

机制砂双掺混凝土应用研究

罗勇 张闯 张科 马忠
中交二公局第三工程有限公司

【摘要】目前我国混凝土中粉煤灰、矿粉、机制砂在高速公路中的综合应用，与国外项目、高铁项目相比应用较低。粉煤灰的应用能有效提高混凝土的工作性能，降低水化热，改善混凝土的长期强度和耐久性能，但是早期强度低、外加剂性能适应性差等不足需要其他措施解决。矿粉、粉煤灰与机制砂的合理优化对混凝土各方面工作性能的提升具有广泛的研究价值。

【关键词】机制砂；矿粉；粉煤灰；双掺

Research on the application of mechanical sand double-mixed concrete

Luo Yong, Zhang Chuang, Zhang Ke, Ma Zhong

Zhong jiao er gong ju 3 rd engineering co., LTD

【Abstract】At present, the comprehensive application of fly ash, mineral powder and mechanized sand in concrete in China is low compared with that of foreign projects and high-speed railway projects. The application of fly ash can effectively improve the working performance of concrete, reduce the heat of hydration, improve the long-term strength and durability of concrete, but the early low strength, poor adaptability and other deficiencies need to be solved by other measures. The rational optimization of ore powder, fly ash and mechanized sand has extensive research value for the improvement of the working performance of concrete.

【Key words】mechanical sand; mineral powder; fly ash; double mixing

混凝土的耐久性主要是指其抵抗环境介质的作用，并长期保持良好的使用性能和外观完整性，从而维持混凝土结构的安全和正常使用的能力。^①在混凝土低水灰比中掺入不同品种、细度及掺量的不同掺合料，取代部分水泥能有效提高混凝土的密实度、强度，同时能有更优异的体积稳定性，提高了混凝土的耐久性。本文以湖南白南高速 C50 预制箱梁混凝土、C55 连续刚构混凝土配置的主要技术措施和配比调整原则为研究点，阐述机制砂双掺混凝土的研究应用情况。

1 混凝土各材料的影响

1.1 机制砂

机制砂是通过破碎岩石轧制而成，表面相对粗糙，棱角多且不规则，但是级配较差且石粉含量较高。多位专家学者研究表明，一定量的石粉可以提升混凝土的工作性能，但是超过一定含量的石粉会降低混凝土的流动性，使得混凝土黏稠、扩展度不够，对混凝土的耐久性也影响。机制砂中石粉含量可以部分取代水泥，降低水泥用量，有试验表明，石粉代替部分水泥后，混凝土强度有所提升。主要原因是石粉具有良好的填隙能力，可以有效优化胶凝材料的颗粒均匀性，降低聚合物的孔隙率，减少孔隙提高密实度，同时机制砂表面粗糙，与浆体粘结更加紧密，提高了混凝土的粘结强度，提高了混凝土的抗压强度。

机制砂与河砂相对比，机制砂针片状颗粒多、棱角多、含石粉量大等特征，棱角多、针片状颗粒容易造成混凝土孔隙增多，如此容易产生内部、外观裂缝，降低混凝土耐久性。虽然机制砂中石粉含量可以填充孔隙，但是石粉含量不易控制，石粉含量增多会增加 Cl^- 扩散系数，更加降低了混凝土耐久性。

1.2 粉煤灰

粉煤灰呈现灰褐色，酸性粉状物质，粒径范围是 0.001mm-0.1mm，颗粒密度变化很大 ($0.1-4g/cm^3$)，是电厂排出的工业废渣，主要的化学成分是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 和未燃尽炭，含有大量微细球状颗粒，具有增大混凝土的流动性、减少泌水、改善和易性的作用。粉煤灰的矿物成分有晶体相、玻璃体两种，其中晶体物质主要有莫来石、石英、赤铁矿、磁铁矿等，根据不同的粉煤灰种类，其含量成分不同。玻璃体是粉煤灰的主要组成部分，形态有球状颗粒、多孔炭粒和不规则的熔融颗粒等多种，结构也分为空心、实心等各类。

粉煤灰的微细颗粒均匀分布在水泥浆中，填充孔隙、改善混凝土结构，提高混凝土的密实度，起到改善混凝土耐久性，降低水化热，抑制碱-骨料反应。但是由于粉煤灰微细球形的玻璃体结构比较稳定，表面相当致密不易水化，只有在二次水化反应后，即粉煤灰中活性的 SiO_2 和 Al_2O_3 与硅酸盐水泥熟料水化时生成的 $Ca(OH)_2$ 进行化学反应后，生成

水化硅酸钙、水化铝酸钙等，才会对强度发挥作用，故粉煤灰的活性发挥主要在后期。

粉煤灰的掺入加速了水泥的水化速度，主要是由于粉煤灰取代部分水泥，导致水泥熟料减少、有效水灰比增大所产生的稀释作用，加速了水泥熟料的水化，并且降低水泥熟料含量后减缓了水泥-粉煤灰体系的水化进程。粉煤灰强度前期发展较慢的原因一方面是粉煤灰中 $Ca(OH)_2$ 含量少不足以与粉煤灰颗粒发生大量反应，另一方面是粉煤灰中具有反应性的成分多数在颗粒内部，需要在水化液态条件下缓慢的侵蚀出来后再发生反应。

1.3 矿粉

矿渣粉具有很高的水化活性，在其早期就参与水化反应，28d 的活性指数接近水泥。含矿渣粉的混凝土抗渗性较高，能抑制 Cl^- 向混凝土中渗透，同时取代水泥的部分可以降低混凝土用水量，提高混凝土的强度和耐久性。

矿粉是以高炉矿渣为主要原料，经过干燥、粉磨处理而成的超细粉末材料，其化学成分与普通硅酸盐成分相近。如

果单独在水泥中掺入矿粉，将使得混凝土更加具有粘聚性，延长混凝土凝结时间，加大混凝土泌水量，对于连续刚构泵送混凝土具有不利的影响。

2 上部结构混凝土技术要求

预制箱梁混凝土设计强度为 C50，连续箱梁混凝土耐久性的基本要求是：最大水灰比 0.55，最小水泥用量 $275kg/m^3$ ，最大氯离子含量 0.3%，最大碱含量 $3.0kg/m^3$ 。

3 配合比设计

经过调查研究，比选出品质较好、适应性好的材料，按照等量取代水泥用量试配了不同掺量的粉煤灰、矿粉双掺混凝土，试验经过反复调整之后，在综合考虑混凝土的流动性、粘聚性、保水性等工作性能后，确定了以下几种配比，并根据抗压强度进行比选：

表 1 机制砂技术指标

项目	表观密度 (kg/m^3)	堆积密度 (kg/m^3)	孔隙率 (%)	吸水率 (%)	碱集料反应	泥块含量 (%)	压碎值	氯化物	细度模数	有机物含量
技术要求	≥ 2500	≥ 1400	≤ 44	/	≤ 0.1	≤ 1.0	≤ 25	≤ 0.02	2.3~3.0	比色法
实测值	2623	1487	43.3	1.57	0.031	0.1	21	0.01	2.69	合格

表 2 粉煤灰性能指标

项目	细度 (%)	需水量比 (%)	烧失量 (%)	三氧化硫质量分数 (%)	比表面积 (m^2/kg)	活性指数 (%)
技术要求	≤ 30.0	≤ 105	≤ 8.0	≤ 3.0	/	≥ 70.0
实测值	26.8	97	3.30	1.07	426	77

表 3 高炉矿渣粉性能指标

项目	密度 (g/cm^3)	比表面积 (m^2/kg)	活性指数 (%)		流动度比 (%)	含水量 (%)	烧失量 (%)	三氧化硫 (%)	氯离子含量 (%)
			7d	28d					
技术要求	≥ 2.8	≥ 400	≥ 70.0	≥ 95	≥ 95	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 4.0	≤ 0.06
实测值	2.87	450	78	101	103	0.3	0.48	0.27	0.030

表 4 配合比设计

编号	水+水泥+砂+石+粉+矿 (kg/m^3)	砂率 (%)	水胶比	坍落度 mm	抗压强度 (MPa)		含气量 %	抗渗 P
					7d	28d		
纯水泥	155+484+706+1105+0+0	39	0.32	180	65.2	72.2	0.8	> 12
单掺煤灰	155+429+706+1105+55+0	39	0.32	180	61.5	68.8	0.8	> 12
单掺煤灰	155+409+706+1105+75+0	39	0.32	180	57.7	63.4	0.7	> 12
单掺煤灰	155+389+706+1105+95+0	39	0.32	180	52.4	58.7	0.7	> 12
单掺矿粉	155+409+706+1105+0+75	39	0.32	180	63.8	71.9	0.7	> 12
单掺矿粉	155+389+706+1105+0+95	39	0.32	180	60.0	67.5	0.7	> 12
单掺矿粉	155+369+706+1105+0+115	39	0.32	180	56.7	64.4	0.6	> 12
双掺	155+314+706+1105+95+75	39	0.32	180	58.9	64.7	0.6	> 12
双掺	155+314+706+1105+75+95	39	0.32	180	62.6	68.4	0.6	> 12
双掺	155+314+706+1105+55+115	39	0.32	180	65.8	71.9	0.6	> 12

4 双掺混合料的优点

粉煤灰水化过程虽然也会产生热量,但是水化热值要比水泥低得多,而且粉煤灰反应缓慢,有效降低了水化热峰值温度,延缓了峰值温度的出现时间,在大体积混凝土中能减少因温度上升过快产生的裂缝情况。

由于水泥颗粒在水化时会凝聚成团,会影响混凝土的工作性能及成品外观,掺入粉煤灰后,粉煤灰内的球状颗粒物可以分离凝聚成团的水泥颗粒,可以有效提高混凝土的流动性,润滑粗细骨料,隔离分化了水泥颗粒后,使得水泥颗粒能充分反应。同时粉煤灰具有良好的保水能力,提高混凝土的泵送效果。在预制箱梁配比中充分利用粉煤灰的球形玻璃体紧密性,调试不同掺量的粉煤灰,调试出外观质量优异的配比。充分利用粉煤灰掺入后混凝土表面光滑,表观粒度细、比表面积小,既减小了水泥浆的用水量,又能填充在水泥浆内部孔隙中,使得混凝土更加均匀密实。同时利用粉煤灰的保水性,减少了水泥浆的泌水和离析情况,提高了混凝土的密实性。

高祥彪等通过试验发现,粉煤灰与矿粉的总掺量为20%~30%,复掺比例为2:1时,混凝土各龄期的抗压强度、抗折强度、弹性模量均有所提高。适量粉煤灰与矿粉复掺后,不同级配颗粒之间形成良好的相互填充效应,可以有效减少胶凝材料体系的孔隙率,从而增大了混凝土的力学性能。粉煤灰-矿渣-水泥复合胶凝材料初期水化速率较慢,有利于水化结构的完善,提高水化结构的致密性,有助于结构耐久性的提高。同时双掺有效降低了混凝土的水化热效果,特别是在混凝土早期开裂问题上能有效降低,抗开裂性能相对于单掺方案更加优异。

双掺的粉煤灰及矿粉能有效降低水泥用量,节省了施工成本,同时有效改善了混凝土的工作性能,充分利用了工业废料,间接的降低了能耗保护了环境,同时良好的降低水化热效果适用于高强、大体积混凝土中。

项目对不同配比的混凝土进行了 Cl^- 扩散系数进行对比,发现未掺矿粉和粉煤灰的常规混凝土扩散系数在90d时达到1.85,掺入矿粉和粉煤灰后90d扩散系数达到0.62,抵抗 Cl^- 扩散的效果提升显著。经过分析认为,低的水胶比对 Cl^- 扩散有较好的抵抗作用,水胶比低,相应的自由水少,产生的空隙率就低,从而使得混凝土越加密实。

参考文献

- [1] 李冰,粉煤灰、矿渣双掺混凝土在海底隧道二次衬砌中的应用研究,《公路交通技术》,第六届中国粉煤灰、矿渣及煤矸石加工与利用技术交流大会,2008

通过双掺粉料,对机制砂混凝土内部孔隙起到更好的填充作用,同时粉料活性较大,能有效避免 Cl^- 扩散,降低了机制砂对 Cl^- 扩散效应,通过双掺矿粉可以有效降低混凝土孔隙率,较低的孔隙率提高了混凝土的抗渗能力,增强抗冻能力。混凝土本身具有良好的密实堆积结构,机制砂中掺入过量石粉,在一定程度上破坏了堆积效应,导致电通量增大,抵抗 Cl^- 扩散的能力降低,但是相对于天然砂受不同环境、风化等条件的影响,机制砂可以通过统一控制开采矿石种类,加工工艺流程中,降低机制砂的复杂成分,有利于骨料反应效果。机制砂洁净度相对于河砂有着较有利的方面,减少了混凝土的杂质含量,提高了混凝土的耐久性和抗渗性。

5 效益分析

通过对混凝土的粉煤灰、矿粉、机制砂掺配成本费用分析,总体费用相对于河砂水泥混凝土降低15%左右的成本,同时混凝土的和易性、流动性、均匀性、密实性等工作性能均有较大的提升。提高了泵送效果,加快了施工进度,提高了施工质量。

6 结论

矿渣和粉煤灰掺入混凝土中,在一定范围内能够提升各种掺合料的性能优势,起到复核叠加的效果,能增加混凝土的密实程度,长期的加速胶凝材料的水化进程,减少空隙率。

矿粉和粉煤灰双掺能够优势互补,最大限度的改善混凝土性能,降低混凝土的泌水率。

工业粉煤灰及矿粉的应用,解决了工业废渣的处理问题,提高了工业废渣的剩余价值,充分利用工业废渣的剩余价值,提升了混凝土的工作性能,降低了混凝土成本。

结合其他专家的研究发现,在相同水胶比条件下,机制砂混凝土强度明显高于天然河砂混凝土,所以在设计机制砂混凝土配合比时,在保持胶凝材料不变的情况下,适当提高用水量,能让混凝土拌合物达到较好的工作性能;单位用水量的增大,混凝土的和易性得到改善,但抗压强度降低,在高用水量时甚至出现轻微泌水情况,所以用水量应控制在 $175kg/m^3$ 上限。