

煤矸石复合混合材料混凝土抗渗性能的研究

孙庆合, 孟云芳, 刘冬梅

(宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 利用煤矸石、粉煤灰、矿渣代替部分水泥, 制作 C50 复合混凝土, 分析混合材料对混凝土的力学特性和抗渗性能的影响. 采用正交试验设计与微观相结合, 并对复合混凝土的抗渗性能做了初步研究. 试验结果表明, 煤矸石掺量在 10% 以下时, 混凝土的抗渗性能得到提高.

关键词: 煤矸石; 抗渗性; 粉煤灰; 混凝土

中图分类号: TU528.041 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2008)06 - 0049 - 06

Research of Anti - Permeability of Concrete with Gangue and Mixtures

SUN Qing-he, MENG Yun-fang, LIU Dong-mei

(College of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Gangue, fly ash and slag are used in the place of cement partially to make the compound concrete of C50. The influences of the mixture on the mechanical properties and the performance of anti - permeability of concrete are analyzed. Orthogonal experiment is combined with microscopic to study anti - permeability of the compound. It is shown through the research that anti - permeability of the compound concrete is enhanced when the proportion of gangue is less than 10 percent.

Key words: gangue; anti - permeability; fly ash; concrete

0 引言

混凝土是工程建设的主要物质基础之一, 它已成为绿色材料的主导, 是福国强民的新产业. 目前大规模的经济建设发展, 原材料匮乏, 对天然资源超量开采和挖掘, 破坏了生态平衡, 造成水土流失, 表土沙化, 引起严重的沙尘暴和环境污染. 绿色建材的发展带来了广阔的前景, 它除了利用潜在的工业废弃料与保护生态环境的要求相符, 以及作为改性混凝土大量添加材料外, 还为国家的可持续经济建设发展提供了能源补充动力, 是保护生态环境和绿色工程相结合的纽带^[6,11].

尽管混凝土的品种不断改进, 技术水平日益提高, 但抗渗性能仍然很低, 而且脆性破坏的性能非常突出, 这些缺陷极大地限制了混凝土材料的应用范围. 科研工作者和工程技术人员进行了长期的研究和不懈的努力, 混凝土的抗裂性、抗渗性得到了极大提高. 目前, 改变混凝土脆性和抗渗性的问题, 主要是调整混凝土的内部结构、改变孔特征和减少微观结构中中共价键, 增加粒子键、次价键, 以降低混凝土中键的方向性和饱和性^[4]. 本研究中加大了粉煤灰、矿渣的掺量, 考虑到煤矸石作为废料资源的开发与利用, 将其也作为一种矿物掺和料用于混凝土中. 通过不同的试验配比, 研究它们之间的复合叠加效应对混凝土强度及抗渗性的影响, 最终确定出复合高性能混凝土抗渗性能最佳的优化方案及混合材、外加剂的掺量.

1 原材料及试验方法

1.1 试验原材料

1.1.1 胶凝材料

(1) 水泥为宁夏青铜峡水泥厂生产的 52.5MPa 普通硅酸盐水泥, 其密度为 3.1 g/cm^3 , 细度为 2.3%,

收稿日期: 2008 - 01 - 10 基金项目: 国家自然科学基金 (项目编号: 50569003).

第一作者简介: 孙庆合 (1956 -), 男, 副教授. 主要研究方向: 水工结构材料. E - mail: qhsun@163.com

水泥的各项技术指标均符合国家现行技术标准的要求;(2)粉煤灰为宁夏青铜峡电收尘干排 级粉煤灰;(3)矿渣来源于宁夏石嘴山钢厂,满足水泥中应用的粒化高炉矿渣的国家标准 GB203;(4)煤矸石采自宁夏大武口煤矿。

1. 1. 2 粗细集料

本试验用粗集料为贺兰山天然岩石破碎加工而成的 5~30 mm 连续级配,干视密度为 2.71 g/cm³,松散密度为 1.39 g/cm³;细集料取自青铜峡黄河砂,砂的级配良好,视密度为 2.64 g/cm³,松散密度为 1.59 g/cm³。

1. 1. 3 外加剂

本试验采用三种外加剂:(1)NF 高效减水剂,由宁夏灵武鑫海实业总公司生产;(2)DH₉ 引气剂,由河北省景县振兴化工建材厂生产;(3)UEA 膨胀剂,由河北省景县振兴化工建材厂生产。

1. 2 试验方法

(1)抗压强度试验:模型采用 150mm 的立方体,龄期选择 28d;(2)抗渗试验:根据 SD105-82《水工混凝土试验规程》方法试验;(3)微观电镜扫描(SEM)试验:试样从混凝土抗压、抗渗试验结果中选取。

1. 3 正交试验设计

本次试验采用正交试验设计并考虑了三个水平与五个影响因素即:(1)水灰比:拟选用 0.45, 0.40, 0.35 三个水平;(2)掺和料:粉煤灰、矿渣及煤矸石,等量取代部分水泥用量,并将此掺量选用三个水平(见表 1);(3)外加剂:引气剂单掺,减水剂和膨胀剂共掺,膨胀剂单掺。试验选用 L₁₈(3⁷), 7 因素三水平正交表、试验方案及试验结果见表 2。

表 1 正交试验的因素水平表

Tab. 1 Concrete factor level of orthogonal test

水平	因素				
	水灰比 1	粉煤灰 2	矿渣 3	煤矸石 4	外加剂 5
	/%	/%	/%	/%	/%
1	0.35	20	0	0	引气剂 0.05
2	0.40	10	10	5	减水剂 + 膨胀剂 8.3 + 0.7
3	0.45	0	20	10	膨胀剂 8

表 2 L₁₈(3⁷)试验方案和试验结果

Tab. 2 The project of concrete orthogonal test and results

试验号	水灰比	粉煤灰	矿渣	煤矸石	外加剂	空列	空列	考核指标	
	A	B/%	C/%	D/%	E	F	G	抗压强度 /MPa	渗透高度 /cm
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1(0.35)	1(20)	1(0)	1(0)	1(引)	1	1	41	3.33
2	1(0.35)	2(10)	2(10)	2(5)	2(减+膨)	2	2	50	2.46
3	1(0.35)	3(0)	3(20)	3(10)	3(膨)	3	3	39.6	6.22
4	2(0.40)	1(20)	1(0)	2(5)	2(减+膨)	3	3	39.5	3.58
5	2(0.40)	2(10)	2(10)	3(10)	3(膨)	1	1	30.9	9.84
6	2(0.40)	3(0)	3(20)	1(0)	1(引)	2	2	38.4	4.32
7	3(0.45)	1(20)	2(10)	1(0)	3(膨)	2	3	33.1	5.21
8	3(0.45)	2(10)	3(20)	2(5)	1(引)	3	1	32.5	5.01
9	3(0.45)	3(0)	1(0)	3(10)	2(减+膨)	1	2	36.5	4.98
10	1(0.35)	1(20)	3(20)	3(10)	2(减+膨)	2	1	39.7	3.91
11	1(0.35)	2(10)	1(0)	1(0)	3(膨)	3	2	42.3	3.26
12	1(0.35)	3(0)	2(10)	2(5)	1(引)	1	3	48.9	2.52
13	2(0.40)	1(20)	2(10)	3(10)	1(引)	3	2	35.4	3.34
14	2(0.40)	2(10)	3(20)	1(0)	2(减+膨)	1	3	36.3	3.26
15	2(0.40)	3(0)	1(0)	2(5)	3(膨)	2	1	44.8	2.00
16	3(0.45)	1(20)	3(20)	2(5)	3(膨)	1	2	31.2	5.35
17	3(0.45)	2(10)	1(0)	3(10)	1(引)	2	3	37.3	4.78
18	3(0.45)	3(0)	2(10)	1(0)	2(减+膨)	3	1	35.6	5.19

1.4 试验配合比

1.4.1 基准混凝土的配合比及试验结果

基准混凝土的配合比及相应的试验结果见表 3 所示。

表 3 基准混凝土配合比及试验结果

Tab. 3 Mixture composition of benchmark concrete and results

编号	水灰比	水 /kg·m ⁻³	水泥 /kg·m ⁻³	砂 /kg·m ⁻³	石 /kg·m ⁻³	抗压强度 /MPa	渗透高度 /cm
1	0.35	196	560	619	1010	53.8	8.41
2	0.40	186	465	661	1077	47.3	9.52
3	0.45	185	411	624	1159	43.7	11.6

1.4.2 复合混凝土配合比

复合混凝土配合比如表 4 所示。

表 4 复合混凝土配合比

Tab. 4 Mixture composition of compound concrete

编号	水灰比	水 /kg·m ⁻³	水泥 /kg·m ⁻³	不同矿物掺和料的掺量 /%				胶材总量 /kg·m ⁻³	砂 /kg·m ⁻³	石 /kg·m ⁻³
				粉煤灰	矿渣	煤矸石	膨胀剂			
1		187	429	20	0	0	0	527	592	966
2	0.35	169	331	10	10	5	8.3	468	674	1 099
3		209	385	0	20	10	8	579	589	962
4		163	281	20	0	5	8.3	404	689	1 125
5	0.40	199	318	10	10	10	8	482	630	1 026
6		186	372	0	20	0	0	465	624	1 018
7		185	265	20	10	0	8	411	615	1 142
8	0.45	170	245	10	20	5	0	378	606	1 125
9		157	288	0	0	10	8.3	349	666	1 238
10		167	219	20	20	10	8.3	477	654	1 067
11	0.35	216	490	10	0	0	8	582	584	953
12		192	467	0	10	5	0	545	589	961
13		167	251	20	10	10	0	419	643	1 049
14	0.40	158	254	10	20	0	8.3	396	705	1 150
15		202	449	0	0	5	8	505	629	1 025
16		174	195	20	20	5	8	385	631	1 172
17	0.45	157	279	10	0	10	0	349	631	1 171
18		142	259	0	10	0	8.3	314	695	1 291

1.5 试件成型与养护

试验按《水工混凝土试验规程》SD105-82 标准振捣成型。每组混凝土成型 9 个试件, 6 个抗渗试件, 3 个立方体抗压试件, 标准养护。

2 试验结果分析与讨论

2.1 正交试验结果的直观分析与方差分析

2.1.1 直观分析

对正交试验方案的试验结果进行直观分析与方差分析, 比较各因素对考核指标的影响顺序和影响大小, 直观分析结果见表 5, 方差分析结果和渗水高度见表 6 和表 7。

表 5 正交试验结果的直观分析

Tab. 5 Directness analysis of orthogonal test and results

考核指标	分析指标	因 素						
		水灰比 A	粉煤灰 B	矿渣 C	煤矸石 D	外加剂 E	空列 F	空列 G
抗 压 强 度	K_1	261.50	219.90	241.40	226.70	233.50	224.80	224.50
	K_2	225.30	229.30	233.90	246.90	237.60	243.30	233.80
	K_3	206.20	243.80	217.70	219.40	221.90	224.90	234.70
	$\overline{K_1}$	43.58	36.65	40.23	37.78	38.92	37.47	37.42
	$\overline{K_2}$	37.55	38.22	38.98	41.15	39.60	40.55	38.97
	$\overline{K_3}$	34.37	40.63	36.28	36.57	36.98	37.48	39.12
	R_j	9.22	3.98	3.95	4.58	2.62	3.07	1.55
	主 次	A	D	B	C	F	E	—
	K_1	21.70	24.72	21.93	24.57	23.30	29.28	29.28
渗 透 高 度	K_2	26.34	28.61	28.56	20.92	23.38	22.68	23.71
	K_3	30.52	25.23	28.07	33.07	31.88	26.60	25.57
	$\overline{K_1}$	3.62	4.12	3.66	4.10	3.88	4.88	4.88
	$\overline{K_2}$	4.39	4.77	4.76	3.49	3.90	3.78	3.95
	$\overline{K_3}$	5.09	4.21	4.68	5.51	5.31	4.43	4.26
	R_j	1.47	0.65	1.11	2.03	1.43	0.65	0.93
	主 次	D	A	E	C	F	B	—

从表 5 的直观分析结果可看出:影响混凝土的 28 d 强度因素的影响顺序为:水灰比 A 煤矸石 D 粉煤灰 B 矿渣 C 误差项 F 外加剂 E,水灰比和煤矸石的影响较大,而外加剂的影响较小.影响混凝土的渗透高度值的因素影响顺序为:煤矸石 D 水灰比 A 外加剂 E 矿渣 C 误差项 F 粉煤灰 B,煤矸石对混凝土抗渗性影响最大,其次是水灰比,粉煤灰对渗透高度的影响在试验误差范围内.

表 6 以 28 d 抗压强度为考核指标的方差分析

Tab. 6 Variance analysis of 28 day compressive strength as estimated target

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	F	显著性
水灰比 A	262.96	2	131.48	16.77	$F_{0.99}(2,9) = 8.02$	**
粉煤灰 B	48.32	2	24.16	3.08	$F_{0.95}(2,9) = 4.26$	(*)
矿渣 C	48.91	2	24.46	3.12	$F_{0.9}(2,9) = 3.01$	(*)
煤矸石 D	67.64	2	33.82	4.31	—	*
外加剂 E	22.10	2	11.05	—	—	—
误差项 e	48.45	7	6.92	—	—	—
	70.55	9	7.84	—	—	—

表 7 以渗水高度为考核指标的方差分析

Tab. 7 Variance analysis of permeable altitude as estimated target

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	F	显著性
水灰比 A	6.49	2	3.24	3.72	$F_{0.99}(2,9) = 8.02$	(*)
粉煤灰 B	1.49	2	0.74	—	$F_{0.95}(2,9) = 4.26$	—
矿渣 C	4.55	2	2.27	2.61	$F_{0.9}(2,9) = 3.01$	—
煤矸石 D	12.96	2	6.48	7.44	—	*
外加剂 E	8.10	2	4.05	4.65	—	*
误差项 e	6.35	7	0.91	—	—	—
	7.84	9	0.87	—	—	—

注: ** —影响高度显著; * —影响显著; (*) —有一定影响;其余皆无影响.

2.1.2 方差分析

由于直观分析法对影响试验结果各因素的重要程度不能给出精确的数量估计,不能判断因素对试验结果的影响是否显著,因此,需对试验结果进行方差分析,弥补直观分析的不足.表 6、表 7 分别以混凝土 28 d 抗压强度、渗水高度值为考核指标,从两表中可看出:对于混凝土 28 d 抗压强度而言,水灰比的影响高度显著,煤矸石的影响显著,矿渣、粉煤灰有一定的影响.混凝土的渗水高度为考核指标,煤矸石、外加剂影响显著,水灰比有一定影响,而粉煤灰、矿渣则影响微小.

2.1.3 最优配合比的确定

首先考核指标确定为混凝土 28 d 抗压强度时的最优配合比,由于混凝土的抗压强度越高则抗渗性能也越强,本次强度结果得出最优配合比为: $A_1B_3C_1D_2E_2$; 对于混凝土渗水高度值,则是越小越好,最优配合比为 $A_1B_1C_1D_2E_1$ 或 $A_1B_1C_1D_2E_2$. 比较两个配合比方案,二者在因素 B、因素 E 的水平的选择上存在差异. 因素 B 即粉煤灰对混凝土 28 d 抗压强度有一定影响,对渗水高度值影响不显著,因此选择 B_3 . 因素 E 对混凝土 28 d 抗压强度的影响被误差所淹没,但其对渗水高度值的影响显著,由于 E_1 和 E_2 所对应的渗水高度几乎相同,选 E_1 或 E_2 均可,选择 E_1 时引气剂掺入能改善混凝土的和易性,减少用水量. 选择 E_2 表明掺入高效减水剂加膨胀剂能够减少用水量,改善和易性,膨胀剂能够取代部分水泥,二者同掺既能改善混凝土性能,又节约水泥,因此,因素 E 选择 E_2 . 依上述综合平衡分析结果,得到最优方案为: $A_1B_3C_1D_2E_2$.

2.2 影响混凝土抗渗性的因素

2.2.1 煤矸石的影响

由直观分析和方差分析结果可知,煤矸石对混凝土渗水高度比水灰比的影响显著. 煤矸石对混凝土渗水高度的影响与掺量有关. 如 15 号试验中,单掺煤矸石微粉 5%,外加剂为膨胀剂时,混凝土的渗水高度仅为 2.00 cm,抗压强度为 44.8 MPa 与基准混凝土相比,强度下降了 16.7%,但渗水高度却较基准混凝土的渗水高度降低了 79%. 试验号 9 和 18 相比,二者水灰比,混合材、外加剂的掺量均相同,但第 9 组混凝土的抗渗标号大于 W22,而第 18 组混凝土的抗渗标号仅为 W18,可见在混凝土中添加煤矸石微粉比矿渣更能有效地提高混凝土的抗渗性能^[3,8,9]. 图 1 所示水灰比为 0.35、0.40 时,混凝土的渗水高度随煤矸石掺量的增加先减少后增加. 在试验范围内,水灰比为 0.45 时,混凝土的渗水高度随煤矸石掺量的增大而降低,但降低幅度较小. 因此,可以认为,当混凝土水灰比为 0.35 ~ 0.45,煤矸石的最佳掺量为 5% 时,混凝土的渗水高度最小.

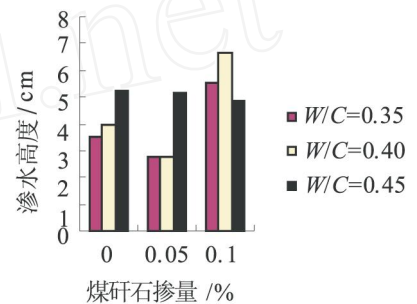


图1 煤矸石掺量对混凝土渗水高度的影响
Fig.1 Influence on concrete osmotic height of amount of gangue

2.2.2 水灰比的影响

由方差分析可知,水灰比对混凝土抗渗性的影响显著,其影响顺序仅次于煤矸石. 众多研究表明,降低混凝土的水灰比可减少混凝土内部连通的毛细管道,提高混凝土的密实度,从而提高混凝土的强度和抗渗性能. 本试验再次证明了这一规律. 图 2 给出了不同水灰比时混凝土的渗水高度. 从图中可看出无论是掺混合材的混凝土还是基准混凝土,它们的渗水高度均随水灰比的降低而降低. 基准混凝土的渗水高度均比同水灰比下掺混合材料的混凝土的渗水高度高 50%.

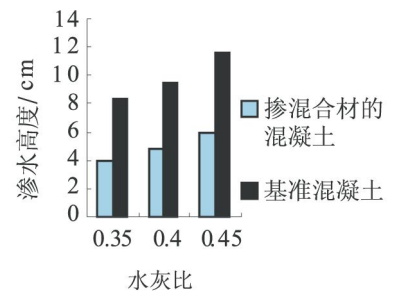


图2 掺和料混凝土与基准混凝土渗水高度对比
Fig.2 Comparison between benchmark concrete osmotic height and mixtures concrete

2.2.3 外加剂的影响

本次实验掺入膨胀剂、引气剂和减水剂. 引气剂使混凝土内部产生大量微小、均匀的气泡,气泡隔断了混凝土内部连通的毛细管孔道;减水剂能改善混凝土的和易性,减少用水量,水分蒸发时留下的毛细孔管少,从而提高了混凝土的密实度和抗渗性. 掺入膨胀剂能与水泥水化产物发生化学反应,生成钙矾石,堵塞混凝土的孔隙. 本次试验中,外加剂对混凝土渗水高度的影响显著. 如图 3、图 4 所示,膨胀剂与引气剂和减水剂相比,掺入后对提高混凝土抗渗性的贡献较大,混凝土的水灰比为 0.35 ~ 0.45 时,混凝土的渗水高度均高于 5 cm. 膨胀剂掺入后,致使混凝土的强度有所降低,同时,膨胀剂使混凝土的单方用水量增大,强度稍低. 但是,与同水灰比下不掺膨胀剂的基准混凝土的渗水高度相比,掺入膨胀剂仍然提高了混凝土的抗渗性. 当引气剂或减水剂与膨胀剂共掺,水灰比为 0.35 ~ 0.40 时,混凝土的渗水高度远小于基准混凝土的渗水高度. 因此,在混凝土中掺入外加剂必能提高混凝土

的抗渗性,当水灰比较小时,外加剂应优先采用引气剂或减水剂与膨胀剂共掺.

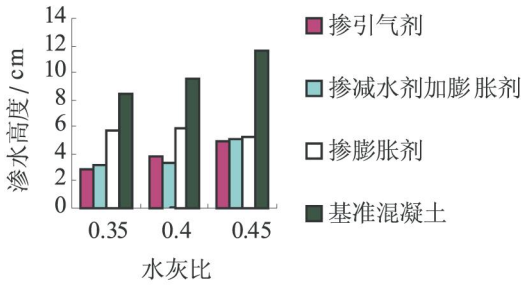


图3 外加剂对混凝土渗水高度的影响
Fig.3 Influence on concrete osmotic height of admixtures amount

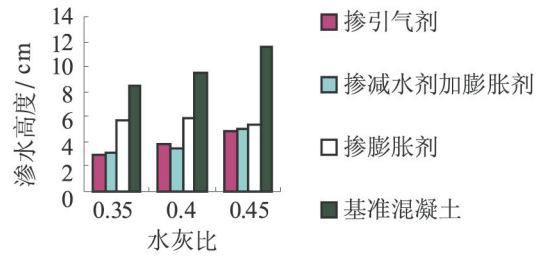


图4 水灰比外加剂对混凝土渗水高度影响
Fig.4 Influence on concrete osmotic height of W/C and admixtures

2.3 混凝土微观电镜扫描 (SEM) 结构分析

从图 5 看出,混凝土中的水泥水化后生成大量的絮状水化硅酸钙凝胶、细长的针状的钙矾石晶体,水化产物之间存在很大的孔隙而且连接呈弱势.图 6 中水泥凝胶之间填充了大量不同粒径的混合材料颗粒,其中圆球状的粉煤灰颗粒的最小粒径为 3~5 μm.颗粒表面光滑,仅有少量的水化产物附着其上,水化物间孔隙小,密实性明显增强,这与宏观强度试验结果一致.掺入混合材料后的水泥凝胶之间的孔隙减少,这是因为混合材料中的 SiO_2 、 Al_2O_3 与 $Ca(OH)_2$ 发生二次反应产生更多的晶体和胶体,使混凝土的强度增大^[2,5,10].比较图 7、图 8 所示,从基准混凝土渗后的 SEM 图可看出,在压力水的作用下,混凝土水化产物之间的孔隙成为裂缝的发源地,裂缝向四面扩展开来,混凝土中水泥水化颗粒在水压的作用下,从中间裂为两半,水化产物之间的孔隙孔径长达 5~10 μm.复合混凝土渗后的 SEM 图中,粉煤灰颗粒在压力水作用下,发生了轻微移位,颗粒周围的水化产物之间虽然也有裂纹,但路径迂回、曲折,数量较少.水化产物之间的大孔隙减少,小孔增多.因此混凝土中掺入混合材料后,混凝土的孔隙率降低,孔结构得到了改善,随着龄期的增长,混合材中的活性 SiO_2 及 Al_2O_3 与 $Ca(OH)_2$ 反应生成水化硅酸钙、水化铝酸钙凝胶增多,粘结强度增加,密实度进一步提高,混凝土抗渗性也随之提高^[10,2,7,8].

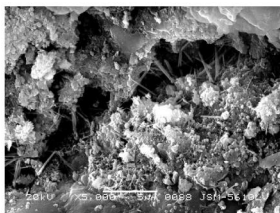


图5 W/C=0.35
28 d 基准混凝土
Fig.5 28d benchmark concrete W/C=0.35

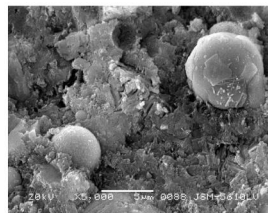


图6 W/C=0.35
28 d 复合混凝土
Fig.6 28d compound concrete W/C=0.35



图7 W/C=0.35
28 d 基准混凝土渗后
Fig.7 28d benchmark concrete after soak W/C=0.35

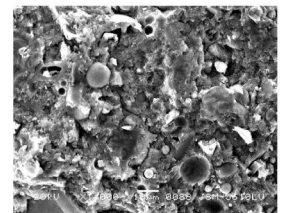


图8 W/C=0.35
28 d 复合混凝土渗后
Fig.8 28d compound concrete after soak W/C=0.35

3 结论

(1) 复合混凝土 28 d 抗压强度,影响因素的主次顺序依次为:水灰比 A 煤矸石 D 粉煤灰 B 矿渣 C 误差项 F 外加剂 E.水灰比对混凝土 28 抗压强度的影响高度显著,煤矸石影响显著,粉煤灰、矿渣有一定影响.

(2) 复合混凝土的渗水高度,影响因素的顺序为:煤矸石 D 水灰比 A 外加剂 E 矿渣 C 误差项 F 粉煤灰 B,煤矸石、外加剂对混凝土的渗水高度的影响显著,水灰比有一定影响,其余均无影响.

(下转第 60 页)

参考文献:

- [1] 周念先,周世忠. 特大跨径桥梁走势 [J]. 中国公路, 2002, (7): 59 - 62
- [2] BROWN W C. Development of The Deck for The 3300m Span Messina Crossing [C] // Congress Report IABSE 12 th Congress Copenhagen, 1996
- [3] 梁鹏,肖汝诚,夏旻,等. 超大跨度缆索承重桥梁结构体系 [J]. 公路交通科技, 2004, 21(5): 53 - 56, 69.
- [4] ASTIZMA. Flutter Stability of Very Long Suspension Bridges [J]. Journal of Bridge Engineering, 1998, 3(3): 132 - 139.
- [5] KM HO-KYUNG, LEE MYEONG-JAE, CHANG SUNG-PL. Non-linear shape-finding analysis of a self-anchored suspension bridge [J]. Engineer Structures, 2002, 24: 1547 - 1559.
- [6] 罗喜恒. 悬索桥缆索系统的数值分析法 [J]. 同济大学学报, 自然科学版, 2004, 32(4): 441 - 446
- [7] 现代应用数学手册计算与数值分析卷 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [8] 项海帆. 高等桥梁结构理论 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001: 311 - 314
- [9] 王晓明. 空间索形自锚式悬索桥初始平衡状态分析 [D]. 西安: 长安大学, 2007: 61 - 69.
- [10] 赵卓,张哲,刘东旭. 自锚式悬索桥主桥动力特性分析 [J]. 世界地震工程, 2006, 22(3): 84 - 88
- [11] 周芬,尚守平,杜运兴. 有限元建模对结构自振频率计算的影响 [J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2006, 33(5): 10 - 15.

(上接第 54 页)

(3) 根据正交试验结果确定出最优方案: $A_1B_3C_1D_2E_2$, 水灰比为 0.35, 粉煤灰掺量为 0, 矿渣掺量为 20%, 煤矸石掺量为 5%, 减水剂与膨胀剂共掺, 最佳试验方案为 $A_1B_2C_2D_2E_2$, 混凝土的强度值最大, 渗水高度值较小.

(4) 煤矸石对混凝土的强度和抗渗性都影响显著, 当水灰比为 0.35 ~ 0.45, 在混凝土中掺入煤矸石能显著提高混凝土的抗渗性, 最佳掺量为 5%, 混凝土 28 d 抗压强度最大, 渗水高度最小.

(5) 在混凝土中掺加外加剂能提高混凝土的抗渗性. 膨胀剂与引气剂或减水剂与膨胀剂同掺时相比, 对提高混凝土抗渗性的贡献较大, 当外加剂为引气剂或减水剂与膨胀剂共掺, 水灰比为 0.35 ~ 0.40 时, 混凝土的渗水高度远小于基准混凝土的渗水高度.

参考文献:

- [1] 施慧生,方泽铎. 粉煤灰对水泥早期水化和孔结构的影响 [J]. 硅酸盐学报, 2004, 32(1): 95 - 98
- [2] 蒲心诚,王勇成. 高效活性矿物掺合料与混凝土的高性能化 [J]. 混凝土, 2002, (2): 3 - 9.
- [3] 李敏,徐玉艳. 自燃煤矸石轻集料的利用 [J]. 新型建筑材料, 2001, (3): 9 - 10
- [4] H. TOUTANJI, N. DELATTE. Effect of Supplementary Cementitious Materials on the Compressive Strength and Durability of Short-term Cured Concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2004, (34): 311 - 3199.
- [5] SABIR BB, WILD S, BAI J. Metakaolin and Calcined Clay as Pozzolans for Concrete: a Review [J]. Cem Concr Compos, 2001, 23: 441 - 445.
- [6] 宋从美,等. 多种矿物掺合料复合使用配制高强高性能混凝土 [J]. 山东建材, 2002, 23(5): 15 - 17.
- [7] 蒲心诚,甘昌成. 碱矿渣混凝土耐久性研究 [J]. 混凝土, 1991, (5): 13 - 20
- [8] 王宗昌,保证抗渗防水混凝土施工质量措施 [J]. 混凝土, 1998, (9): 26 - 31.
- [9] 徐彬,张天石,等. 大掺量煤矸石混凝土耐久性研究 [J]. 混凝土与水泥制品, 1997, (6): 16 - 19.
- [10] 杨健辉. 内掺粉煤灰自燃煤矸石混凝土抗渗机理及应用研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2000, 14(4): 10 - 12