

黄河小浪底水利枢纽工程 硅粉混凝土试验研究*

刘孔凡 王挺叶

(黄委会设计院 郑州)

摘 要: 通过室内试验研究了影响硅粉混凝土性能的因素, 选出了其强度和坍落度均满足小浪底工程设计要求的硅粉混凝土配合比。试验结果表明: 在相同水泥用量的情况下, 硅粉混凝土的强度远大于普通混凝土。硅粉混凝土与普通混凝土相比, 同龄期的劈裂抗拉、抗压弹模、轴拉强度与极限拉伸都略有增长。抗冲击磨强度明显提高, 抗渗性能显著改善。硅粉混凝土是一种优异的新型抗磨蚀材料。

关键词: 硅粉; 混凝土; 试验; 小浪底

中图分类号: TV431

小浪底水利枢纽工程位于河南省孟津县境内, 是黄河中下游的一座大型水利枢纽工程, 其导流、泄洪、排砂、消能等建筑物众多, 且过水流速较高, 挟带有大量的黄河泥沙。根据以往的工程经验, 这些过流建筑物如果采用常规混凝土, 将可能会导致严重的空蚀、冲刷磨损破坏。若采用环氧砂浆等高分子材料作为水工抗磨蚀护面材料, 其抗磨蚀性能虽好, 但由于其线膨胀系数数倍于基底普通混凝土, 与基底混凝土温度适应性不好, 暴露在天气候条件下容易开裂脱落而且施工复杂、具有毒性、成本高昂。近年来, 硅粉混凝土的研究和应用日益受到了国内外广泛的重视, 硅粉混凝土作为水工抗磨蚀修补和工程材料已成功地应用于龙羊峡等水电工程中。本文结合黄河小浪底水利枢纽工程硅粉混凝土试验阐述硅粉混凝土的优越性能, 选出其强度和坍落度均满足小浪底工程设计要求的硅粉混凝土配合比。

1 硅粉混凝土配合比试验

硅粉混凝土是由普通混凝土掺入适量的高活性材料硅粉和超塑化剂配制而成, 从而达到提高混凝土的强度, 改善混凝土的耐久性等目的。与普通混凝土相比, 影响硅粉混凝土拌合物性能与硬化后性能的因素更多, 更复杂。

* 收稿日期: 1994-09-15

由于硅粉是一种超细微尘, 其平均粒径约为水泥平均粒径的 $1/100$, 比表面积数 10 倍于水泥, 所以它的需水量一般都远大于水泥。随着硅粉掺量的增加, 必须同时增加拌合用水量方能保持原有的和易性(或坍落度), 而用水量的增加将导致水灰比的增大, 如果保持水灰比不变, 必须不增加用水量, 而任由坍落度减少, 因此当在混凝土中掺入硅粉时, 必须要同时加入相匹配的外加剂, 才能取得良好的效果。本次试验研究选用广东湛江外加剂厂生产的 FDN 高效减水剂, 并用上海麦斯特公司产 RHEOBUILD1000C 与之比较。外加剂掺量与坍落度的关系见图 1。

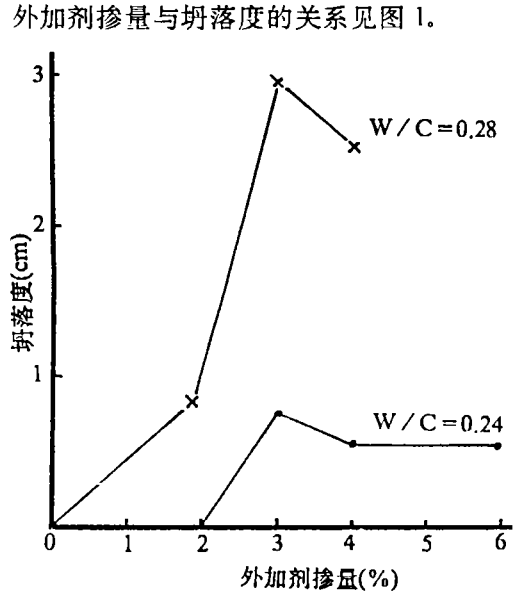


图 1 外加剂掺量与坍落度关系图

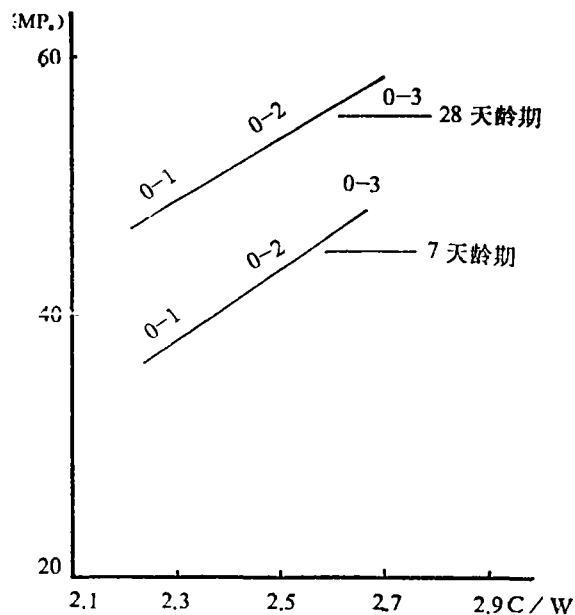


图 2 基准混凝土灰水比、强度关系图

图 1 所示: 当外加剂掺量达到 3% 后再增加外加剂掺量, 硅粉混凝土的坍落度并无增加, 反而减少, 因而选择 FDN 掺量为 3%。

影响硅粉混凝土性能的另一个因素是高活性材料硅粉的掺量, 硅粉掺量太少, 混凝土增强效果不明显, 但对给定的混凝土而言, 强度随硅粉掺量的增加而提高又是有限度的, 达到极限以后, 硅粉的增加反而会使混凝土强度下降。硅粉的最佳掺量范围一般为水泥用量的 10~15% 之间, 本次试验选用 10%。膨胀剂掺量根据厂家推荐也选用水泥的 10%。

为了选出满足设计要求(硅粉混凝土 28 天龄期抗压强度大于 80MPa, 坍落度控制在 1~3cm) 的硅粉补偿混凝土, 成型了 4 个水灰比: 0.34、0.31、0.28、0.26, 两个龄期: 7 天、28 天的抗压试件。基准混凝土灰水比与强度的关系见图 2, 硅粉混凝土灰水比与强度关系见图 3, 硅粉混凝土中水泥掺量与抗压强度的关系见图 4。试验结果表明: 水灰比逐步减少到 0.26 时, 硅粉混凝土拌合物变得特别粘稠, 混凝土拌合物的和易性也不易得到满足。图 3、图 4 所示随水灰比的减少及水泥掺量增加, 硅粉混凝土的强度增加, 但是增加到一定程度, 虽大量地增加水泥用量, 强度也基本上不再增加, 这说明在现有原材料条件下, 硅粉补偿混凝土的适宜水灰比为 0.28。据此, 我们选出了基准混凝土、硅粉混凝土、硅粉补偿混凝土的配合比, 见表 1 成型试件进行混凝土性能试验, 并相应对掺 FDN

和 RHE 不同外加剂进行了比较, 试验结果见表 2。

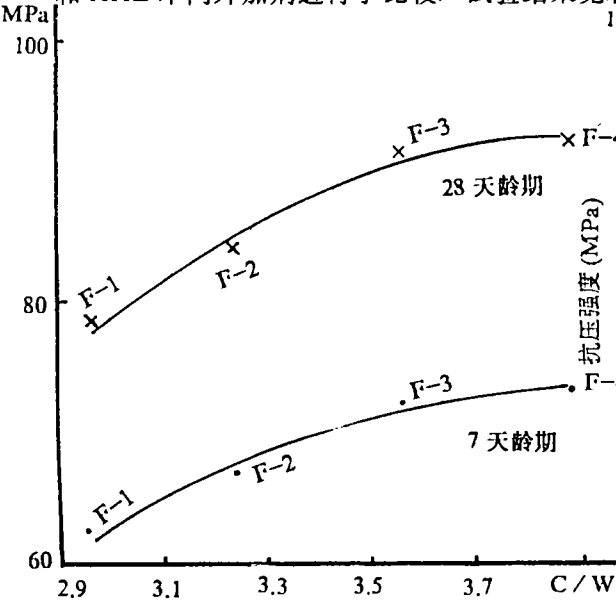


图 3 硅粉混凝土灰水比、强度关系图

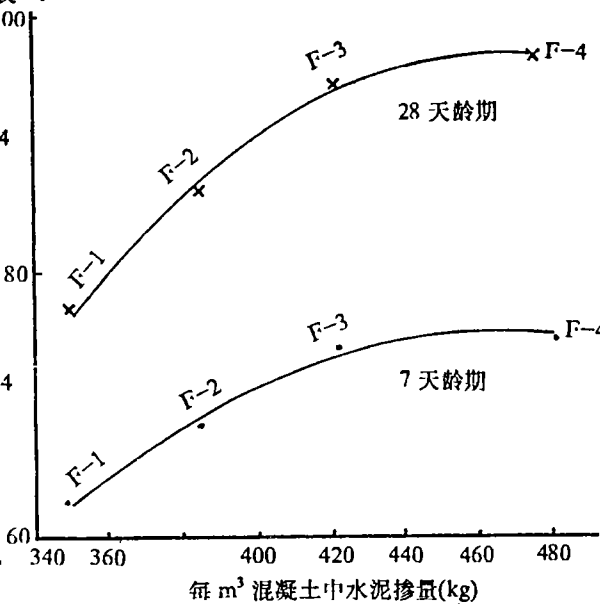


图 4 混凝土中水泥掺量与抗压强度关系图

表 1 混 凝 土 配 合 比

编号	水灰比 W / C	砂率 (%)	每方材料用量(kg / m ³)						配合比	外加剂		容量 T / m ³	塌落度 (cm)
			水	水泥	砂子	石子	硅粉	补 缩 剂		品种	掺量 (%)		
0-3	0.38	31	163	430	585	1302			1:1.36:3.03			2.48	1.6
F-33	0.28	31	122	436	592	1318	43.6		1:1.36:3.02	FDN	2.1	2.52	2.9
F-3	0.28	31	121	432	573	1275	43.2	43.2	1:1.33:2.95	FDN	3	2.50	2.5
R-23	0.28	31	122	436	592	1317	43.6		1:1.36:3.03	RHE	2.3	2.52	2.5
R-3	0.28	31	121	432	573	1275	43.2	43.2	1:1.33:2.95	RHE	3	2.50	1.9

水泥: 葛洲坝水泥厂产 525 中热硅酸盐水泥。
补缩剂: 北京特种水泥厂坚石牌 CEA 复合混凝土膨胀剂。
硅粉: 山川铁合金厂。
砂子: 小浪底连地滩料场人工砂。
石子: 小浪底连地滩料场卵石及碎石混合。
外加剂: ①FDN: 湛江外加剂厂产 (干粉);
②RHE: 上海麦斯特建材有限公司 (表中掺量为液体的固物量)。

表 2 硅粉混凝土硬化后性能试验成果表													
试验 编号	抗压强度 (MPa)				劈裂抗拉 (MPa)				抗压弹模 ($\times 10^4$ MPa)				磨损率 (kg/hm^2)
	3d	7d	28d	90d	3d	7d	28d	90d	3d	7d	28d	90d	
0-3	38.2	48.7	56.9	60.6	2.58		3.04	3.43	2.55	2.68	3.22	3.41	0.68889
F-33	53.7	66.7	91.0	93.7	3.70	4.08	4.87	6.43	3.09	3.48	3.86	4.00	0.49298
F-3	62.8	71.9	91.6	97.3	4.22	4.48	6.04	6.27	3.12	3.42	3.75	4.00	0.49532
R-23	52.7	63.6	88.4	95.1	3.86	4.31	4.98	5.29	2.83	3.09	3.68	3.80	
R-3	55.9	66.4	91.5	97.9	4.01	4.47	5.03	5.78	2.88	3.20	3.57	3.78	0.43275

表 2 续														
试验 编号	轴拉弹模 ($\times 10^4$ MPa)		轴拉强度 (MPa)		极限拉伸值 ($\times 10^{-4}$)		干 缩 ($\times 10^{-4}$)							透水高度 (mm)
	7d	28d	7d	28d	7d	28d	3d	7d	14d	28d	60d	90d	180d	
0-3	2.82	3.42	2.44	3.30	1.03	1.14	0.95	1.29	1.79	2.17	3.74	3.84	5.89	10.7
F-33	3.26	3.54	4.05	5.23	1.46	1.64	2.03	2.88	3.27	3.45	3.75	5.29	7.81	3.0
F-3	3.40	3.98	4.2	6.04	1.50	1.71	1.68	2.51	3.25	3.35	3.88	5.07	7.94	2.7
R-23	3.22	3.35	3.84	4.46	1.42	1.68	3.77	4.32	4.70	5.04	5.48	6.34	8.83	2.7
R-3	3.28	3.42	3.92	4.60	1.36	1.62	3.76	4.58	4.88	5.06	5.67	6.40	9.11	2.2

2 硅粉混凝土的性能

2.1 物理力学性能

掺入硅粉的混凝土其最大优点之一是能提高混凝土的强度，可配制高强混凝土，这是因为混凝土中加入硅粉由于微填料和火山灰反应，改善了水泥浆和骨料界面过渡区，从而增加了抗压强度。表 2 所示硅粉混凝土 28 天抗压强度为 91.6Mpa，对照普通混凝土为 56.9MPa，这表明在相同水泥用量的情况下，硅粉混凝土的强度远大于普通混凝土。另外硅粉混凝土与普通混凝土相比，同龄期的劈裂抗拉、抗压弹模、轴拉强度与极限拉伸都略有增长，表明硅粉混凝土因受压受拉而产生的变形要小于普通混凝土。所以，硅粉混凝土作为高强度材料可望在水工建筑中取代以往惯用的有机高分子材料。

两种减水剂的减水效果都比较明显，都能配制出 0.28 水灰比的硅粉混凝土，上海麦斯特产外加剂 RHEOBUILD1000C 配制出的硅粉混凝土干缩值比湛江产 FDN 干缩值偏大，两种减水剂情况下相应的其它试验结果都比较接近。

2.2 耐久性

由于混凝土中掺入硅粉减少了水泥浆与骨料过渡区的孔隙率，减少泌水及微填料和火山灰反应作用，所以，可显著提高其抗渗性。表2所示硅粉混凝土的抗渗能力比对照普通混凝土的抗渗能力提高约3~5倍。

加入硅粉改善混凝土的抗磨性是由于改善了浆体自身的抗磨性和硬度以及改善了水泥浆与骨料的粘结，后者使粗骨料在磨损作用时难以被冲蚀。表2所示硅粉混凝土的抗磨损能力是对照普通混凝土的1.5倍左右。

3 结语

- 3.1 本次试验研究的结果证明了硅粉混凝土是一种具有高强度、高抗渗性、抗磨损、节约水泥等优越性能的新型水工抗磨蚀材料。
- 3.2 本次试验研究选出的硅粉混凝土配合比，其强度与坍落度均满足了黄河小浪底工程设计要求。从减水剂与混凝土强度选择结果看，在现有的条件下通过进一步减小水灰比或增加水泥用量使硅粉混凝土获得更高的强度已不再可能。
- 3.3 掺硅粉和膨胀剂的硅粉混凝土与不掺膨胀剂单掺硅粉的硅粉混凝土对比试验结果看：两种减水剂情况下的膨胀剂对混凝土干缩性能的影响不明显，未起到补缩作用。

参 考 文 献

1 刘晓黎. 水浪底工程抗磨硅粉混凝土原料品质鉴定报告. 水利部黄委会设计院科研所. 1992年12月

2 李庆麟. 黄河小浪底水利枢纽工程混凝土试验报告. 水利部黄委会设计院科研所. 1990年10月

3 黄河小浪底水利枢纽工程招标及设计混凝土试验报告. 水利部黄委会设计院科研所. 1992年12月

The experiment study of silica powder concrete of Yellow River
XiaoLangdi conservancy pivotal project

Liu Kongfan Wang Tingye
(Yellow River Irrigation works committee)

Abstract: By the room experiment study on the affecting factors of silica powder concrete (SPC) function, the mix proportion of SPC which satisfies the demand of the strength and gravitational yield of XiaoLangdi project design is selected. The experiment result shows that under the same cement usage the strength of SPC is rather higher than that of normal cement. The module of eladticity of tensile strength and the compression strength, the axis tensile strength and the limit tensile are increased than the same-duration normal concrete. The shock strength and the anti-friction strength are improved obviously. The conclusion from the experiment is that SPC is one kind of the newly better-function anti-friction materials.

Keywords: silica Powder, concrete, experiment, XiaoLangdi