

# 他们,在矿山“地心寻宝”



本报记者 俞慧友

新年刚过,中南大学地球科学与信息物理学院成永生率领的研究团队便开工忙活起自己的“新规划”:布局复杂地质条件下隐伏矿产资源勘探增储的理论、技术和方法的全面技术攻关,有序展开成矿流体、成矿年代以及矿物晶格结构的分析测试工作。他们的研究对象,主要为“危机矿山”。

## 攻“危机”:预言“宝藏”在哪儿

危机矿山,广义指资源危机。狭义看,则指矿山服务年限告急,储量匮乏。通常,严重危机矿山,保有可采储量的服务年限不足5年;中度危机矿山,服务年限5到10年;轻度危机矿山,能支撑10到15年的“生命”。

全球范围内,挽救危机矿山的方式,主要为在有资源潜力和市场需求的老矿山周边或深部开展找矿工作,帮助延长矿山服务年限。据统计,自20世纪70年代以来,国外发现的100多个贵重有色金属超大型矿床中,58%发现于已知矿床周围。深部探矿,预测“宝藏”在哪儿,便是成永生们的重大课题。他们,走在了拯救“危机矿山”的最前端。

上世纪末、本世纪初,我国一批有色金属矿山企业因探明资源量枯竭而相继倒闭。截至

2003年,仅被国家批准破产的有色金属矿山和煤矿就高达122座。15年过去,这一“警报”并未解除。随着我国经济高速发展,非再生资源消耗大幅增长,重要矿产资源对外依存度越来越大。矿山枯竭导致的企业倒闭、人员失业,也埋下了危害社会稳定的“炸弹”。

“危机矿山”的诞生与频现,让与之相关的攻关,成为了地质领域的“必修课”。于是,有这么一批专业人士,长期干着根据矿山已知“矿情”,理论测算更深地未知矿产资源的活儿。他们,玩着“地心寻宝”的游戏,挖掘隐伏资源潜力,被誉为地心矿藏分布的“科学卜算者”。中南大学成永生领导的科研团队,便是其中一员。近年来,团队通过理论创新指导发现矿产资源,潜在经济价值近400亿元。

## 探“地心”:在“深不可测”中预测

千人千面,千山千形。复杂的地形地貌地质,迫使成永生这样的深部矿藏“卜算者”,不得不针对不同矿山矿情,发展创新找矿理论,预测深部隐伏资源。

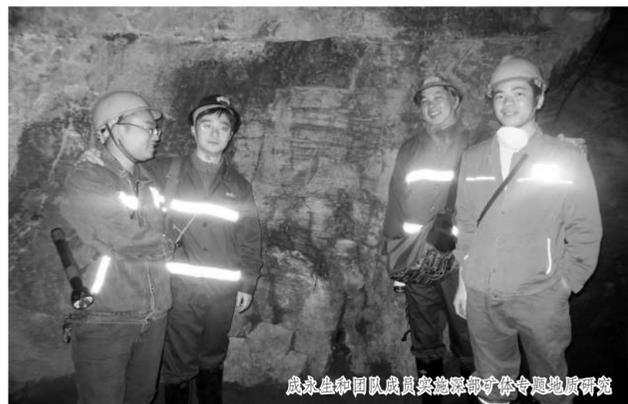
“我们主要紧扣‘超大型矿床成因机制及隐伏矿产定位预测’,围绕制约有色金属矿山深部资源增储的关键地质问题开展基础与应用基础研究。重点揭示超大型矿床深部成矿



成永生在开展深部找矿工作的观察与记录



成永生率队开展广西大厂矿田深部地质调研



成永生和团队成员实施深部矿体专题地质研究

规律、成矿作用以及成因机制。具体而言,我们着力构建超大型矿床深部“第二找矿空间”隐伏矿体的定位预测模式,构建隐伏矿产资源的找矿预测模型,确立找矿预测方向和找矿勘探靶区,为深部矿业开发提供重要科学依据。”成永生介绍说。

揭示矿床深部成矿规律,确立深部关键控矿因素,成为了开拓“第二找矿空间”的关键。但,深部矿有着不同于浅表矿的成矿条件、规律与模式。与浅表地质找矿相比,深部

## 挑大梁:助“世界有色金属博物馆”重焕生机

湖南郴州柿竹园钨锡多金属矿床,我国南岭中段稀有、稀土、有色金属成矿省中的一颗璀璨明珠。这个超大型砂卡岩型钨锡钼钽多金属矿床,矿种多样、规模巨大、矿体集中、形态简单、共生组分丰富、可利用组分多、成矿条件复杂,是我国乃至全球均独具一格的矿床,有着60余年的勘探与开采历史,被誉为“世界有色金属博物馆”。

长期的开采,加之地质勘探投入的严重不足,这里也由此迈入了铅锌储量危机矿山行列。今后相当长一段时间内,必须积极开辟“第二找矿空间”。

成永生率领的研究团队通过攻关研究,厘定了钨多金属矿床的深部关键控矿因素及其控制规律,构建了矿床深部“第二找矿空间”隐伏矿体的定位预测模式,确立了深部找矿的主要方向,提出了深部矿产资源发展的基本思路,明确提出了深部找矿有利预测靶区。成果有效指导了深部地质找矿,极大地缓解了矿山的资源危机,关键研究成果居国际领先水平。

其主要创新研究成果,包括:提出了柿竹园接触带成矿的理论认识。明确指出了传统上将接触带理解为岩性带或岩相带的局限性,提出了广义上接触带构造型的新概念,从根本上丰富与发展了接触带型构造的内涵

隐伏矿产找矿预测以大深度为显著特征。因示踪信息量有限、成矿条件难把握、控制因素不明确。

深部矿床定位预测难度大、精度低、风险高。同时,有关地质研究程度也较低。因此,深部地质找矿勘查,是对现有地质研究的一种新挑战,也是当前摆在地质工作者面前的一个重要难题。近年来,中南大学成永生率领的科研团队,就在这份“深不可测”的工作中,挑战着大深度与高精度,取得了系列优异成绩。

与形式。确立了接触带构造联合岩体特殊复杂形态耦合成矿与控矿的模式。

首次创新性提出接触带构造成矿之关键在于接触带型构造圈闭、接触带型容矿空间,及接触带型承压环境。研究发现柿竹园矿集区与钨锡多金属成矿有关的“港湾式凹陷面”等特殊构造形态,集合了构造圈闭、容矿空间以及承压环境等三大功能,为钨锡多金属成矿提供了三位一体的有利成矿环境,是钨锡多金属矿床元素巨量富集的前提与保障。该方面创新成果,从根本上发展了整个湘南乃至南岭地区钨锡多金属矿集区深部资源发展的新方向,丰富了找矿思路,拓展了勘探靶区,为接触带构造体系中隐伏矿床的定位预测提供了新的重要科学依据。

理论研究在指导深部地质找矿中取得新进展。依据该项研究所提出的深部找矿方向以及找矿有利预测靶区,近年来围绕深部隐伏多金属矿产开展了勘探增储工作,成效显著,成果突出。有效推动了柿竹园矿集区的深部勘探开发工作,提升了金属矿产资源的后备储量。截至目前,已增资源储量接近现有开拓系统。增储部分易开采,可充分利用矿山现有的生产与生活设施,既降低了矿产资源的开发成本,又能够充分盘活矿区现有资产,经济效益和社会效益显著。

## 立新功:扶“贫”广西“锡多金属矿床天然实验室”

广西大厂矿田,我国重要的锡多金属矿业基地,是世界最大锡多金属矿田之一。在长约15km、宽约9km的矿田范围内,产出有超大型矿床2个、大-中型矿床6个,是研究锡多金属矿床的最佳天然实验室。长期以来备受国内外矿床地质学家的广泛关注。

广西大厂锡多金属矿田经60多年的地质勘查与研究,大量浅部-中深部的矿床已被发现,离地表600米以深的“第二找矿空间”成为下一步的主要找矿目标区。

已成功发现的96号厚大矿体,进一步证实了大厂矿田深部巨大的找矿潜力与找矿前景。尽管如此,矿田整体深部“第二找矿空间”的地质情况仍不甚清楚,加之大厂锡多金属矿床的复杂性,很大程度上制约了深部隐伏矿体的找矿勘探。

成永生领导的研究团队,针对我国超大型锡多金属矿床深部矿体成因机制不明确、关键控矿因素难把握、矿体定位预测不准确、深部资源开发高风险等问题,开展了深部构造背景、成矿成矿机制、关键控矿因素、隐伏矿产定位预测、深部资源发展方向等研究。丰富与发展了超大型锡多金属矿床深部资源勘探增储的理论基础与技术体系,增强了危机矿山的资源保障能力,延

长了矿山服务年限,具有重大战略意义和科学价值。

团队创新性地提出了层间破碎带和层间剥离面等储矿空间属于典型的“层滑构造”的新认识,为拓展深部找矿思路奠定了理论基础;揭示了深部岩浆岩成岩作用机制,提出岩体由部分熔融作用形成且为壳幔混溶的结果,确立了原岩与岛弧物质的相似性,揭示了岩体形成于拉张性质的构造环境;构建了成矿作用壳-幔演化模式,提出了锡矿床壳-幔联合演化产物;厘定了隐伏矿体顶部形态、控矿地层垂向展布、深部成矿构造等制约“第二找矿空间”隐伏矿体的关键因素,开辟了深部地质找矿的新方向。

理论指导深部找矿,实现重大突破。建立了深部隐伏矿体的定位预测模式,指出了深部“第二找矿空间”找矿预测靶区,形成了深部地质找矿的立体框架,有效指导了深部找矿取得了新进展和新突破。有效延长了矿山服务年限,稳定了社会就业约3000余人。

中国有色金属工业协会组织的成果评价认为,该项研究成果整体达国际先进水平,其中关于泥盆系地层的成矿与控矿机制等方面的研究成果居国际领先水平。

## 拓思路:做战略金属资源的“守护者”

稀散元素,当代高科技新材料的重要组成部分,被广泛应用于电子、信息、航天和军事等工业部门,在高性能电池、集成电路、超导材料、光纤和半导体材料、特种玻璃、钢铁和工业胶等领域有重要用途。在一些高精尖技术领域,稀散元素还具有不可替代性,是国家战略性金属资源。

随着信息技术、新能源和新材料产业等的快速蓬勃发展,稀散金属资源供需矛盾日益凸显,已探明资源储量储备不足,严重制约了现代新型高端技术及其产业的健康发展。为此,

立足国家重大战略需求,近年来,成永生率领的科研团队还着力于研究我国稀散金属资源的发现与储备,深入开展稀散元素的成矿规律与成矿机制等方面的基础理论研究,探究稀散金属矿床的特殊成因机制,重点攻克制约稀散金属资源增储的关键地质问题,从根本上进一步提升对于稀散金属资源成矿作用的理论认识水平,为稀散金属资源找矿远景区预测及未来找矿方向提供重要科学依据,进一步扩大我国战略性稀散金属资源的远景储备,确保稀散金属相关产业的健康发展,保障国家安全。

## 科研者心声

成永生 中南大学博士生导师。荣获第十五届中国青年地质科技奖“银锤奖”、湖南省杰出青年科学基金,被列为湖南省青年科技创新创业平台培养对象。主持国家自然科学基金、国家资源综合利用示范基地重大专项基金、湖南省杰出青年科学基金、湖南省军民融合产业发展重大专项基金、国家863计划重大项目子课题、中国博士后科学基金特别资助项目等国家级和省部级科研项目20余项。以第一完成人获省部级科技成果鉴定2项;以第一完成人获省部级科技进步一等奖、二等奖各1项;以第一作者出版中英文学术专著5部,以独立作者获省部级优秀图书奖一等奖1项。以第一作者发表学术论文90余篇,以第一作者获省部级优秀学术论文一等奖3项。近年来,积极致力于地球科学知识的传播与科普,2012年受中央电视台科教频道《地理中国》栏目特邀,担任面向公众群体的高层次专题科普节目的野外科考专家,节目播出反响强烈,得到了社会广泛好评。



## 保障资源安全 急需get“地心寻宝”新技能

成永生

矿产资源是国民经济和社会发展的重要物质基础,是社会经济稳定运行的重要保障,关乎国家和社会稳定。随着世界经济的高速发展,矿产资源消耗剧增。矿产资源的不可再生性决定了短时期内的资源短缺与资源枯竭问题不可避免。资源危机问题,已成为我国乃至全球各国发展道路上最棘手、最突出的问题之一。

向地球深部要资源,是当前全球可持续发展的必然策略,也将是全球矿业未来发展的新形势与新格局。国外矿业大国,十分重视且相继设立了相关重大科学计划,如加拿大Lithosprobe、澳大利亚4D地球动力学计划及玻璃地球计划等。

我国也高度重视对深部矿业开发的探究,先后出台了多项政策支持该领域的发展。我国“十三五”规划纲要中,更明确提出要加强深海、深地、深空、深蓝这四个领域的战略高技术部署。

“四深”中,深地探索研究并不轻松甚至难度更大,尽管地球近在咫尺,但其深部具极端环境,探索举步维艰,所能获取的数据与信息十分有限,极大地制约了对地球深部的认知。

具体到深部采矿领域的研究与实践,国与国之间也差距甚远。比如,截至目前,世界先进水平勘探开采深度已达2500米至4000米。据不完全统计,国外金属矿产开采超过1000米的有近百座矿山。如,世界开采深度最大的南非Western Deep Level金矿已达4800米;加拿大萨德伯里(Sudbury)铜镍矿床已开采到地下2000米;澳大利亚奥林匹克铜矿-金-铀矿床位于深部1000米左右;加拿大诺兰达(Noranda)矿田的米伦贝齐、科伯特、安西尔等矿床的主矿体深度位于约700—1280米……而我国,多数金属矿产深部不足500米,只有个别矿床开采深度大于1000米。

有差距,也就有空间。在500米至5000米的深度区间,我国有着巨大的找矿空间与找矿潜力,这应该成为我国今后实现矿产资源增储的重点靶区。为挖掘这部分潜力,正确选定主攻方向和完善深部矿产资源发展,在战略上意义重大。

必须认识到我国地质特点,未来重点拓展与攻克矿区地下“第二找矿空间”,存在着地质构造环境更复杂、成矿条件更难掌握、关键致矿因素更不清楚等困难。同时,我国现有用于浅地表矿产资源探测的仪器设备难以满足甚至达不到深部探测的分辨率与精度要求。深部资源开发的相关理论、技术及仪器装备急需提升与改进。

这些,都让深部空间开发存在着很大的不确定性,充斥着难以预料的风险与挑战。难理解,越往深部进军,采矿的难度、风险和成本就越高。

深部开发,必须地质先行。资源开发前的调研、分析和预测,是这个行业工作链的最前端“关口”。如何客观、科学地认识与描绘即将迈向的“第二找矿空间”,如何准确、高效地开展深部“第二找矿空间”隐伏资源的定位预测,成为制约我国深部资源开发的首个重要瓶颈。该类基础性研究攻关迫在眉睫。我们还必须重视理论探矿与科学找矿、理论创新与技术革命、理论与实践的融合发展。全面加强深部找矿地质理论的武装,从根本上提升深部资源开发的整体水平,有效降低甚至规避勘探开发过程中的可能风险。

建议国家进一步加强对矿产资源深部勘查开采的支持力度,着力推动地下“第二找矿空间”开发向纵深发展。注重加强开展面向深部空间矿业开发的基础理论、技术手段、仪器装备等系统研究,加强培养和储备具有创新能力的高端专业科技人才,从全方位为开发地球深部矿产资源提供可靠保障。

此外,大数据时代的到来,又为人类探索地球深部开启了另一扇“窗”——地质大数据研究。这将是传统地质行业信息化与现代化的重要契机,也应是应对未来地球科学研究的必由途径。通过地质大数据的利用与开发,提取地球深部地质信息,提升对地球深部结构特征的认识水平,揭开深部地球的神秘面纱。建议我国应全面启动地质大数据建设工作,建立健全地质大数据发展机制,加强相关人才储备,形成地质大数据整体发展的蓬勃局面,助力我国打赢深地资源开发攻坚战。