



# 海工钢筋混凝土构造物维修技术

岑文杰, 熊建波, 黄君哲

(中交四航工程研究院有限公司, 交通运输部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:** 钢筋混凝土构造物暴露在海洋环境中容易出现钢筋锈蚀引起的耐久性破坏, 导致结构物整体加速腐蚀破坏, 因此及时对破损钢筋混凝土构造物进行维修对延长结构使用寿命具有重要意义。海工钢筋混凝土构造物维修除了考虑修补材料一般性能以外还须考虑施工环境和耐久性问题。随着材料技术和施工技术的发展, 人们研发出了适用于海洋环境的各种修补材料和施工工艺, 能适用于不同的施工环境和施工要求。系统介绍和分析了目前常用于海工构造物维修中的一些维修新技术。

**关键词:** 海工构造物; 钢筋混凝土; 维修

中图分类号: U 657.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)11-0203-05

## Rehabilitation of reinforced concrete of marine structures

CEN Wen-jie, XIONG Jian-bo, HUANG Jun-zhe

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

**Abstract:** The reinforced concrete structure which exposes in the marine environment easily appears damage due to corrosion of reinforced bars, leading to accelerated corrosion damage of the whole structure. Thus it is important to repair the damaged reinforced concrete structures timely and prolong the service life of the structure. For the repair of marine R.C. structures, both the general performance of the repairing materials and the construction environment and matter of durability shall be considered. With the development of material technology and construction technology, various kinds of repairing materials and construction technology adapting to different marine environments have been developed. Some new repairing technologies commonly used for marine structures are analyzed in this paper.

**Key words:** marine structure; reinforced concrete; rehabilitation

钢筋混凝土具有造价低廉、承载能力强、施工技术成熟、取材方便等特点, 是最理想的结构材料之一, 因此海工构造物普遍采用钢筋混凝土作为主要的结构材料。

随着经济的发展, 航运事业货物吞吐量增长迅猛, 靠泊船型越来越大, 因此为保障码头结构安全, 要求码头结构应有足够的安全储备。然而由于海洋环境中氯离子的存在加速了混凝土内钢

筋的锈蚀, 锈胀的钢筋导致混凝土开裂, 而裂缝的存在使得锈蚀速度加快, 严重降低了结构的承载能力和安全储备。此外, 在冻融循环的环境下或外力作用下(如船撞事故)也常常会导致结构物发生耐久性损伤或局部损坏, 影响码头结构的耐久性和承载能力。

为保证结构的安全使用寿命, 须及时对损坏的结构物进行维修, 以恢复足够的承载能力和安

收稿日期: 2012-05-28

作者简介: 岑文杰(1979—), 男, 高级工程师, 从事港航工程建设耐久性技术的科研、设计、施工和技术管理工作。

全储备。传统的维修通常采用手动工具对维修部位进行开凿,再用普通砂浆或混凝土对损坏部位进行简单的修复,由于海工构造物修复作业施工条件严酷、作业施工时间受潮汐限制,过去的修补方法施工效率低,施工质量难以保证,维修后不久维修部位普遍出现再次破坏,出现屡修屡坏的问题,周期内维修成本较高。

近年来,随着材料技术和施工技术的发展,出现了各种高效的混凝土构造物破损修补技术,可根据使用环境的不同采用最合适的施工方法,有效提高了混凝土结构破损修补的施工效率和维修效果。为确保构造物服役期间承载能力和使用耐久性提供了技术保障。

## 1 损坏的钢筋混凝土的处理

过去移除损坏混凝土的方法主要是锤子加凿子,施工效率非常低,施工人员劳动强度高,容易受伤。1984年美国空压机开始在中国销售,随着空压机的普及,施工中开始采用风镐移除损坏的混凝土,2001年发明了世界上第一台第一把带有防震功能的锤钻产品——电锤,该工具更适合在如码头下空间狭窄的区域施工。气动工具、电动工具、液压工具的发明极大地提高了移除损坏混凝土的施工效率。

移除损坏混凝土施工前必须进行承载能力验算,即使验算结果须确保结构开凿后有足够的安全储备,能保证结构稳定,施工过程中也要采取科学的施工方法和施工顺序,对施工区域进行卸载和围闭,最大程度地减少开凿施工对结构物的影响,保证施工安全,同时减少结构物维修前的初始应力和变形,以达到最佳的维修效果。

移除损坏混凝土后,须对钢筋进行除锈处理,常用的方法包括采用电动钢丝轮除锈,喷砂除锈以及高压淡水除锈等,对于剩余截面积不足的钢筋应焊补新钢筋。

近年来出现了超高压水设备,为旧混凝土拆除和钢筋除锈提供了一种高效环保的新方法——水力清拆。该设备可以提供压力达3 000 bar的超高压淡水射流,配合不同的喷头,可以进行混凝土

切割而不伤钢筋,或进行高质量的混凝土毛面处理,进行高质量的钢筋除锈等施工,是钢筋混凝土维修工程的施工利器。但该设备依赖进口尚无国产设备,费用昂贵,国内维修施工领域尚较少采用。

## 2 混凝土保护层修复技术

传统的混凝土保护层修补方法不外乎立模浇注普通水泥混凝土或人工涂刮普通水泥砂浆,普通混凝土和普通水泥砂浆维修施工性能不突出,应用范围局限性较大,维修效率较低,维修效果差,维修部位容易出现再次损坏。

随着施工技术和材料科技的发展,出现了喷射混凝土施工技术、聚合物砂浆、自密实混凝土、水下不分散混凝土、改性水下环氧灌浆液等一系列新技术新材料。施工效率和施工效果均有了质的飞跃。以下详细介绍几种应用于海工混凝土维修施工领域的技术和材料。

### 2.1 喷射混凝土维修

喷射混凝土法施工适用于氯离子、冻融循环和外力作用下等因素引起的混凝土耐久性损伤或局部损坏。喷射混凝土有“干拌”和“湿拌”两种施工法,一般采用“干拌”法。它是浆水泥、砂及粒径小于25 mm的石子按一定比例拌合后,装入喷射机,用压缩空气将干混合料沿管路输送至喷头处,与水混合并以40~60 m/s的高速喷射至作业面上。湿拌法则是将原材料预先加水拌和后喷射。喷射混凝土施工时,由于水泥颗粒与集料互相撞击,连续挤压,以及采用较小的水灰比,从而使混凝土具有足够的密实性、较高的强度和较好的耐久性。

为了改善喷射混凝土的性能,通常是掺加占水泥质量2.5%~4.0%的速凝剂,一般可使水泥在3 min内初凝,10 min内终凝,有利于提高早期强度、增大喷层厚度,减少回弹损失。喷射混凝土中加入一定数量(一般为混凝土质量的3%~5%)的纤维(钢纤维或高分子材料纤维,一般直径0.3~0.5 mm,长度20~30 mm),能显著提高混凝土的抗拉、抗剪、抗冲击和疲劳强度

以及韧性指数。

喷射混凝土施工, 可使混凝土的运输、灌注和捣实结合为一道工序。不用或少用模板, 适于狭窄地段作业, 并可向不同方位施作薄层混凝土。因此特别适用如码头面板底部等难以安装模板浇注混凝土的部位进行混凝土保护层修复施工。

面板修补用C35海工喷射混凝土, 水胶比取0.40, 胶凝材料用量取400 kg, 粉煤灰掺量20%, 砂率55%, 速凝剂掺量为水泥用量4%, 参考配合比为320:80:969:796:160:16(水泥:粉煤灰:砂:碎石:水)。

喷射混凝土的缺点是维修部位外观不平整, 维修结合不一定好。维修后调查结果表明, 一般不超过10年即有可能局部从结合面剥开。

## 2.2 砂浆维修

对于不宜安装模板浇注混凝土的构件维修可以采用砂浆维修的方法进行维修。常用于海工结构物维修工程的砂浆主要有: 水泥预缩砂浆、环氧水泥砂浆以及聚合物水泥基砂浆等, 此类产品一般为预混合材料, 使用时只需要按说明书, 与固化剂或水拌合即可使用, 有效保证了修补材料质量稳定性。

从各种维修材料的性能来分析水泥预缩砂浆具有强度高, 收缩性小, 抗冻与抗渗能力高, 易于施工等特点, 一般适用于因冻融循环引起的混凝土结构物损坏维修项目中, 但水泥预缩砂浆与基础混凝土的粘结强度低, 易被高速水流冲刷掉是其明显的缺点。

环氧水泥砂浆一般适用于氯离子或冻融循环因素引起的混凝土耐久性损伤, 但环氧水泥砂浆与混凝土两者收缩率不一致, 维修后容易发成片脱落, 不宜大面积施工, 此外其表面可抹性差, 不易抹光。且其配料要求精度高, 对施工操作熟练程度要求严格, 施工环境也极其的苛刻, 工效低<sup>[1]</sup>。

聚合物水泥基砂浆是一种内掺有高分子聚合物散体的新型的维修材料, 具有较高的抗压、抗折、抗拉及粘结强度。抗拉弹模低, 极限拉伸成

倍增长, 干缩变形小, 具有优异的抗裂性。砂浆抗磨、抗渗、抗冻、抗碳化性能均较普通砂浆有了大幅度提高, 且材料来源广, 成本低<sup>[2-3]</sup>。适用于氯离子或冻融循环因素引起的混凝土耐久性损伤。资料显示经过长期野外暴露试验表明, 聚合物水泥基砂浆具有较好的耐久性, 也是一种较理想的维修材料。与传统的环氧树脂砂浆相比, 聚合物水泥基砂浆施工与普通水泥砂浆相似, 可人工涂抹, 也可机械喷涂, 适合潮湿面结合, 无毒, 效果好, 与基础混凝土温度适应性好, 耐老化, 使用寿命同普通水泥砂浆, 克服了环氧砂浆热膨胀系数大于基础混凝土而开裂脱落的缺点。

聚合物水泥基砂浆对海工混凝土表面缺陷进行处理, 充分利用聚合物砂浆优异的粘结及抗渗性能, 使混凝土的缺陷经维修处理后能满足工程需要, 耐久性、抗冲磨性、耐腐蚀性能等指标均达到了要求, 是一种较为可行的处理措施。

现在研究单位也在研究可以多次涂抹, 具备一定厚度的砂浆。

## 2.3 立模浇注高流动性自密实混凝土维修

由于喷射混凝土和维修砂浆均对单次维修厚度有限制, 对于保护层厚度较大或维修体积较大的混凝土构件, 采用喷射混凝土维修或砂浆维修则需要分层多次施工, 层与层间的整体性差, 施工质量难以保障。如果施工条件允许, 优先考虑安装模板并浇注高流动性自密实细石混凝土维修。

高流动性自密实细石混凝土是内掺有高效减水剂、超塑化剂和粉煤灰等能够大幅度提高新拌混凝土流动性的外加剂和掺合料的高性能混凝土。能够在免振捣或少振捣的情况下填充模板内所有空隙并自动密实。适用于难以实施振捣施工, 钢筋间距较小, 模板空间狭窄等情况下施工。

高流动性自密实细石混凝土在海工结构物维修项目中普遍应用于梁式结构物的维修, 维修后整体性好, 新旧混凝土间不容易产生分离和裂缝。

梁式结构物维修用高流动性自密实细石混凝

土,其扩展度一般要求达到600 mm以上。参考配合比为320:160:720:993:192:8.16(水泥:粉煤灰:砂:细石:水:减水剂)。

对于有抗冻要求的混凝土构件混凝土配合比设计及混凝土浇筑施工时应注意以下内容:1)选择含有不同矿物成份和不同性能的水泥、骨料和外加剂,从材料方面确保混凝土的耐久性;2)严格控制混凝土制作配合比,一定要根据结构类型和所处的环境条件,试验确定关键参数,主要是降低混凝土的水灰比,水泥水化所需水分仅为其质量的25%左右,若水量增加,多余的水就游离析出,产出孔隙,饱和后易受冻胀破坏;另外掺入引气型外加剂是提高混凝土抗冻性最有效的途径之一;3)人为地优化建筑物混凝土构件周围的环境条件,以减少或改善致使混凝土冻融的各种不利因素,如对于浪溅区和水位变动区的混凝土构件可用涂层隔断水源,防止混凝土孔隙内水份饱和。

#### 2.4 水下不分散混凝土

对于由于水流冲刷作用或外物碰撞而导致的海工结构物水下部位局部破损的维修,可以采用水下不分散混凝土进行立模浇注。水下不分散混凝土也称为水下浇筑混凝土。是一种可以在水下浇筑的、不会像普通水泥混凝土那样在水的作用下集料与水泥浆发生分离的新型混凝土。

水下不分散混凝土内掺有絮凝剂,能够使混凝土在一定的水流冲刷作用下大幅度减少水泥浆的流失率,自密实填充模板内的空隙,到理想的维修效果。

海工结构修补用C30水下不分散混凝土参考配合比为378:162:594:983:220:8.6:4.1(水泥:粉煤灰:砂:石:水:不分散剂:高效减水剂)。

#### 2.5 改性水下环氧灌浆液<sup>[4]</sup>

由于水下混凝土中有砂、石等颗粒较大的原材料,对于水下构件浅层表面露筋,或缝隙较小的部位不宜安装模板浇注水下混凝土。对于这些部位的维修可以采用立模并灌注改性水下环氧灌浆液进行维修。

改性水下环氧灌浆液中含有偶联剂,能够使灌浆液在水下正常固化并与混凝土基体材料化学粘结,其粘结强度高于混凝土基体材料的抗拉强度,由于改性水下环氧灌浆液的填料密度较大,使得改性水下环氧灌浆液的密度大于淡水或海水的密度,灌浆后不会发生灌浆液上浮的情况。因此适用于各类水下环境的钢筋混凝土构件浅层或狭缝的修复施工。

### 3 裂缝处理技术

混凝土结构由于内外因素的作用不可避免地存在裂缝,而裂缝是混凝土结构物承载能力、耐久性、防水性降低的主要原因。过去对于混凝土裂缝并没有很好的修补方法,随着材料科技的发展,近年来开始出现了化学灌浆法处理混凝土裂缝。

在水工建筑物维修领域中,对于非锈蚀形成的裂缝,如果确定裂缝稳定不再发展,常采用化学灌浆法、填缝法和电化学沉积法对裂缝进行封闭处理。以防止水份、盐份以及空气通过裂缝使钢筋发生锈蚀。

1)化学灌浆的方法:目前最常用的化学灌浆材料可分为两大类,6个系列,上百个品牌:一是防渗止水类,有水玻璃、丙烯酸盐、水溶性聚氨酯、弹性聚氨酯和木质素浆等;二是加固补强类,有环氧树脂、甲基丙烯酸甲酯、非水溶性聚氨酯浆等,近年来应用最多的是水玻璃、聚氨酯和环氧树脂浆材。施工前对裂缝表面进行清洁,安装化学灌浆嘴。灌水试验各灌浆嘴间的裂缝是否连通。保证灌浆液能充分填充裂缝。

2)填缝的方法:沿浅层表面裂缝开凿V形槽,用高压水冲洗槽内混凝土表面,然后用触变性良好的环氧胶泥或环氧砂浆填补裂缝。环氧类材料强度高,但耐久性不足,施加环氧材料的表面通常需要用耐久性较好的涂料覆盖,防止环氧类材料粉化,一般使用较多的是聚氨酯面漆。

3)电化学沉积法:是近年来新兴的修复钢筋混凝土裂缝的新方法之一。它充分利用钢筋混凝土自身特性及水环境条件,施加一定的弱电

流, 产生电解沉积作用, 在混凝土结构裂缝中、表面上生长并沉积一层化合物(如 $ZnO$ 、 $CaCO_3$ 、 $Mg(OH)_2$ 等), 填充、愈合混凝土裂缝, 封闭混凝土表面。这些无机化合物膜层不仅提供了一种物理保护层, 而且也可以有效阻止气液介质在混凝土内部的迁移、传送, 特别适用于钢筋混凝土的水下裂缝修补<sup>[5]</sup>。但该方法使用的电化学沉积液、施工装置和施工技术有待进一步研究, 目前工程实际应用较少。

#### 4 典型工程实例

肯尼亚KIPEVU桥全长约100 m, 由于长期暴露于海洋环境中, 钢筋混凝土构件出现典型的锈裂破坏, 需要检测维修, 该项目工期为1 a, 于2008年6月完工。

该桥面板出现小面积混凝土保护层剥落, 钢筋外露, 严重锈蚀。修补方案采用了多次刮涂聚合物砂浆进行面板维修。

桥梁的主梁受拉区钢筋出现严重锈蚀, 保护层剥落, 修补方案采用了立模浇筑C40高流动性自密实细石混凝土, 模板外施加振捣进一步提高了混凝土流动性, 保证了修补材料与修补面充分接触和密实。

另外, 混凝土构件的结构裂缝用环氧灌浆液进行了化学灌浆处理。

为了进一步提高桥梁的使用寿命, 本维修方案对该桥主要结构安装了外加电流保护系统, 其余钢筋混凝土构件喷涂硅烷进行防腐。该项目施

工工艺简单, 维修工期短, 可操作性强, 完工4年以来, 桥梁运行良好, 修补部位没出现再次损坏的现象, 得到了业主的好评。

#### 5 展望

目前, 由于施工技术和施工材料的原因, 需要对施工区域完全围闭, 施工周期往往较长, 严重影响港口码头等交通物流行业的生产。

随着新材料新技术的出现, 水工结构物的维修效率和效果逐渐提高。通过改良施工技术, 采用新材料、新设备和新工艺, 更快速高效地完成维修施工, 减少维修工程对日常生产的影响是未来维修施工项目研究的课题之一。

#### 参考文献:

- [1] 彭春元, 文梓芸. 苯丙胶乳改性砂浆的试验研究[J]. 新型建筑材, 2002(7): 21-23.
- [2] 刘志勇. 聚合物水泥基材料研究综述[J]. 北京: 新型建筑材, 2000(1): 26-28.
- [3] 杨天生, 咎志斌, 郭宏盛, 等. TK聚合物修补砂浆研究及应用[J]. 水利水电工程设计, 2000(1): 44-45.
- [4] 熊建波, 岑文杰, 彭良聪, 等. 环氧水下粘结剂的水下灌注施工工艺及应用[J]. 水运工程, 2011(12): 138-142.
- [5] 蒋正武, 孙振平, 王培铭, 等. 电化学沉积法修复钢筋混凝土裂缝的试验研究[C]// 中国土木工程学会. 沿海地区混凝土结构耐久性及其设计方法科技论坛暨全国第六届混凝土耐久性学术交流会. 北京: 中国土木工程学会, 2004: 473-479.

(本文编辑 郭雪珍)

