

620087

高等学校教学用书

船舶机械电力拖动

上海交通大学 徐纪良编



北京科学教育编辑室

523987

20557

高等学校教学用书

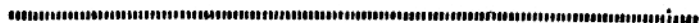


船舶机械电力拖动

上海交通大学 徐纪良编



北京科学教育编辑室



内 容 提 要

本书叙述了各种船舶机械自动电力拖动装置的基本工作要求、设计原理和计算的基础;比较详细地研究了船舶机械自动电力拖动装置的选型,电机容量的计算和选择,自动控制线路的选择,自动电力拖动装置的基本参数的计算;此外,还研究了在内部和外界干扰作用下船舶机械自动电力拖动装置工作的稳定性和过渡过程;对近代发展起来的某些船舶自动化装置作了介绍。书中各主要章节均附有计算实例和图表。

本书可供高等学校“船舶机械电力拖动”课程进行教学时使用,也可供有关研究、设计和工程技术人员参考。



船 舶 机 械 电 力 拖 动

上海交通大学 徐纪良编

北京科学教育编辑室出版
商务印书馆上海厂印刷
新华书店上海发行所发行

开本:850×1168 1/32 印张:18 15/16 字数:470,000
印数:1—2,000

1962年8月第1版 1962年8月上海第1次印刷

定价:2.67元

前 言

党的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线和当前以调整为主的“调整、巩固、充实、提高”的方针，指出了一切国民经济要有计划按比例地发展，提高机械化和电气自动化的水平，不断提高劳动生产率，改善劳动条件。

这种要求对近代的船舶装置和航运事业，意义十分重大，因而必需不断发展和改善船舶辅助机械和辅助装置的自动电力拖动。

船舶机械自动电力拖动装置是一个复杂的总体，它由各种电机、电器自动化元件和中间传动机构所组成，借以保证船舶的安全可靠运行，船舶的航行机动性或保持船舶在一定航向上航行，以及保证主机和各种船舶机械的正常工作等。

本书系在电力拖动和自动控制理论的基础上，根据各种船舶辅助机械和辅助装置的运行条件与要求，研究船舶机械自动电力拖动装置的选型；电机型式和容量的选择与计算；分析与选择船舶机械电力拖动的自动控制线路和自动化系统；其主要参数的计算；并研究在内部参数变化及外界干扰的作用下船舶机械自动电力拖动装置工作的稳定性和过渡过程。书中在普遍研究各种典型的船舶机械电力拖动装置的基础上，着重研究舵机的自动电力拖动装置。此外，对某些特种船舶机械和装置的自动电力拖动（如防摇装置，自动拖缆机和吊艇机等）也作了研究和介绍。

考虑到本书不仅应该研究设计原理，而且还应满足研究具体设计计算方法的要求，所以根据现有的各种文选资料，引述了有关的基本观点和论断，并在介绍设计计算方法的同时，在有关章节中附入了计算示例和有关的曲线图表，俾有助于读者进行具体的计

算。

在介绍分析计算法的同时,还介绍了图解分析法,以在适当计及非线性的影响下简化计算。

对于各种船舶机械的机械结构及其基本力学分析,不在本书范围之内,故仅作有关的简要说明或仅引述其有关结论。读者如有必要对这方面的知识进一步进行深入全面了解,可以参阅船舶机械的有关书籍。

本书主要依照苏联有关书籍和文选资料编写,但也收入了资本主义国家的某些有关资料,同时还吸收了几年来在本课程教学工作中的经验和教训。

本书在编写过程中,承施亿生、陈敏逊同志审校,在此谨致谢忱。

由于仓促改编,还存在不少缺点,热诚欢迎各方面的批评指正。读者在使用中如有意见,请径寄上海交通大学转致作者。

目 录

前言	1
緒論	1
第一章 船舶机械电力拖动装置工作的一般問題	5
§ 1-1 概述	5
§ 1-2 船舶电机的基本結構特点及型式	8
§ 1-3 直流和交流船舶电力拖动的基本特性	11
一、直流电动机的基本特性	11
二、交流电动机的基本特性	18
§ 1-4 在不同的周圍温度下电动机容量的选择	22
§ 1-5 电网功率对电力拖动工作的影响	25
§ 1-6 交流船舶电力拖动装置的工作	27
一、頻率变化对感应电动机工作的影响	27
二、在持續的电压偏差下用鼠籠式感应电动机的电力拖动装置的特性	28
三、电力拖动装置的过渡过程对其供电装置工作的影响	33
四、电压变动时的电磁过渡过程	35
五、按照起动条件鼠籠式感应电动机的极限容量的确定	37
§ 1-7 船舶机械电力拖动装置的保护	43
第二章 电力机械舵机装置的电力拖动	46
§ 2-1 概述	46
§ 2-2 舵和舵杆上的阻力轉矩	48
一、舵的型式和数量	48
二、舵杆上的阻力轉矩	49
§ 2-3 电力机械舵机装置的傳动机构	57
§ 2-4 电力机械舵机装置的工作状态和对电力拖动的基本要求	65
一、为保証工作可靠性而提出的要求	65
二、运行技术方面的要求	65
§ 2-5 舵机电动机的类型	67
一、舵机电动机的机壳型式	67
二、舵机电动机的工作制	68
三、舵机电动机的特性	68
§ 2-6 舵机电力拖动的控制	73

§ 2-7 舵机电力拖动的直接控制线路	76
一、继电—接触器控制线路	76
二、发电机—电动机系统的控制线路	89
§ 2-8 舵机电力拖动的随动控制线路	102
§ 2-9 电力机械舵机装置的无触点控制	118
§ 2-10 自动航向稳定系统的舵机装置电力拖动的自动控制线路	134
一、概述	134
二、“自动舵”的基本作用原理	137
三、对“自动舵”装置提出的基本要求	140
四、“自动舵”的类型	142
五、“自动舵”装置的结构及其各种元件的作用	144
六、电气机械接触式的“自动舵”	147
七、电气机械无接触式的自动舵	156
§ 2-11 舵机随动控制和自动航向稳定系统的稳定性和其元件参数选择的一些问题	176
§ 2-12 舵机电动机的负载图	197
§ 2-13 发电机—电动机系统的舵机电力拖动装置的设计计算基础	204
一、设计计算的基本问题	204
二、具有直线性特性的发电机—电动机系统舵机电力拖动容量的选择	208
三、发电机电枢回路系统为饱和时舵机发电机—电动机系统电力拖动容量的选择	221
四、发电机—电动机系统中参数的改变对其特性曲线的影响	232
五、转舵时间和电动机发热的校验	240
六、利用有限增量法计算过渡过程	248
七、利用 AEG 型控制器的舵机发电机—电动机系统的电力拖动装置的设计	264
§ 2-14 直接由船舶电网供电的直流他激和复激电力拖动装置的计算	266
§ 2-15 计算舵机直流电力拖动装置容量的波龙斯基法	273
§ 2-16 舵机交流电力拖动装置的设计	275
§ 2-17 饱和电抗器控制的舵机交流电力拖动装置的设计	277
§ 2-18 主动舵的电力拖动装置	286
第三章 电动液压舵机装置的电力拖动	289
§ 3-1 概述	289
§ 3-2 电动液压舵机装置的基本元件	291
§ 3-3 电动液压舵机装置控制系统的工作原理	299
§ 3-4 电动液压舵机的控制线路	306
§ 3-5 液压泵的阻力矩特性	312

§ 3-6 泵的工作情况以及轉舵時間的計算.....	318
一、变量泵工作的基本方程式.....	318
二、泵在恒值流量时的工作情况.....	320
三、变量泵的偏心距为变值时的工作情况.....	324
四、偏舵時間、泵的耗量和轉速.....	331
§ 3-7 电动机軸上的阻力矩特性.....	332
§ 3-8 电动机的选择.....	334
第四章 起錨系纜裝置的电力拖动	362
§ 4-1 概述.....	362
§ 4-2 起錨系纜裝置的工作状态和基本要求.....	366
§ 4-3 起錨系纜裝置电力拖动的型式.....	369
§ 4-4 起錨系纜裝置电力拖动的控制.....	371
§ 4-5 起錨系纜裝置的負載阻力特性.....	382
一、正常的起錨过程.....	385
二、应急情况时的起錨过程.....	388
三、抛錨状态.....	389
四、系纜工作状态.....	389
§ 4-6 錨机电力拖动的負載图.....	389
§ 4-7 錨机电力拖动裝置的設計基础.....	392
一、設計計算的基本步驟.....	392
二、不同类型的錨机电力拖动的計算特点.....	406
三、电动液压錨机拖动裝置的計算特点.....	411
四、用饱和电抗器控制的錨机电力拖动的計算特点.....	413
第五章 船舶起重裝置的电力拖动	415
§ 5-1 概述.....	415
一、用途及其分类.....	415
二、船舶起重裝置的結構及其工作情况.....	418
三、对船舶起重裝置电力拖动的基本要求.....	419
§ 5-2 船舶起重裝置的傳动机构.....	420
§ 5-3 起重絞車电力拖动的型式及其机械特性的选择依据.....	421
一、生产率.....	421
二、过渡过程的持續時間及其特性.....	424
三、調速要求.....	425
四、对电动机結構型式的要求.....	427
§ 5-4 船舶起重裝置电力拖动的人造特性.....	428
一、直流电力拖动的人造特性.....	428
二、交流电力拖动的人造特性.....	436

§ 5-5	船舶起重絞車电力拖动的控制綫路	439
§ 5-6	起重絞車电力拖动負載圖的繪制	452
§ 5-7	起重絞車电动机容量的選擇	463
§ 5-8	悬臂式回轉起重机的功用、結構和工作情况	482
§ 5-9	起重机电力拖动裝置的設計特点	485
一、	起重機回轉机构电动机的選擇特点	485
二、	起重機悬臂伸距变化机构电动机的選擇特点	490
三、	起重机的自动控制綫路	493
第六章	船舶专用起重卷揚裝置的电力拖动	494
§ 6-1	概述	494
§ 6-2	吊艇机的工作情况	494
§ 6-3	快速电动机軸上的負載阻力矩	502
§ 6-4	快速电动机的机械特性	504
§ 6-5	快速电动机功率的計算	506
§ 6-6	吊艇机电力拖动的自动控制綫路	509
§ 6-7	自动拖纜机的工作情况和基本要求	513
§ 6-8	自动拖纜机的机械結構	515
§ 6-9	拖帶时作用于自动拖纜机纜索上的拉力	518
一、	恒值阻力	518
二、	突然变化的阻力	519
三、	周期性变化的阻力	519
§ 6-10	波浪运动对拖船航向和航速的影响	521
§ 6-11	拖纜絞車的阻力矩特性及其电动机容量的選擇	524
§ 6-12	自动拖纜机的控制綫路	534
§ 6-13	船舶升降机电力拖动功率的選擇特点	543
第七章	船舶动力裝置和船舶系統輔助机械的自动电力拖动	546
§ 7-1	概述	546
§ 7-2	輔助机械的分类和基本特性	547
一、	分类和用途	547
二、	容积式液泵	549
三、	离心式液泵	551
四、	电磁泵	554
五、	船舶通风机、鼓风机和空气压缩机	557
§ 7-3	泵和通风机的流量的調节	558
一、	泵和通风机流量的調节	558
二、	轉速調节和工作稳定性問題	561
§ 7-4	輔助机械电力拖动裝置的設計基础	562

一、电力拖动装置电动机型式的选择.....	562
二、电动机容量的确定.....	564
三、电动机的发热校验.....	565
§ 7-5 辅助机械电力拖动装置的起动和调速.....	569
一、电力拖动装置的起动.....	569
二、电力拖动装置转速的调节.....	571
§ 7-6 辅助机械电力拖动装置的自动控制.....	573
第八章 船舶防摇装置的自动电力拖动	577
§ 8-1 概述.....	577
§ 8-2 防摇鳍的工作原理.....	581
§ 8-3 防摇鳍装置自动控制的基本方式.....	582
一、对控制系统的基本要求.....	582
二、防摇鳍的基本控制方式.....	583
三、防摇鳍稳定装置的控制信号.....	586
四、断续控制和连续控制.....	588
§ 8-4 防摇鳍的典型控制系统.....	589
参考文献	597

緒 論

船舶机械的电力拖动装置是由电动机、中间传动机构和电动机的控制电气元件所组成的电气设备，并借以拖动船舶辅助机械进行工作，以满足船舶正常航行运转的需要。

船舶辅助机械包括舵机、起锚绞缆装置、起重拖曳机械、泵、通风机、空气压缩机、特种专用机械以及为日常生活服务的机械等各方面，它们在保证船舶完成航行任务方面具有十分重要的意义。

船舶机械的拖动型式，可以有手工操作、蒸汽拖动、液压拖动、气压拖动和电力拖动几种类型。

与其它型式的拖动装置相比，船舶机械的电力拖动装置具有一系列无庸争议的优点：它易于分配能源；没有复杂而庞大的管道；能够快速投入运行；起动方便容易；可以远距控制和自动控制，且有利于进一步实现船舶航行的综合自动化。同时，它的重量体积不大，工作也可靠安全，且能改善船员的劳动条件、生活条件和减少船员编制。

电力拖动型式在经济指标上也有很大优点。例如：虽然它需要经过二次能量转换，但与蒸汽拖动的辅助机械相比，其耗汽量可以降低 15~20%。由于辅助机械的耗汽量通常是主机耗汽量的 10~20%，且在某些情况下还可达到 30%，因此，它对整个装置的经济性影响很大。又如，当舵机装置实现了自动控制以后，它可以以甚大的准确度将船舶保持在规定的航向上，从而可以提高平均航速 4~6%。

船舶的恶劣运行条件和严格的运行要求，为船舶电气装置的应用带来了巨大困难。例如，船舶电气装置必须要在高湿度、高温

度、潮气盐雾的侵袭、剧烈的振动和摇摆等条件下工作，同时工作必须充分可靠安全。船舶电工技术的实际运用和发展虽然还只有七八十年的历史；但是，由于整个科学技术（包括电工技术和无线电技术）近年来的飞速发展，现代工业生产已可能提供满足船舶运行条件的电机电器元件。所以，近年来船舶电工的发展已达到空前规模，电力拖动已成为船舶上应用最为广泛的拖动型式。

船舶机械电力拖动是自动电力拖动的一种类型，因此它的发展和自动电力拖动理论的发展不可分割。电力拖动，特别是在船舶机械上采用电力拖动的思想，首先出现在俄国，也首先在俄国得到实践。远在 1834 年，俄罗斯院士鲍·谢·雅可比设计了第一台直流电动机，1838 年在彼得堡的涅瓦河上用它来拖动小艇的推进器，这是全世界第一次在船舶上应用电力拖动装置。试验虽然得到了完全良好的结果，但是由于当时电工技术水平不高，缺少足够经济和方便的电源，因而当时它没有得到广泛采用。

此后 30 年，在船舶上才开始应用电能，此时它用来作为电气照明。其后，在电机工业发展的基础上，在十九世纪的八十年代开始在船舶辅助机械上采用电力拖动。起初它用来拖动通风机，后来逐渐扩大应用到炮塔机械，起重机以及舵机等机械上。在廿世纪初叶，船舶上便已广泛地采用了电力拖动装置，并发展了专门的船用电机生产。

随着电工技术和电气自动化技术的发展，也不断提高了船舶机械电力拖动的水平。在廿世纪二十年代俄国舰队上已广泛应用交流电力拖动（用来拖动泵及通风机）。船舶机械电力拖动的控制也逐步地由手控过渡到用继电—接触器的半自动远距控制，其后又发展到按机械的操作要求进行自动控制和自动调整，这种发展过程特别在舵机装置上得到了充分的反映。船舶电能装置的容量也随之不断有所增大。

二次大战以后,随着船舶电气化范围的扩大,船舶机械的电力拖动得到了迅速的发展,且日益广泛地应用了自动調整和自动控制理論的成就。由于船舶电气设备的重量、体积及其安全可靠运转的意义越来越大,半导体仪器、无触点控制在船舶上的应用日益扩大,同时还趋向于采用更高频率的交流电源。

用半导体整流器来代替整流机组时可以大大减少其重量和体积。无触点的控制线路则因其元件使用寿命长,工作可靠安全而可大大减少维护工作。

原子能装置在船舶上的应用,更大大促进了船舶电气自动化的发展。现代航海技术亦要求发展船舶综合电气自动化。计算装置和控制机器以及自动运动元件在船舶上开始获得广泛运用。

这些情况,对船舶机械电力拖动的发展都具有极大的作用。

我国在商朝时代,船舶已是人民常用的交通工具,这可以从十九世纪末发现的商朝甲骨文中常有的“舟”字得到证实。在公元前770~475年间的春秋时代,造船工业已有发展,史书上多次记有使用海军的事情,当时已有各种不同类型的军舰。西汉时已有“可载千人”的大船(公元前130年)。东汉时(公元25~220年)我国数学与天文学有了巨大成就,给远洋航行创造了优越条件。在唐代(618~907年)已有“长达廿丈,可载六七百人”的帆船,经常往返中国、印度、阿拉伯间。宋代(公元十世纪到十三世纪),我国人民已将指南针用于航海活动,天文航海技术已达很高水平。我国人民在造船航海方面具有丰富的经验。但在半封建半殖民地的旧中国,在封建主义、帝国主义和官僚资本主义的压迫和剥削下,生产力得不到发展,近代的科学技术因而也十分落后。同样,在船舶电工技术方面极少进展,可以说是个空白点。解放以后,随着我国进行了伟大的社会主义革命和社会主义建设,生产力得到了极大的发展,科学技术水平有了很大提高。我国的船舶电工技术(其

中也包括船舶机械电力拖动), 在十分貧乏落后的基础上, 經過十多年来的努力和苏联及其他社会主义兄弟国家的帮助, 也取得了极大的发展。但是总的說来, 船舶电工技术还是比较落后的, 它还不能滿足造船工业发展的需要, 还不能适应目前世界上科学技术突飞猛进的形势。在党的总路綫与以調整为主的“調整、巩固、充实、提高”的方針指引下, 我們必須尽快地掌握最新的船舶电工和船舶电力拖动的科学技术, 迅速赶上世界先进水平, 使之更好地为我国社会主义建設服务。

第一章 船舶机械电力拖动装置 工作的一般問題

§1-1 概 述

船舶在工作和航行时,是一个独立单位,它处于与陆地完全不同的工作环境下,所以安全性和生命力极为重要。船舶电气装置必須要能适应周圍比較恶劣的运行条件,例如高温、潮湿、蒸汽、油污和海水的侵蝕;强烈的振动、撞击和摇摆等,以保証船舶的最大生命力。它必須要简单灵活,維護方便,在事故时可迅速排除故障,并減輕劳动强度。它必須要重量轻、体积小和效率高以增大船舶的有效空間。在軍用舰艇上还必须滿足战斗与战术的要求,

近代由于在各种船舶輔助机械上广泛应用电力拖动,因而显著地增加了船舶电力机械的数量,同时工作电动机的单机功率和发电机的設備功率也相应地增大。但是此时电动机单机功率的增长率超过了发电机設備功率的增长率,而使电动机的单机功率占发电机装置功率的甚大比重。

上述这些运行条件和运行要求,使在設計研究船舶机械电力拖动装置时,必須考虑到与陆地装置不同的特点。随着近代电工技术的发展成就,船舶上正趋向广泛采用交流电和自动化技术。

与直流电气系統相比較,船舶交流电气系統具有以下各主要优点:

(1) 交流电机(特别是鼠籠式感应电动机)結構简单,工作可靠,維護简单方便,坚固耐用;

(2) 重量轻,体积小,价格低廉(如表 1-1 所示);

表 1-1 交流电动机和直流电动机的比较表

1. 常速的直流电动机和单速的交流电动机的比较

直流电动机 220 伏, 1730 轉/分						交流感应电动机 440 伏, 3 相, 1730 轉/分					
功率 (馬力)	銅重 (磅)	鋼重 (磅)	总重 (磅)	效率 (%)	价格 (%)	功率 (馬力)	銅重 (磅)	鋼重 (磅)	总重 (磅)	效率 (%)	价格 (%)
5	70	260	532	85	100	5	9	41	178	80	45
20	110	300	840	85	100	20	51	141	448	88	42
50	260	650	1680	89	100	50	85	270	784	89.5	43

2. 变速的直流电动机和双速交流电动机的比较

220 变 速 直 流 电 动 机						440 伏 3 相 双 速 感 应 电 动 机 (1730/1150 轉/分)							
功 率	銅 重	鋼 重	总 重	效 率		价 格	功 率	銅 重	鋼 重	总 重	效 率		价 格
(馬力)	(磅)	(磅)	(磅)	滿 載	負 載	(%)	(馬力)	(磅)	(磅)	(磅)	(%)	(%)	(%)
5	70	260	532	84	75	100	5/1.5	41	80	280	76/63		61
20	165	450	1200	86	77	100	20/6	100	220	728	86/74		71
50	280	720	1792	89	82	100	50/15	144	400	1064	88/77		87

图 1-1 示各种交直流电动机的重量比较曲线, 图中数据系按苏联产品的重量数据得出。由图中可知, A 型鼠籠式感应电动机, 重量较同容量的 ИИ 型直流电动机轻 2~2.2 倍; АИ 型鼠籠式电动机轻 1.5~1.6 倍; АК 型綫繞式感应电动机较直流电动机轻 1.35~1.4 倍。

(3) 交流电力拖动系统中的辅助电气设备较直流简单而价廉;

(4) 可以利用变压器来提供各种不同电压的电源, 同时可借变压器将整个电网分成为在电气上互不关联的各个独立部分而提高其工作的可靠性, 在其中一部分发生故障时, 不致影响其它部分

的正常运行。

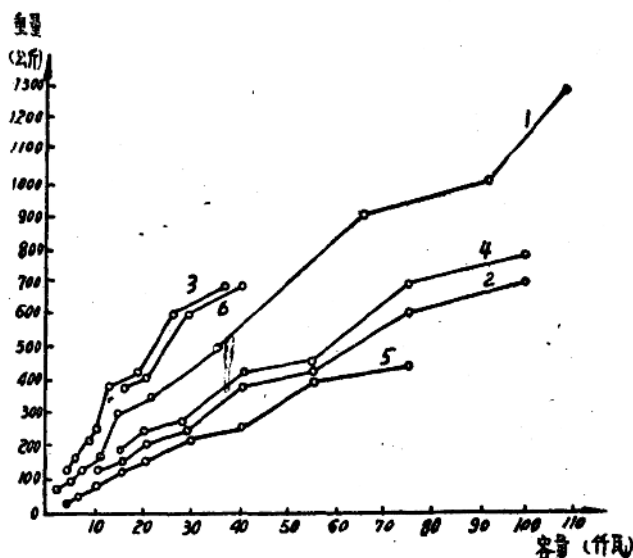


图 1-1 各种类型的交直流电动机的重量比较曲线

1—III 型电动机；2—AP 型高起动转矩的鼠笼式感应电动机；3—A 及 MAP 型多速（四速）鼠笼式感应电动机（500/750/1000/1500 转/分）；4—AK 型绕线式感应电动机；5—鼠笼式感应电动机；6—双速电动机。

然而由于船舶发电站的装置功率是有限的，某些船舶机械电力拖动装置（例如起货机、炮塔等）的工作电动机的容量占其甚大的比重。在交流电力系统中特别是在直接起动这些机组的鼠笼式感应电动机时，或在负载的突然巨大变化时，将造成巨大的电压损失和频率变化。此时，在不利的情况下有可能形成船舶供电电网的“雪崩”现象，从而破坏交流电力拖动装置的正常工作。

交流船舶电力拖动装置进一步广泛采用的另一困难是调速问题。在船舶（尤其是在货船）上很多船舶机械，如绞盘、起锚机等，