



2016中国国际矿业大会一天津

# 三维电磁探测技术研发与应用

3D Electromagnetic Detection Technology  
Research and Application

林品荣

中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所  
The Institute of Geophysical & Geochemical Exploration



# 提 纲

## 一、国内外现状

(research status)

## 二、研发目标

(research objectives)

## 三、主要进展与应用

(achievements and applications)



# 一、国内外现状

电磁探测技术以获取的参量多（电阻率、极化率、频散率、相位等）、探测深度大（从浅至几米、深至上百千米）在地质调查和深部探测研究中得到广泛应用，特别是在多金属矿产、地下水资源、油气资源和深部地质结构探测等方面已经并正在发挥越来越大的作用。

Electromagnetic Detection Technology acquiring multi-parameter (resistivity, chargeability, PFE, phase and others) in a large depth (several meters to hundreds of kilometers) has been widely applied in geological survey and deep exploration, especially in metal ore, ground water, oil-gas, geologic structure and so on.



# 一、国内外现状

在国外，加拿大凤凰地球物理公司（Phoenix Geophysical），开发了以30KW为主的V8多功能电法系统，并在我国的地质调查中得到了良好应用；加拿大矿泰（QUANTEC）公司开发了大功率的激电与音频大地电磁测深相结合的全景三维（ORION 3D）分布式电磁法系统。

Internationally, Canada Phoenix geophysical company developed the V8 system (major in 30 KW), which achieved good applications in geological survey. QUANTEC company developed the high-power ORION 3D distributed system which combined IP and CSAMT sounding technologies.



# 一、国内外现状

德国METRONIX公司开发了张量可控源电磁系统，其发射功率为20KW。这些系统的人工源电磁法部分，受发射功率和探测深度的限制，主要适用于中浅部（2000米内）的资源勘查。目前国外正在向更大的大功率或级联式的大功率大深度全三维电磁探测方向研究发展。

Germany METRONIX company developed the Tensor CSAMT system (20 KW power). The controlled-source functions in these systems are mainly suitable for the resource exploration in middle depth (within 2000 m). Now, a further high-power/cascaded high-power large-depth full 3D survey technology is the forward trend.



# 一、国内外现状



发射机

## 发射机技术指标 (technical index)

- 1、频率范围：DC—10KHz
- 2、最高电压：1000V
- 3、发射波形：正负方波/占空比1:1方波
- 4、重量：95Kg



发电机

凤凰公司—30KW发射机指标  
(Phoenix—30 KW transmitter)



# 一、国内外现状



## 技术指标

- 1、频率范围：10KHz—1/2000Hz
- 2、通道数：8通道
- 3、模数转换：每通道一个24位AD，最高采样率96KHz
- 4、具有工频陷波
- 5、键盘操作、液晶显示
- 6、可开展IP、SIP、CSAMT及AMT、MT等的测量
- 7、多个接收机利用**GPS**同步，可组成阵列覆盖观测网络
- 8、功耗：15W
- 9、重量：7Kg

凤凰公司推出的V8接收机  
(Phoenix—V8 receiver)



# 一、国内外现状



德国Metronix公司  
发射机控制器  
(Metronix—transmitter  
controller)

## TXM-22发射机技术指标

- ◆ 频带:1024秒—8192Hz
- ◆ 功率输入:40KVA, 3X400V ( $\pm 10\%$ ) 三相, 50Hz 交流发电机
- ◆ 功率输出:最大 $\pm 40A$ , 连续输出
- ◆ 输出电压: $\pm 560V$
- ◆ 发射信号波形:预设的波形有: 矩形波、正弦波、三角波, 可人工设置伪随机二进制序列波 (PRBS) 等波形
- ◆ 系统控制:由TXB-07发射控制器通过电缆控制
- ◆ 测试功能:对所有重要的功能均可自动自检
- ◆ 外壳:牢固的防水铝合金外壳
- ◆ 重量:35kg
- ◆ 外形尺寸:480mmX514mmX354mm
- ◆ 工作温度: $0^{\circ}C$ — $50^{\circ}C$
- ◆ 存储温度: $-20^{\circ}C$ — $70^{\circ}C$





# 一、国内外现状



德国Metronix公司  
接收机及传感器  
(Metronix—receiver and  
sensors)

## ADU-07e主机技术参数

- ◆ 频率范围：直流—256KHz
- ◆ 道数：每个ADU-07e含有10个通道
- ◆ 带宽：两个频带（直流—500Hz，1Hz—256KHz）；
- ◆ A/D转换器：配有2种24位A/D转换器：低频采样率4KHz；高频采样率600KHz
- ◆ 动态范围：> 130 dB
- ◆ 同步：GPS钟±30ns,可以确定和存贮测点位置
- ◆ 重量：6Kg
- ◆ 外部尺寸：400×330×170mm

## MFS-07e磁场传感器技术参数

- ◆ 频率范围：0.001Hz—50KHz
- ◆ 电源电压：+/- 12V to +/-15V
- ◆ 电流：+/- 25mA
- ◆ 重量：接近5.5Kg
- ◆ 外部尺寸：长 700 mm, 直径70mm
- ◆ 工作温度：-25℃-----+70℃



# 一、国内外现状

在国内，中国科学院地质与地球物理研究所开发了可控源音频大地电磁测深与大地电磁测深相结合的SEP系统；中南大学开发出超过100KW的广域电磁法系统。

In China, Institute of Geology and Geophysics, Chinese academy of sciences developed the SEP system which combined the CSAMT and MT functions. Central South University developed the wide-field electromagnetic system with more than 100 KW power.



# 一、国内外现状

中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所国家863重点项目支持下，开发出60KW的国产大功率多功能电磁法系统（DEM-V），实现了时间域激电、频率域激电、可控源音频大地电磁测深、音频大地电磁测深的测量，填补了国内空白，DEM-V系统经实用化开发后已向相关地勘单位推广应用近20台套，取得良好应用效果。

Institute of Geophysical and Geochemical Exploration (CAGS) developed the 60 KW Multi-functional (with the function of TDIP/FDIP, CSAMT and AMT/MT) electromagnetic system (DEM-V), filling a domestic gap in this field. About 20 sets of systems have been applied by geological exploration units after practical promotion, and good results have been achieved.

# 一、国内外现状

功率电源



## 30KW实用化发射机 (30KW applied transmitter)

### 发射系统主要技术指标

- ①最高发射电压：**1000V**；
- ②最大发射电流：**30A**；
- ③最大发射功率：**30KW**；
- ④发射波形：单一频率的多种波形  
多频组合正负方波；
- ⑤CSAMT频率范围：**8000Hz—1/114.7Hz**；
- ⑥FDIP/TDIP/CR频率范围**128Hz—1/128Hz**。



大功率发射机

# 一、国内外现状



- ①通道数：1—8通道可选装；
- ②每通道均含高速及低速24位AD转换；
- ③接收机间及接收机与发射机间  
采用高精度GPS+恒温晶体进行同步；
- ④AMT观测频率范围：10000Hz—0.1Hz；
- ⑤CSAMT测量频率范围：8000Hz—1/114.7Hz；
- ⑥FDIP/TDIP/CR测量频率范围：128Hz—  
1/128Hz；



# 一、国内外现状

## 适宜于面积性普查工作的多频相位激电系统

多频相位激电发射机

(multi-frequency phase IP transmitter)

发射机主要指标:

频率范围: 128Hz—1/128 Hz

稳流精度: 3‰

最高电压: 600V, 最大电流: 1.5A

最大功率: 900W





# 一、国内外现状

## 适宜于面积性普查工作的多频相位激电系统

多频相位激电接收机

(multi-frequency phase IP transmitter)

接收机主要指标:

频率范围: 128Hz~1/128Hz

通道数: 2道

控制器: PC-104, 586MPU

显示器: 日光下可读LCD

同步精度: UTC±20nS

通道增益: 1—256, 自动量程





## 二、研发目标

对大地电磁测深（**AMT/MT**）、可控源音频大地电磁测深（**CSAMT**）、时间域频率域激电（**TDIP/FDIP**）、磁性源瞬变电磁测深（**TEM**）等方法的二/三维测量技术及三维测量仪器进行开发，与相关应用单位联合，对开发的系统进行试验和应用。

Developing the 2D/3D measuring technology and 3D measuring instrument systems of AMT/MT, CSAMT, TDIP/FDIP, TEM and so on. Carrying out tests and applications of these systems through cooperation with other units.





## 三、主要进展与应用

- \*开发出160KW的大功率电磁法发射机；
- \*研发出具有AMT/MT、CSAMT、TDIP/FDIP等测量功能的分布式接收机和感应式磁场传感器；
- \*开发出10KW的瞬变电磁发射机和三分量测量的瞬变电磁接收机；
- \*developed 160 KW high-power transmitting system;
- \*developed multi-functional (with the measurement function of AMT/MT, CSAMT and TDIP/FDIP) distributed receiving system and induction magnetic field sensor;
- \*developed 10 KW TEM transmitting system and three-component measurement TEM receiving system;



## 三、主要进展与应用

- \*开发出时间域3分量的感应式线圈和高温超导传感器；
- \*研发出TDIP、SIP、CSEM、AMT/MT、TEM数据处理与正反演解释软件。
- \*developed time-domain three-component measurement inductive circular loop and high temperature superconducting sensors;
- \*developed the matched data processing technology and inversion interpretation software of the TDIP, SIP, CSEM, AMT/MT and TEM.



## 三、主要进展与应用

### \*发表科技论文34篇

其中向国外发表1篇，SCI5篇，EI5篇

### \* **published 34 science and technology papers**

1 paper in International journal,

5 papers in Science Citation Index (SCI),

5 papers in Engineering Index (EI).



## 三、主要进展与应用

### \*申请专利5项，其中发明专利4项

频率域感应式磁场传感器；不接地激电方法与仪器；一种仪器箱；背带头、背带和自卡背带；相位激电勘探中去除电磁耦合的方法。

### \*获得发明和实用新型专利授权各2项

不接地激电方法与仪器；频率域感应式磁场传感器等

### **5 patents have been applied for:**

Frequency domain inductive magnetic field sensors.

No grounding IP method and the instrument.

Electromagnetic coupling removing technique in phase IP.

A kind of instrument box.

Straps joint, straps and auto-locking straps.

# 三、主要进展与应用

仪器  
关键  
技术  
研发



**160KW**发射机 (160KW transmitter)



**200KW**发电机组  
(200KW generator set)



**160KW**整流电源 (160KW rectifier power source)



# 三、主要进展与应用

仪器  
关键  
技术  
研发



分布式多功能电磁接收机  
(distributed multi-functional receiving system)



# 三、主要进展与应用

仪器  
关键  
技术  
研发



10KW瞬变电磁发射机  
(10KW TEM transmitter)



三分量瞬变电磁接收机  
(three-component TEM receiver)



# 三、主要进展与应用

仪器  
关键  
技术  
研发



多台接收机和发射机

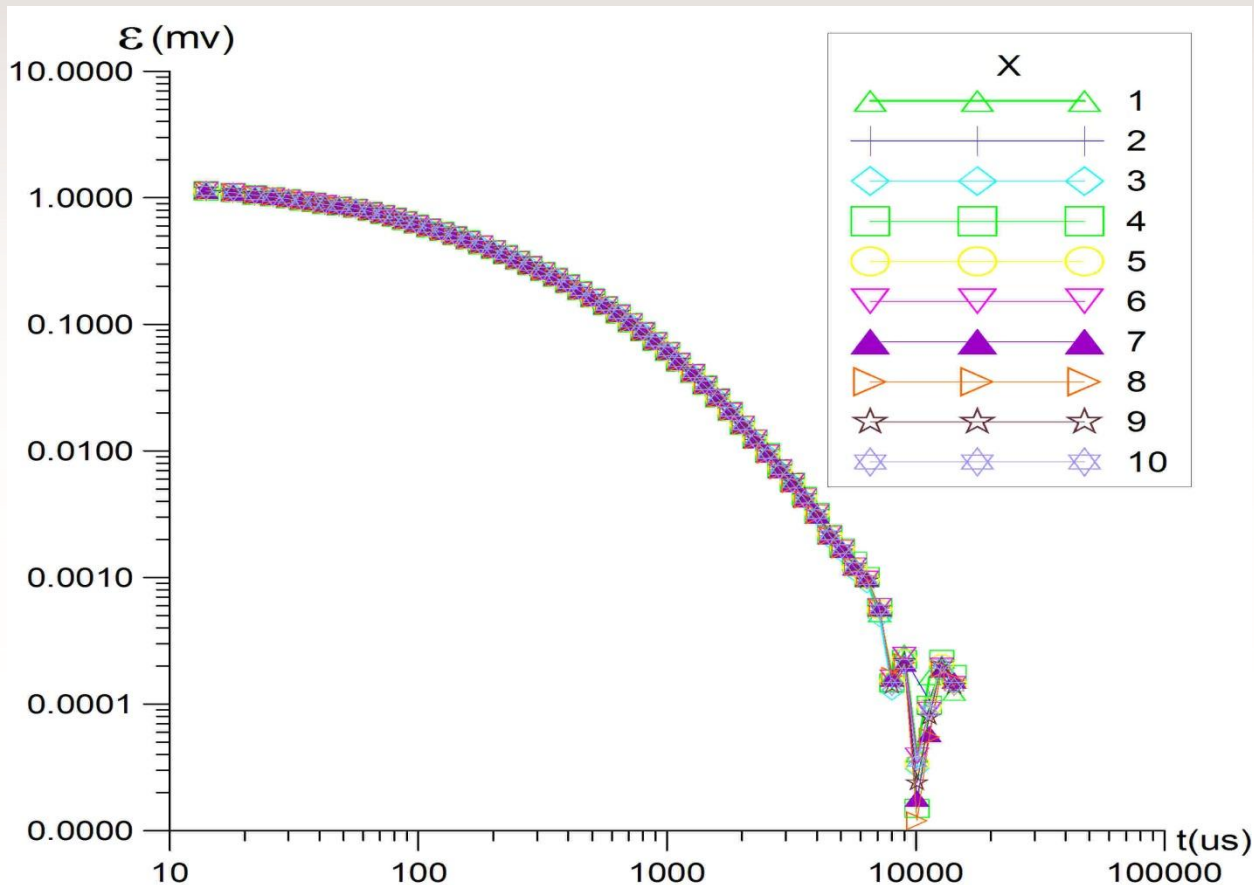
Multi-receiver and a transmitter





# 三、主要进展与应用

仪器  
关键  
技术  
研发



10台接收机衰减曲线对比（误差小于1%）

Comparison between 10 receivers decay curves (error < 1%)



# 三、主要进展与应用

仪器  
关键  
技术  
研发



组装的三分量高温超导磁强计

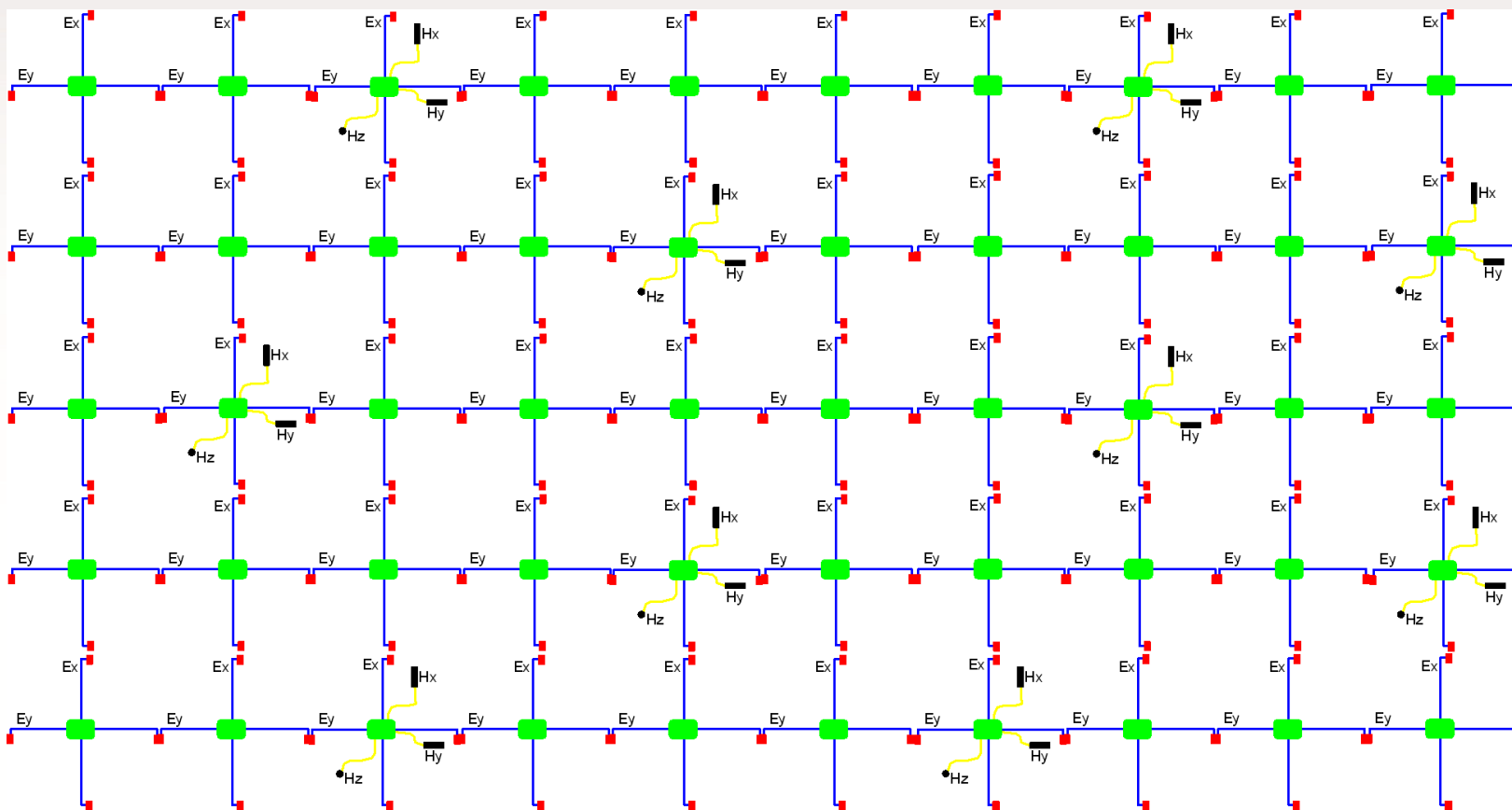
Assembled three-component high-temperature  
superconducting magnetometers



# 三、主要进展与应用

## AMT/MT三维观测设计 (design of AMT/MT 3D survey)

三维电磁探测方法技术研究

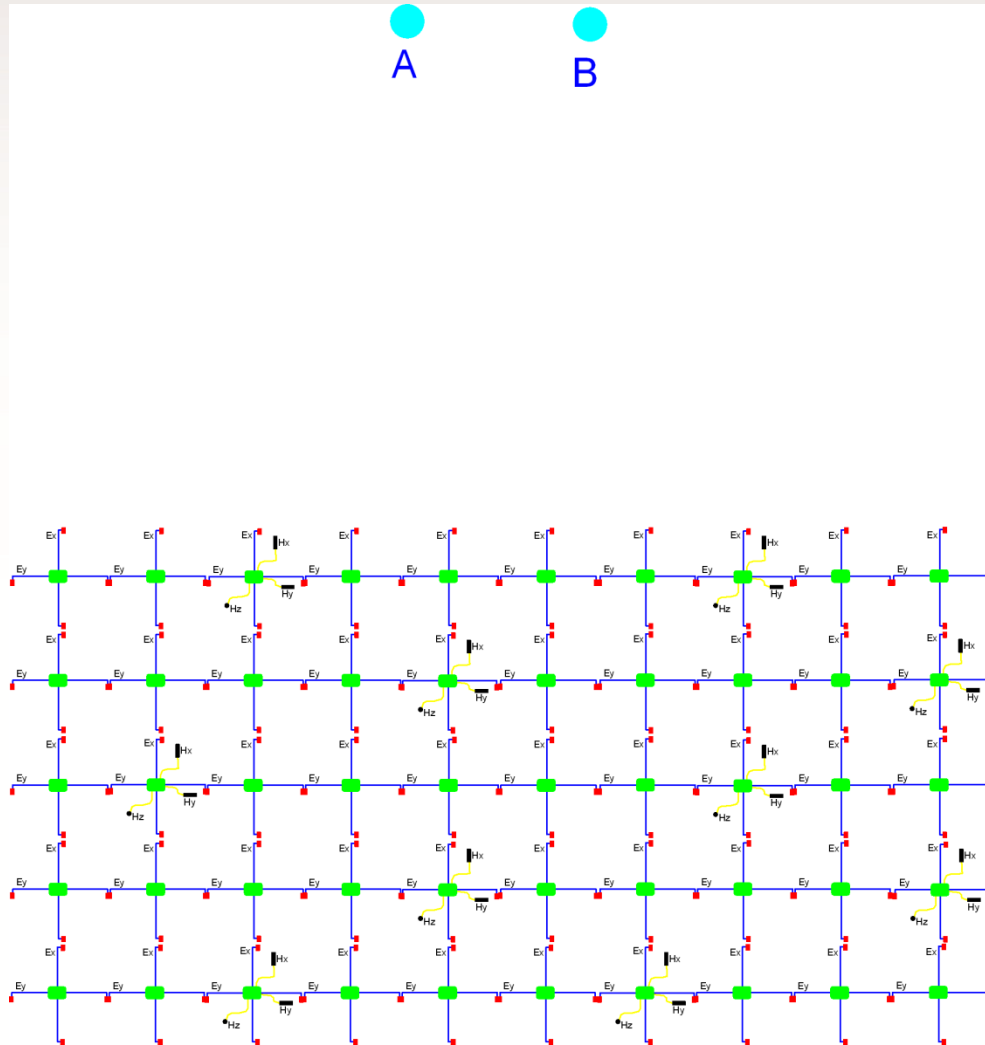




# 三、主要进展与应用

## CSAMT三维观测设计 (design of CSAMT 3D survey)

三维电磁探测方法技术研究



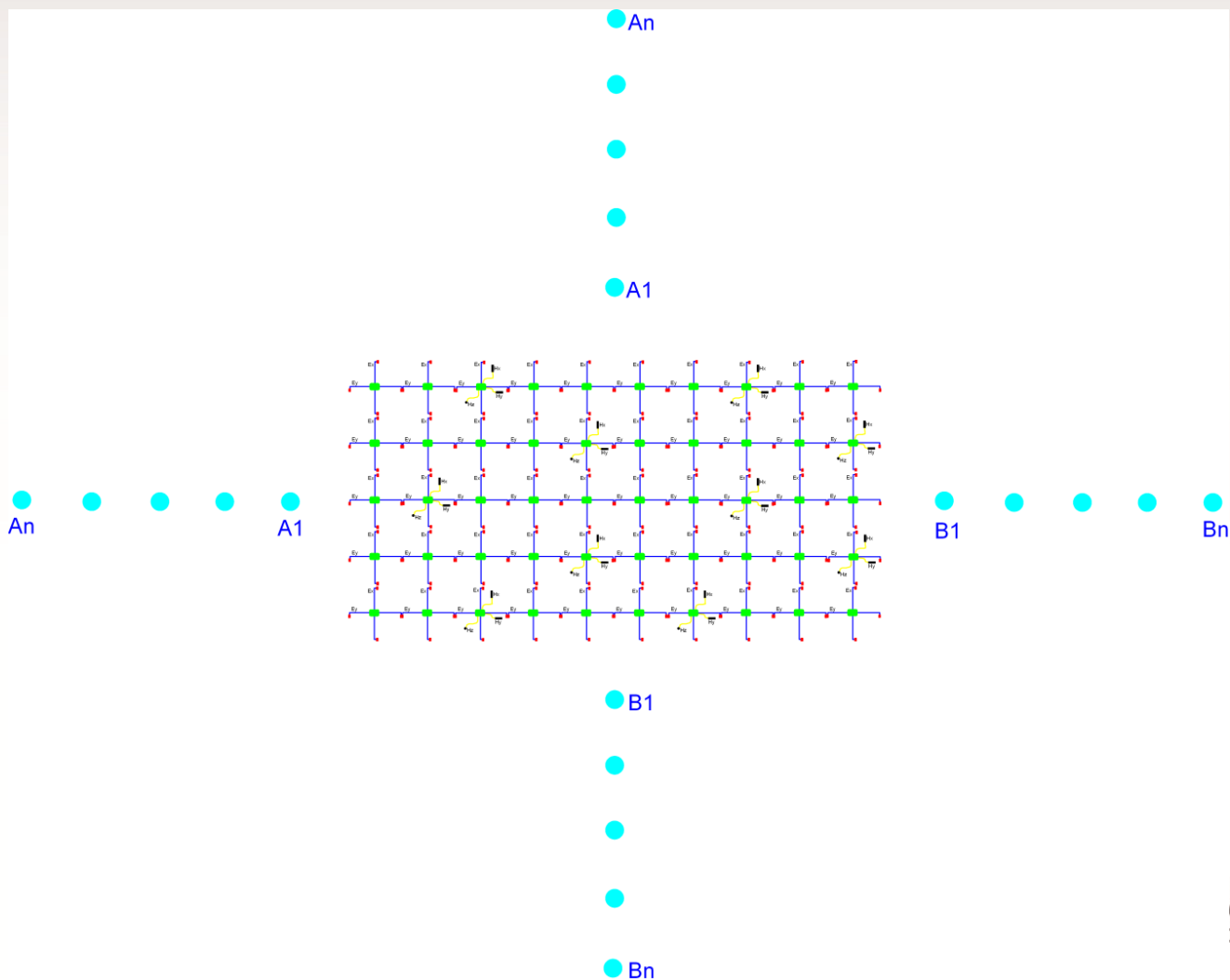
A  
B



# 三、主要进展与应用

## TDIP/FDIP 三维观测设计 (design of TDIP/FDIP 3D survey)

三维电磁探测方法技术研究

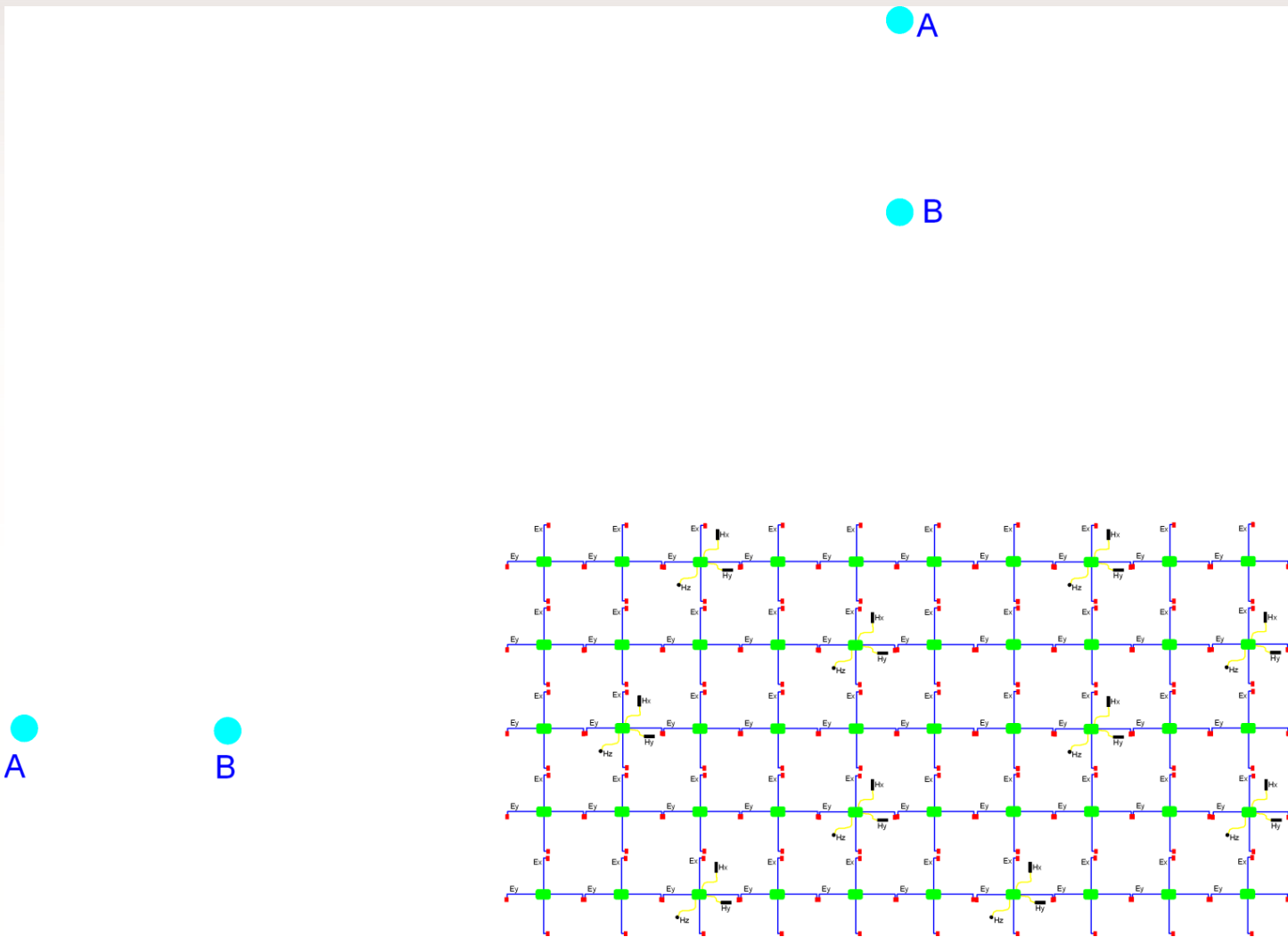




# 三、主要进展与应用

## TDIP/FDIP 三维观测设计 (design of TDIP/FDIP 3D survey)

三维电磁探测方法技术研究

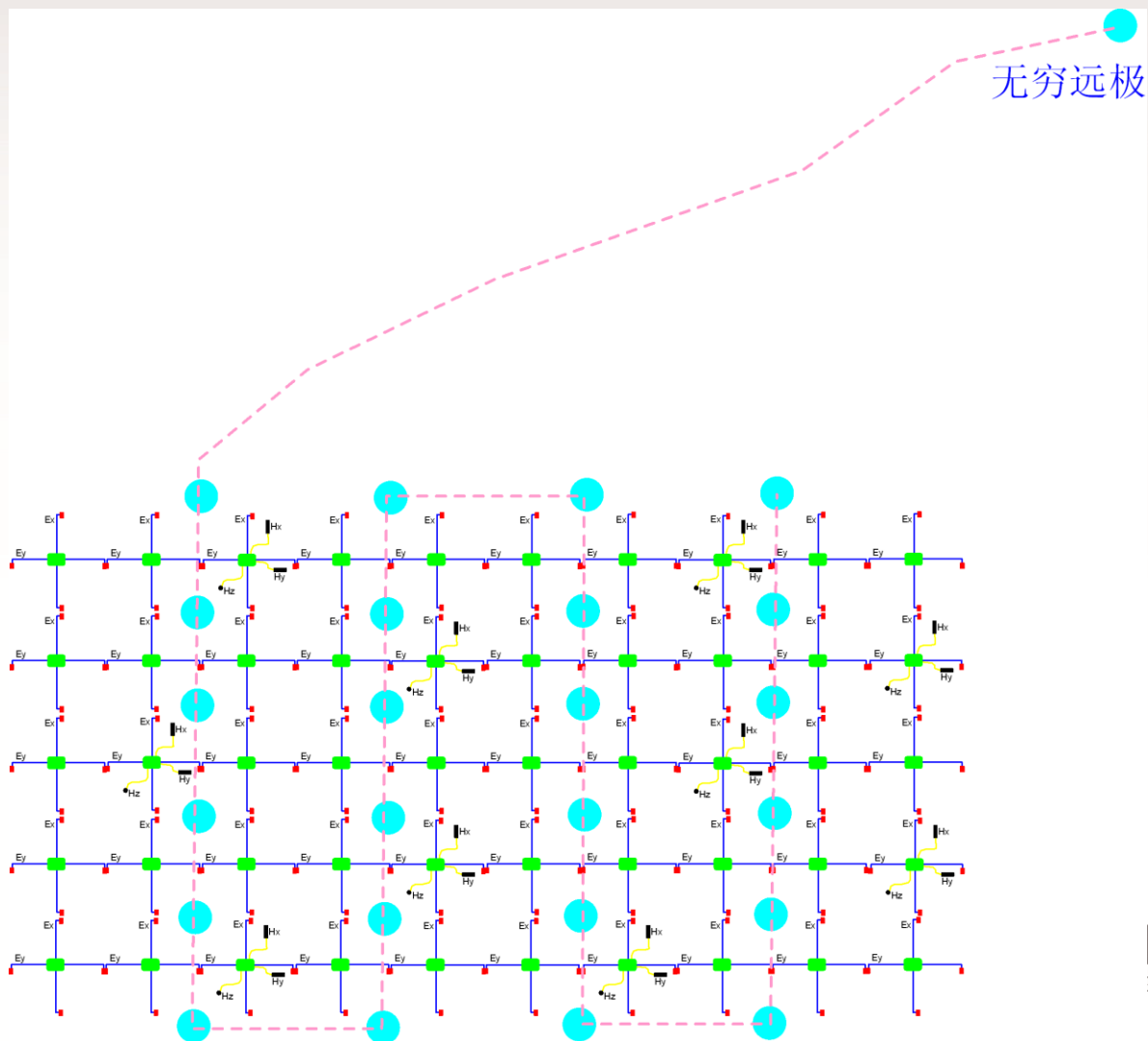




# 三、主要进展与应用

## TDIP/FDIP 三维观测设计(design of TDIP/FDIP 3D survey)

三维电磁探测方法技术研究

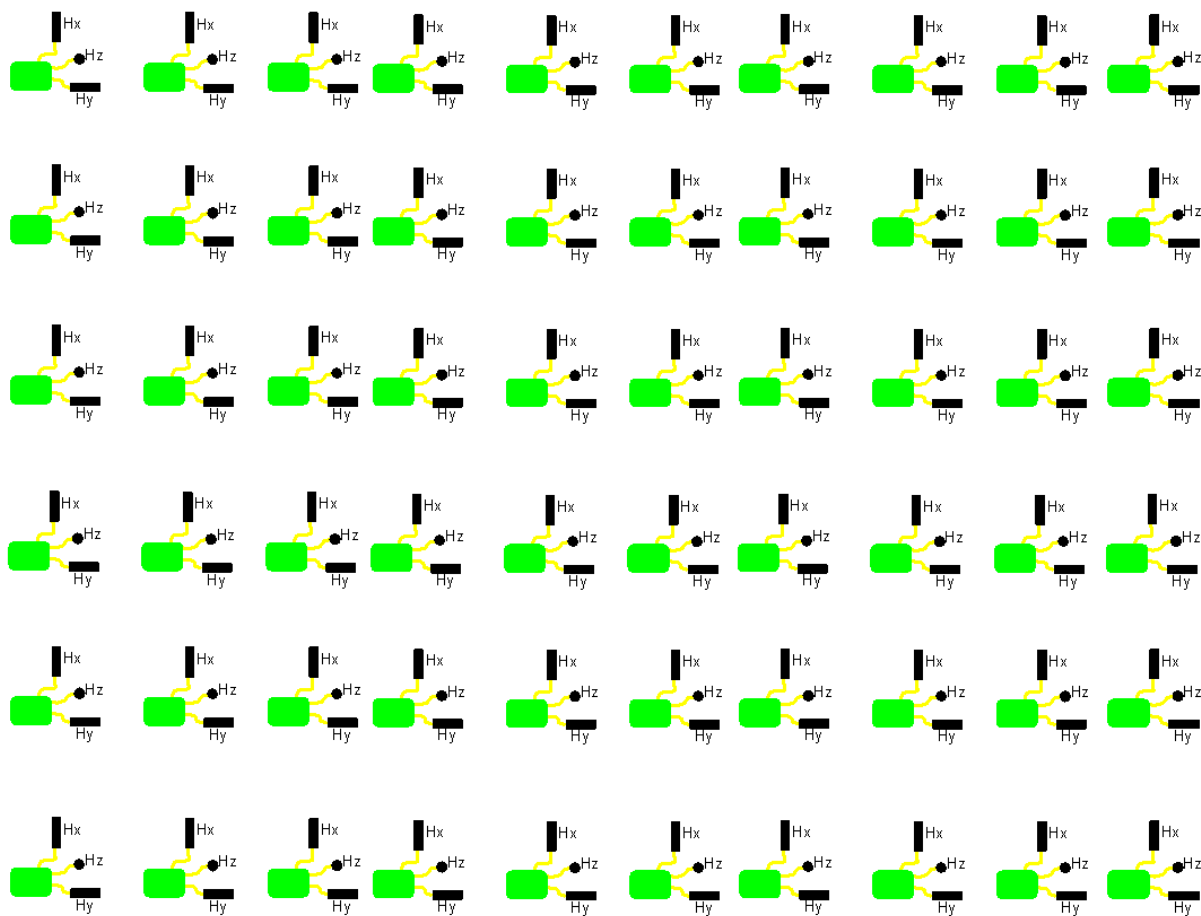




# 三、主要进展与应用

## TEM回线源三维观测设计（发射线框内测量）

### Design of TEM loop source 3D survey (survey is in the loop)



三维电磁探测方法技术研究



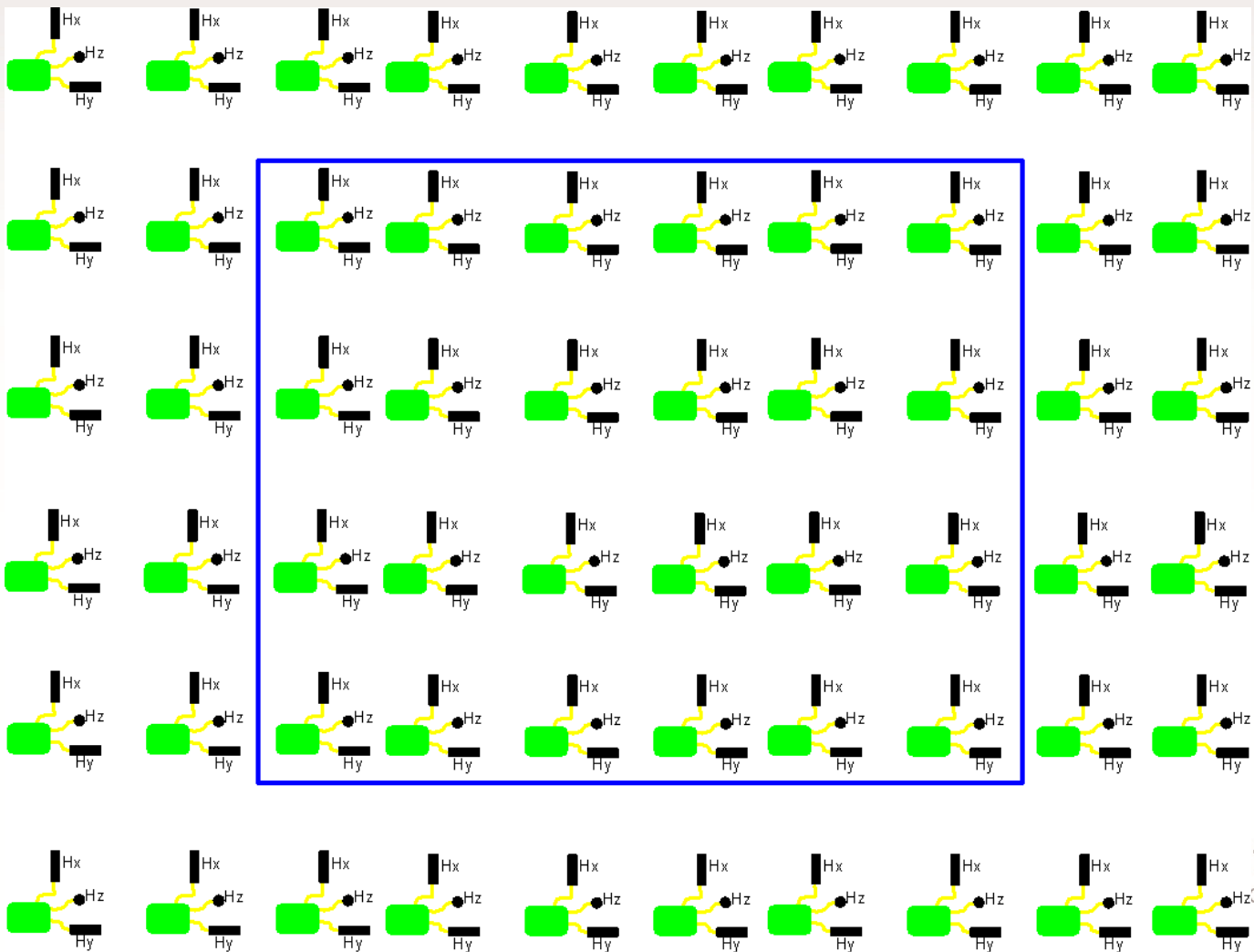


# 三、主要进展与应用

TEM回线源三维观测设计（发射线框内、框外测量）

Design of TEM loop source 3D survey (survey is in and out of the loop)

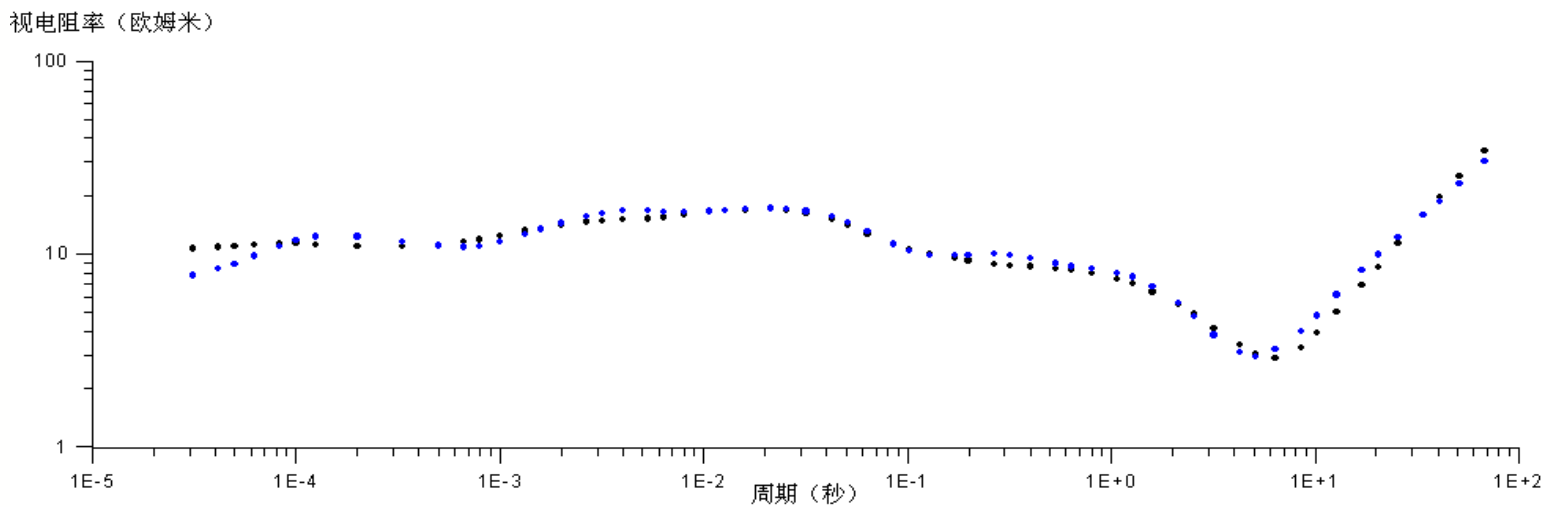
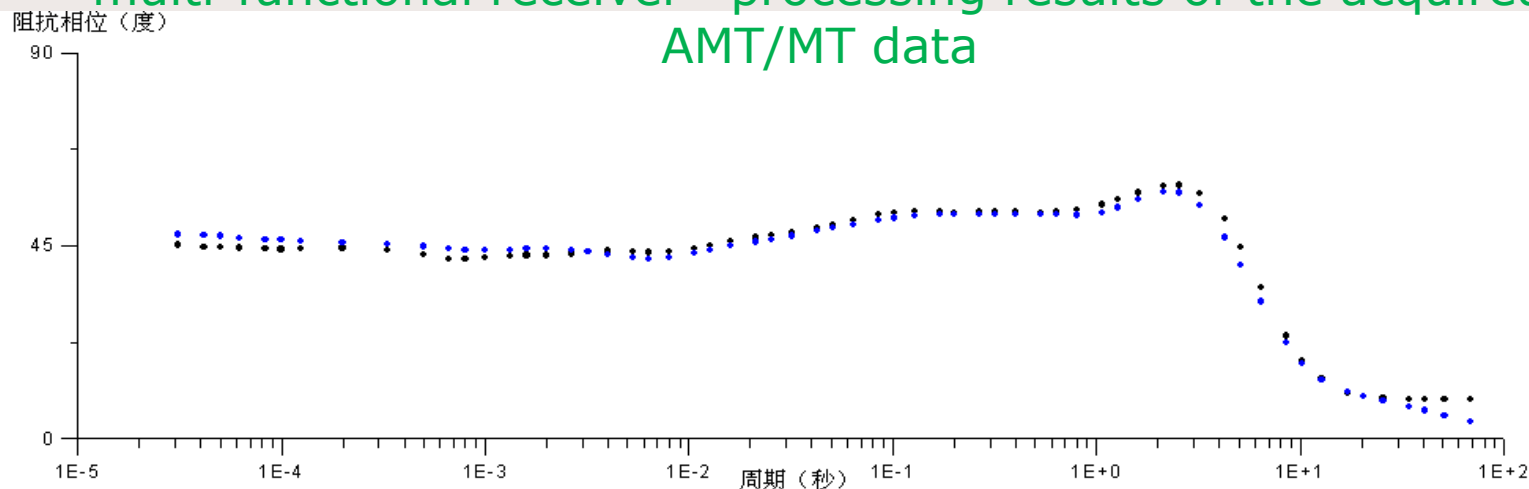
三维电磁探测方法技术研究





# 三、主要进展与应用

研制的多功能电磁接收机—AMT/MT采集数据处理结果  
multi-functional receiver—processing results of the acquired  
AMT/MT data



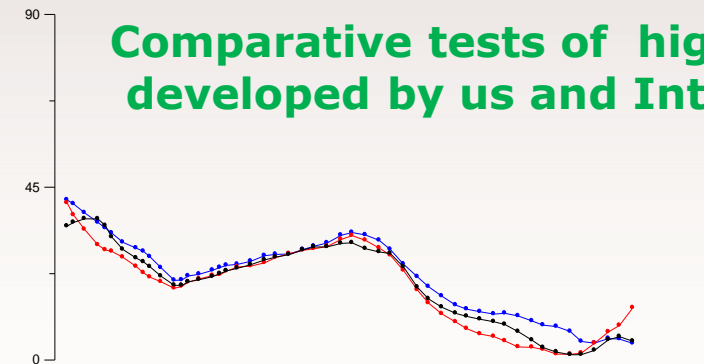


# 三、主要进展与应用

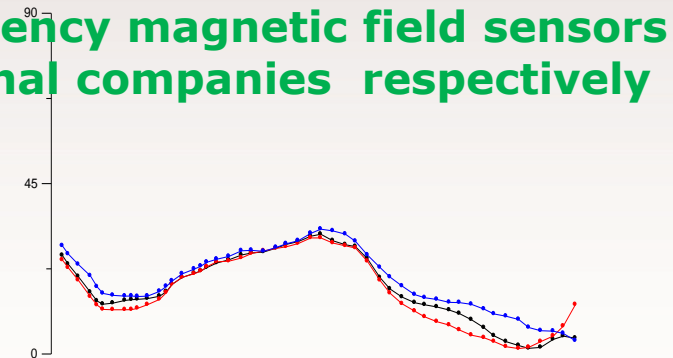
## 研制的高频感应式磁场传感器与国外探头对比试验

Comparative tests of high-frequency magnetic field sensors developed by us and International companies respectively

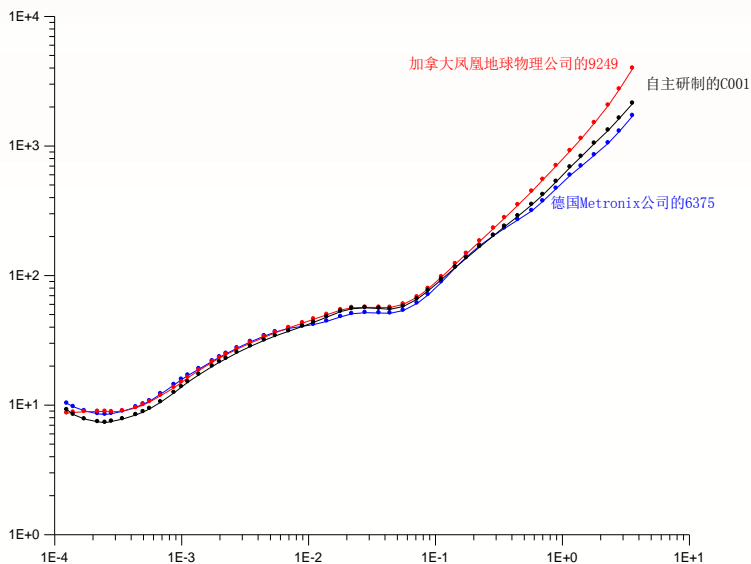
阻抗相位(度)



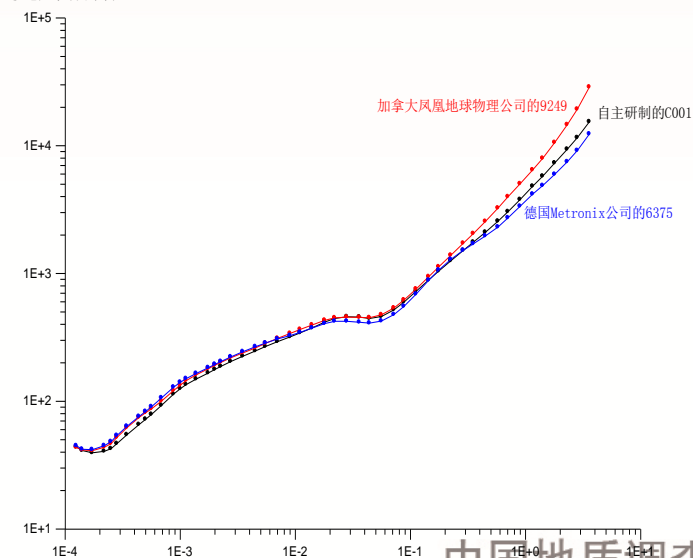
阻抗相位(度)



视电阻率(欧姆米)



视电阻率(欧姆米)

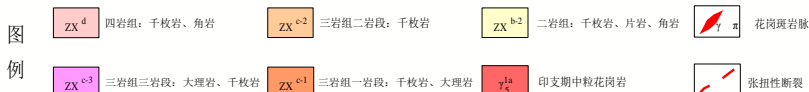
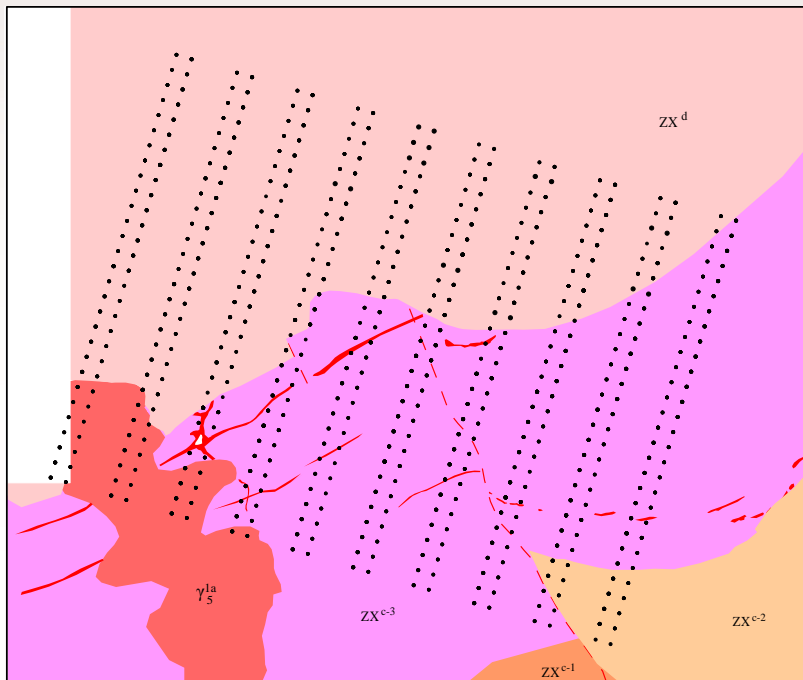




# 三、主要进展与应用

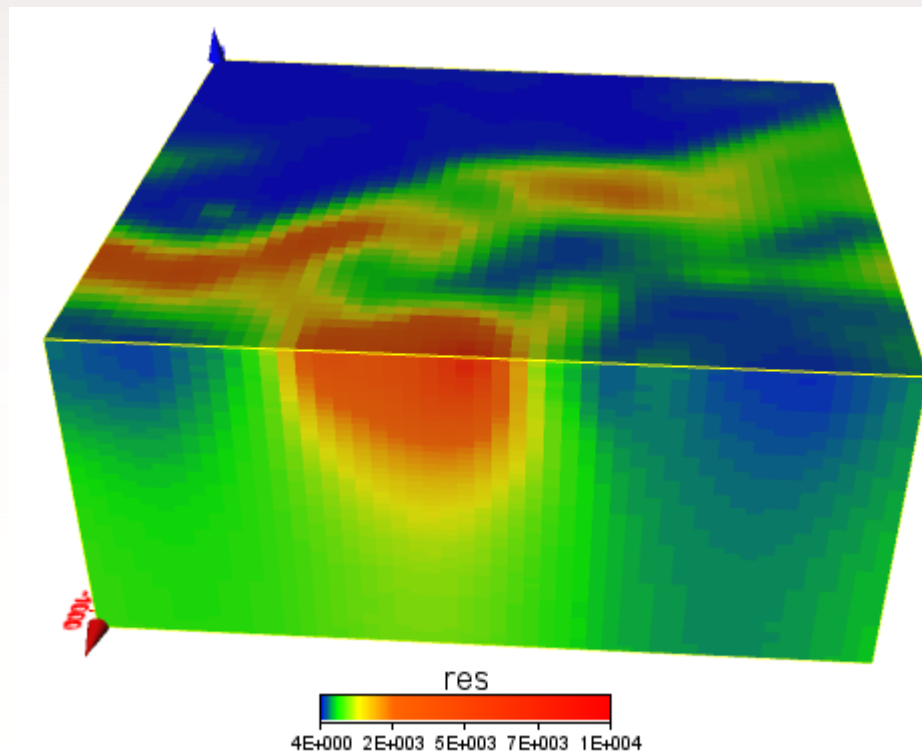
在甘肃柳园某矿区的三维测量实验

(3D IP survey in a mine area in liuyuan, Gansu Province, China)



平面上的地质简图

Generalized geologic plane map



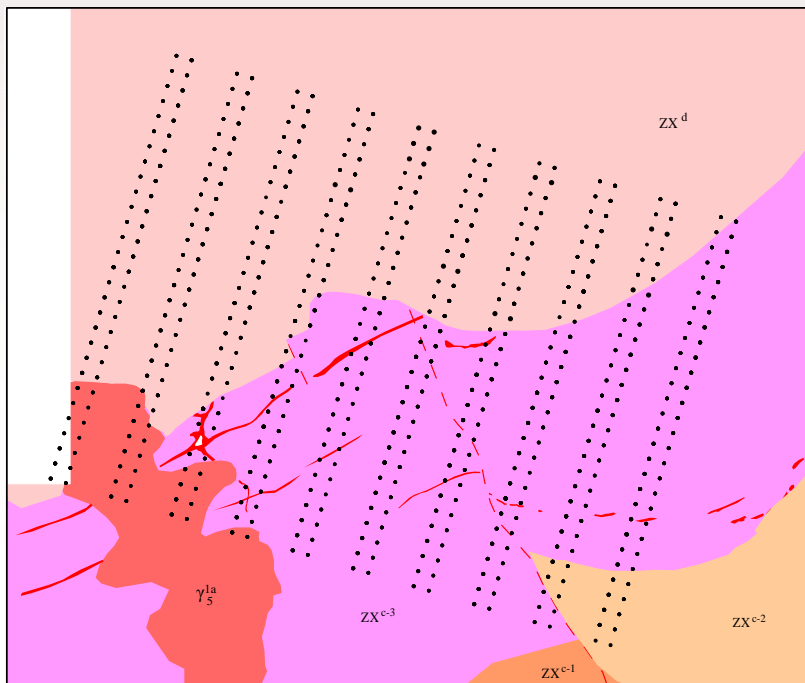
激电测量三维反演电阻率立体图

Resistivity stereogram in IP 3D inversion



# 三、主要进展与应用

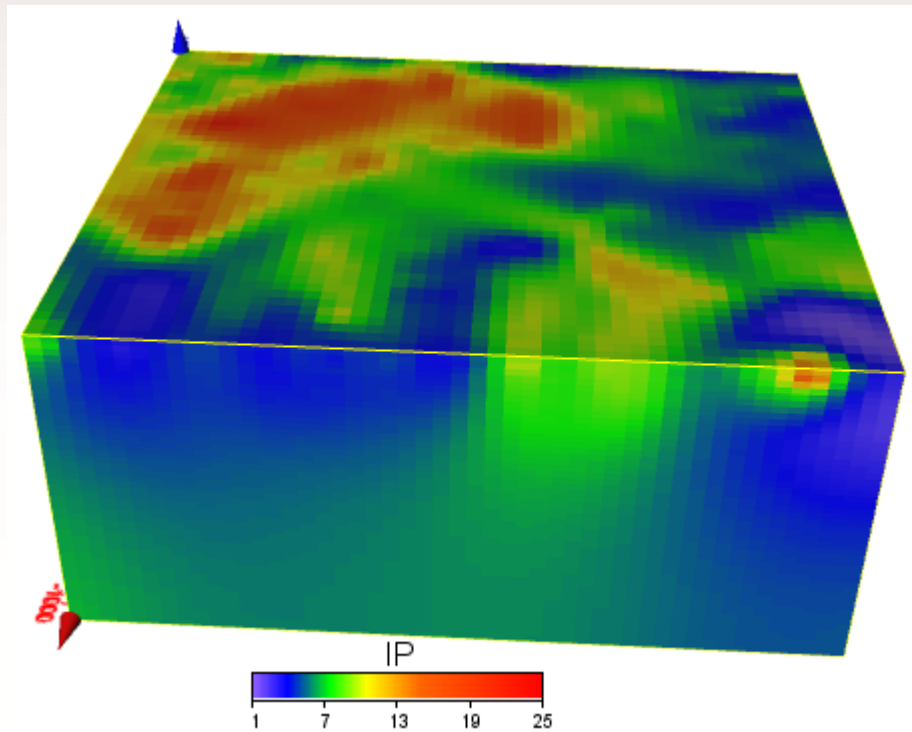
在甘肃柳园某矿区的三维测量实验 (3D IP survey in a mine area)



- 图例
- |  |  |   |       |
|--|--|---|-------|
| <span style="background-color: #f8d7da; border: 1px solid #c3e6cb; padding: 2px;">ZX<sup>d</sup></span> 四岩组：千枚岩、角岩       | <span style="background-color: #fff3cd; border: 1px solid #ffeeba; padding: 2px;">ZX<sup>c-2</sup></span> 三岩组二岩段：千枚岩     | <span style="background-color: #fff9c4; border: 1px solid #ffe0b2; padding: 2px;">ZX<sup>b-2</sup></span> 二岩组：千枚岩、片岩、角岩       | 花岗岩岩脉 |
| <span style="background-color: #e2e3e5; border: 1px solid #d6d8db; padding: 2px;">ZX<sup>c-3</sup></span> 三岩组三岩段：大理岩、千枚岩 | <span style="background-color: #fff3cd; border: 1px solid #ffeeba; padding: 2px;">ZX<sup>c-1</sup></span> 三岩组一岩段：千枚岩、大理岩 | <span style="background-color: #f8d7da; border: 1px solid #c3e6cb; padding: 2px;">γ<sup>1a</sup>/<sub>5</sub></span> 印支期中粒花岗岩 | 张扭性断裂 |

平面上的地质简图

Generalized geologic plane map



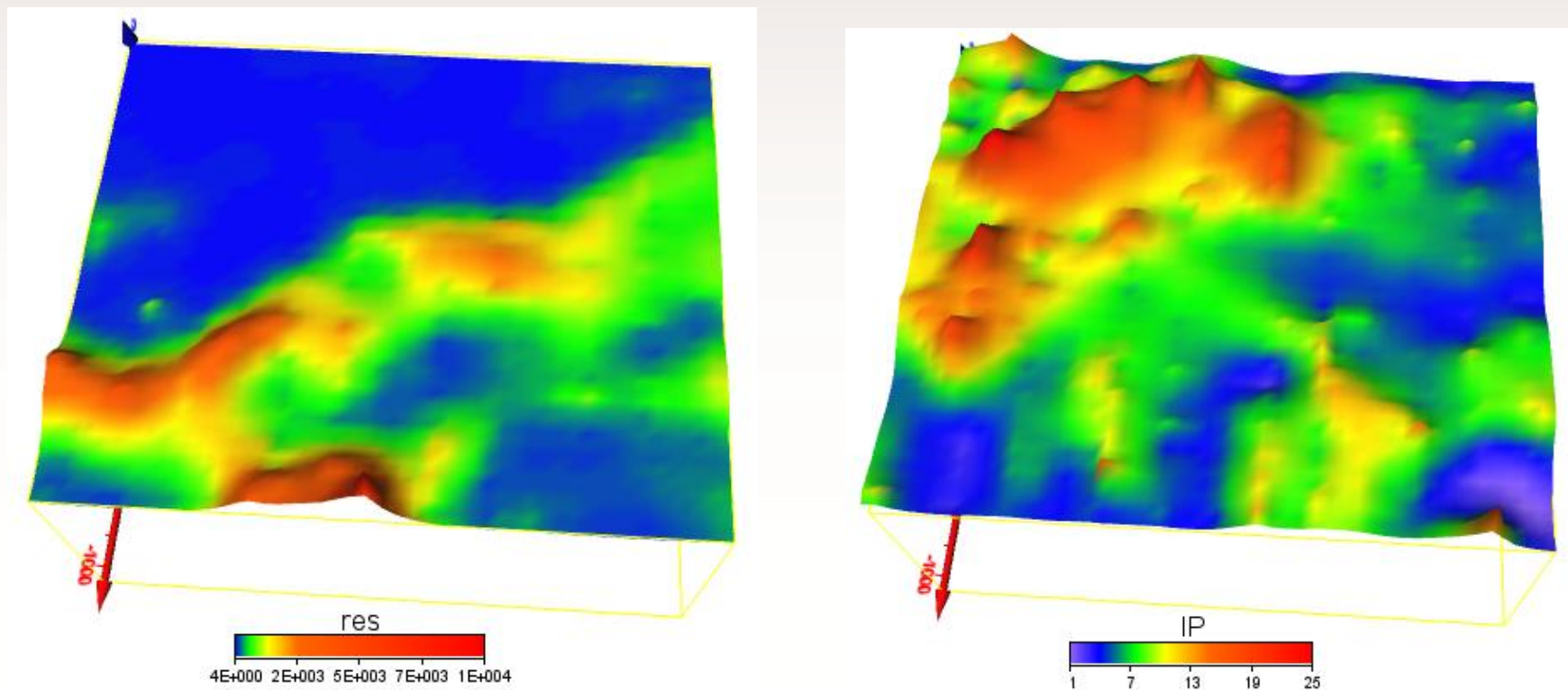
激电测量三维反演极化率立体图

Chargeability stereogram in IP 3D inversion



# 三、主要进展与应用

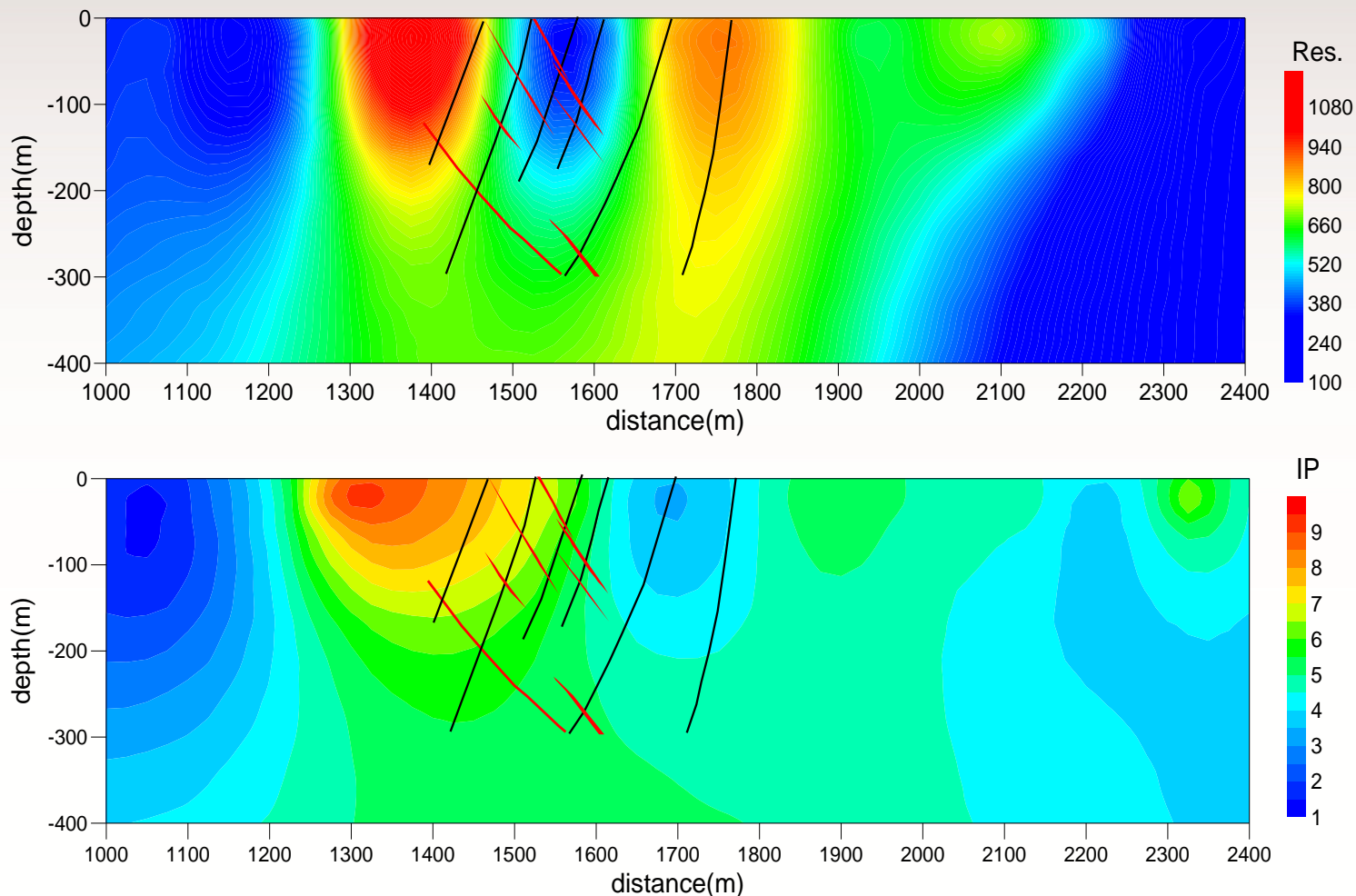
在甘肃柳园某矿区的三维测量实验 (3D IP survey in a mine area)



激电测量三维反演某深度平面图  
(plane graph in a certain depth of the IP 3D inversion)



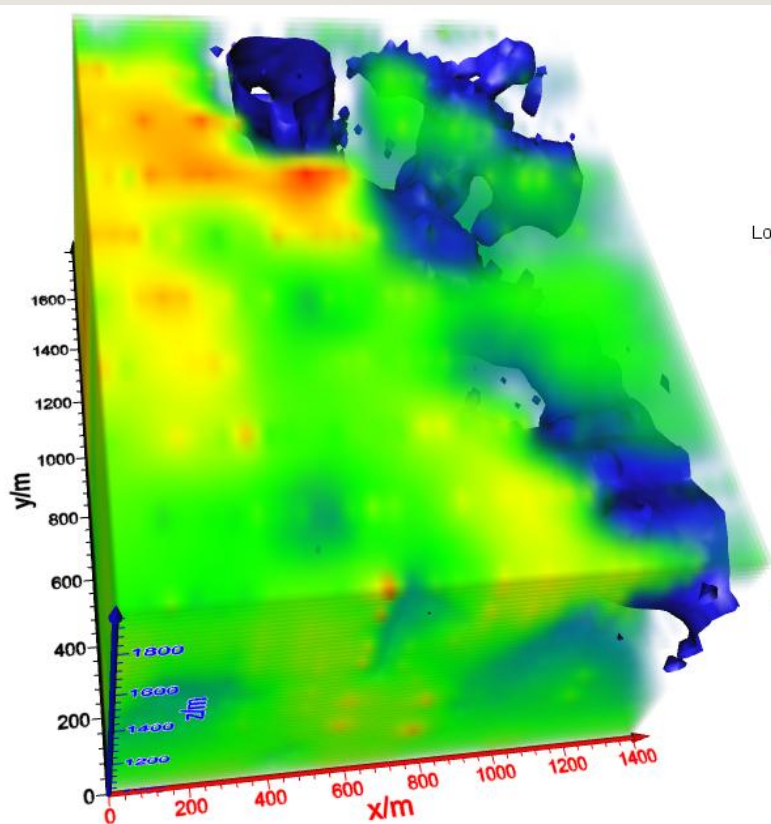
# 三、主要进展与应用



某反演断面与钻孔控制矿体对应关系图

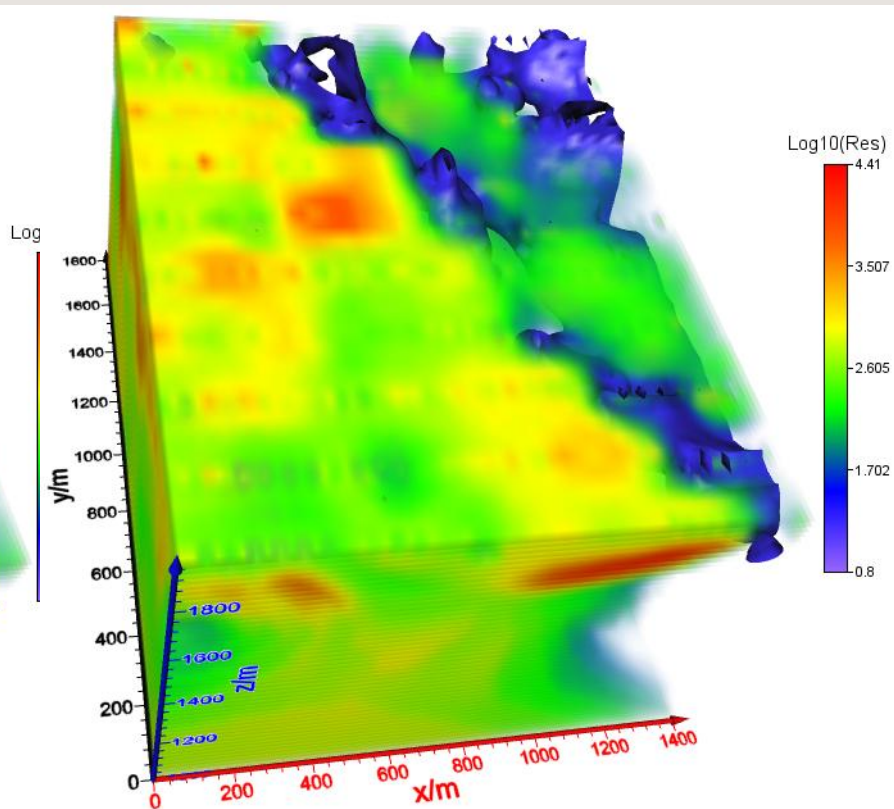
(a inversion section and the corresponding drilling controlled ore bodies)

# 三、主要进展与应用



CSAMT一维反演结果

CSAMT 1D inversion results

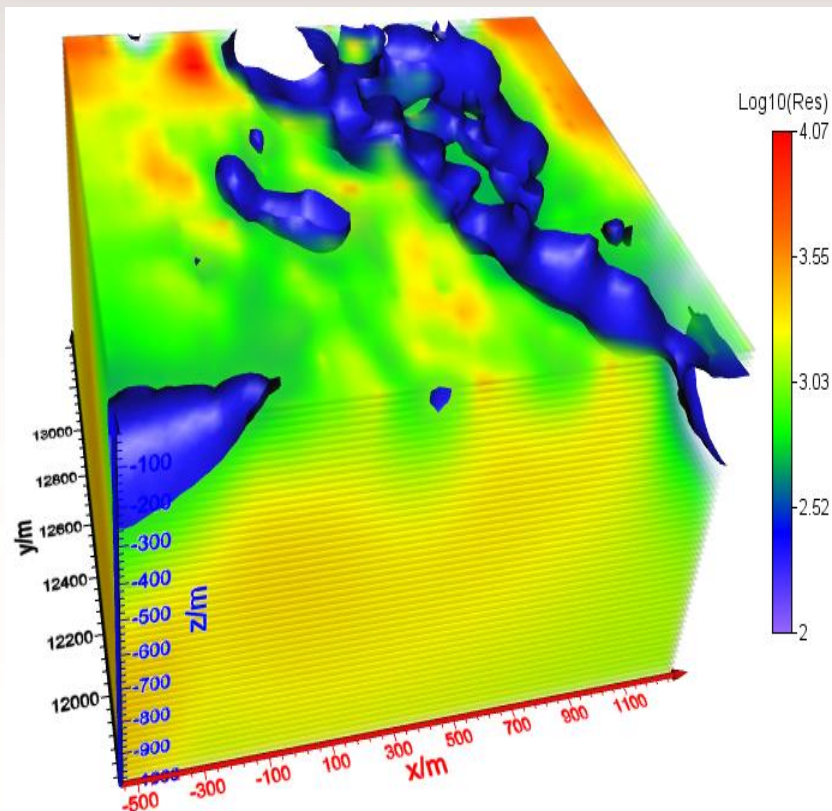


CSAMT二维反演结果（近场改正后数据）

CSAMT 2D inversion after near-field correction

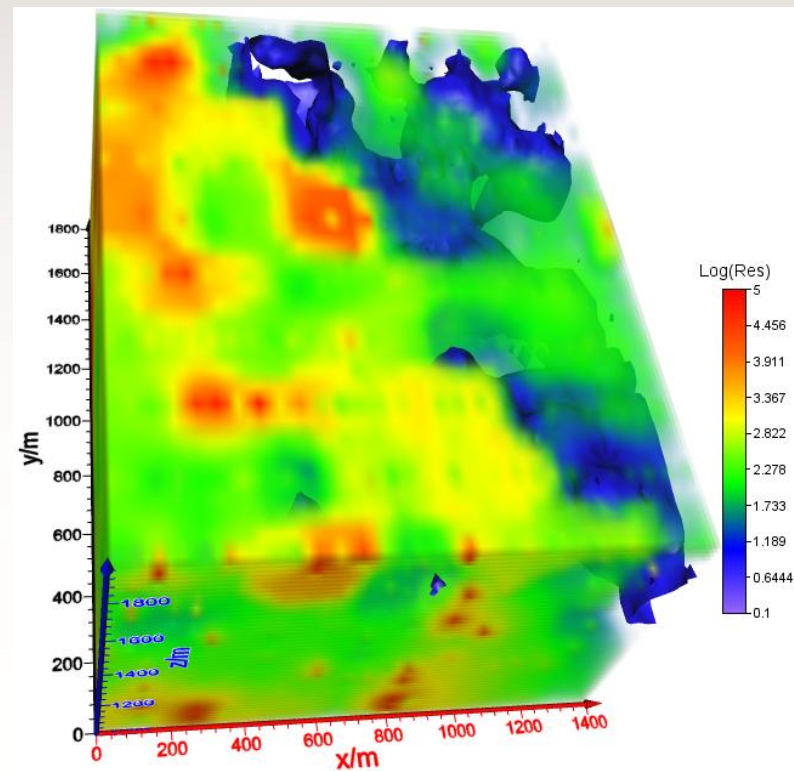


# 三、主要进展与应用



CSEM三维反演结果 (Ex数据)

CSEM 3D inversion results (Ex data)

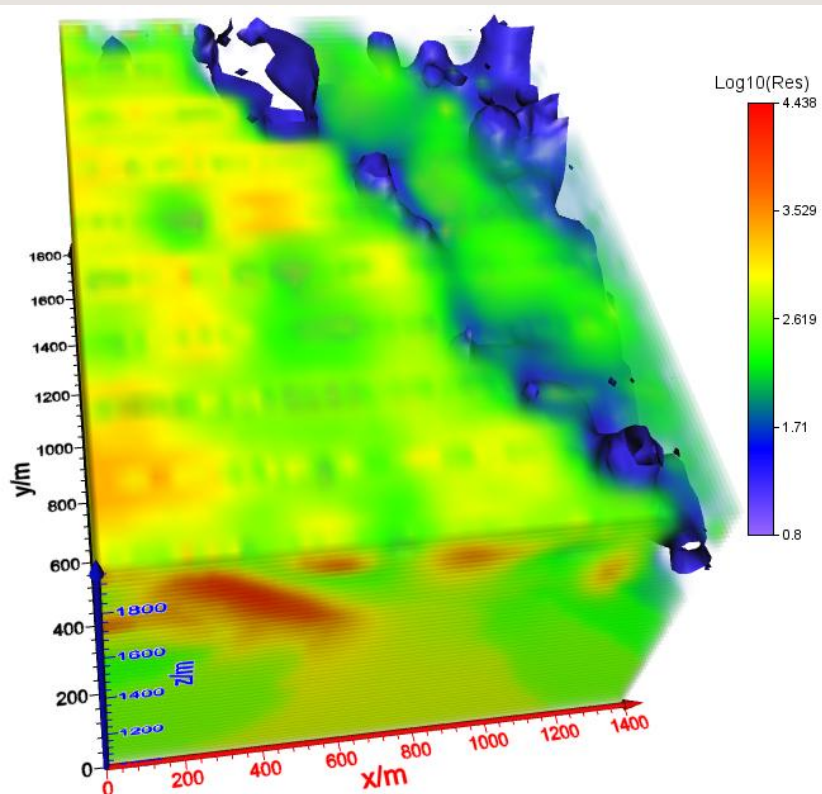


MT一维反演结果

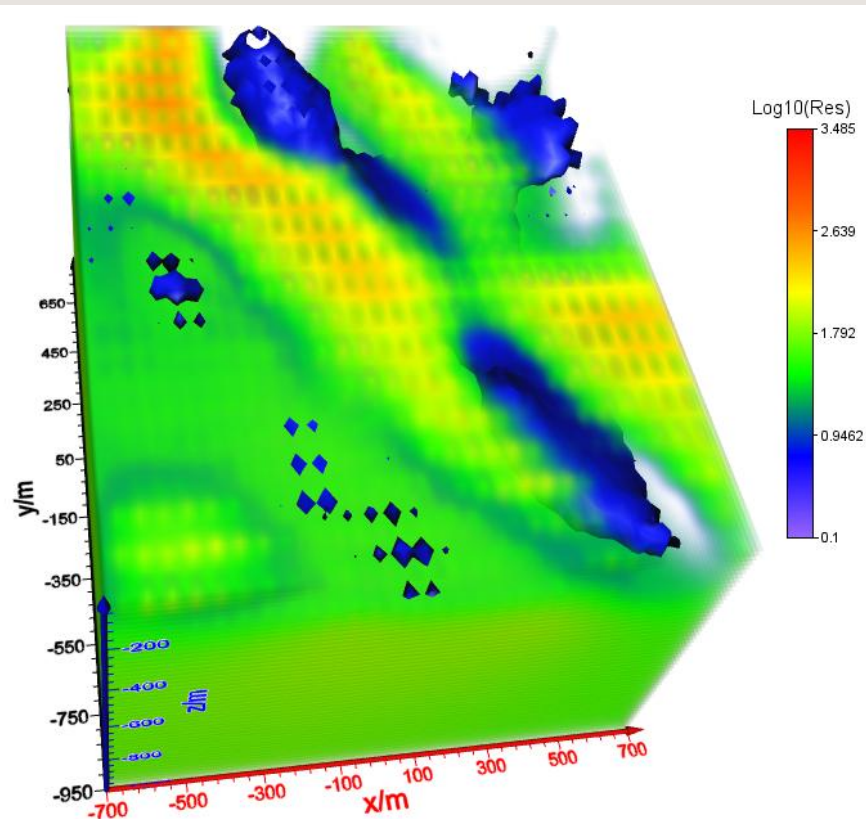
MT 1D inversion results



# 三、主要进展与应用



MT二维反演结果  
(MT 2D inversion results)



MT三维反演结果  
(MT 3D inversion results)



谢 谢！  
thanks