

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.10.037

跨海斜拉桥涂层预养护时机选择与技术措施研究

李 寒

(宁波交通工程建设集团有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘 要:通过资料调研整理与实桥检测结果,研究掌握了跨海斜拉桥钢箱梁及混凝土结构涂层病害特点,并分析了该类桥梁结构涂层病害发展过程和退化规律。运用理论分析和统计方法对涂层劣化进行预测,并在此基础上确定该类桥梁结构涂层预防性养护的最佳时机。根据跨海钢箱梁斜拉桥的结构和环境特点,提出了结构涂层预防性养护的工作内容和维护处治的具体技术措施。通过象山港大桥的应用和验证,进一步优化了跨海斜拉桥结构涂层预防性养护的策略和技术细节。

关键词:跨海斜拉桥;结构涂层;退化;预防性养护;技术措施

中图分类号: U448.27

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)10-0130-04

0 引言

目前我国已建成了包括杭州湾大桥、象山港大桥、东海大桥、金塘大桥、桃夭门大桥、青岛海湾大桥、嘉绍大桥、厦漳跨海大桥、泉州湾跨海大桥等在内的多座跨海斜拉桥,更多的跨海索支撑桥梁正在规划或建设之中。这些跨海斜拉桥钢箱梁、塔墩等构件长期暴露在腐蚀性极强的海洋环境中,且受台风、热带风暴、船撞等影响,其结构涂层的退化尤为明显,这对桥梁的耐久性乃至安全性都是很大的挑战。据统计,钢桥的防腐蚀涂装及维修费用占钢桥建设费用的20%以上^[1];而国内外相当部分的跨海钢箱梁斜拉桥在运营不到10 a便进行了结构涂层重新涂装^[2-3]。因此,对于跨海大桥的管理与养护者而言,目前乃至今后很长的时间里最关心的问题是如何用最科学、最经济的方式进行大桥结构涂层养护,使大桥结构涂层长期处于合理的安全与耐久水平之上。本文以象山港大桥、清水浦大桥为研究对象,通过资料调研掌握跨海钢箱梁斜拉桥结构涂层劣化的病害特点并分析其发展过程和退化规律,运用统计分析方法确定跨海斜拉桥结构涂层预防性养护的最佳实施时机,并根据跨海钢箱梁斜拉桥的结构和环境特点,提出结构涂层预防性养护阶段的养护工作内容和维护处治的具体技术措施,为其它同类大型跨海斜拉桥的结构涂层养护提供技术参考。

1 结构涂层病害特点

1.1 钢箱梁涂层

跨海斜拉桥所处地理环境的特点必定带来结构涂层某些形式上或程度上比较鲜明的病害特征。1990年代以来我国所建造的跨海斜拉桥以钢主梁作为桥跨结构的居多。根据对国内已建成的包括象山港大桥、东海大桥、杭州湾大桥、胶州湾跨海大桥、舟山连岛金塘大桥、海口世纪大桥等十余座跨海斜拉桥结构涂层的调研数据分析,钢箱梁表面涂层劣化主要表现为粉化、起泡、裂纹、脱落、锈蚀等^[1]。(1)粉化。涂层由于长期暴露在大气中,表面易发生老化,涂层中的色相原料在紫外线作用下易发生变质,原料的分子结构产生分解变成粉状。海洋环境中的紫外线照射比内陆环境强烈,将大大加速涂层因老化而导致的粉化现象。(2)起泡。由于涂层之间或涂层与钢构件之间渗入的气体或液体引起的压力所致,涂层间粘附力不足时,将产生气泡。此外,若涂层内部的钢构件已锈蚀,涂层将失去粘附力并且局部锈胀将引起涂层的鼓泡,出现点泡或豆泡。(3)裂纹。涂层裂纹是由于涂层内部的应变导致的,其中龟裂是涂层表面出现的轻微的裂纹,一般较难发现;当裂纹达到涂层底漆层或钢材表面,通过目检能见到下层或底层的网状或条状裂纹。(4)脱落。涂层的表面和底层之间、新旧涂层之间丧失了附着力,涂层表面形成小片或鳞片状脱落。涂层脱落现象通常发生在结构下侧或附着盐分的部位,对于象山港大桥钢箱梁,则需要对其外表面所有部位的涂层进行防护。(5)锈蚀。锈蚀是涂层劣化中最严重的一种破坏类型,分

收稿日期: 2020-06-05

作者简介: 李寒(1962—),男,高级工程师,从事工程建设、企业管理工作。

为非鼓泡产生的锈蚀、鼓泡裂缝导致的锈蚀以及涂装裂缝或破坏导致的锈蚀。一般表现为针孔锈斑、点状锈、泡状锈或片状锈等。

随着时间的推移,涂层老化导致粉化等现象不可避免;而涂层的起泡、脱落、锈蚀等现象会在海洋环境的特殊条件下加剧,导致全桥钢箱梁涂层使用寿命缩短严重。钢箱梁涂层劣化的典型病害特征见图1。

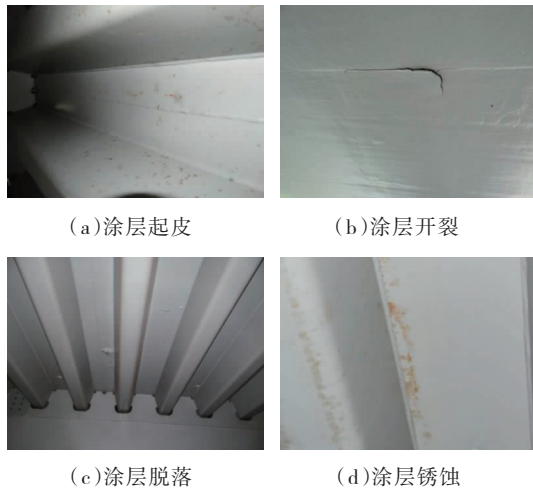


图1 涂层劣化的病害特征

1.2 混凝土涂层

索塔、墩身及承台外表面涂层劣化表现主要有起皮、脱落、开裂、锈蚀等(见图2)。涂层劣化会导致索塔、墩身及承台外表面混凝土氯离子侵蚀更明显,钢筋锈蚀加剧,影响结构耐久性。海洋性环境下,位于浪溅区的索塔、墩柱和承台涂层劣化更明显。



图2 索塔、墩身及承台外表面涂层劣化的病害特征

2 结构涂层退化分析与预防性养护时机

2.1 钢箱梁涂层

防腐蚀涂层的失效是指由于长期暴露于腐蚀环境下,引起各种物理和化学性能的衰变,使其失去原有性能,部分或全部失去对基体金属材料的

保护作用。涂层的失效是一个从量变到质变的过程,同时也是一个包含诸多因素相当复杂的过程。涂层失效的过程大致为:有机涂层在形态上的多孔性使得与之接触的潮气、气体和其他物质可以经孔隙而被涂层吸收。一方面,由于涂层/金属基体界面处形成非连续或连续的水相,导致涂层湿附着力的持续降低,对于弱湿附着力体系,当水在界面处累积产生的侧向压力大于湿附着力时,水相会向侧向发展而引起涂层脱落,导致涂层失效;对于强湿附着力体系或由于形成腐蚀产物,侧向压力小于水相侧向发展的阻力,使得水只能在原始位置积累,发生局部起泡。另一方面,实际应用的涂层往往都具有微观缺陷,这些微观缺陷可能存在于涂层表面、涂层内部或者从涂层表面直通到金属基体。由于微观缺陷的存在,在涂层中形成了长径比很大的腐蚀通道涂层,加快了水、氧和腐蚀性离子扩散到涂层/金属基体界面的进程,这些腐蚀介质到达涂层/金属基体界面,形成微观腐蚀原电池,进而使得基体发生腐蚀,最终导致涂层失去保护作用而失效。

跨海大桥工程所使用的海洋环境涂料,其附着力、抗磨损性、耐化学性、耐候性(自然老化)、耐湿热性、耐水性等性能均超过普通涂料,但海洋环境下存在强腐蚀性物质仍对钢构件表面涂装寿命具有较大影响。近海环境下,由海风带来的细小海盐颗粒以及紫外线照射是涂层失效的主要环境因素,其他影响因素有距离海面的高度、风速、降露周期、雨量、温度、太阳辐射、尘埃、季节和污染等。从世界范围钢桥(或钢箱梁)防腐涂装的应用经验来看,富锌底漆+环氧中间漆+脂肪族聚氨酯面漆的涂装体系在重防腐涂装体系中应用最广泛。无机富锌底漆含有高浓度金属锌材料,在钢构件表面起到阴极保护和屏蔽作用,即使涂层处于面漆和中间漆失效的情况,富锌涂层仍会以均匀速率被海洋环境重腐蚀物质消耗,从而依靠牺牲锌颗粒延缓钢构件的腐蚀进程,起到“最后一道防线”的作用;中间漆和面漆对钢构件表面和底漆起到封闭作用,防止面漆涂层直接暴露于腐蚀介质环境中,并且其本身也具有有良好的耐腐蚀性。在未采取任何养护措施的情况下,涂装体系的失效首先从面漆与中间漆出现老化、剥落、溶胀等现象开始,随后底漆发生均匀化学或电化学腐蚀。为保证钢构件长期处于良好状态,桥梁在运营过程中,无机富锌底漆应尽可能处于完好状态。桥梁的涂装翻新的合理时机应选择在底漆外露之前,翻新工作主要针对发生局部或整体失效的面

漆和中间漆。

目前,针对海洋性环境下钢结构涂层失效的理论预测模型较缺乏,本文将统计已建成有一定年限的桥梁、船舶、港机设备等钢结构涂装及维护工作的年限(以海洋环境或濒海区域为主),并以此为基础对钢箱梁首次翻新或重大维护工作开始时间及实施期进行初步预测。桥梁、船舶、港机设备等钢结构首次翻新或重大维护年限统计情况及钢箱梁涂层首次翻新或重大维护实施预测见图3。调研结果表明:海洋环境或濒海区域,桥梁、船舶、港机设备等钢结构涂层首次翻新或重大维护工作的平均统计年限大致在10a附近。因此,钢箱梁涂层劣化的合理预养护时机选为10a为宜,以后每隔3~5a就需要进行局部维修。另一方面,若发现全桥约40%的钢箱梁构件涂层存在劣化且劣化面积大于构件面积10%,应实施初次预防性养护^[4]。

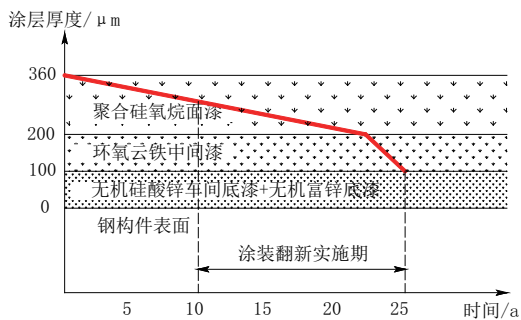
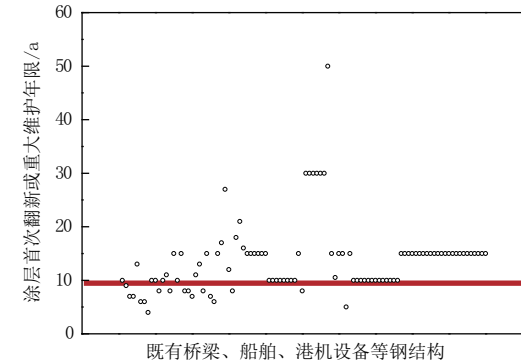


图3 钢结构首次翻新或重大维护的年限统计及钢箱梁涂层首次翻新或重大维护实施预测示意图

2.2 混凝土涂层

同钢箱梁涂层类似,也可依据此类环境下混凝土结构涂层首次翻新或重大维护时间的统计结果,确立索塔及桥墩混凝土涂层的预防性养护时机。海洋性环境下(或濒海区域)桥梁、港口及码头等混凝土结构涂层首次翻新或重大维护年限的统计情况见图4。调研结果表明:海洋环境或濒海区域,混凝土结构涂层首次翻新或重大维护的平均统计年限大致在8a附近,主要位于潮差区和浪溅区。因此,塔墩及承台潮差区和浪溅区混凝土涂

装首次翻新或重大维护的年限可确定为8a左右。另一方面,若发现约40%的构件表面涂层存在劣化且劣化面积大于构件面积10%,可考虑展开初次预防性养护。在海洋性环境下,由于塔墩及承台外涂层劣化非常明显,尤其承台浪溅区或潮差区部位较表干区(钢箱梁外)显著得多,且涂层劣化会进一步加速混凝土碳化、氯离子侵蚀以及钢筋锈蚀等,严重影响塔墩及承台结构的耐久性,因此塔墩及承台各主要部位(承台浪溅区、潮差区、表干区)的预养护时机应适当提前,即若发现塔表干区约30%、承台浪溅区或潮差区约20%的构件表面涂层存在劣化且劣化面积大于构件面积10%,可考虑展开初次预防性养护^[4]。

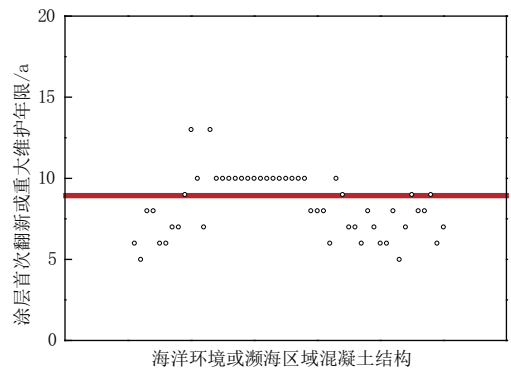


图4 桥梁、港口及码头等混凝土结构涂层首次翻新或重大维护的年限统计

3 结构涂层预防性养护内容与技术措施

3.1 钢箱梁涂层

钢箱梁涂层预防性养护的工作内容与技术措施如下:(1)每2~4a对钢箱梁进行一次清洗,清除钢箱梁内外表面的残留物(如灰尘、污染物、杂物等)。(2)钢箱梁在建成10a时实施初次涂层预养护,主要为整体涂装或重新涂装。(3)对钢结构维护性涂装多采用手工清理,重新涂装多采用喷砂清理,严禁使用腐蚀性物质清理油腻、旧漆皮、铁锈和氧化皮,清理前须采用高压淡水清洁后,再喷砂除锈。使用手动工具或动力工具清理,清理后钢表面应全部清除油污、灰尘以及疏松的氧化皮、铁锈、旧涂层,钢表面应呈现金属光泽。(4)当旧涂层发生2级或3级锈蚀,或3级以下开裂、剥落、起泡且损坏未贯穿整个涂层,累计面积小于构件面积的50%时,应进行维护涂装或局部维修。(5)当劣化类型仅为3级粉化且粉化减薄的厚度大于初始厚度的50%时,应清除涂层表层污渍,用细砂纸除去粉化物层,粉化物层已达中间漆时,应除去中间漆层,覆盖二道中间漆,再涂覆两道面漆,未粉化至中间漆时则仅涂两道面漆。并保持面漆颜

色一致。(6)当旧涂层未锈蚀,劣化类型为2~3级仅起泡、裂纹或脱落时,用手动工具或动力工具清理损坏区域周围疏松涂层,并延伸至未损坏涂层50~80 mm成坡形过渡,表面处理至Sa2级或St3级,局部涂刷相应各层底层、中间层及面层漆。要保持涂层表面一致,可在局部涂刷完成后,再全部覆盖相同颜色面漆。(7)当旧涂层已锈蚀,劣化等级为2~3级生锈时,应清除松散层,直至各层良好结合的涂层为止,旧涂层表面清理应达到St3级,即被清理的表面油漆涂层部分应粘附牢固、完好无损,其它部分应无油脂、污物、氧化皮、铁锈和异物,金属基底具有金属光泽,未损坏的涂层区域边缘仍制成50~80 mm坡口过渡,然后局部涂装相应底漆、中间漆和面漆。如若保持一致,可在局部面漆完成后,再全部覆盖一层面漆。(8)当电弧喷铝层发生锈蚀,劣化等级为2~3级物锈时,应除去疏松的喷铝层以及涂料层直至良好结合的喷铝层区域为止,钢表面锈蚀清理达到St3或Sa2.5级。未损坏的涂料,铝涂层边缘处理同上。一般情况下铝层不会破坏,当铝层破坏面积大时仍采用喷涂时,铝丝纯度应符合GB/T 3190—1996不低于99.5%,并采用环氧类封孔,封孔剂涂覆至不被吸收为止,再涂相应各层涂料;底层喷锌或喷铝层部位也可以环氧富锌防锈底漆二道代替。(9)当旧涂层发生3级以上锈蚀,或3级以上开裂、剥落、起泡且损坏贯穿整个涂层,累计面积大于构件面积的50%时,应进行彻底的表面处理涂装相应配套涂层,即重新涂装或整体维修。重新喷涂工艺首先是电弧喷铝,其主要工艺过程为:表面净化→喷砂除锈→电弧喷涂→封闭底漆→中间漆及面漆几个步骤。重新涂装的最佳时机以10 a为宜,同时,结合实际检测(或监测)工作长期积累的涂装状况记录,包括涂层厚度、表面光泽度、粉化程度、FT-IR分析情况、粘度、表面盐含量等结果,及时更新涂装翻新合理时机,对涂装翻新工作进行指导。

索塔及桥墩混凝土劣化预防性养护的工作内容与技术措施如下:每2~4 a对索塔及桥墩表面进行一次清洗,清除残留物(如灰尘、污染物、杂物等);索塔及桥墩混凝土在建成8 a时实施初次涂层预养护,主要为整体涂装或重新涂装;涂装前,先用水泥浆或环氧砂浆修补混凝土表面缺陷,清

除表面污物及杂质,用汽油或丙酮去油污,用压缩空气吹净表面浮尘,并用高压机械喷涂;涂装应在无雨的天气进行。施工时用测定涂层湿膜厚来控制干膜厚度。应随时注意涂层湿膜的表面状况,当发现漏涂、流挂等情况时,应及时进行处理;当混凝土作过维修或修补后而采用涂层保护时,混凝土的龄期不应少于28 d。涂装后应进行涂层外观目视检查。涂层表面应均匀、无气泡、裂缝等缺陷;浪溅区、潮差区涂装修复:涂装修复范围宜从水下1 m开始,可采用设置“干燥箱”的方式实施:先在需修复的涂层区域设置“干燥箱”(一般长3 m、宽1 m,示意图图5);将干燥箱内水泵干;表面处理并保持干燥;局部重新涂装;重新在“干燥箱”内注满水;去除“干燥箱”。



图5 浪溅区、潮差区涂装修复设置“干燥箱”示意图

4 结论

(1)通过资料调研整理,梳理给出了跨海斜拉桥钢箱梁及混凝土结构涂层病害特点。

(2)依据跨海钢箱梁斜拉桥结构涂层预防性养护病害发展过程,给出了跨海钢箱梁斜拉桥结构涂层预防性养护的最佳时机。

(3)根据跨海钢箱梁斜拉桥的结构和环境特点,结合我国现行相关规范和桥梁全寿命养护的理念,提出了结构涂层预防性养护的工作内容和维护处治的具体技术措施。

参考文献:

- [1] 任必年.公路钢桥腐蚀与防护[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [2] 陈雄飞,樊叶华.大跨径桥梁钢箱梁结构的二次防腐涂装新技术[C].中国高速公路管理学术论文集(2010卷),2010.
- [3] 朱文白,周建林,王敬民.江阴长江大桥钢箱梁防腐涂装[C].江阴长江公路大桥工程建设论文集,2000.
- [4] 宁波交通工程建设集团有限公司,同济大学.跨海斜拉桥结构预防性养护关键技术研究[R].2017.