doi: 10.11720/wtyht.2017.1.06

姚静,潘和平,杨怀杰,等.井中三分量磁测确定矿体方位和空间位置的方法[J].物探与化探,2017,41(1):35-44.http://doi.org/10.11720/wtyht. 2017.1.06

Yao J, Pan H P, Yang H J, et al. A method for determining the direction and spatial location of the geological mineral body by three-component magnetic survey in drill hole[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(1):35-44. http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.1.06

# 井中三分量磁测确定矿体方位和空间位置的方法

姚静1,潘和平1,杨怀杰1,王修齐2

(1.中国地质大学 地球物理与空间信息学院,湖北 武汉 430074;2.中国地质大学 资源学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 井中三分量磁测能较好地判断异常体的性质,进而判断磁性体的方位和空间位置,通常联合地面磁测可以 更准确地判断地下矿体赋存情况,确定矿体产状、延伸方向及延深,指导布钻,提高见矿率。笔者主要分析了球体、 薄板状体的磁场分布特征,总结磁场分布特征与磁性体的方位、磁化方向、倾斜方向等之间的相互对应关系,研究 判断矿体方位、确定矿体空间位置的方法。井中三分量磁测是配合钻探寻找地下深部磁性矿体、了解其赋存情况 的有效手段。将该方法应用于海南石碌铁矿某工区 ZK1102 井,提高了确定地下矿体空间位置的精确度,为继续钻 进、终止布孔工作以及磁性矿体的储量评估提供参考。

# 0 引言

井中三分量磁测是以研究岩/矿石的磁性差异 为基础,该方法对于寻找磁铁矿床、金属矿床是非常 有效的,通过对测得的数据进行处理,分析磁异常分 量特征,推断矿体的赋存情况,确定矿顶、矿尾的位 置;根据异常矢量指向,确定矿体与钻孔的相对方位 并估算出距离。目前,我国矿山开采形势非常严峻, 尤其是有色金属矿山和贵金属矿山,因此,研究效率 好的找矿方法以及新技术迫在眉睫。

我国物探工作者对井中三分量磁测进行了全面 和系统的研究、总结,井中磁测逐渐从单分量磁测发 展为三分量磁测,形成了较为完整的方法技术理论 和应用技术体系,并在寻找磁铁矿床中取得了很好 的示范成果<sup>[1-14]</sup>。近年来,高精度 JCX-3 型井中三 分量磁力仪的定位精度与分辨力有了很大提高<sup>[15]</sup>。

在国外,许多地质工作者从仪器的制造到实际 磁测资料的处理和解释都作了开创性的研究。Silva 等尝试了将井中三分量磁测数据进行自动反演,并 且利用牛顿法反演井旁棱柱体的位置和磁性参 数<sup>[16]</sup>;Bosum 等利用 KTB 钻孔的地面重磁数据和井 中重磁数据建立异常体的三维模型,并应用岩芯和 地震资料拟合曲线<sup>[17]</sup>;Yaoguo Li 等认为地—井资 料联合反演可以降低反演的多解性,并运用地面磁 测资料和井中三分量资料进行了成像反演研究,得 到了较好的效果<sup>[18]</sup>;Joao 等对井中磁测数据的反演 技术与方法进行了研究<sup>[19]</sup>。

井中三分量磁测是配合钻探寻找地下深部磁性 矿体并了解其赋存状态的重要方法技术手段,它能 有效地解决井底及井旁磁性体的赋存状况。预报井 底及井旁盲矿,估算井底磁性体埋深、井旁磁性体的 方位、产状、空间位置等,为下一步地质工作提供参 考依据。笔者主要通过球体、板状体模型来研究井 中三分量确定矿体方位和空间位置的方法,通过总 结整理磁场分布特征与异常体的方位、产状、磁化方 向等之间的相互对应关系,研究得出判断矿体方位、 确定矿体空间位置的方法,为反演解释做理论依据。

收稿日期: 2015-05-29;修回日期: 2015-09-11

基金项目:国家自然科学基金项目(41074086);国家高技术研究发展计划("863"计划)项目(2014AA06A608)

作者简介:姚静(1990—),女,研究生,研究方向为地球物理测井与井中物探。

通讯作者:潘和平(1953--),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为地球物理测井与井中物探。Email:panpinge@163.com

## 1 球体的磁场

在不考虑剩余磁化强度时,*I*即为地磁倾角,*A* 即为磁性体走向与磁北的夹角,*A*'=90°-*A*。如图 1 所示,令磁化强度为*M*,体积为*v*,磁矩*m*=*Mv*,  $\left(v=\frac{4}{3}\pi R^3\right)$ ,球体的半径*R*,球心坐标为*Q*(0,0, *D*),球心到空间任一点*P*(*x*, *y*, *z*)的距离:*r*=  $\sqrt{x^2+y^2+(z-D)^2}$ ,其磁场可以由泊松公式求出。



球体的引力位 V 为<sup>[20]</sup>:

$$V = \frac{G\sigma v}{\sqrt{x^{2} + y^{2} + (z - D)^{2}}},$$
 (1)

其中:G为引力常量,G=6.67×10<sup>-11</sup> N·m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>,σ 为球体密度,v为球体体积。

对上式求二次导数,代入泊松公式可得任意剖 面方向的球体磁场表达式:



球体模型参数如表 1,钻孔的分布如图 2 所示, z 轴于球心处竖直向下,钻孔为直孔。



图 2 球体模型钻孔分布

表1 球体模型参数

球体中心坐标 (x <sub>0</sub> ,D)	磁化倾角 α/(°)	钻孔深度 <i>H</i> /m	测点距 Δd/m	磁场强度 <i>T/</i> nT	磁化率 <i>ĸ</i>	真空中的磁导率 μ <sub>0</sub> /(H/m)
(0,100)	45	200	0.5	49 000	0.2	$4\pi \cdot 10^{-7}$

## 1.1 不同方位钻孔

在距球体中心水平投影为 20 m 的圆周上平均 选取 8 个方位钻孔,如图 2 所示的 1~8 号井位,得 到  $\Delta H$ 、 $\Delta Z$ 异常特征(图 3),斜磁化时,  $\Delta Z$ 、 $\Delta H$ 曲线 均不对称,当钻孔位于球体北侧时,  $\Delta H$ 曲线为上负 下正的"S"形曲线,当钻孔位于球体南侧时,ΔH曲 线为上正下负的反"S"形曲线。因此,可以根据 ΔZ、ΔH曲线的形态来判断钻孔与矿体的相对位置。 球体 I=45°斜磁化时,不同方位时的 ΔH、ΔZ 曲 线特征如表 2 所示:

表 2 球体模型不同方位的曲线特征归	纳
--------------------	---

方位	0°	45°	90°	135°
ΔZ 曲线	不对称"S"形	不对称"S"形	双"S"形	不对称反"S"形
ΔH 曲线	不对称反"C"形	不对称"S"形	正"S"形	不对称反"S"形
方位	180°	225°	270°	315°
<b>ΔZ</b> 曲线	不对称反"S"形	不对称反"S"形	双"S"形	不对称"S"形
ΔH 曲线	不对称反"C"形	不对称反"S"形	反"S"形	不对称"S"形

41 卷



图 3 钻孔位于球体不同方位时的  $\Delta Z$ 、 $\Delta H$  曲线

# 1.2 不同磁化方向

设定磁化强度的水平投影与 Ox 轴之间的夹角 A'=-3°,1 号井位于 xOz 剖面内,y=0,距球心距离 为 20 m, 设定球体磁化方向分别为 I=0°、30°、60°、 90°,如图4,得到不同磁化方向时的 ΔH、ΔZ 异常特 征如图5所示。



由图 5 可知,在井位不变的情况下,随着磁化方 向 I=0°、30°、60°、90°改变时, ΔH 曲线从双"S"形曲 线转变为正"S"形曲线, ΔZ 曲线从正"S"形曲线转 变为双"S"形曲线,在垂直磁化或横向磁化时,可以 根据 ΔZ 曲线的极小值点或者 ΔH 曲线的零值点判

断球体的埋深。

# 2 板状体的磁场

对于板状体的磁场分析,这里仅介绍板状体的 倾向相对于钻孔深度可看作是无限延深的板状体。

1)顺层磁化薄板:顺层磁化的薄板只在顶底面 上有磁荷,如果下端延伸较大,可以认为测点的磁场 只有上端矿顶磁荷引起(图 6a),其位函数为<sup>[4]</sup>:

$$V = 2\lambda \ln \sqrt{X^2 + Y^2}, \qquad (3)$$

其中:λ=2bJ;b 为薄板半宽度;J 为磁化强度。

由于薄板沿走向无限延伸,在垂直走向的中心 横截面内  $\gamma$  分量为 0,这时有 ΔH  $\Delta Z$   $\Delta T$  为:

$$\Delta Z = -2\lambda \sin \alpha \cdot \frac{Z}{X^2 + Z^2},$$

$$\Delta H = -2\lambda \sin \alpha \cdot \frac{X}{X^2 + Z^2},$$

$$\Delta T = \sqrt{\Delta H^2 + \Delta Z^2},$$
(4)

其中:α 为板倾角。

2) 横向磁化薄板: 横向磁化是指垂直板面方向 磁化(图 6b),这时只有两板面有磁荷,其位函数 为<sup>[4]</sup>:

· 37 ·



表	3	顺层磁化板状体模型参数	
---	---	-------------	--

薄板上顶中心坐标	薄板倾角	薄板宽度	钻孔深度	测点距	磁场强度	磁化率	真空中的磁导率
(x <sub>0</sub> ,D)	α	2b	<i>H</i> /m	Δd/m	<i>T/</i> nT	<i>ĸ</i>	μ <sub>0</sub> /(H/m)
(0,100)	45°	0.1	200	1	49 000	0.2	$4\pi \cdot 10^{-7}$

为直孔。

图 7 所示为分布在不同方位的 8 个钻孔,距薄 板上顶中心投影 O 水平距离均为 20 m,测得不同方 位下的磁场特征见图 8。对于顺层磁化无限延深薄 板,ΔZ、ΔH 曲线均是对称的,当钻孔位于薄板北侧 时,ΔH 曲线为正"C"形曲线,当钻孔位于薄板南侧 时,ΔH 曲线为反"C"形曲线。ΔZ 曲线均是上正下 负的反"S"形曲线,因此,可以根据 ΔH 曲线的形态 来判断钻孔与矿体的相对位置。

ΔT 收敛矢量正方向一般就指示了矿头的方向,



图 7 钻孔模型示意



图 8 钻孔位于薄板不同方位时的磁场特征

当钻孔在矿体北侧,ΔT 收敛矢量正方向在南侧,指 示矿头在钻孔南侧;当钻孔在矿体南侧,ΔT 收敛矢 量正方向在北侧,指示矿头在钻孔北侧。

薄板顺层磁化时,不同方位时的  $\Delta H$ 、 $\Delta Z$  曲线 特征如表 4 所示。

2.2 不同倾斜方向

这里分别考虑顺层磁化、斜磁化向下无限延深 薄板两种情况,给定相同的模型参数如下表5,钻孔 为直孔。

对于顺层磁化无限延深薄板,设计钻孔位于薄 板的南侧,距薄板上顶中心投影的水平距离为 20 m,得到不同倾斜方向下的磁场特征(图 9)。

顺层磁化向下无限延深薄板,电荷都集中于 薄板上表面,不同的倾斜方向并不会改变 ΔH、ΔZ 曲线的形态,ΔH 曲线为反"C"形,ΔZ 曲线为上正 下负的反"S"形。可以根据 ΔH 曲线的极值点或 ΔZ 曲线的零点来确定薄板的上顶埋深。ΔT 收敛 矢量正方向一般就指示了矿头的方向,当钻孔在 矿体南侧,ΔT 收敛矢量正方向在北侧,指示矿头 在钻孔北侧。

对于斜磁化无限延深薄板,设计钻孔位于薄板 的北侧,距薄板上顶中心投影的水平距离为 20 m, 得到不同倾斜方向下的磁场特征(图 10)。

斜磁化向下无限延深薄板, ΔH、ΔZ 曲线的形态不对称, 曲线的变化规律也比较复杂, 斜板南倾时, ΔH 曲线为上负下正的不对称"S"形, ΔZ 曲线为不对称"C"形; 斜板北倾时, ΔH 曲线为不对称 "C"形, ΔZ 曲线为上正下负的不对称反"S"形。 并不可以简单地根据曲线的极值点或零点来确定 薄板的上顶埋深。ΔT 收敛矢量正方向一般就指示

0°	45°	90°	135°
反"S"形	反"S"形	反"S"形	反"S"形
正"C"形	正"C"形	正"C"形	反"C"形
180°	225°	270°	315°
反"S"形	反"S"形	反"S"形	反"S"形
反"C"形	反"C"形	反"C"形	正"C"形
	0° 反"S"形 正"C"形 180° 反"S"形 反"C"形	0°         45°           反"S"形         反"S"形           正"C"形         正"C"形           180°         225°           反"S"形         反"S"形           反"S"形         反"S"形           反"C"形         反"S"形	0°         45°         90°           反"S"形         反"S"形         反"S"形           正"C"形         正"C"形         正"C"形           180°         225°         270°           反"S"形         反"S"形         反"S"形           反"S"形         反"S"形         反"S"形           反"C"形         反"C"形         反"C"形

表 4 顺层磁化时薄板不同方位的 ΔH、ΔZ 曲线特征

表 5 无限延伸薄板模型参数								
薄板上顶中心坐标 (x <sub>0</sub> ,D)	薄板宽度 2b/m	钻孔深度 <i>H</i> /m	测点距 Δd/m	磁场强度 <i>T/</i> nT	磁化率 κ	真空中的磁导率 μ <sub>0</sub> /(H/m)		
(0,100)	0.1	200	1	49 000	0.2	$4\pi \cdot 10^{-7}$		



图 9 顺层磁化无限延深板不同倾斜方向下的磁场特征





了矿头的方向,当钻孔在矿体北侧, $\Delta T$  收敛矢量正 方向在南侧,指示矿头在钻孔南侧。

2.3 不同磁化方向 给定模型参数如表 6,模型如图 11 所示,钻孔 为直孔。设定薄板磁化方向分别为 i=0°、30°、60°、 90°,在 xOz 剖面内,取距薄板上顶中心投影 O 水平 距离为 20 m 的钻孔,得到不同磁化方向时的  $\Delta H$ 、 ΔZ 异常特征(图 12)。

表 6 无限延伸板状模型参数									
	薄板上顶中心坐标 $(x_0,D)$	薄板倾角 α	薄板宽度 2b	钻孔深度 H	测点距 $\Delta d$	磁场强度 <i>T</i>	磁化率 <i>к</i>	真空中的磁导率 <i>μ</i> ₀	
-	(0.100)	90°	0.1	200 m	0.5 m	49 000 nT	0.2	$4\pi \cdot 10^{-7}$ (H/m)	



图 11 板状体不同磁化方向模型

由图 12 可知,随着磁化方向 I=0°、30°、60°、 90°改变时, ΔH 曲线从对称正"S"形曲线转变为正 "C"形曲线, ΔZ 曲线从正"C"形曲线转变为对称反 "S"形曲线,垂直磁化或横向磁化时,根据 ΔZ 曲线 的极小值点或者 ΔH 曲线的 0 值点判断薄板的上顶 埋深。

#### 应用实例 3

图 13 为海南石碌铁矿 ZK1102 井实测数据经 过处理得到的  $\Delta H$ 、 $\Delta Z$  曲线,主要根据  $\Delta H$ 、 $\Delta Z$  曲线 分析解释钻孔与矿体的相对位置。

确定矿体相对于钻孔的空间位置是井中三分量 磁测解释工作的重要任务之一,它对于合理布置钻 孔、指导钻进和提高钻孔的见矿率具有很大意义,矿 体方位的推断方法如表7所示。

由图 13 可以看出,在 0~60 m 磁性比较强,可 能是由于套管的影响,也可能存在磁性层。在150~ 230 m 之间, 曲线跳动比较明显, 异常值比较大, 可 能是穿过某个磁性层的原因,需要通过磁化率资料 的对比研究来判定是否为磁性层以及磁性层的深 度、厚度等。在 250~600 m 深度间,可以看出 ΔZ 曲 线有比较明显的近似"C"形的异常,可能是存在井 旁盲矿体。取 250~600 m 之间的数据进行分析,如 图 14 所示。



图 12 不同磁化方向时的 ΔH、ΔZ 的曲线特征



图 13 ZK1102 实测数据处理 ΔH、ΔZ 曲线

表7 2	不同矿体	4方位下钻	孔位置不	同时的	$\Delta H, \Delta Z$	曲线特征
------	------	-------	------	-----	----------------------	------

		矿体北倾 矿体南侧					矿体南倾				
分量曲线	钻孔打在 矿体南侧	钻孔打在 矿体南头	钻孔打在 矿体北头	钻孔打在 矿体北侧	钻孔打在 矿体南侧	钻孔打在 矿体南头	钻孔打在 矿体北头	钻孔打在 矿体北侧			
$\Delta Z$	反"S"形	反"S"形	"S"形	"S"形	"C"形	反"C"形	反"C"形	"C"形			
$\Delta H$	反"C"形	"C"形	"C"形	反"C"形	反"S"形	反"S"形	"S"形	"S"形			

Δ*H* 曲线为不完整的上负下正的近似"S"形曲 线,Δ*Z* 曲线呈正张口近似"C"形。该孔井中磁测资 料显示,250 m 处 Δ*Z* ≈ -1 350 nT,425 m 处 Δ*Z* 取得 负极大值约-3 963 nT,600 m 处 Δ*Z* ≈ -1 260 nT,其 幅值约-1700 nT。根据异常曲线的形态和特征点, 判断该异常体的中心埋深约在400~430 m,距井距 离约有  $d=0.5Z_{\frac{1}{2}|\Delta_{rmax}|} \approx 120$  m。表明异常体可能为 南倾并且位于该孔的南侧,且斜交磁化,矿体近似板 状体,此时,该钻孔无需继续钻进。

# 4 结论

井中三分量磁测是磁法勘探在钻孔中的应用, 结合地面磁测和其他钻孔的资料,可以很好地解释 井旁以及井底的盲矿体,这种井中物探方法可以有 效的寻找磁铁矿和强磁性金属矿床。笔者通过分析 球体、薄板状体模型在井中产生的磁异常来研究判 断矿体方位和空间位置的方法,得到以下几点认识。



图 14 ZK1102 实测部分数据处理磁异常曲线及矿体模型

1)钻孔的相对位置、磁化方向、倾斜方向等参 数将会直接影响异常体的磁场,不同方位的钻孔、不 同的磁化方向对磁性体的磁场影响比较大。

2)对于板状体而言,磁化方向和板状体的夹角 对磁异常曲线形态影响很大,倾向不同也对板状体 磁场影响很大,斜磁化板状体的磁异常形态比较复 杂,较准确判断矿体的方位和空间位置比较困难。

3)单个因素对钻孔中磁场的影响比较容易分析,多个因素的综合影响会使磁场分量曲线变复杂, 不容易分析。

4) 对海南石碌铁矿的井中磁测资料进行了数 据处理,主要是计算磁异常的水平分量以及磁异常 垂直分量,并对磁异常进行了分析和解释,为指导钻 进、布井提供参考依据。

## 参考文献:

- [1] 蔡柏林.钻孔地球物理勘探[M].北京:地质出版社,1986.
- [2] **蔡柏林,王作勤,杨坤彪,等**.井中磁测物理—地质模型及其应 用[M].北京:地质出版社,1989.
- [3] 范志雄,陈石美,舒秀峰.利用井中磁测异常确定磁性体走向的 方法[J].地质找矿论丛,2006,21(增刊):160-162.
- [4] 潘和平,马火林,蔡柏林,等.地球物理测井与井中物探[M]. 北京:科学出版社, 2009.
- [5] 张雷,苑守成,罗先忠.井中三分量磁测找磁铁矿中应用的一个 实例[J].物探与化探,2007,31(3):202-210.
- [6] 陈天振,李卫花,徐遂勤,等.井中三分量磁测方法与效果初探[J].地球物理学进展,2008,23(3):892-897.
- [7] 习宇飞,刘天佑,杨坤彪,等.欧拉反褶积法用于井中磁测数据

反演与解释[J].工程地球物理学报,2008,5(2):181-186.

- [8] 熊选文,邹长春.井中三分量磁测数据转换及绘图软件的设计 和实现[J].物探与化探,2008,32(6):685-689.
- [9] 王庆乙,李学圣,徐立忠.高精度井中三分量磁测是矿山深部找 矿的有效手段[J].物探与化探,2009,33(3):235-244.
- [10] 潘和平,牛一雄,王文先,等.中国大陆科学钻探主孔井中磁测
   [J].地球科学,2004,29(增刊):1-5.
- [11] 习宇飞,刘天佑,刘双.井中磁测三分量联合反演[J].石油地球 物理勘探,2012,47(2):344-352.
- [12] 陶德益,杨海燕,肖明尧,等.井中磁测在大冶铁矿深部勘查中 的应用效果[J].资源环境与工程[J],2011,25(4):358-362.
- [13] 欧洋,刘天佑,高文利,等.井中三分量磁测的模量反演[J].物 探与化探,2013,37(4):664-668.
- [14] 刘冬节.利用井中三分量磁测异常垂直分量及水平分量模差对 旁侧异常进行二维拟合计算推断解释[J].物探与化探,2011, 35(5):617-619.
- [15] 蔡耀泽.高精度 JCX-3 型井中三分量磁力仪的研制[J].地质装备,2006,7(5):22-23.
- [16] Silva J B C, Hohmann G W. Interpretation of three component borehole magnetometer data [J]. Geophysics, 1981, 46 (12): 1721 – 1731.
- [17] Bosum W, Casten U, Fieberg F C, et al. Three-dimensional interpretation of the KTB gravity and magnetic anomalies [J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(8):18037-18321.
- [18] Yaoguo L, Douglas W O. Joint inversion of surface and three-component borehole magnetic data [J]. Geophysics, 2000, 65(2):540 - 552.
- [19] Joao B C.Silva, Gerald W.Hohmann. Interpretation of three-component borehole magnetometer data [J]. Geophysics, 1981, 46(12): 1721-1731.
- [20] 刘光鼎,程业勋,管志宁,等.地磁场与磁法勘探[M].北京:地 质出版社, 2005.

# A method for determining the direction and spatial location of the geological mineral body by three-component magnetic survey in drill hole

YAO Jing<sup>1</sup>, PAN He-Ping<sup>1</sup>, YANG Huai-Jie<sup>1</sup>, WANG Xiu-Qi<sup>2</sup>

(1. Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; Astronomy 430074, China)

Abstract: The three-component magnetic survey in drill hole can improve the exploration accuracy of mineral body so as to direct the exploration drilling with the surface magnetic survey after detecting the anomalies near the drill hole better. The three-component magnetic survey in drill hole is also used in search for the blind orebody near or under the drill hole and in judging the shape, direction and depth of the mineral body. This paper mainly analyzes the magnetic field distribution characteristics of sphere and the laminated body, and summarizes the corresponding relationship between the characteristics of magnetic field distribution and orientations, such as location, direction of magnetization, and sloping direction. Also, the method of judging orebody direction is studied, and the spatial location of the orebody is determined. The three-component magnetic survey in drill hole is an effective method in search for the magnetic mineral body in the depth and detecting its occurrence situation. This method was applied to the ZK1102 drill hole magnetic data of an iron ore mine in Hainan, which improved the accuracy of determining the spatial location of an underground orebody. The results obtained by the authors provide a reference for drilling or reserves evaluation of magnetic orebody.

Key words: drill hole three-component magnetic survey; sheet; laminated body; forward; analytical analysis

(本文编辑:王萌)

・简讯・

# 国土资源系统4项目获国家科技奖

1月9日,国家科学技术奖励大会在北京人民大会堂隆重举行。国土资源部推荐的项目,1项获国家自然科学二等奖、两项获国家科技进步二等奖、1人获国际科学技术合作奖。

中国地质科学院矿产资源研究所毛景文、谢桂青与北京大学陈斌主要研究完成的"中国东部 板内燕山期大规模成矿动力学模型"项目,获得国家自然科学二等奖。

由中国国土资源航空物探遥感中心、成都理工大学、中国人民解放军国防科学技术大学、吉林 大学4家主要单位完成的"航空地球物理勘查技术系统"项目获国家科技进步二等奖,主要完成人 为中国国土资源航空物探遥感中心熊盛青、王平、陈斌、周锡华、周坚鑫、薛典军、段树岭,以及成都 理工大学葛良全、国防科学技术大学吴美平、吉林大学林君。

由中国地质科学院、安徽省地质矿产勘查局、华东冶金地质勘查局等单位研究完成的"大别山 东段深部探测与找矿突破"项目获国家科技进步二等奖。

与中国地质科学院岩溶地质研究所合作的美国专家克里斯·葛立夫获国际科学技术合作奖。