

物探方法对已知岩溶陷落柱的对比试验效果

刘振铎 刘念慈
(河北省地矿局物探大队)

提 要 选择磁偶源频率测深法与地震折射波法,在岩溶陷落柱已被查明的河下矿区进行试验效果对比,证明利用低阻、低速带确定岩溶陷落柱是可行的。使用这两种方法相互配合可以互补,从而提高推断解释之准确性。这对于在条件相似的华北地区进行岩溶陷落柱的调查具有一定指导意义。

关键词 岩溶陷落柱;磁偶源频率测深法;地震折射波法。

硫铁矿及煤矿矿区岩溶陷落柱,是我国北方煤系地层内特定的地质条件下形成的一种地下岩溶。它的存在对矿区勘探、安全采掘和地面稳定性评价等,都具有重要意义。

山西省河下硫铁矿于1985年完成初勘后,至今尚未转入详细勘探,主要原因是区内岩溶陷落柱广泛发育,且未查清。过去化工部门曾采用过电阻率测深、中梯装置电阻率法、激发极化法、自然电场法等物探方法进行测试,但由于陷落柱充填物与围岩电性差异较小,其地质效果都不明显。

1988年底我们与河北省化工地质勘探公司协作,立项采用磁偶源频率测深法和地震折射波法,试验研究勘查岩溶陷落柱的有效性。试验结果证明,方法的配合与选择较为合理,效果较明显。这在国内尚属初次使用的这类方法解决此类问题,比起以往所采用的勘探工程和无线电波透视等方法,具有成本低、速度快、简便易行,较少受外界条件限制等优点。

1 矿区地质概况和试验任务

华北地区在奥陶系马家沟组灰岩沉积之后,有一个较长的沉积间断(大约1亿多年),然后又沉积了石炭系砂页岩。河下矿区与岩溶陷落柱有关的地层有三大层:下部为易溶、且裂隙发育的脆性奥陶系灰岩;中部为难溶的起隔水作用的柔性石炭系粘土页岩;上部为松散的第四系覆盖层(图1)。下部裂隙发育的奥陶系灰岩,经地下水溶蚀扩展成空洞,顶板砂页岩因负重而坍塌陷落,碎石和亚砂土呈半胶结状态充填于空洞之中,形成岩溶陷落柱。柱体形

第一作者简介:刘振铎,男,59岁,教授级高级工程师,1954年毕业于北京地质学院物探系。(102849) 河北省廊坊市民道。

状多呈圆形或椭圆形上小下大。最小直径40m,最大直径280m。柱体倾斜角度在 $61^{\circ}\sim 86^{\circ}$ 之间。其发育深度在奥陶系灰岩顶面以下几十米至几百米。

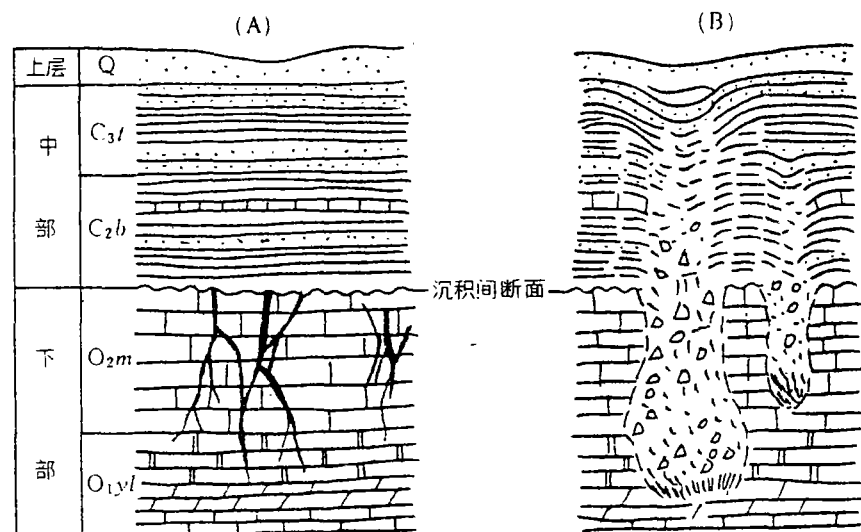


图1 岩溶陷落柱形成机制

Fig. 1 Developing mechanism of karst collapse breccia pipe

试验选在已知程度较高的矿段内进行,在 3km^2 范围内布置了三条物探剖面(图2),磁偶源频率测深法共做点距为20m的测点160个,地震折射波法共做3km测线。这三条测试剖面共穿过13个已知陷落柱。

2 方法技术

2.1 磁偶源频率测深法

依奥陶系灰岩顶板埋深150m为设计探测深度,采用收发距(偶极距)200~300m。根据常见的石炭二叠系地层电阻率 $30\sim 70\Omega\text{m}$ 的数值,采用10个频率(即 $f=10971, 7680, 5486, 3840, 2743, 1720, 1371, 960, 685.7, 480\text{Hz}$)组成频率测深曲线。

每个频率(相当直流电法一个极距)观测三个场分量,即垂直磁场分量 H_z ,水平磁场分量 H_x ,水平电场分量 E_y ,用电场与磁场比值公式计算出视电阻率 ρ_w :

$$\rho_w = \frac{K}{\mu_0 \cdot w} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2$$

式中 K 为中近区场改正系数,是 $\frac{H_x}{H_z}$ 的函数; μ_0 为磁导率, $w=2\pi f$ 。

为了保证足够大的读数,在满足偶极子条件下,发射线圈直径采用45m、75m两种,线圈匝数为两圈。发射电流2~4.5A,磁矩在 $4358\sim 40000\text{Am}^2$ 。试验区地形起伏较大,沟谷纵

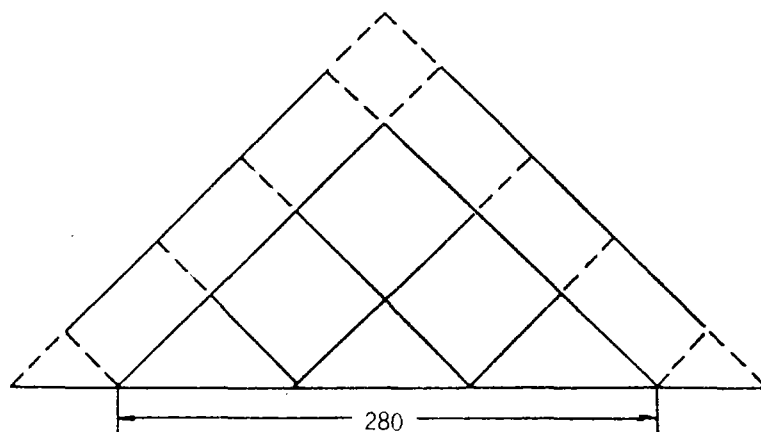


图3 观测系统

Fig. 3 Observation system

3 物探成果解释

3.1 解释依据

利用陷落柱与围岩地层在视电阻率和折射波速度方面的差异在已知陷落柱上做剖面测量,然后进行对比。

3.1.1 视电阻率

采用 $f=10971\text{Hz}$, $MN=5\text{m}$, 小接收线圈等条件, 测量视电阻率。这些条件相当于用直流电测深在露头上做小四极测电阻率。在 I 剖面上(见图 2)测得各陷落柱的视电阻率平均值($\bar{\rho}$)分别为:

$$X_{25} \bar{\rho}=14.1\Omega\text{m}; X_{23} \bar{\rho}=22.3\Omega\text{m}; X_{38} \bar{\rho}=16.75\Omega\text{m};$$

$$X_{46} \bar{\rho}=20.0\Omega\text{m}; X_{32} \bar{\rho}=21.0\Omega\text{m}; X_{37} \bar{\rho}=30.0\Omega\text{m};$$

而在石炭系地层(C_2b-C_3t)上各点测得视电阻率为: 580~620 点上 $\bar{\rho}=39.3\Omega\text{m}$; 780~900 点上 $\bar{\rho}=75.8\Omega\text{m}$; 1060~1100 点上 $\bar{\rho}=82.6\Omega\text{m}$ 。

由上可知, 陷落柱的 $\bar{\rho}=16.7\sim30.0\Omega\text{m}$, 石炭纪地层的 $\bar{\rho}=39.3\sim82.6\Omega\text{m}$, 二者存在较明显的电性差异。

3.1.2 折射波速度

在 I 剖面测得陷落柱的折射波速度为 $X_{d3}=2564\text{m/s}$; $X_{11}=2551\text{m/s}$; $X_{10}=2666\text{m/s}$ 。

测得石炭纪地层的折射波速度:

$$770\sim780 \text{ 点为 } 3371\text{m/s};$$

在 I 剖面上测得为:

$$440\sim480 \text{ 点} = 2900\text{m/s}; 580\sim640 \text{ 点} = 4364\text{m/s}; 860\sim900 \text{ 点} = 3076\text{m/s}。$$

由上述资料得知, 陷落柱的折射波速度为 $2174\sim2666\text{m/s}$, 而地层为 $2900\sim4500 \text{ m/s}$,

二者也存有较大差异。

综上所述,采用频率测深法和地震折射波法探查陷落柱是有理可循的。

3.2 解释方法

为了消除由于地形切割强烈,对地震波传播产生的地形影响,在相遇时距曲线上采取“平均减T法”(原理及具体作法在地震勘探教材中都有详述)求解地层折射波速度(图4)。首先通过计算得出每个检波点正向(T_A)和反面(T_B)时距曲线上的时差 ΔT ,再由任意设置的水平参考线量取 $\Delta T/2$ 值(注意正负),置于检波点的相关位置上,然后将量出的 $\Delta T/2$ 各点联接起来便构成折射波速度曲线(V 曲线),则在 V 曲线上可求出相应地段地层的折射波速度值。这个方法实际上只能消除部分地形影响,因为地形往往不是简单的斜坡,在炮点与检波器之间常有复杂起伏,并且往往同一排不同方向炮点的激发条件也不同。在地形切割剧烈、激发点位置选用不当、偏移距小的情况下,有可能漏掉陷落柱。如I剖面上的 X_{37} 因处于谷底而未测出,但采用磁偶源频率测深法便能予以弥补。

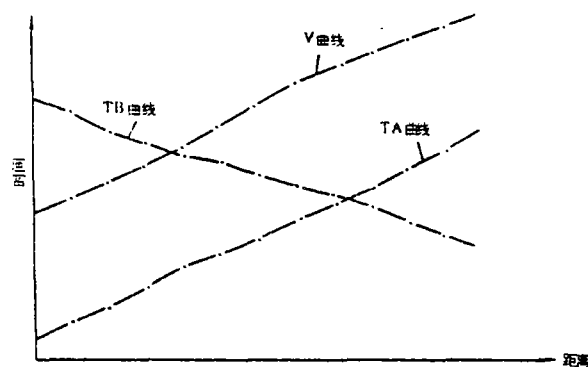


图4 “平均减T”法示意图

Fig. 4 Schematic diagram of "equal T subtraction" method.

前述的依据低阻、低速层可确定陷落柱位置。但须注意正地形(山脊)也呈低阻反应,因此对地电断面出现的低阻带还应结合地形和地震折射波资料进行综合判解。

在用地电断面低阻带确定陷落柱的位置及形态后,用全频点解释法可估算出陷落柱的延伸深度。磁偶源频率测深法在原理上是电场值与磁场值都受地形影响,但因采用了电场与磁场比来求视电阻率,因此可消除部分地形影响。相比之下,用频率测深的视电阻率受地形影响要比直流电阻率小一些。此外,如果在测试中PC发射线圈与接收圈不在同一海拔高程上时,由于水平磁场分量 H_x 中有垂直分量,垂直磁场分量 H_z 中亦有 H_x 分量,则使 ρ_s 值产生误差,因此应尽量置于同一高程,以减小地形影响。

3.3 解释实例

以穿过五个已知陷落柱的Ⅲ剖面为例(图5)。

X_{23} 、 X_{24} 、 X_{25} 为部分出露地表的陷落柱, X_{d6} 、 X_{d4} 为坑道发现的陷落柱。频率测深视电阻率断面图上共发现五个低阻带(15~25 Ωm),其余的高阻区视电阻率为25~100 Ωm 。

从测点号80~110间低阻带宽30m,是陷落柱 X_{d6} 所在,从视电阻率等值线形态看为近

直立筒状,用 $f=480\text{Hz}$ 频点估算其柱体深度(h):

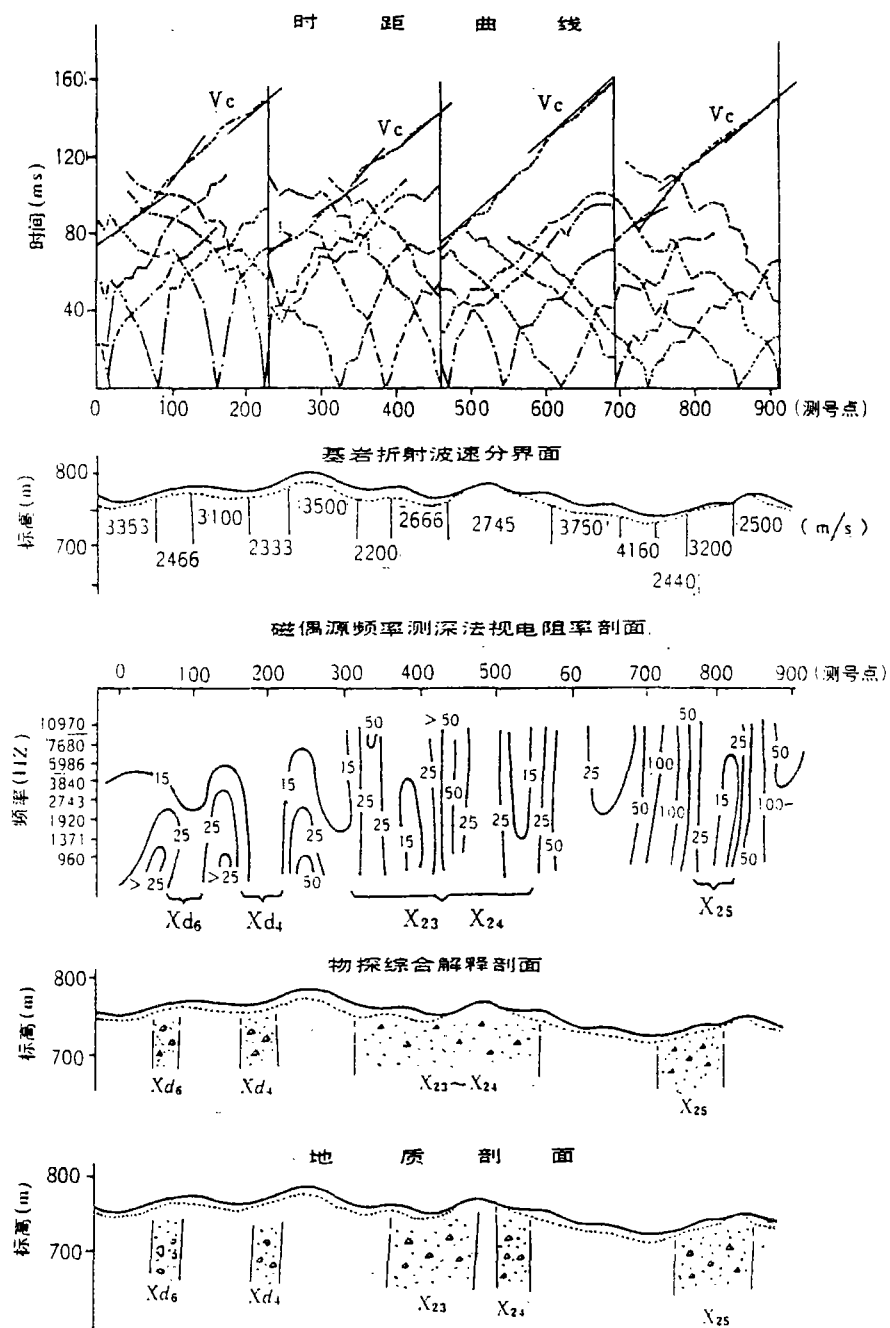


图5 综合剖面 III

Fig. 5 Comprehensive section III

$$h^{\text{①}} = n \sqrt{\rho/f} = 800 \sqrt{23/480} = 175\text{m}$$

160~300点低阻带宽140m,为陷落柱 X_{d_1} 所在,由于两侧地形有陡坎和山脊,因而造成所测宽度大于实际宽度(40m),深度为129m。

380~575点低阻带宽195m,对应陷落柱 X_{23} 和 X_{24} ,二者宽度基本一致,产状陡立,深度不小于160m,值得指出的是510~575点视电阻率偏高(40~50 Ωm),推测 X_{24} 的岩石破碎程度较轻。

600~700点视电阻率在50 Ωm 左右,与地形有关。

760~840点低阻带宽80m,对应陷落柱 X_{25} ,探明其深度不小于170m。

上述可知虽然地形影响可能出现假异常,但五个陷落柱在频率测深法的地电断面图上,均有较明显反映。

地震折射波法全剖面上共发现四个低速带:

70~110点低速带宽40m,速度值为2466m/s,可测低速带宽度与陷落柱 X_{d_1} 实际宽度一致。

200~250点低速带宽50m,速度值为2333m/s,所测低速带宽度,略大于陷落柱 X_{d_1} 的实际宽度。

340~600点低速带宽260m,速度值为2200m/s、2666m/s、2745m/s,它与 X_{23} 、 X_{24} 相对应,反映带内速度差异与岩石破碎程度有关。

740~920点低速带宽280m,速度值为2440m/s、3200m/s、2500m/s,它与 X_{25} 大致对应。中间部分的速度值稍高(3200m/s),反映了陷落柱中间有破碎不严重的坚硬部分或者陷落柱体有分枝的情况。

4 试验结论

通过上述三条物探剖面的测试,验证了采用磁偶源频率测深法配合地震折射波法查明陷落柱是可行的。两种方法可以互相弥补不足。

根据视电阻率断面等值线形态可判断其产状和估算下延深度,对于埋深,一般可用频率测深法趋肤深度公式近似估算。

为减少地形影响,除了在测试中应尽量使PC发射线圈与接收线圈置在同一水准高程外,还可在解释中尽量排除。

但是,频率测深法的地形改正问题还有待进一步研究。

参 考 文 献

1. Л. П. 万尼安著. 煤炭工业部地质勘探研究所译. 电磁测深基础. 煤炭工业出版社, 1979.
2. 刘振铎等. 垂直磁偶极子电磁频率测深法. 物探与化探, 1980年(5,6).
3. 河北省地矿局物探大队. 磁偶源频率测深法. 地质出版社, 1985.

① 估算深度公式引自《磁偶源频率测深法》,地质出版社,1985年12月。

4. J. Durous. Principe Et Mise En Ceuvre Du Sondage Electromagnetique Melos Techno Paris 1969, 7.
5. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables Edited by Milton Abramowitz and Irene A. Stegun issued June 1964. Fifth Printing 1966. 8. with Corrections.

CONTRAST TEST RESULT ON KNOWN KARST COLLAPSE BRECCIA PIPE USING GEOPHYSICAL METHODS

Liu Zhenduo Liu Nianci

(Geophysical Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources)

ABSTRACT

Magnetic dipole frequency sounding and seismic refraction methods are used to make comparative study on existing karst collapse breccia pipes and country rocks. It is proved to be feasible to delineate collapse body by the use of low resistivity and velocity zone.

Magnetic dipole frequency sounding was performed with 200—300m dipole moment and 10 different frequencies. Test data were shown on frequency curve. For each frequency three components H_z, H_x, E_y were observed. Apparent resistivity was calculated from the formula of electric and magnetic field ratio. For seismic refraction survey, time—distance curve observation system was applied. Measuring line was 230m long with detector intervals of 10m, And 6 shotpoints were distributed on each line.

The tests brought us a good result. For collapse body, average apparent resistivity ($\bar{\rho}$) is 16.7—30.0 Ω m and wave velocity is 2174—2666m/s. And for its surrounding rock the values are 39.3—82.6 Ω m and 2900—4500m/s respectively, There are distinctive difference between two methods.

Magnetic dipole frequency sounding used low resistivity zone determines the location and shape of collapse breccia pipe, and all—frequency explanation method estimates its underground extension. To eliminate topographical effect, equal T subtraction method was applied on time—distance curve to get velocity values. Complete elimination of topographical effect still needs further study.

Key words: karst collapse breccia pipe, magnetic dipole frequency sounding, seismic refraction method.