

肖克炎：深耕矿产评价智能化



肖克炎（左二）在内蒙古小孤山矿山指导学生开展野外实习。

肖克炎，1991-1993 年在我校“矿产普查与勘探”博士后流动站工作，第十八次李四光地质科学奖科研奖获得者、中国地质科学院矿产资源研究所原副总地质师，现任俄罗斯科学院与工程院外籍院士，二级研究员，博士生导师。不久前，他新申报的“战略性矿产资源大数据综合信息预测与找矿勘查示范”项目通过评审。在过去的 40 年间，从数学地质到数字化矿产预测，从信息化大数据分析再到如今的智能化资源勘查，肖克炎始终围绕国家需求刻苦钻研，奋战在中国地质行业数字化、智能化研究的前沿，成为反映这一进程的代表人物和地质科学工作者的榜样。

理想：将“计算机+矿产预测”作为一生事业

1980年，16岁的肖克炎考入湘潭矿业学院地质系煤田地质与勘探专业。如果不出意外，他的人生轨迹也会像他的许多大学同学那样，毕业进入煤炭行业，一生从事煤田地质方面的研究和实践。不过，20世纪80年代初，改革开放的浪潮席卷中国大地，对“科学技术现代化”的渴望蓬勃生长。那时的湖南，一件大事正在发生。1983年12月22日，中国第一台每秒运算1亿次以上的“银河”巨型计算机，在位于长沙的国防科技大学计算机研究所问世。“银河”对青年肖克炎的影响是巨大的，从小头脑活跃、热爱数学的肖克炎看到了计算机在煤田矿产资源领域的广阔应用前景。1983年底，他为自己的实习论文圈定了两个方向——矿产资源趋势分析、计算机应用。学校没有计算机怎么办？在学校的支持下，肖克炎在核工业二三〇研究所（原长沙铀矿地质研究所）借用了一台进口计算机，它几乎占据了整个屋子。有了这个“宝贝”，肖克炎花费一个星期时间，对湖南湘中盆地煤田沉积谷地的矿产资源进行了5次趋势分析，圆满完成了实习论文。这次成功尝试，点燃了他以数学研究地质的兴趣和志向。当然，那时的他，还不知道未来计算机技术将飞速发展，更不知道自己将以此为起点，与“计算机+矿产”打一辈子的交道。

1984年，肖克炎考取长春地质学院数学地质专业硕士研究生，师从著名数学地质专家王世称教授，并继续攻读该专业的博士学位。数学地质是用数学分析及建模的手段，对地质问题进行规律性的研究。然而，把复杂的地质现象进行定量化研究实非易事，不仅需要把矿床成因、地球探测信息技术、计算机等多学科的知识进行交叉、融合，更需要具有宏观的科学视野和创造性

的数理推算能力。在学习和实践中，肖克炎不断探索多元统计分析方法的应用、金铜异常区复合模型的建立以及综合信息矿产预测等领域。他像海绵吸水一样，在课堂授课、实习项目和国内外资料中汲取知识和经验，并最终将自己的专业方向确定为矿产预测。在长春地质学院学习期间，肖克炎展现出了非凡的勤奋和才华。他发表了数十篇论文，远超学校规定的数量。期间，他还参与了由王世称教授主持的“综合信息矿产预测理论与方法体系”项目，并获得了国家科学技术进步奖二等奖。1991年底，肖克炎博士毕业后不久，中国地质大学（武汉）开始招收博士后。为了自己的梦想，他来到武汉，成为中国地质大学（武汉）“矿产普查与勘探”科研流动站博士后，师从我国著名数学地质学家赵鹏大，进一步深化对数学地质的研究和应用。1993年博士后出站后，已晋升为副研究员的肖克炎来到中国地质科学院矿产资源研究所（以下简称“资源所”）成矿远景区划研究室（简称“区划室”）工作。

直到现在，肖克炎都很庆幸自己的“运气”，不仅能师从于数学地质领域有着“南赵北王”之称的两位泰斗，还能在中国矿产资源顶级科研院所找到专业最对口的工作岗位。当然，这份幸运并不是偶然的，而是他坚守初心、不懈努力的结果。

使命：“成矿区划”→“潜力评价”→“深部预测”

踏上工作岗位，正值20世纪90年代，全国地质工作陷入低谷期，而肖克炎的“好运”却并未离他而去。他刚刚来到资源所，就赶上了一个大项目——全国第二轮成矿区划工作，并在其中从事成矿远景区划计算机化及GIS应用研究。巧合的是，肖克炎本科和硕士期间，就曾参与过全国第一轮成矿

远景区划的部分工作。这个项目由时任中国地质科学院院长和地质矿产部总工程师的陈毓川组织领导。此时，经过数十年的找矿，不少地区已转入隐伏矿床、盲矿床预测寻找和评价阶段，找矿难度大，必须筛选出具有较好成矿远景的重点区域，形成“以点带面、点面结合”的找矿突破。同时，当时的地质科技与成矿理论较改革开放前有了明显的进步，急需使用新理论、新技术综合研究最新的资料指导找矿。于是，在第二轮成矿区划工作中，肖克炎作为主要骨干，带领团队逐步建立了以成矿系列理论为指导、以 GIS 计算机技术为支撑的综合信息矿产预测方法体系，开展了不同比例尺矿产资源方法学比较研究，提出了预测底图编图综合解释模型，完善了综合信息找矿评价模型的研究内容方法，编制了首张中国矿产成矿系列图和跨世纪找矿工作部署图，建立了全国成矿远景区划数据库。1996 年，肖克炎被破格晋升为研究员，1997 年开始担任资源所区划室总工程师，2000 年被任命为区划室主任。2006 年，原国土资源部部署全国矿产资源潜力评价国情调查工作。这次，作为学科带头人的肖克炎，毫无悬念地成为其中“全国重要矿产总量预测”项目的总负责。从 2006 年到 2013 年，肖克炎上满了“发条”，瞄准“总量预测”目标任务，创立了矿床模型综合地质信息矿产预测方法；研发出地质专家系统预测与综合信息预测的预测模型，总结了以计算机信息技术为手段，运用矿床模型地质参数法进行资源潜力估算的预测工作方法流程；首次提出区域预测综合信息编图的综合解释模型、矿产预测类型、矿产预测方法类型、最小预测区等概念，创新发展了矿床模型地质参数资源量估算方法；建立了全国矿产资源潜力预测评价成果数据库，为国家资源决策提供了权威国情数据。这些成果促进了地质工作顺应时代的发展：广泛应用于我国“十三五”各类矿

产勘查规划部署，厘定了我国 26 个重要找矿部署区带，优选 110 余处国家重要整装勘查区和矿集区；支撑国家找矿突破战略行动和矿业企业的矿产勘查，推动新发现多处大中型矿产地，实现找矿工作重大突破。即使是现在，其成果仍在发挥着重要作用。近年来，矿产勘查逐渐向深部转移，肖克炎智能勘查技术的研发目标也“由浅入深”，在科技部深地资源勘查开采专项“深部资源预测系统技术与示范”项目的支持下，围绕深部资源预测需求，系统开展了深部矿产资源预测理论研究、关键技术、平台系统研究，突破了成矿空间三维结构重建机制、深部矿化定位机制及深部预测途径等关键技术瓶颈，首次建立了找矿模型—三维建模—定量预测三元大数据深部矿产资源预测理论方法，研制了一套具有自主知识产权的深部综合信息预测评价平台系统，创新研发了深部成矿构造、地球物理、地球化学和地质异常的时空结构解析方法与深层次信息提取新技术，解决了矿集区深部成矿空间三维结构重建、成矿地质异常空间重构以及矿化空间定位等技术难题，推动了我国深部找矿、三维预测领域的技术进步。这些重大成果，也为肖克炎带来了诸多荣誉：俄罗斯科学院与工程院外籍院士、自然资源部科技创新人才、湘江学者、楚天学者、珠峰人才等称号，而 2023 年获得的第十八次李四光地质科学奖科研奖，更是对他在地质科研方面突出贡献的充分肯定。在全国矿产资源潜力评价和国家重点研发计划等项目的实施过程中，肖克炎建立了一支集成矿规律、潜力评价、数学建模、软件工具研发等全链条、多层次的高水平科研团队，形成了全国领先的大数据智能找矿“理论—方法—系统平台”，这是具完全自主知识产权的开创性成果。

在他的指导下，团队突破学科壁垒，出色完成了全国 25 种重要矿产资源 2000 米以浅资源量预测研究，圈定了各类找矿靶区 4 万余处、成矿远景区 2000 余处、重要矿集区 240 余处，并科学估算了不同深度预测资源量；在山东莱州—招远金矿整装勘查区、四川会理—会东矿集区、湖南—贵州锰矿整装勘查区、贵州贞丰—普安金矿整装勘查区、甘肃玛曲—合作金矿整装勘查区、西藏冈底斯成矿带等地，开展了深部（3000 米以浅）三维预测评价及找矿预测示范，取得了多项找矿突破。

未来：登上人工智能预测技术的创新高地

在如今的矿产预测领域，很少有人不知道 MRAS（矿产资源综合信息评价系统）和 MinExplorer（探矿者软件）。这套由肖克炎带领团队在全国矿产资源潜力评价项目实施期间自主开发并拥有全部核心技术与知识产权的矿产资源预测评价系统平台，打破了国外在此领域的技术壁垒，填补了我国矿产预测信息化领域的空白，已被全国 32 个省（区、市）的上千家地质调查单位全面应用。科学的探索从来都是循序渐进、厚积薄发。早在 1996 年，肖克炎申请承担的“基于 GIS 平台矿产资源评价辅助决策系统”，在国内首次提出将传统矿产资源评价与现代地学信息技术相结合的研究思路并研制了 MRAS 软件系统；2002 年，肖克炎承担国家 863 项目“地学空间信息三维可视化系统”，通过基于 GIS 的资源评价分布式网格计算，开始了对“探矿者”软件核心技术的研发与积累；2006 年~2013 年，“探矿者”在全国危机矿山找矿专项中推广应用，形成了矿床勘探 3DEM 储量估算系统；之后，“探矿者”升级为 v3.0 版本，实现了对三维数字矿床模型及深部矿产资

源的立体预测评价。MRAS 打通了矿产资源评价的 GIS 工作流程，实现了多源信息变量自动赋值及预测单元自动划分，彻底地改变了以往在预测单元选择、变量研究过程中进行矿产资源统计预测费时费力的工作环境；而探矿者软件，则是一套适合地质矿产勘查、三维可视化智能分析、三维预测评价系统，其自主研发的三维矿产勘查评价智能地质制图、三维地质建模、三维可视化等底层核心技术，实现了从二维平面预测向三维空间立体预测转化，也使传统统计预测几个月完成的工作，缩短到几天就可以完成。这些，都颠覆性地提升了地质工作中矿产预测的工作模式、准确度以及经济性。30 多年对矿产预测数字技术的研发与应用，让肖克炎深深地体会到了“大数据驱动”已成为新的科学范式。而对前沿科学极为敏感的他则清晰地意识到，发展新一代人工智能预测技术是当前资源评价领域创新高地，地质找矿工作智能化已是“奔腾的江河”，必然势不可挡，必然汹涌向前。如今，在“人工智能+”找矿的大趋势中，肖克炎又针对战略性矿产资源开始了新的研究探索——通过“战略性矿产资源大数据综合信息预测与找矿勘查示范”项目，针对锂、钴、镍等 11 个战略性关键矿产资源，创新大数据预测评价基本理论、方法流程、预测模型及成果表达等，研发智能地质预测模型和大数据精准预测技术，创新资源评价知识驱动和数据驱动双引擎，突破智能地质模型预测计算机关键技术，形成新一代智能战略性矿产评价软件系统，解决资源评价软件“卡脖子”难题。这又是一场硬仗。在今后的 4 年中，肖克炎将带领项目团队，完成战略性矿产超常富集机理及成矿模型研究、战略性矿产大数据综合信息提取与智能预测方法技术研究、战略性矿产数字矿床模型及预测评价系统平台研发、战略性矿产重点成矿区带资源潜力定量评价、战略性矿产重

点矿集区三维预测与找矿勘查示范等课题，继续提升矿产资源大数据智能预测评价水平，为国家提供更多的找矿新靶区，为尽快找大矿、找好矿、找急需的矿提供重要支撑。30多年来，被同事、学生称为“拼命三郎”的肖克炎，始终把李四光等地质先辈的科学家精神视为榜样和指引，以服务国家需求为己任，勇于创新、勤于实践，全身心地投入到“推动矿产预测理论技术进步”的事业中。而未来，面对国家对能源矿产资源的全新需求和日新月异数字技术的不断召唤，他以科技创新驱动矿产预测现代化、智能化的步伐也将更加坚定。

(来源：中国地质大学校友总会)