

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.05.011

C35 机制砂路面混凝土的制备及性能研究^{*}

郭立贤¹, 任彦飞², 邱冰², 焦元², 陈剑刚², 马云龙², 曾欠谱²

(1.佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528300;2.佛山市交通科技有限公司, 广东 佛山 528300)

摘要:通过试验研究水胶比、粉煤灰掺量对 C35 机制砂路面混凝土工作性能、力学性能与耐久性的影响。结果表明,水胶比为 0.37、粉煤灰含量为 15%、胶凝材料总量为 382 kg/m³、砂率为 37%时,C35 机制砂路面混凝土的综合性能可满足路面使用要求,其 7 d 抗压强度为 37.2 MPa,28 d 抗压强度为 46.6 MPa,抗折强度为 5.3 MPa,弹性模量为 32.6 GPa,28 d 干燥收缩为 283×10⁻⁶,单位面积总开裂面积为 664 mm²/m²,56 d 电通量为 1 415 C,坍落度为 215 mm,扩展度为 550 mm,倒置坍落度筒排空时间为 12 s。

关键词:公路;路面;C35 机制砂;混凝土;拌合物性能;力学性能

中图分类号:U416.2 文献标志码:A 文章编号:1671-2668(2022)05-0044-03

相较于河砂,机制砂为人工骨料,存在粒径粗、级配差、细度模数高、石粉含量高等缺陷。使用机制砂配制的混凝土其性能较差,存在黏度高、流动性差、易泌水、和易性差等问题,严重制约了机制砂混凝土在路桥工程中的应用。但机制砂作为机械加工形成的骨料,其材料性能可通过调整工艺参数进行调整,其性能指标也可调可控。相关研究表明,通过合理的工艺控制可降低机制砂颗粒的表面粗糙度,优化机制砂的颗粒级配,合理控制机制砂的石粉含量和含泥量,尽可能弥补机制砂的天然缺陷。同时在配制机制砂混凝土的过程中,通过优化配合比和

外加剂掺量,可大大降低机制砂混凝土的黏度,改善混凝土的和易性,提高混凝土的强度和耐久性。经技术优化后,机制砂混凝土的综合性能可以与普通天然河砂混凝土相当。该文主要研究 C35 机制砂路面混凝土的配合比及其性能,分析水胶比、粉煤灰掺量对 C35 机制砂路面混凝土和易性、力学性能及电通量、干燥收缩、早期抗裂性能等的影响,研究 C35 机制砂路面混凝土的最佳配合比参数。

1 原材料

采用的原材料及其基本性能见表 1。

表 1 原材料产地与基本性能

原材料	型号	产地	基本性能
水泥	P.O52.5	广东泰尼水泥厂	3 d 胶砂抗压强度 32.2 MPa;28 d 胶砂抗压强度 59.5 MPa
粉煤灰	F 类 I 级	广东清远电厂	烧失量 3.3%;45 μm 筛余 4.5%;需水率 95%
矿粉	S95	广东某地	7 d 活性 78.2%;28 d 活性 95.3%;流动度比 97.2%
细骨料	花岗岩机制砂	—	亚甲蓝值 0.5%;石粉含量 10%;细度模数 2.8%
粗骨料	连续级配碎石 5~20 mm	—	碎石针片状含量 5%;松装密度 1 400 kg/m ³ ;空隙率 40.4%;含泥量 0.5%
外加剂	聚羧酸系高性能减水剂	江苏某外加剂厂	固含量 35%;减水率 34%

2 试验方法

2.1 性能要求

参照 JTG/T 3310—2019《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》及现有研究成果和经验,从提高机制砂混凝土质量的角度,从混凝土电通量方面提

出配合比指标要求(见表 2)。

2.2 配合比

结合以往设计经验和试验验证,初步估算试验配合比参数范围为水胶比 0.35~0.39、粉煤灰含量 10%~20%。固定用水量为 142 kg/m³,砂率为 37%(见表 3)。

^{*} 基金项目:交通运输行业重点科技项目(2020-MS1-003)

表 2 C35 混凝土的性能要求

类别	性能指标	要求
工作性能	坍落度/mm	200±20
工作性能	扩展度/mm	≥500
工作性能	倒置坍落度筒排空时间/s	≤15
工作性能	含气量/%	3~4
力学性能	7 d 抗压强度/MPa	≥35
力学性能	28 d 抗压强度/MPa	≥43.5
力学性能	抗折强度/MPa	≥5
力学性能	28 d 弹性模量/GPa	≥31
耐久性	56 d 电通量(环境作用等级 50 年, III D)/C	≤1 500

3 试验结果与分析

3.1 水胶比的影响

根据参考配合比,研究水胶比变化对混凝土工作性能和力学性能的影响。考虑到胶凝材料总量对混凝土的收缩和开裂性能有较大影响,在调整水胶比时保持用水量不变,水胶比的变化通过调整胶凝材料用量来控制,减水剂用量随水胶比的变化适当增减,以保证各试验组混凝土混合料的和易性基本相同。水胶比分别为 0.35、0.37、0.39,试验配合比见表 3。不同水胶比混凝土的工作性能试验结果见表 4,力学性能试验结果见图 1、图 2,耐久性试验结果见表 5。

表 3 试验配合比

试验 编号	水胶比	砂率/%	粉煤灰 掺量/%	胶凝材料总量/ (kg·m ⁻³)	各原材料用量/(kg·m ⁻³)					
					水泥	粉煤灰	碎石	砂	水	外加剂
A	0.37	37	15	382	325	57	1 210	710	142	6.12
B1	0.35	37	15	406	345	61	1 194	701	142	6.90
B2	0.39	37	15	364	309	55	1 220	717	142	6.92
C1	0.37	37	10	382	344	38	1 210	710	142	6.12
C2	0.37	37	20	382	306	76	1 210	710	142	6.12

表 4 不同水胶比混凝土的性能

试验 编号	水胶 比	坍落 度/ mm	扩展 度/ mm	倒置坍落 度筒排空 时间/s	含气 量/ %	表观密 度/(kg· m ⁻³)
A	0.37	215	550	12	3.6	2 450
B1	0.35	210	550	14	3.2	2 460
B2	0.39	215	560	10	3.8	2 430

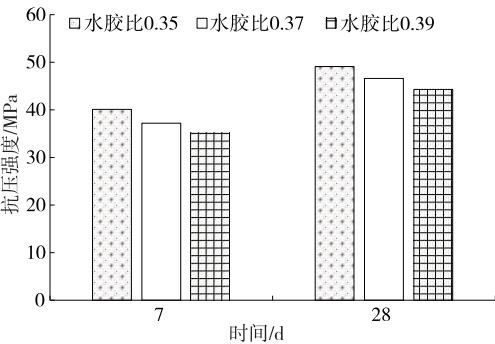


图 1 不同水胶比混凝土的抗压强度

由表 4 可知:不同水胶比混凝土的坍落度和扩展度大致相同,但流动阻力的黏度不同。随着水胶比的增大,混凝土的浇筑时间缩短,黏度降低。表观密度与混凝土的水胶比成反比,这主要与混凝土组成材料中密度较低的水泥浆比例增加有关。总的来

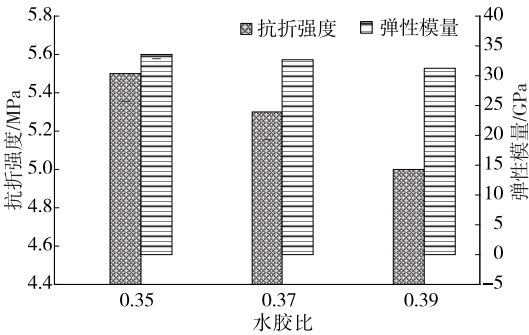


图 2 不同水胶比混凝土的抗折强度与弹性模量

表 5 不同水胶比混凝土的耐久性

试验 编号	水胶 比	28 d 干缩/ 10 ⁻⁶	开裂面积/ (mm ² ·m ⁻²)	56 d 电通 量/C
A	0.37	283	664	1 415
B1	0.35	304	682	1 386
B2	0.39	296	676	1 519

说,各试验组混凝土的性能均满足配制要求,状况良好,适合于泵送施工。

由图 1、图 2 可知:混凝土的抗压强度、抗折强度、弹性模量均随着水胶比的增大而减小。水胶比为 0.39 时,混凝土的力学性能接近极限值。考虑到施工过程中各种潜在波动,为保证现场混凝土的施

工质量,实际施工中应选择较低的水胶比(0.37)。

由表5可知:1)随着水胶比的增大,混凝土28d干缩先减小后增大,水胶比为0.37时最低;随着水胶比的增加,混凝土浆骨比降低,二者的协同作用使混凝土干缩先减小后增大。2)随着水胶比的增大,混凝土单位面积总开裂面积先减小后增大,水胶比为0.37时最小。为防止混凝土早期开裂,应选择水胶比为0.37。3)水胶比为0.35时,混凝土的电通量最低;随着水胶比的增大,混凝土的电流量呈增加趋势。

3.2 粉煤灰掺量的影响

粉煤灰掺量影响混凝土中粉体颗粒的堆积和填充,进而影响混凝土混合料的和易性与混凝土中水化产物的组成,从而影响混凝土的强度和耐久性。根据参考配合比,分析粉煤灰掺量变化对混凝土各项性能的影响。粉煤灰掺量是一个单变量,在配合比调整过程中,外加剂用量保持不变。粉煤灰掺量分别为10%、15%、20%,配合比见表3。不同粉煤灰掺量混凝土的性能试验结果见表6,力学性能试验结果见图3、图4,耐久性试验结果见表7。

表6 不同粉煤灰掺量混凝土的性能

试验 编号	粉煤灰 含量/ %	坍落 度/ mm	扩展 度/ mm	倒置坍落 度筒排空 时间/s	含气 量/ %	表观密 度/(kg· m ⁻³)
A	15	215	550	12	3.6	2 450
C1	10	210	530	15	3.1	2 460
C2	20	220	590	6	4.1	2 430

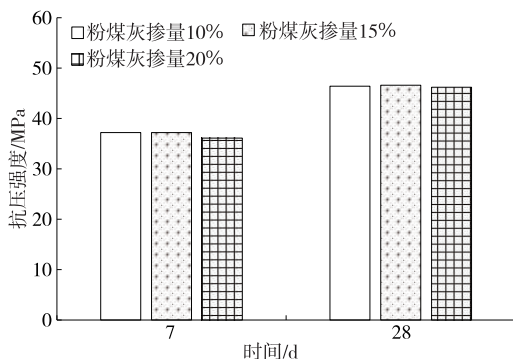


图3 不同粉煤灰掺量混凝土的抗压强度

由表6可知:20%粉煤灰掺量混凝土的含气量不符合制备要求。随着粉煤灰掺量的增加,混凝土的坍落度和扩展度增加,和易性改善,混凝土浇筑时间缩短,黏度降低。这主要是由于粉煤灰的“形态效应”和“微集料效应”减少了混凝土的内部空隙,并在

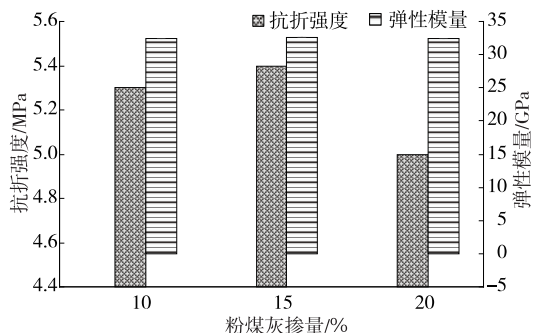


图4 不同粉煤灰掺量混凝土的抗折强度与弹性模量

表7 不同粉煤灰掺量混凝土的耐久性

试验 编号	粉煤灰 含量/%	28 d 干缩/ 10 ⁻⁶	开裂面积/ (mm ² ·m ⁻²)	56 d 电通 量/C
A	15	283	664	1 415
C1	10	295	692	1 472
C2	20	298	671	1 469

骨料之间发挥润滑作用,从而显著提高混凝土的流动性,降低混凝土的黏度。随着粉煤灰掺量的增加,混凝土含气量增大,湿表观密度降低。为控制混凝土含气量,需适当控制粉煤灰掺量。

由图3、图4可知:随着粉煤灰掺量的增加,混凝土的7d抗压强度保持不变,然后降低;28d抗压强度、抗折强度和弹性模量均先升高后降低。粉煤灰掺量为15%时,混凝土的力学性能最好。粉煤灰提高了混凝土的密实度,优化了泥浆和骨料之间界面的微观形态,提高了混凝土的强度。总之,随着粉煤灰掺量的增加,混凝土含气量增大,影响混凝土的强度。粉煤灰掺量对混凝土的多重影响导致混凝土强度在掺入粉煤灰后先增加后降低。

由表7可知:1)随着粉煤灰掺量的增加,混凝土28d干缩先减小后增大,粉煤灰掺量为15%时最小。2)随着粉煤灰掺量的增加,混凝土单位面积总开裂面积先减小后增大,粉煤灰掺量为15%时最小。为防止混凝土早期开裂,应选择15%的粉煤灰掺量。3)随着粉煤灰掺量的增加,混凝土的电通量先减小后增大,粉煤灰掺量为15%时电通量最小。总之,随着粉煤灰掺量的增加,混凝土含气量增大,导致混凝土中气孔数量增加,混凝土的电流量增加。粉煤灰掺量对混凝土的多重影响导致混凝土的电通量在掺入粉煤灰后先减小后增大。

综上,考虑到各种配合比参数对混凝土性能的影响,配合比A(水胶比0.37,粉煤灰掺量15%,胶

(下转第73页)