

水运系统分析和模型研究

秦士元 程关宝 编著



上海交通大学出版社

水运系统分析和船型研究

蔡士元 程天柱 编著



上海交通大学出版社

内 容 简 介

在本书中作者运用系统工程学、数值计算理论、船舶设计学、工程经济学、计算机仿真技术、船模试验等科学技术知识,静态地或动态地综合分析了水运系统中的货源、港口、航线、船舶诸问题。本书共分三篇,涉及 20 个专题,分别对内河、沿海、远洋和江海运输中的散货、集装箱、散装水泥、磷酸、客运等水路运输和船型研究作了分析。每个专题都以实例为研究对象,通过理论分析、数值计算和技术研究达到提高学科建设的目的。

本书可作大专院校工程设计、交通运输和系统工程专业的教学参考书,也可供交通运输、船舶工程、经济贸易和计划管理部门的技术人员参考。

水运系统分析和船型研究

上海交通大学出版社出版、发行

上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030

全国新华书店经销

上海交通大学印刷厂·印刷

开本:787×1092(毫米)1/16 印张:10 字数:243000

版次:1997 年 11 月·第 1 版 印次:1997 年 11 月 第 1 次

印数:1-700

ISBN 7-313-01888-6/U·067

定价:25.00 元



秦士元, 1931 年生, 上海市人。
1956 年毕业于交通大学船舶制
造系。现任上海交通大学教授,
博士研究生导师。



程天柱, 1938 年生, 上海市人。
1961 年毕业于交通大学船舶设
计与制造专业。现任中国船舶工
业总公司科技局总工程师, 教授
级高级工程师。

前 言

系统工程学是在本世纪40年代发展起来的以大规模复杂“系统”为研究对象的工程学。随着现代化大生产和科学技术的迅猛发展,它不仅被用于研究发展交通运输、能源开发、预算编制等工程和经营管理问题,也被用于研究环境保护、人口控制等社会问题,已愈来愈显示出其强大的生命力。系统分析方法是系统工程学的核心部分,为了给决策者提供直接判断和选择最优系统所需的信息和资料,必须运用科学的分析工具和方法,对系统的目的、功能、环境等进行充分的调查研究,收集、分析和处理有关的资料和数据,据此建立若干比较方案和计算模型,进行仿真试验,测算费用和效益,评价和优选比较方案,并综合成完整的综合研究报告,作为决策者选优的依据。

交通运输是一个包括铁路、水运、公路、航空和管道多种运输方式的多层次的系统。在我国,水运担负着40%以上货物周转量包括90%以上外贸货运量的运输任务。在水路运输中,货源、船舱、航道和港区等单元组成了一个子系统,各个单元互相依存,互相制约。因此协调货源,优化船型,整治航道,同步建设港区并加强管理和调度是高效地完成日益增长的运输任务的关键措施。在“水运系统分析和船型研究”中我们运用系统工程学、数值计算理论、船舶设计学、工程经济学、计算机仿真技术、船模试验等科学技术知识,静态地或动态地综合分析了水运系统中的货源、港口、航线、船舶诸问题,其中对船型尤其作了深入的分析。这种研究方法是以致科学为主并结合设计和试验等技术的定量化分析方法。

多年来我们在中国船舶工业总公司和中国远洋运输(集团)总公司等有关单位的支持和资助下,曾对大宗散货(矿石、煤炭、谷物)海运和船型研究、大型集装箱船概念设计和海运研究、进口磷酸运输和船型研究、散装水泥运输和船型研究、长江船型开发和江海运输船型研究等项目进行了探讨,在船型研究和学科建设方面都取得了进展。

建立船型研究和水运分析模型是本题目的一个重要环节。它经常和一些计算、模拟、分析方法联系在一起,其中常用的有:时间序列预测分析方法;数学规划论中的线性和非线性算法;动态规划算法;计算机仿真技术;蒙特卡罗统计试验法;正交优化分析;网络分析和模糊集合分析等以及它们的组合。系统分析的目的在于帮助决策者选择费用少、效益高、能达到规定目标的最优方案。因此系统分析方法与费用效益分析以及价值系统设计密切相关。其中,研究和制订技术、经济、心理和政治的评价指标和准则也是本题目不可缺少的内容。1987年出版的论著《系统分析》(上海交通大学出版社出版,新华书店上海发行所发行,秦士元编著)曾对这些理论和方法作了详细的阐述。尔后,我们与历届研究生潘海甬、李洪、杜健、汤筱篁、吴丹玲、陈龙、鲍波、陈宏、李捷、栢伟、刘建峰、任志强、胡洪涛、杨宏、袁伟强、周鲁阁等合作进行课题研究,并总结成研究报告和论文多篇,据此加以编辑整理,并保持原作特色。因此,这本论著是继《系统分析》后的共同研究成果。

水运系统的范围非常广泛,船舶的类型也极其繁多。这本论著涉及的分析和研究内容只是触及了其中一些而已。我们以此抛砖引玉,希望引起同行和读者的共识。鉴于水平有限,缺点和错误在所难免,恳请有识之士批评指正。

本书的出版得到中国船舶工业总公司大力支持,在此表示衷心的感谢。

编著者
1997年6月

目 录

第一篇 散货运输和船型

长江煤炭运输船队和船型	2
自卸船在沿海煤运中的适用性	10
沿海运煤系统中的船舶与泊位参数优选	20
我国煤炭出口总量和流向预测	30
大型散货船舶型要素统计分析	35
适应多种营运环境的船型要素优选	39
我国进口铁矿石的海运用分析	44
我国进口铁矿石海运网络分析	51
我国进口粮食海运和船型	56

第二篇 集装箱运输和船型

江海运输集装箱船型要素分析	64
用正交分析和计算机仿真相结合研究江海运输多用途船型	71
江海运输集装箱船型的经济论证和耐波性试验	78
长江中下游国际集装箱运输和船型探讨	87
巴拿马型干散货船和集装箱船主机功率估算	97
巴拿马型集装箱船新船型要素分析	100
集装箱船计算机辅助排箱与配载研究	107

第三篇 其他运输和船型

结合水运系统分析展塑船型开发	113
结合水运系统分析散装水泥和磷酸运输船型	117
河网地区散装水泥船舶运输和船型分析	125
长江下游客运和船型	132
沿海客箱船的船型要素优选	144
远洋渔船编队规划的多阶段投资决策	149

第一篇

散货运输和船型

长江煤炭运输船队和船型

长江是世界上最大的通航水系之一,其煤炭运输量为全年货运量的 30% 左右。我国华东地区的煤炭储量仅占全国的 7%,为了保障能源供需平衡,必须从晋、鲁、豫、皖等省大量调入煤炭,因此能源运输十分繁忙。充分开发长江水运,不仅会促进我国航运事业的发展,而且可以推动长江流域的经济开发,降低物流费用。

对长江干线运煤船型进行优选及对运煤船队和航次安排进行优化分析,涉及货源预测、港口装卸、停港等待时间、航道约束、船舶生产能力等一系列问题,需要从水运系统整体着眼,进行全面、系统的研究。

1 航线和货源

根据国家的网运布局和长期形成的流量流向,预测长江干线在 2000 年的煤炭运输流量流向如图 1.1 所示。

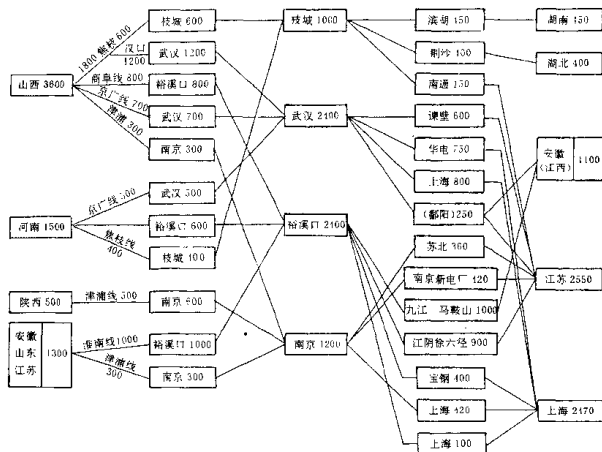


图 1.1 预测长江干线 2000 年煤炭运输流量流向图

以图 1.1 为依据,选择其中较为确定的航线,组成研究分析所用的航线和运量,列于表 1.1

中。此外,我们还按变系数法对安庆港的到煤量进行了测算。

表 1.1 航线和运量表

装 货 港	卸 货 港	2000 年运量/万 t	运距/km
枝 城	沙 市	400	100
枝 城	南 通	150	1 652
汉 口	谏 壁	600	820
汉 口	上 海	1 550	1 125
裕溪口	宝 钢	400	450
裕溪口	安 庆	233.9	212
裕溪口	上 海	100	450
南 京	谏 壁	0	105
裕溪口	江 阴	900	285
裕溪口	芜 湖	210	15
南 京	上 海	420	348
裕溪口	九 江	680	368

2 船型和船队组成方案

长江煤炭运输可由以下两种船舶来完成:①驳船+推轮或拖轮;②自航船。其中由驳船和推轮组成的船队运输应用比较广泛。自航船则机动性较好。

2.1 单船船型特征

几种单船船型的特征如表 1.2 所示。驳船和推轮已有系列。此外,作为一种分析对象,我们还设计了 2 种自航船方案。据国外经验和我国具体情况,内河推轮功率不超过 4.410 MW。

表 1.2 单船船型特征表

	载重 DW/t	长/m	宽/m	吃水/m	C_b	船员
自航船	3 000	90.00	16.00	3.80	0.75	38
	5 000	100.00	20.00	4.50	0.75	38
甲板驳	1 000	72.00	10.50	2.60	0.75	7
	1 500	72.00	13.00	2.60	0.76	7
	5 000	79.10	23.00	4.00	0.86	7
	1 000	33.15	10.60	2.40	0.92	
分节驳	2 000	66.47	10.80	3.80	0.94	
	3 000	73.50	16.00	3.50	0.91	
	5 000	79.00	20.00	4.00	0.91	
	4 410	45.70				20
推 轮	2 940	50.00				38
	1 940	46.00				38
	1 470	42.00				20
	588	34.00				38

2.2 船队组成方案

2.2.1 编队组成的约束 船队组成受下列因素制约:航道平面尺度、每马力载重吨大小和航道水深的限制。

武汉至上海段的编队最大平面尺度可取为 $363\text{ m} \times 60\text{ m}$,也有人认为可取 $433\text{ m} \times 71\text{ m}$,此处取 $363\text{ m} \times 60\text{ m}$ 。

长江中游宜昌至武汉段已有顶推 $200\text{ m} \times 53\text{ m}$ 的历史,考虑到推轮性能的改善,我们取枝城至武汉段的编队最大平面尺度为 $232\text{ m} \times 53\text{ m}$ 。

我国已有顶推 $13.6 \sim 16\text{ t/kW}$ 的历史,取此项约束为 $6.8 \sim 17\text{ t/kW}$ 。

长江的高水位一般出现在 7~8 月份、低水位出现在 1~3 月份,最低水位发生在 2 月下旬居多。根据水文资料的分析得到年平均水深如下:

枝城至武汉:大于 4.5 m ,7 个月;大于 4.0 m ,8 个月;大于 2.9 m ,全年。

汉口至南京:大于 5.0 m ,7 个月;大于 4.0 m ,全年。

2.2.2 编队方案 根据国内外有关资料,船舶多按图 1.2 方式编队。由此可以构成不同航线上共 75 种船舶组成方案,列于表 1.3 中。

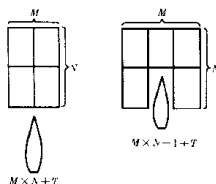


图 1.2 顶推驳船编队方式

表 1.3 75 种船舶组成方案表

M	N	推轮功率/kW	总长/m	总宽/m	单船个数	单船型	船型号
3	4	4 410	315.0	60	11	5 000(节)	1
3	3	4 410	282.7	60	9	5 000(节)	2
2	3	2 940	287.0	40	6	5 000(节)	3
1	3	1 470	279.0	20	3	5 000(节)	4
2	2	1 940.4	204.0	40	4	5 000(节)	5
2	2	1 470	200.0	40	4	5 000(节)	6
1	1	588	113.0	20	1	5 000(节)	7
1	2	588	192.0	20	2	5 000(节)	8
3	4	1 410	294.0	48	6×2	3 000(节)	9
3	4	2 940	311.0	48	6×2	3 000(节)	10
3	3	2 940	270.5	48	3×3	3 000(节)	11
2	3	1 470	267.0	32	2×3	3 000(节)	12
2	3	1 940.4	271.0	32	2×3	3 000(节)	13
2	2	1 470	192.0	32	2×2	3 000(节)	14
2	4	2 940	350.0	32	2×4	3 000(节)	15
2	1	1 940.4	345.0	32	2×4	3 000(节)	16
1	2	588	184.0	16	1×2	3 000(节)	17
3	2	1 940.4	193.0	48	3×2	3 000(节)	18
3	2	1 470	189.0	48	3×2	3 000(节)	19
5	5	4 410	315.2	53.35	5×5	2 000(节)	20

(续表)

M	N	推轮功率/kW	总长/m	总宽/m	单船个数	单船型	船型号
4	5	4 410	346.2	42.68	1×5	2 000(节)	21
4	5	2 940	350.5	42.68	4×5	2 000(节)	22
3	4	2 940	290.4	32.01	3×4	2 000(节)	23
3	4	1 940.4	286.4	32.01	3×4	2 000(节)	24
3	3	1 470	222.3	32.01	3×3	2 000(节)	25
3	3	1 940.4	226.3	32.01	3×3	2 000(节)	26
2	2	588	154.2	21.34	2×2	2 000(节)	27
2	3	1 470	222.3	21.34	2×3	2 000(节)	28
4	3	1 940.4	226.3	42.68	1×3	2 000(节)	29
4	3	1 470	222.3	42.68	4×3	2 000(节)	30
4	3	2 942	230.3	42.68	4×3	2 000(节)	31
1	3	588	214.3	10.67	1×3	2 000(节)	32
5	6	2 940	318.9	53.0	5×6-1	2 000(节)	33
5	6	1 940.4	314.9	53.0	5×6-1	2 000(节)	34
5	5	2 940	315.75	53.0	5×5	2 000(节)	35
5	5	1 940.4	311.75	53.0	5×5	2 000(节)	36
4	5	1 940.4	311.75	42.4	4×5	2 000(节)	37
4	5	1 470	<311.75	42.4	4×5	2 000(节)	38
3	4	1 470	<300.0	31.3	4×5	2 000(节)	39
2	3	588	<250.0	21.2	2×3	2 000(节)	40
5	4	1 470	<300.0	53.00	5×4-1	2 000(节)	41
5	4	1 940.4	<300.0	53.00	5×4-1	2 000(节)	42
5	3	1 940.4	205.45	53.00	5×3	2 000(节)	43
5	3	1 470	205.45	53.00	5×3	2 000(节)	44
4	3	1 470	201.45	53.00	4×3	2 000(节)	45
3	3	588	193.45	31.92	3×3	2 000(节)	46
2	3	2 940	290.00	46.00	2×3	5 000(甲)	47
1	3	1 470	<290.00	23.00	1×3	5 000(甲)	48
2	2	1 940	206.00	46.00	2×2	5 000(甲)	49
2	2	1 470	202.00	46.00	2×2	5 000(甲)	50
1	1	588	114.00	23.00	1×1	5 000(甲)	51
1	2	588	194.00	23.00	1×2	5 000(甲)	52
4	4	2 940	350.00	53.20	4×4	1 500(甲)	53
4	4	1 940.4	346.00	53.20	4×4	1 500(甲)	54
3	4	1 470	342.00	39.9	3×4	1 500(甲)	55
3	4	1 940.4	346.00	39.9	3×4	1 500(甲)	56
3	3	1 470	267.00	39.9	3×3	1 500(甲)	57
2	2	588	184.00	26.6	2×2	1 500(甲)	58
4	3	1 940.4	271.00	53.2	4×3	1 500(甲)	59
4	3	1 470	267.00	53.2	4×3	1 500(甲)	60
5	4	1 940.4	246.00	52.5	4×5	1 000(甲)	61
5	4	1 470	342.00	52.5	3×4	1 000(甲)	62

(续表)

M	N	推轮功率/kw	总长/m	总宽/m	单船个数	单船型	船型号
4	4	1 940.4	316.00	12.00	4×4	1 000(甲)	63
4	4	1 470	342.00	12.00	4×4	1 000(甲)	64
3	4	1 470	342.00	31.5	3×4	1 000(甲)	65
2	3	588	259.00	21.00	2×3	1 000(甲)	66
5	3	1 940.4	216.0	52.5	5×3-1	1 000(甲)	67
5	3	1 470	216.0	52.5	5×3-1	1 000(甲)	68
3	3	588	216.0	31.5	3×3-1	1 000(甲)	69
		588(白)	90	16	1×1	3 000(白)	70
		735(白)	90	16	1×1	3 000(白)	71
		882(白)	90	16	1×1	3 000(白)	72
		882(白)	100	20	1×1	5 000(白)	73
		1 176(白)	100	20	1×1	5 000(白)	74
		1 470(白)	100	20	1×1	5 000(白)	75

注:(节)表示分节驳;(甲)表示甲板驳;(白)表示白航驳

2.2.3 季节性变吃水措施 根据航道实际水深随季节而变的情况,为了改善营运经济性,通过计算可得到各航段的单船平均装载量。

(1) 枝城线各种船舶的年平均装载量按下面所列计算:

船型,DW/t	5 000(节)	5 000(甲)	3 000(节)	2 000(节)	3 000(白)	5 000(白)
年平均载重/t	3 713.0	3 836.1	2 423.6	1 546.8	2 320.3	3 323.0

其余各船均可全年满载通航。

(2) 南京—上海航段。表 1.3 中供选择的各种船型均可全年通航。

(3) 武汉—南京段。凡起、终点都在此段内和起点或终点有一种在此段的各方案按下面所列计算:

船型,DW/t	5 000(节)	5 000(白)	3 000(白)	5 000(甲)
年平均载重/t	4 791.4	4 074.7	2 953.8	4 925.6

以上未列的,各船均可全年满载通航。

3 线性规划模型列式和技术经济优化分析

3.1 计算分析的模型和流程图

3.1.1 目标函数 定义目标函数(千吨公里所需货运费率)为

$$F = \frac{\text{RFR}}{\sum DS_i}$$

式中 DS_i 表示不同航线上的航距。这是由于考虑到:资金的时间价值;中长期和远景运价很难合理地确定;进行敏感性分析时,其指标最好是可比的;航运上习惯于用元/(km·t)来表示航运成本大小或平均运价。

3.1.2 变量 选择 x_{ij}, n_i 为决策变量, 其中: n_i 为第 i 种船的艘数 ($i=1, 2, 3, \dots, 75$); x_{ij} 为第 i 种船沿第 j 条航线在 1 年内来回航行的次数 ($i=1, 2, 3, \dots, 75; j=1, 2, 3, \dots, 11$)。

本题有 11 条航线, 75 种船型, 因此构成的变量共有 900 个。

3.1.3 约束 除了在组成船型(变量)方案时已考虑的 3 种约束以外, 计算模型中还包括以下三部分制约内容: ① 某一种船沿各条航线航行的总营运时间应不大于其规定的年营运时间; ② 在第 j 条航线上营运的所有船舶的货运总和应等于这条航线上所要求的货运量; ③ 定义 DELF 为与国家投资及船厂生产能力有关的运力参数, 取为 107.8 万 t。全部船舶的运力之和不能超过 DELF 值。

由此构成计算分析的线性规划模型如下:

$$\begin{aligned} \min F = & [\sum c_i n_i + \sum \sum \text{CLR}(i, j) \cdot x(i, j)] / \sum Q_j \cdot DS_j \\ \text{s. t. } & \begin{cases} x_{1,1}T_{1,1} + x_{1,2}T_{1,2} + \dots + x_{1,11}T_{1,11} \leq 330 n_1 \\ x_{2,1}T_{2,1} + x_{2,2}T_{2,2} + \dots + x_{2,11}T_{2,11} \leq 330 n_2 \\ \vdots \\ x_{75,1}T_{75,1} + x_{75,2}T_{75,2} + \dots + x_{75,11}T_{75,11} \leq 330 n_{75} \\ \text{VBS}_{1,1}x_{1,1} + \text{VBS}_{2,1}x_{2,1} + \dots + \text{VBS}_{75,1}x_{75,1} = Q_1 \\ \text{VBS}_{1,2}x_{1,2} + \text{VBS}_{2,2}x_{2,2} + \dots + \text{VBS}_{75,2}x_{75,2} = Q_2 \\ \vdots \\ \text{VBS}_{1,11}x_{1,11} + \text{VBS}_{2,11}x_{2,11} + \dots + \text{VBS}_{75,11}x_{75,11} = Q_{11} \\ \text{DEL}_{1,1}n_1 + \text{DEL}_{2,2}n_2 + \dots + \text{DEL}_{75,75}n_{75} = \text{DELF} \end{cases} \end{aligned}$$

式中: c_i 为仅与船型有关的成本; $\text{CLR}(i, j)$ 为与船型、航线都有关的成本; Q_j 为沿第 j 条航线的年运量; T_{ij} 为第 i 种船型沿第 j 条航线来回一个航次所需的时间; VBS_{ij} 为第 i 种船沿第 j 条航线的航次装载量; DEL_{ij} 为第 i 种船的单船运力。

图 1.3 所示为船型和经济分析流程图。

3.2 技术经济参数的测算和计算结果分析

通过编制程序, 在 Honeywell DPS-8 机上完成了计算, 计算程序中调用了国际数学统计库中的 ZZ3LP 程序, 该程序用于解线性规划问题。

3.2.1 计算结果 输入计算模型中各技术经济参数的取值后, 所得结果表明, 在 2000 年用第 1, 6, 22, 26, 29, 30, 41, 47 这几种船型组成的船队来完成运煤任务是最佳的。这几种船型特征和船速如表 1.4 所示。

用线性规划方法还可合理地安排某种船型沿某条航线的航次数, 使所选目标函数 F 为最小, F 的计算值为 2.985 元/(kt · km)。航线航次最优安排见表 1.5。

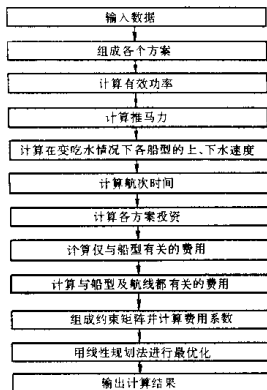


图 1.3 船型和经济分析流程图

表 1.4 2000 年最佳船型表

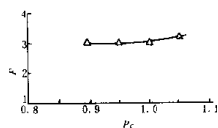
	船 型 号							
	1	6	22	26	29	30	41	47
驳船列数	3	2	4	3	4	4	5	2
驳船排数	4	2	5	3	3	3	4	3
主机功率/kW	1 410	1 470	2 940	1 940	1 940	1 470	1 470	2 940
单船吨位/(t·km ⁻¹)	5 000(节)	5 000(节)	2 000(节)	2 000(节)	2 000(节)	2 000(节)	2 000(节)	3 000(甲)
航速/(km·h ⁻¹)	14.08	13.72	13.38	14.57	13.73	12.91	12.70	11.23

表 1.5 2000 年航线航次安排表

航 线	船 型 号							
	1	6	22	26	29	30	41	47
枝城—沙市	—	—	—	—	—	—	211.0	—
枝城—南通	—	—	—	—	—	80.0	—	—
武汉—蕲壁	—	—	150.0	—	—	—	—	—
武汉—上海	—	775.0	—	—	—	—	—	—
裕溪口—江阴	164.0	—	—	—	—	—	—	—
南京—上海	76.4	—	—	—	—	—	—	—
裕溪口—芜湖	—	—	—	—	—	—	—	68.1
裕溪口—宝钢	72.7	—	—	—	—	—	—	—
裕溪口—上海	18.2	—	—	—	—	—	—	—
裕溪口—九江	—	—	—	—	283.0	—	—	—
裕溪口—安庆	17.8	—	—	77.8	—	—	—	—

3.2.2 敏感性分析 对于未来很多情况我们难以作出完全正确的估计,如船价、油价的升降等。因此进行了敏感性分析,计算时基本的经济数据不变。

(1) 造价 P_c 的影响(见图 1.4)。以 1990 年的驳船、推轮、自航驳造价 P_c 为基准,分别向下波动 10% 和 5%;向上波动 5%。计算表明, F 随造价 P_c 上升,但影响不剧烈。

图 1.4 造价对 F 的影响

(2) 装卸费率 WLD(见图 1.5)。取 WLD 向下波动 10%。 F 随装卸费率 WLD 的下降而下降,但变化较平缓。

(3) 运量 Q (见图 1.6)。取 Q 向下波动 10% 和 5%;向上波动 10%。运量 Q 减小到一定程度后, F 不随运量 Q 而变;当运量 Q 太大时, F 变化显著。

(4) 运力 DELF(见图 1.7)。 F 随运力增加而减少,但增加到一定程度后, F 变化较慢,而运力过小,则 F 增加较快。

(5) 油价 P_o (见图 1.8)。 F 随燃油价格的上涨而上升。

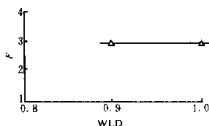


图 1.5 装卸费率 WLD 对 F 的影响

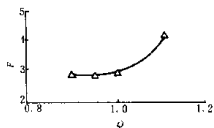


图 1.6 运量 Q 对 F 的影响

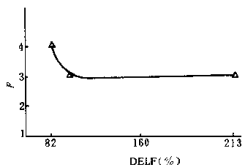


图 1.7 运力对 F 的影响

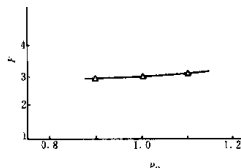


图 1.8 油价 P_0 对 F 的影响

通过计算结果可以认为,提高船队的单位功率(kW)载货量是提高经济效益的关键之一。本题曾计算过 20.4 t/kW 的情况,但未进入最优基,因此单位功率(kW)载货量不宜取得过高。

随着运量增大,运力也应增大。运力过小,成本增加剧烈,这是因为在一定运力下要完成与其不协调的大运量,必然会导致使用过大功率、过小吨位的船,从而增大成本。运力太大,好处不明显。

甲板驳不仅造价高、结构复杂,而且编队以后其整体阻力性能不如分节驳船队,因此,分节驳应逐步取代甲板驳。从 2000 年最佳船型表可看出,分节驳以发展 5 000 t 级和 2 000 t 级为好,随着批量增大,应努力降低造价。

由于每 kW 载货量对经济效益影响较大,因此,大功率推轮应顶推大吨位船队,效益才好。在短航线上以使用自航船为好。

自卸船在沿海煤运中的适用性

由于沿海地区生产和经济的飞速发展,国家计划“八五”和“九五”期间在沿海建设若干个大中型燃煤电厂以满足该地区的能源需求,这就需要从西北调入大批煤炭,能源需求的剧增促使我国必须加快发展沿海煤炭运输。目前我国的运煤船队主要由1~3.5万t常规散货船组成,配以重型卸煤码头,运力不能跟上运量增长的需要,码头装卸能力也已达到饱和。因此,改进煤炭水运结构,推广采用新船型和新运输方式已成为航运和造船部门的热门研究课题。以自卸船和常规散货船的营运经济性比较分析为基础,通过探讨自卸船的载重量、卸货效率、自卸设备比价和停港时间等因素对经济指标的影响,来研究其在我国沿海煤运中的适用性问题。

1 计算和分析的方法及说明

船舶的营运经济性与航线的特征参数以及船型要素有很大的关系,航线的特征参数有:航距 D 、货运需求量 Q 、装卸效率、吃水限制 $T_{\max}$ 。在一定的航线特征参数下,以某一经济指标为目标函数,则可以确定一种适合于这条航线的运输方式和最佳船型要素。据此,我们可以通过分析来评判自卸船与常规散货船各自适用的范围。

根据常规散货船和自卸船的船体构造及装运的各自特点,编制的船型优化和经济分析程序框图和计算流程如图1.9所示。

1.1 船型生成和经济性计算模型

程序中采用的船型生成计算模型和公式主要参考了国内外文献发表的有关常规散货船和自卸船的近似估算公式,结合我国现行的优良运煤船型进行分析后,对其中的参数和系数作了适当的调整。经济性分析是根据我国目前煤运船队和营运状况和港口装卸情况编制而成的。

根据自卸船的特点,在分析现有技术和经济资料的基础上,取定:(1)将自卸船的结构定为舱底两条输送带,物料提升方式采用二级倾斜皮带提升装置,斗门采用平板闸门,货舱斗倾角为45°,从而编制了自卸船舱容的估算公式,一般由于增加一套自卸设备而损失的舱容约占同尺度常规散货货舱容积的15%~25%;(2)自卸设备的重量约占船体钢料重量的10%~15%,其中大吨位船取小的值;(3)对自卸设备造价取作常规散货船舶价的15%和20%两种方案进行计算。

1.2 船型优化分析模型

本文采用罚函数外点法构成非线性规划模型,其中解无约束的最优化问题则采用模矢搜索法和单纯形法两种方法。

在程序中,我们取船舶的垂线间长 L_{pp} 、型宽 B 、吃水 T 和方形系数 C_b 为设计变量,取必要运费率RFR为主要的经济性衡量指标,净现值指数NPVI和船价 P/Q 为两个辅助经济性衡量指标,其中 P/Q 表示船队每增加单位运量所需要的投资,航运部门较注重投资的获利能力

和完成煤运任务所需的投资大小。程序中选取了几个约束条件：(1)根据我国煤炭粒度直径，取舱容平均积载因素为 $1.25 \text{ m}^3/\text{t} \leq SF \leq 1.30 \text{ m}^3/\text{t}$ ；(2)取船舶的初稳性高 $GM \geq 0.045B \text{ (m)}$ ，满载横摇周期 $\tau \geq 9.0 \text{ s}$ ；(3)根据港口和码头的水深情况取船舶吃水限制 $T \leq T_{\max}$ ；(4)载重量计算误差 $|\Delta DW| \leq 10 \text{ t}$ ；(5)运量计算误差 $Q_0 \leq Q_{\text{运}} \leq 1.05 Q_0$ 。

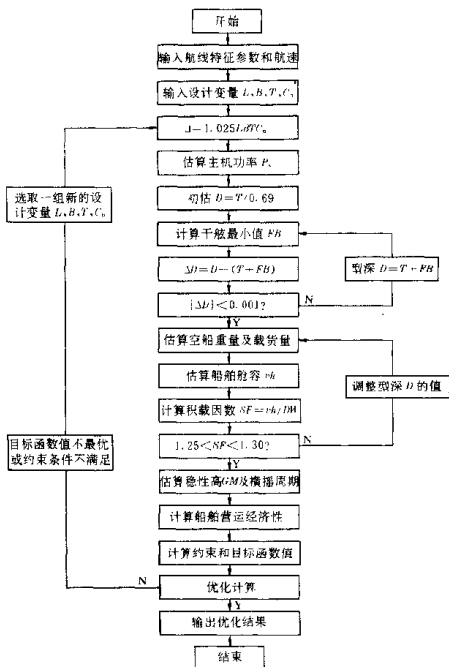


图 1.9 船型优化和经济分析程序框图

2 自卸船与常规散货船的经济性比较

2.1 单船经济性分析

对自卸船与常规散货船的经济性分析是在相同的排水量条件下进行的，这样进行比较的