

挡潮闸钢闸门热喷涂铝涂层早期失效原因分析

朱锡昶¹ 朱国贤² 葛 燕¹ 李 岩¹

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024; 2. 盐城市水利工程管理处, 江苏 盐城 224000)

摘要 针对挡潮闸钢闸门热喷涂铝涂层易出现早期鼓泡和结构生锈问题, 从热喷涂材料的特点、热喷涂工艺特点、采用异种金属产生电偶腐蚀以及施工环境条件等方面探讨和分析涂层早期失效的原因, 提出采用电弧喷涂、合理选择封孔及表面涂料, 以及采用牺牲阳极保护措施等解决问题的方法。

关键词 挡潮闸 钢闸门 热喷涂 涂层 早期失效

中图分类号: TV663⁺.4 文献标识码: B 文章编号: 1006-764X(2009)S1-0119-03

近年来发现多个沿海挡潮闸钢闸门采用热喷涂金属涂层后出现早期失效^[1-3], 闸门下水使用后不到半年相继出现铝涂层表面油漆鼓泡并出现锈迹的情况。闸门原防腐蚀设计使用寿命一般为 20 年以上, 大多采用喷砂除锈至 Sa1/2 或 Sa3 级, 火焰喷涂 150 μm 厚的铝涂层, 采用 2 道 100 ~ 150 μm 环氧类涂料或铝粉氯化橡胶漆封闭。涂层早期失效主要表现为其表面的涂料涂层鼓泡。气泡主要发生在闸门沿海侧水下部位, 直径大多在 2 ~ 3 cm 范围, 晾干后气泡内有白色铝腐蚀产物, 水上部位较少发生, 内河侧的气泡相对少而小, 情况也不严重。淮河入海水道钢闸门鼓泡状况见图 1。

层的方法, 它一方面起到物理屏蔽作用, 将基体金属与环境隔离开来; 另一方面以热喷涂金属材料的消耗对基体金属起到电化学保护作用。因为金属涂层与基体之间具有较好的附着力, 而且有一定的韧性, 在结构受力变形, 热胀冷缩及振动等情况下不易发生翘皮、脱壳等现象, 与涂料保护相比防腐蚀效果大幅度提高, 保护年限也较长, 是挡潮闸钢闸门等金属结构常采用的方法。

在海洋环境中采用热喷涂金属保护, 一般可选择热喷涂锌或热喷涂铝。在海洋大气环境中铝极易形成稳定的 Al_2O_3 膜, 具有高度的致密性和耐蚀性, 热喷涂铝涂层较难形成稳定的 ZnCO_3 , 因此在海洋大气环境中铝比锌更耐腐蚀。在海水环境中, 锌、铝都能提供牺牲阳极保护作用, 同样质量的铝能比锌多提供出约 3.63 倍的电量, 铝的密度为 2.70 g/cm^3 , 锌的密度为 7.14 g/cm^3 , 不考虑涂层孔隙率的情况下, 同样厚度的涂层, 锌的用量要比铝多。一般认为在海洋环境中选择热喷涂铝是合适的。然而铝的自身以及热喷涂工艺的特点易造成表面涂料涂层鼓泡。

1.1 热喷涂材料的特点

铝表面生成 Al_2O_3 膜, 在空气中稳定而难以破坏, 海水中氯离子的含量约占总离子数的 55%, 具有较高的腐蚀活性, 当铝浸于海水中时其表面的氧化膜受到氯离子破坏而不能建立完全的钝态, 发生以局部腐蚀为主的腐蚀形态, 其腐蚀产物易于集中堆积。铝的平衡电位为 -1.66 V(相对于饱和甘汞

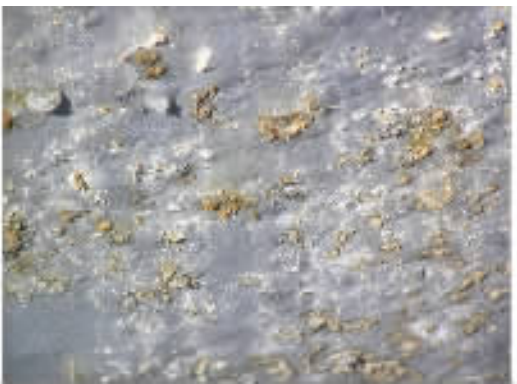


图 1 热喷涂铝表面涂层起泡、出现锈迹

1 涂层鼓泡失效原因分析

热喷涂金属保护是利用热源将金属材料熔化、半熔化, 并以一定速度喷射到钢铁基体表面形成涂

电极,下同),在一般充气运动海水中的混合电位约为 -0.79 V ,受氯离子侵蚀作用破坏点即活化点的电位较负,与钢铁基体电位差较大,牺牲阳极保护作用明显,带来了铝的电解消耗,其腐蚀产物的体积是原体积的若干倍,体积的膨胀导致表面涂料涂层鼓泡破裂,失去防护作用。金属铝自身的选择性腐蚀以及活化点的电位负易于造成铝涂层表面有机涂层鼓泡。

1.2 热喷涂工艺特点造成涂层鼓泡

热喷涂的工艺决定了热喷涂涂层同基体的结合主要为物理的机械结合,结合强度不是很高。热喷涂涂层为层状结构,内部存在大量的孔隙,比表面积大。采用火焰热喷涂铝相对于火焰喷涂锌来说,具有同基体附着力更低、孔隙率更大的特点。结合强度低,易于造成金属涂层剥离钢结构基体;孔隙率大,给电解质留下充足的通道,为基体金属的腐蚀创造了条件;比表面积大,腐蚀消耗多,种种因素都可能成为涂层出现早期失效的原因。

1.3 异种金属加速涂层鼓泡

钢闸门上使用了不锈钢螺栓、不锈钢止水压板、不锈钢导轨板和其他的不锈钢构件,不锈钢同铝电位差大,电偶作用明显。海水电阻率低,阴极保护半径大,电偶作用在海水中显著。电偶作用使得不锈钢构件受到保护,不腐蚀或减轻腐蚀,但使得铝涂层加速消耗,局部腐蚀产物的积累造成表面涂料涂层快速鼓泡失效。不锈钢等电位较正的异种金属存在是造成表面涂料迅速鼓泡失效的主要原因之一。

1.4 施工环境和条件是不可忽略的因素

用于海洋环境的金属结构,构件尺寸往往较大,大多在搭制的简易工棚中施工,有的甚至在现场露天施工,环境的温度、湿度不能进行有效控制,温度、湿度、盐雾对涂层质量的影响是涂层鼓泡不可忽略的因素。钢闸门施工大多在海边,空气湿度大,当空气相对湿度大于 85% 时,温度稍有降低(在空气温度为 $0\sim 35^{\circ}\text{C}$ 范围内,空气温度与露点之差小于 3°C)就会结露,金属结构表面温度接近露点时也会结露。金属热喷涂层多层层状结构,易于在热喷涂层上形成水的毛细管凝聚和吸附凝聚,海边空气中盐分还易于发生水的化学凝聚。结露和水膜使得表面预处理后裸露的基体金属暴露在潮湿环境中极易再次生锈,影响金属涂层与基体的结合力,金属涂层表面包括孔隙中的表面存在水膜,使得封闭涂料不能和金属涂层有良好的结合;此外,采用线材火焰喷涂时涂层孔隙率可高达 $5\%\sim 20\%$ ^[4],当有机涂层封闭后,狭小的孔隙就是一个封闭的空间,温度的增加使得空隙中的水膜成为水蒸气,内压力也可以使

得没有完全固化的有机涂层受损。

热喷涂材料铝以及热喷涂工艺的特点,使得热喷涂铝涂层表面涂料涂层在海水中易于发生鼓泡现象,需要采用更为合理的施工工艺和方法以及进行有效的封孔处理并选用合适的有机涂层配套,延长涂料出现鼓泡的时间和减少鼓泡的面积,延长涂层的使用寿命。

2 采取的措施和对策

2.1 电弧喷涂

涂层本身的结构以及同基体的附着力直接关系到涂层性能,影响到涂层发生鼓泡的时间、程度和防腐效果。金属涂层的层状结构,其孔隙率以及同钢铁基体的附着力同热喷涂方法、工艺参数、喷涂材料等多种因素有关。一般来说热喷涂层自身的结构越紧密则孔隙率越小,孔隙中电解质含量就越少,发生鼓泡的几率就越小,防腐效果就越好。

喷涂层孔隙率主要取决于使用的热源喷涂颗粒的飞行速度及喷涂过程的热源温度等条件。热喷涂金属目前主要有火焰喷涂和电弧喷涂,电弧喷涂中电弧产生的高温有利于金属铝达到充分的熔融状态,以更细小的金属颗粒、更密实的结构形式形成涂层。采用火焰喷涂铝涂层的孔隙率大约在 $5\%\sim 15\%$,高的可达 20% ^[4-5],采用电弧喷涂可以把金属涂层的孔隙率降低到 $2\%\sim 6\%$ ^[6],另外电弧喷涂可使金属涂层与钢铁基体的结合强度提高 $2.5\sim 5$ 倍,达 20 MPa 以上^[5]。采用电弧喷涂有利于提高金属涂层与基体的结合强度,降低涂层孔隙率,提高涂层质量。

2.2 封孔及表面涂料的选择

采用电弧喷涂铝,金属涂层内部仍会存在一定数量的空隙,这是很难避免的。孔隙的存在会破坏涂层的完整性,成为腐蚀介质进入基体的通道。对空隙除采用喷丸等措施进行机械密封外,最常用的方法是用封孔剂对涂层进行封闭。封孔剂封闭是采用封孔剂封堵涂层内部的孔隙,起到加强机械隔离的作用,减少喷涂层与电解质的接触面积,同时可以增加金属涂层与有机涂层的结合力。热喷涂金属涂层表面应采用封孔剂进行封闭处理。

封孔剂本身不需要有较高的防腐蚀性能,主要用以渗入和封闭涂层孔隙,所以要求黏度要小,易于渗透,同时要有一定的体积能够起到封堵作用。在热喷涂金属表面直接采用涂料涂装会起到了一定的封闭作用,但一般涂料黏度较大,难以渗透到金属涂层内部而达不到较好效果。可以采用环氧类、聚氨酯类树脂为成膜物质,锌铬黄、磷酸锌为主颜料制作

封孔剂。对于小型工程,考虑施工方便也可选用经稀释的环氧类、聚氨酯类清漆或罩面涂料作为封孔剂。厚浆型涂料、耐磨涂料等因填料颗粒较粗,即使经过稀释也很难渗入到金属涂层微孔中去,不宜作为封孔剂使用。

表面有机涂料的设计选择对防止涂层鼓泡同样重要。表面涂料要求自身密实性好、耐水性能高,以减少电解质的渗透,隔离电解质的侵入,同时能够通过自身的高强度和高附着力防止金属涂层腐蚀产物膨胀造成过早破坏。一些质地较软的涂料如氯化橡胶等不宜在水下使用,环氧云母氧化铁以环氧树脂为胶液,云母氧化铁作为填料,云母片具有良好的化学惰性,本身呈片状,在漆膜中重叠,可以有效地隔离腐蚀介质的渗透;环氧树脂本身具有很好的耐水性,较高的强度,是较为理想的表面涂料或中间层涂料。

2.3 采用牺牲阳极保护措施

绝大多数情况下,金属腐蚀属于电化学腐蚀。阴极保护是一种从根本上抑制电化学腐蚀的方法,在海水和土壤等介质中已广泛应用。阴极保护与涂层联合使用时,阴极保护电流分布在涂层孔隙和缺陷处,使金属表面阴极极化,形成阴极产物膜,可以起到修补涂层的作用,延长结构物涂层的耐用年限。另外涂层覆盖了大部分的金属基体表面,大幅度降低了所需要的阴极保护电流,改善了阴极保护电流的分布,提高了阴极保护的效果。

在钢结构有异种金属接触时,采用阴极保护防止涂层鼓泡可能是最好的方法。由于牺牲阳极电位负于热喷涂层和钢基体的电位,可以消除喷涂层与钢基体、热喷涂层与不锈钢、钢基体与不锈钢等结构材料之间的电位差,热喷涂层受到保护而不发生腐蚀,解决涂层的鼓泡问题,同时可以大幅度延长涂层的使用寿命。淮河入海水道、盐城大丰闸、新洋港挡潮闸等多个钢闸门采用牺牲阳极保护均有效地解决了涂料涂层鼓泡问题。另外,牺牲阳极保护是通过牺牲阳极的自我溶解和消耗,具有费用较低、施工简单、在运行过程中不需要维护和专人管理的特点。

2.4 严格控制施工质量

施工环境和条件是造成有机涂层鼓泡不可忽略的因素,严格按照规程要求进行施工有利于减少事故的发生。最近出版发行的水电水利行业标准 DL/T 5358—2006《水电水利工程金属结构设备防腐

蚀技术规程》^[6]中要求:热喷涂工作环境温度应高于 5℃或基体表面温度至少高于露点 3℃;基体表面预处理后应尽快进行热喷涂金属作业,一般环境下最长不超过 8 h,潮湿和盐雾环境下最长不超过 2 h;热喷涂涂层厚度应均匀,2 层或 2 层以上涂层应采用相互垂直、交叉的方法施工覆盖,单层厚度不宜超过 100 μm;热喷涂金属后应及时用封孔剂进行封闭处理。按以上要求进行质量控制有利于减少涂层早期失效的情况发生。

3 结 语

在海洋环境中钢结构的防腐蚀选择热喷涂铝是合适的,但易于出现涂层表面油漆鼓泡的早期失效情况,这与热喷涂工艺和铝的性能有关。在采用火焰喷涂工艺时,金属涂层中存在大量孔隙,给电解质留下了足够的通道,使得电解质易于进入涂层内部和到达基体表面,铝表面的氧化膜使得铝为选择性腐蚀,以局部腐蚀为主的腐蚀形态易于造成腐蚀产物集中堆积,若构件上存在不锈钢等电位较正的异种金属,电偶腐蚀作用将加快铝的腐蚀与消耗,迅速造成铝腐蚀产物的堆积,选用的表面有机涂层质地较软或尚未完全固化,没有较高的强度,种种因素都会成为表面涂层迅速鼓泡而早期失效的原因。

为防止有机涂层早期鼓泡失效,应采用电弧喷涂减少金属涂层内部孔隙率;采用黏度较小的封孔剂进行封闭处理;选择强度较高、耐水性好的有机涂料进行涂装;同时应按有关要求对热喷涂施工过程中的质量进行有效控制。

闸门等金属构件存在不锈钢等异种金属时,多个工程实践证明阴极保护是防止涂层鼓泡失效行之有效的方法。

参考文献:

- [1] 陈晓俊.沿海挡潮闸钢结构防腐蚀质量问题的探讨[J].江苏水利,2004(10):30-32.
- [2] 王煦,杨俊敬,吴军.沿海地区水工钢闸门防腐蚀设计探讨[J].中国农村水利水电,2006(3):82-85.
- [3] 王芷芳,涂连军.海水钢闸门腐蚀防护措施失效原因[J].腐蚀与防护,2008,29(6):351-353.
- [4] 初世宪,王洪仁.工程防腐蚀指南[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [5] 涂湘湘.实用防腐蚀施工手册[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [6] DL/T 5358—2006,水电水利行业标准[S].

(收稿日期:2009-02-04 编辑:高建群)