



高桩码头维护技术评价指标与体系研究^{*}

张 章¹, 吴 锋¹, 周国然¹, 田俊峰²

(1. 中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200032; 2. 中国交通建设股份有限公司, 北京 100088)

摘要:性能退化问题是影响高桩码头使用寿命的重要因素。运营过程中的船舶撞击、岸坡变形等因素也会对结构构件造成损伤。高桩码头维护技术多种多样,但对于损伤后码头的修复与维护,目前尚无科学合理的选择方案。针对高桩码头维护技术的特点,提出常用维护技术的专项指标和评价指标,建立可实现不同维护技术在同一层次进行评价指标对比的评价体系,为高桩码头维护技术的选择和维护设计方案的制定提供指导。

关键词:高桩码头;维护技术;评价指标;评价体系

中图分类号:U 656.1⁺13 文献标志码:A 文章编号:1002-4972(2015)07-0098-04

Evaluation index and system of maintenance technology for high-pile wharf

ZHANG Zhang¹, WU Feng¹, ZHOU Guo-ran¹, TIAN Jun-feng²

(1. Shanghai Third Harbor Engineering Science & Technology Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. China Communication Construction Co., Ltd., Beijing 100088, China)

Abstract: The performance degradation is an important factor affecting the service life of high-pile wharf. Other factors, such as ship impact and bank deformat, may cause damage to structures or members during the operation process. To repair and maintain the damaged wharf, there is no scientific and reasonable choosing method in many kinds of maintenance technologies for the high-pile wharf. According to the characteristics of the maintenance technology for the high-pile wharf, we propose special index and evaluation index and establish the evaluation system to compare evaluation indices of deferent maintenance technologies at the same level, and to provide a guidance for the maintenance technology selection and maintenance design method of high-pile wharf structures.

Keywords: high-pile wharf; maintenance technology; evaluation index; evaluation system

高桩码头结构一般长期处于恶劣的海洋环境下,氯离子侵蚀、混凝土碳化和冻融等影响容易造成钢筋锈蚀、混凝土破损,进而导致码头性能退化。此时,需要采取一定的维护措施,修复或加固受损构件,恢复受损构件和结构的工作性能。目前,高桩码头结构常用维护技术主要有:砂浆喷涂、硅烷浸渍、外加电流、牺牲阳极、电化学脱盐、增大截面、粘贴碳纤维和粘贴钢板等方法。这些方法已经基本能够满足高桩码头修复或加固需要,并作为成熟技术写进规范^[1-5]。然而,维护技术种类众多,各有其特点和适用范围。在对具

体工程进行维护方案制定时,维护技术的实施效果、施工难易程度、实施成本、对生态环境的影响等因素无法进行全面的考虑,针对特定的码头采取何种维护技术成为一个难以抉择的问题。

洪定海^[6]介绍了我国海港工程钢筋混凝土结构腐蚀性破坏情况、防腐经验和经济分析等情况,并在此基础上,就我国海港钢筋混凝土结构防腐决策提出了建议。黄明等^[7]分析了环氧树脂涂层钢筋、纤维塑料筋、外加电流和牺牲阳极等钢筋的防腐蚀方法的特点,并综合比较了这些方法的工程适用性,但未涉及到维护技术优选的问题。

收稿日期:2014-12-08

^{*}基金项目:交通运输部建设科技项目基金(201332849A090)

作者简介:张章(1986—),男,硕士,工程师,从事钢筋混凝土结构耐久性研究。

吴畏等^[8]对局部修补加全面封闭和电化学脱盐两种维护方案进行了技术经济比较。单成林^[9]通过试验手段研究了采用粘贴钢板和粘贴碳纤维布梁的力学性能,认为前者在抗弯能力提高方面明显高于后者,粘贴钢板适用于提高抗弯能力及变形能力加固,碳纤维布梁适用于梁的抗裂加固。

在制定维修加固方案之前,需要了解和评估码头的受损状况、受损原因,并需要对其残余承载力、使用性和安全性的降低程度进行评判,并综合考虑拟采取维护技术的施工难度及成本等制约条件,作为维修加固方案制定的依据,而目前的标准规范和已有研究成果尚不能提供这种依据。本文将提出常用维护技术评价指标,并建立一种可实现不同维护技术在同一层次进行评价指标对比的评价体系,为高桩码头结构维护设计提供依据。

1 常用维护技术种类划分

高桩码头维护技术根据使用功能的不同可分为两大类:

1) 材料维护技术:主要用于构件当前的性能退化或损伤状况不大,并且短期内不会危及到构件的安全性和某些适用性要求(如挠度)的情况,如裂缝修补、氯盐清除、表层防护等,主要用于满足构件的耐久性和某些适用性要求(如裂缝宽度),常用的材料维护技术主要包括:砂浆喷涂法、涂层封闭法、外加电流法、牺牲阳极法、电化学脱盐法、硅烷浸渍法、玻璃钢包覆法等。

2) 结构维护技术:主要用于构件当前的性能退化或损伤状况已比较严重,已危及或即将危及到构件的安全性和某些适用性要求(如挠度)的情况,如提高承载力、提高刚度等,常用的结构维护技术主要包括:粘贴碳纤维法、粘贴钢板法、粘贴型钢法、增大截面法、体外预应力法、替换构件法等。

2 维护技术专项指标

维护技术种类很多,每种维护技术都有其特点。维护技术评价体系需要对维护技术的特点进

行定量计算或定性判定,因此本文首先提出维护技术专项指标,主要包括:适用范围、主要技术参数、施工难易程度和技术保证期等。

2.1 适用范围

每项维护技术在实际工程中都有其适用范围。选择合适的维护技术是制定维护方案的核心内容,而维护方案的选择首先应考虑维护技术是否适用,即首先排除不适用的技术,再从待选的技术中进行最优化选择。常用维护技术在不同区域、构件和位置的适用范围可根据码头所在区域(南、北方或海港、内河)、码头基本构件(桩、梁、板等)的特点、构件所在位置(大气区、浪溅区、水位变动区、水下区、泥下区)等条件划分。

2.2 主要技术参数

维护技术的实施效果会受制于某些核心参数的选取,而核心参数也决定了其他指标的取值,本文将选取一、两项最重要的核心参数定义为主要技术参数。以粘贴碳纤维法为例,混凝土表面粘贴碳纤维后,碳纤维对承载力的提高程度主要取决于碳纤维粘贴层数、碳纤维抗拉强度和胶黏剂强度等。在这几项核心参数中,碳纤维抗拉强度和胶黏剂强度的选择在规范中都有一般的规定,因此以粘贴层数作为粘贴碳纤维法的主要技术参数。本文提出的常用维护技术主要技术参数如表 1 所示。

表 1 常用维护技术主要技术参数		
种类	维护技术	主要技术参数
材料维护技术	砂浆喷涂法	施工质量
	涂层封闭法	涂层厚度
	外加电流法	保护电流密度
	牺牲阳极法	保护电流密度
	电化学脱盐法	氯含量
	硅烷浸渍法	渗透深度
	玻璃钢包覆法	包覆厚度
结构维护技术	粘贴碳纤维法	碳纤维截面积、强度
	粘贴钢板法	钢板截面积、强度
	粘贴型钢法	型钢截面积、强度
	增大截面法	钢筋截面积、强度
	体外预应力法	预应力筋截面积、强度
	替换构件法	新构件截面、配筋
	增设支点法	新受力体系

2.3 施工难易程度

维护技术评价指标和体系的研究目的是为维护方案提供依据和参考,因此维护技术施工的难易程度应作为一项重要的考量标准。施工难易程度的衡量应综合考虑以下内容:1)施工期长短;2)码头运营是否需要大规模停工;3)是否需要大型设备;4)施工人员素质要求;5)施工受天气、温度、潮汐等环境因素影响程度。因此,施工难易程度是一种较为模糊的概念,难以精确判定。本文提出采用问卷调查的形式,收集和整理国内外长期从事维护技术施工工作的工程师的经验,综合考虑以上5项内容,以定性或模糊打分的形式表示。

2.4 技术保证期

维护技术保证期是指按照正常的维护水平,以规范规定的施工工艺和方法实施,维护技术对码头结构发挥作用的有效期。以电化学脱盐法为例,JTS 311—2011《港口水工建筑物修补加固技术规范》规定,电化学脱盐处理后,混凝土内水溶氯离子含量占水泥砂浆质量比应低于0.1%或使钢筋全面恢复钝化。由于电化学脱盐法不改变构件的使用环境,一般也不改变构件的材料属性(如混凝土强度、密实性、保护层厚度等),因此可根据结构当前已使用的年限,以及当前氯离子含量的检测值,换算得到电化学脱盐后的预期有效期,即技术保证期。如果电化学脱盐后再对混凝土表面采用硅烷浸渍或涂层封闭,则技术保证期可取为2种维护技术保证期的叠加。

结构维护技术的实施一般要附加材料维护技术。如果不附加材料维护技术,则结构维护技术的技术保证期以结构当前已使用年限为参考,同时要考虑维护前后的混凝土密实性、保护层厚度、施工质量等差异进行适当调整;如果附加材料维护技术,则技术保证期取值为调整后的已使用年限与所采用的材料维护技术保证期的叠加。

3 维护技术评价指标

维护方法种类繁多(表1),各种维护技术的专项指标各不相同,无法直接进行同一层面的对

比,如:粘贴碳纤维法和粘贴钢板法都可以提高受弯构件的抗弯承载力、抗弯刚度,两种维护技术及相应的附属材料维护技术也都会提高构件的耐久性,但二者的承载力、刚度、耐久性的提高幅度,以及相应的实施成本均不相同,对于特定的维护需求无法科学地满足。提出一组评价指标,进而建立一套相应的评价体系是实现不同维护技术方案比选的必然要求。

3.1 材料维护技术评价指标

在一般情况下,材料维护技术主要用于提高适用性(裂缝修补)和耐久性,对安全性没有直接的影响。为满足不同维护需求,本文提出一组材料维护技术评价指标:适用性指标(裂缝修补)、耐久性指标、成本指标和环保指标(表2)。

表 2 常用材料维护技术评价指标				
材料维护技术	适用性指标 (裂缝修补)	耐久性 指标	成本 指标	环保 指标
砂浆喷涂法	a_1	a_2	a_3	a_4
涂层封闭法	b_1	b_2	b_3	b_4
外加电流法	c_1	c_2	c_3	c_4
牺牲阳极法	d_1	d_2	d_3	d_4
电化学脱盐法	e_1	e_2	e_3	e_4
硅烷浸渍法	f_1	f_2	f_3	f_4
玻璃钢包覆法	g_1	g_2	g_3	g_4

表中 x_i 为维护技术评价指标值,根据已得到的维护技术专项指标对高桩码头结构安全性、适用性、耐久性、经济性和生态环境的影响,按照理论分析、试验研究及专家问卷等研究方法综合确定。评价指标值以百分制表示,分数越高表示该项维护技术在某个方面的实施效果越好。其中:

1) 适用性指标(裂缝修补):维护技术对混凝土构件裂缝的修复效果。将全部材料维护技术进行对比,对裂缝的修复维护效果最优的技术指标值为100。

2) 耐久性指标:维护技术实施后对构件耐久性的提升效果,抗氯离子侵蚀能力最优的维护技术的指标值为100。

3) 成本指标:维护技术实施的成本,包括材料费、人工费,以及施工造成的码头停工损失等

费用。实施成本最低的技术的指标值取 100。

4) 环保指标: 维护技术所使用的材料及施工工艺对生态环境的影响程度, 最环保的维护技术取值 100。

3.2 结构维护技术评价指标

结构维护技术主要用于提高安全性和适用性,

但结构维护技术的实施一般也会提高耐久性。本文提出一组结构维护技术评价指标: 安全性指标、适用性指标 (抗裂)、适用性指标 (挠度)、耐久性指标、成本指标和环保指标 (表 3)。与表 2 类似, 表 3 中的评价指标值可以通过工程调研、室内外试验、理论推导、专家问卷等各种手段予以赋值。

表 3 常用结构维护技术评价指标						
结构维护技术	安全性指标	适用性指标 (刚度)	适用性指标 (抗裂)	耐久性指标	成本指标	环保指标
粘贴碳纤维法	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6
粘贴钢板法	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
体外预应力法	j_1	j_2	j_3	j_4	j_5	j_6
替换构件法	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
增大截面法	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6
粘贴型钢法	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6

其中, 安全性指标: 维护技术对构件安全性的提升效果, 主要体现为对承载力的提高程度; 适用性指标 (挠度): 维护技术对构件刚度的提高程度; 适用性指标 (抗裂): 维护技术对构件受荷抗裂性能的提高程度。

根据规范的要求, 结构维护技术的实施一般会附加实施材料维护技术, 则综合采用结构维护技术和材料维护技术的维护方案应将同类评价指标值相加。

4 维护技术评价体系

4.1 维护体系框架

根据已得到的维护技术种类划分方法、维护技术专项指标和评价指标的定义, 建立维护技术评价体系框架如图 1 所示。

其中, 维护需求是指业主、设计或施工单位、政府部门等方面对码头维护行为所提出的综合要求, 主要包括: 安全性需求、适用性需求、耐久性需求、成本需求和环保需求等。在维护技术评价体系中, 当评价指标值已给定时, 以对各种维护效果的权重进行赋值的形式提出明确的维护需求, 并通过一定的计算, 对维护技术方案进行自动化的选择, 最终为维护设计提供最优化的维护方案。

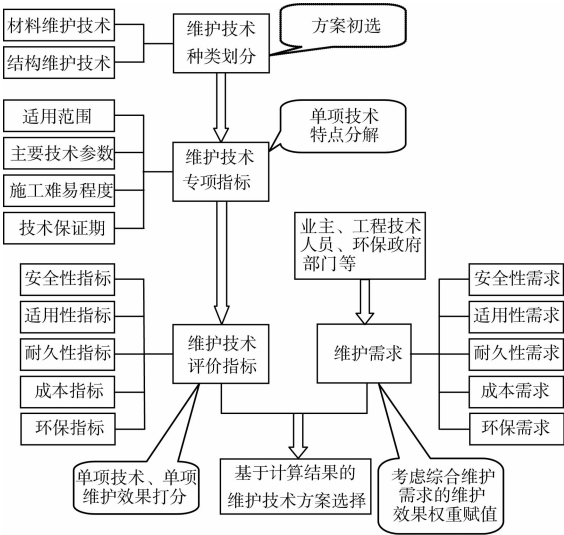


图 1 高桩码头维护技术评价体系

4.2 自动化的维护技术计算方法

定义维护技术评价指标行向量:

$$x = (x_1, x_2, \cdots, x_n)$$
 (1)

式中: x_i 对应表 2 和表 3 中所列的评价指标值, 材料维护技术 $n=4$, 结构维护技术 $n=6$ 。通过适用范围筛选后, 由 x 项适用的维护技术评价指标向量组成评价指标矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_n \\ b_1 & b_2 & \cdots & b_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1 & x_2 & \cdots & x_n \end{bmatrix}$$
 (2)