力学纵横

郑哲敏先生纪念专题

郑哲敏先生学术成长之路初探

丁雁生[1)]　金　和　李和娣　洪友士

(中国科学院力学研究所，北京 100190)

2012 年度国家最高科学技术奖获奖者郑哲敏先生，于 2021 年 8 月 25 日病逝，享年 97 岁。我们曾在先生指导下学习和工作，并受先生委托承担采集先生的学术成长资料的任务。在先生逝世周年之际，我们撰文缅怀先生，尝试探讨先生学术成长之路，期待为弘扬先生的科学精神尽一份力。

郑哲敏先生 1924 年 10 月 2 日生于山东济南。梳理先生的成长历程，可以说经历了五个阶段。

第一个阶段—— 12～23 岁（1936—1947 年），打基础健身心

1936 年先生在济南读初一，“七七事变”后辍学。1938 年到成都读中学。1943 年考进西南联合大学，1947 年从清华大学毕业，留校任钱伟长的助教。

第二个阶段 —— 24～30 岁（1948—1954 年），留学深造

1948 年到美国加州理工学院留学，1949 年获硕士学位。在钱学森指导下 1952 年获博士学位，旋遭美国当局强制羁留，一直到 1954 年被限期驱逐出境，绕道欧洲回国。

第三个阶段 —— 31～40 岁（1955—1964 年），开辟新领域

1955 年跨过罗湖桥回国，到钱伟长主持的中国科学院数学研究所力学研究室工作，协助钱学森和钱伟长创建中国科学院力学研究所。1956 年以秘书身份参加《1956—1967 年科学技术发展远景规划》力学部分的编制。

1958 年任力学所第四研究室副主任。1960—1963 年研究爆炸成形，突破机理和工艺。1962 年参加制订《1963—1972 年科学技术发展规划纲要》。1963 年承接核爆空中激波测试任务，首次阐述爆炸力学内涵并规划其发展。爆炸力学作为新兴学科列入力学所《1963—1967 年发展规划设计任务书》。1964 年受命研究地下核爆炸力学效应，任爆炸力学研究室主任。

第四个阶段 —— 41～53 岁（1965—1977 年），浴火成金

1965 年与解伯民合作提出流体弹塑性体模型；1966—1969 年特殊时期仍坚持研究，将流体弹塑性体模型成功用于地下核爆炸力学效应研究。1972 年起将流体弹塑性体模型拓展到穿破甲机理探索。这些工作在 1982 年获国家自然科学奖二等奖。

第五个阶段—— 54 岁以后（1978—2021 年），大师风采

1978 年任《力学学报》主编、力学研究所副所长，成为全国力学规划的主要编制者。1980 年当选中国科学院院士，1994 年被选聘为中国工程院院士。1984 年后历任中国科学院力学研究所所长、中国力学学会理事长、中国科学院技术科学学部主任、中国科学院学部主席团成员。承担多项关于力学、技术科学的国家发展战略的调查研究，为推进中国力学学科和技术科学发展做出重

2022–04–26 收到第 1 稿，2022–07–14 收到修改稿。

1)E-mail：ysding@mail.imech.ac.cn

引用格式: 丁雁生, 金和, 李和娣等. 郑哲敏先生学术成长之路初探. 力学与实践, 2022, 44(4): 978-985

Ding Yansheng, Jin He, Li Hedi, et al. On the academic career of Professor Che-min Cheng. *Mechanics in Engineering*, 2022, 44(4): 978-985

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

大贡献。在担任行政和学术领导的同时，仍然亲自动手或指导解决许多力学问题。1966 年前指导 3 名研究生，1978 年后指导 48 名硕、博士研究生，荣获优秀导师称号。

1993 年当选美国工程院外籍院士，先后担任国际理论与应用力学联盟理事、大会委员会委员、执行局委员。

下面从教育经历、家国情怀和深层次学术因素三方面探讨先生学术成长之路。

1　郑哲敏先生的家教和求学经历是学术成长的基石

先生的父亲郑章斐，1899 年生于浙江鄞县四明山东麓一个不富裕的农民家庭。幼时放牛打柴，采桑剥茧，9 岁半开始读书。16 岁到上海一家眼镜店做学徒，同时上夜校学英文和会计学，还参加争取工人权利的游行。他很快学会做生意，使连年亏损万元的店连续三年赢利万元，而做学徒的月例才四角钱。郑章斐 1917 年底转到亨得利钟表行，1918 年初被派到济南开店，为亨得利占据了山东钟表市场，并逐渐积累自己的资产。

先生的母亲崔梅，1900 年生于郑章斐家的邻村。随郑章斐接受新思想，相夫育子，和睦一生。

郑章斐从学徒变身老板，仍然保持勤劳诚信节俭的品格。他不抽烟，不酗酒，不欺压店员，爱带家人游览山水，给子女良好家教。宁波有不少打拼致富的人家，会让子女受优质教育，但总归要有子女继承自己的工商业。然而，郑章斐与众不同，他从来不要子女继承自家的产业，结果如他所愿 —— 子女个个读书成才，遂成“书香门第”。

郑哲敏九岁时，父亲严肃地告诉他：做生意被人看不起，有时还受霸道顾客的侮辱。祖父没有能力供父亲多读书，是父亲的终身遗憾。郑章斐鼓励淘气的儿子立志读书，以学问谋生。这样的父子谈话，影响了郑哲敏一生的方向。十岁时，面对刚建成的“亨得利”新楼，郑哲敏暗自想：父亲做到了最好，长大后自己也一定要做到最好。这是他第一次考虑人生 —— 实现父母的期望。

1937 年 12 月济南沦陷，郑章斐到成都开创大光明钟表行。1938 年初，避难宁波的郑哲敏和哥哥郑维敏[1]，辞别母亲、姐妹、弟弟到成都插班上初中。郑哲敏幼年体弱多病，七岁起出现心动过速，到成都读书几个月，头痛严重到休学。郑章斐带他多方求医，游园放松头脑，要他每天扫地、擦桌椅板凳，还要学补衣服、缝袜底。

病情稍缓，郑哲敏按父亲的要求早晨大声朗读英语。有一天他从旧书摊买到一本不厚的英文版欧几里得几何，很吃力地开始自学。在济南时，家庭教师教的查英文字典及英语注音符号，给了他很大帮助。他慢慢学会了初等的几何知识，理解和欣赏严格的逻辑论证，同时提高了英语能力。后来，他又自学物理，包括牛顿力学三定律、绝对坐标系和运动坐标系等。少年郑哲敏尝到甜头，越学越有兴趣，越学越自信，开始注重自学。

1939 年郑章斐离开成都，到重庆、昆明等地继续开店，总店设在“孤岛”上海。15 岁的郑哲敏住校上学，从此开始独自生活。

为了躲避日寇轰炸，初中的学校从城里搬到城郊废弃的古庙，高中的学校是从山西逃难到四川的，落脚邻近成都的金堂县农村。远离父母时生病，成为郑哲敏独自生活的第一道难关。头痛时吃几片阿司匹林，心慌时静静躺几天。农村蚊子猖獗，又染上疟疾，犯病时抓一把奎宁片吞下。不犯病时坚持做操、跑步、下河游泳、练习单双杠。如此坚持下来，他身体日渐结实，心脏病发作的频次明显降低。

郑哲敏上的高中是山西省著名的铭贤中学，教学水平不一般。他认真听外教上英语课，刻苦校正发音，学会正确使用发声器官，为后来学习法、德、俄语打下发音基础。不仅如此，他还唱英语歌、演英语短剧、主笔出版报道学校活动的英语周报，数理化课程各自备一种英文版教材。高中阶段他就阅读英语参考书，在当时是罕见的。代数课学极限时，他独自证明了圆球与球外一质点间的引力等于把圆球质量集中到球心和那个质点间的引力。没学过微积分，径直用极限概念导出这个结论，确实不容易。而名校老师的教学方式也成就了学生的健康成长。例如，物理老师讲授容易误解的概念时，提出问题并故意给错误答案，当堂引起热烈讨论，同学们争相发言，于是正确答案出来了，概念也就深刻了。生物老师不仅教学生用显微镜观察细胞、动手解剖兔子，还

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

讲授染色体和遗传甚至基因的知识，其深入程度即使在今日也实不多见。在中学期间，他养成自学和独立思考的习惯，获益一生。

郑哲敏从此进入良性循环：复读初中全班第一，三年高中名列前茅；1943 年以重庆地区第一名考进西南联合大学；1948 年由清华大学校长、教务长、机械系主任、英语系主任和钱伟长等五位教授推荐，获得当年中国仅一名的扶轮社留学资助（为期一年）。郑哲敏因此有幸到加州理工学院（Caltech）深造，成为钱学森的关门弟子。

中国的四位资深力学大师周培源、钱学森、郭永怀、钱伟长都曾在加州理工学院求学和工作，能在这里深造，使先生的学习更上一层楼。郑哲敏先后直接受教于“二钱”，有幸在加州理工学院认识郭永怀夫妇，只有周培源在回国后才相识。身为师出同门的晚辈，日后在科学事业上一直得到四位师长的关心、指导和支持。

2 郑哲敏的家国情怀是他不懈拼搏奉献的精神支撑

2.1 郑哲敏先生出生于由农转商、由穷致富的家庭，成长于日寇侵略、政府腐败、人民受难之时，思想感情深深刻下时代的印记

1928 年 5 月日寇在济南屠杀六千多中国军民，史称“五三惨案”[2]。有一天，4 岁的郑哲敏走到街上，看见地上有许多子弹壳便弯身去捡。可是旁边有个日本兵，突然举着上刺刀的枪冲来，吓得他拔腿猛逃。此后二三十年，每当做噩梦，必然会有奔跑和躲藏的梦境。

随着日寇全面侵华，郑章斐一家的平静生活被无情粉碎。郑哲敏 13 岁被迫在宁波乡下躲避日寇轰炸，当地无学可上。13 岁半便辗转六千里到成都，亲历难民的艰辛。1938 年 11 月到 1940 年 8 月期间，日寇轰炸成都 11 次[3]，日机曾经掠过他的头顶。成都市区的残垣断壁和焦尸断肢令郑哲敏悲愤交加，想长大了当飞行员、当工程师，保卫和建设国家。这是他第二次考虑人生。

郑哲敏第三次考虑人生是从清华大学毕业之际。亲历抗战的苦难，期待和平却陷入战乱。面对动荡的社会，青年郑哲敏不由得郑重思考：人都是要死的，财富也好，名利也好，都是暂时的。人生的价值到底在哪里？带着这个问题，他像往常一样走进图书馆寻找答案。有一天，借来一本英国人 Berkeley 写的哲学，可是越读越无法接受，因为 Berkeley 认为客观世界只存在于主观想象之中，甚至不存在客观世界。这种观点违背直觉，违背所受的教育，违背科学知识。他回忆自己的经历，联系大学里各种思潮的交锋，想到生命、知识和所有的一切都来自家庭和社会，如果人生有什么意义的话，其价值只能在于一个人在世间能为社会做点贡献，留下一些有益的、正面的东西。

2.2 郑哲敏先生坚守自己选定的人生方向，身处于逆境不动摇

第二次世界大战后，美国实行麦卡锡主义迫害进步人士。1950 年 6 月 6 日钱学森突然开始遭遇迫害。1951 年，郑哲敏曾被美国移民局叫去，要他宣誓不讲假话后询问政治敏感问题，包括拥护谁，蒋介石还是毛泽东，中国共产党还是国民党，以及中国共产党是不是由苏联控制等等。郑哲敏如实回答：中国在 1949 年解放了，中国人民已经做出了选择，拥护毛泽东和中国共产党，当然这也是自己的选择；本人不认为苏联共产党能控制中国共产党。他没想到，1952 年 6 月获得博士学位后，突然被美国移民局以“非法居留”为名关进老师钱学森坐过的监狱。好友将他保释出狱后，他立即申请“自动离境”。7 月初，移民局正式同意郑哲敏自动离境。可是 4 天后又限制他离境，强令每月向移民局报到。移民局扣押了护照，使他只能待在临时任教的加州理工学院所在地，直到 1954 年 9 月限期监视他出境[4]。后来才知道，郑哲敏得以回国是 1954 年日内瓦会议期间中美会谈的结果[5]。

1955 年 3 月，郑哲敏在中国科学院“回国留学生工作分配登记表”[6] 上写道：“回国本是一贯的主张。我们之所以获得教育，直接或间接的是由于全国人民的劳动，因此回国服务是不可推卸的责任。同时，一个人如果不是在为群众的利益工作，那么生活便失去了意义。”他如愿分配到中国科学院，任副研究员，成为力学研究所创始成员之一，努力做抗地震结构研究，讲授导弹结构力学和理论力学。

1957 年“反右”时清华大学批判钱伟长的火

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

力不断上升。深知老师一贯爱国和拥护共产党的郑哲敏曾到家中看望，没想到自己因此失去继续参加国防科研的资格，并在 1958 年被迫做检查。他没有因为挨批气馁，而是全力投身为国民经济建设服务的力学研究。由于他是“50 年代回国的科学家”得到政策保护，1958 年下半年被任命为研究室副主任。1961 年起重新参加国防科研。1965 年“四清”运动期间，在被迫检讨之际，为解决地下核爆力学效应难题提出了流体弹塑性体模型，成为他对爆炸力学的最大贡献。

先生与解伯民一起在 1965 年提出的“关于地下爆炸计算模型的一个建议”[7] 在 1966 年得到委托方同意，但是不久后全国陷于政治动荡，先生被当作“资产阶级反动学术权威”批判，研究工作处境艰难。面对来势汹汹的大字报，他头脑麻木，不敢争辩，喃喃重复毛主席说的“相信群众、相信党”。这时，周恩来总理在中国科学院的群众大会上讲，重要项目不能停。先生觉得，承担地下核爆研究是国家对他的信任和委托，必须坚持下去，继续对地下核爆的计算方案做详细研究。1967 年项目进入试算阶段，中国科学院计算技术研究所的李荫藩奉命配合力学所编程计算，先生根据试算情况进一步完善力学模型。到 1968 年底，计算结果与已知的观测数据基本相符，可以完成任务了。但是那年下半年开始“清理阶级队伍”，12 月初先生被当作“特嫌”隔离审查。高压下他出现幻觉，年少时落下病根的头痛发作。项目研究报告[8] 在 1969 年 3 月由课题组解伯民、刘育魁和张德良（执笔）完成，成功用于地下核爆力学效应的预报与分析。这些情况当时他全然不知。“特嫌”查无实据，1969 年 6 月解除隔离，他的幻觉到 1971 年才消除，头痛则延续多年。1972 年起重新受到研究室党支部和所领导的信任，虽然没有正式平反，先生不计较个人处境，义无反顾地投入国家急需的穿破甲机理研究，为提高我国装甲攻防水平做出重要贡献。

先生虽然个人曾遭受冤屈，但看到中国共产党领导中国人民真的站起来并逐渐富强，就不计个人荣辱，继续为人民的富足和国家的强盛竭尽全力工作。这种家国情怀是支撑他在任何逆境下不懈地科学报国的精神支柱。

3　郑哲敏先生学术成长之路的深层次因素

3.1　郑哲敏先生的治学方法

与郑哲敏先生合作过的科技工作者，常常惊叹先生的学识和洞察力。在采集先生学术成长资料的基础上，梳理先生的治学方法如下。

（1）尊重事实，仔细观察实验现象。先生说，“在研究工作中我注意听取有实践知识方面的工程师和工人的意见，细心观察实验中出现的现象。我感到这些都很有利于我的工作”。

例如课题组传说的“外行看热闹，内行看门道”，源于先生看破甲弹打靶的情景。在靶场，大家都只注意靶板的穿深和孔径，先生则俯身细致观察[9]。他发现口部附近孔壁有很多像鳞片状的东西，判断是靶材熔化后凝固而成的，因惯性运动被拉伸成鳞片状。这就是他预计的“速度每秒几公里的金属射流撞击钢靶，靶板强度不起作用”的一个证据。另外，先生从实验判断形成射流的物质既有流体又有固体[10]。它头部速度很高，是流体；尾部速度较低，接近固体。所以，射流拉断有两种机理：高速段是流体的界面不稳定性，低速段是固体的强度不够。原来大家都用流体力学的办法计算破甲深度，先生认为破甲深度也分两部分：孔口部分是流体作用，孔底部分是流–固耦合作用。他从概念的突破给出区分流体与固体的判据，既定性又定量，并用若干工程实例证实。这个判据就是 $\dfrac{\rho U^2}{2\sigma_y}$，即质点微团运动的动能 $\dfrac{1}{2}\rho U^2$ 和材料强度 σ_y 的比值。由于这个概念突破，使他从地下核爆很容易转到穿甲、破甲，又转到爆炸复合等不同课题。

（2）分辨现象与本质，抓住主要矛盾和矛盾的主要方面。先生能敏锐地分辨什么是新现象，洞察新现象背后隐藏的本质，善于抓住物理本质。这种情况不胜枚举，例如由爆炸成形实验测到的“二次加载”发现传压介质水的空化及其闭合[11]、由射流侵彻玻璃钢实验看到的“弯曲和断裂”发现玻璃钢热裂解以及侧向干扰射流的机制[12]，等等。

先生善长化简与解析：从问题的本质正确地确定主要力学量，辨识主要力学量间的因果关系，从而抓住主要矛盾和矛盾的主要方面进行量纲分

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

析，简洁地提出数学问题，并用高超的数学方法分析或计算。例如射流拉断现象的分析[13]、瓦斯突出破坏阵面一维推进模型[14]、材料纳米硬度研究[15]等等。需要指出，其中量纲分析是先生研究问题的一个突出特长。

（3）注重局部与全局之间的关系，在把握全局的前提下突破局部；注重不同问题的联系，在比较和联想中开拓思路。这是读博时钱学森先生传授的经验。

例如国外学者用流体稳定性解释爆炸复合界面波纹的形成，然而先生看到爆炸复合现象与射流形成可以类比，从射流侵彻与材料强度有关，联想到复合界面失稳不能忽略固体应力。经实验检验，复合界面波纹形成确实与应力相关，显微观察还见到熔融和重结晶，因此先生判断复合界面波纹应当源于流体弹塑性体失稳[16]。又例如爆破筑高坝是“七五”攻关项目，原定技术方案是定向爆破，但炸药用量很大，难以达到筑坝的综合工程指标。听到来华访问的苏联学者格力高良关于滑坡的研究后，先生将天然滑坡堰塞湖和爆破筑高坝关联起来，建立简化模型进行分析，提出将定向爆破调整为滑移爆破的建议[17]，确保爆破筑高坝可以实现既定的综合工程指标。

流体弹塑性体模型描写极端条件（高速、高压、高温）下材料性态的急剧变化，适合许多爆炸现象，是影响爆炸力学全局的材料模型，地下核爆只是该模型适用的一个局部。1970—1980 年，先生着力将该模型用到穿破甲、二维不定常数值模拟、爆炸复合界面稳定性与热塑失稳等问题[18]。回顾爆炸力学研究时，先生感叹当年自己没有突破连续介质界限，未能把流体弹塑性体模型拓展到介质不连续的岩土爆破。学无止境，他倾心支持学生突破连续介质界限。他的学生们自 1990 年代开始逐步将离散元与有限元结合，现已将连续–非连续介质概念成功应用于岩土爆破等现象的数值模拟。

（4）把握量变与质变的关系，注重在量变中探索质变。先生总是说，比大小必须明白基准是什么，才能真正分清大小、确定取舍。

例如 1982 年他在分析煤与瓦斯突出典型数据[19]之后指出：煤体破坏区域的尺度最多也就十几米，是巷道特征尺度的几倍，应当是人力可以控制的；用简化模型比较单位体积应变能与单位体积瓦斯能的大小，可断定瓦斯突出的主要能量来自孔隙瓦斯；突出启动应受多因素控制，若煤层应力记作 σ，地应力记作 p、孔隙瓦斯压力记作 p_g，瓦斯突出启动时必须考虑无量纲量 $\dfrac{\sigma}{p-p_g}$ 是否大于 1。他给出的无量纲量对于澄清煤与瓦斯突出机理极为重要，因此郑哲敏先生刚进入这个领域就得到煤矿瓦斯安全界专家的由衷响应。当时他还敏锐地发现：现场孔隙瓦斯压力扰动的传播速度，远大于渗流扰动传播速度，远小于煤岩应力扰动的传播速度（声速）。因而质疑孔隙瓦斯压力扰动传播速度的内涵，这成为后来力学所研究瓦斯突出机理的突破口。他的学生们由此发现了关键新现象—— 瓦斯突出一维模拟实验中破碎阵面的恒稳推进，瓦斯突出二维模拟实验中破碎阵面的衰减推进。

3.2 践行钱学森技术科学思想

钱学森综合当时飞机、火箭、雷达、原子弹等重大科技进步，联系冯·卡门传授的应用力学学派的经验，在 1947—1948 年[20]宣示“一门新学问 —— 工程科学诞生了”；1955 年 11～12 月访问东北期间先后在哈工大、中国科学院机电研究所、东北大学报告技术科学问题；从 1956 年建立力学研究所伊始便强调以技术科学思想指导科研工作；在 1957 年发表《论技术科学》[21]作系统阐述。纵观郑哲敏几十年科研生涯，他是钱学森技术科学思想的实践者。他的巨大成功，与践行钱学森技术科学思想是分不开的。

回国前夕，钱学森先生在家为郑哲敏饯行，嘱咐他“国家需要什么就做什么，即使国家需要的是非常简单的事，例如管道流动的阻力计算，也应当努力做好”。郑哲敏牢记老师的嘱咐，毕生以“国家需要”为己任。他多次改换课题、转变研究方向，每一次都是“国家需要什么就做什么”。

1959 年底，郑哲敏先生综合大家的意见，提出新的研究方向 —— 高速和高压下的塑性力学。1960 年初其中“高速”部分的“爆炸成形”小试成功，钱学森誉之为“新生事物”。年中，爆炸成形课题组匆匆下厂试制汽车板料成形件，结果屡屡

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

失败，不得不退出工厂。1961 年，中共中央强调按照客观规律办事。先生认真按照科研规律办事，将爆炸成形课题划分为成形技术、爆炸载荷、材料性质三个小组，还在研究室成立测试组和炸药制备组，有序推进爆炸成形的理论分析和实验研究。1962—1963 年，先生弄清楚“二次加载”机制，归纳出能量准则，大家协同奋斗迅速突破爆炸成形机理和工艺，成功用于火箭喷管的成形[22]。

技术科学强调“从工程技术中来，到工程技术中去”。爆炸成形研究是这样做的，但是最初用于生产时却遭遇挫折，究其原因是没有弄清楚工程技术理论就盲目推广。由此得知，技术科学的公式应当是“从工程技术中来—创造有科学根据的工程技术理论—到工程技术中去”。钱学森曾经强调，创造有科学根据的工程技术理论是最费力的环节。经历爆炸成形研究的挫折和成功，先生和团队成员都对钱学森的技术科学思想有了深刻体会。

我国海岸多河口淤积，建造港口经常遇到“水下软基”问题。常规处理方案费工费时，甚至发生基础滑移、结构垮塌。1984 年连云港派人来访力学所，询问能否用爆炸方法处理海淤软基。力学所接受了这个艰难的挑战。先生支持张建华提议的“定向爆破抛淤填石”方案，并要求必须到现场做试验。出乎意料，定向爆破抛淤的现场试验效果不好。先生去连云港了解到淤泥在爆炸冲击下变得像水一样易于流动，立即从原理上否定了抛淤方案。他同大家讨论提出爆炸夯实方案，但现场试验表明爆夯效果也不好。最终张建华找到一种与爆夯相反的方法获得成功，称为“爆炸填石排淤”。先生根据试验资料研究爆炸填石排淤技术的原理，于 1987 年提出爆炸处理海淤的模型律，为制定施工方案提供了理论指导。该新技术逐步发展起来，在我国海港建设中发挥很大作用，于 1990 年获国家科技进步二等奖，是力学所工程爆破研究中对国家贡献最大的一项成果，也是科技体制改革中研究所–企业紧密合作的典型事例，更是践行钱学森技术科学思想的灿烂花朵。

郑哲敏晚年著文[23]阐述钱学森的技术科学思想，积极地在力学界和中国科学院技术科学部宣传、推行技术科学思想。他殷切希望科学家与科技政策制订者深刻认识技术科学发展规律，制订并实施技术科学发展战略，加强技术科学研究。

3.3　追求“自由探索”与“严谨求实”统一的科学精神

郑哲敏读博时，老师钱学森告诉他，“你做一项工作，一旦你选了一个题目，那你就要下定决心去做。不做则已，要做就要争第一。你应该比其他人都好，要做到最好、最出色”。这正是郑哲敏“一定要做到最好”心愿的出发点。他认定，科学研究就是要创新，有自由探索才会有创新。统观他的研究成果，无不是对新现象的勇敢探索，揭示前人尚未认识的原理并应用于工程实际。

先生指出：现代科学精神的精髓就是古希腊时代传承下来的“自由探索”。在这种精神的指引下，欧洲历史的发展，经历了文艺复兴、现代科学等多次对人类文化影响深远的“质变”。纵观我国自身的历史发展和文化传承，自由探索精神的相对薄弱，是造成我国科学创新不足的核心问题。推翻封建皇朝至今已百余年，中国发生翻天覆地的巨大变化，但是科学研究中“自由探索”仍显不足。要使“自由探索”成为中国人全新的民族精神，需要几代人的努力。

二战后国外逐渐兴起的断裂力学，在 1970 年代引起国内学者广泛关注，郑哲敏先生是其中的一位。他说“最要紧的是先要把问题搞清楚，这往往是最重要的也很花力气，也是最容易被忽略的”。引入包含裂纹尺度 l 开方与作用应力 σ_0 乘积的断裂韧性 K_{Ic} 突破了经典力学范畴， 这个新的材料参数究竟包含了材料的什么物性？1980 年 11 月，在第一届全国材料力学性能学术交流会上，先生指出，在断裂分析中存在一个被忽视的材料内部的细观或微观尺度，这个尺度效应必须包括到断裂理论中。先生质疑的推理步骤[24]为：按照 Griffith 理论，断裂韧性 K_{Ic} 的量纲是应力与裂纹尺度开方的乘积。（1）经典的连续介质力学推演不出这个尺度的开方，（2）只有引进裂缝表面能概念才能导出裂纹尺度的开方。裂纹尖端邻域材料的比应变能 $\dfrac{\sigma_0^2}{E}$，裂纹面的比表面能 $\dfrac{\gamma}{l}$，即 $\dfrac{\sigma_0^2}{E} \to \dfrac{\gamma}{l}$。式中 E 是弹性模量，γ 是单

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

位面积表面能。由此导出 $\sigma_0^2 l \propto E\gamma$ 。当应力强度因子 $\sigma_0\sqrt{\pi l} = K_{\mathrm{Ic}}$ 时裂纹扩展，于是单位面积表面能 $\gamma = C \cdot \dfrac{K_{\mathrm{Ic}}^2}{E}$ 。（3）由线弹性应力分析知，系数 $C = \dfrac{2}{\pi(1-v^2)}$ ，v 为泊松比，C 的量级接近 1。（4）实测发现材料的 $\dfrac{K_{\mathrm{Ic}}^2}{E}$ 值比单位面积表面能 γ 的理论值大几个量级，与 C～1 矛盾。Orowan 在 1952 年提出，如果把裂纹尖端的塑性功也包括在表面能内，Griffith 理论就仍可应用。（5）郑先生质疑，塑性功是体积能，表面能 γ 是单位面积上的能量，两者量纲不同，怎么能加在一起?（6）他还质疑，$\dfrac{\gamma}{E}$ 或 $\dfrac{K_{\mathrm{IC}}^2}{E}$ 作为材料常数，量纲是尺度，$\dfrac{\gamma}{E}$ 或 $\dfrac{K_{\mathrm{IC}}^2}{E}$ 的物理含义究竟是什么?依据步步推进的严密逻辑，郑哲敏先生判断“断裂韧性的概念尚未说清楚”。（7）实验观察获知，裂纹断口存在与细观尺度关联的塑性变形。先生据此指出，断裂韧性应当与材料的内部尺度相关。（8）针对理想晶体，引用线弹性非局部理论可知，断裂韧性含有晶格尺度的开方 $\sqrt{a}$ 。针对合金材料裂纹张开的韧窝断口，先生指出断裂韧性含有第二相粒子间距的开方 $\sqrt{\delta}$ 。所谓“第二相粒子”是与基体不同相的粒子。这里，晶格尺度 a 是材料的微观特征尺度、第二相粒子间距 δ 是材料的细观特征尺度，它们都远小于裂纹宏观尺度 l。

先生关于“断裂韧性包含材料内部尺度”的观点在当时是很新颖的，提示“跨尺度研究”是材料断裂现象的重要研究方向。这一学术观点一直指导着力学所对断裂力学的后续研究。例如在 2014 年祝贺郑哲敏 90 寿辰的学术报告会上，他的学生报告超高周疲劳断裂问题：在周期载荷达到 10^7 次及以上时，材料的细观杂质颗粒周围逐渐损伤，形成表面微结构细化的特征区，即萌生超高周疲劳裂纹，而材料整体的力学性质尚未呈现明显改变；继续重复加载将导致材料超高周疲劳断裂。传统的疲劳理论认为，重复加载到 10^7 次仍然不坏的机械零件永远不会发生疲劳损伤断裂。超高周疲劳裂纹萌生特征区演化，说明 10^7 周次不是疲劳损伤断裂的上界。对于航空发动机、高速列车之类的动力机械，很容易突破 10^7 周次重复加载，进入超高周疲劳区域。因此，在诊断出时必须采取措施，否则可能酿成严重灾难。

从质疑断裂韧性含义并指导力学所深入研究断裂问题看，先生追求的“自由探索”是与严密的理论推演和精细的实验观测紧密结合的创新求实精神。

这种创新求实精神已经融进郑先生的生命，成为他的风格。一方面，突破一个问题的关键难点之后，他就主动转身探索国家急需的尚未突破的新问题。1972 年爆炸力学研究室争论继续研究已突破关键点的爆炸成形还是转身研究不熟悉的穿破甲机理，刚刚走出冤案尚未正式平反的郑哲敏对继续研究爆炸成形说“不”，就是一例。另一方面，遇到新的学术提法，他从不盲目接受。当接触到不科学的“新”说法和做法时，他总是难以容忍。对于来访的客人、讲坛上的同行，他会委婉地提出不同意见。对于自己的学生、亲近的同事，则不留情面地指出。要做学术结论时，一是一，二是二，绝不苟且同意。不少人觉得他太不近人情，其实这正是他坚持的创新求实精神。

4 结语

（1）郑哲敏先生胸怀祖国、服务人民、以国家急需为己任的爱国奉献精神，追求真理、敢为人先，自由探索与严谨治学统一的创新求实精神，崇高而坚定。这不仅是郑哲敏先生的宝贵品格，更是他坚持奋斗、成长为力学大家的内秉素质。

（2）掌握严谨的治学方法，践行技术科学思想，是郑哲敏先生研究科学的突出特色。技术科学思想，致使他关注并努力解决国家急需的重大科学问题，并在实施科技自立自强的战略任务中大放光彩。

（3）郑哲敏先生的学术成就、科学精神、治学方法和科研路线，来源于他所受教育和科研实践，深受他所处时代的影响。机遇留给有准备的人[25]。在同样的社会条件下，立志高低和下力深浅是个人能否成才的关键因素。

今日之中国蒸蒸日上，高等教育已经大众化，各行各业大量的科学技术课题正待攻克，为人才成长提供了良好的社会条件。沿着老一辈科学家成长的道路，新一代科学家必将茁壮成长，在民

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

族复兴的科学实践中创造伟大业绩。

（未注明出处的资料引自未发表的郑哲敏《回忆录（写给仰泽）》文稿、老科学家学术成长资料采集工程研究报告《科学人生—— 记郑哲敏》。）

参 考 文 献

1 成都市人民防空办公室, 成都市国防教育协会. 成都大轰炸. 北京: 中国和平出版社, 2009年

2 陈剑. 淡泊致远 求真务实: 郑维敏传. 北京: 中国科学技术出版社, 2019

3 刘春明. 五三祭. 济南: 济南出版社, 2007年

4 美国移民和归化局洛杉矶分局1954年9月17日致纽约分局文书(郑哲敏保存件)

5 中国外交部美大司2012年10月23日关于公开“1954年中美会谈期间美方允许郑哲敏等15名留学人员第一批离境”信息的公函

6 中国科学院力学研究所名人档案

7 郑哲敏, 解伯民. 关于地下爆炸模型的一个建议 // 郑哲敏. 郑哲敏文集. 北京: 科学出版社, 2004: 166-190

8 郑哲敏, 解伯民, 刘育魁等. 地下核爆炸流体弹塑性计算方案和若干结果 // 郑哲敏. 郑哲敏文集. 北京: 科学出版社, 2004: 217-223

9 采访高举贤研究员记录, 2012年10月15日, 中国科学院力学研究所档案室

10 采访白以龙研究员记录, 2012年11月12日, 中国科学院力学研究所档案室

11 郑哲敏. 水中击波入射于平板时空化的形成及其作用. 科学技术报告, 中华人民共和国科学技术委员会1964年6月19日登记

12 Cheng CM, Tan QM, Gao JX, et al. A theory on the reduction in penetration power of metal jets in certain composites. Proc. of the Inter. Symp. on Intense Dynamic Loading and its Effects, Beijing, 1986

13 郑哲敏. 聚能射流的稳定性问题. 爆炸与冲击, 1981(1): 6-17

14 郑哲敏, 陈力, 丁雁生. 一维瓦斯突出破碎阵面的恒稳推进. 中国科学, A辑, 1993, 23(4): 377-384

15 Zheng ZM, Cheng YT. On the initial unloading slope in indentation of elastic-plastic solids by an indenter with an axisymmetrc smooth profile. *Applied Physics Letters*, 1997, 71(18): 2623-2625

16 郑哲敏, 谈庆明. 爆炸复合界面波的形成机理. 力学学报, 1989, 21(2): 129

17 郑哲敏. 关于定向爆破筑坝方案及堆积计算问题的手稿, 1989年8月

18 Cheng Che-min. Several problems in hydro-elasto-plastic dynamics, UCSD regents' lectures // 郑哲敏. 郑哲敏文集. 北京:科学出版社, 2004: 495-506

19 郑哲敏. 从数量级和量纲分析看煤与瓦斯突出的机理 // 力学与生产建设. 北京: 北京大学出版社, 1982: 128-137

20 钱学森. 工程和工程科学. 谈庆明译, 盛宏至校. 力学进展, 2009, 39(6), 643-649
(钱学森1947年在浙江大学、交通大学和清华大学的演讲, 发表于J. of the Chineses Institution of Engineers, 1948, 6, 1-14。收录于《钱学森文集1938—1959》, 北京, 科学教育出版社, 1991, 550-563)

21 钱学森. 论技术科学. 科学通报, 1957, 4: 97-104

22 郑哲敏. 记20世纪60年代初研究爆炸成形中的一段经历. 力学与实践, 2021, 43(6): 1-3

23 郑哲敏. 学习钱学森先生技术科学思想的体会. 力学进展, 2001, 31(4): 490-494(收录于《钱学森技术科学思想与力学》文集, 北京, 国防工业出版社, 2001, 1-7)

24 郑哲敏. 连续介质力学与断裂. 力学进展, 1982, 12(2): 133-140

25 郑哲敏2003年在宁波大学《做人做事做学问》讲座做报告后给大学生的题词

(责任编辑: 胡　漫)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net