

高性能混凝土各组成材料的选择及试验研究

郑娟荣 覃维祖

摘 要:在分析高性能混凝土对各组成材料的特殊要求的基础上,以强度等级 42.5 的硅酸盐水泥、粒径 5~20 mm 石灰石碎石、NNO 型萘系减水剂及矿物掺合料(Ⅰ级粉煤灰和磨细矿渣)为原材料,可配制出具有良好坍落度的 C70、C80 高性能混凝土,而水泥用量仅 450 kg/m³。高强高性能混凝土的强度可通过变化水胶比及选取不同品种与用量的矿物掺合料来调节。

关键词:高性能混凝土;配合比;Ⅰ级粉煤灰;磨细矿渣;坍落度

中图分类号: TU 528 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4726(2002)01-0023-03

SELECTION OF MATERIALS FORMING HIGH PERFORMANCE CONCRETE AND EXPERIMENTAL STUDY THEREOF

ZHENG Juanrong QIN Weizuo

Abstract: Based on analysis of special requirements for materials forming high performance concrete, Portland cement of grade 42.5, limestone gravel of 5~20 mm, NNO type water-reducing agent and mineral mixture (grade I fly ash and fine slag) are selected as components to form C70 and C80 high performance concrete with expected slump, while cement quantity is merely 450 kg/m³. The strength of HPC could be adjusted through water-cement ratio and selecting different sort of material.

Key words: high performance concrete; mix proportion; grade I fly ash; fine slag; slump

1 高性能混凝土的组成材料选择

高性能混凝土使用和普通混凝土基本相同的原材料(如水泥、砂石),同时必须使用外加剂和矿物掺合料。但是

郑娟荣,女,1964年生,湖南道县人,博士,副教授,在清华大学进行博士后研究,100084,北京
收稿日期:2001-09-01

由于高性能混凝土的要求和配制的特点,高性能混凝土对原材料又提出一些特殊要求。

1.1 水泥

高性能混凝土所用水泥最好是强度高且同时具有良好的流变性能,并目前大宗使用的高效减水剂有很好的相容性。目前在我国,用强度等级

42.5的硅酸盐水泥或普通水泥可以配制实际强度超过 100 MPa 的泵送混凝土^[1]。因此,配制高性能混凝土甚至高强度的高性能混凝土,不必强调水泥的高强度等级(通常是指强度等级为 52.5 以上的水泥)。由于高性能混凝土的特点之一是低水灰比,为确保其流动性,所用水泥的流变性能比强度更重要。

为获得高流动性混凝土,日本发明了球状水泥。所谓球状水泥是水泥熟料通过高速气流粉碎及特殊处理而得到的。

如果水泥的粗细颗粒级配恰当,也可得到良好的流变性能。水泥中 3~30 μm 的颗粒主要起强度增长的作用,而大于 60 μm 的颗粒则对强度不起作用,因此 3~30 μm 的颗粒应当占 90% 以上;小于 10 μm 的颗粒主要起早强的作用,而其中小于 3 μm 的颗粒只起早强作用。但颗粒小于 10 μm 时需水量大,因此流变性能好的水泥 10 μm 以下的颗粒应当少于 10%^[1]。我国多数水泥生产时基本上只考虑细度,甚至用增加比表面积来提高水泥的强度。水泥颗粒越细,需水量也越大。需水量增大,必将加剧混凝土的坍落度损失。

1.2 粗骨料

混凝土强度为 60~100 MPa 时,可以选用石子的最大粒径不大于 25 mm,随着混凝土强度增加,石子最大粒径还要减小。这里有两个原因:(1)最大粒径较小,则骨料-水泥浆界面应力差也较小,应力差可能会引起微裂缝;(2)较小骨料颗粒强度比大颗粒强度

必增加用水量。从和易性来看,水胶比分别为 0.25 和 0.30 时,尽管最佳砂率值也有所不同,但都在 35%~45% 之间,超过此范围后,坍落度减小。

图 7 绘出了两种水灰比下混凝土抗压强度随砂率变化的趋势,可以看出,随砂率增加,混凝土的抗压强度呈先增大后降低的趋势;且随水灰比的不同,达到理想强度的砂率值有所不同。

综合考虑砂率对混凝土坍落度和抗压强度的影响,当水灰比为 0.25~0.30 时,最佳砂率值为 35%~45%。

3 结论

(1) 对胶凝材料用量在 550~600 kg/m³ 的高性能混凝土,砂率对混凝土的工作性、强度有不同程度的影响,其中对混凝土工作性的影响尤为显著。随着胶凝材料用量的增加,获得最佳工作性和抗压强度的砂率值有所不同。最佳砂率值为 30%~40%。

(2) 在胶凝材料用量为 550 kg/m³ 时,混凝土弹性模量随砂率增大而降低。

(3) 水灰比分别为 0.25、0.30 的

两组高性能混凝土抗压强度和坍落度对应的最佳砂率值均在 35%~45% 之间。

参考文献

- 1 黄土元,等.近代混凝土技术.西安:陕西科学技术出版社,1998
- 2 Neville A., Aitcin P. C. High performance concrete - An overview. Materials and structures, 1998, (31) 3
- 3 吴历斌,孙振平,王新友,等.高强高性能混凝土中集料对力学性能的影响.混凝土,2001(1)
- 4 吴历斌.集料对高性能混凝土力学性能的影响研究:[学位论文].上海:同济大学,2001

高,因为岩石破碎时消除了控制强度的最大裂隙^[2]。

1.3 细骨料

高性能混凝土对砂的质量要求应符合普通混凝土用砂石标准中的规定,尤其要避免含有云母和泥土。一般情况下,砂子偏粗对强度有利。

1.4 水

高性能混凝土对水的质量要求与普通混凝土一样,用自来水即可。

1.5 高效减水剂

高性能混凝土的特点之一是低水灰比,为确保其流动性,须掺入高效减水剂。高效减水剂使混凝土具有高工作性的作用机理:高效减水剂为长链分子,将自身缠绕在水泥颗粒上,并使其带上较高的负电荷,因此水泥颗粒相互排斥,其结果是水泥团粒良好地分散,而拌合物则达到较高的工作性。水化水泥浆的基本结构未受影响,但高效减水剂与硅酸盐水泥中铝酸三钙(C₃A)相互作用。C₃A是水泥最早水化的组分,其反应受硅酸盐水泥生产中加入的石膏控制。国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175-1999)规定:硅酸盐水泥中SO₃含量不得超过3.5%。水泥中SO₃主要来源于熟料磨细过程中所加入的石膏。石膏有二水、半水和无水硫酸钙等不同形态,溶解速度也不同,且无水石膏的溶解性与其结构和来源有关,实际情况还要复杂得多。此外,SO₃还来源于其他地方,用于水泥煅烧的碳酸钙原料和燃料煤或油中往往含有硫酸盐、硫化物和硫元素等杂质,煅烧过程中会固熔在熟料中,若同时存在碱和SO₃,就会形成碱的硫酸盐,这种硫酸盐是非常易溶解的。

如上所述,两种硅酸盐水泥的总硫酸盐含量相同时,硫酸盐随其来源不同,可早期与C₃A反应者会有多或少。若能反应的可溶解硫酸盐太少,则会以高效减水剂被C₃A束缚的形式进行,高效减

水剂也就无法改善拌合物的工作性。若硫酸根离子被释放的速度太慢,就称该硅酸盐水泥与高效减水剂不相容。所以配制高性能混凝土时,须对所用硅酸盐水泥与高效减水剂的相容性进行检验。

1.6 矿物掺合料

在配制高性能混凝土时,常用的矿物掺合料是粉煤灰、磨细矿渣和硅粉。

粉煤灰是火电厂燃煤锅炉排出的烟道灰,通常呈球状颗粒,具有与天然火山灰相似的火山灰性质。配制高强高性能混凝土的粉煤灰宜用含碳量低、细度低、需水量低的优质粉煤灰,其掺量一般不超过水泥用量的30%。配制早期强度要求不是很高的高性能混凝土时,所用粉煤灰的品质及掺量不受上述条件限制。1985年以来,加拿大矿产能源部技术中心在Malhotra主持下,系统地进行了大掺量粉煤灰混凝土研究,选取加拿大和美国共20个产地的粉煤灰,其性能大体相当于我国的Ⅰ、Ⅱ级粉煤灰。混凝土的典型配合比为每立方米水泥用量155 kg、粉煤灰215 kg(粉煤灰占胶凝材料总量的58%)、水120 kg,通过高效减水剂将水胶比控制在0.32~0.33,通过掺加引气剂控制含气量在5%~6%,混凝土的工作度满足泵送施工要求。这种混凝土的水化热低,弹性模量高,长期强度增长幅度大,渗透系数低,碳化深度在4年后与普通混凝土无明显差异,抗氯离子扩散能力则远比普通混凝土优异,强度相当于我国的C35~C40级,1 d、7 d、90 d和1年半龄期强度分别为28 d的23%、58%、123%和157%^[3]。

大掺量粉煤灰混凝土还对环境保护和节约资源有重要意义。

矿渣是高炉炼铁排出的熔融矿渣在高温状态下迅速水淬冷却而成的。用于高强高性能混凝土磨细矿渣的细度要大于水泥,比表面积在4 000 cm²/g以上,在超强混凝土中的掺量可占总胶

凝材料的70%。掺磨细矿渣对提高混凝土早期强度的效果优于粉煤灰,细度越高,效果越佳,但成本也越高。比表面积很大的磨细矿渣不但不起降低混凝土水化温升的作用,还会使混凝土拌合物的需水量增加。

硅粉是电炉法生产硅铁合金所排放的烟道灰,SiO₂含量大于90%,平均粒径仅0.1~0.2 μm,比表面积高达2×10⁵ cm²/g,借助大剂量高效减水剂和强力搅拌作用,可以填充到水泥或其他掺合料的间隙中去,并且具有很高的活性,在各种掺合料中对混凝土的增强作用最为显著,是国际上制备超高强混凝土最通用的掺合料。但是,硅粉的水化作用快,不能降低混凝土水化热,需水量也稍大,且极易飞扬,给运输、拌合等操作带来许多不便,价格又较高。出于经济方面的考虑,一般混凝土强度等级低于C80时,都不考虑掺用硅粉。

2 试验结果及讨论

本试验目的是通过合理选择原材料,配制较经济的C70、C80混凝土。

2.1 试验用原材料

试验用原材料为强度等级42.5硅酸盐水泥,粒径5~20 mm石灰石碎石,级配合理,压碎指标为12.5%,细骨料为河砂,细度模数2.85,减水剂为NNO型萘系高效减水剂(与所用水泥有良好的相容性),矿物掺合料为Ⅰ级粉煤灰和比表面积为4 000 cm²/g的磨细矿渣。

2.2 配合比确定原则

试验配合比按下述原则确定:为增强混凝土体积的稳定性,胶凝材料总量不超过600 kg/m³,其中固定水泥用量为450 kg/m³;预选砂率为35%及假设混凝土拌合物的干密度为2 500 kg/m³;通过调节水胶比和减水剂用量来控制拌合物的坍落度为180~200 mm。

2.3 试验结果

试验结果如表1所示。从试验结果可看出,采用水泥、粉煤灰和矿渣三元胶凝材料体系(表1中3号)及水泥和矿渣二元胶凝材料体系(表1中4号),可以配制C70、C80高性能混凝土。

在低水胶比的条件下,水泥和矿物

表 1 混凝土配合比及强度

试验 编号	配合比/(kg/m ³)					水胶比	坍落度/ mm	28 d 抗压强 度/MPa
	水泥 *	粉煤灰	矿渣	减水剂	砂率/%			
1	450	-	-	6.7	35	0.36	180	60.1
2	450	135	-	6.7	35	0.27	205	72.7
3	450	45	90	6.7	35	0.27	195	85.5
4	450	-	135	6.7	35	0.27	190	91.5

注: *为湖南湘乡水泥厂生产,依据GB 175-99标准,强度符合P42.5水泥要求。

掺合料都不可能充分水化。当掺入矿物掺合料时,胶凝材料总量增加;在保持坍落度不变时,水胶比下降,但是水灰比(水/水泥)基本不变。原先被水泥水化产物填充的空间,掺入矿物掺合料后,由矿物掺合料填充。所以,在低水胶比情况下掺入水化缓慢的一级粉煤灰也能较大幅度地提高混凝土的强度(表1中2号)。矿物掺合料活性增加,除填充作用外,还会产生较强的火山灰反应,会进一步提高混凝土强度(表1中3号和4号)。值得注意的是:矿物掺合料的活性越大(如超细矿渣粉、硅粉等),需水量也越大,价格也大幅度上升。但是,要制备超高强高性能混凝土(大于C80混凝土),一般要掺入超细矿渣粉、硅粉或它们的复合物,同时调整减水剂的种类及掺量,以降低水胶比。

3 结论

目前国内外配制高性能混凝土的技术途径很多。但是,高性能混凝土还是一种地方性材料,使用单位都希望高性能混凝土原材料应该丰富、易得、成本低。本文在分析高性能混凝土对各组成材料的特殊要求的基础上,采用强度等级42.5硅酸盐水泥、石灰石碎石和河砂为粗细骨料,NNO型萘系减水剂,资源丰富的一级粉煤灰和比表面积为 $4000\text{cm}^2/\text{g}$ 的磨细矿渣配制出C70、C80高性能混凝土。

高强高性能混凝土的强度主要通过变化水胶比及选取不同品种的矿物掺合料与用量进行调节。从经济的角度考虑,C80以上的混凝土以掺超细矿渣粉、硅粉及其复合物为主;C70~C80混凝土以掺粉煤灰和磨细矿渣复合掺合料或单独掺磨细矿渣为主;C50~C70混凝土以掺粉煤灰为主。高性能混凝土拌和物的工作性,可通过调节高效减水剂的品种及用量来控制。

参考文献

- 1 吴中伟,廉慧珍.高性能混凝土.北京:中国铁道出版社,1999
- 2 Neville A, Aitcin P C. High Performance Concrete — An Overview. Materials and Structures, 1998, 31(3): 111 ~ 117
- 3 Mehta P K. Advancements in Concrete Technology. Concrete International, 1999, 21(6): 69 ~ 76

微矿粉高性能混凝土的轴拉应力 - 应变关系

钱晓倩 钱匡亮 詹树林

AXIALLY TENSILE STRESS - STRAIN CURVE OF FINE MINERAL POWDER HIGH PERFORMANCE CONCRETE

QIAN Xiaoqian QIAN Kuangliang ZHAN Shulin

微矿粉是一种高火山灰活性的微粉,由水淬高炉渣经磨细而得,其在混凝土中的作用原理与硅粉及其他火山灰相似,主要是微矿粉的填充效应、对硅酸盐水泥的加速水化作用及与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的火山灰反应,即活性 SiO_2 和 Al_2O_3 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水化生成CSH凝胶和水化铝酸钙($\text{C}_4\text{AH}_3 \cdot \text{G}\cdot\text{AH}$)、水化硫铝酸钙($\text{C}_3\text{A}\cdot\text{SH}$)^[1,2]。

大量研究结果表明,微矿粉能显著改善混凝土的和易性,提高混凝土的保水性^[3],提高混凝土的强度,尤其是长期强度,并通过绝热温升试验证明能大大降低混凝土的水化热,减小温差应力^[4]。

R·P·Khatir等就普通混凝土和掺微矿粉、硅灰混凝土的抗渗性进行了对比研究,证明微矿粉能明显改善混凝土的抗渗性^[5]。S·Wild等的研究表明,微矿粉能抑制混凝土的碱骨料反应和提高抗硫酸盐腐蚀能力。近年来,国内外学者还就微矿粉细度与混凝土强度发展规律、微矿粉与硅灰和粉煤灰的不同作用效果、复合使用效果等开展了广泛的研究。杜庆檐对超细矿渣的活性与细度的关系进行了研究,提出了基于细度的活性指数关系式和强度公式。

目前国内对微矿粉混凝土的轴拉应力 - 应变关系及抗压比等性能的研究尚未见详细报道,本文主要研究掺50%微矿粉混凝土的轴拉应力 - 应变关系及拉、压强度关系,并简要介绍混凝土和易性的改善效果。

1 原材料

普通硅酸盐水泥强度等级42.5,实测28d抗压强度47.5MPa,比表面积350
钱晓倩,1962年3月生,浙江嵊州人,浙江大学土木系,副教授,310027,杭州
收稿日期:2001-09-01

m^2/kg 。微矿粉产自上海宝钢,比表面积 $630\text{m}^2/\text{kg}$,平均粒径 $4.73\mu\text{m}$ 。细骨料采用河砂,细度模数2.3。粗骨料为石灰石质碎石,最大粒径20mm。外加剂采用兆深建筑化工(深圳)有限公司提供的高效减水剂KFDN,合理掺量0.8%~1.2%。考虑到泵送和高温季节施工的需要,配合比中均掺入0.25%的缓凝剂D-17。配合比见表1。

表1 混凝土配合比 kg/m^3

编号	水泥	砂	石	水	微矿粉	KFDN	D-17
基准SG00	400	740	1100	172	—	4.00	1.0
微矿粉SG50	200	740	1100	172	200	4.00	1.0

注:水胶比 $W/B=0.43$;砂率 $S_p=40\%$ 。

2 试验方法

轴拉试件尺寸为长 \times 宽 \times 厚=300mm \times 100mm \times 20mm的薄板,试件两端分别粘贴两块钢板并通过球铰连接到试验机上。试件两侧分别安装两只长120mm的线性位移传感器(LVDT),接入MIS伺服式万能试验机的数字控制器,以其平均位移值作为反馈信号,控制等应变加载速率为 $0.003\text{mm}/\text{min}$ 。所有荷载和变形数据以每秒钟1次的采样频率自动记录。试验装置见示意图1。抗压强度试验采用 $\varnothing 100\times 200\text{mm}$ 的圆柱体。

3 试验结果与分析讨论

3.1 混凝土的和易性

当KFDN的掺量均为1%时,基准混凝土的坍落度为220mm;而掺50%SG混凝土的坍落度增加到240mm。说明微矿粉的掺入,使混凝土的坍落度略有提高。

混凝土的泌水率试验参照美国材料与试验学会ASTM C 940 - 89进行,采用 $\varnothing 100\times 200\text{mm}$ 试样筒,内置高度