

用「真问题」锻造「真材实料」的工科生

本报记者 冯丽妮



矿大研究生在企业开展科研试验。

矿大供图

面对当下我国能源产业转型升级背景下工科人才培养与产业人才需求不同步、产教融合供需两侧不同频等现状，中国矿业大学通过一场深层次的教改试验，希望与企业合作“铸造”一座培养工科精英的产研“熔炉”。这座“熔炉”如何构建，其效果又如何？

南湖校区是矿大研究生院所在地，也是该校产教融合改革风暴的前阵地。

矿大起步于1909年的焦作路矿学堂，几经辗转，1978年迁至徐州后驶入高速发展的快车道。一路走来，这座至今已有一百一十一年历史的“国字头”高校“依矿而建、以矿为名、因矿而强”，成为一所行业特色型高校。

然而新时期，矿大也面临一些新的考验。在国家能源战略变革的大背景下，行业高校如何培养新时代的高层次人才？

这个问题至关重要。它关乎南湖校区这艘“航母”的航向，以及生活在其中的超过1.4万名各类硕博研究生的前途。

对这一形势进行综合分析后，矿大找到了三大亟待破解的关键问题。“包括行业高校研究生个人成长与服务强国建设不同向、人才培养与产业人才需求不同步、产教融合‘校热企冷’导致人才供需两侧不同频。”段晨龙直言，“这些问题说明，我们培养出来的研究生与国家急需、产业急需之间仍有距离，校企合作之间仍存在门槛。”

如何解决？矿大将“产教深度融合”作为重要抓手，开展了深层次的研究人才培养改革实践。2021年，该校与长三角国家技术创新中心（江苏省产业技术研究院）联合成立“集萃学院”，着力开展研究生校企协同培养，以“产业真需求、企业真难题”为人才培养课题，提升研究生科研创新与实践应用能力。

“长三角国家技术创新中心下设400多个企业联合创新中心、研发载体，这些企业大多是领域内的‘龙头’，它们提出的往往是产业难题或前沿问题。我们的老师和学生对接并解决这些问题，有助于实现服务国家需求和学生个人成长同频共振，培养出富有产业意识、善于解决复杂工程问题的复合型人才。”同时担任集萃学院执行院长的段晨龙说。

为了更好地打通产教融合的培养通道，矿大还推出了许多“配套措施”。例如，以“矿业”和“安全”两个国家“双一流”建设学科为核心，打造学科集群，以支撑解决企业提出的跨学科问题。

值得注意的是，矿大还组建了由学术导师和企业导师共同参与的导师团队。“学术导师专注于提升学生的学术素养和科研能力；企业导师则提供宝贵的实践指导和职业规划建议。”“双导师制”有助于在人才培养过程中实现理论与实践方面的互补。“矿大材料与物理学院副院长鞠治成说。

融合，用“真问题”百炼成钢

“企业出题、学校答卷”，矿业科学中心博士生潘淼就是这种培养模式的受益者之一。

潘淼2018年加入中国工程院院院士赵跃民团队，在赵跃民、段晨龙指导下，成为矿大与江苏亿亿和高分设备有限公司（以下简称亿亿和）联合培养的一名研究生。时至今日，他依然记得跟随导师团队到山西、内蒙古五六个煤炭筛分项目现场出差时的情形——

“七八月份，到了车间衣服就湿透了，导师还带我们一起爬几十米高的原煤仓和厂房，寻找选煤厂技术问题；冬天，内蒙古气温降到零下二十摄氏度，干完活天晚了没有车，就在大雪天里往宿舍走。”他说，“你可能感觉这是个苦差事，但实际上并不是，因为太多的学习机会。”

潘淼告诉《中国科学报》，攻读硕士期间，他参与难筛分矿物高效筛分关键技术及应用研究，破解了长期制约矿物大规模筛分的技术难题，作为完成人之一获得2020年教育部科技进步一等奖。攻读博士期间，他参与开发的筛分脱水技术，解决了金矿尾矿综合利用难题，作为完成人之一获得了2021年中国黄金协会科学技术奖一等奖。

历经6年的校企“熔炉锻造”后，如今的潘淼已经“百炼成钢”，曾经吃过的苦也变成了“甜”。今年夏天，博士毕业的他被聘任为矿大准聘副教授，主持山东黄金集团等课题3项，持续攻关尾矿资源化技术。

目前，赵跃民团队已与亿亿和共建江苏省研究生工作站、徐州矿用筛分设备工程技术研究中心，联合指导了包括黄龙、于世杰在内的18名研究生。

王维楠比潘淼早一年毕业。在他的印象

里，融合团队的科研气氛活跃，为了某家企业的技术难题，大家经常各抒己见，经过激烈讨论，最终形成技术解决方案。每一次“高压”讨论后，团队成员都能有所收获。“压力就是动力。在这样的环境中，你会成长得很快。”如今，他主持开展的细粒筛分技术产学研合作攻关项目已经落地，逐渐进入“一带一路”沿线国家。

“导学关系其实是终身关系，导师、学生相互成就，导师既是学业导师，也是人生导师。”段晨龙说。“作为一名导师，要想一想能给自己的学生提供什么样的条件？对一个学生好，除了学业与科研指导，还要让他在科研工作中站得住脚，助力他事业的发展，这才是从根上帮助他。”

在集萃学院模式下，矿大推出“一企一方案、一生一计划”。“这不仅能真刀真枪解决企业生产实际问题，还能让学生接触更多现场，从而对理论结合实践建立更好的概念。”亿亿和董事长、矿大联合培养导师石巍对《中国科学报》说。

10年的合作让亿亿和成为筛分领域的“一匹黑马”，从一家在研发方面存在短板的民营企业，发展成为国家级高新技术企业。“我们的身后有矿大这个‘智库’，在筛分系统工业化应用方面取得了突破性的进展，攻克了细粒筛分的系列难题，成果广泛应用于矿山、冶金、建材等行业。”石巍说。

聚力，打造“三方共赢”新通道

“我的企业导师也是我现在的老板。”在“独角兽”企业江苏鑫华半导体科技股份有限公司（以下简称鑫华）电池研发中心的一个实验室中，今年刚从矿大毕业踏入工作岗位的硕士生厉凯文对《中国科学报》说。

毕业季来临，当很多同龄人还在到处投简历、去面试时，厉凯文已经凭借锂电、钠离子电池及纳米硅碳包覆等方面的技术经验，加上一篇前沿论文、一项正在申报的专利，实现从学校到工作的平稳过渡，在“家门口”找到了施展科研抱负的舞台。

“这得益于我在研究生期间接受的校企联合培养。这段经历让我退去了迷茫，人生轨迹慢慢被归正，逐渐找到了奋斗的方向。”厉凯文说。

厉凯文的硕士导师、矿大材料与物理学院教师邢政主要从事锂、钠、钾等锂离子电池材料设计制备和应用研究。鑫华则主要生产高纯电子级多晶硅，相关产品在国内市场占有率已达55%。按照校企优势互补的原则，2022年，邢政、鞠治成与鑫华两位企业导师田新、江宏富共同组成“联合导师组”，确定了基于企业未来发展的前瞻性研发项目——高性能纳米硅碳包覆技术。

如今，项目已遴选出厉凯文、孙雷昊、路明涛等9名研究生，并将其纳入集萃学院联合培养体系，入选者均需遵循“至少要在企业实地参与相关实习与研究半年以上”的“硬指标”。

作为第二批入选者，路明涛从去年暑假开始，已实践了一年多的时间，其中包括为期3个月的集中专业实习、接近一年的项目研发和3个月的生产实践。

“现在的企业招聘越来越看重研究生的实践能力和交流能力。这样的安排可以缩短我们从一名研究生到一名工作人员之间的思想与技术距离。”路明涛说。加入集萃学院后，他从最初的钠离子电池研究，逐渐向高性能纳米硅碳包覆技术方向拓展，研究方向越来越贴近产业需求。尽管经历过挫败，但他觉得“酸甜苦辣都是成长的调味剂，只有经历过，才能在面对未来的挑战时更加从容不迫”。

“在学生指导方面，我们的聚焦点与高校有所不同，我们希望学生能提前介入企业，了解企业的技术需求和发展方向、考虑技术的商业价值和应用前景、关注技术的可行性和成本效益，确保他们的研究不仅在科学学上有价值，还能在实际中应用。”鑫华总经理田新对《中国科学报》说。

鑫华半导体研究院院长江宏富则表示，集萃

学院让企业直接参与到学生培养中，不仅使企业的一些研发需求有了高校团队这样一个“合伙人”，也为企业按照发展所需育人、用人、留人提供了一条更畅通的通道。企业导师、企业和高校研究生紧密相连，教学相长，以产业需求凝练研究课题，实现三方共赢。

“以前我们做课时，比较注重理论数据的突破，比如产品容量要做到最大、性能数据要做到最好。和企业导师‘组团’后，我们的研究风格也在发生转变。”邢政说，当课题牵手具体的产业、企业，老师们的教研也开始向着生产一线和市场需求发生深刻的转变。

今年，矿大刚刚获批教育部材料与化学专业博士点，从2025年起招收博士生。在此背景下，鞠治成表示，这将有助于把更多优秀的硕士研究生留下来，在集萃学院的培养平台上，为他们未来的职业发展提供更广阔的空间和机遇。

复刻，成效与挑战并存

如今，经过3年多的试验，矿大集萃人才培养模式效益已经凸显。

“2020年7月，我们的集萃研究生只有11人，现在已经达到183人，加上最近刚完成遴选的80人，累计达到260多人。同时，集萃校内和企业导师也从最初的8人和7人，分别增加到现在的90人和59人。这就像一个学院的规模了。”矿大研究生院副院长仲晓星说。

他仍然记得，2022年只有28名学生报名集萃研究生。当时学校和长三角国家技术创新中心共同设立集萃联合专项经费，激发老师和学生对接产业的内生动力。

如今，该学院已与44家单位对接。“我们每年能招收100多名集萃体系研究生，如果四五年累积下来，能解决四十多家企业提出的关键问题，这种模式就是成功的。”段晨龙说。

基于此，矿大希望进一步“复刻”集萃模式，推进工程硕博培养改革。

2022年，该校入选首批国家工程硕博博士改革的试点高校后，与华能集团、华电集团、华润集团等央企在智慧能源、人工智能和半导体领域开展了研究生联合培养。2024年，该校入选江苏省首批卓越工程师学院后，进一步鼓励师生“揭榜挂帅”，对接企业难题。如今，该校已与徐工集团、徐矿集团、上海大屯能源股份有限公司、苏盐集团、江苏省产业技术研究院等携手，共建矿业智能装备技术研究院、研究生工作站、研究生联合培养基地，为学生打通职业发展通道。

这些实践先后两次入选中国研究生院院长联席会“最佳实践案例”，被中南大学、东北大学等高校借鉴应用。中煤集团、中国煤炭集团等企业事业单位也曾来校调研交流。

尽管如此，此次采访中，也有多位校企人士表示，在产教融合过程中仍然存在不少“拦路虎”。“比如，有的企业想让教师带着学生免费给他打工；有的则只是想要点政策优惠，并不希望高校介入太深。不会提真需求，何以解决真问题？”段晨龙说。

对此，石巍坦言，企业是以盈利为目的的，与高校出发点不同，合作中有顾虑在所难免。但对于创新型民营企业来说，凭借企业自身实力往往很难应对新技术产品中的风险与挑战，通过与高校深入接触和了解建立信任关系，一定会让企业“走得更踏实”。

面对依旧存在的“校热企冷”，矿大通过落实校企“四共四通”机制，即共同招生、共同培养、共同选题、共享成果，以及师资互通、课程打通、平台融通、政策畅通，实现了校企“育人目标+教学资源+平台建设+过程管理+质量把关”的深度协同。

“高校是人才培养单位，我们不与企业争利，通过校企合作将学术思想和科研成果转化为推动企业创新发展的新质生产力，实现合作共赢。”段晨龙说。

清华这门课，“上课就像开盲盒”

■本报通讯员 赵佳 记者 陈彬

在清华大学，有这样一门课程——上课地点遍布全校，授课教师超过百人，“考勤表+盖章”是它独特的课程打卡方式。选了这门课，清华校内的90多个实验室任你挑选，甚至可以体验“多个老师围着一个学生上课”的专属课堂。

在这门课上，文科生可以操作平时难以接触的工科实验，理科生有机会烧制属于自己的陶器，还有学生通过这门课重新选择专业志向……

这门课就是清华大学已经开设了16年的“实验室科研探究”。

“实验室就是课堂，上课就在现场”

对于这门课，清华大学官方是这样介绍的——“实验室科研探究”联合全校各重点实验室和文科院系，筛选出一批典型研究成果，组织研究生不分专业，按自己意愿轮流到全校实验室观摩一线科研案例，并由高水平教师在实验现场以科普语言和直观形式（如试验装置、音像资料、报告文档等）全方位展示科研过程，引导学生了解不同研究领域，认识研究工具，分享教师的研究体验……

这段略显正式的文字，在学生们眼中则是另一番模样。

“这几乎是梦幻般的体验——每次上课都像开盲盒一般，穿梭于不同的系馆大楼，流连于不同的学术圣地。”这是清华大学致理书院本科生李锐写下的“实验室科研探究”结课日志中的一段文字。

这种“开盲盒”式的惊喜感绝不是李锐独有

的，几乎每个上过这门课的学生都会发出类似的感慨。

近年来，“实验室科研探究”在清华园的人气居高不下，最多时，一学年能有来自全校不同专业的3300多名同学同时选课。自2007年开课以来，该课程开设的教学单元已达到120多个。

所谓“教学单元”，可以简单理解为该课程的“子课程”。这些“子课程”五花八门，既有“水处理微生物原理”，也有“风洞在飞行器研制过程中的应用”；既有“模拟企业”，也有“植物染色工艺”，总共涉及31个院系的90余个实验室，整合了清华全校理、工、人文、社科和艺术等学科资源。

在课程选择上，“实验室科研探究”给予学生充分的自由——设有4个独立选课，允许学生同时选修。学生在每个课下可选择8个感兴趣的单元。这意味着每个学生可参与32个不同的教学单元。如果学有余力，他们还可以申请到其他教学单元参观学习，开启更多“盲盒”。

“实验室就是课堂，上课就在现场。选择面广、满足兴趣和真正参与跨学科实践探究，是同学对本课程最满意的三点。”课程总负责人、清华大学基础工业训练中心副教授杨彬介绍道，“这门课将清华的科研优势转化为本科教学优势，让同学们享受到扑面而来的全校科研资源，极大便利了同学们去探索不同专业领域。”

精益求精，只为更好的课程体验

90多个实验室、120多个教学单元，每个教学

单元开放8个上课时段，涉及百余位老师和千余位选课学生的规划和安排。面对如此复杂的课程协调管理，“实验室科研探究”却依旧满足了不同专业和年级学生的高度个性化选课需求，与横跨不同时段、不同院系的许多实验室有序匹配。

做到这一点，授课老师们凭借的只有四个字——精益求精。

清华大学物理系教师顾晨讲授的“演示实验的趣味性与物理性”单元很受学生欢迎。每学期，他都会结合近年来的科技热点或社会重大事件，对课程内容进行调整更新，并尝试利用物理演示实验，解释其背后的物理原因。

2022年，“量子纠缠”获诺贝尔物理学奖，顾晨决定将其作为教学点之一。但对于该领域，他也不熟悉。为讲好课，顾晨与相关方向的博士生探讨了超过10小时。在看完几乎所有关于该项目的科普讲座，并对相关内容进行全面梳理后，顾晨结合清华实验物理教学中心开发的量子纠缠仿真实验，在5分钟内完成了对量子纠缠基础概念、以及诺奖贡献最精髓部分的高度凝练式讲授。

从课后作业反馈看，很多学生通过这节课，初步建立了量子纠缠的概念，这让顾晨十分欣慰。

官菁菁是2023年春季加入“实验室科研探究”课的美术学院教师，负责“传统手工覆帘造纸工艺与体验”的教学单元。为顺利开课，她一遍遍地试讲，反复确认理论学习、抄纸技术观摩、实操和装裱等步骤的时间比重，几乎可以一分不差地精准把握课堂环节。她还独创吸尘器吸水法加快烘干速



在“实验室科研探究”课上，学生利用云室观察宇宙射线和身边的辐射。 清华大学供图

度，成功在90分钟内让学生既能系统了解手工造纸的理论知识，又能完整体验造纸过程。

即使某个上课时段只有一个学生选课，老师们也会认真准备。清华大学电子工程系本科生安夏就在“复杂混合物的震动光谱法探究”单元上，拥有过一次“一对一VIP式”上课体验。

“老师直接来到我身边，手把手教我操作实验仪器，我们俩像朋友讨论一样完成了单元学习。课堂氛围非常好，我真的很想再体验一次。”安夏说。除授课教师对课程精益求精的打磨外，课程负责团队也在默默付出。

由于该课程涉及，团队专门制作《探究课课程地图》；每次开课，至少会有一位助教值班“秒回”课程微信群消息，及时处理千余名选课同学可能出现的突发情况；课程组织团队还编写了8000余字的《实验室科研探究教学手册》，甚至细心地为学生版和教师版，从课程形式、组织方式、常见问题、线上线下融合教学等方面进行细致介绍与回应……

“每一条反馈我们都认真考虑，并结合实际情况对课程进行优化调整，让这门课更切实地回应

同学们的需求。”已担任多年课程助教的清华电机系2019级博士生谭理国说。

跨专业 跨学科 跨系统

“‘实验室科研探究’是我读本科期间印象最深的课程。这门课能让你快速了解校内各院系有趣的实验室和仪器设备……借着一堂课的机会和不同院系的老师聊一聊科研内容，亲自看一看仪器和样品，这非常难得。”即便已经获得了博士学位，任思腾对于自己在本科时上的这门课依然记忆犹新。

为不同专业背景的学生打开一扇通往清华实验室的“窗”，搭建一座学科交叉、文理互通的“桥梁”，营造跨学科通识教学环境，这正是“实验室科研探究”课程团队的期待。

“我们要求每位老师都充分考虑不同年级、专业学生的理解能力和学习基础差异，消除学生‘听不懂’的担忧，让大家按自身兴趣和需求选择实验室。”在杨彬看来，探究课与以往其他课程的差异之一，正在于“尝试降低低年级同学接触科研的门槛，同时促进跨专业、跨学科、跨系统的宽思维训练”。

“同时，探究课提供的是一跨大批量、多样化培养人才的土壤。”杨彬始终坚信探究课要面向全体学生，“我希望所有同学都有机会接触到这门课，从这片土壤中获得扎根和成长的机会，挖掘自身潜力。”

授课时，老师们往往从亲身研究经历中提炼方法论，以自身对学术研究的热情影响学生，也很乐意与学生分享科研体悟和人生经验。该课程的学生日志汇总中，一位已经毕业多年的本科生写道：“很多年后，我也许会忘记这节课讲了什么具体内容，但我永远不会忘记老师在课堂上潜移默化教给我的品质——找到你喜欢的事业，为之奋斗，充满激情地生活。”