

冶金矿区化探新方法、新技术研究的十项成果

李惠, 张国义, 张连发, 禹斌

(中国冶金地质勘查工程总局地球物理勘察院, 保定 071051)

[摘要]在全面总结了历年来冶金系统矿区化探新方法、新技术研究成果的基础上,认为有十项成果有突破性进展,为在矿区特别是危机矿山深部及其外围盲矿预测提供了可供选用的有效新方法新技术。

[关键词]十项成果 矿区化探 冶金系统

[中图分类号]P632 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2005)05-0048-05

当前,我国很多有色及贵金属矿山资源严重不足,产量下降、面临关闭的矿山越来越多的情况下,已引起了温家宝总理的高度重视,多次批示“要加强矿山地质探矿,延长矿山服务年限”。实践证明:化探是在矿区深部及其外围找矿的有效方法和手段之一。

近50年来,冶金系统在矿区化探方法技术研究方面做了大量工作,特别是80年代以来,率先较系统地研究了有色金属矿床地球化学异常模式,将原生晕找矿发展为原生晕找矿模型,开创了金矿床的构造叠加晕新方法和盲矿预测的构造叠加晕模型,为矿山、特别是危机矿山深部及其外围盲矿预测、指导矿山探矿增储提供了一种有效的新方法和新技术,并广泛用于矿山盲矿预测,已取得了很好的找矿效果和经济效益。

1 发展了原生晕分带理论,开创了“构造叠加晕”找盲矿的新方法、新技术^[1]

自20世纪50年代以来,中国化探专家和前苏联专家各自发现了热液矿床的原生晕具有明显的轴向分带—热液矿床(体)有前缘晕、近矿晕和尾晕,其中前缘晕在矿体前缘可达几百米。据此,开创了原生晕找盲矿新方法。原生晕找盲矿方法,我国已研究和应用了几十年,并取得了较好效果,也出版了多部专著,其中冶金系统对金矿原生晕研究较多,并出版了《石英脉和蚀变岩型金矿床地球化学异常模式》^[2]。但随着研究的不断深入,发现很多热液矿床的原生晕轴向分带出现“反常或反分带”现象(前缘晕指示元素出现在矿体中部或尾部),无法解释,

困惑了多年,影响了原生晕方法提高预测盲矿的准确性和找矿效果。

一直到90年代初,以李惠教授为首的化探专家在研究原生晕理论基础上,根据金矿成矿具有多期多阶段叠加的特点,应用“多期多阶段叠加成矿成晕的观点”,对“反常或反分带”现象不但作出合理解释,而且提取出了新的找盲矿信息。据此研究了金矿床的原生叠加晕,通过参加国家黄金地质攻关项目(90051-09)、国家攀登计划项目、国家黄金局、冶金部项目,并与矿山找矿相结合,使原生晕法发展为原生叠加晕法,进一步提高预测盲矿的准确性和找矿效果。在国家黄金地质科技攻关项目的成果中,原生叠加晕是重要成果之一,获部级科技进步二等奖。后又在参加国家攀登计划项目中,使叠加晕方法更加系统和完善,出版了“大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型”^[2],1998年以来,又在参加“九五”国家攻关项目和8个矿山(或危机矿山)找矿的实践中,在研究思路、方法方面又有新的发展,使原生叠加晕法又发展为构造叠加晕法。

1.1 构造叠加晕新方法、新技术简述

金成矿受构造控制,构造活动有脉动性,金矿成矿成晕不仅具有时间上的多期多阶段叠加特点,而且在空间上有多种叠加结构。每次成矿形成的矿体(晕)都有明显的轴向分带,即每次成矿形成的矿体都有自己的前缘晕、近矿晕和尾晕,不同期或阶段形成的矿体及其原生晕在空间上有同位、部分同位等多种叠加结构。据此,在研究不同成矿期或成矿阶段的元素组合及单阶段形成矿体(晕)的轴向分带

[收稿日期]2005-02-21; **[修订日期]**2005-05-08; **[责任编辑]**余大良。

[第一作者简介]李惠(1937年-),男,1964年毕业于北京地质学院,教授,现主要从事危机矿山深部及其外围盲矿定位预测的构造叠加晕研究及预测工作。

(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)及不同阶段形成的矿体(晕)在空间上的叠加特点基础上,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,提出预测靶位,为矿山探矿增储提供依据。

通过对胶东、小秦岭、陕西、河北、内蒙、山西等几十个典型金矿床的构造叠晕模式的研究,总结出了4种叠加结构的理想模式和5条盲矿预测准则。盲矿预测的构造叠加晕5条准则是:(1)当金异常强度较低时,前缘晕指示元素As、Sb、Hg、B、F、I、Ba等出现强异常,尾晕指示元素Bi、Mo、Mn、Co、Ni、Sn等为弱异常,指示深部有盲矿存在;相反,前缘晕不发育,而尾晕较强,则深部无矿;(2)反分带准则:当计算金矿床原生晕轴(垂)向分带序列时,出现“反向分带”或反常,即典型前缘晕元素As、Sb、Hg、B、F、I、Ba等出现在分带序列的下部,是指示深部还有盲矿存在或有第二个富集中段,若矿体本身还未尖灭,则指示矿体向下延伸还很大;(3)反转准则:计算金矿体或晕的地球化学参数(比值:前缘晕元素/尾晕元素或其累加、累乘比)时,若其值从上到下有几个标高连续下降或上升,突然反转,即由降转为升、或由升转为降,这种变化指示深部还有盲矿或矿体向下延伸还很大;(4)前、尾晕共存准则:在有金异常条件下,既有前缘晕指示元素的强异常,又有尾晕指示元素的强异常存在,即前、尾晕共存,指示深部有盲矿存在,若在矿体中、下部出现前、尾晕共存则指示矿体向下延伸还很大;(5)金矿床(体)的构造叠加晕轴向下部前缘晕强度增强趋势准则:即从已知矿体前缘—头部—中部—下部—尾晕,前缘晕元素异常强度若出现由强—弱—强的变化趋势,则指示深部还有盲矿存在。以上5条准则中后4条是根据不同阶段形成矿体(晕)在空间上叠加结构提出的特有标志。在盲矿的预测中,这些准则的有效性已得到了证实。

金矿的原生叠加晕理想模式及其5条盲矿预测准则,对金矿盲矿预测具有普遍指导意义和应用价值,但应用时必须结合研究本矿区叠加晕特点,特别是前、尾晕特征指示元素相对含量值及其在轴向上的浓度变化规律,才能取得更好的找矿效果。

1.2 构造叠加晕的创新点

密切结合金矿成矿具有多期多阶段叠加成矿成晕的机理来研究原生晕的分带及叠加特点,其技术进步表现在合理地解释了过去用一般原生晕理论不能解释而认为杂乱无章的异常现象,如前、尾晕共存现象、“反分带”现象、轴向地化参数转折等,用叠加

成矿成晕观点分析,则是由于深部盲矿的前缘晕叠加于上部矿体的尾部的结果,从而“前、尾晕共存”、“反分带”和“轴向地化参数转折”等无规律的反常现象不但得到了合理解释,而且变成了深部有盲矿存在的重要标志。盲矿预测的原生叠加晕方法的研究成功,为在矿山深部及外围盲矿预测开创了一种有效的新方法、新技术,提高了找矿效果,具有重要的实用价值。谢学锦院士等专家给予了高度评价:原生叠加晕发展了原生晕分带理论。经查新和专家鉴定达到了国际先进水平。

2 研究了“典型有色金属矿床地球化学异常模式”,为矿区化探找矿模式化开拓了新思路^[3]

该成果是国家“六五”期间,在冶金部刘泉清支持下立项,由欧阳宗圻教授为首、李惠等参与组织冶金十七个科研院所、地勘单位及中国地质大学联合研究有色金属矿床地球化学异常模式的成果。研究成果包括分布于15个省、市、自治区的15个典型矿床(田)的地球化学异常模式,矿种包括金、铅、锌、银、铜、钨、钼、锡、锑、铌、钽等11个矿种,矿床类型包括热液型铜矿、绿岩带型金矿、花岗岩型钼钨矿、斑岩型铜钼矿、夕卡岩型铜矿、脉状钨矿、层控铜铅锌矿等。每个矿床(田)都建立了地球化学异常模式和找矿模型。矿床(田)地球化学异常模式都用模式图和文字表示,并突出表示异常中元素组分分带,特别是轴向(垂直)分带特点;找矿模型包括有矿床或矿体异常模式、预测盲矿及判别矿体剥蚀程度的指标或数学模型。各矿区用模式进行盲矿预测,都取得了好的找矿效果。在15个矿床(田)模式中有5个模式是欧阳宗圻直接领导参加下由李惠为专题组长完成的。

该成果在1986年国家“六五”地质科技重要成果交流会上交流,制作了彩色模式展出,受到与会者高度评价,科学出版社特邀出版了专著“典型有色金属矿床地球化学异常模式”(欧阳宗圻、李惠、刘汉忠等著,1990),是我国第一部化探异常模式和找矿模型专著。1986年冶金部评为科技进步奖。有色金属矿床地球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,而且提高了化探找有色金属矿的效果,该成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。

3 参与研究了中国主要类型金矿找矿模型^[4]

该成果是国家重点黄金地质科技攻关项目

(90051-09)的主要成果(1994年),由地矿部(邹光华)、有色(欧阳宗圻)负责,联合冶金(李惠)、核工业(薛裕鹤)、武警黄金(郑兆芬、郭瑞栋)组织五个系统的30个专题联合攻关项目。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的地球物理、地球化学找矿模型,为不同类型的金矿床提供了物、化探技术指标和技术参数,大大提高了我国金矿的物化探找金的技术水平,专家鉴定这是我国第一次系统而全面的研究和总结我国主要类型金矿综合找矿模型的重大成果,研究成果达国际先进水平,建议尽快出版以推动和指导我国金矿的找矿勘查工作。1996年由地质出版社正式出版了由邹光华、欧阳宗圻、李惠、周庆来等主编的“中国主要类型金矿床找矿模型”和“中国主要类型金矿床找矿模型文集”专著,是我国向1996年在北京召开的30届国际地质大会献礼专著之一。1998年获地矿部科技进步二等奖。

4 研制了胶东金矿带盲矿预测的岩石地球化学专家预测系统(GPESJG)^[5]

研究项目是国家黄金局立项,由李惠总体设计并为技术负责、李富国为课题组长。该成果是在研究和建立了胶东金矿带30多个典型特大型、大型及中、小型金矿床(点)原生地球化学找矿模型基础上研制的。运用专家知识工程的方法和人工智能中专家系统理论总结了金矿地球化学专家知识和经验,实现了专家知识向计算机转移,包括知识获取—知识表达—系统建造。系统结构包括知识库、黑板、推理机制、解释机制及用户界面。应用时通过人机对话、咨询,可对胶东各矿区、矿点、含金石英脉及蚀变构造带的岩石地球化学异常,通过人机对话进行深部含矿性评价、预测,预测结果可显示在屏幕上,也可打印输出,也可磁盘输出。该系统在胶东应用取得了显著效果。1991年完成的胶东金矿带矿区应用原生晕进行盲矿预测专家预测系统成果,在国内尚属首次,不仅使矿区原生晕找盲矿预测手段提高到了智能化新阶段,也是化探找矿方法的一次飞跃,而且提高了找矿效果。经查新和专家鉴定,属于国际先进水平,1992年获冶金部科技进步二等奖,因属国家黄金局立项,国家黄金局也评为二等奖。

5 开拓了包裹体气晕、离子晕及其叠加晕在矿区找金盲矿新方法^[6]

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。由冶金物勘院李惠、王支农负责与有色北京地质矿产研究所娄元生、王真光等协作完成的国家重点黄金地质攻关项目(90050-10)专题成果“包裹体气晕、离子晕及其叠加晕找金盲矿新方法研究”,是根据金矿成矿成晕多期多阶段叠加的特点,系统研究了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,特别是研究了金矿体中的石英包裹体气晕(气相成分)、离子晕(液相成分)的轴(垂)向分带,发现了气相 CO_2 、 CH_4 和液相 F^- 、 Cl^- 是矿体前缘晕的特征指示,液相 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 是尾晕特征指示,在进一步研究不同阶段形成矿体(晕)在空间上的叠加结构的基础上,总结出了石英脉型金矿区深部及其外围盲矿预测的包裹体气晕、离子晕及其叠加晕的模型及盲矿预测标志,并取得了较好效果。经专家鉴定具有创新性和广泛推广应用价值,达到了国际先进水平,1996年获国家黄金局科技进步二等奖。

该方法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。

6 研究和建立了脉钨矿床盲矿预测的“三环一帽”式地球化学异常模式^[7]

在1982年至1985年间,中国有色总公司北京地质研究所(1984年前属冶金部)与江西冶勘二队协作,完成了国家科技攻关“南岭地区重点钨、铅、锌矿区外围成矿预测研究”项目中“赣南脉钨矿床的地球化学特征及地球化学找矿标志”研究课题。研究范围包括西华山至杨梅寺钨矿成矿带的西华山、荡坪、木梓园、樟斗、漂塘、石雷等和于一山成矿带的黄沙、盘古山等十几处大中型钨矿床、矿点。研究方法和内容包括:研究原生晕、石英脉体地球化学、云母单矿物地球化学、石英包体地球化学、石英均一测温热晕。在脉钨矿床原五层楼的基础上,发现了脉钨矿床的原生晕、包体气晕、热晕及云母单矿物成分的垂直分带规律,建立了脉钨矿床的“三环一帽”式原生晕模式,帽晕的特征F、Sc、Li、Be、Ba、B、K等指示元素呈帽状戴在脉状钨矿脉带的顶部,专家评审认为脉钨矿床的“三环一帽”式地球化学异常模式是继脉钨矿床有名的“五层楼”(从上→下由线→细→薄→大→无矿带)宏观找矿模式之后的又一突破性成果。为评价五层楼顶部的线——细脉带深部是否能变为含钨的大脉的重要地球化学微观依据,为在脉钨矿区深部及其外围盲矿预测提供了一种有效的方法,而且用于找盲矿已取得了很好效果。

该课题的成果作为国家重点项目“南岭地区重

点钨、铅、锌矿区外围成矿预测研究”的重要成果组成部分,1986年获中国有色金属工业总公司科技进步二等奖,1988年获国家科技进步二等奖。

7 中国斑岩铜钼矿床的地球化学异常模式和盲矿预测模型^[8]

在研究中国主要典型斑岩铜钼矿床即江西富家坞矿床、铜厂矿床、殊沙红矿床,安徽沙溪矿床,黑龙江多宝山矿床、八大关矿床、八八一矿床,甘肃公婆泉矿床,云南马厂箐矿床等十多个矿床的地球化学特征和矿床地球化学异常分带特征的基础上,总结出了中国类斑岩铜钼矿床的地球化学异常模式和找矿模型。主要成果内容是:

1) 含矿斑岩体地球化学特征: SiO_2 60% ~ 70%、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 7% ~ 8%、 Al_2O_3 15% ~ 16%; Cu、Mo、Ag 含量高于同类岩石,其浓度克拉克值为 2 ~ 10。

2) 矿田的地球化学特征: 以 Cu、Mo (有时有 Au、Ag) 异常为中心, 外围有 Pb、Zn、Mn、Ag、As、Co 等元素呈环状异常或半环状异常断续分布。一般 Cu、Mo 异常范围即是含矿化斑岩体分布范围。

3) 总结我国斑岩铜、钼矿床地球化学异常分带特点, 可归纳为富家坞式和沙溪式两种类型斑岩铜钼矿床地球化学分带模式: ① 江西富家坞式斑岩铜钼矿床的地球化学异常模式: 反映了含矿岩体为中性酸性花岗闪长岩类, 矿体赋存于石英绢云母化带内的斑岩铜钼矿床。其异常从内(下)向外(上)分为四个异常带, 形态似钟状, 岩体核心为无异常中心核, 中心异常带为 Cu、Mo、Ag 弱异常带(与钾长石化带范围一致) → Cu、Mo、Ag、K 异常带, Ti、Mn、Na 为带出负异常, (分布于岩体内外接触带的石英绢云母化带内, 反映了赋矿部位) → S、Co、F、Rb 带, K 带入正异常、Na 带出负异常, 在矿体外缘伊利石白云母化带内, 反映了黄铁矿发育部位 → Pb、Zn、Ti、Mn 异常带, Ti、Mn 为带入正异常, 分布于青盘岩(绿泥石、绿帘石、黄铁矿)带内。② 沙溪式斑岩铜钼矿床的地球化学异常模式: 反映含矿岩体为石英闪长岩、矿体赋存于钾长石化带内的斑岩铜钼矿床。异常从中心向上、外分为三个异常带: 中心带为 Cu、Mo、Ag 异常带, Mn、Na 为负异常带, K 为弱异常、Rb 高、Sr 低, 与钾长石化带相当, 反映了赋矿部位 → 过渡带为 Ba、Cu、Mo、Ag 异常带, Ti、Mn、Rb 低异常, Sr、Ba 高异常带 → 边缘带为 Pb、Zn - S、Co、F - Ti、Mn 带, 分布在大部分石英绢云母化带 - 青磐岩化带。

4) 研究了矿床轴向地球化学参数的变化规律: 富家坞矿床从上 → 下, Mo、Na 升高, 而 Cu、V、Ti、S、

K/Na 逐渐减小; 沙溪矿床从矿头 → 矿尾 Cu、Mo、Sr 增加, 而 Pb、Zn、Co、Ti、Mn 及 K/Na、(Pb + Zn)/Mo 减少。据此总结出了判断两个矿床剥蚀程度的指标。

5) 应用模型在富家坞、铜厂矿区、安徽沙溪矿区及黑龙江多宝山等矿区进行盲矿预测, 都取得了好的找盲矿效果。

该成果为冶金部“中国斑岩铜钼矿床研究”项目的重要专题, 专家评价为国内领先水平, 获冶金部科技进步奖。1984年由科学出版社出版的“中国斑岩铜矿”专著中地球化学找矿模型是重要内容之一(冶金工业部地质研究所著)。

8 建立了优质锰矿床的地球化学找矿模型^[9]

优质锰矿的物化探勘查技术研究是“八五”期间(91 - 95年)国家重点攻关项目“扬子地台周边及邻区优质锰矿成矿规律及资源预测”的重要课题成果之一, 该项目1997年获部级科技进步特等奖, 1998年获国家科技进步二等奖。沉积变质优质锰矿地球化学找矿模型研究, 国内外尚属首次^[9], 采用了与热液矿床不同的研究思路, 即研究优质锰矿的含锰岩系、含锰层、含锰层中赋矿部位的地球化学特征的基础上, 建立了预测优质锰矿盲矿的地球化学找矿模型, 特别预测含锰层内深部盲矿的“异常增强趋势法”具有独创性。

9 研究卤素找盲矿有新突破, 开创了土壤热释卤素新方法

我国地矿、冶金、有色等系统应用卤素(F、Cl、Br、I)找盲矿做了大量研究工作, 取得了很多成果, 也取得了较好找矿效果。其中冶金部桂林地研所1978年研制出了一套简单、快速、灵敏度高的卤素分析方法, 并在广西两江铜矿、德兴斑岩铜矿和白银火山岩型铜矿上试验, 结果表明, 厚层黄土和厚层基岩覆盖区的深部盲矿在地表岩石和黄土中卤素元素发现有明显异常。1979年由冶金部桂林地研所与广西272队合作, 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, 并取得了很好的找盲矿效果^[10]。两江铜矿赋存于寒武纪地层中, 寒武系上覆泥盆纪地层与其不整合接触, 应用卤素特别是F、I作指示元素在寒武系天窗外围泥盆纪厚层(>200m)基岩覆盖区寻找其下赋存于寒武纪地层中的盲矿, 取得了很好效果, 这也是我国的第一个应用卤素找矿实例; 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找钨、钼、钨、锡矿盲矿的模型, 并对卤素

找盲矿方法研究进行了系统总结。卤素找矿为在矿区及其外围厚层基岩覆盖区找隐伏盲矿提供了一种有效新方法、新技术。

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的研究了土壤热释卤素法,可有效消除干扰异常,使在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,土壤热释卤素法在矿区及其外围外来运积物厚覆盖区找隐伏矿是一种有效的新方法、新技术。

10 汞气测量、热释汞测量研究,在矿区深部及其外围盲矿预测取得了显著效果^[11]

冶金部自七十年代初从加拿大引进 HGG-3 测汞仪以后,科研单位冶金部桂林地研所以栾继琛为首、冶金物勘院以胡国廉为首及生产单位的一批化探专家开始研究汞气测量,在地质大学阮天健教授等指导下研究各种原子吸收测汞仪,之后又研制了金膜测汞仪和微机金膜测汞仪。在研究汞气测量方法的同时,又开拓出了土壤热释汞测量方法,并在各种厚覆盖区(黄土、冲积层、戈壁)的有色及贵金属矿山进行了试验,总结出了汞气测量、热释汞测量的一套有效方法和技术,并应用于许多矿山和地区,取得了显著效果。

该成果 1982 年获冶金部科技进步二等奖,1985 年获国家科技进步三等奖。

找隐伏矿取得了显著效果^[10]。1983 年冶金物化探研究所胡国廉、常凤池、李德亮等与九三一队结合,在广东厚婆坳多金属矿山外围覆盖区采用壤中汞气和土壤吸附汞测量,圈出了一批甲级异常,经几年的验证,几乎个个异常见矿,取得了显著的找盲矿效果。

实践证明:汞气测量、热释汞测量在厚覆盖矿区找隐伏矿或盲矿是一种有效方法和手段。

11 结 论

冶金化探经过五十多年奋斗,在矿区化探新方

法新技术研究中取得的十项有突破性或创新性成果,具有重要实用和推广价值,当前国家在解决危机矿山接替资源的时刻,其中很多方法都是非常有效的,如汞气和卤素找矿方法为在厚覆盖矿区找隐伏矿,特别是构造叠加晕方法,为危机金矿山深部及其外围盲矿预测提供了一种有效方法和手段。

上述十项成果的取得是在冶金部领导下,广大化探科技人员奋斗的结果,与中国第一代化探专家——冶金化探开创者(元老)欧阳宗圻教授的组织 and 指导分不开的。

[参考文献]

- [1] 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.
- [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] 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.
- [4] 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.
- [5] 李富国,李 惠,等.胶东金矿床地球化学专家预测系统[A].国家八五重要地质科技成果文集[C].北京:冶金工业出版社,1996,270.
- [6] 李 惠,王支农,等.金矿包裹体地球化学特征及其叠加晕模型[A].金矿地球物理地球化学勘查新方法文集[C].长沙:中南大学出版社,1995,120~127.
- [7] 李 惠,刘运正,何厚强,等.赣南脉钨矿床的某些地球化学特征及地球化学找矿标志[J].地质与勘探,1987,23(253):46~53.
- [8] 李 惠.斑岩铜矿床的地球化学异常分带特征及地球化学找矿标志[J].桂林冶金地质学院学报,1983,4:61~71.
- [9] 李 惠,孙凤舟,张景波.优质锰矿的地球化学异常模式.地质找矿论丛[J],1996,11(1):50~57.
- [10] 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.
- [11] 常凤池,李德亮.汞气测量找矿的一个成功例子[A].第三届勘查地球化学学术讨论会论文选编[C].北京:冶金工业出版社,1988,104~111.

TEN ACHIEVEMENTS OF NEW GEOCHEMICAL METHODS AND TECHNIQUES IN ORE - DISTRICT OF METALLURGY SYSTEM

Li Hui, ZHANG Guo - yi, ZHANG Lian - fa, YU Bin
(Geophysical Exploration Bureau, Baoding 071051)

Abstract: based on summing up new methods and techniques of geochemical exploration in past decades of metallurgy system, it is considered ten achievements have deep influence in exploration geology. These achievements can provide potential new methods and techniques for searching deep and surrounding blind - ore - bodies in ore - district especially in crisis mines.

Key words: ten achievements, geochemical exploration in ore - district, metallurgy system.