

中华人民共和国行业标准

港口水工建筑物检测与评估技术规范

JTJ 302—2006

主编单位:中交四航工程研究院有限公司

批准部门:中华人民共和国交通部

施行日期:2007年5月1日

人民交通出版社

2007·北京

制 定 说 明

本规范是在深入调查研究的基础上,总结了我国近年来已建港口水工建筑物检测与评估经验,借鉴了国内外有关标准和检测评估的先进技术成果,广泛征求有关单位和专家的意见,并结合我国港口水工建筑物实际情况和检测评估技术水平编制而成。主要包括混凝土结构耐久性、钢结构耐久性、防腐蚀措施、板桩码头、重力式码头、高桩码头、斜坡码头及浮码头、防波堤与护岸工程的检测与评估等技术内容。

本规范主编单位为中交四航工程研究院有限公司,参加单位为中交第一航务工程勘察设计院有限公司、中交第二航务工程勘察设计院有限公司、中交第三航务工程勘察设计院有限公司、中交四航局港湾工程设计院有限公司、交通部天津水运工程科学研究所和中交上海港湾工程设计研究院有限公司。

本规范第 3.0.4 条、第 3.0.5 条和第 3.0.6 条黑体字部分为强制性条文,与建设部发布的《工程建设标准强制性条文(水运工程部分)》(建标[2002]273 号)具有同等效力,必须严格执行。

本规范共分 11 章和 7 个附录,并附条文说明。本规范编写人员分工如下:

- 1 总则:潘德强
- 2 术语:潘德强
- 3 基本规定:潘德强 王胜年
- 4 混凝土结构耐久性检测与评估:潘德强 王胜年 王笑难
朱崇诚
- 5 钢结构耐久性检测与评估:王胜年 王永平
- 6 防腐蚀附加措施检测与评估:陆旭峰 王胜年
- 7 板桩码头检测与评估:吴荔丹

- 8 重力式码头检测与评估:吕卫清
- 9 高桩码头检测与评估:张黎明
- 10 斜坡码头及浮码头检测与评估:钟相尧
- 11 防波堤与护岸工程检测与评估:杨丽民
- 附录 A:潘德强
- 附录 B:王胜年
- 附录 C:王笑难 朱崇诚
- 附录 D:王胜年
- 附录 E:陆旭峰
- 附录 F:王笑难 朱崇诚
- 附录 G:王胜年

本规范于 2006 年 9 月 6 日通过部审,于 2006 年 12 月 19 日发布,自 2007 年 5 月 1 日起实施。

本规范由交通部水运司负责管理和解释。请各有关单位在使用本规范过程中,将发现的问题和意见及时函告交通部水运司(地址:北京市建国门内大街 11 号,交通部水运司工程技术处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:广州市前进路 157 号,中交四航工程研究院有限公司,邮政编码:510230),以便修订时参考。

目 次

1 总则	(1)
2 术语	(2)
3 基本规定	(4)
4 混凝土结构耐久性检测与评估	(9)
4.1 腐蚀介质及工程情况的调查	(9)
4.2 钢筋锈蚀劣化耐久性检测	(9)
4.3 混凝土冻融劣化耐久性检测	(9)
4.4 钢筋锈蚀劣化耐久性评估	(10)
4.5 混凝土冻融劣化耐久性评估	(15)
5 钢结构耐久性检测与评估	(17)
5.1 腐蚀介质及工程情况的调查	(17)
5.2 检测	(17)
5.3 评估	(17)
6 防腐蚀措施检测与评估	(20)
6.1 腐蚀介质及工程情况的调查	(20)
6.2 外加电流阴极保护效果检测与评估	(20)
6.3 牺牲阳极阴极保护效果检测与评估	(21)
6.4 钢结构涂层劣化检测与评估	(21)
6.5 混凝土结构涂层劣化检测与评估	(22)
7 板桩码头检测与评估	(24)
7.1 检测	(24)
7.2 评估	(25)
8 重力式码头检测与评估	(27)
8.1 检测	(27)

8.2 评估	(28)
9 高桩码头检测与评估	(29)
9.1 检测	(29)
9.2 评估	(30)
10 斜坡码头及浮码头检测与评估	(32)
10.1 检测	(32)
10.2 评估	(33)
11 防波堤与护岸检测与评估	(35)
11.1 检测	(35)
11.2 评估	(36)
附录 A 腐蚀后钢筋混凝土构件承载力验算	(38)
附录 B 混凝土结构锈蚀劣化耐久性检测方法	(41)
附录 C 混凝土结构冻融劣化耐久性检测方法	(46)
附录 D 钢结构锈蚀检测方法	(48)
附录 E 防腐蚀措施检测方法	(50)
附录 F 冲淤变化检测方法	(53)
附录 G 本规范用词用语说明	(54)
附加说明 本规范主编单位、参加单位、主要起草人、 总校人员和管理组人员名单	(55)
附 条文说明	(57)

1 总 则

1.0.1 为统一已建港口水工建筑物检测与评估技术要求,提高检测与评估质量,适应水运工程建设管理需要,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于已建港口水工建筑物的检测与评估。

1.0.3 已建港口水工建筑物的检测与评估除应符合本规范规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 检测与评估

为检验已有结构在未来使用中的可靠性而开展的一系列活动。

2.0.2 评估单元

根据被评估建筑物的结构特点将建筑物划分成一个或若干个可以独立进行评估的区段。

2.0.3 子单元

评估单元中细分的单元。

2.0.4 基本单元

子单元中细分的单元。

2.0.5 主要构件

自身失效将导致相关构件失效,并危及承重结构系统工作的构件。

2.0.6 一般构件

自身失效不会导致主要构件失效的构件。

2.0.7 子单元检测评估项目

针对影响子单元可靠性的因素所确定的检测评估项目。

2.0.8 构件检测评估项目

针对影响构件可靠性的因素所确定的检测评估项目。

2.0.9 安全性

结构在正常使用条件下,承受可能出现的各种作用而保持安全的性能。

2.0.10 使用性

结构在正常使用条件下,满足预定使用要求的性能。

2.0.11 耐久性

结构在正常使用维护条件下,在规定的时间内随时间变化而仍能满足预定功能要求的性能。

2.0.12 结构使用年限

结构建成后,所有性能均能满足使用要求的实际年限。

2.0.13 设计使用年限

结构或构件按设计目的和使用条件使用而不需要大修的预定年限。

2.0.14 剩余使用年限

结构或构件使用若干年后,在规定的使用条件和正常维护条件下,无需采取修补措施继续保持其预定功能的时间。

2.0.15 耐久性损伤

由化学、物理等因素作用造成结构功能随时间退化的累积损伤。

2.0.16 耐久性极限状态

由耐久性损伤造成结构或构件不能满足安全或正常使用要求的临界状态。

2.0.17 劣化度

由于物理或化学作用,结构或材料的性能下降的程度。

2.0.18 水胶比

混凝土的用水量与胶凝材料总量之比。

2.0.19 自然腐蚀电位

自然腐蚀状态下的电极电位。

3 基本规定

3.0.1 港口水工建筑物的评估可分为安全性评估、使用性评估和耐久性评估。评估的目的、范围和内容应根据评估对象的具体情况和评估要求经初步调查后确定。

3.0.2 检测与评估前的初步调查宜包括下列内容：

- (1)原勘察设计文件和竣工资料；
- (2)建筑物的历史；
- (3)建筑物检查和维护资料；
- (4)现场考察。

3.0.3 检测与评估工作大纲应根据初步调查结果制定。

3.0.4 在下列情况下,应对港口水工建筑物进行安全性、使用性和耐久性评估：

- (1)建筑物达到或超过设计使用年限需继续使用；
- (2)提高建筑物使用功能；
- (3)改变建筑物使用条件。

3.0.5 在下列情况下,应对港口水工建筑物进行安全性和使用性评估：

- (1)建筑物出现影响建筑物安全和使用的非正常变形、变位、裂缝、破损和耐久性损伤等；
- (2)发生地震、台风等重大自然灾害或偶发事故,建筑物已受损。

3.0.6 在下列情况下,应对港口水工建筑物进行耐久性评估：

- (1)钢材或混凝土劣化导致结构明显损坏；
- (2)建筑物的防腐蚀措施达到或超过设计使用年限。

3.0.7 港口水工建筑物安全性、使用性和耐久性评估分级及处理

要求应符合表 3.0.7-1 ~ 表 3.0.7-3 的规定。

港口水工建筑物安全性评估分级标准及处理要求 表 3.0.7-1

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	安全性符合国家有关标准要求,具有足够的承载能力	不必采取措施
B	安全性略低于国家有关标准要求,尚不显著影响承载能力	可不采取措施
C	安全性不符合国家有关标准要求,显著影响承载能力	及时进行修复、补强,视条件和要求恢复到 A 级或 B 级标准
D	安全性严重不符合国家有关标准要求,已严重影响承载能力	立即进行修复、补强,视条件和要求恢复到 B 级标准或报废

港口水工建筑物使用性评估分级标准及处理要求 表 3.0.7-2

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	建筑物整体完好,变形、变位均在设计允许范围内	不必采取措施
B	建筑物整体完好,变形、变位略超出设计允许范围,但不影响正常使用	可不采取措施
C	建筑物整体破损明显,变形、变位明显超出设计允许范围,影响正常使用	及时进行修复、补强,视条件和要求恢复到 A 级或 B 级标准
D	建筑物整体破损严重,变形、变位过大,显著影响安全性和整体使用功能	立即进行修复、补强,视条件和要求恢复到 B 级标准或报废

港口水工建筑物混凝土结构耐久性评估

分级标准及处理要求

表 3.0.7-3

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	材料劣化度符合 A 级标准规定,耐久性满足设计使用年限要求	不采取措施
B	材料劣化度符合 B 级标准规定,耐久性不满足设计使用年限要求,结构损伤尚不影响承载能力	及时采取修复措施
C	材料劣化度符合 C 级标准规定,耐久性不满足设计使用年限要求,结构损伤已影响承载能力	立即采取修复、补强措施
D	材料劣化度符合 D 级标准规定,耐久性不满足设计使用年限要求,结构严重损坏	视条件采取修复、补强措施或报废

3.0.8 港口水工建筑物的检测与评估程序应符合下列规定。

3.0.8.1 评估单元的划分应满足下列要求:

- (1)根据结构特点选择一个或若干个有代表性的区段作为评估单元;
- (2)按地基、基础和结构将评估单元划分为若干个子单元;
- (3)按构件类别将子单元划分为若干个基本单元。

3.0.8.2 检测和验算的项目及内容应根据影响地基、基础、结构或构件安全性、使用性和耐久性的因素确定。

3.0.8.3 评估分级应从基本单元、子单元和评估单元依次进行:

- (1)根据检测项目的评估结果确定基本单元等级;
- (2)根据基本单元或子单元检测项目评估结果确定子单元等级;
- (3)根据子单元的评估结果,确定评估单元等级。

3.0.9 材料劣化和地基沉降的检测宜采用定期检查和专项检测相结合的方式,对地震、台风等自然灾害或偶发事故造成的变化应以专项检测为主。

3.0.10 安全性评估应按承载力极限状态验算的结果进行。承载力极限状态验算应符合下列规定。

3.0.10.1 结构构件验算方法应符合国家现行有关标准的规定。

3.0.10.2 结构构件验算的计算模型应符合实际受力和构造状态。

3.0.10.3 结构上的作用应经调查或检测核实,并应按现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTJ 215)的有关规定确定,同时应考虑因用途变更或已有结构的改动所引起作用的变化。

3.0.10.4 材料强度标准值宜通过现场检测,并应按现行国家标准《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50158)的有关规定确定。当结构无明显功能性退化和施工缺陷时,构件材料强度标准值可采用现行规范标准值。

3.0.10.5 结构或构件几何参数应采用实测值,并应计入材料劣化、局部缺陷和施工偏差等影响。钢筋混凝土构件计算应考虑锈蚀钢筋截面积减小、屈服强度降低及钢筋与混凝土间握裹力减小等因素。

3.0.10.6 锈蚀后钢筋混凝土构件承载力验算可按附录 A 规定进行。

3.0.10.7 通过荷载试验确定结构构件承载力时,试验方法应符合国家现行有关标准的规定。

3.0.11 结构构件安全性评估应按表 3.0.11 的规定分别验算各验算项目等级,取最低一级作为该构件安全性评估等级。

结构构件安全性评估分级标准 表 3.0.11

等级 构件类别	A	B	C	D
主要构件	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
一般构件	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.85 \leq R_d/S_d < 0.90$	$R_d/S_d < 0.85$

注: R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值。

3.0.12 使用性评估应以现场调查和检测结果为基本依据。当检测只能取得部分数据或改变建筑物使用条件时,尚应按正常使用极限状态进行验算,并应符合第 3.0.10 条和现行行业标准的有关规定。

3.0.13 结构构件使用性评估应按表 3.0.13 的规定分别验算各验算项目等级,取最低一级作为该构件使用性评估等级。

结构构件使用性评估分级标准

表 3.0.13

等级 项目	A	B	C	D
钢筋混凝土或钢结构最大挠度	$r \geq 1.00$	$0.95 \leq r < 1.00$	$0.90 \leq r < 0.95$	$r < 0.90$
钢筋混凝土结构最大裂缝宽度	$r \geq 1.00$	$0.80 \leq r < 1.00$	$0.70 \leq r < 0.80$	$r < 0.70$
预应力混凝土拉应力限值	$r \geq 1.00$	$0.95 \leq r < 1.00$	$0.90 \leq r < 0.95$	$r < 0.90$

注: r 表示规范限值与实测值或验算值的比值。

3.0.14 耐久性评估应根据材料劣化度和耐久性极限状态进行。

3.0.15 耐久性损伤导致安全性、使用性功能明显退化时,尚应按承载能力极限状态或正常使用极限状态进行安全性或使用性评估。

4 混凝土结构耐久性检测与评估

4.1 腐蚀介质及工程情况的调查

4.1.1 腐蚀介质调查内容宜包括潮汐、温度、湿度、海水中氯离子含量、pH 值、水污染情况和周边其他环境侵蚀介质等。

4.1.2 工程情况的调查内容除应包括第 3.0.2 条规定的内容外，还应包括耐久性检测记录。

4.2 钢筋锈蚀劣化耐久性检测

4.2.1 锈蚀劣化外观检测应包括下列内容：

- (1)混凝土表面蜂窝、麻面和露石等原始缺陷；
- (2)钢筋锈蚀引起的锈迹、裂缝、起鼓、剥落和露筋等的位置、数量、宽度、长度和面积。

4.2.2 锈蚀劣化耐久性专项检测应包括下列内容：

- (1)混凝土物理力学性能；
- (2)混凝土保护层厚度；
- (3)混凝土碳化深度；
- (4)混凝土中氯离子渗透扩散情况；
- (5)钢筋腐蚀电位；
- (6)锈蚀钢筋断面损失及其力学性能。

4.2.3 锈蚀劣化耐久性检测方法应按附录 B 的规定执行。

4.3 混凝土冻融劣化耐久性检测

4.3.1 冻融劣化外观检测应包括下列内容：

- (1)混凝土表面蜂窝、麻面和露石等缺陷；

(2)混凝土冻融引起的剥落、露筋、冻胀裂缝、掉角、洞穴和崩溃等。

4.3.2 冻融劣化专项检测应包括下列内容：

- (1)混凝土物理力学性能；
- (2)混凝土保护层厚度；
- (3)混凝土碳化深度；
- (4)混凝土剩余冻融循环次数。

4.3.3 冻融劣化耐久性检测方法应按附录 C 的规定执行。

4.4 钢筋锈蚀劣化耐久性评估

4.4.1 钢筋锈蚀劣化耐久性评估应包括混凝土结构外观劣化度评估和结构使用年限预测。

4.4.2 外观劣化度评估应根据外观检测结果按不同构件种类进行。外观劣化度分级标准应符合表 4.4.2 的规定。

外观劣化度分级标准

表 4.4.2

构 件		等 级			
类别	检测项目	A	B	C	D
板	钢筋锈蚀	无	混凝土表面可见局部锈迹	锈迹较多,钢筋锈蚀范围较广	锈迹普遍,钢筋表面大部分或全部锈蚀,钢筋截面面积明显减少
	裂缝	无	局部有微小锈蚀裂缝,裂缝宽度小于 0.3mm	锈蚀裂缝较多或呈网状,裂缝宽度在 0.3mm 至 1.0mm 之间	大面积锈蚀裂缝呈网状,裂缝宽度大于 1.0mm
	剥离剥落	无	局部小面积空鼓	局部有剥落,空鼓和剥落面积小于区域面积的 30%	大面积剥落,空鼓和剥落面积达区域面积的 30% 以上

续表 4.4.2

构 件		等 级			
类别	检测项目	A	B	C	D
梁	钢筋锈蚀	无	混凝土表面可见局部锈迹	锈迹较多,钢筋锈蚀范围较广	锈迹普遍,钢筋表面大部分或全部锈蚀,钢筋截面面积明显减少
	裂缝	无	局部有微小锈蚀裂缝,裂缝宽度小于 0.3mm	裂缝较多,部分为顺筋连续裂缝,裂缝宽度在 0.3mm 至 3.0mm 之间	大面积顺筋连续裂缝,裂缝宽度大于 3.0mm
	剥离剥落	无	无	部分剥落,剥落长度小于构件长度的 10%	剥落长度大于构件长度的 10%
桩与桩帽	钢筋锈蚀	无	混凝土表面可见局部锈迹	锈迹较多,钢筋锈蚀范围较广	锈迹普遍,钢筋表面大部分或全部锈蚀,钢筋截面面积明显减少
	裂缝	无	局部有微小锈蚀裂缝,裂缝宽度小于 0.3mm	裂缝较多,部分为顺筋连续裂缝,裂缝宽度在 0.3mm 至 3.0mm 之间	大面积顺筋连续裂缝,裂缝宽度大于 3.0mm
	剥离剥落	无	无	部分剥落,剥落长度小于构件长度的 10%	剥落长度大于构件长度的 10%

4.4.3 劣化度外观评估等级为 C 级或 D 级的构件应进行安全性和使用性评估。

4.4.4 钢筋锈蚀劣化进程应分为钢筋开始锈蚀、保护层锈胀开裂和功能明显退化等阶段,各阶段时间的确定应符合下列规定。

4.4.4.1 钢筋开始锈蚀阶段所经历的时间可按下列公式计算:

$$t_i = \left(\frac{c}{k_{cl}} \right)^2 \quad (4.4.4-1)$$

$$k_{cl} = 2\sqrt{D}\text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{C_t}{C_s\gamma}\right) \quad (4.4.4-2)$$

式中 t_i ——从混凝土浇筑到钢筋开始锈蚀所经历的时间(a);
 c ——混凝土保护层厚度(mm);
 k_{cl} ——氯离子侵蚀系数(mm/ $\sqrt{a}$);
 D ——混凝土有效扩散系数(mm²/a);
 erf ——误差函数;
 C_t ——引起混凝土中钢筋发生腐蚀的氯离子含量临界值(%),以占胶凝材料质量百分率计;
 C_s ——混凝土表面氯离子含量(%),以占胶凝材料质量百分率计;
 γ ——氯离子双向渗透系数,角部区取 1.2,非角部区取 1.0。

(1)混凝土有效扩散系数按下列规定选取:

当结构使用时间达 10 年及 10 年以上时按实测值选取;

当结构使用时间小于 10 年时按下式计算:

$$D = D_t \left(\frac{t}{10}\right)^m \quad (4.4.4-3)$$

式中 D_t ——结构使用时间 t 时的实测扩散系数(mm²/a);
 D ——混凝土的有效扩散系数(mm²/a);
 t ——结构使用时间(a);
 m ——扩散系数衰减值,按表 4.4.4-1 选取。

扩散系数衰减值

表 4.4.4-1

混凝土类型	扩散系数衰减值 m
普通硅酸盐混凝土、掺加硅灰的混凝土	0.20
掺加粉煤灰或磨细矿渣粉的混凝土	$0.20 + 0.4(F/50 + K/70)$

注: F 、 K 分别为粉煤灰和磨细矿渣粉掺量占胶凝材料总量的百分比。

(2)引起混凝土中钢筋发生腐蚀的氯离子含量临界值根据建筑物所处实际环境条件和工程调查资料确定,在无上述可靠资料的情况下按表 4.4.4-2 选取;

引起混凝土中钢筋腐蚀的氯离子含量临界值

(按占胶凝材料质量百分率计)

表 4.4.4-2

大气区	浪溅区			水位变动区
	$0.4 < W/B \leq 0.45$	$0.35 < W/B \leq 0.40$	$W/B \leq 0.35$	
0.55	0.35	0.40	0.45	0.55

注: W/B 为混凝土的水胶比。

(3)混凝土表面氯离子含量按下列规定选取:

当结构使用时间达 10 年及 10 年以上时按实测值选取;

当结构使用时间小于 10 年时按表 4.4.4-3 选取。

混凝土表面氯离子含量

(按占胶凝材料质量百分率计)

表 4.4.4-3

水位变动区	浪溅区	大气区
5.0	4.5	3.0

4.4.4.2 保护层锈胀开裂阶段所经历的时间可按式计算:

$$t_c = \frac{\delta_{cr}}{\lambda_1} \quad (4.4.4-4)$$

式中 t_c ——自钢筋开始锈蚀至保护层开裂所经历的时间(a);

δ_{cr} ——保护层开裂时钢筋临界锈蚀深度(mm);

λ_1 ——保护层开裂前钢筋平均腐蚀速度(mm/a)。

(1)保护层开裂时钢筋临界锈蚀深度按下式计算:

$$\delta_{cr} = 0.012 \frac{c}{d} + 0.00084 f_{cuk} + 0.018 \quad (4.4.4-5)$$

式中 c ——混凝土保护层厚度(mm);

d ——钢筋原始直径(mm);

f_{cuk} ——混凝土立方体抗压强度标准值(MPa)。

(2)保护层开裂前钢筋平均腐蚀速度按下式计算:

$$\lambda_1 = 0.0116i \quad (4.4.4-6)$$

式中 λ_1 ——保护层开裂前钢筋平均腐蚀速度(mm/a);

i ——钢筋的腐蚀电流密度($\mu A/cm^2$),按表 4.4.4-4 选取。

保护层开裂前钢筋的腐蚀电流密度($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) 表 4.4.4-4

混凝土品种	浪溅区	水位变动区	大气区
普通混凝土	1.0	0.5	0.5
高性能混凝土	0.5	0.25	0.25

4.4.4.3 功能明显退化阶段所经历的时间可按式计算:

$$t_d = \left(1 - \frac{3}{\sqrt{10}}\right) \frac{d}{2\lambda_2} \quad (4.4.4-7)$$

式中 t_d ——自保护层开裂到钢筋截面面积减小至原截面 90% 所经历的时间(a);

d ——钢筋原始直径(mm);

λ_2 ——保护层开裂后钢筋平均腐蚀速度(mm/a), 按表 4.4.4-5选取。

钢筋平均腐蚀速度(mm/a) 表 4.4.4-5

浪溅区	水位变动区	大气区
0.2	0.06	0.05

注:浪溅区的钢筋混凝土板钢筋平均腐蚀速度取 0.05mm/a。

4.4.5 结构使用年限预测应符合下列规定。

4.4.5.1 钢筋混凝土结构使用年限预测应按式计算:

$$t_e = t_i + t_c + t_d \quad (4.4.5-1)$$

式中 t_e ——钢筋混凝土结构使用年限(a);

t_i ——从混凝土浇筑到钢筋开始锈蚀所经历的时间(a);

t_c ——自钢筋开始锈蚀至保护层开裂所经历的时间(a);

t_d ——自保护层开裂到钢筋截面面积减小至原截面的 90% 所经历的时间(a)。

4.4.5.2 预应力筋为钢筋的预应力混凝土结构使用年限预测应按式计算:

$$t_e = t_i + t_c \quad (4.4.5-2)$$

式中 t_e ——钢筋混凝土结构使用年限(a);

t_i ——从混凝土浇筑到钢筋开始锈蚀所经历的时间(a);

t_c ——自钢筋开始锈蚀至保护层开裂所经历的时间(a)。

4.4.5.3 预应力筋为高强钢丝、钢绞线的预应力混凝土结构使用年限预测应按下式计算：

$$t_e = t_i \quad (4.4.5-3)$$

式中 t_e ——钢筋混凝土结构使用年限(a)；

t_i ——从混凝土浇筑到钢筋开始锈蚀所经历的时间(a)。

4.4.6 混凝土结构剩余使用年限可按下式计算：

$$t_{re} = t_e - t_0 \quad (4.4.6)$$

式中 t_{re} ——混凝土结构剩余使用年限(a)；

t_e ——混凝土结构使用年限(a)；

t_0 ——混凝土结构自建成至检测时已使用的时间(a)。

4.4.7 钢筋混凝土构件腐蚀劣化耐久性评估分级标准及处理要求应符合第 3.0.7 条的规定。

4.5 混凝土冻融劣化耐久性评估

4.5.1 混凝土冻融劣化耐久性评估应根据混凝土冻融劣化外观检测结果进行,混凝土冻融劣化评估分级标准应符合表 4.5.1 的规定。

混凝土冻融劣化度评估分级标准 表 4.5.1

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	整体结构完好,表面平整,棱角俱在	不采取措施
B	表面出现麻面或脱皮现象,局部石子外露,棱角变圆,松顶现象明显	及时采取修复措施
C	棱角棱线消失,石子脱落较多,局部钢筋外露,表面破坏面积小于 40%,松顶破坏严重	立即采取修复、补强措施
D	边缘及棱角全部破坏,大面积钢筋外露,表面破坏面积达 40% 以上,局部穿洞或呈洞穴状,表面疏松	视条件采取修复、补强措施或报废

4.5.2 冻融劣化度为 A 级或 B 级的混凝土构件宜通过现场取样

进行混凝土抗冻融试验确定其剩余抗冻融循环次数。

4.5.3 冻融劣化度为 B 级或 C 级的钢筋混凝土结构应进行钢筋锈蚀耐久性检测与评估。

4.5.4 冻融劣化度为 C 级或 D 级的钢筋混凝土结构应进行安全性评估。

4.5.5 混凝土构件冻融劣化处理要求应符合第 3.0.7 条的规定。

5 钢结构耐久性检测与评估

5.1 腐蚀介质及工程情况的调查

5.1.1 腐蚀介质调查内容宜包括潮汐、温度、湿度、海水中氯离子含量、含盐量、pH 值、电阻率、水污染情况和周边其他环境侵蚀介质等。

5.1.2 工程情况的调查内容除应包括第 3.0.2 条规定的内容外，还应包括腐蚀情况检测记录。

5.2 检 测

5.2.1 钢结构外观检测应针对大气区、浪溅区、潮差区和水下区等不同部位分别检测，检测应包括下列内容：

- (1) 锈蚀发生的位置、面积和分布情况；
- (2) 钢结构表面集中锈蚀、点蚀或穿孔情况；
- (3) 外力作用引起的损伤情况。

5.2.2 钢结构构件厚度检测应根据外观检测结果选择腐蚀严重和应力大的部位。

5.2.3 钢结构的锈蚀检测方法应按附录 D 的规定执行。

5.3 评 估

5.3.1 钢结构耐久性评估验算应符合下列规定。

5.3.1.1 验算断面的选取应综合考虑钢材腐蚀状况和结构应力分布状况等不利因素。

5.3.1.2 验算断面尺寸宜采用调查结果的平均值，并应考虑坑蚀程度的影响。

5.3.1.3 腐蚀速度的计算应按下列情况分别进行:

(1)无防腐蚀措施的钢结构腐蚀速度按下式计算:

$$V_0 = \frac{D_i - D_f}{t_s} \quad (5.3.1-1)$$

式中 V_0 ——钢结构腐蚀速度(mm/a);

D_i ——钢结构原始厚度(mm);

D_f ——检测时钢结构的平均厚度(mm);

t_s ——检测时钢结构已使用的时间(a)。

(2)有防腐蚀措施,调查时原有防腐蚀措施失效,腐蚀速度按下式计算:

$$V_1 = \frac{D_i - D_f}{t_{s2} + (1 - \beta)t_{s1}} \quad (5.3.1-2)$$

式中 V_1 ——钢结构腐蚀速度(mm/a);

D_i ——钢结构原始厚度(mm);

D_f ——检测时钢结构平均厚度(mm);

t_{s2} ——防腐蚀措施失效后至调查时的时间(a);

t_{s1} ——防腐蚀措施有效工作时间(a);

β ——防腐蚀措施防腐效率,对涂层防腐或涂层与阴极保护联合防腐取 0.8 ~ 0.95,对阴极保护防腐按表 5.3.1 选取。

阴极保护防腐蚀措施防腐效率

表 5.3.1

平均潮位以上	平均潮位至设计低潮位	设计低潮位以下
$0 \leq \beta < 0.4$	$0.4 \leq \beta < 0.9$	$\beta \geq 0.9$

5.3.2 钢结构使用年限应根据腐蚀情况检测结果按下式计算:

$$t_e = t_s + \frac{D_f - D_t}{V} \quad (5.3.2)$$

式中 t_e ——钢结构使用年限(a);

t_s ——检测时钢结构已使用的时间(a);

D_f ——检测时钢结构的平均厚度(mm);

D_t ——按承载力极限状态计算得出的钢结构厚度(mm);

V ——钢结构腐蚀速度(mm/a)。

5.3.3 钢结构耐久性评估分级标准及处理要求应符合表 5.3.3 的规定。

钢结构耐久性评估分级标准及处理要求 表 5.3.3

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	具有足够的承载力,耐久性满足设计使用年限要求	不采取措施
B	腐蚀尚不显著影响承载力,耐久性不满足设计使用年限要求	及时采取修复措施
C	腐蚀已显著影响承载力,耐久性不满足设计使用年限要求	立即采取修复、补强措施
D	腐蚀已严重影响承载力,耐久性不满足设计使用年限要求	视条件采取修复、补强措施或报废

6 防腐蚀措施检测与评估

6.1 腐蚀介质及工程情况的调查

6.1.1 腐蚀介质调查内容宜包括潮汐、温度、湿度、海水中氯离子含量、含盐量、pH 值、电阻率、水污染情况和周边其他环境侵蚀介质等。

6.1.2 工程情况调查内容除应包括第 3.0.2 条的内容外,还应包括腐蚀情况和防腐蚀措施情况检测记录。

6.2 外加电流阴极保护效果检测与评估

6.2.1 外加电流阴极保护检测应包括下列内容:

- (1)保护电位;
- (2)直流电源装置的输出电压和输出电流;
- (3)辅助阳极的输出电流;
- (4)线路的绝缘阻抗;
- (5)预先安置的试片腐蚀情况;
- (6)防腐蚀系统运行不正常时被保护钢结构的厚度。

6.2.2 检测方法应按附录 E 的规定执行。

6.2.3 外加电流阴极保护效果评估分级标准及处理要求应符合表 6.2.3 的规定。

外加电流阴极保护效果评估分级标准及处理要求 表 6.2.3

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	保护电位在 $-1.05 \sim -0.8\text{V}$ 之间	不必采取措施
B	保护电位在 $-0.8\text{V} \sim \varphi_0$ 之间	查明原因并及时采取措施
C	保护电位为 φ_0 或小于 -1.05V	查明原因并立即采取措施

注:①保护电位为相对于 Ag/AgCl 海水电极测得的电位;

② φ_0 是钢结构的自然腐蚀电位;

③外加电流阴极保护措施的处理要求应综合考虑防腐蚀系统的完整性。当检测确认直流电源装置出现异常或工作运行状态不满足设计要求时,应查明原因并及时采取维修措施。

6.3 牺牲阳极阴极保护效果检测与评估

6.3.1 牺牲阳极阴极保护检测应包括下列内容:

- (1) 保护电位;
- (2) 牺牲阳极的安装状况、输出电流、阳极残余尺寸及消耗量;
- (3) 预先安置的试片腐蚀情况;
- (4) 防腐蚀系统运行不正常时被保护钢结构的厚度。

6.3.2 检测方法应按本规范附录 E 的规定执行。

6.3.3 牺牲阳极阴极保护效果评估分级标准及处理要求应符合表 6.3.3 的规定。

牺牲阳极阴极保护效果评估分级标准及处理要求 表 6.3.3

等级	分 级 标 准	处理要求
A	保护电位在 $-1.05 \sim -0.8V$ 之间, 阳极的剩余保护年限可满足设计使用年限要求	不必采取措施
B	保护电位在 $-1.05 \sim -0.8V$ 之间, 阳极的剩余保护年限不满足设计使用年限要求	查明原因并及时采取措施
	保护电位在 $-0.8V \sim \varphi_0$ 之间	
C	保护电位为 φ_0 或小于 $-1.05V$	查明原因并立即采取措施

注: ①保护电位为相对于 $Ag/AgCl$ 海水电极测得的电位;

② φ_0 为钢结构的自然腐蚀电位;

③牺牲阳极阴极保护措施的处理要求应综合考虑防腐蚀系统的完整性。当检测确认阳极有脱落、阳极连接件松动或输出电流异常时, 应查明原因并及时采取维修措施。

6.4 钢结构涂层劣化检测与评估

6.4.1 涂层劣化检测应包括下列内容:

- (1) 涂层的粉化、变色、裂纹、起泡和脱落生锈等外观变化情况;

- (2)涂层干膜厚度;
- (3)涂层与钢结构的粘结力。

6.4.2 检测方法应按附录 E 的规定执行。

6.4.3 涂层劣化评估分级标准及处理要求应符合表 6.4.3 的规定。

钢结构涂层劣化评估分级标准及处理要求 表 6.4.3

等级	分 级 标 准	处 理 要 求
A	无粉化变色或轻微粉化变色,无裂纹、起泡和脱落生锈;涂层干膜厚度不小于原设计厚度的 90%;涂层粘结力不小于 1.5MPa	不必采取措施
B	明显粉化变色,分散的裂纹、起泡和脱落生锈面积不大于 0.3%;涂层干膜厚度小于原设计厚度的 90%且不小于原设计厚度的 75%;涂层粘结力小于 1.5MPa 且不小于 1.0MPa	及时进行局部修补
C	较严重粉化变色,裂纹、起泡和脱落生锈面积大于 0.3%且不大于 1.0%;涂层干膜厚度小于原设计厚度的 75%;涂层粘结力小于 1.0MPa	立即进行修补
D	严重粉化变色,大范围的裂纹、起泡和脱落生锈面积大于 1.0%;涂层干膜厚度小于原设计厚度的 75%;刀刮容易剥离	立即进行全面修补

6.5 混凝土结构涂层劣化检测与评估

6.5.1 涂层劣化检测应包括下列内容:

- (1)涂层的粉化、变色、裂纹、起泡和脱落等外观变化情况;
- (2)涂层干膜厚度;
- (3)涂层与混凝土的粘结力。

6.5.2 检测方法应按本规范附录 E 的规定执行。

6.5.3 涂层劣化评估分级标准及处理要求应符合表 6.5.3 的规定。

混凝土结构涂层劣化评估分级标准及处理要求 表 6.5.3

等级	分 级 标 准	处理要求
A	无粉化变色或轻微粉化变色,无裂纹、起泡和脱落;涂层干膜厚度不小于原设计厚度的 90%;涂层粘结力不小于 1.5MPa	不必采取措施
B	明显粉化变色,分散的裂纹、起泡和脱落面积不大于 0.3%;涂层干膜厚度小于原设计厚度的 90%且不小于原设计厚度的 75%;涂层粘结力小于 1.5MPa 且不小于 1.0MPa	及时进行局部修补
C	较严重粉化变色,裂纹、起泡和脱落面积大于 0.3%且不大于 1.0%;涂层干膜厚度小于原设计厚度的 75%;涂层粘结力小于 1.0MPa	立即进行修补
D	严重粉化变色,大范围的裂纹、起泡和脱落面积大于 1.0%;涂层干膜厚度小于原设计厚度的 75%;刀刮容易剥离	立即进行全面修补

7 板桩码头检测与评估

7.1 检 测

7.1.1 环境条件的调查应包括下列内容：

- (1)码头前沿水深和冲淤变化情况；
- (2)码头设计水域的波浪、水位、流速和流向等水文条件的变化情况；
- (3)码头设计水域的水质变化情况；
- (4)冰情变化情况。

7.1.2 变位与变形的检测应包括下列内容：

- (1)码头前沿线的变位；
- (2)码头面的沉降、凹凸变形、码头面层的破损及开裂情况；
- (3)前墙的变形；
- (4)锚碇结构的变位；
- (5)拉杆及其连接构件的变形；
- (6)斜拉桩或斜顶桩的变位；
- (7)前后轨道梁间距及顶高程的变化。

7.1.3 结构构件破损检测应包括下列内容：

- (1)前墙、锚碇墙、导梁、胸墙或帽梁的损坏情况；
- (2)钢板桩及锁口的损坏情况；
- (3)墙后回填料流失情况及其引发的变化；
- (4)墙身排水孔的有效性；
- (5)前墙、锚碇墙或锚碇桩、胸墙或帽梁、导梁和轨道梁等的裂缝数量、位置、走向、长度、宽度和深度；
- (6)钢拉杆防腐层的完整情况。

7.1.4 混凝土结构和钢结构的耐久性检测应按第4章和第5章的规定执行。

7.1.5 检测方法应符合附录F和现行行业标准《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTJ 218)的有关规定。

7.2 评 估

7.2.1 板桩码头安全性评估应按下列规定执行。

7.2.1.1 安全性评估的复核验算应包括下列内容：

- (1)板桩码头的整体稳定性；
- (2)前墙、锚碇墙或锚碇桩的稳定性；
- (3)前墙、锚碇墙或锚碇桩的承载力；
- (4)拉杆的承载能力；
- (5)导梁、轨道梁、胸墙或帽梁的承载力。

7.2.1.2 复核验算应符合现行行业标准《板桩码头设计和施工规范》(JTJ 292)、《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267)、《港口工程钢结构设计规范》(JTJ 283)、《港口工程地基规范》(JTJ 250)等的有关规定。

7.2.1.3 板桩码头安全性评估应按表7.2.1的规定分别验算

板桩码头安全性评估分级标准 表 7.2.1

等级 项目	A	B	C	D
码头的整体稳定性	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
前墙、锚碇墙或锚碇桩的稳定性				
前墙、锚碇墙或锚碇桩承载力				
拉杆的承载力				
导梁、轨道梁、胸墙或帽梁的承载力	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.85 \leq R_d/S_d < 0.90$	$R_d/S_d < 0.85$

注： R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值。

各验算项目的等级,取最低一级作为该评估单元的安全性评估等级。

7.2.2 板桩码头使用性评估应按第 3.0.12 条和第 3.0.13 条的规定执行。

7.2.3 板桩码头耐久性评估应按第 4 章和第 5 章的规定执行。

8 重力式码头检测与评估

8.1 检 测

8.1.1 环境条件的调查应包括下列内容：

- (1)码头前沿水深和冲淤变化情况；
- (2)码头设计水域的波浪、水位、流速和流向等水文条件的变化情况；
- (3)码头设计水域的水质变化情况；
- (4)冰情变化情况。

8.1.2 变位与变形的检测应包括下列内容：

- (1)基床和基础的冲刷变化情况；
- (2)岸壁式码头的横向水平变位、沉降和倾斜；
- (3)墩式码头每一个沉箱或圆筒的水平变位、表面沉降和竖向倾斜；
- (4)码头后方陆域地表局部沉陷的位置、平面尺寸和沉陷量。

8.1.3 结构构件破损检测应包括下列内容：

- (1)水下结构和胸墙垫板、胸墙、卸荷板、胸墙块体的破损情况；
- (2)轨道梁的破损情况；
- (3)结构构件裂缝的数量、位置、走向、长度、宽度、深度及裂缝是否贯穿等情况。

8.1.4 岸壁式码头应检测后方回填倒滤层破坏情况和回填料的漏失情况。

8.1.5 重力式码头混凝土结构和钢结构的耐久性检测应按第 4 章和第 5 章的规定执行。

8.1.6 检测方法应符合附录 F 和现行行业标准《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTJ 218)的有关规定。

8.2 评 估

8.2.1 重力式码头安全性评估应按下列规定执行。

8.2.1.1 安全性评估的复核验算应包括下列内容：

- (1)对墙底面和墙身各水平缝及齿缝计算面前趾的抗倾稳定性；
- (2)沿墙底面和墙身各水平缝的抗滑稳定性；
- (3)沿基床底面的抗滑稳定性；
- (4)整体稳定性；
- (5)基床和地基承载力；
- (6)结构构件的承载力。

8.2.1.2 复核验算应符合现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 290)、《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267)、《港口工程钢结构设计规范》(JTJ 283)、《港口工程地基规范》(JTJ 250)等的有关规定。

8.2.1.3 重力式码头安全性评估应按表 8.2.1 的规定分别验算各验算项目的等级,取最低一级作为该评估单元的安全性评估等级。

重力式码头安全性评估分级标准 表 8.2.1

项目 \ 等级		A	B	C	D
抗倾稳定性		$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
抗滑稳定性					
整体稳定性					
基床和地基承载力					
结构 构件 的承 载力	卸荷板、沉箱、扶壁、 空心方块、圆筒、梁板	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
	天然地基的轨道梁、 胸墙、胸墙垫板、胸墙 块体	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.85 \leq R_d/S_d < 0.90$	$R_d/S_d < 0.85$

注： R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值。

8.2.2 重力式码头使用性评估应按第 3.0.12 条和第 3.0.13 条的规定执行。

8.2.3 重力式码头耐久性评估应按第 4 章和第 5 章的规定执行。

9 高桩码头检测与评估

9.1 检 测

9.1.1 环境条件的调查应包括下列内容：

- (1)码头设计水域的水深和冲淤变化情况；
- (2)码头设计水域的波浪、水位、流速和流向等水文条件的变化情况；
- (3)码头设计水域的水质变化情况；
- (4)冰情变化情况。

9.1.2 变位与变形的检测应包括下列内容：

- (1)码头位移引起的平面位置变化情况；
- (2)码头沉降引起的顶面高程变化情况；
- (3)码头接岸结构基础冲刷、淘空和破损的变化情况；
- (4)码头接岸结构的倾斜、位移和沉降的变化情况；
- (5)码头上部构件的挠度和扭曲情况；
- (6)桩基的位移和倾斜情况。

9.1.3 结构构件破损检测应包括下列内容：

- (1)结构构件裂缝的数量、位置、走向、宽度、深度和长度等；
- (2)结构构件混凝土剥落的位置、区域和程度等；
- (3)钢构件损伤的位置、区域和程度等。

9.1.4 高桩码头混凝土结构和钢结构的耐久性检测应按第4章和第5章的规定执行。

9.1.5 检测方法应符合附录F和现行行业标准《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTJ 218)的有关规定。

9.2 评 估

9.2.1 高桩码头安全性评估应按下列规定执行。

9.2.1.1 安全性评估复核验算应包括下列内容：

- (1)上部结构构件的承载力；
- (2)桩基的承载力；
- (3)接岸结构的承载力和稳定性；
- (4)岸坡稳定。

9.2.1.2 复核验算应符合现行行业标准《高桩码头设计与施工规范》(JTJ 291)、《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267)、《港口工程钢结构设计规范》(JTJ 283)、《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 290)、《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292)、《港口工程地基规范》(JTJ 250)和《港口工程桩基规范》(JTJ 254)等的有关规定。

9.2.1.3 高桩码头安全性评估应按表 9.2.1 的规定分别验算

高桩码头安全性评估分级标准

表 9.2.1

等级		A	B	C	D
项目					
上部结构构件的承载力	主要构件	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
	一般构件	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.85 \leq R_d/S_d < 0.90$	$R_d/S_d < 0.85$
桩基的承载力		$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
接岸结构的承载力和稳定性	板桩结构	按第 7 章的相关规定执行			
	重力式结构	按第 8 章的有关规定执行			
岸坡稳定		$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.0$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$

注： R_d 、 S_d 分别为结构构件的抗力和作用效应组合设计值。

各验算项目的等级,取最低一级作为该评估单元的安全性评估等级。

9.2.2 高桩码头使用性评估应按第 3.0.12 条和第 3.0.13 条的规定执行。

9.2.3 高桩码头的耐久性评估应按第 4 章和第 5 章的规定执行。

10 斜坡码头及浮码头检测与评估

10.1 检 测

10.1.1 环境条件的调查应包括下列内容：

- (1)岸坡、河床或海床和地基的冲淤变化情况；
- (2)码头设计水域的波浪、水位、流速和流向等水文条件的变化情况；
- (3)码头设计水域的水质变化情况；
- (4)冰情变化情况。

10.1.2 变位与变形的检测应包括下列内容：

- (1)系船块体、定位墩导桩、撑杆墩及撑杆、锚块等趸船系留设施的变位与变形；
- (2)钢引桥的变位与变形；
- (3)斜坡码头路面、轨道、轨道梁或轨枕、梁板、桩柱、墩台或挡土墙的变位与变形；
- (4)浮码头升降架、固定引桥面、梁板、桩柱、墩台或挡土墙的变位与变形。

10.1.3 结构构件破损检测应包括下列内容：

- (1)系船柱、系船块体、定位墩导桩、撑杆墩及撑杆和锚链等趸船系留设施的损坏情况；
- (2)斜坡码头轨道、轨道梁或轨枕、梁板和桩柱等结构构件的损坏情况；
- (3)浮码头升降架、梁板和桩柱等结构构件的损坏情况；
- (4)钢引桥及其连接部件的损坏情况。

10.1.4 趸船及升降架中的升降设备由专门机构另行检测和

评估。

10.1.5 斜坡码头及浮码头混凝土结构和钢结构的耐久性检测应按第4章和第5章的规定执行。

10.1.6 检测方法应符合附录F和现行行业标准《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTJ 218)的有关规定。

10.2 评 估

10.2.1 斜坡码头及浮码头的安全性评估应按下列规定执行。

10.2.1.1 安全性评估的复核验算应包括下列内容：

(1)系船柱、系船块体、定位墩导桩、撑杆墩及撑杆、锚链等趸船系留设施的承载力；

(2)斜坡码头轨道梁或轨枕、桩柱和墩台等结构构件的承载力；

(3)浮码头升降架和固定引桥的梁板、桩柱和墩台等结构构件的承载力；

(4)钢引桥主桁架或主梁、桥面系及其连接部件的承载力；

(5)岸坡的整体稳定性。

10.2.1.2 复核验算方法应符合现行行业标准《斜坡码头及浮码头设计与施工规范》(JTJ 294)、《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267)、《港口工程钢结构设计规范》(JTJ 283)、《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 290)、《港口工程地基规范》(JTJ 250)和《港口工程桩基规范》(JTJ 254)等的有关规定。

10.2.1.3 斜坡码头及浮码头的安全性评估应按表10.2.1的规定分别验算各验算项目的等级,取最低一级作为该评估单元的安全性评估等级。

10.2.2 斜坡码头及浮码头的使用性评估应按第3.0.12条和第3.0.13条的规定执行。

10.2.3 斜坡码头及浮码头耐久性评估应按第4章和第5章的规定执行。

斜坡码头及浮码头安全性评估分级标准 表 10.2.1

等级		A	B	C	D
项目					
趸船系留设施的承载力； 斜坡码头结构构件的承载力； 浮码头结构构件的承载力； 钢引桥的承载力	主要构件	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.0$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
	一般构件	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.85 \leq R_d/S_d < 0.90$	$R_d/S_d < 0.85$
岸坡的整体稳定性		$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.0$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$

注： R_d 、 S_d 分别为结构抗力和作用效应组合设计值。

11 防波堤与护岸检测与评估

11.1 检 测

11.1.1 环境条件的调查应包含下列内容：

- (1)堤前地形和水深变化情况；
- (2)波浪和水流变化情况；
- (3)冰情变化情况。

11.1.2 斜坡式防波堤与护岸的变位与变形的检测应包括下列内容：

- (1)胸墙的位移和倾斜；
- (2)堤身的沉降和位移；
- (3)护面块体的散乱、位移和下沉；
- (4)临水面坡度、肩台宽度和高程变化；
- (5)护脚块体和抛石棱体的位移、下沉,棱体宽度的变化；
- (6)护底结构层的位移、下沉和宽度的变化。

11.1.3 直立式防波堤与护岸的变位与变形的检测应包括下列内容：

- (1)上部结构的位移和倾斜；
- (2)堤身的位移、沉降和倾斜；
- (3)护面块体的散乱、位移和下沉；
- (4)护脚块体的位移和下沉；
- (5)抛石基床的散乱和下沉；
- (6)护底结构层的位移、下沉和宽度的变化。

11.1.4 斜坡式防波堤与护岸结构构件破损的检测应包括下列内容：

(1)胸墙和护面块体等重要结构构件的破损情况；

(2)重要结构构件裂缝的数量、位置、走向、长度、宽度、深度及裂缝是否贯穿等情况。

11.1.5 直立式防波堤与护岸结构构件破损的检测应包括下列内容：

(1)胸墙和堤身等重要结构构件的破损情况；

(2)重要结构构件裂缝的数量、位置、走向、长度、宽度、深度及裂缝是否贯穿等。

11.1.6 防波堤与护岸混凝土结构耐久性检测应按第4章的规定执行。

11.1.7 其他结构型式的防波堤与护岸的检测可参照直立式或斜坡式防波堤与护岸的规定进行。

11.1.8 检测方法应符合附录F和现行行业标准《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTJ 218)的有关规定。

11.2 评 估

11.2.1 防波堤与护岸安全性评估应按下列规定执行。

11.2.1.1 安全性评估的复核验算应包括下列内容：

(1)斜坡式防波堤与护岸栅栏板的承载力、胸墙的承载力和整体稳定性。

(2)直立式防波堤与护岸沿堤底和堤身各水平缝的抗滑稳定性、沿堤底和堤身各水平缝及齿缝的抗倾稳定性、沿基床底面的抗滑稳定性、构件承载力、基床和地基的承载力和整体稳定性。

11.2.1.2 复核验算应按实际情况选择计算断面,计算方法应符合现行行业标准《防波堤设计与施工规范》(JTJ 298)、《港口及航道护岸工程设计与施工规范》(JTJ 300)、《港口工程地基规范》(JTJ 250)和《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267)等的有关规定。

11.2.1.3 防波堤与护岸安全性评估应按表11.2.1的规定分别验算各验算项目的等级,取最低一级作为该评估单元的安全性评估等级。

防波堤与护岸安全性评估分级标准

表 11.2.1

等级		A	B	C	D
项目					
斜坡式	栅栏板的承载力	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.85 \leq R_d/S_d < 0.90$	$R_d/S_d < 0.85$
	胸墙的承载力				
	整体稳定性	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
直立式	抗倾稳定性	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
	抗滑稳定性	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
	构件的承载力	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.85 \leq R_d/S_d < 0.90$	$R_d/S_d < 0.85$
	上部结构				
	沉箱、扶壁、方块、圆筒	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
	基床和地基承载力	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$
	整体稳定性	$R_d/S_d \geq 1.00$	$0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$	$0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$	$R_d/S_d < 0.90$

注： R_d 、 S_d 分别为结构的抗力和作用效应组合设计值。

11.2.2 防波堤与护岸的使用性应根据检测结果按表 11.2.2 的规定进行评估。

防波堤与护岸使用性评估分级标准

表 11.2.2

等级	A	B	C	D
项目				
防波堤	防波堤断面无变化或变化不大,对港内泊稳没影响	防波堤断面略有变化,对港内泊稳略有影响	防波堤断面变化较大,对港内泊稳影响较大	防波堤断面变化很大,对港内泊稳影响很大
护岸	护岸断面无变化或变化不大,对使用没影响	护岸断面略有变化,对使用略有影响	护岸断面变化较大,对使用影响较大	护岸断面变化很大,对使用影响很大

11.2.3 防波堤混凝土结构耐久性评估应按第 4 章的规定执行。

附录 A 腐蚀后钢筋混凝土构件 承载力验算

A.0.1 腐蚀后钢筋混凝土构件承载力验算可按现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 267)的规定执行。腐蚀钢筋的抗力可按下式计算:

$$p_{yc} = \alpha_s f_{yc} A_{sc} \quad (\text{A.0.1})$$

式中 p_{yc} ——腐蚀钢筋的抗力(kN);
 α_s ——腐蚀后钢筋强度利用系数;
 f_{yc} ——腐蚀后钢筋强度设计值(MPa);
 A_{sc} ——腐蚀后钢筋截面面积(mm²)。

A.0.2 腐蚀后钢筋强度设计值的确定应符合下列规定。

A.0.2.1 截面损失率不大于 5%且腐蚀比较均匀的钢筋,腐蚀后钢筋强度设计值可按原钢筋强度设计值取用。

A.0.2.2 截面损失率大于 5%且不大于 10%的钢筋,或截面损失率不大于 5%但腐蚀不均匀的钢筋,腐蚀后钢筋强度设计值可按下式计算:

$$f_{yc} = \frac{(1 - 1.077 \eta_s)}{(1 - \eta_s)} f_y \quad (\text{A.0.2})$$

式中 f_{yc} ——腐蚀后钢筋强度设计值(MPa);
 f_y ——原钢筋强度设计值(MPa);
 η_s ——腐蚀后钢筋截面损失率。

A.0.2.3 截面损失率大于 10%时,腐蚀后钢筋强度设计值可通过试验或按经验值确定。

A.0.3 腐蚀后钢筋强度利用系数的确定应符合下列规定。

A.0.3.1 受拉钢筋腐蚀后强度利用系数可按下列规定选取:

(1) 腐蚀后配筋指标按下式计算:

$$q_0 = \frac{A_{sc} f_{yc}}{f_c b h_0} \quad (\text{A.0.3-1})$$

式中 q_0 ——腐蚀后配筋指标;

A_{sc} ——腐蚀后钢筋截面面积(mm^2);

f_{yc} ——腐蚀后钢筋强度设计值(MPa);

f_c ——混凝土原轴心抗压强度设计值(MPa);

b ——腐蚀后构件截面宽度(mm);

h_0 ——腐蚀后构件截面高度(mm)。

(2) 保护层未出现锈胀裂缝或配筋指标大于 0.246 时, 腐蚀后强度利用系数取 1.0;

(3) 保护层开裂, 钢筋腐蚀深度小于 0.3mm, 且配筋指标大于 0.246 时, 腐蚀后钢筋强度利用系数按下式计算:

$$\alpha_s = \begin{cases} 1.0 + (0.449 - 1.822q_0) \frac{\delta}{0.3} & (0.246 \leq q_0 \leq 0.444) \\ 1.0 + (-0.078 - 0.634q_0) \frac{\delta}{0.3} & (q_0 > 0.444) \end{cases} \quad (\text{A.0.3-2})$$

式中 α_s ——腐蚀后钢筋强度利用系数;

q_0 ——腐蚀后配筋指标;

δ ——钢筋腐蚀深度(mm)。

(4) 保护层开裂, 钢筋腐蚀深度小于 0.3mm, 且配筋指标大于 0.246 时, 构件受拉区的损伤长度小于梁跨的 1/3 时, 腐蚀后钢筋强度利用系数取 1.0。

(5) 保护层开裂, 钢筋腐蚀深度不小于 0.3mm, 且配筋指标大于 0.246 时, 腐蚀后钢筋强度利用系数按下式计算:

$$\alpha_s = \begin{cases} 1.449 - 1.822q_0 & (0.246 \leq q_0 \leq 0.444) \\ 0.922 - 0.634q_0 & (q_0 > 0.444) \end{cases} \quad (\text{A.0.3-3})$$

式中 α_s ——腐蚀后钢筋强度利用系数；
 q_0 ——腐蚀后配筋指标。

A.0.3.2 受压钢筋腐蚀后强度利用系数可取 1.0。

A.0.4 受压混凝土构件计算应采用等效截面,等效截面尺寸可按式计算:

$$h_e = h - \sum_{i=1}^2 \alpha_{cc} c_i \quad (\text{A.0.4-1})$$

$$b_e = b - \sum_{i=1}^2 \alpha_{cc} c_i \quad (\text{A.0.4-2})$$

式中 h_e 、 b_e ——等效截面的高度和宽度(mm)；
 h 、 b ——构件原截面的高度和宽度(mm)；
 α_{cc} ——保护层损伤系数；
 c_i ——某一侧的保护层厚度(mm)。

A.0.5 保护层损伤系数可按表 A.0.5 确定。

保护层损伤系数

表 A.0.5

构件类型	裂缝宽度 w (mm)	保护层损伤系数 α_{cc}
轴心受压构件	$w \leq 2$	$\alpha_{cc} = 0.3w$
	$2 < w \leq 3$	$\alpha_{cc} = 0.3w + (1 - 0.3w)(w - 2)$
	$w > 3$	$\alpha_{cc} = 1$
小偏心受压构件	$w \leq 2$	$\alpha_{cc} = 0.25w$
	$2 < w \leq 3$	$\alpha_{cc} = 0.25w + (1 - 0.25w)(w - 2)$
	$w > 3$	$\alpha_{cc} = 1$
大偏心受压构件	$w \leq 3$	$\alpha_{cc} = 0.15w$
	$w > 3$	$\alpha_{cc} = 1$

附录 B 混凝土结构锈蚀劣化耐久性 检测方法

B.1 锈蚀劣化外观检测

B.1.1 混凝土锈蚀劣化外观检测方法可采用目测、尺量、锤击、摄影和录像等。

B.1.2 混凝土锈蚀劣化外观检测工具可采用照相机、摄像机、钢尺、读数显微镜和小锤等。

B.1.3 混凝土表面原始缺陷宜在构件表面展开图上标出其位置、尺寸和面积。

B.1.4 钢筋锈蚀引起的锈迹、裂缝、起鼓、剥落和露筋的位置、数量、宽度、长度和面积等宜测量和记录并绘制在构件表面展开图上。

B.1.5 混凝土锈蚀裂缝应检查并记录下列内容：

- (1)裂缝的数量、位置、走向和长度；
- (2)裂缝的宽度和深度；
- (3)裂缝变化过程；
- (4)裂缝缝隙内的积物情况等。

B.1.6 混凝土锈迹应检查并记录下列内容：

- (1)锈迹的数量和位置；
- (2)锈迹的面积。

B.1.7 混凝土的剥落应检查并记录下列内容：

- (1)混凝土剥落的数量和面积；
- (2)混凝土剥落处钢筋的保护层厚度。

B.1.8 混凝土起鼓应检查并记录起鼓的数量和面积。

B.1.9 外露钢筋的锈蚀应检查并记录下列内容：

- (1)外露钢筋的数量和位置；
- (2)外露钢筋锈蚀程度。

B.1.10 裂缝宽度检测的方法和要求应符合下列规定。

B.1.10.1 裂缝宽度检测可选用读数显微镜测量,测量时,应将读数显微镜垂直跨越于缝隙的两个边缘,直接读取测试值。

B.1.10.2 对较宽的裂缝可用卡尺或钢尺测量,测点应设在裂缝两侧边沿上,测点连线应垂直于裂缝走向。

B.1.10.3 在同一条裂缝上测得的裂缝宽度最大值应作为裂缝宽度代表值,在同一条裂缝上测得的裂缝深度最大值应作为裂缝深度代表值。

B.1.10.4 宽度变化较大的裂缝应测量并标出裂缝宽度特征点的位置和测值。

B.1.10.5 检测记录应注明检测日期并附必要的说明和照片资料。

B.2 锈蚀劣化耐久性专项检测

B.2.1 混凝土物理力学性能检测应测定混凝土的抗压强度,必要时尚应测定混凝土的弹性模量和抗拉强度。混凝土抗压强度检测方法应符合下列规定。

B.2.1.1 混凝土抗压强度检测宜采用取芯法,也可采用回弹法或超声回弹综合法。

B.2.1.2 取芯钻头直径不应小于粗骨料最大粒径的 2 倍。每个代表性的部位取芯数量不得少于 3 个,取芯位置应满足下列要求：

- (1)不同区域、不同构件混凝土质量具有代表性的部位；
- (2)受力较小的部位；
- (3)避开主筋、预埋铁件和管线位置；

(4)需要修正非破损检测结果时,在取得非破损推定值的邻近测区钻取芯样。

B.2.1.3 芯样的抗压强度应按照现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的方法测定。

B.2.2 混凝土保护层厚度检测方法应符合下列规定。

B.2.2.1 测点位置应根据构件的重要性程度选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

B.2.2.2 梁、板、桩和桩帽等构件应各抽取构件数量的 2% 且不少于 5 个构件进行检测。

B.2.2.3 对选定的梁、桩和桩帽等构件,应对全部受力钢筋的保护层厚度进行检验;对选定的板类构件,应抽取不少于 6 根受力钢筋的保护层进行检测。每根钢筋在有代表性的部位应至少测量 3 点。

B.2.2.4 混凝土保护层厚度可采用混凝土保护层厚度测定仪检测,必要时可用局部破损的方法对测定仪测量结果进行校准。检测允许偏差应为 $\pm 1\text{mm}$ 。

B.2.3 混凝土碳化深度检测方法应符合下列规定。

B.2.3.1 测点位置应选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

B.2.3.2 不同区域应各抽取构件数量的 2% 且不少于 3 个构件进行检测。每个构件检测点不得少于 2 个。

B.2.3.3 碳化深度宜采用钻孔法测定,并应符合下列规定:

(1)在测点位置钻孔,并清理干净孔内表面粉末;

(2)将 1% 的酚酞乙醇溶液喷在孔壁上,经 30s 后测定该点的碳化深度;

(3)测量时避开粗骨料颗粒,每个孔测量 3 个值,取算术平均值为碳化深度测定值。碳化深度测量精确至 0.5mm。

B.2.4 钢筋腐蚀截面面积损失检测方法应符合下列规定。

B.2.4.1 测点位置应选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

B.2.4.2 不同区域应各抽取不少于 3 个腐蚀严重的构件,每构件应选择不少于 2 根腐蚀严重的钢筋进行检测。

B.2.4.3 钢筋腐蚀截面面积损失检测应凿除钢筋周围混凝土,除去钢筋表面的锈层,用卡尺直接测量钢筋的直径,测量精度不应小于 0.1mm。

B.2.4.4 钢筋截面面积损失率可按下列式计算:

$$P = \frac{(R_i^2 - R_f^2)}{R_i^2} \times 100\% \quad (\text{B.2.4})$$

式中 P ——钢筋截面面积损失率(%);

R_i ——未锈蚀钢筋的平均截面直径(mm);

R_f ——锈蚀钢筋的平均截面直径(mm)。

B.2.5 钢筋腐蚀电位检测方法应符合下列规定。

B.2.5.1 测点位置应选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

B.2.5.2 不同区域应各抽取构件数量的 5% 且不少于 10 个构件进行检验。对选定的各类构件,应对全部钢筋的腐蚀电位进行检测。

B.2.5.3 采用钢筋腐蚀测定仪测定腐蚀电位宜按下列程序进行:

(1)在构件表面以网格形式布置测点,测点纵、横向间距为 100~300mm。相邻两测点测值差超过 150mV 时,适当缩小测点间距;

(2)测量前对待测定钢筋的混凝土表面用喷淋的方法预湿,确保测值稳定;

(3)凿除待测构件混凝土保护层,对待测钢筋除锈、擦光;

(4)钢筋腐蚀测定仪正极连接已除锈钢筋,负极连接 Cu/CuSO₄ 参比电极,确保电连接良好;

(5)开启钢筋腐蚀测定仪,读取并记录腐蚀电位测定值;

(6)按测量结果绘制构件表面腐蚀电位图。

B.2.5.4 钢筋腐蚀情况应根据检测数据按下列规定判定:

(1)腐蚀电位正向大于 -200mV,则此区域发生钢筋腐蚀概率小于 10%;

(2)腐蚀电位负向大于 -350mV , 则此区域发生钢筋腐蚀概率大于 90%;

(3)腐蚀电位在 $-200 \sim -350\text{mV}$ 之间, 则此区域钢筋腐蚀性状不确定。

B.2.6 混凝土中氯离子渗透扩散情况检测方法应符合下列规定。

B.2.6.1 测点位置应选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

B.2.6.2 不同区域应各抽取构件数量的 5% 且不少于 10 个构件进行检验。

B.2.6.3 取样位置应选择在主筋附近并避开混凝土裂缝和明显缺陷。

B.2.6.4 混凝土粉样应分层取样, 每一取样点不得少于 5 层, 各层粉样不得相混。

B.2.6.5 取样点相邻位置相同深度段的粉样可混合为一个试样。

B.2.6.6 混凝土中氯离子含量应按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270) 的方法测定。

B.2.6.7 混凝土氯离子扩散系数和混凝土表面氯离子含量可按式计算:

$$C_{x,t} = C_i + (C_s - C_i) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{4D_t t}} \right) \right] \quad (\text{B.2.6})$$

式中 $C_{x,t}$ ——龄期 t 时不同深度处的氯离子含量(以占胶凝材料质量百分率计);

C_i ——混凝土中原始氯离子含量(以占胶凝材料质量百分率计);

C_s ——混凝土表面氯离子含量(以占胶凝材料质量百分率计);

erf ——误差函数;

x ——距离混凝土表面的深度(cm);

D_t ——氯离子扩散系数(cm^2/s);

t ——混凝土暴露于环境中经过的时间(s)。

附录 C 混凝土结构冻融劣化耐久性检测方法

C.1 冻融劣化外观检测

C.1.1 冻融劣化外观检测方法可参照现行行业标准《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTJ 218)的规定执行。

C.2 冻融劣化专项检测

C.2.1 混凝土物理力学性能、保护层厚度和碳化深度的检测可参照附录 B 的规定执行。

C.2.2 混凝土剩余冻融循环次数检测应符合下列规定。

C.2.2.1 芯样应选择在具有代表性的部位钻取。

C.2.2.2 冻融芯样试件尺寸应按构件的厚度选定：

(1)构件厚度不小于 500mm 时,制作 $\Phi 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 圆柱体试件；

(2)构件厚度小于 500mm 时,制作 $\Phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 圆柱体试件。

C.2.2.3 检测时应同配比制作 $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 试件和 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 标准试件,并应在 $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 试件上钻取 $\Phi 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 或 $\Phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 圆柱体试件。

C.2.2.4 试件的抗冻性试验应按现行行业标准《水运工程混凝土试验规程》(JTJ 270)的规定进行。

C.2.3 混凝土剩余冻融循环次数可按下式计算：

$$F = \frac{F_2}{F_1} F_i \quad (\text{C.2.3})$$

式中 F ——混凝土剩余冻融循环次数；

F_1 ——同配比制作 $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 试件上钻取的 $\Phi 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 或 $\Phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 圆柱体试件冻融循环次数；

F_2 ——同配比制作 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 标准试件冻融循环次数；

F_i ——结构上钻取的芯样试件冻融循环次数。

附录 D 钢结构锈蚀检测方法

D.1 构件外观检测

D.1.1 构件外观检测应对水上部位和水下部位分别进行,并重点选择腐蚀严重部位。

D.1.2 外观检测方法可采取目测、尺量、锤击、摄影和录像等,水下部位外观检测应由潜水员进行。

D.1.3 局部腐蚀深度在 3mm 以上时宜采用深度计测定腐蚀深度。

D.1.4 锈蚀情况应记录并绘制在构件表面展开图上。

D.2 构件厚度检测

D.2.1 构件厚度测点位置应选择在不同区域、不同构件具有代表性的部位。

D.2.2 钢管桩厚度检测宜抽取构件数量的 5% 且不少于 10 个构件进行,同一构件代表性部位的测点数量不应少于 3 点。

D.2.3 钢板桩厚度检测宜沿码头岸线不大于 30m 选取一组构件,取有代表性的部位分别对凹面和凸面进行厚度测定。

D.2.4 构件厚度检测可采用钢结构水下超声波厚度测定仪,并应满足下列要求:

(1) 钢结构水下超声波厚度测定仪测量允许偏差为 $\pm 0.2\text{mm}$;

(2) 壁厚测定前除去钢结构表层的海生物和浮锈等;

(3) 应对各代表性区域的测值用数理统计方法计算钢结构厚度的最大值、最小值、平均值和标准差。

D.2.5 钢结构腐蚀速率可按下式计算:

$$P = \frac{(D_i - D_f)}{t} \quad (\text{D.2.5})$$

式中 P ——钢结构腐蚀速率(mm/a);
 D_i ——钢结构原始厚度(mm);
 D_f ——钢结构实测厚度(mm);
 t ——钢结构暴露于环境中经历的时间(a)。

附录 E 防腐蚀措施检测方法

E.1 电位检测

E.1.1 电位测定可采用内部阻抗为 $1\text{M}\Omega/\text{V}$ 以上的直流电压计、银/氯化银参比电极或饱和甘汞参比电极、电位测定装置。

E.1.2 电位测定宜在测定装置及其中点位置设置测点,且测点沿码头岸线方向间隔不宜大于 20m、在水中深度方向间隔不宜大于 3m,并应保证在离阳极最近和最远处均有测点。

E.1.3 检测时电压计的正极应与参比电极相连,负极应与电位测定装置相连。

E.2 直流电源装置的运行状况检测

E.2.1 直流电源装置的运行状况检测应将检测结果与规定值和前次检测结果作比较。输出电压和电流值不符合规定值或与前次检测结果有较大差异时,应对电路进行详细检查。

E.2.2 在电压调节器上切换电压时,应检查变压器、整流器、开关和接头等直流电源装置是否有异常温升,并应对直流电源装置的接地和回路的绝缘进行检查。

E.2.3 检查辅助阳极应测定各电极的电流。电流值不符合设计规定值时,应通过目视检查同一回路内电极并测定通电电流,尚应查明故障部位及原因并及时进行处理。

E.2.4 直流电源装置的运行状况检测应测定线路的绝缘阻抗,绝缘不良的部位应查明原因并及时进行处理。

E.3 试片腐蚀情况检测

E.3.1 试片腐蚀情况检测应将试片取出,经处理后称重,并应计

算腐蚀速度和防腐效率。

E.3.2 腐蚀速度可按下式计算：

$$V = \frac{G_l}{st\rho} \quad (\text{E.3.2})$$

式中 V ——腐蚀速度(mm/a)；

G_l ——腐蚀引起的失重量(g)；

s ——试片表面积(mm²)；

t ——试验时间(a)；

ρ ——试片密度(g/mm³)。

E.3.3 防腐效率可按下式计算：

$$\mu = \frac{(G_b - G_e)}{G_e} \times 100\% \quad (\text{E.3.3})$$

式中 μ ——防腐效率(%)；

G_b ——不通电试片失重量(g)；

G_e ——通电试片失重量(g)。

E.4 牺牲阳极检测

E.4.1 阳极的安装状况检测应由潜水员检查阳极数量、安装连接状态和阳极溶解消耗情况,水下录像或水下摄影检查的阳极数量不得少于阳极总数的 5%。

E.4.2 阳极残余尺寸应由潜水员水下测量,检测数量应随机选取阳极总数的 5% ~ 10%,必要时应取出适量阳极进行称重校核。

E.4.3 阳极尺寸测量时应除去附着在阳极表面的腐蚀生成物,并应测量阳极两端距端部各 100mm 处的周长、阳极中部周长和阳极的长度。

E.4.4 阳极的剩余重量可按下式计算：

$$Q_e = \left[\left(\frac{D_1 + D_2 + D_3}{12} \right)^2 L - V \right] \rho \times 10^{-3} \quad (\text{E.4.4})$$

式中 Q_e ——阳极的剩余重量(kg)；

D_1 、 D_3 ——剩余阳极两端距端部各 100mm 处的周长(mm)；

D_2 ——剩余阳极中部的外周长(mm);

L ——剩余阳极的长度(mm);

V ——芯棒体积(mm^3);

ρ ——阳极密度(g/mm^3)。

E.4.5 阳极剩余年限可按下式计算:

$$t_e = \frac{Q_e}{Q_e - Q_0} t \quad (\text{E.4.5})$$

式中 t_e ——阳极剩余年限(a);

Q_e ——阳极的剩余重量(kg);

Q_0 ——阳极的初始重量(kg);

t ——阳极使用年数(a)。

E.5 涂层劣化检测

E.5.1 涂层劣化外观检测方法可采用目测、读数显微镜测量、锤击、摄影和录像等。

E.5.2 涂层劣化检测前应清除检测部位的附着物。

E.5.3 涂层劣化检测测点应根据涂层外观整体变化情况,布置在有代表性的结构部位,并应符合下列规定。

E.5.3.1 高桩码头宜按每 1~2 跨选择检测部位,其他结构型式宜按码头前沿线每 20~30m 选择检测部位,并按大气区、浪溅区和潮差区分别设置测点。

E.5.3.2 板桩结构同一测点处应分别对凹桩和凸桩进行检测。

E.5.3.3 异常部位或构件应适当增加测点。

E.5.4 涂层劣化检测方法可参照现行行业标准《海港工程钢结构防腐蚀技术规定》(JTJ 230)和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)的规定执行。

附录 F 冲淤变化检测方法

F.0.1 冲淤变化检测应根据实际情况设置检测断面和测点,并应符合现行行业标准《水运工程测量规范》(JTJ 203)和《内河航道维护技术规范》(JTJ 287)的有关规定。

F.0.2 冲淤变化检测方法可采用地形测量、高程测量、水深测量、潜水探摸和录像等,检测技术要求应符合现行行业标准《水运工程测量规范》(JTJ 203)和《内河航道维护技术规范》(JTJ 287)的有关规定。必要时应水下采样进行粒径检测分析和启动流速试验。

F.0.3 冲淤变化检测仪器应主要包括水准仪、液体静力仪、标尺、经纬仪、GPS 仪、回声测深仪、测深杆、测深锤、钢卷尺、取样器和探钎等。

F.0.4 冲淤变化检测宜提交下列成果:

- (1)控制点和检测点详图;
- (2)原始数据记录表、摄影和录像资料;
- (3)变形曲线图、过程线图和分布图;
- (4)采样样品试验成果;
- (5)检测成果计算、分析和说明资料;
- (6)对变化趋势作出预报并提出处理建议。

附录 G 本规范用词用语说明

G.0.1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度的用词用语说明如下:

(1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”或“可”;

反面词采用“不宜”。

G.0.2 条文中指应按其他有关标准、规范执行时,写法为“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

本规范主编单位、参加单位、 主要起草人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:中交四航工程研究院有限公司

参 加 单 位:中交第一航务工程勘察设计院有限公司

中交第二航务工程勘察设计院有限公司

中交第三航务工程勘察设计院有限公司

中交四航局港湾工程设计院有限公司

交通部天津水运工程科学研究所

中交上海港湾工程研究设计院有限公司

主 要 起 草 人:潘德强(中交四航工程研究院有限公司)

王胜年(中交四航工程研究院有限公司)

(以下按姓氏笔画为序)

王永平(中交四航工程研究院有限公司)

王笑难(交通部天津水运工程科学研究所)

吕卫清(中交四航局港湾工程设计院有限公司)

朱崇诚(交通部天津水运工程科学研究所)

陆旭峰(中交上海港湾工程设计研究院有限公司)

杨丽民(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

吴荔丹(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

张黎明(中交第三航务工程勘察设计院有限公司)

钟相尧(中交第二航务工程勘察设计院有限公司)

总校人员名单:何文辉(交通部水运司)

吴敦龙(中交水运规划设计院有限公司)

潘德强(中交四航工程研究院有限公司)

王胜年(中交四航工程研究院有限公司)

范志宏(中交四航工程研究院有限公司)

董 方(人民交通出版社)

管理组人员名单:王胜年(中交四航工程研究院有限公司)

黄君哲(中交四航工程研究院有限公司)

杨丽民(中交第一航务工程勘察设计院有限公司)

王小平(中交四航局港湾工程设计院有限公司)

中华人民共和国行业标准

港口水工建筑物检测与评估技术规范

JTJ 302—2006

条文说明

目 次

1	总则	(60)
3	基本规定	(61)
4	混凝土结构耐久性检测与评估	(64)
4.4	钢筋锈蚀劣化耐久性评估	(64)
6	防腐蚀措施检测与评估	(70)
6.2	外加电流阴极保护效果检测与评估	(70)
6.3	牺牲阳极阴极保护效果检测与评估	(70)
6.4	钢结构涂层劣化检测与评估	(70)
6.5	混凝土结构涂层劣化检测与评估	(71)
7	板桩码头检测与评估	(72)
7.1	检测	(72)
9	高桩码头检测与评估	(73)
9.2	评估	(73)
10	斜坡码头及浮码头检测与评估	(74)
10.2	评估	(74)
11	防波堤与护岸检测与评估	(75)
11.1	检测	(75)
11.2	评估	(75)

1 总 则

1.0.1 20 世纪 70 年代以来,随着我国国民经济的发展,我国筑港事业得到飞速发展,兴建了大量港口码头等水工建筑物,对推动我国国民经济的发展起到十分重要的作用。但是随着运行时间的增长,目前大量已建水工建筑物已出现材料劣化和功能降低等现象。业主或使用部门迫切希望对这些功能下降的建筑物能及时地进行检测,评估现有建筑物的安全性、使用性和耐久性功能以便及时采取措施恢复其功能。另外,因生产需要对现有建筑物进行改造提高或改变其原设计使用功能,也必需对现有建筑物通过检测做出正确的评估。但是,迄今为止,我国尚无一本涉及港口水工建筑物检测与评估的规范。因此,有必要制定本规范,以便科学、合理地检测和评估已建港口水工建筑物的安全性、使用性和耐久性,为维护、维修、加固和改造方案提供依据。

1.0.3 执行本规范涉及国家现行有关标准较多,因此,对已建港口水工建筑物的检测与评估除应执行本规范外,本规范未作规定的,尚应符合国家现行相关标准的规定。

3 基本规定

3.0.2 本条规定的初步调查内容,不要求全部都要调查,具体需要调查的内容可根据实际情况选定。如原勘察设计文件和竣工资料包括工程地质勘察报告、设计计算书、设计变更记录、施工图、施工及施工变更记录、竣工图、竣工质量检查及验收文件等;建筑物的历史包括建筑物始建、投产、改建、用途变更、使用条件改变及受灾、事故等情况;使用、维护管理过程中定期检查和维护资料包括检查内容、频率、时间及材料劣化、地基沉降等随时间发展的变化情况;现场考察包括对实际工程按资料进行核对、调查工程项目的实际使用条件、内外环境及水文气象资料、查看已发现的问题等。

3.0.8 港口水工建筑物的特点不仅结构复杂,构件相互关连,而且作用于结构物的外部因素多种多样。由于所处环境条件恶劣,因而其变化的机理极其复杂,各种变化都有可能发生,如对所有变化都要进行检测与评估,这样做太费工费时,也不现实。因此,检测与评估分评估单元、子单元和基本单元。

3.0.9 港口水工建筑物使用过程中发生的许多变化是随着时间的推移导致结构物或构件的某些功能有规律地下降。混凝土结构由于氯离子的渗入引起的钢筋腐蚀破坏、在反复冻融作用下产生的冻融破坏、钢结构发生的钢材腐蚀及地基沉降等,这些变化与时间的关系不可能凭一次特定的检测结果就能得出正确的判断,因此规定采取定期检测与专项检测相结合的方式,在可能的条件下,尽量利用管理部门的定期检查的资料进行综合分析。

3.0.10 对已建港口水工建筑物按承载能力极限状态验算时,首先需要考虑如何确定符合实际情况的作用(荷载)。由于已建建筑

物与新建建筑物不同,不能单纯按现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTJ 215)取值,还必需对结构物上的作用通过调查核实,再按《港口工程荷载规范》(JTJ 215)规定的原则确定。对已建建筑物的结构进行承载能力验算,另一重点问题是如何为计算抗力提供符合现有构件材料的实际强度标准值。考虑到要确定已有建筑物构件材料实际的强度标准值需要大量取样检测确定,因此本规范规定,验算时构件材料的标准值可采用现行规范规定的标准值,若对材料强度有怀疑时,才进行现场检测并按现行国家标准《港口工程可靠度设计统一标准》(GB 50158)规定的原则确定。

3.0.11 本规范规定的港口工程结构按承力分级标准是以现行国家标准《港口工程可靠度设计统一标准》(GB 50158)规定的可靠指标为基础来确定安全等级的界限。并参考现行国家标准《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB 50292)的分级原则,将结构的目标可靠指标作为设计要求目标,将目标可靠指标减 0.25 作为不得低于规定的质量下限,这是基于目标可靠指标系根据我国港口工程材料和构件性能统计参数的平均值校准得到的。因此它所代表的水平相当于全国平均水平,实际的材料和构件性能可能在此质量水平上下波动。因此规定将目标可靠指标减 0.25 作为工程质量的下限,此值相当于其失效概率运算值上升半个数量级。

基于以上考虑,本规范将结构构件安全性评估按承载力分为 4 级:

A 级 安全性符合现行国家有关标准 β_0 的要求,有足够的承载力,其验算表征为 $R_d/S_d \geq 1$,分级标准表述为安全性符合本规范对 A 级的要求,不必采取措施。

B 级 约低于现行国家标准对 β_0 的要求,但可达到或超过对工程质量下限的可靠度水平,即可靠度指标 $\beta \geq \beta_0 - 0.25$,验算表征为 $0.95 \leq R_d/S_d < 1$,尚不影响承载能力,可不采取处理措施。

C 级 不符合现行规范对 β_0 的要求,其可靠指标下限已超过工程质量下限,但未达到随时有破坏可能的程度,因此,其可靠指

标 β 的下浮按构件的失效概率增大一个数量级估计即： $\beta_0 - 0.5 \leq \beta < \beta_0 - 0.25$ ，验算表征为： $0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$ ；表述为：安全性不符合国家有关标准要求，显著影响承载力，应进行维修加固，视条件和要求恢复到 A 级或 B 级标准。

D 级 严重不符合现行规范对 β_0 的要求，其可靠指标下降已超过 0.5，验算表征为 $R_d/S_d < 0.9$ ，分级标准表述为安全性严重不符合现行国家有关标准要求，已严重影响承载力，应立即进行维修加固，视条件和要求恢复到 B 级标准或报废。

3.0.12、3.0.13 港口水工建筑物使用性评估是按正常使用极限状态，主要针对荷载作用下影响正常使用或影响外观的过大变形（挠度），裂缝等。在本规范中，混凝土结构因钢筋锈蚀产生的顺筋裂缝或因冻融产生的损伤属耐久性评估范畴。基于港口附属设施属于港口管理部门正常维护内容，本规范不包涵对港口附属设施的使用性评估。使用性评估分级是以实测值或验算值与现行规范规定的限值的比值进行划分，划分的基本原则类同安全性评估分级标准，将结构的目标可靠指标作为设计要求目标，将目标可靠指标减 0.25 作为不得低于规定的质量下限。基于目前规范规定的裂缝宽度限值主要从防止侵蚀介质的侵入引起钢筋发生腐蚀的最小宽度，我国现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ 268)和《海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)中，将浪溅区、大气区最大裂缝限值定为 0.2mm，水位变动区定为 0.25mm。但目前许多研究成果认为，方向垂直钢筋的裂缝宽度不大于 0.3mm，对钢筋腐蚀不会产生不利影响，因此混凝土的允许裂缝宽度可以放宽到 0.3mm 或按混凝土保护层厚度的 0.004 倍控制。目前国外不少规范也按此作了相应的规定，如国际结构混凝土学会(FIB)、日本土木工程学会的混凝土结构设计标准规定为保护层厚度的 0.004 倍或 0.3mm。因此，本规范将规范值/实测值或验算值划分为 B 级时定为大于等于 0.8 且小于 1.00，C 级标准定为大于等于 0.7 且小于 0.8，即使这样，B 级或 C 级允许的实测值或验算值仍控制在 0.3mm 以内。

4 混凝土结构耐久性检测与评估

4.4 钢筋锈蚀劣化耐久性评估

4.4.1、4.4.2 本规范混凝土结构耐久性检测与评估主要针对处于海水环境中混凝土结构因氯离子渗入和冻融损伤引起混凝土中钢筋发生锈蚀、混凝土保护层开裂、结构承载力下降等损伤过程,以及对使用年限的影响。基于氯盐引起的腐蚀破坏大致分为能够以目测发现和不能发现的两大类。以目测能发现的指混凝土表面出现明显变化,如锈点、锈水、裂缝、起鼓、剥离、剥落和露筋等,另一类是直接以目视尚不能发现的潜在变化,是不易被发现的,需要通过检测取样分析才能得出正确的判断。对前者可通过外观检查,根据其劣化程度进行劣化度评价,目的是为了根据劣化变化调查结果判断是否需要进一步进行检测评估,以及检测评估的内容和方案。

4.4.3 当混凝土结构劣化度外观评估为 C、D 级时,由于混凝土保护层出现了许多较宽的锈胀裂缝或剥离剥落,对构件的承载力和使用性将产生较大的影响,因此尚应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行安全性或使用性评估。

4.4.4 我国《港口工程结构可靠度设计统一标准》对耐久性极限状态没有给出明确定义,本规范按海水环境下混凝土结构钢筋腐蚀破坏过程划分为钢筋开始锈蚀、保护层锈胀开裂和功能明显退化三阶段分段进行评估。

(1)钢筋开始锈蚀 t_i 是指混凝土结构暴露于海水环境至氯离子渗入到钢筋周围达到引起钢筋腐蚀的临界含量所经历的时间。 t_i 的计算模型采用国内外学者基本公认的费克第二定律为基础的

计算模式。由于一些参数,如:混凝土有效扩散系数 D_t 、混凝土表面氯离子含量 C_s 、引起混凝土中钢筋发生腐蚀的氯离子临界含量 C_t 等受到暴露环境、暴露时间等各种极为复杂因素的影响,存在着较大的不确定性,为了尽可能准确,原则上都以对实际混凝土构件上检测的数据为主。

①混凝土有效扩散系数 D 的确定:

混凝土扩散系数是随时间不断衰减的,美国 Life-365 预测暴露于氯离子环境下钢筋混凝土的使用年限和生命周期费用预测软件建议按下式确定:

$$D_t = D_{ref} \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m$$

式中 D_t ——结构使用时间 t 时的扩散系数(mm^2/a);

D_{ref} ——在某一参考时间的扩散系数(mm^2/a);

t_{ref} ——某一参考时间(a),在 Life-365 软件中使用 28 天作为参考时间;

t ——建筑物使用时间(a);

m ——与混凝土配合比有关的常量,其取值与水胶比、掺合料的品种及掺量等有关。

Life-365 建立的扩散系数随时间衰减的关系式,其基本思路是可行的,但未考虑实际暴露环境的影响,用该式来估算时可能误差很大,因此本规范考虑到已建工程的耐久性评估,一般都有 10 年以上的历史,10 年以后 D_t 的衰减幅度已比较小,因此规定当建筑物使用时间 $t \geq 10$ 年时,有效扩散系数 D 按实际测值选取,今后 D 随时间进一步的衰减作为安全储备;若调查评估时建筑物使用时间 $t < 10$ 年,则应按 Life-365 建议的公式及 m 值按 10 年使用期进行计算有效扩散系数 D ,因此,按本规范规定检测评估的 t_0 值一般偏小,也就是偏于保守或安全。

②混凝土表面氯离子含量 C_s 取值:

C_s 值的大小与暴露条件、混凝土结构物所处的暴露位置(高程)及时间长短有关,通常 C_s 是随混凝土暴露于海水环境的时间

增加而增大。国外一些资料认为,当暴露年限超过 10 年后认为基本恒定。因此本规范规定,当结构物使用时间 $t \geq 10$ 年时, C_s 按实测值选取,当结构物使用时间 $t < 10$ 年时按表 4.4.4-4 取值。

由于我国缺乏海港工程混凝土表面氯离子含量 C_s 值的统计分析资料,表 4.4.4-4 中 C_s 规定值是借鉴美国混凝土学会 Life-365 (表 1)、英国 Bamforth 建议用于设计的混凝土表面氯离子含量(表 2)、日本土木学会标准(表 3)和欧洲 Duracrete 关于 C_s 取值的规定(表 4)综合分析确定。

美国 Life-365 近海大气区混凝土表面的氯离子含量

(按混凝土质量百分率计)

表 1

环境	每年增加速度	最终定值	环境	每年增加速度	最终定值
潮汐浪溅区	瞬时到定值	0.8%	离海岸 800m 内	0.04%	0.6%
海上盐雾区	0.10%	1.0%	离海岸 1.5km 内	0.02%	0.6%

英国 Bamforth 用于设计的表面氯离子含量

(按混凝土质量百分率计)

表 2

环境	海洋浪溅区	海洋浪雾区	海洋大气区
硅酸盐水泥混凝土	0.75%(4.5%)	0.5%(3%)	0.25%(1.5%)
加有掺和料的水泥混凝土	0.9%(5.4%)	0.6%(3.6%)	0.3%(1.8%)

日本土木学会近海大气区混凝土表面的氯离子含量

(按混凝土质量百分率计)

表 3

浪溅区	离海岸距离(km)				
	岸线附近	0.1	0.25	0.5	1.0
0.65%	0.45%	0.225%	0.15%	0.1%	0.075%

欧洲 Duracrete 混凝土表面氯离子含量

(按混凝土质量百分率计)

表 4

	大气区		浪溅区			水位变动区	
水胶比	0.55	0.50	0.50	0.40	0.35	0.45	0.50
C_s	0.18%	0.20%	0.61%	0.54%	0.51%	0.60%	0.61%

表 4 是依据 Duracrete 对混凝土表面氯离子含量取值规定(Duracrete 规定潮汐浪溅区 $C_s = 7.76 \times (W/B)\% \times$ 胶凝材料重量,大气区 $C_s = 2.57 \times (W/B)\% \times$ 胶凝材料重量)和我国《海港混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTJ 275)规定的浪溅区、水位变动区、大气区的最大水灰比和最低水泥用量,按混凝土容重为 2300kg/m^3 计算得出的结果。

③关于钢筋腐蚀氯离子临界含量 C_i 取值:

引起混凝土中开始腐蚀的氯离子含量临界值受到混凝土孔隙液中 $[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$ 比值大小,环境条件等许多因素的影响,综合有关资料,氯离子含量临界值变动范围为 $0.17\% \sim 2.5\%$ (以全部氯离子占胶凝材料质量计百分数),目前比较公认的范围为 $0.2\% \sim 0.6\%$,本规范处于浪溅区的混凝土构件取氯离子含量临界值 C_i 为 $0.35\% \sim 0.45\%$ 。基于位于水位变动区的混凝土常处于饱水状态,由于缺氧,氯离子含量临界值大大提高,甚至可达胶凝材料质量的 1.0% ,位于大气区的混凝土结构相对干燥,电阻率会大大提高,阳极与阴极间的离子传导相对困难,因此将水位变动区和大气区氯离子含量临界浓度定为 0.55% 。

各国标准对 C_i 的取值规定差异很大,以浪溅区为例,欧洲 Durecrete 规定为 $0.5\% \sim 0.9\%$ (与水灰比有关),英国 Bamforth 为 $0.4\% \sim 1.5\%$ (与保水程度和水灰比有关),美国 life 365 为 0.3% ,日本土木学会为 0.3% ,本标准 C_i 取值与美、日标准接近。

(2)关于混凝土结构从钢筋开始锈蚀至保护层开裂时间 t_c 的确定。

本规范计算 t_c 的公式引自建设部标准《混凝土结构耐久性评定标准》,按该式计算,处于浪溅区的钢筋混凝土构件,对普通混凝土 t_1 大约为 $5 \sim 7$ 年,高性能混凝土为 $13 \sim 16$ 年,基本与实际情况相符。

钢筋从开始腐蚀到使混凝土保护层胀裂的时间与混凝土的强度、保护层厚度与钢筋直径的比值有极大关系。由于混凝土中钢筋发生锈蚀时,其锈蚀产物会发生膨胀,体积一般可比钢材体积增

大 3~4 倍,当体积膨胀产生的拉应力超过混凝土自身的抗拉强度时就会产生顺筋裂缝,因此混凝土强度愈高或水胶比愈低的混凝土在相同条件下导致混凝土发生顺筋开裂的时间越长。当混凝土保护层相同时,钢筋愈粗,混凝土保护层厚度 c 与钢筋直径 d 的比值愈小, t_c 也就愈短,国外一些研究强调, c/d 值和混凝土立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 是影响 t_c 的主要参数, t_c 值随着 c/d 值和 $f_{cu,k}$ 增大而增大。

此外,钢筋从开始腐蚀到使混凝土保护层胀裂的时间与钢筋腐蚀速度有关,钢筋腐蚀速度可按式(4.4.4-6)由腐蚀电流密度得出,而钢筋腐蚀电流密度与环境温度、混凝土电阻率、钢筋周围氯离子含量等有关。表 4.4.4-4 的腐蚀电流密度是根据 Andrade 室内试验和现场实际结构检测结果对钢筋腐蚀等级划分的建议、结合海港工程环境条件和混凝土质量制定的。Andrade 等对钢筋腐蚀等级划分建议见表 5。

Andrade 等对钢筋腐蚀等级划分建议

表 5

钢筋的腐蚀电流密度 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	钢筋腐蚀等级	混凝土电阻率 ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$)
<0.1	可忽略不计	>100~200
0.1~0.5	低	
0.5~1.0	中	10~100
>1.0	高	

(3)关于混凝土结构功能明显退化时间 t_d 的确定:

国内外大量试验结果表明:当混凝土中钢筋发生顺筋锈胀开裂,在截面损失率小于 5% 的范围内,只要结构细部设计考虑了箍筋长度和抗剪切性能,一般不会发生钢筋/混凝土的粘结破坏,对钢筋延伸率、钢筋屈服强度和抗拉极限强度都无明显影响,按极限承载能力计算时可仅考虑截面的折减,当截面损失率在 5%~10% 的范围内,由于腐蚀不均匀,钢筋屈服强度、抗拉强度及延伸率开始降低,但锈胀后钢筋混凝土受弯构件截面的平均应变分布仍基本符合平截面假定,因此,计算模型与未锈胀构件相同,但计

算时需考虑钢筋截面面积减小、钢筋屈服强度降低及钢筋与混凝土间粘结性能退化引起钢筋混凝土协同工作能力降低对承载力的影响。当截面损失率在 10% ~ 60% 范围内时,钢筋屈服点已不明显,钢筋的各项力学性能严重下降。因此,将钢筋混凝土结构自构件出现顺筋开裂至钢筋截面因锈蚀减少至原截面的 90% 的时间作为功能明显退化时间 t_d 。

影响钢筋腐蚀速度的因素十分复杂,表 4.4.4-5 是按裸露于海水环境中钢筋腐蚀平均速度的下限取值,这是基于 t_d 这段时间并不都处于裸露状态,对处于浪溅区的钢筋混凝土板,基于板一般不会出现顺筋开裂, t_{d2} 这段时间钢筋腐蚀的通氧条件比顺筋开裂的要差很多,故钢筋腐蚀速度取值为 0.05mm/a。按上述原则计算,处于浪溅区发生顺筋开裂的构件 t_d 为 2 ~ 4 年,板为 8 ~ 10 年,计算值与实际调查结果较为接近。

4.4.5 对普通钢筋混凝土结构,一般设计使用寿命取 $t_e = t_i + t_c + t_d$ 。对预应力混凝土结构,当采用高强钢丝或钢绞线作为预应力筋时,因预应力筋应力高,较脆,即使腐蚀轻微,由于本身断面小,断面损失率已较大,而且对应力腐蚀和预应力腐蚀疲劳很敏感,因此对采用高强钢丝或钢绞线作为预应力筋的预应力构件,规定其设计使用寿命为 $t_e = t_i$,当采用粗钢筋作为预应力筋时,腐蚀对预应力筋断面损失较小,应力腐蚀及预应力腐蚀疲劳敏感相对较小,一旦出现开裂对承载力影响不大,因此规定采用粗钢筋作为预应力筋时,其设计使用寿命为 $t_e = t_i + t_c$ 。

6 防腐蚀措施检测与评估

6.2 外加电流阴极保护效果检测与评估

6.2.3 阴极保护状态和保护效果主要通过保护电位来评估。对海水中的钢结构,在使用 Ag/AgCl 海水电极测定时,临界保护电位为 -0.78V ,负于此值则钢结构处于被保护状态。之所以将保护电位 -0.8V 作为保护效果 A 级和 B 级的分界点,是因为测得的保护电位只反映测点附近的保护状态,若测得的保护电位正于此值,则有可能局部已不处于防腐状态或在短期内达到无保护状态,此外,从检测评估到采取维修措施,需要经历论证、设计和施工等过程。因此,从维护管理上来讲,将保护电位 -0.8V 作为保护效果 A 级和 B 级的分界点是偏于安全和合适的。

6.3 牺牲阳极阴极保护效果检测与评估

6.3.3 对牺牲阳极阴极保护效果检测与评估,需要结合阳极的剩余尺寸和剩余保护年限综合分析。除保护电位正于 -0.8V 要进行原因分析和及时采取措施外,即使保护电位负于 -0.8V ,如检测得出阳极剩余保护年限不能满足设计使用年限要求,也应分析原因并及时采取合理的维修措施。

6.4 钢结构涂层劣化检测与评估

6.4.3 对钢结构涂层劣化除表现在粉化、变色、裂纹、起泡和脱落生锈等外观变化外,涂层厚度和粘结力也直接影响到涂层的保护效果。日本《港湾结构物的维护与修补指南》参考美国 ASTM-D610 标准,以涂层生锈、膨大和剥落等的面积率来评定油漆类涂层的劣

化度,并按小于 0.03%、0.03% ~ 0.1%、0.1% ~ 0.3%、大于 0.3% 划分为四个等级。本条参考了日本《港湾结构物的维护与修补指南》和现行行业标准《海港工程钢结构防腐技术规定》(JTJ 230)有关涂层质量的评级标准,以涂层裂纹、起泡、脱落生锈、涂层干膜厚度和涂层粘结力等来综合评估钢结构涂层的劣化情况。

6.5 混凝土结构涂层劣化检测与评估

6.5.3 参考日本《港湾结构物的维护与修补指南》有关涂层劣化的评级标准和现行行业标准《海港工程混凝土结构防腐技术规范》(JTJ 275)有关涂层质量的规定,以涂层裂纹、起泡、脱落、涂层干膜厚度和涂层粘结力等来综合评估混凝土结构涂层的劣化情况。

7 板桩码头检测与评估

7.1 检 测

7.1.1 环境条件检测内容中码头前沿水深、冲淤等变化情况的检测,主要是查明码头前沿当前的水深情况,与原设计及竣工时实际水深是否发生了变化,是否有冲淤发生。

查明是否由于港池、航道水深变化;新水工建筑物的建设;气候变化、新的径流、排污入海等使码头设计水域的波浪、水位、流速、流向等水文条件及水质发生变化,使码头前沿的泊稳条件与原设计不符。环境条件的检测,为结构的损坏性检测、变形检测、耐久性检测及其评估分析奠定基础。

9 高桩码头检测与评估

9.2 评 估

9.2.1 码头的上部结构分为主要结构和一般结构。高桩码头包括板梁式码头、桁架式码头、无梁板式码头、墩式码头等多种形式，码头上部结构的主要构件和一般构件的区分可由评估人员根据构件在码头结构中所起的作用确定。

10 斜坡码头及浮码头检测与评估

10.2 评 估

10.2.1 安全性等级评估标准表中按一般情况将各部结构分成了两类构件:主要构件和一般构件,且其分级标准对前者要求较高。评估时根据具体构件的重要性区分其属性。

11 防波堤与护岸检测与评估

11.1 检 测

11.1.1 堤前地形和水深条件是指当前的地形是否由于冲刷或淤积引起与设计时地形和水深条件不同;波浪和水流变化情况是指由于水深的变化、附近有新建筑物或新开挖航道及其他条件改变等而发生变化。

11.2 评 估

11.2.2 防波堤及护岸使用性评估主要以满足其使用功能为标准。防波堤的主要功能是防浪,为港内提供良好的泊稳条件;护岸的功能是形成港区陆域,使码头能正常作业,只要满足上述要求即可。因此分级标准分别以港内泊稳条件和使用影响作为主要依据。