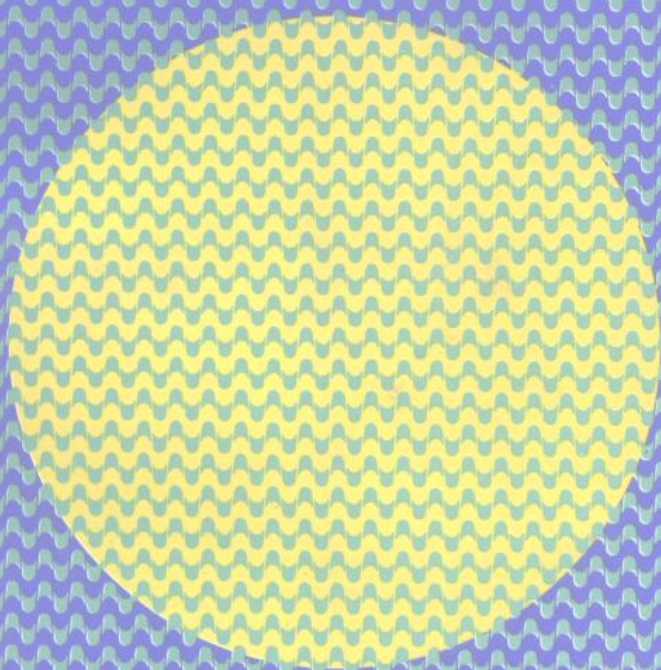


大连理工大学教授学术丛书

油船总体设计

YOUCHUAN ZONGTI
SHEJI

纪卓尚 等著



大连理工大学出版社

U727.2-2
J24

大连理工大学教授学术丛书

The Professors Academic Works Series
of the Dalian University of Technology

油 船 总 体 设 计

纪卓尚 等著

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

图书在版编目(CIP)数据

油船总体设计/纪卓尚等著. -大连:大连理工大学出版社,
1994. 12

ISBN 7-5611-0977-6

I. 油… I. 纪… III. 油船-总体设计 N. U674.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 01680 号

油 船 总 体 设 计

Youchuan Zongti Sheji

纪卓尚 等著

* * *

大连理工大学出版社出版发行

(大连市凌水河)

(邮政编码:116024)

大连海事大学印刷厂印刷

* * *

开本:850×1168 1/32 印张:10.625 字数:264千字

插页:6

1994年12月第1版 1994年12月第1次印刷

印数:0001—3000册

* * *

责任编辑:韩 露

责任校对:邓玉萍

封面设计:孙宝福

* * *

ISBN 7-5611-0977-6

U · 21

定价:12.80元

本书由

**大连市学术专著资助出版评审委员会 资助
大连理工大学学术著作出版基金**

The book financed by

**the Dalian Evaluation Committee for
Publishing Academic Works Financed
and**

**the Publishing Academic Works Foundation
of the Dalian University of Technology**

前 言

70年代以来,由于人类环境保护意识的增强,国际海事组织的73/78/92防止船舶造成污染公约/议定书/补充规定陆续发布后,油船船型在最近20年中发生了很大变化,出现了多种具有防污染、高节能、轻结构、自动化、短肥高特点的新型油船。其中有相当数量是第二代和第三代超大型油船(VLCC)和巨型油船(ULCC)。这批新型油船的出现,使具有近百年历史的一直以单底单壳为基本型式的油船发生了上述变化,出现了一个船型变化的活跃期。与此相应,油船设计中的基本思想及焦点问题也发生了变化;描述主要要素及技术经济性能的各种旧的资料及经验公式已不适用于当代油船;计算机的发展,使设计手段发生了重大的变化。船舶设计者如果不主动适应上述这些变化了的情况,是设计不出性能优越的现代油船的。

考虑到上述情况,本书作者在总结近10余年对油船总体设计研究及油船CAD系统研制经验的基础上写出此书,书中主要内容均为作者的研究成果,目的是对现代油船初期设计阶段所涉及的船体设计方面的主要问题做一个较系统的总结介绍。

本书第一章由纪卓尚执笔;第二、三章由李树范执笔;第四章第一、二节由戴寅生执笔;第四章第三节由王世连、纪卓尚、林焰执笔;第四章第四、五节、附录一、二由纪卓尚、林焰执笔;最后由纪卓尚通读校订。

写作和校订过程中尽管做了努力,但缺点和不当之处也是难免的,希望参阅本书的同仁能不吝指教,以便今后改进和提高。

纪卓尚

1994.10

目 录

第一章 绪论	1
第二章 现代油船船型特点	5
2.1 油船发展概况	5
2.2 油船种类与典型油船	7
2.3 现代油船主尺度特征	14
2.4 油船建筑型式与主隔舱	15
2.5 油船结构特点与货油区域构造型式	20
2.6 油船安全性与稳性	24
2.7 油船航速与线型	27
本章参考文献	33
第三章 油船总体设计数学模型	35
3.1 主尺度及船型系数模型	35
3.2 船型系数与浮心纵向位置	36
3.3 油船重量模型	37
3.4 大型双壳油船容积模型	39
3.5 干舷与吨位模型	44
3.6 油船稳性模型	45
3.7 油船航速与主机功率预报模型	53
3.8 油船经济性模型	56
本章参考文献	60
第四章 油船计算机辅助总体设计	61
4.1 油船 CAD 系统功能	61
4.2 油船 CAD 系统软件设计	66

目 录

4.3 油船主尺度确定	78
4.4 油船型线设计	116
4.5 油船总布置设计	150
本章参考文献	220
附录一 型线设计程序	222
附录二 船体及舱室 3D 动态仿真程序	289

第一章 绪 论

任何船舶的总体设计,都是整个设计过程中的最基本设计阶段,其主要任务是确定船舶型式、选定动力装置、论证主要尺度及船形系数、设计船体型线、进行总体布置、决定结构型式、设计主体结构、选择主要舾装设备等。不言而喻,这是一个决定船舶的基本性能的最重要的设计阶段,从根本上决定一条船的优劣程度。如果总体设计考虑不善,遗留下的缺点在后续设计中一般是无法克服的,而只会给所设计船留下重大缺陷。对油船来说也是一样,其总体设计同样具有决定整个设计结果优劣的作用,因此油船设计者对总体设计给以充分重视是完全必要的。

油船出现至今已有百余年历史,随着世界经济的发展,石油运量的增加,油船队不断扩大,其总吨位及单船最大吨位均居各船种之首。特别在 70 年代之后,载重 200 000~300 000 t 的超大型油船(VLCC)迅速发展,以至更大吨位的巨型油船(ULCC)至今也已投入营运 10 余年了,其中最大的载重量达 550 000 t。这些新建油船被称作第二代及第三代大型油船,其主要特点是:防污染、高节能、轻结构、自动化、短肥高。

1. 防污染

近 20 余年来,人们的环境保护意识日益提高,一些油船海损事故对海洋生态环境造成的严重破坏使人触目惊心,在环境保护努力中,油船自然成了人们最为关注的船舶。国际海事组织(IMO)早在 1973 年即达成了防止船舶造成污染公约,1978 年又通过了公约的议定书,首次提出了 $DW \geq 20\,000\text{ t}$ 的原油船和 $DW \geq 30\,000\text{ t}$ 的成品油船必须设专用压载水舱,规定了货油区

的专用压载水舱及其他非油处所必须达到保护位置指标要求,规定了油舱的最大容积,规定了海损时的最大假定流油量,还规定了压载航行时的浮态要求。

这些规定的出现,使稳定了 80 余年的单底单壳最小干舷油船这一传统的基本船型发生了重大变化。先是由于设专用压载舱增加容积需求引起的型深加大,使现代油船成了富裕干舷船。保护位置要求使船型发生两个变化:一是左右纵舱壁分别向两舷靠拢,使边压载水舱变得狭长,成为双层船壳,这增大了舷侧方向的保护位置,带来的问题是中油舱宽度加大了;二是货油舱加装双层底,使船底成为有效保护面,可计入其保护面积,这两个变化使油船出现了双底双舷船型。1992 年 IMO 又进一步规定, $DW \geq 600 \text{ t}$ 的油船必须设双层底, $DW \geq 5000 \text{ t}$ 的油船必须同时设置双底双舷(简称双壳体)这就进一步把双壳体船型用法规形式固定下来了。

显然,双底、双舷以至双壳体型油船会有效减少海损时的货油泄漏,减少污染事故的发生。

2. 高节能

70 年代以来世界性能源危机的出现,使节能在船舶设计中倍受重视,耗油低的长冲程低转数柴油机在油船中被广泛采用,废气锅炉等利用余热的综合节能措施更加有效,船体型线设计日益优异,尾部节能装置也可观地降低了功率消耗,得到有效的实际应用。

3. 轻结构

为有效地降低船体钢材重量,以降低造价提高装载量,大型油轮船体结构使用低合金高强度钢的范围加大,不仅用在油舱区船底及甲板的主体结构上,舷侧的纵向构件也已采用,甚至一些横舱壁和横向框架也有采用低合金高强度钢制作的。

4. 自动化

自动化技术的进步和降低营运中工资成本的要求,使自动无

人机舱系统、自动航行系统等被广泛采用,从前 50 余名船员的油船目前所需船员已不到 20 人。

5. 短肥高

较短的船长可以有效地降低船舶造价。节约油耗的要求,使以前 15~16 kn 的服务航速降到了 14 kn 左右,以降低主机功率。较低的航速也允许减少船长,因而新一代油船船长普遍趋短。船长变短损失的排水量靠加大船宽与方形系数来弥补以保证载重量不减少,这就使船呈现出肥的特点。专用压载舱引起容积需要的增加靠加大型深解决,干舷加大,油船在水面上也变“高”了。不再是远处望去只见船楼而不见船身的形象了。

从以上各种变化可以看出,防止造成海上污染和追求更好的经济性是造成近 20 年油船船型发生重大变化的根本原因。

船型的变化也引起了设计思想上的一些变化,设计中的焦点问题也发生了变化。由于吨位及尺度的大型化,静水快速性在船体型线设计中所占地位增强;双层底的采用及型深的加大使货物重心加高,中油舱宽度的增大使自由液面影响加大,这使本无问题的油船稳性也出现了初稳性不足现象;高强度钢的广泛采用,结构抵抗疲劳载荷的能力下降;货油舱尺寸的加大使船舶摇摆时货油自由液面的晃荡力及冲击力加大;船体分舱及结构型式的多样化使设计者必须在众多可选择方案中权衡船舶稳性、钢料重量、结构强度及振动、管系的布置、舾装设施的配置等多种因素,从中选出较佳方案。

与船型及设计思想的变化相比较,油船总体设计的原理及方法并未发生大的变化,最方便可靠的方法仍是母型船变换法,如能找到与设计船相似的性能优秀的母型船,在仔细分析与设计船异同点的基础上改造变化为设计船,是又快又好的设计捷径。但是由于船型变化太快,设计资料又很难得到,设计者并不能经常找到合适的母型船,所以逐步近似法在新型式油船层出不穷的当代,还是

更为基本的设计方法。

在设计初始阶段,设计者希望有尽量多的实船资料和统计分析资料,为新设计船时提供借鉴,但以往油船这方面的资料不多、不系统,而且多数也已过时,需要以新的资料和分析予以充实更新。

就设计手段来说,近几十年却是蓬勃发展变化巨大,船舶CAD(计算机辅助设计)技术已在设计中普遍应用,CAD与CAM(计算机辅助制造)技术的结合大大加快了船舶的设计建造周期,提高了质量,降低了成本,推动了整个造船业的发展。计算机的应用水平已经成了船舶设计建造企业竞争能力的重要标志。掌握CAD技术,也成了船舶设计者必备的能力。

基于上述各种考虑,作者在近10余年船舶设计、船舶设计教学和科研基础上著出本书,其中主要内容均为作者的研究成果。书中第二章介绍了现代油船的基本特点及发展概况;第三章介绍了初期设计阶段估算主要尺度及主要性能的各种数学模型;第四章介绍了作者研制的油船设计计算机集成系统,包括系统的功能和系统的结构,并重点介绍了三个子系统:主尺度确定、型线设计、总布置设计,讲述了子系统的功能、原理、方法以及其计算机实现的问题。

第二章 现代油船船型特点

2.1 油船发展概况

18 世纪中期出现帆船散装运油,到 19 世纪 80 年代(1886 年)世界上建成载重量 3000 t 的专用油船。最初,油船吨位比较小,直到第一、二次世界大战期间油船载重吨位一般在 10 000~20 000 t。战后,油船曾一度迅速发展,其特征是吨位大型化、船型经济化、航速一般化、操作自动化。1955 年建成 55 000 t 油船,1968 年建成了 326 000 t 油船,1973 年建成了 477 000 t 油船,1976 年进一步增大到 550 000 t 超大型油船(ULCC)。

油船得以迅速发展主要取决于下列因素:

1. 第二次世界大战后,世界各国经济逐渐恢复,1965~1975 年期间资本主义世界经济进入稳定发展时期,各国竞相发展重工业及石油化学工业,能源结构从以煤为主转向以石油为主,致使石油需求量急速增长,例如 1969~1972 年间,世界石油需求量以 7% 的年增长率递增。此间,美国、西欧、日本所需石油主要依赖中东。石油需求及海运量急速增长是促使油船迅速向大型化发展的重要因素。

2. 产油国石油产量迅速增加,当时原油价格低廉(每桶约 2 美元),有力地刺激了西方工业国对石油的需求与消费,从而使海上石油运量显著增长,促使油船载重吨级增大,油船队迅速发展。

3. 航程远,货源充足,大吨位油船经济效果显著。1967 年 6 月再度爆发中东战争,苏伊士运河关闭长达 8 年,迫使中东输出的石

油必须绕道非洲南端的好望角,经大西洋才能达到北美或入地中海到西欧各国,运距大幅度增加,采用大吨位油船可提高经济效益,进一步促使油船尺度及吨位增大。

综上所述可知,第二次世界大战后,石油产量和需求量的增加,运距的增加,大吨位油船经济效益愈来愈好,促使波斯湾到日本、波斯湾到北美及西北欧几个主要油运航线上油船一度大型化。

然而,1973年资本主义世界爆发经济危机和第一次石油危机。由于美元贬值,世界性通货膨胀导致产油收入剧减,为弥补损失,则大幅度提高油价,给依赖中东石油的西方工业国家以沉重打击,石油需求受到显著抑制。1979年又发生第二次石油危机,原油价格再度上涨,进而使尚未复苏的资本主义世界经济陷入了持续衰退的境地。油价高涨,迫使各国能源结构政策发生变化,由以石油为主转向其它替代能源,如煤、核能、可燃气等的多元化能源结构,从而使海上原油运量进一步下降,使70年代初建造的大量油船陷入严重过剩而被迫大量闲置、拆解或作海上油库。

本世纪80年代西方国家经济开始回升,一度保持价格高昂的石油市场,终因西方国家能源政策的调整,对石油需求降低而不得回落。在原油价格大幅度回跌的刺激下,西方国家的能源结构又恢复以石油为主的欲望,原油需求量又开始增长,与此同时石油输出国石油产量则大幅度增加。这一事实表明,西方工业国日益增长的石油需求严重依赖于中东的总格局基本未变,大型油船再度显示出在海上原油运输中重要的存在价值。

80年代后半期,随着大型油船的大量拆解,使原来的严重过剩的状态得到明显改善,另一方面是70年代中期前后大量建造的油船已先后进入更新期,预期在90年代中期前后将出现更新建造热,再度兴起建造大型油船已势在必行。据近年订货形势看,4~8万吨级、10~12万吨级、15万吨级苏伊士运河型油船,25.8~28万吨大型油船(VLCC)均有良好的需求前景。

在油船大型化发展过程中,由于船舶吃水受到港口和航道水深的限制,各国都十分重视开发浅吃水船型,即增加船宽和宽吃水比 B/T ,使载重吨增大的一种经济船型。这种船型与同吃水的常规船型($B/T < 3.0$)相比,载重量能增加 30%~55%、单位载重吨造价降低 3%~5%、单位载重吨运输成本降低。本世纪 60 年代末,日、美、瑞典等国均开始研制,并陆续建造出浅吃水油船和散货船。日本从 70 年代开始建造出 3 万吨级、15 万吨级、40 万吨级浅吃水油船($B/T = 3.0 \sim 3.5$),到 80 年代开始研制超浅吃水($B/T > 4.0$)油船。表 2-1 为浅吃水油船主要技术参数概况。

60 年代后,随着我国几大油田的开发,石油产量大幅度增长,国民经济发展及外贸对石油需求量增加,石油水运量也逐渐上升,我国油船吨位有很大发展,已先后设计建造了 15 000 t, 24 000 t, 50 000 t, 65 000 t 原油船。改革开放以来,我国大连造船厂建造了 69 000 t 成品油船和 115 000 t 及 118 000 t 穿梭油船。在取得建造经验和消化引进设计技术的基础上,已设计和建造了 80 000 t 出口油船,已建成 30 万吨级大型船坞,为建造大型油船和散货船提供优越设备条件,使设计和建造大型船舶有更加广阔的前景。中国的油运港口和航道水深较浅,研制浅吃水油船有着深远的意义。

2.2 油船种类与典型油船

2.2.1 油船种类

1. 原油船

原油船是运输原油的液货船。原油船在油船队中数量大,单船吨位也大。由于原油闪点低、粘度大、密度小,因此对原油船的防火防爆要求更加严格,油舱还须设加热设施,油舱舱容较大等。现代的原油船通常为球首、球尾、单甲板、单桨尾机型船,具有原油洗舱系统及货油惰性气体保护系统,设无人机舱和各种自动化设备。图

浅吃水油船主要要素

表 2-1

序号	船名	建造年	DW (t)	BHP (kW)	V _s (kn)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)	D (m)	L/B	B/T	L/D
1	天龙丸	1964	69 833	19 500	15.90	235	36.50	12.00	19.00	6.44	3.04	12.24
2	昭石丸	1979	59 500	12 660	14.60	200	36.00	11.91	18.70	5.56	3.02	10.70
3	祥荣丸	1979	60 961	11 700	14.10	207	36.00	11.84	18.30	5.75	3.04	11.31
4	睦邦丸	1978	59 900	17 000	14.10	207	36.00	11.74	16.30	5.75	3.07	12.70
5	丹波丸	1979	79 997	20 500	15.00	248	42.00	12.26	18.80	5.90	3.43	13.17
6	世 诚	1981	81 162	—	—	235	42.00	12.19	18.50	5.59	3.45	12.70
7	谦祥丸	1981	81 283	17 900	15.00	220	44.00	12.13	18.60	5.00	3.63	11.83
8	天龙山丸	1980	88 991	20 400	15.33	233	42.00	12.94	19.60	5.54	3.24	12.40
9	富士山丸	1980	91 442	18 000	15.00	230	41.60	13.45	20.70	5.52	3.04	11.11
10	Kanyo Maru	1981	79 999	15 300	15.00	231.8	44.00	12.15	18.60	5.27	3.62	12.46
11	NANY	1978	499 000	52 600	15.80	350	79.00	24.02	30.50	4.43	3.29	11.48
12	HILDAKUID EN	1976	400 000	45 000	15.78	353	69.00	23.00	28.90	5.11	3.00	12.21
13	爱光丸	1976	414 300	45 000	15.50	350	70.00	22.60	29.00	5.00	3.10	12.06
14	Anko Trinlad	1974	151 400	29 000	15.00	268	53.65	15.14	19.99	5.00	3.54	13.40
15	SAWAKO	1982	82 258	17 600	14.94	245.3	42.00	12.21	18.70	5.74	3.44	12.89
16	METEBA	1979	86 430	17 400	14.85	245	42.00	12.97	18.80	5.83	3.24	13.03

2-1 是 140 000 t 原油船总布置简图。

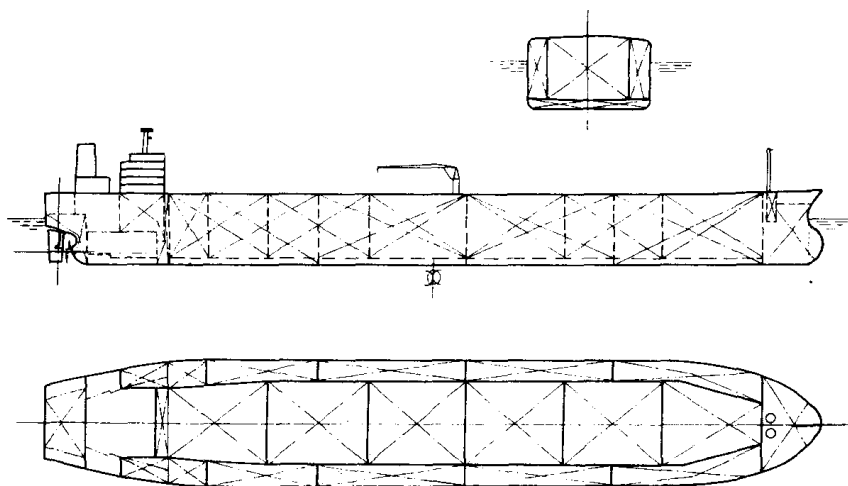


图 2-1 140 000 t 原油船总布置图

2. 成品油船与成品/化学品船

此两种船是运输石油制品及化学品的液货船。其特点为：石油制品及化学品品种多，具有腐蚀性，成品油船及兼装化学品的油船货油系统复杂，货舱及货油系统除锈及防腐蚀要求高，对防火防爆要求也严格，货舱结构要有利洗舱等。图 2-2 为大连造船厂与挪威联合设计、1987 年完工的 69 000 t 化学品/成品油船总布置简图。该船为球首、球尾、可调桨、全双层壳船型。油舱内的特殊涂覆的防腐蚀性能很强，并设无人机舱自动控制系统及货油集中控制系统。此外，具有操纵、驾驶、装载计算机等高度自动化集中控制的电气、导航及通讯设备。

3. 穿梭油船

用于海上产油平台与码头之间往来运输原油的油船。由于作业频繁靠离产油平台和码头，须具有很高的操纵性和海上定位能力。船首设有货油装载系统，以便从产油平台往船上装油，卸油设

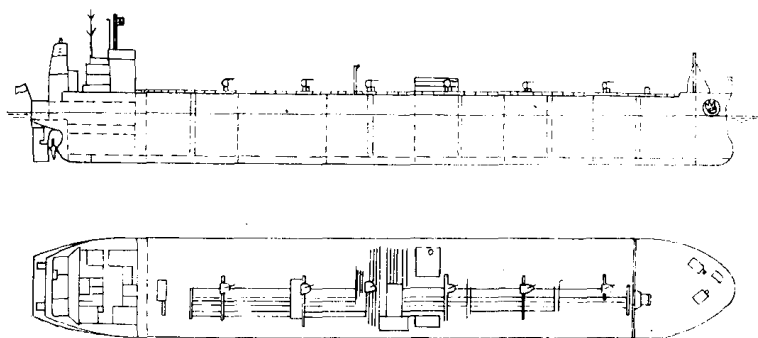


图 2-2 69 000 t 化学品/成品油船总布置图

备同原油运输船一样,靠货油泵完成。大连造船厂 1987 年、1988 年先后建造的 115 000 t 和 118 000 t 两艘油船均属穿梭油船。图 2-3 为 118 000 t 穿梭油船总布置简图,该船为球首、球尾、双可调

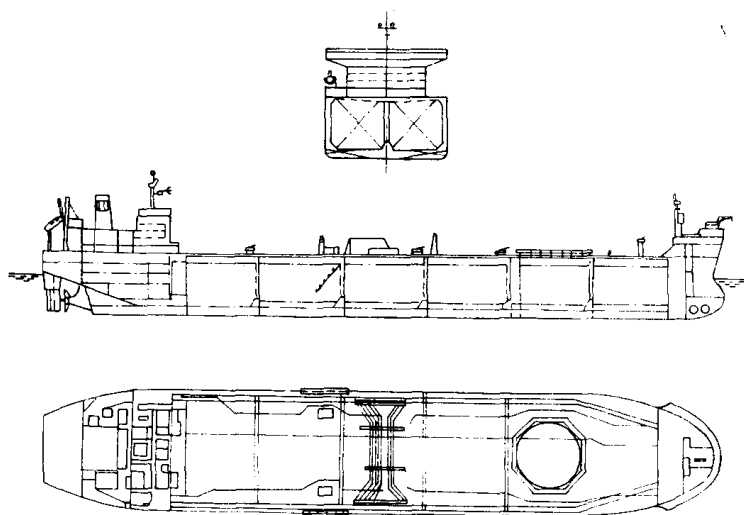


图 2-3 118 000 t 穿梭油船总布置图

桨、双襟翼舵、双层壳体单甲板船型。该船自动化程度高,设有无人机舱,具有首装载系统、动力定位系统、首侧推器、卫星通讯、装载计算机等高度自动化和集中控制的电气、导航及通讯设备,为 80