

靠二手设备，这对科研伉俪曾不断刷新世界纪录

■本报见习记者 孟凌霄

“从来没想过，搞工程的还能获得这样一份大奖。”

近日，年近七十的华人光伏科学家赵建华、王艾华夫妇，荣获被誉为“工程界诺贝尔奖”的伊丽莎白女王工程奖。这是该奖项设立 10 年来，华人科学家首度获此殊荣。

这对科研伉俪因共同发明 PERC(钝化发射极和背面点接触)太阳能电池技术，与澳大利亚新南威尔士大学教授 Martin Green、澳大利亚国立大学荣誉教授 Andrew Blakers 共同获得该奖项，分享 50 万英镑奖金(415 万元人民币)。

刚得知获奖消息时，赵建华有点不敢相信：“国际上所有的知名奖项，几乎都奖励给理论上有建树的科学家，奖励给工程人员的还真是一独一份！”

40 多年前，这对夫妇“偶然”步入光伏工程领域，便一次又一次打破晶硅太阳能电池转换效率的世界纪录。但在获得新南威尔士大学的稳定教职后，他们却辞职回国创业。这一路走来，他们见证了保持近 30 年的太阳能电池效率世界纪录的诞生、美国纳斯达克敲钟上市的高光时刻，也经历过至暗低谷……成败得失，难于一言以蔽之。

赵建华、王艾华夫妇在接受《中国科学报》采访时，如此总结 40 余年的光伏之路：“都是偶然凑到一起。不过，人生机遇多是一步一步走出来的。”

花一个月工资，买一台打字机

故事要从一台“蛮贵的”打字机说起。



①上世纪 90 年代，赵建华与王艾华在澳大利亚新南威尔士大学光伏实验室。
②赵建华和王艾华在中电光伏公司。
③赵建华(右二)与 Martin Green 实验室成员合影。
受访者供图

1984 年，29 岁的赵建华在山东工业大学(后并入山东大学)当讲师，凭借“费劲”的英语水平，“偶然”考中了山东省公费出国留学名额——不限国家、不限方向，“自己联系，爱上哪儿就上哪儿去”。

于是，赵建华花了几十块钱，也是整整一个月的工资购买了一台机械打字机，打出一封申请信并复印 20 份，再填写上实验室、导师的名字，最后用英文花体签上姓名，寄给世界各地的实验室。

其中，10 封申请信寄给了微电子方向的实验室，这是赵建华在南京工学院(后改名为东南大学)的学士专业领域；另外 10 封寄给了新兴的太阳能电池方向的实验室，这是赵建华在南京工学院攻读硕士时的研究方向。



④

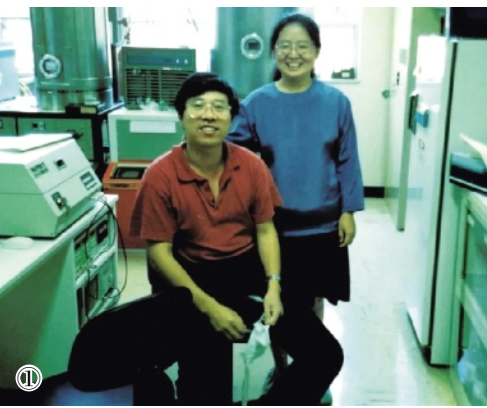
出乎意料的是，最早向他抛来橄榄枝的，不是“讲究快节奏”的美国人，而是他在读硕士时期追寻的著名的澳大利亚新南威尔士大学教授 Martin Green。

很快，在大洋彼岸的澳洲，Martin Green 迎来了第一位来自中国的博士生。仅用 3 个月，这个小伙子就刷新了太阳能电池效率世界纪录。Martin Green 向《中国科学报》形容，赵建华“几乎立即就成为了实验室的宝贵成员”。

1985 年底，赵建华向 Martin Green 力荐妻子、南京工学院的同班同学王艾华。Martin Green 回忆，当时赵建华向他保证，王艾华在微电子研究方面比自己更出色。Martin “赌了一把”，也“赌对了”。由此，王艾华成为 Martin Green 实验室第二位中国博士生。

放眼当时的澳洲，只有约 110 位中国留学生，在悉尼有 70 位，其中 30 多位于新南威尔士大学。继赵建华和王艾华之后，Martin Green 出于对中国科学家的好印象，陆续接收了施正荣、戴熙明等中国学生和同事。这些“门徒”日后将以“新南威尔士大学帮”的集体形象，撑起中国光伏产业的半壁江山。

多年后，业内流传着对 Martin



Green 青睐中国“门徒”的猜测：会拿筷子的中国人，想必手巧、细致。

用二手旧设备刷新世界纪录

时间倒退 30 年，当时做太阳能电池的圈子太小了。

“那时候，我到哪儿去开会，碰到的都是同一帮人。工业界就那么几家小公司，也生产不了几个电池。”赵建华回忆说。

在当时的小圈子里，德国弗劳恩霍夫太阳能系统研究所、美国斯坦福大学微电子实验室都以“财大气粗”、设备高精尖著称。美国佐治亚理工学院、比利时微电子研究中心、德国康斯坦茨大学光伏实验室等都具有集成电路水平的实验设备。然而，一次又一次打破晶硅太阳能电池效率世界纪录，并将这一纪录保持了近 30 年的实验室，却是“条件相当差”的新南威尔士大学高级硅光伏和光子学研究中心。

当欧美同行上门拜访时，总诧异于在这里的所“闻”所见，赵建华和王艾华的实验室外，是学生露天聚餐的好去处，“外面烧烤什么味儿，实验室里就有什么味儿”，这个实验室的空气净化系统“不太净化”。实验室内多是二手、三手设备，其中不乏美国人 20 世纪 50 年代淘汰的老旧设备。

太阳能电池使用与微电子技术类似的技术，所需的设备造价高昂、更新换代快，当时新南威尔士大学光伏实验室的经费微薄，无法负担。因此，当高精尖半导体企业设备升级、老旧设备需要处理时，新南威尔士大学光伏实验室才开始“进货”——以 5%、10% 的价格买下这些被淘汰的设备。

二手设备买回去，还得自己改造控制电路、组装炉管、重新调试测试指标，才能制造电池。

有一次，实验室的光刻机坏了，技术人员找到原厂维修。原厂负责外联工作的人问清光刻机的型号后惊呼：“我在公司工作了 35 年，从没听说过这个型号！你们怎么还有这个型号的机器？”

凭借这些设备，赵建华在 1988 年制造了第一个高效 PERC 电池，实现了创纪录的 21.8% 的电池效率。上世纪 90 年代，赵建华和王艾华将这一数值逐步提升到 25%。

如今，PERC 技术是太阳能电池板最具商业可行性的硅太阳能电池技术，已使太阳能的发电成本在过去 10 年下降了 80% 以上，在全球太阳能电池市场中占比超过 90%。

这项技术一旦成为专利，Martin Green 团队也许再也不用为科研经费发愁。不过，实验室从一开始就没打算为 PERC 技术申请专利。

对此，Martin Green 告诉《中国科学报》，在 PERC 首个成果发表前，团队本有机会在 1983 年到 1988 年间申请专利，但他们正确预见了 PERC 的未来——这项技术需要很多年才能商业化，而在那之前，任何专利都会过期。

唯一的窍门：照着极限，优化全部

“你们是怎么做到的？”

在不断打破世界纪录的那些年，几乎所有同行都问过这个问题；在新南威尔士大学成为光伏从业者的“朝圣地”后，几乎所有实验室来访者都问过这个问题；获得伊丽莎白女王工程奖时，几乎所有记者也问过这个问题。

半官方的回答是，1983 年，Martin Green 提出了能将电池效率提高到 25% 以上的 PERC 技术。该技术在电池背面制造电介质钝化层，使得光电转换效率得以提高。

更为外人接受的答案，是“自由的氛围”。在赵建华、王艾华读博阶段，导师 Martin Green 只给出一个课题，剩下的设计实验、安排工作到实现目标，全都“自己自由发挥”。Martin Green 从不介意赵建华与王艾华“夫妻档”工作，也不介意他们在实验室用中文交流。

在记者不断追问下，赵建华和王艾华又给出一个“略微详细一点的结论”——“照着极限，优化全部”，即不断改善实验室环境与设备，工艺操作精益求精，优化每一个可能的角落，仔细测量分析电池结果，并在理论支持下不断改进电池的设计，从而不断打破以前的效率纪录。

1999 年，太阳能电池效率已逼近 25%，接近 Martin Green 预测的实践极限。没有人知道下一步实验该怎么设计、怎么能让结果比上一次更好一点，唯一能做的就是不断尝试 0.1% 的突破。

在近 30 年间，除了 1988 年，斯坦福大学以 0.1% 的优势暂时领先 6 个星期外，新南威尔士大学光伏实验室所打破的世界纪录几乎都是自己创下的。

一个时代结束，一个时代开始

千禧年后，赵建华和王艾华萌生了回国创业的念头。

彼时，赵建华已经是新南威尔士大学高级硅光伏和光子学研究中心副主任、副教授，王艾华则在该中心担任研究员。

2004 年赵建华夫妇决定回国，与杨怀进等人共同创办中电电气(南京)光伏有限公司(以下简称中电光伏)。2006 年，中电光伏逐渐步入正轨，赵建华和王艾华向 Martin Green 提出离职，全职回国创业，在中电光伏担任首席技术官和副总裁。

“一个时代结束了！(End of an era)”这是赵建华、王艾华的告别宴上，实验室的一位澳洲同事发出的感叹。此言不虚，此后，新南威尔士大学的高效太阳能电池项目基本停滞。以当时有限的实验设备，很难再突破太阳能电池 25% 的效率极限。

另一个时代的大幕正在中国缓缓开启。

1999 年，杨怀进归国创业。2001 年，赵建华的师弟施正荣回国，与杨怀进等人共同创立了无锡尚德公司。2004 年，赵建华夫妇回国，与杨怀进等一起创立了中电光伏公司。

仅仅 3 年时间，中电光伏就成功在美国纳斯达克上市。也是在这一年，中国光伏电池产量首次超过德国和日本，位居世界第一。

最早在美国上市的 10 家中国光伏公司中，有 8 家公司的技术带头人是 Martin Green 的学生。光伏圈子中的“杨中三杰”——赵建华、施正荣、杨怀进，前两位均是 Martin Green 的“门徒”。至此，“新南威尔士帮”可以说撑起了中国光伏业的半壁江山。

十年一觉光伏梦

时隔多年，你很难从赵建华和王艾华夫妇的生活中，窥见昔日的影子。

随着 2008 年经济危机、2011 年美国对中国出口的光伏产品实行“双反”等，光伏企业遭到不同程度的打击。

十年一觉光伏梦，“杨中三杰”今何在？

公开资料显示，曾经的尚德电力公司，巅峰时刻使施正荣身家高达 186 亿元，成为中国大陆首富，已于 2013 年破产重整。海润光伏原董事长、澳大利亚籍华人杨怀进，因犯内幕交易罪，被南京中院一审判处有期徒刑 2 年 10 个月，并处罚金 100 万元人民币。杨怀进没有上诉。

赵建华、王艾华夫妇说，他们已经退休了。

国内一些企业想找他们做顾问。王艾华说：“想想人家都是新技术了，我们也没什么可贡献的，就不去掺和了。”赵建华说：“我们有那么多学生，都做得挺好，让他们去做吧。”

他们很少旅游，只有在今年 2 月初收到获得伊丽莎白女王工程奖的消息时，坐了 22 个小时飞机，从悉尼前往伦敦。

今年 5 月或 6 月，赵建华、王艾华夫妇还会再次前往伦敦，英国国王查尔斯三世将为他们颁发伊丽莎白女王工程奖。10 月，是伊丽莎白女王工程奖建立的 10 周年庆典，所有获奖人将齐聚伦敦参加庆祝活动。

在 2 月伊丽莎白女王工程奖发布会前，他们按照颁奖方的要求，对获奖的消息严格保密。他们如普通游客一般，在白金汉宫、大英博物馆、大本钟等地驻足。

发布会后，飞回悉尼前的那个上午，赵建华和王艾华为消磨时间，再次去了获奖人发布会召开地皇家工程院拍照留念，然后去了著名的伦敦塔。这座标志性的官殿历尽沧桑，是曾经的堡垒、军械库、国库和避难所，如今作为博物馆，展出昔日镶嵌着巨大钻石的王冠与权杖。

徐宗本：从大山里走出的数学家

■本报见习记者 严涛 ■张行勇

近日，中国数学会 2022 年学术年会在武汉开幕，中国科学院院士、西安交通大学教授徐宗本在会上获颁第十六届华罗庚数学奖。

徐宗本，这个从陕西柞水秦岭大山中走出来的“欧柴娃”，时隔多年后又一次站在了“山顶”，摘到了“那颗最香甜的果子”。

徐宗本长期从事数学与信息科技的交叉融合研究，是中国应用数学特别是数据科学发展的推动者和领导者之一，在应用数学、稀疏信息处理、机器学习、大数据与人工智能数学基础等领域取得系统性、原创性的成果，并将其广泛应用于雷达成像、CT 成像、5G 通信等 20 多个领域，得到国内外同行学者的高度评价。

不久前，徐宗本捐出其获得的华罗庚数学奖 20 万元奖金，在柞水中学设立励志奖学金，用于激励家乡学子用知识改变命运、用实绩报效国家。

“大山外面是什么样子，我想出去看看”

1955 年，徐宗本出生于秦岭深处柞水县凤凰镇，是家里的第 5 个孩子。父亲是名老中医，母亲是位大家闺秀，非常注重子女的教育。徐宗本从小就很自立，5 岁时开始给长期卧病在床的母亲做饭，后来进入村办小学读书，每天上学要赶 3 公里山路，而早餐常常就是泡在水里的柿饼。

童年的艰辛，磨炼了徐宗本吃苦耐劳的非凡毅力，学习对他来说是一件最轻松愉快的事。“当时对于学习的理解就是‘学好数理化，走遍天下都不怕’。我每次坐在山顶上都会想，这连绵无际的大山外面是什么样子，我想出去看看。”正是这种跟吃饱肚子一样的渴望，激发了徐宗本靠学习走出大山的信念。

虽然小时候在大山里日子很苦，但徐宗本却对大山怀有深厚的感情。“18 岁之前，我记忆中只有饥饿，为了填饱肚子，就得不断向上追求，这是大山对我最初的塑造。然后是毅力，我明白

天下没有免费的午餐，必须通过自己的奋斗才能获得。最后就是必须设身处地为他人着想，大山里的人必须互相帮助。”

令人意想不到的，作为一名数学家，徐宗本在《人民日报》上还发表了 5 篇理论性文章，这归功于他小时候练就的好文笔。

颁奖礼上的三句话

在第十六届华罗庚数学奖颁奖典礼上，徐宗本发表获奖感言时讲了三句话，引得现场数学同行击节叫好。

“余则成回家了，感觉真好。”是第一句话。为什么是“余则成”？徐宗本坦言，在西安交通大学读博士时，最初是做纯粹数学基础研究的，如泛函分析、Banach 几何学，那时根本不考虑应用，就是一个劲儿写文章，然后逐渐开始研究应用数学、人工智能、神经网络。“大概上世纪 90 年代，所谓人工智能第二次浪潮来临时，我正其中。”徐宗本回忆说。后来，徐宗本觉得只做公共方法论还不行，要把数学作为生产力和技术的一部分，直接嵌入到解决国家重大问题上。这就是他开创的一个新领域——数学技术。

大家通常认为，数学属于工具学，具有工具属性，但徐宗本认为数学还有技术属性。现在随着信息化和数字化速度的加快，所有技术都是以数据形式呈现，人工智能和数字经济的本质及基础资料也是数据。要想读懂其中的规律，数学就要发挥核心作用，也就是技术属性。

徐宗本说，很多人觉得他是在做应用数学，但真正的应用数学不是这样。徐宗本团队做的是从原始创新到技术创新再到产业落地的一体化工作。“如果你要问我为什么能获奖，可能就是我们所走的这条道路得到了数学界的认可，数学不仅仅只是个工具。就像《潜伏》里的余则成，终于被‘本家’认可了，这是一种喜悦的心情。”徐宗本告诉《中国科学报》。

“做数学的，无论是纯理论的研究，还是一种



①

②

③

方法论的研究，还是应用落地的研究，这几个方面，要做好哪个都不容易。”这是徐宗本在发表获奖感言时讲的第二句话，也是他的第二个感悟。徐宗本想告诉大家，数学是一个整体，没有高低之分。不仅数学，整个科学界都有一条“鄙视链”，其实大可不必。

“与其说是把这个奖项给我，还不如说这是中国数学界对于数学技术服务于国家的期盼。”徐宗本的第三句话，也是他的最大心愿——数学要服务于国家，服务于国家的重大工程和重大需求。

数学技术要与国民经济建设相结合

徐宗本这次获奖，主要源于他在应用数学稀疏信息处理、机器学习、大数据与人工智能数学基础这三大领域取得的成果，在具体应用上相对应的分别是为全球首部稀疏雷达样机提供成像原理和核心技术、提出了一系列广泛应用的人工智能算法，以及在医疗健康领域研发成功“扫描与成像分离”CT 系统。

“我们采用新原理造出来的 CT 辐射很小，只有过去的五分之一到十分之一。”徐宗本告诉《中国科学报》。这项研究给医疗健康界带来了一场“革命”，意义非凡。徐宗本的愿景是通过解决 CT 的剂量问题，真正实现筛查功能，扫描与成像分离后 CT 终端机可以到农村、社区、病房，甚

至还能上天入地，实现自由部署。

“我是从农村走出来的，我经常想，科研成果如何能让广大农民受益。所以我特别关注国家推动的医疗改革，哪些是我们医疗行业特别需要解决的问题，急国家之所急，尤其是如何建立适合中国的医疗体系，让老百姓受惠。”徐宗本说。

近几年，他们团队很大一部分工作是围绕医疗板块展开，推动医疗设备的国产化替代。“现在的 CT 做一次就成百上千元，很多人舍不得做。我希望我们的成果帮助缓解老百姓看病难、看病贵的问题。”徐宗本告诉《中国科学报》。下一步，他将瞄准另外两大设备——核磁和超声进行攻关，继续推进他“面向人民生命健康”的医疗蓝图。

“我们这代人的特点是家国情怀很重”

徐宗本在数学上作出卓越贡献，仅仅源于对数学的非凡热爱吗？“我做数学并不是因为热爱，而是大山里的孩子没有其他选择，只有学好数理化这一条路，只有‘干一行爱一行’和‘三百六十行，行行出状元’这些从长辈们那里获取的只言片语和朴素的观念。”徐宗本说。

在力所能及的范围内，把能做的事情做到最优秀，这是他能最开始的目标。完成一个又一个经过努力才能达到的目标，比树立所谓的远大理想重要得多。徐宗本是这样要求自己的，也是这

①徐宗本参加 2010 年在印度举办的世界数学家大会。
②徐宗本(左五)和团队合影。
③徐宗本(前排左一)在柞水中学励志奖学金捐赠仪式上。
受访者供图

样要求团队的。

“我的团队特别能坐得住‘冷板凳’，并且要做真问题、真研究。”徐宗本告诉《中国科学报》。他的团队成员目标都很一致，就是潜心做科研，摒弃不良风气，保持科研团队的纯洁和正气，“唯帽子”看资历在徐宗本的团队里是不存在的。“我最害怕的人有了‘帽子’就觉得‘一俊遮百丑’，‘帽子’的作用是让你为国家服务、为学校争光的，不是让你躺平的。”徐宗本说。

徐宗本经常告诉团队成员，名誉不是拿来消费的，它只是一个助推剂，督促你更好地做实事。“作为院士，更要身先士卒带动一批人，切实解决科技自立自强和高质量发展的基本问题。要作出贡献，而不能光停留在嘴上。我们这代人最大的特点是家国情怀很重，国家和人民养育了我们，如果我们不拿出切实的行动，如何对得起国家的期待？”徐宗本说。