

船舶牵引计算

B. B. 茲文科夫 著
柏 楨 邢 國 江 譯

人民交通出版社

船舶牵引计算

B.B.兹文科夫 著

柏 栎
那 国 江 译

人民交通出版社

本書綜合地闡述了有關船舶牽引和速度性能的問題。

各種營運條件下的船舶快速性問題是在現代理論的水平上進行探討的，並且以蘇聯和外國航運實踐的實驗資料作為根據。

書中亦反映出生產革新者為提高船舶牽引和速度性能所作的努力。

本書可作為管理系教學參考書。也可作為駕駛系和輪機系學生，以及水運工程人員的輔助讀物。

船 舶 牽 引 計 算

В. В. ЗВОНКОВ

Член-корреспондент Академии наук СССР

СУДОВЫЕ ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

(ТЕОРИЯ РАСЧЕТЫ ИСПЫТАНИЯ)

Допущено Министерством высшего
образования СССР в качестве учебного
пособия для институтов водного
транспорта

ИЗДАТЕЛЬСТВО РЕЧНОЙ ТРАНСПОРТ
Москва—1955

本書根據蘇聯河運出版社1955年莫斯科俄文版本譯出

柏 楨 邢國江 譯

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新華書店北京發行所發行 全國新華書店經售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 廠 印 刷

1963年9月北京第一版 1963年9月北京第一次印刷

開本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張：12 $\frac{1}{2}$ 張 插頁2

全書：309,000字 印數：1—1,000冊

統一書號：15044·5296

定價(10)：2.15元

目 录

第一篇 緒論	6
第一章 本书的宗旨和内容	6
第二章 船舶牵引方法和所采用的动力类型	8
第三章 牵引計算的准确性	20
第二篇 关于船舶牵引性能和速度以及能量在机器和 推进器装置中轉換的基本概念	24
第四章 作用在船上的各种力及船舶运行方程式	24
第五章 机动船舶的能的变换	30
第六章 关于船舶馬力和效率的概念	34
第七章 船舶的牵引性能和速度性能对营运經濟 性的影响	41
船舶最有利的技术速度的确定	41
最有利的船舶載重量的确定	43
第三篇 船舶运行水阻力	47
第八章 船舶运行水阻力的物理性质	47
第九章 船舶在深水中运行的阻力	54
使用模型研究船舶运行阻力的基础	54
船舶运行阻力的方程式	55
摩擦阻力	58
涡流阻力	68
兴波阻力	71
船舶尺度及綫型对其运行阻力的影响	76
风浪对阻力及航速的影响	89
船舶在深水中运行阻力的实际計算方法	98
第十章 船舶在有限制的水道中运行的阻力	116
航道尺度和船舶运行阻力	116

船舶在有限水流中运行时的兴波状态以及航速和吃水	126
水面坡降对于船舶运行阻力的影响	134
确定船舶在有限水道中的运行阻力的具体方法	136
在过闸船舶的系缆上所产生的应力	151
第十一章 拖驳船队和顶推船队的运行阻力	156
伴流对减小船舶及船队运行阻力的影响	156
推流对拖驳船队运行阻力的影响	167
拖缆长度和船队在航向上的不稳定对于运行阻力的影响 ..	171
编队系数	177
第十二章 木排运行阻力	184
第四篇 船舶推进器的功能	188
第十三章 推进器的功用及其主要类型	188
推进器的分类	188
明轮	189
螺旋桨	192
翼轮式推进器	198
水力推进器	200
第十四章 确定推力和推进器效率的理论根据	201
推进器推力方程式	201
推进器效率方程式	206
第十五章 螺旋桨的实际计算方法	214
螺旋桨的主要结构特性	214
螺旋桨的无因次计算特性	215
船体对螺旋桨工作的影响	218
无导流管的螺旋桨计算	223
有导流管螺旋桨的计算	234
第十六章 明轮的实际计算	244
明轮的主要结构特性	244
明轮的无因次计算特性	246
明轮计算用的图谱	248
第十七章 航道尺度及船舶吃水对推进器 推力的影响	253

第五篇 动力装置的工作状态及船舶的慣性、牵引	
力和速度	261
第十八章 船舶动力装置和推进器的协同工作	261
第十九章 船舶的慣性	266
第二十章 船舶的馬力和牵引力	283
平均指示压力	285
蒸汽动力装置的綜合效率	292
机器的轉速	293
鍋炉工作条件对船舶牵引性能的影响	296
編制船舶牵引特性曲綫图的原則	298
船舶指示馬力的平衡与效率	303
确定內燃机船和电气船馬力及牵引力的一些特点	306
第二十一章 拖輪及推輪牵引力和航速的确定	311
推輪和拖輪的牵引效益和速度效益的比較分析	314
按拖輪換算牵引力和駁船运行阻力資料对頂推船队	
牵引力和速度特性的計算	323
第二十二章 确定貨輪和客貨輪航速的方法	327
第二十三章 水流速度对船舶及船队航速的影响	329
第二十四章 編制和使用关于牵引計算的	
調度手册的方法	332
航道的技术营运特性	332
船舶技术特性	334
船舶調度用的牵引力和航速証书	335
关于船舶机动性能的調度資料	341
編組船队的基本規則	341
船舶(船队)技术速度及其运行時間的确定	343
第二十五章 提高船舶技术速度和牵引力	
指标的各种措施	345
第六篇 船舶牵引試驗	354
第二十六章 試驗的目的和內容	354
第二十七章 船舶的动力試驗和热工試驗	356

第二十八章 船舶測時動力試驗	360
第二十九章 對船舶試驗中應用的測量儀器 的基本要求	361
第三十章 船舶試驗工作的組織	368
第三十一章 船舶動力和速度試驗資料的正確方法， 試驗結果的分析和利用	371
附錄	379
一、水的動粘性係數	380
二、光滑平板在紊流中隨雷諾數變化的摩擦係數	380
三a、考慮相對粗糙度在內的摩擦阻力係數	381
三b、船的粗糙係數	381
四、海輪的 $\frac{L}{B}$ 的變化與 α 的關係	382
五、內河駁船的 $\frac{L}{B}$ 及 $\frac{T}{B}$ 的變化與 $\alpha = \frac{C_0}{C_\delta}$ 及 $\beta = \frac{C_0}{C_\delta}$ 的關係	382
六、海輪 $\frac{B}{T}$ 的變化與 $\beta = \frac{C_0}{C_\delta}$ 的關係	383
七、海輪方形係數的變化與 $d = \frac{C_0}{C_\delta}$ 的關係	383
八、內河船舶方形係數 δ 的變化與 $d = \frac{C_0}{C_\delta}$ 的關係	384
九、內河船舶剩餘阻力係數 C_δ 根據平行中體相對長度的修正 ...	384
十a、中速及慢速海輪在 $\varphi = 0.75$ ， $\frac{L_{11}}{L} = 0.23 \sim 0.34$ ， $\beta = 0.98$ 時的剩餘阻力係數（卡巴欽斯基）	385
十b、中速及慢速海輪在 $\varphi = 0.79$ ， $\frac{L_{11}}{L} = 0.37 \sim 0.40$ ， $\beta = 0.98$ 時的剩餘阻力係數（卡巴欽斯基）	386
十B、中速及慢速海輪在 $\varphi = 0.82$ ， $\frac{L_{11}}{L} = 0.46 \sim 0.50$ ，	

$\beta = 0.98$ 时的剩余阻力系数 (卡巴欽斯基)	387
十一、海上快速船舶的单位剩余阻力 (杜埃尔和基尔斯)	388
十二 巴帕米尔計算海船拖帶馬力的图譜	389
十三 a、內河駁船及貨輪的剩余阻力系数	390
十三 б、內河駁船首尾綫型示意图	390
十三 B、內河拖輪的剩余阻力系数	391
十四、确定船舶及木排浸水面积的計算公式	391
十五、計算运河中船舶周围流速与船舶航速之比	
$\frac{v_0}{v}$ 的实用图譜	393
十六、計算浅水中流速与船舶航速之比 $\frac{v_0}{v}$ 的实用图譜	394
十七、木排的剩余阻力系数 (平直形、圓捆形及雪茄形)	395
十八、船舶动力装置机械效率的約略数值	396
十九 a、計算螺旋桨性能的图譜 (巴帕米尔)	見插頁
十九 б、計算螺旋桨性能的图譜 (巴帕米尔)	見插頁
二十、近似計算导流管中螺旋桨性能的图譜 (包格达諾娃， 中央河运科学研究所)	397
二十一、中央河运科学研究所計算明輪牵引性能的图譜	398
二十二、明輪計算修正系数	399
二十三、确定平均单位耗汽量用的輔助图	400
二十四 a、在船舶任意工作状态下計算螺旋桨的图譜 (中央海运科学研究所，拉夫連奇耶夫)	見插頁
二十四 б、在船舶任意工作状态下計算螺旋桨用的图譜 (中央海运科学研究所，拉夫連奇耶夫)	見插頁

第一篇 緒 論

第一章 本书的宗旨和內容

船舶營運應該以下面這兩個基本原則為基礎：

充分地將船舶營運期用在重載航行上；

充分有效地利用船舶的速度性能和牽引性能。

遵循這兩條原則，同時並千方百計地爭取提高勞動生產率，降低運輸成本和保證工作的收益，即能保障各個航運企業的工作成效。

實現第一個原則的途徑，對於所有水運工作人員都是明確的；這些途徑基本上是：根據船舶的運輸能力以及港口和航道的通過能力編制完善的貨流計劃；船舶按嚴格而協調的運行圖進行工作；所有營運工作實行調度化（這是加速船舶周轉的最有效的方法）；裝卸工作實行機械化（這是縮短船舶在港停泊時間的手段）等等。

第二個原則就涉及到較難認識且又常常是尚未弄清的一些因素，諸如船舶的牽引力、功率和航速同航道尺度、航行條件、船舶尺度和綫型以及主機工作制度和推進器性能等之間的关系，綜合起來，所有這一切可以稱為牽引計算的理論和實踐。研究、了解和充分利用船舶的牽引性能和速度性能，這就是自覺地掌握船舶有效營運的第二個原則。

船舶牽引計算理論和實踐的基本目的在於確定船舶運行中發生的各種力的相互关系以及弄清最大限度且有效地利用船舶的牽引性能和速度性能的条件。

根據理論力學定律，可以確認，船舶只有在一定的外力作用

下才会发生移动，这个外力与船舶的运动方向一致，克服船舶的运动质量的慣性以及平衡在船舶运动时发生的并与其运行方向相反的阻力。

以船舶力学、热工学和水力学中一些专门理論为基础的船舶牵引計算的产生和发展，是同社会的实际需要和解决发展航运任务的需要密切联系着的。恩格斯在自然辯証法一书中強調科学和生产的联系以及一个科学部門与另一科学部門之間的相互关系时指出：“力学是伴随着手工业的发展而发展起来的，而后，力学很快又成为航运所必需。”

認識与船舶运行有关的物理現象，确定船舶推进力和船舶运行水阻力，确定它們与船舶航速和主要的建造尺度以及航道条件之間的关系是理論和营运經驗的互相密切促进的結果。

从下面的敘述中，我們可以看出，准确而有分析地进行牵引計算，目前还有一定困难，这是因为影响船舶阻力和牵引力的因素是十分多的。

因此，在現阶段，試驗的方法——船舶动力試驗也就成了船舶牵引計算的一个重要的方法。但是船舶牵引計算和速度計算的理論研究的作用絲毫沒有降低，与此相反，随着系統的船舶試驗結果的积累，它的作用将日益增加。經驗不仅証明，而且也常常修正和补充理論上的結論，并付予它以新的論据。

确定最大限度且最有效地利用船舶的方法是研究船舶牵引性能和速度性能的最主要的目的。这个极为重要的課題是水运中生产革新者所提出的，他們在自己的工作中則大大超过了所謂“极限”的速度和負荷量。

这些反动的“极限論”已經反映在航运局的实际活动中——船舶証书資料中，并且規定了所謂船舶动力裝置的“标准”工作制度，而这种工作制度却常常压低了船舶的負荷量和航速。

船舶“标准”工作制度的建立，它的目的一般仅仅是降低燃料消耗量，但同时它却忽視了这样一些指标，即运输工作成本，

运输速度和劳动生产率。

改善船舶牵引性能以及提高航速和负荷量的主要途径为：

1. 降低水对船舶运行的阻力，其方法是在建造船舶时，选择最有利的船体外形和主要尺度的比例，最有效地利用航道条件，保证船体浸水表面的良好状态，编组流线型最好的拖驳和顶推船队。

2. 采用效率最好的船舶动力装置，在营运期间保持其原有马力和经济性，在动力装置改装时采用最新的技术成就，以便提高其马力和热效率。

3. 采用效率最好的推进器，改进现有的推进器，其方法是改装明轮推进器和螺旋桨（这时应注意到推进器尺度选择不正确和制造质量差往往会降低动力装置马力的使用效率）。

4. 进行理论研究，寻找提高船舶航速和负荷的新的可能性，科学地总结生产革新者在最有效地利用船舶方面的经验。

本书首先研究船舶运行时发生的各种力的相互关系（水对船舶运行的阻力，船舶主机和推进器在稳定和非稳定工况条件下的推进力），以便保证最有效地增加船舶和船队的航速和负荷量。

第二章 船舶牵引方法和所采用的 动力类型

水上运输及其牵引工具的发展过程，是同与当时的经济结构相适应的生产力水平和生产方法密切联系着的。

基本工业部门（冶金、机器制造和电工等等）的一切最重要的变革，都曾经引起了造船技术和船舶牵引指标的相应的改变。

水上运输是最古老的运输部门之一，同其它古老的物质生产部门一样，也经过了“手工业生产，作坊生产和机器生产等各个阶段”（卡·马克思）。

馬克思的这个原理，从船舶牵引方法及其技术装备的发展的历史中可以清楚地看出。

为了推动船舶航行，人們相继采用了水流力，风力，人的臂力，由木材、煤和石油燃烧所得到的动力以及电力。

船舶流放的最大缺点是它必需依賴水流来航行，所以不能利用逆流和沒有水流的开敞水域（湖泊和海洋）。由于这个原因，流放船舶方法的使用就受到局限。随着机械牵引的发展，船舶的流放仅在有限范围内被采用，主要是在大河的浅水支流內用于运输木材。

利用沒有水流的水域的初期，是采用由人力驅動的划桨船，为了增加这种船的航速和划桨的人数，把这种船做得又长又窄。中世紀采用的大橈船即是一例。

船舶駕帆推进方法的出現（利用不花錢的风力）和罗盘的相继发明，促进了海上运输和世界經濟联系发展中的巨大变革。19世紀中叶，海上帆船航运极为发展。快速帆船的出現，对巨大的三桅貨船是一个补充，这种快速帆船的綫型同当时已有的船舶都不相同，它的船首和船尾极为尖瘦，水綫平稳，桅帆数目較多，在清风中的航速可达15~16节。在这个时期，有助于确定最短海路的气象学和航海学得到了发展。

在这个时期，內河航运处境較为艰难，河流的弯曲和水流速度之大，使在內河里采用划桨船和帆船发生了困难。在19世紀上半世紀中，內河运输中广泛采用的是以人和馬作为动力的拉纤牵引。上世紀40年代，仅一个伏尔加河流域就有纤夫60万人。

拉纤工作极为沉重，并且效率低，纤夫所得报酬也是非常低的。沉重滿載的貨船逆水航行速度每昼夜約达10公里。

馬拉机的出現，标志着內河航运发展的另一个阶段。但是船舶运输技术就是在采用馬拉机的情况下效率也是不高的。馬拉机的方法就是在船舶航行的前方約为一公里的內河航路上先用舢舨运去一支錨，錨上系以拖纜，拖纜的另一端系在一艘专用的船舶絞盘——馬拉机上，馬轉动絞盘把拖纜繞在上面，这样不断地轉

动絞盘而把船拖向前方預先所抛的錨处，当船接近錨时，再运出第二只錨，起上第一只錨，如此不断地拖曳前进。随着蒸汽机的发明，馬拉机逐漸被絞車所代替，絞車与馬拉机所不同的仅是它以蒸汽机作为动力。

在航运发展的这个时期中，著名的俄罗斯自学者-发明家И. П. 庫里宾（1735~1818）提出了利用河水动力来推进船舶的极为重要的原理。

И. П. 庫里宾根据这个原理制造的水力船于1782年在涅瓦河上試驗成功，稍后，于1802年以一种更加完善的水力船在伏尔加河上进行了成功的試驗（在下諾沃格勒城附近）。

水力船的构成如下，在船的橫軸两端上，从两舷安装上推进器——有着垂直安装的輪板的輪子，它是一种透籠架；这个架可以被絞結的叶板遮盖住，每个架上有三个叶板。当把叶板放在水里时，在水流的作用下，輪架就机械地被叶板盖上，于是輪子和輪軸就旋轉起来。輪軸上系有一条拖纜，另一端系在錨上。拖纜繞在輪軸上，船借以前进，錨是用一般方法运出的。

水力船沒有得到推广，因为当时，在航运实践中已經开始采用蒸汽机了。

蒸汽机一开始就排挤了馬拉机，而在絞車上获得了应用。

在此以后，海河船舶，由于采用蒸汽机作为轉动推进器并使船舶前进的动力，它們作为一种既大而又經濟的运输工具获得了巨大的发展。

蒸汽机在工业生产中的应用也引起了交通工具的根本变革。馬克思在“資本論”第一卷中是用这样的話来描写这个时期的：

“手工制造业时期传下来的交通运输手段，对于大工业，也成为不能忍耐的桎梏，因为大工业有热病样的生产速度，有庞大的生产規模，有多量資本与劳动者不断由一个生产部門向另一个生产部門投入，有新創造的世界市場的联系”。

應該指出，在工业設備中利用水蒸汽的嘗試还在17和18世紀时国外就有人开始了。但是最初的蒸汽机只能用于把水提升起来

驅動水輪機。第一個用于直接驅動工廠機械連續工作的雙缸蒸汽機的發明人是伊萬·伊萬諾維奇·鮑爾朱諾夫(1728~1766年)。

第一個雙缸蒸汽機是И.И.鮑爾朱諾夫在1763年設計成功的，在1764~1765年建造于阿爾泰，供給考雷瓦諾·沃茲年斯基礦山工廠使用。由此可見，我國的這個名人早二十多年就設計和建造了如著名的英國設計師瓦特那樣的蒸汽機，而瓦特僅在1784年才創造出第一台工業用蒸汽機。但是在沙皇封建農奴生產條件下，И.И.鮑爾朱諾夫的卓越發明卻未得到重視，也未得到應有的發展。

1753年，巴黎科學院公布了以更完善的方法代替風力推動船舶的方案有獎競賽。在當時眾多方案中應該指出著名的古典水力學家，俄羅斯科學院院士達尼依爾·柏努利(1700~1782年)的建議方案，他建議建造用蒸汽機推動舷明輪的船舶。柏努利證明，在發明更為完善的機器之後可以指望得到良好的結果。

在這同一時期，著名的數學物理學家，俄羅斯科學院院士讓·德·艾依列爾(1707~1783年)證明，不僅有利用明輪推進器的可能性，而且也有利用螺旋槳推進器和從安裝在船上的水泵排出的水流的反作用力的可能性。

弗·恩格斯在“自然辯證法”一書中對於新動力的探索做了極好的描述，他說：“17世紀和18世紀從事創造蒸汽機的人們，也未料到他們所造成的工具比其它任何東西都更會使全世界的社會關係發生革命，特別在歐洲，由於財富集中在少數人手里，而大多數人則一貧如洗，起初是資產階級獲得了社會上和政治上的統治地位，而後就是資產階級和無產階級之間發生階級鬥爭，這一階級鬥爭只能以資產階級的崩潰和一切階級對立的消滅而結束”。

工業上用的第一艘蒸汽輪船是美國人羅伯特·富爾頓發明的。1807年他在美國東-里維爾河用“克列爾蒙特”號蒸汽機船進行了試驗，並取得了良好的結果。“克列爾蒙特”號輪長40米，寬5.5米，裝有18匹馬力的蒸汽機。推進器採用的是舷側明輪，在

紐約——阿尔班（260公里）河段行駛，上水航速为 8.1 公里/小时，下水航速为 8.7 公里/小时。

在俄国，第一艘工业用的蒸汽机船“耶里扎維达”号建造于彼得堡別尔达工厂，从1815年开始在彼得堡—克琅斯塔特航綫营运。这艘船长18米，寬4.5米，吃水0.6米，船上主机为平衡式的4馬力蒸汽机，舷明輪推进器的直径为2.5米。

此后，蒸汽机船也很快出現在黑海（“維祖威”号，1820年）、白海（“辽格基”号，1825年）以及伏尔加河、德涅伯河、沃尔霍夫河、額尔齐斯河、安加拉河、阿穆尔河等。

1832年，俄国建造了世界上第一台非平衡式蒸汽机，它安装在海上軍用船“格尔古列斯”号上，功率为240匹馬力。

1836年，开始了敖德薩和黑海各港之間的第一批航綫，不久又开辟了敖德薩——康斯坦丁諾波里，彼得堡——德国沿岸各港的国外航綫。

此后，蒸汽牵引排挤海上的駕帆牵引、內河的拉纤牵引和絞車牵引，經歷了一个相当长的过程。虽然蒸汽机船舶交通有着明显的优越性，但仍出現了这个漫长而緩慢的过程，其原因則不仅是由于經济发展不足，而且在一定程度上也是由于惧怕船舶完全采用新的技术和由于习惯于旧的航运方法。在旧的俄国，采用蒸汽牵引船舶尤其緩慢。在美国的密西西比河，俄亥俄河和大湖已經有成百条蒸汽机船在航行的时候，而在俄国的伏尔加河上，1851年尚有30万纤夫在拉船。1875年，伏尔加流域才只剩下七条旧的絞車船，而这时已經有了556艘蒸汽机船，总馬力为16万1千匹。

但是，在一个很长的时期之內，人們还认为蒸汽机船如果没有帆在海上是不能航行的，从而在蒸汽机船上装备了帆的设备。人們并且认为蒸汽机船也只能在比較安全的內河和沿海航行。但是在推进器、船壳和动力装置进一步完善之后，采用蒸汽牵引的这个阻碍也被消除了。从表1所举資料可以相当明显地看出世界海上机动船舶的发展和帆船衰亡的变动情况。

第一艘海上蒸汽机船舶为木壳的，推进器为明輪并有帆的殼

表 1

船 型	各 年 船 舶 构 成					
	1822	1875	1895	1900	1914	1952
帆 船 %	100	73.5	32.0	24.0	8.0	0.8
机 动 船 %	0	26.5	68.0	76.0	92.0	99.2
世界商船总数, 百万净登记吨	6.7	19.0	25.0	28.0	45.4	87.0

备。随着船舶载重量和机器功率的增加, 帆只是做为一个辅助设备, 仅在顺风或机器和明轮推进器损坏时才使用。

海上船舶的明轮推进器存在为时很短, 因为它有很大的缺点。在恶劣天气下, 明轮推进器常常由于浪的冲击而损坏。在船舶摇摆和吃水发生变化时, 推进器露出水面, 引起推进器工作的不平衡; 海上明轮船舶的灵转性也是不足的, 尤其在靠离码头时更显得不够。采用螺旋桨作为推进器是海运在蒸汽机船舶建造发展中向前迈进了一大步, 因为这在很大程度上促进了蒸汽机船舶最终战胜帆船。

当时的螺旋桨推进器是非常原始的, 以后经过无数次的改进和慎密的试验和科学研究才逐渐完善起来。

在一艘船上安装数个推进器大大提高了船舶航速。

目前, 螺旋桨已经广泛地应用在海河运输中, 尤其在深水运河和内河上。螺旋桨应用在尺度和主机不同的船舶上, 它的直径变化从 0.3 米到 8 米, 重量从几公斤到 35 吨 (大船上)。

近来 (从 1934 年以来), 螺旋桨由于采用导流管更加完善起来; 安装导流管可使拖轮的拖钩牵引力提高 30~35%。这扩大了螺旋桨在内河拖轮上的采用。

在蒸汽机船舶建造发展中, 用钢来代替木质船壳, 在增加船舶载重量和航速上是一个巨大的推动。

木船不够结实, 特别对于在海上和湖泊航行条件下其强度更是不够。木船由于浸水表面粗糙和船体线型质量差, 因此, 木船的水阻力大大高于金属船舶。木质船舶的年限要比金属船舶少 2/3

~3/4。所有这些缺点注定了木船要被金属船舶所排挤掉，首先是在海上运输中，继而在内河运输中。

目前，絕大多數的海上船舶都是金属船壳的。在内河运输中，金属船代替木质船尚进行得十分緩慢。

在伏尔加河流域内木质的和金属的机动船舶和非机动驳船数量变化情况見表 2。

表 2

年 代	机 动 船 舶			非 机 动 船 舶		
	金属船	木 船	金属船占%	金属船	木 船	金属船占%
1884	542	123	81.5	32	2110	1.5
1895	1106	286	79.5	65	3484	1.8
1906	1812	284	86.5	171	4371	3.8
1912	1997	302	87.0	370	3517	9.5

1954年，在内河金属船舶中，机动船舶占其总数97.3%，非机动船舶占其总数53.5%。

机器制造业的发展引起了船舶鍋炉和机器的巨大变化。在最初的船用机器中，鍋炉气压非常低，只比大气压力高0.3~0.5个大气压。这样的鍋炉极不經濟，每小时馬力的燃料消耗量达 4 公斤。

要增加蒸汽机器的功率，必須增加鍋炉压力。这种措施只是在出現了火管鍋炉之后才变为可能。与此同时鍋炉鋼强度的提高，使鍋炉气压提高到 3 个大气压成为可能。冷凝裝置的出現大大降低了燃料的消耗。

二胀式蒸汽机的出現是一个巨大的进步。这种所謂复式蒸汽机，除了可以增加机器的功率和热效率外，尚可以減輕动力裝置的重量，每馬力約从500公斤减到200公斤，从而可以大大增加船舶的載重量。在上世紀60年代中，复式蒸汽机在蒸汽船舶上获得了广泛的采用。

由于蒸汽机的进一步改进，在上世紀80年代建造出三胀式和