桥梁混凝土结构的防护涂装技术

刘 新 （广州佐敦远洋制漆有限公司，510620）

摘要：分析了桥梁混凝土结构的腐蚀劣化机理，通过实例介绍了混凝土结构的表面防护涂装 技术以及质量控制要点。

关键词：桥梁；混凝土；涂装技术

1 概 述

桥梁混凝土结构与其它海港码头、大坝等混凝土结构一样，即使进行了很好的水合，混凝土本身并不能抵挡腐蚀性的暴露环境。混凝土结构有很多微小通道或孔洞。水和其它物质能够很容易地进入内部，对粘结物、骨料和钢筋等进行侵蚀。更要注意的是，有些物质进入混凝土内部后，会发生反应，导致混凝土结构的膨胀，迫使其开裂。腐蚀因子，即湿气、氧气和离子（如氯离子）渗透进混凝土，钢筋就会锈蚀，再加上结晶和冻融作用、外力作用、冲蚀及冷热变化，进一步导致混凝土的劣化。因此也要对混凝土结构进行腐蚀防护，表面涂层是重要的防护手段之一。

2 混凝土结构的涂层防护

混凝土结构的防护有多种方法，混凝土的科学配伍、采用钢筋阻锈剂、使用镀锌或涂层钢筋、应用阴极保护技术等。其中，采用防腐涂层防护是经济实用有效的方法之一。

2．1 混凝土结构防护涂层的性能要求

用长效防腐涂层来保护桥梁的钢筋混凝土结构，可以有效地阻止氯化物、氧气、二氧化碳和海水等腐蚀介质进入。混凝土结构表面防护涂层的基本要求如下：

(1) 耐碱性。混凝土的 pH 值在 12 ～ 13，所以用于混凝土表面的涂料必须具有良好的耐碱性。目前已知耐碱性最好的涂料有乙烯基涂料、丙烯酸涂料、氯化橡胶涂料和环氧涂料等。(2) 渗透性。用于混凝土表面的涂料其渗透性能相当重要，它可以保证良好的附着力及抵御外界侵蚀的能力。(3) 涂层厚度。用于混凝土表面的涂层必须达到一定的涂层厚度，这样才可以克服混凝土表面的不规则性和可能产生的涂层缺陷。涂层厚度达到 (300 ～ 500) μ m 就可以有效地消除细小的收缩裂纹。涂层如果不能达到一定的厚度，也无法抵抗内应力。(4) 柔韧性。相比较钢铁而言，混凝土具有一定的柔软性和延展性，所以用于混凝土表面的涂料也必须要有一定的柔软性和延展性，才能符合混凝土的收缩和膨胀。(5) 附着力。附着力是所有涂料的重要性能之一，但是用于混凝土表面的涂料附着力性能与用于钢铁表面的涂料不同。由于混凝土可能处于潮湿环境，涂料必须具有很好的渗透性和润湿性来牢牢地附着于混凝土表面。而且，涂层必须有能力抵抗来自于背面的水压，以防止涂膜起泡。(6) 防碳化性能。由于二氧化碳是引起混凝土碳化的主要因素之一，所以表面使用的涂料要能有效地阻挡二氧化碳的渗透。由于二氧化碳的存在，混凝土会碳化。碳化后的混凝土由于体积变化，表面会产生微裂缝，成为氧气和水汽的通道，内部的钢筋就会锈蚀，混凝土结构的使用寿命就会缩短。涂料的防碳化性能就显得非常重要。(7) 装饰性。用于混凝土涂层体系的表层面漆，除了具有耐各种大气腐蚀和其它性能之外，还必须具有很好的装饰性能，色彩要丰富，涂膜要丰满，保光性能要好。

2．2 混凝土结构防护的常用涂料

2．2．1 氯化橡胶涂料

氯化橡胶涂料的耐水性和耐化学性能很好，耐碱性强，与混凝土表面附着力强，干燥快，单组分施工简便，重涂性能也好。氯化橡胶涂料用于桥梁 上的主要实例为宁波招宝山大桥。

2．2．2 环氧涂料

环氧涂料对混凝土表面有很好的附着力，并且耐化学品性能优良。液态树脂和液态固化剂配制的环氧涂料，可以深深地渗透进混凝土表面，增强混凝土的表面强度和密度。环氧涂料是目前混凝土表面进行重防腐应用最主要的涂料品种之一，其中的环氧清漆、环氧厚浆涂料和环氧云铁中间漆与丙烯酸聚氨酯面漆可以配套成为高性能的耐腐蚀长效保护系统，为包括武汉军山桥在内的多座桥梁所采用。

2．2．3 聚氨酯涂料

聚氨酯涂料与环氧涂料有着相似的性能，而且弹性更好，能弥补混凝土表面细小的裂缝。由于耐化学品性能突出，广泛用于混凝土贮槽内壁衬层。对于大气腐蚀环境中的混凝土桥梁来说，脂肪族聚氨酯涂料耐候性优异，是与环氧封闭漆和环氧中间漆配套的首选高装饰性面漆。

2．2．4 丙烯酸乳胶涂料

溶剂型丙烯酸涂料有着很好的耐碱性能，面漆具有很好的耐候性，单组分包装，干燥迅速，施工方便。汕头海湾大桥就是采用的丙烯酸厚浆型面漆与环氧涂料相配套。作为建筑涂料中最为主要的产品，丙烯酸乳胶涂料耐碱性强，具有水解稳定性，特别是适合于混凝土表面。丙烯酸乳胶涂料的呼吸功能强，允许水蒸气透过，但同时又对水有着阻隔作用。优良的弹性和弹性回复，使丙烯酸乳胶涂料可以容忍混凝土表面的变化而不破损。水性丙烯酸涂料不含溶剂，有着很好的环保性能。除了一般的水性丙烯酸涂料系统外，还开发有水性防碳化丙烯酸涂料。好的防碳化涂料，除了要能够有效地防止二氧化碳外，还要有良好的斥水性和一定的透水气性能，即呼吸性，以便阻止液态水的进入，又能使混凝土内的湿气顺利排出。

3 混凝土表面处理

桥梁的混凝土结构部分，经受过风化腐蚀，表面粗糙多孔，表层强度低，可能还有油污和盐分的污染。其表面遍布孔隙，孔隙中含有水分和碱性物质，如不经处理直接涂装，涂膜不仅附着力差，而且会发生起泡、龟裂、泛白甚至脱层等弊病。为了避免以上问题的出现，延长涂层的使用寿命，必须 控制基材的含水率，进行正确的表面处理。混凝土结构在 20 ℃、相对湿度 65 % 的情况下，至少需要 28d 的硬化期，而后才能开始相应的表面处理和涂装工作。

混凝土结构的表面处理，包括表面清理、除油、表面打磨喷砂和表面清洁等步骤。

混凝土结构表面可能有大块的砂浆等异物、青苔等不能由喷砂彻底除净的杂物，需要先行手工铲除。如果有油污，用洗涤剂或碳酸钠溶液清洗油污，再淡水冲洗至 pH 值到中性（pH 值 7 ～ 8）。如果油污严重渗入混凝土内部，应采用热碱液浸渍，并用淡水冲洗。

用电动或气动打磨工具，或者使用喷砂设备，可以有效地除去表层浮浆和弱介表面层。表面的灰尘用清洁干净的压缩空气吹净，最好用真空吸尘器吸尘。新建桥梁的混凝土结构，一般都有 100 年的高等级设计寿命，因此，喷砂是最为有效和有利的表面处理方法。表面喷砂可以除去混凝土结构表面的一般污染物和浮浆等，并能产生一定的粗糙度。喷射用磨料要干燥，无油污，清洁无杂物，不能对涂料的性能有影响。喷砂完后的表面清洁非常重要，主要是除去喷砂表面的粉尘颗粒，可以采用干净无油无水的压缩空气吹扫，强烈建议使用真空吸尘器进行表面清洁，这样可以达到最洁净的表面，创造最佳的涂层附着力。

特别需要注意的是，喷砂后会暴露出某些表面结构缺陷，比如说孔穴裂缝等，如果不需要重新进行混凝土补强，较小的表面缺陷内可能存在的泥砂必须在清洁的过程中一并清除，这对后续的涂漆工作至关重要。

4 混凝土结构的表面防护涂装

4．1 涂装体系

桥梁的混凝土结构根据其部位可以有多种涂装系统，有水性涂料和溶剂型涂料，而以溶剂型涂料的防腐蚀效

果最好。常用涂装体系见表 1 。

表 1 桥梁混凝土结构常用涂装体系

部位	涂料系统		实例
大气部位(包括：箱梁结构、帽梁、索塔以及引桥桥墩等)	环氧封闭漆 环氧厚浆型封闭漆 氯化橡胶调合腻子 氯化橡胶面漆	30μm 2×60μm 1000μm 2×40μm	宁波招宝山大桥
	环氧封闭漆 腻子 环氧云铁中间漆 丙烯酸聚氨酯面漆	20μm 批刮2道 2×40μm 2×35μm	武汉军山大桥
	环氧封闭漆 厚浆环氧漆 厚浆环氧漆 丙烯酸厚浆面漆	 100μm 80μm 80μm	汕头海湾大桥
	100%固体分含量环氧砂浆底涂 芳香族聚脲树脂中间涂层 脂肪族聚脲树脂面漆	1.97μm (0.2～0.39)μm	美国加利福尼亚圣马特奥桥
桥墩部位的潮差区和浪溅区	环氧封闭漆 厚浆环氧漆 厚浆环氧漆 丙烯酸厚浆面漆	 100μm 100μm 100μm	汕头海湾大桥
	丙烯酸乳液水泥砂浆（填孔） 丙烯酸乳胶水泥腻子（填孔部位批刮） 乙烯基酯树脂腻子（满刮） 乙烯基酯树脂衬布胶料＋中碱玻璃纤维布 0.18mm 乙烯基酯树脂衬布胶料＋玻璃纤维表面毡 乙烯基酯树脂面层胶料（中灰）		广东虎门大桥
	环氧封闭底漆 无溶剂环氧腻子 无溶剂环氧涂料（2道）		阿拉伯联合酋长国 Abu Dhabi - Mustahafa bridge

4 . 2 封闭漆

无论钢筋混凝土的质量如何好 ， 微孔总是存在的。为了封闭住这些微孔 ， 堵住腐蚀介质的渗透 ， 就必须使用封闭层进行打底。由于新浇的混凝土呈高碱性 ， 封闭层必须有着很好的抗碱性能。常用的封闭漆有环氧清漆、低分子量无溶剂环氧封闭底 漆、丙烯酸抗碱底漆等 ， 纯环氧面漆稀释后也能作为良好的封闭底漆使用。

4 . 3 腻子层

它的作用是填补表面缺陷和构件的轮廓线 ， 提高表面的平整度 ， 以达到表面强度和美观性。用于混凝土结构填补的腻子要求有着良好的刮涂性、抗收缩性和抗流挂性能 ， 对于封闭层和中间层有着良好的附着力。常用的有环氧、聚氨酯和丙烯酸类 ， 多为水泥砂浆类 ， 有着相当好的强度。为了整个结构的平整性 ， 在封闭漆涂装后 ， 有时还需要全面批刮腻子。

4 . 4 中间漆

中间层位于封闭层和面层之间 ， 起着承上启下 的作用。它可以增加涂层体系的厚度 ， 增加面层与封闭层的附着力。所以中间层要和封闭层与面层有着很好的相容性。常用中间层有厚浆型环氧 （ 云铁 ） 涂料、聚氨酯涂料、丙烯酸聚合物涂料等。

4．5 面漆

表面层是整个涂装体系的最外层，对于混凝土结构的大气部位来说，它赋予桥梁美丽的色彩，决定着涂层体系的耐老化和防腐性能。目前常用的面层涂料根据其耐候性能排列，主要有丙烯酸聚硅氧烷涂料、含氟树脂涂料、丙烯酸改性脂肪族聚氨酯面漆和丙烯酸面漆等。

4．6 重防腐涂料

近年来广泛用于海洋钢结构的高固体分、无溶剂以及玻璃鳞片等重防腐涂料，也开始应用到海洋腐蚀环境下混凝土结构防护方面。这些涂料除了杰出的防腐蚀性能外，可以厚膜型施工，单道涂层喷涂达到干膜厚度(300 ～ 500) μm，甚至 1000 μm 以上，具有优异的快速固化性能，甚至可以在喷涂 (15 ～ 30) min 就浸水并继续在水下固化，有些涂料还可以在水下施工。

海洋结构重防腐涂料应用于桥梁混凝土结构的桥墩潮差区和飞溅区有着特别优良的耐腐蚀、耐磨、耐碰撞特性。

5 涂装质量控制

为了保证涂装质量，一个完整的质量检查体系由业主、监理、涂料公司的技术工程师、施工单位质检技术人员共同组成，层层负责把关，确保涂装质量。

涂料公司的技术工程师必须为持有美国腐蚀协会或者相类似机构认证资格的经验丰富的人员。施工单位的质量检查人员和施工人员必须经过业主认可审核，如果有必要，还需进行现场理论和实践培训。质量检查人员必须在现场配备必要的测试仪器，如含水量检测仪、温湿度仪、红外线温度测量仪等。桥梁混凝土结构的整个涂装过程，质量控制项目见表 2 。

混凝土结构表面的涂膜厚度控制与钢材表面有所不同，常用的干膜和测厚仪并不能起到作用。并且，由于混凝土表面也不像钢材表面一样平整光滑，湿膜测厚仪也不能有效地进行测量。

表 2 桥梁混凝土结构质量控制项目

项目	要求和方法
混凝土强度	符合相关要求
混凝土结构	修正空鼓、气孔、裂纹、浮浆等
硬化期	28d，温度 20 ℃，相对湿度 65 %的条件下
表面污物	除去表面风化物 (白色沉积)、泥浆、砂粒、油污
含水量	＜6 %
表面油污	溶剂或洗涤剂清洗 SSPC SP1
高压淡水冲洗	SSPC SP12/ NACE 5
表面喷砂	创造一定的粗糙度，表面平整密实
表面清洁	没有灰尘颗粒
相对湿度	＜85 %
表面温度	＜40 ℃
露点温度	底材表面温度至少高于露点温度 3 ℃
混合和稀释	按规定比例进行混合，稀释剂用量不超过工艺规范的要求
喷涂施工	按说明书要求和工艺规范
干燥重涂时间	按说明书要求和工艺规范
涂膜厚度	(1) 单位面积上定量涂料 (事先计算出施工面积和涂料用量)； (2) 试板测量法 (采用电子干膜测厚仪)
涂膜外观	外观平整光滑，色泽均匀，无针孔、漏喷、色差、桔皮等现象

涂料有着一定的体积固体分，相对应于一定的干膜厚度，其涂料用量也是一定的。在实际施工情况中，涂料会有很大损耗，这取决于底材表面粗糙度、大风时进行喷涂、复杂的几何形状、涂膜的分布、喷漆泵、喷

漆管和涂料桶内的合理损耗以及施工时的浪费等因素。计算涂料用量时，一定要把涂料的损耗计算进去。

试板法是较为简单易行的方法，即在喷涂施工时，选取构件的典型位置，用胶带贴上若干钢质试板，喷涂完毕后，在试板上测量干膜厚度，即可知道实际喷涂的涂膜厚度。这要求施工者有着均匀稳定的喷涂技巧。在除去试板后，打磨周围涂膜使其产生坡状过渡层 (5 ～ 10) cm，然后补涂涂膜到规定的厚度。

6 结 语

世界各国对于桥梁混凝土结构的防护，还没有提高到钢结构防护那样高的地步，但是其它行业如污水处理、海洋工程、港口码头、水库大坝等混凝土结构的腐蚀劣化事例，已经引起了桥梁专家的重视，并对桥梁混凝土结构开始采取多种防护手段以保证桥梁的正常使用。涂层防护在桥梁混凝土结构方面是近年来兴起的，吸取其它行业方面的经验，采用现代重防腐涂料技术，必将对桥梁混凝土结构的防护起到很好的作用。