

砂率及特细砂与鱼米石比例对高强 泵送混凝土性能的影响

76-80

张兴元

TU528.31

(重庆建筑大学材料科学与工程系 400045)

摘要 介绍采用鱼米石*与特细砂复合来改善特细砂的级配,采用“双掺”(活性掺合料、泵送剂)技术配制特细砂高强泵送混凝土,利用平行试验和正交试验相结合,研究了诸多因素,特别是砂率和鱼米石与特细砂的不同比例对特细砂高强泵送混凝土的工作性和强度的影响规律。从而为广大特细砂产区配制高强泵送混凝土提供了可参考的重要试验与理论数据。

关键词 高强泵送混凝土;混合砂;砂率 ~~鱼米石~~ 鱼米石, 中砂

中图法分类号 TU528.1

砂率是混凝土配合比设计的三个重要参数之一。按照混凝土的工程实践经验和科学理论,认为水胶比是决定混凝土强度的主要因素,而砂率对强度的影响仅次于水胶比。确定砂率的主要依据是混凝土的和易性,即流动性、粘聚性和保水性,其主要因素包括用水量、水泥用量、掺合料、砂率和外加剂等。

对于泵送混凝土,为使其具有良好的工作性,即:在搅拌、运输、卸料时,不分层、不离析、不泌水;在泵送时,不堵塞泵机和管道;在浇注成型时,易振实、好抹面。因此选用合理的砂率尤为重要。

1 不同比例混合砂(特细砂与鱼米石)的级配、细度模数

特细砂粒径小,混凝土粗集料之间的砂浆层厚度相对减薄,因此,“低砂率”是配置特细砂混凝土的重要特点。纯特细砂泵送混凝土的砂率一般在25%左右,而中砂泵送混凝土的砂率通常为38%~45%。由于本试验采用鱼米石与特细砂复合,细集料(混合砂)的细度模数和级配都有所改善,故砂率可适当增加,但不宜超过中砂。由特细砂与鱼米石复合的混合砂,存在“两多一少”,即粒径1.25mm以上和0.315mm以下的颗粒多,而粒径在0.315~1.25mm之间的颗粒仅占10%左右(见表1),因此,混合砂的级配与中砂级配有很大差别,即使混合砂的细度模数与某种中砂的细度

表1 鱼米石与特细砂复合后混合砂各级累计筛余、细度模数

质量比 (鱼米石:特细砂)	细度模数	累 计 筛 余 (%)						
		5 mm	2.5 mm	1.25 mm	0.63 mm	0.135 mm	0.16 mm	0.08 mm
2.0:8.0	$M_c = 1.37$	1.3	11.4	16.3	19.1	26.1	68.6	98.2
2.5:7.5	$M_c = 1.53$	1.6	14.1	20.2	23.6	30.4	70.4	98.3
3.0:7.0	$M_c = 1.70$	1.8	16.8	24.1	28.2	34.7	72.1	98.4
3.5:6.5	$M_c = 1.86$	2.1	19.5	28.0	32.7	39.0	73.8	98.5
4.0:6.0	$M_c = 2.03$	2.4	22.3	31.9	37.2	43.3	75.5	98.6
4.5:5.5	$M_c = 2.20$	2.6	25.0	35.8	41.7	47.6	77.3	98.7

收稿日期:1999-01-04

张兴元,男,1954年生,工程师

*鱼米石即石灰石破碎后5mm以下的石屑。

模数相近,但级配(各分计筛余)有可能相差甚远。

所以,混合砂的细度模数不宜过大,更不能用中砂的标准来衡量混合砂。C60 强度等级的混凝土,其水泥用量已接近规范的最大用量 $550 \text{ kg}/\text{m}^3$,并掺入一定量的掺合料,如粉煤灰、磨细矿渣粉。在这种情况下,即使是大塌落度的混凝土拌合物,只要不超量加水,特别是掺入外加剂时,分层离析和泌水现象基本可以避免,且特细砂比表面积大,粒径小于 0.16 mm 的颗粒相对较多,对提高混凝土粘聚性和保水性有利,在这种情况下,用增大砂率来改善粘聚性和保水性已无必要。因此,砂率可适当减小。

泵送混凝土,从其掺外加剂来讨论,外加剂已成为第五组分,目前几乎没有不掺外加剂的泵送混凝土,不论是减水剂、引气剂还是塑化剂,均可达到增大流动性,减少用水量,降低分层离析,泌水现象(外加剂过量情况除外),有利于搅拌、运输(包括泵送)、浇注、成型、密实等施工过程,所以砂率可适当降低。

泵送混凝土的理论研究和工程实践表明:细粉料(水泥、掺合料、 0.315 mm 以下细料)含量对混凝土拌合物的可泵性影响极大。如果粉状含量过少,混凝土泵送管道内壁没有附着足够的细砂和水泥浆(包括掺合料组成的附壁层)将导致混凝土拌合物分层离析、泌水现象增大,中小料流摩擦阻力增大,使泵送状态恶化、受阻。但如果粉状含量太大也是有害的,因为细粉含量过大则需要较多的水,并形成粘稠的混合物,其沿管道运动的粘滞阻力大大增加,使泵送压力增加,将导致管道堵塞。因此,不论是砂率,还是鱼米石与特细砂复合后混合砂中,特细砂的含量都不宜过大。

2 砂率及两种砂的比例对混凝土性能的影响

表 2 为砂率及两种砂不同比例对混凝土性能的影响。试验所用原料如下:

- 1) 水泥:重庆水泥厂生产的 525 号矿渣硅酸盐水泥。
- 2) 粗集料:重庆南岸石灰石碎石。
- 3) 细集料:由渠河特细砂和鱼米石复合而成。
- 4) 粉煤灰:重庆华能国电实业公司 II 级粉煤灰。
- 5) 水:自来水。
- 6) 外加剂:重庆立飞新型建筑材料有限公司生产的 FST-3 高效泵送剂。

表 2 砂率及鱼米石与特细砂的比例对混凝土的性能影响

编号	每立方米混凝土材料用量 (kg/m^3)							砂率 1%)	鱼米石 渠河砂	水 胶 比 W/(C+F)	塌落度 (mm)	抗压强度 (MPa)	
	碎石	渠河砂	鱼米石	水泥	粉煤灰	水	引气剂					R_c	R_{c4}
101	1 200	368	123	485	100	175	4.68	29	2.5 2.7	0.30	21.0	53.4	73.3
102	1 200	343	147	485	100	175	4.68	24	3.0 7.0	0.30	23.5	52.1	70.3
103	1 200	319	172	485	100	175	4.68	29	3.5 6.5	0.30	24.0	51.4	67.9
104	1 200	294	196	485	100	175	4.68	29	4.0 6.0	0.30	23.5	50.5	66.4
105	1 149	406	135	485	100	175	4.68	32	2.5 7.5	0.30	25.0	55.1	75.3
106	1 149	379	162	485	100	175	4.68	32	3.0 7.0	0.30	26.0	51.6	72.7
107	1 149	352	189	485	100	175	4.68	32	3.5 6.5	0.30	24.5	49.5	66.9
108	1 149	324	216	485	100	175	4.68	32	4.0 6.0	0.30	23.5	46.7	66.2
109	1 100	443	148	485	100	175	4.68	35	2.5 7.5	0.30	22.0	56.3	75.4
110	1 100	413	177	485	100	175	4.68	35	3.0 7.0	0.30	25.5	54.6	74.5
111	1 100	384	203	485	100	175	4.68	35	3.5 6.5	0.30	23.5	50.7	68.9
112	1 100	355	236	485	100	175	4.68	35	4.0 6.0	0.30	23.0	48.8	67.3
113	1 048	482	161	485	100	175	4.68	38	2.5 7.5	0.30	20.0	53.0	70.1
114	1 048	449	193	485	100	175	4.68	38	3.0 7.0	0.30	24.0	50.2	68.6
115	1 048	418	225	485	100	175	4.68	38	3.5 6.5	0.30	23.5	45.4	66.2
116	1 048	386	257	485	100	175	4.68	38	4.0 6.0	0.30	23.0	43.0	65.1

由表 2 可以看出:当砂率固定时,鱼米石与特细砂的比例由 2.5:7.5 变化到 4.0:6.0,虽然混合砂的细度模数由 1.53 增加到 2.03,但混凝土强度却逐渐降低,而塌落度却是先增加后减少。对于强度而言,究其原因,主要是鱼米石过多,特砂相对减少,系统的堆积密实数降低,空隙率反而增加,从而导致硬化混凝土的密实度下降,强度降低。塌落度增加,主要是由于特细砂减少,总表面积降低,需水量减小造成的。塌落度降低是由于鱼米石过多,其粒径相对较大,从而细粉料相对减少,水泥砂浆的流动性降低,宏观表现为混凝土塌落度减小。

当鱼米石与特细砂比例一定,即混合砂细度模数一定时,随着砂率增加,混凝土的强度和塌落度都是先增后减,这与纯特细砂或中砂配置混凝土有相似之处。单就强度而言,鱼米石:特细砂 = 2.5:7.5 ($M_s = 1.53$) 最好,其次是 3.0:7.0 ($M_s = 1.70$)。但,当鱼米石:特细砂 = 2.5:7.5 ($M_s = 1.53$) 时,特细砂含量多,需水量大,混凝土拌和物粘性大,塌落度也相对小些。综合考虑, $M_s = 1.70$ (鱼米石:特细砂 = 3.0:7.0) 较为理想。后序试验都将采用这一细度模数的混合砂。从砂率来说,35% 时最佳,其次是 32%,故后序正交试验砂率的三个水平分别为 31%,33%,35%。

3 正交试验与分析

与普通混凝土相比,特细砂高强泵送混凝土的影响因素更为复杂。为了使试验更具科学性和高效率,这里选择 $L_9(3^4)$ 正交表头进行正交试验,所拟因素水平见表 3,试验结果及分析见表 4 与表 5。

表 3 $L_9(3^4)$ 因素水平表

水平	因 素			
	A	B	C	D
	水泥 (kg)	粉煤灰 (kg)	砂率 (%)	外加剂 (%)
1	500	85	31	1.0
2	510	75	33	0.9
3	520	65	35	1.1

表 4 $L_9(3^4)$ 正交试验及结果

编号	因 素				水 平		抗压强度 (MPa)	
	A	B	C	D	塌落度 (cm)	扩散度 (cm)	R_b	R_{28}
	水泥 (kg)	粉煤灰 (kg)	砂率 (%)	外加剂 (%)				
201	500	85	31	1.0	24.5	73.0	52.0	75.8
202	500	75	33	0.9	25.5	73.5	53.9	76.7
203	500	65	35	1.1	25.0	74.0	54.2	76.2
204	510	85	33	1.1	26.0	75.5	54.5	77.0
205	510	75	35	1.0	25.5	74.0	55.5	78.4
206	510	65	31	0.9	22.5	70.0	53.0	76.5
207	520	85	35	0.9	26.0	75.0	59.0	81.5
208	520	75	31	1.1	24.0	72.0	54.9	76.6
209	520	65	33	1.0	24.5	72.5	56.9	78.5

注:① 细集料 鱼米石:渠河砂 = 3.0:7.0 ($M_s = 1.70$);② 粗集料 混凝土用石灰石 用量均为 1100 kg/m^3

③ 水 混凝土用水量 175 kg/m^3 ;④ 外加剂 FST-3 高效泵送剂 掺量 $(C+F) \times \%$

3.1 直观分析

201~209 28 天抗压强度都满足 C60 试配要求的强度

$$R_{ac} = R_{at} + 1.645\sigma = 69.9 \text{ MPa}$$

其中 207 能达到 C70 的试配要求强度

表5 正交试验极差分析

编号	因素				考查指标			
	A 水泥(Kg)	B 粉煤灰(Kg)	C 砂率(%)	D 外加剂(%)	塌落度 (cm)	扩散度 (cm)	R ₇ (MPa)	R ₂₈ (MPa)
极差分析指标					影响规律:			
塌落度	\bar{k}_1	24.9	25.5	23.7	24.8	1 砂率的影响最大,砂率取35%时,塌落度最大。 2 粉煤灰掺量影响也比较显著,仅次于砂率,取85 kg/m ³ 时塌落度最大。 3 水泥用量和泵送剂的掺量对塌落度影响都不显著。		
	\bar{k}_2	24.7	25.0	25.3	24.7			
	\bar{k}_3	24.8	24.0	25.5	25.0			
	R	0.2	1.5	1.8	0.3			
扩散度	\bar{k}_1	73.5	74.5	71.7	73.2	影响规律: 1 砂率的影响最大,砂率取35%时,扩散度最大。 2 粉煤灰掺量影响也较显著,仅次于砂率,取85kg/m ³ ,扩散度最大。 3 水泥用量和泵送剂影响均不显著。		
	\bar{k}_2	73.2	73.2	73.8	72.8			
	\bar{k}_3	73.2	72.2	74.3	73.8			
	R	0.3	2.3	2.6	1.0			
R ₇	\bar{k}_1	53.4	55.2	53.3	54.8	影响规律: 1 水泥用量影响最显著,取520Kg/m ³ 混凝土7天强度最高。 2 砂率对混凝土7天强度也较显著,取35%最佳。 3 粉煤灰和泵送剂掺量对7天强度影响均不显著。		
	\bar{k}_2	54.3	54.8	55.1	55.3			
	\bar{k}_3	56.9	54.7	56.2	54.5			
	R	3.5	0.5	2.9	0.8			
R ₂₈	\bar{k}_1	76.2	78.1	76.3	77.6	影响规律: 1 水泥用量对混凝土28天强度影响最大,取520kg/m ³ 最佳。 2 砂率对混凝土28天强度影响最大,取35%较好。 3 粉煤灰和泵送剂掺量对28天强度影响均不显著。		
	\bar{k}_2	77.3	77.2	77.4	78.2			
	\bar{k}_3	78.9	77.1	78.7	76.6			
	R	2.7	1.0	2.4	1.6			

$$R_{\text{配}} = R_{\text{配}} + 1.645\sigma = 79.9 \text{ MPa}$$

201~209的塌落度和扩展度都很好,完全满足泵送要求。因此,正交试验的九个配合比都达到特细砂高强泵送混凝土的要求。

3.2 极差分析

1) 塌落度和扩散度极差分析 从表4及表5可以看出,影响塌落度和扩散度的主次因素是 C>B>D>A。显然,影响塌落度的主要因素也是影响扩散度的主要因素,且混凝土拌合物的扩散度随其塌落度的增加而增大。砂率是影响混凝土拌合物塌落度和扩散度的最主要因素。混凝土拌合物是一个多相复合体系,水泥砂浆是粗集料流动的载体。在水泥浆数量不变的情况下,如果砂率过小,不能保证粗集料之间有足够厚的砂浆层,将削弱砂浆对粗集料的润滑作用,使粗集料之间的摩擦阻力增加,导致料流困难,甚至影响拌合物的粘聚性和保水性,造成离析和水泥浆流淌,特别是在外加剂掺量较大的情况下,由于砂率过小,可能造成流浆而使中心出现石子堆积现象,混凝土拌合物的塌落度和扩散度当然会受到影响。因此,适当增加砂率有利于改善拌合物的和易性,但是,砂率过大,水泥浆的数量相对显得不足,从而削弱了水泥浆对砂子的润滑作用,所以过大的砂率会使混凝土拌合物流动性降低,和易性变差。粉煤灰对混凝土拌合物流动性的影响仅次于砂率,主要是由粉煤灰的形态效应和填充效应引起的。水泥用量和泵送剂掺量对混凝土拌合物的流动性影响并不显著,其原因是:在单位用水量一定的情况下,本次正交试验A因素(水泥用量)的三个水平相差不大,从而引起的水胶比变化也不大,又加入足量的泵送剂,因此,水泥用量对拌合物流动性不敏感。D因素(泵送剂掺量)对拌合物的流动性的影响本应该是显著的,但本次试验D因素的三个水平比较接近且掺量都比较大,泵送剂最低的一个水平(掺量(C+F)×0.9%)已经使混凝土拌合物有了很大的塌落度和扩散度,其中的高效减水剂已经能较充分地分散水泥粒子,如果再加泵送剂掺量,多余的减水剂大部分分散在液相中,没有起到减水作用。因此,对塌落度和扩散度的增大效果不明显,从而表现为泵送剂掺量对混凝土拌合物的塌落度和扩散度影响不显著。

2) 7天和28天抗压强度极差分析 7天和28天抗压强度的影响次序是 $A > C > D > B$ 。水胶比是决定混凝土强度的最主要因素。单位用水量一定的情况下,尤其是单位用水量较小时,水泥用量的变化引起水胶比变化从而显著影响混凝土强度。不论是7天强度还是28天强度,水泥用量都是最主要因素,但又有所区别。从极差分析可以看出,水泥用量对7天强度的影响比28天强度明显,这主要是因为:在粉煤灰混凝土中由于粉煤灰的活性较低,在硬化早期(如7天)的火山灰效应基本上没有发挥,粉煤灰仅起填充作用,只有水泥水化产物对混凝土有贡献。因此,7天强度主要取决于水灰比而不是水胶比,即粉煤灰对7天强度贡献不明显,影响甚小,因而其极差很小。当龄期28天时,粉煤灰的火山灰效应对混凝土强度已经有一定影响,表现为极差有所增大,这时影响混凝土强度的主要因素就是水胶比而不是水灰比,因此水泥用量极差有所减小,但混凝土胶凝材料中水泥占了大多数。28天龄期时,粉煤灰的火山灰效应有所体现,但未充分发挥,因而水泥用量还是影响混凝土强度的主要因素。砂率的变化会引起混凝土拌合物的流动性和堆积密实度变化,从而影响混凝土的均匀性和强度。如果混凝土的密实性和均匀性不好,必然引起混凝土产生很多缺陷,宏观表现为强度下降。因此,选择合理的砂率,对保证新拌混凝土的和易性和硬化混凝土的强度都是至关重要的。由于试验中所用的泵送剂有一定的引气作用,在混凝土拌合物和易性已经很好的情况下(掺量 $(C+F) \times 0.9\%$),再加大泵送剂的掺量,混凝土内部气泡增多,况且残余泵送剂又不能参与水化成为胶凝材料,从而混凝土产生缺陷的机率增大,强度也因此下降,并且加大掺量也不利于降低成本,故泵送剂最佳掺量取 0.9% 较合适。

根据综合分析,在保证强度,满足泵送施工的前提下,力求降低生产成本,符合 C70 要求的最佳组合是 $A_3 B_1 C_3 D_2$,即正交表中的 207。

4 结 语

1) 采用特细砂复合部分鱼米石,以增加细集料 0.63~5 mm 之间颗粒的含量,同时又保证了通过 0.35mm 筛孔的砂不低于 15%。既改善了细集料(相对于纯特细砂)的级配、细度模数和空隙率,又能较好地解决拌合物的流变性与稳定性之间的矛盾。

2) 用混合砂 ($M_s = 1.70$ 左右)作细集料,粒径 5~20 mm 的石灰石作粗集料,PS525R 和 II 级粉煤灰作胶结材料,掺一定量的泵送剂可配制出满足泵送技术要求的 C60~C70 混凝土。

3) 用上述材料配置高标号泵送混凝土,水胶比宜控制在 0.29~0.31 之间;砂率 35% 左右;粉煤灰不宜超过 85 kg/m^3 ,取 $60 \sim 80 \text{ kg/m}^3$ 为佳。

Effects of Sand Percentage and Proportion of Crushed Rock Fine to Sand on Properties of High Strength Pump Concrete

Zhang Xingyuan

(Dept of Materials Science and Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045)

Abstract This paper investigates the effects of some factors on the workability and the strength of high strength pump concrete, including sand percentage, the proportion of crushed rock fine to sand, PFA content, cement content and admixture dosage. Experimental results show that the grading of fine sand can be improved by mixing with crushed rock fines. This is significant for application of crushed rock fine and for the local areas where only fine sand is available.

Key Words high strength pump concrete; mixed sand; sand percentage