



Jiang Hongde

蒋洪德

叶轮机械气动热力学专家。

1942年7月4日出生于湖南省衡阳市,湖南省长沙市人。1965年毕业于清华大学,1981年获中国科学院研究生院硕士学位。曾任中国科学院工程热物理研究所研究员,现任清华大学教授。主持研究开发了具有我国自主知识产权的多级汽轮机气动热力全三维设计体系新一代叶型、复杂三维造型叶栅和全三维流型等关键新技术,广泛应用于各种汽轮机产品设计中,为我国汽轮机行业技术进步做出重大贡献。1999年当选为中国工程院院士。

1942年夏天,在烽火连天的抗日战争年代,我出生在湖南的一个教师之家。在家乡长沙读完小学、中学之后,我于1959年考入清华大学动力机械系,被分配到燃气轮机专业学习,从此与叶轮机械和动力工程结下了不解之缘。

一、难忘的学生年代

我就读的长沙一中是一所历史悠久的重点中学,近百年来,学校以“公勇勤朴”为校训,毛泽东、朱镕基、周谷城、周立波等蜚声中外的政治家、思想家、文学家先后在此求过学。学校素以名师云集、治学严谨而著称,学校每年高考被清华北大等全国名校录取的学生数量均为全省之首。中学时代给我们授课的一批老教师在湖南省教育界都很有声望,他们在课堂上乃至体育课的操场上有声有色的讲课和辅导至今难以忘怀。我父亲早年自北京大学毕业后长期在家

乡任教,解放前夕到长沙一中任国文教师,全家住在校园内,母校浓厚的学习气氛和父辈们勤谨老实做人做事的作风自幼就印入我的脑海,在他们的谆谆教导下我在数理化和语文等方面都打下了良好基础。

在清华大学的学习则为我叶轮机械和动力工程领域打下了坚实的理论基础。我在清华园连续学习生活了九年,前六年是本科生,后三年是研究生。可惜研究生阶段(1965—1968)适逢“文革”,清华园和全国一样陷入了黑白颠倒的狂热之中,研究生阶段一堂课也没有上,更谈不上做研究,本应深造的时光白白流失了。尽管“文革”后国家还是承认了我们的研究生学历,但我一直认为这是一个名不副实的学历。“文革”结束后的1978年国家决定恢复研究生制度,我考入中国科学院又读了一次研究生,这是后话。

60年代清华大学本科的学制长达六年,这是清华历史上唯一的一段六年制本科教育,当时以蒋南翔校长(他同时任职高教部部长)为首的校领导向学生们提出的口号是“又红又专”。尽管在当时的政治大环境下,学生中也开展了一系列带有浓厚“左”的色彩的政治运动,但学校始终以教学为中心,并决定将本科学制由五年延长到六年。当时全校学习气氛非常浓厚,偌大的图书馆阅览室每天晚上包括周末都是座无虚席。通过增加课程设置的学时,我们燃气轮机专业大大加强了专业基础和专业课的内容与深度。六年系统和深入的学习使我具备了本专业坚实的理论基础。

由于家庭经济状况所限,我在整个大学期间一直是靠国家提供的助学金生活,这使我更加珍惜学习的宝贵时光。六年共十二个寒暑假我只回家探亲一次,假期几乎全部在图书馆度过。功夫不负有心人,1965年大学毕业时,我以各门功课全优的成绩获得了当时授予毕业生的最高奖励——优秀毕业生奖章,并留校当研究生。60年代的大学生生活在物质上虽然相当

清苦,但学业上却收获丰厚,心情也很愉快。

1968年春,当时的高教部批准我们这批研究生分配工作离校。在“文革”狂热中消磨了三年时光的我们都急不可耐地走出校园去参加工作。我来到了美丽的黄海之滨,在青岛汽轮机厂开始了我的职业生涯。

二、十年生产实践

青岛汽轮机厂是一家生产几千千瓦等级小汽轮机的企业,当时产品在山东省和全国各地小电厂的销路还不错。1968年全国的知识分子都要“接受工人阶级再教育”,所以我从进厂的第一天就到汽轮机总装车间当了工人。过去只在书本上学过的东西,现在活生生地摆在面前而且自己要动手去干,我觉得很有意思,劳动积极性很高。工人师傅们对我也很热情,手把手地教我学会了许多技能,我很快结识了一批工人朋友。我在车间劳动了五年,亲手装配和试验过的汽轮机不下一百台,因而对汽轮机的结构可以说是了如指掌。在此期间我还要求去当过车工、锻工和翻砂工,以求对机械制造的主要工艺都有所了解。

70年代初厂里决定开发两种抽汽式汽轮机新产品,我受命为技术总负责人。我带领一批技术人员完成了从资料收集、气动热力设计、强度与结构设计的全过程,并绘制出了几千张产品图纸,随后又负责完成了样机加工试制的全过程,直到新产品顺利通过了厂内试车。几千千瓦的汽轮机虽小,但五脏俱全,通过这两种新产品的设计制造,我真正了解并掌握了当时汽轮机行业所使用的设计方法(即从苏联引进的、20世纪四五十年代开发的一维设计理论与方法),从而为我后来研究和开发准三维和全三维设计方法打下了坚实的实践基础。也可以说,没有这十年生产实践的学习,就没有我后来事业上的成功。

70年代初期还没有电子计算机,我们用的是计算尺和老式手摇计算机(现在只能在博物馆找到它们了),计算工作非常枯燥费时;绘图

用的是铅笔橡皮加丁字尺三角板,完成一张复杂的图纸往往要花几个月的功夫。我的原则是,每件事情不论大小必须老老实实去做,因为生产实际是严格的,一切都必须经得起实践考验;要别人老老实实做事,自己先要老老实实做事。比如,作为设计负责人我要求每个技术人员要在图纸上给出每个零件的重量,以便准确给出材料消耗和成本。但大家反映几何复杂形状的零件如叶片、汽缸等不仅计算工作量太大,而且根本算不准。于是我就亲自到车间去安排对每个零件的实物进行称重,特大零部件我就调用卡车到地秤上去称重,结果是又快又好解决了问题。生产实践中这种例子真是不胜枚举,通过十年的生产实践,求真务实、理论必须与实际相结、实践是检验真理的唯一标准这些作为一名科技人员做人做事必须遵循的基本原则,已经深深地融入了我的脑海。

三、十五年科学研究

“文革”结束后的1978年,国家宣布恢复研究生制度,我心中又燃起了继续深造的愿望,于是报考了中国科学院力学研究所,第二次成为了一名研究生。国际知名的叶轮机械三元流动理论奠基人吴仲华教授当时是中科院力学研究所的副所长,1980年在他的倡导下成立了以能源动力为研究方向的工程热物理研究所,我们这批研究生也随之到了工程热物理研究所。由于我已经具备了十年从事汽轮机设计制造的经验,希望在这个方向上继续研究下去,这个想法得到了吴仲华所长和导师吴文教授的支持,从此我开始了长达十五年的汽轮机准三维与全三维设计理论与方法的科学研究。

众所周知,吴仲华教授早在50年代初期就建立了叶轮机械三元流动理论并提出了两类流面基本方程,但当时这些偏微分方程是无法求解的,直到70年代后期电子计算机与计算流体力学开始发展应用,这些方程的求解才提上日

程,与此同时完全三维理论与基本方程(即 NS 方程加上湍流模型)的求解也发展很快。当时全所乃至全国同行业科技人员都在悉心研究叶轮机机械流动的准三维和全三维数值解法,我也积极投入其中。我深知我国的汽轮机制造业仍然在使用一维设计方法,我们从事的准三维、全三维研究工作不仅从理论上要先进得多,而且有重大的工程应用前景。也就是说,如果能把准三维全三维设计理论和方法应用到汽轮机等叶轮机机械的设计中去,就可以大幅度地提高汽轮机的效率,创造重大的社会与经济效益。所以我从一开始就对自己和学生们的研究工作提出了明确的要求,即研究成果决不能满足于发表论文,而是必须能够应用于工程实际。从 80 年代中期开始,我联合了所内一些课题组主动与哈尔滨汽轮机厂建立了“汽轮机气动热力学联合研究室”,承担了为该厂研制多级汽轮机准三维和全三维设计软件的任务,双方的合作长达十年之久。我经常长时间在哈尔滨汽轮机与工厂的技术人员一起工作,共同研究如何把汽轮机的设计要求纳入到我们开发的程序中去,更多的时间是不厌其烦地坐在计算机屏幕前研究和改进计算方法。我们搜集了大量的国内外实验结果与自己的计算程序进行对比,不放过计算方法和程序中的任何一个细节,使计算结果尽可能地与实验结果一致,不达目的决不罢休。八九十年代的电子计算机功能还不强,叶栅的流场计算往往需要好几天,我就终日坐在计算机前,为了排除计算程序中的问题有时真正到了废寝忘食的程度。特别有意思的是,有好几次在白天绞尽脑汁不得其解的问题,竟然在晚上做梦得到灵感,第二天到计算机上一试果然解决了问题,这时候我的心情别提有多高兴了!功夫不负有心人,90 年代初期,我们研究开发的叶栅准三维计算程序在当时航空工业部组织的全国几十个同类程序考核比赛中以第一名的成绩脱颖而出,并马上在全国航空发动机设计部门推广应用;多级汽轮机准三维/全三

维设计理论与程序开发工作也基本完成。我心中明白,产业化应用的技术基础已经具备了。

四、十年产业化历程

汽轮机是火电、核电和联合循环电站主要动力设备之一,我国发电总容量的四分之三是火电,由此可见汽轮机制造业在国民经济中的重要性。汽轮机作为一种高速旋转的叶轮机机械,设计制造难度大,至今世界上只有少数发达国家才具有自主研发和制造能力。解放前我国没有汽轮机工业,50 年代初期我国在苏联的援助下建立了汽轮机工业,引进了当时的一维设计技术并沿用了 30 年;80 年代初我国引进了美国的汽轮机设计技术,它部分采用了二维技术但在理论和应用方面都很不完善,更重要的是由于工厂缺乏消化吸收的能力,所以在设计中往往把引进技术束之高阁,仍使用传统的一维技术,这就使得我国汽轮机的设计技术和产品性能长期在低水平徘徊不前。

汽轮机使用寿命长达几十年,因此直到 90 年代初,我国火电站中数以千计的汽轮机绝大部分是按照一维技术设计制造的,当时我国火电站的平均供电煤耗高达 427 克(标准煤,下同)/千瓦时,比发达国家的 330 克/千瓦时高出约三成,汽轮机效率低是主要原因之一。全国火电站为此每年多消耗标准煤近亿吨,不仅造成能源的巨大浪费,还加剧了环境污染和运输压力。90 年代中期,国家有关部门把老汽轮机节能降耗现代化改造列入优先支持的项目,要求尽快改变这种落后的面貌。当时我担任中国科学院工程热物理研究所常务副所长,在得知国家这一决策后多次主动向中国科学院、机械工业部和电力工业部领导汇报,表示我们已经基本掌握了汽轮机全三维设计技术,希望在他们支持下组建产学研结合的实体,推进全三维技术的产业化,这一想法得到了他们的支持。

1995 年初,产学研结合的北京全三维动力工程公司宣布成立,工程热物理研究所、我国的

四大汽轮机厂均是公司股东,我作为副总经理主持公司的研发和技术工作。公司的第一个目标是 20 万千瓦老汽轮机通流部分改造,80 年代之前这种汽轮机是我国生产的最大的汽轮机,全国共有 150 多台,约占当时我国发电能力的四分之一,它也就成为老汽轮机改造的重点。

三维公司成立后,以我领导的课题组作为技术核心、全国各大汽轮机厂均派员参加的研发团队开始了研发与设计工作。全三维设计技术的实质是用先进设计理论指导下的、具有工程精度的计算软件体系取代传统的、以经验为主的设计方法,达到大幅度提高汽轮机的效率和大幅度缩短设计周期的目的。我们不仅要开发全新的三维设计方法和流程、制定全新的设计准则,还要完成 20 万千瓦汽轮机通流部分的现代化改造设计,并给出可直接供制造厂使用的加工数据和图纸。为了确保设计质量,我们进行了大量的设计计算和风洞实验,开发和验证全三维设计体系与部件新技术。我常常告诫自己:这是用钢铁来写论文,丝毫也马虎不得!经过近两年的艰苦努力,在完成 20 万千瓦汽轮机高、中、低压缸通流部分七十多排叶片全三维设计的同时,一个理论先进、程序可靠、系统配套、具有完全自主知识产权、可直接用于各种汽轮机工程设计的全三维设计体系诞生了,这是我国汽轮机行业跨进全三维设计时代的第一步。

为了得到第一个 20 万千瓦老汽轮机改造合同,我和公司其他领导不厌其烦地到电厂宣传介绍全三维技术,最终我们在黑龙江省富拉尔基电厂签署了第一份改造合同。全三维叶片特别是弯扭叶片的制造工艺复杂,为了保证加工质量,我们要求汽轮机制造厂采用当代先进的三维叶片数控加工技术。我直接到合作汽轮机制造厂的车间进行技术服务,向技术人员直至操作工人讲解全三维叶片的设计特点和加工要求,与他们一起制定关键工序的工艺规程并

参与产品的质量检查,这时我在青岛汽轮机厂十年的生产经验发挥了重要作用。在大家共同努力下,第一台全三维技术设计的 20 万千瓦汽轮机通流部分的加工在九个月内顺利完成,并于 1996 年除夕之夜在富拉尔基电厂顺利试车成功。正如我们设计预测的那样,汽轮机的效率提高 5%(发电煤耗下降 17 克/千瓦时),最大出力达到 22 万千瓦,比改造前增加 10%,机组性能由 50 年代水平一步跃入当代先进行列。我和学生、同事们一直工作在电厂现场,除夕之夜窗外是北国零下 40℃ 的严寒,车间内却是一片热情和欢腾!全三维技术由此一炮打响,改造合同纷至沓来,一些电站在改造工程招标时提出“非全三维技术不要”,全三维技术在全国老汽轮机改造市场上迅速推广。在短短的五六年间我们这个团队完成了十多种老汽轮机的改造设计,并发展到新产品设计。公司直接负责改造了一百多台、一千多万千瓦的老汽轮机,所有项目都达到或超过了合同规定的技术指标。与此同时全国各个汽轮机制造厂也结合自己的产品大力开发应用三维设计与三维加工技术,在产学研结合和市场的推动下,三维技术在全国汽轮机行业的推广应用只用了五六年时间。看到我们的科研成果实现了产业化,看到一台台全三维技术设计的汽轮机在全国各地运行,我感到向社会、老师和亲人交上了一份合格的答卷,心中无比欣慰。我常常想,作为一名工程技术人员,把自己的心血贡献给毕生为之奋斗的事业,把自己的科研成果转化为先进的生产力,这是时代赋予我们的责任。

五、重返母校

不久前我回到了阔别近四十年的母校——清华大学从事科研与教学工作。回到几十年前自己学习过的课堂,与朝气蓬勃的当代青年学生在一起,我心中充满喜悦与希望。想起当年学校“为祖国健康工作五十年”的号召,我愿把未来的精力奉献给年青的一代。