

浮力材料的静水压性能研究

梁小杰^{1,2} 梁宁宁³ 王庆颖^{1,2} 周媛^{1,2} 刘志^{1,2} 翟晓康^{1,2}

(1.海洋化工研究院有限公司,青岛 266071;2.海洋涂料国家重点实验室,青岛 266071;
3.烟台工程职业技术学院机械工程系,烟台 264006)

摘要 浮力材料具有密度低、机械强度高优点,在航空航天和深海等工程领域的应用越来越广泛。采用 3 种空心玻璃微珠制备了一系列浮力材料,研究了在不同静水压环境下(6~26MPa)浮力材料的吸水率和体积形变。结果表明:随着静水压力的升高,浮力材料的吸水率增大;表面未被涂料包覆的浮力材料体积基本不变,表面被涂料包覆的浮力材料体积先保持不变后急剧缩小。

关键词 浮力材料,静水压,吸水率,体积形变

中图分类号 TB332

文献标识码 A

文章编号:1006-3536(2020)07-0188-03

DOI:10.19817/j.cnki.issn 1006-3536.2020.07.043

Study on syntactic foam with hydrostatic pressure property

Liang Xiaojie^{1,2} Liang Ningning³ Wang Qingying^{1,2} Zhou Yuan^{1,2} Liu Zhi^{1,2} Zhai Xiaokang^{1,2}

(1.Marine Chemical Research Institute Co.,Ltd.,Qingdao 266071;2.State Key Laboratory of Marine Coatings,Qingdao 266071;3.Mechanical Engineering Department,Yantai Engineering & Technology College,Yantai 264006)

Abstract Syntactic foams are widely used in aerospace and marine engineering due to the low density and high mechanical strength. A series of syntactic foams were prepared with three kinds of microspheres, and the water absorption and volume change of the foams were studied at different hydrostatic pressures (6~26MPa). The results indicated that the water absorption rised with the increase of the hydrostatic pressure, and the volumes of the foams uncoated with paints remained unchanged, while those coated exhibited the follow trend: changed slightly first and then decreased dramatically.

Key words syntactic foam, hydrostatic pressure, water absorption, volume change

随着人们对海洋探索的日益深入和重视,ROV型、HOV型、AUV型深潜器和石油钻井平台等深海装备得到了快速的发展^[1]。固体浮力材料通常以环氧树脂作为基体,与固化剂、偶联剂等助剂以及空心玻璃微珠共混后制备而成,因其具有高强度、低密度、低吸水率等特点被广泛应用于深海工程领域,是目前深海装备的关键材料^[2-4]。

全方位静水压性能是固体浮力材料的重要技术指标,能够反映浮力材料承受一定海水压力情况下材料的安全可靠性。国内外学者对浮力材料的性能和应用进行了大量研究,目前报道的多为常压下固体浮力材料性能的研究成果^[5-7],而有关不同静水压下浮力材料的性能研究较少。Gupta等^[8]考察了在不同的局部应力条件下浮力材料发生应力变形后的微观形貌,证实了在压缩条件下浮力材料表面存在大量破裂的微球。卢子兴等^[9]制备了空心玻璃微珠

填充比不同的聚氨酯泡沫塑料并进行了宏观压缩实验,研究了准静态压缩性能和填充比对材料力学性能的影响。此外,该课题组还进行了细观压缩实验,通过扫描电子显微镜观察了表面胞体变形和失效情况。虽然科研工作者在浮力材料力学性能和制备应用等方面做了很多工作^[10-13],但是对浮力材料在静水压环境下的形变研究得较少。本研究使用 3 种空心玻璃微珠制备了一系列浮力材料,对不同静水压环境下浮力材料的体积形变和吸水率进行了研究。

1 实验部分

1.1 原料与仪器

空心玻璃微珠,工业级,3M公司;0161环氧树脂,工业级,无锡树脂厂;甲基四氢苯酚,工业级,濮阳惠成化工有限公司; γ -氨丙基三乙氧基硅烷,工业级,天津化学试剂厂;涂料,实验室自制。

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0300707);青岛市市南区科技项目(2018-4-008-ZH)

作者简介:梁小杰(1987-),女,硕士研究生,主要从事环氧树脂基固体浮力材料研究工作。

等螺纹静水压装置,上海大隆化工设备有限公司;电子天平(BS2000S型),北京赛多利斯公司。

1.2 浮力材料的制备

取一定量环氧树脂和固化剂于反应釜中强力混合均匀,加入用 γ -氨丙基三乙氧基硅烷处理的空心玻璃微珠,缓慢搅拌至均匀后将预混物浇注于模具中,然后将模具置于烘箱,于 100°C 固化 6h 脱模,再经 150°C 固化得到密度为 $0.38\sim 0.43\text{g}/\text{cm}^3$ 的浮力材料。空心玻璃微珠分 A,B,C 三种型号,以 A 型空心玻璃微珠为例,用其制备的浮力材料样品分别记作 AS-1、AS-2。使用涂料包覆的浮力材料样品分别记作 P-AS-1、P-AS-2;未使用涂料包覆的样品分别记作 U-AS-1、U-AS-2。使用其他型号空心玻璃微珠制备的浮力材料样品命名方式同上。

1.3 静水压性能测试

加压前将样品在水中浸泡 2min,取出后擦干,采用精度为 0.1g 的电子天平进行称量,从 6MPa 开始阶梯升压并保压 2h,每次保压结束后将样品从压力罐中取出擦掉表面的水分,进行称量计算吸水率。

2 结果与讨论

2.1 静水压对浮力材料吸水率的影响

图 1 为静水压对浮力材料吸水率的影响。由图可以看出,使用 B 型空心玻璃微珠制备的浮力材料(涂料包覆的浮力材料和未包覆的浮力材料)其吸水率随着静水压的增大远远大于使用 A 型和 C 型空心玻璃微珠制备的浮力材料。原因主要是 A 型空心玻璃微珠耐压强度最高,B 型空心玻璃微珠耐压强度最低,B 型空心玻璃微珠的壁厚较薄,且粒径约

为 A 型和 C 型空心玻璃微珠粒径的 2 倍。随着静水压的上升,壁厚较薄且粒径较大的 B 型空心玻璃微珠强度较低,在树脂基体中分散程度较差,与环氧树脂的接触面积较小,界面结合较差,因此在静水压环境下,用 B 型空心玻璃制备的浮力材料更易受到水分的侵入。

使用 3 种不同型号空心玻璃微珠制备的浮力材料的吸水率分别见图 2—图 4。从图 2—图 4 可以看出:静水压较低时,浮力材料的吸水率变化不明显;随着静水压的持续增加,吸水率呈现急剧上升的趋势。这主要是因为,随着静水压的提高,水会在环氧树脂与空心玻璃微珠的界面处聚集,导致环氧树脂与空心玻璃微珠的界面结合效果变差,使得较为薄弱的空心玻璃微珠壁破裂,导致浮力材料吸水率增大。由图 2—图 3 可以看出:静水压较低时,表面被涂料包覆的浮力材料其吸水率一般低于表面未被涂料包覆的浮力材料;但是随着静水压的提高,表面被涂料包覆的浮力材料吸水率上升速度比未被涂料包覆的浮力材料快,且吸水率要高于未被涂料包覆的浮力材料。这主要是因为当静水压较低时,涂料

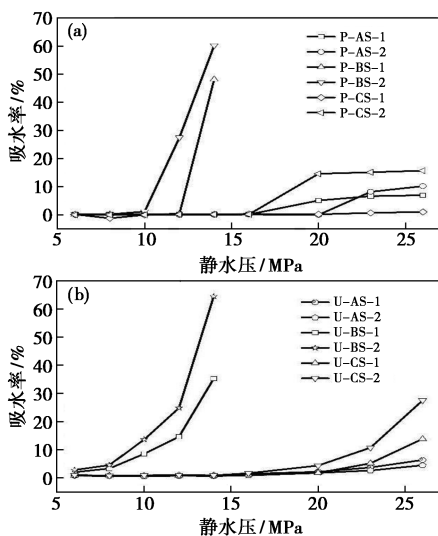


图 1 静水压对浮力材料吸水率的影响

[(a)涂料包覆的浮力材料;(b)未包覆的浮力材料]

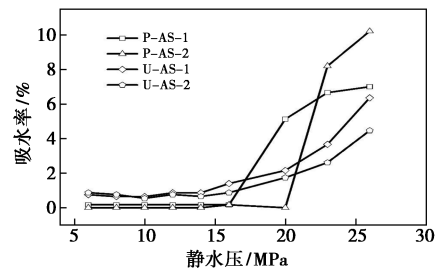


图 2 使用 A 型空心玻璃微珠制备的浮力材料的吸水率

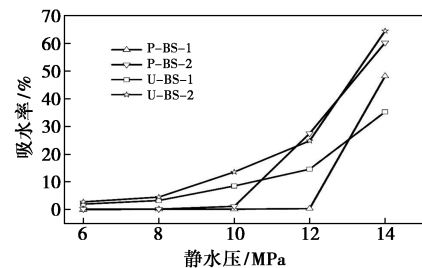


图 3 使用 B 型空心玻璃微珠制备的浮力材料的吸水率

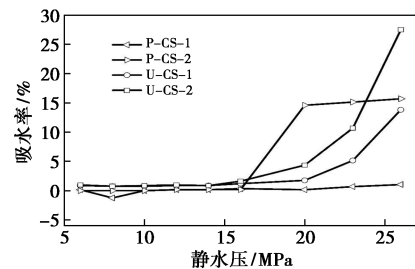


图 4 使用 C 型空心玻璃微珠制备的浮力材料的吸水率

层对浮力材料起到一定的保护作用,能够有效地阻止水分的侵入;随着静水压的升高,浮力材料的内应力无法释放,在材料内部聚集从而导致水分的大量侵入。

2.2 静水压对浮力材料体积的影响

图 5 为静水压对浮力材料体积的影响。由图 5(a)可以看出:用涂料包覆的浮力材料其体积随着静水压的增大先保持不变而后急剧缩小;静水压为 26MPa 左右时,样品 P-AS-1 和 P-CS-2 的体积变化率可达 50% 左右;静水压为 14MPa 左右时,样品 P-B-2 的体积变化率达 30% 左右。由图 5(b)可以看出,未被涂料包覆的浮力材料体积受静水压影响较小,3 种空心玻璃微珠制备的浮力材料的体积变化率不超过 2%。

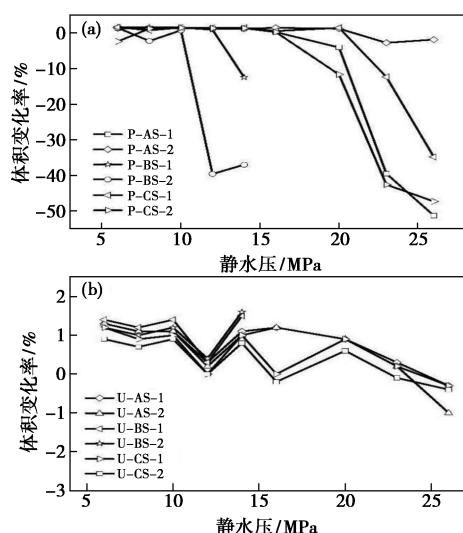


图 5 静水压对浮力材料体积的影响

[(a) 涂料包覆的浮力材料; (b) 未包覆的浮力材料]

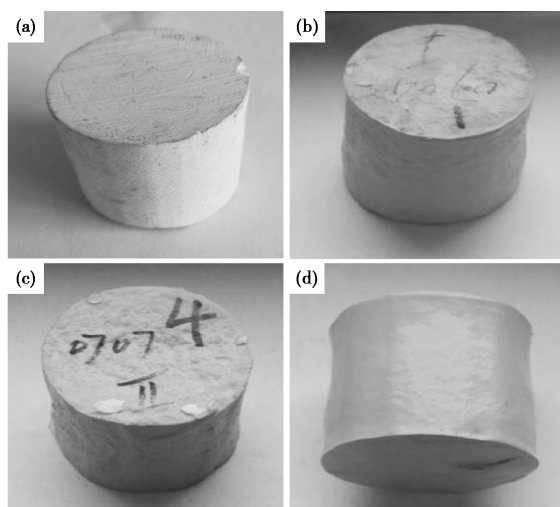


图 6 高静水压环境下浮力材料样品的受损图

[(a) 样品 U-AS-1, 静水压 26MPa; (b) 样品 P-AS-1, 静水压 26MPa; (c) 样品 P-B-2, 静水压 26MPa; (d) 样品 P-CS-2, 静水压 26MPa]

图 6 为高静水压环境下浮力材料样品的受损图。由图 6(a)可知,静水压为 26MPa 时,未被涂料包覆的浮力材料样品 U-AS-1 外观无明显变化。由图 6(b)—6(d)可以看出,在静水压相同条件下,包覆涂料的浮力材料样品 P-AS-1、P-B-2、P-CS-2 的表面会出现凹陷等形变。这主要是因为未被涂料包覆的浮力材料在静水压作用下,材料内部的内应力能得到及时的释放,因此体积不受静水压的影响;而包覆涂料的浮力材料在高静水压作用下,内应力无法得到释放,空心玻璃微珠破坏程度急剧增加,因此浮力材料体积会发生较大变化。

3 结论

(1) 随着静水压的升高,未被涂料包覆的浮力材料其吸水率与被涂料包覆的浮力材料相比呈现先升高后降低的趋势。

(2) 随着静水压的升高,未被涂料包覆的浮力材料体积基本不变,被涂料包覆的浮力材料体积先保持不变后急剧下降。

参考文献

- [1] 何成贵,张培志,郭方全,等.全海深浮力材料发展综述[J].机械材料,2017,41(9):14-18.
- [2] Cochran J K. Ceramic hollow spheres and their application[J]. Current Opinion in Solid State and Materials Science, 1998 (3):474-479.
- [3] 魏海博,陈一民,何斌,等.环氧树脂复合泡沫材料的制备研究[J].工程塑料应用,2011,39(9):22-25.
- [4] 陈晨阳,李仙会,马颖琦,等.环氧树脂固体浮力材料的吸水性及压缩性[J].理化检验(物理分册),2018,54(6):390-394.
- [5] 孙春宝,汪群慧,邢奕,等.深海高强安全浮力材料的研制及其表征[J].哈尔滨工业大学学报,2006,38(11):2000-2002.
- [6] 林碧兰,路新瀛,陈勤.空心微珠/环氧树脂高强浮力材料的性能及断裂分析[J].复合材料学报,2011,28(3):6-12.
- [7] 陈尔凡,张莹,马驰,等.深海浮力材料的研制[J].工程塑料应用,2013,41(2):25-29.
- [8] Gupta N, Woldeesenbet E, Kishore. Compressive fracture features of syntactic foams-microscopic examination[J]. Journal of Materials Science, 2002,37(15):3199-3209.
- [9] 卢子兴,王嵩,李忠明,等.空心微珠填充聚氨酯复合泡沫塑料的宏、细观力学性能[J].航空学报,2006,27(5):799-804.
- [10] 刘艳,刘文智,马春霞.深水固体浮力材料的制备及性能研究[J].舰船科学技术,2017,39(3):87-90.
- [11] 王耀声,亚斌,周秉文,等.碳纤维增强固体浮力材料性能研究[J].功能材料,2018,49(8):8205-8210.
- [12] 周云,王东胜,王莉萍,等.三相固体浮力材料的制备与应用研究[J].功能材料,2017,48(10):10165-10168.
- [13] 裴雷振,贾非,亚斌,等.碳纳米管增强固体浮力材料性能研究[J].塑料科技,2017,45(5):32-35.

收稿日期:2019-04-16

修回日期:2020-03-11