

塑管混凝土界面透气性研究

王俊颜¹, 杨全兵^{1,2}, 肖鸿儒¹

(1. 同济大学材料工程研究所, 上海 200092; 2. 同济大学先进土木工程材料教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 提出了一种基于压力时间衰减法测定塑管混凝土界面透气性的方法, 并研究不同界面改善措施对塑管混凝土界面透气性的影响. 研究表明: 透气性试验具有较高的重复性和稳定性; 塑管混凝土界面的透气性随 HEA 膨胀剂掺量的提高而降低; Preprufe 胶带能明显改善塑管-混凝土界面的粘结性能, 使压力衰减时间或抗渗性能提高了一个数量级. 最后, 拟合压力-时间衰减曲线, 并提出了经验函数式.

关键词: 塑管混凝土; 界面透气性; 气密性; 压力-时间衰减曲线

中图分类号: TU 528.33

文献标识码: A

Research on Gas Permeability of Pipe-concrete Interface in Plastic-pipe Confined Concrete

WANG Junyan¹, YANG Quanbing^{1,2}, XIAO Hongru

(1. Research Laboratory of Material Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Advanced Civil Engineering Materials of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: A pressure-time recession method to measure the gas permeability of the pipe-concrete interface in Plastic-Pipe confined Concrete (PPC) was introduced, and then effects of some improving measures on the gas permeability of the pipe-concrete interface in PPC were investigated by this method. Results indicate that this method is of high repeatability and stability. The gas permeability decreases with the increase of the expansive agent. The Preprufe tape greatly improves the bonding property of the pipe-concrete interface, and therefore, the decay time of gas pressure or the gas impermeability is an order of magnitude higher than that of the controlling PPC. Fitting curves of the gas pressure-time recession were conducted and an empirical formula was proposed.

Key words: plastic-pipe confined concrete; interfacial gas permeability; gas tightness; pressure-time recession curve

塑管混凝土 (plastic-pipe confined concrete, PPC) 是通过在塑管中填充混凝土而得到的一种新的结构材料^[1]. 采用塑管混凝土, 目的是要把处于盐环境中的过渡区——海水中的潮汐/浪溅区, 或者盐碱地中的土壤-大气交界区的柱式桥墩用塑料管保护起来, 从结构设计上消除混凝土结构的这些过渡区, 大大提高该部位结构的耐久性(图 1). 目前来源广泛并且价格低廉的大口径塑管主要有高密度聚乙烯(HDPE)管以及聚氯乙烯(PVC)管. 由于具有良好的耐腐蚀性能、低温性能、延展性能以及低廉的成本, HDPE 广泛应用于各类管道的防护层^[2]、海洋养殖业围栏结构^[3]. 把 HDPE 管作为混凝土结构的一层“厚保护膜”, 同样可以实现对混凝土服役寿命期内的全程防护.

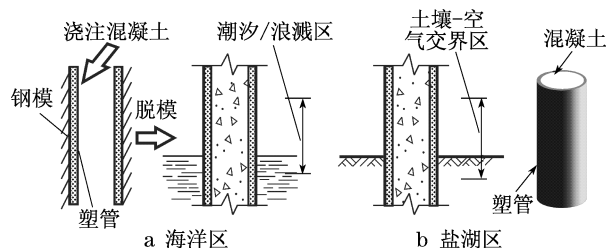


图 1 塑管混凝土一体化成型的示意图

Fig. 1 Molding of plastic-pipe confined concrete

塑管对核心混凝土结构最主要的防护作用是阻止有害物质如氧气、二氧化碳、氯离子或盐湖区的卤水进入核心混凝土结构, 防止钢筋锈蚀、混凝土碳化、硫酸盐腐蚀以及盐结晶膨胀破坏的发生. 从图 1 可以看出, 塑管与混凝土界面的密闭性能十分关键, 决定了塑管混凝土防腐蚀的效果.

用于混凝土结构加固的材料主要有 FRP(纤维增强聚合物)片材、管材以及钢管钢板等, 目前的研究普遍采用界面粘结强度来评定混凝土与 FRP 或钢材的界面性能^[4], 但不能直观反映界面抵抗气体

收稿日期: 2009-04-13

作者简介: 王俊颜(1982—), 男, 博士生, 主要研究方向为混凝土耐久性. E-mail: wiereo3@sina.com

杨全兵(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为混凝土耐久性. E-mail: qbyang@tongji.edu.cn

或液体渗透的能力.为此,同济大学材料工程研究所提出了一种新的界面密闭性能的测试方法——界面透气性测试,用压缩空气在塑管与混凝土界面渗透的难易程度来表征塑管混凝土的界面密闭性能,并研究不同塑管混凝土界面改善措施对界面透气性的影响.

1 界面透气性测试方法与原理

1.1 试验装置与测试步骤

界面透气性的测试装置如图2所示.测试装置及测试方法描述如下:①测试舱:2块有内凹槽的圆钢板压住塑管混凝土上、下2个端面,用6根沿钢板边缘均匀分布的长螺栓固定,螺母与钢板表面之间采用弹垫以产生一定的预应力,钢板内凹槽和塑管混凝土之间用橡胶垫圈密封,垫圈只与塑管接触.在上、下钢板中心钻孔作为进气口、出气口,分别连接阀门2和阀门3;阀门2打开后,压缩气体进入钢板内凹槽、橡胶垫圈与塑管混凝土之间形成的空腔,阀门3打开后,透过塑管混凝土的空气从出气口排出.②空气压缩机和储气罐:空气压缩机连接1个密闭储气罐,储气罐上的阀门1通过三向连接件和导管分别与测试舱和精密电子压力表相连,所有连接件和电子压力表本身均气密性良好,电子压力表与电脑连接.③数据采集系统:电子压力表型号为台湾衡欣 AZ 82100,用 RS232 信号模块输出至电脑,记录储气罐的实时压力(与外界大气压的压力差).④测试步骤:首先检查装置气密性,然后,关闭阀门2,打开阀门1和3,开启数据采集系统,开启空气压缩机,在储气罐压力达到 200kPa 时关闭压缩机,误差控制在 $\pm 0.3\%$.这时打开阀门2,储气罐内的压缩气体从塑管混凝土界面渗透,压力从 200 kPa 开始衰减,与此同时,电脑记录了储气罐的压力-时间衰减曲线.数据采集系统的采集频率为 1 Hz.

1.2 测试原理

界面透气性测试的原理与 G. R. Martin^[5]提出的混凝土透气性试验相同,都是具有相同初始压力的密闭容器中的压缩气体通过管道对测试舱中的测试体(如 G. R. Martin 研究的混凝土、试验中的塑管混凝土)进行渗透,然后测量密闭容器的压力衰减曲线,以表征测试体的渗透性.衰减越慢,说明测试体的渗透性越差,密实性越高. G. R. Martin 的研究表明,密闭容器中的压缩气体从 200 kPa 衰减到 25 kPa 的时间超过 20 h,而本测试的普通塑管混凝土的衰减时间基本在

10 min 以内,因此,这 10 min 内压缩气体从塑管混凝土的核心混凝土渗透的部分可以忽略不计,从出气口出来的空气绝大部分是从塑管与混凝土的界面渗透出来的.这也可以归因于塑管与核心混凝土的线膨胀系数差异较大以及混凝土本身的收缩问题,其渗透性要远远大于塑管和混凝土,压缩气体透过界面比透过塑管以及混凝土本身要容易得多.

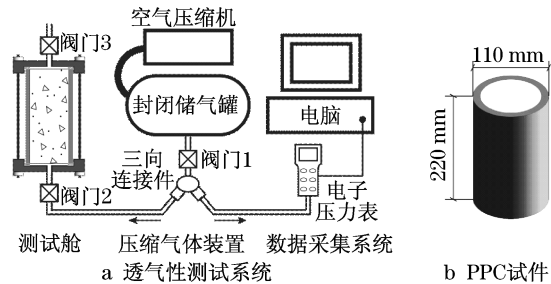


图2 界面透气性的测试

Fig.2 Test of interfacial gas permeability

因此,通过测试与塑管混凝土界面连接的密闭储气罐的压缩空气透过塑管混凝土界面、从而导致储气罐压力衰减的快慢程度,可以表征塑管与混凝土界面的密闭性能,其容器压力-时间衰减曲线即表示界面透气性.

2 塑管混凝土界面密闭性能的改善措施

提高塑管混凝土界面密闭性能的途径有两个,一个是通过在核心混凝土中添加膨胀剂来提高塑管与混凝土粘结的紧密性,另一个是通过附加措施改变塑管与混凝土的粘结方式.笔者采用美国 W. R. GRACE 公司的 Preprufe 双面胶带以增强塑管与混凝土之间的粘结性. Preprufe 双面胶带一面是普通的粘性层,粘贴于塑管内壁,另一面是面向后浇筑混凝土的预粘层,本身没有粘性,但其微观结构可以与新拌混凝土在硬化过程中进行机械咬合. Preprufe 双面胶带解决了塑管混凝土的界面问题,并且厚度很小(只有 0.5 mm),不影响塑管混凝土的力学性能.

3 试验方案

混凝土原材料:水泥为上海宝山水泥厂生产的 42.5 普通硅酸盐水泥;河砂,细度为中砂;粗骨料为 5~20 mm 的普通碎石;减水剂采用花王迈地 100 萘系粉剂;膨胀剂为上海白水泥有限公司生产的银鸽高性能混凝土膨胀剂,其化学组成如表 1 所示.

在保证水泥用量不变的情况下,通过用 0,12%,

20%(皆为水泥质量分数)3种掺量的 HEA 膨胀剂取代细集料来实现核心混凝土不同膨胀率的效果. 配合比见表 2, 编号分别为 H-0, H-12, H-20, 数字表

示 HEA 的掺量(质量分数). 表 2 同时给出了 3 种配合比混凝土 28d 的抗压强度和自由膨胀率.

表 1 HEA 的化学成分

Tab.1 Chemical constituents and alkali content of HEA

烧失量	$w(\text{SiO}_2)$	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)$	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$	$w(\text{CaO})$	$w(\text{MgO})$	$w(\text{SO}_3)$	$w(\text{K}_2\text{O})$	$w(\text{Na}_2\text{O})$
1.20	18.90	18.50	1.45	29.30	2.35	31.55	0.20	0.10

注: w 表示质量分数, 后同.

塑管选用的是 1.0 MPa 的 HDPE 管, 厚度为 7.35 mm. 塑管外径均为 110 mm, 被制作成高度为 220 mm 的圆柱管. HDPE 管混凝土通过在 HDPE 管中填充混凝土制得. 试件一共有 4 组, 包括 3 组不同 HEA 掺量的试件以及 1 组塑管内壁采用 Preprufe

双面胶带的试件, 每组 3 个试件, 试件成型后水养护 28 d, 取出, 在 20 ± 2 °C 环境下自然风干 1 d 后测试, 每个试件重复测试 3 次, 每组同配合比的试件测得的 9 条曲线用 origin 软件进行多重平均.

表 2 混凝土配合比

Tab.2 Mix proportion of concrete

编号	$w(\text{HEA})/\%$	用水量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	水泥用量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	细集料/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	粗集料/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	HEA 用量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	28 d 立方体 强度/MPa	28 d 自由膨胀 率/ 10^{-4}
H-0	0	176	352	732	1140	0	52.0	0.31
H-12	12	176	352	690	1140	42.3	54.8	3.80
H-20	20	176	352	662	1140	70.4	59.5	9.98

4 试验结果与讨论

4.1 透气性测试的可重复性

图 3 给出了相同配合比的 H-20 组 3 个试件, 分别测试 3 次界面透气性, 共得到 9 条压力-时间衰减曲线. 曲线 1, 2, 3 表示试件编号, A, B, C 表示同一试件的 3 次重复测试. 由图 3 可见, 塑管混凝土的透气性测试的重复性很好, 9 条曲线基本重合, 其平均曲线与 9 条曲线的最大偏差为 $\pm 2\%$, 其余两组试件的曲线的离散性偏差也都控制在 $\pm 2\%$. 由于每次测试完都会拆卸测试舱, 试验结果还表明, 透气性测试的可重复性基本不受人工因素的影响.

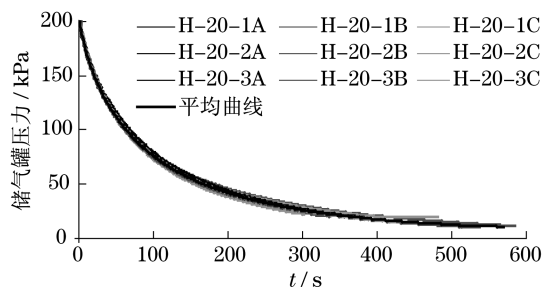


图 3 界面透气性重复性试验曲线

Fig.3 Replicate test curves of interfacial gas permeability

4.2 HEA 膨胀剂对界面透气性的影响

图 4 给出了 0, 12%, 20% 等 3 种膨胀剂掺量的试件的压力-时间衰减曲线. 由图 4 可见, 随着膨胀剂掺量的增加, 储气罐的压力衰减越慢, H-0, H-12, H-20 由 200 kPa 衰减到 25 kPa 的衰减时间分别为 216 s, 344 s, 462 s. 这说明, 塑管混凝土的界面密闭性能随 HEA 膨胀剂掺量的增加而提高, 原因是核心混凝土在掺入膨胀剂后产生的横向膨胀受到塑管的约束, 因此, 塑管与混凝土之间的界面更为紧密.

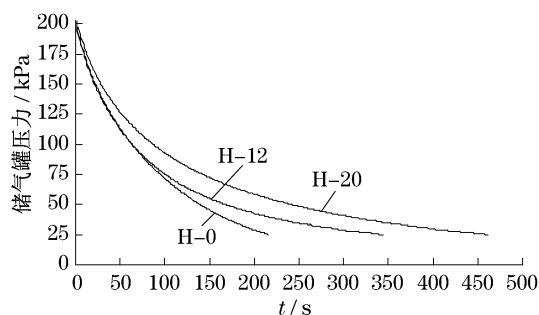


图 4 不同膨胀剂掺量对界面透气性能的影响

Fig.4 Effect of expansive agent on interfacial gas permeability

在 G. R. Martin 研究的混凝土透气性试验中,从 200 kPa 衰减到 25 kPa 的时间为 72 000 s. 与之相比,塑管混凝土界面的压力衰减时间小了 2 个数量级,说明塑管混凝土界面的渗透性能要远远高于混凝土本身的渗透性. HEA 膨胀剂的掺入虽然一定程度上降低了塑管混凝土界面的渗透性,但仍远高于混凝土本身的渗透性. 界面的问题如果不给予解决,将不能保证塑管混凝土的防腐蚀效果.

4.3 Preprufe 胶带对界面透气性的影响

图 5 给出了使用 Preprufe 胶带(H-0-Preprufe)与不使用 Preprufe 胶带(H-0)的 2 组试件的压力衰减曲线. 由图 5 可见,Preprufe 胶带的使用明显降低了压力衰减速度,H-0-Preprufe 由 200 kPa 衰减到 25 kPa 的时间长达 3 532 s,比 H-0 提高了 1 个数量级. 这说明,Preprufe 胶带可以有效提高塑管混凝土界面的抗渗性.

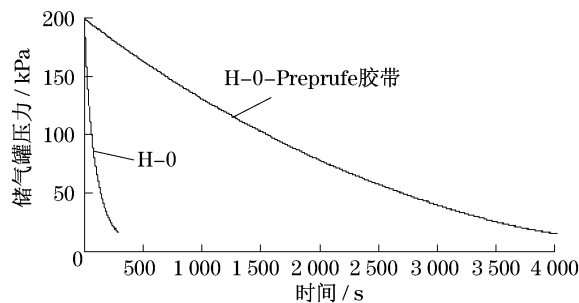


图 5 Preprufe 胶带对界面透气性的影响

Fig.5 Effect of preprufe tape on interfacial gas permeability

4.4 压力-时间衰减曲线拟合及分析

采用 origin7.5 软件拟合压力-时间衰减曲线,但不包括采用 Preprufe 胶带试件的曲线,因为其界面性质跟混凝土与塑管之间的界面性质已经完全不同. 拟合函数为指数衰减曲线 exponential decay 2, 函数表达式如下:

$$p = p_f + A_1 e^{-mt} + A_2 e^{-nt} \quad (1)$$

式中: p 为 t 时刻储气罐内气体的压力; p_f 为储气罐最终压力; t 为衰减时间; A_1, A_2 为曲线振幅参数, m, n 为衰减常数,皆取决于塑管混凝土界面性质.

拟合函数的边界条件为: ①当 $t = 0$ 时, $p_0 = p_f + A_1 + A_2 = 200$ kPa; ②当 $t \rightarrow \infty$ 时, $p = p_f$, 其物理意义可以认为是储气罐里的气压不足以让空气对塑管与混凝土的界面渗透的临界值,因此, p_f 可以作为表征塑管混凝土界面的参数之一.

图 6 给出了该拟合函数的拟合曲线与试验曲线的对比. 由图 6 可见,拟合曲线和试验曲线基本重合. 表 3 给出了不同膨胀剂掺量的塑管混凝土的界面透气性曲线的拟合结果. 由表 3 可见,拟合函数对试验曲线的相关系数 R^2 均达到了 99.98% 以上, p_f 随 HEA 膨胀剂掺量的提高而提高,但 H-12 与 H-20 的区别已经不是很明显.

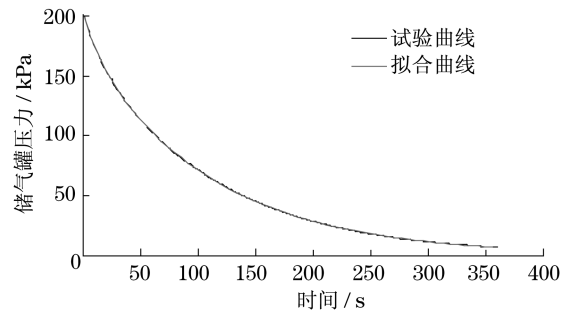


图 6 试验曲线和拟合曲线

Fig.6 Test curve and fitting curve

表 3 曲线拟合结果

Tab.3 Curve fitting results

膨胀剂	p_f	A_1	m	A_2	n	$R^2 / \%$
H-0	0.43	24.61	14.25	176.94	109.35	99.998
H-12	16.69	121.82	128.95	60.13	31.79	99.989
H-20	18.02	55.13	31.99	129.39	172.06	99.991

5 结语

本文提出了一种界面透气性的测试方法,可以直观地反映塑管混凝土的界面密闭性能,并且有很高的可重复性,其测试结果离散性基本不受人工因素的影响.

塑管混凝土界面的渗透性随 HEA 膨胀剂掺量的提高而降低,但仍远大于混凝土本身的渗透性. 而 Preprufe 胶带的使用明显改善塑管混凝土的界面粘结性能,透气性衰减时间提高了 1 个数量级.

通过指数函数拟合密闭容器压力-时间衰减曲线,提出了经验函数式,并确定用最终压力值作为表征塑管混凝土界面密闭性能的 1 个重要参数.

对界面透气性测试方法的研究只是一个开始. 该方法不仅可以应用于塑管混凝土界面性能的研究,还可以作为钢管或 FRP 管与混凝土界面性能研究的方法,并且可以作为其他领域如防水材料领域的测试方法. 未来将开展更多关于界面透气性试验影响因素以及其表征参数的研究.

(下转第 1102 页)