

江河堤防病险处理和水毁工程修复

与重建技术的开发及推广应用

编号：基救灾-015-6



九江江新洲崩岸治理试验 工程模袋固化砂浆的 研究与应用

中国水利水电科学研究院

2000 年 10 月

编号：基救灾-015-6

项 目 名 称： 江河堤防病险处理和水毁工程修复与重建
技术的开发及推广应用

子项目名称： 九江江新洲崩岸治理试验工程模袋固化砂
浆的研究与应用

承 担 单 位： 中国水利水电科学研究院结构材料研究所

子项目负责人： 黄国兴 吕小彬 马锋玲

主要参加人员： 马锋玲 吕小彬 纪国晋 贾树云 张国栋

报 告 编 写： 吕小彬 马锋玲

报 告 审 查： 甄永严

报 告 审 核： 鲁一晖

报 告 审 批： 孙玉生

目录

- 1 项目研究目的
- 2 室内试验
 - 2.1 试验原材料
 - 2.2 试验结果
 - 2.3 室内试验成果分析
- 3 现场施工
 - 3.1 原材料
 - 3.2 固化砂浆施工配合比
 - 3.3 现场施工情况
- 4 充灌质量对模袋固化砂浆性能的影响
- 5 结语

[摘要] 本文简要叙述了模袋固化砂浆的研究目的,着重介绍了模袋固化砂浆在试验室内不同养护条件下的力学性能及现场应用情况,研制开发出一种专用的价格低、性能较好的外加剂。并对充灌质量对模袋固化砂浆性能的影响进行了论述,对模袋固化砂浆的优、缺点进行了简要的评价。

1 项目研究目的

据 1993 年底统计,全国共有堤防 24.5 万 km,其中七大江河中下游 17 万 km。长江中下游堤防长约 3600km。在 98 大洪水期间,长江中下游堤防共发生各类险情 6000 余处,其中崩岸 327 处,对江岸堤防工程、两岸地区的工农业生产和人民生命财产安全构成了极大威胁。因此,进行有效的崩岸治理和堤防加固无论是在政治上还是在经济上都具有重要的意义。

采用化纤模袋及其内充灌材料进行堤防护坡是在七十年代发展成熟的一项新技术。模袋充灌材料主要有混凝土和河砂。混凝土具有较高的强度和良好的耐久性能,但成本很高。采用河砂进行充灌虽然成本低,但是一旦模袋出现破损,河砂将会被水流冲走,从而造成护坡结构的破坏。

本项目的研究目的是为了寻求一种既有一定的强度,又有较好的施工性能,而且成本又比较低的模袋充灌材料—模袋固化砂浆,对其物理力学性能进行试验研究,并在九江江新洲崩岸治理试验工程中实际应用。

根据试验工程的要求,模袋固化砂浆 28 天龄期的抗压强度应不低于 5MPa,并应具有良好的泵送性能,在泵送过程中不能出现离析现象,在模袋内有良好的流动性能,能够获得良好的充灌质量。

2 室内试验

2.1 试验原材料

2.1.1 水泥

水泥采用九江瑞昌水泥厂生产的盛秀牌 425[#] 普通硅酸盐水泥，其物理力学性能见表 1。

表 1 盛秀牌 425[#] 普通硅酸盐水泥物理力学性能

细度 (%)	稠度 (%)	凝结时间(min:hr)		安定性	抗压强度(MPa)		抗折强度(MPa)	
		初凝	终凝		3d	28d	3d	28d
4.8	26.4	2:35	4:15	合格	26.1	46.4	4.5	7.2

2.1.2 粉煤灰

为九江电厂生产，其品质指标检验结果见表 2。

表 2 九江电厂粉煤灰品质指标检验结果

种类	细度 (%)	需水量比 (%)	SO ₃ (%)	烧失量 (%)
九江电厂粉煤灰	27	105	0.4	8.18
国标 II 级灰	≤20	≤105	≤3	≤8
国标 III 级灰	≤45	≤115	≤3	≤15

检验结果表明，九江电厂粉煤灰属于 III 级灰。

2.1.3 砂

采用从施工现场长江中浅滩直接开采的粉细砂。这种砂料主要用于充砂管袋的施工，细度模数很小，只有 1.5 左右。这种砂料不适合用于制备混凝土。

2.1.4 外加剂

采用北京科海利新型建筑材料开发有限公司生产的 SK-1 高效减水剂。SK-1 是专门针对本次崩岸治理试验工程而研制的，它具有较高的减水率和适当的引气效果，另外它的成本较低。

2.2 试验结果

多次的试拌试验表明，由于采用的粉细砂细度模数很小，级配很差，因此为保证固化砂浆拌合物的和易性和可泵性，必须保证较高的胶凝材料用量。以胶（水泥+粉煤灰）砂比为变量，本次试验最终确定了三种基本配比的固化砂浆，即胶砂比分别为 1:1、1:1.1 和 1:1.2。每种固化砂浆以胶材中粉煤灰（F）和水泥（C）的比例 F/C 为变量，又分为三组，即 F/C=50: 50、F/C=60: 40 和 F/C=70: 30。

由于固化砂浆需要用泵送的方法灌入模袋内，因此要求其必须要有一定的流动性能。本次试验中砂浆流动性的测定仿照《水工混凝土试验规程》（SD105-82）中第 1.0.6 条“水泥胶砂流动度测定方法”进行，唯一不同的是在提起截锥圆模后让砂浆自由流动，而不用跳桌去施加外部振动。截锥圆模的尺寸为上口内径 70mm，下口内径 100mm，高 60mm。

通过多次试验、反复比较，我们发现当流动度大于 190mm 时，固化砂浆流动性能较好，能够达到泵送的要求。但是，当流动度大于 230mm 后，固化砂浆将会呈现明显的分层离析现象。因此在本次试验中我们将固化砂浆的初始流动度控制在 190mm~220mm 之间。

本次试验中我们采用了两种方法对硬化后的砂浆试件进行养护：标准养护和水中养护。主要目的是为了研究固化砂浆在这两种不同养护条件下的强度发展规律。试验结果见表 3 和表 4。三种胶砂比固化砂浆在不同养护条件下的抗压强度发展规律见图 1~图 9。

表 3 固化砂浆基本物理力学性能试验结果 (标准养护)

胶砂比	F/C	W/ (C+F)	流动度 (mm)	抗压强度 (MPa)			抗折强度 (MPa)		
				14d	28d	90d	14d	28d	90d
1:1	50:50	0.53	210	10.0	13.5	16.8	3.1	3.5	4.4
	60:40	0.56	205	5.1	8.0	12.0	1.6	2.5	4.1
	70:30	0.58	205	0.9	3.3	9.8	0.4	1.2	3.0
1:1.1	50:50	0.55	190	10.2	11.6	13.7	2.6	3.2	4.3
	60:40	0.58	190	5.4	6.5	12.7	1.6	2.1	3.9
	70:30	0.62	210	2.3	2.6	7.8	0.8	1.0	2.7
1:1.2	50:50	0.57	200	14.0	16.4	16.0	3.4	4.0	4.9
	60:40	0.63	210	6.3	5.7	9.8	1.8	2.2	3.4
	70:30	0.66	190	2.1	2.2	6.7	0.7	0.9	2.5

注: 1) 水胶比为在砂为饱和面干态下的结果 (砂饱和面干吸水率 1.42%)

2) SK-1 高效减水剂掺量为胶材用量的 0.5%

3) 1 年和 2 年龄期试验结果待补

表 4 固化砂浆基本物理力学性能试验结果 (水中养护)

胶砂比	F/C	W/ (C+F)	流动度 (mm)	抗压强度 (MPa)			抗折强度 (MPa)		
				14d	28d	90d	14d	28d	90d
1:1	50:50	0.53	210	/	8.0	14.7	/	2.6	4.4
	60:40	0.56	205	/	7.1	12.9	/	2.2	3.5
	70:30	0.58	205	/	3.6	9.0	/	1.3	2.8
1:1.1	50:50	0.55	190	/	7.6	15.6	/	2.4	4.5
	60:40	0.58	190	/	6.1	11.8	/	2.1	3.8
	70:30	0.62	210	/	2.8	7.3	/	1.2	2.4
1:1.2	50:50	0.57	200	/	8.7	16.4	/	2.6	4.7
	60:40	0.63	210	/	5.7	10.3	/	2.0	3.5
	70:30	0.66	190	/	2.4	6.6	/	0.9	2.6

注: 1) 水胶比为在砂为饱和面干态下的结果 (砂饱和面干吸水率 1.42%)

2) SK-1 高效减水剂掺量为胶材用量的 0.5%

3) 1 年和 2 年龄期试验结果待补

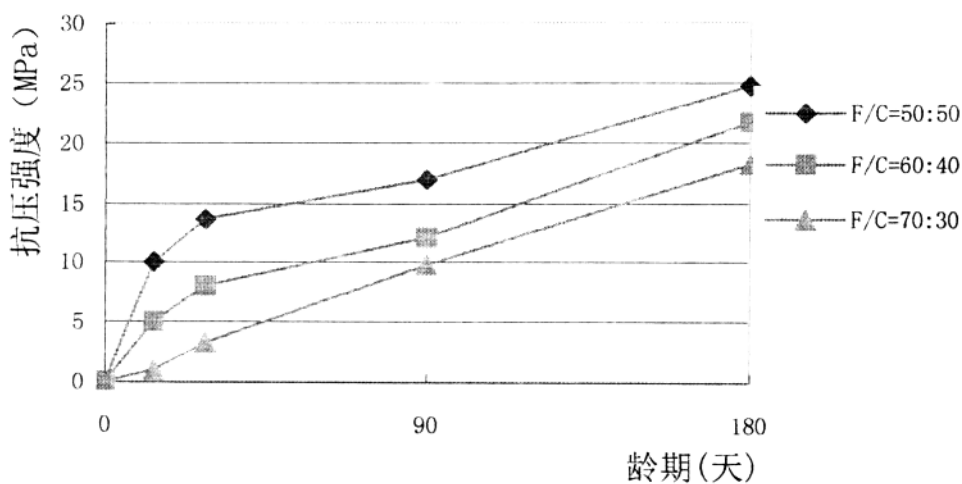


图1 标准养护下胶砂比1:1砂浆抗压强度发展趋势

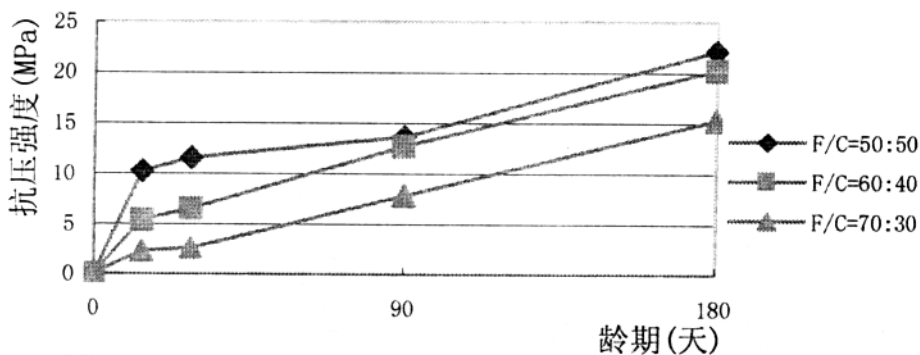


图2 标准养护胶砂比1:1.1砂浆抗压强度发展趋势

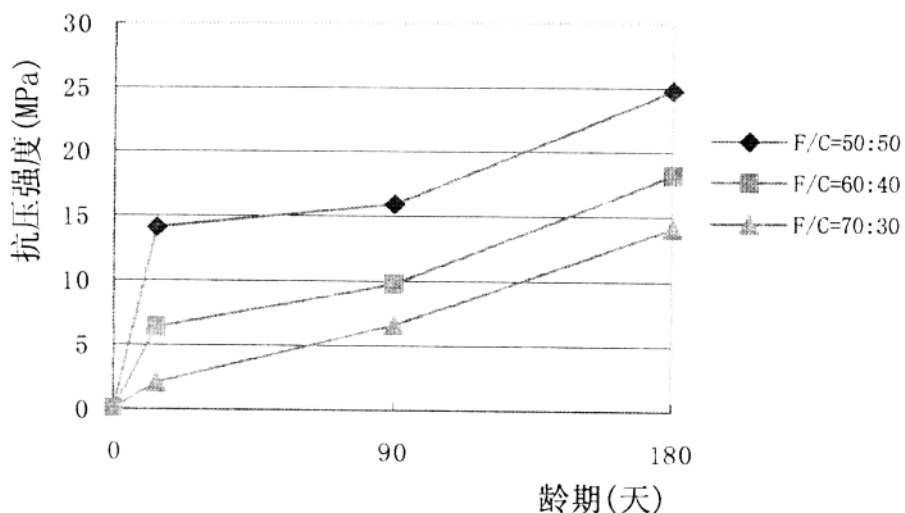


图3 标准养护胶砂比1:1.2砂浆抗压强度发展趋势

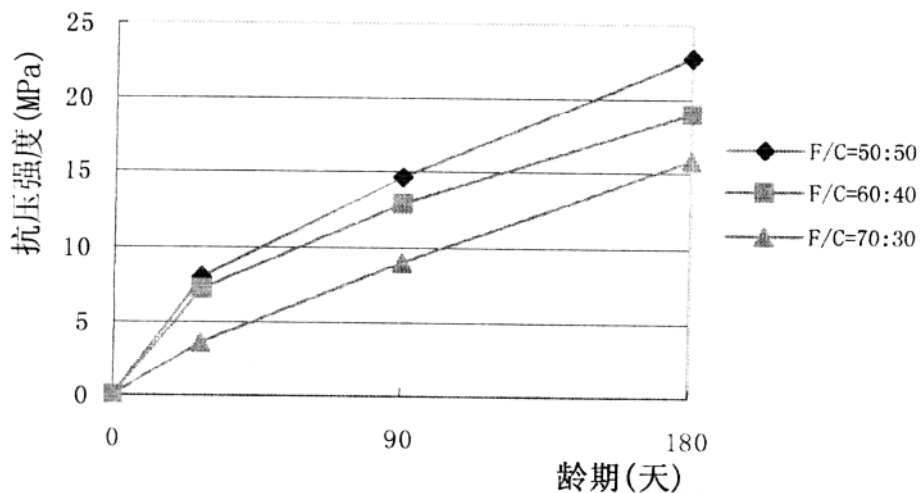


图4 水中养护胶砂比1:1砂浆抗压强度发展趋势

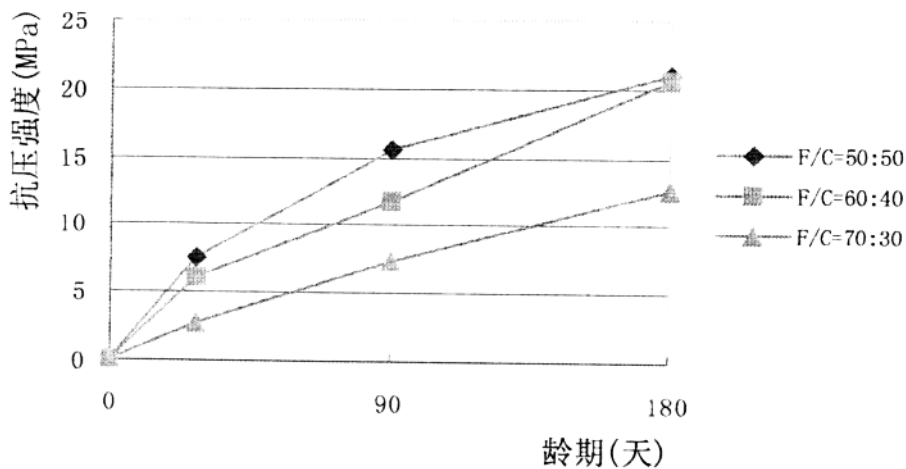


图5 水中养护胶砂比1:1.1砂浆抗压强度发展趋势

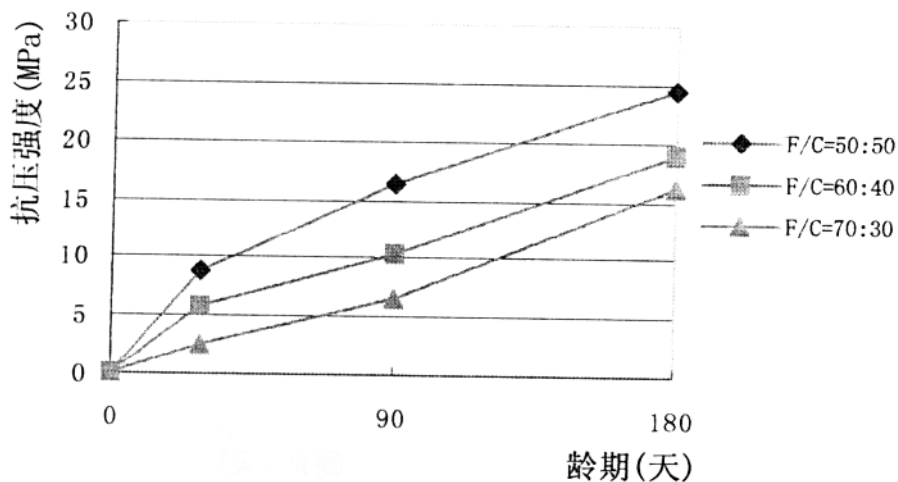


图6 水中养护胶砂比1:1.2砂浆抗压强度发展趋势

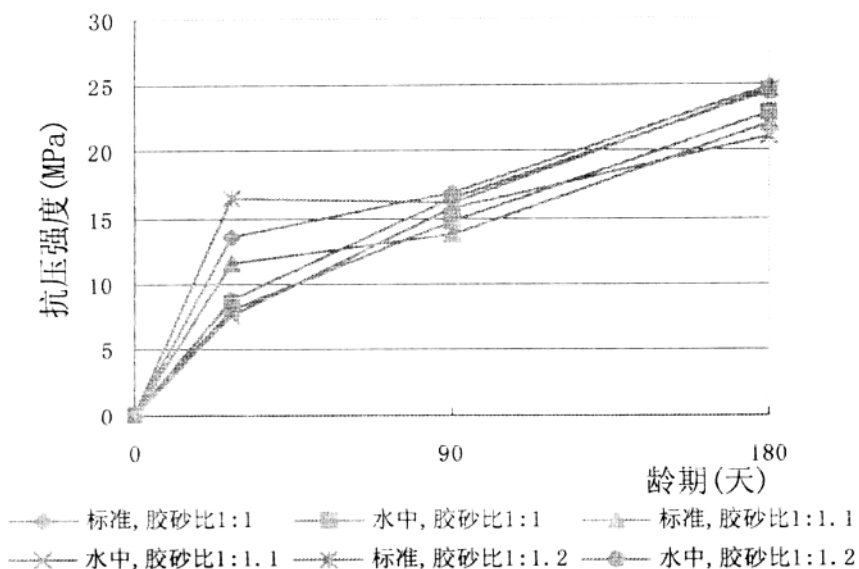


图7 F/C=50:50不同养护条件及胶砂比情况下抗压强度发展趋势

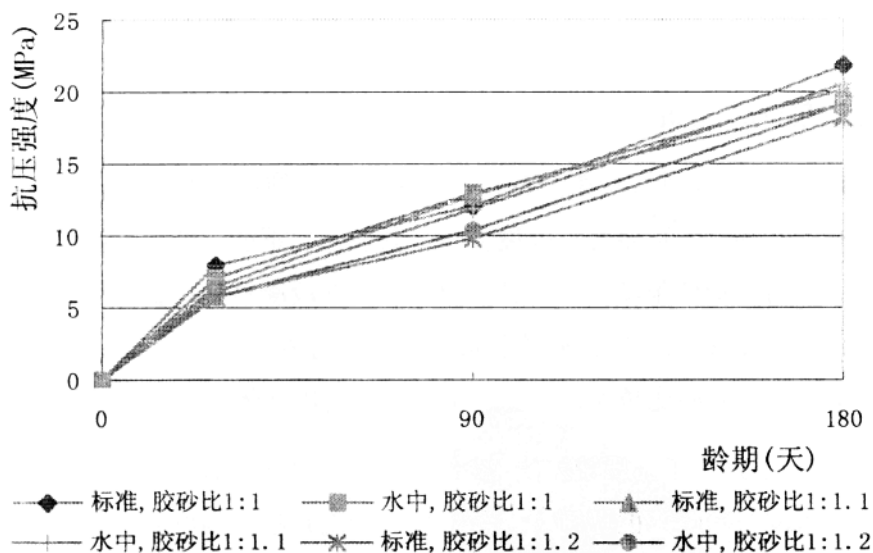


图8 F/C=60:40不同养护条件及胶砂比情况下砂浆抗压强度发展趋势

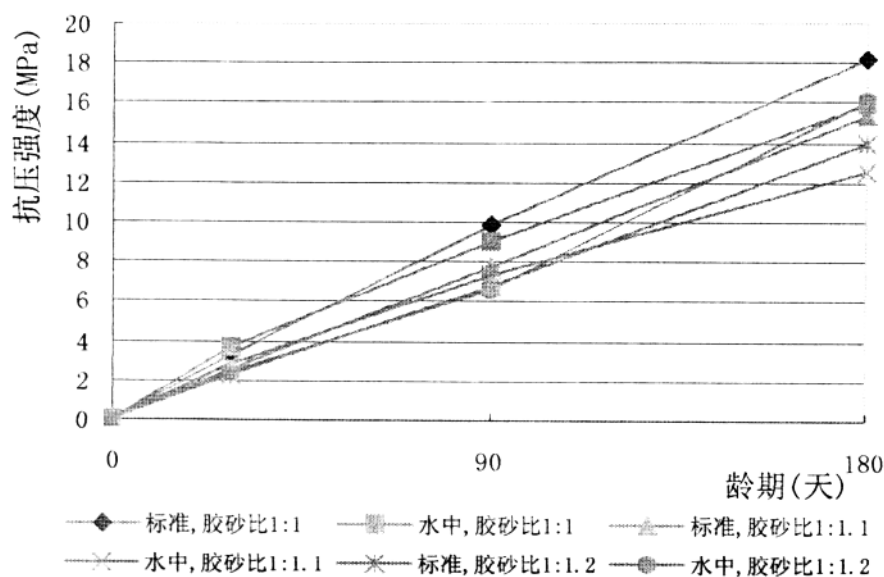


图9 F/C=70:30不同养护条件及胶砂比情况下砂浆抗压强度发展趋势

2.3 室内试验成果分析

(1) 由于固化砂浆所采用的砂料为粉细砂，细度模数很小，因此为保证固化砂浆的和易性、可泵性和强度要求，其胶砂比不能过低，本次试验发现胶砂比 1:1.2 为其最低限度。因此必须要求较高的胶凝材料用量。通过计算，胶砂比 1:1、1:1.1 和 1:1.2 的砂浆胶凝材料用量分别为 790kg/m^3 、 755kg/m^3 和 720kg/m^3 左右。胶砂比越大，水泥掺量越多，固化砂浆和易性越好。

(2) 由于采用了品质较差的 III 级粉煤灰，且掺量较大，因此固化砂浆胶凝材料中水泥与粉煤灰的比例对砂浆强度（特别是早期强度）有着至关重要的影响。在三种胶砂比的固化砂浆中，当粉煤灰占胶凝材料用量的 70% 时，两种养护条件下 28 天的抗压强度均未达到设计要求的 5MPa 。因此为满足强度要

求，固化砂浆胶凝材料中粉煤灰与水泥的比例以不超过 60:40 为宜。

(3) 从总体趋势上讲，三种胶砂比的砂浆早期强度（尤其是 28 天以前）发展均较为缓慢，但到 90 天以后强度发展较快。到 180 天龄期时，三种胶砂比中水泥与粉煤灰比例为 50:50 的砂浆在两种养护条件下抗压强度均能达到 20MPa 以上，抗折强度均能达到 5MPa 以上。

(4) 在标养条件下，胶砂比 1:1 和 1:1.1 的砂浆在 180 天前各龄期的抗压强度要高于其在水中养护的强度。而胶砂比 1:1.2 情况相反，尤其是在 90 天龄期以后。但是，标准养护和水中养护的强度并没有非常明显的差别。

3 现场施工

3.1 施工原材料

在崩岸治理试验工程的现场进行模袋固化砂浆施工时，水泥和粉煤灰与试验室内所采用的相同，仍为九江瑞昌水泥厂生产的 425[#]普通硅酸盐水泥和九江电厂的 III 级灰，但砂料有所不同。室内试验采用的砂料是实际施工中注入充砂模袋中细度模数很小的粉细砂，而工地现场采用的是用于模袋混凝土施工的砂料。这种砂料的级配与前述的粉细砂相比有了很大的变化，其细度模数达到 1.94。

3.2 固化砂浆施工配合比

由于砂料的级配得到了较大的改善，因此使得在保证固化砂浆工作性不降低的基础上大幅度降低胶凝材料用量成为可能。我们对室内试验砂浆配比进行了调整，确定了固化砂浆的施工配比。固化砂浆的施工配比见表 5。

表 5 经现场调整后固化砂浆配合比

编号	胶砂比	F/C	W/(C+F)	流动度(mm)
1 [#]	1:2.4	60:40	0.68	220
2 [#]	1:2.4	40:60	0.65	215

注: 1) 水胶比 W/(C+F) 为砂在饱和面干状态下结果 (砂饱和面干吸水率 1.0%)

2) SK-1 高效减水剂掺量为胶凝材料用量的 0.5%

表 6 施工配比固化砂浆力学性能试验结果

编号	养护条件	抗压强度(MPa)			抗折强度(MPa)		
		14d	28d	90d	14d	28d	90d
1 [#]	标养	2.6	4.5	13.1	0.9	1.6	4.0
	水中	/	4.8	11.5	/	1.6	3.7
2 [#]	标养	/	8.3	16.0	/	2.6	4.7
	水中	/	11.5	14.2	/	3.2	4.3

注: 180d 及以后龄期强度待补

3.3 现场施工情况

在施工现场中, 我们采用 1[#]和 2[#]配比的固化砂浆分别对两块模袋进行了充灌, 总方量为 120m³。两种配比砂浆在机口的流动度均控制在 190mm~230mm 之间。在机口采用 10×10×10cm 的试模进行取样, 经在水中养护 28d 后两组试件的平均抗压强度分别为 1[#] 5.70 MPa、2[#] 8.90 MPa, 均满足设计要求的 28 天龄期抗压强度 5MPa 的技术指标。

模袋固化砂浆采用混凝土泵进行充灌, 施工时泵管总长达到约 60m。由于混凝土泵并非泵送砂浆的专用设备, 因此在施工中混凝土泵较为吃力, 不如泵送混凝土那样顺畅, 但没有发生堵管现象。从灌口处观察, 砂浆经泵送管运输后仍能保持较好的和易性和流动性, 未发生离析现象, 在模袋内的流动效果较

好。在两块模袋中，第一块（F/C=60:40）充灌质量好，固化砂浆比较饱满。但是第二块模袋（F/C=40:60）由于其底部岸坡基础平整度不佳，尤其是在水面线以下出现陡坎，导致固化砂浆在模袋内的流动受到一定程度的限制，因此在其部分条带内砂浆饱满程度较第一块略有欠缺，但总体上能够达到施工技术要求。

4 充灌质量对模袋固化砂浆性能的影响

从机理上讲，本次施工采用的模袋固化砂浆是一种水泥基的复合材料。因此它的物理力学性能主要是由水胶比决定的。由丙纶材料织成的模袋可以看作是透水的混凝土模板，因此在内外压力相同的情况下水份就会自由进出。当固化砂浆被充灌得非常饱满时，在模袋内会产生一定的内压力，从而与外部环境（水或空气）之间产生一定的压差。由于为保证泵送性要求固化砂浆往往水胶比较大，自由水份很多，因此一部分多余水份会在这种压力差的作用下沿模袋向外泌出，使得模袋固化砂浆的水胶比降低，从而显著改善其物理力学性能。相反，如果充灌质量不佳，特别是在水下部位，很容易产生外部水压力大于模袋内部的情况，因此使得外部水份向模袋内部渗入，造成水下部位固化砂浆水胶比加大，对其物理力学性能产生一定影响。现以所充灌的两块模袋的比较为例进行说明。

第一块模袋内固化砂浆胶凝材料中水泥和粉煤灰的比例为 40:60，第二块为 60:40。从理论上分析，在同等条件下，第二块砂浆的固结硬化速度应快于第一块。但实际情况相反，第一块充灌质量好，砂浆饱满，经 24h 自然养护后已基本硬化，表现触摸硬度高，而在机口取样的砂浆在试模内仍未完全硬化，无法脱模。第二块模袋部分条带内充灌不饱满，接近水面部位的砂浆经过 36 h 后仍未达到完全硬化，而在机口取样的砂浆在此时已具有了初期较低的强度。由此可见充灌质量对固化砂浆的硬化速度有较大的影响。

由于条件所限对于模袋内固化砂浆的强度性能未能进行深入研究，但国内外的一些研究人员曾对此进行过探讨。据文献 3 记载，早在 1968 年，美国 Cleveland 的 Intrusion-Prepakt 公司就曾对此进行了专门研究，他们先设计了一个直径 140mm（允许扩展度 5%~10%）、高 762mm 的模袋管，然后由顶部向其内注入砂浆，灌口压力为 0.07MPa，稳压时间 10min。待砂浆硬化后从试件中部取样进行标准试验，其主要结论有两条：（1）模袋内成型的砂浆试件强度显著高于标准成型的试件，28 天龄期的强度可由 25MPa 提高至约 40MPa 左右；（2）成型时模袋浸入水中和置于空气中砂浆强度基本相当，主要是由于较小的外水压力不会减少从模袋中渗出的水量。通过量测从模袋中渗出的水量，他们还还对充灌前后砂浆的配合比变化进行了研究，其结果见表 7。

表 7 充灌前后砂浆配合比变化情况

	单方材料用量 (kg/m ³)			水灰比
	水泥	砂	水	
充灌前	445~504	1257~1204	320~329	0.72~0.65
充灌后	483~546	1349~1302	273~279	0.57~0.51

从上表看出，充灌后砂浆的水灰比可降低约 21%左右。另外他们还发现，砂浆中用水量越多，渗水量越大，模袋管厚度越薄，渗水量越大。

由上述可知，充灌质量对模袋固化砂浆的性能有很大的影响。在现场施工中，模袋固化砂浆中水泥用量较模袋混凝土低很多，F:C=60:40 配比仅为 200kg/m³，F:C=40:60 配比也不到 300kg/m³，况且 III 级粉煤灰掺量大，早期强度低，必须创造一个有利于固化砂浆强度发展的条件。如果在早期模袋固化砂浆受到外界不利因素影响（外水内渗或人为施工因素干扰），势必会严重影响固化砂浆的性能，因此提高充灌质量是解决这一问题的有效途径。

5 结语

本项目中采用的模袋固化砂浆为水泥基的复合材料。既然是水泥基的，那