

# 化探深部预测新方法综述

李 惠, 禹 斌, 李德亮, 马久菊, 许丽云, 魏 江, 赵佳祥  
张 强, 司淑云, 杨亚娟, 贺容华

(中国冶金地质总局地球物理勘查院, 保定 071051)

**摘 要** 总结了近 20 年来国内、外化探深部预测新方法、新技术研究成果, 论述了各种方法的特点、有效性及其应用条件, 在此基础上, 提出了目前在深部盲矿—或隐伏矿预测的化探最佳方法及在不同条件下的最佳方法组合。

**关键词** 深部预测 化探新方法 综述 最佳方法

**中图分类号**: P632; P612 **文献标识码**: A **文章编号**: 1674 - 7801 (2010) 02 - 0156 - 05

国内外找矿的实践证明, 化探预测深部盲矿或隐伏矿—盲矿是一种直接、有效的方法技术。在深部预测中化探有多新方法, 不同种方法各有其特长及其应用条件, 为了以同样投资取得最好的找矿效果, 本文全面总结了国内外 20 年来化探深部预测新方法、新技术研究的新进展, 并总结了各种方法在矿区深部及其外围找盲矿或隐伏矿的效果, 据此, 提出了目前深部预测盲矿或隐伏矿的最佳化探新方法及其最佳方法组合。

## 1 深部预测的化探新方法、新技术研究的新进展<sup>[1~14]</sup>

近 20 年来, 在矿区深部及其外围找盲矿, 国内、外都做了大量研究工作, 开拓的化探新方法、新技术主要有: 原生晕法、原生叠加晕法、构造叠加晕法, 包裹体气晕、离子晕及其叠加晕法, 矿物地球化学法及同位素地球化学方法等; 在厚覆盖矿区找隐伏矿的化探新方法、新技术有汞气测量法 (壤中气汞测量、土壤吸附汞测量)、地电化学法 (电提取法、土壤离子电导率)、地气法、综合气体地球化学方法 ( $H_2$ 、 $SO_2$ 、 $CO$ 、 $CS_2$ 、 $COS$  等)、烃类测量、相态分析、元素活动态测量 (水提取相、非晶质铁锰氧化物相、有机络合相、活动态等)、卤素地球化学法 (岩石、土壤卤素测量和土壤热释卤素测量) 等等。

我国在上述方法研究中都取得了新的突破, 其中在预测矿区深部盲矿的构造叠加晕找矿法和包裹体气晕和离子晕法, 在运积物厚覆盖找盲矿或隐伏矿的汞蒸气测量、地电化学、深穿透—地气法、卤素测量等方法的研究与应用都达到了国际先进水平或国际领先水平。

## 2 深部预测化探方法研究成果及其找矿效果

### 2.1 原生晕方法——构造叠加晕法找矿模型研究的主要成果<sup>[1~12]</sup>

原生晕方法又称岩石地球化学方法, 认为是寻找热液成因盲矿的最有效的好方法。

我国应用原生晕找盲矿的研究, 自 20 世纪 50 年代谢学锦、邵跃、欧阳宗圻、吴承烈等人就开始了。在 50 多年中, 地矿、冶金、有色等系统及地质院校的化探专家都相继做了大量研究工作, 在研究原生晕分带理论和方法技术方面都取得了一系列开创性成果。使原生晕找矿发展为原生地球化学异常模式和找矿模型, 90 年代以来, 李惠等又将原生晕找盲矿法发展为原生叠加晕法、构造叠加晕法。

有关原生晕—或岩石地球化学找盲矿方法发表论文已有百余篇, 其中 1985 ~ 1998 年 9 年间出版

[收稿日期] 2009 - 10 - 22

[第一作者简介] 李 惠 (1937—), 男, 1964 年毕业于北京地质学院, 教授级高工, 主要从事勘查地球化学新方法新技术研究工作。

了多部专著,有代表性的是:1985年以张本仁、孙焕振、李善芳等主编的《勘查地球物理勘查地球化学文集》(地质出版社),1990年由欧阳宗圻、李惠、刘汉忠编著的《典型有色金属矿床地球化学异常模式》(科学出版社),1991年由李惠编著的《石英脉和蚀变岩型金矿床地球化学异常模式》(科学出版社),1993年赵伦山、吴悦斌、沈镛立著的《基岩地球化学测量方法》(地质出版社),1996年邹光华、欧阳宗圻、李惠 等著的《中国主要类型金矿床找矿模型》(地质出版社),1997年王继伦、李善芳、齐文秀、朱有光、傅祥麟等著的《中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用》(地质出版社),1997邵跃的《热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿》(地质出版社),1998年吴承烈、徐外生、刘崇民的《中国主要类型铜矿勘查地球化学模型》(地质出版社)。

随着对金矿原生晕轴向分带的研究的不断深入,原生晕研究出现了难题,发现很多矿床的原生晕轴向分带常出现反常,如前、尾晕同时出现、地球化学参数多次转折、原生晕轴向分带序列出现反分带等问题,用一般原生晕理论难以解释,困惑了化探专家几十年。90年代以来,李惠据金矿成矿具有多期多阶段叠加的特点,应用“叠加成矿成晕理论”,提出了原生晕叠加理论,不但对上述难题作出合理解释,而且提取出了更优化的找盲矿信息,并于1998年出版了《大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型》(李惠、张文华、常凤池、郑涛等编著)和2006年1月由地质出版社出版了《金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果》(李惠、张国义、禹斌主编)。

#### 2.1.1 原生晕找矿模型研究及其应用效果

原生晕或岩石地球化学异常模式是对一个具体矿体、矿床、矿田的元素组合、含量变化、特别是异常发育特点及其分带特征的客观反映和高度概括,用异常模式图表示,并有文字说明;原生晕(岩石地球化学)找矿(勘查或预测)模型是指在建立了矿体、矿床、矿田地球化学异常模式的基础上,进一步概括总结出了地球化学找矿标志及找矿方法,是异常模式(含图)、找矿标志和找矿方法的集成。

(1) 有色金属矿床地球化学找矿模型研究的主要成果<sup>(1)</sup>

在“六五”期间,冶金部立项,由欧阳宗圻教授为首,李惠、刘汉忠等组织冶金17个科研院所及大专院校联合研究有色金属矿床地球化学异常模式,先后对金、铅、锌、银、铜、钼、钨、锡、锑、铌、钽等11

个矿种(矿床类型包括热液型铜、钨、锡、钼、锑矿、绿岩带型金矿、斑岩型铜钼矿、矽卡岩型铜钼矿、脉状钨矿、层控铜铅锌矿等)进行了系统研究,并建立了矿田、矿床(体)的地球化学找矿模型:包括异常模式和盲矿预测标志及判别矿体剥蚀程度的指标或数学模型。各矿区用模型预测,都取得了好的找矿效果。有色金属矿床地质体化学异常模式的建立,不仅发展了地球化学找矿理论,开拓了化探模式化找矿的新路,是化探找矿发展中的一次飞跃,提高了化探找有色金属盲矿的效果,为在有色金属矿区深部及其外围盲矿预测提供了一套有效方法技术。

(2) 铜矿床地球化学找矿模型研究的主要成果<sup>(8)</sup>

地矿系统在研究矿田、矿床和矿体地球化学异常模式和找矿模型方面做了大量研究工作,取得了丰硕的成果。在“八五”期间,由吴承烈、徐外生、刘崇民等完成的地矿部重点科研项目“中国主要类型铜矿隐伏矿地球化学预测指标研究”成果中,全面地总结了作者和地矿系统生产、科研及教学领域的化探工作者近30余年在铜矿地球化学勘查中取得的主要成果,以成矿带、矿田、矿床不同级次的地质、地球化学和地球化学勘查为基础,研究和建立了包括斑岩铜钼矿、夕卡岩型铜矿、复合型铜矿、岩浆型铜镍矿、海相火山岩型铜矿、沉积变质-热液改造型铜矿、热液脉型铜矿等七种类型矿床的地质-地球化学异常模式和地球化学勘查模式-模型系统,应用模式-模型预测取得了显著效果,在铜矿区深部及其外围找盲矿具有重要实用价值。

(3) 中国主要类型金矿地球物理、地球化学综合找矿模型研究主要成果<sup>(5)</sup>

“八五”期间,国家科委把建立“我国主要类型金矿床综合方法找矿模型”作为国家重点黄金地质科技攻关项目,由邹光华、欧阳宗圻、李惠、周庆来、薛裕鹤、郭瑞栋、郑兆芬负责,组织地矿部、冶金、有色、核工业、武警黄金5个系统的联合攻关,研究地区有胶东、冀东、冀北、晋北、陕西小秦岭、桐柏—大别山、川西北、黔西南、桂西北、内蒙乌拉山—大青山、西秦岭、甘南、甘肃北山、湘中、河南熊耳山—崆山、海南、云南、吉林夹皮沟等21个金矿区带的68个典型金矿床(田)的地质—地球物理—地球化学异常特征,根据不同的成矿地质条件和矿床成因系统地研究和总结了我国主要类型金矿床——绿岩带型、变质碎屑岩型、沉积岩系和火山—次火山岩型等4种主要类型金矿床(田)的地质—地球物理—地球

化学异常模式和找矿模型,提供了在不同类型的典型金矿区应用物、化探找矿预测的具体指标和技术参数,大大提高了我国金矿的物、化探找矿技术水平,用模型在几十个金矿区及其外围进行找矿预测,都取得了显著找矿效果,其中包括了李惠研究金矿原生叠加晕概念模型及其找矿标志,原生叠加晕概念模型并在1996年在北京召开的30届国际地质大会展出。

## 2.1.2 原生叠加晕—构造叠加晕找盲矿新方法

### 新技术研究成果及找矿效果<sup>[10,11]</sup>

(1) 原生叠加晕法:是90年代以李惠为首开创的找盲矿新方法、新技术。

在研究原生晕找盲矿理论(热液成因的矿床(体)的原生晕有明显的轴向分带:即每次成矿形成的矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕,其前缘晕可达几百米)基础上,李惠根据热液成因的矿床成矿具有多期多阶段脉动叠加特点,提出了原生晕脉动叠加理论,即矿床(体)的原生晕的形成是多期多阶段脉动成晕叠加结果,据此,提出了新的研究思路和研究内容,不仅研究不同成矿期次的元素组合及单阶段形成矿体(晕)的轴向分带(发现矿体的前缘晕、近矿晕和尾晕特征指示元素组合及其浓度特征),而且还要研究识别不同阶段形成原生晕在空间上的叠加结构,建立矿床的叠加晕模式,确定盲矿预测标志,并用模式和标志在矿区深部及其周围进行盲矿预测,开创了原生叠加晕找矿新方法、新技术。

(2) 构造叠加晕法:根据热液型矿床成矿成晕严格受构造控制,其原生叠加晕分布于构造及其上下盘围岩中,一般在构造内矿体的原生晕最发育,前缘晕指示元素可在矿体前缘200m形成异常,而上、下盘晕一般只有几至几十米,由于应用原生晕预测盲矿预测的关键是研究矿体(晕)的轴向分带特点,研究构造中的原生叠加晕的轴向分带及其叠加结构足以反映矿体(晕)的总体轴向分带,只在构造带中采样,不但强化了异常或找矿信息,而且大大减少了采样量和分析费用,提高了工作效率和找矿效果。构造叠加晕找盲矿新方法有一套特有的研究方法和工作方法,并制定了严格的特殊采样方法,即采样是在野外详细观察的基础上,在构造蚀变带中选择与成矿有关的蚀变或矿化叠加部位采集样品。

(3) 构造叠加晕的创新点:提出了原生晕形成的脉动成晕叠加理论、新的研究思路和研究内容。其技术进步表现在提高了原生晕解释水平,解

决了困惑化探专家几十年的难题,不仅对用一般原生晕理论不能解释而认为杂乱无章的原生晕轴向“反常”、“反分带”等异常现象做出了合理解释,而且将“前、尾晕共存”、“反分带”和“地化参数轴向转折”的等无规律的反常现象变成了预测深部盲矿存在的重要标志。

(4) 构造叠加晕预测深度:研究表明,矿体前缘晕沿构造离开矿头距离一般为250~300m,构造叠加晕法预测深度也为250~300m。但找矿预测深度则决定于采样取得叠加晕信息的深度,若在地表采样可预测250~300m之下盲矿体;若在600m深的坑道或钻孔采样,可预测850~900m之下的盲矿体;若在1000m深的坑道或钻孔采样,可预测1250~1500m的盲矿体。李惠等采用构造叠加晕法对山东乳山金矿、新城金矿、三山岛金矿、平度大庄子金矿深部1500~2000m进行盲矿预测,都取得了很好的效果,对河南文峪金矿、秦岭金矿深部预测,在1100~1500m找到了第二富集带盲矿体。

(5) 构造叠加晕法在危机金矿山深部及其外围找盲矿应用证明,预测的准确性高,效果显著,已取得了巨大经济和社会效益:90年代以来,应用其构造叠加晕模型对40多个危机大中型金矿区深部及外围盲矿预测,共提出了盲矿预测靶位400余个,预测金金属量超过400t,到2008年底,一些矿山对部分预测靶位用钻孔或坑道进行了验证,如河南秦岭金矿、河南文峪金矿、山东蓬莱黑岚沟金矿、乳山三甲金矿、陕西太白金矿、辽宁凤城白云金矿等部分矿山就已获金金属量达176.6t(大型金矿20t),已取得了显著找矿效果,也取得了巨大的经济和社会效益。实践证明,该方法是解决矿山资源危机,预测矿山深部盲矿有效的新方法、新技术。经专家鉴定,构造叠加晕研究达到了国际领先水平,已获中国黄金协会科技进步一等奖6项。发表专著两部、论文60余篇。《危机矿山深部预测盲矿的新突破——构造叠加晕找矿法》被中国地质学会评选为2008年度十大地质科技成果。

## 2.1.3 包裹体气晕、离子晕及其叠加晕找金盲矿新方法<sup>[6]</sup>

金矿包裹体地球化学研究,国内外都侧重于从理论上研究金矿成矿溶液的成份、性质及成矿物化条件,而用于直接找盲矿体较少。李惠等与北京有色地质研究院姜元生、王真光等合作,根据金矿成矿成晕多期多阶段叠加的特点,系统研究了10个典型金矿床不同成矿阶段形成石英包裹体的温度和包裹

体的气相成分、液相成分、相对光密度的特点,在研究各阶段石英包裹体气晕(气相成分)、离子晕(液相成分)的轴(垂)向分带时,发现了气相成分中 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ ,液相 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 是矿体的特征前缘晕;液相成分中 $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Mg}^{+2}$ 是尾晕的特征指标。总结出了石英脉型金矿深部盲矿预测的包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的模型。在一些金矿区应用,取得了很好的找盲矿效果。为在矿区特别是危机矿山深部及外围盲矿预测又提供了一种有效方法和手段。

包裹体气晕、离子晕及其叠加晕新方法预测深度与构造叠加晕相同,也决定于采样取得叠加晕信息的深度。由于该方法的样品制作、分析成本较高,应用较少。

## 2.2 厚覆盖矿区找隐伏矿的化探新方法、新技术——后生叠加晕法

在厚覆盖区(包括外来运积物如冲积层、黄土、戈壁等覆盖区和厚层基岩覆盖的地区)找隐伏或隐伏盲矿方法——统称为后生叠加晕法,在国内、外研究和开创的新方法、新技术中,我国应用于矿区及其外围预测隐伏矿或隐伏盲矿研究较多,并取得了较好效果的是汞气测量、地电化学方法、地气、卤素方法等。

关于后生叠加晕形成机理——即隐伏矿或隐伏盲矿在矿体上方土壤中的成晕机理有多种理论,如地电化学理论、地球气理论等等,但很多专家认为后生叠加晕的形成是深部矿体在长期地质历史的各种地质营力(地球气、地电化学、水化学、构造—毛细作用、气体等)作用下,成矿及伴生元素不断活化,并以各种形式垂直向上迁移,在地表土壤中形成的后生叠加晕(呈气态、离子、吸附态、化合物等等)。研究和提取这些异常或信息是预测深部隐伏矿或隐伏盲矿的重要依据。

在隐伏区土壤后生叠加晕从地表预测盲矿或隐伏盲矿体深度:目前研究预测在500 m以上,预测500~1000 m盲矿研究较少,作者与桂林地研院周明奇教授合作研究了800~1160 m深部金矿体的后生叠加晕,在地表对应位置发现了明显土壤热释汞气、电吸附提取Au、Ag、Cu、Pb、Zn异常和电导率异常。

### 2.2.1 汞气测量方法研究成果及用于矿区找隐伏矿的效果

国内、外都做了大量汞气测量的研究工作。我国是自20世纪60年代以来开始汞气测量研究,主要是研究土壤中气汞测量、土壤吸附汞测量找隐伏

矿方法,其中中国地质大学阮天健、张承亮等,地矿部郑康乐、伍宗华、金仰芬等,冶金胡国廉、田俊杰、常凤池等,有色栾继琛、靳德荣、王维熙等,核工业以游云飞等及武警黄金部队的化探专家,在研究汞气找隐伏矿方面都取得了突出成果:研究了不同景观、不同覆盖条件下(黄土、红土、冲积层、戈壁、森林、沼泽等)不同矿种(金、银、铜、铅、锌、钼、钨、锡、汞、锑、铀、铁、锰、镍等)汞气异常特征、异常解释评价方法及其形成机理,并做了模拟试验研究。

汞气测量应用于普查、详查和矿山及其外围找隐伏矿,都取得了显著效果,如冶金物化探研究所在广东厚婆岭多金属矿山外围覆盖区找隐伏矿,发现了一个铅锌银大矿,使该矿生产起死回生,得到了持续发展。

### 2.2.2 地电化学方法及其找隐伏矿的效果<sup>(12)</sup>

地电化学找矿方法是一种物、化探相结合的新方法、新技术。地电化学找矿有多种方法,其中对地电提取方法、土壤电吸附提取法、土壤离子电导率测量方法研究和应用较多。国内、外对地电化学找矿都做过大量研究工作,总结出了不同覆盖条件下不同矿床的地电化学异常模式及评价指标,还系统地研究了地电化学异常形成机理和总结出了土壤离子电导率测量方法和地电提取方法的工作方法和应用条件,其中桂林工学院罗先熔教授等对地电化学找矿方法的研究成果最多,并于1996年由冶金工业出版社出版了专著“地球电化学勘查及深部找矿”,2007年由罗先熔、康明、欧阳菲等著、地质出版社出版了《地电化学成晕机制、方法技术及找矿研究》,总结了该方法的理论、成晕机制及模拟实验证据,在30余个矿区开展了方法可行性研究,在20多个矿区外围及深部找矿预测研究,获得了好的理论成果和找矿效果。2006年冶金工业出版社出版了由周奇明、卢宋柳、黄书俊等著的《电吸附地球化学找矿法》。

### 2.2.3 应用卤素找隐伏矿和盲矿的研究及其效果<sup>(13)</sup>

应用卤素(F、Cl、Br、I)找盲矿,国内、外有不少研究和报道。我国地矿、冶金、有色等系统都开展了大量研究工作,取得了很多成果,也取得了较好找矿效果。其中原冶金部桂林地研所王真光等研制出了一套简单、快速、灵敏度高的卤素分析方法。1979年由冶金部桂林地研所李惠等与广西272队斑义江、林凡等合作,首次系统研究和总结了两江热液型铜矿床的卤素地球化学特征及找矿标志,根据地表土壤卤素(I、F)预测基岩200 m之下深部盲矿,取

得了很好的找矿效果,也是我国应用卤素找盲矿的最好实例。同年,李惠等又与广西 271 队合作,对广西栗木钨、钼、钨、锡矿床中 F 的地球化学行为及其指示意义进行了深入研究,总结出了应用 F 预测钨、钼、钨、锡矿盲矿的模型。初绍华对卤素找矿进行了全面总结。

1980 年以后,拓宽了卤素找矿思路,冶金物勘院物化探研究所又开创性地研究了土壤热释卤素法,可有效消除干扰异常,使应用卤素找隐伏矿的方法又是一次飞跃。厚覆盖区找隐伏矿的实践表明,卤素和土壤热释卤素法在矿区及其外围厚覆盖区找隐伏矿是一种有效的新方法、新技术。

90 年代冶金—有色初绍华、地矿徐外生等曾对卤素找盲矿作过总结。该方法应是找盲矿和在厚覆盖区预测隐伏矿或隐伏盲矿很有发展前景的方法,但目前由于卤素分析灵敏度较低等原因,研究应用较少。

### 3 矿山深部盲矿预测的最佳化探新方法及其最佳组合

综合国内、外各种化探方法的研究成果及其在矿区深部找盲矿效果,特推荐在不同情况或不同条件下采用的最佳化探新方法及其最佳组合:

(1) 在矿区深部,特别是在已知矿体深部寻找盲矿或第二个矿体富集带,采用构造叠加晕方法是最佳方法。首先研究和建立区内已知矿床的构造叠加晕模式和盲矿预测标志,用建立的模式及标志对矿区深部预测。

(2) 矿区为厚层外来运积物(黄土、冲积层、戈壁等)覆盖区寻找隐伏矿或盲矿,土壤地电提取或土壤电吸附提取法、电导率测量、土壤热释汞、土壤热释卤素法联测方法为最佳组合方法。首先研究区内已知矿床(体)上方土壤中的异常特征,作为异常评价标志。

(3) 矿区为厚层外来运积物,若矿山有深部工程(钻孔或坑道)能采构造叠加晕样品,建议采用构造叠加晕法预测深部盲矿体是否存在,用地表土壤地电提取、电导率测量、土壤热释汞定位,配合找盲矿效果会更好。

## 4 小结

实践证明,对矿山深部盲矿预测,构造叠加晕法效果显著;在矿区为运积物厚覆盖区,寻找隐伏矿或盲矿地电提取方法和电吸附方法效果显著。

## 参考文献

- [1] 欧阳宗圻,李惠,刘汉忠,等.典型有色金属矿床地球化学异常模式[M].北京:科学出版社,1990.
- [2] 李惠.石英脉和蚀变岩型金矿床地球化学异常模式[M].北京:科学出版社,1991.
- [3] 张本仁.勘查地球物理勘查地球化学文集,第2集[M].北京:地质出版社,1985.
- [4] 孙焕振,李善芳.勘查地球物理勘查地球化学文集,第11集[M].北京:地质出版社,1990.
- [5] 邹光华,欧阳宗圻,李惠,等.中国主要类型金矿床找矿模型[M].北京:地质出版社,1996.
- [6] 王继伦,李善芳,齐文秀,等.中国金矿物探、化探方法技术的研究与应用[M].北京:地质出版社,1997.
- [7] 邵跃.热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M].北京:地质出版社,1997.
- [8] 吴承烈,徐外生,刘崇民.中国主要类型铜矿勘查地球化学模型[M].北京:地质出版社,1998.
- [9] 阮天健,朱有光.地球化学找矿[M].北京:地质出版社,1985.
- [10] 李惠,张文华,常凤池,等.大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型[M].北京:冶金工业出版社,1998.
- [11] 李惠,张国义,禹斌.金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果[M].北京:地质出版社,2006.
- [12] 罗先熔.地球电化学勘查及深部找矿[M].北京:冶金工业出版社,1996.
- [13] 李惠.两江铜矿卤素的某些地球化学特征及其应用效果[A].中国金属学会 1979—1980 年优秀论文选集[C].北京:冶金工业出版社,1983.

## Summary of new methods on deep prediction of geochemical exploration

LI Hui, YU Bin, LI De-liang, MA Jiu-ju, XU Li-yun, WEI Jiang, ZHAO Jia-xiang,  
ZHANG Qiang, SI Shu-yun, YANG Ya-juan, HE Rong-hua

(Institute of Geophysical Exploration, China Metallurgical Geology Bureau, Baoding 071051)

**Abstract:** This paper proposes optimal methods of geochemical exploration on prediction of deep blind ore body and optimal method combination at different conditions on the base of summarizing new methods and new techniques developed in the world during previous twenty years and showing their characteristics, validity and application conditions

**Key words:** deep prediction; new geochemical exploration method; summary; optimal method