

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.10.056

# 泡沫混凝土发泡剂的改性试验研究

陶宇, 唐旭光

(湖南科技大学土木工程学院, 湖南湘潭 411201)

**摘要:** 通过对比4种类型的发泡剂在不同稀释比下的泡沫性能, 优选稀释倍数30的高分子植物蛋白剂为发泡母液, 分别掺入适量的十二烷基硫酸钠、羟丙基甲基纤维素、三聚磷酸钠进行复配改性, 对发泡性能进行研究分析。得出掺量为0.6%的三聚磷酸钠改性发泡母液制备的泡沫表面细腻光泽、稳定性较好、流动性较高, 发泡倍数55.31, 沉降距7.6 mm, 泌水量11.6 mL、48 h后泡沫混凝土料浆沉陷距1.2 mm。

**关键词:** 泡沫混凝土; 发泡剂; 泡沫稳定性

**中图分类号:** TU528.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2023)10-0221-04

## 0 引言

通过引入大量封闭的气孔, 泡沫混凝土具有保温、隔热、防冻、防腐和轻质等优点, 近年来被广泛应用于建筑外墙保温层、桥头跳车、软土区路基、管道回填及工程抢险等领域<sup>[1]</sup>。发泡剂作为制备泡沫混凝土的必要关键组分, 其性能的优劣越来越引起人们的重视。发泡剂又名“泡沫剂”, 是一种溶于水后, 能够降低液体表面张力, 通过物理和化学方法产生大量均匀而稳定的泡沫的添加剂。按其发泡原理有物理发泡剂和化学发泡剂两类, 其中前者较为常见<sup>[2]</sup>。

现有关于泡沫混凝土发泡剂的研究主要集中在发泡改性方面, 雷团结<sup>[3]</sup>等对比4种阴离子表面活性剂, 得出相同溶液浓度下AOS的发泡能力最强, 其次是K12、AES次之, LAS最差, 并以0.8%的AOS为发泡剂母液, 掺入0.20%的有机硅稳泡剂ZT-1和0.02%的羧甲基纤维素CMC发现泡沫性能达到最优; 职红涛<sup>[4]</sup>对比K12、LAS、AOS、AEO、AES 5种发泡剂, 发现K12不仅发泡性能最优, 价格还便宜; 薛国毛<sup>[5]</sup>等试验分析了单一和多元稳泡剂对泡沫性能指标的影响, 选定质量分数为0.27%麦芽糊精+0.15% CAB作为稳泡剂; 王翠花<sup>[6]</sup>对蛋白质型发泡剂的改性试验发现, 三乙醇胺掺量为0.3~0.5%时, 泡沫稳定性得到改善。现选取4种典型的物理发泡剂作为发泡液, 以十二烷基硫酸钠、羟丙基甲基纤维素和三聚磷酸钠为改性剂对其进行改性研究, 参照《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》从泡沫空气稳

收稿日期: 2022-12-02

作者简介: 陶宇(1988—), 男, 硕士, 从事混凝土新材料研究工作。

定性和料浆稳定性来评价泡沫性能。

## 1 试验

### 1.1 原材料

(1)物理发泡剂: 复合动物蛋白活性剂, 高分子植物蛋白活性剂, APG烷基糖苷表面活性剂, 松香酸钠粉末。

(2)改性剂: 十二烷基硫酸钠(K12), 羟丙基甲基纤维素(HPMC), 三聚磷酸钠(STPP)。

(3)辅助材料: P·O42.5普通硅酸盐水泥; 机制砂; 自来水。

### 1.2 试验设备

发泡装置1台: 小型变频水泥发泡机, 发泡能力100 L/min, 空气压力8 kg, 发泡流量调节(1-100) L/min; 15 L塑料圆桶; 电子秤1台: 量程2 000 g, 精度1 g; 1 L烧杯2个; 精度0.02 mm的深度游标卡尺1把; 边长50 mm方片纸; 量筒50 mL、250 mL、1 000 mL各1个; 数显式秒表1块。

### 1.3 试验方法

**空气稳定性:** 根据《泡沫混凝土发泡剂》(JC/T 2199—2013)<sup>[7]</sup>测试发泡剂发泡倍数, 《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》(CJJ/T 177—2012)<sup>[8]</sup>测试发泡剂的1 h沉降距和泌水量。

**料浆稳定性:** 根据《现浇泡沫轻质土路基设计施工技术规程》(TJG F10 01—2011)<sup>[9]</sup>测试泡沫轻质土料浆标准沉陷距。

## 2 结果与分析

### 2.1 泡沫剂的发泡性能

将复合动物蛋白、高分子植物蛋白、松香酸钠、

APG 烷基糖苷 4 种泡沫剂在不同稀释比下进行发泡试验,所发泡沫的沉降距、泌水量参数如图 1~图 3 所示。随着稀释比的增加,除松香酸钠外其他三种泡沫剂的发泡倍数逐渐减小,泌水量呈线性增加,沉降距表现相对稳定波动不大。相同稀释比下高分子植物蛋白剂的发泡效率最高,当稀释比从 20 增大到 50 时,沉降距只增加了 5 mm,泌水量增加了 6 mL,波动幅度远低于其他品种,且在 20 与 30 之间发泡效率相当稳定。

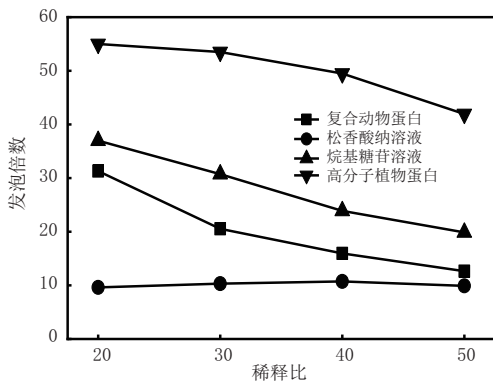


图 1 各种泡沫剂的发泡倍数曲线图

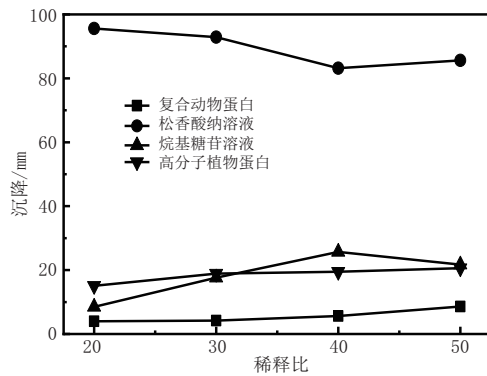


图 2 各种泡沫剂的沉降距曲线图

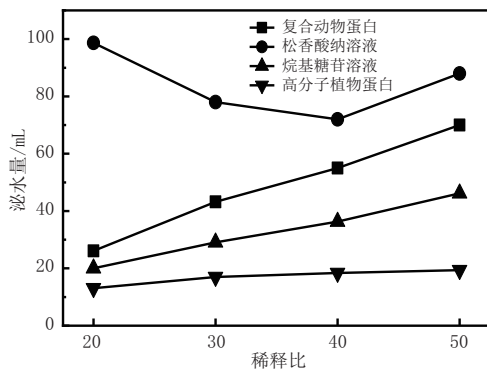


图 3 各种泡沫剂的泌水量曲线图

综合分析,通过以上三项指标对比,优先考虑稀释比在 30 条件下的泡沫溶液性能,高分子植物蛋白>烷基糖苷>复合植物蛋白>松香酸钠。

### 2.2 发泡机流量对泡沫性能的影响

根据上一步的试验结果,以稀释比 30 的高分子

植物蛋白剂溶液为发泡母液,分别在发泡机 25、40、50、60、75、100 L/min 的流量下进行发泡试验和泡沫性能测试。结果如图 4、图 5 所示,随着流量的增大,发泡倍数曲线呈先递增后递减的趋势,在流量 50 L/min 附近出现峰值达 55,泌水量曲线呈先下降后上升趋势,在该点处出现最小值仅有 15 mL,沉降距曲线单调递减在 60 到 75 L/min 之间有所放缓。

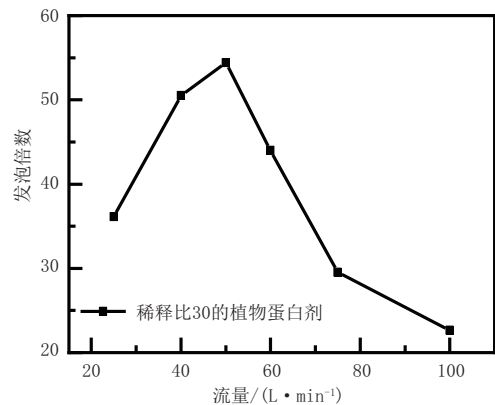


图 4 流量对发泡效率的影响曲线图

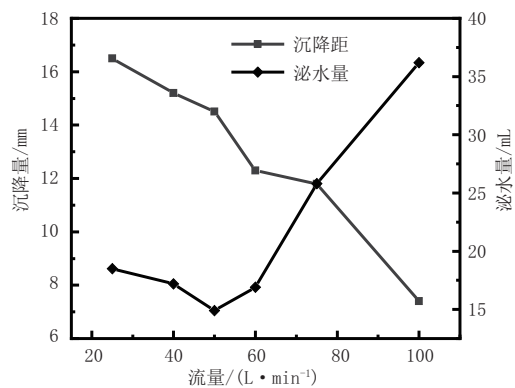


图 5 流量对泡沫性能的影响曲线图

综上分析,当流量在 20 到 50 L/min 之间时,泡沫气液混合不均匀,气多液少。泡沫较轻,气泡液膜较薄稳定性差,虽然泡间泌水较少但是容易破泡。当流量在 50 到 60 L/min 之间时,发泡机吸入的发泡液增多,气液交互充分,流出的泡沫均匀而富有弹性、流动性好,气泡的液膜厚度适中,泡沫稳定性高。当流量在 60 到 100 L/min 时,设备吸入的液体大于吸入的空气,机械发泡能力下降,流出泡沫流动性高,但是过高的含水率导致泌水量严重气泡稳定性下降。不利于混凝土后期强度的增长。综合考虑,优选发泡剂流量 50 L/min 的工况。

### 2.3 改性剂对发泡母液的影响

以十二烷基硫酸钠(K12)、羟丙基甲基纤维素(HPMC)、三聚磷酸钠(STPP)为改性剂,对发泡母液在常温下进行复配改性试验和泡沫性能测试。

(1)将十二烷基硫酸钠按照 0、0.1%、0.3%、0.5%、

0.7%、1%、1.3%、1.5%的掺量加入到已制备好的发泡母液中,试验结果如图6、图7所示。

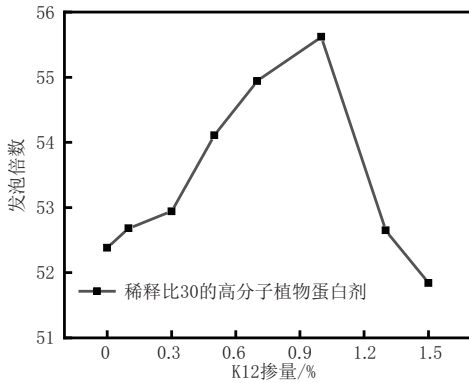


图6 K12改性的发泡曲线图

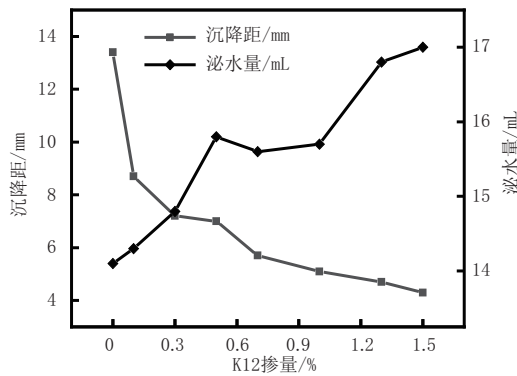


图7 K12改性的泡沫性能曲线图

随着K12掺量的增加,发泡倍数先增加后减小呈山峰状分布,在1%附近达到峰值55.62,之后迅速下降到51.84。掺量与沉降距呈反比,与泌水量呈正比。在0.7%到1%之间,三项指标表现稳定,制备的泡沫性能最佳。综上分析,K12作为一种常见的阴离子表面活性剂,易溶于水,对母液的发泡效率起到一定促进作用,气泡稳定性得到提升但泌水量有点过大。

(2)将羟丙甲基纤维素(HPMC)按0、0.02%、0.05%、0.1%、0.15%、0.2%、0.25%、0.3%、0.35%的掺量加入到已制备好的发泡母液中,试验结果如图8、图9所示。

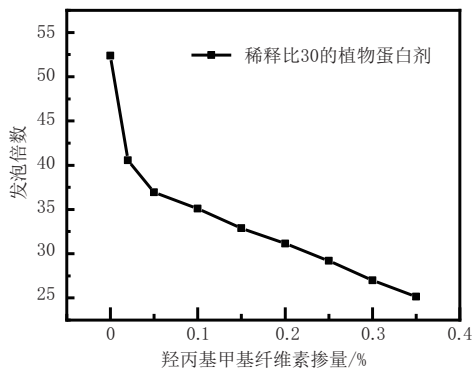


图8 HPMC改性的发泡曲线图

随着HPMC的加入,发泡倍数开始下降,当掺量小于0.05%时发泡倍数迅速递减,液膜厚度增加气泡稳定性增强,但泌水量迅速增加。当掺量大于

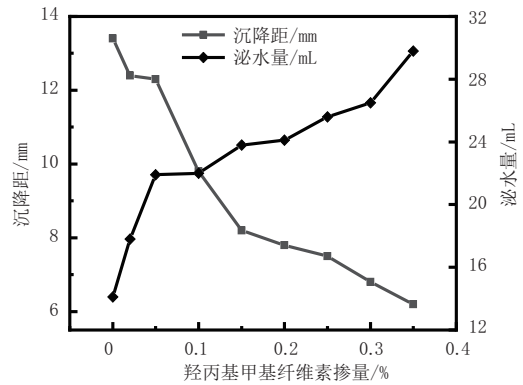


图9 HPMC改性的泡沫性能曲线图

0.05%变化有所放缓,掺量与沉降距呈反比,与泌水量呈正比。综合分析,HPMC对母液的稠度显著提升,气泡液膜厚度增加稳定性得到改善,但是泡沫泌水量严重不利于混凝土强度发展。同时随着泡沫母液的稠度提高,在发泡机发泡过程中对气液交互具有抑制作用导致发泡倍数下降。

(3)将三聚磷酸钠(STPP)按0、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1%、1.2%、1.4%的掺量加入到已制备好的发泡母液中,试验结果如图10、图11所示。随着掺量的增加,发泡曲线、沉降和泌水量呈先递增后递减趋势,在0.6%达到峰值55.31,此时的泌水量为最小值11.6 mL,沉降距7.6 mm。在此附近泡沫性能最优,对比未添加发泡倍数增加了3个点,沉降距、泌水量分别减小了6 mm、3 mL。

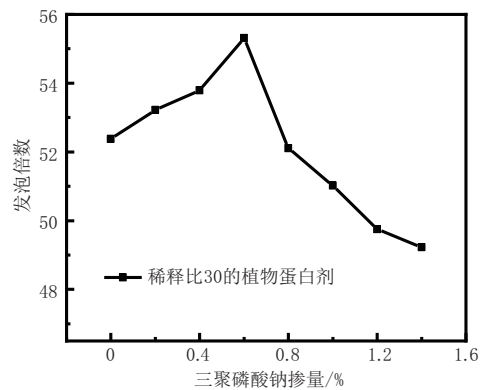


图10 STPP改性的发泡曲线图

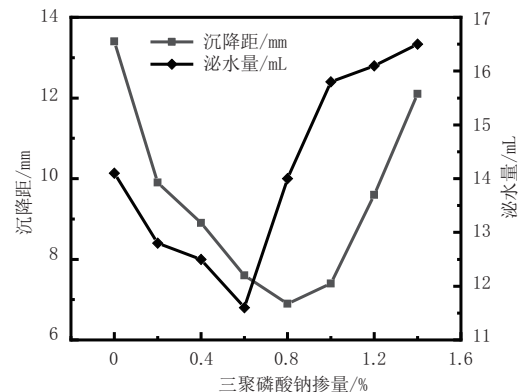


图11 STPP改性的泡沫性能曲线图

综合分析,STPP是一种白色粉末状颗粒的无机表面活性剂,易溶于水呈碱性,流动性较好,常作保水剂、品质改良剂、pH调节剂,通过螯合效应,母液中的水分得到软化,表面粘度进一步提升,分子间的作用力增大,液膜克服重力排液的阻力增强,在0.6%的掺量下改性发泡母液性能最佳。

2.4 改性发泡剂的泡沫料浆稳定性

结合实验室已有的试验配比,取砂和水泥 1 : 1,采用等量取代法,粉煤灰取代 30%的水泥,在 0.5 的水胶比和 650 L/m<sup>3</sup> 的泡沫掺量下分别进行两组混凝土制备试验,结果如表 1 所列。

表 1 不同稳泡组分对泡沫轻质土的影响一览表

改性剂	干容重 /g	无侧限抗压强度 /MPa	沉降距 /mm
STPP	800.0	1.092	1.2
K12	824.1	0.512	2.1

相同泡沫掺量下,STPP改性的发泡母液泡沫沉降距更小。由于泡沫混凝土养护过程中,泡沫由气泡经过气-液、气-液-固、气-固界面的转变形成气孔,水分蒸发液膜逐渐消失被水化胶凝产物替代形成气泡壁。在各种不平衡挤压力的作用下,泡沫形状由近似的球体变成了不规则多边形。STPP改性的泡沫料浆稳定性更高,凝固后混凝土试块强度更高、质量更轻,满足并超出规范[8]路基填筑 0.8MPa 的要求。

3 结 论

(1)经分析 4 种常见的典型发泡剂,对比不同稀释比下的泡沫发泡倍数、沉降距、泌水量。基于上述试验结果,优选稀释比 30 的高分子植物蛋白剂为发泡母液,通过发泡机流量试验,发现在 50 L/min 的流量情况下泡沫性能最优。

(2)以 K12、HPMC、STPP 为改性剂,分别对母液进行改性研究,得出:K12 对母液的发泡效率有一定提升,但产生的泡沫不稳定泌水量过大;HPMC 能改善气泡的稳定性,但稠度增加流动性下降,泌水量最大;STPP 在掺量 0.6%附近,泡沫的空气稳定性最优。

(3)对比 K12 和 STPP 改性的两种泡沫掺入混凝土中的表现,发现 STPP 改性的泡沫料浆稳定性更好,硬化后标准混凝土试块强度更高。

参考文献:

[1] 蔡力,陈忠平,吴立坚.气泡混合轻质土的主要力学特性及应用综述[J].公路交通科技,2005(12): 71-74.  
 [2] 闫振甲,何艳君.泡沫混凝土泡沫剂生产与应用技术[M].2021年3月第1版.中国建材工业出版社,2021.  
 [3] 雷团结,李浩然,耿飞,等.新型泡沫混凝土发泡剂的制备与性能研究[J].新型建筑材料,2013,40(12): 93-96.  
 [4] 职红涛.轻质泡沫混凝土发泡剂的改性研究及应用[D].郑州大学,2019.  
 [5] 薛国毛,李金龙,谢规球,等.泡沫轻质土发泡剂的改性试验研究[J].交通科技,2021(5): 145-148,158.  
 [6] 王翠花.泡沫混凝土制备相关技术研究[D].南京工业大学,2006.  
 [7] JC/T 2199—2013,泡沫混凝土用泡沫剂[S].  
 [8] CJJ/T 177—2012,气泡混合轻质土填筑工程技术规程[S].  
 [9] TJJ F10 01—2011,现浇泡沫轻质土路基设计施工技术规程[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: [cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)