

ICS 91.100.30
CCS Q14

T/HNSL

河南省水利学会团体标准

T/HNSL 0003—2024

水工建筑物抗冲磨橡胶混凝土技术规程

Technical Specification for abrasion resistance of rubberized concrete in hydraulic structures

2024 - 04 - 22 发布

2024 - 07 - 22 实施

河南省水利学会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 抗冲磨防空蚀设计 2

5 配合比设计 3

6 施工 6

7 维护与修补 7

8 质量控制与验收 8



前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由河南省水利学会提出并归口管理。

河南省水利科技应用中心（原河南省水利科学研究院）负责具体技术内容的解释。

为提高本文件的质量，请使用单位在执行本文件的过程中，注意总结经验，积累资料，及时将有关意见或建议反馈至河南省水利科技应用中心《水工建筑物抗冲磨橡胶混凝土技术规程》管理组（地址：郑州市纬五路39号，邮政编码450003），以供今后修订使用。

本文件起草单位：河南省水利科技应用中心、郑州大学、武汉大学、南京水利科学研究院、华北水利水电大学、河南工业大学、河南理工大学、河南省水利工程安全技术重点实验室、河南省水利第二工程局集团有限公司、河南省水利第一工程局集团有限公司。

本文件主要起草人：袁 群、李平先、曹宏亮、冯凌云、李宗坤、韩菊红、王娟、李杉、张海波、陈爱玖、马福恒、甘继胜、姚斌、张国峰、李东森、李立青、史新伟、华莎、马莹、王大辉、耿鹏宇、彭志兵、靳记平、赵朋武、孙崇、卞可、何翀、李晓红、张晓磊、郭立军、赵长伟、王桂玉。

水工建筑物抗冲磨橡胶混凝土技术规程

1 范围

本文件规定了水工建筑物抗冲磨橡胶混凝土的抗冲磨防空蚀设计、配合比设计、施工、维护与修补、质量控制与验收。

本文件适用于水流流速不大于40 m/s的水利工程泄水建筑物。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
- GB/T 10171 建筑施工机械与设备 混凝土的拌合站（楼）
- GB/T 18736 高强高性能混凝土用矿物外加剂
- GB/T 39147 混凝土用钢纤维
- GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB/T 50081 普通混凝土力学性能试验方法标准
- GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
- DL/T 5207 水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范
- JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准
- JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
- JTS/T 236 水运工程混凝土试验检测技术规范
- SL 74 水利水电工程钢闸门设计规范
- SL 176 水利水电工程施工质量检验与评定规程
- SL 230 混凝土坝养护修理规程
- SL 253 溢洪道设计规范
- SL 279 水工隧洞设计规范
- SL 282 混凝土拱坝设计规范
- SL 319 混凝土重力坝设计规范
- SL/T 352 水工混凝土试验规程
- SL 677 水工混凝土施工规范
- T/HNSL 0002-2024 水工橡胶混凝土用废胎橡胶颗粒

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

橡胶混凝土 Rubber concrete

采用橡胶颗粒按等体积替代细骨料的原则掺入混凝土制备而成的混凝土材料。

3.2

抗冲磨橡胶混凝土 Abrasion resistant rubber concrete

过水的水工建筑物遭受水流速度不小于12m/s，且水中会有悬移质和推移质磨蚀作用、强度等级不低于C25的橡胶混凝土。

3.3

空化 Cavitation

水流中局部压力降低到水汽化压力时，形成水蒸气气泡的现象。

3.4

空蚀 Cavitation erosion

水流空化气泡溃灭时的瞬时压力对过流边界表面的剥蚀。

3.5

水流空化数 Flow cavitation number

水流内发生空化条件的无量纲参数，以压力水头与流速水头之比表示。

3.6

初生空化数 Initial cavitation number

水流中开始出现空化时的临界水流空化数。

3.7

推移质 Bed load

在河床表面附近以滑动、滚动、跳跃或层移方式运动的粒径大于5 mm的块石泥沙。

3.8

悬移质 Suspended load

悬浮在水流中随水流运动，粒径小于等于5 mm的泥沙。

3.9

含沙量 Sediment concentration

单位流动水体中所含的悬移质泥沙质量。

3.10

掺气 Aeration

在水流空化区掺入空气。

3.11

界面剂 Interfacial agents

涂抹在基层混凝土表面，起到增强基层混凝土与橡胶混凝土之间粘结力的材料。

3.12

抗冲磨强度 Abrasion resistant strength

单位面积上被磨损单位质量所需的时间，单位为小时每千克每平方米 ($h/(kg/m^2)$)。

4 抗冲磨防空蚀设计

4.1 基本规定

4.1.1 泄水建筑物设计应收集以下资料：

- 应收集水流中的含沙量、泥沙颗粒形状、粒径、硬度、矿物成份等资料；
- 推移质多的河流应收集推移质的数量和粒径及其运动方式；
- 有冰凌的河流应收集冰凌的大小及其运动方式等资料，分析其对橡胶混凝土表面的磨损影响。

4.1.2 水工泄水建筑物的布置应符合 SL 319、SL 282、SL 253、SL 279、DL/T 5207 的有关规定，使其体形合理，流态平稳。

4.1.3 平面闸门门槽形式应按 SL 74 的有关规定选用。

4.1.4 水力条件复杂的泄水建筑物应通过水工模型试验确定体型、结构尺寸、消能工及掺气减蚀设施等。

4.1.5 泄水建筑物橡胶混凝土结构宜减少结构分缝，结构缝应设置可靠的止水，两侧应设置可靠的锚固措施，接缝表面应衔接平顺。

4.1.6 泄水建筑物易冲磨、空蚀部位应具备检查维修条件。

4.1.7 大体积或大面积抗冲磨防空蚀橡胶混凝土施工应进行温控防裂设计，制定温控标准。

4.1.8 根据运行要求，结合水工模型试验、水力学原型观测及类似工程经验，提出合理的泄水建筑物运行方式、闸门开启方式、运行维护等设计要求，减少对橡胶混凝土的冲磨、空蚀破坏。

4.1.9 高流速过流面的体型变化区域、消能工水跃区宜设置空化噪声观测项目。

4.1.10 对重要的泄水建筑物尤其是洞式泄水建筑物、消力池等不易直接观测的橡胶混凝土部位，应对冲磨、空蚀破坏进行实时监测，测量橡胶混凝土表面冲磨深度，及时了解橡胶混凝土表面形状，

实时评判泄水建筑物的安全状态。

4.2 抗冲磨设计

- 4.2.1 水工泄水建筑物的表面宜采用橡胶混凝土作为耐磨面层。
- 4.2.2 泄水建筑物进口附近和库首岸边应避免弃渣，应做好上下游围堰拆除的设计，防止弃渣冲磨橡胶混凝土并导致空蚀。
- 4.2.3 在多泥沙河流的泄水建筑物进口附近宜设置沉沙、排沙设施。
- 4.2.4 泄水建筑物的边坡和出口岸坡应进行防护。
- 4.2.5 含沙高速水流方向和建筑物侧墙平面夹角大于 10° 时，应提高侧墙橡胶混凝土的抗冲磨等级。
- 4.2.6 有过泥沙要求的抗冲磨混凝土迎水面钢筋保护层厚度不得小于 100 mm，靠近表面的钢筋应平行于水流方向。抗冲磨混凝土侧墙、底板厚度不小于 300 mm。
- 4.2.7 抗冲磨面层橡胶混凝土与基层混凝土应保证结合可靠，并合理选择基层混凝土强度等级。
- 4.2.8 含推移质水流平均速度大于 10 m/s 或悬移质含量大于 20 kg/m^3 且水流平均速度大于 20 m/s 时，应根据工程条件选择 SL/T 352 中的至少一种方法进行橡胶混凝土抗冲磨试验，通过抗冲磨试验确定橡胶混凝土的配合比。

4.3 防空蚀设计

- 4.3.1 泄水建筑物易发生空蚀破坏的下列部位或区域，应采取防空蚀措施：
- 闸门槽、堰顶附近、弯曲段、水流边界突变（不连续或不规则）处；
 - 反弧段及其附近；
 - 鼻坎、分流墩、消力墩；
 - 水流空化数 $\sigma \leq 0.3$ 的部位。
- 4.3.2 水工泄水建筑物抗冲磨橡胶混凝土的防空蚀设计应符合 DL/T 5207 的有关规定。

5 配合比设计

5.1 原材料

- 5.1.1 水泥应选用强度等级不小于 42.5 的中热硅酸盐水泥或低热硅酸盐水泥，也可选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。
- 5.1.2 细骨料应选用质地坚硬、含石英颗粒多、清洁、级配良好的中粗砂，含泥量不得大于 1.0%。
- 5.1.3 当采用人工砂时，石粉亚加蓝（MB）值应小于 1.4，石粉含量不应大于 5.0%，压碎指标值应小于 25%。
- 5.1.4 粗骨料应选用质地坚硬的天然卵石或人工碎石，天然骨料最大粒径不宜超过 40 mm，人工骨料最大粒径不宜超过 80 mm，当掺用钢纤维时骨料最大粒径不宜超过 20 mm；粗骨料宜选用连续级配，含泥量不得大于 1.0%。
- 5.1.5 粗、细骨料均应进行坚固性试验，并应符合 JGJ 52 的有关规定。
- 5.1.6 橡胶颗粒及改性橡胶颗粒应符合 T/HNSL 0002-2024 的有关规定，粒径宜为 2.5 mm~5 mm，掺量范围宜为 10%~20%，且在满足抗压强度的情况下宜取较大值。
- 5.1.7 减水剂宜优先选用低收缩的高性能减水剂，有抗冻要求的应加入引气剂。
- 5.1.8 掺合料宜选用 I 级粉煤灰、硅粉、磨细矿渣等，掺合料用量应通过试验确定，粉煤灰的品质应符合 GB/T 1596 的有关规定，硅粉、磨细矿渣粉的品质应符合 GB/T 18736 的有关规定。
- 5.1.9 掺用钢纤维时，所用钢纤维应符合 GB/T 39147 的有关规定。

5.2 材料选择

- 5.2.1 抗冲磨橡胶混凝土的强度等级分为 C25、C30、C35、C40、C50 等五级。
- 5.2.2 水流中冲磨介质以悬移质为主的工程，可根据水流空化数、最大流速和多年平均含沙量按表 1 选择橡胶混凝土的强度等级，并进行抗冲磨强度优选试验。

表1 抗冲磨橡胶混凝土强度等级及参考抗冲磨强度

项目	指标						
	水流空化数	$\sigma > 1.5$	$0.6 < \sigma \leq 1.5$		$0.3 < \sigma \leq 0.6$		$\sigma \leq 0.3$
最大流速 (m/s)	$v < 15$	$15 \leq v < 25$		$25 \leq v < 35$		$v \geq 35$	
多年平均含沙量 (kg/m^3)	≥ 2	< 2	≥ 2	< 2	≥ 2	< 2	≥ 2
强度等级	C25~C30	C25	C30~C35	C30	C35~C40	C35	C40~C50
抗冲磨强度 ($\text{h}/(\text{kg}/\text{m}^2)$)	参考值 ≥ 13 (C25~C50, 10% 橡胶颗粒掺量)						
	参考值 ≥ 22 (C25~C50, 15% 橡胶颗粒掺量)						
	参考值 ≥ 30 (C25~C50, 20% 橡胶颗粒掺量)						
注1: 排沙建筑物均应按最大含沙量大于 $2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 选择橡胶混凝土强度等级; 注2: 当过流中推移质含量大于 $2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时, 宜选用表中提高1~2强度等级的橡胶混凝土; 注3: 当水流空化数和流速不一致时, 按等级偏高一级确定; 注4: 抗冲磨强度为SL/T 352中水下钢球法检测值。							

5.2.3 各个等级抗冲磨橡胶混凝土均应通过配合比优化试验, 选择抗冲磨性、和易性和经济性较优的配合比。当采用普通橡胶颗粒配制抗冲磨橡胶混凝土不能满足表1要求时, 须使用改性橡胶颗粒。配合比试验中应使用活性掺合料, 最大掺量不应超过表2的规定。

表2 活性掺合料最大掺量

活性掺合料	占胶凝材料的总质量 (%)
粉煤灰	25
磨细矿渣	50
硅粉	10
粉煤灰+磨细矿渣+硅粉	50
粉煤灰+硅粉	35

5.2.4 水流中冲磨介质以推移质为主的工程, 应根据推移质的粒径、流速等进行研究, 选择抗冲磨橡胶混凝土或其他抗冲磨材料。

5.3 配合比设计

5.3.1 橡胶混凝土配合比设计的基本原则:

- 应根据工程要求、结构型式、施工条件和原材料状况确定各组成材料的用量, 配制出既满足工作性、强度及耐久性要求, 又经济合理的橡胶混凝土;
- 橡胶混凝土配合比试验使用的原材料宜采用工程中实际使用的原材料;
- 在满足工作性要求的前提下, 宜选用较小的用水量;
- 在满足强度、耐久性及工作性的前提下, 选用合适的水胶比;
- 宜选取最优砂率, 即在保证橡胶混凝土拌合物具有良好的黏聚性并达到要求的工作性时用水量最小的砂率;
- 宜选用最大粒径较大的骨料及最佳级配。

5.3.2 进行橡胶混凝土配合比设计时, 应明确下列要求:

- 橡胶混凝土强度等级及保证率;
- 橡胶混凝土的抗渗等级、抗冻等级、抗冲耐磨性能;
- 橡胶混凝土的工作性;
- 骨料最大粒径。

5.3.3 橡胶混凝土配合比设计应满足橡胶混凝土配制强度、拌合物性能、力学性能和耐久性能的设计要求。橡胶混凝土拌合物性能、力学性能、耐久性能的试验方法应分别符合 GB/T 50080、GB/T 50081、GB/T 50082 的有关规定。

5.3.4 橡胶混凝土配合比设计宜采用工程实际使用或推荐的原材料，配合比设计应以干燥状态骨料为基准，细骨料含水率应小于 0.5%，粗骨料含水率应小于 0.2%，橡胶颗粒含水率应小于 1.0%。

5.3.5 橡胶混凝土的水胶比宜小于 0.50，或通过试验确定。

5.3.6 矿物掺合料在橡胶混凝土中的掺量应通过试验确定。采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时，橡胶混凝土中矿物掺合料最大掺量宜符合表 3 的规定。

表3 钢筋橡胶混凝土中矿物掺合料最大掺量

矿物掺合料种类	水胶比	最大掺量 (%)	
		采用硅酸盐水泥时	采用普通硅酸盐水泥时
粉煤灰	≤0.40	≤45	≤35
	>0.40	≤40	≤30
粒化高炉矿渣粉	≤0.40	≤65	≤55
	>0.40	≤55	≤45
钢渣粉	-	≤30	≤20
磷渣粉	-	≤30	≤20
硅灰	-	≤10	≤10
复合掺合料	≤0.40	≤60	≤50
	>0.40	≤50	≤40

注1：采用其他通用硅酸盐水泥时，宜将水泥混合材掺量大于20%以上的混合材量计入矿物掺合料；
注2：复合掺合料各组分的掺量不宜超过单掺时的最大掺量；
注3：在混合使用两种或两种以上矿物掺合料时，矿物掺合料总掺量应符合表中复合掺合料的规定。

5.3.7 橡胶混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量应符合表 4 的要求，测试方法应符合 JTS/T 236 的有关规定。

表4 橡胶混凝土拌合物中水溶性氯离子最大含量

环境条件	水溶性氯离子最大含量 (%) ， 水泥用量的质量百分比)	
	钢筋混凝土	素混凝土
干燥环境	0.30	1.0
潮湿但不含氯离子的环境	0.30	
潮湿且含有氯离子的环境、盐渍土环境	0.20	
除冰盐等侵蚀性物质的腐蚀环境	0.10	

5.3.8 长期处于潮湿或水位变动的寒冷和严寒环境、以及盐冻环境的橡胶混凝土应掺用引气剂。引气剂掺量应根据橡胶混凝土含气量要求经试验确定；橡胶混凝土最小含气量应符合表 5 的规定，最大不宜超过 7.0%。

5.3.9 对于有预防橡胶混凝土碱骨料反应设计要求的工程，橡胶混凝土中最大碱含量不应大于 3.0 kg/m³，宜掺用适量粉煤灰或其他矿物掺合料；对于矿物掺合料碱含量，粉煤灰碱含量可取实测值的 1/6，粒化高炉矿渣粉碱含量可取实测值的 1/2。

表5 掺用引气剂的橡胶混凝土最小含气量

粗骨料最大公称粒径 (mm)	混凝土最小含气量(%)	
	潮湿或水位变动的寒冷和严寒环境	盐冻环境
40.0	4.5	5.0
25.0	5.0	5.5
20.0	5.5	6.0

注：含气量为气体占混凝土体积的百分比。

5.3.10 橡胶混凝土的配制强度应按公式 (1) 计算：

$$f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645S_n \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$f_{cu,0}$ ——橡胶混凝土配制强度，单位为兆帕 (MPa)；

$f_{cu,k}$ ——橡胶混凝土立方体抗压强度标准值，取设计橡胶混凝土强度等级值，单位为兆帕(MPa)；

S_n ——橡胶混凝土强度标准差，单位为兆帕 (MPa)。

5.3.11 橡胶混凝土强度标准差应按照下列规定确定：

- a) 当近期具有同一品种、同一强度等级橡胶混凝土的强度资料时，橡胶混凝土强度标准差 S_n 应按公式 (2) 计算：

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm_{f_{cu}}^2)} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

S_n ——橡胶混凝土强度标准差，单位为兆帕 (MPa)；

$f_{cu,i}$ ——第*i*组的试件强度，单位为兆帕 (MPa)；

$m_{f_{cu}}$ ——*n*组试件的强度平均值，单位为兆帕 (MPa)；

n ——试件组数，应不小于 30。

强度等级不大于C30的橡胶混凝土：当 S_n 计算值不小于3.0 MPa时，应按公式 (2) 计算结果取值；当 S_n 计算值小于3.0 MPa时， S_n 应取3.0 MPa。强度等级大于C25且不大于C50的橡胶混凝土：当 S_n 计算值不小于4.0 MPa时，应按公式 (2) 计算结果取值；当 S_n 计算值小于4.0 MPa时， S_n 应取4.0 MPa。

- b) 当近期没有同一品种、同一强度等级橡胶混凝土强度资料时，橡胶混凝土强度标准差 S_n 可按表 6 取值。

表6 橡胶混凝土强度标准差 S_n 值 (MPa)

强度等级	C25~C40	C50
S_n	5.0	6.0

5.3.12 配合比的调整应符合 JGJ 55 的有关规定。

6 施工

6.1 基本规定

6.1.1 抗冲磨橡胶混凝土的施工应符合 SL 677 的有关规定。

- 6.1.2 生产抗冲磨橡胶混凝土的拌合站（楼）应符合 GB/T 10171 的有关规定。
- 6.1.3 施工前应制定抗冲磨橡胶混凝土的施工技术方案，并做好各项准备工作。
- 6.1.4 抗冲磨橡胶混凝土的运输和浇筑过程中严禁往拌合物中加水。

6.2 施工技术要求

- 6.2.1 抗冲磨橡胶混凝土的拌合时间宜较普通混凝土延长 30 s~60 s，掺钢纤维抗冲磨橡胶混凝土应延长 60 s~120 s，可通过试验进一步确定。投料顺序应通过试验确定。
- 6.2.2 抗冲磨橡胶混凝土宜与基底混凝土同时浇筑，需分期浇筑时，应按设计要求施工。
- 6.2.3 抗冲磨橡胶混凝土浇筑后，应及时保温保湿，必要时应采取适当的温控措施防止开裂。
- 6.2.4 溢流坝面、溢洪道等泄水界面抗冲磨橡胶混凝土浇筑，可采用拉模、翻模等方法施工。
- 6.2.5 抗冲磨橡胶混凝土施工前，宜在施工现场先进行工艺性试验。

7 维护与修补

7.1 基本规定

- 7.1.1 根据建筑物的运行工况，对易遭受冲磨与空蚀破坏的橡胶混凝土结构应观测与检查，形成记录。
- 7.1.2 对发生冲磨、空蚀破坏的部位，应分析破坏的严重程度及产生原因，提出相应的治理措施，及时修补。对破坏范围较大或破坏较严重的工程应进行修补设计，并于施工前进行生产性现场试验。
- 7.1.3 对发生冲磨、空蚀破坏结构的修补，可选择橡胶混凝土或其他工艺成熟、技术先进、经济合理的修补材料，按有关规范和产品指南严格控制施工质量。

7.2 检查与维护

- 7.2.1 泄水建筑物运行时，应按设计要求进行水力学观测，发现异常情况应及时记录并报告。
- 7.2.2 易遭受冲磨和空蚀破坏的部位应重点检查：闸门槽与底槛、溢流堰面、坡降突变部位、底板与边墙交界部位、不同类型材料衬砌的连接部位、鼻坎、消力墩、消力池（塘）、护坦与基础连接部位等。
- 7.2.3 检查的主要内容应包括：
 - a) 查明磨损破坏的状况，分析破坏类型与原因，按 SL 230 的有关规定判别磨损和空蚀的主要原因；
 - b) 检查橡胶混凝土破损的范围和深度；
 - c) 检查橡胶混凝土破损区域及其周边是否有渗水；
 - d) 检查钢筋的出露情况及完整性；
 - e) 检查判断消能设施的冲磨、空蚀、冲淤；
 - f) 检查判断结构物与基岩连接部位的破坏情况；
 - g) 检查过水壁面与门槽的空蚀；
 - h) 水工建筑物发生空蚀时应检查空蚀部位、空蚀坑的形状及特征尺寸。
- 7.2.4 检查人员应现场记录与描绘观测情况，在检查结束后及时整理资料，提出检查报告。
- 7.2.5 检查报告应包括下列内容：工程名称、检查时间、检查组成员、检查目的、主要被检查部位、检测结果、分析与结论，并对结构物的现状及修补工作的轻重缓急进行评估，提出下一步工作的具体建议。
- 7.2.6 当泄水建筑物经短期运行即发生较严重的冲磨与空蚀破坏，或长期运行发生周期性、重复性破坏时，应重新审查与评估结构布置与体形设计的合理性，必要时通过模型试验再行论证；应检查溢流面体型和施工不平整度是否满足设计要求，检测与评估橡胶混凝土的抗磨蚀性能及接缝合理性；应检查运行方式是否恰当。

7.3 修补处理

- 7.3.1 对于冲磨深度大于 50 mm 的工程可采用橡胶混凝土进行修补。修补区平均磨蚀深度为 50 mm~150 mm 范围内宜选择一级配橡胶混凝土类材料，是否布置插筋应根据修补面积、厚度及修补材料与基底的粘结强度确定；大于 150 mm 时，可选择二级配橡胶混凝土类材料，补焊钢筋，并设置钢筋网或钢

丝网。

7.3.2 修补区边缘宜先切割轮廓线，构成凸多边形，相邻两线的夹角应小于 90° 。修补区边缘不得形成深度小于 30mm 的边口。平面薄层修补区边缘应凿成齿槽状，立面修补的槽、孔宜凿成齿楔形状。

7.3.3 修补施工前应彻底清除基面上已损坏、松动和胶结不良的表层混凝土、油污及杂质。采用橡胶混凝土修补，干燥基面修补前应浸水或保持湿润状态 24 h，修补前 1 h~2 h 清除积水。

7.3.4 修补区有钢筋出露并锈蚀时，修补前应进行除锈处理。如果钢筋横截面明显减小或被冲断，应补焊受力筋并加设必要的连接筋。对冲蚀破坏的预埋件，应予修复。

7.3.5 平均深度小于 150 mm 的修补区，应在基面涂刷与修补材料同类的净浆、聚合物类水泥净浆或其他适宜的黏结材料，并在黏结材料初凝前铺筑修补材料。

7.3.6 修补区存在渗水时，修补前先行堵漏或改流，并清除积水。

7.3.7 磨蚀破坏修补宜采用低流动度的砂浆或橡胶混凝土，铺筑过程中应充分振捣并及时抹面。抹面时应反复压抹、拍打，且不应在抹面时加水。

7.3.8 修补区的高程和平整度应满足工程原设计要求，并与未修补区平顺连接。

7.3.9 采用橡胶混凝土修补后应按 SL 677 的有关规定养护。

8 质量控制与验收

8.1 质量控制

8.1.1 水工抗冲磨橡胶混凝土的设计与施工质量控制除应符合本规程的规定外，尚应符合 SL 176 的有关规定。

8.1.2 质量控制项目应包括：

- a) 泄水建筑物的体形；
- b) 过流面橡胶混凝土的平整度；
- c) 橡胶混凝土的原材料和配合比；
- d) 橡胶混凝土的施工方法与工艺；
- e) 橡胶混凝土的表面保护与防止裂缝；
- f) 残渣杂物等的清理；
- g) 橡胶混凝土的抗压强度、抗冲磨强度、抗渗性与抗冻性。

8.1.3 质量检查内容应包括：

- a) 过流表面、掺气设施及消能工的定线放样准确性；
- b) 模板的光滑平整度及纵横支撑的稳定可靠性；
- c) 受力钢筋、构造钢筋、架立筋的分布合理性；
- d) 拆模前后施工缝或伸缩缝的接口平整度；
- e) 钢筋保护层的厚度及拆模后钢筋头的切割处理；
- f) 橡胶混凝土表面突体高度与磨平坡度；
- g) 橡胶混凝土养护措施与实施；
- h) 橡胶混凝土的原材料、外加剂与掺合料的质量；
- i) 泄水建筑物区内残渣、杂物的清理情况；
- j) 橡胶混凝土质量缺陷及其处理。

8.1.4 泄水建筑物抗冲磨橡胶混凝土每 500 m^2 过流表面应取不少于两组试件做抗压强度试验，不少于一组试件做抗冲磨强度试验；宜发生空蚀的部位，宜取不少于一组试件做抗空蚀强度试验。小于 500 m^2 的磨蚀修补部位可根据工程条件，确定试验项目。

8.2 质量验收

8.2.1 抗冲磨橡胶混凝土工程的验收，应按 SL 176 及本文件的有关规定进行。

8.2.2 抗冲磨橡胶混凝土工程的验收应提交以下资料：

- a) 设计图纸及施工技术要求；
- b) 竣工图：包括平面图、过流表面曲线、掺气设施和消能工体型、过流横断面（每 $5 \text{ m} \sim 10 \text{ m}$ 测一个）；

- c) 表面不平整度实测资料与评价;
 - d) 橡胶混凝土原材料及其配合比、抗压强度、抗冲磨强度的试验结果;
 - e) 施工质量检查报告;
 - f) 水工模型试验等专项试验结果;
 - g) 缺陷处理的相关资料;
 - h) 其他有关资料。
- 8.2.3 验收时应抽查低水流空化数区域的橡胶混凝土强度、表面不平整度及其处理情况,并作出评价。
- 8.2.4 验收标准:
- a) 泄水建筑物的布置、过水断面体型及结构尺寸应符合设计要求;
 - b) 橡胶混凝土表面突体高度和处理坡度应符合设计要求;
 - c) 泄水建筑物区域内及其附近的残积物已清除干净;
 - d) 原材料符合国家和行业的有关规定;
 - e) 过流面混凝土抗压强度值应符合 SL 677 的有关要求;
 - f) 抗冲磨橡胶混凝土的抗冲磨强度合格率应大于 95%;
 - g) 过流面橡胶混凝土抗压强度应同时符合公式 (3) 和公式 (4)。

$$m_{f_{cu}} \geq 1.15f_{cu,k} \dots\dots\dots (3)$$

$$f_{cu,min} \geq 0.95f_{cu,k} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- $m_{f_{cu}}$ ——同一检验批橡胶混凝土立方体抗压强度平均值,单位为兆帕 (MPa);
- $f_{cu,k}$ ——橡胶混凝土立方体抗压强度标准值,单位为兆帕 (MPa)
- $f_{cu,min}$ ——同一检验批橡胶混凝土立方体抗压强度最小值,单位为兆帕 (MPa)。