

# 瑞安市部分混凝土结构腐蚀破坏状况 调查与原因分析

高明赞, 干伟忠

(宁波工程学院, 浙江宁波 315016)

**摘要:** 对瑞安市数座典型的混凝土结构构筑物的腐蚀破坏状况进行了调查分析. 结果表明, 飞云江沿岸混凝土结构腐蚀比较严重, 许多构筑物的混凝土保护层过薄, 有的出现了内部钢筋锈蚀、混凝土顺筋开裂和剥落等现象. 主要原因有结构设计不合理、施工质量差、化学侵蚀等.

**关键词:** 混凝土结构; 腐蚀破坏; 调查; 分析; 瑞安

**中图分类号:** TU375   **文献标识码:** B   **文章编号:** 1674-3563(2009)01-0022-07

**DOI:** 10.3875/j.issn.1674-3563.2009.01.05   本文的 PDF 文件可以从 [xuebao.wzu.edu.cn](http://xuebao.wzu.edu.cn) 获得

混凝土以其易于浇注成型、经济、刚度大等方面的显著优点, 成为目前世界上使用最为广泛的建筑材料. 据不完全统计, 目前全世界每年生产的混凝土已达 120 亿吨<sup>[1]</sup>. 我国每年用于基础设施建设的费用高达 2 万亿元以上. 对混凝土结构人们更多关注的是与承载能力相关的安全问题, 对其后期存在的一系列腐蚀性劣化问题往往忽视, 由此造成的经济损失是非常大的. 据粗略估计, 我国 1999 年一年内由腐蚀造成的损失约 1 800-3 600 亿元, 其中由钢筋腐蚀造成的损失占 40%, 约为 720-1 440 亿元<sup>[2]</sup>.

瑞安位于浙南沿海地区, 随着经济的快速发展, 工程建设如火如荼, 混凝土用量很大, 已建成的重点工程有飞云江大桥、飞云江二桥、赵山渡引水工程及码头、河塘大坝等, 在建的有飞云江三桥及接线工程、城市防洪三期工程、温福铁路等重点工程<sup>[3]</sup>. 对瑞安混凝土结构腐蚀破坏状况进行调查与原因分析, 对提高混凝土结构设计质量、延长混凝土构筑物的使用寿命有重要意义.

## 1 调查结果

本次调查的重心在离飞云江入海口不远的瑞安飞云江大桥、东山码头、飞云江客货运码头、外滩公园江滨堤坝和观景台等, 还有位于飞云江上游的赵山渡引水工程大坝、水渠等.

### 1.1 飞云江大桥腐蚀破坏状况调查

飞云江大桥是中国最大跨度的预应力混凝土简支梁桥, 桥全长 1 442.02m<sup>[4]</sup>, 主梁由 5 片 T 梁构成, 形成 4 横箱截面, 每片梁重 2 200kN, 最大跨度 62m, 梁高 2.85m, 高跨比 1/21.75, 混凝土标号 R60, 于 1988 年 10 月建成通车. 大桥的腐蚀破坏情况见表 1.

收稿日期: 2008-04-30

基金项目: 浙江省科技厅重点科技项目(2006C24008)

作者简介: 高明赞(1987-), 男, 浙江瑞安人, 研究方向: 混凝土结构耐久性

表 1 瑞安飞云江大桥调查情况

Table 1 Investigation on Bridge of Feiyun River in Ruian

结构名称	腐蚀破坏主要表现
混凝土 T 梁腹板	北岸数段 T 梁腹板混凝土保护层 90%剥落, 梁内纵向钢筋和箍筋暴露并生锈, 混凝土保护层厚度不足 5mm (见图 1).
两侧 T 梁翼缘板	T 梁翼缘板上有水迹, 出现锈斑, 部分出现混凝土保护层顺筋剥落, 钢筋暴露生锈.
盖梁	部分盖梁底面混凝土顺筋开裂, 保护层剥落, 梁内钢筋暴露并锈蚀, 甚至有钢筋锈断, 混凝土保护层不足 4mm (见图 2).
桥墩立柱	少部分桥墩立柱混凝土保护层缺失, 出现孔洞, 墩内主筋暴露并生锈 (见图 3).
防撞柱	混凝土碳化程度很轻, 不到 1mm.
桥墩承台	承台混凝土表面覆盖大量贝壳类海洋生物.

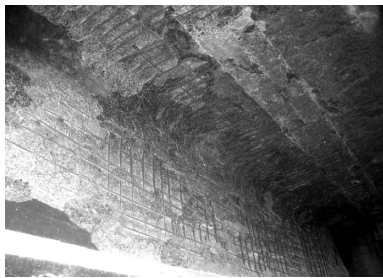


图 1 主梁混凝土保护层剥落钢筋锈蚀  
Fig 1 Corrosion of Steel after Main Beam's Concrete Protective Layer's Peeling off



图 2 盖梁混凝土剥落钢筋锈蚀  
Fig 2 Corrosion of Steel after Covered Concrete's Peeling off



图 3 桥墩混凝土出现孔洞  
Fig 3 Holes in Concrete Piers

## 1.2 赵山渡引水工程水渠腐蚀破坏状况调查

赵山渡引水工程枢纽位于浙江省温州瑞安市西北部, 以给城市供水为主, 兼有防洪、发电功能, 是飞云江干流上的控制性大型综合水利工程<sup>[5]</sup>, 工程水渠建于 1998 – 1999 年期间, 其腐蚀情况见表 2.

表 2 赵山渡引水工程水渠调查情况

Table 2 Investigation on Drainage of Water Diversion Project in Zhaoshandu

调查对象	腐蚀破坏主要表现
混凝土盖板	混凝土盖板表面呈灰黑色, 部分混凝土保护顺筋脱落, 钢筋暴露并生锈, 甚至发生断裂.
桥墩和承台	混凝土受溪水冲刷, 表面水泥浆流失严重, 承台上有数条沿纵向中心线的裂缝(见图 4).
水渠侧壁	混凝土表面上分布着许多网状的细裂缝, 部分区域出现长裂缝, 有白色物质渗出, 并出现渗水.
横肋梁	渠底的混凝土横肋梁上大都有数条沿竖向分布的细裂缝(见图 5).
伸缩缝	橡胶伸缩缝部分出现漏水, 局部漏水严重(见图 6).
混凝土保护层	在水渠的少部分出现混凝土保护层过薄, 测得部分厚度为 10mm, 也出现保护层剥落、钢筋暴露锈蚀等.
碳化深度	对水渠底部分混凝土碳化深度测定, 水渠底部碳化深度平均在 1.5mm 左右.

## 1.3 飞云江畔码头腐蚀破坏状况调查

飞云江南北岸的码头众多, 其中有东山上埠村码头、飞云江客货运码头、东山下埠渔港码头等, 其腐蚀破坏情况见表 3.

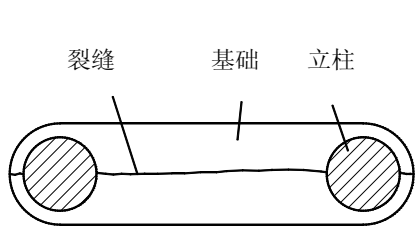


图4 水渠桥墩基础裂缝

Fig 4 Basis Crack on the Drainage Piers

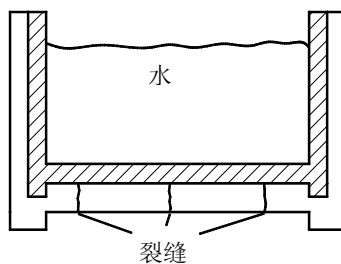


图5 工程水渠横断面图

Fig 5 Cross-sections of Drainage of Water Diversion Project



图6 水渠伸缩缝大量漏水

Fig 6 Massive Leaking of Drainage Flex Slot

表3 飞云江沿岸码头调查情况

Table 3 Investigation on Coastal Wharf in Feiyun River

码头名称	结构名称	腐蚀破坏主要表现
东山上埠村码头 1993年竣工	桥面	有数条横向长裂缝, 裂缝都处于两梁板的联接处.
	栏杆	外侧靠船栏杆基本因靠船不当而损坏, 钢筋暴露锈蚀, 内侧护栏由于行车不当部分损坏.
	主梁	数根主梁腹板保护层顺筋剥落, 裂缝贯穿全梁, 裂缝最大宽度超过 10mm, 甚至局部区域混凝土剥落, 梁内主筋暴露, 锈蚀严重 (见图 7).
东山下埠渔港码头 1992年竣工	桥面	码头因超载导致左侧桥板断裂、塌翻, 部分桥板已经损坏, 有数条纵向长裂缝和部分网状细裂缝 (见图 8), 桥面碳化程度很轻, 小于 2mm.
	桥墩	少数桥墩混凝土保护层剥落, 墩内钢筋暴露并锈蚀 (见图 9).
	栏杆	栏杆出现大面积损坏, 栏杆梁内钢筋大面积暴露锈蚀.
	T梁	局部 T 梁混凝土保护层沿着箍筋顺筋剥落, 混凝土剥落, 钢筋暴露锈蚀.
飞云江客货运码头 1998年竣工	桥面	码头的桥面板上出现混凝土保护层顺筋开裂且剥落严重, 钢筋暴露生锈, 甚至有钢筋锈断现象, 混凝土保护层在 3-5mm (见图 10).
	横梁	混凝土保护层顺筋开裂, 部分已剥落, 梁内钢筋暴露且生锈.
	铁构件	南岸码头梁上的铁皮和铁环都已经锈蚀, 南岸码头基本完好.
南门五座码头 1982-1986年竣工	桥墩	部分码头的钢筋混凝土桩式墩出现严重腐蚀, 混凝土保护层大面积剥落, 钢筋暴露并锈蚀, 还有些桩混凝土竖向顺筋开裂, 在裂缝口有大量锈斑 (见图 11). 同样严重的区域盖梁保护层顺筋剥落, 梁内钢筋大面积暴露并严重锈蚀, 较轻的区域只是保护层顺筋开裂, 裂缝处出现锈斑 (见图 12).
	主梁	混凝土纵向顺筋开裂, 梁内钢筋锈蚀, 在部分板式桥面板的下表面也发现多条纵向顺筋开裂, 在裂缝口有大量锈斑.
	栏杆	有 50% 以上的护栏已经被破坏.

#### 1.4 瑞安市外滩公园腐蚀破坏状况调查

瑞安市外滩位于飞云江畔, 又称瑞安滨江大道, 是一项防洪海堤工程, 又是市政道路工程, 也是外滩江边公园, 全长 4.3km, 按照 50 年一遇的防洪标准, 建设空箱式重力混凝土海堤, 工程于 1998 年竣工投入使用. 其腐蚀破坏状况见表 4.

## 2 原因分析

混凝土结构长期在自身因素和外界环境作用下会发生劣化现象, 劣化主要表现在两个方面,

表 4 外滩公园调查情况

Table 4 Investigation on Waitan Park

调查对象	结构名称	腐蚀破坏主要表现
一期 观景台	墩	桥墩有 1m 左右为水位变动区, 在该区发现混凝土颜色比其它区域要深些, 且该区的桥墩部分混凝土表面出现横向顺箍筋锈斑, 在混凝土保护层薄的区域, 混凝土保护层厚度不足 5mm (见图 13). 水位变动区以上的桥墩基本保持完好无损.
	桥板、梁	桥板和梁基本保持完好(见图 14).
二期 观景台	墩	桥墩表面有大量的孔洞, 有几根柱表面可见大量的锈斑.
	主梁	梁多处有红色的铁锈, 腐蚀严重, 甚至在梁的边缘区有几处混凝土开裂(见图 15).
外滩堤坝	坝体	混凝土堤坝基本保存完好, 腐蚀程度很轻, 因混凝土表面的水泥浆流失而出现了一些细小的孔洞.



图 7 保护层剥落、主筋锈蚀  
Fig 7 Protective Layer Peeling off,  
Main Steel Corrosion



图 8 码头一角超载损坏  
Fig 8 Overloading Damage  
in Wharf



图 9 墩混凝土剥落钢筋暴露  
Fig 9 Peeling off of Concrete in Pier  
and Exposure of Steel



图 10 码头面板混凝土顺筋剥落  
Fig 10 Concrete Peeling off  
Wharf Panel along Steel



图 11 桩混凝土开裂、锈斑  
Fig 11 Pile Concrete  
Cracking, Rusty



图 12 桩保护层剥落、钢筋锈蚀  
Fig 12 Pile Protective Layer  
Peeling off, Steel Rusty



图 13 桥墩横向顺筋锈斑  
Fig 13 Lateral Rusty along  
Steel on Pier



图 14 完好的横梁和桥面板  
Fig 14 Well Beams and  
Bridge Decks

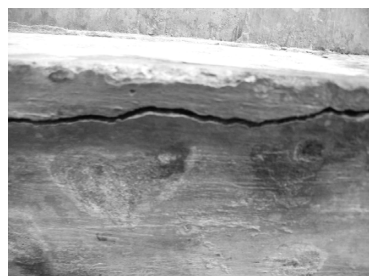


图 15 梁内钢筋锈蚀并开裂  
Fig 15 Steel Corrosion and  
Cracking in the Beam

一是混凝土腐蚀,这会导致混凝土结构的承载能力下降;二是混凝土内钢筋的锈蚀,钢筋锈蚀会造成钢筋混凝土结构承载力下降。

导致混凝土结构腐蚀的因素很多,与混凝土结构外部所处的环境及混凝土结构内部的微观构造、物理化学反应机理等都密切相关。通过对瑞安市部分典型混凝土结构的腐蚀情况进行调查及原因分析,发现构筑物设计不合理、施工质量差、化学侵蚀等是影响混凝土结构腐蚀程度的主要因素。

### 2.1 设计施工方面

混凝土结构的耐久性与其设计密切相关,设计的好坏将直接影响到结构的使用寿命。例如:东山上埠村码头主梁出现保护层顺筋开裂、剥落,梁内的主筋暴露,锈蚀严重,其原因之一是结构设计不合理。该码头的梁板没有根据当地的特殊环境进行设计,而是把根据其它地区情况所设计的梁板照搬过来,这样梁板的保护层厚度、配合比等达不到当地环境的要求,从而导致码头短时间内出现腐蚀破坏现象。

施工质量是影响混凝土结构耐久性的重要因素。常常由于施工管理不严、设施不全、技术不成熟等导致施工质量差。如混凝土未振捣密实会形成裂缝、孔洞、蜂窝。部分混凝土保护层减少或钢筋直接外露,缩小了环境介质渗透扩散距离,从而造成有害介质对钢筋与混凝土的侵蚀。在飞云江大桥的桥墩上就出现了因施工质量差而形成的裂缝、孔洞、蜂窝,甚至局部桥墩内钢筋直接暴露,导致钢筋锈蚀。

施工的不规范会导致混凝土保护层厚度不足,从而缩短结构的使用寿命。混凝土保护层除了具有保证混凝土与钢筋之间黏结力外还具有保护钢筋不生锈的作用。钢筋生锈后铁锈吸水体积膨胀,一般要增大至原来体积的2-4倍,这会导致保护层膨胀乃至剥落<sup>[6]</sup>。

混凝土保护层厚度不足而导致混凝土保护层开裂、剥落是瑞安市混凝土结构遭腐蚀破坏的主要原因,这种现象在调查过的几个工程中几乎都出现过。如飞云江大桥,北岸数片T梁腹板混凝土保护层大面积剥落,内部钢筋暴露并锈蚀。

### 2.2 化学侵蚀

混凝土在施工配制和水泥水化凝固过程中其内部不可避免地会形成一些孔隙,这些孔隙的存在使得各种液体和气体可以方便地渗透进入混凝土内部,这是混凝土被腐蚀的内因所在。

建于飞云江边的码头、堤坝、桥梁等与水流直接接触的混凝土构筑物常发生溶出性侵蚀。江水进入到混凝土内部, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 会不断溶出并流失,混凝土表面会出现细小的孔洞,使表层水泥浆流失,这为环境中有害物质的入侵提供了通道,最终导致内部钢筋锈蚀。

在污染水体附近的混凝土构筑物会出现溶解性侵蚀,如飞云江畔的码头、护堤、河塘、闸门等。因为常有大量的含有酸、硫酸盐、氯盐等有害物质的工业废水和生活污水被排入江、海中,这些有害物质与混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 会发生酸碱中和反应,从而使得混凝土内的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等碱性物质不断参与化学反应而逐渐流失,使混凝土内的碱性降低而使内部的钢筋锈蚀。

混凝土的碳化是混凝土常受到的一种化学腐蚀。空气中二氧化碳渗透到混凝土内会改变混凝土的强碱环境,降低pH值,从而破坏钢筋表面那层致密稳定的氧化膜,导致钢筋生锈。

在赵山渡水渠的混凝土侧壁上发现大片的混凝土有网状的细裂缝,而细裂缝在水渠底部的混凝土壁上却没有出现,这是因为长期的风吹雨打为侧壁混凝土发生碳化反应创造了有利条件,即有反应所需的足够水分(雨水)、二氧化碳,这加快了碳化反应的进行。水渠底部混凝土碳化程度很轻,主要是缺少碳化反应所需的足够水分(雨水)。

氯离子侵蚀也是造成钢筋混凝土结构过早破坏的原因之一。调查中发现海边或飞云江畔的码头、外滩观景台、堤坝、桥墩等建筑物的混凝土结构内钢筋锈蚀,其碳化程度很轻,导致钢筋锈蚀的主要原因是氯离子侵蚀。

混凝土是一种多相复合碱性材料,混凝土的孔隙中充满  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  饱和溶液, pH 大于 12.4<sup>[7-8]</sup>。在这样的高碱性环境下,钢筋表面被氧化,会形成一层厚度为  $2 \times 10^{-9} \sim 6 \times 10^{-9} \text{ m}$  的水化氧化钢筋保护膜<sup>[9-11]</sup>。当混凝土受到氯离子的侵入时,进入混凝土中的氯离子会吸附于钝化膜处,当钢筋表面的  $\text{Cl}^-$  浓度与  $\text{OH}^-$  浓度的比值大于 0.61 时<sup>[12]</sup>,钝化膜会被破坏。由于以上构筑物处于飞云江入海口,会受到海水中氯离子的侵蚀,所以导致钢筋锈蚀,混凝土开裂。

### 3 结 语

#### 3.1 腐蚀形态特征

瑞安市混凝土结构存在的腐蚀破坏现象还是比较严重的,其中飞云江、海边的混凝土构筑物的腐蚀情况要比其它地区严重得多,其腐蚀状况主要有:混凝土表面水泥浆流失、剥落;混凝土碳化较轻;混凝土保护层厚度不足;混凝土内部有蜂窝、孔洞;水位变动区内混凝土表面出现锈斑;混凝土内钢筋锈蚀,混凝土保护层开裂;混凝土保护层剥落,内部钢筋暴露等。

#### 3.2 影响因素

许多工程因设计不合理、施工质量差而导致混凝土保护层过薄、混凝土密实性差、钢筋暴露等,从而引起结构腐蚀破坏;雨水、江水、海水对混凝土的溶出性侵蚀、溶解性侵蚀、膨胀性侵蚀,主要出现在码头、桥梁、堤坝、闸门等水上工程;碳化反应基本上在每个工程中都有,但程度却相差较大,飞云江沿岸混凝土结构碳化程度相对较轻;氯离子侵蚀是沿海地区混凝土腐蚀的主要原因,在飞云江、海边的混凝土构筑物上都发现过此类腐蚀,如飞云江大桥、码头、混凝土浮船、堤坝等工程。除以上因素外还有结构裂缝和混凝土表面磨损等。

希望今后会有更多的科研工作者对浙南地区混凝土结构的耐久性进行深入研究,并制定出完全适合浙南地区环境的混凝土结构设计规范,提高混凝土结构耐久性,延长结构的使用寿命,为社会与经济的可持续发展保驾护航。

#### 参考文献

- [1] 李续业, 刘福胜. 新型混凝土实用技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 2.
- [2] 魏守铜. 硫酸盐腐蚀对预应力混凝土结构性能影响的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2006: 3.
- [3] 温州市重点建设办公室. 温州市 2004 年 12 月份重点工程进展情况[EB/OL]. [2007-07-18]. <http://www.wzcjda.net/pic/zdgc200412.doc>.
- [4] 刘菁华. 大跨径连续梁桥施工控制技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2002: 5-6.
- [5] 王利波, 冯裕国. 赵山渡引水工程枢纽工业电视设计简介[J]. 水利水电技术, 2001, 32(2): 38.
- [6] 牛荪涛, 王庆霖, 王林科. 锈蚀开裂前混凝土中钢筋锈蚀量的预测模型[J]. 工业建筑, 1996, 26(4): 8-10.
- [7] 黄可信. 钢筋混凝土结构中钢筋腐蚀与保护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983: 30-50.
- [8] 戴永寿. 海工钢筋混凝土构筑物的腐蚀与保护[J]. 水利水运科学研究, 1984, (3): 87-97.
- [9] 蔡光订. 钢筋混凝土腐蚀机理和防腐措施探讨[J]. 混凝土, 1992, 14(1): 18-24.
- [10] 赖春晓. 钢筋混凝土的阴极保护[J]. 混凝土, 1990, 12(3): 29-33.

- [11] 廖国胜, 刘启华. 钢筋混凝土中氯离子侵蚀探讨[J]. 山西建筑, 2005, 31(17): 142-150.
- [12] 洪乃丰. 混凝土中钢筋腐蚀与防护技术(3): 氯盐与钢筋锈蚀破坏[J]. 工业建筑, 1999, 29(10): 60-63.

## Investigation and Analysis on Corrosion Destruction Condition of Concrete Structure in Ruian City

GAO Mingzan, GAN Weizhong

(Ningbo University of Technology, Ningbo, China 315016)

**Abstract:** According to the investigation of corrosion destruction condition of some typical concrete structures in Ruian City, the concrete structures along Feiyun River have serious corrosion problems. Many of those structures have thin concrete protective layers, corroded interior steel, and cracking and Peeling along steel. The main reasons are inappropriate structural design, low standard construction, chloride ion corrosion and other chemical corrosion.

**Key words:** Concrete structure; Corrosion destruction; Investigation; Analysis; Ruian

(编辑: 王一芳)