全阀、温湿度传感器、流量传感器和压力传感器,用来监测主缆送排气状态和除湿设备的运行状态,实现对该装置的控制^[1]。

3 主缆除湿系统方案设计

3.1 主缆除湿系统布置方案

通常主缆除湿的除湿设备布置点有:上横梁内部空间、钢箱梁。钢桁梁通常将除湿设备布置在上横梁内部。根据桥梁上横梁内部空间的大小,合理布置再生口位置,控制制备站内各个设备的布置。布置合理可以防止高温设备的热量传递到电气设备,降低电气设备的故障率和降低管道铺设长度等。

主缆除湿系统工作流程为:粗过滤空气→精过滤处理→除湿机除湿→三效过滤处理→高压风机送风→换热冷却→送风管输气→送气夹送气→主缆内干燥→排气夹排气。

3.2 主缆除湿系统监控方案

除湿监控系统分为:数据采集、现场控制、监控中心管理三层。第一层次是数据采集层,由各个传感器拾取系统各部位有特征代表意义的信号,比如温湿度、压力、流量、电流、电压、设备运行状态等等,并同时数据输出到现场主控设备或者从站IO模块;第二层次是现场控制层,传感器、变频器、人机交换接口(HMI)、PLC获取采集的各种传感器信号,并将采集到的信号,通过网络输送到控制层,现场控制层的任务是接收管理层设置的参数或命令,对主缆除湿系统工作过程进行控制,并执行各种逻辑关系,对机组及设备进行有效的控制。同时,将现场状态输送到管理层;第三层次是监控中心管理层,集中监控各个分站设备的运行状

态,对数据进行分析、处理、显示及存储。操作人员通过对HMI的监控,可以实时观察到系统运行状况,根据权限修改工艺参数,及时处理报警事件,必要时可以人工干预设备运行。

第一,主控设备。主控设备通常采用PLC充当,通过扩展模块采集其控制范围内所有传感器数据,进行运算和控制干空气制备站的设备,并经由可靠的光纤网络,上载至监控中心电脑和服务器。

第二,远程IO模块,通过通讯网络与主控设备连接,负责采集主缆进排气夹的温湿度、压力和流量等数据,他不具备控制功能,是主控设备扩展模块的延伸。

4 主缆除湿防腐系统施工应用

4.1 施工工艺流程

除湿防腐系统主要由设备安装、风管安装、电表安装三部分组成。从施工工艺上讲,施工顺序为:设备安装、送气管道安装、电器、仪表等同时施工。管道、阀门等零件在工厂里被处理成安装装置。全部安装完毕,先做单台测试,再做杆件测试。如果系统运行良好,就可以进行组装^[2]。

4.2 设备安装

第一,除湿机组安装。除湿器和风机等为整体式安装,因此,底座的品质对整个装置的安装效果有很大的影响。因为除湿器、鼓风机及部分辅助设备已全部运抵工地,所以,安装水准主要通过风机和除湿器的壳体来检验。所以,这一工序的关键是要对机器打开后的外观进行检查,以保证机器没有变形、凹凸不平、生锈等问题。同时,按照装箱单要求,在装箱单上注明设备的型号,规格,技术参数等。基本平面图是根据室内构造的轴心或边界确定的,它是设备平面图的一条参考线。安装技术对设备安装位置的精度有很大的影响,因此,在安装过程中,应按照设计图纸及施工现场的实际情况,进行安装位置的修正。在设备地基完成并验收后,应按照设计进行钢框架地基的施工。因为已有的风管是钢制的,所以不需要在风管上安装钢制的地基。在安装好设备底座后,把它放回原位。用8-10毫米厚的胶片环绕干燥机基座及电扇外壳,以防止震动。除湿机安装完毕后,胶片必须与除湿机底部的边沿对齐,无凸无凹,并对除湿机进行调整。对齐后,将基础螺栓拧紧。

第二,管道安装。主缆送风管道由具有良好抗紫外能力的软质高分子材料制成。该装置分三个步骤:展开盘管,吊装就位,固定。在桥面上将管道两端的法兰安装好,然后布设主缆送气管路。因为每个管线的长度都很长,所以为了保证管线外表面不被刮花,我们采取了

柔性铺设。将与塔顶部相连的可弯曲聚合物管道吊起至设计要求的位置,并将可弯曲聚合物管道吊起至主缆上可弯曲聚合物管道的位置^[3]。暂时性缓冲器是用一种被丢弃的可弯曲的聚合体管子,沿着线路,每一条主缆的末端都有一条。松开的可弯曲聚合物的一头,从主缆线与桥梁面板的相交处抽出,可弯曲聚合物放在栏杆中间。安排2-3人在管子头部的扣合处绕一圈尼龙吊索,并将吊索适时地绑到栏杆上,以防止管子滑动。另外,在需要停止牵引的情况下,也能立刻停止运转。用一根吊索把软质聚合物管的一端固定在适当的地方。从另一头(底部)起,把软质的聚合物管子绕到扶手的内部。每一次翻滚大约有20公尺长。这样可以保证软质的聚合物管不会倾倒。对折的高分子软管马上被夹住。同时,所述的挠性聚合物管与所述的扶手绳在所述的缠绕部位用扎带缠绕。在两根铁丝之间有一根线圈。

4.3 主缆干燥除湿防护方式的应用

通过初效、中效、高效三级过滤器,有效地降低了氯离子和其它腐蚀物质的含量,降低空气的腐蚀性。在主缆干燥除湿保护系统的应用中,主要需要考虑的因素包括:主缆间隙体积(与主缆间隙率有关)、主缆的内外部环境条件(温度、湿度等)、主缆保护层的适宜温度和压力。此外,还需要对除湿机和辅助设备进行选择,对除湿能力、干燥空气分配的温度和压力以及分配距离、管道配置、供排风主缆终端的结构和密封、系统监控等。

相对于传统的主缆保护方式,密封防护+除湿。从腐蚀机理上讲,由于水汽、盐份对主缆的腐蚀,其防护效果优于普通的密封性。从投资上看,虽然提高系统的设备投资、安装费用、但是节约不干性腻子,同时还可降低后期的维修费用和延长主缆使用寿命。目前,这一技术已在国内广泛应用于钢箱梁、主鞍座、锚杆等结构内,并取得了一定的成果。只要投入适当的资金,进行科学的研究,就能使该技术推广开来。

在新的大跨径悬索桥上,可以采用主缆除湿的防护体系。在此背景下,通过对已有桥型设计施工中采用的技术与装备,可以对其进行改造与完善。独立的主缆除湿系统,主鞍室除湿系统,以及锚室除湿系统,构成了一种可靠的防腐蚀保护^[4]。对于小跨度、低投资的悬索

桥,可考虑将主缆的干燥除湿、鞍座的干燥除湿与锚固有机地组合在一起,以达到全过程的防腐蚀效果。

对于既有大跨径悬索桥,在原有主缆索防护体系发生破坏的情况下,可以采取整体或部分(特别是高湿度路段)的防潮措施。在结构上,主缆的抗腐蚀能力较弱。在这些结构中,锚固件和马鞍件是比较受重视的,一般都会采用一些特别的防护措施。但中跨为主缆索中部最低处,且有大量积水,应作为重点保护区域。

在采用除湿保护时,主缆密封防护层的气密性及风管的通畅是主要考虑的问题。现在,大部分的索夹都有一个从主缆中排出的排水管道,这个排水管道已经没有必要了。在不影响主缆维修通道功能的情况下,空气输送、排气系统及管路的安装,要充分考虑其本身的防腐性能及安装维修的便利性。在布置上,应尽可能地缩短管路,减少供气点,并注重在关键部位提供足够的干空气。需要重视主缆防腐的全面,不可忽视主缆散索鞍和主索鞍附近的除湿防护问题。为了节约操作费用,在日常工作中(在主缆架设过程中将水中的水排干后),除湿系统应该对主缆湿度昼夜变化进行周期性的启停调节。

结语

目前,主缆除湿防护技术从引进到现在经过近二十年的发展,但是仍然存在一些问题。比如除湿系统设计标准的缺失;除湿系统的稳定性、能效性、有效性的评估不足;除湿系统的智能管养和智能诊断有待提高;缺少对除湿系统的历史数据分析和反馈。但是主缆除湿仍然是一种行之有效的主缆防护手段。

参考文献

- [1]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.
- [2]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.
- [3]赖嘉华,朱军,潘晓惠,等.悬索桥主缆除湿防腐一体化技术[C].//中国公路学会桥梁和结构工程分会2017年全国桥梁学术会议论文集.2017:964-968.
- [4]缪小平,彭关中,贾代勇,等.悬索桥主缆除湿系统研究[C].//全国暖通空调制冷2010年学术年会论文集.2010:1875-1884.