

# 构造地球化学探矿方法的应用——以山东招远魏家沟金矿床为例

温汉捷

肖化云

俞广钧

(中国科学院地球化学研究所 贵阳 550002)

(昆明理工大学 昆明 610093)

通过对招远某些金矿的成矿预测研究,总结了构造地球化学探矿的理论和方法,并且以山东招远魏家沟金矿床为例详细阐述了工作程序,并对该方法的优、缺点作了总结。

关键词 构造地球化学探矿 成矿预测 金矿床

## 1 构造地球化学探矿的原理和工作方法

### 1.1 构造地球化学探矿的原理

构造地球化学晕,可以定义为“含矿溶液运移过程中在构造带内部及其两侧形成的元素异常带”。基于以上认识,在与成矿有关的断裂构造中按一定的构造地球化学晕取样网度系统采样化验,圈定构造地球化学晕(异常),根据其形态、产状、规模及与成矿有利构造部位、金矿体关系,推测矿床边部和深部盲矿体存在的可能性,确定预测矿体的空间定位。

### 1.2 构造地球化学探矿的工作方法

#### 1.2.1 样品采集

样品只在构造破碎蚀变带中采集,其网度依据矿床的实际情况而定。所采集样品投影到一定地质图件上,包括剖面图、平面图、垂直纵投影图等。

#### 1.2.2 数据处理和解释

包括数据预处理、成矿指示元素确定和构造地球化学晕圈定与解释。数据预处理是将地质原始变量经过适当的变换,使之服从正态分布,常用的变换包括标准化变换、极差变换、对数变换、广义幂正态变换等<sup>[1]</sup>;成矿指示元素确定是通过统计分析得出的一系列与成矿元素有相关关系的单变量或组合变量,用单变量或组合变量圈定成矿元素异常,达到减少工作量和降低成本的目的,常用的方法包括聚类分析和因子分析;构造地球化学晕的圈定和解释是将所变换的数据经过一定的处理(如趋势分析),用计算机成图,所成的图件结合地质实际来判别异常,指出盲矿的空间定位。

## 2 实际应用

以山东招远魏家沟金矿床 3 号脉为例。

### 2.1 矿床地质特征

魏家沟金矿床位于胶东招掖金矿带北截—灵山

沟断裂的中段,矿床断裂构造发育,矿脉成群出现,主要矿脉有 1 号、2 号、3 号、7 号,矿体赋存在矿脉中,具较高的工业价值(图 1)。

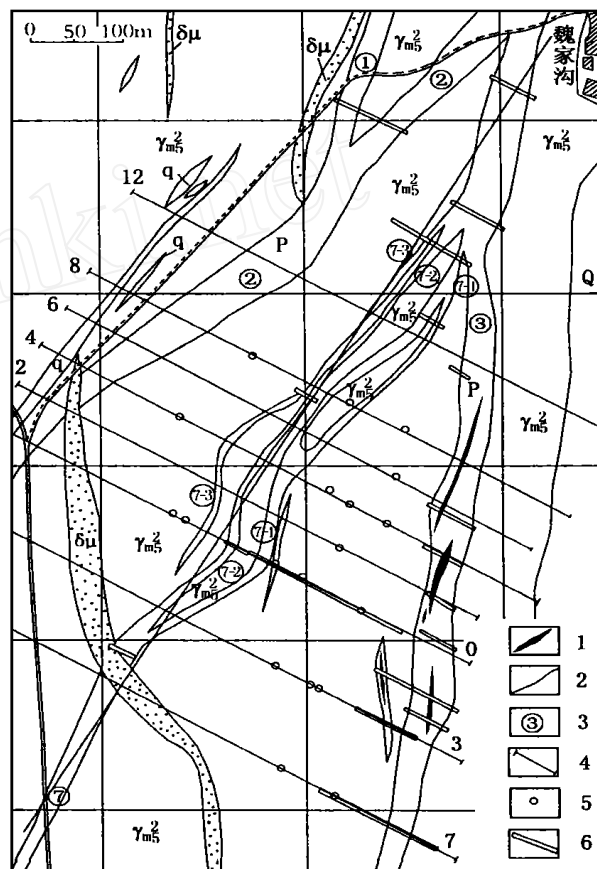


图 1 魏家沟金矿床平面地质图

Q—第四系; $\mu$ —闪长玢岩; $m_5^2$ —玲珑花岗岩; $ls$ —斜长角闪岩;  
q—石英脉;P—蚀变带;1—金矿体;2—地质界线;  
3—矿脉及编号;4—勘探线及编号;5—钻孔;6—探槽

3 号脉受  $F_3$  控制,北起 28 线,南至 17 线,全长约 2 000 m。其北端与 2 号脉交汇,南部被第四系覆盖,向南有延伸的趋势。脉厚 15 m~55 m,一般为 30 m 左右,矿脉出露标高 100 m~200 m,深部与 2 号脉相交,交线标高 3~4 线间为 -300 m,向北逐渐

升高。矿脉在走向上曲折多变,4线以北,7线以南走向近SN,4~7线间走向15°左右。矿脉倾向NW,倾角变化较大,4~7线间倾角较小,约45°~50°,两端较陡,约70°。

3号脉平面上呈带状,中间常夹有透镜状花岗岩块;剖面上部呈单脉,深部分成二枝形如裤腿,脉幅宽窄不一,变化明显,呈不规则脉状。

该脉由碎裂状绢英岩、碎裂状绢英岩化花岗岩、碎裂状钾化花岗岩及黄铁石英脉、黄铁矿细脉、断层泥组成,以碎裂状绢英岩、碎裂状绢英岩化花岗岩为主。蚀变岩石的分带规律性明显,中部为绢英岩,两侧为绢英岩化花岗岩,边部为钾长花岗岩。绢英岩中常有黄铁石英脉,黄铁矿细脉呈灰黑色、烟灰色,沿裂隙分布,是重要的矿化标志。

矿体赋存在矿脉中。矿体展布规律呈左行斜列,斜列方位30°左右,但各矿体首尾对应相接,无重叠部位或重叠部位很短,3—、3—、3—北段为一列,3—、3—为一列。

3—矿体是3号脉矿体中规模较大者。赋矿层位明显,顶底板都有一层灰白色断层泥。矿体分布于9~6线,赋矿标高+114 m~18 m,矿体走向3°~11°,倾向NNW,倾角63°~70°。厚度0.80 m~7.69 m,平均2.97 m。金品位平均5.03 g/t。品位变化较稳定,变化系数92%。

依据矿石的矿物共生组合、结构构造及其成因,矿石的自然类型可划分为:蚀变岩型和石英脉型,其中3号脉矿石类型以蚀变岩型为主,约占矿石总量的90%以上。矿石中金属矿物以银金矿和黄铁矿为主,次为自然金、黄铜矿、方铅矿和闪锌矿,非金属矿物以石英和绢云母为主。

根据矿物特征组合及相关关系,金的成矿作用可分为三个阶段:( )黄铁矿—石英阶段,为石英、绢云母的主要生成期,金属矿物以黄铁矿、金为主:( )金—多金属硫化物阶段,金属硫化物的主要生成期,并伴有银金矿的形成,金属硫化物以黄铁矿为主,同时有少量的黄铜矿、方铅矿、闪锌矿的形成,蚀变类型有硅化、绢云母化,为主要的成矿阶段;( )石英—碳酸盐阶段,碳酸盐矿物生成阶段,并有石英及少量绢云母、黄铁矿的生成,成矿作用微弱,不构成独立金矿体。上述三个成矿阶段以前二个阶段为主,成矿阶段相互叠加的部位,金品位明显增高。

## 2.2 构造地球化学样品的采集

样品只在断裂构造破碎带蚀变岩中采取,沿垂直矿化体走向方向用连续打块取样,样品重量1000

g以上,取样间距在沿脉中沿矿化走向为20 m间隔,在穿脉中按穿脉间距,取样线沿穿脉厚度方向切穿矿化带厚度连续打块取样。深部钻孔沿切穿断裂构造矿化蚀变带厚度方向采取劈半岩芯打块取样。本次研究根据矿床各中段中探采坑道工程能进入采样的最大可能性及深部钻孔保存的岩芯共采集样品125个,经过化验分析,参与电算处理、用于原生晕圈定的样品实际数目为100个。由于3号脉为陡倾斜矿体,所以每个样品位置均投影于矿体垂直纵投影图上,应用此图来圈定化探异常。

## 2.3 数据的预处理

根据多元分析理论,只有当样本呈正态分布时才有最优参数估计效果,并取得满意的统计分析结果。本文采用包克斯和考克斯(1964)建立的广义幂正态转换法,其转换形式如下:

$$z = \begin{cases} (x - 1)/ & ( = 0) \\ \ln(x) & ( = 0) \end{cases}$$

式中 $z$ 为转换后的数据, $x$ 为转换前的数据,为待求的转换参数。求解值的方法是首先选择一个指示函数

$$F = w|s| + |3 - k|$$

式中

$$s = \{ \sum (x - \mu)^3 / N \} / ^3$$

$$k = \{ \sum (x - \mu)^4 / N \} / ^4$$

$w$ 为权系数, $\mu$ 与是 $N$ 个观察数据经某次转换后的平均值和均方差,当 $w$ 选择得当,在指示函数 $F$ 取最小值时,可实现值的非线性最优化结果,根据洁乌斯和艾勒的实验结果,当 $w = 2$ 时,可得到值的最优化转换<sup>[2]</sup>。

选择广义幂正态转换的优点在于:(1)转换后的数据没有负值,利于进一步的数据处理;(2)较一般正态变换(对数变换、标准化变换等)其转换后的数据正态分布形式明显优于后者,一般经常规正态变换无法达到要求的,广义幂正态变换均可达到较好效果。表1为数据转换后的若干参数值,基本符合正态分布要求。

## 2.4 元素的相关性及最佳指示元素的确定

我们分二个层次对魏家沟金矿床3号脉微量元素进行相关性和相关程度的研究,一是通过R型聚类分析实现,二是通过坐标变换,用因子分析实现。

### 1) R型聚类分析

3号脉样品的分析结果见图2。从谱系图可见在 $r = 0.4$ 的水平上与金关系密切的元素Bi、Mo、As、Ag。Cu、Zn、Sb在 $r = 0.53$ 的水平上合为一组,与金为负相关。Co、Ni在 $r = 0.39$ 的水平上合为一

组,相关关系不是很密切。联系矿床实际,可能与阶段矿化晚期有关。根据元素组合,可以把 Bi—Mo—As—Ag 作为 3 号脉的最佳指示元素。

2) 因子分析

因子分析是一种降维的方法,将原来众多的具

有一定相关关系的变量转换为数目较少的由原始变量组合而成的新变量(因子)。这些因子更符合客观事物的内在联系,比原始变量更能反映事物的本质。在元素地球化学中,不仅能反映元素间,元素组合间的相关关系,而且能反映元素组合间的成因联系。

表 1 参数对照表

	参数	Au	Ag	Pb	Mo	As	Sb	Bi	Cu	Zn	Co	Ni
原始数据	平均值	3839.5	3.82	158.1	5.98	3.37	0.90	1.94	129.3	76.02	4.85	7.04
	均方差	11995	11.82	331.9	9.48	2.85	0.44	5.67	273.0	56.77	5.11	3.80
	偏 度	5.65	5.39	3.74	3.32	2.98	0.98	4.97	5.96	2.48	3.04	2.70
	峰 度	40.75	34.30	17.27	16.55	15.10	4.02	28.83	46.68	10.60	14.17	13.07
转换后数据	平均值	5.97	3.04	1.69	7.54	2.63	2.06	3.50	2.63	2.07	2.02	1.28
	均方差	2.31	1.52	0.15	0.92	0.67	0.48	1.97	0.55	0.12	0.55	0.20
	偏 度	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	峰 度	1.98	1.53	2.12	2.12	2.85	2.18	2.18	2.18	2.51	2.78	3.86

表中原始数据平均值单位除 Au 为  $\times 10^{-6}$  外,其余为  $\times 10^{-9}$ 。

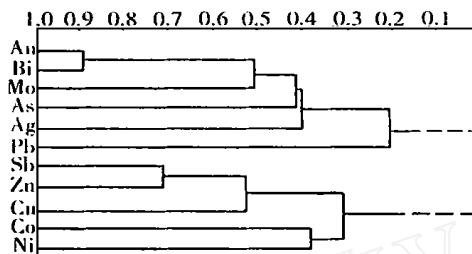


图 2 3 号脉 R 型聚类分析谱系图

本文采用的结果均为初始因子解(已能较好反映,故不用正交因子解),所取公因子个数取决于累积方差贡献是否达到 85 % 以上。

3 号脉样品因子载荷矩阵见表 2。从表 2 可见,  $F_1$  因子反映了 3 号脉 Au 矿化元素的主要特征,因子载荷较大的元素有 Au、Bi、Mo、As、Ag。  $F_2$  因子中 Cu、Zn、Sb、Co、Ni 的载荷较大,Au 的载荷极小,可能是主矿化阶段(阶段)晚期的反映。  $F_3$  因子中 Co、Ni 的载荷很大,并且 Au 有一定的载荷(0.2407),同时 Cu 也有一定的载荷(0.2653),似乎反映主成矿阶段(阶段)早中期的特点。  $F_4$ 、 $F_5$  成因意义不明,暂不作讨论。因此,  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  的意义是十分明确的,  $F_1$  是主矿化阶段早期 Au 大量沉淀时元素组合的因子,  $F_2$ 、 $F_3$  则代表稍晚期元素组合的特征,这时 Au 的沉淀已明显不足。根据以上分析,Bi—Mo—As—Ag 可作为 3 号脉 Au 矿化的指示元素。

因此,结合聚类分析和因子分析的结果,3 号脉矿化的最佳指示元素组合为 Bi—Mo—As—Ag。

2.5 构造地球化学晕的圈定和解释

即使是通常作为典型随机变化的金矿品位值,如果从大范围看,从无矿地段—有矿地段—无矿地段,也表现为金含量在地壳某一地段内由低—高—

低的变化。因此在成矿预测中,往往用趋势分析的方法来找出趋势,预报异常<sup>[3]</sup>。

表 2 3 号脉因子分析载荷矩阵

元素	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	公因子方差
Au	0.8277	0.0751	0.2407	-0.2990	-0.1521	0.86
Ag	0.5355	0.1832	0.1877	0.2805	-0.6281	0.83
Pb	0.2483	0.2370	-0.7343	-0.3785	0.0658	0.80
Mo	0.7014	0.2701	-0.1279	0.0310	0.5285	0.86
As	0.5384	0.4760	-0.2780	0.3870	-0.1747	0.77
Sb	-0.1610	0.7826	-0.4720	-0.0091	0.0250	0.86
Bi	0.8191	0.2478	0.3002	-0.3259	0.0274	0.93
Cu	-0.7357	0.4304	0.2635	-0.3103	-0.1138	0.91
Zn	-0.4627	0.8090	-0.1230	0.0066	-0.1856	0.92
Co	-0.0650	0.4829	0.6687	-0.3048	0.0390	0.78
Ni	0.0392	0.4951	0.4983	0.4674	0.4146	0.89

基于以上认识,将所转换后数据调用专门计算程序进行趋势计算。在计算中需要不断的引入或剔除变量,使趋势方程最优化。计算结果包括趋势值和剩余值,趋势值反映断裂构造中元素含量的总体分布规律,剩余值反映局部的异常,即矿化异常。

所得的趋势值和剩余值与坐标值组成数据文件,调用绘图软件绘图,应当注意的是,往往由于图幅边界的控制点少而使图幅边缘产生“边界畸变”,解决的办法是在边界增加控制点或缩小图幅,使某些控制点在图幅外。

按照以上步骤,对魏家沟金矿床 3 号脉进行趋势分析预报异常,预测图见图 3、图 4。

从已有工程控制资料看,3 号脉矿体多集中在 - 50 m 标高之上,矿化较好, - 50 m 以下则矿化较差。因此,对 3 号脉的预测主要从上部控制区的探边和深部预测着手。

笔者用 6 ~ 7 勘探线 - 200 m—+ 75 m 标高的

100 个样品的 Au 品位进行了 3~6 次趋势分析。对比 3~6 次趋势面分析,差异不大,基本能反映 3 号脉金品位的变化趋势。考虑到 3 号脉地质体的变化较为复杂,一般选用较高次的趋势面(3 次以上),同时也考虑到太高次的趋势面畸变较为明显(6 次),因此本文采用 4 次金品位的趋势面来研究金的变化趋势。从图 4(a)可以看出,上部控制区金品位变化趋势明显,总体上北段高值带向 NE 方向侧伏,侧伏角约 20°~30°,南段高值带向 SW 方向侧伏,侧伏角约为 45°。

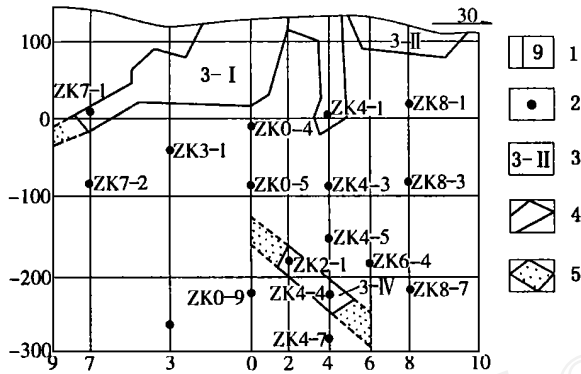


图 3 魏家沟金矿床 3 号脉成矿预测体系图  
1—勘探线;2—钻孔;3—矿体编号;4—矿体边界线;  
5—预测矿体边界线

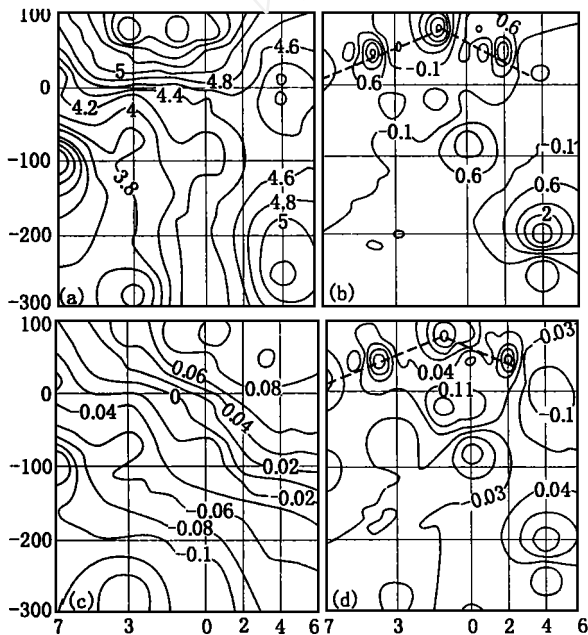


图 4 3 号脉趋势分析结果图

(a) —金含量 4 次趋势分析等值线;(b) —金含量 4 次趋势分析剩余值等值线;(c) —矿化因子(F1)得分 4 次趋势分析等值线;(d) —矿化因子(F1)得分 4 次趋势分析剩余值等值线

为了研究矿化异常特征,作 4 次金品位剩余等值线图(图 4(b))。剩余等值线图的高值带(相当

于矿化异常)基本与矿体位置重合,其异常带(图中虚线表示)北段向 SW 侧伏,南段向 NE 侧伏,与金品位变化趋势一致。

从实际资料看,上部控制区工程布置较密,地质情况清楚,继续找矿的潜力不大。但根据图件分析,3—矿体有向南西侧伏的趋势,并且等值线并未封闭,可能延伸到 7 号线以南,而 7 号线以南基本无工程控制,因此可以考虑在 7 号线以南安排探矿工程。

从图件分析,在 0~6 线间,-200 m 标高左右有一剩余异常高值带,恰好与已划定的 3—矿体位置重合。据资料,3—矿体较富,平均品位达到 8.27 g/t。山东冶勘局在 2 线、4 线安排钻孔工程(Zk2-1、Zk4-4),认为矿体向 SW 方向侧伏,而控矿钻孔 Zk0-9、Zk4-5 均未见矿,因而认为矿体规模较小,意义不大。但据本次研究看,3 号脉矿体北段应向 NE 侧伏。因此,推断 3—矿体在 6 线-200 m 以下可能见矿,见矿标高在 -224 m—-250 m,且矿体向两侧(NEE 和 SWW)有一定的延伸。从已有控制工程看,延伸范围限定在 0~8 线,长度约 150 m。

在进行趋势分析时用成矿因子变量比单元素变量一般效果更佳。按这一原则,利用因子分析的结果,对主矿化因子(F1)进行了 4 次趋势分析(图 4(c)、4(d))。从图件看,其趋势与异常比单元素为变量所得的趋势与异常更为明显。因此,通过趋势分析对 3 号脉盲矿的空间定位预测是可行的。

### 3 结论

1) 构造地球化学探矿方法与传统的化探方法的区别在于采样手段特殊,只采集构造蚀变样,故在实际运用中,目的样品采集直观明了,易于选择采集。

2) 由于构造地球化学样品只采集构造蚀变样,因此样品中包含的地质信息比较一致,经数据处理后在图件上反映的趋势和异常比较明显。

3) 采样量少,分析测试和计算简单,较适合矿山地质人员,可设计成软件包,在矿山开采过程中同步采样分析计算,可有效地指导找矿。

4) 不足之处在于对新建矿山或工程控制不足的矿床(矿点)预测精度不是很高,原因在于其采样必须要有一定的网度。

注:此方法在对山东招远魏家沟金矿床应用中,经 3 个钻孔工程验证,取得较好效果。

#### 参考文献

1 赵鹏大,等.矿床统计预测.北京:地质出版社,1993

(下转第 45 页)

## INTERPRETATION OF WELL LOGGING DATA FOR COALBED METHANE USING BP NEURAL NETWORK

Hou Junsheng, Wang Ying

Based on the signatures of coalbed methane reservoir and its well logging data, this paper proposes to use BP neural network on the interpretation of well logging data of coalbed methane reservoir. According to the computation for the well logging data for coalbed methane reservoir in some area of North China, the computing results show BP neural network method is reliable and effective, and some applied problems are discussed.

**Key words** coalbed methane reservoir, BP neural network, well logging, discussion



### 第一作者简介:

侯俊胜 男, 1963 年生。1984 年毕业于武汉地质学院物探系金属物探专业, 1988 年在中国地质大学(北京)物探系获硕士学位, 1993 年在东北大学地质系获博士学位, 1995 年在中国地质大学(北京)完成第一站博士后科研工作。现任中国地质大学(北京)物探系副教授, 主要从事应用地球物理教学和科研工作。

通讯地址: 北京市海淀区学院路 29 号 中国地质大学(北京)物探系 邮政编码: 100083

(上接第 35 页)

2 武耀诚, 等. 地质数据处理及微机应用. 北京: 地质出版社, 1992

3 吴锡生. 化探数据处理方法. 北京: 地质出版社, 1993

## WEIJIAGOU GOLD DEPOSIT IN SHANDONG: APPLICATION OF TECTONIC GEOCHEMISTRY TO PROSPECTING

Wen Hanjie, Xiao Huayuan, Yu Guangjun

Based on the study of some gold deposits in Zhaoyuan, Shandong, the principle and method of tectonic geochemistry are summarized. The Weijiagou gold deposit is exemplified to detail the procedure and application of tectonic geochemical method.

**Key words** prospecting by tectonic geochemistry, prediction of mineralization, gold deposit



### 第一作者简介:

温汉捷 男, 1971 年生。1993 年毕业于昆明理工大学国土开发与城乡建设系矿产勘察专业, 1996 年在昆明理工大学国土开发与城乡建设系获硕士学位。现在中国科学院地球化学研究所攻读博士学位, 主要从事矿床地球化学和找矿预测研究。

通讯地址: 贵州省贵阳市观水路 73 号 中国科学院地球化学研究所矿床开放室 邮政编码: 550002

(上接第 37 页)

2 张庆海. 盐矿钻探技术与工艺. 北京: 地质出版社, 1992

3 杜德科. 盐类地下水溶开采. 北京: 地质出版社, 1985

## THE ENVIRONMENT OF GYPSUM AND SALT MINES AND MEASURES TAKEN TO CURB POLLUTION IN THE YINGCHENG AREA

Xiang Wu, Bao Zhengyu

The environment of the gypsum and salt mines in the Yingcheng area, Hebei, is discussed. The studies indicate that the affects of gypsum and salt on environment result from inorganic salt pollution. In addition, other dangerous incidents such as ground depression may occur. Finally, some suggestion are put forward on measures to take to curb pollution.

**Key words** saline environment, pollution, gypsum mine, salt mine



### 第一作者简介:

向武 男, 1968 年生。1990 年毕业于中国地质大学地球化学系地球化学专业, 1998 年在中国地质大学地球科学学院获硕士学位。现任中国地质大学地球化学所工程师, 主要从事环境地球化学的教学与科研工作。

通讯地址: 湖北省武汉市 中国地质大学地球化学研究所 邮政编码: 430074