

塑料轻型船舶结构



国防工业出版社

内 容 提 要

本书叙述了塑料轻型船舶结构的计算、设计和制造的基本问题,并讨论了苏联及其他各国在造船工业中采用塑料上层建筑、甲板室、舱壁的经验,以及试验和使用结果。

本书还介绍了有关塑料作为结构材料的基本知识及它们的性质和特点;叙述了胶接计算的基本原则,特别注意上层建筑和舱壁结构设计的基本原则,及其强度计算、制造工艺和安装的特点。而且专用一章介绍了夹芯结构的设计特点。

此外,还讨论了塑料结构的修理问题及确定技术经济效益的步骤;叙述了用塑料造船的技术安全和劳动保护规定。

本书适于造船工业部门的工人、设计和工艺人员,以及造船院校师生参考。

ЛЕГКИЕ СУДОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ
ИЗ ПЛАСТМАСС

В. А. БЛАГОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО "СУДОСТРОЕНИЕ"

1969

*

塑料轻型船舶结构

[苏] В. А. 布拉可夫等 编

大连工学院船舶设计与制造教研室 译

哈尔滨玻璃钢研究所 校

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 9³/₁₆ 193千字

1975年1月第一版 1975年1月第一次印刷 印数: 0,001—3,000册

统一书号: 15034·1395 定价: 0.75元

目 录

前言	6
第一章 轻型船舶结构的分类及其要求	7
§ 1 轻型船舶结构	7
§ 2 对轻型舱壁要求的分析	9
第二章 轻型船舶结构中使用塑料的经验	27
§ 3 塑料轻型船舶结构的制造	27
§ 4 试验和使用结果	41
第三章 制造轻型船舶结构的塑料	52
§ 5 概述	52
§ 6 常温固化玻璃钢	55
§ 7 加温固化玻璃钢	59
§ 8 制造夹芯结构的材料	62
第四章 塑料以及塑料与其他材料之间的连接	72
§ 9 概述	72
§ 10 被胶接材料的各向异性对连接承载能力的影响	76
§ 11 玻璃钢连接中的内应力	81
§ 12 平接式胶接的拉、压强度	86
§ 13 平接式胶接的弯曲强度	107
§ 14 T型（或角型）胶接撕裂时的工作特性	112
§ 15 T型（或角型）胶接弯曲时的工作特性	119
§ 16 其他连接方法	127
第五章 塑料上层建筑、甲板室、舱壁的 结构设计特点	129

§ 17	概述·····	129
§ 18	材料选择·····	130
§ 19	上层建筑的壁板、甲板板和舱壁板·····	133
§ 20	构架·····	138
第六章	塑料轻型船舶结构的特点·····	142
§ 21	概述·····	142
§ 22	总强度·····	145
§ 23	局部强度·····	154
第七章	夹芯结构的设计特点·····	162
§ 24	概述·····	162
§ 25	具有轻型芯材矩形夹芯板计算的理论基础·····	164
§ 26	夹芯板的筒形弯曲·····	171
§ 27	夹芯结构中蜂窝芯材的工作状况·····	198
§ 28	蜂窝芯材的理论相当特性·····	203
§ 29	蜂窝芯材及蜂窝夹芯板的试验特点·····	212
§ 30	夹芯板连接形式·····	217
第八章	塑料轻型船舶结构的制造·····	223
§ 31	主要制造方法·····	223
§ 32	制造工艺·····	228
§ 33	安装-装配工作·····	238
§ 34	塑料的机械加工·····	244
§ 35	质量检验·····	246
§ 36	制造塑料船舶结构的安全技术及劳动保护·····	254
第九章	塑料结构的修理·····	260
§ 37	各种缺陷的特征及判定方法·····	260
§ 38	修理方法·····	263
第十章	在上层建筑、甲板室及舱壁结构中采用塑料 的技术经济效果估价·····	272

内 容 提 要

本书叙述了塑料轻型船舶结构的计算、设计和制造的基本问题，并讨论了苏联及其他各国在造船工业中采用塑料上层建筑、甲板室、舱壁的经验，以及试验和使用结果。

本书还介绍了有关塑料作为结构材料的基本知识及它们的性质和特点；叙述了胶接计算的基本原则，特别注意上层建筑和舱壁结构设计的基本原则，及其强度计算、制造工艺和安装的特点。而且专用一章介绍了夹芯结构的设计特点。

此外，还讨论了塑料结构的修理问题及确定技术经济效益的步骤；叙述了用塑料造船的技术安全和劳动保护规定。

本书适于造船工业部门的工人、设计和工艺人员，以及造船院校师生参考。

ЛЕГКИЕ СУДОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ
ИЗ ПЛАСТМАСС

В. А. БЛАГОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО "СУДОСТРОЕНИЕ"

1969

*

塑料轻型船舶结构

〔苏〕В. А. 布拉可夫等 编

大连工学院船舶设计与制造教研室 译

哈尔滨玻璃钢研究所 校

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张9³/₁₆ 193千字

1975年1月第一版 1975年1月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

统一书号：15034·1395 定价：0.75元

目 录

前言	6
第一章 轻型船舶结构的分类及其要求	7
§ 1 轻型船舶结构	7
§ 2 对轻型舱壁要求的分析	9
第二章 轻型船舶结构中使用塑料的经验	27
§ 3 塑料轻型船舶结构的制造	27
§ 4 试验和使用结果	41
第三章 制造轻型船舶结构的塑料	52
§ 5 概述	52
§ 6 常温固化玻璃钢	55
§ 7 加温固化玻璃钢	59
§ 8 制造夹芯结构的材料	62
第四章 塑料以及塑料与其他材料之间的连接	72
§ 9 概述	72
§ 10 被胶接材料的各向异性对连接承载能力的影响	76
§ 11 玻璃钢连接中的内应力	81
§ 12 平接式胶接的拉、压强度	86
§ 13 平接式胶接的弯曲强度	107
§ 14 T型（或角型）胶接撕裂时的工作特性	112
§ 15 T型（或角型）胶接弯曲时的工作特性	119
§ 16 其他连接方法	127
第五章 塑料上层建筑、甲板室、舱壁的 结构设计特点	129

§ 17	概述·····	129
§ 18	材料选择·····	130
§ 19	上层建筑的壁板、甲板板和舱壁板·····	133
§ 20	构架·····	138
第六章	塑料轻型船舶结构的特点·····	142
§ 21	概述·····	142
§ 22	总强度·····	145
§ 23	局部强度·····	154
第七章	夹芯结构的设计特点·····	162
§ 24	概述·····	162
§ 25	具有轻型芯材矩形夹芯板计算的理论基础·····	164
§ 26	夹芯板的筒形弯曲·····	171
§ 27	夹芯结构中蜂窝芯材的工作状况·····	198
§ 28	蜂窝芯材的理论相当特性·····	203
§ 29	蜂窝芯材及蜂窝夹芯板的试验特点·····	212
§ 30	夹芯板连接形式·····	217
第八章	塑料轻型船舶结构的制造·····	223
§ 31	主要制造方法·····	223
§ 32	制造工艺·····	228
§ 33	安装-装配工作·····	238
§ 34	塑料的机械加工·····	244
§ 35	质量检验·····	246
§ 36	制造塑料船舶结构的安全技术及劳动保护·····	254
第九章	塑料结构的修理·····	260
§ 37	各种缺陷的特征及判定方法·····	260
§ 38	修理方法·····	263
第十章	在上层建筑、甲板室及舱壁结构中采用塑料 的技术经济效果估价·····	272

前 言

造船技术水平在很大程度上取决于所采用的材料，这些材料必须满足不断增长的使用和结构方面的要求。

近年来，在造船中越来越广泛地采用具有综合性能的新材料，其中主要是塑料。

造船中应用塑料和其他合成材料可以保证有成效地解决一些重要的和现实的问题，如：代替金属，减轻重量，增加结构使用的期限及可靠性，简化制造工艺。这是由于塑料具有宝贵的特性，即比重小但可达到相当高的机械强度。

但是，过去在解决塑料在造船中应用的问题时，存在着一定的困难。造成这种情况的原因是对这方面的工作成果报道比较少，而且缺少必要的设备，而在塑料船舶结构的计算、设计和制造方面也缺少必要的资料。

本书的目的在于向读者介绍有关设计和制造塑料船舶上层建筑、甲板室、舱壁问题的情况，以及设计人员和工艺人员在实际工作中所必需的资料。但是，本书中所建议的解决方法不应认为是唯一正确的和最终的，然而，书中所引用的原理和资料在一定的程度上可以帮助塑料船舶工业部门中的工作人员在解决设计、制造塑料船舶结构的具体问题时，能考虑到塑料的特性。

第一章 轻型船舶结构的分类 及其要求

§1 轻型船舶结构

船舶结构按其参加总弯曲（纵向的和横向的），即保证船舶总体强度的程度，可以相对地分为强型的和轻型的两大类（对于运输船，相应地称为长上层建筑和短上层建筑）。

强型上层建筑参加船体总弯曲，因而应该把它看成为承受相应载荷的船体上部构件进行设计。对于轻型上层建筑，由于长度短或船体横向甲板构件刚度不足（如对于甲板室来说，是指横舱壁或由支柱支撑的强横梁），认为它不参加船体纵弯曲。H. JI. 西雅尔斯〔94〕对确定上层建筑参加船体纵弯曲程度的因素，进行了详细分析并指出，作为基本原则不应像现在所采用的那样取上层建筑长度与船长之比，而应取上层建筑长度与其剖面半周长之比。必须指出，把上层建筑分类为长和短的（强型的和轻型的）在挪威船舶建造规范中已有所反映，而苏联船舶登记局规范则以这种方法为基础。

大家知道，采用长的钢质上层建筑作为船体有效纵向构件并非都是合理的，因为这样会使船体重心显著提高，从而使其稳性变坏。为减小这种上层建筑参加船体总弯曲的程度，采用伸张式连接。为此，采用标准弹性模数 $E = 0.7 \times 10^6$ 公斤/厘米² 的轻质铝合金，在显著减少总弯曲产生的力的同时，还显著地减轻了上层建筑的重量。

显然,若把具有弹性模数 $E = (1.5 \sim 1.8) \times 10^5$ 公斤/厘米² 和比重 $\gamma = 1.7 \sim 1.8$ 克/厘米³ 的塑料,用于钢质船体的上层建筑上,将产生更为显著的效果。可以认为这种上层建筑参加船体总弯曲的程度不应取决于上层建筑的尺寸,因为与金属船体相比,其刚度要低得多。

正如所做的分析指出,这种看法是接近于实际情况的。

若假定塑料上层建筑全部参加金属船体的总弯曲,而不改变其剖面的中和轴位置,那么就可以确定上层建筑甲板处的应力低于许用应力的条件。

上层甲板处的应力,可由下式确定:

$$\sigma_{nn} = \eta \sigma_{nn} \frac{e + h}{e}, \quad (1)$$

式中 σ_{nn} ——上层建筑甲板处的应力;

σ_{nn} ——钢船体上甲板处的应力;

h ——上层建筑高度;

e ——船体上甲板距中和轴的距离;

$$\eta = \frac{E_n}{E_k} (E_n \text{——玻璃钢的弹性模数, } E_k \text{——钢的弹性模数}).$$

根据(1)式,在上层建筑中和船体上甲板处的应力等于许用应力时,上层建筑高度可由下列条件确定:

$$h \leq e \left(\frac{[\sigma_{nn}]}{[\sigma_{nn}]} \cdot \frac{1}{\eta} - 1 \right). \quad (2)$$

如果代入数值,假定 $E_n = 1.7 \times 10^5$ 公斤/厘米², $E_k = 2 \times 10^6$ 公斤/厘米², $[\sigma_{nn}] = 400$ 公斤/厘米², $[\sigma_{nn}] = 1200$ 公斤/厘米², 则得到 $h \leq e \times 2.9$ 。

对大多数船舶而言, $e \geq 1$ 米,可以断定,对具有实际高度的上层建筑来说,实际上是不会出现过高的应力的。

因而，可以作出结论：按照金属上层建筑的现有分类法，安装在金属船体上的塑料上层建筑，不管其长度如何，均可认为是轻型的（短的），其构件尺寸建议仅按局部强度要求决定（或根据构造和工艺要求决定）。

除了把船体分隔成水密舱室和保证横向和纵向总强度的主横舱壁和主纵舱壁外，每艘船在其主船体、上层建筑和甲板室都设有具有各种功能的次舱壁和围壁，以保证船舶的正常使用。

必要的强度是选择结构构件和舱壁材料的基本准则。按必需的强度值，所有的次舱壁和围壁可以分为承压的、支承的和非承压的（隔离用的）。

承压舱壁和承压围壁用于分隔水密舱室，其结构构件根据计算液体静压力作用下的强度条件来选定。

支承舱壁和支承围壁作甲板板架的支柱用，也可以作各种甲板设备和结构（上层建筑的上层结构、装置等）下的加强支架。在保证足够的强度和进行局部加强的情况下，各类舱壁和围壁均可当作支承用。

非承压的或者隔离用的舱壁和围壁，据其安设位置不同可以是一般的、气密的和水密的。它们用于隔开各种类型的舱室，隔开房间和固定各种设备（如吊床、仪器等）。这类舱壁和围壁统称为轻型的。

§ 2 对轻型舱壁要求的分析

船级协会的规范是规定钢船结构构件尺寸和结构形式的基本文件。

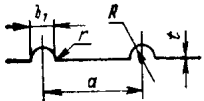
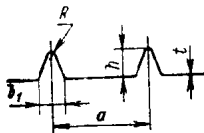
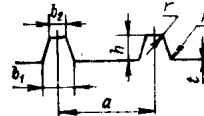
文献〔14〕〔94〕指出，各个船级协会的规范在对上层建筑

构件的尺寸要求方面有一定的分歧。这就难于建立一种用新材料（铝镁合金和塑料）设计上层建筑的统一方法。

船级协会的规范对轻型舱壁和围壁未作规定，结构构件主要根据使用经验选取（如果这些舱壁不作为支承或承压用）。

当前，广泛采用波状舱壁，其结构要素如表 1 所示。

表 1 轻型围壁的结构要素，毫米

图	例	t	b_1	b_2	h	R	r	a
	1~2	40	—	—	20	5	250	
	2~4	40	—	30	8;10	8;10	250	
		50	—	40	8;10	8;10	350	
	3~4	80	50	60	—	8;10	450	

由于选择具体板厚和波形尺寸时没有一定的标准，只能根据经验，有时是主观决定的。所以把用这种方法选定的钢构件，换算成轻合金或塑料时，就可能造成错误。甚至会大大降低所期望的效果。

下面试求决定轻型围壁结构强度的假定横向均布载荷

值, 并且估算甲板横梁在横向弯曲时可能的变形和船体扭转时, 强肋骨的扭曲。当然, 此时舱壁的应力不应使板和扶强材失稳。

为了弄清假定横向载荷, 分析一下船级协会规范对那些接近于按轻型围壁工作的结构的最小强度尺寸的要求 (关于对轻型围壁的要求没有直接规定)。这类结构包括: 机炉舱的分隔舱壁; 中部上层建筑和甲板室的后壁; 艏楼和艙楼的端壁; 艏楼和具有最小结构尺寸的短的中部二层建筑的侧壁; 轻型围壁板。

根据挪威船舶建造规范, 防撞舱壁板的厚度应由下式决定:

$$t = 0.0034 l_{\min} \sqrt{h} + 1.5 \text{ 毫米}, \quad (3)$$

式中 $l_{\min}$ ——扶强材间距, 毫米;

h ——计算水压力, 水柱高(米);

1.5 毫米——考虑板的磨损附加值。

当 $l_{\min} \leq 760$ 毫米时, 最小板厚为:

$$t_{\min} = 0.006 l_{\min} + 1.5 \text{ 毫米}. \quad (4)$$

苏联船舶登记局, 美国航运局和英国劳氏规范, 对于防撞舱壁都给出了关系式 $t = f(l_{\min}, h)$, 正如 H. E. 普达夫的研究所指出的那样, 它们具有相似的特性 (图 1)。

我们假定, 不承受总弯曲应力的上层建筑和甲板室的壁板结构, 可以满足承受甲板进水压力为 h_p (表 2) 的强度要求和满足结构强度要求。这时, 可由式 (3) 确定总的 h 值。

$$h = h_p + h_y,$$

根据甲板尺寸相应地自表 2 选取 h_p 值。减去计算水压

力 h_p , 就可以得到决定结构强度的假定横向载荷 h_y 。

表 2 艏楼端壁和中部上层建筑后壁的计算水压力, 水柱高(米)

规范标准	L, 米							
	35	55	75	95	115	135	155	大于175
	B = 0.1 L + 4.5 米							
	8	10	12	14	16	18	20	大于22
苏联船舶登记局 (规范)	$\frac{0.76}{0.91}$	$\frac{0.83}{0.93}$	$\frac{0.95}{1.15}$	$\frac{1.15}{1.35}$	$\frac{1.35}{1.54}$	$\frac{1.54}{1.66}$	$\frac{1.55}{1.70}$	$\frac{1.55}{1.70}$
苏联船舶登记局 (强度标准)	$\frac{0.8}{1.0}$	$\frac{0.8}{1.0}$	$\frac{0.95}{1.15}$	$\frac{1.15}{1.35}$	$\frac{1.35}{1.55}$	$\frac{1.55}{1.75}$	$\frac{1.6}{1.8}$	$\frac{1.6}{1.8}$
挪威船舶登记局	$\frac{0.70}{0.81}$	$\frac{0.84}{1.02}$	$\frac{1.0}{1.22}$	$\frac{1.18}{1.43}$	$\frac{1.34}{1.63}$	$\frac{1.51}{1.80}$	$\frac{1.68}{1.80}$	$\frac{1.80}{1.80}$
英国劳氏	$\frac{0.6}{0.72}$	$\frac{0.86}{1.03}$	$\frac{1.10}{1.32}$	$\frac{1.30}{1.56}$	$\frac{1.47}{1.73}$	$\frac{1.56}{1.75}$	$\frac{1.63}{1.75}$	$\frac{1.68}{1.75}$

注 1. L 和 B —— 对应船长和船宽;

2. 横线上的数字对应 $T/H=0.7$, 线下的 —— $T/H=0.8$ 。

具有防挠材的轻型波状围壁在弹性阶段的计算图形, 是一个两端为自由支承的板条梁。

对于这种计算图形, 可以把纤维屈服当作极限状态。此时, 轻型围壁板厚可按式估算:

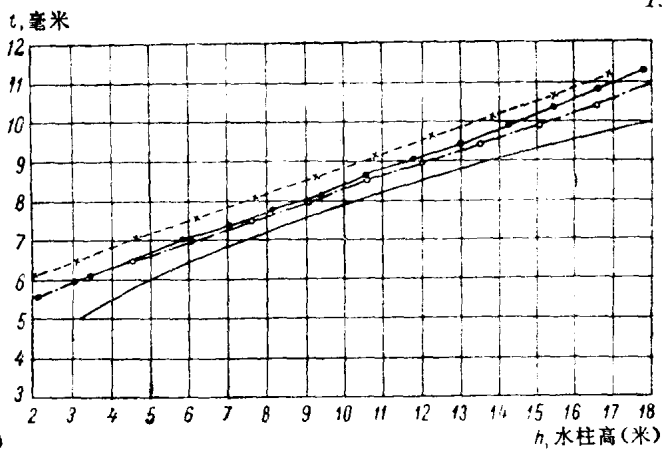
$$t_{\text{ЛВ}} = 0.0056 l_{\text{мн}} \sqrt{h_y + 1.5}. \quad (5)$$

显然, 只有当 $t_{\text{регистр}} > t_{\text{ЛВ}}$ 时, 才可能由所研究的结构的规定厚度中把 $t_{\text{ЛВ}}$ 选出来。

对规范要求进行分析的结果表明, 对船长在 40~60 米和小于此值的船舶来说, 艏楼的端壁和中部上层建筑的后壁板厚 (当肋距为 750 毫米时), 与甲板室的壁板厚度相同,

a)

13



b)

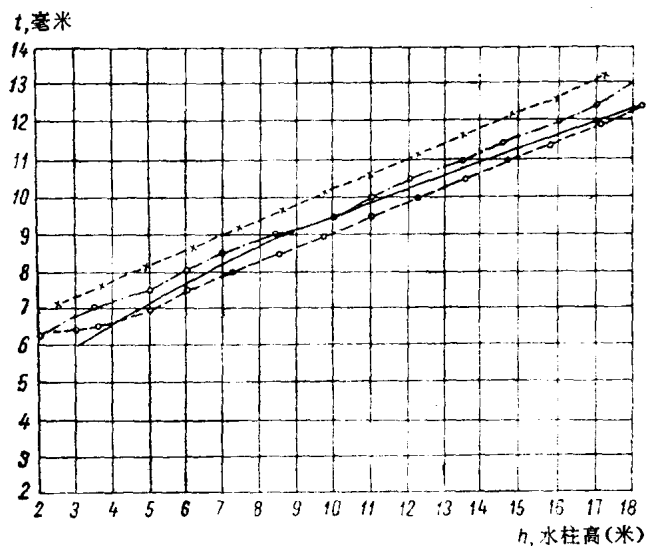


图1 各船级协会规范所规定的板厚与计算水压力之间的关系

对应的扶强材间距: a) — 600 毫米; b) — 750 毫米。

- x-x-x- 美国船舶航运局; ●-●-●- 英国劳氏;
 ○-○-○- 在图 a 上——苏联船舶登记局, 在图 b 上——苏联船舶登记局和英国劳氏;
 ———— 挪威船舶登记局; -○-○-○- 法国船舶登记局。

即 4 ~ 5 毫米。此值是所研究结构的最小厚度值。

当间距为 250、350、450 毫米时，对应的 $t_{\min}$ 值是：考虑板的磨损附加量时，为 3.0、3.6、4.2 毫米；不考虑板的磨损附加量时，为 1.5、2.1、2.7 毫米。

船长等于或大于 140 米时，规定壁厚为一固定值。计算水压力值也规定不变（见表 2）。

对这种船舶的艏楼端壁来说，当 $t = 9.5$ 毫米， $h = 1.78$ 米水柱高时；若 $h_p = 1.7$ 米水柱高，则 $h_y = 0.08$ 米水柱高。

对第一层甲板室的后壁来说，当 $t = 6.0$ 毫米， $h = 1.33$ 米水柱高时；若 $h_p = 1.23$ 米水柱高，则 $h_y = 0.1$ 米水柱高。

因此，可以认为轻型围壁的假定横向载荷是 $h_y = 0.1$ 米水柱高的水压力。对于这种情况，扶强材的间距将是确定围壁厚度的准则。

确定轻型围壁板厚的公式为：

$$t_{\text{нв}} = 0.007 l_{\text{нв}} \text{ 毫米。} \quad (6)$$

表 3 与舱壁板等强度的扶强材的剖面模数

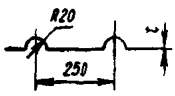
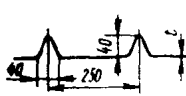
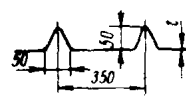
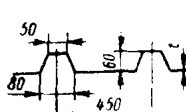
a , 毫米	250	350	450
W , 厘米 ³	0.81	1.14	1.46

表 3 列出了与波状舱壁板等强度的扶强材的剖面模数值（ a —— 波距）。当 $\sigma_r = 2400$ 公斤/厘米² 时，扶强材高度取 2.5 米。表 4 中列出了具有规定结构参数的波形剖面的惯性矩 I 和剖面模数 W 。

由这些表可看出，当 $t = 1$ 毫米时，第一类波形不满足

等强度条件，而其他波形尺寸按此条件可以降低。

表 4 波状舱壁的剖面要素

舱壁剖面	$t = 1$ 毫米		$t = 2$ 毫米		$t = 3$ 毫米		$t = 4$ 毫米	
	I	W_{min}	I	W_{min}	I	W_{min}	I	W_{min}
	厘米 ⁴	厘米 ³	厘米 ⁴	厘米 ³	厘米 ⁴	厘米 ³	厘米 ⁴	厘米 ³
	1.2	0.7	2.5	1.4	—	—	—	—
	—	—	3.9	1.5	5.9	2.2	8.0	3.0
	—	—	10.1	2.9	12.2	3.5	14.4	4.1
	—	—	—	—	71.6	14.9	93.7	18.8

我们研究梁的横向变形对轻型围壁强度的影响。讨论位于强肋骨平面处的围壁。表 5 列出了横梁自由翼板在跨中和在梁下垂处的应力（作为初始资料，取自 1956 年出版的苏联船舶登记局规范）。

取一个两端弹性固定 ($\alpha=0.5$) 并承受均布载荷的梁作为计算图形。