

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.2012.05.012

渠道防渗防冻胀复合型保温塑料板的试验研究

何武全^{1,2}, 郑水蓉³, 沈长越¹

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100;
3. 西北工业大学理学院, 陕西 西安 710072)

摘要: 提出了一种填充玉米秆碎粉的复合型聚氨酯泡沫保温塑料板, 初步确定了其配方和制备工艺, 通过试验研究了不同玉米秆碎粉粒径 ($0 < D \leq 0.45$ mm, 0.45 mm $< D \leq 1.50$ mm, 1.50 mm $< D \leq 4.00$ mm 等3种规格) 和填充量对聚氨酯泡沫塑料的密度、压缩强度和导热性能的影响, 以及不同的填充量及粒径对聚氨酯泡沫塑料的发泡时间、发泡成型效果的影响。结果表明, 当玉米秆碎粉粒径一定时, 随着填充量的增加, 填充玉米秆碎粉的聚氨酯泡沫保温材料的密度增大, 但压缩强度下降; 当玉米秆碎粉粒径为 0.45 mm $< D \leq 1.50$ mm、填充量为30%时, 制备的复合型聚氨酯泡沫塑料板的压缩强度(10%压缩变形)为85 kPa, 导热系数为 0.038 W/(m·K), 尺寸变化率($-40 \sim +70$ °C)为 $\pm 1\%$, 能够满足渠道衬砌防渗工程中防冻胀破坏的性能要求。经测算, 与不填充玉米秆碎粉的聚氨酯泡沫塑料板相比, 复合型泡沫塑料保温板的成本可降低约25%, 而且能够充分利用农业生产的废弃物, 减少丢弃或焚烧这些废弃物对环境造成的污染。

关键词: 渠道防渗; 防冻胀; 玉米秆碎粉; 保温塑料板; 综合利用

中图分类号: S275 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2012)05-0553-05

Experimental study on composite insulating plastic board of preventing channel seepage and frost heave

He Wuquan^{1,2}, Zheng Shuirong³, Shen Changyue¹

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shannxi 712100, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Yangling, Shannxi 712100, China; 3. Faculty of Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shannxi 710072, China)

Abstract: A composite insulating plastic board of polyurethane foam, in which the powders of broken corn stalks have been stuffed, was invented; its formula and preparation technology were primarily decided as well. Effects of the size and content of broken corn stalks power ($0 < D \leq 0.45$ mm, $0.45 < D \leq 1.50$ mm, 1.50 mm $< D \leq 4.00$ mm), on the density, compression strength and thermal conductivity of the polyurethane foam plastic were experimented. Meanwhile, their influences on the foaming time, foam molding of the plastic were observed too. The results showed that when the corn stalk broken powder size is fixed, the density of the foam plastic increase, its compression strength drops off with increasing content of the powders stuffed. When the broken corn stalks powder size and filled content are 0.45 mm $< D \leq 1.50$ mm and 30%, the compression strength (compressed by 10%), heat conductivity ($-40 - +70$ °C) and dimension change of the composite polyurethane foam plastic board are 85 kPa, 0.038 W/(m·K) and $\pm 1\%$, respectively, suggesting the board can satisfy the require-

收稿日期: 2012-03-16

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划项目(2011BAD25B04)

作者简介: 何武全(1967—), 男, 陕西合阳人, 副教授(hewuquan1967@sina.com), 主要从事节水灌溉理论与技术研究。

郑水蓉(1962—), 女, 陕西西安人, 副教授(zhengsr@nwpu.edu.cn), 主要从事高分子材料及应用研究。

ments on the performance preventing seepage in channel lining applications and damage on channels caused from frost heave. According to estimates, using this composite insulating foam board in projects can reduce their cost by about 25%. Moreover, waste products of agriculture can be made full use, reducing pollution on the environment caused from disposal or incineration of those wastes.

Key words: channel seepage control; anti-frost heave; corn rod broken powder; insulation plastic board; comprehensive utilization

农业灌溉过程中输水渠道渗漏是用水浪费的主要方面^[1]. 渠道衬砌防渗可以极大地减小渠道输水过程中的渗漏损失, 是目前世界各国应用最广泛的节水灌溉工程技术措施之一^[2-4]. 但是, 在季节性冻土地区, 刚性材料衬砌防渗渠道, 由于负温的作用, 冬季常常遭受到不同程度的冻害破坏, 严重影响到工程的正常运行和防渗效果. 混凝土等刚性材料防渗层下部铺设保温材料, 可以减轻或消除冻胀破坏, 在渠道防渗工程中已得到广泛应用. 目前常用的保温材料是聚苯乙烯泡沫塑料板, 该材料具有一定的吸水性, 在潮湿环境中, 经冻融, 吸水性逐渐增大, 其保温效果逐年下降, 且性脆, 施工中容易断裂, 不仅影响施工进度, 还会降低保温效果^[5-6].

聚氨酯及其改性保温材料性能优于聚苯乙烯泡沫塑料板, 具有导热系数低、力学性能好等优点, 被普遍应用于建筑墙体保温和混凝土坝保温方面. 但是, 聚氨酯保温材料的价格较高, 制约了其在渠道衬砌防渗工程中的应用^[7-9]. 文中利用玉米秆碎粉作为填充材料^[10], 研制一种复合型聚氨酯泡沫保温塑料板, 使其性能指标能够满足渠道防渗防冻胀要求, 同时降低保温材料的成本.

1 材料与方法

1.1 原材料

原材料包括玉米秆碎粉、聚醚多元醇、异氰酸酯以及催化剂、发泡剂、泡沫稳定剂、防老剂等. 试验中, 玉米秆碎粉粒径 D 采用粒径 $0 < D \leq 0.45 \text{ mm}$, $0.45 \text{ mm} < D \leq 1.50 \text{ mm}$, $1.50 \text{ mm} < D \leq 4.00 \text{ mm}$ 等 3 种规格, 聚醚多元醇采用 N-303 和 ZS-1618A 的混合料, 异氰酸酯采用 M-200.

1.2 制备工艺

将一定量的 N-303 和 ZS-1618A 混合的聚醚多元醇置于反应模具中, 依次加入发泡剂、催化剂、泡沫稳定剂、防老剂、玉米秆碎粉, 搅拌均匀, 再加入异氰酸酯 M-200 迅速搅拌均匀, 在模具中静置发泡 30 min, 然后将其放入烘箱中于 $110 \sim 120 \text{ }^\circ\text{C}$ 熟化 1 h, 冷

却脱模, 即得到填充玉米秆碎粉的复合型聚氨酯泡沫塑料板试样. 制备时应注意发泡剂和催化剂的用量, 要保证泡沫的增长与固化同步, 并使密度和强度满足要求. 大量生产时或现场施工不具备加温条件时, 可通过延长达到相同熟化效果^[9].

1.3 性能测试方法

试验中测定了复合型聚氨酯泡沫塑料板的密度、压缩强度、尺寸变化率和导热系数. 密度通过测量试样的质量和体积来确定, 压缩强度采用 CMT7204 型电子拉力试验机测定, 在恒温恒湿试验箱中测定试样的长度、宽度和尺寸变化率, 导热系数采用 Im-DRY300X 型双平板导热系数测定仪测定.

2 结果与分析

2.1 玉米秆碎粉对泡沫塑料板压缩强度的影响

2.1.1 填充玉米秆碎粉的塑料板压缩强度方向性

填充玉米秆碎粉的聚氨酯泡沫塑料板是在一个半密闭的模具中发泡的, 平行于泡沫塑料发泡方向压缩时的压缩强度较垂直压缩的压缩强度大一些. 这是因为在发泡过程中气泡会沿发泡方向呈椭圆结构, 这种结构造成两个方向压缩强度的差别, 平行于椭圆长轴方向压缩的强度应该大于垂直于椭圆长轴方向压缩的强度, 这种差别也可能是发泡过程造成填料对泡沫塑料两个方向的增强效果不同而引起的. 不同方向对泡沫塑料压缩时的力 (F) 与位移 (S) 的关系曲线见图 1, 2. 试样是玉米秆碎粉粒径为 $0.45 \text{ mm} < D \leq 1.50 \text{ mm}$ 、填充量为 30% 的复合聚氨酯泡沫塑料板, 尺寸为 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$.

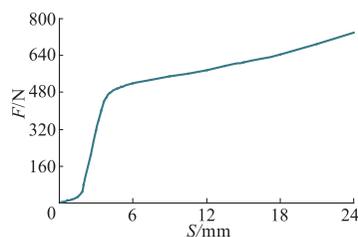


图 1 平行于泡沫塑料发泡方向压缩的力-位移曲线
Fig. 1 Force-displacement curve under compression in foam direction

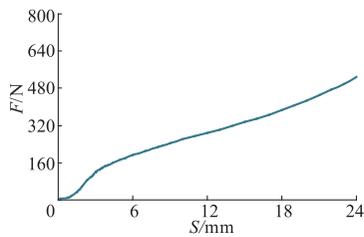


图2 垂直于泡沫塑料发泡方向压缩的力-位移曲线
Fig.2 Force-displacement curve under compression in direction perpendicular to foam

由图1,2可见,平行于泡沫塑料发泡方向压缩时,在力-位移关系曲线上明显出现了试样的受力屈服现象;而垂直于泡沫塑料发泡方向压缩时,在力-位移关系曲线上,试样的应力小得多,受力屈服现象也不明显.这些差别是由于泡沫塑料发泡时,玉米秆碎粉作为填料在体系中会随着泡沫的增长向泡沫生长方向排列,从而引起两个方向受力大小的不同.

2.1.2 碎粉粒径对塑料板压缩强度的影响

玉米秆碎粉粒径大小对泡沫塑料的性能有很大的影响.玉米秆碎粉的形状一般呈条状,可以根据需要分成不同的粒径,这种填料一般情况下都是不同粒径的混合物.试验中,这些不同粒径的混合填料被分为 $0 < D \leq 0.45$ mm, 0.45 mm $< D \leq 1.50$ mm, 1.50 mm $< D \leq 4.00$ mm 这3个规格.如果填料粒径小,则比表面积就会增大,这样,在泡沫塑料中的填充量就不会很大.随着填料粒径的增大,填料比表面积相应的减小,填充量也就可以相应的加大.试验表明,在其他因素不变的情况下,粒径对泡沫塑料压缩性能的影响出现比较复杂的变化.当在其他因素不变的情况下,玉米秆碎粉填充量为30%时, $0 < D \leq 0.45$ mm规格填料的试样压缩强度为0.21 MPa, 0.45 mm $< D \leq 1.50$ mm规格填料的试样压缩强度为0.22 MPa, 1.50 mm $< D \leq 4.00$ mm规格填料的试样压缩强度为0.19 MPa.由此可见,玉米秆碎粉的粒径必须控制在一定的范围内,粒径过大或者过小,都会造成玉米秆碎粉在泡沫塑料中的增强效果不明显.试验发现,当玉米秆的粒径在 0.45 mm $< D \leq 1.50$ mm时对泡沫塑料的增强效果最佳.

2.1.3 碎粉填充量对塑料板压缩强度的影响

在同一配方下,研究了同一粒径规格、不同玉米秆碎粉填充量对聚氨酯泡沫塑料板压缩强度的影响.玉米秆碎粉粒径为 1.50 mm $< D \leq 4.00$ mm规格时,不同填充量(质量分数 w)的聚氨酯泡沫塑料板压缩变形10%时的压缩强度(p)曲线见图3.由图

可见,随着玉米秆碎粉填充量的增大,其压缩强度逐渐减小.当填充量大于70%时,玉米秆碎粉在树脂中的分散性和发泡效果就变得很差,气泡在泡沫塑料中的分布以及气泡的大小也不均匀;由压缩受力方向的不同而造成的压缩强度的差别很明显,平行于泡沫塑料发泡方向的压缩强度较垂直于泡沫塑料发泡方向的要大一些,所以应该在应用中注意这种差别.

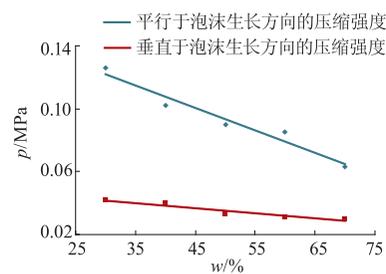


图3 玉米秆碎粉填充量与泡沫塑料板压缩强度的关系曲线
Fig.3 Compression strength of plastic foam board for various contents of cornstalk powder stuffed

2.2 玉米秆碎粉对聚氨酯泡沫塑料板密度的影响

2.2.1 碎粉填充量对塑料板密度的影响

试验中,在其他条件不变的情况下,研究了不同玉米秆碎粉粒径和填充量对聚氨酯泡沫塑料板密度的影响.结果表明,粒径为 $0 < D \leq 0.45$ mm的玉米秆碎粉,由于颗粒较细,比表面积增大,当填充量大于35%时其分散性和发泡都有困难,试验中分别取20%,25%,30%等3种玉米秆碎粉填充量;粒径为 0.45 mm $< D \leq 1.50$ mm的玉米秆碎粉,填充量可以加大到40%,试验中分别取20%,30%,40%等3种玉米秆碎粉填充量;粒径为 1.50 mm $< D \leq 4.00$ mm的玉米秆碎粉,填充量可以加大到70%也能正常分散和发泡,试验中分别取25%,35%,40%,50%,60%,70%等6种玉米秆碎粉填充量.不同粒径玉米秆碎粉填充量(w)与泡沫塑料板密度(ρ)的关系曲线见图4.由图可见,3种规格粒径的玉米秆碎粉,随着填充量的增大,泡沫塑料板的密度都呈现逐渐增大的趋势.

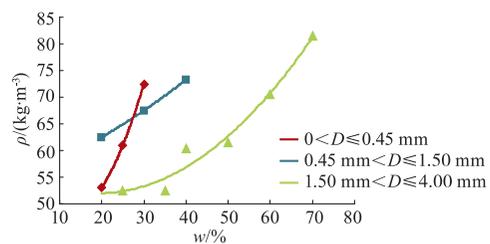


图4 玉米秆碎粉填充量与泡沫塑料板密度的关系曲线
Fig.4 Density of plastic foam board for various contents of cornstalk powder filled

2.2.2 碎粉粒径对塑料板密度的影响

试验中,在玉米秆碎粉填充量不变的情况下,研究了不同玉米秆碎粉粒径对聚氨酯泡沫塑料板密度的影响. 填充不同玉米秆碎粉粒径时的聚氨酯泡沫塑料板的密度见表1. 由表可见,随着玉米秆碎粉粒径(D)的增大,聚氨酯泡沫塑料板的密度(ρ)逐渐减小. 这是因为,对于粒径较大的填料,由于空间位阻,在发泡过程中会在内部形成较大的孔隙,而粒径较小的填料则堆积得比较紧密,从而使粒径大的填料密度反而降低. 这也是若使用较大粒径的填料,聚氨酯泡沫塑料板的压缩强度反而降低的一个原因. 实际应用中,可以通过不同大小粒径的复配技术,以达到即使增加填料的填充量,也能提高聚氨酯泡沫塑料板力学性能的目的.

表1 不同玉米秆碎粉粒径的泡沫塑料板密度
Tab.1 Density of plastic foam board made from different sizes of cornstalk powder

D/mm	$0 < D \leq 0.45$	$0.45 < D \leq 1.50$	$1.50 < D \leq 4.00$
$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	73	68	53

注:玉米秆碎粉体积分数为基体树脂的30%.

3 复合型聚氨酯泡沫塑料板性能指标

由试验结果得出,玉米秆碎粉粒径为 $0.45 \text{ mm} < D \leq 1.50 \text{ mm}$ 、填充量为30%时,制备的复合型聚氨酯泡沫塑料板的综合性能较好,其主要性能指标见表2. 由表可见,复合型聚氨酯泡沫塑料板的密度(ρ)和导热系数(λ)略高于不填充玉米秆碎粉的聚氨酯泡沫塑料板,10%变形时的压缩强度(p)也略大, $-40 \sim 70 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的尺寸稳定性(δ)相对较好,其综合性能与不填充玉米秆碎粉的聚氨酯泡沫塑料板的性能相当,基本能够满足渠道衬砌防冻胀的要求^[11],但降低了成本,经测算,成本降低25%左右.

表2 复合型聚氨酯泡沫塑料板与其他保温材料性能的比较

项目	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	p/kPa	$\delta/\%$	$\lambda/(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
复合型聚氨酯泡沫塑料板	58	85	± 1.0	0.038 8
聚氨酯泡沫塑料板	50	100	± 0.4	0.033 0
渠道防渗规范要求	≥ 20	≥ 50	± 1.5	≤ 0.04

4 结 论

1) 冻胀破坏是季节性冻土地区渠道防渗工程的主要破坏形式,采用保温材料可以有效地消减或消除冻胀. 聚氨酯泡沫塑料板具有很好的保温防冻胀性能,但价格较高. 而填充玉米秆碎粉的复合型泡沫塑料保温板,只要控制玉米秆碎粉的粒径和填充量,则可以使其性能与聚氨酯泡沫塑料板的性能相当.

2) 通过不同玉米秆碎粉粒径和填充量对聚氨酯泡沫塑料板密度与压缩强度的试验研究,得知玉米秆碎粉粒径为 $0.45 \text{ mm} < D \leq 1.50 \text{ mm}$ 、填充量为30%时,制备的复合型聚氨酯泡沫塑料板的压缩强度(压缩10%)为85 kPa,导热系数为 $0.038 8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,能够满足渠道衬砌防渗工程中防冻胀破坏的性能要求.

3) 经测算,与不填充玉米秆碎粉的聚氨酯泡沫塑料板相比,复合型泡沫塑料保温板的成本可降低约25%,而且能够充分利用农业生产的废弃物,减少丢弃或焚烧这些废弃物对环境造成的污染.

4) 试验中发现填充玉米秆碎粉的复合型聚氨酯泡沫塑料板的吸水率较大. 在不降低性能的情况下,如何降低其吸水率,仍需进一步地研究.

参考文献(References)

- [1] 金宏智,严海军,钱一超. 国外节水灌溉工程技术发展分析[J]. 农业机械学报,2010,41(S0):59-63.
Jin Hongzhi, Yan Haijun, Qian Yichao. Overseas development of water-saving irrigation engineering technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(S0):59-63. (in Chinese)
- [2] 何武全,孔东. 渠道衬砌与防渗工程技术[M]. 郑州:黄河水利出版社,2011.
- [3] Phogat V, Malik R S, Kumar Sanjay. Modelling the effect of canal bed elevation on seepage and water table rise in a sand box filled with loamy soil[J]. Irrigation Science, 2009, 27(3):191-200.
- [4] Kahlown M A, Kemper W D. Reducing water losses from channels using linings; Costs and benefits in Pakistan [J]. Agricultural Water Management, 2005, 74(1):57-76.
- [5] 何武全,刘群昌. 我国渠道衬砌与防渗技术发展现状与趋势[J]. 中国农村水利水电,2009(6):3-6.
He Wuquan, Liu Qunchang. The present development

- status and trends of canal lining and seepage control techniques in China[J]. China Rural Water and Hydropower, 2009(6):3-6. (in Chinese)
- [6] Akagawa Satoshi, Nishisato Kohei. Tensile strength of frozen soil in the temperature range of the frozen fringe [J]. Cold Regions Science and Technology, 2009, 57(1):13-22.
- [7] 吴蓁,孙揭阳,郭青,等. 建筑保温用聚氨酯泡体结构与性能的研究[J]. 新型建筑材料, 2009(8):54-57. Wu Zhen, Sun Jieyang, Guo Qing, et al. The study on the structure and property of polyurethane foam for the building thermal insulation [J]. New Building Materials, 2009(8):54-57. (in Chinese)
- [8] Maslov A N, Smirnova L A, Ryabov S A, et al. Mechanical properties of polyurethane foams modified by polymer-polyols[J]. Polymer Science Series B, 2006, 48(4):190-193.
- [9] 李世新,扬长征,杜彬,等. 新疆山口水电站混凝土坝保温保湿方案分析[J]. 水力发电学报, 2008, 27(3):43-47.
- Li Shixin, Yang Changzheng, Du Bin, et al. Analysis of heat and moisture insulation schemes for a concrete dam of Shankou hydropower station in Xinjiang Province [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008, 27(3):43-47. (in Chinese)
- [10] 吴鸿欣,曹洪国,韩增德,等. 中国玉米秸秆综合利用技术介绍与探讨[J]. 农业工程, 2011, 1(3):9-12. Wu Hongxin, Cao Hongguo, Han Zengde, et al. Introduction and discussion of cornstalk utilization technology in China[J]. Agricultural Engineering, 2011, 1(3):9-12. (in Chinese)
- [11] 中华人民共和国水利部. GB/T 50600—2010 渠道防渗工程技术规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2011.

(责任编辑 张文涛)

(上接第516页)

- [7] Ragheb A M, Selig M S. Multi-element airfoil configurations for wind turbines [C]//Proceedings of the 29th AIAA Applied Aerodynamics Conference. Honolulu, Hawaii; American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2011.
- [8] 王福军. 计算流体力学分析——CFD 软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [9] Patalia T P, Kulkarni G R. Behavioral analysis of genetic algorithm for function optimization[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, 2010.
- [10] 石吉勇,邹小波,赵杰文,等. 基于 GA-ICA 和高光谱图像技术的黄瓜叶叶绿素检测[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2011, 32(2):134-139.
- Shi Jiyong, Zou Xiaobo, Zhao Jiewen, et al. Measurement of chlorophyll content in cucumber leaves based on GA-ICA and hyper-spectral imaging technique [J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2011, 32(2):134-139. (in Chinese)
- [11] 郑云,高永卫. 遗传算法在风洞试验优化中的应用研究[J]. 试验流体力学, 2007, 21(3):58-75. Zheng Yun, Gao Yongwei. The application research of genetic algorithm in wind tunnel experiment optimization [J]. Journal of Experiments in Fluid Mechanics, 2007, 21(3):58-75. (in Chinese)

(责任编辑 陈建华)