

特细砂高强混凝土的配制研究

⑩
56-62

任世漫 张 沪 陈 静
(重庆建筑大学材料科学与工程系 400045)

TU28.56
TU28.31

摘 要 介绍用连槽碎石中含有约 20% 的 5 mm 以下石屑来改善特细砂的级配和细度模数,以及采用掺粉煤灰、掺外加剂的双掺技术配制特细砂高强混凝土的技术路线。并通过对影响强度因素的大量对比试验结果分析,提出了确定 C₅₀~C₆₀ 级特细砂高强混凝土配合比的各项参数。

关键词 高强混凝土, 特细砂, 连槽碎石, 粉煤灰, 外加剂, 配合比

中图分类号 TU 528.31 细砂混凝土, 配制

概 述

随着城市建设的发展,建筑结构发生变化,高层框架结构、大跨度结构、大体积混凝土基础等大量出现,一般普通混凝土已不能满足工程需要。因此,研究和利用高强度、高性能混凝土成了发展的必然趋势。而混凝土的配制具有很强的地方性,各地区都应立足于本地资源,寻找适宜的高强混凝土配制途径。

重庆地区盛产特细砂,其主要特点是比表面积大(90~210 cm²/g),空隙率大(在 50% 左右),细度模数小(0.3~0.7),用以配制混凝土时,单位用水量及水泥用量大。加上重庆地区特细砂有逐渐变细的趋势,使其应用受到越来越多的限制,但重庆地区商品混凝土的发展又要求能在充分利用特细砂资源的基础上获得高性能混凝土,以取得最大的经济效益和社会效益。

对于配制特细砂混凝土,许多研究者曾提出低砂率,低流动性及控制水泥标号与混凝土标号比值三方面的技术途径。但是用特细砂配制高强混凝土的研究应用目前还不多。四川省地方标准 DB51/5002-92 也规定:用特细砂配制混凝土时,C₄₀ 级混凝土应采用 0.9 以上细度模数的细骨料,用重庆特细砂配制 C₄₀ 级以上的高强混凝土已超出标准规定范围。基于以上情况,本课题拟采用新的技术路线,试图使特细砂混凝土不仅要达到 C₅₀~C₆₀ 级高强混凝土,而且具有较大的流动性,以满足正在发展的商品混凝土,泵送混凝土的要求。

混凝土是一种多相复合材料,但从宏观角度看,可把混凝土看成是水泥砂浆与粗骨料的两相复合材料。分析提高混凝土强度的途径,归纳起来可从两方面入手:一是原材料条件,即选择优质的砂、石及水泥、外加剂、掺合料等;另一方面是配制因素,即通过适当的配合比以提高水泥石强度及水泥石与粗骨料的界面强度。

根据上述分析,我们采用了以下技术路线:在充分利用地方材料的条件下,选用优质特细砂为细骨料,选用破碎的石灰石(连槽碎石)为粗骨料,因为连槽碎石中含有 20% 左右 5

收稿日期:1997-01-17

任世漫,男,1939年生,副教授

mm 以下的石屑。可以认为这些石屑与特细砂组成了混合砂, 这种混合砂与纯特细砂比较, 它的颗粒级配好、空隙率小、细度模数大; 与纯人工砂比较, 这种混合砂中的特细砂颗粒圆滑, 对粗骨料有良好的润滑作用, 混凝土拌合物流动性好, 而且价格也低于人工砂。

为了寻求特细砂高强混凝土的配合比, 我们进行了多种因素的对比试验, 分析研究了水胶比、砂率、粉煤灰掺量、外加剂品种等因素与混凝土强度的关系, 从而确定了特细砂混凝土配合比的基本参数, 根据这些基本参数可以迅速得到简便实用的特细砂高强混凝土配合比方案。

1 原材料及配合比

1.1 原材料

1.1.1 水泥 525[#]普通硅酸盐水泥, 江津水泥厂生产, 其物理性能实测结果见表 1。

表 1 525[#]普通硅酸盐水泥物理性能

细 度 (0.08 mm 筛余%)	比重 (g/cm ³)	凝结时间		安定性 (沸煮法)	抗压强度(MPa)		抗折强度(MPa)	
		初凝	终凝		R ₃	R ₂₈	R ₃	R ₂₈
3.8	3.1	3h 32min	4h 40min	合格	31.3	59.2	5.6	8.3

1.1.2 细骨料 渠河特细砂, 物理性能见表 2、表 3。

表 2 渠河砂物理性能

表观密度(g/cm ³)	堆积密度(kg/m ³)	空隙率(%)	含泥量(%)	细度模数
2.65	1 400	47.2	1.0	M _s = 1.08

表 3 渠河砂筛分析

筛孔尺寸(mm)	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	底
累计筛余 (%)	0	0.16	0.28	0.44	28.84	80.07	99.03
	0.04	0.12	0.20	0.40	28.88	76.88	99.28

1.1.3 粗骨料 采用重庆南岸石灰石碎石, 物理性能见表 4、表 5、表 6。

表 4 石灰石碎石物理性能

表观密度(kg/m ³)	堆积密度(kg/m ³)	空隙率(%)	含泥量(%)	压碎值(%)	芯样强度(MPa)	针片状含量(%)
2 740	1 520	44.5	0.8	7.1	168	0.6

表 5 石灰石碎石筛分析

筛孔尺寸(mm)	20	16	10	5	2.5	—
累计筛余 (%)	0	5.5	31.7	67.7	88.4	100
	0	3.5	39.6	81.6	94.3	99.4

石灰石碎石为 0.08~20 mm 的连槽碎石, 由表 5 可见, 其中 5 mm 以下石屑含量在 20% 左右, 且集中于 0.63~2.5 粒径范围(见表 6), 细度模数 M_s 达 4.39。

1.1.4 粉煤灰 采用重庆华能珞璜电厂粉煤灰, 其化学成分及物理性能见表 7、表 8。

表 6 5 mm 以下石屑筛分析

筛孔尺寸(mm)	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.08	—
累计筛余 (%)	0	66.6	86.4	95.0	98.4	98.8	98.9	100
	0	61.6	82.0	93.0	98.2	98.6	98.7	99.8

表 7 粉煤灰化学成分

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	烧失量
43.0	23.4	22.0	4.8	0.9	0.5	2.0

表 8 粉煤灰物理性能(原状灰)

细度(0.045 mm筛余%)	密度(g/cm ³)	含水率(%)	需水量比(%)	抗压强度比(%)
17.5	2.50	0.9	102	72.2

1.1.5 外加剂 采用的几种外加剂列于表 9。

表 9 试验采用的外加剂

名 称	产 地	掺 量(%)
FDN 高效减水剂	成都攀双外加剂厂	1
FM 高效泵送剂	四川双流县化工厂	1.2~1.5
FM 高效流化剂	重庆宏达建材公司	1.5
FDN 高效减水剂	四川双流县化工厂	0.4~1

1.1.6 水 自来水。

1.2 配合比

1.2.1 总体考虑

1) 水泥浆体积与骨料体积比(V_{*}/V_{*})

大量研究表明,水泥浆在混凝土中所占的体积以 35% 为最优,过多的浆体对收缩徐变等体积稳定性不利,过低时则混凝土拌合物工作性变差。故本课题采用 $V_{*}/V_{*} = 35/65$ 。

2) 水胶比($W/(C+F)$)

水胶比是水与胶结料质量之比(胶结料包括水泥和粉煤灰),它是影响混凝土强度的重要参数,为达到 C₅₀~C₆₀ 强度等级,水胶比应尽可能小,但水胶比过小,可能会造成拌合物流动性太小,不易施工,引起混凝土的内部缺陷。本课题选用水胶比 0.33~0.40 进行对比试验。

3) 砂率($S_r = S/(G+S)$)

对于特细砂混凝土,宜采用低砂率,但我们使用的连槽碎石中 5 mm 以下石屑含量较高,能显著地改善砂的细度模数。本课题选用 0.31~0.35 的砂率进行对比试验。

4) 粉煤灰掺量

粉煤灰掺入混凝土能有效地提高抗渗性,显著改善混凝土拌合物的和易性并具有减水作用。本课题选用水泥体积与粉煤灰体积比 $V_c/V_f = 3~5$ 进行对比试验。

1.2.2 计算实例

1) 选定基本参数

浆骨比 $V_{*}/V_{*} = 35/65$;

水泥体积/粉煤灰体积 $V_C/V_F = 4$;

水胶比 $W/(C+F) = 0.34$;

砂率 $S/(S+G) = 0.33$;

含气量 2%;

材料密度 $\gamma_C = 3.1$; $\gamma_F = 2.5$; $\gamma_S = 2.65$; $\gamma_G = 2.74$ 。

2) 确定水、水泥及粉煤灰用量

列方程

$$\begin{cases} V_C/V_F = 4 & (1) \\ V_W + V_C + V_F + 0.02 = 0.35 & (2) \\ \frac{V_W \cdot P_W}{\gamma_C V_C + \gamma_F V_F} = 0.34 & (3) \end{cases}$$

解以上三式可得:

$V_F = 32.78 \text{ L}$; $V_C = 131.12 \text{ L}$; $V_W = 166.1 \text{ L}$ 。

则 $C = 407 \text{ kg}$; $F = 82 \text{ kg}$; $W = 166 \text{ kg}$ 。

3) 确定砂、石用量

列方程:

$$\begin{cases} \frac{V_S \cdot \gamma_S}{V_S \cdot \gamma_S + V_G \cdot \gamma_G} = 0.33 & (4) \\ V_S + V_G = 0.65 & (5) \end{cases}$$

解以上(4)、(5)式可得:

$V_S = 219.3 \text{ L}$; $V_G = 430.7 \text{ L}$ 。

按碎石中含有 5 mm 以下石屑 20% 计, 故

$G = (5/4) V_G \cdot \gamma_G = 1475 \text{ kg}$; $S = V_S \cdot \gamma_S - 0.2G = 286 \text{ kg}$

4) 每 m^3 混凝土的材料用量

$C = 407 \text{ kg}$; $F = 82 \text{ kg}$; $W = 166 \text{ kg}$; $S = 286 \text{ kg}$; $G = 1475 \text{ kg}$ 。

以上为配合比的初步计算, 其它计算从略。

2 试验结果与分析

本课题进行的试验项目为各种因素变化对混凝土坍落度及抗压强度的影响, 抗压强度试件均采用 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的试件, 人工拌合, 振动成型, 标准养护, 表中抗压强度值为 3 个试件平均值。

2.1 水胶比的影响

以水胶比为 0.33 ~ 0.40 (即水灰比 0.39 ~ 0.48) 进行的对比试验结果列于表 10, 由表 10 可见, 随水胶比增大, 抗压强度明显减小, 坍落度增大。为保证混凝土强度达 $C_{50} \sim C_{60}$ 级, 水胶比必须控制在 0.35 以下。但从试验结果看, 坍落度值较小, 如要增大坍落度, 还应对砂率及外加剂等因素进行调整。

2.2 砂率的影响

由表 11 可见,当砂率在 0.31~0.35 之间变化时,坍落度、抗压强度没有明显变化。这说明砂率在一定范围内波动对抗压强度影响不大。但必须说明,由于本次试验采用的是连槽碎石。根据计算,当砂率改变时,碎石中 5 mm 以下石屑与特细砂组成的混合砂的细度模数也发生了变化,混合砂的颗粒级配也变化了。变化情况见表 12。这种变化显然对试验结果是有影响的。

表 10 水胶比的影响

水泥用量 (kg/m ³ 砼)	外加剂掺量 (%)	粉煤灰 (V _c /V _f)	砂率	水胶比	坍落度 (cm)	抗压强度(MPa)		
						R ₇	R ₂₈	R ₆₀
434	1.0	4	0.33	0.33	6.5	54.4	68.5	76.9
427	1.0	4	0.33	0.34	7.5	43.2	65.9	74.9
421	1.0	4	0.33	0.35	10.0	44.2	51.5	60.9
414	1.0	4	0.33	0.36	9.0	41.0	58.8	65.5
403	1.0	4	0.33	0.38	11.0	40.8	55.5	62.2
392	1.0	4	0.33	0.40	20.0	35.8	48.2	53.5

表 11 砂率的影响

水泥用量 (kg/m ³ 砼)	外加剂 (%)	粉煤灰 (V _c /V _f)	砂率	水胶比	坍落度 (cm)	抗压强度(MPa)		
						R ₇	R ₂₈	R ₆₀
427	1.0	4	0.31	0.34	5.5	43.0	62.6	70.0
427	1.0	4	0.32	0.34	5.5	44.1	64.2	69.2
427	1.0	4	0.33	0.34	7.0	43.2	65.9	74.9
427	1.0	4	0.34	0.34	6.5	47.0	64.3	71.5
427	1.0	4	0.35	0.34	7.0	46.0	61.6	74.5

表 12 砂率变化对混合砂细度模数的影响

砂率	5 mm 以下石屑(kg/m ³ 砼)	特细砂(kg/m ³ 砼)	石屑掺配量(%)	混合砂细度模数(M _x)
0.31	304	240	56	2.93
0.32	299	265	53	2.89
0.33	295	284	51	2.77
0.34	290	308	49	2.70
0.35	286	327	47	2.64

2.3 粉煤灰掺量的影响

采用了 0.34 及 0.35 两种水胶比,粉煤灰掺量 V_c/V_f 为 5~3(即粉煤灰占胶结料总量的 14%~21%)进行对比试验。由表 13 可见,粉煤灰掺量变化对强度有一定影响。试验结果也表明掺入粉煤灰对后期强度有利,但由于重庆粉煤灰颗粒较粗,烧失量较大,质量不太稳定,掺量不宜太大,V_c/V_f 取 4 以上为宜。

2.4 粉煤灰性状的影响

原状粉煤灰用球磨机粉磨,称磨细粉煤灰,经不同粉磨时间所得粉煤灰的物理性能列于表 14。表 14 说明原状粉煤灰经磨细后,由于形态改变,引起物理性能变化。粉煤灰的颗粒变

细,堆积密度减小,密度增大,粉煤灰活性提高,抗压强度比增大。同时,原状粉煤灰与磨细粉煤灰对比试验结果也表明(表15),掺入磨细粉煤灰的混凝土,各龄期强度均高于掺入原状粉煤灰的混凝土。

表13 粉煤灰掺量的影响

水泥用量 (kg/m ³ 砼)	外加剂 (%)	砂率	水胶比	粉煤灰 (V _c /V _r)	坍落度 (cm)	抗压强度(MPa)		
						R ₇	R ₂₈	R ₆₀
402	1.0	0.33	0.34	3	5.0	40.1	60.1	63.7
427	1.0	0.33	0.34	4	6.0	43.2	65.9	74.9
443	1.0	0.33	0.34	5	5.5	38.1	58.4	69.6
396	1.0	0.33	0.35	3	16.0	40.0	48.6	57.7
421	1.0	0.33	0.35	4	10.0	44.2	51.5	60.9
437	1.0	0.33	0.35	5	12.0	38.0	42.3	59.3

表14 粉煤灰经粉磨后的物理性能

编号	粉磨时间(min)	细度(0.045 mm筛余%)	堆积密度(kg/m ³)	密度(g/cm ³)	抗压强度比(%)
1	未磨	17.5	1080	2.57	72.2
2	15	2.6	953	2.78	74.5
3	30	1.0	945	2.79	79.0
4	60	1.0	883	2.84	89.3
5	90	1.0	870	2.89	89.7
6	180	0.6	757	2.94	95.5

表15 掺入原状粉煤灰与磨细粉煤灰的影响

水泥用量 (kg/m ³ 砼)	外加剂 (%)	水胶比	砂率	粉煤灰 (V _c /V _r)	坍落度 (cm)	抗压强度(MPa)		
						R ₇	R ₂₈	R ₆₀
427	1.0	0.34	0.33	4(原状)	7.5	43.2	65.9	74.9
427	1.0	0.34	0.33	4(磨细)	8.0	44.5	71.0	76.4
421	1.0	0.35	0.33	4(原状)	10.0	44.2	51.5	60.9
421	1.0	0.35	0.33	4(磨细)	11.0	44.3	63.4	70.0

2.5 减水剂种类的影响

高效减水剂能改善水泥的水化条件,提高混凝土的密实性,所以对强度、抗渗性以及防止钢筋锈蚀都有利。但不同的水泥由于所含的化学成分不同,使用高效减水剂时,减水效果有很大差异,因此,配制高强混凝土时,对高效减水剂与水泥的相容性问题,必须给以足够的重视。本次试验对所选用的几种减水剂进行了对比试验,试验结果表明,用几种减水剂配制的混凝土的坍落度及强度并无明显差别。因此在各项试验中均采用了FDN高效减水剂。

2.6 混合砂与纯特细砂配制混凝土对照

为了进一步研究粗骨料中石屑对特细砂的改善作用,本课题配制了纯特细砂混凝土以作对照。选用了0.24~0.28的低砂率,细骨料为渠河特细砂(细度模数1.08),粗骨料为5~20mm石灰石碎石。试验结果(表16)表明,虽然水泥用量增加到500kg/m³,但强度值均不高,且呈砂率越大,强度值越低,流动性越大的趋势。与前述采用连槽碎石中石屑改善特细

砂性能的技术路线配制的混凝土比较,可明显看出,后者使用的水泥量少,掺用的粉煤灰较多,但强度都稍高些。

表 16 纯特细砂配制混凝土

水泥用量 (kg/m ³ 砼)	外加剂 (%)	水胶比	粉煤灰 (V _c /V _f)	砂率	坍落度 (cm)	抗压强度(MPa)	
						R ₁	R ₂₁
500	1.0	0.34	16	0.24	9.0	50.0	61.6
500	1.0	0.34	16	0.26	15.0	43.0	55.0
500	1.0	0.34	16	0.28	19.5	33.0	50.9

3 结 论

1) 试验研究表明,采用连槽碎石中含有 5 mm 以下石屑改善特细砂的性能,配制特细砂高强混凝土的技术路线是可行的,现已在重庆地区的某些混凝土工程中得到应用。但连槽碎石配制混凝土时,如前所述,砂率改变会导致混合砂细度模数变化,这种变化会影响到混凝土性能的变化。另外,在混凝土搅拌站配料过程中也难以保持连槽碎石中 5 mm 以下石屑的含量不变,这会使混凝土中骨料的级配不良,影响混凝土的性能。因此,在应用中宜将 5 mm 以下石屑筛出,单独按比例配制,这样能更准确地调整混合砂的细度模数及骨料的颗粒级配。

由于重庆地区石灰岩资源丰富,随着商品混凝土的发展,专业化的骨料生产线已开始投产,这对于采用具有良好级配的连槽碎石或将 5 mm 以下石屑单独掺入的技术路线配制混凝土是十分有利的。

2) 配制 C₃₀~C₆₀ 级特细砂高强混凝土时,采用水泥浆体积与骨料体积比为 35:65 的比例是适宜的。其拌合物具有较好的粘聚性,不易分层离析,以此参数计算配合比时,方法简便适用。另外,水胶比应控制在 0.35 以下。砂率可取 0.31~0.35,泵送混凝土可取大值。

3) 掺入粉煤灰可以改善混凝土的性能,但限于重庆地区粉煤灰情况,V_c/V_f 宜控制在 4 以上。如能采取粉煤灰磨细的工艺措施,将有利于提高混凝土的强度。

如何正确挑选和使用高效减水剂是配制高强混凝土的关键技术。本次试验所选用的减水剂限于省内的减水剂,品种较少。今后本课题将进一步进行高效减水剂的应用研究。

本文是以表征混凝土性能的主要指标—坍落度及抗压强度,来研究配制高强混凝土的,对于特细砂高强混凝土硬化前后的其它性能,将在后续的研究报告中介绍。

参 考 文 献

- 1 中国土木工程学会高强混凝土委员会,高强混凝土结构设计与施工指南,北京:中国建工出版社,1995
- 2 P.K Mehta and P.C Aitein, Principles Underlying Production of High-Performance Concrete, Cement, Concrete and Aggregates, 1990
- 3 冯乃谦,高强混凝土技术,北京:中国建工出版社,1992

(编辑:刘家凯)

(下转 66 页)