

预测细粒酒精模型冰物理和力学参数的实验关系^{*}

李志军

(大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室 大连 116024)

RISKA Kaj

(赫尔辛基理工大学北极近海研究中心 芬兰爱斯堡 02150)

提要 依据模型冰物理性质控制其力学性质的原则, 利用能量平衡观点建立了冰内未冻结液体含量同制冰过程中的冰池温度、降温及升温时间、模型冰厚度(喷雾时间 \times 流量)的理论关系, 以其量纲表达式作为预测模型冰物理和力学参数的综合控制指标; 通过系统测量酒精溶液冰点温度、冰池大厅气温、模型冰温度、冰内未冻液含量、冰密度、冰压缩强度、冰弯曲强度和冰变形模量, 获得了不同冰点温度模型冰的物理和力学参数同该综合控制指标的实验关系; 实现了用人为可控制因子定量控制模型冰物理和力学参数的目的。

关键词 细粒酒精模型冰 物理和力学参数 控制指标

中图分类号 P731.15

细粒酒精模型冰是一种冻结的冰功能材料, 用于模拟天然海冰, 进行冰与结构物相互作用的物理模拟研究。我国曾两次利用该模型冰进行渤海海冰对海上结构作用力的研究。但该模型冰的物理和力学参数却曾一度依靠操作者的经验来掌握, 使实测值偏离设计值较多。如何利用制冰时的可控条件, 即温度、时间、液体浓度来定量控制该模型冰的参数给本文研究提供了领域。作者在针对渤海浅水条件冰对斜面结构作用力的实验研究中, 对该模型冰物理和力学性质进行了系统试验研究(李志军等, 1998a, b, 1999)。在充分总结这批实测参数和现有控制指标优缺点的基础上, 结合细粒模型冰制冰工艺的物理本质, 从能量平衡角度出发, 以冰内未冻结液体含量的量纲表达式作为综合控制指标, 获得预测该模型冰物理和力学参数的实验关系。新的控制指标不仅考虑了制冰过程温度和时间对细粒模型冰质量的影响, 而且还考虑了冰厚度的效应。由于该指标物理概念明确, 有成熟的理论基础, 所以它适合用各种细粒模型冰的参数控制, 并且体现出与柱状模型冰利用的冻结指数控制的区别。

1 综合控制指标的物理意义

细粒酒精模型冰制作过程分三个阶段, 即溶液雾化喷出、冰粒固结和回温(Li Zhijun

^{*} 中国博士后科学基金资助项目; 国家海洋局青年海洋科学基金, 96-505 号。李志军, 男, 出生于 1960 年, 博士后, 教授, E-mail: lizhijun@dlut.edu.cn

收稿日期: 1998-05-12, 收修稿日期: 1998-12-20

et al, 1996)。冰厚度取决于喷雾的时间和流量, 流量和气温联合起来决定冰粒内初始未冻液体含量。由于每次制冰时冰池大厅的气温(θ)基本保持不变, 所以当酒精溶液冻结温度相同时, 模型冰中的初始未冻液体含量一致。

固结过程使冰内未冻液体减少, 其对应的冻结指数($\theta \cdot t$)反映冰内有相变或无相变时储热能量。这些能量能使冰内多少未冻液体冻结还与质量有关, 即直接同冰厚(h)相关。回温过程的融化指数具有同样物理意义。所以过去曾利用喷雾过程、固结过程或回温过程的冻结指数和融化指数评价细粒酒精模型冰性能的尝试都没有成功, 其主要原因就是无法体现出细粒酒精模型冰单位质量的储热能力。Hirayama(1983) 在评价柱状模型冰时使用 t/h^2 作指标, 虽然该指标考虑了冰厚, 但由于柱状冰模型冰制冰过程无需考虑温度效应, 所以它也不完全适用于细粒模型冰。

细粒酒精模型冰粒径基本均匀, 只要溶液的冻结温度一致, 就可忽略冰结构对物理和力学性质的影响。因此冰内未冻液体含量是模型冰性质的惟一控制因子, 并且它与固结和回温过程直接有关。作者提出的综合控制指标是以固结和回温过程中净 $\theta \cdot t/h^2$ 为基础, 具有明确的物理意义, 直接体现制冰固结和回温过程中纯储热能力, 间接体现冰内未冻液体含量。实现了利用制冰时可以控制的喷雾流量、各制冰阶段冰池大厅温度和时间控制模型冰的物理和力学参数的目的。

2 细粒酒精模型冰物理和力学参数与综合控制指标的实验关系

细粒酒精模型冰的密度采用原位浮力法测得; 冰内未冻液体含量由重力排泄法测量; 单轴压缩强度用长方形冰样原位挤压法实测, 并通过破坏强度与加载速率的关系确定出峰值单轴压缩强度; 用原位悬臂梁向上和向下加载法实测弯曲强度; 利用平面弹性薄板理论建立的方法测量特征长度然后再利用变形模量与特征长度的理论关系计算出变形模量, 其中细粒酒精模型冰的泊松比设定为 0. 3。各次具体制冰条件确定的控制指标和对应的实测物理、力学参数详见文献(*Li Zhijun et al*, 1996)。

2.1 物理参数的实验关系

图 1 给出细粒酒精模型冰物理参数与控制指标($\theta \cdot t/h^2$)的关系。为了比较, 对细粒酒精模型冰密度和未冻液体含量用其他控制指标, 如固结和回温热储备也进行了分析, 结果表明它们均没有利用新指标表征得确切。由于 $\theta \cdot t/h^2$ 是控制细粒酒精模型冰内未冻液体的直接因子, 所以它是该模型冰物理和力学性质的控制指标。

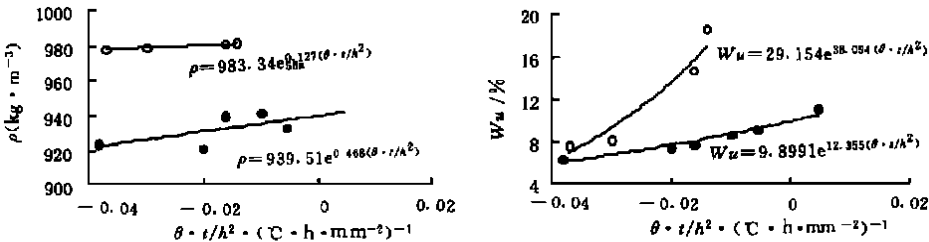


图 1 冰密度(a)、名义未冻液体含量(b) 与控制指标的实验关系

Fig. 1 Ice density (a), nominal unfrozen liquid content (b) vs. the control index

酒精溶液冰点(freezing point of ethanol solution): ● - 0.13℃; ○ - 0.21℃

2.2 力学参数的实验关系

图 2 给出控制指标与细粒酒精模型冰力学参数之间的实验关系。这些关系正是制冰可控指标预测模型冰力学参数的基础。控制指标越高, 未冻液体含量越高, 冰的力学强度越低。但冰池溶液冻结温度不同, 在相同制冰喷雾流量和温度下所形成的冰粒径不同, 引起冰结构上的差异, 也必定引起力学参数的差异。溶液冻结温度越低, 酒精含量越高, 模型冰的强度值越低。从图 2 可见峰值压缩强度(图 2a)、向下弯曲强度(图 2b)、向上弯曲强度(图 2c)和变形模量(图 2d)均随控制指标增加呈衰减关系。

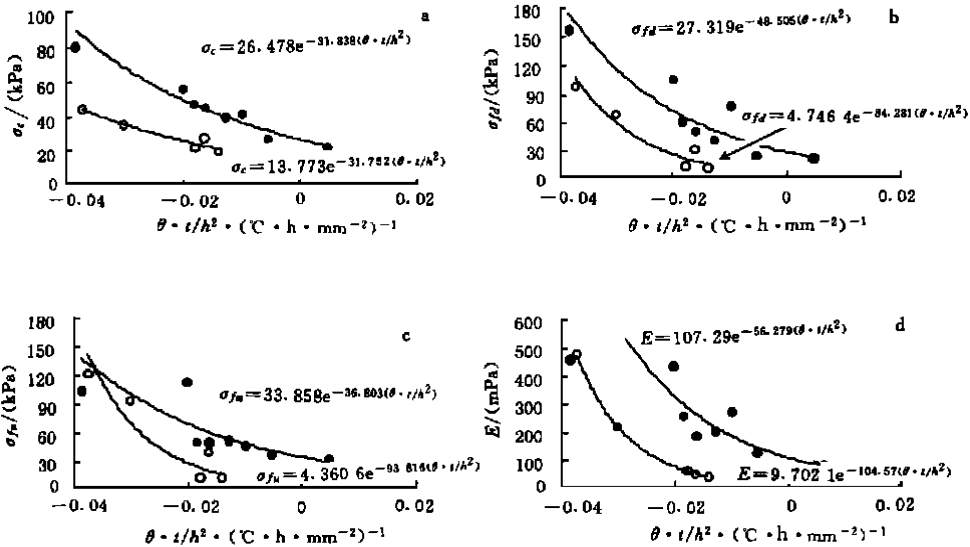


图 2 单轴峰值压缩强度(a)、向下弯曲强度(b)、向上弯曲强度(c)和变形模量(d)与控制指标的关系

Fig. 2 Peak uniaxial compressive strength(a), downward flexural strength(b), upward flexural strength(c) and strain modulus(d) vs. the control index
酒精溶液冰点(freezing point of ethanol solution): ● - 0.13℃; ○ - 0.21℃

3 结论

3.1 由于细粒酒精模型冰在整个制作过程中只发生相变, 而不发生温度变化, 所以该控制指标是体现细粒酒精模型冰净储热能力的一元因子, 也是反映冰内未冻液体含量的综合指标。实验资料对比分析表明冰内名义未冻液体含量与新指标有良好的关系。

3.2 虽然冻结指数($\theta \cdot t$)能作为柱状模型冰的评价指标, 但反映不了细粒酒精模型冰冰厚的效应, 也与细粒酒精模型冰内未冻液体含量没有关系。Hirayama(1983)使用 t/h^2 评价柱状模型冰, 它考虑了冰厚, 但该指标是表示冰表面温度突然降低或上升到另一温度 θ_a 时, 冰内温度达到线性分布时所需的时间, 这在无相变问题中是正确的, 但不适合于细粒酒精模型冰。根据作者实测冰温结果, 细粒酒精模型冰实现理想物理和力学参数的物理本质令冰内未冻液体含量起控制作用, 这是一个冰内有相变的过程。因此, 综合控制指标($\theta \cdot t/h^2$)对有相变的任何制冰过程是最一般表征指标。

3.3 新控制指标与细粒酒精模型冰的物理和力学参数之间的关系得到实验证实。由于制冰过程中的温度、时间和厚度均能人为设计和控制, 所以该指标能定量控制细粒酒精模型冰的质量。

参 考 文 献

- 李志军, Riska K, 1998a. 细粒酒精模型冰单轴压缩强度特征试验研究. 冰川冻土, 20(2): 167—171
- 李志军, Riska K, 1998b. 细粒酒精模型冰的特征长度和变形模量. 海洋环境科学, 17(4): 42—47
- 李志军, Riska K, 1999. 细粒酒精冰的弯曲强度试验研究. 海洋与湖沼, 30(6): 695—700
- Hirayama Ken-ichi, 1983. Properties of urea-doped ice in the CRREL test basin. CRREL Report 83- 8. Hanover: Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1—43
- Li Zhijun, Riska K, 1996. Preliminary study of physical and mechanical properties of model ice. M- 212, Espoo: Helsinki University of Technology, 1—100

FORECAST EXPERIMENT RELATIONS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF FINE GRAIN ETHANOL MODEL ICE

LI Zhijun

(State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, 116024)

RISKA Kaj

(Arctic Offshore Research Centre, Helsinki University of Technology, FIN 02150, Espoo, Finland)

Abstract Model ice is a necessary material in the physical simulation study of interaction between ice and structures (ships). Fine grain ethanol model ice is one of frozen grain model ices. At present, no single material that can modify natural ice properties suitably has been found because the present model ice properties change with the ice making technique and the ingredients. Therefore, the model ice properties become one of the main factors that dominate the simulation results. In practice, just a few parameters are modified following simulation rules based on the research purpose. Even though, the model ice thickness and the modified mechanical properties are not the same with the desired values. Since fine grain ethanol model ice come into beings, in model tests of ice and ships or structures desired properties were controlled by experience, true properties were measured before the tests, and model results were explained by modified parameters. How can model ice properties be controlled by using ice basin temperature, cold solid time and warm time as well as desire model ice thickness (water jumping rate \times time) which can be controlled in ice making procedures? That is the purpose of the study to answer this question. A series of detailed research on the ethanol freezing point (instead of ethanol percent), ice temperatures, ice basin air temperature, unfrozen liquid in model ice, ice density, ice compressive strength, ice flexural strength and ice strain modulus was done. The new index forecasting any kind of fine grain model ice parameters established based on the physical essence in ice making and measured model ice parameters. This paper provides the physical basis of the index and the experimental relationships between the index and each of the main physical and mechanical parameters of the ethanol model ice.

Key words Fine grain ethanol model ice, Physical and mechanical parameters, Control index