

引用格式: 李成智. 重大科技攻关项目中的郭永怀. 中国科学院院刊, 2025, 40(Z2): 62-81, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20240703003.
Li C Z. Guo Yonghuai in major scientific and technological projects. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(Z2): 62-81, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20240703003. (in Chinese)

重大科技攻关项目中的郭永怀

李成智

北京航空航天大学 人文与社会科学高等研究院 北京 100191

摘要 郭永怀是中国卓越的力学家、应用数学家, 是中国近代力学事业的重要开拓者和组织者之一。他是23位“两弹一星功勋奖章”获得者中唯一一位在导弹、原子弹(氢弹)和人造卫星三大领域都作出重大贡献的科学家。他在发展我国的国防事业方面, 在发展空气动力学、气体动力学、爆轰学及新兴的力学学科方面, 以及培养科技后继人才方面都作出了杰出贡献。文章回顾了郭永怀的生平和他的学术成就, 考察了他对开拓我国力学事业所做的大量工作, 研究了他在重大科技攻关项目中作出的杰出贡献。最后, 简要探讨了郭永怀作为战略科学家的贡献与影响。

关键词 郭永怀, 空气动力学, 重大科技攻关项目, 战略科学家

DOI 10.3724/j.issn.1000-3045.20240703003

CSTR 32128.14.CASbulletin.20240703003

1 郭永怀生平与学术贡献^[1,2]

1.1 早年求学经历

郭永怀1909年4月4日生于山东省荣成市滕家镇西滩郭家村。郭永怀9岁时, 在他三叔开办的私塾里读书识字, 1922年春在明德高等小学读高小, 1926年3月在青岛大学附属中学读初中。1929年9月, 郭永怀初中毕业后考取了南开大学预科理工班。1931年9月, 郭永怀在南开大学转入本科学习。1933年7月,

郭永怀参加了北京大学的入学考试并于9月进入北京大学物理系三年级学习。1935年本科毕业后, 饶毓泰教授留他做自己的助教和研究生, 郭永怀由此成为北京大学第一批物理专业研究生^①。

在北京大学攻读研究生期间, 郭永怀参与拉曼效应的研究, 还积极参加各类学术活动。1937年5月20日, 丹麦物理学家尼尔斯·玻尔(Niels Bohr)应邀来中国访问, 并在上海、杭州、南京和北平等地进行为期3个星期的访问和演讲活动; 他于5月31日—6月4

资助项目: 国家社会科学基金项目(19BDJ064)

修改稿收到日期: 2024年12月18日

① 北京大学物理学院. 历史沿革. [2024-08-22]. <https://www.phy.pku.edu.cn/xygk/lsyg.htm>.

日在北京大学和清华大学共做过3次讲演。每次讲演，郭永怀都前往聆听，并多次现场提问，深受同学们的钦佩和赞誉^[13]。玻尔在北京大学的第一次演讲结束后，郭永怀有幸与玻尔夫妇及儿子、北京大学时任校长蒋梦麟，以及在京高校知名教授们合影（图1）。

1937年7月7日，卢沟桥事变爆发，北京大学被迫停课。郭永怀回到了他的家乡，并在威海卫中学谋得教师职位。1938年5月前后，郭永怀辗转来到西南联大，开始了2年的半工半读的生活^②。此时，正值中英庚款董事会首次设立资助年轻科学工作人员的“科学协助制度”，郭永怀积极申请并获得首批资助^[3]。在西南联合大学就读期间，他曾跟随周培源从事湍流理论研究^[4]，这是他人生的重大转折。郭永怀希望通过与航空技术与飞机发展密切相关的流体力学研究实现他科学救国、航空救国的愿望^③。

1939年2月，中英庚款董事会决定招考第7届留英公费生，招生名额26名，其中物理门2名。当年报名人数为384名，实际参加考试323名，录取总人数24名^[5]。物理门有11人报考，实际录取3人，郭永怀



图1 郭永怀参加玻尔在北京大学演讲后集体合影

Figure 1 Guo Yonghuai in group photo after Bohr's lecture at Peking University

后排右4 郭永怀

Guo Yonghuai, fourth from right in back row

成绩名列第一，与钱伟长同被录取为应用弹性力学专业，傅承义被应用地球物理专业录取^[6,7]。

1939年9月1日，第二次世界大战爆发，第7届庚款留学生原定9月19日赴英的计划被迫推迟。后几经周折，郭永怀一行于1940年8月11日从上海乘船出发（图2），8月26日抵达加拿大西部城市温哥华；同年9月1日前后，郭永怀、钱伟长等人到达多伦多。

1.2 加拿大和美国留学生涯

郭永怀、钱伟长、林家翘进入加拿大多伦多大学应用数学系，均由应用数学系主任辛格（John Lighton Synge）指导。由于他们均拥有扎实的学术功底，因此仅用了半年时间就完成了硕士学业。1941年5月23日，郭永怀完成硕士论文答辩，论文研究内容是可压缩黏性流体在直管中的流动。获得硕士学位后，他于1941年5月来到美国加州理工学院，师从航空大师冯·卡门教授^[8]。

在美国加州理工学院求学初期，郭永怀主要专注



图2 第7届庚款留学生合影

Figure 2 Group photo of Seventh Sino-British Boxer Indemnity Students

后排右2 郭永怀；前排左1 林家翘；前排左5 钱伟长

Guo Yonghuai, the second from right, back row; Lin Jiaqiao, the first from left, front row; Qian Weichang, the fifth from left, front row

② 郭永怀档案. 中国科学院力学研究所档案.

③ 林家翘先生(美国麻省理工学院)的来信, 1987.

于课程研修。第2年开始博士论文时,他把研究课题锁定于“跨声速可压缩混合型流动问题”,这在当时属于世界难题。正如钱学森所说:“永怀同志因问题对技术发展有重要意义,故知难而进,下决心攻关。”^[9]1944年年底,郭永怀以顽强的毅力和信心完成了博士论文《可压缩流体二维无旋亚声速和超声速混合型流动与上临界马赫数》(*Two-dimensional irrotational mixed subsonic and supersonic flow of a compressible fluid and the upper critical mach number*)。郭永怀博士论文答辩时间是1944年12月1日,获得哲学博士学位的时间则是1945年初^④。他的博士论文具有很大的创新性,其中非常重要的成果之一是提出了上临界马赫数的概念。论文把流场第一次出现极限线的来流马赫数定义为“上临界马赫数”,出现激波和激波失速现象的临界马赫数必定处于上、下临界马赫数之间,同时强调这一问题的研究对高效率飞机气动外形设计极为重要。钱学森对此的评价是:“真正有实际意义的是上临界马赫数而不是以前大家所注意的下临界马赫数,这是一个重大发现。”^[9]

1.3 康奈尔大学——成果辉煌的10年

1946年,应冯·卡门的优秀学生西尔斯(William Rees Sears)邀请,郭永怀来到美国康奈尔大学航空工程研究生院任助理教授^[10],负责稀薄气体动力学、黏性流体力学2个方向的教学与科研工作。除继续从事理论研究外,还担任教学与研究生指导工作(图3)。在康奈尔大学的10年,是他成果丰硕的10年。除继续从事跨声速研究并在跨声速流动稳定性的研究取得重要成果外,他还把主要精力放在黏性流体力学、高超声速空气动力学研究上,许多工作具有开创性。值得指出的是,他在进行平板黏性绕流的研究中,把由彭加勒(J. H. Poincaré)和莱特希尔(M. J. Lighthill)等开创的变形坐标法同普朗特的边界层理

论结合起来,使得这种方法获得更为广泛的应用。1953年,这项成果在美国《数学物理杂志》上发表,题为《关于中等雷诺数下不可压缩黏性流体绕平板的流动》^[11]。1956年,钱学森发表文章,系统地阐述了这一方法,并将其命名为PLK方法(即彭加勒-莱特希尔-郭永怀方法)^[12,13]。

在康奈尔大学期间,郭永怀的研究领域和学术兴趣也得到了拓展。他深耕于边界层理论、黏性流体力学、跨声速、高超声速、激波与边界层相互作用等前沿领域,并取得了突出成就,为现代空气动力学和应用数学发展作出了杰出贡献,赢得了国际学术界广泛赞誉^[14]。

抗战胜利后,北京大学新任校长胡适拟成立工学院,委托饶毓泰物色工学院院长人选并邀请留美华人学者加入北京大学。饶毓泰想到了学术声望日隆的钱学森。为邀请钱学森回国任职,他多次写信给郭永怀,请郭永怀向钱学森转达北京大学的邀请之意^[15]。郭永怀也就成了胡适、饶毓泰与钱学森之间的重要联络人。

1955年6月,郭永怀被美国康奈尔大学聘为正教授。地位的提高并没有阻止郭永怀归国的强烈愿望^[16]。1956年9月,郭永怀和夫人李佩、女儿郭芹从美国洛杉矶起航;同年9月30日,从香港九龙乘火车到广州。1956年国庆前夕,郭永怀回到了阔别16年的祖国^[17]。

1.4 开拓我国的力学事业

郭永怀回国后,受到国家领导人的高度重视,毛泽东主席和周恩来总理都多次接见过他^[18]。郭永怀由钱学森提议并经中国科学院批准,加入成立不久的中国科学院力学研究所(以下简称“力学所”),担任学术秘书。1958年3月13日,郭永怀被任命为力学所副所长,从此他把全部热情和精力都倾注到我国的力

④ 根据加州理工学院图书馆论文数据库(<https://thesis.library.caltech.edu/>)相关资料整理。



图3 1953年郭永怀在美国兰利研究实验室参加学术会议

Figure 3 Guo Yonghuai attended academic conference at Langley Research Laboratory in the United States in 1953

二排左3 郭永怀；二排左1 林家翘；前排左7 冯·卡门、左3 钱学森

Second row: third from the left: Guo Yonghuai, first from the left: Chia-Chiao Lin; Front row: seventh from the left: Theodore von Kármán, third from the left: Qian Xuesen

学科学和国防尖端技术事业上（图4）。

在《1956—1967年科学技术发展远景规划纲要（草案）》（简称《十二年科技规划》）任务中，郭永怀被任命为力学专业组副组长。他和力学界的其他专

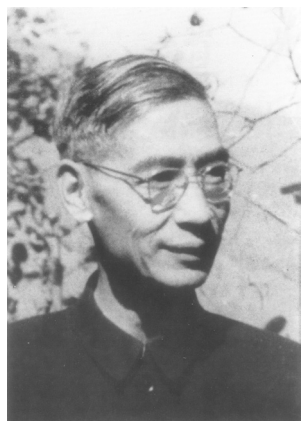


图4 20世纪60年代中期的郭永怀

Figure 4 Guo Yonghuai in mid-1960s

家一起审时度势，分析当时国际力学研究新动向，并结合我国的实际情况制订学科近期发展规划和远期奋斗目标，确定高等学校力学专业的课程设置，为若干年的发展方向确定方针大计^[9]。在力学所，郭永怀和钱学森配合默契^⑤。由于钱学森在国防部第五研究院（以下简称“五院”）的工作日益繁忙，以致后来把组织关系也迁出了力学所，因此力学所的重担便全部落在郭永怀身上^[20]。

力学所的研究机构根据国家任务的需要，不断进行调整。郭永怀肩负重任，执掌核心机构，于1958年兼任一室（宇宙航行研究室）主任一职（图5）。1958年8月，根据中国科学院研制人造卫星的“581”任务的要求，力学所成立第一设计院（人造卫星设计院），郭永怀担任院长，负责卫星总体设计和运载火箭研制。他在总体上和具体业务上都领导与参与了我国人

⑤ 郑哲敏(中国科学院力学所)访谈记录, 1987-05-17.

造卫星事业的奠基性工作。20世纪60年代中期是力学所发展最快的时期。由于承担了大量国防任务,力学所人员急剧膨胀,到1965年前后总人数达2 000人^[21]。在“大跃进”后的各个阶段,根据国家任务的调整,力学所向其他单位输送了大批骨干力量^[22]。

作为力学所主要负责人,郭永怀开创了许多新的研究领域和方向并领导开展了重要实验设备的研制,包括超高速空气动力学、湍流边界层研究、电磁流体力学、爆炸力学、激波管、激波风洞、电弧风洞、电弧加热器等新兴学科及实验设备等^⑥。

在承担力学所全面工作并参与国防任务的同时,郭永怀还积极开展人才培养,包括:1957年担任清华大学工程力学班班主任、1958年担任中国科学技术大学化学物理系主任,招收和培养研究生和青年科技人员^[23, 24]。他在制定培养方案、邀请授课教师、安排毕业设计研究课题等方面做了大量工作,还亲自讲授《流体力学概论》《黏性流体力学》《边界层理论》等课程,编写了《边界层理论》讲义^[25]。1961年,他在北京组织成立高超声速讨论班,瞄准高超声速空气动力

学理论与工程前沿问题^{[26]⑦}。这个讨论班达到了当时的世界先进水平^[27]。

郭永怀对中国力学事业发展作出了巨大贡献——亚洲规模最大的中国空气动力研究与发展中心(以下简称“气动中心”)就是基于钱学森和郭永怀在20世纪60年代构想的蓝图,调整组建的全局性的空气动力学研究和试验机构。郭永怀携手钱学森等著名空气动力学家结合他们长期的研究和工作经验,按照国家航空航天型号研制的具体要求,提出了许多重要建议和设想,为我国空气动力学事业的迅速发展指明了方向^[28]。

1964年3月,郭永怀担任国防部国防科学技术委员会(以下简称“国防科委”)空气动力学专业组^⑧理论分组组长,和其他成员一道组织了全国风洞群调研和建设规划的论证,并提出了风洞建设规划建议,进行了重点型号气动分析会诊工作,讨论了空气动力学研究队伍建设问题。1967年第十七研究院(空气动力学研究院)筹备组成立时,郭永怀任副组长,实际上承担了“常务”的重任^⑨。1967年8月—1968年年底,筹备组在钱学森、郭永怀等的领导下,对风洞群建设等重大问题进行决策。郭永怀通过考察气动研究现状,结合国外经验和学术思想,同钱学森等科学家一道提出了许多重要的建议和主张,许多思想具有超前性。郭永怀指出,第十七研究院应当独立于型号研究院之外,还要对先进的飞行器气动布局有重大发言权。他还详细地分析了一些具体的技术途径和研究课题,包括炮风洞、弹道靶、电磁波中断、等离子鞘套(“黑障”)、云粒子效应、高雷诺数、高焓和高马赫数气动力环境等。他还特别强调要建好理论研究所(第六研究所),加强计算流体力学研究。1998年8月,



图5 中国科学院力学研究所内的郭永怀雕像

Figure 5 Statue of Guo Yonghuai at Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences

⑥ 张德华,等.中国科学院力学研究所空气动力学研究简史(内部资料).北京:中国科学院力学所,1986:5.

⑦ 张涵信(中国气动力研究与发展中心)的访谈记录,1987-07-21.

⑧ 韩志华.中国空气动力发展史大事记(建国后部分).编务通讯(内部资料),1986,(8):3.

⑨ 卞荫贵(力学所)访谈记录,1987-06-19.

郭永怀在美国康奈尔大学指导的博士生阿尔弗雷德·雷特来到最终建成的中国空气动力研究与发展中心访问后说：“贵中心风洞设备的规划建设显然包含着郭永怀教授的思想。”^[29]

第十七研究院后来几经变动，于1976年正式调整组建为亚洲排名第一、在国际上享有盛誉的中国空气动力研究与发展中心（29基地）^⑩（图6）。作为开创者、奠基者与建设者，郭永怀具有不可磨灭的丰功伟绩。

郭永怀还承担了许多社会工作：1957年2月当选为中国力学学会副理事长；1957年3月，当选为第二届中国政治协商会议全国委员会委员；1957年5月29日，当选为中国科学院数学物理学部学部委员；1958年1月，担任《力学学报》主编；1958年11月，当选为第二届全国人民代表大会代表并于1964年12月，当选第三届代表；1964年2月，当选中国航空学会副理事长。1962年7月，郭永怀加入中国共产党。

1968年10月3日，郭永怀来到青海核武器研制基地，参加我国第一枚导弹热核武器试验前的准备工作。在各项工作基本完成后，12月5日13时59分郭永怀从兰州乘伊尔-14飞机回京，19时38分在北京首都

机场着陆时发生事故，他不幸以身殉职，年仅59岁^[30]。周恩来总理得知郭永怀牺牲的消息后，万分悲痛，下令彻查这一事件，并责成《人民日报》发布这一不幸消息^[31]（图7）。

1968年12月25日，中国科学院在八宝山革命公墓为郭永怀举行了追悼会，时任院长郭沫若致悼词^[32]；同日，中华人民共和国内务部追认郭永怀为烈士。

2 开拓我国的导弹事业

郭永怀是党中央表彰的23位“两弹一星功勋奖章”获得者中唯一的一位烈士，也是对我国导弹、核弹和人造卫星三大工程中均作出重大贡献的科学家^[33]^⑪。

1956年10月8日，我国第一个导弹研究机构——国防部五院成立，中国导弹事业发展正式开始。导弹研制涉及众多技术领域。郭永怀除了在导弹发展中的一些基础性理论与技术问题做了大量先驱性和开创性工作外，还直接领导研制了探空火箭、小型地空导弹、氢氧火箭发动机并在导弹再入物理现象研究、反导系统研究与设计方面取得了很大进展和突破，为我国研制导弹和运载火箭奠定了重要基础。



图6 中国空气动力研究与发展中心
Figure 6 China Aerodynamics Research and Development Center

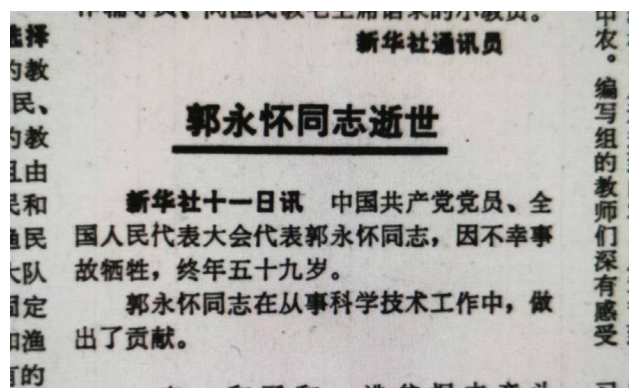


图7 《人民日报》发布郭永怀逝世消息
Figure 7 People's Daily announced Guo Yonghuai's death

⑩ 李家春, 戴世强. 郭永怀传. 编务通讯(内部资料), 1985, (5): 19.

⑪ 睦璞如. 点滴回忆 深切怀念// 郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集(内部资料). 北京: 中国科学院力学研究所, 2009: 7-11.

2.1 战略导弹基础性研究

1960年,我国国民经济发展处于调整阶段。1961年聂荣臻提出,“国防部五院、二机部和科学院三家要拧成一股绳,共同完成两弹研制任务”。根据这一精神,中国科学院分别与二机部、五院组建协作小组,共同为“两弹”任务服务。1961年5月18日,五院与力学所召开会议,确定了五大协作任务(101—105任务),明确了五院与力学所的分工:五院主要解决与火箭、导弹有关的工程技术问题,力学所侧重于先导性的基础理论问题研究^[34]。

1959年7月,力学所曾对研究机构进行调整,将主要开展民用性研究的二、三、四等室合并为一部;将承担国防任务的一室、怀柔基地、第一设计院一部分组成二部,下设十一室、十二室、十三室、八室和九室及附属工厂^②。二部在1961年力学所与五院战略导弹研制协作中,主要承担导弹的基础性、理论性研究课题,五大协作任务分别是:液体火箭发动机燃烧、传热的理论与实验研究(代号为“101”);导弹弹头的空气动力学研究(代号为“102”);导弹结构强度和稳定性研究(代号为“103”);飞行马赫数6以上冲压喷气发动机探索性研究(代号为“104”);金属薄板零件爆炸成型理论研究(代号为“105”)。郭永怀直接负责十一、十二、十三室的业务,为我国的战略导弹研究作出全面的贡献^①。

1961—1963年,力学所的主要研究力量集中在五大协作任务上。值得指出的是,102号任务涉及中程战略导弹再入与防热问题,是重中之重的任务,郭永怀亲自领导该任务,并为承担任务的十一室配备了精兵强将。弹头烧蚀防热问题的研究任务由十一室和五院701所联合攻关,包括理论分析计算和模拟实验研究2个部分。魏叔如^③提出的玻璃纤维增强塑料烧蚀理

论与碳材料的定常和非定常烧蚀理论、吴承康课题组获得的导弹耐热材料的有效烧蚀热数据等许多理论与实验成果为研制中程导弹发挥了重要作用^[34]。

2.2 氢氧火箭发动机探索

力学所第一设计院成立之初,即考虑建设试验基地事宜。1959年1月9日,力学所确定试验基地选在怀柔思家峪地区,怀柔基地对外名称为“北京矿冶学校”^[35]。1958—1966年,力学所在氢氧火箭发动机、541小型地空导弹及“6405”工程方面开展了大量理论研究、型号设计与试验研究。郭永怀在这三大项目中都发挥了重要领导作用。

怀柔基地的重要任务之一是探索和开发用于远程火箭与导弹的高能液体推进剂,以及进行火箭发动机的地面试车试验。基地设计了小型液体火箭发动机试车台S1(100—500千克推力),开展了15吨和100吨推力氢氧火箭发动机的总体性能研究。林鸿荪把深入研究燃烧振荡问题作为重点课题,从理论上提出解决燃烧不稳定问题的途径,引起理论界和发动机设计部门的很大兴趣。怀柔基地还开展了液氢液氧推进剂各类理论与实验研究^[36]。

二部十三室取得的重要成果包括:15、100吨推力液氢液氧火箭发动机总体性能研究报告、发动机试车台建设,以及燃烧稳定性理论与实验研究成果^[37]。1963年12月17日,S1D试车台首次试车成功。截至1964年,累计试车100余次,基本上解决了点火启动、喷注器型式、燃烧室压力调节、混合比控制、气氢与液氧的流量测量、推力测量等一系列技术问题。1964年11月24日,推力为500千克的液氢液氧火箭发动机首次试车成功,持续时间20秒。这是我国第一次正式以液氢和液氧为推进剂的火箭发动机地面试车成功,为七机部研制长征三号火箭第三级发动机奠定了一定

^② 王柏懿.中国科学院力学研究所志(内部资料).北京:中国科学院力学研究所,2010.

^③ 魏叔如.我所接触的郭永怀先生//郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集(内部资料).北京:中国科学院力学研究所,2009;16-20.

的基础^[38,39]。

2.3 541小型地空导弹研制

1965年,时任国家主席刘少奇就抗美援朝战争中如何抗击美军飞机轰炸提出能否研制一种单兵使用的对付超低空飞行敌机的导弹,并要求中国科学院想办法。中国科学院将这项任务安排给力学所,并任命郭永怀为小型地空导弹的总设计师组组长。1965年5月4日,郭永怀在五机部(兵器工业部)主持召开了第一次小型地空导弹的研讨会,并将这种导弹命名为“541”^[40]。1965年6月中旬,“541”任务得到中央专委^①批准。为适应任务需要,力学所研究机构进行了调整,设立4个室,分别负责总体设计、发动机研制、结构设计和气动计算。在郭永怀指导下,有关人员起草了上报中央专委的研制任务书。“541”导弹是国家重点任务,时间紧,任务重。郭永怀动员大家尽力而为,并以严谨科学的态度做好工作。

“541”研制进展很快。1965年10月,时任中国科学院院长郭沫若亲自到研制现场参观试验工作。他看了后兴奋不已,题词“甚感此地有大庆之风”^[41]。怀柔基地完成了“541”1型弹总体设计;完成了1型弹和2型弹气动力学计算,研究了弹体大攻角飞行时气感测量装置;完成了弹体的结构强度计算和试验;完成了1型弹的点火器研制和发动机地面试验;完成了1型弹和2型弹发射装置的研制^[35]。此后,发动机地面试验做了300多次,分系统各项工作也都按时或提前完成。1965年12月28日,“541”试验弹进行了首次发射试验。到1966年1月,又进行了多发试验弹的发射试验,取得了重要试验资料^[40]。

“541”任务虽于1966年第4季度被迫中止,但其

中一些重要成果得到延续。气动室在开发的“‘541’导弹空气动力和弹道的耦合计算软件”基础上,研制成功“远程导弹气动防热计算机辅助设计仿真软件系统”,为我国导弹设计与试验作出了巨大的贡献。该成果后来成功应用于“东风五号”洲际导弹末区气动防热烧蚀/侵蚀性能预测,以及“巨浪一号”潜射导弹气动防热性能设计^[34]。

2.4 反导导弹工程的工作

1963年12月—1964年2月,毛泽东主席多次提出发展反导武器的想法^[42]。在五院开展技术论证和制定计划基础上,中央专委于1965年8月27日批复实施代号为“640”的反导导弹工程。该工程被细化为1个防区和5个子系统,代号分别为“640”防区、“640-1”工程(反弹道导弹武器系统)、“640-2”工程(超炮反导系统)、“640-3”工程(激光武器系统)、“640-4”工程(战略预警系统)和“640-5”工程(弹头再入物理现象研究)^[38]。在一系列绝密会议中,郭永怀以中国工程物理研究院(九院)副院长和力学所副所长双重身份多次参加。

其中,“640-5”工程属于基础性研究,郭永怀作为总体组组长领导着该项目^[43]。该项目主要开展导弹再入大气层产生的物理现象的研究,目的是解决导弹弹头再入大气层的识别问题,以为拦截入侵导弹提供预警情报和数据,并为导弹突防提供理论支持。郭永怀给“640-5”工程起了一个十分形象又有利于保密的名称——“大气现象学”^⑤。1966年6月,他先后亲自草拟了给中国科学院的报告和该项目10年规划,列出了5个中心问题共21个课题(后来扩充为9个中心问题和33个课题)。这些课题涉及导弹再入、导弹突

^① 中央专门委员会的简称。该委员会经刘少奇提议,毛泽东主席批准于1962年11月3日成立,由周恩来总理任主任,贺龙、聂荣臻、李富春、李先念、薄一波、陆定一、罗瑞卿7位副总理任副主任,赵尔陆、张爱萍、王鹤寿、刘杰、孙志远、段君毅、高扬7位部长任委员,因此亦称“中央十五人专门委员会”。成立之初,主管原子弹攻关工作,1965年后又全面领导导弹、潜艇、卫星等工作。这是中国国防尖端武器研制的最高决策机构,为“两弹一星”事业做了大量决策、组织、协调等工作。

^⑤ 纪家驹(中国科学院力学所)访谈记录,1987-05-21。

防、再入识别与反识别等重大工程技术问题,以及大量超声速和高超声速空气动力学理论课题。他还就该工程提出了许多有价值、富有创新性的思想,包括在弹头烧蚀材料中加入添加剂,使敌方难以识别;研究弹头再入的气动热、辐射、电离、烧蚀、目标对电离层扰动、等离子鞘套等^⑩。

郭永怀精心组织研究队伍、细致安排研究课题、超前谋划实验设备并取得了一批基础性和工程性成果,设备建设取得了很大成效,这些成果后来在其他部门得以应用^[44]。通过开展“640-5”工程研究,一批年轻科研工作者成长起来,不少人后来成为七机部和十七院的骨干力量^[34]。中国导弹防御与突防技术的突破,凝聚着郭永怀的心血和汗水^⑪。

3 奠基我国的航天事业

3.1 中国人造卫星计划启动

1957年10月4日,苏联发射成功世界第一颗人造地球卫星,在国际上产生了巨大影响。同年10月13日,中国科学院等机构组织召开“关于苏联发射成功第一颗人造卫星的座谈会”,郭永怀参加并做了发言。他谈到发射人造卫星的巨大意义,还就发射人造卫星的运载工具及其推力、火箭发动机的推进剂、卫星进入轨道的姿态控制、苏联同西方国家火箭技术的比较等具体问题作了分析介绍,并发表了自己的见解^⑫。当晚,郭永怀还参加了由中国科学院紫金山天文台台长张钰哲牵头组织的对苏联第一颗人造卫星进行观测^[45]。

1958年5月17日,毛泽东主席发出“我们也要搞人造卫星”的号召,各部门迅速行动起来。中国科学

院成立了“581”任务组,并在北京香山饭店组织钱学森、赵九章、郭永怀、陆元九等专家拟定《发展人造卫星规划(草案)》,形成了研制发射卫星的“三步走”的规划。在“581”任务下,1958年8月力学所成立第一设计院(卫星设计院),由郭永怀任院长,杨南生任副院长。该院成立后,只用了2个月时间就完成了运载火箭结构的初步设计,并做出了2种探空火箭的头部模型。1958年10月底,完成了T-3火箭的一些部件和组件的图纸。同年11月,第一设计院部分迁往上海,更名为“上海机电设计研究院”,院长仍是郭永怀。到1958年底,该院设计的T-3运载火箭零部件陆续投入试制^[46]。1959年3月,中国科学院对火箭研制任务进行调整,由运载火箭转向T-5气象火箭。1959年底总装出完整的火箭发动机和1/3段箭体。1959年8月,该院开始研制小型探空火箭T-7和T-7M模型火箭。1960年2月19日,该院自行设计制造的液体探空火箭T-7M发射成功。第一设计院和上海机电设计研究院的火箭研制工作拉开了实用探空火箭发展的序幕,为全面开展探空研究和运载火箭设计奠定了基础^[47]。郭永怀为探空火箭研制和运载火箭早期设计做了许多奠基性工作^{[38]⑬}。

3.2 人造卫星研制与651设计院成立

1961年4月12日,苏联宇航员尤里·加加林首航太空。为了抓紧人造卫星等航天器的探索工作,钱学森、赵九章等科学家倡导举办了星际航行座谈会^[41]。郭永怀在第4次会议上作了题为“宇宙飞船的回地问题”的中心发言,提出的卫星设计、卫星返回、空气增阻、气动加热特性、钝头体设计和发汗、烧蚀防热等理论原则与设计思想成为后来卫星和飞船设计的重

⑩ 郭惠欣.深切怀念郭永怀所长//郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集(内部资料).北京:中国科学院力学研究所,2009:12-15.

⑪ 张德华等.中国科学院力学研究所空气动力学研究简史(内部资料).北京:中国科学院力学研究所,1986.

⑫ 郭永怀的发言//关于苏联发射成功第一颗人造卫星座谈会上的发言汇集(内部资料).北京:中国科学院办公厅,1957:15-16.

⑬ 中国空间技术研究院.北京空间机电研究所.(2016-04-21)[2024-08-22].<https://www.cast.cn/news/4072>.

CAST. Beijing Institute of Space Mechatronics. (2016-04-21)[2024-07-22]. [https://www.cast.cn/news/4072\(in Chinese\)](https://www.cast.cn/news/4072(in Chinese)).

要依据^{[48]③}。

1965年5月6日，中央专委批准研制人造卫星，并同意在中国科学院内设立卫星设计院(代号“651设计院”)。同年8月17日，中国科学院召开会议，议定成立3个组；其中，卫星总体设计组由赵九章任组长，郭永怀、王大珩为副组长。会后，卫星总体设计组即着手草拟第一颗人造卫星总体设计方案。郭永怀作为总体设计组主要负责人之一，与赵九章一道安排相关研究与设计工作。郭永怀交给力学所的任务有卫星结构设计、与运载工具的接口设计、卫星对运载工具的运载能力要求等。在郭永怀指导下，技术人员撰写了有关卫星结构、重量和对运载工具要求的报告，对以后决定卫星的基本方案起了一定作用^⑩。

1965年9月下旬，中国科学院连续召开3次人造卫星工程技术会议（“651”会议），全面谋划了人造卫星及其发射工具、发射场及跟踪测控方案。1967年12月，国防科委召开会议审定了总体方案和各分系统方案，并将中国第一颗人造卫星命名为“东方红一号”。

“651”会议结束后，按照郭永怀的部署，1966年1月在力学所成立了651室，由其承担卫星本体结构设计及试验、温度控制及热试验等任务。以651室为基础，中国科学院于1966年1月25日成立了卫星设计院（651设计院），由赵九章为院长，力学所党委书记杨刚毅兼卫星设计院党委书记。力学所承担的“651”任务包括卫星本体结构设计及试验、温度控制与热试验、卫星回收方案的调研。在“东方红一号”卫星规划与设计过程中，郭永怀、钱学森深度参与领导与组

织方案设计与任务安排^⑪。郭永怀还给予了具体技术指导，包括卫星总体方案设计、提出开展卫星抗噪声试验。这些先驱性工作以及培养的骨干，为“东方红一号”卫星和返回式卫星研究打下了重要技术基础。

例如，在郭永怀支持下，吴承康课题组于1966年3月完成《我国第一个回收卫星技术途径初步调查的汇报材料》研究报告，全面深入地分析了卫星回收过程的气动问题，提出了科学的整体返回程序并提供了下降轨道方案^[27,50]。他们开展的烧蚀实验工作中在中程导弹研制中起了重要作用，也为中国返回式卫星研制提供了重要依据^⑫。

3.3 小结

郭永怀在中国发展航天事业奠基阶段作出了巨大贡献，主要包括7个方面：① 积极倡导发展我国的卫星和航天事业；② 参与研究制定航天事业发展规划；③ 亲自参加重大技术课题的组织与研究工作；④ 承担组织人造卫星本体（包括返回式卫星）的设计与研制工作；⑤ 在力学所组织开展与返回式卫星相关的理论与实验课题研究；⑥ 在郭永怀参与领导下，力学所参与卫星研究与设计和基础性研究课题的许多科研人员后来划归空间技术研究院和七机部其他部门，为“东方红一号”卫星和返回式卫星发展作出直接贡献；⑦ 郭永怀曾任院长的第一设计院及上海市机电设计研究院开展了运载火箭早期方案设计^⑬。

4 献身我国的核武器事业

1955年1月15日，中共中央做出发展核武器的战略决策。1960年5月，郭永怀服从组织安排加入到这

⑩ 屠善澄(中国科学院)访谈记录, 1987-06-24.

⑪ 睦璞如. 点滴回忆 深切怀念// 中国科学院力学研究所. 郭永怀先生诞辰一百周年纪念文集(内部资料). 北京: 中国科学院力学研究所, 2009: 7-11.

⑫ 俞鸿儒(力学所)访谈记录, 1987-10-27.

⑬ 张德华, 等. 中国科学院力学研究所空气动力学研究简史. 北京: 中国科学院力学研究所: 24.

⑭ 纪家驹(中国科学院力学所)访谈记录, 1987-05-21.

一伟大事业之中，兼职于第二机械工业部核武器研究所（代号“北京第九研究所”，简称“九所”）^⑤，唯一牵挂的是力学所工作与九所工作的协调问题^⑥。他来九所的时间比王淦昌和彭桓武早了约1年，他们3人在1961年4月都被任命为九所副所长^[45]。郭永怀主管核武器工程研制的力学问题和武器化工作，担任设计部主任，1963年又被任命为场外试验委员会主任。他在突破原子弹原理、开展爆轰试验、原子弹和氢弹结构设计、核弹武器化，以及核弹环境试验等方面，都付出了巨大努力并作出了卓越贡献。

4.1 第一颗原子弹攻关工作

在郭永怀的日程表上，名义上是每周3天到九所工作，实际上天天都能在九所见到他的身影。为了给年轻人普及核物理、工程力学方面的知识，他和王淦昌、彭桓武等著名科学家作专业学术报告，对科技人员和高层管理干部都有极大的启发意义^[49]。

对于“枪法”和“内爆法”2种原子弹引爆方式，郭永怀通过比较各自的优缺点，提出“争取高的，准备低的”的方针，即以更为先进、高级并能节省核材料的“内爆法”作为主攻方向^[50,51]。“内爆法”涉及爆轰学。为了使大家了解爆轰学，郭永怀给科技人员讲授爆炸物理学，大家觉得受益匪浅。他还提出用特征线方法进行爆轰波的理论计^{[52]⑦}。

郭永怀不仅在大的方向上予以指导，也亲自参与了一些如爆轰波的计算及爆轰物理试验等具体工作。爆轰物理实验是突破原子弹技术的重要一环。我国第一个爆轰试验场建在河北省怀来县官厅水库南岸的一片沙漠地带，被称为“17号工地”。1960年10月，郭永怀、郭英会和程开甲陪同张爱萍一起前往17号工地

考察爆轰试验情况^[53]。为了取得第一手材料，郭永怀和王淦昌等科学家经常深入爆轰试验现场，指导工作并协助参加爆轰试验。他们还和科技人员一道搅拌试验用的炸药^[54]。为了配合爆轰试验，郭永怀和龙文光指导九所设计部人员开展了不同试验装置的结构设计，使爆轰试验得以顺利进行^[55]。

为了开展大型爆轰试验，1963年初，九所机关和大批人员转入青海核武器研究基地——221厂。为加快原子弹研制步伐，1964年3月核武器研制所进行了重大调整，由“九所”演变为“九院”，即核武器研究院，改革开放后对外称“中国工程物理研究院”（图8）。郭永怀领导九院设计部，负责原子弹结构设计、强度计算和环境试验。在他和龙文光等安排下，设计人员为核装置外层结构设计出强度高的“蜂窝架”方案^[56]。

1963年12月24日，1/2比例核装置聚合爆轰试验取得成功，郭永怀亲临现场。1964年6月6日，全尺



图8 中国工程物理研究院（九院）正门
Figure 8 Front gate of China Academy of Engineering Physics (9th Academy)

⑤ 九所成立于1958年10月。随着中国核武器研制工作进入最后攻关阶段，九所由北京迁入青海，并于1964年3月扩大改建成“二机部第九研究设计院”，简称“九院”。1969年10月，九院整体迁至四川梓潼地区，公开名称是“中国工程物理研究院”，内部习惯上仍称九院。

⑥ 钱三强（中国科学院）访谈记录，1987-06-08。

⑦ 王淦昌（核工业部）访谈记录，1987-05-09。

寸爆轰模拟试验也达到了预期目的。在正式核爆炸试验前,需要进行核装置的振动试验。郭永怀也来到青海,参加指导振动试验^[57]。

1964年10月16日15时(技术上称“零时”),我国第一颗原子弹装置核爆炸试验圆满成功。当时郭永怀正在现场附近,目睹了这一极为壮观的场景。这项对我国具有深远的政治、军事、科技意义的巨大成就,凝聚着他的一份努力、汗水和功劳。

4.2 核弹武器化的工作

中国首次核武器试验,只是爆炸了一个核装置,远没有达到实战化或武器化的要求。在此之前,九院就开始进行了核弹武器化的预研工作。郭永怀经常在九院的会议上指出,要努力做好核武器的后续发展工作。在他的指导下,1960年下半年研究工作全面铺开,相关课题组开展了气动外形设计、弹道分析计算、气压引信设计、风洞实验和模拟弹飞行试验,以及核爆炸后对载机的安全论证等。他对设计方案和计算数据都亲自一一核对^②。经过风洞试验、模型和全尺寸模型空投试验,以及对不同气动外形的气动力特性进行反复比较,设计人员采用了独特的支撑结构,在3种核航弹方案中确定了最佳方案^[58]。

各种环境试验是武器化阶段非常重要的一环。郭永怀从人员配备、课题安排、试验项目确定以及设备研制等多方面入手,保证环境模拟试验顺利进行^[59]。在他的带领下,我国拥有了一整套大型、精密的,测试范围较广的核武器试验设备,包括冲击、噪声、振动、过载、温度、湿度、霉菌、盐雾的组合试验设备。核航弹设计涉及的材料强度、成型、撞击等问题都是郭永怀提出并安排研究的^[56]。1962年底,九所开展了代号为“2901”的核航弹空投模型弹试验。郭永怀对试验总结报告认真审阅,要求进一步完善。

1963年12月28日,代号为“2912”的试验在巴

丹吉林沙漠深处的14号地区进行。郭永怀和技术人员一道乘车到数十千米以外的靶区工作。试验结束后,郭永怀对气压引信系统的误差分析非常重视,安排课题进行分析。1965年4月20日,在空投核航弹前曾投了一发遥测弹,数据显示气压引信提前动作。这时,郭永怀提出开展的引信系统误差分析工作发挥了作用,通过对其进行修正,解决了引信提前动作的问题^[60]。

对于“安全论证”课题,郭永怀主张通过理论计算和模型空投试验结合开展研究^[51]。他提出了用降落伞增阻减速这一方法,并指导核航弹携带降落伞的课题研究,指导科研人员研究伞-弹系统在空中的运动方程、冲击波基本规律、冲击波引起阵风风速的计算、光冲量计算。由于安全论证工作进行得细致、全面,每一次参加核试验的飞机都安全返航^[58]。

1965年5月14日,一架经过改装的轰-6轰炸机携带我国第一颗核航弹从青海某地起飞。飞机在新疆核试验基地预定高度把核航弹准确投向靶标,核航弹在预定高度实现了核爆炸。这次试验的圆满成功,标志着我国有了初步可用于实战的核武器。

4.3 “两弹结合”的协调工作

中国核武器事业的下一个关键项目是核导弹研制,即“两弹结合”,以研制更具战略价值的导弹核武器。1963年国防部五院一分院和二机部九院就开始了“两弹结合”的接触。1964年9月15日,中央专委正式对“两弹结合”工作做出部署,决定由二机部和五院共同组织试验方案论证小组。在“两弹结合”协调和技术工作中,郭永怀是领导者之一。1965年3月11日,周恩来主持中央专委第15次会议,批准“两弹结合”“先冷后热”的试验安排。

核导弹飞行对环境条件的要求更加苛刻。郭永怀很早就九院提出对核弹头在超声速和高超声速飞行

② 笔者1987年在四川核工业部第九研究院采访记录,1987-07。

中出现的环境问题开展研究,包括随机振动、冲击、噪声等对弹头的影响。为了保证核弹头在各种环境下经受住考验,郭永怀提出了开展环境实验的设想并领导建立了一系列实验装置,从而为九院建立完整的核弹头环境科学实验室奠定了基础^[54]。

郭永怀早在1964年就提出了动态环境试验要开展随机振动、冲击和噪声研究。他认为,未来的核导弹必会遇到弹头破甲穿地、导弹坠地核安全等方面的问题,因此必须开展高速碰撞问题的研究^[61]。他和科研人员从冲击试验中提炼出5个研究课题,还与朱光亚等一起组织调研海军核武器、反潜核武器、飞机机载武器等特殊问题。对于弹头撞击试验和计算,他提出对“触地引信”进行理论分析,开展弹头穿地问题研究^[52]。1966年,他指导技术人员利用宽幅脉冲冲击试验代替离心机试验,解决了设备能力不足的难题。1967年,他主持了673会议,并对应用34试验代替热试验作为“两弹结合”定型的方法提出了意见^[62]。

1966年9月8日,4枚“东风二号甲”导弹运往甘肃酒泉20基地,准备参加“两弹结合”飞行试验。郭永怀也来到试验现场;同月13日和16日,成功进行了2次“冷”发射试验。1966年10月27日,“东风二号甲”导弹装载核弹头进行首次发射试验;导弹历时9分14秒,经过894千米的飞行,核弹头在新疆马兰21基地核试验区弹着区靶心上空569米高度实现核爆炸^[38]。该试验的成功表明,中国已经拥有了可用于实战的核导弹。

4.4 氢弹结构设计及安全论证

早在1963年9月,第一颗原子弹设计完成后,九院就组织人力进行热核武器的理论问题探索。郭永怀则针对氢弹的结构设计、气动外形设计、环境试验等方面问题,组织有关机构和人员开展工作。氢弹空投给空气动力学带来新的课题。郭永怀抽出几个人组成

调研组,就国内外能见到的资料进行研究分析。由于氢弹外形的增阻特性要求高,采用普通的减速板达不到要求,设计人员决定加装软伞增阻装置。弹体加伞后,会出现伞-弹弹道的计算问题。在郭永怀直接指导下,科技人员通过理论分析和计算解决了这一问题。

从1965年10月开始,九院设计部进行了第一颗氢弹气动外形设计工作。郭永怀对外型设计、气动增阻、飞行稳定、飞机安全、环境影响等研究都给予了具体指导和建议,并提出采用薄壳结构设计氢弹^{[59]②}。1966年1月初,九院设计部六室召开增阻方案论证会,确定了降落伞增阻和扩张裙式2种方案;1月22日,技术人员又去北京进行氢弹试验方案的调研,以及氢弹结构设计工作;2月22日,郭永怀、朱光亚在京听取汇报,做了进一步指示^[63]。

氢弹空投试验的安全问题更加严峻。经过2个多月的紧张工作,“安全论证小组”提交了《XX-73任务轰-6飞机安全论证报告》。1966年9月5日,在中央军委礼堂召开“安全论证”汇报会,郭永怀、朱光亚、陈能宽3位九院副院长参会并做了进一步论证。

我国第一颗氢弹研制工作进展迅速。郭永怀负责的总体设计、环境模拟试验以及安全论证等工作也都按时完成。1966年12月—1967年4月,小当量氢弹原理试验、弹道特性试验和机、伞、弹综合预演都达到了预期要求。1967年5月,氢弹试验队由九院院长李觉带领抵达马兰试验现场,郭永怀随队参加。1967年6月17日,中国第一颗氢弹由轰-6轰炸机运载进行空投试验。氢弹在降落伞减速下徐徐下降,在预定高度实现了热核爆炸。从第一颗原子弹爆炸成功到第一颗氢弹爆炸成功,中国只用了2年8个月,跨越速度远快于当时其他4个有核国家(美国、苏联、英国、法国),而且赶在了法国之前。

郭永怀对核武器事业的贡献还有很多:提出了通

② 谢之修(原核工业部中国工程物理研究院,后中国科学院力学研究所)访谈记录,1987-06-15。

用核航弹的设想；领导开展了反潜核武器、弹头“入水”“出水”，以及核弹头入地后引爆、穿地弹理论和试验研究等^[58]；参加了三峡工程防护工作并担任防空大组组长，为三峡大坝设计和防护措施研究作出了贡献^[64]。

作为战略科学家，郭永怀对科研体制始终极为关心和重视。为了搞好九院内迁四川梓潼的环境试验能力建设，郭永怀站在学科发展的高度提出大量建设性意见^[52]（图9）。他十分关心“两弹结合”中七机部与九院的分工合作问题，建议七机部只负责运载工具研制、二机部负责整个核弹头研制（包括结构、防热与核装置），以减少产品技术协调上的矛盾。他把这个设想形象地比喻为“茶壶和茶壶盖”的关系^⑩。1968年初，在国防科委副主任罗舜初主持召开的会议上，郭永怀的建议得到进一步论证，后受到聂荣臻的赞许^[53,62]。

从1964年10月16日我国成功地进行首次核试验到1968年底郭永怀牺牲时，其间共进行了8次核试验，他大部分都亲临现场指导，付出了大量心血^[56]。

1985年12月5日，我国著名核物理学家、中国科学院院士、“两弹一星功勋奖章”获得者、九院院长邓稼先为纪念郭永怀写过短文：《忆良师益友，再创新业》。邓稼先写道：

“我国著名力学专家郭永怀同志，在我院建院初期任副院长，对我们的事业作出了卓越的贡献。他为开创我院事业做出的贡献和本人的学术成就，永远铭记在我们心中。直至今日，还深感他的早逝，对我们事业造成的巨大损失无可挽回，同时也使我失去一位良师益友。何其惋惜！”^[65]

这是对郭永怀为我国核武器事业所作贡献的恰如其分的评价。



图9 四川梓潼“两弹城”郭永怀、王淦昌、彭桓武塑像
Figure 9 Statues of Guo Yonghuai, Wang Ganchang and Peng Huanwu at “Two Bomb City” in Zitong, Sichuan

5 结语

郭永怀回国后，完全放弃了个人的学术研究，全身心投入国家的力学事业、国防事业之中，并且作出了卓越贡献。

他是战略科学家、科研组织者和管理者。他热爱祖国，毕生践行科技强国思想。他参与组织和领导中国力学事业发展规划、气动中心建设规划、“640-5”工程研究规划、人造卫星发展规划、核武器环境试验规划和新基地建设规划，并在每一个建设项目中都提出了重要的科研思想和学术思想。在学科建设与科研上，他极富战略眼光，提出的激波管和激波风洞、电磁流体力学、爆炸力学、再入物理现象、云粒子效应、核武器环境问题、核爆炸地震探测、高超声速空气动力学等研究课题都瞄准学科前沿和未来发展方向。他与钱学森共同制定的力学所发展战略、发展规划和科研方向至今仍有重大影响；重视理论与实践的结合，强调从工程项目中选择课题，确定主攻方向；重视开展奠基性的基础理论研究，强调做好理论和技术储备工作；重视学科间的相互交叉与渗透，强调开

⑩ 笔者1987年在四川核工业部第九研究院采访记录, 1987-07.

展交叉性、探索性和开创性的研究；重视科学技术的长远发展，强调近期研究与长远研究的有机结合。他重视科学技术研究的目的性，强调要为国民经济和国防建设服务。他不仅关心个别学科的发展，而且更关心整个科学技术的系统性发展。他敢于突破“任务带学科”的框框，提出要摆正科研工作与型号研制的关系。他经常思考我国的科研体制问题，多次在不同场合提出自己的建议和主张。

郭永怀是一位优秀的教育家。在清华大学力学班、中国科学技术大学化学物理系、高超声速研讨班和力学所开展人才培养和研究教育的经历，蕴含了他丰富的教育思想。他认为我国科学技术的发展不是一朝一夕的事情，必须大力培养新生科研力量，造就一批科研生力军。他对年轻的科技工作者寄予殷切的希望，给予无私的关怀。他关心青年人的成长和成才，善于发现他们的长处，反复强调要大胆选拔和使用年轻的科技工作者。为了培养人才，他循循善诱，诲人不倦，以身作则，处处作表率，给他的学生和年轻的科技工作者留下深刻的印象和难忘的记忆。

郭永怀自觉践行科技强国思想，发扬应用力学传统，重视学科交叉渗透，重视理论与实践结合，重视长远性探索研究，强调任务与学科并重，坚持求是与学术民主，关心科研体制问题。他的科技强国思想、学术民主思想、实事求是精神、任务学科兼顾思想、科研育人理念在今天也值得后人发扬光大。

郭永怀淡泊明志、大公无私。他把从美国带回的电冰箱、电风扇、手摇计算机都交给力学所使用；他和夫人李佩把在美国的积蓄——折合人民币近5万元捐献给国家；为了工作，他把集邮、听音乐、摄影等爱好完全放弃，把精心积攒的邮册和唱片都捐献出来；他响应国家号召，把唯一的女儿郭芹送往遥远的内蒙古呼伦贝尔插队。他关心政治问题和社会问题，强调实事求是，敢于直言不讳地发表自己的观点。在“文革”中，他敢于冲破阻力，大抓科研生产。他关

心和保护了不少在历次“运动”中受冲击的人，包括他的师长、他的同学、他的同事、他的助手和他的学生。他那高尚的品格和无畏的精神受到人们的普遍爱戴和尊重。

1978年12月5日，在郭永怀为国牺牲10周年纪念会上，时任中国科学院秘书长郁文对郭永怀作出了这样的评价：“郭永怀一生做到了‘老实’二字，他是个老老实实的科学家，老老实实的共产党员。他从来讲真话，不讲假话，从来不会趋炎附势。”作为一位学术广博精深、贡献卓著、品德高尚、热爱祖国的卓越科学家，郭永怀永远受到人们的怀念。

参考文献

- 1 李成智. 郭永怀——中国卓越的力学家. 自然辩证法通讯, 1988, 10(5): 65-77.
Li C Z. Guo Yonghuai: An eminent Chinese scientist of mechanics. Journal of Dialectics of Nature, 1988, 10(5): 65-77. (in Chinese)
- 2 李家春, 李成智. 郭永怀// 宋健. “两弹一星”元勋传(下). 北京: 清华大学出版社, 1999: 287-356.
Li J C, Li C Z. Guo Yonghuai// Song J, ed. Biography of the Founders of “Two Bombs and One Satellite” (Part 2). Beijing: Tsinghua University Press, 1999: 287-356. (in Chinese)
- 3 教育文化消息: 中英庚款董事会协助非常时期科学工作人员. 教与学, 1938, (9): 52-54.
Educational and cultural news: Boxer Indemnity of Sino-British board assists scientific workers in harsh times. Teaching and Learning, 1938, (9): 52-54. (in Chinese).
- 4 周培源. 坚决服从国家和人民的需要// 郑哲敏. 郭永怀纪念文集. 北京: 科学出版社, 1990: 9-12.
Zhou P Y. Firmly obey the needs of the country and the people// Zheng Z M, ed. Memorial Collection of Guo Yonghuai. Beijing: Science Press, 1990: 9-12. (in Chinese)
- 5 蒲以康. 第七届中英庚款留学生的出国求学之路. 科学文化评论, 2021, 18(1): 5-24.
Pu Y K. The road to study abroad of the seventh Sino-British Boxer Indemnity students. Science and Culture Review,

- 2021, 18(1): 5-24. (in Chinese).
- 6 七届留英公费生录取二十四名. 申报, 1939-08-27(08).
Twenty-four students admitted in the seventh Sino-British Boxer Indemnity students. Shun Pao, 1939-08-27(08). (in Chinese).
 - 7 教育文化消息: 中英庚款第七届留英公费生考试揭晓等. 教与学月刊, 1939, (8): 52-53.
Education and culture news: The admission examination results of the seventh Sino-British Boxer Indemnity students were announced. Teaching and Learning Monthly Magazine, 1939, (8): 52-53. (in Chinese).
 - 8 李佩, 张凯, 徐娜, 等. 钱学森认为“最相知”的专家. 文史博览, 2013, (12): 14-17.
Li P, Zhang K, Xu N, et al. The “best-in-comprehensive” expert in Qian Xuesen’s perspective. Culture and History Vision, 2013, (12): 14-17. (in Chinese).
 - 9 钱学森. 写在《郭永怀文集》的后面// 郭永怀文集. 北京: 科学出版社, 1982: 331-332.
Qian X S. Written at the latter part of the *Collected Works of Guo Yonghuai*// *Collected Works of Guo Yonghuai*. Beijing: Science Press, 1982: 331-332. (in Chinese)
 - 10 Sears W R. Stories from a 20th-Century Life. Stanford: Parabolic Press, Inc., 1994.
 - 11 Guo Y H. On the flow of an incompressible viscous fluid past a flat plate at moderate Reynolds numbers. Journal of Mathematics and Physics, 1953, 32(1-4): 83-101.
 - 12 Tsien H S. The Poincaré-lighthill-Kuo Method. *Collected Works of H. S. Tsien (1938 – 1956)*. Amsterdam: Elsevier, 2012.
 - 13 钱伟长. 怀念同窗益友郭永怀教授// 李家春. 高山仰止 大爱无疆: 我们心目中的郭永怀和李佩先生. 北京: 科学出版社. 2013: 241-246.
Qian W C. In memory of professor Guo Yonghuai, my good friend and classmate// Li J C, ed. Mr. Guo Yonghuai and Mr. Li Pei in Our Hearts. Beijing: Science Press, 2013: 241-246. (in Chinese)
 - 14 李家春. 郭永怀先生的学术成就// 李家春. 高山仰止 大爱无疆: 我们心目中的郭永怀和李佩先生. 北京: 科学出版社, 2013: 102-108.
Li J C. Academic achievements of Mr. Guo Yonghuai// Li J C, ed. Mr. Guo Yonghuai and Mr. Li Pei in Our Hearts. Beijing: Science Press, 2013: 102-108. (in Chinese)
 - 15 耿云志. 胡适遗稿及秘藏书信(42卷). 合肥: 黄山书社, 1994: 498-530.
Geng Y Z. Hu S’s Posthumous Manuscripts and Secret Letters (42 volumes). Hefei: Huangshan Publishing House, 1994: 498-530. (in Chinese)
 - 16 《钱学森书信选》编辑组. 钱学森书信选(上卷, 1956.2—1991.12). 北京: 国防工业出版社, 2009: 1-2.
Selected Letters of Qian X S Editorial Team. *Selected Letters of Qian X S (Volume 1, 1956.2-1991.12)*. Beijing: National Defense Industry Press, 2009: 1-2. (in Chinese)
 - 17 李波. 钱学森与郭永怀的兄弟情. 人民政协报, 2023-03-16(11).
Li B. The brotherhood between Qian Xuesen and Guo Yonghuai. CPPCC Daily, 2023-03-16(11). (in Chinese).
 - 18 张劲夫. 中国科学院与“两弹一星”// 科学时报社. 请历史记住他们——中国科学家与“两弹一星”. 广州: 暨南大学出版社, 1999: 20-48.
Zhang J F. Chinese Academy of Sciences and the “Two Bombs and One Satellite” // Science Times, ed. Let History Remember Them—Chinese Scientists and the “Two Bombs and One Satellite”. Guangzhou: Jinan University Press, 1999: 20-48. (in Chinese).
 - 19 郑哲敏. 郭永怀生平事迹介绍// 郑哲敏. 郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集. 北京: 气象出版社, 1999: 1-9.
Zheng Z M. Introduction to Guo Yonghuai’s Life and Achievements// Zheng Z M, ed. Memorial Collection for the 90th Anniversary of the Birth of Mr. Guo Yonghuai. Beijing: Meteorological Press, 1999: 1-9. (in Chinese).
 - 20 郑哲敏. 郭永怀先生的精神永存. 力学与实践, 2009, 31(2): 96-97.
Zheng Z M. Mr. Guo Yonghuai’s Spirit lives on. Mechanics and Practice, 2009, 31(2): 96-97. (in Chinese).
 - 21 熊卫民, 王丽娜, 李欣欣. 早期的中国科学院力学研究所——谈庆明研究员访谈录. 中国科技史杂志, 2013, 34(1): 78-93.
Xiong W M, Wang L N, Li X X. Early years of the institute of mechanics, CAS: An interview with Prof. Tan Qingming. The Chinese Journal for the History of Science and

- Technology, 2013, 34(1): 78-93. (in Chinese)
- 22 洪友士. 力学研究所五十年. 力学进展, 2006, 36(1): 1-6.
Hong Y S. Fifty years of Mechanical Research Institute. Advances in Mechanics, 2006, 36(1): 1-6. (in Chinese)
 - 23 俞鸿儒. 郭永怀先生引导我做实验. 力学与实践, 2009, 31(2): 97-99.
Yu H R. Mr. Guo guided me in conducting experiments. Mechanics and Practice, 2009, 31(2): 97-99. (in Chinese).
 - 24 张涵信. 力学研究班的一些回忆// 赵炳时, 胡绍学. 清华大学工程力学系成立暨工程力学研究班创办五十周年庆贺文集(1958—2008). 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 69-70.
Zhang H X. Some memories of the mechanics research class// Zhao B S, Hu S X, eds. Memorial Collection for the 50th Anniversary of the Establishment of the Department of Engineering Mechanics and mechanics research class of Tsinghua University (1958-2008). Beijing: China Architecture Press, 2008: 69-70. (in Chinese).
 - 25 余寿文. 清华大学工程力学研究班的历史回顾与思考. 力学与实践, 2011, 33(6): 97-100.
Yu S W. A historical review and reflection on the engineering mechanics research class of Tsinghua University. Mechanics and Practice, 2011, 33(6): 97-100. (in Chinese).
 - 26 李家春, 戴世强. 郭永怀传略, 中国科技史料, 1985, 6(1): 42-51.
Li J C, Dai S Q. Brief biography of Guo Yonghuai. Chinese Historical Materials of Science and Technology, 1985, 6(1): 42-51. (in Chinese).
 - 27 中国力学学会. 中国力学学会史. 上海: 上海交通大学出版社, 2008.
The Chinese Society of Mechanics. History of the Chinese Society of Mechanics. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 2008. (in Chinese).
 - 28 黄志澄. 哥廷根学派与我国空气动力学的发展. 力学进展, 1983, 13(4): 395-404.
Huang Z C. Gottingen School and the development of aerodynamics in China. Advances in Mechanics, 1983, 13(4): 395-401. (in Chinese).
 - 29 中国空气动力研究与发展中心. 郭老对气动中心的奠基性贡献// 李家春. 高山仰止 大爱无疆: 我们心目中的郭永怀和李佩先生. 北京: 科学出版社, 2013: 149-152.
China Aerodynamics Research and Development Center. Mr. Guo's foundational contribution to the CARDCC// Li J C, ed. Mr. Guo Yonghuai and Mr. Li Pei in Our Hearts. Beijing: Science Press, 2013: 149-152. (in Chinese).
 - 30 李波. 郭永怀先生遇难始末. 人民政协报, 2024-04-04(09).
Li B. The whole story of Mr. Guo Yonghuai's death. CPPCC Daily, 2024-04-04(09). (in Chinese).
 - 31 郭永怀同志逝世. 人民日报, 1968-12-13(04).
Comrade Guo Yonghuai passed away. People's Daily, 1968-12-13(04). (in Chinese).
 - 32 李波. 丹心照汗青——郭永怀在1968. 力学与实践, 2023, 45(6): 1456-1461.
Li B. A loyal heart to make a name in history—Yung-Huai Kuo in 1968. Mechanics in Engineering, 2023, 45(6): 1456-1461. (in Chinese)
 - 33 乔均录. 为祖国尽忠心// 李家春. 高山仰止 大爱无疆: 我们心目中的郭永怀和李佩先生. 北京: 科学出版社, 2013: 29-35.
Qiao J L. Serving the motherland with loyalty// Li J C. Mr. Guo Yonghuai and Mr. Li Pei in Our Hearts. Beijing: Science Press, 2013: 29-35. (in Chinese).
 - 34 杨丫男. 中国科学院力学研究所的建立与初期研究工作(1956—1966年). 北京: 中国科学院大学, 2009.
Yang Y N. The Establishment and Initial Research Work of the Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences (1956-1966). Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2009. (in Chinese).
 - 35 何鼓生. 回顾在怀柔试验基地的十年. (2010-08-09)[2022-08-30]. <http://lxjd.imech.ac.cn/info/detail.asp?info=13797>.
He G S. Review of the ten years at Huairou Experimental Base. (2010-08-09) [2022-08-30]. <http://lxjd.imech.ac.cn/info/detail.asp?info=13797>. (in Chinese).
 - 36 白欣. 化学流体力学家——林鸿荪. 力学与实践, 2012, 34(6): 78-84.
Bai X. Chemical fluid dynamicist—Lin H S. Mechanics and Practice, 2012, 34(6): 78-84. (in Chinese).
 - 37 中国科学技术协会. 林鸿荪传// 中国科学技术专家传略——工程技术编·力学卷2. 北京: 国防工业出版社, 2001: 189-206.

- CAST. Biography of Lin H S// Biography of Chinese Science and Technology Experts—Engineering Technology Section, Mechanics Volume 2. Beijing: National Defense Industry Press, 2001: 189-206. (in Chinese).
- 38 石磊, 王春河, 张宏显, 等. 钱学森的航天岁月. 北京: 中国宇航出版社, 2012.
- Shi L, Wang C H, Zhang H X, et al. Qian X S's Aerospace Career. Beijing: China Aerospace Press House, 2012. (in Chinese).
- 39 洪友士. 在没有路的地方求索和攀登——中国科学院力学研究所五十年. 科学新闻, 2006, (1): 4-6.
- Hong Y S. Seeking and climbing where there is no road—50 years of the Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences. Science News, 2006, (1): 4-6. (in Chinese).
- 40 睦璞如. 541 战术导弹的研制// 科学时报社. 请历史记住他们——中国科学家与“两弹一星”. 广州: 暨南大学出版社, 1999: 223-229
- Sui P R. Development of 541 tactical missile// Science Times, ed. Let History Remember Them—Chinese Scientists and the “Two Bombs and One Satellite”. Guangzhou: Jinan University Press, 1999: 223-229. (in Chinese).
- 41 裴丽生. 倾力“两弹一星”壮我国威军威// 科学时报社. 请历史记住他们_中国科学家与“两弹一星”. 广州: 暨南大学出版社, 1999: 73-91.
- Pei L S. Devoting all efforts to the “Two Bombs and One Satellite” to strengthen the prestige of our country and the military // Science Times, ed. Let History Remember Them—Chinese Scientists and the “Two Bombs and One Satellite”. Guangzhou: Jinan University Press, 1999: 73-91. (in Chinese).
- 42 吕成冬. 毛泽东和钱学森“有矛必有盾”的谈话与我国反导武器的研发. 毛泽东研究, 2017, (2): 54-59.
- Lv C D. The conversation between Mao Z D and Qian X S on “where there is a spear, there must be a shield” and the development of China's anti-missile weapons. Mao Zedong Studies, 2017, (2): 54-59. (in Chinese).
- 43 王柏懿. 郭永怀先生和力学所航天研究工作// 李家春. 高山仰止 大爱无疆: 我们心目中的郭永怀和李佩先生. 北京: 科学出版社, 2013: 125-129.
- Wang B Y. Mr. Guo Yonghuai and the space research work at the Institute of Mechanics// Li J C, ed. Mr. Guo Yonghuai and Mr. Li Pei in Our Hearts. Beijing: Science Press, 2013: 125-129. (in Chinese).
- 44 魏叔如. 郭永怀与我国导弹弹头再入气动物理研究// 郑哲敏. 郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集. 北京: 气象出版社, 1999: 33-35.
- Wei S R. Guo Yonghuai and the physics research of reentry aerodynamics of China's missile warheads// Zheng Z M, ed. Memorial Collection for the 90th Anniversary of the Birth of Mr. Guo Yonghuai. Beijing: Meteorological Press, 1999: 33-35.
- 45 葛能全. 钱三强年谱长编. 北京: 科学出版社, 2013.
- Ge N Q. A Long Chronicle of Qian S Q. Beijing: Science Press, 2013. (in Chinese).
- 46 陆正廷, 王德鸿. 上海航天志. 上海: 上海社会科学院出版社, 1997.
- Lu Z T, Wang D H. Shanghai Aerospace Chronicle. Shanghai: Shanghai Academy of Social Sciences Press, 1997. (in Chinese).
- 47 游本凤. 浦江天歌——第一枚探空火箭升起的地方. 北京: 中国宇航出版社, 2007
- You B F. The Huangpu River—Where the First Sounding Rocket Rose. Beijing: China Aerospace Press House, 2007. (in Chinese).
- 48 郭永怀. 宇宙飞船的回地问题// 星际航行科技资料汇编 (第一集). 北京: 科学出版社, 1965: 33-39.
- Guo Y H. The problem of spacecraft returning to earth// Collection of Interplanetary Spaceflight Technology Documents (Volume 1). Beijing: Science Press, 1965: 33-39. (in Chinese).
- 49 张蕴钰. 声震寰宇的春雷——回忆我国第一颗原子弹爆炸试验// 解放军总装备部政治部. 两弹一星——共和国丰碑. 北京: 九州出版社, 2001: 117-129.
- Zhang Y Y. Recalling the first atomic bomb explosion test in China// Political Department of the General Armament Department of the PLA, eds. Two Bombs and One Satellite—A Monument of the Republic. Beijing: Jiuzhou Publishing House, 2001: 117-129. (in Chinese).
- 50 中国工程物理研究院. 怀念为铸造核盾牌献身的科学家// 李家春. 高山仰止 大爱无疆: 我们心目中的郭永怀和李佩

- 先生. 北京: 科学出版社, 2013: 153-159.
- CAEP. In memory of the scientists who dedicated themselves to forging the nuclear shield// Li J C, ed. Mr. Guo Yonghuai and Mr. Li Pei in Our Hearts. Beijing: Science Press, 2013: 153-159. (in Chinese).
- 51 经福谦. 郭永怀副院长永远活在我们心中// 郑哲敏. 郭永怀纪念文集. 北京: 科学出版社, 1990: 15-17.
- Jing F Q. Vice President Guo Yonghuai will always live in our hearts// Zheng Z M, ed. Memorial Collection for the 90th Anniversary of the Birth of Mr. Guo Yonghuai. Beijing: Science Press, 1990: 15-17. (in Chinese).
- 52 刘敏. 郭永怀在九院// 中国工程物理研究院. 家国情怀——中国核武器研制者的老照片记忆. 成都: 四川人民出版社, 2018: 62-67.
- Liu M. Guo Yonghuai in the Ninth Institute// CAEP. Patriotism—Old Photo Memories of Chinese Nuclear Weapons Developers. Chengdu: Sichuan People's Publishing House, 2018:62-67. (in Chinese).
- 53 程开甲, 熊杏林. 在二机部第九研究所. 军事历史, 2018, (2): 62-67.
- Cheng K J, Xiong X L. In the ninth research institute of the second machinery industry department. Military History, 2018, (2): 62-67. (in Chinese)
- 54 核工业部神剑分会. 秘密历程: 记我国第一颗原子弹的诞生. 北京: 原子能出版社, 1985: 15.
- Shenjian Branch of the Ministry of Nuclear Industry. Secret Journey. Beijing: Atomic Energy Press, 1985: 15. (in Chinese).
- 55 陈能宽. 研制核武器的元勋. 中华英烈. 1989, (1): 25-26.
- Chen N K. The founder of developing nuclear weapons. Chinese Heroes, 1989, (1): 25-26. (in Chinese).
- 56 孙德纶, 张克才. 留得春晖映核魂——怀念我们的好领导好老师郭永怀同志// 郑哲敏. 郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集. 北京: 气象出版社, 1999: 41-43.
- Sun D L, Zhang K C. In memory of our good leader and teacher comrade Guo Yonghuai// Zheng Z M, ed. Memorial Collection for the 90th Anniversary of the Birth of Mr. Guo Yonghuai. Beijing: Meteorological Press, 1999: 41-43. (in Chinese).
- 57 胡在军. 科研工作引路人——纪念郭永怀九十诞辰// 郑哲敏. 郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集. 北京: 气象出版社, 1999: 36-37.
- Hu Z J. A tribute to Guo Yonghuai's 90th birthday, the mentor in scientific work// Zheng Z M, eds. Memorial Collection for the 90th Anniversary of the Birth of Mr. Guo Yonghuai. Beijing: Meteorological Press, 1999: 36-37. (in Chinese).
- 58 沈中毅. 英名长存——纪念郭永怀副院长诞辰九十周年// 郑哲敏. 郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集. 北京: 气象出版社, 1999: 31-32.
- Shen Z Y. The name of hero lives on—In memory of the 90th anniversary of the birth of vice president Guo Yonghuai// Zheng Z M, ed. Memorial Collection for the 90th Anniversary of the Birth of Mr. Guo Yonghuai. Beijing: Meteorological Press, 1999: 31-32. (in Chinese).
- 59 刘诗祥. 中国核工业的一片绿叶. 神剑, 1985,(10): 24.
- Liu S X. A green leaf of China's nuclear industry. Shenjian, 1985, (10): 24. (in Chinese).
- 60 刘敏. 我国核武器化的奠基者——郭永怀先生. 现代物理知识, 2014,(4): 19-25.
- Liu M. The founder of China's nuclear weaponization—Mr. Guo Yonghuai. Modern Physics Knowledge, 2014, (4): 19-25. (in Chinese).
- 61 陈裕泽. 继承先师遗愿, 谈我所冲击动力学的发展——纪念郭永怀副院长诞辰九十周年// 郑哲敏. 郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集. 北京: 气象出版社, 1999: 29-30.
- Chen Y Z. Inheriting the wishes of the predecessors, talking about the development of impact dynamics in our institute—In memory of the 90th anniversary of the birth of vice president Guo Yonghuai// Zheng Z M, eds. Memorial Collection for the 90th Anniversary of the Birth of Mr. Guo Yonghuai. Beijing: Meteorological Press, 1999: 29-30. (in Chinese).
- 62 朱竞洪, 郑百瑛. 科技楷模 引路良师——怀念敬爱的郭永怀副院长// 郑哲敏. 郭永怀先生诞辰九十周年纪念文集. 北京: 气象出版社, 1999: 38-40.
- Zhu J H, Zheng B Y. In memory of the beloved vice president Guo Yonghuai// Zheng Z M, ed. Memorial Collection for the 90th Anniversary of the Birth of Mr. Guo Yonghuai. Beijing: Meteorological Press, 1999: 38-40. (in

- Chinese).
- 63 刘西尧, 侯艺兵, 曹科峰, 等. 亲历者说氢弹研制. 长沙: 湖南教育出版社, 2017: 306-308.
- Liu X Y, Hou Y B, Cao K F, et al. Eyewitnesses Talk About the Development of Hydrogen Bombs. Changsha: Hunan Education Press, 2017: 306-308. (in Chinese).
- 64 周丰峻. 胸怀长江长城心系国家安危——纪念奠基我国核防护工程人郭永怀先生// 郑哲敏. 郭永怀纪念文集. 北京: 科学出版社, 1990: 19-20.
- Zhou F J. In memory of Mr. Guo Yonghuai, who laid the foundation for China's nuclear protection engineering // Zheng Z M, ed. Memorial Collection for the 90th Anniversary of the Birth of Mr. Guo Yonghuai. Beijing: Science Press, 1990: 19-20. (in Chinese).
- 65 邓稼先. 忆良师益友, 再创新业. 曙光报, 1985-12-5(02).
- Deng J X. Remembering good teachers and helpful friends, re-creating new undertakings. Shuguang Daily, 1985-12-05 (02).(in Chinese)

Guo Yonghuai in major scientific and technological projects

LI Chengzhi

(Institute for Advanced Studies in Humanities and Social Sciences, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract Guo Yonghuai was an outstanding Chinese aerodynamicist and applied mathematician, and one of the important pioneers and organizers of China's modern mechanics. He was the only scientist among the 23 Chinese "Two Bombs and One Satellite" Meritorious Medal winner who had made significant contributions in the three major fields of missiles, atomic bombs (hydrogen bombs), and artificial satellites. He had made significant contributions to the development of China's national defense, the development of aerodynamics, gas dynamics, detonation and the emerging discipline of mechanics, and the training of scientific and technological successors. This paper presents the reviews on Guo Yonghuai's life and academic achievements, examination of his extensive work in initiating China's mechanics, and study of his outstanding contributions to the major scientific and technological projects. Finally, this paper also presents the brief discussions of the contribution and influence of Guo Yonghuai's scientific thought as a strategic scientist.

Keywords Guo Yonghuai, aerodynamics, major scientific and technological projects, strategic scientist

李成智 北京航空航天大学人文与社会科学高等研究院教授。中国科学技术史学会技术史专业委员会主任委员。主要研究领域: 科学技术史、航空航天史、科技政策与管理等。E-mail: lichengzhi@263.net

LI Chengzhi Professor at Institute for Advanced Studies in Humanities and Social Sciences, Beihang University, Director of the Technical History Professional Committee of the Chinese Society for the History of Science and Technology. His main research fields include history of science and technology, history of aerospace, policy and management of science and technology, etc. E-mail: lichengzhi@263.net

■ 责任编辑: 金杭川