

仿生研究二十载 人间喜迎甲虫板

——记土木工程学院跨学科学者陈锦祥教授

经济管理学院 2015 级本科生 张蒙

“东阳本是佳山水,何况曾经沈隐侯。化得邦人解吟咏,如今县令亦风流。”东阳的青山绿水,曾令唐代诗人刘禹锡发出如此赞叹。东阳今有歌山水,历史上更是人文荟萃,俊彦辈出。土木工程学院跨学科学者陈锦祥教授正是来自这个“博士之乡”。二十年前,他在留日之际从天然纤维的探索转向甲虫前翅的仿生研究;其后也曾转战于高温材料和软件开发领域。如今他又耕耘于土木工程,且在各领域中均硕果累累。目前他形成了以开发生态材料为中心,前沿学科相互交叉的研究特色;并专注于学生科研素质和科研能力的培养,成果显著。正可谓:博士之乡英才出,远渡重洋学科跨;情有独钟甲虫板,严师慈父育桃李;捷报频传桃李来,人间喜迎甲虫板。

博士之乡出英才

1963年,陈锦祥出生于浙江东阳的一个木匠家庭。父亲常年在外,童年主要和母亲相伴。母亲勤奋劳碌、为人和善、心胸豁达。他从母亲那里学到了很多简单、朴素的生活哲理,诸如“生活生活(方言为‘事情’),要做的‘活’总是会‘生’出来的;做人做人,人总是要做事的。”换言之,“‘活’永远做不完,人活着就是要不停地做事情”。幼年的陈锦祥已经将这一朴素的生活哲理铭刻心中,并实践于人生的征程中:从学生时代到大学教师,他总是不停地学习、工作,而从来不觉得辛苦。同时,爷爷经常在茶余饭后给他讲一些薛仁贵征东和征西一类的历史故事。薛仁贵为国奉献、正义勇敢的形象,成了他幼年懂事、正直善良的精神支柱。

如果说母亲和爷爷给了陈锦祥物质和精神的食粮,那么东阳乡村那“平日水田鱼成群,雨后小溪鱼欢畅”的自然生态环境和淳朴勤劳的乡风培养了他自然朴实、热爱劳动、坚韧不拔的性格——即“东阳人追求极致的工匠精神”一直陪伴着他走上事业的成功之路。读小学时,在乡下无多少图书可读,求知若渴的陈锦祥只好反复阅读教科书,结果把书本看得滚瓜烂熟,无意间掌握了循环反复学习法。学习有方、成绩优异的他自然觉得轻松愉快,把读书当作一种享受!上了高中以后,陈锦祥每次离家都要带一大杯(铁制茶杯)猪肉炒的梅干菜——尽管有时猪肉少得可怜,但那就是他一周中每餐能享用的菜肴。当年贫穷的东阳学子也多以梅干菜果腹,刻苦读书。恢复高考后,东阳的高考成绩名列全国前茅,《人民日报》在



陈锦祥教授和母亲合影

1989年也报道了东阳“百名博士汇一市、千位教授同故乡”的盛会。梅干菜因此获得了全国闻名的“博士菜”美誉。

1979年,陈锦祥就读浙江丝绸工学院(现浙理大)丝绸系制丝专业。这是一个传统的行业,但他干一行爱一行。在学业上,踏踏实实,精益求精;在生活中,饱览诗书,坚持跑步。他从大四开始,先后打破1500米、5000米和1万米的学校纪录,当年长跑冲向终点的照片也在母校110周年时展出。1986年硕士毕业后,陈锦祥留校任教,先后担任了约10门课的教学任务;在教学和科研上均获得了多个奖项。今年陈锦祥受邀回母校参加120周年校庆,他当年编写的两本教材,也陈列于展览馆中。对于任何事情,一旦决定去做,陈锦祥就会持之以恒并不断优化,直到把事情做好。他说这就是人后天的“生物进化”。

情有独钟甲虫板

回国以后,陈锦祥发明了无墨生态热烤打印技术和玄武岩纤维增强木塑的新型环保绿色材料,不过,他一直对甲虫前翅的仿生研究,特别是2016年提出的“甲虫板”情有独钟。

其实,甲虫板的结构(图2a)陈锦祥早在2003年提交的发明专利和2005年发表在《复合材料学报》的论文中就已提及,并于2010年首次提出了“仿生一体化蜂窝板”的概念,接着发明了相应的制备技术,试制了短纤维增强树脂的实物样品,并实证了其具有更好的抗压、弯、剪等力学性能。同时,陈锦祥还发现了蜂窝板的生物原型应该是甲虫前翅,而不是人们常识中的“蜂窝”这一事实。据此陈锦祥也曾多次想将“一体化蜂窝板”更名为“甲虫板”,但每次都因不知其具体的强化机制、效果有多少而忍痛割爱。直到2016年他才从力学角度揭开了甲虫前翅中的小柱为什么芯层是蛋白质而外层是强化纤维,且小柱位于蜂窝壁交汇处的奥秘,同时提出了小柱-蜂窝结构中的小柱共享机理。

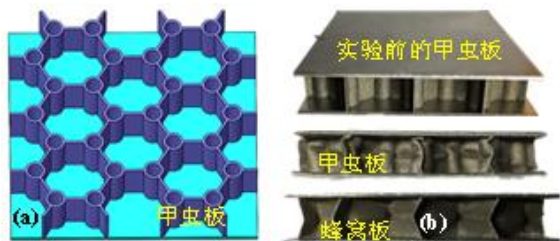


图2 甲虫板。(a)三维内部结构模型,(b)实物及其压缩变形情况。

随后通过3D打印试制了样品(图2b上),并探明了甲虫板芯层小柱-蜂窝结构的相互作用机制。压缩实验结果表明,在芯层壁厚相同的条件下,甲虫板芯层发生“S”型变形(图2b中),而蜂窝板为“C”形(图2b下),甲虫板的抗压强度和耗能能力分别约是蜂窝板的2和4倍。到了这一步,学术严谨的陈锦祥才胸有成竹地将其正式命名为“甲虫板”。相应的学术论文历时两年多,共修改150多个版本,目前正在审稿中。值得庆幸的是,上述研究也终于为2003年他在专利中提出的甲虫前翅仿生结构——即空心薄壁柱-蜂窝结构夹层板的强化机制提供了理论依据,从而揭示了生物经过千万年的进化,蕴藏在甲虫前翅三维结构的若干奥秘,为其产业化奠定了坚实的基础。

就这样,围绕甲虫前翅仿生应用的研究方向,陈锦祥自2010年起至今已经完成近20项发明专利,以一作或通讯作者发表SCI论文40余篇,外文专著(合编)两部,并承担了多个国家级研究项目,在甲虫前翅三维结构及其仿生应用领域处于世界领先地位。目前除了深入开展甲虫板等效参数的理论研究之外,正在开展不同材质甲虫板的制备工艺与力学性能关系等和产业化密切相关的应用基础研究。陈锦祥深信力学性能卓越的甲虫板很快便会在建筑结构、交通运输及航空航天等领域得到广泛的应用。他风趣地说:“有朝一日,甲虫板与甲虫前翅,或将和飞机与蜻蜓、雷达与蝙蝠一样闻名于世”。

远渡重洋跨学科

人生如逆水行舟,不进则退。随着时代的发展,陈锦祥并不满足于自身已有的知识与能力。1997年,凭借优异的学术科研成果,他获得日本政府奖学金,并前往京都工艺纤维大学攻读博士学位。其时国内的科研条件还很差——扫描电子显微镜和万能电子强力仪,就算顶级的先进装备了。而留学时陈锦祥所在的研究室就有两台电镜,其中一台还是当时最新的环境扫描电镜。在这优越的科研环境中,陈锦祥如虎添翼,感到全身有使不完的劲,从此踏上了甲虫前翅仿生研究的征程。

甲虫前翅的仿生研究,这是陈锦祥当时所属研究室尚未开拓的全新领域。因此,如何发现值得探索的生物结构就成了研究的难点。面对困境,他凭借着“只要功夫深,铁棒磨成针”的研究理念,利用电镜拍摄并冲印了数以千计的甲虫前翅结构的微细照片。通过分析甲虫独角仙(图1a)前翅内部的结构(图1b),首次给出了小柱及其以小柱-蜂窝芯结构为特征的甲虫前翅三维模型(图1c,d);再通过甲虫前

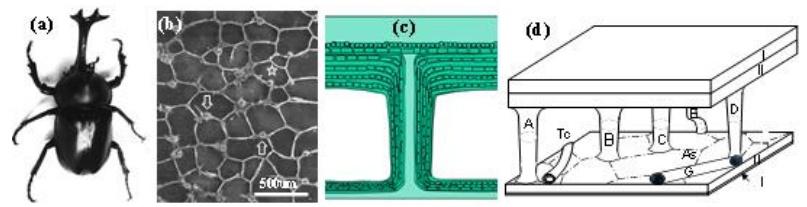


图1 雄性独角仙、前翅内部结构(a, b)及其小柱与前翅三维模型(c, d)。图d中的点画线代表蜂窝壁的位置。

翅生物材料的力学实验探明了其优秀的力学性能,比如:甲虫前翅边框结构具有轻质高强的特点,又如:小柱的存在可以把层间的平均剥离强度提高到3倍。2002年该研究方向获得了国家自然科学基金的资助。尽管当时陈锦祥在国外工作,但还是利用业余时间,出色完成了基金课题。截至2007年,共发表这一领域的学术论文近30篇,获得授权发明专利1项。这为他日后在这一研究领域的学术地位奠定了坚实的基础。

2001年,陈锦祥就职于日本宇宙航空研究开发机构(JAXA),从事新型节能减排镍基单晶高温材料的强度解析工作。通过三维建模、有限元解析和自行研发的强度评价系统,探明了其应用于引擎的涡轮时的关键技术。2006年,他转职于东京大学,在“创新型电子仿真软件开发”大型课题组,从事结构及流体解析软件的智能界面开发工作。他开发的Decenter、Front GUI两个界面得到了高度评价。2008年,陈锦祥回到了阔别了十余年的祖国,在我校土木工程学院开启了第二轮的甲虫前翅仿生研究工作。

严师慈父育桃李

在科研上,陈锦祥治学严谨,精益求精,并将这种作风传递给他的学生们。每次收到学生提交上来的SCI论文初稿,他都会大刀阔斧地及时修改,即使是节假日也“笔耕不辍”。他的学生张晓明回忆说,每次陈教授返回的修改版本都是“万里枫林一片红”。每篇论文大约需要30个修改版本才能定稿。在生活上,陈锦祥对学生关怀备至,亦师亦友,更像一位慈父。“身心健康、安全第一”是他反复强调、并贯穿于言行中的最高行动准则。当他得知学生们有困难时,总会及时给予帮助。

陈锦祥还是一位敬业的本科生班主任。班会上,他对学生谆谆教诲,与学生分享自己的科研经历,告诫学生凡事安全至上。他所带的刚毕业不久的2017届土木(2)班,全班德智体全面发展,班中的学生们曾任校学生会主席、院学生会主席、院科协主席等职,全校15名校优秀毕业生中该班占2名。任逸哲同学获得第四届全国高校土木工程专业大学生论坛一等奖和2016年优秀创新实践成果奖特等奖,并荣获2017年我校“最具影响力毕业生”(排名第一)称号,跨专业保研至北京大学汇丰商学院。

陈锦祥为学严谨求实,为人古道热肠,为师言传身教,为父大爱无言。他言行朴实,信念坚定,时刻践行着东大人“止于至善”的精神,令人肃然起敬!数十年来,纵然斑白爬上了两鬓,但多次跨学科的经历所带来的创新力仍生机盎然,正孕育着求知若渴的栋梁之才!“厚德致远,博学敦行”,这正是他高尚的为人品格和勤恳的学术精神的最好诠释!



陈锦祥教授和同学们进行学术研讨

不计辛勤一砚寒,种花容易树人难。在陈锦祥的精心培育下,如今,春风化雨,桃李芬芳,捷报频传。近三年中,硕士生何成林获江苏省优秀硕士学位论文奖;张晓明完成SCI论文一作5篇、二作2篇,提交发明专利11项,获江苏省“宝馨杯”第十四届大学生实验科技作品创新竞赛一等奖;博士生拓万永完成一作或通讯作者SCI论文8篇。近两年每年获国家研究生奖学金的人数占课题组当年可申请总人数的50%。本科生俞涛发表SCI论文2篇,获得2017年优秀创新实践成果奖特等奖;关苏军就任东京理科大学助教……