



▲翁文国与学生进行实验

▲“典型灾害事故环境下个体防护原理与高性能防护材料及系列装备研发与应用”成果

灼迹问道

本报记者 牛伟坤

早在约50万年前，北京周口店的直立人就已经学会使用自然火，并能保存下火种。火，不仅仅被用来煮饭，也为他们带来光明，带来温暖，帮助他们驱赶野兽。生生不息的火，显著提升了古人适应和改变自然的能力，人类文明进程得以加速。

实际上，在不同文明叙事中，火都书写着独特的篇章，为历史进程标记着别样的注脚：毁灭与创造、禁忌与解放——充满辩证性的两面角色让人们对火又爱又恨。漫漫历史长河中，人们从未停止对这一“失控能量”的研究。清华大学安全科学学院院长翁文国就是其中的一员。闪烁的火苗点燃他为国家的使命感与责任感。一次次凝视着燃烧后的灼痕，他带领团队从灰烬中提取安全密码，行走在守护生命安全的最前沿，为城市公共安全搭建起无形的“铜墙铁壁”。

“高质量的发展与高水平的安全密不可分。安全领域的研究关系国计民生，我希望能为此做出一点自己的贡献。”奔波在实验室与讲台间，翁文国问道不止。

与火结缘

“如何高效地利用能源、进行能源转换，与社会的发展密切相关。在这背后，还有很多未知的问题要解决。”30多年前高三班主任的这句话，翁文国至今记忆犹新。少年的他，正是受到这句话的鼓舞，怀揣着成为科学家的梦想踏入了中国科学技术大学的热科学与能源工程系。

由此，“国家的需要”深深地烙印在翁文国的科研生涯中，激励他在这条路上勇往直前。

不过，18岁的翁文国没有想到，未来有一天他会“逆势而为”，放弃热热闹闹的纯燃烧机理研究，一头扎进冷冷清清的火灾科学研究中，为“失控的燃烧”寻找秩序。

这一转向发生在大学四年级。在面临直博阶段的专业选择时，翁文国几乎毫不犹豫地，为这个“曲高和寡”的研究方向投了票。这个选择在同期学生中独树一帜。当时，火灾科学研究刚刚起步，未知很多，大家对它还有很多的不担忧，可能很难在短时间里做出成果。”翁文国坦言。

翁文国的选择与他的博士生导师范维澄有关——在范维澄的奔走呼吁下，中科大建起了国内第一个火灾科学国家重点实验室。

实验室背后的故事，每每提起来，翁文国都心怀敬意。

1987年春天，大兴安岭地区遭遇超常干旱，燥热的大气环流导致林场的火灾等级持续攀升。一场特大森林火灾由此酿成。

火灾的蔓延，让当时还是系里骨干教师的范维澄意识到，我国在火灾科学研究上还存在很多短板。他第一时间致信中央单位，建议成立火灾研究机构，专门开展火灾科学研究。

1989年通过立项论证，1992年获准建设对外开放，1995年通过国家验收……火灾科学国家重点实验室渐渐步入正轨。范维澄的奔走努力，让翁文国看到了科学家的担当。

“我就是被范老师的科学家魅力吸引，义无反顾成了他的学生。”翁文国笑着说。

真正深入火灾科学领域，翁文国才发现，这个看上去似乎“不够高级”的领域，挑战“很高级”。

“火灾燃烧的复杂度非常大。”翁文国举例，火灾发生的尺度很大，尺度越大，使用传统仪器设备进行测量的难度就越大；此

外，火灾发生的环境多样，边界条件复杂，科研人员要想在实验室里对火灾进行完全还原模拟的难度更大。”这就需要他们放弃原有的研究思路，使用一种全新的研究范式。”

在这一冷门研究领域里，翁文国抽丝剥茧，潜心寻找烈焰中潜藏的秘密。随着与国际同行交流的日益密切，翁文国将研究视野聚焦到了更为小众的“回燃”。

1994年，美国纽约布鲁克林区威廉斯堡一处废弃仓库起火。消防队员到达现场后发现，仓库内浓烟密布，没有明火。但是在他们破拆仓库铁门试图进行通风排烟时，火焰却如龙卷风般从门内喷出。

“死灰复燃”的场景不只出现在好莱坞大片中。真实世界里，“回燃”现象同样让人惊心动魄。

翁文国从国际学术会议中了解到“回燃”时，国人对这个概念几乎全然陌生。他也成为了国内首批系统性研究回燃的学者。

回燃现象提示，当消防队员到达火灾现场后，即使现场没有明火，也不能一下子就冲进去。什么时候能冲进去？有没有一些手段可以降低回燃带来的危害？……面对着一连串的待解难题，翁文国决定与火灾中的“隐形杀手”好好过个招。

如今，这些问题都有了答案。

经过多年的实验和研究，翁文国发现，回燃之所以发生，是因为火焰熄灭后，房间内残存的一氧化碳等大量可燃性气体。房门被打开后的一瞬间，氧气大量涌入，室内的可燃性气体再次燃烧，导致“死灰复燃”的发生。

根据实验数据，翁文国构建起相关模型，帮助消防队员根据火焰熄灭时间预测室内可燃性气体浓度，为后续的内室作业提供实操建议；同时探索采用细水雾预防的方法来稀释可燃气体，从而降低回燃概率。

翁文国以此研究为核心完成了博士论文，拿下了2002年的中国科学院院长特别奖，成为当年中科大学唯一的获奖者。

更让翁文国欣慰的是，他的研究引起越来越多的关注，成果被写入火灾救援的相关作业规范中。如今，预防回燃发生，已经成为消防队员抵达火灾现场后的本能反应。

在与火焰的交手中，翁文国“初战告捷”。

来清华大学工作之前，翁文国在国外做了两年的博士后。对他来说，异域的风景远没有应急装备展有吸引力。

国外学习期间，翁文国不仅爱逛应急装备展，还喜欢亲自体验。展会上，穿着舒适、作业方便的消防队员个体防护服及相关装备，给他留下了深刻印象。反观国内，高温高湿环境下，厚重的消防服容易形成“蒸汽牢笼”，让消防队员难以施展手脚。

反思之后是奋起直追。这种对比之后发现的不足，也成了翁文国主持的北京市科学技术奖一等奖项目《典型灾害事故环境下个体防护原理与高性能防护材料及系列装备研发与应用》的灵感来源。

细细梳理后，翁文国发现，国内个体防护产业虽然每年都在快速发展，但技术创新链并不完善，中高端装备严重依赖进口。究其根本，是适用于中国人体防护原理不清，缺乏整装备性能检测手段，基础防护材料性能不强。

一场历时十余年的科研攻关开始了。

翁文国从最根本的基础理论研究入手。在他看来，一件性能合格的防护服，要兼具防护性、舒适性和工效性。制作满足这些标准的防护服，首先要搞清楚能量从外界环境到衣服再到人体之间的传递规律。

“这项研究之前也有有人做过，但使

一切为了国计民生，是翁文国踏入这一领域的初心，也是他持续创新的动力源泉。几十年来，他科研工作的一步一步，都烙印着“国之重托，民之期盼”。

从国外回到清华大学安全科学学院院长工作后，翁文国赶上的头一件盛事就是北京奥运会。为了保障举世瞩目的盛会顺利举办，北京市首次开展了城市突发事件综合风险评估工作。

“峰会举办前，各区各委办局要摸排各自领域的风险情况。但是，由于缺乏统一的标准，不同区和委办局上报的风险情况差异很大。”翁文国举例，比如，被某个区定位为高风险的区域，在一些委办局看来，就属于一般风险。

风险定量化迫在眉睫。翁文国牵头申请了北京市科委重大项目，他带领团队在委办局和各区报送的相关风险数据基础上，进行风险评估、风险量化等研究。

用的是外国人的生理数据。很多人觉得这些数据无关紧要，其实就是这些数据在一定程度上决定了穿着的舒适性。”翁文国举例，拿单位时间的出汗量来说，外国人就高于中国人。

除了出汗量，翁文国要收集的“生理数据”还有一长串：体温、脉搏、心率、血氧浓度……这些数据都被用来确认在防护装备的隔离下，人体与外界高温环境的互动反应。

每个数据都确保精确。比如，针对体温，团队测量的是人体核心温度的“金标准”；志愿者要先脱下衣服，科研人员通过设备接收数据传来的无线信号，获取实时的体温。”这些数据是防护设备设计原则、材料匹配优化的基础。”

志愿者，能模拟人体皮肤环境的假人，耐受更高温度的火假人……随着一批批实验数据的出炉，人体一个个体防护装备—环境之间能量质量能量传递的规律被团队摸透了，他们据此建立了预测模型，研发出了适用于国人体特征的损伤预测与防护评价系统。

原理摸透了，要制作出舒适的服装，还需要找到最适合的材料。

在进行个体防护基础材料研发时，团队针对人体耐热舒适性需求，研发出高分子相变材料，打造了具有蓄热隔高温功能的织物。在此基础上，团队还研发出兼容防护舒适和广谱分级的系列化个体防护装备；打造了更

在团队研发的北京市综合风险评估与区划系统中，根据风险点位的不同影响范围或可接受性，团队要计算出不同类别下风险定位的风险级别，明确干预的标准和干预方法。埋头于密密麻麻的数据中，翁文国和团队将一张城市的防护网络徐徐铺开。作为北京奥运会的遗产，这一系统现在仍服务于城市安全保障中。

“因为有了这个系统，工作人员在平时的数据维护中，就可以动态监控关键点的风险变化。”翁文国说。这个项目也获得北京市科学技术奖二等奖。

系统立竿见影的效果吸引各地纷纷效仿。在国家杰出青年科学基金资助下，翁文国带领团队将这一成果陆续应用于全国多个城市，为各地提供城市风险管理的参考工具。

目前，北京国际科技创新中心建设正在进行中，人工智能、量子信息等关键领域的快速发展，为安全科学领

为准确的高温热辐射环境下个体防护装备热阻和湿阻的测量方法，并搭建起整装备检测平台，弥补了以往防护服单一参数或服装面料检测的缺陷。

至此，“防护原理—核心材料—关键装备—检测平台”这一完整的产业技术创新链彻底打通。

这是翁文国的夙愿。

得益于这一产业技术创新链，发达国家培育孵化了一批知名企业。此前，我国防护服产业链基础很好，但项目支持不够，我们在国家重点研发计划项目支持下，终于把欠缺的环节补齐了。”翁文国满心欣慰。

如今，他正带领团队进行高集成消防队员个体防护装备研发工作。“对于消防救援来说，现场的数据非常重要。比如现场有毒气体的成分和浓度、消防队员在现场的生理参数等。根据这些数据，后台可判断消防队员的继续作业时间，及时为消防队员排除危险因素。”翁文国说，这些数据的数据采集离不开柔性传感系统。不过，如何实现柔性传感系统与防护服的完美配合，还有不小的挑战。

面对火、危险化学品等复合灾害事故现场的“升级版”化学防护服，团队也在精益求精。

在翁文国看来，灾害事故和极端环境严重影响人员生命安全和任务执行，个体防护装备是现场人员的最后一道防线。

“我们要守护好这道防线。”

金盾围城

域的科研提供了新的技术和平台。翁文国的研究工具也在不断升级。

“新的技术让我们可以探索很多之前做不了的事情。”翁文国说，“我们希望研发出一套城市运行场景的智能感知与异常识别风险，解决其监测预警的技术难题。比如，通过人工智能技术实现燃气泄漏的智能识别等。”

所有的城市都面对着多种灾害事故，这些灾害事故之间往往交叉关联，多灾种耦合风险评估技术与管理研究势在必行。如何量化区域风险？怎样进行自然灾害的后果评估？怎样预警并避免自然灾害诱发技术灾害？……翁文国要回答的问题还有很多。

公共安全科技创新既是一项紧迫任务，又是一项长期任务。

国家的需求，从实验室的微小中燃起，灼灼不熄，照亮翁文国的求索长路。

前路漫漫亦灿灿。