文章编号:1001-5485(2009)03-0036-04

水泥－粉煤灰－矿渣粉三元胶凝体系体积稳定性的研究

杨华全,周世华,董 芸,肖开涛
(长江科学院 水利部水工程安全与病害防治工程技术研究中心,武汉 430010)

摘要:研究了不同胶凝材料体系水泥浆体的体积收缩变形特性。试验结果表明:水泥品种与细度是影响硬化浆体体积稳定性的主要因素,水泥细度越大,硬化浆体的体积稳定性越差,低热(高贝利特)硅酸盐水泥浆体的体积稳定性优于中热硅酸盐水泥;矿物掺和料的掺入使得胶凝材料的体积稳定性变得复杂,优质的矿物掺和料能够降低硬化浆体的收缩;水泥－粉煤灰二元胶凝体系的体积稳定性优于水泥－粉煤灰－矿渣粉三元胶凝体系。

关 键 词:体积稳定性; 胶凝体系; 水泥; 粉煤灰; 矿渣粉
中图分类号:TU528 **文献标识码**:A

体积变形性能是研究混凝土,特别是大体积混凝土抗裂耐久性的基础。混凝土是由水泥、砂石骨料、矿物掺和料及各种化学外加剂组成的多相复合材料,其中胶凝材料是水泥混凝土的核心组分,其性能的波动对混凝土性能的影响极大。

为满足建筑物强度设计要求和加快施工进度,与过去水泥相比,现代水泥的细度大大增加了,而这也引发了一些很严重的后果,如后期强度倒缩[1]、耐久性不足、早期热裂缝等问题。在众多影响混凝土结构物开裂的原因中,有不少学者[2~4]认为高C_3S、高C_3A和高比表面积的水泥给混凝土抗裂性、耐久性带来了危害。我国现行标准均对水泥细度和强度的下限作了规定,而没有对上限作出要求。基于当前国际水泥产品的现状,P. C. AItcin[5]认为在将来,水泥必须有更加严格的控制标准。

现代混凝土的材料组成变化较大,特别是各种矿物掺和料的引入,使得混凝土的性能有了很大改变。粉煤灰、矿渣粉取代水泥,不仅降低了胶凝材料的水化热,而且对力学性能、变形性能、热学性能等均产生显著影响。本文主要研究了不同胶凝体系水泥浆体化学收缩、干燥收缩和温度变形的发展情况。

1 试验及试验方法

1.1 原材料

比表面积分别为275,338,369 m^2/kg中热硅酸盐水泥,比表面积分别为345,391 m^2/kg低热硅酸盐水泥,化学成分见表1,主要物理力学性能见表2;试验采用ISO标准砂;拌和水采用自来水。

1.2 试验方法

水泥浆体化学收缩到目前还没有形成完善统一的测试方法。本试验的测试方法是根据日本混凝土

表1 原材料化学成分的分析结果

Table 1 Chemical compositions of raw materials represented by percentage %

样品名称	Loss	SO_3	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	R_2O
中热硅酸盐水泥	0.90	1.63	20.16	5.30	5.09	60.77	4.23	0.65	0.10	0.53
低热硅酸盐水泥	0.90	2.58	21.81	5.28	4.65	58.07	4.57	0.55	0.15	0.51
Ⅰ级粉煤灰	4.09	0.87	51.58	4.57	31.62	4.46	1.26	2.00	0.75	2.07
S95矿渣粉	–	0.39	26.63	6.57	12.25	40.62	8.52	0.50	0.50	0.83

表2 水泥的主要物理力学性能

Table 2 Physical and mechanical properties of moderate heat cement

水泥品种	简写	比表面积/($m^2\cdot kg^{-1}$)	凝结时间		抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
			初凝(h: min)	终凝(h: min)	3 d	28 d	3 d	28 d
中热硅酸盐水泥	M1	275	3:30	4:51	17.3	36.2	3.49	6.19
中热硅酸盐水泥	M2	338	3:10	4:24	19.5	51.1	3.66	7.36
中热硅酸盐水泥	M3	369	3:04	4:17	22.9	50.9	4.38	7.29
低热硅酸盐水泥	L1	345	3:38	5:55	10.2	41.0	2.39	7.03
低热硅酸盐水泥	L2	391	3:46	5:16	11.4	47.4	2.80	7.36

收稿日期:2008-05-16
基金项目:国家自然基金重点项目(50539010)及948项目(200606)
作者简介:杨华全(1960-),男,新疆沙湾人,教授级高级工程师,主要从事水工混凝土研究与应用,(电话)027-82829750(电子信箱)yanghq@mail.crsri.cn。

协会 Ei-ichi Tazawa 所介绍的方法进行改进而成，试验装置如图 1 所示。在水泥砂浆干缩、线膨胀系数试验中，砂浆水灰比为0.41，灰砂比为0.5，水泥净浆线膨胀系数试验的水灰比为0.35。线膨胀系数的试验方法参考 SL 352－2006《水工混凝土试验规程》中相关方法进行，干缩试验方法按照 JC/T 603－2004《水泥胶砂干缩试验方法》进行。

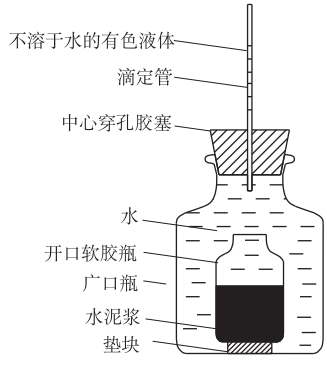


图 1　化学收缩测试装置示意图

Fig. 1　Equipment of measuring chemical shrinkage

2　试验结果及分析

2.1　化学收缩

水泥浆体与混凝土的自收缩被定义为恒温绝湿条件下由于胶凝材料的继续水化引起自干燥而造成的混凝土宏观体积的减少；而化学收缩是指在水泥水化的过程中，水化产物的绝对体积同水化前水泥和水的绝对体积之和相比有所减少的现象，可见自收缩取决于化学收缩，化学收缩值越高，自收缩越大。不同胶凝体系化学收缩随龄期的发展情况如图 2 所示。

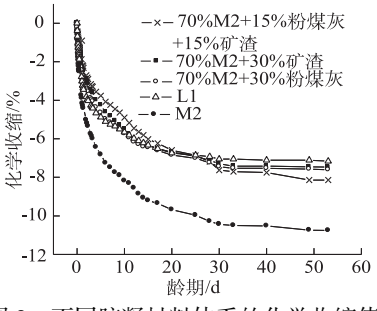


图 2　不同胶凝材料体系的化学收缩值

Fig. 2　The chemical shrinkage values of several blending materials

从图 2 可见，在水化 3 d 龄期以前，体系化学收缩的速率相当快，随后收缩速率逐渐降低，到 28 d 龄期时已接近稳定，这与水泥的水化进程相一致；粉煤灰与矿渣粉的掺入，对体系 1 d 龄期内的化学收缩值影响不大，到水化后期，粉煤灰与矿渣粉则显著降低了体系的化学收缩值。与水泥相比，粉煤灰和矿渣粉的水化活性是很低的。这使得掺粉煤灰或矿渣粉胶凝体系的化学收缩值明显低于纯水泥体系的化学收缩值。但在水化早期，特别是 1 d 龄期前，粉煤灰或矿渣粉的掺入虽然降低了体系中水泥的含量，但由于粉煤灰或矿渣粉的“滚珠效应”与“颗粒效应”，水泥颗粒更加分散，与水接触得更充分，使得早期的化学收缩值相差不大。

与中热硅酸盐水泥相比，低热硅酸盐水泥的化学收缩值较低，且收缩速率较慢，这是因为两种水泥矿物组成有差别。此外，试验研究发现水泥细度对体系化学收缩的速率影响较大，但对水化 28 d 后的化学收缩值影响较小，水泥比表面积越大，水化越迅速，化学收缩发生得越快。

2.2　干燥收缩

不同细度水泥砂浆的干缩随龄期的变化情况如图 3 所示。由图 3 可见，干缩的速度随龄期的增长而迅速地减慢，根据试验结果分析，砂浆干缩率与龄期关系可用下列表达式来描述：

$$\varepsilon_{sh}(t) = \frac{t - t_0}{a + (t - t_0)}\varepsilon_{u}。\qquad (1)$$

式中：t_0 为试件干缩的初始龄期(d)；ε_u 为最终干缩率；a 为试验常数，$a + t_0$ 表示干缩率达到最终干缩率一半时的龄期(d)。

从图 3 可以看出：①随着水泥细度的增加，水泥水化越快，水泥砂浆的干燥收缩速率加快，且最终干燥收缩值也越大；②在水泥细度相差不大的情况下，如图 3 中的 M2 与 L1 试样，低热硅酸盐水泥砂浆的干燥收缩速率与最终干燥收缩值均低于中热硅酸盐水泥砂浆的测试值，显然这与水泥的矿物组成有关。

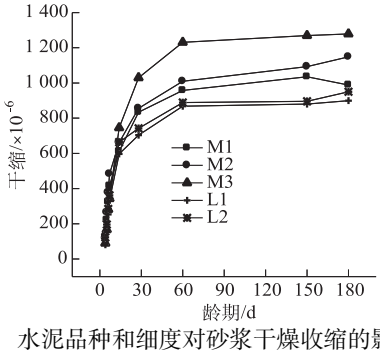


图 3　水泥品种和细度对砂浆干燥收缩的影响

Fig. 3　Influence of cement type and fineness on dry shrinkage rate

图 4 给出了粉煤灰与矿渣粉对水泥砂浆干燥收缩的影响情况。由图 4 可见，矿物掺和料的掺入降低了水泥砂浆的干燥收缩率；在掺量相同的情况下，掺粉煤灰水泥砂浆与掺矿渣粉水泥砂浆的干燥收缩过程线相差不大；当粉煤灰掺量在 20%～40%范围内时，掺粉煤灰水泥砂浆的干燥收缩率差别不大。

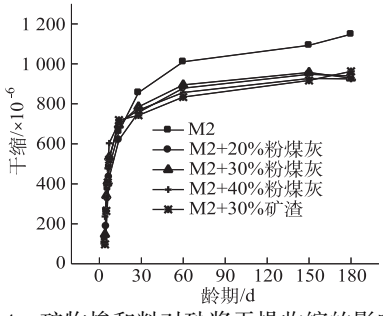


图 4 矿物掺和料对砂浆干燥收缩的影响

Fig. 4 Influence of mineral admixture on dry shrinkage rate

2.3 温度变形

在常温下硬化的水泥石,通常是由未水化的水泥熟料颗粒、水化产物、水和少量的空气,以及由水和空气占有的孔隙网所组成。空气和水的膨胀系数远大于水泥水化产物和未水化水泥熟料颗粒。随着水泥水化的进行,水不断被消耗,水化产物逐渐填充在孔隙内,硬化水泥浆体孔隙率越来越低,结构也越来越密实。所以随着水泥水化的进行,水泥浆体的线膨胀系数逐渐降低,如图 5 所示。

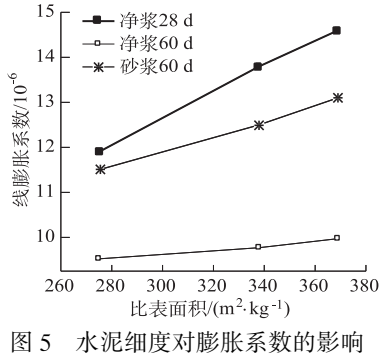


图 5 水泥细度对膨胀系数的影响

Fig. 5 Influence of cement fineness on TDC

在图 5 中可以看出,随着水泥细度增大,浆体线膨胀系数也随之增大,几乎呈线性增长趋势。就 28 d 龄期而言,随水泥细度改变,净浆浆体线膨胀系数变化显著;当试件从 28 d 龄期养护至 60 d 龄期时,浆体线膨胀系数相应减小,且线膨胀系数随水泥细度的变化关系也趋于平缓。

矿物掺和料对水泥浆体线膨胀系数的影响趋势如图 6 所示。从图 6 可以看出:①粉煤灰的掺入降低了水泥浆体的线膨胀系数,且随掺量增大,浆体线膨胀系数越低;②矿渣粉对水泥浆体的线膨胀系数影响较小,当掺量为 30% 时,水泥浆体线膨胀系数仅增加了 1 个微应变量;③水泥浆体的线膨胀系数与龄期有关,随龄期增加,线膨胀系数降低。

在混凝土温控防裂设计中,混凝土线膨胀系数是一个重要热学参数。根据混合律,混凝土的线膨胀系数可近似用水泥石和集料的线膨胀系数的加权平均值表示。值得注意的是,集料线膨胀系数是不受养护龄期影响的,然而从前面试验结果可知,水泥石的线膨胀系数随水化龄期的延长而降低。这表明混凝土线膨胀系数是一个随龄期而变化的量,且呈递减趋势。

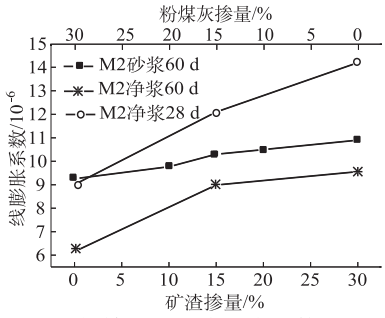


图 6 矿物掺和料对线膨胀系数的影响

Fig. 6 Influence of mineral admixture on TDC

3 结 语

(1) 水泥细度对水泥浆体的体积稳定性影响很大;细度越细,浆体收缩发生得越快,使得浆体化学收缩和干燥收缩也越大,且浆体线膨胀系数几乎呈线性增长趋势。

(2) 掺入粉煤灰对提高胶凝材料体系稳定性有利,不仅降低了浆体的化学收缩和砂浆的干缩率,而且降低了浆体的线膨胀系数。矿渣粉虽然降低了浆体的化学收缩和砂浆的干缩率,但对浆体的线膨胀系数影响不大。

(3) 与水泥 - 粉煤灰 - 矿渣粉三元胶凝体系相比,水泥 - 粉煤灰二元胶凝体系的体积稳定性较好。

(4) 与中热硅酸盐水泥相比,低热硅酸盐水泥的化学收缩与干缩率相对较低。

参考文献:

[1] BURROWS R W. The Visible and Invisible Cracking of Concrete[M]. Michigan: ACI, Farmington Hills, 1999.

[2] MEHTA P K, BURROWS R W. Building Durable Structures in the 21st Century[J]. The Indian Concrete Journal, 2001,(3): 437 - 443.

[3] BURROWS R W, KEPLER W F, HURCOMB D, *et al*. Three Simple Tests for Selecting Low-crack Cement [J]. Cement & Concrete Composites, 2004,(26): 509 - 519.

[4] NEVILLE A. Why We Have Concrete Durability Problems[R]. California: ACI, 1987.

[5] AITCIN P C. Cements of Yesterday and Today. Concrete of Tomorrow[J]. Cement and Concrete Research, 2000,(30):1349 - 1359.

(编辑:刘运飞)

Influence of Cementitious Materials on Volume Stability of Concrete

YANG Hua-quan, ZHOU Shi-hua, DONG Yun, XIAO Kai-tao
(Changjiang River Scientific Research Institute, Center on Water Engineering Safety and Disaster Prevention of the Ministry of Water Resources, Wuhan 430010, China)

Abstract: The volume shrinkage of different cementitious materials was investigated. The results indicates the type and fineness of cement have significant effect on the volume stability of concrete, namely, the concrete with higher fineness cement has worse volume stability, and the low-heat Portland cement has better volume stability than the mid-heat Portland cement. But the mixing of mineral admixtures makes the volume stability of cementitious materials become complex. The mineral admixtures of high quality can reduce the shrinkage of hardened cement paste, and the duality system of cement-fly ash is more suitable to produce concrete of good volume stability than ternary system of cement-fly ash-slag powder.

Key words: volume stability; gelation system; cement; fly ash; mineral admixture

(上接第 23 页)

参考文献:

[1] 瓯江志编纂委员会. 瓯江志[G]. 北京:水利电力出版社,1995:45－71.
[2] 李孟国, 王正林. 温州浅滩围涂工程的可行性研究[J]. 中国港湾建设,2001,(10):30－33.
[3] 陆永军,李治麟,董　壮,等. 强潮河口围海工程对水动力环境的影响[J]. 海洋工程,2002,(4):17－25.

(编辑:曾小汉)

Influence of Closure Project of South Branch of Lingkun in Oujiang River on Hydrodynamic Force, Channel and Harbor

ZHANG Shu-yu, NI Yong-qiang
(Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou 310020, China)

Abstract: The closure project of the south branch of Lingkun in Oujiang River can bring out comprehensive benefits such as solving land demand, providing city development space, alleviating water resources shortage, shortening the length of sea embankment and improving the flood drainage condition in the east of Longwan area. Thus the closure project has been concerned by both government and people of Wenzhou since 1970s. On the basis of 2－D numerical simulation, this paper studies the influence on high water level, velocity, channel and harbor from Longwan to estuary mouth. The research result shows as follows: The south branch of Lingkun is in the state of siltation since 1960s. High water level during storm period would be increased by 0.03～0.05 m, velocity of Longwan harbor and channel decreased by 5%～10%, velocity of north branch and estuary mouth increased by 8%～14% during spring tide and 10%～25% during flood time. The velocity of channel outside would be increased by 0.08 m/s. It provides scientific basis for comprehensive development of Oujiang River estuary.

Key words: Oujiang River; south branch of Lingkun; closure project; mathematical model