

专 访
ZHUAN FANG

恒守科学兴邦之志 力建技术强国之功

—访中国工程院院士、西北工业大学、哈尔滨工业大学及河南理工大学教授傅恒志先生



傅恒志，男，1929年8月生，河南开封人，材料及冶金学家。

1950年，西北工学院机械系毕业；

1955年，在哈尔滨工业大学攻读研究生；

1958年，被选派去苏联列宁格勒工学院攻读研究生，1962年获副博士学位。

历任—

西北工业大学铸造教研室主任、科研处处长、系主任、校长；

凤毛麟角，傅恒志先生是我国铸造界屈指可数的三院士（周尧和、傅恒志、柳百成）之一，是从事金属材料，特别是高温合金材料及金属凝固技术研究的著名学者和专家，是机械工程技术金字塔塔尖上的人物。他，1929年生人，原籍河南开封，1937年卢沟桥事变后随家逃难到西安，在那里求得坐下来读书的机会。受其父辈实业救国思想的熏陶，他从年轻时便开始确立了以科学技术报效祖国的志向，并以其后来踏踏实实的研究工作

1986年，任陕西省航空学会理事长；

1987年，任中国航空学会副理事长兼常务理事，1993年后任常务理事；

1991年，任中国材料研究会常务理事；

1992年，被俄罗斯国立圣彼得堡技术大学授予名誉博士；

1993年，当选为国际高校科学院院士；

1995年，被选为俄罗斯宇航科学院外籍院士；

1995年，当选为中国工程院院士、第八届全国政协委员等。

在凝固理论和新材料加工方面有重要贡献。在非平衡凝固理论、亚快速定向组织及组织超细化、高温合金、稀土永磁合金的凝固组织与性能、电磁约束成形

定向凝固技术等方面进行了开创性研究。领导研制的超高梯度定向凝固装置的温度梯度可达 $1300^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ，超出当时国际最好水平达三倍之多；主持创建了枝胞转换及亚快速定向凝固的理论框架，开辟了单晶及定向组织超细化研究的新领域。在此基础上，又提出了电磁约束成形及冷坩埚定向凝固新技术。

先后获国家科技进步奖1项，国家发明奖2项，省部级奖11项，发表论文530余篇，已培养博士生数十名。

和尽心竭智建立的科研功绩，实实在在地坚守着这份人生志向，至今矢志不渝！

傅恒志先生于1950年在西北工学院毕业后留校任教，1952年到哈尔滨工业大学做研究生，1955年毕业；作为当时全国铸造学科唯一考取留苏研究生，1958年到1962年在苏联列宁格勒工学院学习，师从苏联著名金属材料专家聂亨齐教授，从事高温耐热合金研究工作，毕业获副博士学位。回国后先后在西北工学院、西北工业大学

和哈尔滨工业大学任教, 历任副教授、教授、博士生导师。曾任西北工业大学校长、中国航空学会副理事长、中国材料研究学会常务理事, 西北工业大学学术委员会主任等职, 并当选为国际高校科学院院士, 俄罗斯宇航科学院外籍院士等。

作为我国著名的材料学家, 傅恒志院士在航空航天材料及其成形技术方面具有很高造诣。曾主持多项国家重大科研课题的立项和实施工作, 其中, 所开发的特种高温合金及金属间化合物航空航天发动机叶片液态无模电磁成形及超高梯度、超细化定向凝固技术属世界首创, 为我国航空发动机生产向“推比”10以上的进步, 提供了探索性的科学理论与实验基础。

傅恒志院士长期从事铸钢、铸造高温合金、定向和单晶凝固理论及技术方面的教学和研究工作, 特别是于1988年与周尧和、张立同教授等创建了国内第一个凝固技术国家重点实验室, 对推动我国凝固科学进步具有重大意义。他治学严谨, 博学多识, 尤其具有敏锐的科学思维。他始终走在材料科学发展的前沿, 科学地提出材料开发及成形技术的独到思路, 特别对我国航空航天用高温结构材料的发展做出了历史性的巨大贡献。以他科学家的胆识和魄力, 为促进材料和加工学科的发展起到了巨大推动作用, 因而获得多项国家发明奖和省部级科技进步奖, 如1993年因在超高梯度定向凝固理论和技术方面的卓越成就而荣获国家科技进步奖。

在科研实践中获取的大量第一手宝贵技术资料为他著述立说奠定了深厚的基础, 出版的《高温合金及其熔炼》、《航空航天材料》等多部专著和发表的530余篇学术论文影响深远。他指导的硕士、博士、博士后等高级人才多达80余名。现今虽已年近八十高龄, 仍然长年奔走于西北、东北和中原的几个著名高等学府之间, 劲头十足地工作在科研和培养高级科技人才的第一线。目前, 傅恒志院士正在主持国家自然科学基金重大项目、国家重要基础研究项目和国防装备科研项目中的重大课题, 尤其是以大推力、超高温条件下工作的发动机关键部件制造为研究目标, 自主开发耐热温度在1000℃以上的钛铝基金属间化合物、以及软接触电磁成形定向凝固发动机叶片的制备技术, 它们的成功与成熟将使我国的航空航天发动机材料和成形技术水平跃上一个新的台阶。

因他长期以来对我国金属材料科学的进步、尤其是对我国国防装备事业的发展所做出的巨大贡献而深受人们的敬重。正是怀着由衷崇敬的心情, 本刊记者一行于2007年5月20日专程前往哈尔滨拜访了先生。在他的家中, 年届78岁的傅恒志院士热情、认真地回答了记者请教的几个问题, 整整一个上午, 从八点半到十二点, 他始终

神情饱满、思路敏捷、侃侃而谈。由此, 使人不难理解先生兢兢业业做事和诲人不倦的精神。记者不经意看到先生案头上的“功勋教授”奖牌时, 颇为感慨, 心想这正是对先生恰如其分的褒奖啊!

如上简述, 傅恒志院士为强国兴邦在科学和技术上所做出的巨大成就是惊人的, 他所受到的尊敬亦是自然的。在此, 笔者不打算更多地列数他那数不清的工作业绩(有关傅恒志院士的科研业绩等, 在《光明日报》2001年1月13日第3版上做了精彩报道, 敬请读者参阅), 只是想通过近距离与傅恒志院士的接触与恳谈, 期待更多更具体地了解和认识他成就背后的人格魅力, 来与尊敬的读者朋友共享启迪。

根据笔者所获得的信息加上理解认为, 傅恒志院士的成功与他始终用行为所表现出来“恒守科学兴邦之志”

(以下拟以“恒志”来简称有大志并能始终坚守者)的优良品格关系极为密切。“疾风知劲草”, 他的这种“恒志”品格尤其表现在“文革”十年浩劫中。所谓“树大招风”, 而他确是一棵“知识与技术的参天大树”, 在当时那“知识越多越反动”的是非颠倒气氛下, 以及“欲加之罪何患无词”的“狂风恶浪”之中, 他被蛮横地扣上“反动学术权威”、“苏修特务”等大帽子, 并遭受可怕的凌辱与打击。然而“狂风恶浪”硬是没有将他击倒, 即使是被“批斗”, 都不能使他放弃自己的学术追求和技术思考, 因为他诚秉“恒志”, 深信自己所做的一切都是为了报效国家, 何罪之有?! 傅恒志院士不仅是技术专家, 而且是社会活动家。青年时代的他便忧国忧民, 与同学一起组织“马恩列研究小组”, 研究社会, 寻求救国之道。解放之初他是西北工学院机械系首届毕业班的第一任团支部书记, 留苏期间也是留学生们的“头”。大量的社会性工作并未影响他成为学业上的佼佼者, 早在留学期间, 他的技术研究成果就被应用了。“文革”前, 他当过学校的科研处长, “文革”后又推选为西北工业大学校长, 一干就是八年! 就是在当校长期间, 尽管行政工作缠身, 也没有使他放弃所挚爱的研究工作, 于是设法拨冗亲自为学生上课、做试验、搞课题、写论文……所以如此, 还是因为他绝难割舍的“恒志”! 也正是凭着这“恒志”, 使他始终没有远离科学前沿, 远离自己的专业技术, 以至始终站在学术发展的最前方, 高瞻远瞩, 不断地提出新的研究思路。这也就是他不仅至今仍在西北工业大学做研究、带学生, 还被哈尔滨工业大学以及河南理工大学热情请去做研究工作的根本原因。

论及“恒志”这个话题, 惟恐陷于“老生常谈”的尴尬, 笔者以为“恒志”品格在当今倍显重要。原因在

于,现今由金钱与物欲膨胀而引发起来“浮躁”与“急功近利”的不良倾向不断蔓延。而这对于做学问来讲,尤其致命地可怕。事实上,在这个世界上,一蹴而就、轻而易举便成功的事情几乎没有,尤其是搞科学研究,要想有所发现,谈何容易!科研活动本身系属探索未知,必然要承担可能失败的巨大风险,于是,有人不仅可能牺牲眼前既得利益,有人甚而可能搭上性命。例如,哥白尼因为提出“地心说”而被教皇涂炭;世上第一个发明飞机的人——美国发明家欧里尔·莱特兄弟在一次试飞中与飞机一起变成碎片,可以说为科学发展而献身的人不胜枚举,可见,要想在科学上有建树,多么不容易。

事实一再表明,在科学上做出巨大成就的人无不是那些拥有“恒志”优良品格的人,傅恒志院士便是其中之一。相反,一些颇有才华,终因无“恒志”半途而废的,也着实令人惋惜。晋朝葛洪的《抱朴子·崇教》中有“学之广在于不倦,不倦在于固志”;宋朝王安石的《八卦论》中有“君子不可以不知恒”,足见所言皆为推崇“恒志”精神。从哲学上讲,事物的发展无不遵循“从量变到质变”的规律,而“恒志”其实就是依此确保量变的过程得以实现,并最终达到质变的必要条件,舍此难于求得事物质的飞跃。例如,一般液态水要想沸腾,常压下就必须加热到100℃,哪怕到了99.9℃停止升温了,水也不会沸腾,自然现象与人文规律相通。华夏祖先对于量变到质变的规律认识颇深,譬如,汉语中用“能耐”一词表示人的才能,“能耐”者,“持久追求”也。“能耐”显然就是“恒志”的直观与具体表象。囿于篇幅,讨论到此打住。以下介绍的是傅恒志院士答本刊记者问。

记者:作为金属材料知名专家,您长期从事高温合金材料及其成形工艺的研究。请就我国在这方面所处的水平,以及当前的研究焦点谈谈您的看法。

傅恒志院士:可以说,材料、能源和信息是现代文明发展的“三大支柱”,材料又是人类文明发展的里程碑,历史研究中,多采用材料作为标志来命名某一时代,如青铜时代、铁器时代等等。如众所知,没有现代的高温、高强结构材料,不可能有今天的航空、航天技术发展;没有半导体材料的工业化生产,不可能有现今高速发展的计算机技术。当代这场以信息为核心的技术革命,就是以新型材料、计算机、新能源、激光、生物工程和宇航工业等新兴技术为重要标志的,其中材料又是其他所有技术的物质基础,毫无疑问,材料是技术进步的重中之重。

我是1957年以后在西北工业大学开始接触并研究高

温合金的。新中国建立之初,百废待兴。国家经济建设,特别是国防、航空、航天事业的发展急需专门技术人才,在此形势下,为满足科研工作的需要,我作为研究生被派往苏联,就高温合金进行学习和深造。

高温合金是一种能在高温下工作、承受相应载荷的结构材料,起先多叫做“耐热合金”,“高温合金”是中国现在的叫法,若直译成英文为high temperature alloy。按我国关于高温合金的概念,在美国被称作“超合金”,包括镍基合金、钴基合金和铁基合金。美国人多把钨基、铌基合金叫“高温合金”;在俄罗斯则被叫做“热强合金”。高温合金的用途极为广泛,例如被大量应用在航空、航天、能源、交通运输等行业或部门。其中,在航空、航天领域被用得最多,要求也相当高。一般高强度钢在800℃至900℃就会塑性变形,而高温合金在1000℃以上不仅仍然具有很高的强度,而且抗氧化、耐腐蚀性也很优良。应用表明,在苛刻的高温及强腐蚀条件下服役,高温合金明显优于其他各类钢种。

再具体说到产品,高温合金因其特殊的性能而多被用作涡轮叶片材料。全世界开始时多采用变形(锻造)的工艺方法来生产涡轮叶片,因为担心铸造的零件常有缺陷而认为铸造成形的不可靠,所以多不用铸件,唯承受静载荷的导向叶片有用铸造成形的。可是在高温下服役的涡轮叶片要求优异的抗蠕变性能,铸造合金可以最大限度地合金化,从而提高变形抗力。后来到了20世纪60年代,美国生产涡轮叶片改用了铸造成形,70年代后,欧洲一些国家及俄国也采用了铸造叶片。铸造成形的涡轮叶片发展至今,经历了从大气熔铸到真空下熔铸,并从普通熔模精铸发展到定向凝固一直到单晶铸造的变化过程。单晶合金又经历了从第一代单晶到如今的第四代单晶的发展。当今世界上,高温合金发展的最高水平主要体现在,铸造高温合金由定向凝固到单晶合金的巨大进步。从20世纪80年代发展起来的第一代单晶高温合金,时至今日已发展到了第四代,每一代单晶合金一般可以提高服役温度20℃至30℃,第四代单晶合金最高服役温度可以达到1150℃以上,即接近合金熔点温度的90%以上,温度若再高就要达到合金熔点了。今后将要靠开发金属间化合物、金属-陶瓷等新材料来满足技术需要。

我国目前生产和应用的是第一代单晶高温合金,第二代的正处在研制和试用之中,第三代、第四代的还在“预研”和探索之中。如果从时间上来估计,我国在这方面与国际先进水平要有10到15年的差距。实际差距,我认为主要表现在以下几个方面。第一,在生产和应用实践上。因为生产出的产品少(如中国每年生产的飞机仅是发达国家的百分之一左右),应用得也少,通过服

役发现问题、积累的经验远远不够，所以成熟性就差。第二，制备（铸造）工艺水平差距大，从锻造发展到铸造以后，可以生产空心的复杂叶片，但废品率高达70%，铸件组织性能波动、稳定性差，直接导致铸件可靠性低。大量的事实一再告诉我们，像生产单晶叶片这样高技术含量的产品，没有厚实的工业实践基础做后盾，没有扎扎实实的实验研究成果来指导，没有大量的技术经验积累来保障，要获得成功是根本做不到的。

国际上铸造叶片的技术发展突飞猛进，浇注环境条件从非真空到真空，成形工艺从普通熔模精铸到定向凝固再到单晶生产，叶片结构从一般复杂到蜂窝状空心薄壁直到单晶，技术上已经可使叶片温降达到800℃至1000℃，铸件精准程度由近终形到净终形一直到无余量精准成形。

说到当前研究工作的焦点，主要是立足国家经济发展和国防建设的需要，跟踪国际先进科学、技术发展的前沿，力求自主创新。在高温合金材料和成形技术方面，我们由高梯度、超细化，想到了电磁约束成型。现在，我们考虑的是什么时候能拿出超细化空心叶片，如何制备钛铝金属间化合物定向叶片，以及怎样通过对晶向的控制来造出所希望的高性能新材料及其制品。更具体到我所做的工作包括：①新型系列高温合金的研究；②高/超高梯度合金定向凝固及组织超细化研究；③高温合金、钛铝合金电磁约束成型与定向凝固（软接触或无接触成型）的研究；④包晶合金定向凝固理论与晶体生长规律及晶向控制技术的研究。

记者：作为金属凝固技术研究的著名学者，您认为我国在这方面的研究与应用在国际上居于什么地位，其发展前景如何？

傅恒志院士：据我所知，在欧美，许多研究凝固的学者，有搞铸造的、搞冶金、搞材料的，更有许多是搞物理的、搞化学的、还有搞数学的。如以往的Turnball, Chelmers, Tiller;近期的Langer, Sekerka, Jackson等，他们把物理、数学、化学与铸造、材料和凝固相结合，奠定了现代凝固科学的理论基础。

金属凝固科学理论和金属凝固控制技术是铸造科研与铸件生产的理论基础。可以说，无论什么铸件的形成都要经历金属凝固的过程。此外，凝固不仅是铸造的基础，而且是焊接、复合材料制备等工艺理论的基础。从凝固科学技术在我国的发展来看，应该说，真正科学的、系统的及自主的研究还是在“文革”结束之后。“文革”以前一般多是学习与消化，顶多是初步的掌握与局部改进。现在，可以说在我国，几乎所有的凝固领域都有中

国人在开展研究与试验工作，并取得了很大成绩。这涉及到各种精密、复杂、大型铸件的生产，高压、低压铸造工艺，定向凝固、快速凝固、深过冷凝固、微重力凝固技术，半固态铸造技术及晶体生长控制等等。应该承认的是，我们所做的工作还多是在别人已经有的概念、理论、模型、技术上的补充或细化，也有一些发展和改进。总体来看，毕竟科学的积累尚少，尽管有许多创新，可系统的创新、重大的创新、开拓一个领域或一个分支的创新仍嫌很少。进一步来分析，我们现在从事凝固研究的人基本上是原先搞铸造的。他们也许对凝固所涉及的成形及加工工艺比较熟悉，但是对凝固的物理本质、过程的物理化学特性了解不足或深入不够，难于掌握全部内在规律，因而目前尚没有建立起对凝固过程和组织变化进行精确描述的物理及数学模型。所有这些既是我们与别人的差距，自然也是我们不可避免、要迎头赶上去的地方。

记者：作为工程界的高端学者和专家，您对我国铸造业界年轻一代技术工作者有何箴言？

傅恒志院士：在中国铸造业界，我是一个老兵，但仍是一个小学生，搞成功的东西并不多，还须坚持做下去的事情也不少，所以我深深感到自己还须继续学习，并坚持不懈地进行科学试验和探索。

改革开放以来，中国工业高速发展，生产能力大幅度提高，被称为“世界工厂”。我国铸造工业的发展速度尤其惊人，铸件总产量业已稳居世界第一。但所遗憾的是，我们在技术水平等方面仍然与发达国家存在不小差距。突出表现在铸件质量、工艺水平、能源消耗以及环境污染四个大方面。具体说，比如所生产的铸件优质的尚少，我国生产的铸件中，约有20.7%够得上优质件，而美国的优质铸件约占总产量的40.8%，铸件的技术附加值又大多不高；铸件的近、净终形程度远远不够，我国生产的铸件一般超重10%到20%，各种原因导致能源消耗居高，以生产铸铁件为例，与美国、日本相比，吨能耗要高70%至120%。针对我国工业生产中存在的技术水平低和能耗高的严重情况，国家高层及时提出了“自主创新”和“科学发展观”的号召，我们任重而道远。

年轻一代是我们事业的未来和希望。铸造界青年技术工作者从认识上、观念上、组织管理上等方面都有很多事情要做。以下，我只是想从技术和生产层面讲几点意见。

第一点，把观念转变到时代发展的要求上来。这当然需要学习一切有关的先进知识并通过自己的实践来强化认知。

第二点,做到“三个结合”:①工艺与材料结合,以往铸造工作者多偏重于工艺,相对而言对材料重视不够。事实上,材料的潜力可以通过许多办法来挖掘,起同样作用的铸件如果材料性能优异,就可以减重,这对降低能耗和保护环境显然是有好处的。②技术和理论结合。铸造技术与凝固理论相结合,使我们的技术建立在科学的基础上,我们才有可能创新,否则只能是“瞎猫碰死耗子”。③试验、模拟与生产结合。任何生产,特别是新产品的试生产之前,都要进行试验,而模拟是一种虚拟性试验,虚拟试验不仅科学、方便,尤其可以大大节省试验成本,何乐而不为呢。所以我建议大家要力求实现理论、实验/试验、模拟与生产的密切结合。

第三点,我想提出“几个重视”:①重视生产实践,实践是一切知识的源泉。务求深刻领会实践的极端重要性,要格外重视到现实生产中的实践,并从内心乐意到生产第一线,并深入下去获取最宝贵的第一手资料。铸造本身是一种特讲求实际的应用技术,如果你搞出的研究成果或者你做出来的铸件经不住实际应用的考验,你说得再好也白搭,有谁会买你的帐呢?!②重视理论的学习和运用。要重视理论水平的提高,这需要持之以恒地学习及研究所有可以获取的信息和资料。科学的理论是多少艰辛实践后浓缩起来的成果,用科学的理论来指导实践可以使人少走或少走弯路。现在要特别重视模拟技术,上面已经提到了模拟的好处,目前,连极其复杂的核试验都采用模拟的办法来进行了,我们铸造的试验为什么不积极采用呢。③重视研究与应用结合。科学研究根本目的是为了实际应用,研究的成果、生产的产品都要拿去用,通过“用”来验证成果的正确与否,鉴定产品的优劣,经过应用还可以获得如何改进产品的反馈信息。

第四点,立足铸造本身,放眼整个材料世界,也就是我们搞铸造的人要拓展自己的视野,不要仅仅看到铸造这一个方面。这对于年轻一代铸造技术工作者尤其重要。要把铸造放到一个大的材料环境中来加以考虑,在进行铸造技术研究的同时,一定不要忽略对材料的研究,搞材料研究须从材料本身密不可分“四要素(成分结构、组织性能、制备加工及服役使用)”的整体出发来进行工作,以求得铸造工艺与材料的有机结合。

第五点,说说今后发展方向的几个问题:①铸件要

力求薄壁,在确保性能和使用要求的前提下,减轻铸件重量极为重要。这对于交通运输,特别是航空、航天的意义更加重要,有资料指出,铸件每减重1kg,所能取得



的经济效益,对普通小飞机来说是减重花费的10倍,歼击机为100倍,航天飞机为10000倍。据知,效益是速度的函数,如现在火车不断提速,显然竭力减轻运动物体的重量是多么有意义,于是,人们提出了“为减轻每克重量而奋斗”的口号。②生产优质铸件,力求避免或消除铸造缺陷。③实施近、净终形及无余量铸件生产。④铸造生产要关注铸件组织,设法实现对铸件组织的控制,最终才能制造出来优质铸件。

最后我要特别强调的是,搞铸造材料与工艺研究的和搞铸件生产的工程技术工作者,要敢于和善于迎接现实的挑战,尤其对于有一定技术难度的东西,要敢于和乐于去“碰”,不要躲开难题绕道走。试想,如果什么问题都由别人解决好了,那还要我们这些人做什么呢!我在上面说了许多我们与别人的差距,这用不着害怕或沮丧,应该看到,这就是我们要干的事情,也是我们可以大显身手的用武之地,设法把坏事变成好事,这就是辩证法吧。当然,要真正解决问题,绝非头脑一时发热或者激动之时表点决心就能奏效的。需要的是真正在内心树立起科学技术兴邦强国的大志向,以及通过脚踏实地的扎实工作,一个一个地解决面临的具体问题,以求一步一步地缩短我们与别人的差距。万事抓关键,当前,我们要优先考虑航空、航天、能源、交通等部门所急需的优质铸件的自主研制和生产的问题。与此同时,还有一个万万不可忽视的问题,就是如何在铸造生产中竭力降低能源消耗和保护环境。

(文/田世江,葛晨光;图/葛晨光)