

特细砂高强混凝土的微观结构测试与研究

⑫
78-81/97

雷映平 陈惟时
(重庆建筑大学材料科学与工程系 630045)

TU528.31

摘要 本文对用细度模数为0.56的特细砂配制28天抗压强度达80MPa,抗渗透压大于4.0MPa,收缩徐变小的高强混凝土进行了孔隙结构、水化产物、水泥石与骨料界面过渡区显微硬度测试和研究。

关键词 特细砂, 高强混凝土, 孔隙结构, 孔隙率, 孔径分布, 界面过渡区
中图分类号 TU528.31 混凝土

现代材料科学的核心是结构与性能之间的关系。材料的内部结构,尤其是材料的内部微观结构,决定着材料的各种性能。水泥混凝土是由水泥作为粘结材料和骨料复合的堆聚体,其内部结构对力学性能和材料的耐久性能影响较大的可归结为两个方面:1.水泥石的组成和密实程度。2.水泥石与骨料界面过渡区的粘结强度。本研究利用压汞法测孔仪、矿物显微硬度仪、X射线衍射仪等现代微观测试设备,对特细砂高强混凝土的水化产物、孔隙结构、水泥石与骨料界面过渡区的显微硬度进行了测试和分析。

1 原材料

- 水泥 —— 重庆水泥厂 525# 矿渣水泥。
- 砂 —— 重庆长江特细砂,细度模数 0.56。
- 石 —— 重庆歌乐山石灰石碎石,最大粒径 15mm。
- 石屑 —— 5 mm 以下的石灰石屑。
- 外加剂 —— 高效复合减水剂。
- 水 —— 饮用水。

2 试验结果与分析

2.1 孔隙结构测试与分析

水泥混凝土由其固有特性属多孔体材料。孔隙结构决定着混凝土的物理力学性能和耐久性能。国内外众多学者对混凝土孔隙结构的研究得出:混凝土的强度随总孔隙率的增加而下降;但孔隙率并不是影响混凝土强度的唯一因素,在很多情况下孔径分布影响更为重要。Mehta 通过对混凝土孔隙的研究,按孔隙的孔径分为四类: $< 45\text{\AA}$ 、 $45\sim 500\text{\AA}$ 、 $500\sim 1000\text{\AA}$ 、

收稿日期:1996-01-09

雷映平,男,1958年生,讲师

>1000Å。并认为只有 1000Å 以上的孔隙才对混凝土强度和抗渗性有害。

2.1.1 孔隙率和孔径分布

表 1 是特细砂高强混凝土的孔隙率和孔径分布测试结果。

表 1 特细砂高强混凝土孔隙结构

组别	孔隙率		孔径分布 (%)				抗压强度 (MPa)	弯曲强度 (MPa)
	ml/g	%	(4~1)10 ⁴ (Å)	10 ³ ~10 ³ (Å)	10 ² ~10 ² (Å)	10 ¹ ~37 (Å)		
A	0.01085	2.7	6.5	14.1	58.2	21.0	91.3	9.87
B	0.01214	3.0	7.3	14.7	59.9	16.9	91.0	9.04
C	0.01320	3.3	8.5	14.6	60.6	16.2	90.6	9.74
D	0.02440	5.4	10.8	18.0	53.4	17.4	83.7	8.73
E	0.02035	5.1	14.8	16.5	55.4	13.1	84.9	8.84

从表 1 中可知特细砂高强混凝土的总孔隙率是很小的，仅占 2.7~5.4% (通常普通混凝土总孔隙率不少于 8~10%)，小于 1000Å 的孔隙占隙的 68% 以上。

由测试结果可得出特细砂高强混凝土具有孔隙体积小，孔径分布好，有害孔隙少，是它强度高的重要原因之一。

2.1.2 混凝土龄期孔隙率和孔径分布

图 1 和图 2 是 A 组 28 d 和 340 d 的孔径分布微分曲线。

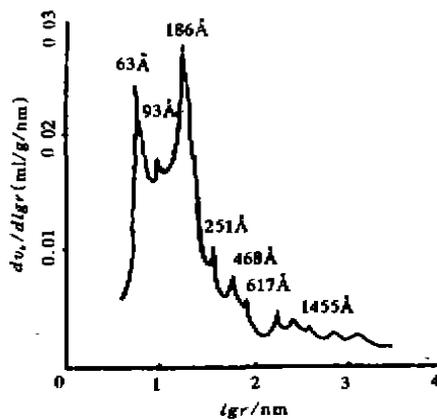


图 1 A 组 28 d 龄期孔径分布

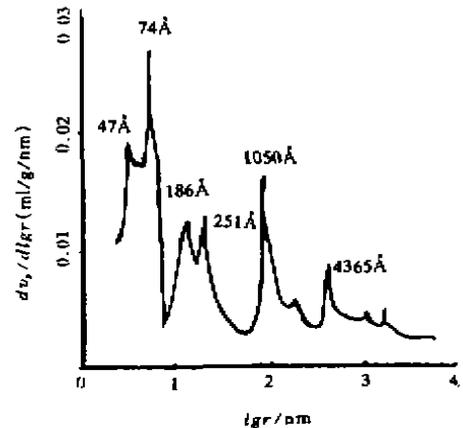


图 2 A 组 340d 龄期孔径分布

微分曲线与横轴包纳的面积表示总的孔隙体积。在一定孔径范围内，曲线峰值越高意味着该区间内孔隙总体积越大，微分曲线上与峰值相对应的孔径称为最可几孔径。

从图 1 和图 2 可以看出随着混凝土龄期的增加，相应的孔径分布曲线与横轴包纳的面积

在缩小, 峰值也在不断降低, 表明随着混凝土龄期增加总孔隙体积减小。最可几孔径由 186\AA 减小为 74\AA , 表明混凝土随着龄期增加孔隙尺寸减小, 孔径得到优化, 混凝土强度随着龄期的增加不断增长。混凝土各龄期抗压强度测试结果列于表 2。

2.2 骨料与水泥石界面过渡区的显微硬度测试

与分析

当水泥用量, 水灰比和水化硬化龄期相同时, 水泥砂浆比相应的混凝土强度高; 同样, 当粗骨料尺寸增大时, 混凝土强度就会下降。这表明粗骨料与水泥石之间存在过渡区。在水化水泥浆体中, 水化产物与骨料的粘结主要由范德华力所产生。因此, 在水泥石与骨料界面过渡区任何点的强度取决于其孔隙体积和孔隙大小。在早期过渡区内的孔隙体积和孔径比水泥石大, 因而显示出过渡区强度较基体强度低。但是, 随着龄期的增长, 过渡区的强度可以等于甚至大于基体的强度^[1]。图 3 是同条件石灰石骨料和卵石骨料混凝土界面显微硬度测试曲线。石灰石骨料显微硬度值为 1450 MPa ; 卵石骨料显微硬度值为 8100 MPa 。石灰石与水泥浆体界面的谷区显微硬度值为 450 MPa , 与水泥浆体的显微硬度相当。卵石与水泥浆体界面谷区显微硬度值为 250 MPa , 仅为石灰石骨料的 56% 。而骨料相与基相的显微硬度差值为卵石骨料 $8100 - 250 = 7850\text{ MPa}$, 石灰石骨料为 $1450 - 450 = 1000\text{ MPa}$, 仅为前者的 13% 。石灰石骨料与水泥石界面过渡区强度高、界面过渡区结构变化梯度小。这主要是水泥浆体组分和石灰石骨料间缓慢化学反应所致。在过渡区孔隙中形成有水化碳铝酸盐结晶体。同时还降低了过渡区中氢氧化钙的含量^[2], 提高了混凝土的强度和耐久性能。

2.3 X 射线衍射定性分析

固相水化产物和数量等是影响混凝土性能的又一重要因素。图 4、图 5 分别是掺有 15% 的石屑水泥浆 (n 组) 和未掺石屑水泥净浆 (m 组) 的 3 d 和 7 d 龄期 X 射线衍射图。n 组试样在水化早期 (3 d 和 7 d) 即生成了四元化合物晶体 $\text{C}_4\text{AH}_{11} \cdot \frac{1}{2}\text{CO}_2$ 和水化低碳铝酸钙 $\text{C}_3\text{A} \cdot \bar{\text{C}} \cdot 11\text{H}_2\text{O}$, 其特征峰分别为 8.20 \AA 和 7.57 \AA 。在 m 组试样中没有这两种化合物产生, 3 d 龄期出现的 C_4AH_9 (10.70 \AA) 和 $\beta\text{-C}_4\text{AH}_3$ (7.90 \AA)、 7 d 时两峰消失, 只有 $\text{C}_3\text{A} \cdot \bar{\text{C}} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (8.90 \AA) 存在。在水化早期 (3 d), n 组试样的 $\text{C}_3\text{A} \cdot \bar{\text{C}} \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ 晶体和钙矾石的数量均高于 m 组, 前者为 7.57 \AA 和 4.90 \AA 的特征峰分别为后者的 1.37 倍和 1.74 倍。表明在特细砂配制混凝土时掺入粒径小于 5 mm 的石灰石石屑不仅可改善骨料的级配, 对于水泥水化生成物的

表 2 混凝土各龄期抗压强度 (MPa)

组别	龄期			
	3 d	7 d	28 d	1 a
A	55.0	78.4	91.3	101.0
B	53.2	77.9	91.0	100.0
C	52.0	76.7	90.6	98.4
D	49.3	74.2	83.7	91.2
E	52.5	69.0	84.9	—

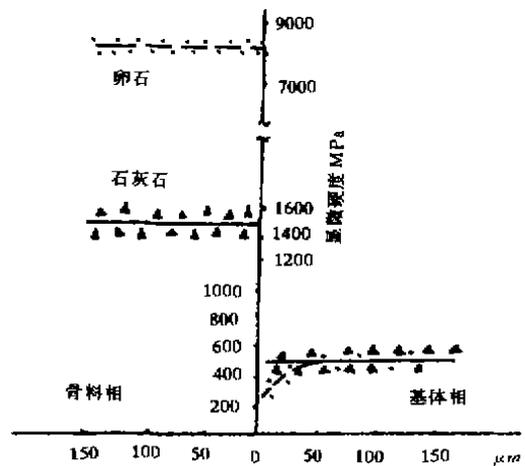


图 3 骨料与水泥石界面显微硬度

组成和水化速度都是十分有利的,有助于混凝土强度发展。

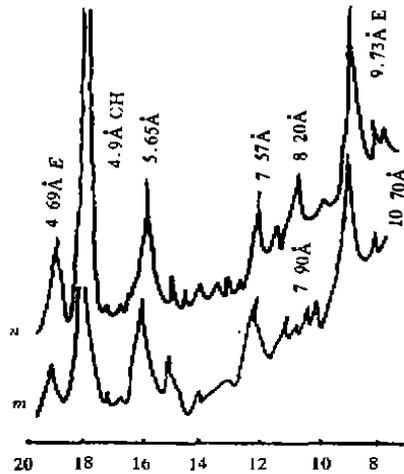


图 4 3 d 龄期 X 射线衍射图

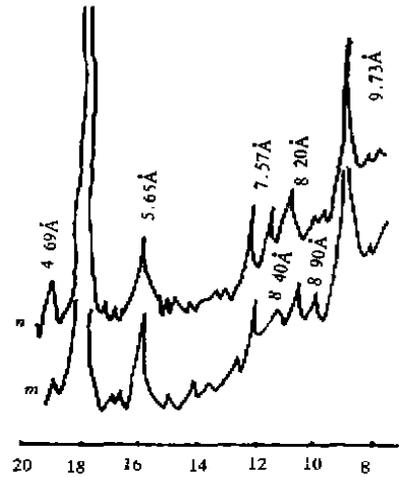


图 5 7 d 龄期 X 射线衍射图

3 结 论

特细砂在配制混凝土时,掺入一部分 5 mm 以下的石灰石碎屑,可改善骨料级配,减小混凝土中孔隙率,优化孔径分布;石灰石在水泥浆中的微活性作用,使得水泥石与骨料界面过渡区的结构得到了很大的改善,界面表面定向排列的板状 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 晶体减少,而代之纤维状的 C-S-H 凝胶和稳定的 $\text{C}_3\text{A}\bar{\text{C}} \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ 晶体,提高了界面过渡区的强度。从被压坏的混凝土断面看,其破坏都贯穿骨料,很少界面剥离。骨料的微活性作用还在于促进水泥水化和新的水化产物的产生。减少了水泥石中易溶、强度低的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 组分的相对含量,从而使得该混凝土具有很高的物理力学性能和耐久性能。

参 考 文 献

- 1 祝永年等译,混凝土的结构、性能与材料,上海:同济大学出版社,1991
- 2 黄上元等译,混凝土科学,北京:中国建工出版社,1986

(编辑:袁江)

(下转 97 页)

The Harmony of Cap - tassels Graph $M(2m + 1, t, G)$

Zhou Yuqin

(Dept. of Natural Science, Chongqing Jianzhu University)

Abstract This paper proposed a concept of cap - tassels graph and illustrated that $M(2m + 1, t, G)$ is harmonious when $n = 2m + 1$ and G is strong harmonious.

Key Words harmonious graph, strong harmonious graph, sieve graph, cap - tassels graph

(上接 81 页)

Experiment And Study On Microstructure of Superfine - sand High Strength Concretes

Lei Yingping

(Dept. of Materials Science and Engineering, CJU)

Abstract A high strength concrete with 28 day strength up to 80 MPa from superfine sand with fineness modulus of 0.56 is obtained. It has a permeability resistance of 4.0 MPa and small shrinkage creep. Experiment and study were carried out on its pore structure, hydration products and micro-hardness of transient area in cement paste and aggregate interface. The essence for high strength of such concrete was revealed.

Key Words superfine sand, high strength concrete, pore structure, porosity, pore size distribution, transient zone of interface