

海冰与不锈钢材料冻黏特性的实验研究

谭蔚, 高晓冲, 于真真, 杨小刚

(天津大学, 天津市膜科学与海水淡化技术重点实验室, 天津 300072)

摘要: 利用自行设计制作的实验夹具, 在拉伸试验机上进行试验, 着重研究了温度及材料结构形态对海冰与不锈钢材料之间冻黏强度的影响规律。结果为: 由于表面卤水的存在, 海冰冻黏强度低于淡水冰冻黏强度, 海冰与不锈钢材料的冻黏强度随冻黏温度降低而增大; 且材料的结构形态对冻黏强度有着显著影响, 柔性介质可有效防止冻黏。研究结果为海冰离心分离设备的工业化设计及工艺操作条件的优化提供了可靠依据。

关键词: 海冰; 冻黏; 强度

中图分类号: P731.15; P747

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)02-0116-03

根据盐胞理论, 冰中的盐分主要来自于海冰形成过程中所包裹的浓盐水, 如果把海冰击碎, 盐胞也随之破碎, 盐水就会流出。但是由于冰温较低盐胞中卤水黏度较大, 盐胞破碎后卤水都黏附在冰表面, 因此需要依靠外力使盐水从冰表面脱掉, 达到脱盐的目的^[1]。然而, 在采用离心分离设备对海冰分离过程中, 由于低温下海冰容易与离心设备本体材料产生冻黏, 极易造成离心设备出现堵塞现象, 影响了分离过程的连续运行。

冻黏问题, 即低温下含表面水的材料界面由于水的冻结而黏合的现象, 是在低温环境工作下对设备的一个很大的困扰^[2]。杨晓东等^[3-4]对常见材料与冰的冻黏强度进行了一系列的测定, 并成功地采用柔性仿生技术方法降低了矿车冻黏。不过对于海冰与钢材的冻黏情况未见有研究报道。海冰和纯冰的性质有较大区别, 其内部为多孔结构, 孔隙内存在空气及浓缩的海水, 海冰表面也覆盖一层海水。因此, 本文通过实验对海冰与不锈钢材料的冻黏特性进行了研究。

1 实验原理及方法

海冰和材料的冻黏特性主要考虑在指定的低温条件下材料和海冰的冻黏强度, 可以用单位面积海冰与材料冻黏界面的拉脱力来衡量, 定义为冻黏系数。即:

$$\phi = \frac{P}{A} \quad (1)$$

式中: ϕ 为冻黏系数, 单位为 MPa; P 为冻黏力, 单

位为 N; A 为截面积, 单位为 mm^2 。

由于海冰含盐, 海冰与材料的冻黏界面上会有一层不冻的高浓度卤水存在, 这种不冻卤水的存在会阻碍界面的生成, 使冻黏系数降低。为此, 本实验分别考虑了有卤水存在和无卤水存在条件下的冻黏。

由于冻黏过程不是在瞬间完成, 因此冻黏强度需要在一定的时间之后才能达到最大值。本实验所测冻黏强度均是在冻黏 3 h 后的数值。

拉脱力可方便地采用材料拉力试验机测定。但是由于冰体本身的特殊性, 无法将海冰直接固定在拉力机上。为此, 我们设计并制作了一套夹具专门用于海冰与材料法向拉力强度测定, 其上下拉杆可直接与拉力机连接, 夹具结构如图 1 所示。拉力检测设备为微型材料疲劳试验机。

本文针对黄骅港附近的海冰进行研究, 黄骅港附近海冰的盐度平均为 26.4^[5], 实验中采用将海水稀释至盐度 26.4 的海水冻成圆柱形海冰。试验过程为: 将海水放于圆柱容器中冻成海冰; 然后夹于整套夹具之间, 放置在低温恒温箱中冷冻; 之后将冻好的夹具整体固定在拉力试验机上进行拉力试验。

收稿日期: 2010-03-03; 修回日期: 2011-09-21

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAB03A03)

作者简介: 谭蔚(1965-), 女, 辽宁沈阳人, 教授, 博导, 研究方向为非均相分离技术与设备, E-mail: wtan@tju.edu.cn

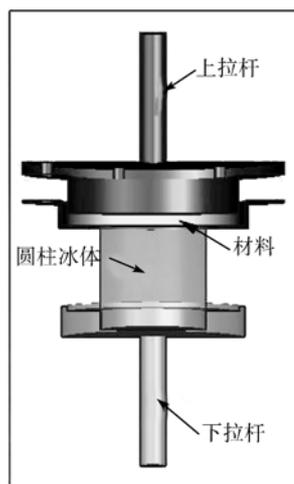


图 1 冻黏强度测定专用夹具

Fig. 1 Sketch of special fixture used in freezing adhesive strength measurement

2 实验结果与分析

2.1 不同温度下冰与不锈钢的冻黏

作为对比，先实验测定了不同温度下淡水冰与不锈钢材料的冻黏强度。通过调节冰的冻结温度，在冻结 3 h 后进行拉伸试验，得到冻黏温度与冻黏强度之间的关系，如图 2 所示。由图 2 可见，随着温度的下降，冻黏强度逐渐增强。

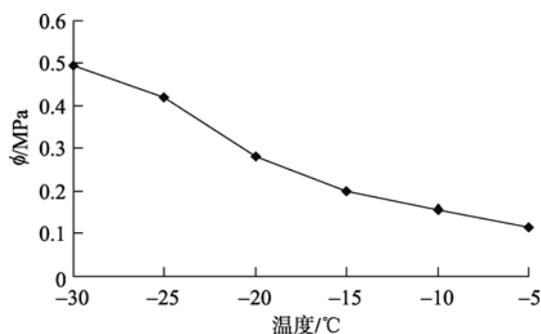


图 2 不同温度下冰与不锈钢的冻黏系数

Fig. 2 The effect of temperature on adhesive coefficient

2.2 海冰与不锈钢的冻黏强度

采用自制的实验夹具，在拉伸实验机上可以测出不同冻黏温度下海冰与不锈钢试件的冻黏强度。同样，擦拭初冻结海冰的表面卤水，并用微量清水冲洗，然后进行冻结及拉脱试验，也可以测定不同温度下海冰表面无卤水条件下的冻黏强度，测试结果见图 3。

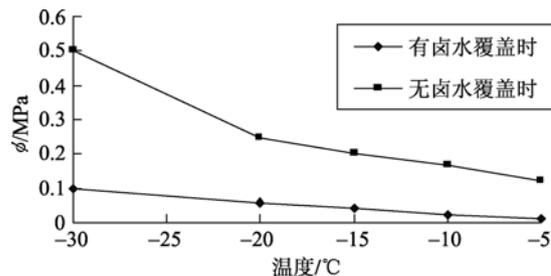


图 3 有无卤水存在时冻黏系数对比

Fig. 3 The effect of temperature on adhesive coefficient with or without brine

由图 3 可知，随着温度的降低，海冰与不锈钢的冻黏强度逐渐增大。对比图 2 可以看出，表面无卤水条件下，不锈钢与海冰的冻黏系数与淡水冰的冻黏系数非常接近。由图 3 中还可以得出，表面有卤水存在比没有卤水覆盖的海冰的冻黏系数小很多，温度在 -2°C 的时候甚至几乎没有冻黏存在。这是因为，由于卤水中盐分的存在降低了水的冰点，使得冻黏的强度降低， -2°C 已经达不到卤水的冰点而无法冻结。

2.3 海冰与不锈钢冻黏断面形貌

无卤水覆盖与有卤水覆盖时海冰与不锈钢材料界面的断面如图 4 所示。从图 4 可以看出，无卤水覆盖条件下，断裂发生在冰层内部。一层冰残留在材料表面，冰与材料的破坏实际上是冰的破坏，冻黏强度也近似等于冰的强度。这种形式的冻黏，即使在遭到机械力破坏冻黏界面后，界面残余冰与海冰间也很容易再继续冻黏。有卤水存在时，断面发生在海冰与材料接触面，界面平整，在材料表面只残留了极少的海冰。

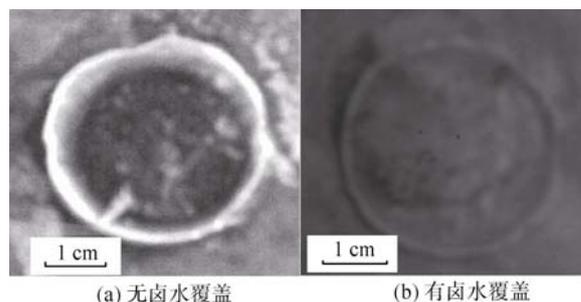


图 4 海冰断面形貌

Fig. 4 Fracture surface of sea ice

2.4 海冰与不锈钢丝网的冻黏强度

有文献表明柔性结构有较好的抗黏效果^[6]。在海冰分离的离心设备中，可考虑加入金属丝网，因此

本文对金属材质的丝网进行了冻黏实验研究。

用不锈钢丝网代替不锈钢板进行冻黏强度实验。试验发现,当海冰表面存在较多未冻结水时,海冰与不锈钢网存在强度很大的冻黏。当海冰表面只存在很少水时,冻黏强度极小,含水量对冻黏强度影响很大。将海冰破碎后放置在金属丝网上,长时间不发生冻黏。显然,水包覆金属丝,使得冻黏面积变大,当水少时,冻黏接触面积小,以致冻黏力小。海冰与丝网冻黏断裂界面如图 5。

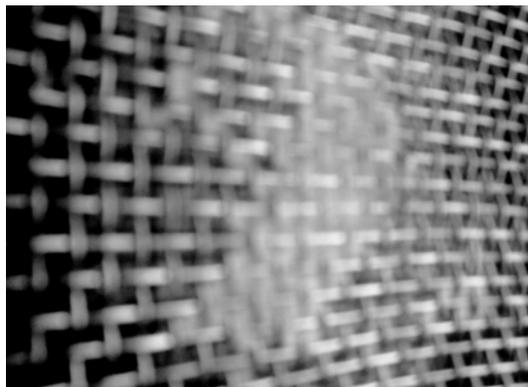


图 5 海冰与丝网冻黏界面

Fig. 5 A picture of stainless steel mesh and sea ice interface

3 结论

在海冰分离过程中,海冰与设备材料的冻黏是影响分离连续化操作的主要因素,本文通过实验测

定了海冰与不锈钢的冻黏强度,得到如下结论:(1)海冰表面无卤水存在时,其冻黏强度与淡水冰基本一致,即海冰结构本身不影响冻黏强度,但海冰表面卤水的存在可明显降低冻黏强度。(2)温度对海冰的冻黏强度影响较大。无论海冰表面有无卤水存在,随着冻黏温度的降低,冻黏强度都将增大。因此,实际操作中适当提高操作温度,将有助于含有卤水的冻黏界面脱落。(3)同样材料不同形态下的冻黏强度不同。表面含水较少时,丝网结构能有效防止冻黏,可以考虑在分离过程中使用柔性介质。

参考文献:

- [1] 陈伟斌,徐学仁,周传光. 离心转速对渤海灰白冰脱盐作用的实验研究[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 25-32.
- [2] Chatter S. Aspects of the freezing process in a porous material water system part 1. Freezing and the properties of water and ice[J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29(4): 627-630.
- [3] 金敬福,丛茜,杨晓东. 常用工程材料的冻黏特性及冻黏界面破坏形态[J]. 吉林大学学报(工学版), 2005, 35(5): 486-489.
- [4] 杨晓东,柴雄良,丛茜,等. 模型矿车冻黏试验研究[J]. 吉林大学学报(工学版), 2002, 32(2): 49-52.
- [5] 史培军,哈斯,袁艺,等. 渤海海冰作为淡水资源脱盐机理与可利用价值[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 353-359.
- [6] 丛茜,柴雄良,杨晓东,等. 利用柔性仿生技术减少矿车黏附[J]. 吉林大学学报(工学版), 2005, 35(4): 437-441.

Freezing adhesive characteristics between stainless steel and sea ice

TAN Wei, GAO Xiao-chong, YU Zhen-zhen, YANG Xiao-gang

(Tianjin University, Tianjin Key Laboratory of Membrane Science and Desalination Technology, Tianjin 300072, China)

Received: Mar., 3, 2010

Key words: sea ice; freezing adhesive; strength

Abstract: Adhesion of sea ice to material surface is a major factor that impacts centrifugation of sea ice. We measured the freezing adhesive strength between sea ice and stainless steel at different temperatures with lab-made fixtures and rally testing machine. We found that the existence of brine in the surface of sea ice reduced the strength of the freezing adhesive and, with the increase of temperature, the strength of the freezing adhesive between sea ice and stainless steel material decreased. In addition, the structure of the material affected the freezing adhesive. The results provide a reliable basis to design sea ice centrifuge equipment and optimize operation conditions.

(本文编辑:刘珊珊)