



2016年3月,徐建中在工程热物理所建所六十周年学术论坛上致辞

自己的导师似乎有“两副面孔”,中国科学院工程热物理研究所(以下简称“工程热物理所”)研究员赵庆军直到博士毕业才意识到这个问题。

那是2007年的一天,赵庆军留所工作后,一向宽和的导师、中国科学院院士徐建中把他喊到办公室,郑重地对他说:“我们团队有两件事不干,一是别人干了的事我们不干,二是别人能干的事我们不干。”

赵庆军听后吓了一跳,当即反驳道:“我觉得别人什么都能干。”徐建中则淡定地回答:“我们现在干的事,别人就干不了。”

这件事,正是研发新原理发动机。

共事久了之后,徐建中的“两副面孔”逐渐清晰——对学生宽容,对员工严格。有一次,赵庆军在办公室批评研究生被徐建中看到,他让其他老师转告赵庆军:不能对学生这么严厉,尤其是干创新的事,不能打击他们的积极性。

颠覆

1995年当选中国科学院院士似乎是徐建中科研生涯的分水岭。在那之前,他三十余年的工作以理论研究为主。当选院士后,55岁的他不再满足于将理论停留在纸面,曾多次向同事表明,自己可以去冒更大的风险,做一件对国家有更大贡献的事。

他在1996年10月13日写给学生的信中提到,当选院士后,自己花了很多时间抓大项目,其中就包括提出制定高超音速推进计划的建议。

普通民航客机的巡航速度不到1马赫,超过5马赫被称为高超

音速飞机,是未来的发展方向和“兵家必争之地”。彼时,中国却是联合国五大常任理事国中,唯一不能独立研制先进航空发动机的国家。

由于技术壁垒很高,徐建中判断,中国发展新原理发动机将是打破西方垄断甚至超越西方的战略选择。2000年前后,他便在自己的实验室布局了对转冲压压气机方向。

为了实现高超音速飞行,传统做法是配备涡轮、冲压两套发动机,分别在3马赫以下和以上工作。其缺陷是其中一套在不工作时会成为“累赘”,业内俗称“死重”。虽然很重,但不能不要。并且,它们交接班时还存在模式转换这一技术性难题。

而徐建中提出的对转冲压发动机,则能以一敌二,直接达到高超音速,中间没有模式转换,更不存在“死重”。

想法虽然好,却有点“生不逢时”。

研发航空发动机需耗费巨资,被认为是一个国家综合国力的体现。然而,2000年时,我国人均GDP(国内生产总值)不足1000美元,全社会研发投入尚不足现在的2.5%。

“当时科研界可以说刚刚从脱贫走向温饱,徐先生敢在那么艰难的条件下做这么一件大事,这是真正的科学精神。”中国科学院院士金红光认为。

在这样的背景下,徐建中的冒险行为自然遭受了不少非议。在争取项目立项时,一位领导曾直白地反对:“美国都没做,我们为什么要做?”

徐建中平静地反问道:“美国不做,我们就不能做吗?”

徐建中敢为人先,自然有他的过人之处。在航空发动机的设计中,当马赫数达到1左右时,会出现激波现象,导致阻力、损失急剧增大,因此教科书上的传统方法都尽量避免激波。徐建中却凭借着对激波的透彻理解,反而增强和利用激波,再想办法减少损失。

2009年,中国科学院雪中送炭,送来了一笔研究经费,当时全国甚至找不到能做相应实验的实验台,一切从零开始。所谓原创技术,意味着没有经验可供借鉴,仅突破叶栅这一关,他们就用了十年时间。

如今,他们原创的低熵增激波增压对转冲压压气机,取消了高低压转子之间的导叶,2级叶片的增压能力就相当于传统的4—6级,重量和尺寸都大大减小。

接力

徐建中曾多次提到,中国之所以无法研制先进的航空发动机,根源在于基础研究严重不足。

他之所以敢颠覆传统,底气来源于三十余年对激波扎实的理论研究。

徐建中的导师、中国科学院院士吴仲华是我国工程热物理学科创始人,也是叶轮机械三元流动理论的创始人。

第二次世界大战后,各国都投入重金研发航空发动机,但由于其内部流动的控制方程组异常复杂,根本无法求解。直到1950年吴仲华的叶轮机械三元流动理论横空出世,利用吴氏方程将复杂的三维空间流动问题简化为二维计算,从而使得利用计算机求解成为可能。

不过,该理论只适用于马赫数小于1的流场。随着飞行速度增



1983年,徐建中(前排右三)在麻省理工学院陪同吴仲华(前排右二)访问

加,当激波出现时,气流的参数急剧变化,吴氏方程就不能连续求导。

面对这一世界性难题,徐建中通过对激波的深入研究,利用弱激波关系使导数从间断重新变得连续,从而把叶轮机械三元流动理论从亚音速拓展到跨音速。后来,他又发展出熵产极小化激波增压理论,使得叶轮机械三元流动理论的适应性进一步拓展到超音速。

师徒接力,使得这项理论历经七十余年经久不衰。即使如今计算机已经能够求解全三维流体方程,罗罗、GE等国际公司依然在利用吴氏方程进行初步求解。

登峰

除了原创的新原理发动机,徐建中在风能方向的研究布局也与众不同。

当选院士之后,徐建中以更高标准要求自己。2004到2006年,

他接连三次给国家领导人写信,建议发展循环经济、分布式能源和风力发电,都得到了批示。在那之前,即使是专家层面,也鲜有人支持可再生能源。

除了积极建言,徐建中还在当时“没钱、没人、没政策”的大环境下,勇敢地成立了风电公司,一边进行风能研究,一边向工程应用发展,成功研制出我国首套国产化兆瓦级风电叶片。

即便是在白手起家的新领域,他依然不改本色,坚持“别人能做的我们不做”的原则,要求课题组去攻克那些“企业做不了、只有中国科学院能做”的技术。因此,他在2005年前后便提出发展非常超前的深远海漂浮式风电,后来又提出风能热利用新赛道。

深远海的风力资源量远高于近海,但技术难度也大得多,到目前为止全世界尚未真正实现商业化。风热机组则可以直接将风能



闹蛾金钗

1400多年前,一个9岁的女孩子夭亡了。通常来说,这么小的孩子,很难在历史上留下印迹。

但她不一样。1957年,陕西西安一座隋代墓葬的发现,让“李静训”这个名字走入大众视野。

李静训,字“小孩”,被称为“史上最受宠小孩”。她的曾祖父是北周骠骑大将军李贤,外祖父是北周宣帝宇文赟,外祖母杨丽华既是北周皇后,也是隋文帝杨坚的嫡长女。外祖母将她视为掌上明珠,让她在万千宠爱中度过绚烂而短暂的童年。

“李静训和她的时代”展正在中国国家博物馆展出(4月3日至10月8日),首次将国家博物馆馆藏240余件(套)相关文物较为完整地集中展示。同时展出的还有来自陕西、山西、河南、宁夏、天津等地区10余家考古文博单位的150余件(套)文物珍品。

这些展品不仅包括李静训墓出土的文物,还有其他地区出土的隋代精品,对了解这段历史背后的政治流转,以及经济、文化、上层社会生活图景具有重要意义。

国内绝无仅有的华丽金钗

展览开篇,就是李静训的闹蛾金钗。它小巧、精致、灵动。

隋代是金银钗簪的繁盛期,闹蛾金钗更是隋代发饰中的珍品。

金钗以金片为托,两端上卷作荷叶状。金片上有两个卷环,卷环上插六瓣金花、三角形金荷叶和穿孔小珍珠等。花蕊处镶嵌珍珠、宝石等,并配有金丝编网,上串小珠垂饰。花瓣顶部立着一只金丝嵌珍珠的飞蛾,展现了闹蛾扑花的巧思。

蛾在古代有多子多福之意,金钗寄托着长辈对孩子的祝福。

“闹蛾金钗出土后状态欠佳,长期存放于库房。为了这次展览,中国国家博物馆团队对它进行了长达数月的修复。”中国国家博物馆展人赵玉亮介绍,通过技术手段分析发现,闹蛾金钗的

九岁“小孩”背后的隋代风华

□张盖伦

金花和金饰片均为金银合金。之前部分金花发黑,是因为金银合金中的银与空气中的氧气、硫化氢反应,生成硫化银等物质。

修复团队小心地去除金钗表面的土壤附着物、老化黏结剂与不稳定腐蚀产物,还原了文物本身的样貌。

北京大学考古文博学院教授齐东方表示,首饰能反映时代审美与个人气质,闹蛾金钗代表了当时手工艺的最高水平。

堪称隋代奢侈品的玻璃器物

在隋代,玻璃是最昂贵的材料之一,价值堪比宝石、黄金,属于奢侈品。



嵌珍珠宝石金项链

李静训墓足足出土了24件玻璃器物,包括杯、罐、扁瓶、小珠等。这些玻璃器物在特殊灯光照射下,晶莹剔透,流光溢彩。

其中的绿玻璃小瓶看起来并不起眼,却和另外一只绿玻璃盖罐被列入195件(组)永久禁止出境文物名单。

据齐东方介绍,国际学术界一般认为,中国本土主要产铅钨玻璃,西方传入的则是钠钙玻璃。李静训墓同时出土了这两种玻璃,说明当时通过丝绸之路,隋代工匠已经掌握了钠钙玻璃制造技术。

还有一款深绿色玻璃瓶,底部有明显凹痕,应该是采用顶底铁棒技术留下的痕迹。展厅内的介

绍写得很“诚实”——它的料子较粗,含较多气泡和杂质,比进口的钠钙玻璃质量要差。而且,底部铁棒痕迹深凹,说明技术还不成熟。这也恰恰印证,玻璃瓶为隋代工匠吸收西方技术、融合本土审美所制。

中国考古史上最美项链

一条精美的项链吸引了无数观众,被考古学界称为“中国考古史上最美项链”,出土时就戴在李静训颈部。

这条项链以黄金为主体,红、蓝宝石和珍珠镶嵌其间。

“项链由28颗金珠组成,每颗金珠都是由12个小金环焊接成的空心多面体,其上又各嵌10颗珍珠,珠光闪闪,璀璨夺目。这种设计源自古希腊迈锡尼文明。”赵玉亮说。小金环间的焊缝处点缀着微小的金粒,这种装饰被称为“金粟”,早在4000多年前的两河流域就已出现。

项链下端镶嵌着一块晶莹的鸡血石,四周镶嵌24颗珍珠。宝石下挂有一个心形吊坠,上面镶嵌一枚最大直径3.1厘米的蓝宝石。红、蓝宝石交相辉映,配上洁白的珍珠,显得雍容华贵。

从材质、工艺和装饰风格来看,这条项链都不是本土制品,产地可能位于今天的巴基斯坦、阿富汗一带,那里曾是历史上东西方文明交汇的“十字路口”。

展厅里还有多件代表当时最高工艺的青瓷与白瓷,描绘古希腊神话故事的波斯酒具、刻画着希腊酒神狄俄尼索斯的骆驼俑……这些文物都展现了隋代的繁荣与开放。

隋代虽然短暂,但仍是中国历史长河中的关键节点。它结束了南北朝的分裂与动荡,为盛唐奠定了坚实基础。李静训墓正是那个时代的生动注脚,而这场展览则是观察那个时代的一个窗口。

(文图据《科普时报》2026年5月8日第9版,有删节)

出郭幽寻一笑新,
径呼艇子载烟津。
不辞跋涉登重阁,
聊欲今生识伟人。
泉镜正涵螺髻绿,
浪花不犯宝珠尘。
始知神力无穷尽,
丈六黄金果小身。
——[宋]陆游《谒凌云大像》

岷江、青衣江、大渡河汇于嘉州凌云山麓,浪涛拍崖,千年不息。山为躯,水为魂,石为骨,一佛端坐其间。佛因山而灵,山因佛而名,这山便是凌云山,这佛,便是三江交汇处的乐山大佛,全称为“嘉州凌云寺大弥勒石像”,是世界上最大的石刻弥勒坐像。

乐山古称嘉州,扼蜀西南咽喉,自古人杰地灵。南宋文人邵博有言:“天下山水之冠在蜀,蜀之胜曰嘉州,州之胜曰凌云。”凌云九峰,虽高不过百余米,却俯三江浩渺,望峨眉秀色,古寺错落,禅意悠远。登临石阶,苔痕覆迹,古钟穿雾,如入画中。

大佛建造,始于唐开元元年(713年),成于唐贞元十九年(803年),历时整整90年,跨唐玄宗、唐肃宗、唐代宗、唐德宗四朝,三代匠人与官员接力方成。这一历程载于时任剑南节度使韦皋的《嘉州凌云寺大弥勒石像记》,此碑至今存于崖壁,为第一手信史。

佛像建造的发起者为凌云寺的海通法师。彼时三江汇流,水势汹涌,舟覆人亡之事岁岁有之。海通发愿:凿佛镇水,以石坠江,减缓水势,以求安澜。他四方募化,坚决拒绝官吏索贿,曾言“自目可剜,佛财难得”,以护法之志,启昭世工程。海通法师圆寂



乐山大佛远景

时,佛首已成,后由时任剑南节度使章仇兼琼续建,再经韦皋修建,朝廷赐盐麻税款以助,最终圆满建成。

大佛依红砂岩崖壁凿就,通高71米,头长14.7米、宽10米,螺髻1051个,皆为石块嵌砌;肩宽24米,耳长7米,耳内可并立两人;脚背宽8.5米,可坐百余人。这尊佛像并非笑口弥勒,而是庄严沉思的未来佛,承唐代弥勒信仰之风,寄百姓平安之愿。南宋文学家范成大编著的《吴船录》记载:“高三百六十尺,顶围十丈,目广二丈,为楼十三层,自头面以及其足,极天下佛像之大。”与今日测量数据高度吻合。

古人之智,藏于精微。大佛周身暗藏排水通风系统,隐而不彰。头部18层螺髻中,第4、9、18层设横沟排水沟,以锤头掩饰,外观无痕;衣领、衣纹、胸前皆隐水槽,连通右臂后侧;两耳背后有洞穴相通,胸部、背侧各有洞,通风隔湿,防止红砂岩风化渗水。

佛耳以木为骨,外覆锤头;鼻梁亦藏木构,远观浑然一体,近看匠心独运。唐代曾建大像阁,覆护大佛四百年,后毁于战乱,大佛始露于天地之间,历尽风雨而巍然屹立。

千年来,乐山大佛以壮阔之姿,引得无数文人墨客登临题咏,笔墨留香,让山水与禅意相融,成为巴蜀文脉的重要印记。唐代诗人司空曙登临凌云寺,挥笔写下“百丈全身开翠壁,万龛灯焰隔烟萝”,勾勒出大佛初成时,依山临江、巍峨壮观的盛景;唐代女诗人薛涛与韦皋交厚,亲见大佛威仪,赋诗云“横云点染芙蓉壁,似待诗人宝月来”,为庄严佛像增添一抹温婉诗意。

眉山“三苏”与这片山水渊源颇深,苏洵途经嘉州,见大佛祥光普照,写下“今来重到非旧观,金翠晃荡祥云开”;苏轼一生眷恋故乡山水,不慕权贵,直言“颇愿身为汉嘉守,载酒时作凌云游”,甘愿做嘉州太守,日日醉饮,凌云山下,与大佛、江流相伴;苏辙亦写

大家

转化为热能,省去了中间转化为电的环节,不仅效率大大提升,还能解决近年来备受困扰的“乘风”问题。

“徐老师对风能发展方向的预判,看的不是三五年,是未来的十年、二十年。”工程热物理所研究员李庆安如是说。

本色

从青年时期考上心仪的大学到中年时期受老师器重,再到当选院士,徐建中的人生似乎走在康庄大道上。他自己却将选择科研道路形容为“走上崎岖的小路”。

这条路何以崎岖?三十多岁时,徐建中获得去德国马普研究所做访问学者的机会,不料出发前与吴仲华不期而遇,吴仲华让他暂缓出国,留下来参加一个重要项目。没有任何犹豫,徐建中留了下来。他觉得,为国家干些实事比出国更重要。

四十多岁时,徐建中倾尽全力参与的斯贝发动机舰改项目无疾而终。

将近五十岁时,因为种种原因,最困难时课题组只有两三个人,但是徐建中斗志满满地告诉学生:“越是困难的时候,越要发好文章,发顶尖的文章。”后来他亲自主笔,接连在美国航空和宇航学会、美国机械工程师学会主办的顶级会议上发表3篇论文,带领课题组走出低谷。

六十多岁时,徐建中争取新原理发动机立项屡屡受挫。直到七十岁,他终偿所愿。

八十岁时,深知一款航空发动机的诞生通常需要几十年、几代人的努力,徐建中乐观又清醒地对赵庆军说:“做成这个发动机不一定是我的事,也不一定是你的事。”他不执着于工程进度,反而叮嘱年轻人加强理论创新,去冲击新的高峰。他告诫团队成员:“要始终把为国家做贡献放在第一位,向着自己的目标坚定地走下去,可能要花十年、二十年时间,但无所畏惧。”

这是徐建中六十余载科研登峰路的真实写照,年轻时经历的所有崎岖最终都转化为内心的坚定,那个一心要为祖国勇攀科学高峰的少年越攀越高,终于和先辈们在顶峰相见。

(文图据《中国科学报》2026年3月19日第4版,有删节)



乐山大佛：一座山的信仰，三江水的守护

□伍振

过“飞舟过山足,佛脚见江涛”之句。南宋诗人陆游曾任职嘉州,年近半百依旧不辞辛劳,疾步登阁拜谒大佛,在《谒凌云大像》中直呼其为“伟人”,致敬这尊凝聚匠心与信仰的石像。明清文人亦多有题咏,或赞山水绝胜,或叹世事沧桑,文脉如三江之水,绵延不绝。

舟行江上,仰观大佛,佛身与山体相融,气势恢宏。崖壁的水位线默默记录着水势变化,人们常说“佛脚一浸,城即遭涝”,唯愿江水安流,不上佛足。

夕阳垂江,金辉覆佛。江水拍岩,如诵千年经卷;佛目低垂,似观人间冷暖。自唐至今,大佛端坐,守三江安澜,护一方安宁。乐山大佛,不只是石刻奇观,更是信仰之碑、匠心之典、平安之愿,在蜀地山水间,静静续写属于东方的壮阔与温柔。