

# 再生混凝土在水利工程中的应用

陈 南<sup>1</sup>, 孙晓燕<sup>2</sup>

(1. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223001; 2. 江苏省淮沭新河管理处, 江苏 淮安 223001)

**摘要:**再生混凝土在水利工程中的应用还比较少, 利用现场拆下的废弃混凝土, 对废物进行再利用, 对原混凝土力学性能、再生混凝土的力学性能进行测试, 同时针对水利工程的特殊性, 对再生混凝土的耐久性能进行测试, 同时与普通混凝土进行对比测试。

**关键词:**再生混凝土; 再生骨料; 力学性能; 耐久性能

**中图分类号:**TV431      **文献标识码:**A      **文章编号:**1007-7839(2021)11-0020-0005

## Application of recycled concrete in hydraulic engineering

CHEN Nan<sup>1</sup>, SUN Xiaoyan<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an 223001, China;

2. Jiangsu Huaishu New River Management Office, Huai'an 223001, China)

**Abstract:** The application of recycled concrete in hydraulic engineering is still relatively small. Using the waste concrete demolished on site, the waste was reused to test the mechanical properties of the original concrete, the mechanical properties of the recycled concrete, as well as the durability of the recycled concrete for the special characteristics of the water conservancy project, and also to conduct a comparison test with ordinary concrete.

**Key words:** recycled concrete; recycled aggregates; mechanical properties; durability

再生混凝土顾名思义是由再生骨料替代传统骨料, 与细骨料、胶凝材料、矿物掺合料、外加剂、水等拌合而成的混凝土; 最近几年随着房地产的加速发展, 我国每年有大量的房子拆建, 有研究资料表明, 每拆掉 1 m<sup>2</sup> 的建筑要生产 1.3 t 的建筑垃圾、每新建 1 m<sup>2</sup> 的建筑要生产 0.3 t 的建筑垃圾, 而填埋 1 万 t 建筑垃圾需要占用 0.13 hm<sup>2</sup> 土地, 对于环境的危害更是成倍数增加; 随着环保意识的增强以及砂石骨料价格疯涨, 再生骨料作为一种可替代的资源正在被许多建筑工地应用。再生混凝土的使用可以保护生态环境, 实现废旧混凝土的高效回收和再生利用, 促进建筑业可持续健康发展<sup>[1]</sup>。本文基于苏北某老旧闸站拆除的混凝土作为对象, 研究再生混凝土在水利工程中的运用。

## 1 原混凝土抗压强度

原闸站工程建于 20 世纪 70—80 年代, 工程建成时间较长, 现已不能满足正常运行要求; 原始设计资料已不可考究, 混凝土设计强度等级未知, 计划拆除旧的闸站工程, 在原址重建新闸站; 由于拆除旧闸站后会产生大量废弃混凝土, 对环境卫生等都会造成隐患, 现打算进行废物利用, 对拆除的废弃混凝土进行破碎筛分, 配制成 5~31.5 mm 的级配碎石用于拌制混凝土<sup>[2]</sup>; 对原混凝土进行钻芯取样, 闸室墩墙、闸室底板、上下游翼墙每个部位各钻取 1 组芯样, 共 4 组 12 个芯样, 然后按照 SL352—2006《水工混凝土试验规程》进行抗压试验, 芯样抗压强度见表 1。

收稿日期: 2022-07-18

作者简介: 陈南(1986—), 男, 工程师, 本科, 主要从事水利工程建设与管理工作。E-mail: 472418737@qq.com

表 1 原混凝土芯样抗压强度检测结果

检测部位	直径/mm	高度/mm	破坏荷载/kN	抗压强度/MPa	
				单块值	平均值
闸室墩墙	100.2	100.1	435.6	55.5	53.9
	99.8	100.2	428.9	54.6	
	99.7	99.9	406.2	51.7	
闸室底板	100.4	100.2	419.8	53.5	49.8
	100.3	100.1	398.5	50.7	
	99.5	100.3	354.8	45.2	
上游翼墙	100.3	100.1	376.5	47.9	45.1
	99.8	100.3	328.6	41.8	
	100.3	100.1	358.4	45.6	
下游翼墙	99.8	100.2	376.4	47.9	45.9
	99.7	99.8	384.6	49.0	
	100.3	100.1	319.8	40.7	

2 试验原材料

2.1 水泥

水泥采用PO42.5普通硅酸盐水泥,水泥的物理性能按《通用硅酸盐水泥》GB175—2007 要求,试验结果见表 2。水泥的化学性能按规范《水泥化学分析方法》GB/T176—2017 试验,试验结果见表 3。

2.2 细骨料

细骨料采用天然砂,按照 JGJ52—2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》进行试验,细度模数为 2.8,属于中砂,颗粒级配区为Ⅱ区,试验结果

见表 4。

2.3 粗骨料

2.3.1 再生粗骨料

再生混凝土使用再生粗骨料,再生粗骨料由原混凝土破碎筛分后,配制成 5~31.5mm 的连续级配,清洗风干后作为新建工程混凝土的粗骨料<sup>[2]</sup>,再生粗骨料按照 JGJ52—2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》进行试验,检测结果见表 5。

2.3.2 粗骨料

对比普通混凝土粗骨料采用天然碎石,颗粒级配为 5~31.5 mm 连续级配,检测结果见表 6。

表 2 普通硅酸盐水泥的物理性能

检测参数	安定性	标准稠度用水/%	凝结时间/min		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
			初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
技术指标	合格		≥45	≤600	≥3.5	≥6.5	≥17.0	≥42.5
检测结果	合格	28.1	182	248	4.9	8.4	22.6	46.2

表 3 普通硅酸盐水泥的化学性能

检测参数	烧失量/%	三氧化硫/%	氧化镁/%	氯离子/%
技术指标	≤5.0	≤3.5	≤5.0	≤0.06
检测结果	3.10	2.42	3.36	0.032

表 4 砂试验参数

检测参数	含泥量/%	泥块含量/%	含水率/%	空隙率/%	表观密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	堆积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )
技术指标	≤3.0	0	≤6.0	—	≥2.50	—
检测结果	1.2	0	3.8	43.6	2.59	1.46

表5 再生粗骨料品质

检测参数	表观密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	堆积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	空隙率/%	吸水率/%	压碎值/%
检测结果	2.49	1.37	45.0	5.21	13

表6 粗骨料品质

检测参数	表观密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	堆积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	空隙率/%	吸水率/%	压碎值/%
检测结果	2.74	1.54	43.8	0.68	6.3

2.4 粉煤灰

粉煤灰采用大唐电厂Ⅱ级粉煤灰,粉煤灰的烧失量为3.94%,细度为18.4%,三氧化硫含量为1.42%。

2.5 外加剂

外加剂采用高效减水剂,产品为棕色液体,含固量为15.6%,减水率为20.2%,泌水率比为71%。

3 配合比设计

本工程主体结构混凝土设计强度等级均为C25,本工程泵送混凝土设计坍落度为180 mm,同时考虑到再生粗骨料吸水率较普通粗骨料大,设计用水量均增加5%,配合比见表7。

表7 混凝土配合比

类别	水泥/kg	细骨料/kg	粗骨料/kg	粉煤灰/kg	外加剂/kg	水/kg	水胶比	砂率/%
普通混凝土	266	772	1 112	67	6.0	183	0.55	41.0
再生混凝土	266	772	1 112	67	6.0	183	0.55	41.0

4 混凝土拌合物工作性能以及测试试件制备

普通混凝土和再生混凝土均按照表7的配合比准确称取材料用量,按粗细骨料、水泥、粉煤灰顺序加入强制式搅拌机拌合,拌合均匀后一次性加入外加剂和水的混合物,拌合均匀后一部分对拌合物进行坍落度试验,测定拌合物的坍落度以及60 min坍落度经时变化量;另一部分成型试验试件,每组3个试件,分别成型150 mm×150 mm×150 mm抗压试件2组,150 mm×150 mm×150 mm劈裂抗拉试件2组,150 mm×150 mm×550 mm抗折试件2组,抗渗试件2组,100 mm×100 mm×400 mm抗冻试件2组,钻取Φ100 mm×H50 mm氯离子渗透试件2组,混凝土拌合物性能检测结果见表8。

表8 混凝土拌合物性能结果

品种	坍落度/mm	60 min坍落度经时变化量/mm
普通混凝土	210	80
再生混凝土	185	100

由表8可知,再生混凝土坍落度比普通混凝土坍落度低25 mm,再生混凝土60 min坍落度经时变

化量比普通混凝土多20 mm;再生混凝土拌合物无泌水,普通混凝土拌合物有轻微泌水,可能因为再生混凝土粗骨料表面较天然碎石粗糙用水量大;再生混凝土的保水性和粘聚性也比普通混凝土要好。

5 混凝土的力学性能试验

5.1 混凝土抗压强度

根据GB/T50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》规定,混凝土抗压强度采用试件尺寸150 mm×150 mm×150 mm为标准试件,标准养护龄期为28 d<sup>[3]</sup>,检测结果见表9。

由表9可知,原材料用量完全相同的配合比,普通混凝土抗压强度比再生混凝土高7.9%,一方面可能是原生混凝土在破碎过程中在混凝土内部产生大量微裂纹,在混凝土抗压过程中内部缺陷首先破坏<sup>[4]</sup>;另一方面可能是水泥浆体和再生粗骨料包裹性差,在凝结硬化后,水泥石和再生粗骨料间具有界面薄弱区,在受到应力过程中首先破坏,两种原因可能导致再生混凝土抗压强度比普通混凝土低。

5.2 混凝土劈裂抗拉强度

根据GB/T50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》规定,混凝土劈裂抗拉强度采用试件尺寸150 mm×150 mm×150 mm为标准试件,标准

表9 混凝土抗压强度结果

品种	龄期/d	养护条件	试件尺寸/ mm	破坏荷载/ kN	抗压强度/MPa	
					单块值	代表值
普通混凝土	28	标准养护	150×150×150	865.4	38.5	39.5
				893.5	39.7	
				904.7	40.2	
再生混凝土	28	标准养护	150×150×150	805.6	35.8	36.6
				835.9	37.2	
				828.1	36.8	

养护龄期为 28 d<sup>[3]</sup>,检测结果见表 10。

由表 10 可知,普通混凝土劈裂抗拉强度比再生混凝土高 10.9%,趋势与抗压强度基本相同。

5.3 混凝土抗折强度

根据 GB/T50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》规定,混凝土抗折强度采用试件尺寸 150 mm×150 mm×550 mm 为标准试件,标准养护龄期为 28 d<sup>[3]</sup>,检测结果见表 11。

由表 11 可知,普通混凝土抗折强度比再生混凝土高 13.0%,趋势与抗压强度、劈裂抗拉强度基本相同,但抗折强度降低的更大。

6 混凝土耐久性能试验

本工程处于江淮地区,属亚热带气候,气候冷暖交替进行,化工厂较多、水中化学元素较复杂,工

程受化学侵蚀、冻融、氯离子渗透、碳化等损害日益严重;鉴于水利行业特殊性,对混凝土耐久性能进行了测试。

6.1 混凝土抗水渗透试验

混凝土腐蚀大多由于水、水中的 Cl<sup>-</sup>等其他有害粒子侵入混凝土共同侵蚀,混凝土抗渗透性能是混凝土耐久性的一个比较重要的指标<sup>[1]</sup>。

按 GBT50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》对普通混凝土和再生混凝土进行试验<sup>[5]</sup>,检测结果表明:在试验水压 0.4 MPa 下,普通混凝土试件和再生混凝土共 12 个试件均不渗水,均满足设计 W4 的要求。

6.2 混凝土抗冻试验

混凝土冻融机理:混凝土内部温度在-20 ℃时,混凝土内毛细水结冰体积膨胀,未参与水泥水化的

表 10 混凝土劈裂抗拉强度结果

品种	龄期/d	养护条件	试件尺寸/ mm	破坏荷载/ kN	抗压强度/MPa	
					单块值	代表值
普通混凝土	28	标准养护	150×150×150	102.5	2.90	2.94
				109.6	3.10	
				99.1	2.81	
再生混凝土	28	标准养护	150×150×150	92.2	2.61	2.65
				96.4	2.73	
				91.8	2.60	

表 11 混凝土抗折强度结果

品种	龄期/d	养护条件	试件尺寸/ mm	破坏荷载/ kN	抗压强度/MPa	
					单块值	代表值
普通混凝土	28	标准养护	150×150×150	36.37	4.85	5.03
				38.15	5.09	
				38.76	5.17	
再生混凝土	28	标准养护	150×150×150	33.25	4.43	4.45
				34.25	4.57	
				32.67	4.36	

水受压力向外流出,且流速受冰面扩大而加快,同时受到混凝土内壁阻力作用,当混凝土不能抵抗内部膨胀应力的时候,就会对混凝土内部损伤,在N次反复冻融循环下,最终导致混凝土被破坏,本试验采用快冻法对再生混凝土抗冻性能进行检测,检测参数为相对动弹性模量和质量损失率<sup>[3]</sup>,按 GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》对普通混凝土和再生混凝土进行试验<sup>[5]</sup>,检测结果见表12。

表12 混凝土抗折强度结果

品种	抗冻 标号	动弹模/GPa		重量/kg		相对动弹模/%		质量损失率/%	
		冻前	冻后	冻前	冻后	单块值	代表值	单块值	代表值
普通混凝土	F50	40.12	31.57	10.321	10.221	78.7		0.97	
		39.36	30.81	10.228	10.128	78.3	78.3	0.98	0.95
		38.57	30.04	10.234	10.142	77.9		0.90	
再生混凝土	F50	36.42	25.27	9.452	9.302	69.4		1.59	
		34.16	23.45	9.432	9.286	68.6	67.8	1.55	1.70
		32.26	21.11	9.511	9.324	65.4		1.97	

混凝土中会破坏钢筋表面的钝化膜加快钢筋锈蚀,钢筋锈蚀导致体积膨胀进而对混凝土应力破坏;按 GB/T 50082—2009《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》对普通混凝土和再生混凝土进行试验,普通混凝土的非稳态迁移系数为  $2.03 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ,再生混凝土为  $1.71 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ,检测结果表明两种混凝土抗氯离子渗透性能均为中等,普通混凝土要比再生混凝土抗氯离子渗透性能好。

## 7 结 论

(1)再生混凝土拌合物坍落度和坍落度经时变化量均比普通混凝土低,但泌水性、保水性、黏聚性均比普通混凝土好<sup>[6]</sup>,拌合物性能均能满足施工要求。

(2)再生混凝土的抗压强度、劈裂抗拉强度、抗折强度均比普通混凝土低,但各种力学性能均满足设计和规范要求。

(3)再生混凝土和普通混凝土抗水渗透性能均加压至 0.4 MPa,12 个试件均不渗水,结果均满足设计 P4 的要求。

(4)再生混凝土抗冻性能比普通混凝土差,从试验结果来看抗冻性能均能满足设计 F50 的要求。

由表12可知,普通混凝土相对动弹性模量比再生混凝土高 15.5%,重量损失率比再生混凝土低 44.1%;原因可能是再生混凝土水泥石与再生骨料间界面结合较普通混凝土差,以及再生骨料内部缺陷共同导致抗冻性能比普通混凝土低,试验结果均满足 F50 要求<sup>[5]</sup>。

### 6.3 混凝土抗氯离子渗透试验

采用快速氯离子迁移系数法(RCM法)对两种混凝土进行抗氯离子渗透试验<sup>[5]</sup>,氯离子渗透进

(5)再生混凝土和普通混凝土抗氯离子渗透性能都为中等,满足氯盐侵蚀一般的地区要求。

(6)综上,再生混凝土的各项力学性能和耐久性能均比普通混凝土要低,但各种性能均能很好的满足设计要求。

(7)本项目的再生粗骨料各项性能较好,所以拌制出的再生混凝土均能满足要求,但废弃材料的性能千差万别,不可随意套用本配合比,本试验具有不可复制性。

### 参考文献:

- [1] GB/T 50081—2002,普通混凝土力学性能试验方法标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] GB/T 50082—2009,普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [3] 再生混凝土应用技术规程(附条文说明):DG/TJ 08—2018—2007[S].
- [4] (美)梅塔(M,P.K),(美)蒙特罗(Monteiro,P.J.M). 混凝土:微观结构、性能和材料[M]. 中国电力出版社,2008.
- [5] 韩毅,王伟,刘弘昱. 利用再生骨料制备防洪块体经济性分析[J]. 江苏水利,2020(9):63-67.
- [6] 郭利霞,李松,钟凌,等. 数值模拟骨料颗粒形状和级配对再生混凝土力学性能的影响[J]. 材料导报,2022,36(15):61-67.