

文章编号: 1674—8247(2017)06—0033—05

# 大掺量掺合料混凝土配制技术研究与应用

胡明文

(中铁城建集团有限公司, 长沙 410205)

**摘 要:**文章以京沪高速铁路为工程背景,试验研究了不同掺量的矿物掺合料(粉煤灰、粉煤灰-矿粉)对混凝土工作性能、力学性能和耐久性能的影响,在此基础上进行了大掺量矿物掺合料高性能混凝土的配制试验,取得了粉煤灰-矿粉复合矿物掺合料 50% 最大掺量混凝土配制试验的成功,在水下基础、桩身施工中推广应用。同时,结合实际工程应用,介绍了大掺量矿物掺合料高性能混凝土原材料选择、配合比设计、施工工艺等方面的施工控制技术。

**关键词:**矿物掺合料; 高性能混凝土; 配制技术

中图分类号:U214.1<sup>+</sup>8

文献标志码:A

## Research and Application of Concrete Preparation Technology with Large Amount of Mineral Admixtures

HU Mingwen

(China Railway Urban Construction Group Co., Ltd., Changsha 410205, China)

**Abstract:** Taken Beijing-Shanghai high-speed railway as the engineering background, influences on the working performance, mechanical performance and durability performance of concrete from different amount of mineral admixture (fly ash and fly ash slag) are studied in the experiment. On this basis, preparation experiment of high performance concrete with large amount of mineral admixtures is conducted. Concrete preparation with 50% maximum composite mineral admixture of fly ash slag is successful which popularized and applied in the construction of underwater foundation and pile body. Combined with practical engineering applications, the construction control technologies, such as raw material selection, mix proportion design, construction technology and so on are introduced in the paper.

**Key words:** Mineral admixture; High performance concrete; Preparation technology

京沪高速铁路设计时速 350 km,工程主体结构的设计使用年限不低于 100 年,混凝土需要考虑足够的耐久性。结合混凝土结构所处的环境作用等级,从混凝土原材料入手,开展高性能混凝土配制技术研究,优化混凝土配合比是必要的。在施工中采用矿物掺合料大掺量添加试验,并加强混凝土施工工艺控制,保证混凝土满足各项性能要求,成功后进行应用取得了良好的效果。

### 1 矿物掺合料在混凝土性能中的影响研究

在混凝土中掺加矿物掺合料,是实现混凝土耐久性指标的重要措施之一。使用最普遍的矿物掺合料是粉煤灰、矿粉、硅灰及其复合物。

#### 1.1 粉煤灰对混凝土各项性能的影响

不同掺量的粉煤灰对混凝土拌合物性能、强度、电

收稿日期:2017-03-15

作者简介:胡明文(1974-),男,高级工程师。

引文格式:胡明文. 大掺量掺合料混凝土配制技术研究与应用[J]. 高速铁路技术,2017,8(6):33-37.

HU Mingwen. Research and Application of Concrete Preparation Technology with Large Amount of Mineral Admixtures [J]. High Speed Railway Technology, 2017, 8(6): 33-37.

通量等的影响,试验结果如图1~图3所示。

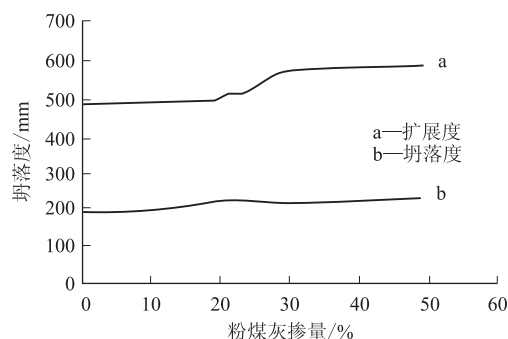


图1 粉煤灰掺量与坍落度、扩展度关系曲线

由图1可看出,粉煤灰掺量增加,混凝土的坍落度和扩展度有一定提高。

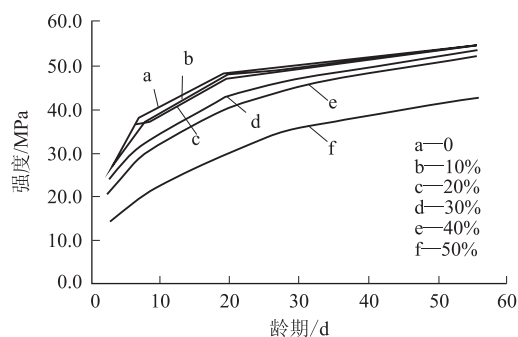


图2 各种掺量的粉煤灰混凝土强度随龄期增长关系曲线

由图2可看出,随粉煤灰掺量增加,混凝土的抗压强度出现降低趋势。粉煤灰混凝土的早期强度要明显低于不掺粉煤灰的混凝土。但其强度随龄期呈持续增长的态势,28 d时,粉煤灰掺量达到40%时与不掺粉煤灰的混凝土15 d左右的强度相当,40 d到56 d的强度与基准混凝土相比没有明显的降低。

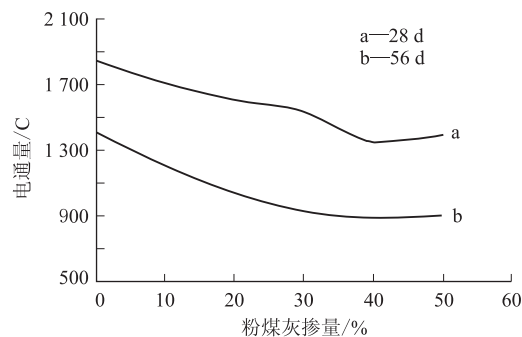


图3 不同掺量粉煤灰混凝土28 d、56 d电通量变化曲线

由图3可看出,同龄期的混凝土,粉煤灰掺量增加,混凝土的电通量呈现降低趋势。相同粉煤灰掺量的混凝土56 d龄期时的电通量要低于28 d龄期时的电通量。

可见,在混凝土中掺入一定量的粉煤灰,可以明显提高混凝土的拌合物性能及耐久性能。

## 1.2 不同粉煤灰和矿粉组合比例的混凝土性能试验

根据以上分析,还进行了不同粉煤灰和矿粉组合比例的混凝土性能试验,如图4~图6所示。

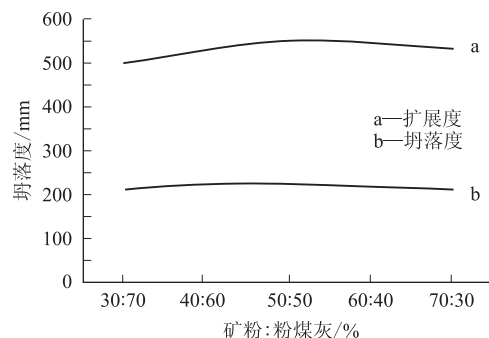


图4 不同矿粉-粉煤灰掺配比例的混凝土坍落度、扩展度变化曲线

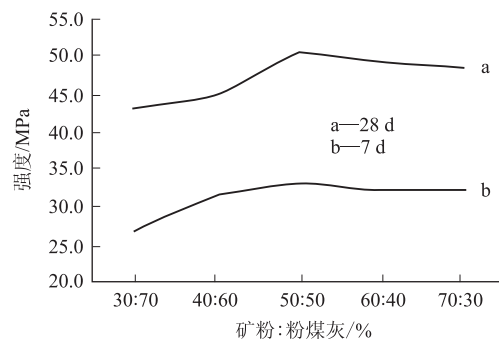


图5 不同矿粉-粉煤灰掺配比例的混凝土强度变化曲线

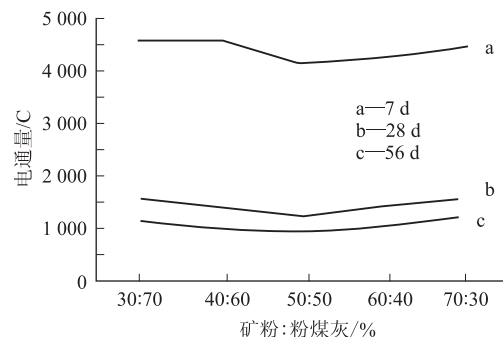


图6 不同矿粉-粉煤灰掺配比例的混凝土电通量变化曲线

由图4可看出,不同矿粉-粉煤灰掺配比例的混凝土坍落度、扩展度稍微有些变化,矿粉和粉煤灰的比例为1:1时,混凝土的坍落度、扩展度呈现比较大的特征。

由图5可以看出不同矿粉-粉煤灰掺配比例的混凝土强度在一定范围内有变化,当矿粉和粉煤灰比例达到1:1时,7 d、28 d混凝土强度最大。

由图 6 可看出,不同矿粉 – 粉煤灰掺配比例的混凝土电通量先逐渐降低,当矿粉和粉煤灰比例达到1:1 时,7 d、28 d、56 d 混凝土电通量最小,然后电通量又开始增大。

可见,粉煤灰和矿粉一起使用时,对混凝土的拌合物性能和力学、耐久性能有明显影响,各项试验显示,存在二者最佳的组合比例,在进行混凝土配合比试验时,应该进行多种掺配比例的室内试验,找到最佳组合比例。

在混凝土中只单掺粉煤灰时,早期 7 d 和中期的 28 d 强度比较低,掺入一定量的矿粉,取代粉煤灰,可以让混凝土的早期 7 d 和中期的 28 d 强度有提高,存在强度互补现象。矿粉早期的活性要强于粉煤灰,可

以改善集料界面结构,弥补粉煤灰的早期强度不足;粉煤灰以及早期未反应的颗粒,在 56 d 混凝土反应后期仍然具有活性,可以发挥孔径细化作用和内核作用,使混凝土后期强度持续得到提高,混凝土的电通量也会进一步降低。矿粉与粉煤灰按最佳比例复合掺配使用,可以充分发挥两种材料的火山灰效应、形态效应和微集料效应,相互补充,兼顾混凝土早期强度与后期强度。

1.3 聚羧酸减水剂与其它减水剂的性能对比

聚羧酸高效减水剂与其它高效减水剂相比,具有性能优势。不同品种外加剂性能指标对比如表 1 所示。

表 1 聚羧酸与其它品种外加剂指标对比表

指标	品种		
	木钙、木钠系	萘系、氨基磺酸系、脂肪酸系	聚羧酸系
减水率	减水率 5% ~ 8% 之间;最大减水约 12%	减水率 15% ~ 20% 之间;最大减水约 30%	减水率 25% ~ 30% 之间;最大减水约 45%
混凝土拌合物性能	对混凝土拌合物性能调节效果不明显,加大掺量,容易带来其它负面效应	对混凝土拌合物性能调节有明显作用,但是容易出现坍落度经时损失,加大掺量时,容易泌水,引起混凝土病害	对混凝土拌合物性能具有多方面的调节作用,可以通过调节聚羧酸成份,调节流动性、凝结时间、含气量、坍落度损失
水胶比	大	较大	小
对混凝土收缩的影响	没有明显影响	掺加萘系减水剂可以增加混凝土体积的塑性收缩和干缩	没有明显影响
混凝土含气量	增大了含气量	含气量有少量增大	可以自主调节控制含气量
有害物质含量	没有对环境有影响的含量	生产过程中要使用醛、萘、苯系等挥发性材料,成品中也含有有害材料	在控制范围内,对环境影响较小

由表 1 可看出,与其他的外加剂系列相比,聚羧酸减水剂减水率高,可以自由调节混凝土拌合物性能,适应性比较好,低水胶比、不增加混凝土收缩,宜于在高强、高性能混凝土中使用。

2 大掺量矿物掺合料混凝土配制试验

2.1 配合比设计

(1)在混凝土中试验采用掺入 40%、50% 的粉煤灰、矿粉复合掺和料,配制高性能混凝土。粉煤灰、矿粉的掺量和比例根据试验结果确定。

(2)采用聚羧酸高效减水剂。掺量和聚羧酸内各材料成份含量以满足混凝土达到要求的坍落度、含气量工作性能及强度、电通量指标为准。

(3)混凝土的水胶比、胶凝材料用量的选定,以满足 TB 1005 – 2010《铁路混凝土结构耐久性设计规范》中环境条件和最大胶凝材料用量要求为准。

2.2 配合比计算、试验

(1)根据材料情况,选定水泥、粉煤灰、矿粉、骨料、外加剂,计算水胶比,选择胶凝材料总量和粉煤灰、

矿粉掺配比例,以及外加剂的掺量。

(2)根据环境条件等级和施工工艺要求,确定混凝土性能指标,计算各项材料单方用量,计算碱含量和氯离子含量是否超标,确定配合比。

(3)在基准配合比的基础上,上下浮动 2% 调整水胶比、粉煤灰、矿粉掺量比例等参数,进行试拌,选出性能符合要求的配合比。制作混凝土强度、电通量、抗裂试件,检验混凝土的力学性能,确定最佳配合比为理论配合比。

(4)对确定的理论配合比加大检测数量,进行深入检验和第三方验证,各项性能指标满足要求,方可使用。

2.3 水下基础、桩身混凝土配合比

依据上述原则,选定的水下基础、桩身混凝土配合比,如表 2、表 3 所示。

由表 2 可知,掺 50% 以内的粉煤灰、矿粉后,混凝土的电通量满足要求。混凝土强度在中、后期还有较大幅度的增长,说明利用粉煤灰和矿粉双掺,提高外掺料掺量到 50%,完全可以满足混凝土性能要求,达到

降低混凝土单方成本的目的。

表 2 水下基础、桩身混凝土性能试验结果

使用部位	环境条件	强度等级	配合比(C:S:G:W) /( kg/m <sup>3</sup> )	外加剂		掺合料/内掺%		胶材用量 /(kg/m <sup>3</sup> )	水胶比	坍落度 /mm	含气量 /%	总氯离子含量 /%	抗压强度/MPa		56 d 电通量 /C
				型号	掺量 /%	粉煤灰	矿粉						28 d	56 d	
水下基础	T1	C30	185:726:1 088:152	聚羧酸	0.98	35	15	370	0.41	210	5.5	0.06	45.3	51.8	845
水下基础	T3\H1	C35	195:752:1 081:152	聚羧酸	1.0	25	25	390	0.39	215	5.8	0.06	49.6	52.2	578
水下基础	H2	C40	234:730:1 095:140	聚羧酸	1.0	30	10	390	0.36	220	5.1	0.06	47.0	55.8	615
桩身	T1	C30	180:757:1 088:144	聚羧酸	1.0	30	20	360	0.40	210	4.7	0.06	36.9	39.7	340
桩身	T2	C35	222:749:1 076:140	聚羧酸	1.0	20	20	370	0.38	210	6.0	0.06	43.9	52.5	955
桩身	T2	C40	228:767:1 058:144	聚羧酸	1.0	20	20	380	0.38	200	5.3	0.06	46.9	52.9	411

注:配合比选用Ⅱ级粉煤灰,S95级矿粉,P.042.5水泥,中砂,细度模数为2.6~3.0,5~25mm碎石。

表 3 梁体混凝土性能试验结果

使用部位	环境条件	强度等级	配合比(C:S:G:W) /( kg/m <sup>3</sup> )	外加剂		掺合料/内掺%		胶材用量 /(kg/m <sup>3</sup> )	水胶比	坍落度 /mm	含气量 /%	总碱量 /(kg/m <sup>3</sup> )	总氯离子含量 /%	28 d 抗压强度 /MPa	56 d 电通量 /C
				型号	掺量 /%	粉煤灰	矿粉								
箱梁梁体	T2	C50	336:683:1 116:142	聚羧酸	1.0	12	18	480	0.30	205	3.5	2.45	0.04	61.6	873
箱梁梁体	T2	C55	336:682:1 115:144	聚羧酸	1.0	15	15	480	0.30	205	3.3	2.72	0.04	63.4	372
箱梁梁体	T2	C50	343:686:1 073:147	聚羧酸	1.0	18	12	490	0.30	210	3.8	2.14	0.03	61.8	644

注:选用Ⅰ级粉煤灰,S95级矿粉,P.042.5水泥,中砂,细度模数为2.6~3.0,5~25mm碎石。

2.4 梁混凝土体配合比

由表 3 可知,混凝土的工作性能、力学指标都满足要求。

3 混凝土工艺及控制

3.1 混凝土生产

(1)生产前,测定骨料的含水量,由理论配合比换算施工配合比,雨天要及时进行混凝土施工配合比的调整。

(2)生产时,要先投料砂和碎石,搅拌均匀后,再投放水泥的粉煤灰、矿粉,最后投放水和外加剂,加料后要保证搅拌时间,比普通混凝土搅拌时间要延时 30 s 以上。

3.2 混凝土输送

(1)混凝土输送过程中要不漏浆、不离析,坍落度和含气量等指标没有明显损失。运输途中严禁向混凝土内加水。

(2)混凝土罐车运输混凝土时,应保持转速搅动;卸料前,应高速旋转 20~30 s,检验工作性能满足要求后,再进行浇筑。

3.3 混凝土浇筑、振捣

(1)预先制订浇筑方案,确定浇筑顺序。混凝土的自由下落高度不得超过 2 m,超过 2 m 时,采用串筒、溜槽设施,保证混凝土不离析。

(2)宜采用插入式振捣棒点振,或者与附着式振捣器相结合。混凝土较黏稠时,应加密振点,同时要避免过振。

(3)振捣完成后,应及时修整、抹面,初凝后再压

光或拉毛。抹面时严禁洒水,尤其干旱地区的混凝土,更要注意保证抹面质量。

3.4 混凝土养护

(1)混凝土浇筑完成后,应及时覆盖,尽量减少暴露时间,防止水分蒸发。

(2)混凝土拆模后,要对混凝土表面浇水或覆盖洒水、蓄水等措施养护,保湿养护时间符合要求。

4 混凝土质量控制

4.1 原材料控制

(1)原材料进场后,按规定取样抽检,各项指标应检验合格。检验不合格的原材料不得使用。

(2)严格控制粉煤灰和矿粉的质量。劣质粉煤灰会使混凝土需水量增加,容易泌水。劣质矿粉会让混凝土黏聚性下降、离析、凝结时间延长。粉煤灰和矿粉组合使用掺量较大时,更要严格控制质量。

(3)聚羧酸减水剂必须要控制其质量。应选择质量保证能力通过审查,并且产品检验合格、质量稳定的外加剂,才能从源头上保障混凝土质量。

4.2 计量控制

混凝土拌合机由于使用频率高,计量系统会出现数据漂移,在生产过程中,要定期用标准砝码对上料系统进行校核,每工作班前对系统运行检查,确保上料计量准确。

4.3 养护

高性能混凝土由于水胶比小,混凝土内多余的自由水就少,养护对混凝土的后期质量十分重要。水下基础和覆盖在地面下的墩台,由于早期强度要求不高,

养护环境好,所以才可以实现最大掺量 50% ,但是,对于梁体、墩台等外露的地上混凝土结构,混凝土中掺入了大量的矿物掺合料,为了更好地发挥粉煤灰和矿粉的火山灰效应,必须对混凝土进行覆盖和包裹保温。

5 结束语

在混凝土中掺入大掺量的矿物掺合料,混凝土强度特别是后期强度能够达到工程要求,同时能够降低成本,混凝土的耐久性也有大幅度提高。对于大掺量的矿物掺合料混凝土的质量控制,应该从优选原材料入手,严格配合比试验程序,选择最佳的配合比,严控计量误差,加强混凝土养护,充分发挥活性材料的各项效应的叠加功能,才能够保证混凝土质量,实现主体结构使用寿命的目标。

参考文献:

[1] 中铁十二局集团集团公司. 客运专线 100 年耐久性混凝土技术试验研究[R]. 太原: 中铁十二局集团集团公司,2007.  
China Railway 12th Bureau Group Co. , Ltd. Experimental Study on Concrete Durability of Passenger Dedicated Line for 100 Years [R]. Taiyuan;China Railway 12th Bureau Group Co. , Ltd. ,2007.

[2] 姚燕,王玲,田培. 高性能混凝土[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.  
YAO Yan,WANG Ling,TIAN Pei. High Performance Concrete[M]. Beijing;Chemical Industry Press, 2006.

[3] 郭延辉,郭京育,赵青龙,等. 聚羧酸系高性能减水剂及其应用技术的现状和发展趋势[C] // 全国高性能混凝土和矿物掺合料的研究与工程应用技术交流会论文集. 北京: 中国土木工程学会,

2006;479 – 485.  
GUO Yanhui, GUO Jingyu, ZHAO Xiaolong, et al. Current Situation and Development Trend of Polycarboxylate Superplasticizer and Its Application Technology [ C ] // Proceedings of the National Symposium on Research and Engineering Application of High Performance Concrete and Mineral Admixtures. Beijing: China Civil Engineering Society , 2006;479 – 485.

[4] 李宏亮. 高性能混凝土配合比设计及施工技术[D]. 吉林: 吉林大学,2008.  
LI Hongliang. Mix Proportion Design and Construction Technology of High Performance Concrete[D]. Jilin ;Jilin University,2008.

[5] 赵年全. 客运专线高性能混凝土的施工与质量控制[J]. 粉煤灰综合利用,2011,25(1):41 – 45.  
ZHAO Nianquan. Construction and Quality Control of High Performance Concrete for Passenger Dedicated Line [ J ]. Comprehensive Utilization of Fly Ash,2011, 25(1):41 – 45.

[6] 帅建兵. 高性能混凝土的配制与施工质量控制技术[J]. 广东科技,2012,21(3):132 – 133.  
SHUAI Jianbing. Preparation of High erformance Concrete and Construction Quality Control Technology[J]. Guangdong Technology, 2012, 21(3):132 – 133.

[7] 高治双,赵年全,赵常煜,等. 大掺量矿物掺合料高性能混凝土在京沪高铁四标段中的应用[J]. 中国工程科学,2009,11(1): 26 – 31.  
GAO Zhishuang, ZHAO Nianquan, ZHAO Changyu, et al. Applied research on high performance concrete with high-volume supplementary cementitious materials in No. 4 Bid of the Beijing – Shanghai high speed railway [ J ]. Engineering Science, 2009, 11(1):26 – 31.

(编辑:赵立红 白雪)