

# 人工砂在高墩混凝土泵送施工中的应用

何升泽, 乔小龙, 冯国华

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610200)

**摘要:**根据笋溪河特大桥高墩的特点和重庆地区地材的特性,利用人工砂配制工作性能好的混凝土配合比,掺加粉煤灰和优质减水剂,满足了远距离、高落差和多弯管墩身混凝土泵送施工的要求,确保了工程质量。

**关键词:**人工砂;高墩混凝土;泵送施工;应用;笋溪河特大桥

中图分类号:TV52;TV544;TV42

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)增2-0071-04

## 1 概述

鉴于重庆高速公路建设对桥梁工程中 C50 及以上强度等级混凝土中的砂子不允许使用人工砂,只能使用天然的中粗砂,而天然中粗砂在重庆当地属于稀缺资源,无法满足工程建设要求,故在 C50 及以上强度等级混凝土用天然中粗砂只能从外省购买且价格昂贵,随着基础设施的快速发展,天然中粗砂资源越来越匮乏,质量逐渐下降;加之现代混凝土对砂的技术要求越来越高,使用人工砂替代天然中粗砂已成为必然趋势。人工砂具有颗粒表面粗糙、颗粒级配相对集中、级配不理想,0.315 mm 筛通过量小于 15% 等缺点。项目部技术人员通过对筛分系统进行调整,采用掺加粉煤灰等措施,调整了人工砂的颗粒分布和级配,有效减少了其空隙率及总表面积,改善了混凝土拌和物的工作性能,提高了混凝土可泵性能,其不但具有良好的社会及环境效益,而且还可以减少工程

成本,提高经济效益。

重庆江习高速公路笋溪河特大桥 8#墩高度为 192 m,混凝土采用泵送入仓。该工程以人工砂作为混凝土细集料,结合重庆江习高速公路笋溪河特大桥高墩混凝土泵送施工,经过一系列的工作性能、物理力学性能试验等,研究了人工砂对混凝土性能(尤其是工作性能)的影响以及人工砂在高墩混凝土泵送施工中的应用技术。

## 2 主要原材料及基本性能

### 2.1 水泥

试验用水泥为重庆拉法基瑞安地维水泥有限公司生产的 P. O42.5 级水泥,其物理性能指标见表 1。

### 2.2 粉煤灰

采用重庆华珞粉煤灰开发有限责任公司生产的 I 级粉煤灰,检测指标见表 2。

表 1 水泥物理性能表

检验项目	标稠用水量 /%	凝结时间 /min		比表面积 /cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup>	细度 /%	密度 /g·cm <sup>-3</sup>	抗折及抗压强度 /MPa	
		初凝	终凝				28 d	28 d
标准要求	/	≥45	≤600	≥3 000	≤30	/	≥6.5	≥42.5
检验结果	26.4	169	238	3 360	8.4	3.1	8	49.8

表 2 I 级粉煤灰性能表

试验项目	标准要求	检验结果
细度	≤12	11
需水量比	≤95	93
烧失量	≤5	2.1
含水量	≤1	0.2

### 2.3 粗、细集料

粗集料采用粒径为 5~20 mm 的连续级配碎

卵石,表观密度为 2.704 g/cm<sup>3</sup>,堆积密度为 1.620 g/cm<sup>3</sup>,含泥量为 0.4%,针片状含量为 3.1%,压碎值为 16.7%,吸水率为 0.46%,空隙率为 40.2%。

细集料采用人工砂。通过对人工砂的细度模数、级配、石粉含量等进行检测,并根据检测结果对筛分系统进行调整、采取生产工艺控制、水洗等方法,使人工砂满足普通混凝土用砂标准要求,其

收稿日期:2017-04-29

检测结果表3、4。

## 2.4 减水剂

表3 人工砂性能表

检验项目	细度模数	表观密度 /g·cm <sup>-3</sup>	堆积密度 /g·cm <sup>-3</sup>	亚甲蓝 /g·kg <sup>-1</sup>	石粉含量 /%	压碎指标 /%
标准要求	2.3~3	>2.5	>1.35	<1.4	≤7	<25
检验结果	2.98	2.66	1.619	0.8	6	17

表4 人工砂颗粒级配检验表

项 目	方孔筛边长/mm						
	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	
累计 筛余 /%	I区	10~0	35~5	65~35	85~71	95~80	100~90
	II区	10~0	25~0	50~10	70~41	92~70	100~90
	III区	10~0	15~0	25~0	40~16	85~55	100~90
实测值		0.2	20.8	34	58.3	90.2	96.4

采用重庆通科建材有限公司生产的TKAS型减水剂,其主要性能为减水率27%,泌水率比51%,含气量4.1%,收缩率比108%,初凝凝结时间差+100 min。

### 3 高墩混凝土泵送需要解决的难点及评价指标

#### 3.1 高墩混凝土泵送需要解决的难点问题

高墩混凝土结构强度较高,黏度较大,为此,高墩混凝土泵送需要解决的难点是:

- (1)通过0.315 mm筛颗粒含量偏低、导致混凝土和易性差的问题;
- (2)坍落度与扩展度泵送损失的控制问题;
- (3)高流动性混凝土的抗压强度保证问题。

#### 3.2 泵送混凝土的评价指标

目前国内主要采用坍落度法和压力泌水试验法确定可泵性评价指标,对常用的泵送混凝土适用性较强。

采用坍落度试验评价法表征混凝土的流动性简单、方便、可行、指标明确,是目前评价混凝土可泵性最主要的方法。其主要缺陷在于受操作技术

水平影响大,观察粘聚性、保水性受主观影响大。

采用该方法测定可泵性时,通常通过坍落度、扩展度和倒坍落度筒的流下时间评价混凝土拌和物的流动性与黏聚性。试验结果表明:倒坍落度筒的流下时间 $t$ 在5~30 s、扩展度 $SF \geq 450$  mm、坍落度 $SL$ 在180~220 mm时混凝土可泵性好、阻力小、易泵送;当 $t \geq 30$  s、 $SF \leq 450$  mm时混凝土不易泵送。

压力泌水试验法可以测定混凝土拌和物的保水性,反映阻止混凝土拌和水在压力下渗透流动的内阻力。

压力泌水试验通过对混凝土拌和物施加3.2 MPa的压力,在恒压下测得开始10 s内的出水量 $V_{10}$ 和140 s内的出水量 $V_{140}$ 。对于任何坍落度的混凝土拌和物,140 s后的压力泌水都是最小的。容易脱水的混凝土在开始10 s内的出水速度很快, $V_{10}$ 大,因而 $V_{140} - V_{10}$ 值小,可泵性不好,反之,则表明其可泵性好。泵送混凝土的评价指标见表5。

表5 泵送混凝土拌和物评价指标表

指标名称	必控指标				任选其一必控指标			参考指标		
	含气量 /%	坍落度 /mm	扩展度 /mm	扩展时间 t/s	V漏斗试验 /s	倒置坍落度筒排 空时间/s	U型箱试验 /mm	L型流 平仪	圆筒贯入 试验/mm	压力泌水 率/%
参数要求	3~5	200±20	450~600	≤15	≤25	≤15	≥320	≥0.8	20~40	≤20

## 4 试验过程及方法

重庆江习高速公路筭溪河特大桥8#高墩混凝土设计强度等级为C50,坍落度为180~220 mm,扩散度为450~600 mm,最大粒径为20 mm。在混凝土配合比设计过程中,人工砂生产系统已固定,无法通过控制生产系统优化人工砂的级配,只能通过选取合理的砂率,然后利用粉煤灰调整

人工砂0.315 mm筛孔的颗粒分布和级配,以有效减少混凝土拌和物的空隙率,改善混凝土拌和物的工作性能,提高混凝土的可泵性和强度;通过选用聚羧酸类高性能减水剂控制坍落度和扩展度的损失;由外加剂生产厂家配制满足要求的人工砂专用配方外加剂,使外加剂1 h坍落度和扩散度无损失,2 h坍落度损失不大于30 mm,扩散度



损失不大于50 mm;选择优质稳定的原材料、提高混凝土强度的富余强度保证混凝土强度,水泥富裕系数不小于1.12,粗集料含泥量不大于0.5%。经过一系列试验,C50泵送混凝土用水量

为152 kg,水胶比为0.31,减水剂掺量为1.2%。采用调整人工砂不同砂率的方法,检测混凝土拌和物的各项性能指标,试验结果见表6。

表6 不同砂率混凝土拌和物性能试验结果表

项目	砂率 /%					
	45	44	43	42	41	40
工作性描述	和易性好,粘聚性高,流动性较好	和易性好,粘聚性较高,流动性较好	和易性好,粘聚性较高,流动性好	和易性好,粘聚性好,流动性好	和易性较差,粘聚性较差,流动性较好,轻微泌水	和易性差,粘聚性差,流动性较好,泌水
初始坍落度/扩展度 /mm	185/460	195/485	205/500	210/540	215/530	220/525
扩展时间 /s	17	15	14	12	16	18
1 h 坍落度/扩展度 /mm	185/450	195/480	205/495	210/530	215/525	220/510
2 h 坍落度/扩展度 /mm	170/420	180/460	195/485	200/510	190/500	195/495
3 h 坍落度/扩展度 /mm	140/400	160/440	175/460	170/500	160/485	165/470
压力泌水率 /%	12	14	15	17	19	21

从表6中的试验结果分析得出:混凝土合理的砂率为42%,坍落度和扩散度在不同砂率时损失量均满足要求,表明高性能减水剂与人工砂、水泥适应性良好,能够保证混凝土拌和物的工作性能。

通过试验得出合理砂率后,为改善泵送混凝土的性能并保障混凝土抗压强度,通过再次试验时掺入不同掺量的粉煤灰来改变混凝土拌和物中

的细颗粒数量,达到减少混凝土内部空隙率、提高混凝土工作性能及强度的目的。采用相同理论配合比,除粉煤灰分别为5%、10%、15%、20%这四个掺量(占胶材总量百分比)不同,其余材料及用量不变进行试验检测出混凝土拌和物各项工作性能及强度和耐久性,并根据其强度和耐久性选择最优工作性能的粉煤灰掺量,得出最佳粉煤灰掺量,试验检测结果见表7。

表7 粉煤灰掺量对混凝土拌和物及混凝土主要力学性能试验结果表

项目	粉煤灰掺量 /%			
	5	10	15	20
工作性描述	和易性好,粘聚性好,保水性好,无泌水,流动性好	和易性良好,粘聚性好,保水性好,无泌水,流动性好	和易性好,粘聚性很好,保水性好,无泌水,流动性好	和易性好,粘聚性很好,保水性好,无泌水,流动性一般
初始坍落度/扩展度 /mm	210/520	220/550	215/535	200/510
扩展时间 /s	13	10	14	14
1 h 坍落度/扩展度 /mm	210/520	220/555	215/535	205/505
2 h 坍落度/扩展度 /mm	200/520	220/545	205/520	190/495
3 h 坍落度/扩展度 /mm	180/500	210/540	195/500	180/470
抗压强度 /MPa	7 d	53.4	58.5	56.9
	28 d	62.8	69.4	67.6
弹性模量( $1 \times 10^4$ MPa)	28 d	3.83	4.48	4.32

从表7中的试验结果可以看出:在粉煤灰掺量为10%时强度最好,各项工作性能满足要求,此时粉煤灰的掺量刚好克服了人工砂中0.315 mm以下颗粒较少形成的拌和物空隙,达到了强度值最大。粉煤灰掺量过小时,其内部空隙还未被填满,随着粉煤灰掺量的增大,其内部空隙被填充后形成了多余细颗粒游离在粗细颗粒结合面中,导致其强度下降,增加了混凝土拌和物的粘聚性,导致泵送阻力增大。高性能减水剂在坍落度

和扩散度损失方面表现优异,能够满足规范及现场施工要求,表明采用聚羧酸系高性能减水剂对人工砂的性能有较大程度的帮助,能够明显改变和克服人工砂的石粉对混凝土拌和物性能的影响,并在克服坍落度和扩散度损失方面发挥出良好的工作性能。

## 5 试验结果与分析

通过上述两次试验,采用变动砂率拌制泵送混凝土和改变粉煤灰掺量拌制泵送混凝土进行工

作性能、力学性能和耐久性能的试验分析和性能比对。从表6中的试验结果看:砂率过大,混凝土拌和物扩展时间较长,坍落度/扩展度损失较大,混凝土拌和物粘聚性较大、流动性不好,泵送阻力增大,影响泵送效率,同时不利于施工人员施工;砂率过小,混凝土拌和物扩展时间较长,坍落度/扩展度损失较大,压力泌水率增大,混凝土拌和物包裹性不好,易泌水、离析,泵送施工易堵管进而影响施工效率。从表7中的结果看:泵送混凝土强度和弹性模量在砂率一定的情况下,粉煤灰掺量不同,对强度及耐久性影响最大,这是因为:人工砂颗粒表面较粗糙,棱角多,粉煤灰掺量小时,水泥浆体不能有效填充集料间的空隙,其强度和弹性模量偏低;粉煤灰掺量大时,粗集料颗粒与水泥石之间的机械咬合作用下降,强度和弹性模量降低。根据对试验结果进行的分析得知:在保证强度富余的情况下,粉煤灰掺量为10%时,采用聚羧酸高性能减水剂保证混凝土拌和物的坍落度/扩展度损失量小,扩展时间小,压力泌水率小,混凝土和易性良好。混凝土确定为C50混凝土室内配合比。C50泵送混凝土配合比为:水为152 kg,水泥为441 kg,粉煤灰为49 kg,砂为759 kg,碎石为1 049 kg,减水剂为5.88 kg。

## 6 高墩混凝土泵送质量控制

泵送混凝土配合比选定后,在生产过程中主要通过以下方面控制混凝土的质量。

(1)原材料方面:重点检查水泥强度富裕度,粉煤灰细度及需水量比,细集料的级配、石粉含量;粗集料的级配、针片状含量及含泥量;减水剂使用前试拌混凝土,测定拌和物性能。

(2)生产方面:对混凝土搅拌站进行计量校准,以保证材料计量的准确性;协调运输车辆,确保混凝土连续运输。

(3)混凝土生产过程方面:严格按照施工配合比拌制混凝土,强制式混凝土搅拌机拌制时间不少于120 s;入泵前将混凝土拌和物坍落度控制在180~220 mm,扩展度为450~600 mm,确保浇筑现场坍落度/扩展度满足泵送要求;发现异常情况及时反馈到试验室,及时解决问题。采用连续性泵送工艺,停泵时间不大于60 min,混凝土浇筑过程中注意观察混凝土表面的颜色变化,或用钢筋头在已浇筑混凝土表面上捣动以判断混凝土是否凝固。加强养护,混凝土浇筑完毕采用土工布覆盖,专人洒水,保持墩身混凝土表面湿润,养护时间不少于14 d。

## 7 泵送混凝土施工

通过试验确定的C50混凝土配合比在笋溪河特大桥8#高墩泵送施工过程中未出现堵管现象,墩身质量达到一次性合格且外观整洁美观。混凝土抗压强度试件在浇筑现场制作,同条件养护,混凝土强度评定结果见表8。

表8 现场同条件养护混凝土试件力学性能试验结果表

强度等级 /MPa	龄期 /d	试件组数 n/组	28 d 抗压强度 /MPa		
			平均值	最大值	最小值
C50	28	64	61.4	66.8	58.2

从表8可以看出:混凝土拌和物质量在能够满足笋溪河特大桥高墩泵送混凝土施工要求的前提下,混凝土强度满足评定要求,质量波动在可控范围内。

## 8 结 语

使用人工砂配制高墩泵送混凝土是一个技术难题,尤其是笋溪河特大桥8#高墩还需要长距离、多弯点泵送更加增加了技术难度。通过掺用粉煤灰、高性能减水剂进行试验并对试验结果进行分析,同时在施工过程中加强现场质量控制,成功地解决了人工砂高墩泵送混凝土施工技术难题。该项技术不仅为该桥的创优做出了应有的贡献,同时也为今后类似工程提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 徐建,蔡基伟,王稷良,等. 机制砂与机制砂混凝土的研究现状[J]. 国外建材科技,2004,25(3):20-24.  
[2] JGJ10-2011,混凝土泵送技术规范[S].

### 作者简介:

何升泽(1978-),男,四川达州人,项目副总工程师,高级工程师,从事试验检测与技术管理工作;  
乔小龙(1985-),男,甘肃陇南人,项目试验室主任,助理工程师,从事试验检测与技术管理工作;  
冯国华(1993-),男,四川遂宁人,技术员,从事试验检测与技术管理工作。

(责任编辑:李燕辉)