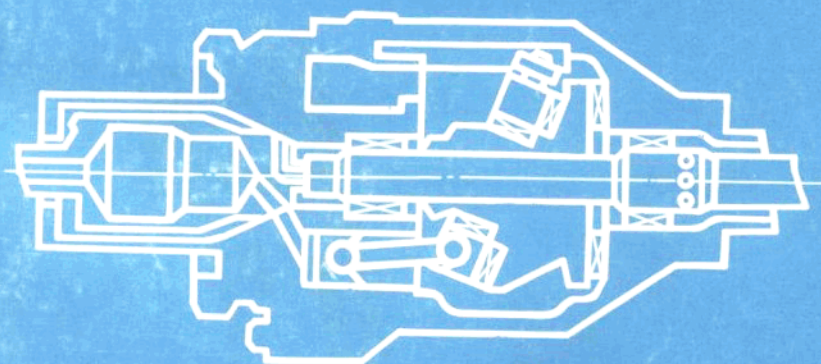


普通高等教育
兵工类规划教材

鱼雷热动力装置设计原理

马世杰 等著



兵器工业出版社

TJ630.2
M32
361588

鱼雷热动力装置设计原理

马世杰 等著



兵器工业出版社

(京)新登字 049 号

内 容 简 介

本书是鱼雷热动力装置的专著,它全面论述反潜鱼雷热动力装置的结构组成、工作原理、设计计算方法、燃料的调节和控制、热动力推进系统的动态过程等,反映了对国外鱼雷热动力装置的分析研究成果和国内新型鱼雷动力装置研究试验的经验。本书是鱼雷专业本科生的主要教材,也可供鱼雷生产和研究设计方面的工程技术人员参考。因为鱼雷发动机具有质量轻、体积小、功率大、噪音低、振动小、结构简单紧凑等特点,所以本书对一般动力专业类的学生以及工程技术人员也有参考价值。

DZ39/08

鱼雷热动力装置设计原理

马世杰 等著

兵器工业出版社 出版

(北京市海淀区车道沟) 新华书店

新华书店总店科技发行所发行

各地新华书店经销

中国人民解放军海军工程学院印刷厂印装

开本:787×1092 1/16 印张:13.25 字数:326 千字

1992年8月第1版 1992年8月第1次印刷

印数:1—600 定价:3.50 元

ISBN 7-80038-374-1/TJ·50(课)

出 版 说 明

遵照国务院国发[1978]23号文件精神,兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵工教材编审室成立以来,在广大教师的积极支持和努力下;在国防工业出版社、兵器工业出版和北京理工大学出版社的积极配合下,已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务。共出版教材211种。这批教材出版对解决兵工类专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革、提高教学质量都起到了积极的作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要,特别是国防现代化培养人才的需要,反映国防科技的先进水平,达到打好基础、精选内容、逐步更新、利于提高教学质量的要求,我们以提高教材质量为主线,完善编审制度;建立质量标准、明确岗位职责,建立了由主审审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业的特点,成立了九个专业教学指导委员会和两个教材编审小组。以加强对兵工类专业教材建设的规划、评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材,全面提高质量,适当发展品种,力争系统配套,完善管理制度,加强组织领导”的“八五”教材建设方针。兵工教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上,于1991年制订了1991~1995年兵工类专业教材编写出版规划。共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的。专业指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查,认为符合兵工专业培养人才要求,符合国家出版方针。这批教材的出版必将为兵工专业教材的系列配套,为教学质量的提高、培养国防现代化人才,为促进兵工类专业科学技术的发展,都将起到积极的作用。

本教材由李溢池、周岑担任主审,李谦担任责任编委,兵工教材编审室审定。

限于水平和经验,这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处,希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

兵器工业总公司教材编审室

一九九一年八月

前 言

现代鱼雷是重要的水中兵器,主要用于反潜,也可打击水面舰船。鱼雷动力装置用来保证鱼雷具有高的航速、大的航深和远的航程。为了不影响鱼雷自导装置的工作,动力装置还必须噪音低和振动小。老式热力发动机,如星型机和纵卧双缸机等,都因不适应现代鱼雷的要求而全被新的机型所代替。按照我国鱼雷发展的实际情况,本书只讲述适于反潜鱼雷用的热动力装置,对其结构仅作简略介绍,但对其工作原理和设计计算方法则作系统深入的论述。此外,与热动力装置工作有关的问题,如燃料的调节和控制,以及热动力推进系统的过渡过程等问题也进行了讨论。对于动力装置零件的强度设计计算,因其与前修课(如机械零件等)所讲述的差别不大,故不作讨论。

本书内容取材于对国外鱼雷热动力装置的分析研究和国内鱼雷新产品的研究试验经验。书中所述的理论和设计计算方法,在计算机上都经过仿真与试算,所得结果比较合理;此外,还进行过试制型样机的试验研究,证明了设计计算方法的合理性和可行性,因而本书是一本实用性较强的教材。

本书是鱼雷专业的主要教材,供大学本科高年级学生使用,并供鱼雷生产和科研设计方面的工程技术人员参考。

鱼雷热力发动机属特种发动机,其特点是质量轻、体积小、功率大、噪音低和振动小,而且结构简单紧凑。本书对一般动力专业类的大专学生和研究生以及工程技术人员也有参考价值。

本书是在吸收了各有关方面对原由马世杰、张大维和林章国等合著的《鱼雷动力装置设计原理》提出的宝贵意见的基础上写成的。第二章及附录由孙炯编写,第五、七章由张振山编写。马世杰编写其余各章并对全书统一整理定稿。

本书由鱼雷研究所周岑和武海科研所李溢池审稿。鱼雷研究所陈丽姝也参与了本书第二章的审稿。他们对书稿提出了很多宝贵的建议。中国兵器工业总公司教材编审室张守中为本书的主管编辑,在编写过程中给了许多具体指导,并在后来为本书的编辑出版作了大量工作。在此一并表示衷心的感谢!

由于著者水平有限,加之编写时间仓促,必定存在不少问题,敬请读者批评指正。

一九九〇年七月

目 录

第一章 鱼雷动力装置概述.....	(1)
第一节 鱼雷动力装置的发展概况.....	(1)
第二节 鱼雷热动力装置的组成和分类以及要求.....	(5)
第二章 鱼雷燃料及燃烧室	(10)
第一节 鱼雷燃料	(10)
第二节 燃料的雾化	(15)
第三节 燃烧室热力计算	(25)
第四节 燃烧室的设计	(35)
第三章 鱼雷活塞式发动机的热力循环	(43)
第一节 缸内的热力过程	(43)
第二节 发动机的循环及效率	(45)
第三节 发动机的性能指标	(50)
第四章 活塞式鱼雷凸轮发动机	(60)
第一节 活塞式鱼雷凸轮发动机的结构和工作原理	(60)
第二节 活塞的运动和发动机的平衡	(61)
第三节 滚轮同凸轮的接触点及接触点参数	(66)
第四节 发动机的转矩及轴承上的负荷	(70)
第五节 由滚轮与凸轮的相互作用而引起的摩擦损失	(73)
第五章 活塞式鱼雷周转斜盘发动机	(77)
第一节 周转斜盘发动机的结构与工作原理	(77)
第二节 周转斜盘发动机的基本结构参数	(80)
第三节 单位连杆向量及其变率	(81)
第四节 活塞和连杆的运动	(85)
第五节 周转斜盘发动机的平衡	(91)
第六节 周转斜盘发动机的转矩	(96)
第七节 基本结构参数对发动机工作特性的影响	(99)
第八节 周转斜盘的约束机构.....	(103)
第九节 周转斜盘及轴承上的作用力.....	(107)
第六章 鱼雷热力发动机的仿真.....	(111)
第一节 配气机构的数学模型.....	(111)
第二节 缸内工作状态的数学模型.....	(125)
第三节 鱼雷发动机缸内工作过程的求解方法.....	(136)
第七章 鱼雷热动力推进系统的调节.....	(141)
第一节 鱼雷热动力推进系统调节的目的和方法.....	(141)

第二节	鱼雷热力推进系统的数学模型.....	(148)
第三节	鱼雷动力调节系统的传递函数及品质.....	(154)
第四节	鱼雷动力调节系统设计及调节装置的稳态输出特性仿真.....	(171)
第五节	鱼雷动力推进系统的仿真.....	(183)
附录一	某些化学反应平衡常数表.....	(191)
附录二	常见燃烧产物的热力学性质.....	(196)
参考文献		(204)

第一章 鱼雷动力装置概述

第一节 鱼雷动力装置的发展概况

一、鱼雷概述

鱼雷是一种水中武器。现代鱼雷能自动推进,自动控制深度和航向,能够自导和遥控线导,还能识别和打击潜艇的薄弱部位。从这些功能来看,现代鱼雷就是水中的导弹。

自 1866 年英籍工程师罗伯特·怀特黑德(Robert·Whitehead)发明第一种鱼雷以来,在历次海战中鱼雷都曾起过重要作用。例如在 1904~1905 年的日俄战争中,鱼雷击沉了 11 艘军舰,占击沉总数的 18.9%。在第一次世界大战(1914~1918)中,被德国潜艇击沉的各国运输船超过 1320 万吨,其中由鱼雷击沉的运输船达 1153 万吨,占 89%,军舰被鱼雷击沉的达 162 艘,占被击沉总数的 49%。在第二次世界大战期间,由潜艇击沉的各国运输船(未统计苏联的)达 2200 万吨,其中被鱼雷击沉的达 1445 万吨,占 68%,各种舰艇被鱼雷击沉的达 369 艘,占击沉总数的 38.5%。

鱼雷的躯体是个流线型的回转体,尾部有鳍、舵和推进器。按动力来分,现代鱼雷可分为热动力鱼雷和电动力鱼雷两类。鱼雷大致可分为三段,前段通常为战斗部,包括制导装置,触发和非触发引信,以及炸药。对于热动力鱼雷,中段一般装燃料,包括燃烧剂和氧化剂,后段装发动机。对于电动力鱼雷,则中段装电池,后段装电动机。控制系统的部件,动力系统的各种阀及泵,还有电动机的开关等分别装于中段及后段。如果是由空中入水的空投鱼雷,尾部还有稳定装置及降落伞等部件,而这些部件在入水的瞬间自动脱离雷体。

现代鱼雷大致可分为大型和小型两种。大型鱼雷的直径为 0.45~0.55 m,大部分为 0.533 m,长度不超过 8 m,质量 1000~2000 kg。小型鱼雷直径为 0.254~0.324 m,长度 2.5 m 左右,质量 120~300 kg。

第二次世界大战以前的鱼雷使命较单一,只用来攻击水面舰艇,根据携带者的不同,共分空对舰、舰对舰和潜对舰等三种。第二次世界大战后,由于舰—舰导弹的出现鱼雷主要是完成反潜使命,同样可分为空对潜,舰对潜,潜对潜等三种,并且反潜比反舰更为重要。因为攻击水面舰船可用的武器较多,而攻击潜艇的只能是水中武器,其中又以鱼雷最为有效。现代鱼雷发展的内容与方向是在提高航速和航程,增大航行深度,提高双平面制导的作用距离和识别能力,以及增大打击威力等直接同反潜有关的这五个方面,其中前三项则在于发展性能优良的动力装置。

二、鱼雷动力装置概述

鱼雷在水中自动推进,全靠其动力推进系统的作用。鱼雷动力推进系统由能供系统、动力装置和推进器等组成,它用来把热能或电能转换为推进鱼雷所需的功,是鱼雷的重要组成部分

分。鱼雷动力推进系统占去鱼雷体积或质量的绝大部分,它对鱼雷的战术性能有着重大的影响。

鱼雷能供系统用来贮存鱼雷的能源并按一定的要求输送给动力装置以供其工作。动力装置用来将鱼雷能源的能量转变为推进器工作所需的功,而推进器工作则产生鱼雷航行所需的推力。按鱼雷所用能源来分,动力装置可分为热动力装置和电力装置两种。

热动力装置的能源是燃料,燃料分为单组元燃料和多组元燃料。单组元燃料由含可燃成分和氧化成分的物质组成,将其单独送入燃烧室便能燃烧生成工质,供发动机工作。多组元燃料由氧化剂和燃烧剂以及淡水(用于冷却燃烧产物)等组成,这些组元需同时分别送入燃烧室进行分解燃烧和冷却才能生成适于发动机工作的工质。电力装置的能源储备部件为鱼雷自身携带的电池,它利用电池的电能供电动机作功。在结构上电力装置要比热动力装置简单些,而且功率不受雷外海水背压的影响,在鱼雷航行时还看不到航迹,隐蔽性好,但电池的容量有限,故电雷的航速和航程比热动力的小得多。不过近十几年来,鱼雷电机和电池在技术上已有了实质性的突破,如英国的“鳐鱼”鱼雷和法国的“海鳐”鱼雷在性能上已能同热动力鱼雷的航速和航程相媲美了。

按发动机的废气是否向雷外排放来看,鱼雷热动力装置可分为闭式循环(废气不向雷外排放),半闭式循环(废气经冷却后再排出雷外)和开式循环(废气排出雷外)等。闭式与半闭式循环的动力装置,其工作不受或基本不受雷外海水背压的影响,但由于体积与质量较大,近期内在小型鱼雷上还很难实际应用。对于开式循环的动力装置,在鱼雷航行深度变化时由于排气背压随之变化,故发动机的功率和效率也相应产生变化。为了保证发动机的功率基本不变,需随鱼雷航行深度的不同而相应改变其进气压强,使进气压强随深度的不同而改变是靠调节器自动完成的。据有关资料报导,国外采用开式循环的热动力反潜鱼雷,其最大航行深度可达900 m,而进气压强高达35.1 MPa。发动机在这样高的压强下工作,对其结构强度的要求是十分严格的。

现代反潜鱼雷对自身的噪声有着严格的要求,过大的噪声会对声自导装置产生干扰,影响搜索与跟踪能力;此外,还使打击对象能较早发现进攻的鱼雷而从容地采取防雷措施,降低了鱼雷攻击的效果。所以,现代鱼雷动力推进系统的部件及其组成都作了减小噪音的考虑,例如,采用低噪音螺旋桨或泵喷式推进器(减小推进器的工作噪音)作为鱼雷的推进器;采用消音器来减小排气噪音;采用活塞式(涡轮式的气流噪声较大)发动机并进行仔细的平衡和隔振等。

鱼雷的推进功率按航速的三次方成比例地增长,在航速一定时,鱼雷的航程则决定于鱼雷自身携带的能量储备。在燃料储备容积和发动机质量与外形尺寸大体不变的条件下,要进一步增大鱼雷的航速和航程就需在技术上突破,例如采用新的高能燃料和新型结构的发动机等。鱼雷在航行中所消耗的推进功总和,是同鱼雷的航程与航速平方的乘积成比例。这个乘积称为鱼雷航行质量指标,其数值的大小综合地表示了鱼雷动力推进系统在质上的进步和量上的优化。

三、鱼雷动力装置的发展过程

鱼雷是随着科技进步而不断向前发展的,其动力装置在技术上是经过了几次质的飞跃才发展到现代这样水平的。现在来回顾一下它的发展过程以期从中得到启迪。

最初的鱼雷动力装置是直接利用压缩空气作工质,并采用“V”型双缸活塞式冷气机。这类

冷动力装置虽只利用了工质的位能,但它一直用到 20 世纪初,使用期达 40 年之久。在这期间为了满足提高鱼雷航速与航程的要求,曾采取了增大气舱容积,提高充气压强和发展星形多缸发动机的方法。

鱼雷动力装置在 20 世纪初跃进了一步。因为发明了加热器,压缩空气就可在加热器中与煤油或酒精燃烧生成的燃气混合而加热,然后再进入发动机工作。这种动力装置已是采用多组元燃料的热动力装置了,由于它所利用的能源不单是压缩空气的位能,而且还有燃料的化学能,能源储备量易于增大,所以就使鱼雷的航速和航程有了很大的提高。但是由于工质温度受材料高温强度的限制,压缩空气中的氧气未能充分利用,后来又发明了向加热器中喷淡水降低燃气温度,以充分利用压缩空气进行完全燃烧的方法,从此鱼雷动力装置中的能源便转向化学能了。喷入的淡水量一般比燃烧剂的大,因为在工质中的水蒸汽成分大,所以把这种鱼雷称为蒸汽瓦斯(燃气)鱼雷。第二次世界大战中使用的主要是这种鱼雷。

在蒸汽瓦斯鱼雷上,压缩空气占去了它的大部分体积,而氧气又只占其中的四分之一,鱼雷内的有限空间未能有效地利用,另外压缩空气中的氮气还使鱼雷产生航迹。因此,第一次世界大战后,各国对鱼雷燃料进行了许多研究,采用纯氧或过氧化氢作为氧化剂、萘烷或联氨作为燃烧剂的鱼雷首先由日本和德国制成,其中的氧气鱼雷在航速 48 kn 时航程接近 20 km。这种发展实际上是以增大鱼雷燃料的能量储备密度来提高鱼雷的性能,鱼雷燃料从此开始向液体单组元或多组元方向发展。第二次世界大战后,各国沿着这个方向发展了许多型号的热动力鱼雷,例如苏联的“53—56”氧气鱼雷、“53—57”过氧化氢鱼雷,美国的 MK16、MK17 过氧化氢鱼雷等。

使用单组元燃料的动力装置的主要优点是燃料的输送和调节简便,便于鱼雷小型化。以过氧化氢为基础的单组元燃料虽然早已研究,但这种燃料有着易于发生自燃和爆炸的危险,因而需要另寻新的燃料。美国在 50 年代研究了由液态硝酸酯、钝感剂和稀释剂等三种成分混合而成的奥托(OTTO)燃料系列,其中尤以奥托—Ⅱ 为佳,这种单组元燃料的能量密度较高,蒸气压低,适于长期储存,对冲击不敏感,而且无毒,是一种性能比较好的燃料。美国在 60 年代和 70 年代中新装备部队的小型 and 大型反潜鱼雷 MK46 和 MK48 都是使用这种燃料。我国也已研制成功这种燃料并用于新研制的各型鱼雷上。奥托燃料的缺点是燃烧生成物中有不溶于水的成分而使鱼雷产生航迹,另外它的能量还不够高,因此国外仍在研究新的燃料,有希望的如 HAP 燃料和锂—六氟化硫燃料等。

在 60 年代以前,热动力鱼雷主要用于攻击水面舰艇,鱼雷的航速在 50 kn 以内,发动机功率不超过 367.6 kW。除汽油机外,陆上用的各种发动机都有发展的余地,各国则根据自己的优势而采用其中的一种发动机。例如苏联采用纵卧双缸往复式活塞发动机;英国和日本采用星形多缸活塞式发动机;美国采用涡轮机,德国也以涡轮机为主。二次大战结束以后各国都十分重视发展反潜鱼雷,而电力装置由于其结构简单、无航迹、低噪音、航深对发动机功率不产生影响等优点,很适于自导反潜鱼雷采用,因而得到了较大的发展。电雷上的电池最先是采用铅酸蓄电池,50 年代研制成功了能量储备比铅电池高五倍左右的银锌蓄电池,60 年代采用了比银锌电池高一倍的银镁海水激活电池,70 年代末又出现了锂电池,使电雷的能量储备接近了热动力鱼雷的水平。但是电力技术在 50 年代末还很难满足反潜鱼雷在航速和航程方面不断提高的要求,于是开展了反潜鱼雷使用热动力装置的研究,美国 MK46 和 MK48 热动力反潜鱼雷的出现标志着在这方面已取得了相当的成就。在大深度反潜鱼雷上,已有的各型热力发动机

均因承受不了大背压排气和高压高温进气的影响被全部淘汰了,而活塞呈筒形布置以便采用结构简单可靠的转阀配气的新机型则发展起来了。这类新机型的优点是便于在鱼雷上布置,结构十分紧凑,能够进行同心双轴输出而直接驱动鱼雷的前后螺旋桨,发动机易于完全平衡,而且振动和噪音较小。按工作机构的不同,它可分为筒型活塞式凸轮机和筒型活塞式周转斜盘机等两种型式,前一种机型对小型鱼雷较为适用。根据目前情况来看,使用单组元燃料和筒型发动机的动力装置在近期内将是鱼雷热动力装置的主要发展形式。

由上述可见,鱼雷动力装置的发展是随着对鱼雷战术性能要求的提高而向前发展,主要采取的途径是:增大能量储备,使用能量高和安全性好的新燃料;提高功率和效率,使用高压进气,发展结构简单质量又小的新型发动机;提高可靠性和适用性,研制和发展适合鱼雷特点与要求的辅机以及启动、燃烧的器件与功率调节的装置等。在技术上现代鱼雷动力装置已达到了相当高的水平,但由于反潜鱼雷的作战深度还需要进一步增大,各国又在研究适于大深度(1 km 以上)工作的鱼雷动力装置,如闭式循环的热动力装置和高容量电池的电力装置等。就是说,鱼雷动力装置还在向前发展。

我国的鱼雷科技工作者在自力更生的方针指引下,从 50 年代末开始研制鱼雷,生产出了我国自己的蒸汽瓦斯鱼雷和电动自导鱼雷。进入 70 年代后开始了新型热动力自导鱼雷的研制,首先生产出了同美国奥托-1 相当的单组元燃料。于 80 年代中期研制成了大深度反潜热动力小型自导鱼雷,又于末期开始了大深度反潜热动力大型自导鱼雷的研制。这两种热动力鱼雷的研制标志着我国的鱼雷技术同世界先进水平已在接近。

四、鱼雷热动力装置发展的方向

今后对鱼雷的要求仍然是快、远、准、狠、深等五个方面。因此鱼雷热动力装置将从保证鱼雷有更高的航速、更远的航程和在更大深度上航行等三个方面不断进行技术突破。从当前研究的动向来看,下述的几项值得注意:

(1) 采用奥托加高氯酸羟胺和水的混合燃料 同单组元奥托燃料相比,此种燃料的比能量要高 40%,且燃烧产物有 82% 能溶于水,其航迹很小。

(2) 采用锂-六氟化硫燃料和涡轮机 在 181℃ 时锂熔化为液体,液态锂同六氟化硫气体起反应,能生成大量的热。反应生成物为固态氟化锂和硫化锂。这两种产物的密度都大于液态锂,液态锂始终浮在生成物的上方,进入反应室内的六氟化硫气体与锂的接触面保持不变,所以整个反应过程中反应速率稳定不变。反应生成物的体积小于所消耗的锂,只有六氟化硫气体进入反应室而无反应物排出。

在反应室外绕上水管,反应生成热使管中的水变成高温高压的蒸气,它驱动涡轮机做功,做功后的废气经过雷体上的螺旋管冷凝器冷凝成水,再用高压泵将它送回反应室的水管中以便循环使用。这是一种闭式循环的动力装置,输出功率不受鱼雷航深的影响而且没有航迹。

(3) 采用斯特林发动机 斯特林发动机是一种回热式发动机也称热气机。它由加热器、回热器、冷却器及膨胀腔与压缩腔组成。工质为氦或氢气,在发动机内往复循环使用。加热工质的热源有两种。一种是利用锂与六氟化硫的反应热。另一种是柴油与液氧的组合,其燃烧生成热较高而且反应极为完善,产物只是水和二氧化碳,水可先分离出来,剩下的二氧化碳用压气机压成液态储在鱼雷内。

热气机的优点是热效率高,振动小,噪音低。

(4) 水下柴油机 采用人工鳃摄取海水中所含的氧气,作为柴油机的氧化剂。废气中的二氧化碳被压成液态或干冰储存在雷内。

(5) 金属液燃料加过氯酸羟胺 金属液燃料为碳氢化合物凝胶体中掺有金属粉末的悬胶液。金属液燃料与高氯酸羟胺的组合,其能量密度较高,为奥托-Ⅰ燃料的一倍多。

第二节 鱼雷热动力装置的组成和分类以及要求

一、热动力鱼雷的能供系统及动力装置的分类和组成

热动力鱼雷的能供系统及动力装置由燃料储备部分、燃料输送与调节部分、燃料分解、燃烧及点火部分(燃烧室)以及带冷却和滑油系统的发动机等组成。一般将有关燃料的贮存、输送与调节的组件总称为能供系统,而将燃烧室和发动机及其附件等称为动力装置。动力装置是鱼雷上最关键的一部分。

1、燃料储备部分

鱼雷热动力装置所用的燃料,就在常温下的状态来说有固、液、气三态的燃料,而按组分来说有单组元、双组元和三组元燃料之分。使用固体燃料火箭发动机的鱼雷,其航速较高但航程很短。燃料组分中有气态成分的鱼雷,因能量储备有限,其航速与航程也满足不了当今的要求,现代热动力鱼雷都是使用液体燃料的鱼雷。一般用鱼雷的一段壳体作为燃料舱。燃料舱按燃料的组元数隔成相应数量的舱室,以分别储存燃料的每个组元。在大航深下,由于发动机要用高压进气才能保证合理的热效率,燃料须用泵吸式输送,所以燃料舱的内压小而外压大。较长的舱室通常需分隔成几部分,中间用隔板隔开(见图 1-1),以保证在鱼雷航行结束时能把燃料舱中的燃料抽吸干净,另外,也便于操雷以少装燃料的方法在发射后万一点火失败时能够上浮。

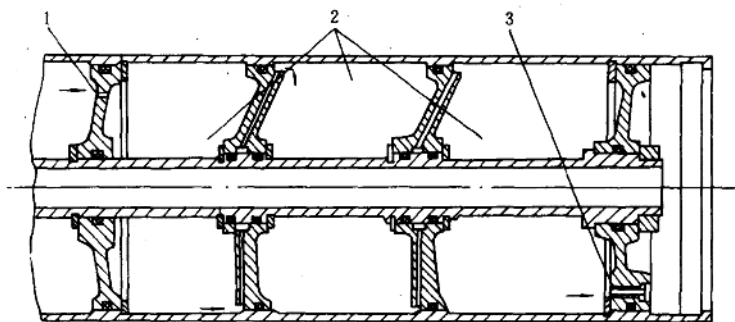


图 1-1 一种单组元燃料舱结构

1—二氧化碳气体进口； 2—燃料箱； 3—燃料出口。

2、燃料输送与调节部分

(1) 燃料的输送

液体燃料输送的可能方法有泵吸法和挤压法。挤压法(图 1-2)是用另一种物质(例如海水)来挤压燃料,而这种用来挤燃料的物质则用泵将其增压并送入燃料舱。此法能简化多组元

燃料的输送,但仅适用于进气压强不高的鱼雷。泵吸法是液体燃料鱼雷上主要使用的方法(图1-3),此法对多组元燃料无论在结构和调节上都会带来复杂性,但对于单组元燃料则较为简单适用。

此外,还有一种挤压与泵吸混合的燃料输送方法。其工作原理是将鱼雷航行时产生的海水动压引入燃料舱,挤压弹性袋内的燃料使之流向燃料泵入口,再由燃料泵增压送至燃烧室。

输送系统所使用的泵,对于高进气压强的动力装置主要是柱塞式斜盘泵,对于低进气压强的可以使用离心泵、齿轮泵或叶片泵等。

(2) 燃料的调节

为了保证鱼雷的航速稳定和高、低速制的变换,大深度反潜鱼雷一般都有调节与变速装置。这种装置的作用是调节流向燃烧室的燃料压强,而对于燃料流量,则不作严格的控制,以便适应磨损程度不同的发动机的需要。

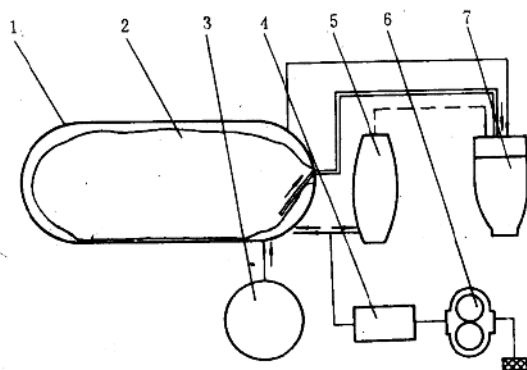


图 1-2 一种燃料挤压输送系统

- 1—氧化剂舱； 2—储过氧化氢用弹性袋；
3—启动用空气瓶； 4—减压阀；
5—燃油瓶； 6—海水泵； 7—燃烧室。

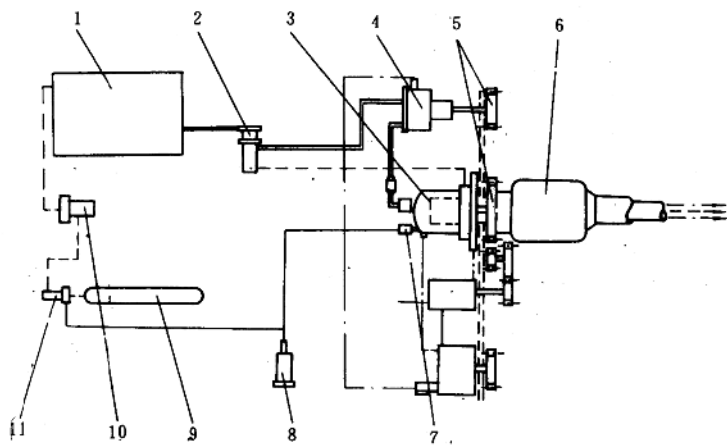


图 1-3 一种燃料泵吸输送系统

- 1—燃料箱； 2—阀； 3—燃烧室； 4—燃料泵； 5—传动齿轮； 6—发动机； 7—启动用的点火器；
8—海水电池； 9—代换燃料使燃料舱保持一定压强的二氧化碳储瓶； 10—减压器； 11—启动时打开的电爆阀。

调节的方法有开环调节和闭环调节两种。其中以开环调节的结构较为简单可靠,但其调节的精度较低,根据美国 MK46 鱼雷使用情况来看,在 800 m 深度以内这种装置还是可以满足鱼雷战术要求的。

开环调节大多以雷外海水压强用机械方法来调节燃料泵的出口压强,而闭式调节则大多根据发动机的转速用电控制的方法来调节燃料的压强和流量。

3. 燃料的分解、燃烧和点火部分(燃烧室)

现代鱼雷的点火装置由海水电池、电爆管和点火药组成。鱼雷入水后电池被引入的海水激活,从而引爆电爆管,使点火药燃烧并点燃启动药柱。启动药柱燃烧生成的燃气使发动机启动,当发动机达到一定转速时燃料进入燃烧室分解和燃烧,最后使发动机正常工作起来,这种点火装置的控制机构比较简单可靠(在老式鱼雷上,点火是用机械击发雷管的方法点燃点火药,使喷入燃烧室的燃料着火燃烧,为了保证鱼雷入水后可靠点火,专门设置了一套较为复杂的点火控制机构)。

燃料进入燃烧室时首先进行雾化,然后再分解和燃烧。燃烧室有固定式和旋转式两种。旋转式燃烧室同发动机的配气阀固结在一起,此种结构简化了配气阀前端的机械密封,并提高了可靠性。燃烧室需在高压(国外有达 35.1 MPa 的)和高温(1500 K 左右)下工作,这是为了保证发动机在高背压时仍有较高的效率。

4. 发动机部分

鱼雷上用过的主机有活塞式发动机、涡轮发动机和火箭发动机。

鱼雷活塞式发动机有外燃、内外燃两种。近代鱼雷均采用外燃机,即工质在发动机外的燃烧室中产生并供发动机工作。内外燃机是在外燃基础上还往气缸中喷射燃料使之燃烧。内外燃机虽有利于提高效率,但结构比较复杂,故未能发展。提高发动机的功率,可采用增多气缸数量的方法。气缸排列方式有星形排列、纵卧双缸排列和气缸呈筒形排列等。星形排列的活塞只一面工作,每缸需配置一套进、排气机构。纵卧排列的活塞可以是前、后两面都工作,采用一套配气机构给活塞的前、后两个缸配气。筒型发动机的活塞也是一面工作,但只用一个配气阀就能给各缸配气,它的配气机构比较简单,而且适于高压进气时采用,所以在大深度鱼雷上主要使用筒型发动机。

同其它机种比较起来,火箭发动机在水中使用的推进效率十分低,但它的结构简单,只在空投鱼雷上采用过。

涡轮机在鱼雷上曾得到比较多的应用。常用的型式是短叶片单级(喷管出来的气流只吹动叶轮一次)或复速级(两叶轮间有导向片,让第一级出来的气流再吹向第二级)冲动式涡轮或重入式涡轮(从喷管出来的气流经转向后进入第二级喷管并吹向叶轮)。为保证一定的效率,涡轮机的转速必须是几万转每分钟的高速,而为了避免螺旋桨产生空泡,中间必须用减速器联结。涡轮机在提高功率方面较活塞式发动机有更大的潜力,但在噪音和适应背压变化的能力方面则较差。因此,反潜鱼雷开放式循环的发动机主要是采用活塞式筒型发动机。但对于闭式循环,因背压较低而且恒定,涡轮机又比活塞式发动机优越得多。

二、对鱼雷热动力装置及能供系统的要求

鱼雷热动力装置及能供系统应尽可能满足以下诸项基本要求:

- (1) 要能满足鱼雷航速、航程、航深的要求;
- (2) 整套动力装置有尽可能高的效率和尽可能小的燃料消耗量;
- (3) 在鱼雷深度变化时发动机功率应基本不变,而且应根据需要进行高、低速制的相互变换;

(4) 动力装置的废气能溶解于海水,使鱼雷尽量不产生航迹;
 (5) 动力装置各部件的噪音要小,运动部件应很好平衡以便减小振动;
 (6) 动力装置应能长期储存和有耐腐蚀的能力,而且经过长期储存后还必须启动迅速和可靠;

(7) 动力装置应简单可靠,质量和外廓尺寸要小,强度要足够;

(8) 动力装置各部件应便于制造、维修,便于使用人员掌握和操作;

(9) 动力装置中所使用的燃料其能量比应高,安全性应好,成气性应大,燃烧产物的大部分应溶于水,此外还要无毒和无腐蚀性。

研究发展新型鱼雷热动力装置,就是要从技术上合理地解决上述基本要求。鱼雷热动力装置演化过程见表 1-1,以下各章将讲述鱼雷开式循环热动力装置的理论和基本的设计计算方法,以便为研究与设计打下基础。

表 1-1 热动力鱼雷性能演化表

年份	国别	型 号	航速 kn	航行质量指标 kn ² ·m	能 源	发动机类型
1866	奥匈	怀特黑德鱼雷	6	23040	压缩空气	V 型双缸往复式
1871	美	自动鱼雷	7	17934	压缩空气	V 型双缸往复式
1876	俄	1876 年式	20	146400	压缩空气	星型三缸往复式
1892	美	MK1	30	657000	压缩空气	星型三缸往复式
1897	俄	1897 年式	28	431200	压缩空气	星型三缸往复式
1904	美	MK5			酒精、空气	卧式复速级涡轮机
1905	俄	1905 年式	26	1352000	煤油、空气	星型四缸往复式
1910	俄	1910 年式	25	3125000	煤油、空气、淡水	星型四缸往复式
1912	俄	45-12	29.5	5221500	煤油、空气、淡水	卧式双缸无套往复式
1927	意		27.5	6050000	煤油、空气、淡水	卧式双缸往复式
	苏	53-27	44	7163200	煤油、空气、淡水	卧式双缸无套往复式
	英	MK4	40	7360000	煤油、空气、淡水	星型四缸往复式
	德	G7a	30	12600000	蔡烷、空气、淡水	星型四缸往复式
1933	日	93 式	48	41932800	蔡烷、液氧、海水	卧式双缸往复式
	日	93 式 2 型	40	40000000	蔡烷、液氧、海水	星型四缸往复式
1936	苏	45-36	39	6084000	煤油、空气、淡水	卧式双缸往复式
	美	MK13-2	39	5566860	酒精、空气、淡水	立式复速级涡轮机
	英	MK8	45.5	9523150	煤油、空气	四缸内外燃往复式
1937	意		39	12168000	煤油、空气、淡水	星型四缸往复式
1938	苏	53-38	34	11560000	煤油、空气、淡水	卧式双缸往复式
1939	苏	53-39	39.5	12482000	煤油、空气、淡水	卧式双缸往复式
	美	MK14-3A	46	8717920	酒精、空气、淡水	立式复速级涡轮机
	美	MK15	45	11117250	酒精、空气、淡水	立式复速级涡轮机
1942	意	“那坡利”	36	10368000	空气、淡水	双排并列八缸往复式
	德	G7u	45	11200000	蔡烷、过氧化氢、淡水	星型四缸往复式
	德	G7ut	42	12348000	蔡烷、过氧化氢、淡水	卧式单级涡轮机
	德	Stein Butt	40	16200000	蔡烷、过氧化氢、淡水	卧式单级涡轮机
	德	Stein Wal	40	44550000	蔡烷、过氧化氢、海水	卧式单级涡轮机
	德	LT-1200	40	1920000	蔡烷、过氧化氢	液体火箭发动机
	德	LT-1500	46	2720000	蔡烷、过氧化氢	液体火箭发动机
1943	美	MK23	46	8717920	酒精、空气、淡水	立式复速级涡轮机
	美	MK25	40	3664000	酒精、空气、淡水	立式复速级涡轮机

(续表)

年份	国别	型 号	航速 kn	航行质量指标 $\text{kn}^2 \cdot \text{m}$	能 源	发动机类型
1952	苏	PAT-52	68	2774400	双基缓燃固体火药	固体火箭发动机
1955	意	U-6				液体喷射发动机
1956	苏	53-56	40	20800000	煤油、氧气、淡水	卧式双缸往复机
1957	苏	53-57	45	36450000	煤油、过氧化氢、海水	卧式单级涡轮机
1965	美	MK46-0	45	10125000	高氯酸氨硝酸氨火药	
1966	美	MK46-1	45	20822062	奥托-I	凸轮式活塞发动机
1969	瑞典	TP61			酒精、过氧化氢、淡水	双排星型 12 缸往复机
1971	美	MK48-0			奥托-I	重入式涡轮机
1971	美	MK48-1	50	115000000	奥托 II	摆盘式活塞发动机

第二章 鱼雷燃料及燃烧室

第一节 鱼雷燃料

鱼雷热力发动机与各种热力发动机一样,主要是靠燃料的化学能作为能源。鱼雷燃料又称为鱼雷推进剂。燃料在鱼雷燃烧室中燃烧,将大量的热能释放出来,使得燃烧生成物能够作为发动机的工质。燃料中必须含有能进行燃烧的可燃烧元素和氧化元素。其中可燃烧元素是指能够和氧化剂发生作用并同时释放出大量热能的物质。

早期的鱼雷用冷气(高压气)驱动。直到1905年鱼雷才使用煤油和空气作为燃料,后来发展为用淡水作冷却剂,产生了蒸气瓦斯鱼雷,第二次世界大战前一直为各国所采用。战时除继续用煤油(或酒精)和空气作燃料外,还发展用高压氧气、液氧或过氧化氢作氧化剂,萘烷及肼(联氨)作燃烧剂,使鱼雷的速度和航程有了较大的提高。

60年代初,美国研制出能量参数适中,使用比较安全,可长期贮存的单组元液体燃料,即后来相继在MK46与MK48鱼雷上使用的、以硝酸酯为基的奥托-Ⅰ燃料(OTTO-Ⅰ)。近年来,英国对它作了改进,以奥托-Ⅰ、高氯酸羟胺和海水的混合物作为燃料,简称为HAP燃料。

油类和氧的燃烧都有着大量气态产物的排放问题,这就使得动力推进系统的效率和结构都要受到海水背压的影响,同时也使鱼雷产生航迹,因此寻找没有气态产物排放的燃料是提高热动力鱼雷性能的一项重要措施。经过人们多年研究,锂(Li)和六氟化硫(SF_6)有希望作为热动力鱼雷的新燃料,这种燃料的反应热值较高(46.8 MJ/kg),质量和体积能量密度均比较大(12.96 MJ/kg; 12.24 MJ/L),没有气体产物对外排放,反应后产物的体积比原来的锂的体积还稍有减小,可在一个封闭的系统中向载热工质传输热量。以这种燃料作为能源并采用闭式兰金(Rankine)循环的热动力推进系统,具有功率大、噪音小、不受海水背压影响和无航迹的优点,美国已将它用在MK50鱼雷上,我国在这方面也进行着试验研究。

一、对鱼雷燃料的要求

鱼雷燃料及其组元的某些性质,对鱼雷发动机的结构、工作效率和鱼雷航程有着决定性的影响。鱼雷发动机在使用高能燃料时,能使其单位质量功率有明显的增加。当功率和工作时间一定时,可减少燃料用量,从而减小燃料舱室容积和鱼雷的尺寸;在燃料舱室容积一定时,可达到更大的航程。为了保证鱼雷在深水下航行,并保证鱼雷武器不同类型装载体的安全,不是工程上可使用的燃料都能用在鱼雷上,应根据特定的使用要求和使鱼雷具有良好的性能来选择燃料。

(一) 单位质量及单位体积的燃料的热值应该尽可能高。燃料的热值是表示其特性的重要参数,热值可分为单位质量热值和单位体积热值。单位质量热值的本身决定了单位功率的燃料消耗量,因而也决定了能供系统的质量;单位体积的热值,则影响燃料舱室的尺寸。单位质量热值高的燃料,其单位体积热值不一定也高,设计时应依据实际情况而定。