

# C65泵送高钛重矿渣砂混凝土施工工艺研究

刘应春 郝跃武

(四川丽攀高速公路有限责任公司 成都 610041)

**【摘要】**针对四川省攀枝花至云南丽江高速公路的保果金沙江特大桥主桥连续刚构高强混凝土现浇箱梁工程的C65泵送混凝土的设计与施工要求,阐述了采用高钛重矿渣砂取代普通河砂制备C65高强泵送混凝土的施工工艺,成功实现了高钛重矿渣砂C65混凝土的垂直100m+水平100m的泵送施工。

**【关键词】**高钛重矿渣砂; C65泵送混凝土; 施工工艺

**【中图分类号】**U445

**【文献标识码】**A

## 0 前言

高钛重矿渣砂较普通河砂有较多的棱角,在泵送施工过程中,高钛重矿渣砂混凝土对泵管的摩擦力较普通河砂混凝土大,不利于混凝土的泵送施工。此外,高钛重矿渣砂表观密度较普通河砂大,高钛重矿渣砂全部取代普通河砂制备的高钛重矿渣砂混凝土表观密度较普通河砂混凝土大,同样不利于混凝土泵送施工。四川省攀枝花市至云南丽江市高速公路的保果金沙江特大桥主桥连续刚构高强混凝土现浇箱梁工程,现浇箱梁用混凝土设计应用C65高强混凝土进行泵送施工,设计要求5d混凝土抗压强度 $\geq 55.3\text{MPa}$ 。

## 1 工程概况

四川省攀枝花市至云南丽江市高速公路的保果金沙江特大桥主桥连续刚构高强混凝土现浇箱梁工的主桥上部结构为三跨预应力混凝土连续刚构,跨径布置为(120+230+120)m,分幅设计。左、右幅主桥采用单箱单室箱形截面,箱梁顶板宽11.75m,底板宽7.55m,外翼缘悬臂长2.10m,箱梁顶板设置成2.0%横坡。箱梁跨中及边跨支架现浇段梁高4.5m(箱梁高度均以腹板外侧为准),墩顶根部梁高为14.8m。从箱梁根部至跨中,箱梁梁高以1.6次抛物线变化。箱梁腹板在墩顶范围内厚120cm,从根部到跨中及边跨现浇段按70cm、60cm、50cm三种厚度设置。箱梁底板厚除0#梁段为200cm外,其余各梁段底板从箱梁根部截面的180cm厚按1.6次抛物线渐变至

跨中截面的32cm。主桥跨中段设6道横隔板(厚度1.2m和0.75m),边跨段设3道横隔板(厚度1.2m和0.75m),兼作体外束的转向块;在两个主墩墩顶各设2道2.0m厚的横隔板,兼作体外束的锚固块。

## 2 C65高钛重矿渣砂高强泵送混凝土现场施工配合比

### 2.1 原材料

水泥:应用于C65高钛重矿渣砂混凝土中的红河P.O52.5普通硅酸盐水泥,其物理性能指标见表1所示。

表1 水泥的主要性能指标

比表面积 ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	细度(0.08 mm筛余)	凝结时间(h:min)		抗压强度(MPa)		安定性
		初凝	终凝	3d	28d	
346	2.9%	2:31	5:65	38.4	60.7	合格

集料:细集料:环业冶金渣公司生产高钛重矿渣砂,细度模数为2.6(见表2、图1)。

表2 细集料的主要性能指标

细度模数	表观密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	堆积密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
2.9	3.170	1.690

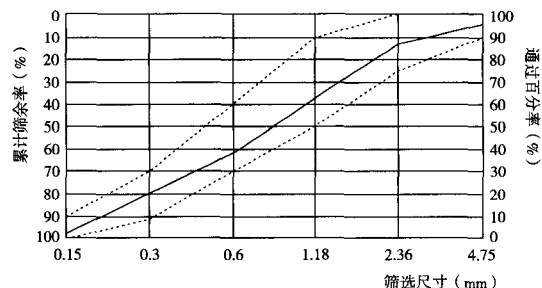


图1 细集料筛分图

粗集料：马店河厂普通碎石，粒径分别为5~16mm、10~20mm（见表3、图2）。

表3 粗集料的主要性能指标

大石10~20mm					小石5~16mm			
表观密度 (g/cm <sup>3</sup> )	堆积密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含泥量	泥块含量	压碎值	表观密度 (g/cm <sup>3</sup> )	堆积密度 (g/cm <sup>3</sup> )	含泥量	泥块含量
2.690	1.61	0.3	0	9.7	2.710	1.66	0.5	0

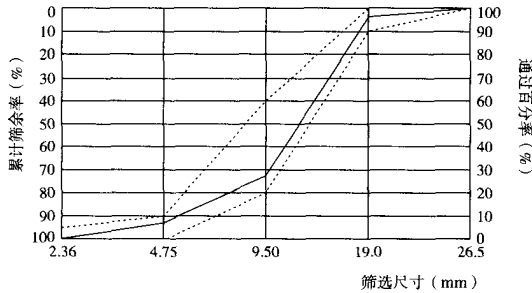


图2 粗集料筛分图

矿物掺合料：粉煤灰：攀枝花宝利源Ⅱ级粉煤灰，性能指标见表4所示：

表4 粉煤灰的主要性能指标

粉煤灰品种	细度 (0.045mm方孔筛筛余)	需水量比	烧失量	含水量	SO <sub>3</sub> 含量
攀枝花Ⅱ级粉煤灰	16.1	98	6.3	0.2	0.87

外加剂：成都合力高效聚羧酸减水剂，减水率30%。

拌合水：拌合水采用金沙江河水。

### 2.2 现场施工配合比

施工配合比见表5、表6所示：

表5 C65高钛重矿渣砂高强泵送混凝土的试验室目标配合比

编号	水 (kg/m <sup>3</sup> )	水泥 (kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰 (kg/m <sup>3</sup> )	砂 (kg/m <sup>3</sup> )	石1 (kg/m <sup>3</sup> )	石2 (kg/m <sup>3</sup> )	减水剂 (W <sub>0</sub> %)
1	175	445	85	736	666	444	1.4

表6 C65高钛重矿渣砂高强泵送混凝土的现场施工配合比

编号	水 (kg/m <sup>3</sup> )	水泥 (kg/m <sup>3</sup> )	粉煤灰 (kg/m <sup>3</sup> )	砂 (kg/m <sup>3</sup> )	石1 (kg/m <sup>3</sup> )	石2 (kg/m <sup>3</sup> )	减水剂 (W <sub>0</sub> %)
1	146	445	85	743	676	451	1.4

砼3d抗压强度52MPa，5d抗压强度59MPa，7d抗压强度65MPa，28d抗压强度80Mpa。

砼3d抗压强度50MPa，5d抗压强度57MPa，7d抗压强度61MPa，28d抗压强度74Mpa。

注：用水量为总用水量，包括高钛重矿渣砂3.5%的饱和面干含水量。碎石1表示粒径为10~20mm的普通碎石，碎石2表示粒径为5~16mm的普通碎石。

## 3 C65高钛重矿渣砂高强泵送混凝土施工工艺

通过对高钛重矿渣砂的预饱水处理以及对外加剂的调整，成功实现了垂直100m+水平100m的C65高钛重矿渣砂混凝土的泵送施工。

### 3.1 高钛重矿渣砂饱水处理

针对高钛重矿渣砂是多孔材料，在混凝土泵送过程中，在泵送压力的作用下重钛矿渣砂会吸附水泥浆体，对混凝土的工作性能产生不利影响，在配制重钛矿渣砂混凝土前，对重钛矿渣砂进行饱水处理。

在配制重钛矿渣砂混凝土时，至少提前24h对重钛矿渣砂进行饱水处理。在配制重钛矿渣砂混凝土前2h~3h，用铲车将料场中做过饱水处理的重钛矿渣砂进行混匀操作，让砂堆上部与砂堆下部不同含水率的砂混合均匀，然后静置1h~2h。在配制重钛矿渣砂混凝土前0.5h，测量经过混匀操作的重钛矿渣砂的含水率，取3~6个砂堆中不同部位且有代表性的位置进行砂的含水率测量，然后计算出这3~6个含水率的平均值。

通过对比研究不同含水率的高钛重矿渣砂对高钛重矿渣砂混凝土的泵送性能的影响，确定高钛重矿渣砂混凝土最佳泵送状态时高钛重矿渣砂的含水率。不同含水率的高钛重矿渣砂对高钛重矿渣砂混凝土泵送性能的影响如图3~图5及表7所示。



图3 含水率4%



图4 含水率8%



图5 含水率11%

表7 不同含水率的高钛重矿渣砂制备的混凝土对泵送压力的影响

混凝土输送泵型号	SANY 80C		
高钛重矿渣砂含水率/%	4	8	11
混凝土输送泵泵送压力/MPa	11	10	9

通过以上的图与表的对比分析发现,高钛重矿渣砂的含水率宜控制在5%~10%之间,如果含水率小于5%在泵送压力的作用下重钛矿渣砂会吸附水泥浆体,对混凝土的工作性能产生不利影响,易出现堵管现象。如果含水率大于11%在泵送压力的作用下,重钛矿渣砂孔隙中自由水会释放出,导致泵送后的混凝土多浮浆,易出现离析现象。因此高钛重矿渣砂的含水率宜控制在5%~10%之间。

### 3.2 外加剂调整

由于高强及泵送工艺的需要,在严格控制用水量前提下,为了满足适当的浆体含量和适宜的流动性,同时,具有早期强度高、收缩低、后期强度好的性能。通过调整外加剂中不同组分来发明一种专为高钛重矿渣砂高强泵送混凝土外加剂。其具体方法如下:

(1) 掺加一定量含有阴离子表面活性剂的引气组分。使混凝土在拌和过程中产生大量相同电荷并能均匀分布的微气泡。这些微气泡起到“滚珠”效应,有效提高混凝土初始扩展度<sup>[1]</sup>。

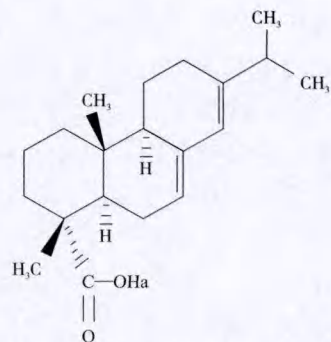


图6 引气剂主要组分松香酸脂分子结构图

(2) 通过引入一种能改变体系的界面状态破坏或抑制泡沫的物质可消除大气泡。该消泡剂具有较高的表面活性,能形成新的表面膜或改变原表面膜,降低泡沫的强度,进而有效的减少混凝土中大气泡的生成量<sup>[2]</sup>。

消泡剂主要组分分子式为:  $R(OH_6C_3)_b(OH_4C_2)_aOH_6C_3(Me_2SiO)_nSiMe_2C_3H_6O(C_2H_4O)_a(C_3H_6O)_bR_0$ 。

(3) 在外加剂中掺加一定量具有保水和增稠作用的增黏组分甲基羟乙基纤维素醚,使其高分子长链可以在水泥颗粒、水泥和骨料之间形成稳定的空间柔性网络结构,提高新拌混凝土的粘聚力<sup>[3]</sup>。且其所含有的化学基团如羟基和醚键上的氧原子与水分子缔合成氢键,使游离水变成结合水,以保证水泥水化时具有足够的水,故使水泥浆体黏度上升,有效的避免在泵送过程中因离析而堵管现象的发生。

(4) 引入一种具有超长分子链的聚合物,利用这种聚合物的超长分子链在基体中相互缠结形成的网络状骨架结构,为材料提供机械强度;当材料受到外力作用时,通过这种网络状骨架结构的形变、吸收和传递来自基体的冲击能量,起到增韧作用<sup>[4]</sup>(见图7)。

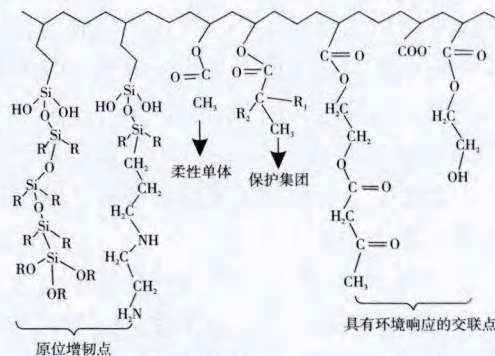


图7 减缩增韧主要组分分子结构图

消泡剂选用一种有机硅油5~10%、引气剂选用松香热聚物1~2%、增粘剂选用纤维素醚2.5~5%、减缩组分选用低级醇的环氧化合物与烷基聚氧乙烯醚为主要组分。通过调整以上各成分占外加剂量的含量与减水剂复合而成一种适用于高钛重矿渣砂混凝土的外加剂,其中:消泡剂5~10%、引气剂1~2%、增粘剂2.5~5%、减缩增韧组分7.5~15%,其余部分为高效聚羧酸减水剂。通过对以上几种不同组分掺量进行调整,成功研制出一种适用于高钛重矿渣砂混凝土的外加剂。并用此外加剂成功制备出用水量低、和易性良好,满足长距离泵送施工的高钛重矿渣砂混凝土。

### 3.3 施工准备

#### 3.3.1 原材料准备

(1) 高钛重矿渣砂。在配制重钛矿渣砂混凝土前对重钛矿渣砂进行饱水处理。高钛重矿渣砂的含水率宜控制在5%~10%之间。

(2) 外加剂。在制备高钛重矿渣砂混凝土时,采用调整后的外加剂。

(3) 粗集料。由于石露天堆放,阳光暴晒、雨水渗透导致石料堆由表层向下含水率不断变化。因此在施工过程中必须随时测定石的含水率变化,根据现场新拌混凝土的工作性能,实时调整混凝土的用水量<sup>[5]</sup>。

(4) 粉料。应做好标记,分别堆放,以避免水泥、粉煤灰等材料混淆,造成工程事故;同时这些原材料应采取防雨、防潮措施,避免结块,降低混凝土的强度和工作性能。

#### 3.3.2 搅拌与运输

(1) 水泥混凝土拌制配料前,各种衡器应请计量部门进行计量标定,称料误差应符合规范要求。混凝土搅拌站控制系统即自动计量系统要定期进行标定,每班在使用前要检查一次,确保计量准确,计量最大偏差不得超过:水泥、粉煤灰、水为 $\pm 1\%$ ,粗细骨料 $\pm 2\%$ ,减水剂 $\pm 0.5\%$ 。及时检测粗、细骨料的含水率,遇阴雨天气应增加检测频率,随时调整用水量。

(2) 聚羧酸外加剂在混凝土拌制配料前应人工搅3到5min,确保外加剂上下层的固含量和减水率一致。

(3) 搅拌混凝土应采用强制式搅拌机,应严格按照经批准的施工配合比准确称量混凝土原材料。

混凝土原材料计量后,宜先向搅拌机投入细骨料、粗骨料、水泥和矿物掺和料,充分搅拌混合干拌30s后,再将外部剩余用水全部加入,强制搅拌30s后,再投入外加剂,并搅拌60~90s,待搅拌均匀为宜。自全部材料装入搅拌机开始搅拌起,至开始卸料时止,延续搅拌混凝土的时间应大于150s。

(4) 严格检验新拌混凝土初始工作状态,符合设计要求方可放入混凝土搅拌运输车送达浇灌现场。混凝土搅拌运输车在运输途中,拌筒以1~3转/min速度不停地搅动,运到现场卸料前应使拌筒搅拌1~2min后再卸料。

#### 3.3.3 泵送

混凝土的泵送初始时,应慢速泵送,待泵送顺利时,再用正常速度泵送(见图8);混凝土泵送速度要均匀连续,必要时可降低混凝土的泵送速度,若停泵时间过长,应每隔15min反泵一次,防止料斗内的混凝土沉淀离析,若预计等待时间过长,应将管中混凝土清除,用水清洗管道,等待重新泵送。



图8 保果金沙江特大桥主桥连续刚构节段浇筑泵送

#### 3.3.4 振捣

浇筑水泥混凝土时,应采用振动器振实(见图9):①使用插入式振动器时,要垂直插入,快插慢拔,插点交错均匀布置,在振动上一层混凝土时,要在下层混凝土初凝前进行,移动间距不应超过振动器作用半径的1.5倍,每一插点振动时间为10~20s,与侧模应保持5~10cm距离,应避免预埋件或监控元件10~15cm,应插入下层水泥混凝土5~10cm;②对每一部位水泥混凝土必须振动到密实为止,密实的标志是:水泥混凝土停止下沉,不再冒气泡,表面呈平坦,表面泛出水泥浆。振捣时间过短,混凝土不易振实,而时间过长,会引起离析<sup>[6]</sup>。



图9 保果金沙江特大桥主桥连续刚构节段浇筑振捣

### 3.3.5 养护

在混凝土浇筑完毕后,立即用塑料薄膜覆盖,待初凝后,应洒水养护,养护时间不得小于规范要求,保证模板接缝处不至失水干燥(见图10)。拆模后要立即用塑料薄膜或者湿麻袋覆盖混凝土表面进行养护。



图10 保果金沙江特大桥主桥连续刚构节段浇筑养护

## 4 C65高钛重矿渣砂高强泵送混凝土施工注意事项

(1) 主桥箱梁为现浇C65混凝土,由于箱梁壁薄,为保证混凝土浇筑密实,要求粗骨料采用最大粒径为25mm的轧制高标号碎石。并加强振捣,以保证混凝土密实。

(2) 在装载机装重钛矿渣砂时,应尽量从料堆的中上部取料,可有效防止料堆下部的砂含水率波动

过大,对配制的混凝土工作性能及强度产生不利影响。

(3) 混凝土有效水胶比不宜大于0.32,一般在0.28~0.30之间。重钛矿渣砂是多孔材料,其孔隙中含有约3.5%的饱和面干含水率,这部分水将不参予水泥水化,不属于外部加水,因此有效水胶比,是将重钛矿渣砂饱和面干3.5%的水量除去后所得的水胶比。

(4) 在进行混凝土拌合时,为使高钛重矿渣砂与其它材料混合均匀,可适当延长搅拌时间。

(5) 箱梁悬臂浇筑过程中,每节段的混凝土要达到设计强度的85%且龄期达到6d后,才能张拉相应预应力钢束。

## 5 结语

(1) 通过对高钛重矿渣砂的饱水处理和外加剂的调整,严格按照C65高钛重矿渣砂高强泵送混凝土的施工工艺和施工质量要求施工,从现场的施工及拆模观测可知:成功实现了垂直100m+水平100m的泵送施工,高钛重矿渣砂混凝土的表面没有明显的裂缝出现。混凝土现场所留试样3d抗压强度50MPa,5d抗压强度57MPa,7d抗压强度61MPa,28d抗压强度74MPa,满足施工设计要求。

(2) 高钛重矿渣砂替代普通河砂用于高强泵送混凝土中,不仅对攀枝花钢铁集团公司、攀枝花社会经济的可持续发展,而且对节约自然资源,降低工程成本,保护长江上游生态环境等均具有重要的意义。

### 参考文献

- [1] 咎宝林.浅谈混凝土引气剂的作用机理及应用技术[J].内蒙古石油化工.2007.7
- [2] 张琳,罗慧,李宾宾.消泡剂在干混砂浆中的应用研究[J].化学建材.2009.25(3)
- [3] 史林,刘加平,徐静.增粘剂在水泥基材料中的应用[J].混凝土与水泥制品.2007.4
- [4] 张志宾,徐玲玲.水泥基材料复配减缩剂的减缩作用[J].硅酸盐学报.2007.35(4)
- [5] 胡曙光,丁庆军.钢管混凝土[M].北京:人民交通出版社.2007.1
- [6] 高明德.大体积混凝土施工工艺及质量控制[J].铁道建筑.2007(3)98~99