



水下基础防冲刷袋装混凝土配制技术

王成启¹, 杨 磊²

(1. 中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200032; 2. 中交三航局第二工程有限公司, 上海 200122)

摘要: 针对水下基础防冲刷技术, 开展袋装混凝土配制技术研究。研究结果表明, 水灰比对试模混凝土的抗压强度产生显著影响: 当水灰比 ≤ 0.83 时, 混凝土抗压强度 >13.0 MPa; 当水灰比 ≤ 0.66 时, 混凝土抗压强度 >15.0 MPa, 当水灰比 ≤ 0.54 时, 混凝土抗压强度 >20.0 MPa; 砂率对试模混凝土的抗压强度也产生一定影响, 砂率宜为41%~43%; 试模混凝土抗压强度与袋装混凝土芯样抗压强度具有良好的相关性。根据试验研究结果, 提出袋装混凝土配合比参数和设计方法, 可为水下基础袋装混凝土配合比设计提供技术指导。

关键词: 水下基础; 防冲刷; 袋装混凝土; 配制技术; 配合比

中图分类号: TU 528; U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)11-0021-05

Preparation technology of anti-scouring bagged concrete for underwater foundation

WANG Chengqi¹, YANG Lei²

(1. CCCC Shanghai Third Harbor Engineering Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. No.2 Engineering Co., Ltd. of CCCC Third Harbor Engineering Bureau Co., Ltd., Shanghai 200122, China)

Abstract: Aiming at the anti-scouring technology of underwater foundation, we carry out a research on the preparation technology of bagged concrete. The results show that the water cement ratio has a significant impact on the compressive strength of the concrete. When the water cement ratio is not more than 0.83, the compressive strength of the concrete is more than 13.0 MPa; when the water cement ratio is not more than 0.66, the compressive strength of the concrete is more than 15.0 MPa; when the water cement ratio is not more than 0.54, the compressive strength of the concrete is more than 20.0 MPa. The sand ratio also has some impact on the compressive strength of the concrete, and the sand ratio shall be 41%~43%. The compressive strength of test mold concrete has a good correlation with the compressive strength of bagged concrete core sample. According to the experimental results, we propose the mix proportion parameters and design method of bagged concrete, which provides a technical guidance for the mix proportion design of bagged concrete for underwater foundation.

Keywords: underwater foundation; anti-scouring; bagged concrete; preparation technology; mix proportion

冲刷是导致港口码头、桥梁等水下基础淘空沉降甚至松动的主要原因之一, 淘空沉降将进一步导致结构开裂, 松动将最终导致结构垮塌^[1-2]。采用袋装混凝土对港口码头、桥梁等水下基础进行防护是解决水下基础过度冲刷的有效方法。袋装混凝土是将拌制好的混凝土装入土工袋, 将形成的袋装混凝土沉放到设计水下基础区域, 从而

防止水流冲刷, 保护水下基础结构安全运行。由于土工袋的约束和保护作用, 袋中的混凝土不会在水下稀释, 并有部分水泥浆挤出袋外, 使袋与袋之间可形成整体, 从而有效保护水下基础防冲刷和结构安全。

针对内陆盐湖和盐渍土地区的混凝土腐蚀问题, 采用大直径袋装混凝土灌注桩, 保证强腐蚀

地区地下混凝土结构的耐久性^[3-5]。目前已有将袋装混凝土用于水下基础防护的工程案例：浙江省舟山某渔港码头和浙江省台州某码头工程采用土工袋装混凝土，将商品混凝土或搅拌机现场拌和的混凝土，通过土工袋预留的口子直接卸到土工袋中，缝合制成袋装混凝土，用于修复内河护坡^[6]；四川省南部县西河大桥维修过程中采用袋装混凝土制作围堰^[7]；美国在修复纽约州大桥工程中，采用以高强透水编织袋代替硬质模板的施工方法，使用长 3.35 m、宽 1.5 m 的编织袋浇注袋装混凝土^[8]。然而，针对建于宽阔水域的水下基础防冲刷袋装混凝土配制技术还缺乏系统研究。

笔者对水下基础防冲刷袋装混凝土配制技术开展系统研究，从而为水下基础防冲刷袋装混凝土配合比设计提供指导。

1 试验过程

1.1 试验原材料

1) 水泥。采用海螺水泥厂生产的强度等级 42.5 的普通硅酸盐水泥。对其性能指标进行试验，结果显示其安定性合格，物理力学性能指标如表 1 所示，达到 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》^[9] 规定的关于强度等级 42.5 普通硅酸盐水泥的质量标准。

表 1 水泥的物理力学性能指标

抗折强度/MPa		抗压强度/MPa		凝结时间/min		比表面积/ (m ² ·kg ⁻¹)	烧失量/%	氧化镁/%	三氧化硫/%
3 d	28 d	3 d	28 d	初凝	终凝				
5.8	6.9	26.4	48.0	110	280	350	2.01	1.36	2.11

2) 砂。采用细度模数为 2.5 的Ⅱ区中砂。有关性能指标检测结果(表 2)表明其符合 JGJ 52—2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》^[10]的质量要求。

表 2 砂的技术指标检测结果

细度模数	表观密度/(t·m ⁻³)	堆积密度/(t·m ⁻³)	轻物质含量/%	含泥量/%	泥块含量/%
2.5	2.62	1.54	0.21	1.2	0.3

3) 碎石。采用 5~31.5 mm 连续级配的碎石，其性能指标如表 3 所示。从表 3 可知，其性能指标

符合标准 JGJ 52—2006 的要求。

表 3 粗骨料的性能指标检测结果

表观密度/(t·m ⁻³)	堆积密度/(t·m ⁻³)	含泥量/%	泥块含量/%	坚固性/指标/%	压碎指标/%	针片状用量/%
2.79	1.48	0.3	0.1	1.9	5.1	4.5

4) 拌合水。采用城市自来水。

5) 土工袋。采用 200 g/m² 的 95 cm×70 cm 土工袋，其性能指标检测结果如表 4 所示，符合有关标准的质量要求。

表 4 编织土工布袋的技术指标

项目	单位面积质量/(g·m ⁻²)	纵向断裂强力/(kN·50 mm ⁻¹)	横向断裂强力/(kN·50 mm ⁻¹)	纵向断裂伸长率/%	横向断裂伸长率/%	纵向撕破强力/N	横向撕破强力/N	CBR 顶破强力/kN	刺破强力/N	落锤穿透直径/mm	等效孔径/mm	垂直渗透系数/(cm·s ⁻¹)
技术要求	≥200	≥2.0	≥1.4	≤25	≤25	>500	>400	>3.2	>500	<9.0	<0.20	>2.0×10 ⁻³
检测结果	202	2.18	1.51	18.8	18.9	533	469	3.4	572	8.3	0.12	2.8×10 ⁻³

1.2 试验方法

1.2.1 混凝土拌制与成型

在混凝土搅拌机中分别加入水泥、砂、碎石和水，搅拌 2 min。取样测试混凝土坍落度，混凝土坍落度宜控制在 10~150 mm，采用自然堆积成型，将混凝土一次装入立方体试模后静置 10 min，刮除多余混凝土后抹平。

1.2.2 试模混凝土与袋装混凝土浸泡

1) 试模混凝土浸泡：成型后混凝土试模放入盛有海水的水池中浸泡，液面高出试模 10 cm，到规定龄期取出脱模，测试混凝土的抗压强度。

2) 袋装混凝土浸泡：按照设计的配合比拌制混凝土并一次均匀装入编织工布袋中后用扎丝封口，再将袋装混凝土放入盛有海水的水池中浸泡，

每袋混凝土质量为 100 kg。

1.2.3 性能试验

试模混凝土浸泡到规定龄期后进行脱模, 混凝土的抗压强度按照 JTS/T 236—2019《水运工程混凝土试验检测技术规范》^[11]的规定进行。袋装混凝土到规定龄期进行取芯, 对钻取芯样进行切割加工后进行抗压强度测试, 取芯和芯样的抗压强度试验按照 JGJ/T 384—2016《钻芯法检测混凝土强度技术规程》^[12]的规定进行。

2 试验分析

2.1 水灰比对混凝土性能的影响

2.1.1 配合比设计

分别设计水灰比为 0.45、0.48、0.50、0.52、0.54、0.57、0.59、0.61、0.63、0.66、0.70、0.75 和 0.83 的 13 个混凝土配合比, 如表 5 所示。

表 5 混凝土配合比设计

水泥	砂	石子	水	材料用量/(kg·m ⁻³)	
				水灰比	
389	763	1 053	175	0.45	
365	773	1 067	175	0.48	
350	767	1 058	175	0.50	
336	789	1 090	175	0.52	
324	770	1 064	175	0.54	
307	767	1 060	175	0.57	
297	776	1 071	175	0.59	
287	779	1 076	175	0.61	
278	784	1 083	175	0.63	
264	788	1 089	175	0.66	
246	794	1 097	172	0.70	
227	805	1 111	170	0.75	
205	812	1 122	170	0.83	

2.1.2 混凝土抗压强度

分别测试不同水灰比试模混凝土抗压强度如表 6 所示。从表 6 可知, 随着水灰比的增加, 不同龄期混凝土的抗压强度均不断降低。当水灰比 ≤ 0.83 时, 混凝土抗压强度 $> 13.0 \text{ MPa}$; 当水灰比 ≤ 0.66 时, 混凝土抗压强度 $> 15.0 \text{ MPa}$; 当水灰比 ≤ 0.54 时, 混凝土抗压强度 $> 20.0 \text{ MPa}$ 。因此, 在保证混凝土工作性的基础上, 可以通过控制混凝土水灰比保证混凝土获得一定的抗压强度。

从表 6 还可以看出, 随着龄期的增加, 不同

水灰比混凝土的抗压强度均不断增加, 当水灰比从 0.45 增加到 0.83 时, 3 d 龄期混凝土抗压强度比 1 d 增加 83.6%~200.0%, 7 d 龄期混凝土抗压强度比 1 d 龄期增加 187.2%~550.0%, 28 d 龄期混凝土抗压强度比 7 d 龄期增加 42.4%~78.2%。因此, 在 7 d 龄期的水化早期, 混凝土中不断发生水化反应, 混凝土抗压强度不断增加, 后期抗压强度增长较少。

表 6 混凝土抗压强度测试结果

水灰比	抗压强度/MPa				
	1 d	3 d	7 d	14 d	28 d
0.45	13.5	20.2	26.1	28.6	35.9
0.48	11.3	17.2	22.5	26.3	30.1
0.50	8.1	13.2	18.8	22.5	26.1
0.52	5.5	10.1	15.8	18.1	22.5
0.54	4.9	9.0	14.3	16.0	20.6
0.57	4.5	8.5	13.3	15.3	19.5
0.59	3.8	7.8	12.8	14.8	19.0
0.61	3.1	7.0	11.3	14.5	18.1
0.63	2.8	6.1	10.1	13.2	16.3
0.66	2.2	5.4	9.5	12.3	15.2
0.70	1.9	4.8	9.0	11.9	14.8
0.75	1.5	4.1	8.5	11.4	14.1
0.85	1.2	3.6	7.8	10.8	13.9

2.2 砂率对试模混凝土性能的影响

2.2.1 配合比设计

选取水灰比为 0.52 和 0.83 的混凝土, 分别设计砂率为 39%、40%、41%、42%、43%、44% 和 45% 的混凝土, 测试混凝土的工作性能, 并将成型混凝土放入水池中至规定龄期脱模测试抗压强度, 试验研究砂率对混凝土的性能影响, 以确定袋装混凝土的合理砂率。系列 1 混凝土的水灰比为 0.52, 系列 2 的水灰比为 0.83, 不同砂率混凝土配合比设计如表 7 所示。

表 7 不同砂率混凝土配合比设计

系列	编号	材料用量/(kg·m ⁻³)				砂率/%
		水泥	砂	碎石	水	
	1	336	733	1 146	175	39
	2	336	752	1 127	175	40
	3	336	770	1 109	175	41
1	4	336	789	1 090	175	42
	5	336	808	1 071	175	43
	6	336	827	1 052	175	44
	7	336	846	1 034	175	45

续表7

系列	编号	材料用量/(kg·m ⁻³)				砂率/%
		水泥	砂	碎石	水	
2	8	205	754	1 180	170	39
	9	205	774	1 160	170	40
	10	205	793	1 141	170	41
	11	205	812	1 122	170	42
	12	205	831	1 103	170	43
	13	205	851	1 083	170	44
	14	205	870	1 064	170	45

2.2.2 砂率对试模混凝土工作性的影响

按照表 7 设计混凝土配合比, 分别测试不同砂率试模混凝土的坍落度和表观密度, 测试结果如图 1 所示。图 1a) 表明, 随着混凝土砂率的增加, 混凝土坍落度呈先增加后降低的趋势, 当砂率为 41%~43% 时, 混凝土坍落度相对较大, 表明混凝土合理的砂率有利于降低用水量; 图 1b) 表明, 随着混凝土砂率的增加, 混凝土表观密度呈先增加后降低的趋势, 当砂率为 41%~43% 时, 混凝土表观密度相对较大, 与混凝土坍落度的变化趋势是一致的。

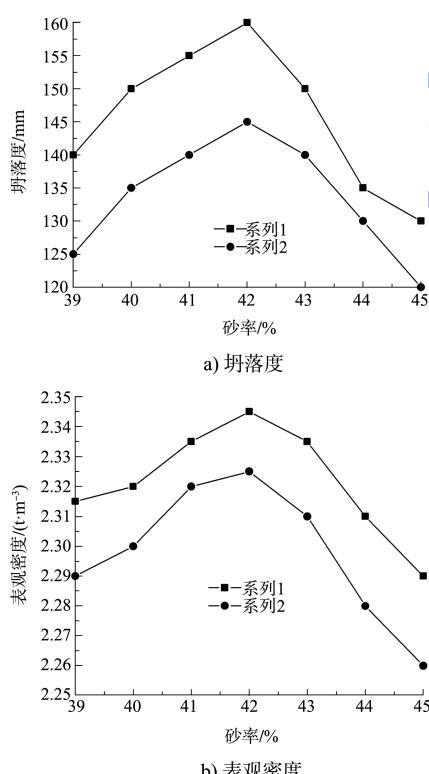


图 1 试模混凝土坍落度和表观密度与砂率的关系

2.2.3 砂率对混凝土抗压强度的影响

不同龄期混凝土抗压强度与砂率的关系见图 2。从图 2 可知, 随着砂率的增加, 系列 1 和系列 2 混凝土抗压强度均呈先增大后减小的趋势,

与坍落度和表观密度随砂率变化的趋势类似。当混凝土砂率为 41%~43% 时, 混凝土中粗、细骨料级配较为合理, 可降低混凝土需水量, 提高混凝土密度, 并提高混凝土抗压强度。

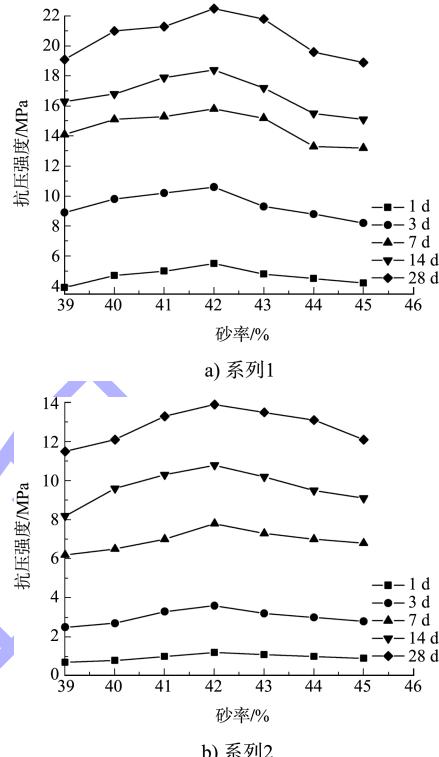


图 2 试模混凝土抗压强度与砂率的关系

2.3 混凝土配合比参数分析

2.3.1 抗压强度

试验研究表明, 水灰比对试模混凝土抗压强度具有明显的影响, 对水灰比与 28 d 龄期混凝土抗压强度进行回归分析, 结果如图 3 所示。

从图 3 可以看出, 混凝土抗压强度与水灰比存在以下相关关系:

$$y = 13.6878 + 4.243.79e^{-\frac{x}{0.0857}} \quad (1)$$

式中: y 为混凝土抗压强度(MPa); x 为混凝土水灰比。

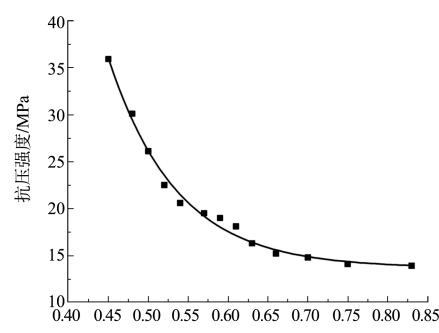


图 3 混凝土抗压强度与水灰比的关系

根据式(1), 混凝土标准差按照 3 MPa 计算, 可分别计算出不同设计强度等级的混凝土水灰比(表 8)。

表 8 不同设计强度混凝土的水灰比

设计强度/MPa	配制强度/MPa	水灰比
10	15	<0.70
15	20	<0.55
20	25	<0.50
25	30	<0.48

2.3.2 混凝土配制参数

根据试验结果可确定混凝土的配制参数(表 9), 用水量宜控制在 160~180 kg/m³, 砂率宜控制在 41%~43%。

表 9 混凝土配制参数

水灰比	用水量/(kg·m ⁻³)	砂率/%
0.40~0.70	160~180	41~43

3 袋装混凝土性能试验

选取水灰比为 0.52 和 0.83 的混凝土, 采用表 7 中的编号 4 和 11 的配合比进行袋装混凝土浸泡试验, 到规定龄期进行取芯测试混凝土抗压强度, 结果如表 10 所示。从表 10 可以看出, 随着养护龄期的增加, 混凝土芯样的抗压强度不断增加; 随着水灰比的增加, 混凝土 3、7 和 28 d 龄期的芯样抗压强度均不断降低。袋装混凝土芯样抗压强度也与水灰比密切相关, 其变化趋势与试模混凝土趋势一致。此外, 对袋装混凝土芯样抗压强度与试模混凝土抗压强度进行比较分析, 结果表明其偏差值小于 10%。因此, 试模浸泡法测试的混凝土抗压强度能反映袋装混凝土实体的抗压强度, 可用于袋装混凝土配合比设计。

表 10 浸泡的试模混凝土与袋装混凝土的抗压强度

抗压强度/MPa			水灰比	备注
3 d	7 d	28 d		
10.6	15.8	22.5	0.52	试模混凝土试样
3.6	7.8	13.9	0.83	
11.5	16.9	23.5	0.52	袋装混凝土芯样
3.9	8.4	14.8	0.83	

4 结论

1) 混凝土的水灰比对其抗压强度产生显著影响: 当水灰比≤0.83 时, 混凝土抗压强度>13.0 MPa; 当水灰比≤0.66 时, 混凝土抗压强度>15.0 MPa;

当水灰比≤0.54 时, 混凝土抗压强度>20.0 MPa。

2) 砂率对浸泡试模混凝土性能产生一定的影响: 当砂率为 41%~43% 时, 浸泡试模混凝土均具有较大的表观密度和抗压强度。

3) 根据试验研究成果, 建立了浸泡试模混凝土抗压强度与水灰比间相关关系, 并提出混凝土的水灰比、用水量和砂率等配合比参数; 浸泡袋装混凝土芯样的抗压强度试验结果显示, 混凝土芯样抗压强度与试模混凝土抗压强度偏差值小于 10%, 所建立的试模法混凝土配合比参数可用于指导袋装混凝土配合比设计。

参考文献:

- [1] 房世龙, 陈红, 王岗. 桥墩局部冲刷防护工程特性研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2007(4): 84-89.
- [2] 郭成超, 袁晨晨. 桥梁水下基础冲刷透水四脚块体防护应用效果研究[J]. 黑龙江水利科技, 2018, 46(7): 208-210.
- [3] 王毅红, 胡玉锋, 周纲, 等. 大直径袋装混凝土灌注桩专用防腐蚀袋性能试验研究[J]. 铁道建筑, 2014(2): 116-118.
- [4] 周纲, 黄明. 大直径袋装混凝土灌注桩技术: 201010130785.6 [P]. 2010-03-23.
- [5] 张敬, 叶国良. 土工织物耐久性及影响因素分析 [J]. 中国港湾建设, 2005(1): 1-5.
- [6] 阙德元, 李竖林. 应用化学纤维编织袋袋装混凝土修复大闸护坦、海漫[J]. 浙江水利科技, 1991(2): 35-38.
- [7] 曹瑞. 袋装混凝土用于桥梁深水基础围堰新技术[J]. 西南公路, 2008(3): 27-28.
- [8] 康永丰. 水下修复用的袋装混凝土[J]. 港口工程, 1993(4): 56.
- [9] 中国建筑材料科学研究院. 通用硅酸盐水泥: GB 175—2007[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [10] 中国建筑科学研究院. 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准: JGJ 52—2006[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [11] 中交天津港湾工程研究院有限公司. 水运工程混凝土试验检测技术规范: JTS/T 236—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.
- [12] 中国建筑科学研究院. 钻芯法检测混凝土强度技术规程: JGJ/T 384—2016[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.

(本文编辑 郭雪珍)