

# 人民胜利堰节制闸除险加固工程混凝土 防碳化处理方案的选择

沈义勤

(沂沭泗水利管理局, 江苏 徐州 221018)

**摘要:** 水利工程在自然环境中遭到物理、化学侵蚀以及运行多年后, 会出现混凝土构件的碳化。碳化会降低构件的稳定、形成收缩裂缝、引发钢筋锈蚀进而影响结构安全。混凝土碳化深度不同, 碳化部位不同, 对其处理方案也要不同。结合人民胜利堰节制闸除险加固工程, 叙述防碳化处理方案选择的方法。

**关键词:** 混凝土; 防碳化; 方案

中图分类号: TV431

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 02-0025-05

## Selection of the concrete anti carbonization treatment scheme for the reinforcement project of the people's victory weir sluice

SHEN Yiqin

(Yishusi Water Conservancy Bureau, Xuzhou 221018, Jiangsu)

**Abstract:** The carbonization of concrete components will occur after years of physical, chemical erosion and operation of water conservancy projects in the natural environment. Carbonization will reduce the stability of the components, form shrinkage cracks, cause corrosion of steel bars and then affect the safety of the structure. The carbonization depth of concrete is different, and the carbonization parts are different, and the treatment plan of concrete should be different. Combined with the reinforcement project of the people's victory weir sluice, the selection method of the anti-carbonization treatment scheme is described.

**Key words:** concrete; carbonization; scheme

### 1 工程概况

人民胜利堰节制闸是大官庄水利枢纽的重要组成部分, 控制分泄上游沭河和分沂入沭水道来水入老沭河, 工程于1995年9月建成投入使用, 运行至今20年。该闸为大(二)型水闸, 共8孔, 单孔净宽10.0 m, 主要由上下游连接段、闸室、消能防冲设施、两岸连接建筑物等组成。

工程地处属温带大陆性季风气候区, 冬季干冷, 雨雪稀少、冻融破坏严重, 春季风大、空气干燥, 夏季气温高、湿度大、雨水集中, 秋季气候凉爽、降水减少。多年平均气温13.2℃, 月平均气温7月份最高为26℃, 1月份最低为-1.7℃, 极端最高气温42℃, 极端最低气温-24.9℃。水质上20世纪末污染较为严重, 近年来水质达到三类标准。

收稿日期: 2017-12-27

作者简介: 沈义勤 (1964-), 男, 高级工程师, 主要从事工程建设管理工作。

## 2 混凝土碳化处理的原则

对已经产生碳化或者破坏的水工建筑物,混凝土防碳化处理可以全面提高混凝土的抗渗能力,阻止混凝土冻融剥蚀破坏,减小 CO<sub>2</sub> 向其内部侵蚀扩散,减缓混凝土的碳化速度,使混凝土保持良好的强度特性,钢筋处于高碱性环境保护中。

目前,对混凝土碳化处理的基本原则是:①若碳化深度较大,钢筋锈蚀明显,危及结构安全应拆除重建;②若碳化深度较小并小于钢筋保护层厚度,同时碳化层比较坚硬的,则可用优质涂料封闭;③若混凝土碳化深度大于钢筋保护层厚度或碳化深度虽然较小但碳化层疏松剥落的,应凿除碳化层,粉刷高强度砂浆或浇筑高强混凝土,然后全面封闭防

护;④若钢筋锈蚀严重,应在修补前除锈,并应根据情况和结构要求加补钢筋,再用粘结性强的防护涂料对整个钢筋混凝土结构进行全面的封闭,达到整体防护的效果<sup>[1]</sup>。

## 3 结构混凝土检测

在确定混凝土防碳化处理方案前,应首先对结构混凝土碳化程度、表面强度等进行检测,分析判断混凝土的碳化对结构稳定性影响<sup>[2]</sup>。

### 1.1 水上混凝土碳化检测

2009 年 5 月,水利部淮河流域水工程质量检测中心对工程的闸墩、翼墙、检修门轨道柱等进行了钢筋配置与混凝土碳化检测,检测结果见表 1。检测项

表 1 构件钢筋配置与混凝土碳化检测结果

检测部位	项目	检测数据 (mm)	
		测点值	平均值
闸墩	2# 墩	a	52 50 64 36 35 48 28 35 41 31
		d	23.0 21.0 24.0 31.0 34.0 25.0 26.0 40.0 24.0 25.0
		@	竖向 200; 水平 250 350 200 255 265 275 270
	5# 墩	a	55 49 25 33 49 46 47 51 52 46
		d	14.0 14.0 36.0 16.0 17.5 15.5 15.0 15.0 17.0 26.0
		@	竖向 245 260 220 180 160 450 230; 水平 315 215 250 165 225 195 340 350 610
		a	66 62 54 51 50 51 52 48 46 51
	8# 墩	d	39.5 46.0 61.0 26.0 39.0 29.5 35.0 32.0 70.0 40.0
		@	竖向 245 220 245 235 175; 水平 250 325 175 310 200 185
翼墙	上游左岸翼墙	a	58 47 52 51 49 51 49 45 46 42
		d	19.0 10.5 13.0 20.0 16.0 19.0 15.0 20.0 11.0 1.0
	上游右岸翼墙	a	66 66 58 54 62 56 49 57 49 53
		d	27.0 12.0 20.0 22.0 26.0 19.0 19.0 23.0 20.0 27.5
	3# 墩	a	37 24 24 38 43 38 22 35 28 20
		d	31.0 29.0 20.0 23.5 19.5 19.0 20.0 19.0 10.0 10.5
	检修门轨道柱	a	36 31 31 39 30 24 21 15 26 24
		d	21.0 15.5 22.0 16.0 18.0 21.0 23.5 20.0 9.0 7.5
	8# 墩	a	41 35 24 46 30 30 23 14 26
		d	1.5 28.0 23.5 23.0 20.5 30.0 24.0 35.0 26.0 27.0

目包括钢筋间距@、保护层厚度 a、混凝土碳化深度 d。

检测表明: 闸墩保护层厚度为 25.0 ~ 66.0 mm, 碳化深度为 14.0 ~ 70.0 mm, 部分钢筋处于非碱性环境中, 处于易锈蚀状态, 翼墙保护层厚度为 42.0 ~ 66.0 mm, 碳化深度为 10.5 ~ 27.5 mm, 部分钢筋处于碱性环境中, 为不易锈蚀状态, 检修门轨道柱保护层厚度为 14.0 ~ 46.0 mm, 碳化深度为 7.5 ~ 37.5 mm, 部分钢筋处于非碱性环境中, 处于易锈蚀状态。

3.2 水下混凝土碳化检测

2009 年 5 月对结构混凝土检测时, 由于当时受条件所限, 只能对水位以上混凝土部位进行检测。2014 年 10 月, 人民胜利堰除险加固工程主体工程开工, 完成上下游施工围堰和基坑排水后, 进一步对水下区、水位变化区进行混凝土碳化深度检测, 检测结果见表 2。

3.3 混凝土表面强度检测

2014 年 10 月, 对工程结构混凝土表面强度进行检测, 检测结果见表 3。

检测结果表明: 结构混凝土表面强度还是较高, 施工质量较好, 碳化层比较坚硬。

3.4 检测分析

从检测数据看, 闸墩是比较容易受碳化影响的部位, 特别是处于相对湿度 60% ~ 80% 的混凝土部位, 受到高速水流的冲击, 每年的冻融破坏和常年的高空气湿度等各种腐蚀因素积垢浓缩, 引起较严重混凝土碳化及钢筋锈蚀, 有时还会形成复合性侵蚀, 使其成为最容易受碳化影响的部位; 翼墙的碳化深度比较大, 和施工强度、水流水质等有关; 排架主要是由于混凝土强度较低, 导致碳化深度较大, 经观察部分排架保护层脱落, 钢筋已经锈蚀。检测结果也说明: 强度是影响碳化深度的重要因素, 保护

表 2 混凝土碳化检测结果

检测部位		碳化深度 d 检测 (mm)	平均值	标准差
闸墩	2# 墩 (水下区)	2.32、2.24、1.20、3.80、1.39、2.33、2.35、1.53、3.08、1.92	2.22	0.75
	2# 墩 (水位变化区)	3.24、6.44、4.34、6.75、5.99、7.79、4.40、7.77、6.42、10.61	6.37	2.11
	5# 墩 (水下区)	2.62、1.66、3.51、3.71、3.06、2.84、3.47、4.82、1.87、1.62	2.91	1.03
	5# 墩 (水位变化区)	6、5.74、7.53、8.77、7.14、4.18、5.86、7.35、8.35、5.90	6.68	1.39
右岸翼墙	水位变化区	6.78、8.33、12.02、10.14、10.62、11.52、10.81、10.22、13.64、9.71	10.38	1.90
左岸翼墙	水位变化区	7.51、6.21、8.20、10.46、1.11、6.19、8.04、2.81、7.88、8.62	6.70	2.80
排架		16.65、17.70、14.36、14.49、15.87、14.03、14.57、17.11、13.26、13.06	15.11	1.62

检测表明: 水下区碳化深度较小, 只有 2 ~ 3 mm, 钢筋处于碱性环境中, 为不易锈蚀状态, 但是闸墩底部由于受水冲击和水质污染, 表面损坏严重。水位变化区碳化比较明显, 闸墩 6 ~ 7 mm, 翼墙 6 ~ 10 mm, 排架柱 15 mm。钢筋处于非碱性环境中, 处于易锈蚀状态。

层厚度则对延长建筑物的寿命至关重要。  
通过检测和分析, 我们认为人民胜利堰节制闸工程总体上碳化深度小于钢筋保护层厚度, 同时, 碳化层表面比较坚硬, 对于碳化深度小于钢筋保护层厚度, 碳化层比较坚硬的, 防碳化处理一般均采用优质涂料对表面进行封闭。其封闭材料主要分为有

表 3 混凝土表面强度检测结果

序号	检测部位	回弹强度	换算强度	备注
1	西侧圆弧挡墙	47.4	35.1	
2	东圆弧挡墙	42.5	28.2	
3	闸墩	6 号	45.8	32.8
		7 号	45.8	32.8
		8 号	45.8	32.8

机材料、无机材料以及结合两者特点的聚合物水泥基材料 3 种<sup>[3]</sup>。

有机涂料也称为柔性表面涂层材料, 选用不饱和和聚酯树脂、固化剂、增韧剂、稀释剂和填料等组成的修补材料, 具体产品有各类树脂及有机硅类涂料等, 其工作原理是能够在混凝土表层形成一层致密的薄膜, 从而阻挡水分以及侵蚀性介质的侵入, 故又称“成膜型防腐涂料”。

无机涂料主要指渗透结晶型涂层材料, 是以硅酸盐水泥为基料并掺有硅砂等多种特殊活性化学物质的粉末状材料。它能够在混凝土表面水化并生成大量的凝胶状结晶吸水膨胀, 对混凝土表面起到密实和防护作用, 同时其中低分子量的可溶性物质可渗透进入混凝土内部生成膨胀性的硅酸盐凝胶堵塞混凝土内部的孔隙, 从而进一步阻止水分和侵蚀性介质的进入。

聚合物水泥基修补材料是通过向水泥砂浆中掺加聚合物乳胶改性而制成的一类有机、无机复合修补材料。

无机修补材料虽然与基底混凝土物理性能基本一致, 但其与混凝土之间的粘结力及力学特性不如有机修补材料, 修补效果不佳。以渗入、吸附、凝结的方式填充混凝土孔隙的有机修补材料只是在混凝土表层形成一层薄膜, 所以更难以达到从根本上对混凝土碳化破坏进行修补的目的, 而且在环境温度变化范围较大时易开裂脱落, 且其修补施工工艺要求高, 材料价格昂贵, 耐久性差。聚合物水泥基修补材料在硬化过程, 伴随着水泥水化形成水化产物刚性空间结构的同时, 由于水化和水分散失使得胶乳脱水, 胶粒凝聚堆积并借助毛细管力成膜, 填充结

晶相之间的空隙, 形成聚合物相空间网状结构。聚合物相的引入提高了水泥的密实性、粘结性, 又降低了混凝土的脆性。与树脂基材料相比, 它干缩小, 不易开裂且成本低得多; 与普通水泥砂浆相比, 聚合物水泥修补材料的弹性模量低、抗拉强度高、极限拉伸率高、与老混凝土的粘接强度高。因此, 聚合物水泥修补材料层能承受较大振动、反复冻融循环、温湿度强烈变化等作用, 耐久性优良, 适用于恶劣环境条件下水工混凝土结构的薄层表面修补。施工方法为人工涂刷, 喷涂及灰浆机湿喷, 大大提高了施工速度及施工质量。目前应用较多的是聚合物水泥基修补材料<sup>[4]</sup>。3 种材料的比较见表 4。

## 4 混凝土碳化处理方案的选择

### 4.1 混凝土碳化工艺的考察

2014 年 11 月, 建设、监理、施工等单位人员先后到南水北调、海河、沂沭泗局所属工程实地考察, 查看工程防碳化处理效果, 收集有关施工资料。

20 世纪末至本世纪初, 沂沭泗局对直属水闸开始进行碳化处理, 积累了很多经验。嶂山闸闸室段以弧门侧轨为界, 下游闸墩混凝土采用上海森泰 ST-9608 聚合物防水防腐涂料, 上游闸墩是采用苏州科利源 KLY 改性水泥砂浆; 彭道口、二级坝一闸三闸等采用丙乳砂浆; 江风口闸采用丁苯胶乳 (SBR) 聚合物水泥砂浆; 韩庄节制闸老闸、二级坝二闸等采用 KW-1by 防水砂浆; 近年来, 南水北调、海河等地工程, 多采用聚合物防水防腐涂料进行混凝土防碳化处理。

考察发现, 不同碳化处理材料需要的施工条件、施工工艺上会有所差异, 运行多年后效果差异很大。

表 4 3 种常用修补材料比较表

项目	材料种类		
	无机修补材料	有机修补材料	聚合物修补材料
物理力学性能	较低, 耐久性不良	较高, 老化问题	具有较高性能, 抗老化能力强
修补效果	黏结性不好, 易造成空壳、龟裂、脱落	干燥时黏结性能好, 易脱裂	粘结牢固, 修补层平整, 无龟裂无脱落
基地处理	深凿、用锚杆	凿至坚硬面、干燥	凿至坚硬面
施工工艺	工程最大, 工艺一般	工艺要求高, 有毒	简便易掌握
修补厚度	15 ~ 20 cm	1 ~ 3 cm	0.8 ~ 3 cm
材料费用	为聚合物砂浆的 2~3 倍	为聚合物砂浆的 3~5 倍	较便宜

产生龟裂、裂缝、表面起鼓、大面积脱落等，色彩变化也较大。

为保证人民胜利堰节制闸进行碳化处理有良好的效果，防止产生上述问题，我们分别选取丙乳砂浆、SBR 砂浆、上海奥兰 AL-9608 聚合物 3 种材料在工地闸墩和翼墙处分别进行工艺试验，通过对这 3 种涂料进行材料本身、施工工艺、以及在实际水闸中处理的结果进行比较，确定施工方案和工艺，并用于指导工程施工。

4.2 施工现场工艺试验

(1) 试验思路：在自然环境状态下对碳化涂料，施工顺序、施工程序和方法等工艺以及成品观感、实验室内性能进行查看和检测。

(2) 试验方法：考虑到光照对碳化效果的影响在闸墩阴面和翼墙阳面各取试验区。在 2# 墩上选择 2 块 1.5 m×1.5 m 的区域，凿除表面碳化层，用 SBR 作为修补材料；在 5# 墩选取 1 块 3 m×2 m 的区域，凿除表面碳化层，用 AL-9608 进行修补；在翼墙上选择 2 块区域进行 AL-9608 和丙乳砂浆修补。养护 7 d 后并取样在实验室做快速碳化实验以及材料其他性能检测。

(3) 试验结论：通行试验对比发现，性能上 3 种涂料对防止混凝土碳化均有明显的作用，作为混凝土防碳化外涂材料都是可行的，检测结果见表 5。观感上 AL-9608 强于 SBR 和丙乳砂浆，并且 AL-9608 的色彩可以进行调整，使其更接近混凝土色彩；从施工方面比较，AL-9608 涂料和丙乳砂浆涂料施工涂刷比较简单，SBR 涂料施工要求较高。最后确定采用 AL-9608 防水防腐材料进行施工。

5 混凝土碳化处理方案实施

表 5 3 种涂料性能数据统计表

试验项目	单位	丙乳砂浆	SBR	AL—9608
拉伸强度	MPa	1.4	2.1	2.3
粘结强度	MPa	1.9	4.2	2.5
断裂伸长率	%	98	23	158
抗渗性	MPa	1.5	3	2
抗冻性		200	200	200
抗氯离子侵蚀	%	0.23	0.14	0.06
抗碳化性	7d	0	0	0
	14d	0.1	0.2	0
	28d	0.5	0.6	0.3

2014 年 9 月，混凝土碳化处理正式开始施工，2016 年 7 月，进行与会代表和验收，通过检查工程和查阅资料，工程通过了淮委组织的竣工验收。经过近 3 年春夏秋冬的考验，工程外观、色彩达到了设计要求，观感质量优良。

参考文献：

[1] 沂沭泗重点工程建设管理局. 沂沭泗直管水闸除险加固工程抗震和混凝土碳化处理关键技术应用研究 [M]. 郑州: 黄河水利出版社.

[2] 陈宝华, 张世儒. 水闸 [M]. 北京: 水利电力出版社, 2003.

[3] 牛狄涛. 混凝土结构耐久性与寿命预测 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[4] 阿列克谢耶夫. 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.