



## 港口水工建筑物混凝土裂缝分级评估

涂启华, 黄君哲, 熊建波, 王胜年, 潘德强

(中交四航工程研究院有限公司, 水工构造物耐久性技术交通行业重点实验室, 广东 广州 510230)

**摘要:** 为提高建筑物检测评估的准确性, 在对混凝土裂缝分级评估时必须分清裂缝类型、裂缝成因, 通过裂缝来判断结构中出现的的问题。从港口水工建筑物常见的裂缝类型出发, 分析常见裂缝形成原因, 讨论了裂缝限制和分级标准, 并通过检测评估案例说明裂缝分级评估应用。

**关键词:** 港口水工建筑物; 裂缝; 分级评估

中图分类号: U 657.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0109-04

### Crack classification and assessment in harbor hydraulic structures

TU Qi-hua, HUANG Jun-zhe, XIONG Jian-bo, WANG Sheng-nian, PAN De-qiang

(Key Laboratory of Harbor & Marine Structure Durability Technology, Ministry of Communications,  
CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy of detection and assessment, we need to distinguish the type and cause of the crack in the detailed investigation of classifying assessment, and recognize the structural problems in the structures according to the cracks. Starting from common cracks in harbor hydraulic structures, we analyze the causes of the common cracks, discuss the crack limit standards and classifying standards, and expound the actual application of crack classification and assessment in hydraulic structures based on a real case of detection and assessment.

**Keywords:** harbor hydraulic structure; crack; classification and assessment

港口码头水工建筑物检测评估常常需要对混凝土结构裂缝进行分级, 评估其对结构的影响程度。由于裂缝有很多类型, 不同类型的裂缝产生的原因不同, 对结构耐久性、使用性和安全性的影响也不同, 而且不是所有的裂缝都会危及结构安全, 正确区分裂缝的危害程度很有必要。我国海港码头混凝土构件破坏主要是由于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<sup>[1-2]</sup>, 在《港口水工建筑物检测与评估技术规范》(简称《评估规范》)<sup>[3]</sup>中主要

针对耐久性引起的外观劣化, 如锈点、锈斑、裂缝、起鼓、剥离、剥落和露筋等进行劣化度分级与评估, 对结构受力裂缝、收缩裂缝、温度裂缝等非锈蚀引起的裂缝未作详细规定, 而这部分外观劣化裂缝在港口水工建筑物中也占相当部分, 对其分级评估正确与否, 往往影响码头维修加固方案选择和维修加固的预期效果。因此, 在对港口水工建筑物进行耐久性、使用性和安全性检测与评估分析时, 提高裂缝分级评估的准确性, 对结构健康诊断和维修加固具有重要指导意义。

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 涂启华 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事港口工程研究工作。

## 1 港口混凝土结构常见裂缝形式

### 1) 锈蚀裂缝。

在海洋环境中频繁遭受潮汐、波浪作用的干湿交替区域,氯离子容易向深层渗透扩散并聚集在钢筋周围,当氯离子积聚到钢筋锈蚀的临界浓度,在氧气、水分充足的条件下,钢筋表面钝化膜被破坏,钢筋中铁离子与侵入到混凝土中的氧气和水分发生锈蚀反应,其锈蚀物氢氧化铁体积比原来增大约2~4倍,从而对周围混凝土产生膨胀应力,导致保护层混凝土开裂、剥离,产生顺筋方向裂缝,并有锈迹渗到混凝土表面。由于氯盐引起的锈蚀裂缝主要出现在已建高桩码头浪溅区纵梁、横梁、桩帽等构件上,属于先锈后裂型,是目前我国港口码头水工建筑物主要破坏形式,严重影响结构耐久性。

### 2) 受力裂缝。

普通钢筋混凝土结构产生受力裂缝是正常的,但其宽度应加以限制,这个在《水运工程混凝土结构设计规范》(简称《设计规范》)<sup>[4]</sup>中有明确规定。预制构件起吊安装吊点设置不合理、超出设计荷载使用、船舶撞击等都会使结构在荷载的作用下发生应力集中而产生受力裂缝,多表现为下宽上窄形。受力裂缝方向与主筋方向垂直或成一定的角度,在发生超载、偶然事故或冲击荷载的码头面板、纵梁、横梁、基桩、桩帽等构件中较为常见。

### 3) 收缩裂缝。

混凝土在凝结硬化过程中产生收缩变形在表面变化快、而内部变化慢,表面收缩变形受到收缩慢的内部混凝土的约束而在构件表面产生较大的拉应力,当拉应力超过混凝土极限抗拉强度时即产生收缩裂缝。影响混凝土收缩的因素很多,诸如水泥用量、细度、骨料、水胶比、振捣状况、所处的大气环境、养护方法、配筋数量等。收缩裂缝形态各异,一般发生在码头面层、面板、胸墙等构件表面,表现为龟裂、斜向裂缝等形态,收缩裂缝一般情况下对承载力影响不大。

### 4) 温度裂缝。

混凝土中产生温度裂缝的原因较多,但总的

来说,主要是由于大体积混凝土施工水泥用量大,水泥水化反应产生大量的水化热,表面散热较快,内部温度不断上升且不易散发,使混凝土内部与表面形成较大温差,加上升降温变化和边界约束的影响,导致不均匀温度变形和温度应力,一旦拉应力超过混凝土的极限抗拉能力就会在混凝土内部或表面产生裂缝,是混凝土早期开裂的主要原因之一。温度裂缝在大体积结构中较多出现,如胸墙、墩台、方块等构件,且多表现为贯穿性裂缝,对结构的整体性、耐久性甚至承载力有不利影响。

## 2 裂缝宽度限值

钢筋混凝土适筋构件从加荷至破坏,整个过程可以分为3个阶段:未裂阶段、裂缝阶段、破坏阶段,其中裂缝阶段是计算构件正常使用阶段的变形和裂缝宽度的依据,也即在正常使用阶段混凝土是带裂缝工作的,但对裂缝的最大开展宽度应加以控制。因为当裂缝宽度较大时,一是会加快氯离子进入混凝土钢筋表面破坏钢筋表面钝化膜引起钢筋锈蚀,影响结构的耐久性;二是会使结构刚度减少、变形增加,影响结构的安全性,同时给人不安全感。《设计规范》规定结构构件设计时将裂缝控制等级划分为3个级别:1) 1级:构件不出现拉应力;2) 2级:构件虽有拉应力,但不超过混凝土的抗拉强度;3) 3级:允许出现裂缝,但裂缝宽度不超过允许值。1级和2级抗裂要求的构件,一般要采用预应力才能实现,而普通钢筋混凝土构件要求为3级,允许带裂缝工作。因此,对允许出现裂缝的钢筋混凝土构件,裂缝宽度必须加以限制,要求使用阶段最大裂缝宽度小于允许裂缝宽度。港口工程钢筋混凝土结构裂缝控制等级为3级,其最大宽度根据构件所处的不同环境、水位条件规定(表1)。而且,由于裂缝宽度沿裂缝深度并不相等,要验算的裂缝宽度是指受拉钢筋质心水平处构件侧表面上混凝土的裂缝最大宽度。

表1 港口工程钢筋混凝土结构最大裂缝宽度限值

构件类别	mm						
	淡水港			海水港			
	水上区	水位变动区	水下区	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区
钢筋混凝土结构	0.25	0.25	0.40	0.20	0.20	0.25	0.30

《设计规范》规定钢筋混凝土矩形、T形等受拉、受弯构件,其最大裂缝宽度按下式进行计算:

$$W_{\max} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \frac{\sigma_s}{E_s} \left( \frac{c+d}{0.30+1.4\rho_{te}} \right) \quad (1)$$

式中:  $W_{\max}$  为最大裂缝宽度 (mm);  $\alpha_1$  为构件受力特征系数;  $\alpha_2$  为考虑钢筋表面形状的影响系数;  $\alpha_3$  为考虑作用的准永久组合或重复荷载影响系数;  $\sigma_s$  为钢筋混凝土构件纵向受力钢筋的应力 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ );  $E_s$  为钢筋弹性模量 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ );  $c$  为最外排纵向受拉钢筋的保护层厚度 (mm);  $d$  为钢筋直径 (mm);  $\rho_{te}$  为纵向受拉钢筋的有效配筋率。

从式(1)可知,构件最大裂缝宽度与保护层厚度、钢筋直径、配筋率、弹模、钢筋的应力等有关,保护层厚度、钢筋直径、配筋率、弹模在浇筑混凝土完成后均不会有大的变化,钢筋应力则

是根据受力承载不同而大小各异的,也就是说构件的最大裂缝宽度在混凝土浇筑完成后主要由荷载控制。在一定范围内,荷载小,裂缝开展宽度小甚至不出现可见裂缝;荷载大,裂缝开展宽度大。《设计规范》规定的最大裂缝开展宽度主要针对荷载造成的受力裂缝,不包括锈蚀、收缩和温度等非荷载作用引起的裂缝。

### 3 裂缝分级标准

在对港口水工建筑钢筋混凝土结构耐久性外观劣化评估时,《评估规范》规定梁、板、桩与桩帽等构件裂缝分级标准见表2,可见规范中将裂缝按照开展宽度分为4个级别,但仅按耐久性锈蚀裂缝进行劣化分级,不包括结构受力、收缩、温度等裂缝分级。

表2 裂缝分级标准

构件名称	等级			
	A	B	C	D
板	无	局部有微小锈蚀裂缝,裂缝宽度小于0.3 mm	锈蚀裂缝较多或呈网状,裂缝宽度在0.3~1.0 mm	大面积锈蚀裂缝呈网状,裂缝宽度大于1.0 mm
梁、桩与桩帽	无	局部有微小锈蚀裂缝,裂缝宽度小于0.3 mm	锈蚀裂缝较多或呈网状,裂缝宽度在0.3~3.0 mm	大面积锈蚀裂缝呈网状,裂缝宽度大于3.0 mm

《评估规范》在结构构件使用性评估分级中对结构最大裂缝宽度进行规定(表3)。在《设计规范》中规定受力裂缝的最大宽度限值,表3中的最大裂缝宽度验算值针对受力裂缝在上文已经讨论,显然,表3中最大裂缝宽度实测值也只能是与规范限值同一类型的受力裂缝,只有同类裂缝才能进行比较分级评估。

表3 钢筋混凝土结构使用性分级标准

项目	等级			
	A	B	C	D
最大裂缝宽度	$r \geq 1.00$	$0.80 \leq r < 1.00$	$0.70 \leq r < 0.80$	$r < 0.70$

注:  $r$  为规范限值与实测值或验算值的比值。

参考《民用建筑可靠性鉴定标准》(简称《鉴定标准》)<sup>[5]</sup>,根据构件所处的环境和水位条件,对收缩、温度等裂缝评估分级建议采用表4中的规定进行。

表4 最大裂缝宽度检测结果评定

等级	结果评定
A	裂缝宽度小于现行设计规范限值的0.7倍时,可评为A级
B	裂缝宽度大于等于现行设计规范限值的0.7倍,且小于现行设计规范限值的0.8倍时,可评为B级
C	裂缝宽度大于等于现行设计规范限值的0.8倍,且小于现行设计规范限值的1.0倍时,可评为C级
D	裂缝宽度大于等于现行设计规范限值的1.0倍,可评为D级

#### 4 案例分析

在执行《评估规范》对已建码头进行检测外观劣化度分级评估时,需要分清裂缝类型、查明开裂成因,严格执行规范才能如实反映结构使用状况,得出准确、可靠的结论。如位于华南地区建于1996年的某电厂煤码头工程,为高桩梁板式结构,轨道梁共计80根,2012年检测轨道梁全部出现顺筋方向锈蚀裂缝,裂缝宽度在0.3~3.0 mm,外观劣化度评定为C级的轨道梁49根;裂缝宽度大于3.0 mm,劣化度评定为D级的轨道梁31根。最大裂缝开展宽度计算参数如下:受弯构件受力特征系数 $\alpha_1 = 1.0$ ,钢筋表面形状的影响系数 $\alpha_2 = 1.0$ ,准永久组合作用影响系数 $\alpha_3 = 1.5$ ,轨道梁纵向受力钢筋的应力 $\sigma_s = 79.74 \text{ N/mm}^2$ ,钢筋弹性模量 $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ,最外排纵向受拉钢筋的保护层厚度 $c = 50 \text{ mm}$ ,钢筋直径 $d = 22 \text{ mm}$ ,纵向受拉钢筋的有效配筋率 $\rho_{te} = 0.0178$ ,代入式(1)得到最大裂缝宽度 $W_{\max} = 0.13 \text{ mm}$ ,规范规定最大裂缝宽度限值为 $0.20 \text{ mm}$ , $r = 0.20/0.13 = 1.54 > 1.00$ ,轨道梁使用性评估最大裂缝宽度评定为A级,最大裂缝宽度满足规范要求。综合耐久性外观劣化等级评估和使用性最大裂缝宽度评估分级,对耐久性外观劣化评定为C级的构件需要立即进行修复、补强处理,对评定为D级的构件需要根据设计复核算后,根据验算结果采取修复、补强措施或报废。

如建于20世纪80年代的某内河集装箱码头,为高桩梁板式结构,由于吞吐量较大,造成集中堆载区域7根横梁出现竖向裂缝,宽度为0.1 mm的裂缝3条,宽度为0.2 mm的裂缝5条,宽度为

0.3 mm的裂缝3条,宽度为0.5 mm的裂缝6条,宽度为1.0 mm的裂缝3条。按照《评估规范》对受力裂缝最大宽度进行使用性分级评定,结果为:宽度为0.5、1.0 mm的裂缝评定为D级,宽度为0.3 mm的裂缝评定为B级,宽度小于0.25 mm的裂缝评定为A级。在对同一构件进行分级评估时,先逐一对裂缝宽度进行分级,取较低一级为评估构件的代表级别,以此代表值作为构件最终等级和修复加固处理依据。

#### 5 结语

1) 港口水工建筑物检测评估中,对裂缝分级评估必须分清裂缝类型、详细调查裂缝形成原因,通过裂缝来反映结构中出现的問題。

2) 若一根构件同时出现两种及两种以上裂缝,应分别评级,并取其中较低一级作为该构件的裂缝等级。

3) 现行规范中增加温度裂缝、收缩裂缝等常见裂缝的分级评估,明确结构受力裂缝最大缝宽分级评估。

#### 参考文献:

- [1] 潘德强,洪定海,郑恩惠,等.华南沿海部分码头调查情况介绍[J].水运工程,1982(2):1-7.
- [2] 王胜年,黄君哲,张举连,等.华南海港码头混凝土腐蚀情况的调查与结构耐久性分析[J].水运工程,2000(6):53-57.
- [3] JTJ 302—2006 港口水工建筑物检测与评估技术规范[S].
- [4] JTS 151—2011 水运工程混凝土结构设计规范[S].
- [5] GB 50292—1999 民用建筑可靠性鉴定标准[S].

(本文编辑 武亚庆)