

大坝混凝土早期热膨胀系数试验研究

钱文勋^{1,2}, 张燕迟^{1,2}

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 水利部水工新材料工程技术研究中心, 江苏 南京 210029)

摘要: 热膨胀系数是大坝混凝土热学、体积稳定性的重要表征参数,但在混凝土硬化初期常被忽视,目前测定混凝土早期热膨胀系数的方法尚无统一规定. 采用非接触位移传感器结合循环式恒温水浴装置,通过小幅升温的方式实现了原位连续测试混凝土早期热膨胀系数;试验测试了不同配比的大坝混凝土早期热膨胀系数. 结果显示,大坝混凝土在硬化后 72 h 内热膨胀系数变化显著,随后至 7 d 相对稳定,7 d 的测值与标准方法测得混凝土 90 d 龄期的热膨胀系数基本一致.

关键词: 大坝混凝土; 早期; 热膨胀系数; 非接触位移传感器

中图分类号: TV431: TU528. 01

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2010)03-0071-04

热膨胀系数(thermal expansion coefficient,简称 TEC)是混凝土的主要热物理特性参数之一,也是其体积稳定性的重要表征参数. 由胶凝材料水化热引起的温差变形是大坝等大体积混凝土开裂的主要原因. 除采取降低胶凝材料水化热外,控制大坝混凝土的热膨胀系数也是目前温控设计的重点. 大坝混凝土热膨胀系数一般采用线膨胀系数表征,《水工混凝土试验规程》要求被测试件至少养护 7 d^[1-2],同时允许采用测试完混凝土自身体积变形的试件进行试验,所以往往测得的是混凝土中后期的热膨胀系数,而混凝土在硬化初期的热膨胀系数却被忽视了. 现有研究表明混凝土热膨胀系数随龄期而变化,早期变化较大,尤其是在混凝土硬化初期^[3-5],而后期相对较为稳定,图 1 为 D. Cusson 等的实测结果^[3].

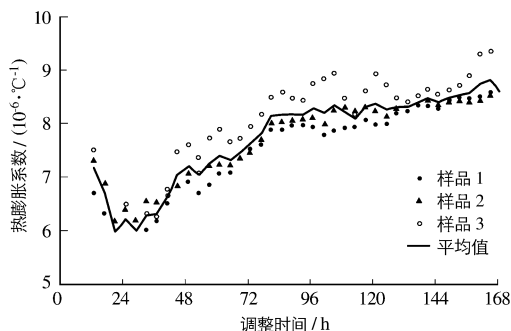


图 1 混凝土早期热膨胀系数

Fig. 1 Variation of TEC of concrete at early age

目前,水泥基材料早期热膨胀性能测定方法多且尚无统一规定^[6],主要包括静水力学称重法(体积法)^[7-8]、接触式位移测长法^[9-11]和温度应力试验机法^[12],这些方法各有利弊. 常规测试混凝土热膨胀系数需对试件通过外加加热方法大幅升温(如《水工混凝土试验规范》要求升温幅度为 40℃左右),这将明显影响混凝土早期水化,使得测试结果与水化龄期有偏差;且 1 组试件往往只能测试某一龄期的热膨胀系数,难以实现连续测试同组试件不同龄期的热膨胀系数.

考虑到大坝混凝土一般采用较大尺寸的骨料,需要大尺寸的试件,使得静水力学称重法受到一定限制;同时由于早期大坝混凝土强度较低,采用常规接触式测长法难以保证结果的准确性;温度应力试验机目前应用于大坝混凝土早期热膨胀系数测定的研究也较少;所以急需一种适用于大坝混凝土的测试方法. 高精度激光位移传感器技术的发展,使得原位非接触测试位移成为可能,同时,试验无需大幅升温即可采集到精确的位移变化. 本文采用激光位移传感器设计非接触原位位移测试装置,开展大坝混凝土硬化初期的热膨胀系数

收稿日期: 2009-10-15

基金项目: 国家自然科学基金委员会、二滩水电开发有限责任公司雅砻江水电开发联合研究基金资助项目(50539040);
水利部公益性行业科研专项经费资助项目(200701014)

作者简介: 钱文勋(1977-),男,江苏无锡人,工程师,硕士,主要从事水工新材料研究与应用. E-mail: wxqian@nhri.cn

的试验研究,并将试验结果与采用标准试验方法的结果进行比较.

1 试验装置及大坝混凝土配合比

1.1 试验装置

试验采用 Omron 非接触式激光位移传感器和循环式恒温水浴组合成的非接触式原位位移测试系统(图 2),传感器采用钢支架独立固定于地面,恒温水浴直接固定于混凝土基座;温度控制精度 0.2°C ,位移传感器精度 $1\text{ }\mu\text{m}$. 混凝土经搅拌后直接装入底部垫聚四氟乙烯板的高 300 mm , $\Phi 150\text{ mm}$ 圆柱体马口铁桶,混凝土顶部置入金属测试端头,然后立即放入恒温水浴中养护. 由于位移传感器较高的精度,即使小幅温升仍可采集到试件的位移变化,最大程度减少了温升对试件正常水化的影响.

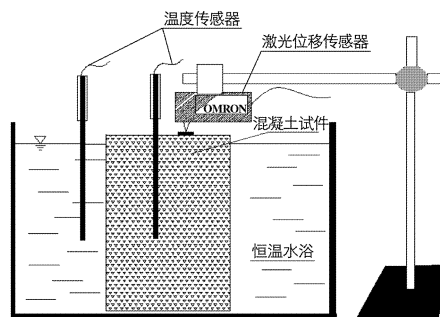


图 2 非接触原位位移测试系统

Fig. 2 In-situ non-contact displacement measuring system

1.2 大坝混凝土配合比

选择典型的拱坝全级配常态混凝土和面板堆石坝二级配常态混凝土 2 种混凝土配合比. 拱坝常态混凝土所用粗、细骨料为砂岩,面板堆石坝常态混凝土所用粗、细骨料为花岗岩,配合比见表 1. 拱坝全级配混凝土经湿筛后装入马口铁桶.

表 1 大坝混凝土组成

Tab. 1 Mixture proportions of dam concrete

组 别	水	胶凝材料		砂	小石	中石	大石	特大石	外加剂
		水	泥						
ST40(拱坝常态)	84	147	63	520	376	444	411	411	1.26
TH38(面板坝常态)	123	249	83	649	538	807	—	—	2.00

1.3 测试方法

试验时测试大坝混凝土的终凝时间,并以此作为早期热膨胀系数的测试起点. 马口铁桶中新拌混凝土顶端采用 PVC 薄膜覆盖,预埋表面光滑的金属测试端头(铁质),测试过程中应避免水汽在端头凝结,影响激光位移传感器的测试稳定性. 经试验调试,测试装置稳定性良好,恒温条件下位移波动不大于 $1\text{ }\mu\text{m}$.

测试过程采取小幅升温(温升仅为 5°C 左右)、快速循环的温控制度,控制单次测试时间不超过 2 h (典型的升温控制见图 3). 试件在 $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴中养护,稳定一段时间后小幅升温,等混凝土内部温度与水温一致时即为测试终点,随即冷水降温直至起点温度,如此循环.

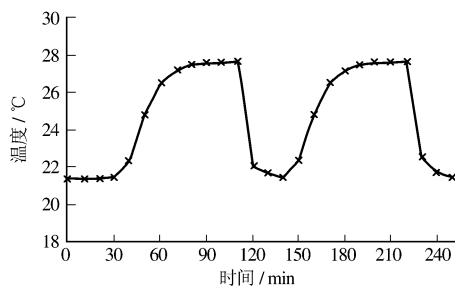


图 3 测试过程的温控

Fig. 3 Temperature control of testing process

2 试验结果分析

2.1 数据处理

非接触式激光位移传感器所测位移变化 δ_{all} 值可简化为试件的热膨胀位移 δ_s 和铁皮桶底部和顶部测试端头的热膨胀位移 δ_o ; 其中位移可根据材料的热膨胀系数 α 、基准长度 L 和测得的温度变化值 ΔT , 按下式计算得出:

$$\delta_{\text{all}} = \delta_s + \delta_o, \quad \delta = L\alpha\Delta T \quad (1)$$

混凝土试件热膨胀系数为:

$$\alpha_s = (\delta_{all} - L_0 \alpha_0 \Delta T) / (L_s \Delta T) \quad (2)$$

式中: L_0 为马口铁桶、测试端头(铁质)总高度; L_s 为混凝土试件基准长度(300 mm); α_0 为铁的热膨胀系数。

2.2 结果分析

采用上述测试装置测得的面板坝常态混凝土和拱坝常态混凝土早期热膨胀系数随龄期变化见图4,图中横坐标为硬化后混凝土的龄期。其中面板坝常态混凝土的热膨胀系数在硬化初期逐步增大,所测龄期内极差为 $1.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 72 ~ 156 h 逐渐稳定至 $8.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$; 拱坝常态混凝土在硬化初期变化更大,所测龄期内极差高达 $3.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 72 h 后逐步稳定至 $10.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

按照《水工混凝土试验规程》(SL 352-2006), 采用混凝土内部预埋电阻应变计的方法测得上述2种混凝土在90 d后的热膨胀系数分别为 $8.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 和 $9.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 与本试验装置测试的7 d结果基本一致, 考虑到混凝土后期热膨胀系数较为稳定, 由此说明采用本文的测试装置和标准试验方法测得的结果具有可替代性。

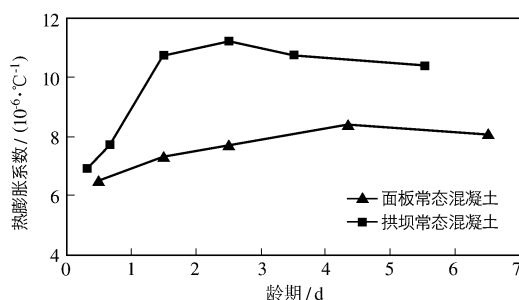


图4 面板坝混凝土与拱坝混凝土热膨胀系数

Fig. 4 Variation of TEC of concrete faced rock-fill dam and arch dam

3 结 语

(1) 与常规试验规范相比, 采用非接触激光位移传感器可原位连续测试混凝土早龄期的热膨胀系数, 测试过程无需大幅度升温, 试验结果说明本试验装置的测值与标准试验方法测得结果具有可替代性;

(2) 大坝混凝土早期热膨胀系数变化较大, 尤其在硬化初期(硬化后72 h内), 大坝混凝土的热膨胀系数应针对不同龄期区别对待, 不可一概而论。

参 考 文 献:

- [1] SL 352-2006, 水工混凝土试验规程[S]. (SL 352-2006, Test code for hydraulic concrete[S]. (in Chinese))
- [2] DL/T 5150-2001, 水工混凝土试验规程[S]. (DL/T 5150-2001, Test code for hydraulic concrete[S]. (in Chinese))
- [3] CUSSON D, HOOGEVEEN T. Measuring early-age coefficient of thermal expansion in high-performance concrete[C]//JENSEN O M, LURA P, KOVLER K. International RILEM Conference on Volume Changes of Hardening Concrete: Testing and Mitigation. Bagneux: RILEM Publications SARL, 2006: 321-330.
- [4] OZAWA M, MORIMOTO H. Estimation method for thermal expansion coefficient of concrete at early ages[C]//JENSEN O M, LURA P, KOVLER K. International RILEM Conference on Volume Changes of Hardening Concrete: Testing and Mitigation. Bagneux: RILEM Publications SARL, 2006: 331-339.
- [5] TURCRY P, LOUKILI A, BARCELO L, et al. Can the maturity concept be used to separate the autogenous shrinkage and thermal deformation of a cement paste at early age? [J]. Cement and Concrete Research, 2002, 32(9): 1443-1450.
- [6] 李清海, 姚燕, 孙蓓. 水泥基材料热膨胀性能测试方法发展现状[J]. 新型建筑材料, 2007(6): 10-12. (LI Qing-hai, YAO Yan, SUN Bei. Development status of cement-based materials thermal expansion property measurement[J]. New Building Materials, 2007(6): 10-12. (in Chinese))
- [7] LOUKILI A, CHOPIN D, KHELIDJ A, et al. A new approach to determine autogenous shrinkage of mortar at an early age considering temperature history[J]. Cement and Concrete Research, 2000, 30(6): 915-922.
- [8] 马新伟, 钮长仁. 混凝土硬化早期热膨胀的量化方法研究[J]. 低温建筑技术, 2005(2): 8-9. (MA Xin-wei, NIU Chang-ren. Quantification of thermal dilation of concrete at early age[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2005(2): 8-9. (in Chinese))

- [9] 危鼎, 吴胜兴, 李雪淋. 混凝土早龄期热膨胀系数试验研究[J]. 江西科学, 2007, 25(6): 258-263. (WEI Ding, WU Sheng-xing, LI Xue-ling. Experimental study on the thermal dilation coefficient (TDC) of concrete at early-age[J]. Jiangxi Science, 2007, 25(6): 258-263. (in Chinese))
- [10] NEEKHRA S. A new mineralogical approach to predict the coefficient of thermal expansion of aggregate and concrete[D]. Texas: Texas A&M University, 2004: 18-22.
- [11] 钱春香, 朱晨峰. 骨料粒径对混凝土热膨胀性能的影响[J]. 硅酸盐学报, 2009, 37(1): 18-22. (QIAN Chun-xiang, ZHU Chen-feng. Influence of aggregate size on the thermal expansion property of concrete[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2009, 37(1): 18-22. (in Chinese))
- [12] 张涛, 覃维祖. 混凝土早期变形与开裂敏感性评价[J]. 建筑技术, 2005, 36(4): 296-300. (ZHANG Tao, QIN Wei-zu. Deformation and crack sensitivity evaluation of concrete in early age[J]. Architecture Technology, 2005, 36(4): 296-300. (in Chinese))

Experimental study on the thermal expansion coefficient of dam concrete at early age

QIAN Wen-xun^{1,2}, ZHANG Yan-chi^{1,2}

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Research Center on New Materials in Hydraulic Structures, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China)

Abstract: Thermal expansion coefficient (TEC) is an important parameter for the thermal property and volume stability property of dam concrete, but it is often ignored at early age. There is no common method used to test TEC of concrete at early age now. In this paper, non-contact displacement transducer and constant temperature water baths are applied to measure the TEC of different dam concrete at early age. In the process of testing, temperature-rising range is limited, and method of continuous testing in-situ is adopted. The results indicate that TEC of dam concrete is evidently changed in 72 hours after setting and relatively steady at late age. These results of TEC at 7 days are in good agreement with those from standard testing at 90 days.

Key words: dam concrete; early age; thermal expansion coefficient (TEC); non-contact displacement transducer

第二十届“世界水周”论坛在瑞典首都开幕

第二十届“世界水周”论坛9月5日在瑞典首都斯德哥尔摩开幕。水污染和水质恶化成为今年“世界水周”论坛的关注焦点,来自世界各地的数千名专家学者将围绕“世界水质挑战:预防、合理利用和缓解”等相关议题展开讨论。

论坛主办方瑞典斯德哥尔摩国际水研究所解释了将关注焦点放在水质和水污染上的原因。该机构指出,由于人口增长和经济发展,水资源的汲取、利用、再利用和处理的工作量日益增加。同时,城市化、工农业活动和气候变化对用水量和水质产生的压力越来越大。国际水研究所所长安德斯·伯恩特尔说,水污染增加将导致全球各地的洁净水源减少,危害人类身体健康,影响海洋和陆地生态系统。不过,尽管防治任务艰巨,伯恩特尔坚持认为水污染和水资源紧缺可以得到缓解,亟待解决的问题是如何有效利用水资源。他认为,人类利用水资源的方式必须改变,而如何带来改变正是今年“世界水周”的主要议题。

“世界水周”论坛由斯德哥尔摩国际水研究所于1990年创立,每年举办一次,是国际水资源利用和研究方面的权威论坛之一,其主旨是关注水资源、保护水环境、促进与水资源有关的投资和消除贫困。

摘自《科学时报》(2010-9-7 A3 国际)