

透水模板浇筑混凝土拌合物水胶比试验分析

田正宏^{1,2}, 李雪宁², 李健³, 王燕飞⁴

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 3. 响水县水务局, 江苏 响水 224600; 4. 杭州银博交通工程材料有限公司, 浙江 杭州 311112)

摘要 为研究透水模板降低混凝土拌合物水胶比的程度, 对试验浇筑的混凝土拌合物试件采用微波法测定排水过程结束时由表及里的水胶比变化。试验结果表明 透水模板浇筑混凝土拌合物表层水胶比可降低 40% ~ 50%, 水胶比减少最明显的区域位于试件浅表层 15 mm 范围内, 由于浅层形成滤饼, 阻碍了更深部位混凝土渗透排水, 故随距离表层深度的增加, 水胶比变化变小。研究发现不同透水模板布对混凝土拌合物水胶比的改善效果存在差异, 粉煤灰与减水剂掺量对透水模板使用效果也有一定影响。

关键词 透水模板布 混凝土拌合物 水胶比 微波法 滤饼

中图分类号 TV431 **文献标识码** A **文章编号** 1006-7647(2011)04-0029-04

Water-binder ratio of concrete mixture formed by controlled permeability formwork//TIAN Zheng-hong^{1, 2}, LI Xue-ning², LI Jian³, WANG Yan-fei⁴ (1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Xiangshui Water Authority of Jiangsu Province, Xiangshui 224600, China; 4. Hangzhou Yinbo Traffic Engineering Materials Company Ltd., Hangzhou 311112, China)

Abstract : To study the degree of water-binder ratio of concrete mixture reduced by the controlled permeability formwork, the variation of the water-binder ratio of the specimens of poured concrete mixture at the completion of drainage process from outside to inside was determined by means of the microwave oven method. The results indicate that the water-binder ratio of fresh concrete surface is reduced by 40%-50% by use of the controlled permeability formwork. The zone obviously reduced is within the range of 15 mm from the surface of the specimens. The filter cakes formed in the surface layer stops the concrete at deep part from draining. With the increase of the depth from the surface, the variation of water-binder ratio has small decrease. Different controlled permeability formwork liners have different improvement effects on the water-binder ratio of concrete mixture. Moreover, the fly-ash and water reducer have certain influences on the utilization effects of the controlled permeability formwork.

Key words : permeability formwork liner; concrete mixture; water-binder ratio; microwave method; filter cake

透水模板是在改进传统模板浇筑混凝土工艺基础上产生的一种可提高混凝土密实性能的新型施工工艺^[1], 其作用机理是将透水模板布 (controlled permeability formwork liner, 简称 CPFL) 黏附在普通模板内侧形成模板透水层, 利用振捣密实过程将混凝土拌合物内部多余的水分及气体排出, 从而降低成型混凝土水胶比、改善其密实性能^[2-3]。国内外成品透水模板布一般选用聚丙烯等原料加工成短(长)丙纶纤维丝, 再经无纺工艺及表面特殊二次工艺处理而成^[4]。日本、德国及丹麦等国于 20 年前开始对透水模板布进行应用研究。近期, 国内在京沪高铁、厦漳大桥等大型交通工程及南水北调东线工程、南水

北调中线工程、糯扎渡水电站、溪洛渡水电站和向家坝水电站等一些大型水利水电工程中已开始试应用, 效果很好。部分工程试验使用效果对比如图 1 所示。由于透水模板布复合层结构等效孔径远小于 30 μm , 因而混凝土中水分得以透出而水泥颗粒及胶凝物被滞留在建筑物表面, 可在结构体表面形成富含水化硅酸钙的致密硬化层, 表层孔隙率降低, 密实度提高, 表观质量得以改善^[5-6]。

透水模板施工工艺能降低成型混凝土拌合物的水胶比, 但其影响程度和范围尚未见准确报道。针对这种新型材料及施工工艺, 笔者利用不同的透水模板布制成透水模板, 浇筑不同配合比的混凝土试

基金项目 江苏省水利重点科技基金 (2009021)

作者简介 田正宏 (1966—), 男, 江苏扬州人, 副教授, 博士, 从事水利土木工程施工新技术及新材料研究。E-mail: zh-tian@hhu.edu.cn

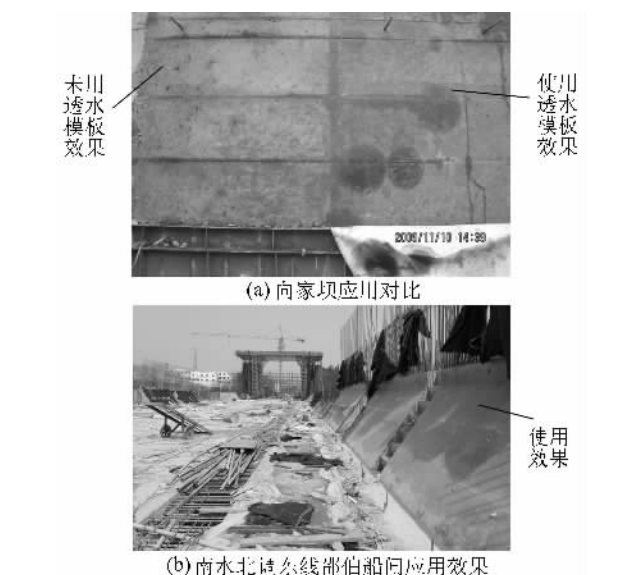


图 1 工程应用透水模板浇筑混凝土效果

件,采用微波加热方法对排水结束时试件距表面一定深度范围内的成型混凝土拌合物的水胶比进行测试分析,研究透水模板降低混凝土拌合物水胶比的效果及规律。

1 试件制作

1.1 试验原材料

水泥为南京金江水泥厂生产的 P. O42.5 水泥 ; 粉煤灰为华能国际电力股份有限公司南京电厂生产的 II 级粉煤灰 细骨料为级配良好的中砂 粗骨料为石灰岩碎石,5 ~ 15 mm 连续级配 透水模板布选取 A,B,C 3 种不同厂家生产的透水模板布产品 ; 水为自来水 ; 减水剂为萘系高效减水剂 JM-9。

1.2 混凝土配合比

试验用混凝土配比方案如表 1 所示。

表 1 试验混凝土配合比方案

编号	水胶比	砂率/%	减水剂 掺量/%	粉煤灰 掺量/%
1	0.50	35	0	0
2	0.45	35	0	0
3	0.50	35	0	20
4	0.50	35	0.5	0

1.3 制作方法

上述配比分 2 类方式浇筑试件 ①利用透水模板布 A 和普通模板分别浇筑表 1 中 4 种不同配比的混凝土 ②分别采用 A,B,C 3 种透水模板布浇筑水胶比为 0.5 未掺加减水剂和粉煤灰的混凝土试件。

试样制作要求如下 将普通模板的底面涂脱模剂,四周均匀涂胶后贴透水模板布,制成透水模板 ; 普通模板只在其内侧均匀涂抹脱模剂。试件尺寸为 500 mm × 200 mm × 500 mm (长 × 宽 × 高)。原材料按表 1 中的配比方案分别掺配后用 HJW-60 型搅拌机

搅拌 120 s,浇筑过程为分层浇筑,每层高度为 250 mm,每层浇筑完成后放置于振动台上振捣 1 min 将振捣密实后的试件静置排水,至排水过程基本结束后拆除试模准备进行水胶比变化测定试验,整个排水过程持续约 40 min。

2 水胶比变化测试方法

2.1 透水模板浇筑成型试样断面水胶比的变化宏观特点

试验过程中可看出利用透水模板浇筑的混凝土试样振捣排水顺畅,拌合物体积明显收缩,混凝土浇筑面顶部与模板接触部位脱开、中间下沉 排水停止后劈开试件断面,可观察到内部特别是浅层贴近模板部分在一定范围内水胶比明显降低、密实性提高。采用透水模板浇筑的混凝土拌合物振捣排出多余水汽后的试样状态如图 2 所示。



图 2 透水模板浇筑混凝土拌合物状态

2.2 微波法测试水胶比变化

2.2.1 微波法简介

微波是一种高频电磁波,采用高频率微波能使水分子的振幅急剧增大,水分子间碰撞剧烈,从而使水迅速达到沸点并在短时间内蒸发。常用微波炉的电磁波辐射频率为 2 450 MHz,对水分蒸发来说是最佳的频率。用微波法测定混凝土水胶比有以下优点 ①烘干快速、均匀,测定准确 ②操作简便,无安全隐患,可重复性强^[7]。国外在 20 世纪 70 年代初就已开始用微波法测定土壤含水量的试验研究,并于 1987 年将其正式列入美国 ASTM D 4643—87 试验标准。笔者也曾在高速公路路基土方填筑施工含水量控制中开展过这方面的研究工作^[8],研究成果已在岩土工程中得到运用。张景琦等^[9]提出将微波法用于测定混凝土水胶比。本文给出测定新拌混凝土水胶比更为快捷准确的试验方法,并对分析透水模板浇筑混凝土拌合物不同部位的水胶比。

2.2.2 测试步骤

a. 待浇筑试件排水过程基本结束后由敷设透水模板布的 1 个侧面中心部位按 5 mm 间隔由表及里分 6 层取样,共取 30 mm 厚,取样方式如图 3 所示。为减少粗骨料分布不均引起的误差,每层所取

的试样应剔除粗骨料后测试,每层取样约 300 g。

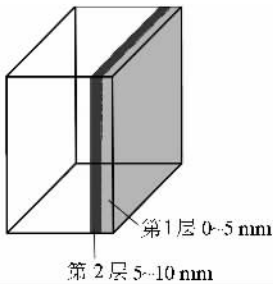


图3 试验取样方法图示

b. 将所取试样置于加热容器内分别称重,然后放入微波炉内以最大功率开始加热。为促进水分良好均匀地蒸发,需充分搅拌试样并及时称重。加热最初 2 min 内每隔 30 s 充分搅拌 1 次,随后每间隔 1 min 充分搅拌 1 次,至试样质量不再变化为止。总加热时间约 8 min。

c. 为减少误差,加热结束后应迅速称取质量,并需进行 2 次平行测定,计算结果取算术平均值,平行差值不大于 1%;试验过程中确保温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,湿度保持 $(65 \pm 5)\%$ 。

d. 每个试件排水过程结束后需及时进行混凝土取样,重复步骤 a~d。

2.2.3 水胶比计算方法

新拌混凝土中包含的水分按失水难易程度依次为毛细孔水、吸附水、层间水及化学结合水(包括弱结合水、强结合水)^[10]。试验测得混凝土失水量包括水泥烧失量、毛细孔水、吸附水、层间水、弱结合水以及部分强结合水。另有部分强结合水与水泥生成了复杂水化产物将导致无法蒸发,因此需要计算此部分强结合水量及水泥烧失量。

微波环境下水泥烧失量为

$$L = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \tag{1}$$

式中: L 为水泥烧失量,%; M_1 为初始水泥质量,g; M_2 为微波加热 15 min 后水泥质量,g。

非蒸发化学结合水量可用下式计算:

$$X_c = \frac{m_t - (m_0 - m_f - \alpha L m_c)}{m_c} \tag{2}$$

式中: X_c 为非蒸发化学结合水量,g; m_t 为普通模板浇筑混凝土试样中理论含水量,g; m_0 , m_f 分别为加热前、后的样品总质量(加热容器+普通模板浇筑混凝土试样),g; m_c 为普通模板浇筑混凝土试样中水泥的理论含量,g; α 为考虑扣除参与水化反应消耗后的水泥烧失量折减系数,本文依据试验取其值为 0.95。

按每试样 300 g 考虑,混凝土拌合物中水分和水泥的理论含量如表 2 所示。

表 2 300 g 试验用混凝土拌合物中的 m_t 和 m_c /g

编号	m_t	m_c	编号	m_t	m_c
1	48.78	97.56	3	48.78	78.06
2	47.67	105.84	4	48.78	97.56

忽略由于透水模板成型混凝土与普通模板混凝土差异引起的 300 g 试样中水泥烧失量和结合水含量差别,透水模板浇筑混凝土中的水泥含量为

$$m_{ci} = (m_{fi} - N) \frac{G_1}{G_2} \tag{3}$$

式中: m_{ci} 为透水模板浇筑混凝土中的水泥含量,g; m_{fi} 为加热后样品总质量(加热容器+混凝土试样),g; N 为容器质量,g; G_1 为对应配比中的水泥质量,g; G_2 为对应配比中的水泥与砂总质量,g。

每层混凝土试样的水胶比为

$$\frac{W}{C + F_A} = \frac{m_{0i} - m_{fi} + (X_c - \alpha L) m_{ci}}{m_{ci} + F_A} \tag{4}$$

式中: $\frac{W}{C + F_A}$ 为每层混凝土试样的水胶比; F_A 为混凝土中添加的粉煤灰质量,g; m_{0i} 为加热前样品(加热容器+混凝土试样)总质量,g。

3 测试结果与分析

3.1 配合比对拌合物水胶比的影响

采用式(4)计算得透水模板布 A 对不同配比混凝土拌合物试样水胶比的降低效果,如图 4 所示。

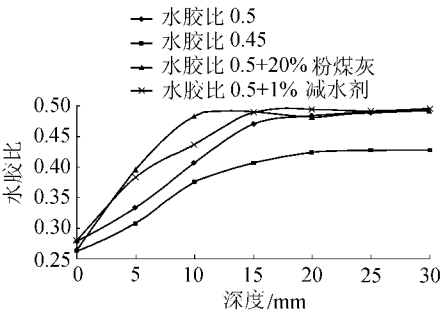


图 4 透水模板布 A 浇筑不同配比混凝土的水胶比变化曲线

从图 4 可以看出,在透水模板作用下所有新浇混凝土拌合物试样的水胶比在 0~30 mm 深度范围内均有不同程度的降低,表层混凝土水胶比已降至 0.27 左右,降低幅度达 40%~50%。水胶比改善最明显的区域为距表面深度 0~15 mm 范围内,其中,水胶比为 0.50 且掺加 20% 粉煤灰的第 3 组试样水胶比降低深度相对较小。比较初始水胶比同为 0.50 的 3 组试样的水胶比变化曲线,可发现第 3 组试样和第 4 组试样(水胶比 0.5+1% 减水剂)的表层水胶比降低程度比第 1 组试样(水胶比 0.5)略小,笔者认为产生这种现象的主要原因是混凝土中掺加粉煤灰和减水剂后,水分外排时更多颗粒在浅层凝

土孔隙边缘产生“团聚”“栓塞”，导致小于介质孔隙粒度的颗粒淤积，以致形成滤饼，而用微波加热掺粉煤灰的混凝土可加速粉煤灰活性效应的发挥，增加水化产物，填充和分割混凝土孔隙，割断内部输水通道，从而提高了混凝土的致密性，增大了排水阻力^[11]。另外，水分外排将挟带更多颗粒滞留在透水模板表面，从而使其排渗淤堵现象加重，丧失了部分排水通道，以致混凝土内部水分无法排出^[12]。与第1组试样相比，第2组试样在15~30mm范围内水胶比降低程度较大，笔者认为原因是第2组骨料含量稍高，粗骨料表面界面薄弱区形成更多微细孔隙，渗透通道增多，从而导致混凝土拌合物渗透性变大，更深部位水分更易排出，因而透水模板对其排渗影响趋于加深。

3.2 透水模板布对拌合物水胶比的影响

利用不同透水模板布浇筑同一配比混凝土试样的水胶比降低效果对比如图5所示。从图5可以看出，不同透水模板布对浅层30mm深度范围内新浇拌合物的水胶比减少程度不同，尤其在0~15mm表层范围内差别较为明显，而在15mm深度范围以上改善效果差别不大。笔者认为3种试样之所以在浅层15mm深度范围内水胶比差别较大，主要是由于不同透水模板布的孔隙率、孔隙结构形式和孔径分布不同所致，由此存在水力性能差别，继而影响透水模板布的排渗效果^[13]。值得注意的是，在深度大于30mm的区域，浅层混凝土的排渗固结逐渐形成滤饼，随着排水过程进行，颗粒不断在滤饼表层滞留，滤饼逐渐增厚，排渗阻力增大，当其达到一定程度，更深部位的混凝土水分将无法向外排出。因此综合透水模板布排水性能和防淤堵能力的差异，表现为透水模板布能显著降低混凝土拌合物水胶比的范围约为浅层30mm深度以内。

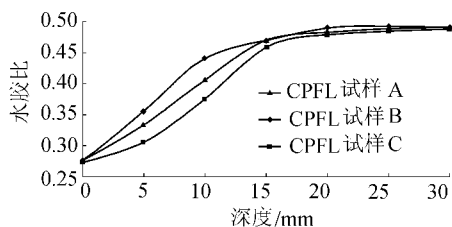


图5 不同透水模板布对混凝土水胶比深度影响变化曲线

本文测试振捣排水后新拌混凝土浅层水胶比变化是在实验室条件下进行的。成型拌合物水胶比的降低受混凝土拌合物侧压力、振捣强度及透水模板布等多种因素的影响，尤其在工地现场浇筑时，混凝土拌合物侧压力与振捣强度远大于试验情况，排渗效果更加明显。因此，其拌合物水胶比减少程度和影响深度会大于试验结果，但其表现规律与试验结果一致。

4 结 论

a. 采用微波法测定新拌混凝土水胶比是准确可行的，可用于对比分析透水模板成型新鲜混凝土不同部位水胶比的差别，从而揭示透水模板布改善成型混凝土水胶比的效果。

b. 与普通混凝土模板浇筑工艺相比，透水模板浇筑混凝土可降低试样表层水胶比40%~50%，对提高混凝土试样表面后期的密实性和耐久性起到了关键作用。水胶比下降最明显的区域位于距表层深度15mm的范围内。

c. 透水模板条件下，掺加粉煤灰与减水剂可影响混凝土拌合物的渗透性，降低其排水效果及水胶比的减小程度，但低水胶比试样减水深度更大。

d. 不同透水模板布对混凝土拌合物水胶比的降低效果差异体现在浅表范围内，且与透水模板布的孔隙率、孔隙结构形式和孔径分布有关，这些问题有待深入研究。

参考文献：

- [1] MCCARTHY M J, GIANNAKOU A. In-situ performance of CPF concrete in a coastal environment [J]. Cement and Concrete Research, 2002, 32(3): 451-457.
- [2] GANTRIIS S M. Controlled permeability formwork for improved durability [J]. Concrete, 2003, 37: 34-35.
- [3] BASHER L, NANUKUTTAN S V, BASHEER P A M. The influence of reusing 'Formtex' controlled permeability formwork on strength and durability of concrete [J]. Materials and Structures, 2008, 41(8): 1363-1375.
- [4] 田正宏, 郑小伟, 宋健大, 等. 透水模板改善混凝土性能试验 [J]. 建筑材料学报, 2008, 11(2): 172-178.
- [5] 井锦旭, 田正宏, 朱炳喜, 等. 透水模板浇筑混凝土抗冲磨性能研究 [J]. 施工技术, 2010, 39(12): 41-44.
- [6] 田正宏, 白凯国, 朱静. 透水模板布改善混凝土表层质量试验研究 [J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2008, 38(1): 146-150.
- [7] 刘全军, 陈景河. 微波助磨与微波助浸技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.
- [8] 田正宏. 宁淮高速公路石灰改善膨胀土路基施工工艺 [J]. 施工技术, 2004, 33(9): 15-18.
- [9] 张景琦, 杨英姿, 于亮亮. 微波法测定混凝土水灰比的试验研究 [J]. 低温建筑技术, 2009(2): 6-8.
- [10] 李成涛, 周云麟. 水及其相转变对混凝土性能的影响 [J]. 混凝土, 2003(2): 18-28.
- [11] 武国王, 蒋林华, 廖昌文, 等. 人工砂粉煤灰自密实混凝土的性能试验 [J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(5): 29-31.
- [12] 康勇, 罗茜. 液体过滤与过滤介质 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [13] 田正宏, 刘兆磊, 张丹, 等. 透水模板布孔径分布测试方法与理论研究 [J]. 建筑材料学报, 2009, 12(6): 639-642.

(收稿日期: 2010-11-29 编辑: 方宇彤)