

海冰弯曲强度的研究

张明元 严德成 孟广琳

(国家海洋局海洋环境保护研究所, 大连 116023)

收稿日期 1990年12月25日

关键词 海冰, 弯曲强度, 应力率

提要 简要介绍了国内外海冰弯曲强度研究概况; 给出了1990年冬作者在辽东湾西部的实验结果; 并且讨论了海冰弯曲强度与应力率的关系。

海冰弯曲强度与海冰的抗压强度一样是海冰的一个重要力学参数, 在海洋工程设计中是不可缺少的一个设计指标。由于海冰的弯曲强度比海冰压缩强度小得多, 所以在设计时, 为了降低造价而特别设计一定形状的海上结构物, 使海冰形成弯曲破坏而不是挤压破坏。因此, 海冰研究者对海冰弯曲强度和抗压强度都很重视并进行了大量研究。作者于1990年1月在辽东湾西部葫芦岛对海冰的弯曲强度进行了试验, 现报道如下。

1 实验方法

国内外研究海冰弯曲强度的方法基本上是一样的, 都用悬臂梁、固支梁和简支梁法。悬臂梁的梁长是冰厚的10倍, 宽度多为冰厚的1倍, 固支梁的长是冰厚的20倍。由以前试验得出简支梁比悬臂梁的强度大20%, 固支梁的强度几乎是悬臂梁强度的2倍。本实验采用了简支梁弯曲实验。

葫芦岛港经多年冰调证明是渤海冰情较重的地方。每年这里都形成固定冰, 一般年份都有30~50 cm厚, 有较好代表性, 而且采样方便, 有大面积的平整固冰。1990年1月20日采样点的环境条件是水深约3m, 气温 -6°C , 冰温为 -2°C , 海水盐度为25.798, 海冰的盐度表层为

海洋科学, 1993年9月, 第5期

5.849, 中层为4.850, 底层为6.088, 冰厚为28 cm。

在港池的冰场上用电动锯按照一定的尺寸切割大冰块, 运到实验室, 用圆盘锯加工成 $6.5\text{ cm} \times 7.0\text{ cm} \times 7.0\text{ cm}$ 的标准实验梁。在低温冰柜中按拟定温度冷放, 然后在海冰压缩试验机上试验, 并取冰盐度样。

试验过程经传感器由x-y记录仪记录载荷、跨中挠度与经历时间, 由此计算出海冰弯曲强度和弹性模量。试验方法如图1所示。

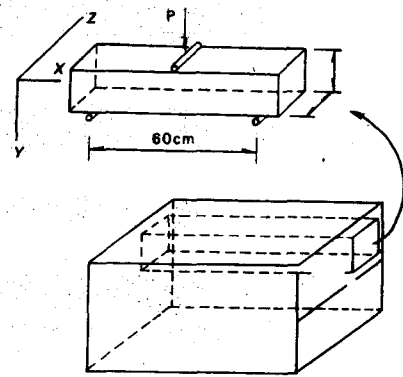


图1 试验方法示意

Fig. 1 Test method figure

2 试验结果与分析

主要做了5个温度、5个应力率的试验。对

其中一个应力率加试了水平方向的加载试验。每组试样为 5 根,共做了 113 个试样。试验结果见表 1。

表 1 海冰弯曲强度试验*

Tab. 1 Statistical tables of sea ice flexural strength test

冰温 (°C)	抗弯 强度 (kPa)	应力 率 (kPa/s)	弹性 模量 (GPa)	盐度	盐水 体积 m ³
-5	639.1	4.5	0.5	3.229	11.555
	743.5	102.1	1.2	/	/
	669.3	167.6	1.7	/	/
	579.7	97.9	1.0	/	/
	588.9	209.9	1.2	/	/
	510.8	916.6	0.8	/	/
-10	576.1	27.2	1.0	2.984	6.506
	381.7	33.2	0.5	/	/
	360.3	62.8	0.5	/	/
	314.9	62.9	0.5	/	/
	240.2	108.0	0.4	/	/
	281.0	102.9	0.4	/	/
-15	946.3	36.1	1.0	3.152	4.956
	1 191.3	198.0	1.5	/	/
	1 053.3	243.8	1.4	/	/
	1 143.2	401.2	1.6	/	/
	1 014.1	361.5	1.3	/	/
-20	406.8	18.7	0.5	3.429	4.283
	333.2	45.6	0.4	/	/
	381.3	69.1	0.6	/	/
	303.3	78.6	0.3	/	/
	371.8	164.2	0.6	/	/
	376.6	863.5	0.3	/	/
-25	1054.7	89.7	1.5	3.684	3.927
	1 118.8	164.4	2.2	/	/
	996.0	268.8	1.7	/	/
	1 169.1	188.0	1.3	/	/
	1 224.8	355.6	1.3	/	/
	1 282.5	1865.2	0.8	/	/

* 标有垂直和水平的为一组,其他皆为垂直试样。

海冰弯曲强度取决于它的盐度、温度、晶粒

尺寸和加载方向、冰形成的温度过程和其他环境条件。为了避免此方面的影响,研究试验在一个相同的试验基地进行。冰的性质和环境条件都相同,本试验的样本都取自一个地点。

2.1 海冰弯曲强度与应力率的关系

天然海冰不完全是相似而各向同性的,它是粘弹性和粘塑性材料。当加载快时,它看起来是一种弹性材料,而当加载慢时,它呈现塑性。海冰弯曲强度计算必须考虑所有这些因素。但是基于这些因素的理論还没有建立起来,在很多关于海冰的研究中,弯曲强度计算公式的导出是含糊的,是根据海冰是相似的各向同性完全线性的弹性假设建立起来的。1968 年 Weeks 和 Assur^[2]证明海冰是粘弹性力学性质,这个假设对于加载率不太低的情况下是可承认的。根据这个假设得出的结果可以用来比较从不同海区取得的海冰的力学性质^[3]。在文献[3]中详细论述了用简支梁法得出海冰弯曲强度与应力率之间的关系。在不同应力率下测定了海冰弹性常数,得出的结果是当应力率 $\sigma \leq 4.4 \times 10^{-2}$ MPa/s,弯曲强度 σ_f 不取决于应力率。但当应力率 $\sigma > 4.4 \times 10^{-2}$ MPa/s 时,弯曲强度 σ_f 正比于 $\ln \sigma$ 。因此当估算海冰对结构物的作用力时,应当在高应力率下考虑海冰弯曲强度。文献[1]也研究过加载率的影响,应力率为 1~1 000N/cm²s,标准悬臂梁,宽度等于冰厚的 10 倍。结果表明,应力率小于 400N/cm²s 时,对弹性模量和强度没有影响。如果应力率进一步增大,强度和弹性模量随之增大。这个结果(Enkvist, 1971)不同于(Tabata, 1966)用原地梁法在文献中给出的结果。Tabata(1966)的结果包括动力影响,在首次系列试验时,应力集中影响强度。为了得到证明,用根部直径分别为 50mm 和 150mm 的梁进行试验。结果表明,直径 150mm 的梁弯曲强度平均值比 50mm 的高 48%,说明应力集中与梁根部的切口径有关。

海冰的力学性质取决于使用的应力率(Tabata, 1966)。但是,如果应用的应力率大于 50~60kPa/s,证明可以满足弹性特性曲线。试验给出的加载率是 70N/s。应力率变化从 86

kPa/s(70mm 厚)到 52 kPa/s(90mm 厚)。作者在 1986~1989 年也用悬臂梁和简支梁法研究了海冰弯曲强度和应力率的关系。1989 年在辽河油田试验,应力率在 1~1 000 kPa/s, $\sigma_f \leq 45$ kPa/s, 弯曲强度与应力率关系不明显,当 $\sigma_f > 45$ kPa/s 时, σ_f 随应力率增大而增大。这也是海冰压缩强度的韧脆转变点。

本次试验弯曲强度随应力率变化,不同的温度变化规律不相同,弯曲强度与应力率的关系并没有明显的规律性。

2.2 海冰的弯曲强度值

海冰弯曲强度和弹性模量的计算是根据 Kirchhoff 的假设,最大弯曲强度(简支梁)由 $\sigma_f = \frac{3PL}{2Bh^2}$ 计算。式中 σ_f 为极限弯曲应力, P 为梁的破坏荷载, L, B, h 分别为梁的跨度,截面宽度和高度。弯曲弹性模量由 $E = PL^3/4Bh^3\delta$ 计算得出。式中 P, L, B, h 与上式同。 E 为弹性模量, δ 为梁破坏时跨中挠度。

海冰的温、盐度是影响弯曲强度和弹性模量的两个主要参数,文献[1]得出的弯曲强度是 570kPa。 Dykin (1971) 用公式 $\sigma_f = 1\ 030(1 - \sqrt{V_b}/0.209)$ 计算, 盐水体积为 0.026, $\sigma_f = 666$ kPa。 本试验得出的弯曲强度为 359~1 141 kPa, 平均值为 692 kPa, $E = 1.3$ GPa, 根据 Vaudrey (1975) 建议的公式:

$$V_b = S(0.532 + 49.85/|T|)$$

$$\sigma_f = 9.78 - 0.62 \sqrt{V_b} (\times 98 \text{ kPa})$$

$$E = 54\ 200 - 4\ 443 \sqrt{V_b} (\times 98 \text{ kPa})$$

计算有效弯曲强度和弹性模量。式中 V_b 为海冰中的盐水体积, T 为冰温(℃)。结果见表 2。

表 2 有效弯曲强度和弹性模量

Tab. 2 Effective flexural Strength and elastic modulus

温度(℃)	-5	-10	-15	-20	-25
$V_b(\text{m}^3)$	11.555	6.506	4.956	4.283	3.927
$\sigma_f(\text{kPa})$	751.9	800.5	818.6	830.8	836.9
$E(\text{GPa})$	3.83	4.18	4.31	4.44	4.44

由公式计算出的理论值弯曲强度为 752~

837 kPa 之间,实测值在 359~1 141 kPa 之间,实测值分散性较大。弹性模量实测值为 0.5~1.5 GPa,理论值为 3~5 GPa。

弯曲强度值,从测试结果可知,平行海平面加载方向的强度小于垂直海平面加载方向的值。这是由于冰晶结构在方向上的差异造成的。本次实验取的冰样,以柱状冰为主,由于是几次冻结形成的,还含有层状结构,所以在水平与垂直方向上有差别,但测试值差别不太大。测试结果见表 3。

表 3 垂直和水平方向弯曲强度

Tab. 3 Vertical and horizontal flexural strength

温度(℃)	-5	-10	-15	-20	-25
垂直强度(kPa)	669.3	360.3	1143.2	381.3	996.0
水平强度(kPa)	579.7	314.9	1014.1	303.3	1169.1

海冰弯曲强度,多年试验是随温度降低而增大,但也有的试验结果不符合此规律,可能是冰晶结构不同,或冷冻过程不同,其他原因有待进一步研究。

3 结论

3.1 试验得出弯曲强度随应力率变化,不同的温度变化不同。弯曲强度与应力率并没有明显的规律。

3.2 测得海冰弯曲强度为 359~1 141 kPa,平均值为 697 kPa。弹性模量测值为 0.5~1.5 GPa。垂直方向的弯曲强度大于水平方向的弯曲强度。

参考文献

- [1] Määttänen, 1975. Proc. 3rd POAC Conf. 1,349-359.
- [2] Murat, J. R., 1977. Proc. 4th POAC Conf. 638-653.
- [3] Shen Wu, 1988. IAAR ice Symposium 1(1):199-205.

STUDY OF SEA ICE FLEXURAL STRENGTH

Zhang Mingyuan, Yan Decheng and Meng Guanglin

(*Institute of Marine Environmental Protection, SOA, Dalian 116023*)

Received: Dec. 21, 1990

Key Words: Sea ice, Flexural strength, Stress rate

Abstract

States of study for flexural strength of sea ice both at home and abroad are introduced in the paper. Flexural strength studying methods have two kind (laboratory, out side). It's given test results in the Western Liaodong Gulf in the winter of 1990. Researches have been carried out into the relationship between flexural strength of sea ice and stress rate.