

金属之光

11

中国科学院金属研究所
2014年 第11期 (总第162期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

深切缅怀 敬爱的师昌绪先生



1918年11月15日—2014年11月10日

深切缅怀师昌绪先生



中国共产党优秀党员，我国著名材料科学家、战略科学家，国家最高科学技术奖获得者，国家自然科学基金委员会特邀顾问、原副主任，中国工程院原副院长，中国科学院、中国工程院资深院士师昌绪先生，因病医治无效，于2014年11月10日7时7分在北京逝世，享年96岁。

师昌绪先生是我国高温合金的奠基人。他排除万难回到祖国，把毕生精力献给了祖国的科技事业。师昌绪先生致力于材料科学研究，在高温合

金、合金钢、金属腐蚀与防护等研究领域取得了丰硕成果，主持研制出多项国家急需的战略材料及部件，丰富和发展了凝固理论、相变理论、性能评价方法；引领和推动了我国纳米科学技术、碳纤维、金属腐蚀与防护、生物医用材料、镁合金等学科的快速发展；造就和培育了大批材料与工程科学的杰出人才；就我国大型飞机、航空发动机及燃气轮机、新材料研究等重点科技领域发展向党中央、国务院提出多项重要建议，为推动我国科技事业发展做出了重大贡献。

师昌绪先生用生命谱写了精彩的人生，为后人树立了光辉的榜样。他的卓越贡献和高尚品格受到国内外科学家的广泛赞誉和敬仰。他的逝世是我国科技界的重大损失！我们沉痛悼念并深切缅怀师昌绪先生！

师昌绪先生永垂不朽！



师昌绪先生成就简介

师昌绪先生是在国内外享有盛誉的金属学和材料科学家，是我国材料科学和技术领域的杰出战略科学家。上世纪五十年代初期，他是留美学生争取回国的积极分子，为打开留美学者自由回国之门做出了贡献。他是我国高温合金和新型合金钢领域的重要开拓者之一，在材料基础理论、实验研究、生产工艺和工程应用等方面取得了一系列创新成果。

师昌绪先生带领的科研团队自主设计并研制成功的九孔高温合金涡轮叶片使我国成为继美国之后第二个开发该关键材料技术的国家，40多年来大量应用于多种飞机发动机；在此基础上发展出定向、单晶等一系列材料和技术，应用于我国各类发动机热端部件。他领导发明的低偏析合金技术，在高温合金和合金钢的研制生产中应用，得到国际认同并获得国际材料学会联合会授予的“实用材料创新奖”。他是中国金属学会高温合金领域唯一的“终身成就奖”获奖人。他创建了中国科学院金属腐蚀与防护研究所，领导建立了全国材料腐蚀观测站网，研究了材料在自然环境条件下的腐蚀规律，为我国材料研究与工程应用提供了大量基础性数据，支持了重大工程建设。他引领和推动了我国纳米科学技术、碳纤维、金属腐蚀与防护、镁合金等学科的发展，带领我国材料科学逐步走向国际。他获国家级奖励十余项，发表论文300多篇。

师昌绪先生作为材料研究领域的战略科学家，以他敏锐的洞察力、前瞻的战略思维、强国富民的责任感，在我国科技战略中做出了重大贡献。他多年来积极倡导学部对国家建设和科技发展的重大问题进行咨询，多次主持和参加我国新材料发展规划的编制工作，主持国家重点实验室、国家工程研究中心及国家重大科学工程的选拔和评估工作。他倡

导并组建中国工程院；他倡导大飞机在“中长期规划”中立项；他是中国材料研究学会及中国生物材料委员会的创始人。由于师昌绪先生对科技事业的卓越建树，2011年他获得了2010年度国家最高科学技术奖。

师昌绪先生几十年来对金属所的发展倾注了无限的心血和关爱。他1955年回国后即到金属所工作，在金属所工作了30余年，他为金属所确立了材料科学与工程的研究方向，明确了金属所基础研究与应用研究并重的办所方针。在他任常务副所长和所长期间，正值金属所从国防科工委和冶金部转入中国科学院，面临学科方向确定、人员断层、设备老化、与国外交往减少等诸多突出的问题。师昌绪先生明确提出以“材料科学与工程”为研究方向，大量招收研究生以解决人员老化和断层问题，利用争取到的联合国开发计划署资助建立“材料科学与工程培训中心”，开展大规模学习，派出大量科研人员出国进修。他鼓励科技人员敢于打硬仗，勇于创新，认为“一个技术科学方面的研究所，不在国防或国民经济方面做出重要贡献就无法生存，在理论方面不发表高水平文章就不可能成为国际水平的研究所，也不能持续发展”。师昌绪先生在离开金属所后，仍时常牵挂金属所的发展，继续为金属所的学科发展和学风建设做出了重要贡献。

师昌绪先生品德高尚，为人正直，谦诚宽厚，是中国材料科学领域中功勋卓著、德高望重的学术领导人，他教育和影响了一大批材料科学领域的优秀科研和工程技术骨干，为我国材料科学与工程的发展和优良学风的形成做出了重要贡献。



先生风采



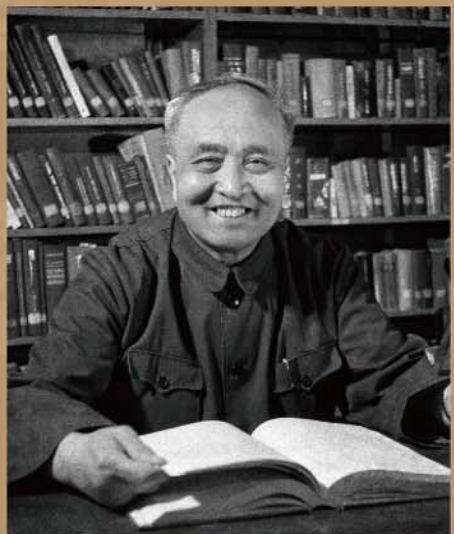
1952年师昌绪先生在美国麻省理工学院



1954年美国基督教箴言报报道包括师昌绪先生在内的35位中国学者要求回国



1968年师昌绪先生在航空410厂检查发动机涡轮叶片



1982年师昌绪先生在金属所



1983年为筹建腐蚀所，师昌绪先生带领有关人员考察建所用地



1986年师昌绪先生编写第一本《国家自然科学基金项目指南》



1998年师昌绪先生获得“实用材料创新奖”



2001年7月国际纳米材料高层论坛期间，江泽民主席与师昌绪先生亲切交谈



2004年师昌绪先生向金属所捐赠50万元人民币，设立师昌绪奖学金



2011年1月师昌绪先生获得2010年度国家最高科学技术奖



2011年9月温家宝总理到师昌绪先生家中看望师先生



金属所沉痛悼念 师昌绪先生

11月11日，金属所设立吊唁厅，供社会各界人士、金属所职工和研究生寄托哀思。“丹心报国 学富德高 辉煌业绩铸高峰”、“奖掖提携 宽厚至诚 芸芸后学仰先生”吊唁厅内悬挂的黑色挽联，概括了师先生辉煌的一生。社会各界人士、师先生的同事、学生、后辈等敬献的花篮，摆放在吊唁厅内。

9时起吊唁开始，在低沉的哀乐声中，人们排成长队、手执白菊、表情凝重地缓缓步入吊唁厅，给师先生送上深深的三鞠躬，哀悼这位为中国科技事业和金属所的发展做出重要贡献的老人。

前来吊唁的人中有步履蹒跚的耄耋老人，有在所学习的青年学生，还有得知噩耗后远道而来的社会友人。许多人难掩悲痛之情，眼含热泪，伫立在先生的遗像前久久凝望，不愿离去。

师先生做人、做事、做学问的光辉和力量，深深感染着许多人，有千余人自发前来吊唁。

师先生虽然离去了，但是他的卓越贡献和高尚品格，将永远存留在金属所每个人的心中。





师昌绪先生遗体告别仪式在八宝山举行

11月16日上午，北京八宝山殡仪馆东礼堂庄严肃穆，哀乐低回，师昌绪先生遗体告别仪式在这里举行。东礼堂大门的黑色横幅上书写着“沉痛悼念师昌绪先生”，两侧悬挂着“研材料鼎工程昌绪丹心熔铸强国梦 拓基金谋宏略师老风范激扬民族魂”的挽幛。

东礼堂内上方悬挂着黑底白字的横幅“永远怀念师昌绪先生”，横幅下方是师昌绪先生的遗像。师昌绪先生的遗体安卧在鲜花翠柏丛中，身上覆盖着鲜红的中国共产党党旗。

上午9时，伴随着悲伤的乐曲，原国家政治局常委李长春，全国政协副主席、九三学社中央主席韩启德，原全国人大副委员长路甬祥，中国工程院主席团名誉主席徐匡迪等缓步来到师昌绪先生的遗体前肃立默哀，向师昌绪先生的遗体三鞠躬，并与家属一一握手。师昌绪先

生的亲友、同事、学生及社会各界人士参加了告别仪式。大家手中拿着师先生的生平纪念册，胸前佩戴白花，表情肃穆，慢慢步入灵堂，送敬爱的师昌绪先生最后一程。

师昌绪先生病重期间，国务院副总理刘延东、原国务院总理温家宝曾专程前往医院探望。师昌绪先生去世后，党和国家领导人习近平、李克强、张德江、俞正声、刘云山、王岐山、张高丽等发来信电并送来花圈表示悼念。

全国人大常委会、中国科学院、中国工程院等部门、高等院校、研究机构、社会团体及各界人士纷纷致电师昌绪同志治丧委员会，对师昌绪先生逝世表示深切哀悼。





与师昌绪先生工作的点滴回忆



李依依院士（左）与师昌绪院士（右）合影

我到金属所时，所里的研究人员有三类：高老大（国外回来的研究员）、高老二（副研）、助研。师先生是第四研究室的主任，所里的八位“高老大”之一，见到他给我一种和蔼可亲、知识积淀很深的忠厚长者风范，紧张的情绪立刻就松弛下来。

在国家广州会议上给知识分子“脱帽加冕”后，要求保证科技人员5/6的工作时间，各研究室都配一名业务秘书，把研究室的业务工作管理起来，特别要保证高老大的工作效率和工作时间，师先生就要我把办公桌搬到他的办公室，要我大胆工作。当时，全所有八大任务，我们四室有五项目：AB-1就是M17铸造高温合金九小孔叶片、808就是国产节镍的铁基高温合金涡轮盘、A4钢—Cr17Mn14Mo2N一种节镍耐蚀不锈钢、FeMnAl合金系列、以及111任务的MoB钢。室主任会议确定任务目标以及各节点完成的进度，我起一个实施、保证和协调的作用，遇到困难我实在解决不了时才去找师先生。他总是给我压担子，对我的工作给予肯定和表扬，使我工作很舒畅。甚至在北京住院时他还给别人讲我做业务秘书时是他最少麻烦、工作最轻松的时候。

全所都很重视这八大任务，所领导下到室里蹲点，AB-1任务由党委副书记陆炳昌蹲点指导工作。后来我去四清，回所后开始了文化大革命，我就回到808合金组工作。

而这时，师先生受到文革的极大冲击，先是让他下到组里去工作，当时没有人敢要他，柯伟请他去了疲劳组，一起倒班做实验。后来，清理阶级队伍时又诬陷他是国民党特务，在现在的西大楼244房间逼供和被打，被关进群众专政指挥部，后来发展到用胶皮包着金属的鞭子让他趴在长条凳子上抽打，打得血肉模糊、皮开肉绽。幸亏他的夫人郭蕴宜不顾一切去给他送换洗衣物，衣物都换不下来，短裤都粘在身上。

70年代初党中央落实政策，师先生从群众专政指挥部解放出来，分配他去给当时的教学连学员写金属学课的讲稿。教学连学员都是转业兵、下乡知识青年和部分高中生。他每天早晨4、5点钟起床写讲稿，并坚持给教学连第一期学员授课。明明大材小用，他依然乐此不疲。后来，他终于能够回到他亲手创建的高温合金组工作。这时，九小孔空心叶片已从410转产到贵州生产，企业叶片生产成品率低，师先生亲自带领一个小分队去解决叶片生产中的问题，包括建立验收标准等。他们住的简易招待所，与厂里技术人员和工人一起攻关几个月，直到合格率达到实心叶片的程度，他们才回到沈阳。我在90年代中曾随师先生同去该厂，从进厂到出厂，无论哪个地方，师先生所到之处，人们都蜂拥到他身边问长问短，可见他“材料医生”的美称绝非浪得虚名。

1978年他出任金属所副所长，领导全所的科研工作。他注意到所里人才不能适应国际合作的需求，除积极推进重新招收研究生外，还争取到世界银行的一笔高级科技人才留学基金，送了一大批科技骨干出国进修。他还邀请了美国的两位老师Folson和Lemon到所里开办高级英语口语班，连续两期，大约60-70人。这批人在所里的外事活动中成为骨干。

1981年他与陈能宽先生讨论国内急需的一种抗氢脆材料，陈先生讲他们单位调研了国内许多家，没有人能做。陈先生带领一队人员到所里，师先生请了李薰所长、徐曾基副所长还有我一起到师先生办公室请陈先生交底谈要求，事后李薰所长说“金属所就是



要做别人做不了的工作，否则就没有在科学院的必要”。师先生对我说“这种重大项目就交给你们年轻人了”，其实，此前这类大项目都是由高老大负责的，因此，我们也诚惶诚恐，更有信心拼一拼，当时这项工作很难，有的人说不能做。但是，我们同一个研究室的周本濂和所里的徐曾基所长都非常支持我们，我们所里一共有30多人、涉及6个研究室，所外更多。我们从做试验设备开始，做出材料和数据提供给用户，因为完成得好，用户不断提出新需求，圆满完成了抗氢脆合金的五个系列，以及许多新工艺产品。工作中，师先生经常了解进展情况，指出应注意的问题，参加我们的学术交流会和鉴定会。遇到问题总是生产厂和用户与我们在一起商量解决，每年学术交流一次，总结工作并提出下一年的任务，这样持续了30年。

1983年，李薰所长去世后，师先生调到科学院技术科学部当主任，后来又当了工程院的副院长，他每年都会回沈阳，除了必须去研究生部和金属学报外，一定要向所班子了解所里情况，主要是基础与应用学科的关系处理地是否恰当。他每次都强调没有基础理论在国际上没有地位，没有应用研究不解决国家的问题就没有存在的必要，一项技术如果不能用，就是无用的技术。要我们在各方面都要摆平这两者关系。另一个重要问题就是人才问题，在人才断层时，他要我们注意选拔优秀的年轻人，不要苛求，要看他

(她)们学术上的潜力和人品，我们一直遵照他的要求尽力去做，他提出选出人才苗子，给他们舞台让他们施展才华，并且，送他们到国际上去见世面，他还把人家请他去国际会议上作报告的机会，让给年轻人。

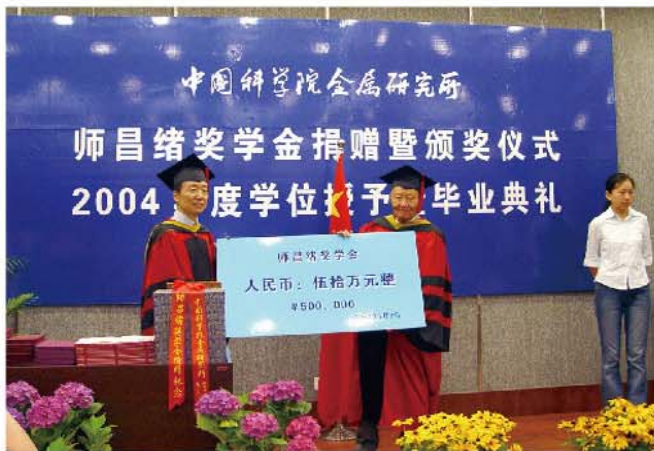


师先生工作照

师先生90岁高龄还天天去国家基金委上班，每天去他办公室的人络绎不绝，他总是有求必应。汶川地震前我们应邀去成都飞机公司，参观完后他与柯伟、李殿中和我去与二重谈三峡水轮机生产合作和参观8万吨挤压机生产高温合金涡轮盘，出来后他去主持资深院士会议，我们去机场回沈阳，就在飞机上即将起飞时大地震发生了，尽管在同一城市却互相不得而知，我们十分着急，事后问他，他地震时非常镇静只是感觉摇晃得厉害。

2014年4月，师先生患肺炎住进北京医院，期间我们去看望他，他总是惦念由他向国家建议的两个专项是否落实，材料产业化专项没有达到他原来要产业化的本意。他有时也闷闷不乐，主要是非常担心国家花了那么多钱研发都是只做到一半报奖就了事，常常为材料生产和机械制造工艺不稳定，一些批量生产问题没有得到解决而感到难过。

11月10日早上7时7分师先生离我们而去，我们十分悲痛，去北京八宝山向他遗体告别。至今，我还是不能接受这样一个事实，经常觉得他还健在。无论如何，金属所还要大发展，全所将更加团结，按照创新驱动发展的要求，以最佳的科技创新发展成绩纪念他。



2004年师昌绪先生向金属所捐赠50万元人民币，设立师昌绪奖学金



师先生对我国高温合金发展的贡献



师先生90岁生日时，朱耀霄（左）向师先生（右）汇报工作

师先生是我国最早并一直坚持在一线领导高温合金研究的科学家，对我国高温合金的发展做出了巨大的贡献。在他的领导下，我国于1966年研制成功了气冷铸造空心涡轮叶片，使我国当时的战机性能达到世界前列；研制成功了我国第一个铁基高温合金涡轮盘，为我国大批量生产高性能战机创造了条件；研究发明了低偏析高温合金技术，使我国的高温合金材料走在了世界的前沿，等等。

金属所于1957年开始高温合金研究，我随师先生一起成为第一批参加研究者之一。从那时起一直到2003年退休，我一直跟随师先生研究高温合金，现仅以我亲身的一些经历，对师先生在高温合金领域的贡献做一些介绍。

1957年我国开始研究高温合金

1956年，苏联援助我国156项重大工程项目，其核心内容是两弹一机，即原子弹、导弹和战机。为了尽快建立起我国自己的战机研制能力（最关键的部件是研制喷气涡轮发动机），在沈阳建立了我国第一座喷气涡轮发动机厂，即410厂。国家指定抚顺钢厂生产发动机所需的各种高温合金，指定金属所研究高温合金，以满足我国战机发展的需要。

金属所接受任务后非常重视，专门组织了205课题组开展高温合金研究。205组组长是李薰所长，有四位

副组长，他们是张沛霖先生、师昌绪先生、郭可信先生和庄育智先生，龙期威是项目秘书，几乎集中了当时金属所所有能参加的科学家。第一批组员有三人：王仪康、朱耀霄和吴平森。

成立之初，第一项任务是建立各种实验室。由王仪康组建了真空感应炉冶炼实验室，由我组建蠕变、热处理、金相实验室，由吴平森下厂了解生产情况。实验室初步建成后，就开始研发新的高温合金。按当时的思路，关键的涡轮叶片用高温合金，必须是变形高温合金，所以我们较深入研制的第一个高温合金也是变形高温合金，称为519合金。在研发519合金时遭受了很多挫折，第一难关就是热变形困难，总是锻不成材，研究工作根本无法进行。这时师先生提出可否采用包套挤压方法试试，即在519合金锭外包上一层低碳钢，再去进行挤压。我们按师先生的方法一试真成功了，由此我们很快测定了519合金的全面性能，其性能比当时性能最好的英国Nimonic 115好得多。

包套挤压方法虽然解决了热变形成棒材的问题，但棒材还必须进行模锻才能制成涡轮叶片。而模锻不可能包套，因而很难生产出可实用的涡轮叶片。经过认真研究后，我们被迫放弃了变形涡轮叶片这条路。

519合金的研究虽然放弃了，但用包套方法来改善难变形合金热变形能力的技术在国内得到了广泛的应用。所谓难变形合金，就是可热变形的温度范围比较窄的合金。在热加工时，被热加工工件表面很快降温，降到了可热变形的温度以下，所以无法进行热加工。如外面包上一层保温材料，使锭的表面温度仍在可热加工温度范围内，就可以热加工成材了。另外，用低碳钢包套，它不仅热加工性能好而且软，因而在热加工过程中还起到了润滑作用，这也有利于难变形合金的变形。

1957年底师先生正式全面领导金属所高温合金的研究

通过约半年的实践，李薰所长对我所航空用高温合金材料的研究进行了调整。原205组仍研究高温合金，由师先生任指导老师，朱耀霄为组长，配合师先生工作。新成立206组，研究难熔金属，庄育智先生是



指导老师，吴平森是组长；新成立207组，研究保护涂层，李薰所长是指导老师，李铁藩是组长；成立208组，专门研究金属陶瓷，郭可信先生是指导老师，戴受惠是组长。从此，师先生正式开始全面领导我所的高温合金研究工作。

在师先生领导下，205组集中研究了涡轮喷气发动机最关键的铸造镍基涡轮叶片材料和铁基涡轮盘材料。涡轮喷气发动机的性能主要决定于涡轮前燃气进口温度的高低，进口温度越高，性能越好。限制发动机涡轮前进口温度提高的关键因素是高速转动的涡轮叶片材料的承温能力。能生产出高承温能力的涡轮叶片，就能生产出高性能的发动机，所以世界各国都想尽办法来提高涡轮叶片的承温能力。

为了提高涡轮叶片的承温能力，首先要求用来制造涡轮叶片的高温材料在高温下要有很好的强度。假如一种合金的高温强度很好的话，必然很难变形，因而这对矛盾是无法克服的。我们在师先生的领导下放弃了当时流行的变形涡轮叶片，改走铸造涡轮叶片的技术路线。如果用铸造方法生产叶片成功的话，就较易实现气冷空心叶片技术。气冷叶片可使涡轮叶片的承温能力一下子提高几百度，而合金的改进，能提高 10°C 就已经是很大成绩了，所以气冷叶片对提高发动机性能意义重大。后来的实践又证明铸造涡轮叶片又为定向柱晶叶片和单晶叶片生产打开了大门。所以铸造涡轮叶片在高温合金发展史中占有特别重要的地位。而我们在师先生的领导下，在李所长的支持下，在世界上与美国几乎同时开展了铸造高温合金涡轮叶片的研究。

铸造涡轮叶片材料的研究

英国是当时高温合金的研究中心，他们认为对于高速转动的涡轮叶片受力极其复杂，选用力学性能不稳定的铸造涡轮叶片是不适宜的。这一观点当时被绝大多数研究者所接受。而我们要打破这一观点，需要慎重对待。师先生领导我们反复讨论和实践，最后得出了以下几点意见：

1、所谓铸造合金性能不稳定，是因为高温合金加入了大量特别容易氧化的元素，如铝、钛等。其在大气下熔炼和浇注时，很容易形成较多的氧化物夹杂物，使力学性能不稳定。现改在真空下熔炼和浇注，则不再有力学性能不稳定的问题，所以使用是可靠

的。

2、根据大量的统计，涡轮叶片损坏的主要形式是疲劳折断。用铸造方法生产涡轮叶片一般都可以带冠，带冠后在相同的激振力下，叶片承受的疲劳应力可成倍地下降。因而用铸造带冠的涡轮叶片比模锻叶片使用更可靠。

3、用铸造方法生产涡轮叶片，免去了热加工的困难，因而可以进一步提高合金化的程度，提高合金的承温能力。

4、用铸造方法，有可能生产出气冷空心叶片。气冷可使叶片金属壁温降低几百度，也就是说，用相同的承温能力合金，经过气冷可使燃气进气温度提升几百度，因而可大幅度提高发动机的性能。

经过讨论和实践，认识到铸造叶片合金不仅可靠而且前景非常好，再加上李所长支持，工作进展很快，不到半年时间我们在实验室中研究成功了我国第一个涡轮叶片用916铸造高温合金，并测定了全面性能。其力学性能远优于当时最好的变形涡轮叶片合金，承温能力至少提高 25°C 。我们拿着916合金的数据到410厂要求进行试车。当时410厂技术上由苏联专家说了算，他们不同意试车，理由有二：一是铸造合金性能不稳定，二是真空熔炼在工厂中无法实现。

关于性能不稳定问题比较好解决，由我们提供几十根铸造样品，由410厂进行测试，结果很快就出来了，铸造样品的性能很稳定。关于真空设备普及问题，我们联系到锦州新生机械厂，对我们的真空炉进行测绘仿制。在1958年大跃进的形式下，他们于1958年年底就仿制成功了25公斤感应炉，后来又研制成功了200公斤真空感应炉。苏联专家的要求都满足了，似乎可以进行试车了。我们再一次到410厂要求试车。苏联专家又提出铸造合金冲击功太低的问题，要求我们将冲击功必须提高到 $2\text{kg}\cdot\text{m}$ 以上。没办法，我们只得回来，摸索提高合金的冲击功。经过再三努力，由原来的1.2左右，逐步提升到1.7左右，再也无法再提高了。后来的实践证明，要求冲击功提高到 $2\text{kg}\cdot\text{m}$ 以上是没有必要的。

经过上述种种磨难，时间到了1960年的三年困难时期，铸造涡轮叶片工作被迫暂停。与我们几乎同时启动研究的美国，1963年宣布铸造涡轮叶片试车成功。如果没有苏联专家的阻难，我们可能早于美国首



先试车成功。我们失去了世界第一试车成功的机会，但这三年的努力，为后来1963年重新启动积累了经验和创造了物质条件，特别是真空感应炉在工厂的普及，也算没有白费工。

新的铁基涡轮盘的研究和推广

涡轮盘是喷气发动机中又一重要部件。原苏联援助我们的米格15发动机，使用温度较低，用 Θ N481合金制造，这是一种碳化物强化的合金，最高使用温度仅 550°C ，但随着高性能发动机的发展，需要一种能在 $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$ 条件下使用的涡轮盘材。我们根据国家需要，努力研发我国自己的第一个铁基高温合金涡轮盘材料。

为了发展新型战机，需要研究一种能在 650°C 下使用的涡轮盘材料。根据国外经验，在 650°C 下使用必须选用铁基高温合金。此时，国外已有成功经验，但属于保密状态，苏联也不把技术教给我们，我们必须自己摸索前进。我们克服了种种困难，于上世纪60年代终于试制成功了我国第一个铁基高温合金涡轮盘材料——808合金，其成为我国上世纪60至80年代的最主要涡轮盘材料，前后生产了上万个涡轮盘，为我空军战机的发展做出了贡献，因而808合金获得了1965年中国科学大会奖。

808涡轮盘的研制工作，也倾注了师先生的大量心血。其工作分为两个阶段。1958年至1963年期间，重点的材料研究是在205组完成的。1963年以后，由于205组改组成AB-1任务组，需要承担空心叶片的任务，因而又组建了由肖耀天和郭建亭为主的808工作组，重点是下厂推广生产涡轮盘的工作。

由于高温涡轮盘的迫切需求，60年困难时期也没有停顿。为了加速工厂试制进度，师先生亲自带队下厂。60年冬天特别冷，每天天没有亮就要赶到南站，坐闷罐火车去抚顺，晚上很黑了才回到沈阳，一个冬天都是如此。

在抚顺钢厂炼出第一个大锭型的808合金，很顺利地锻造成棒材，但切开一看，整个棒的中心都有十字花的痕迹。师先生领着我们寻找原因，初步认为可能是锭中心存在缩管。生产808的锭模是借用生产普通钢的锭模，锭模壁很厚，热容量很大，再加上高温合金柱晶生长能力强，因而促进了808锭柱状晶的严重发达，产生了锭中心的缩管。我们将锭模壁的厚度减薄

后，问题就解决了。后来，在肖耀天和郭建亭的推广中，几乎每走一步都遇到各种困难。进入锻造阶段，遇到了“炸裂”问题，就是锻锭装炉温度高时可听见如爆炸的声音，锭开裂了。原因是高温合金热导率低，膨胀系数大，装炉温度高，内外温差大，产生巨大热应力，产生“炸裂”。当进入车削和拉齿阶段时，无法加工，我们要帮着解决刀具问题等等。但经过他们的努力，终于大量地装备了我国空军。这是我国自己研制的第一个高温合金涡轮盘，并为以后发展高温合金涡轮盘开辟了道路，是我国高温合金领域的第一个重大成果，所以获1965年中国科学大会奖。

气冷铸造空心涡轮叶片的研究

1963年，三年困难时期过去了，苏联专家也撤退了，六院提出搞气冷空心叶片。为了能争取到任务和很好的完成任务，在李所长的积极支持下，在师先生的领导下，调集了所内各方面的技术力量，在205组的基础上，组建了AB-1任务组。由师先生任组长，胡壮麒为副组长，朱耀霄和赵惠田为题目秘书，下设三个组：合金组：组长朱耀霄；冶炼组：组长张顺南；铸造组：组长赵惠田。

气冷空心涡轮叶片任务提出后，当时研究高温合金的单位主要是三家，除金属所外，还有航空部六院的606所(现621所)和冶金部北京钢铁研究总院。三家都积极争取要承担任务，各家都提出了实现气冷的方案。我们的方案是铸造小孔方案，606所是铸造大孔方案，钢院是变形大孔方案。设计者认为小孔冷效高，是较优方案，将大孔方案作为后备方案，要求三家尽快拿出样件。由于我们有58年的实践经验，很快拿出了小孔样件，任务落实到金属所。

为了完成小孔空心叶片任务，首先要在叶片中制出小孔。制孔方法不外乎在模壳内适当位置放置一些细丝，待叶片浇出后将这些细丝溶解掉，则成带有小孔的叶片。这需要有化学知识的人员参加，所以当时请了姜晓霞参加AB-1任务组。

寻找合适的细丝花了很大精力，试用了钼丝、钨丝和各种化合物丝，都不理想。后来师先生在一本美国杂志上，看到一个出售细石英管的广告，由此联想到这种细石英管是不是生产空心叶片用的细丝。我们一试真成了。丝的材料问题解决了，如何将其迅速溶解掉又成为主要问题。开始阶段采用HF酸来溶解石英，



效果还可以，但对人体危害太大，还伤了两个人，后来改用碱煮，效果也不错。

我们在实验室试制成功后，马上到410厂生产正式叶片，并进行试车。1966年第一台套气冷空心叶片正式进行试车，但运行不足2小时叶片就飞了。这时说什么都有的，要想能继续进行下去必须弄清原因，并彻底解决。当时成立了设计所（606所）、生产厂（410厂）、研究单位（金属所）三家联合调查组，对事故原因进行调查分析，先生派我参加调查组。经调查分析认为，是因为涡轮叶片榫齿给的公差不当造成的。

苏联没有给我们设计图纸，榫齿是根据实物测绘给出的。当时给的是正负公差，这将使有的叶片处于正公差时，第一齿受较大的离心应力，再加上震动负荷集中在第一齿，两者叠加，使第一齿容易产生折断。当第一齿折断后，第二齿变成了第一齿，又折断了，这样各个击破，最后叶片飞了。如将正公差改成负公差，这时，叶片离心应力的大部分分布在第五齿、第四齿，而第一齿受的离心应力很小，主要仅承受震动负荷。这样使受力状态较均匀了，就不容易折断了。上述分析对不对，需要用实验来验证，立即又生产了一台套叶片进行试车，非常顺利，试车成功了。

试车成功了，皆大欢喜。但问题又来了，为了试车，可以不讲成品率，但转入生产，成品率太低是不行的。当时的成品率仅2-3%，主要问题是断芯和脱不出芯。因为石英管与模壳的膨胀系数不同，模壳在加热过程中容易折断；石英管内孔较小，很容易被腐蚀产物堵塞，影响脱芯。所以提高成品率成为任务能否全面完成的关键。

根据国家的安排，气冷空心叶片生产转向贵州170厂。这是一座深山老林中的三线工厂，生活非常艰苦。为了提高叶片成品率，师先生多次带队去170厂，深得技术人员和工人的欢迎。经过攻关，成品率由2-3%，上升到10%，再上升到20%，再上升到30%，可以大批量的生产了。生产的叶片不仅满足了我国空军的需要，还大批出口。

气冷铸造空心涡轮叶片的研制成功，是我国航空工业的重大成果，大大提升了我国空军的战力，因而获得了国家科技进步一等奖。

低偏析合金技术

涡轮叶片用高温合金，要求尽可能提高承温能力，提高合金的合金化程度是提高承温能力的途径。在变形高温合金时代，限制合金化程度提高的因素是热变形难度，其最高承温能力限制在950℃左右；在铸造高温合金时代，由于不需要热变形，因而允许进一步合金化，使承温能力提升到约1000℃左右，但又受到凝固偏析的限制。如果有办法能明显减少铸造高温合金的凝固偏析的话，则可再进一步提高合金化程度，提高承温能力。

铸造高温合金的合金化程度已经很高，达到40%-50%，凝固偏析十分严重。每种合金元素是属于正偏析，还是负偏析，偏析的严重程度主要决定于每种合金元素的凝固特性，同时，还与合金的凝固的温度区间大小和凝固速度的大小有关。凝固速度一般由于工艺条件的限制，很难作大的调整，而合金的凝固温度范围，则可通过提纯的方法，有可能大幅度减少。根据这一设想，我们对铸造高温合金中的一些微量元素进行了测试，结果证明，磷、锆、硼、硅四种微量元素，严重降低铸造高温合金的终凝温度，一般可使合金的终凝温度降到1100℃左右。通过严格控制着上述四个元素后合金的终凝温度可提升到1200℃以上。一般的铸造高温合金初凝温度大约在1300℃左右，因此，通常的铸造高温合金，凝固温度范围达到约200℃。而严格控制磷、锆、硼、硅合金的凝固温度范围缩小到不足100℃，合金的主元素的凝固偏析程度可大大缩小，我们称此类合金为低偏析合金。

低偏析合金的凝固偏析程度减小了，因而允许加入更多的合金元素，使合金的承温能力得到再提高。我们据此发展了一些低偏析的铸造高温合金和定向柱晶，近年，郑志又发展了低偏析单晶合金。我们研制的低偏析合金，分别比原合金承温能力约提高了25℃。这些低偏析合金，有的被一些重大工程选用，有的走上了市场。因此，低偏析技术和合金分别获得国家自然科学奖和国家发明奖共三项，并被国际材料协会授予“实用材料创新”奖，还被“大不列颠百科全书”收录，使我国高温合金发展走在了世界的前沿。

师先生的一生，是勇于承担、不断探索、努力创新的一生，很值得我们后辈学习。



美丽的人格 ——悼念师先生

金属所 关德慧

师先生于2014年11月10日仙逝，走完了忙碌坎坷的一生，但好在是先苦后甜的一生，也是精彩的一生。我有幸在先生82-85岁期间作为秘书兼助手在他身边工作，受益良多。

先生是我国著名的材料科学家和战略科学家，国家最高科技奖获得者，成就无疑是辉煌的、是闪光的，但在我心中，更闪光的是师先生美丽的人格。

在悲痛之后沉静下来，写下这篇文章，向人们更立体地再现一位可亲可敬的先生，缅怀他老人家。

具有优良的习惯，珍惜时间、严于律己

先生给我的深刻印象之一是他有很多好习惯。先生非常勤奋，他每天鸡鸣即起开始一天的工作。我在他身边时，他在基金委的身份是特邀顾问，又是资深院士，他完全有理由少干点，但是每天他都按时上班，中午也不休息，总是精神饱满地工作，对自己分管或参与的每项工作都给予关注。他的工作内容很多，关心科学期刊的发展、中国科学院和工程院咨询项目的进展、国家科技图书文献中心建设、国家材料腐蚀网站建设、科技部新材料专项的开展等等。此外，还要阅读科技文献、撰写文章报告、接待来访、处理信件、参加或主持研讨会等等。他案头的文件资料总是很多、很厚，需要定期清理。

他制订的工作计划，包括学术报告、论文、会议发言稿、为同行的专著撰写序言等等，总是按时完成，从不拖延。我的印象是先生今天能做完的事情、今天该做完的事情绝不拖到明天，工作有计划，管理时间的能力和自我控制的能力都很强。

胡壮麟院士回忆说，“文革”期间师先生受到不公正对待，蹲牛棚、挨打、受批判，“文革”后期对他看管稍加放松，准许他做工作，为学生讲课。他竟然每天清晨两三点就起床写讲义，用了将近1年的时间完成了70万字的金属学讲义，内容丰富，既有基础知识，又有国内外最新研究动态。

先生总是利用各种机会了解我国科技界的发展，

获取信息，如坚持阅读科技期刊、科技报刊，参加学术会议，参与或主持国家咨询项目、软课题。先生有一个十分有效的获取信息的渠道，就是与同行交谈、沟通。每次参加会议，师先生都会提前到，一般会提前30分钟左右。我开始不明白先生的用意，感觉这是先生守时的好习惯。渐渐地我品味出来，每次提前到会，他都利用会前时间与朋友叙旧，与他人沟通，了解各领域科研进展情况。因为先生学术辈分高，又是慈善的长者，一般情况下，交谈者都会珍惜这个机会，向先生报告自己工作进展情况，取得了哪些成绩或者遇到了什么困难。这些新鲜的信息对先生全面了解学科前沿进展，然后向管理部门建言献策以及撰写综述性报告无疑是有益的。当然，有时候先生也会利用这个时间对会议的内容进行沟通，了解别人的意见和态度，以便主持的会议顺利开展。会议结束后，先生一般不会马上离开，因为常常有人利用这个机会与先生讨论交流。只要时间允许，先生是非常愿意与同行或晚辈沟通。

作为秘书一般需要提醒领导最近的工作安排，但是先生的工作安排一般不需要秘书提醒，近期和长远的工作安排都记在本子上，装在脑子里。我曾好奇地问先生，怎么能把这么多要做的事情都记住？他说把计划记在本子上很重要，但也要在脑子里常想，“我年纪大了，没那么多觉睡，早晨4点左右就醒来了，为了不打扰老伴休息，我一般不马上起床，一边听听收音机，一边在脑子里过电影，想想还有哪些事情没有做完，该怎么做。”

清华大学李恒德院士回忆说，“他律己很严，大约有十来年，一到春节他就到清华园来拜年，看望老朋友们，首先是我，然后我们一同去王明贞家和高景德家。他总是从芙蓉里或中关村步行来、步行去，从来没见过他坐过一次汽车。不仅如此，在很多星期六、星期天，他因公事找我也都是走路来的。想一想，他是70出头的人了，又给他配有车子，他能做到这一点的确十分可贵”。

先生的好习惯有很多。比如，他总是很安静、很耐心的听别人讲话，从来不打断别人，和颜悦色地与



人交流。他平易近人，每次回到金属所，如果时间允许，他都会到办公室走走，看看熟人，他走到哪里，哪里就会有欢笑。

以上所言有些既可以说是好习惯，也可以说是优良品行。

宽厚仁慈的长者

我在先生身边工作的时候，家在沈阳。先生夫妇对秘书在北京的生活一贯很关心，规定周六一定要去先生家吃饭。先生经常亲自下厨，能做一手拿手的好菜，焖肘子就是先生最拿手的。按医生的要求，先生吃肉很少，但他喜欢看到我们吃起来很香的样子。每次出差回来，如遇上中午，他都会邀请我们去饭店吃午餐，怕我们没地方吃饭。

再比如，记得有一次先生因感冒发烧在北京医院住院，期间需要进行输液治疗，一位年轻的护士可能是由于紧张，针头好几次都没有扎进血管，先生就笑呵呵地鼓励她说：“没关系的，不要紧张，我不怕痛”。先生非常听医生的话，医院要求怎么做他就怎么做。在北京医院，先生被称作“模范病人”。

曾经与先生共事的中国工程院退休领导葛能全回忆说：“与师先生共事的人或在师先生领导下工作的同志，对师先生的工作态度、工作精神无不敬佩，无不感到心情舒畅。这些年里我感触尤深。他关心人，不看对象，不分厚薄；他尊重人，不分长少，不论资历。他是许多人心目中的好领导、好长者、好朋友，得到了大家的信任。”

他对待家人也很细心体贴。一次开会回来，已经是傍晚了，我们送师先生到了家。按惯例我是不用送他进屋的，先生怕耽误司机回家，从来这样要求。但我们会等待一会，等先生进门后再离开。见先生在门口找钥匙，半天没有找到，我就上前询问，看先生还在翻口袋和提包，我说还是按门铃吧，让郭老师来开门。他说不要按，这时候郭老师可能在做饭，听到门铃会手忙脚乱，可能就会把手烫了。随后在包里找到了钥匙，自己开门进屋了。

视野宽广，做事民主

先生关心科研事业的各个方面，包括学报、学会建设、学术会议、图书情报等。他时刻关注材料科技前沿发展的信息，直到80岁时还定期抽出时间去国家图书馆、国家科技图书馆和中国科学院图书馆查资

料；他定期收到十几种学术期刊，经常翻阅，感兴趣的文章他会带回家，利用早晨时间整理，以备需要。因此，他做的学术报告都是根据平时资料积累与思考形成的，几乎完全由自己动手完成。

他多次为国家科技发展建言献策、上书国家领导人，无论是不是自己应该管的，只要他认为对国家有必要，都会亲历亲为，而且往往都起到了很大的作用。

作为材料科学方面的专家，又是科研管理者，先生曾主持过多个重大咨询、战略研究和学科规划任务，还主持过不少国家级重大课题立项和评审，以及国家重点实验室的立项和评估。他总是能站在全局的高度将大家组织起来，遇到不同意见时，让各方畅所欲言，公平竞争，这样大家都心悦诚服并取得共识。

淡泊名利

先生心态平和，工作上随遇而安，不挑肥拣瘦，不患得患失。他曾经说过：尽管一个人正确认识自己很难，但不正确认识自己就会造成心理不平衡而自寻苦恼，这既有害于身体，又不利于工作。人不要以自己之长比别人之短，这样就会骄傲自大；同样也不要以自己之短比别人之长，这样就会自卑，感到什么都不如别人而失去信心和干劲。他清楚地知道自己的长处和短处，所以，总是心情愉快。

他很反对人家在介绍他时特别强调他是两院院士。一次记者采访他，问他怎样才能成为两院院士，他回答说：“其实两院院士就是一院院士，当初中国工程院刚成立的时候，把中国科学院技术科学部中一批研究领域偏重工程技术的院士推选为中国工程院院士，因为中国工程院总得有第一批院士，这样好评选其他院士，就有了两院院士。”

当他获得国家最高科技奖后，有记者采访他，问能否称他是“高温合金之父”，他说不能这样说，因为在中国开展高温合金研究时，外国已经有了。当问他能否称他是“中国高温合金之父”时，他说也不能，因为中国当时也有不少人研究高温合金，只能说自己做出了一些重要贡献。

心胸宽阔、待人至诚

“文革”期间，研究所也有路线斗争，先生属于挨批斗的一员，“文革”后科学春天到来，科研回归正轨。当时中国科学院各研究所研究员职称评定要经



过科学院学部委员会审议。师先生从不记仇，对于“文革”中曾经整过他的人，一概给予客观公正的评价。

中科院金属所建所元老李有柯在《长者》中这样描写先生：“师先生在美国麻省理工学院有稳定的工作，生活优越，但他冲破重重阻力毅然返回祖国。他待人忠厚仁慈，谦和体量，从不疾言厉色。我有幸随他工作十余年，所受教益，难以言表，清夜思之，不胜感激。‘文革’中师先生肉体愈受摧残，生命之力就愈益昂扬，清白越遭诬陷，人格尊严的意识就越发觉醒。这正是一位热爱祖国、热爱科学、热爱真理的正直科学家在身处逆境中显现出来的精神品质的光辉。文革后师先生以旺盛的精力投入到科研、领导和研究生培养的繁重工作中，追赶逝去的时光。”

先生经常讲：“我这个人没什么本事，我的本事就是能把大家团结起来做事”，但是能把一个几百人的队伍带好，团结奋进，开拓进取，不正是一个领军人才应具备的能力吗？孔子说：“其身正，不令而行；其身不正，虽令不从。”

李依依院士回忆说：“和师先生一起在实验室工作的日子里，我们合作的非常愉快。作为一个指挥者和领导者，他善于发挥和利用大家的长处。他指挥我们怎么做，怎么改进，然后放手让我们大胆去干，在工作过程中，帮助指导解决技术难点。大家一起加班加点，一起下厂，彼此互相信任，齐心协力，共同攻关。那段艰苦而充实的岁月，是我们难忘而美好的回忆”。

先生待人厚道是出名的，在他眼里没有坏人。一次在中关村开会，会场离家不远，先生就步行去开会。路上遇上一个年轻人当着先生面从地上捡起来一个“大钻戒”，然后就跟先生搭话，要跟先生平分，“大钻戒”归先生，让先生给点现金就行。先生耐心地教育这个年轻人，说人家丢“钻戒”的人一定很着急，你还是想想办法怎么找着人家，不然就送到附近派出所，让警察想办法。会前，先生跟与会人员讲这个事情，大家异口同声说那人是骗子。开会回来后，先生像个孩子似的问我：“怎么人家都能看出是个骗子，我就看不出来？”

关爱青年，提携后人

先生非常关注青年人，乐于结识青年人。他对国家基金委创新团体的考评中特别强调，考评一个团队不要只看重是不是有知名科学家，是不是有院士，更要看重这个“大家”下面是不是有一批成长起来了的

年轻人。

先生作为长者看年轻人总是用喜爱的眼光，与青年人聊天对他来说是很愉快的事。在工作之余，他愿意与我们聊天，大多是工作方面的，也很关心我们的生活。他会耐心听我们发表意见，即使与他的看法不同，也很少打断，他总是平和地发表他的意见，不会滔滔不绝垄断整个谈话过程，他很少说教，都是大实话。师先生与人为善，助人为乐。他常说：只要对别人有帮助，我都尽力而为，我辛苦个把小时，别人可能终身受益。

他对青年人的关心很全面，大到关心青年人未来的研究方向，举荐青年人才，小到为青年人写推荐信。无论是不是自己的学生，只要有熟人相托，材料真实，他都不会拒绝。他70多岁时还会为金属所的研究生评审博士论文，书写评语。他曾经为许多学生的书作序，而且是认真修改，仔细推敲。其实，这些小事他完全可以推辞掉。

先生常常用自己的经验告诉已经学有所成的青年人，要做大事就要善于协作，要能容人，要学会用人所长；但是从个人方面，尽可能要全面发展，要重视品行修养，不要有短板。他用生动的例子解释说：“在一些奖项和荣誉的评审中，有时候说你哪个方面好不一定起作用，但说你哪个方面不好却常常起作用。”

后记

在先生身边工作的3年对我来说是幸福的3年，好似又上了一回大学，学的是如何做人、如何待人处事、如何对待人生。

先生教诲我们珍惜现在的环境，努力工作，做出成绩。谈到影响个人命运的因素，他说：“智慧、体魄是基础，勤奋、进取是动力，素质、品德是保证，环境、机遇是条件，除了环境和机遇外，其他因素都取决于自己，而机遇又是留给有准备的人”。这些话都让我终身受益。

先生去世后我一直想写一篇纪念先生的文章，我斟酌过文章的题目，曾想用“闪光”或“伟大”来形容先生的人格，但又觉得这样说似乎把先生形容得很神，遥不可及，我觉得用美丽的人格更好。先生的品格正是在平凡中、在每一件小事中显现出来的。“美丽”是形容他的人格完美、有魅力，可以去学，去追求。

“先生之风，山高水长，虽不能至，然心向往之。”
愿先生一路走好！



悼念我的导师——师昌绪先生

所友 江晓平

惊悉师先生于2014年11月10日7时7分在北京仙逝，非常难过。去年8月在北京，得知师先生住院，本想前往探望，但当时不允许探视。岂知今日已是天地之隔。只能留下无限的怀念。

我是1982年东北工学院高温合金专业毕业，考上师先生在东工的硕士研究生，当时的课题是高温合金的激光合金化。1984年又考上了师先生在金属所的博士研究生，1988年11月毕业后，在师先生和胡壮麒老师的推荐下到美国麻省理工学院材料系做博士后。当时麻省理工能接受中国的土博士作为博士后，还是头一次。我知道，并不是因为我在学术上的贡献，而是师先生、胡老师他们早期在麻省理工为中国人创下的声誉。

师先生为人谦和，从来不批评学生，给学生充分的独创空间。在博士生期间，我先是研究高温合金的快速凝固，后来，我自作主张改为高温超导材料制备，师先生也是毫无怨言，大力支持。

1988年底，麻省理工接受我为博士后，但我的人事关系在东北工学院，不知为何，东工人事部无论如何不同意，我实在没办法，两手空空，跑到了北京师

先生家求救，他很生气，说为何不给年轻人创造条件，而是百般刁难呢，于是他亲笔给东工校长写了一封信。第二天，东工就放人了。后来，我知道师先生对所有他的学生出国都是鼎力帮助，从不要任何回报。

1999年，我回国创业，生产晶体和材料研究的设备。师先生知道了很高兴，2002年还为我的两个公司提了词。至今，这仍是鼓舞我不断努力的动力。

2008年，我有幸在沈阳为师先生90大寿庆生，向他汇报了我的创业过程，并告诉他，我还代表他及金属所的老师向麻省理工捐献了一个材料实验室。老人家很高兴，并说要把我的与众不同的经历写到他的回忆录里。他还告诉我，长寿的主要秘诀是与人为善。这个秘诀我牢牢的记在心里。

师先生光辉的一生，报纸上都已描述。作为他的一位学生，我从他老人家那里得到的更多是关怀、鼓励和热爱材料科学的传承。我庆幸今生能遇到师先生这样的恩师，把我引导到材料科学研究这条路上，更感恩材料研究能成为我赖以生存的支柱。对我来说，对师先生最好的怀念就是把MTI和科晶集团建设好，使她成为世界材料研究设备生产的一支主力军。

缅怀师老

金属所 柏春光

小小离家，昌绪不凡；
勤勉谦卑，亦涩亦甜；
青年才俊，志向高远；
报效祖国，舍逸求难；
叶片空心，克苦攻坚；
教书育人，弟子三千；
厚德载物，福寿齐天；
松柏常青，师训永传。



七律 送师公驾鹤卧云眠

金属所 董纯仁

金睛报国虎狼烟，名利轻抛大梦圆。
钢企厂中常救急，军工线上总攻坚。
摘桃一跳三千丈，植李双收八百贤。
铁骨愚公魂贯日，丹心精卫魂滔天。

七律 悼念师老

金属所 曹亮

有幸踏进科学门，金秋盛京承师恩。
耄耋之年爱国心，汗马功劳百年身。
冬月驾鹤西归去，桃李此刻悼先人。
长歌当哭念昌绪，金属所内撰祭文。