

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.03.005

废旧泡沫塑料在建筑楼板中的应用^{*}

张大英¹, 许启铿², 王树明³

(1. 郑州航空工业管理学院 土木建筑工程学院, 郑州 450015; 2. 河南工业大学土木建筑学院, 郑州 450001;

3. 郑州大学综合设计研究院有限公司, 郑州 450002)

摘要: 利用回收的废旧泡沫塑料配以水泥和建筑用胶粉, 按照不同的配比制作了多组泡沫塑料混凝土立方体试件, 并进行了抗压强度试验。通过分析材料密度、试件成型效果和牢固性、抗压强度, 得到了制作夹芯材料的适宜配比。设计了外形合理、优点突出的夹芯材料圆环体, 将其填充在建筑楼板中, 分析了楼板的结构特征、材料特征和力学特征, 阐明了夹芯材料圆环体在楼板中应用的可行性。通过对夹芯材料圆环体填充楼板的技术经济分析、施工关键措施实施、抗裂性和承载能力计算及测试发现, 废旧泡沫塑料的回收及其在建筑楼板中的再利用, 不但解决了环境中的白色污染问题, 而且没有影响建筑楼板的力学性能, 工程应用前景可观。

关键词: 白色污染; 废旧泡沫塑料; 建筑楼板; 力学性能

中图分类号: TU528.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)03-0020-06

Application of Waste Foamed Plastics in Building Floors

Zhang Daying¹, Xu Qikeng², Wang Shuming³

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou 450015, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 3. Zhengzhou University Multi-functional Design and Research Academy Co. Ltd., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Waste foamed plastics were recycled and made into multi groups of cube test specimens with cement and rubber powder, and then compress strength test was carried out. Afterwards, material density, soundness and the compress strength were all analyzed, thereby the fitting mix proportion was determined to produce core materials filled into building floors. The reasonable shape and outstanding merits of the torus structure were obvious, and the feasibility of its use in building floors was illustrated by analyzing the structural, material and mechanical features. It is carried out for the techno-economic analysis, key construction measures, crack resistance and bearing capacity calculation and test of the filled floor. The results show that white pollution is solved in this way, but it makes no difference for the mechanical property of the building floor, therefore, it is observable for application prospect of waste foamed plastic in civil engineering.

Keywords: white pollution; waste foamed plastic; building floor; mechanical property

伴随科技进步、城市化进程的加快及人们日益提高的生活水平, 各种垃圾产量也逐年增加, 而且已由城市逐渐向农村扩展^[1-2]。其中一项重要的生活垃圾就是难降解的“白色污染”^[3-4], 即由聚苯乙烯、聚乙烯组成的泡沫塑料制品对生态环境造成的污染。目前, 国内外许多专家学者等都对白色污染提出了许多可行的解决方案及进一步的研究方向, 其中常用的方法有: 减少对白色塑料制品的使用; 对塑料袋、塑料盒等塑料制品的重复利用; 低价回收各种废弃塑料并开发新途径对其加以应用^[5-6]; 研制新型可降解塑料^[7-8]。由此可见, 治理白色污染不仅是我国生态环境需要解决的关键问题, 也是全世界共同关注的重要环保课题。

依据发达国家对白色污染的处理方法^[9-10], 并结合笔者的专业领域, 开辟了一种解决白色污染的新途径——低价回收泡沫塑料(主要指废旧聚苯乙烯泡沫塑料)制作成建筑成品, 填充于建筑楼板中, 在降低建筑成本的基础上又充分利用了泡沫塑料自身的稳定性, 应用前景可观。在土木工程领域, 聚苯乙烯泡沫塑料的应用已经取得了一些成果, 主要体现在: 内外非承重墙体材料、屋面保温隔热材料^[11-12]、泡沫塑料混凝土轻质墙板、路基轻质填充材料

^{*} 河南省科技计划项目(152102310371), 河南省教育厅科学技术研究重点项目(14A560021)

联系人: 张大英, 博士, 讲师, 研究新材料结构性能及工程应用

收稿日期: 2016-12-18

[13]、泡沫混凝土自保温墙体^[14-15]等。笔者在借鉴上述成果的基础上,考虑到钢筋混凝土现浇空心楼板尤其是它在大跨度空间中的广泛应用,将废旧泡沫塑料回收后做成夹芯材料填充于建筑楼板的非主要受力位置,大大减轻楼板自重,节约混凝土用量,降低成本。

1 泡沫塑料建筑成品的研制

1.1 泡沫塑料混凝土的组成材料及特点

泡沫塑料混凝土的最大优点是质轻、环保节能,所用原料主要包括:废旧聚苯乙烯泡沫塑料颗粒,水泥胶粘剂,胶粉等粘结剂。其主要骨料废旧聚苯乙烯泡沫塑料为回收的废弃白色污染源,成本低廉,且具有加工方便、质轻、良好的保温隔热性能、较好的稳定性等,取材便利,实现了废弃物品资源的回收利用,减少了环境污染;缺点是由其制作得到的产品表面易磨损,因此,施工过程中需要加强防护。

1.2 泡沫塑料混凝土的配合比试验

泡沫塑料混凝土主要有以下3种材料:

(1) 废旧聚苯乙烯泡沫塑料颗粒:为组成泡沫塑料混凝土的主要骨料,颗粒直径为2~8 mm;

(2) 普通硅酸盐水泥:标号为325#,主要决定了泡沫塑料混凝土的强度大小,而且起到粘结泡沫塑料颗粒的作用;

(3) 胶粉粘结剂:建筑用胶粉,按照与水泥的质量配比加入,主要起到增强水泥和泡沫塑料颗粒及泡沫塑料颗粒之间的粘结作用,使用时胶粉与水按1:10配成胶粉溶液。

为了研究上述3种材料在不同配比下制得泡沫塑料混凝土的成型效果及强度大小,按照表1配比制作了多个试件。配比设计的原则为以每立方米水泥用量为基准分为三大组:88.89,100,115.78 kg/m³,主要研究水泥用量对试件强度、试件成型效果及泡沫塑料颗粒间粘结牢固性的影响;之后每组再按照胶粉用量不同分为3个小组1.3%,1.7%和2.0%,主要研究胶粉用量对试件强度和泡沫塑料颗粒之间粘结性的影响。为了取得可靠的抗压强度结果每组至少做3个试件,每个试件尺寸均为150 mm×150 mm×150 mm。

由于泡沫塑料混凝土组成材料的特殊性,脱模时间需要3 d,脱模后养护28 d,之后对每组中所有试件进行了抗压强度测试,如图1所示。图1a为开始加载时试件在压力机上的图示,图1b为加载直到试件开裂破坏时试件开裂破坏形态。由图1可以

看出,加载后试件表面会有部分泡沫颗粒掉落,但整体承压能力较好,没有出现试件整体碎裂的形态。

表1 泡沫塑料混凝土配比设计

序号	每立方米水泥用量/kg	每个试件材料用量				试件/个
		水泥/g	水/mL	胶粉占水泥用量/%	泡沫/g	
1-1	88.89	300	240	1.3	65	3
1-2	88.89	300	240	1.7	65	3
1-3	88.89	300	240	2.0	65	6
2-1	100	337.5	260	1.3	73.3	3
2-2	100	337.5	260	1.7	73.3	3
2-3	100	337.5	260	2.0	73.3	6
3-1	115.78	390.75	295	1.3	66.7	3
3-2	115.78	390.75	295	1.7	66.7	3
3-3	115.78	390.75	295	2.0	66.7	6

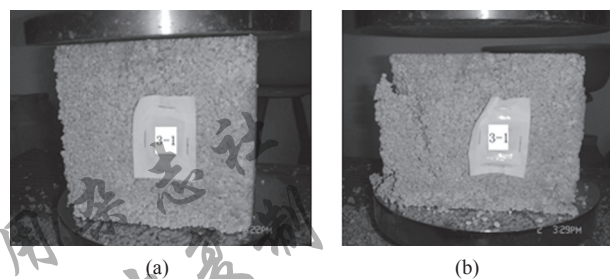


图1 试件抗压强度测试

试件抗压强度测试后,将同一小组中试件抗压强度平均值结果列于表2中。由表2可以看出,随着每立方米水泥用量的增多,材料的密度基本呈增加的趋势,而且抗压强度也增加,说明了水泥在提高泡沫塑料混凝土强度方面的重要性,但考虑到泡沫塑料混凝土的作用为填充材料,因此,水泥用量不能越多越好,而是在保证材料成型效果的前提下,达到工程应用所需的抗压强度即可。

表2 泡沫塑料混凝土物理力学性能参数

试件序号	材料密度/(kg·m ⁻³)	28 d 抗压强度/kPa
1-1	138.27	75.26
1-2	139.33	77.26
1-3	145.78	77.39
2-1	145.28	78.84
2-2	137.38	82.1
2-3	145.86	85.99
3-1	168.27	92.05
3-2	177.35	92.56
3-3	176.16	93.98

图2为不同胶粉用量下抗压强度随水泥用量的变化曲线。由图2可以看出,试件抗压强度随着胶粉掺量的增加而增加,当胶粉掺量一定时,抗压强度又随着水泥用量的增加而增加。而且胶粉掺量为2.0%,水泥用量为115.78 kg/m³时抗压强度明显较掺量为1.3%和1.7%的大。此外,通过观察试

件制品的成型效果、表面颗粒的粘结性及强度测试时的破坏形态发现,胶粉掺量越高,水泥用量越大,则成型效果和表面粘结性越好,受压时越不容易被压碎散裂,而是出现明显的主裂缝,说明试件整体牢固性好。因此,在制作夹芯材料时选用水泥用量为 115.78 kg/m^3 ,胶粉占水泥用量 2.0% 为宜。

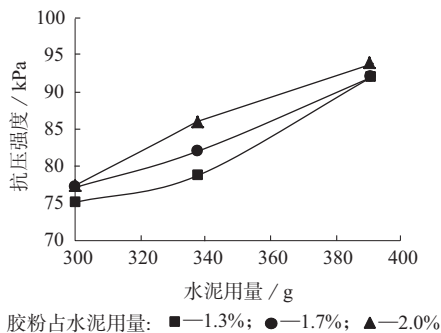
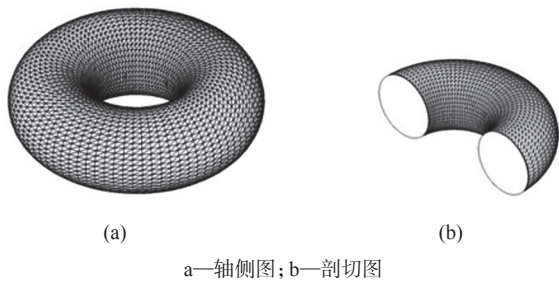


图2 试件抗压强度

1.3 夹芯材料的外形

由于大跨度现浇楼板通常为双向受力结构,因此夹芯材料的外形应利于楼板双向受力,故将其制作成中心对称或双向对称结构外形;考虑到混凝土在浇筑过程中的密实度、夹芯材料在楼板中的固定安放等问题,夹芯材料外形应光滑,避免棱角的出现;大跨度楼板厚度通常在 200 mm 左右,由于某些特殊要求,如《地下工程防水技术规范》4.1.7 条中指出,防水混凝土结构厚度不应小于 250 mm,因此夹芯材料的厚度应依据楼板厚度,并经承载力计算后确定。根据上述要求,可以将夹芯材料做成如图 3 所示外形。



a—轴侧图; b—剖切图

图3 夹芯材料示意图

试验中在制作夹芯材料时发现,搬运过程中夹芯材料表面颗粒易被摩擦掉落,因此在其表面包裹建筑用纤维网格布,并涂抹薄层水泥浆固定,夹芯材料制品如图 4 所示。一方面可以使得夹芯材料表面光滑,保护了泡沫塑料颗粒;另一方面一定程度上提高了夹芯材料的牢固性和强度。夹芯材料的尺寸大小可依据楼板的厚度确定,图 4 中夹芯材料的外径为 350 mm,内直径为 150 mm,截面直径为

100 mm,可用于厚度为 180 ~ 250 mm 的建筑楼板中。由上述方法所制成的夹芯材料具有外形光滑、结构牢固、强度适宜、方便运输等优点。

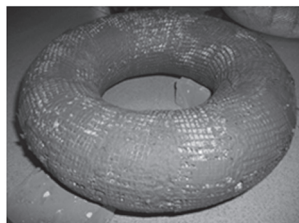


图4 夹芯材料制品

2 泡沫塑料建筑成品应用

2.1 夹芯材料填充楼板结构

夹芯材料圆环体按照某种排列方式填充在现浇楼板结构内部,则可替代部分混凝土,减轻楼板自重。图 5 为夹芯材料填充楼板结构示意图。

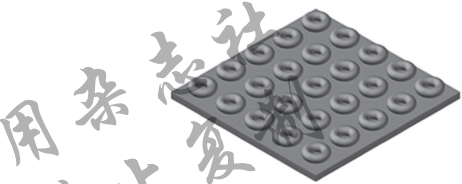


图5 夹芯材料填充楼板示意图

图 5 中为了看清夹芯材料圆环体在楼板内的布置,其上部混凝土没有绘出。实际工程中,夹芯材料在楼板非主要受力位置,放置夹芯材料后,楼板最不利受力截面类似“工”字形,图 6 给出了夹芯材料在楼板内布置的剖面图。通过观察图 6 中夹芯材料在楼板内部的位置,只要夹芯材料上部混凝土高度满足楼板承载力要求(即在计算时截面归为第一类 T 形截面,保证夹芯材料不承受外荷载),再加上钢筋保护层厚度,则可以依据不同楼板厚度制作不同尺寸的夹芯材料,以最大限度代替普通混凝土,从而降低楼板自重。

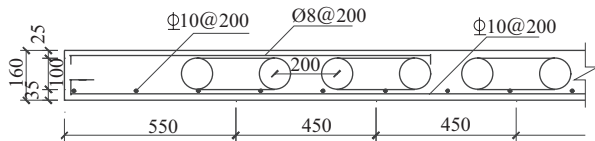


图6 夹芯材料填充楼板剖面图

2.2 夹芯材料填充楼板各项特征

(1) 结构特征。夹芯材料圆环体之间的现浇混凝土形成了密集排列的多根纵横交叉暗肋,使得该楼板受力方式如同密肋楼板。

(2) 材料特征。夹芯材料圆环体与混凝土材料不同,前者填充在非主要受力位置,不影响结构受力的前提下节省了普通混凝土的用量,降低了楼板自重。

(3) 力学特征。图 5 所示的楼板长度和宽度两个方向刚度削弱程度是相同的,利于结构双向受力,楼板内纵横交叉的混凝土暗肋类似于井式梁,力学性能优良。根据规范规定,井式梁板结构的布置主要有 3 种:(a) 正向网格梁,网格梁的方向与屋盖或楼板矩形平面两边相平行;(b) 斜向网格梁,当屋盖或楼盖矩形平面长边与短边之比大于 1.5 时,为提高各向梁承受荷载的效率,应将井式梁斜向布置;(c) 三向网格梁,当楼盖或屋盖的平面为三角形或六边形时,可采用三向网格梁,这种布置方式具有空间作用好、刚度大、受力合理、可减小结构高度等优点。

因此,夹芯材料圆环体可以非常方便地按照正向网格梁、斜向网格梁或三向网格梁的要求布置于楼板内部,使得密肋混凝土构成正向网格密肋(图 5)、斜向网格密肋或三向网格密肋,满足结构不同条件下的使用要求,发挥最优的力学性能。

3 应用技术及效果分析

3.1 夹芯材料固定及抗浮技术

为了保证施工过程中夹芯材料圆环体不错位,应将其与楼板底钢筋网绑扎成一体,所用绑扎材料为细铁丝,绑扎方式采用环绕方式避免将其勒断。图 7 为某一夹芯材料圆环体的固定方式。

此外,由于夹芯材料圆环体的密度很小,由表 2 可知,最大密度仅为 177.35 kg/m^3 ,相比普通混凝土密度 2500 kg/m^3 小很多,在浇筑混凝土过程中夹芯材料所受浮力 $F_{\text{浮}} = \rho g V_{\text{排}}$,其中 ρ 为混凝土密度, g 为重力加速度, $V_{\text{排}}$ 为夹芯材料所占体积。而且在试验研究过程中发现浮力可以将楼板底部整个钢筋网托起,因此,需要采取措施防止浮力对夹芯材料的不利影响,为此,施工时将楼板底部钢筋牢固固定在下部的模板及支撑上,所设置的固定位置依据混凝土对夹芯材料产生的浮力大小确定,通常可设置 1 m 左右的间距。



图 7 夹芯材料圆环体的固定

3.2 施工工艺

施工过程中夹芯材料在楼板中的布置还需考

虑板顶钢筋(即支座负筋)的安放。由于支座负筋带有向下的弯钩,因此,在支座负筋端部位置避免弯钩穿入夹芯材料,应适当留出弯钩位置,如图 8 所示。该图为现场绑扎固定好夹芯材料并安放好板顶钢筋的图。图 8 中夹芯材料在楼板纵横方向按均匀间隔布置,对楼板双向刚度削弱程度相同,利于楼板双向受力。



图 8 夹芯材料填充楼板现场图

将夹芯材料圆环体固定安放好后,另一个关键的问题就是混凝土浇筑,需要做到以下几点:(1) 根据规范要求设定合理的钢筋保护层厚度,以便保证空隙的大小,使得混凝土顺利通过夹芯材料周围流淌到楼板底部;(2) 严格控制混凝土粗骨料的粒径,防止尺寸不合理的粗骨料阻碍水泥浆的自由流淌,以保证浇筑过程中混凝土的密实度,避免浇筑好的楼板经行人踩踏后出现空响声;(3) 选择适宜的混凝土坍落度,混凝土坍落度是衡量混凝土流动性的一个重要指标,由于夹芯材料圆环体与模板之间的空隙较小,试验研究发现混凝土坍落度宜采用 100 ~ 150 mm;(4) 严格规范进行混凝土振捣,一要做到专人振捣,保证混凝土的密实度,二要保证振捣过程中避开夹芯材料位置,可以事先安放标志牌,防止将夹芯材料振坏。

按上所述总结得到夹芯材料填充楼板的施工流程图如图 9 所示。

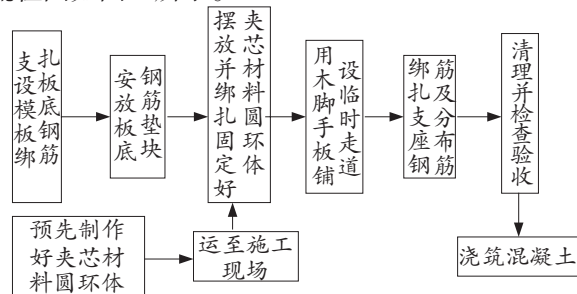


图 9 夹芯材料填充楼板施工流程图

由图 9 可知,该施工过程中,混凝土为一次性浇筑,方便快捷。试验时待混凝土浇筑完后,先对楼板表面混凝土粗略抹平,待约两个小时后将其表面

压平收光,最后铺上塑料薄膜养护。

3.3 效果分析

(1) 经济效果。

根据上述配比试验研究发现,要制作夹芯材料圆环体,水泥用量取 115.78 kg/m^3 ,胶粉用量取水泥用量的 2%,泡沫塑料颗粒用量取 20 kg/m^3 为宜,按照此配比关系,可算得每立方米夹芯材料的总价,并将其列于表 3 中。

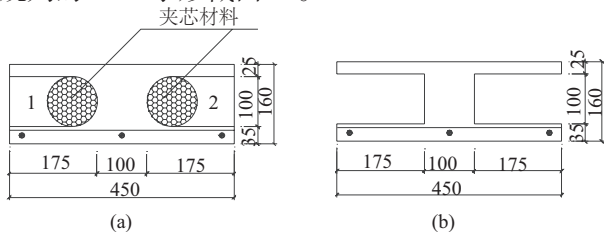
表 3 每立方米夹芯材料的总价

材料名称	用量 / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	单价 / (元 $\cdot \text{kg}^{-1}$)	合计 / (元 $\cdot \text{m}^{-3}$)
水泥	115.78	0.4	46.3
泡沫	20	4	80
胶粉	2.32	25	58

以 2016 年郑州市价格为例,普通商品混凝土为 300 元/m^3 左右,从表 3 可以看出,在楼板中利用夹芯材料每置换 1 立方米普通商品混凝土则节省 115.7 元左右,可见采用夹芯材料圆环体填充在楼板内部可以大大降低工程造价,具有很高的经济价值。

(2) 极限承载力和抗裂荷载的理论值。

以夹芯材料圆环体的外径为 350 mm ,内径为 150 mm ,截面直径为 100 mm ,相邻间距为 100 mm 填充在现浇楼板中,楼板长、短边尺寸分别为 $5.4, 3.6 \text{ m}$,为双向板,双向均配置 $\Phi 10@200$ 的纵向受力钢筋,以混凝土强度等级 C25 为例,按弹性方法并依据《混凝土结构设计规范》计算夹芯材料圆环体填充楼板的极限承载力和抗裂荷载。取相邻两列或两行夹芯材料中心间距为一个计算板带,则每个计算板带的最不利截面为不规则截面,如图 10a 所示,计算较复杂。为简化计算,并趋于保守设计,实际计算时不考虑夹芯材料受力,将夹芯材料按空洞考虑,而且将图 10a 中 1,2 区域范围内的普通混凝土忽略不计,则不规则截面简化为图 10b 所示规则的“工”字形截面^[16]。



a—不规则计算截面;b—简化计算截面

图 10 板带计算简图

由于夹芯材料抗压强度较小,计算中没有考虑其承受外荷载的作用,因此“工”字型截面按第一类

T 形截面进行计算,即夹芯材料上部混凝土高度满足抗压承载力要求。利用《混凝土结构设计规范》中公式 (1) 和 (2) 进行极限承载力计算得到扣除自重后的极限承载力为 7.44 kPa 。

$$a_1 f_c b_f x = f_y A_s \quad (1)$$

$$M_u = a_1 f_c b_f x (h_0 - \frac{x}{2}) \quad (2)$$

式中: a_1 ——系数,当混凝土强度不超过 C50 时取 1;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值, Pa;

b_f ——I 形截面受压区的翼缘计算宽度, m;

x ——混凝土受压区高度, m;

f_y ——钢筋抗拉强度设计值, Pa;

A_s ——受拉区纵向普通钢筋截面面积, m^2 ;

h_0 ——截面有效高度, m;

M_u ——极限弯矩值, N $\cdot \text{m}$ 。

考虑钢筋受拉,将钢筋的面积折算后加到混凝土受拉区面积上,钢筋折算后的面积为 $(E_s/E_c - 1)A_s$ 。

其中 E_s, E_c 分别为钢筋和混凝土的弹性模量,经公式 (3) 计算得到扣除自重后楼板理论开裂荷载为 1.67 kPa 。

$$\sigma = \frac{My}{I}, M_t = \frac{f_{tk} I}{y_c} \quad (3)$$

式中: σ ——应力, Pa;

I ——惯性矩, m^4 ;

M, M_t ——弯矩, 开裂弯矩, N $\cdot \text{m}$;

y ——截面上所求应力点的纵坐标, m;

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度, Pa;

y_c ——工字型截面形心, m。

(3) 试验效果。

试验过程中发现,当加载达到 3.192 kPa ,即大于理论开裂荷载 1.67 kPa 时板底开裂,说明夹芯材料填充楼板的开裂荷载试验值远大于弹性方法理论计算值,通过测试得到板底裂缝最大宽度为 0.13 mm (如图 11 所示),小于《混凝土结构设计规范》表 3.4.5 一类环境中,最大裂缝宽度限值 0.3 mm 。

实验时采用在楼板顶部堆放普通砖进行夹芯材料圆环体填充板的加载测试,每层砖荷载为 0.399 kPa ,当加载到 19 层砖 (如图 12 所示) 即砖荷载达到 7.581 kPa ,即大于弹性理论极限承载力 7.44 kPa

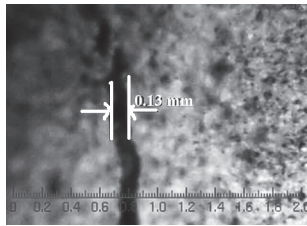


图 11 夹芯材料圆环体填充楼板底裂缝

时发现楼板并未破坏也没有出现破坏的迹象,维持此荷载值一段时间后测得了跨中变形为 8.705 mm,小于规范规定的挠度限值 $L_0/200$ (L_0 为计算跨度,此处楼板长边和短边计算跨度分别为 5.4 m 和 3.6 m)。



图 12 夹芯材料填充楼板加载图

4 结论

(1) 为了解决生活中的废旧聚苯乙烯泡沫塑料这一白色污染问题,借鉴土木工程领域利用泡沫塑料的现有成果,开辟了一种解决白色污染的新途径,即通过回收废旧泡沫塑料将其制作成建筑成品填充在建筑楼板中加以利用,大大节省了混凝土用量,降低了工程造价。

(2) 通过设计泡沫塑料混凝土各种组成材料的不同配比,制作了多组试件进行抗压强度试验,得到了泡沫塑料混凝土的密度和 28 天抗压强度,从而分析研究得到了制作夹芯材料的适宜配比。

(3) 给出了泡沫塑料建筑成品——夹芯材料圆环体的特点,制作过程中的关键技术及由其填充的建筑楼板的结构特征、材料特征和力学特征,充分阐述了夹芯材料圆环体在建筑楼板中应用的可行性。

(4) 通过对每立方米夹芯材料圆环体和普通混凝土的价格对比,说明了夹芯材料圆环体的经济性;通过分析夹芯材料圆环体填充板的理论极限承载力、抗裂荷载及其试验结果,说明了夹芯材料圆环体不仅利用了环境中的废弃物,减少了环境污染,而且没有影响建筑楼板的抗裂能力和承载能力,具有较强的工程应用价值。

参考文献

[1] 王临清,李泉鸣,朱法华.中国城市生活垃圾处理现状及发展建议[J].环境污染与防治,2015,37(2):106-109.

Wang Linqing, Li Xiaoming, Zhu Fahua. Current situation of municipal solid wastes disposal and development proposals in China[J]. Environmental Pollution & Control, 2015, 37(2):106-109.

[2] 毛永宁,汪小慈,赵黛青,等.不同城市生活垃圾焚烧技术的综合评价[J].环境污染与防治,2015,37(2):32-37,41.

Mao Yongning, Wang Xiaohan, Zhao Daiqing, et al. Comprehensive evaluation of different municipal solid waste(MSW) incineration technologies[J]. Environmental Pollution & Control, 2015, 37(2):32-37,41.

[3] 闫实.白色污染对农业生态环境安全影响研究[J].农业环境与发展,2012(5):40-42.

Yan Shi. Safety study of agriculture ecological environment by white pollution[J]. Agricultural Environment & Development, 2012(5):40-42.

[4] 李芳蓉,童丹.白色污染的危害及其绿色化治理对策[J].江苏教育学院学报:自然科学,2013,29(3):39-44,92.

Li Fangrong, Tong Dan. On the harm of white pollution and its green countermeasures[J]. Journal of Jiangsu Institute of Education: Natural Sciences, 2013, 29(3):39-44,92.

[5] 陈丹,黄兴元,汪朋,等.废旧塑料回收利用的有效途径[J].工程塑料应用,2012,40(9):92-94.

Chen Dan, Huang Xingyuan, Wang Peng, et al. Recycling effective ways of waste plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(9):92-94.

[6] 王宝春,郑威,袁秀梅.泡沫塑料研究进展[J].工程塑料应用,2009,37(10):77-82.

Wang Baochun, Zheng Wei, Yuan Xiumei. Research situation of foam plastic[J]. Engineering Plastics Application, 2009, 37(10):77-82.

[7] 杨冰,许颖,王小威,等.高填充可降解塑料制品的研究及应用进展[J].塑料,2014,43(4):39-42.

Yang Bing, Xu Ying, Wang Xiaowei, et al. Research and application development of highly loaded degradable plastic products[J]. Plastics, 2014, 43(4):39-42.

[8] 谭志坚,王朝云,易永健,等.可生物降解材料及其在农业生产中的应用[J].塑料科技,2014,42(2):83-89.

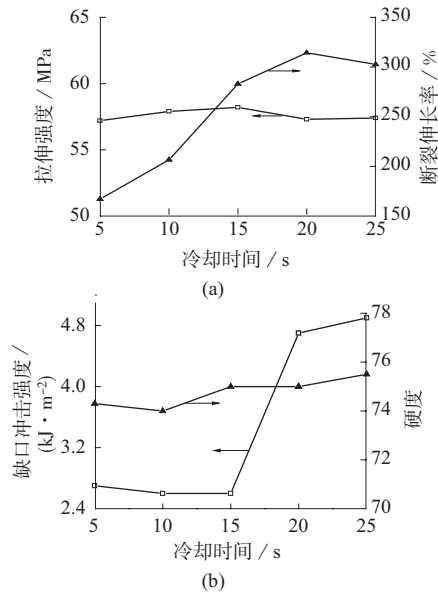
Tan Zhijian, Wang Chaoyun, Yi Yongjian, et al. Biodegradable materials and their application in agricultural production[J]. Plastics Science and Technology, 2014, 42(2):83-89.

[9] 杨艳梅.国外城市垃圾处理经验对我国的启示[J].环境保护与循环经济,2014(4):15-18.

Yang Yanmei. Foreign urban garbage treatment experience for China[J]. Environmental Protection and Circular Economy, 2014(4):15-18.

[10] 薛冰川.日本垃圾处理的经验及对我国的启示[J].世界环境,2014(2):32-34.

Xue Bingchuan. Japan's experience in waste disposal and implications for China[J]. World Environment, 2014(2):32-34.



a—拉伸性能; b—缺口冲击强度和硬度

图8 冷却时间对PET力学性能的影响

280℃时,制品表面有凹痕。

(2) 模具温度为70℃时,PET的拉伸强度较小,断裂伸长率和缺口冲击强度较大,制品不易结晶、透明度高、韧性较好。

(3) 注塑压力为50 MPa时,PET的拉伸强度较小、断裂伸长率和缺口冲击强度较大。

(4) 冷却时间为20 s时,PET的透明度较高,拉伸强度较小、断裂伸长率和缺口冲击强度较高,无翘曲和凹痕的出现。

参考文献

- [1] Fecine G J M, Souto-Maior R M, Rabello M S. Photodegradation of multilayer films based on PET copolymers[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2007, 104(1):51-57.
- [2] Cho J Y, Hong C J, Choi H M. Microwave-assisted glycolysis for PET with highly hydrophilic surface[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52(6):2 309-2 315.
- [3] Foulc M P, Bergeret A, Ferry L, et al. Study of hygrothermal ageing of glass fibre reinforced PET composites[J]. Polymer Degradation & Stability, 2005, 89(3):461-470.
- [4] 杨艳秋. 食品级PET的注射成型工艺及老化研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2015:18-37.
- [5] Yang Yanqiu. Study on injection molding process and properties of polyethylene terephthalate as food materials with ageing[D]. Qingdao:Qingdao University of Science and Technology, 2015:18-37.
- [5] 郭凤刚. PET薄膜透明度的分析及实验[J]. 聚酯工业, 2014, 27(1):31-34.
- [6] Guo Fenggang. Analysis and experiment on the transparency of PET film[J]. Polyester Industry, 2014, 27(1):31-34.
- [6] 何曼君, 张红东, 陈维孝, 等. 高分子物理[M](第3版). 上海: 复旦大学出版, 2007:205-211.
- [7] He Manjun, Zhang Hongdong, Chen Weixiao, et al. Polymer physics[M]. 3rd ed. Shanghai:Fudan University Press, 2007:205-211.
- [7] 樊洁, 吴宇, 王卓妮, 等. 影响塑料性能测试结果的因素分析[J]. 塑料工业, 2012, 40(B10):48-50.
- [8] Fan Jie, Wu Yu, Wang Zhuoni, et al. Analysis of factors influencing the test results of plastic performance[J]. Plastics Industry, 2012, 40(B10):48-50.
- [8] 戴文利. 增强PET工程塑料的加工性能[J]. 湘潭大学自然科学学报, 1997, 19(2):83-85.
- [9] Dai Wenli. Engineering plastics processability of the reinforced PET[J]. Natural Science Journal of Xiangtan University, 1997, 19(2):83-85.
- [9] 吴利英. 热塑性塑料注塑制品内应力分析[J]. 塑料科技, 2001(1):28-33.
- [10] Wu Liying. Analysis of inner stress of thermoplastic injection products[J]. Plastics Science and Technology, 2001(1):28-33.
- [11] 陈振举. 泡沫混凝土在屋面保温中的运用[J]. 技术与市场, 2011, 18(12):73, 75.
- [12] Chen Zhenju. Application of foam concrete in roof insulation[J]. Technology and Market, 2011, 18(12):73, 75.
- [12] 张英, 杨小芳, 赵芊, 等. 泡沫混凝土在屋面保温工程中的应用[J]. 新型建筑材料, 2011(9):19-21.
- [13] Zhang Ying, Yang Xiaofang, Zhao Qian, et al. Application of foam concrete in thermal insulation roof engineering[J]. New Building Materials, 2011(9):19-21.
- [13] 周翔. 泡沫混凝土在软土路段高速公路改建工程中的应用[J]. 华东公路, 2016(3):46-48.
- [14] Zhou Xiang. Foam concrete application in the soft expressway for rebuilding project[J]. East China Highway, 2016(3):46-48.
- [14] 王海军, 姚勇, 陈代果, 等. 泡沫混凝土自保温墙体传热性能试验研究[J]. 施工技术, 2015, 44(4):111-115.
- [15] Wang Haijun, Yao Yong, Chen Daiguo, et al. Experimental research on heat transfer performance for self-insulation foam-concrete wall[J]. Construction Technology, 2015, 44(4):111-115.
- [15] 张会芝, 郑建岚. 再生混凝土自保温砌块墙体传热性能[J]. 建筑材料学报, 2016, 19(2):304-309.
- [16] Zhang Huizhi, Zheng Jianlan. Heat transfer characteristics of recycled concrete self insulation block wall[J]. Journal of Building Material, 2016, 19(2):304-309.
- [16] 张大英, 许启铿, 王树明. 一种轻质混凝土暗肋楼板及其简化分析方法[J]. 混凝土, 2015(2):122-124, 131.
- [17] Zhang Daying, Xu Qikeng, Wang Shuming. Simplified analysis method for the lightweight concrete floor with hidden rib[J]. Concrete, 2015(2):122-124, 131.

(上接第25页)