附件：

2022年度陕西省科学技术进步奖申报项目公示内容

**一、项目名称**

复杂条件金属矿深部资源电磁探测技术创新及应用

**二、提名单位及意见**

**提名单位：**陕西有色金属控股集团有限责任公司

**提名意见：**该项目是西安西北有色物化探总队有限公司针对山区复杂条件下金属矿深部资源找矿难题，自主立项，并与科研院所联合研发，通过开展全域多分量瞬变电磁法、短偏移距瞬变电磁法、地-坑广域电磁法、阵列式激发极化法、井中激发极化法等关键技术及配套设施的研发，建立了一套适用于复杂条件下金属矿深部资源大深度、高分辨率、抗干扰能力强的绿色、环保、经济、高效的地球物理勘查技术体系。项目获发明专利6项，国际创新专利4项，实用新型专利1项，软件著作权7项，发表SCI、EI论文15篇，制定国家地质矿产行业标准1项、中国地球物理团体标准1项、陕西省地方标准1项。研究成果在国内外数十个金属矿区得到了成功应用。累计探获金资源量44吨，铅锌资源量323.19万吨，铜资源量11.58万吨，铝土矿资源量4700万吨、银资源量130吨，潜在经济价值650亿元。近三年累计为矿山企业增加经营收入342292.48万元、税收76893.36万元、利润57966.25万元，取得了显著的社会效益和经济效益。

综上，该项目顺应国家产业政策导向，科技成果显著，经济和社会效益良好。特推荐为陕西省科学技术二等奖项。

**三、项目简介**

矿产资源是实现“两个一百年”奋斗目标的重要物质基础。随着我国改革开放40多年经济快速发展，已探明资源消耗殆尽，多种能源、金属矿产对外依存度超过60%。习近平总书记指出：“向地球深部进军是我们必须解决的战略科技问题” ，国土资源部相继提出“三深一土”“一核两深三系”的科技创新战略。寻找深部资源、提高矿产资源储备是我国应对国内外风险、实现第二个百年奋斗目标的重要物质基础。中共中央、国务院印发《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》、陕西省制定《陕西省秦岭生态环境保护条例》等文件，要实现谱写陕西高质量发展新篇章，必须解决现阶段深部找矿的瓶颈技术难题，走绿色勘查、持续发展道路。因此，项目针对山区特殊地形地貌、植被覆盖、矿山强干扰等复杂条件下金属矿深部资源找矿难题，通过开展全域多分量瞬变电磁法、短偏移距瞬变电磁法、地-坑广域电磁法、阵列式激发极化法、井中激发极化法等关键技术及配套设施的研发，建立了一套适用于金属矿深部资源大深度、高分辨率、抗干扰能力强的绿色、环保、经济、高效的地球物理勘查技术体系，形成我省具有自主知识产权的深部资源勘查核心技术，为实现深部矿产资源找矿突破、提升我省资源储备提供重要技术支撑。

项目突破的关键技术：

1.研发了回线源瞬变电磁全域多分量测量技术，显著提升了瞬变电磁法探测效率。传统回线源瞬变电磁法仅在发射回线中心1/3范围内观测单个分量，效率低、信息少。该技术将瞬变电磁法单点、单分量观测扩展为回线内外全域多点、多分量观测，大大提高了瞬变电磁测深的工作效率，同时提高了电磁响应信号的信息量。

2.创立了电性源短偏移距瞬变电磁探测理论与技术，将探测深度从传统方法探测所能达到的500米扩展到2000米，并实现精细探测）。该项目自主研发了电性源短偏移距瞬变电磁法技术，将发射至接收距离大于3000米传统远场观测模式改进为500米近区观测新模式，突破了传统近源区信号难以被利用的局限，提升了信号强度、带宽和灵敏度，实现精细探测，探测深度可达2000米。

3.创立了地-坑电磁探测理论与技术，实现地下（坑道）物探探测深度达到1000米以下。利用矿山坑道、井巷特殊空间，将观测装置放入地下，解决了常规井中（坑道）物探技术无法进行更大深度探测的技术难题，并将地下物探的有效探测深度拓展到施工中段（坑道）1000米以下。建立了一套地-坑电磁探测理论和应用技术体系，开发了相应的数值模拟和正反演软件，提高了解释精度。实现了在老矿山强干扰条件开展地下坑道大深度电磁勘探。

4.研发了阵列式激电方法技术及配套设施，极大地提高了探测效率。利用借线遥控装置改革现有的激电中梯、测深的观测方式，实现激电数据采集阵列化，同时引进、改造了传统的数据处理解释软件，建立了阵列式激电新工作体系，减少了施工劳动强度，工作效率提高1.5～2倍，使传统方法在工作效率上有了一个质的提升。

5.研发了井中激电、井地多源充电探测技术与配套装备，实现了深部矿体的精确定位。传统地面激电法探测深度小、深部目标体异常弱、分辨率低，对深部隐伏矿体定位能力差。该项目研发了井中（坑道）激电技术及配套设备，采用多方位地-井方式观测技术、井（坑）-地间接多源充电等创新手段，显著提升了激电数据质量和异常解释精度，实现了深部矿体的精确定位。

6.建立了复杂条件金属矿深部资源综合物探立体探测方法技术体系。地面以回线源全域多分量瞬变电磁、电性源短偏移距瞬变电磁、大功率阵列激电探测为主，普详查阶段利用钻孔、坑道提供的特殊空间，合理布置综合测井、地-坑电磁法、地-井（坑）方位激电、井（坑）-井（坑）激电、井（坑）-地激电充电及坑道精细电法。技术体系包括施工各阶段物探技术的方法理论、野外装置布设、数据采集、内业数据处理及异常解释等，形成一套完备、高效、实操性强的探测理论和技术体系。

7.建立了全国最大的三维水槽模拟实验室。为配合井中激电异常解释，专门建造了一个全国最大的实验水槽，创造性地探索出了一套在水槽中开展带三度地形的井（坑）中激电物理模拟实验方法技术，开展了系列的井（坑）中激电模拟实验，总结了井旁、井底盲矿不同产状、不同方位激发的异常特征和规律，有力地指导了生产实践，促进了方法技术的推广应用和发展。

项目成果获授权国家发明专利6项，国际创新专利4项，实用新型专利1项，软件著作权7项；发表SCI、EI论文15余篇；制定国家地质矿产行业标准1项、中国地球物理团体标准1项、陕西省地方标准1项。

项目核心技术、科研成果荣获中国地球物理学会地球物理工程奖金奖，全国机械冶金建材行业职工技术创新成果一等奖、陕西省企业“三新三小”创新竞赛一等奖。所发表论文荣获陕西省自然科学优秀学术论文一等奖、陕西省有色金属学会优秀论文一等奖、陕西省有色金属学会优秀论文一等奖等。

依托该项目先后培养博士后2人，博士3名，硕士6名；团队中8人晋升高级职称；1人入选陕西省“三秦学者”，1人入选陕西省领军人才，1人被评为科创中国陕西省企业“创新达人”。项目科研团队被陕西省委组织部授予“三秦学者”创新团队（省一流团队）。

经济效益：在国内外数十处矿山成功应用，实现矿山找矿突破。创新成果在北方铝土矿找矿应用中进一步延伸、转化，建立了一套我国北方沉积型铝土矿快速、高效的定位方法。项目整体技术成果在陕西、青海、内蒙、云南等省区及塔吉克斯坦重要铅锌矿田等数十个金属矿区成功应用，累计探获金资源量44吨，铅锌资源量323.19万吨，铜资源量11.58万吨，铝土矿资源量4700万吨、银资源量130吨，潜在经济价值650亿元，实现了金属矿深部外围地区找矿突破。近三年为企业增加经营收入342292.48万元、税收76893.36万元、利润57966.25万元。

社会贡献：该项目在10多年的研发、推广、应用中，推动了行业内激电、电磁方法技术的进步，成功策划、组织举办了全国有色系统井中激电新技术推广应用培训班、中国科协继续教育示范项目—地-空电磁探测高端前沿培训（2017）、首届“一带一路”地球物理国际论坛（2018）等全国性（培训）会议，为全国有色冶金行业地质找矿技术进步、推广应用做出了贡献。

陕西省地球物理学会的鉴定意见：本研究成果总体达到国际先进水平，其中“电性源短偏移距瞬变电磁理论与技术”和“地-坑电磁探测理论与技术”处于国际领先水平。

**四、客观评价**

陕西省科学技术情报研究院 2019 年 6 月 19 日对本项目全域瞬变电磁多分量测量、井（坑）激电技术、水槽模拟试验三个查新点进行了查新，最终结论是：“除委托单位相关研究报道外，其余相关文献未见明确述及综合上述技术特点的金属矿地面井中坑道综合电法立体电法探测研究。”

陕西省科学技术情报研究院 2022 年 6 月 10 日对本项目核心技术地-坑频率域电磁法应用于塔中矿业阿尔登托布坎矿区及外围地球物理勘查点进行了查新，最终结论是：部分文献与查新项目所述技术类似，但未明确述及地-坑（地面发射-地下坑道内探测）、采用地面-坑道可控源音频大地电磁法及地面-坑道可控源音频大地电磁探测方法。

桂林国际联机情报检索服务中心2017年8月4日对本项目中阵列式激电方法技术进行了立项查新，最终结论是：“本项目拟在自主研究的基础上，开展查新点1-6点所述技术特点的阵列式激发极化法研究，国内未见有相同的文献报道。”

2019年 12 月 21 日，陕西省地球物理学会组织专家在西安召开鉴定会议，对公司“复杂条件金属矿深部资源电磁探测技术创新及应用”项目成果进行了鉴定，鉴定意见要点如下：本研究成果总体达到国际先进水平，其中“电性源短偏移距瞬变电磁理论与技术”和“地-坑电磁探测理论与技术”处于国际领先水平，一致同意通过鉴定。

2018年 12 月 25 日，陕西省地球物理学会组织专家在西安召开鉴定会议，对公司“复杂条件金属矿综合电法立体探测方法技术与应用”项目成果进行了鉴定，鉴定意见要点如下：研究成果总体达到国内领先水平。建议进一步推广，并在应用中逐步完善。

2019年11月10 日，陕西省地球物理学会组织专家在西安召开鉴定会议，对公司“北方沉积型铝土矿综合地球物理探测技术及应用”项目进行了鉴定，鉴定意见要点如下：研究成果整体达到国内领先水平。

应用该项目部分成果完成的《塔中矿业阿尔登托布坎矿区及外围地球物理勘查》项目，经中国地球物理学会组织鉴定，鉴定意见要点如下：本研究成果总体达到国际先进水平。

在陕西、内蒙古、云南、青海、新疆等省区及塔吉克斯坦重要铅锌矿田等数十个金属矿区得到推广应用，成效显著。得到陕西西北有色地质调查院有限公司、宝鸡西北有色七一七总队有限公司、宝鸡西北有色二里河矿业有限公司、咸阳西北有色七一二总队有限公司、内蒙根河市森鑫矿业开发有限责任公司、宝鸡西北有色二里河矿业有限公司、青海省有色第二地质勘查院、新疆有色地质工程公司、西藏珠峰资源股份有限公司、昆明理工大学等十几家应用单位的高度评价。认为：该项成果是在矿区深部和外围复杂条件下开展找矿经济、快速、效果好的物探绿色勘查方法技术，实际应用勘查成果显著，指导了下步工程布置，提高了钻孔见矿率，大大降低了钻探、坑道工程的投入，节省了勘探总成本，减少了对生态环境破坏程度，是值得推广应用的物探方法技术。

**五、推广应用情况**

研究成果在陕西凤太矿田八方山、二里河等铅锌矿、八卦庙金矿、小秦岭地区陈耳金矿、山阳刘家坪、夏家店金矿、西藏珠峰塔吉克斯坦重要铅锌矿田、青海循化谢坑铜金矿、云南彝良毛坪铅锌矿、易门铜矿、内蒙古二道河子林场铅锌多金属矿、陕西、山西、河南铝土矿重点勘查区等全国数十个矿山深部和外围找矿工作中得到广泛应用，找矿成果显著。在陕西、内蒙、甘肃、青海、云南、四川、新疆等省区及塔吉克斯坦重要铅锌矿田等国内外数十个金属矿区得到了成功应用。累计探获金资源量44吨，铅锌资源量323.19万吨，铜资源量11.58万吨，铝土矿资源量4700万吨、银资源量130吨，潜在经济价值650亿元。近三年累计为矿山企业增加经营收入342292.48万元、税收76893.36万元、利润57966.25万元，取得了显著的社会效益和经济效益。

1. **主要知识产权**

| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权  名称 | 国家  （地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 发明  专利 | 一种地下目标体的瞬变电磁多分量合成方法和装置 | 中国 | ZL201610104011.3 | 2019.1.18 | 第3223068号 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 郭文波、薛国强、李 貅、底青云、崔江伟、刘银爱 |
| 2 | 发明  专利 | 一种地-井激发极化测量方法及相关设备 | 中国 | ZL201610727523.5 | 2018.12.14 | 第3180079号 | 中国科学院地质与地球物理研究所 | 薛国强、郭文波、侯东洋 |
| 3 | 发明专利 | 一种针对瞬变电磁法隧道超前探测的阵列天线源 | 中国 | ZL201610546221.8 | 2018.1.19 | 第2784157号 | 长安大学 | 李 貅、戚志鹏、孙乃泉、周建美、郭建磊 |
| 4 | 国际创新专利 | A Method for Grounded Shortoffset Transient Electroma- gnetic Geophysical Surveying | 澳大  利亚 | 2020101105 | 2020.7.15 | 2020101105 | 中国科学院地质与地球物理研究所 | 薛国强、陈卫营、郭文波、周楠楠、李 海、武 欣 |
| 5 | 国际创新专利 | A Method and Apparatus for Ground-tunnel Wide Field Electro- magnetic Surveying | 澳大  利亚 | 2020100984 | 2020.7.29 | 2020100984 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 郭文波、王宏宇、薛国强、秦西社、刘银爱 |
| 6 | 国际创新专利 | A Method for Positoning Sedi- mentary Bauxite Ore | 澳大  利亚 | 2020102186 | 2020.9.30 | 2020102186 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 郭文波、秦西社、薛国强、樊金生、刘银爱 |
| 7 | 国际创新专利 | A Method for Geoph- ysical observation Information Fusion | 澳大  利亚 | 2020101108 | 2020.6.24 | 2020101108 | 中国科学院地质与地球物理研究所 | 武 欣、薛国强、底青云、郭文波、孟军海 |
| 8 | 实用新型专利 | 一种阵列式激发极化法勘探装置 | 中国 | ZL201922324221.5 | 2020.6.12 | 第10725370号 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 樊金生、郭文波、葛为中、杨文刚、王备战、雷 振 |
| 9 | 行业  标准 | 直流充电法技术规程 | 中国 | DZ/T0186-1997 | 1997.7.1 | DZ/T0186-1997 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 樊金生、郭文波、张云明 |
| 10 | 团体  标准 | 电性源短偏移距瞬变电磁法技术规程 | 中国 | T/CGS002-2021 | 2021.4.10 | T/CGS002-2021 | 中国科学院地质与地球物理研究所、西安西北有色物化探总队有限公司 | 薛国强、陈卫营、郭文波、李 海、底青云 |

**七、主要完成人情况**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 郭文波 | 排名 | 1 |
| 行政职务 | 党委书记、执行董事、总经理 | 技术职称 | 教授级高工 |
| 工作单位 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 完成单位 | 西安西北有色物化探总队有限公司 |
| 对本项目主要学术和技术创造性贡献 | 全面负责研发工作，创新点1、2、3、4、5有贡献：研发了瞬变电磁全域多分量测量与矢量合成技术。研发了井中激电、井地多源充电探测技术与配套装备。研发地-坑电磁探测技术、阵列式激电方法技术及配套设施。建立了一套综合地球物理探测异常解释的思路和方法，形成系列的异常解释方法技术体系。组织实施了物理模拟实验，系统总结了不同装置激电观测的异常特征、异常规律。⑥负责成果推广应用、科技成果转化及团队、人才培养。 | | |
| 姓名 | 薛国强 | 排名 | 2 |
| 行政职务 | 无 | 技术职称 | 研究员 |
| 工作单位 | 中国科学院地质与地球物理研究所 | 完成单位 | 中国科学院地质与地球物理研究所 |
| 对本项目主要学术和技术创造性贡献 | 项目主要参与人，对创新点1、2、3、4有贡献：提出点电荷载流微元理论，实现近源电磁场精细计算，为近源电磁探测方法建立基础；建立电性源短偏移距瞬变电磁法，将传统3km远源观测模式改进为0.5km近源观测新模式，实现近源强幅值、高分辨电磁信号的有效拾取与利用；在全国数十个矿区开展项目创新技术推广应用，取得显著效益。 | | |
| 姓名 | 李貅 | 排名 | 3 |
| 行政职务 | 无 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位 | 长安大学 | 完成单位 | 长安大学 |
| 对本项目主要学术和技术创造性贡献 | 项目主要参与人，对创新点1、2、3、4有贡献：提出大回线全域多分量观测方法，将瞬变电磁中心回线装置观测范围从中心一个点扩展到大回线内外全域、多分量测量，可获得更丰富的电磁响应信息，同时大大提高了瞬变电磁测深的工作效率；建设了目前国内规模最大的多参数地球物理模拟实验室，实现了物理模拟、数值模拟为一体的三维仿真体系，开展了系列模拟实验，总结了矿体不同产状、不同方位瞬变电磁异常特征和规律，有力地指导了生产实践，促进了方法技术的应用和发展。 | | |
| 姓名 | 陈靖 | 排名 | 4 |
| 行政职务 | 副主任 | 技术职称 | 高级工程师 |
| 工作单位 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 完成单位 | 西安西北有色物化探总队有限公司 |
| 对本项目主要学术和技术创造性贡献 | 项目主要参与人，对创新点1、4、5有贡献：参与瞬变电磁数据处理、解释方法研究。参与SOTEM方法应用研究、编制陕西省地方标准——电性源短偏移距瞬变电磁法技术规程。参与项目应用研究和成果推广工作，完成本技术在陕西北方沉积型铝土矿勘查中数据处理、综合解释工作，分析论证本方法技术在铝土矿勘查中的有效性。 | | |
| 姓名 | 王宏宇 | 排名 | 5 |
| 行政职务 | 副总经理 | 技术职称 | 高级工程师 |
| 工作单位 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 完成单位 | 西安西北有色物化探总队有限公司 |
| 对本项目主要学术和技术创造性贡献 | 项目主要参与人，对创新成果1、4、5有贡献：负责地-坑电磁探测理论研究与数据处理解释技术研发。参与项目应用研究和成果推广工作，完成本研究成果在陕西北方沉积型铝土矿以及塔吉克斯坦铅锌矿田勘查中数据处理、综合解释工作，获得了显著的找矿成果；获得国际创新专利1项，获得软件著作权1项、国际领先科技成果1项。 | | |
| 姓名 | 武欣 | 排名 | 6 |
| 行政职务 | 无 | 技术职称 | 副研究员 |
| 工作单位 | 中国科学院地质与地球物理研究所 | 完成单位 | 中国科学院地质与地球物理研究所 |
| 对本项目主要学术和技术创造性贡献 | 项目主要参与人，对创新成果3有贡献：提出一种基于深度学习的多元地球物理信息融合方法；实现了对观测数据多源噪声的一站式精细处理；实现了“瞬变电磁法+N”的多元数据综合处理。 | | |
| 姓名 | 戚志鹏 | 排名 | 7 |
| 行政职务 | 无 | 技术职称 | 副教授 |
| 工作单位 | 长安大学 | 完成单位 | 长安大学 |
| 对本项目主要学术和技术创造性贡献 | 项目主要参与人，对创新成果1、2有重要贡献：实现电性源地空瞬变电磁虚拟波场偏移成像解释技术；实现瞬变电磁虚拟波场Born近似成像解释技术；实现地空瞬变电磁S-inversion快速成像解释方法。 | | |
| 姓名 | 刘敏 | 排名 | 8 |
| 行政职务 | 无 | 技术职称 | 高工程师 |
| 工作单位 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 完成单位 | 西安西北有色物化探总队有限公司 |
| 对本项目主要学术和技术创造性贡献 | 项目主要参与人，对创新成果1、4、5有贡献：参与数值模拟和物理模拟研究工作。参与编制电性源短偏移距瞬变电磁法地方标准。参与项目应用研究和成果推广工作，分析论证本方法技术在多金属矿勘查中的有效性，促进了本方法的应用推广。 | | |
| 姓名 | 刘银爱 | 排名 | 9 |
| 行政职务 | 无 | 技术职称 | 工程师 |
| 工作单位 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 完成单位 | 西安西北有色物化探总队有限公司 |
| 对本项目主要学术和技术创造性贡献 | 项目主要参与人，对创新成果1有贡献：参与数值模拟和物理模拟研究工作。参与瞬变电磁全域多分量测量观测技术与数据处理、解释方法研究。改进了瞬变电磁扩散场到虚拟波场的全时域转换算法，为实现瞬变电磁偏移成像奠定了基础。完善了瞬变电磁全域多分量电阻率定义方法。 | | |

**八、主要完成单位排序及贡献**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目排名 | 完成单位 | 对项目的贡献 |
| 1 | 西安西北有色物化探总队有限公司 | 主要贡献如下：（1）研发了回线源瞬变电磁全域多分量测量技术，阵列激电方法技术，提出了井中多源间接充电方法技术。创造性地发明了一种带地形的三度体模型的制作方法和在水槽中开展带三度地形的井中激电物理模拟的实验方法技术。（2）创建了地-坑电磁探测技术，突破了电磁法的传统观测方式，丰富了电磁勘探的理论与工作模式，解决了常规坑道（井中）物探技术无法进行更大深度探测的技术难题。形成了从理论推导、数值模拟、野外观测装置设计、数据采集、数据处理、反演解释等一套完整的方法技术体系，为金属矿山寻找深部资源提供技术支撑。（3）研发了阵列激电方法技术与配套设施、井下多电极系、利用电流远程判别观测信号极性的装置，及特殊环境下开展电磁法工作的辅助设施等，解决了井中、坑道等条件下观测及信号极性识别等关键技术。（4）针对金属矿区地形条件复杂、交通困难、地形影响严重、工作难度大及异常解释多解性等突出问题，提出了利用金属矿探采过程中形成的有利空间，开展地面-地下（钻孔、坑道）综合地球物理立体探测的技术思路和方法技术。在项目实施过程中，注重方法技术的推广与应用，研究成果在国内外多个勘查单位数十个矿山得到成功应用，找矿效果显著，取得了巨大的经济效益和社会效益。 |
| 2 | 中国科学院地质与地球物理研究所 | 主要贡献如下：（1）创立了适合于山地区开展工作的短偏移瞬变电磁法（在国际上命名为SOTEM）。建立了近场地层波探测理论。该方法直接在时间域推导出瞬变电磁精确解，恢复瞬变电磁场最本质的属性——因果律，避免了频时转换中的截断误差，通过构建地层因子，厘定出近场地层波，以不忽略源位置矢量的点电荷为积分微元，获得地层波精确响应。所开发的SOTEM一站式噪声去除技术，探测精度提升1.5倍，解决了矿区、山区和厚层覆盖区等情况下2000米以浅精细探测的实际难题。（2）研制了电性源短偏移距瞬变电磁法技术标准（中国地球物理团体标准）。研究成果在全国30个多单位得到推广应用，取得了显著的经济效益和社会效益。 |
| 3 | 长安大学 | 主要贡献如下：（1）提出大回线全域多分量观测方法，将瞬变电磁中心回线装置观测范围从中心一个点扩展到大回线内外全域、多分量测量，可获得更丰富的电磁响应信息，提高了数据质量，并大大提高了瞬变电磁测深的工作效率；（2）对时间域的瞬变电磁场逆时偏移成像进行了深入研究，基于克希霍夫积分与Born近似反演等，实现了电性源与回线源的瞬变电磁虚拟波场的偏移成像，完善了瞬变电磁三维拟地震偏移成像理论；(3)研发了一种电磁勘探线圈支架铺设方法，获得国家发明专利1项。研究成果在多个矿区隠伏找矿应用中取得了显著的勘查效果。 |

**九、完成人合作关系说明**

项目主要完成人员有郭文波、薛国强、李貅、陈靖、王宏宇、武欣、戚志鹏、刘敏、刘银爱9人，这些人员以多种方式参与了项目实施，包括共同立项、设计、实施、申请专利、合著专著、合著论文及报告撰写等，集体成果为复杂条件金属矿深部资源电磁探测技术提供了科学依据。

**十、完成单位合作关系说明**

本项目由西安西北有色物化探总队有限公司联合中国科学院地质与地球物理研究所、长安大学完成。西安西北有色物化探总队有限公司作为本项目主体单位，在人力、财力、物力方面提供了有力保障。二十年多年来，针对实际生产中遇到的关键理论、技术难题，内联外合，组织、邀请技术骨干和专家进行联合攻关，解决了综合地球物理探测关键技术难题，研发了“复杂条件金属矿深部资源综合物探关键技术及配套设备”。中国科学院地质与地球物理研究所结合西安西北有色物化探总队有限公司在秦岭地区、渭北黄土厚覆盖区多年的找矿实践及深部隠伏找矿需求，创立了了适合于山地区开展工作的短偏移瞬变电磁法（在国际上命名为SOTEM），建立了近场地层波探测理论。长安大学电磁研发团队长期从事瞬变电磁法探测理论和技术研究开发，结合西安西北有色物化探总队有限公司在秦岭地区、渭北地区多年的找矿实践及深部隠伏找矿需求，提出大回线全域多分量观测方法，对时间域的瞬变电磁场逆时偏移成像进行了深入研究，完善了瞬变电磁三维拟地震偏移成像理论，研发了一种电磁勘探线圈支架铺设方法等相关电磁技术。负责及参与单位分工明确、责任清晰。