

文章编号:1000-582X(2005)05-0054-05

大掺量粉煤灰高性能混凝土配制技术*

吴建华,蒲心诚,刘芳

(重庆大学材料科学与工程学院,重庆 400030)

摘要:水泥混凝土作为最大宗的人造材料,对资源、能源的需求和对环境的影响十分巨大。混凝土能否长期维持作为最主要的建筑结构材料,关键在于能否成为绿色材料,达到保护环境与发展同行,在混凝土中大量使用工业废弃物是其发展的重要途径。试验认为,用大掺量粉煤灰生产高性能混凝土是可行的。通过采用对粉煤灰进行磨细处理+高效减水剂的方法,当水泥熟料仅用25%左右,粉煤灰掺量为70%时,可配制得到工作性好,3 d强度大于20 MPa,28 d强度在50 MPa以上,其后期强度有极好发展的混凝土。大掺量粉煤灰混凝土能更多地利用粉煤灰,减少熟料用量,对环境保护极为有利。

关键词:大掺量;粉煤灰混凝土;绿色混凝土

中图分类号:TU502

文献标识码:A

当今社会,在注重发展经济的同时,更要保护环境。由此环境与发展成为全球最为关注的问题之一,做到不损害资源、环境的社会经济发展——即可持续发展,是全人类共同选择和追求的目标^[1]。水泥混凝土作为最重要的建筑结构材料,其主要原料的水泥实是一种不可可持续发展的产品,水泥厂是人所共知的污染源,排出大量粉尘和有害气体,主要是温室气体CO₂的大量排放,一般按生产1 t水泥熟料排放1 t CO₂气体计^[2]。根据统计2001年我国的水泥产量位居世界第一,2001年产量达6.265×10⁸万t,如按年产熟料5×10⁸万t计,则每年排放CO₂气体5×10⁸万t,到2010年预计产量将增至8×10⁸万t,今后15年内我国水泥工业将排出CO₂气体75×10⁸万t。全世界的水泥产量从现在13×10⁸万t增加到2010年18×10⁸万t,则水泥工业15年内将增加大气层中CO₂量高达150×10⁸万t,严重影响地球大气变暖,给人类带来灾害,由此各国已规定CO₂排放限量,水泥工业的发展必将受到限制。

另一方面大量的工业废料不能很好地利用,如粉煤灰,以至大量堆积,占用耕地,污染环境。如能在水泥混凝土中更多地掺加工业废渣,不仅节约原料,而且改善环境,减少二次污染。但在粉煤灰的利用方面,由于粉煤灰自身矿物成分和化学成分的特点,作为混凝土

的掺合料,其效果不及水淬高炉矿渣。主要是2方面的原因,一是粉煤灰掺量不能大,一般在15%~30%左右,掺量越大,混凝土强度越低,特别是使早期强度低;一是对混凝土护筋性的影响,使混凝土抗碳化能力减弱^[3]。笔者针对如何提高粉煤灰在水泥混凝土中的掺量进行研究,通过对原状粉煤灰进行磨细处理,以及掺加高效减水剂的技术路线,降低混凝土水胶比配制出工作性良好、早期强度满足要求、后期强度不断增长的绿色混凝土^[4]。试验中当粉煤灰的掺量占胶结材料(水泥+粉煤灰)总量的70%时,水泥用量为30%。而水泥是525#普通硅酸盐水泥,掺有14%的矿渣,则在胶结材料中熟料仅占25%左右,可大大减少水泥熟料的用量。

1 试验用原材料与试件制作

1)水泥:采用重庆水泥厂生产的525#普通硅酸盐水泥,其胶砂强度见表1,化学成分见表2。

表1 525#普通硅酸盐水泥的胶砂强度

天数/d	抗折强度/MPa	抗压强度/MPa
3	7.06	33.20
28	9.23	57.50

* 收稿日期:2005-01-18

基金项目:建设部八五科研资助项目

作者简介:吴建华(1963-),女,重庆涪陵人,重庆大学讲师,博士研究生,主要从事建筑材料研究。

表 2 水泥与粉煤灰的化学成分 %

胶凝材料	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	SO ₃	烧失量
水泥	62.00	20.50	5.90	3.10	1.80	0.60	2.17	0.80
粉煤灰	2.20	47.20	28.50	10.20	1.02	2.90	-	5.67

2) 粉煤灰:重庆发电厂电收尘干排粉煤灰,粉磨 45 min,细度为 0.045 mm 筛筛余 0.16%,需水量比 100%。粉煤灰的化学成分见表 2。

3) 粗集料:重庆歌乐山石灰石(碎石),母岩强度 154.7 MPa,压碎指标为 10.3%,最大粒径为 20 mm。

4) 细集料:四川简阳中砂,细度模数 2.35,含泥量 1.4%。

5) 减水剂:FDN(粉剂)。

6) 试件成型按《普通混凝土力学性能试验方法》GBJ81—85 进行,试件尺寸为 100 mm × 100 mm × 100 mm。

2 试验结果与分析

粉煤灰是从烧煤粉的锅炉烟气中收集的粉状灰粒,亦叫做飞灰(Fly Ash),由于发电量的增加,必然导致排灰量的大幅度增长,而世界各国粉煤灰的利用率各不相同。英国、加拿大、澳大利亚、丹麦等所利用的粉煤灰几乎 100% 用于水泥、混凝土,芬兰对粉煤灰的利用亦达 100%,其中水泥、混凝土只用掉 12.5%,而我国目前粉煤灰的利用率只有 40% 左右^[3],大部分的粉煤灰仍未被利用,这些粉煤灰不仅污染环境,还要占用土地堆放。如何提高掺量,加大粉煤灰的利用率,实现保护环境,达到可持续发展,是研究者的目标。

在对粉煤灰的大量研究中,沈旦申总结出粉煤灰的 3 大基本效应:形态效应;活性效应;微集料效应^[5]。形态效应指的是矿物粉末颗粒的外观形貌、内部结构、表面性质、颗粒级配等物理状态所产生的效应,能使水泥浆体中水泥熟料颗粒均匀分散,扩大水泥熟料水化空间和水化产物的生成场所,从而促使水泥水化初期的反应。活性效应是指浆体中粉煤灰的活性成分所产生的化学效应,活性效应的高低取决于反应能力、速度及其反应产物的数量、结构和性质等因素。微集料效应是指粉煤灰微细颗粒均匀分布于水泥浆体的基相之中,就象微细的集料一样,这样的硬化体也可以看作“微混凝土”。

2.1 磨细粉煤灰对混凝土性能的影响

粉煤灰的质量随燃煤的来源而波动,如原煤的种

类和成分、锅炉燃烧条件、除尘设施、排放和收尘系统等。此外粉煤灰这种矿物质粉料是由组分、形态、结构不同的 0.5 ~ 200 μm 的粉状颗粒组成的机械混合物,各种颗粒之间的成分、结构和性质相差悬殊,所以说它是一宗庞大而无序的人工矿物资源。未经磨细的粉煤灰叫原状灰,在原状灰中有些多孔颗粒、粘聚颗粒、碳粒等,使粉煤灰几乎丧失形态效应上的优越性,使需水量增大,而且均匀性差,使用时的保水性差、泌水较快。粉煤灰磨细是将无序状态的、质量变异的原状粉煤灰磨细而形成相对稳定和有序的产品粉煤灰。其磨细过程是一个“均化”、“益化”过程。因为粉煤灰中或多或少会有较粗的且多孔的碳粒、玻璃状海绵体、粘连体等颗粒,这类颗粒很容易碾成微细粒屑。这些是导致粉煤灰波动和不利的颗粒,在磨细过程中颗粒形貌和结构上均发生了重要变化,形成变异性较小的微细粒屑,这是使粉煤灰质量从无序转化到相对有序状态的重要条件。粉煤灰中实心厚壁的玻璃微珠一般是碾不碎和磨不细的,仍能保持球形,仅仅是表面上出现擦痕,这样却有利于化学反应能力的提高和颗粒界面的结合。从表 3 中可以看出,磨细粉煤灰比原状灰更细,其物理性能亦优于原状灰。

表 3 原状灰和磨细灰的性能比较 %

粉煤灰	细度(0.045 mm 筛) 筛余	需水量	标准稠度用水量 (粉煤灰 60% + 熟料 40%)
未磨细的粉煤灰	21.4	102	32.5
磨细粉煤灰	0.4	91	29.5

因此,对粉煤灰的磨细,不只是颗粒性能的优化,而更重要的是粉煤灰质量得到整体的全面的有序的优化。从表 4 可以看到,1* 和 2* 混凝土相比较,在水胶比为 0.3 时,原状灰混凝土的坍落度和扩展度均为零,根本没有流动性,试件成型也很困难,而磨细灰混凝土的坍落度为 245 mm、扩展度为 620 mm,达到泵送混凝土的要求,充分体现了磨细粉煤灰的形态效应,使混凝土的流动性得到改善。而各龄期的抗压强度原状灰混凝土均低于磨细灰混凝土,磨细后粉煤灰的活性效应和微集料效应得到充分发挥。

表4 大掺量粉煤灰混凝土的配合比、流动性及强度

编号	胶结材用量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$		混凝土配合比/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$				水胶比	流动性		抗压强度/MPa			
	水泥		粉煤灰	粗集料	细集料	外加剂		坍落度/mm	扩展度/mm	3 d	28 d	56 d	1 a
1	500	150	350	1 199	646	5.0	0.30	245	620	17.7	44.8	53.0	79.0
2	500	150	350*	1 199	646	5.0	0.30	0	0	16.4	36.7	45.6	71.0
3	400	120	280	1 279	689	4.0	0.30	185	0	16.9	43.7	47.9	70.6
4	450	135	315	1 242	669	4.5	0.30	234	590	18.2	42.9	48.5	71.8
5	450	135	315	1 242	669	4.5	0.26	160	0	24.5	57.3	59.7	77.7
6	450	135	315	1 242	669	6.7	0.26	210	483	25.5	62.4	64.9	85.3
7	450	135	315	1 242	669	9.0	0.26	160	330	23.1	52.4	56.7	73.9
8	500	150	350	1 199	646	5.0	0.26	148	0	19.7	54.8	62.6	84.2
9	500	150	350	1 199	646	7.5	0.26	242	593	18.8	56.6	64.2	83.2
10	500	150	350	1 199	646	10.0	0.26	248	613	18.4	50.2	55.0	72.9

说明: * 为原状粉煤灰。

2.2 胶凝材料总用量的选择

胶凝材料总用量反映了水泥浆和集料的比例,即浆集比。浆集比主要影响混凝土的工作性,因而也影响混凝土的耐久性,在一定程度上还影响强度、弹性模量和干缩率。从耐久性的角度来看,必须有足够的浆体浓度和数量,得到良好的工作性,才能保证混凝土的耐久性。现行国家标准对不同环境中使用的混凝土规定了最小水泥用量,对高性能混凝土应理解为最小胶凝材料用量。当胶凝材料用量太少时,不可能保证良好的工作性,使混凝土离析、分层,各种外加剂的效果都会变得很差而无意义,硬化后混凝土的薄弱界面数量将急剧增多,并增加渗漏处所,最终大大削弱混凝土抵抗腐蚀性介质侵蚀的能力。因此,没有足够的胶凝材料总量,就不可能使混凝土耐久。保证混凝土耐久性的胶凝材料总量最少也不能低于 300 kg/m^3 ^[6]。高性能混凝土的特点是流动性大、水胶比小,为保证混凝土具有足够的流动性,就要求有较大的胶凝材料总用量。但随着浆集比的增大,混凝土的弹性模量会有所下降,混凝土的收缩也会有所增加。

在实验中选择了3个胶凝材料总用量,400、450、500 kg/m^3 ,水胶比为0.3时,混凝土的流动性见图1,强度见表4中1[#]、3[#]和4[#]混凝土,当胶凝材料用量为400 kg/m^3 时,混凝土没有扩展度,工作性很差,而胶凝材料用量增加到450、500 kg/m^3 时,混凝土的工作性得到很大改善,500 kg/m^3 胶凝材料用量的混凝土可以达到自流平的要求。从强度方面,随着胶凝材料

用量增加,强度有所提高,后期强度增长快于早期强度,所以混凝土胶凝材料用量宜在 450 kg/m^3 以上。

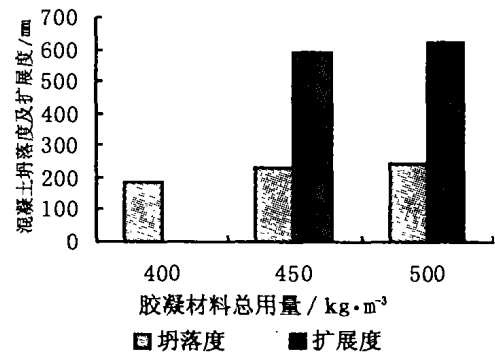


图1 不同胶凝材料总用量混凝土的坍落度

2.3 外加剂掺量的选择

20世纪70年代末出现了混凝土化学外加剂,混凝土技术有很大提高,特别是具有高分散性、高分散维持性的高效减水剂的出现,揭开了混凝土技术新的一页。

在水泥浆体中,掺入高效减水剂以后,高效减水剂分子以各种形态吸附在胶凝材料粒子的表面上,形成如图2(a)的吸附层^[7],以及图2(b)折线的密度分布曲线。在图2(b)中从线段层到环形层的交界面处,密度有很大变化。这与双电层的静电排斥力及高分子吸附层的相互作用为基础的分散理论相似,只不过这里是立体排斥力,具有更大的分散效果。立体排斥力,能够根据吸附的高分子结构及吸附形态,或者吸附层的厚度等平均信息量的效果,进行计算,通过这种立体排

斥力,能保持其分散系统的稳定性。

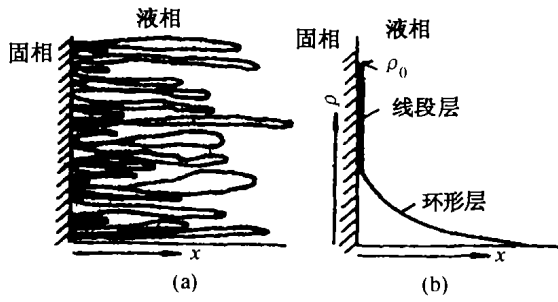


图 2 固-液界面的高分子吸附层

试验中在混凝土水胶比为 0.26 时,当胶凝材料用量分别为 450、500 kg/m³,外加剂掺量选取胶凝材料用量的 1%、1.5%、2%,混凝土中粉煤灰的掺量均为胶凝材料用量的 70%,混凝土的流动性见表 4、图 3 和图 4。

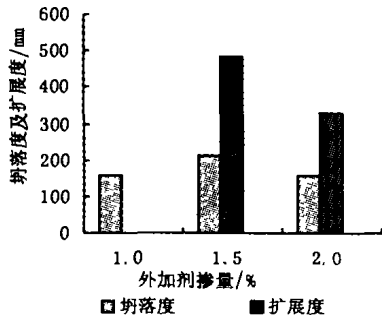


图 3 胶凝材料用量为 450 kg/m³ 时混凝土的流动性

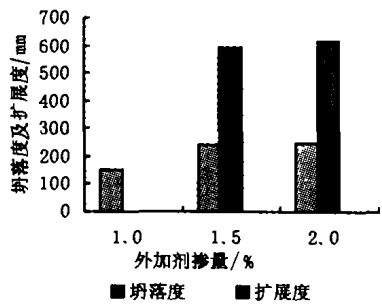


图 4 胶凝材料用量为 500 kg/m³ 时混凝土的流动性

从表 4、图 3 和图 4 中可以看出,当外加剂掺量为 1% 时,混凝土的坍落度很小,没有扩展度,说明混凝土的流动性很差,成型困难。外加剂掺量在 1.5% 时混凝土坍落度增大,且扩展度很大,混凝土的流动性得到改善,使混凝土成型较容易,如果在增大外加剂掺量,混凝土流动性的改变则不大,甚至有可能降低。这是由于减水剂的分散吸附作用释放出被水泥颗粒包裹的水分,增加了流动性,但粒子的大量分散又增加了比表

面积,使内聚力增加,因而减水剂掺量达到一定程度流动性增加很少,过多反而会使流动性下降。原因在于水泥颗粒吸附减水剂达到极限吸附量以后,减水剂对这一体系达到临界胶束浓度,不再降低表面张力,也不降低水与水泥粒子之间的界面张力,因而掺量的增加对流动性的影响大为减小,甚至失去其作用。所以外加剂的掺量选择为胶凝材料用量的 1.5% 为宜。

从表 4、图 5 和图 6 中可以看到,大掺量粉煤灰混凝土的抗压强度发展,在外加剂掺量为胶凝材料用量的 1% 和 1.5% 时,混凝土的强度发挥较好,混凝土的 3 d 强度不高,但后期增长较快,28 d 时的强度均在 50 MPa 以上,最高达到 62.4 MPa,1 a 时混凝土的强度达到 70 MPa 以上,最高有 85 MPa。当外加剂掺量增加到胶凝材料用量的 2% 时,后期强度增长变慢,所以大掺量粉煤灰混凝土外加剂掺量宜选择 1% ~ 1.5% 之间。

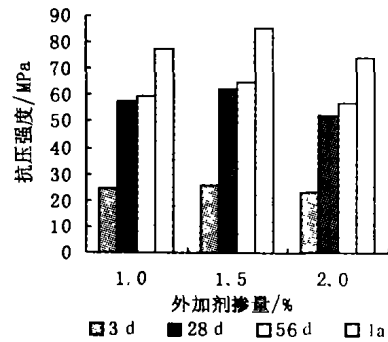


图 5 胶凝材料用量为 450 kg/m³ 时混凝土强度发展

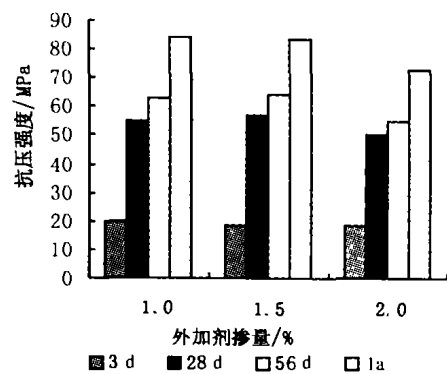


图 6 胶凝材料用量为 500 kg/m³ 时混凝土强度发展

3 结 论

1) 在混凝土中加入磨细粉煤灰有利于改善混凝土的工作性,充分发挥粉煤灰的形态效应,降低混凝土的水胶比,提高混凝土强度。

2) 配制大掺量粉煤灰混凝土时,需要有一定量的胶凝材料,过少时混凝土的工作性较差,成型困难。外加剂的掺量应通过试配确定。

3) 用大掺量粉煤灰生产高性能混凝土是可行的,在该试验的情况下,水泥熟料仅用 25% 左右,粉煤灰掺量为 70% 时,可配制得到工作性好,3 d 强度大于 20 MPa,28 d 强度在 50 MPa 以上,其后期强度有极好的发展,1 a 强度可达 70 MPa 以上的混凝土,对保证混凝土结构工程的安全性和耐久性都是十分有利的。

4) 大掺量粉煤灰混凝土能更多地利用粉煤灰,减少熟料用量,对环境保护极为有利,可以称为“绿色混凝土”。

参考文献:

- [1] 陈荣坤. 可持续发展——人类的必然选择[J]. 建材地质,1996,(6):2-5.
- [2] 吴中伟. 绿色高性能混凝土——混凝土的发展方向[J]. 混凝土及水泥制品,1998,(1):3-6.
- [3] 钱觉时. 粉煤灰特性与粉煤灰混凝土[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [4] 蒲心诚. 大掺量粉煤灰水泥研究[J]. 房材与应用,1996,(3):4-8.
- [5] 沈旦申,冒镇恶. 粉煤灰优质混凝土[M]. 上海:上海科学技术出版社,1992.
- [6] 吴中伟,廉慧珍. 高性能混凝土[M]. 北京:中国铁道出版社,1999.
- [7] 冯乃谦. 高性能混凝土[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1996.

Technology of Mixing High Property Concrete with Large Dosage Fly Ash

WU Jian-hua, PU Xin-cheng, LIU Fang

(College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Being the largest mass of man-made material, concrete demands much to resource and energy as well as affects much to environment. Whether concrete can be the dominating constructive material, the key is whether it can become green material and protect the environment at the same time. The important approach of developing is using industrial castoff largely in concrete. The tests note, that high performance concrete used of large mass of fly ash is doable. By grinding fly ash and adding high-efficient water reducer, when the dosage of cement clinker is only 25% and the dosage of fly ash is 70%, concrete with a good workability that 3 day and 28 day strength are bigger than 20 MPa and 50 MPa respectively can be achieved, which later strength develop very well. The large mass of fly ash concrete can utilize fly ash largely and reduce the dosage of clinker, that is very advantageous to protect environmental.

Key words: large dosage; fly ash concrete; green concrete

(编辑 李胜春)