

• 人物评传 •

钱令希院士与中国第一代核潜艇

Qian Lingxi and China's First Generation of Nuclear Submarines

王细荣 /WANG Xirong

(上海理工大学图书馆, 上海, 200093)
(Library of University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093)

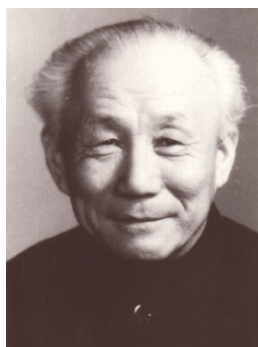
摘要: 钱令希于1955年被选聘为中国科学院学部委员, 是当代著名的工程力学家和教育家, 中国计算力学与结构优化设计的开拓者。2019年是中国海军建军70周年和钱令希院士辞世10周年。文章从09工程“下马”期间的相关研究、非常时期“潜水耐压锥柱结合壳的强度和稳定性”的研究、09工程办公室主任陈右铭的举荐、倾注心血的“726课题”等四个方面述说钱令希院士对中国核潜艇事业所做出的贡献, 指出他的这一业绩需永载史册, 应为后世所铭记和景仰。

关键词: 钱令希院士 核潜艇 09工程 潜艇结构设计规则

Abstract: Qian Lingxi was elected as a member of the Chinese Academy of Sciences in 1955. 2019 marks the 70th anniversary of the founding of the Chinese Navy as well as the 10th anniversary of his death. The article discusses Qian's contribution to the development of Chinese nuclear submarines from four aspects, including his relevant research during the suspending period of "Project 09", his studies on "the strength and stability of submersible pressure conical-cylindrical shell" during the "extraordinary period, the recommendation of Chen Youming, director of the "Project 09" office, and his devotion to "Project 726". The paper points out that Qian's achievements should be recorded in history and should be remembered and admired by later generations.

Key Words: Academician Qian Lingxi; Nuclear-powered submarine; "09" project; Design rules for submarine structures

中图分类号: N0 文献标识码: A DOI:10.15994/j.1000-0763.2019.00.000



钱令希

1959年6月15日-7月22日, 研究海军装备建设方针的中国人民解放军海军党委一届六次全会在大连举行。其间, 应海军副政委苏振华之邀, 中科院学部委员钱学森、钱令希到会讲授导弹、力学等现代科学知识, 分析核动力和导弹武器出现后海上作战前景。^[1]之后, 钱令希受命, 带领他的研究团队, 参与了中国第一代

核潜艇壳体结构设计等方面的研究工作, 为中国核潜艇事业做出了重要贡献。

一、09工程下马期间的相关研究

1958年6月, 国务院副总理聂荣臻元帅向党中央呈报的238号密件《关于开展研制导弹原子潜艇的报告》, 开启了中国核潜艇的研制之路。核潜艇的研制代号开始为“07”, 1960年1月改为“09”, 后称为09工程。在随后的几年, 09工程取得了一些进展, 但在60年代初的经济困难时期, 被迫暂

基金项目: 中国科协老科学家学术成长资料采集工程项目“钱令希学术成长资料采集”(项目编号: CJGC2017-K-Q-SH01)。

收稿日期: 2019年6月10日

作者简介: 王细荣(1968-)男, 湖南衡阳人, 上海理工大学图书馆信息部主任, 研究方向为中国近现代科技史、编辑出版学、图书情报学。Email: wxr272@163.com

缓（习惯上称“下马”），不过党中央还是批准保留一些核潜艇研究技术力量，继续从事一些关键项目的理论研究和科学实验。其中1961年6月组建的隶属于国防科学技术委员会、由海军具体管理的舰艇研究院（次年1月正式列入军队编制，番号国防部第七研究院，简称“七院”）就是“下马”时期核潜艇的主要研究基地。

早在1960年，苏联全部撤走在中国的专家，带走重要设备、材料和关键资料。这样，海军无法按中苏1959年2月4日达成的《二四协定》生产计划中的舰艇，不得不集中国内技术力量，优先解决这项生产中的技术难点。当时，七院要编制一个常规潜艇设计规范，请几所高等院校参加。在报请国防科工委批准后，给钱令希领衔的大连工学院（1988年改名为大连理工大学，以下均简称“大工”）研究组下达了“结合壳的稳定计算”的科研任务。壳体由于有曲率，较之杆、梁、板更难分析，壳开孔比板开孔更难计算。下达任务时，七院的技术人员给了钱令希一本之前苏联编制的规范，供他参考。钱令希认为关于结合壳稳定计算的内容陈旧，十分粗糙，没有参考价值，必须从理论研究入手，用实验验证。^[2]

钱令希和他的助手们对于圆柱壳开圆孔、椭圆孔和多开孔等困难问题，运用虚宗量的Bessel函数、Hankel函数等特殊函数进行了分析，取得一系列近似解析解。在壳体稳定计算方面，针对实际应用性很强的锥-柱结合壳，应用壳体的半无矩理论，在再结合边附近运用边界效应理论，然后利用最小势能原理，解决了结合壳的稳定分析问题。

钱令希和助手们通过研究给出相应的理论和算法，发表了一系列论文，其中第一篇论文是他撰写的、1962年6月发表在《力学学报》上的《关于壳体的极限承载能力》。^[3]该文采用能量法，结合壳体工作的特点，企图能够在一定程度上扩大研究壳体极限承载能力的范围。1962年10月，钱令希在西安举行的“中国力学学会板壳理论学术讨论会”上宣读了论文《圆锥壳极限承载能力的实验和计算》，该文后发表在《大连工学院学报》1963年第1期^[4]、《力学学报》1963年第2期。^[5]该文用理论计算和模型实验相结合的方法，研究了圆锥壳的极限承载能力。接着钱令希与周承侗、云大真又完成“结合壳极限承载能力的实验和计算”的研究，据此先后完成了两篇论文：《截锥对

称结合壳极限承载能力的实验和计算》^[6]和《锥筒结合壳极限承载能力的实验和计算》^[7]（载《大连工学院学报》1964年第1期）。

20世纪40年代末以来，钱令希对能量理论的兴趣一直是很浓厚的，上述壳体极限承载能力的论文，就是利用能量原理的概念和方法解决的。方法虽然实用，但他并不满足，他要把方法推向更一般化，具体成果就是他与钟万勰（1993年当选为中国科学院学部委员/院士）合撰的论文《论固体力学中的极限分析并建议一个一般变分原理》。1963年8月，该文在中国力学学会和大连工学院共同在大连举行的全国第一次“极限分析及塑性理论学术讨论会”上宣读，后于1963年12月在《力学学报》第6卷第4期上刊发。^[8]在文中，他们以假设的速度场和应力场彼此独立取变分，结果满足极限分析的全部方程，包括材料的塑性屈服条件，并给出了介于上限与下限承载能力之间的近似解。

之后，钱令希领衔的项目组又成功地解决了潜艇设计上的几个疑难问题，并据此发表几篇论文，如与钟万勰合撰、1964年6月发表的《以薄膜理论为基础的锥壳极限分析》，^[9]、^[10]以“大连工学院固体力学研究室”为署名发表在《大连工学院学报》1965年第3、4期合刊上的《圆柱壳开孔问题——单圆孔基本解》。^[11]20世纪80年代，主持编制了我国第一部《潜艇结构设计计算规则》的船舶结构力学专家徐秉汉（1997年当选为中国工程院院士）等对《圆柱壳开孔问题——单圆孔基本解》一文给予了高度的评价。他们说：

“为导出圆柱壳开圆孔问题的解，国内外众多的研究者做了许多有意义的工作……分析国内外业已发表的著作，作者认为我国著名力学家钱令希教授对圆柱壳开圆孔问题所作的工作更为详尽与系统。”^[12]

二、非常时期“潜水耐压锥柱结合壳的强度和稳定性”的研究

1965年8月15日，中央专委召开第十三次会议，宣告09工程重新上马，并明确核潜艇研制分两步走：“第一步先研制反潜鱼雷核潜艇，于1972年下水试航，第二步再搞弹道导弹核潜艇。”弹道导弹核潜艇，简单地说，相当于在鱼雷核潜艇上加一个容积和尺度都较大的导弹舱，而且其导弹发射

筒有双排大开孔的导弹舱结构,这就构成了结构力学分析的复杂性和装焊工艺的难度。^[13]

在核潜艇的研制过程中,会遇到一系列的技术困难。由于此前我国只是按照苏联的设计资料和提供的设备,仿制了几型苏联转让的常规潜艇,没有自己设计过潜艇,更别说核潜艇了。当时缺乏潜艇设计的标准和规范,一切都要靠自己摸索解决。潜艇耐压壳体的设计,特别是潜艇耐压壳体锥柱结合壳的稳定性设计计算也没有标准,也就是说无法判断所设计的耐压壳体在潜艇下潜到极限深度时是否能保证艇的安全,如果锥柱结合壳体失去稳定性,将会造成艇毁人亡的大事故。这个问题对弹道导弹核潜艇更为重要,因为导弹舱的耐压壳直径要比其他舱室大很多,其过渡段的锥柱结合壳体的角度更大,对稳定性的影响更大。这是涉及潜艇下潜安全的大问题。这时钱令希带领的大工团队勇敢地接受“潜水耐压锥柱结合壳的强度和稳定性”的研究任务。钱令希特别郑重地传达了任务,并成立了理论与实验两个研究组,任命钟万勰为理论和计算组组长,并且指示要用变分直接法进行探讨;而实验组由王希智负责。不久,钟万勰首先在理论与计算方面实现了突破。他找到了锥柱壳结合体失稳的不利形式,实验组也验证了该理论的结果。^[14]

就在该项研究课题有重大进展的时候,文化大革命开始了。钱令希被“造反派”当作批判资产阶级“反动学术权威”的头号靶子,关进大工西山学生宿舍区的“牛棚”。批判者找不出他的“反动”证据,便将他领导的研究组与另一位老师担纲的研究组所做的研究工作拿出来说事儿,讥讽为一个搞“壳上开孔”,一个搞“孔开在壳上”,试图以此来说明科学研究者之间存在“文人相轻”现象。^[15]

1967年夏天,造反派突然“杀向社会”,大工校园内顿时宁静下来。钱令希立即抓住这个“可趁之机”,马上来到办公室。他的两个主要合作者钟万勰、裘春航也不约而同地来找他。于是钱令希领着这两位年轻人,马上摊开了几年来积累起来的资料,认真地分析和整理起来。在苦战一个酷暑后,8月23日,他们终于写好了十几份研究报告,捆扎好。由于钱令希没有行动自由,就悄悄地交给大工组织部的一位姓姜的干事,寄了出

去。他还把应该保留的资料,寄存在那位干事的家里。就在研究报告寄出的第二天,大连市发生了大武斗,那些造反派杀了回来,钱令希的办公室和实验室又被贴上了一道道大封条。钱令希后来跟09工程办公室主任陈右铭讲起此事时说:“此乃天意!此乃天意呀!”这些研究成果终于保存下来了。([2], p.186) 对此,钟万勰后来回忆道:

“沿着该方向开展理论分析,我很快就找到了壳体失稳的不利形式;实验组也验证了该理论结果。当时我们的办公室在二楼,而钱先生的办公室在三楼。在我获得该成果的那一天,我兴奋得两步并作一步赶上楼去向钱先生汇报。钱先生也非常高兴,连说:‘交卷了,交卷了!’循科研惯例,我们写出了研究报告并由同事借助手编程序在一台真空管式电子计算机上算出了数值结果。当时已到了1966年,很快就开始了文化大革命,各级领导忽然在短期内纷纷倒台。在一片‘造反有理’的声浪中,我们也被搞得晕头转向,甚至于屡受冲击,无法继续工作。有道是‘天生丽质难自弃’。很快,钱先生和我不管外面吵闹,顶住压力,又不约而同地来到办公室继续将成果尽我们的可能初步整理了出来。”^[16]

武斗后,钱令希又被造反派“控制起来”,但想到还有一些草稿藏在自己家中书架与墙壁的夹缝中。因为当时任何一个组织都可以随便抄家,钱令希恐怕有人再抄家时把这些草稿抄走,所以着急,于是便把这个事情告诉“支左”的解放军。解放军立即找到一个军人家庭出身,与钱令希一家较熟的大工女学生孟淑华(1970年毕业后留校),要她去枫林街钱令希家把这些草稿取出来,以防他们所从事的国防相关研究材料泄密。为避免武斗升级而引起误会,解放军一律便装,用军车护送孟淑华去枫林街钱家。为防止意外,军车还不能停在钱令希家门口。孟淑华只能在其附近下车,然后步行去钱家。她按照解放军的吩咐取出材料后,直接将其交给了解放军,并随着军车返回学校。武斗平息后,钱令希获得了相对的自由,解放军又把这些草稿还给了他。^①钱令希身处逆境,仍不忘这些研究计算时留下来的草稿,其国防保密意识之强可见一斑。

①据孟淑华于2019年5月9日接受笔者采访的谈话。

钱令希设法保存下来的这些研究报告，还有好多问题需要进一步探讨。但是，不久钟万勰被打成了“现行反革命”，关进了“牛棚”，罪名是他曾散布过一个“小道消息”；钱令希也受到牵连，被挂黑牌，不断地被批斗。但是，他们并没有完全退出科学阵地。对此，《光明日报》于1979年1月30日刊载的《“伯乐”和“千里马”之间》中写道：

“钟万勰在被监禁的小屋里，背着‘现行反革命’沉重包袱，却在进行着另一种方式的顽强战斗。他没有纸，没有笔，没有参考书，也没有资料，只是用唯一可以自由支配的大脑向科学高峰继续攀登。在长期的力学研究当中，钟万勰锻炼出了一种很强的记忆力。他的大脑简直像一台精度很高的电影放映机，多年来的研究工作都可以像一部的影片，随时重新放映出来。三年前，他找到了那个壳体的不利形式，现在，能否找到一种比较好的有利形式呢？他在大脑中一边放着电影，一边进行着理论推导。这个监禁‘罪人’的小屋就成了他的工作室。不久，他弄到了一些纸张，高兴得了不得，就更加勤奋地计算和书写起来。就这样，被监禁近一年，钟万勰写出了一篇题为《腰鼓形壳体的稳定性问题》的论文。”^[17]

1968年9月，这时候对钟万勰的“监管”不那么严了。一天，在大工校园的路上，钱令希收到钟万勰偷偷塞给他的这篇论文稿纸条，回去后阅读，发现核潜艇核心难题已经被钟万勰攻破了。关于核潜艇的相关研究工作，钱令希在1970年的《工作汇报》中回忆说：

“09（核潜艇）工程的耐压壳研究中，1962-1965年我和工学院同志建立了圆柱壳大开孔的理论计算方法。从国外美、苏、英文献上看，他们也在研究这问题，尚未成熟。我们的研究结论制成系列的图表之后，可为国防和民用工程服务。”^[18]

三、“09工程”办公室主任陈右铭的举荐

1963年8月，后来被誉为“核潜元勋”“核潜艇工程的‘前沿指挥官’”、时任海军鱼雷快艇十六支队支队长陈右铭调任七院701研究所所长。陈右铭1922年5月出生于湖北省武昌县一个贫苦

的农民家庭。1938年，他参加中国共产党领导的“乡村抗日促进会”和武昌地区的抗日游击队。中华人民共和国成立后，陈右铭于1950年4月任湖北军区独立团团团长兼长湖剿匪指挥部指挥长、中共长湖工作委员会书记，1952年1月任第二一二师第六三五团团团长，同年7月随团整编进入海军，任西营基地筹建指挥部副指挥长、中南海军西营快艇大队大队长，1953年7月任第十一独立快艇大队大队长。1955年10月，任鱼雷快艇十六支队支队长。陈右铭虽行伍出身，但好学上进，崇尚科技。1958年2月27日，《人民海军》报刊发表长篇报道《乘风破浪万里浪，向海军科学技术进军》，专门介绍陈右铭“苦学五年，外行变内行”的事迹。《人民海军》在发表上述报道时，还以陈右铭为典型，发表了题为“快马加鞭，向海军科学技术进军”的社论，号召海军广大官兵向其学习。^[19]钱令希由于承担七院下达的相关潜艇研究项目，因工作关系与陈右铭相识。后来，同陈右铭的接触逐渐增多，钱令希不但了解到只上过私塾的陈右铭，不仅知识渊博，而且还有其它许多优点：反应灵敏、考虑周密、尊重人才、决策果断。因此，钱令希对陈右铭又是敬佩，又是尊重，后来成为终生的朋友。

1966年10月，陈右铭由701所所长调到七院分管科研工作，同时兼任09工程办公室主任。其间，陈右铭有意请钱令希出马，让他参加审查核潜艇的结构设计工作。陈右铭之所以想到钱令希，不仅因为陈右铭任701所所长期间，曾请教过他有关舰艇结构设计问题，更因为他曾帮助七院解决了海军装备的几个疑难问题。

09工程办公室的王德宝、仇世民参谋对陈右铭说：“请钱教授审查结构设计当然好，但他正被作为‘反动学术权威’遭到批斗，恐怕不行。”在当时的条件下，要想请一位“反动权威”来参加绝密级的核潜艇工程，谁能做主呢！陈右铭想到了周总理。陈右铭利用向总理汇报工作的机会，提出请钱令希参加审查核潜艇结构，并请他参加编写潜艇结构设计规范。总理听后当即指示：你可以请他参加工作，但不要调他，他留在学校当教授培养干部作用更大。（[2]，p.180）

从此，钱令希在那个自身难保的非常年代，得以继续参加核潜艇这项绝密的军事工程项目。其间，钱令希曾亲自从大连来到位于辽宁锦西葫

芦岛望海寺,当时负责第一艘核潜艇总体设计方案的七院719所就设在这里。从锦西到望海寺有30多里路程,钱令希穿着一件棉大衣,搭乘一辆大卡车来到719所,向潜艇结构设计人员详细了解设计情况和遇到的困难,探讨了耐压壳体直径变化可能的范围。该所的一位结构设计人员还向钱令希请教了潜艇主机基座设计中遇到的共振问题。因为他在计算主机基座的自振频率时恰好和主机的某一转速相同,害怕将来主机转动时会产生共振,影响主机的安全并产生过大的噪音。钱令希经分析后,认为问题不大,因为这一转速不是主机的主要转速,是过渡性的,因此不会影响主机的安全。后来经过在实艇上的测试,证明钱令希的判断完全正确。^[5]对此,他的女儿钱唐后来在纪念父亲百年冥诞的文章中写道:

“‘文革’初期,核潜艇研制完全陷入了瘫痪。为此,09工程(即核潜艇工程)办公室主任陈右铭来大连,传达了周总理点名父亲参加这项工程的指示。记得一个寒冷的冬天,收到父亲的来信,我向生产队请了假(当时钱唐是作为知青插队落户在辽宁北票县——编者注),坐火车到了葫芦岛,亲眼看到父亲带领团队夜以继日、呕心沥血地工作。父亲不仅解决了技术难题,而且还和团队研究计算出了我国第一代核潜艇关键技术数据,完成了潜艇结构的强度计算规则。此成果后来纳入国家设计规范,以这些成果写成的一篇题为‘潜水耐压的锥柱结合壳的强度和稳定性’的学术论文,也获得了国家自然科学奖。”^[20]

陈右铭还推荐钱令希成功解决我国第一艘核潜艇的一个核动力装置问题。1970年夏,哈尔滨电机厂和沈阳水泵厂设计制造出第一台用于第一艘核潜艇的〇九主泵样机。但在进行主泵样机试验时,出现了泄漏现象。为了消除这种泄漏现象,厂家的工程师们连续奋战了七个昼夜,方案提了一个又一个,试验进行了一次又一次,都没有成功。为此,中国科学院学部委员、第一机械工业部沈鸿副部长,核动力装置系统总设计师彭士禄都亲自去了沈阳水泵厂,但对主泵专门防止冷却水外泄用的屏蔽套出现皱纹的原因均下不了结论、拍不了板,只好另请专家来鉴定。彭士禄挂通北京陈右铭的电话。

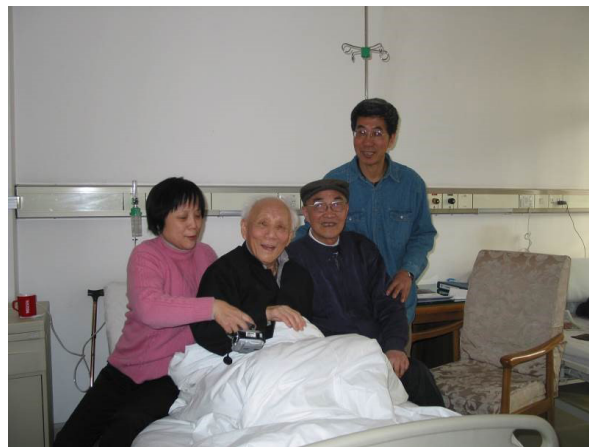


图1 2005年2月23日,陈右铭到北京海军总医院探望住院的钱令希(左起:钱唐、钱令希、陈右铭、隋允康,隋允康提供)

陈右铭曾任七院701所所长,当时是七院分管科研工作的副院长、09工程领导小组成员兼办公室主任和造船领导小组办公室第一副主任。因此,陈右铭对屏蔽套的作用和要求是熟悉的。它的厚度很薄,究竟可靠不可靠,不弄清楚,谁也放心不下。自己当然不懂,只有另请高明。请哪位专家去鉴定呢?陈右铭这些年的经历,接触各种专家的机会多,结识了不少著名专家。他想,鉴定屏蔽套,要从结构力学入手。因此,应该请一位对结构力学有造诣的专家,于是,陈右铭向他们推荐了老朋友钱令希教授,并亲赴大工找钱令希。老朋友相见,几句寒暄之后,陈右铭便告诉他之行的目的。钱令希告诉陈右铭说,“造反派”很快就要向他采取新的行动:在图书馆搞了一个什么展览,列了许多罪状,还画了丑化钱令希的漫画,并已通知他,就在今天下午要他自己去当解说员。陈右铭又同钱令希交谈了几句,转身就往军管会走去。陈右铭一见到军管会主任后就传达了周总理的指示,然后提出:“把钱令希的办公室让出来,给他一个保险柜,装核潜艇的研究资料,让他继续搞研究工作。谁要是抄了他的资料,干扰了他的研究工作,是要追究责任的!”军管会主任说:“你对我说,我相信,可是我怎么向群众说呢?你最好给我一个文件或书信。”陈右铭回答:“我来得很匆忙,没有想到写信,你可以把我的话向群众传达,错了I负责。”这时,陈右铭又想起周总理曾经同意他请钱令希参加审查核潜艇结构和编写潜艇结构设计规范的事情,便补充说:“他们如果不相信,可以直接打电话问总理办公室。”最后,

军管会同意陈右铭的要求放人。钱令希一接到通知，立即收拾行李，就登上了去沈阳的列车。钱令希一到达沈阳就立即参加了攻关小组，跟沈阳水泵厂和哈尔滨电机厂的技术人员和工人在一起奋战，来回于哈尔滨和沈阳两地，常常工作到深夜，最后才弄清了皱纹产生的原因，采取了必要的措施，把问题解决了。（[2]，pp.178-189）为此，哈尔滨电机厂革命委员高度评价了钱令希的此举，还给大工发去一封感谢信，信中写道：“你单位钱令希同志在参加攻关组解决我厂生产的一项军品技术关键中……弄清了问题，查明了原因，对今后我厂生产和改进设计提供了经验。为此我厂对你单位的大力协同精神表示感谢。并望你单位对钱令希同志予以表扬。”^[21]

1970年12月26日，中国第一艘核潜艇胜利下水，成为继美、苏、英、法后，世界上第五个拥有核潜艇的国家。1971年，钱令希又帮助09工程某研究小组进行第一艘核潜艇声呐罩（壳体）的受力计算。研究小组根据中央专委的要求提出一个课题：在水下一定深度，潜艇航速 $\times\times$ 节、水流速 $\times\times$ 节、在正前方 $\times\times$ 距离，有M当量核弹爆炸时的声呐罩（壳体）受力计算。当时，钱令希欣然接受七院760试验场主任姜明九和参加该项目的邹丕盛的受力计算邀请。对此，邹丕盛后来回忆说：“那时我们小组下达科研费100万RMB（陈雁生科长做的预算）。他穿着一件褪色的蓝棉袄，后穿一件褪色的黄条绒上衣，与我们一起去旅顺登爬过潜艇，去小平岛考察过潜艇，去大连港码头登过水面试验舰艇，去4180厂与我们一起糊制声呐罩，在760试验场观看指导我们码头试验。先后三个多月连轴转，用两周时间给我们一份共7页纸潜艇壳体受力计算。帮助我们工作过程中，还带领我们一起去帮助农村建立水库堤坝的计算，去大连造船厂讲解水面舰船受力估算……实验后特向国务院‘09’办作了汇报，大家的心才落下来……他的计算为第一代核潜艇、导弹驱逐舰、远洋考察船、航天器、深潜器……计算奠定了基础，可导出这种物体受力在海水介质中、空气介质中、真空中受力计算的思路和方法……为工程结构优化开拓了光辉之路。”^[22]

四、倾注心血的“726课题”

1970年7月，钱令希成功地解决核潜艇主循环

水泵电机屏蔽套鼓泡破裂而泄露的问题，以及哈尔滨电机厂为此而发来的感谢信，也许是在“文革”期间彻底“解放”的转机，并于当年成为大工“三结合”中革命的知识分子代表。这样，他便可全力继续09工程的相关课题研究了。



图2 1972年10月，钱令希在指导726课题组部分成员（左起：曹富新、朱菊芬、钱令希、周承芳、邓可顺、陈浩然，邓可顺提供）

1972年6月，由七院702所牵头、国内10多家研究单位参与的编制我国潜艇结构设计规则课题（简称726课题）启动，钱令希指导的大工研究组负责圆锥壳和锥柱结合壳这两章的规则编制和相应的研究工作。钟万勰因为政治问题不再参与其研究。于是，钱令希指导邓可顺、陈浩然等研究组成员，在钟万勰、裘春航等之前有关核潜艇研究的基础上开始工作。钱令希对此项课题，倾注了大量心血，甚至为规则的按时完成，还亲自起草规则的条文初稿。对此，邓可顺回忆道：

“1975年726课题苏州会议决定，年底课题各参加单位要完成各自负责章节规则条文初稿。起初系里决定派组内一位老师10月份去无锡702所参加编写初稿工作，后因身体原因没去成。钱先生始终牵挂着这件事。726课题由国内10多家研究单位参与，相互之间关系密切，各单位不能低头看路，自己编写自己所承担的章节。潜艇耐压壳主要是由圆柱壳、圆锥壳和锥柱壳等组成的整体，按分工，圆柱壳舱段规则编写单位是702所，后两部分的编写由大工完成。为了叙述方便，不妨暂时将这三部分的标题定为第一章圆柱壳、第二章圆锥壳和第三章锥柱结合壳。其中第一章将给出整本规则条文编写的基调，第二章和第三章和它的关联尤其密切。包括编写

章节的标题、内容、格式、公式编号、验算标准等都要统一步调,还有一些其他章节也需引用的一些图和表等。因此第一章的初稿很关键。但当时我们没有收到第一章的初稿,怎么办?工作紧迫,钱先生就说,‘我们先把架子搭起来,看还缺什么,再补做工作。’为此,11月下旬,他组织我们展开条文编写工作,并亲手撰写了这三章的条文初稿,其中第一章不是我们承担的工作,但没有它,第二、三章的初稿就没法下笔。钱先生再三强调,不坚持我们的意见,仅供702所同行参考,正式的还是要用702所的初稿。”^[23]

1975年11月底,钱令希起草的《潜艇结构设计计算规则》第一至第三章的条文建议初稿得以完成。

为了编写正式的第一至第三章的条文,钱令希与邓可顺还有一趟“北京-无锡”之行。1975年12月3日,他们从大连出发,次日抵达北京。当天,他们就去了七院找武杰研究员进行沟通。第二天,七院副院长、09工程办公室主任陈右铭接见了他们,并派武杰和他们一起去无锡与702所协调工作。之后几天,他们和武杰讨论钱令希撰写的建议初稿。12月11日,他们抵达无锡702所,在武杰的参与下开展工作。702所的参加人员有:徐秉汉室主任、侯维廉科长、王作玉、童华兴、李传唐等。钱令希始终以普通一员的身份参与其中。白天对规则的条文细节、验算公式、验算标准以及说明部分等进行了深入细微的讨论和争论,晚上他们就改写大工负责的两章条文。经过三天的紧张工作,进展顺利。大家达成共识,他们这次先拿出一个讨论稿,送各承担任务的单位参照写出自己的初稿,限期交到702所,由702所汇总后开会初审。初步定于1976年4-5月召开《潜艇结构设计计算规则》第一次审查会。钱令希他们这次“北京-无锡”之行,对规则的编写进程起到了一定的促进作用。

1975年底,该项课题基本完成,1979年又进行修改。该项课题取得的主要研究成果为:(1)建立了均匀外压作用下加肋锥柱结合壳总体弹性稳定性分析理论和计算方法及其电子计算机程序;(2)对于凹式结合壳,在理论上发现了一种不利的几何形式。模型实验证实凹式结合壳的总体尺寸如果符合这个不利形式,临界压力将显著降低,

设计中应予避免。这个关于结合壳不利形式的理论问题有其重要的实际意义,在此之前国内外还没有被研究和发现过。(3)对于微凸的柱形壳体,建立了半弯矩理论的稳定性,然后转化为一个变分问题,求得了最优外形,可以提高耐压能力。(4)用塑性极限分析的理论和实验验证,建立了结合局部强度的计算方法和相应的公式。(5)进行了21个加肋锥柱结合壳的精车模型实验。实验结果与上述理论结果基本符合。^[24]

上述研究成果经七院和船舶标准化委员会审定、通过,并被纳入《潜艇结构设计计算规则》,供设计使用,为核潜艇的成功研制立下汗马功劳。1978年,在六机部的规范成果鉴定会上,该成果被评为一等奖,其理论分析部分被认为达到国际上较先进的水平。

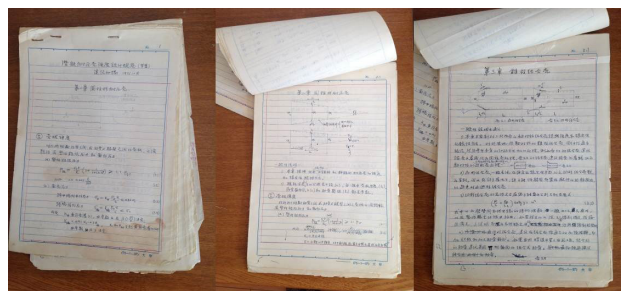


图3 钱令希起草的《潜艇结构设计计算规则》第一至第三章的条文建议初稿

2009年4月24日,中国工程院首批院士、曾任702所所长的吴有生(1942-)得知钱令希逝世的消息后,在给钱令希的学生、中国科学院院士程耿东的信中,除表达哀思之外,还盛赞钱令希为中国海军装备技术进步所做出的贡献。他写道:

“出差归来,得知钱令希先生故去,万分悲痛!钱先生开辟了我国和世界力学发展的一片天地,也竖立了工程科学的一座丰碑。他是我心目中最尊敬的长辈、老师,也是我们研究所的顾问。老一辈的力学界大师、工程界巨匠一位位离我们而去。他们能在高寿之年见到国力强盛、在世界上有了祖辈代代盼望的地位,一定倍感欣慰。昨天海军建军60周年的中外舰船的盛大阅兵式在青岛举行,胡锦涛主席所检阅的雄壮的中国海军舰艇队体现了中国海军装备技术的巨大进步。这中间有钱老历史上所做出的一份贡献,对此,造船界的同仁们会永记于心。”^[25]

五、结 语

1974年8月1日,中央军委发布命令,将我国第一艘核潜艇命名为“长征一号”,正式编入海军战斗序列。在研制鱼雷核潜艇的同时,我国也开始了导弹核潜艇的研制工作;1970年9月25日,我国第一艘弹道导弹核潜艇正式开工建造;1981年4月30日,中国第一艘弹道导弹核潜艇下水;1983年8月25日,中国第一艘弹道导弹核潜艇交付海军。1988年9月,弹道导弹核潜艇圆满完成水下发射潜地导弹的试验,实现了持续30年的中国弹道导弹核潜艇之梦,使核潜艇成为中国海军真正意义上的隐蔽的核威慑与核反击力量,人民海军也由此成为一支真正的战略性军种。中国第一代核潜艇,“凝聚着千千万万个科学家、干部、工人、水兵为之付出的心血”,钱令希就是这千千万万人之一,正是他们“智慧‘裂变’产生的巨大能量,才闯过了核潜艇研制中的重重难关”([4], p.104)。

1978年3月,钱令希因核潜艇相关研究等成果获全国科学大会奖。1982年7月,该项工作成果之一的“潜水耐压锥柱结合壳的强度和稳定性”荣获国家自然科学三等奖,这是距1957年颁发第一次科学奖金(自然科学部分)后,中华人民共和国第二次自然科学奖的125项获奖项目之一。1985年10月,“核潜艇的研究设计”获首届国家科技进步特等奖,钱令希领衔完成的核潜艇相关研究成果之一“潜艇结构设计计算规则”获首届国家科学技术进步三等奖,1996年11月又获颁中国人民解放军国防科学技术工业委员会“国防科工委级军用标准化科技进步三等奖”。钱令希院士对中国第一代核潜艇研制所做出的贡献永载史册,更应为后世所铭记和景仰。

[参考文献]

- [1] 张现民. 钱学森年谱(上) [M]. 北京: 中央文献出版社, 2015, 206.
- [2] 陈右铭. 万里烽火·千里波涛 [M]. 香港: 炎黄文化出版社, 2002, 279.
- [3] 钱令希. 关于壳体的极限承载能力 [J]. 力学学报, 1962, 5 (2) : 67-99.
- [4] 钱令希、周承侗、云大真. 圆锥壳极限承载能力的实验和计算 [J]. 大连工学院学报, 1963, (1) : 1-22.

- [5] 钱令希、周承侗、云大真. 圆锥壳极限承载能力的实验和计算 [J]. 力学学报, 1963, 6 (2) : 154-167.
- [6] 钱令希、周承侗、云大真. 截锥对称结合壳极限承载能力的实验和计算 [J]. 大连工学院学报, 1964, (2) : 21-27.
- [7] 钱令希、周承侗、云大真. 锥筒结合壳极限承载能力的实验和计算 [J]. 大连工学院学报, 1964, (2) : 29-40.
- [8] 钱令希、钟万勰. 论固体力学中的极限分析并建议一个一般变分原理 [J]. 力学学报, 1963, 6 (2) : 287-303.
- [9] 钱令希、钟万勰. 以薄膜理论为基础的锥壳极限分析 [J]. 大连工学院学报, 1964, (2) : 1-17.
- [10] 钱令希、钟万勰. 以薄膜理论为基础的锥壳极限分析 [J]. 力学学报, 1965, 8 (2) : 1-11.
- [11] 大连工学院固体力学研究室. 圆柱壳开孔问题——单圆孔基本解 [J]. 大连工学院学报, 1965, (3-4) : 1-28.
- [12] 徐秉汉、裴俊厚、朱邦俊. 壳体开孔的理论与实验 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1987, 82-83.
- [13] 杨连新. 见证中国核潜艇 [M]. 北京: 海洋出版社, 2013.
- [14] 钱凌白. 钱令希院士和我国第一代核潜艇 [A], 钱志仁, 钱维均: 兄弟院士钱临照钱令希家传: 纪念兄弟院士钱临照、钱令希诞辰110、100周年 [C], 无锡: 无锡名人文化研究院; 无锡市吴文化研究会, 2016, 148-150.
- [15] 王续琨. 祥和的长者谦和的学者——写在钱先生逝世五周年之际 [N]. 大连理工大学报, 2014-04-16 (4).
- [16] 钟万勰. 回忆我调来大连之前 [A], 林家浩: 力学与工程应用 [C], 大连: 大连理工大学出版社, 2006, 275.
- [17] 孙懋德、张天来. “伯乐”和“千里马”之间 [N]. 光明日报, 1979-01-30 (2).
- [18] 钱令希. 工作汇报 [Z]. 1970年8月4日, 手稿.
- [19] 陈晋南. 陈右铭同志生平 [Z]. 2011年5月, 未刊打印稿.
- [20] 钱唐. 一本我永远读不完的书——献给父亲钱令希院士的百年冥诞 [N]. 大连理工大学报, 2016-07-16 (2).
- [21] 哈尔滨电机厂革命委员致大连工学院的公函 [Z]. 1970年7月27日.
- [22] 邹丕盛代表彭士禄等致钱令希的家属钱昆明、钱唐、孙淑亭等的信 [Z]. 2009年5月15日.
- [23] 邓可顺. 随钱先生“北京-无锡”之行——回忆潜艇结构设计计算规则起草的一段往事 [Z]. 2018年11月2日, 手稿.
- [24] 潜水耐压锥柱结合壳的强度和稳定性 [A], 教育部高等学校可推广应用科技成果汇编: 应用软件分册 1985 [C], 大连: 大连工学院, 1985, 47.
- [25] 吴有生致程耿东的信 [Z]. 2009年4月24日.

[责任编辑 王大明 柯遵科]