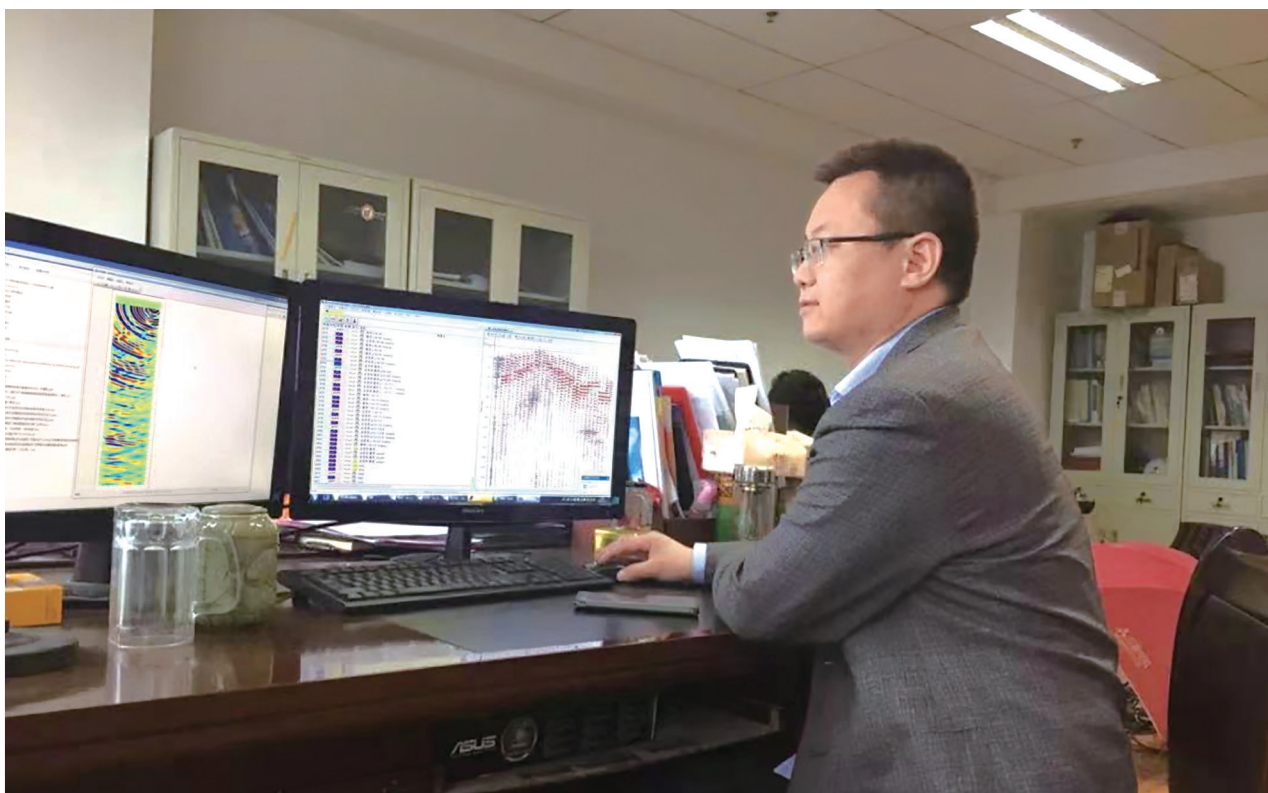




煤矿智能地质保障的排头兵

——记中煤科工西安研究院（集团）有限公司王保利研究员



王保利

研究员，博士，中煤科工西安研究院（集团）有限公司二级首席科学家，现任中煤科工西安研究院（集团）有限公司智能探测技术与应用研究所副所长

兼任陕西省煤炭学会煤炭地质及环境保护专委会委员、中国自动化学会智慧矿山专业委员会委员和中国地球物理学会智能地球物理专委会委员，西安交通大学、长安大学外聘导师。

主要从事矿井地震技术的研发工作。主持完成的“反射槽波超前探测技术与装备”“煤矿井下基于采煤机震动的随采地震探测技术与装备”项目成果，经中国煤炭工业协会鉴定，均达到国际领先水平。研发的矿井地震勘探技术累计完成500余项槽波探测项目，为煤矿安全高效生产提供了有力的技术保障。

主持/参与科研项目12项，国家级项目3项；相关成果获省部级奖6项；获国家授权发明专利12项、软件著作权10项，受理发明专利11项；发表学术论文50余篇，其中SCI收录14篇，Ei/ISTP收录13篇。

“答案永远在现场，研发人员要离现场近一点。”王保利始终牢记并实践这句话。2012年，王保利博士毕业后选择了与生产一线联系更加紧密的中煤科工西安研究院（集团）有限公司（简称西安研究院）。10年来，一直奋战在科研和生产一线，从事矿井地震勘探技术研发及实践工作。面对当前煤矿井下地震勘探的技术难题，凭着一颗煤炭人的追梦心，独辟蹊径、积极创新，以工匠精神，主持研发出多项技术与装备，相继打破了槽波地震、随采地震和随掘地震等核心技术的壁垒，实现了多套技术与装备的国产化。

扎根现场 在解决实际问题中求创新

作为一个从矿区走出来的“煤三代”，王保利与生俱有煤炭人的情怀，要用科技改变煤矿作业环境，做矿工幸福安全、健康生活的保障者。他认为科研人员就应该走在一线，只有扎根现场才能解决现场实际问题、实现成长。他长期活跃在井下一线，立足实际，攻坚克难，积极获取一手资料。

2017年，随采随掘技术研发过程中，由于无法接收到近场信号，使得采掘机械连续震源处理遇到了技术瓶颈，整整6个月研发工作毫无进展，团队多数成员灰心、沮丧。这时候他看到西安研究院总工程师程建远作为一个做过心脏支架的人，年均下井次数高于物探研发中心的平均次数，出差次数更是最高，在项目试验关键时期，一直坐镇现场，事无巨细、亲力亲为。受程建远工匠精神的鼓舞，王保利积极鼓励团队成员，组建学习小组，常驻科研和生产一线，从头再来，以震源理论的推导为突破口，最终实现近场信号缺失时连续震源处理核心技术的突破。

他带领团队研发的采掘工作面随采随掘地震实时、动态超前探测技术与装备填补了国内外矿井地震动态监测方面的空白，已成为采掘工作面地质透明化的关键技术之一，对提升我国煤矿智能化地质保障水平具有重要作用。随采随掘地震实时、动

态超前探测技术与装备和槽波探测系列技术与装备2项成果转化效益合计达2亿元以上。

独辟蹊径 保障煤炭安全智能精准开采

理论与实际相结合——基于GPU平台的煤矿井下三维弹性波波场高效模拟技术及仿真软件

刚接触煤田地震勘探工作期间，王保利发现煤田勘探目标体往往埋深较浅，由于浅层地质情况复杂，使得地震资料波场较为复杂，难以识别，特别是在井下巷道内采集的地震数据。进行基于弹性波波动方程的地震波数值模拟有助于识别和分析这些波场，而正演模拟技术在研究地震波在各种介质中的传播规律、指导野外数据采集观测系统设计、分析和识别地震波波场、高精度逆时偏移成像和全波形反演及地震资料的解释等方面具有重要价值。然而，市场上缺乏成熟的三维地震数值模拟软件。为此，他决心利用所学的理论知识，自主研发煤矿井下三维弹性波波场高效模拟技术及仿真软件。

他借助交错网格高阶有限差分技术和GPU平台，利用CUDA编程模型，研发了基于多GPU平台的两级并行加速的三维地震弹性波波动方程数值模拟技术及软件，计算加速比达到2个数量级，解决了计算瓶颈问题；针对煤矿井下三维巷道情况，采用以直代曲、对网格每个自由界面处理、变换交错网格的思路，提出巷道自由界面处理方法，设计巷道镜像法特殊算法，解决了编程难题。相比于CPU平台，他研发的基于GPU平台的三维弹性波数值模拟模块达到2个数量级的加速比，并考虑巷道的边界条件，具有计算效率高、成本低、应用范围广的优点，已广泛应用于井下地震、地面三维以及随采随掘等波场模拟。

创新增效新突破——煤矿井下透射槽波探测技术与装备

煤矿安全高效开采对地质条件查明程度的要求愈来愈高，地面三维地震勘探的分辨率已经无法



完全适应高效集约化采煤的需要。煤矿井下槽波地震勘探技术具有基础理论完备、距离探测目标较近、不受地形起伏影响、吸收衰减小、分辨率高等优势，是煤矿井下探测距离最远、精度最高的构造探测技术。针对原有槽波地震勘探技术存在基础研究欠缺、仪器设备笨重且被国外垄断、施工繁琐、采集道数少、处理成像技术待改善等问题，王保利从仪器装备和技术方法2个方面展开研究，形成了仪器轻便、施工简单、成像效果好、探测精度高的煤矿井下新一代槽波透视技术与装备。

他带领团队研制出第三代节点式防爆型矿用无缆自记式地震仪，研发出煤矿井下工作面槽波透视技术，形成多项创新成果：煤矿井下专用防爆型“矿井地震探测仪器”；高精度时钟同步技术和误差补偿算法；实现了基于微机的含巷道三维槽波数值模拟和多层水平层状介质槽波频散方程数值求解；利用小波分析和时频分析技术处理槽波信号；基于速度分析的槽波波速成像新技术，对陷落柱、薄煤具有很好效果；槽波数据处理软件；改进槽波接收技术，研制出检波器锚杆对接装置，实现了槽波高密度快速采集技术，并开发了基于 z 分量的透射槽波探测技术。

与国外进口矿用槽波地震仪对比，第三代节点式防爆型矿用无缆自记式地震仪性能指标达到或超过同类水平，质量减轻40%以上，施工效率提高400%以上，价格降低80%以上，提高了煤矿井下工作面内部构造探测的精度。研究成果已在10个大型煤炭基地超过400个采煤工作面得到推广应

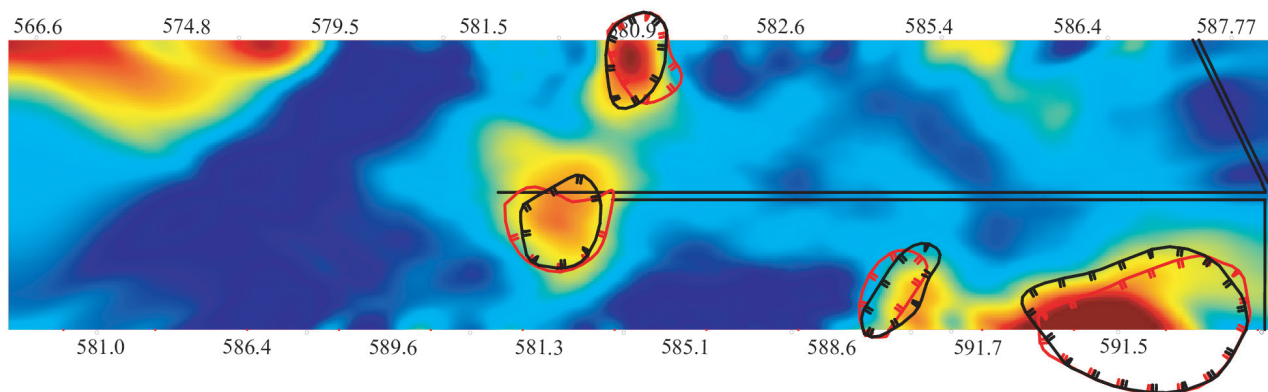
用，主要应用于煤矿工作面内小构造探测及安全生产保障，为公司创收达上亿元。

相关成果获国家授权发明专利7项、实用新型专利3项、软件著作权5项；修编行业标准1项；发表论文37篇；获省部级奖4项。2014年12月，经中国煤炭工业协会组织鉴定，煤矿井下透射槽波探测技术与装备达到国际领先水平。

问题导向促发展——煤矿井下反射槽波超前探测技术与装备

透射槽波探测只能应用到工作面形成之后，无法对更急需的独头掘进巷道附近致灾地质体进行超前探测，且工作面一旦形成，对工作面内部再探测，若发现有影响机械化开采的大型地质构造，往往需重新布设巷道，浪费大量人力物力。

王保利依托企业科技创新基金重点项目“孔巷联合地震超前探技术研究”（2016XAYZD04），并作为项目总负责人，确定项目的总体技术方向，负责具体组织实施。主持研发了基于GPU平台的煤矿井下三维弹性波波场高效模拟技术及仿真软件，并开发配套软件；主持研发了矿井反射槽波超前探测数据关键处理技术，并开发反射槽波数据处理软件GeoCoal3.0和煤矿井下超前探数据处理软件ISSTSP；主持研制了孔巷联合反射槽波超前探测数据采集设备，并通过理论推导、正演模拟论证了煤矿井下独头巷道孔巷联合超前探技术观测系统参数。经过近5年技术攻关和试验应用，最终研发出



透射槽波陷落柱探测探采效果

基于GPU平台的煤矿井下三维弹性波波场高效模拟技术及仿真软件、反射槽波超前探测数据的关键处理技术及配套软件,以及反射槽波超前探测数据专用采集设备并优化观测系统参数,实现了反射槽波超前探测技术的重大突破;并负责技术推广应用、培训、指导等工作。

目前,反射槽波超前探测技术已在全国10个矿区完成了200多项探测,为公司创收4 400多万元。多个采煤工作面依据探测结果重新设计,异常探测准确率超过83%,为煤矿新增及节约产值约5.13亿元,利润超1.62亿元。煤矿井下反射槽波超前探测技术与装备已入选国家安全科技“四个一批”项目。2018年12月,经中国煤炭工业协会组织鉴定,该技术达到国际领先水平。

依托“孔巷联合地震超前探测技术研究”项目,获国家授权发明专利12项、实用新型专利8项、软件著作权11项;出版专著1部;发表核心及以上论文38篇;培养博士3名、硕士2名。

凝心聚力谱新篇——煤矿井下随采地震动态探测技术与装备

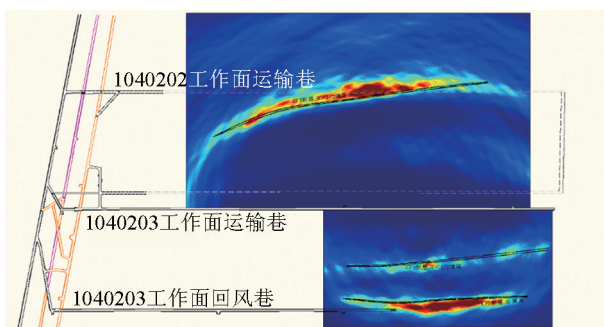
近几十年来,槽波地震勘探技术已经为煤矿开采解决了很多地质问题。但以往的槽波地震勘探以炸药为震源,在高瓦斯、煤与瓦斯突出矿井中的施工受到限制,且每次施工时都必须停止采掘工作面的生产,严重影响正常生产。随着煤矿生产向高效化、自动化、集约化、智能化发展,迫切需要研究一种具有较高精度的实时超前地震勘探方法。煤

矿井下生产活动产生各种震动,如采煤机、掘进机、带式输送机、打钻、放炮作业等均会产生震动,煤矿开采过程中覆岩破坏也会诱发微震动发生。如果能够利用这些震动作为被动地震勘探的震源,就可以实现“边采边探”的技术构想。煤矿井下随采地震勘探技术思路,正是基于这样的背景下提出来的,其核心思想就是利用采煤机或掘进机切割煤壁产生的振动信号作为震源,将其转化为有效地震信号后,进而对煤矿井下回采工作面内或掘进工作面前方一定区域的构造进行超前探测,为煤炭资源的安全高效开采提供地质保障。

煤炭安全智能精准开采是基于当前煤炭开采过程中的现实性难题及未来深部煤炭开采将面临的技术瓶颈提出的,最终目的是将煤炭开采扰动影响、致灾因素等统筹考虑,实现以智能、无人、安全开采为核心的煤炭精准开采。相关项目研究属于煤矿安全技术装备领域,成果应用于煤矿井下工作面回采时对工作面前方的静态地质构造和动态应力变化进行实时动态超前监测。

基于上述情况,王保利带领团队开展采煤工作面随采地震动态探测技术与装备研究。随采地震动态探测技术以采煤机切割煤壁产生的振动信号作为震源信号,通过在回采工作面进、回风巷和孔内布设地震传感器实时接收信号,克服了传统矿井地震勘探中炸药震源应用受限的弊端,施工过程不再影响正常生产活动;利用随采地震数据实时处理和动态成像技术,实现了对煤矿井下回采工作面前方一定区域或工作面内部煤层中断层、陷落柱、煤层变薄区等静态地质条件精细监测和顶板破碎带、应力集中区、突出危险区等动态灾变条件的实时监测预警。

作为随采地震动态探测技术与装备成果第一完成人,王保利带领团队研发出随采地震数据实时处理软件;发明了随采地震无近场信号下采煤机震源格林的高精度重构技术,实现了随采地震技术的理论突破;研发出采煤机震源自动定位技术和随采地震数据高精度动态成像技术。并负责技术推广应用、升级完善、宣传、培训、指导和生产项目的协



反射槽波断层探测效果



调等工作。

随采地震动态探测技术已经在4个采煤工作面应用，具有探测距离远（最远提前400 m探测，且得到准确性验证）和精度高（探测的6个异常构造，全部得到揭露验证，无漏报）的优点，应用效果良好。

2021年7—12月，随采地震动态探测技术与装备为公司创收4 168万元，为煤矿累计新增产值近2亿元。随采地震动态探测技术属于新研发技术，已成为煤矿智能化建设中地质保障领域的关键技术，预计未来几年内随着煤矿智能化程度的深入，随采地震监测技术将会得到大规模推广应用。

相关成果获国家授权发明专利6项、软件著作权6项；发表论文46篇。经中国煤炭工业协会组织鉴定，随采地震动态探测技术与装备达到国际领先水平。

踔厉奋发启新程——掘进巷道随掘地震动态超前探测技术与装备

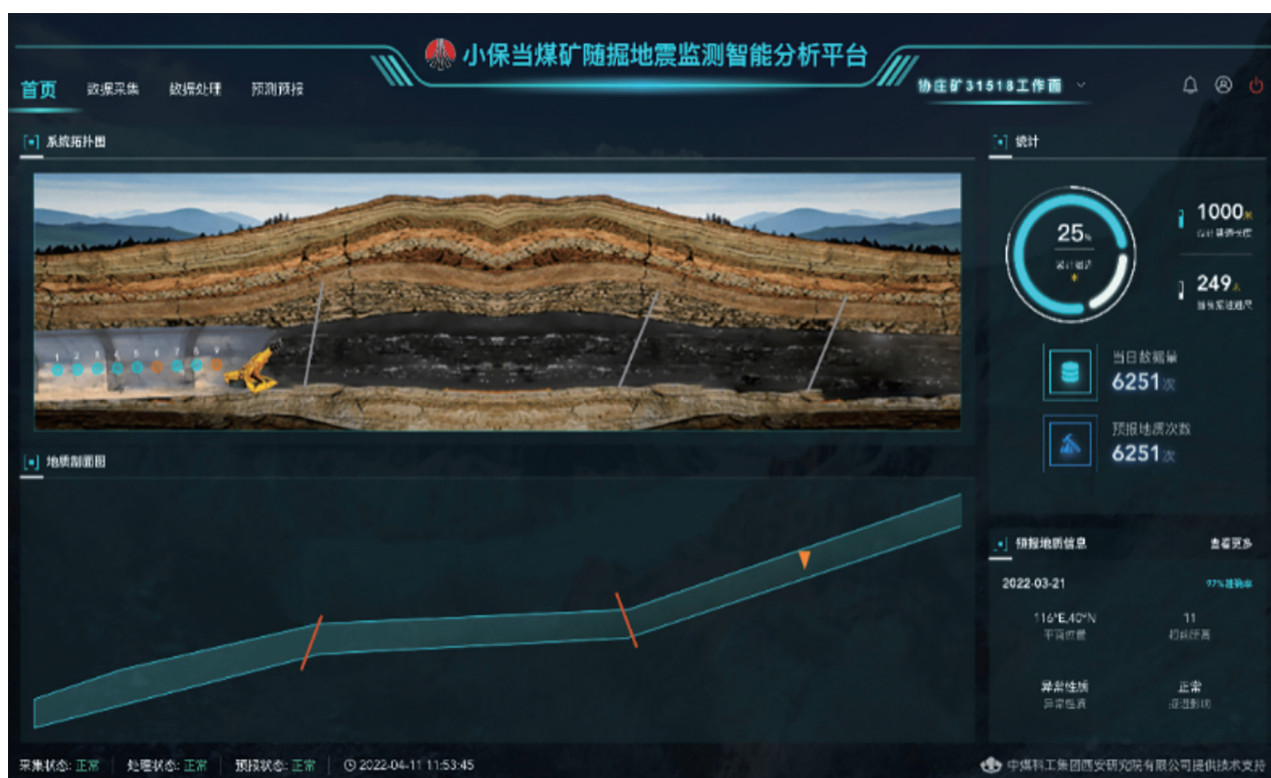
掘进工作面是煤矿生产的2个主要场所之一，

对掘进前方地质条件情况不明时，贸然开采易引发安全生产事故，如老空区透水、冒顶、陷落柱突水、煤与瓦斯突出等，掘进工作面前方的超前探测，精确查明隐蔽致灾地质因素，对煤矿安全高效生产至关重要。掘进工作面相关的现有超前探测技术主要包括探测地质构造体的瑞雷波法和反射槽波法、探测富水异常体的直流电法和瞬变电磁法，但这些技术均存在2个问题：一是在数据采集施工时要求停止掘进生产活动，降低采集现场的环境噪声，提高原始数据采集质量，这使得掘进和探测无法同步并行，频繁探测会严重影响生产，特别是在快速掘进时，探测速度无法跟上掘进速度；二是这些技术均属于单次静态探测，无法满足掘进工作面智能化实时动态监测的需求。

作为国家重点研发计划课题“井下随掘巷道地质异常体动态探测技术与装备”（2018YFC0807804）中“掘进巷道随掘地震动态探测技术与装备”子课题的负责人，王保利带领团队研发出随掘地震数据实时处理软件；发明无近场信号下掘进机震源格林的高精度重构技术，实现了随掘地震技术的理论突破；研发出独头巷道掘进机



回采工作面随采地震监测智能分析平台



掘进工作面随掘地震监测智能分析平台

震源自动定位技术和随掘地震数据高精度、“长曝光”成像技术。

掘进巷道随掘地震动态超前探测技术可实现对煤矿井下掘进工作面前方一定区域的地质构造进行动态智能精细探测,达到随掘随探、高效精细地查明煤矿井下采掘前方构造的目的,为煤炭资源的安全高效开采提供地质保障,现已成为煤矿智能化建设中地质保障领域的关键技术。

榜样示范 聚心合力引领矿井物探技术

2018年,王保利被授予“陕西好青年”荣誉称号,作为青年榜样,他始终能带头传播正能量,引领身边年轻人发光发热。

目前,井下地震勘探技术已经实现产业化,并在全国大范围推广,但仍然存在很大的技术发展空间,为培养团队整体的技术实力,他将自己多年的经验和技能毫无保留地分享给团队成员,得到了领导和同事的肯定和赞赏。“一个人的成功不算成

功,团队的成功才是真正的成功,聚心合力,才能集中力量办大事。”王保利说道。

王保利是中国煤炭科工集团地质保障创新团队负责人,团队以西安研究院物探研发中心核心研发人员为主创建,在当前煤矿开采从自动化向智能化过渡的关键时期,团队以采掘工作面的地质透明化建设为目标,确定针对采掘工作面的随采随掘实时、动态超前探测技术为主要研发方向。近年来,王保利团队相继研发出煤矿井下槽波透视技术与装备和反射槽波超前探测技术与装备2项科研成果,经中国煤炭工业协会组织鉴定,均达到国际领先水平。目前,团队研发的煤矿井下槽波探测技术引领了煤炭行业矿井物探技术的进步,相关成果入选煤炭工业“四个一批”名录,在全国12个大型煤炭基地得到广泛的推广应用,创收近亿元,为煤矿累计新增产值10亿元以上。项目研究期间,团队相继培养硕士5人、博士4人,8人被评为副研究员,4人被评为研究员。

■ 责任编辑:李金松