瞬变电磁法(TEM)在个旧市抗洪抢险中的应用

拔家祥，李文尧

(西南有色地质勘查局物探队,云南昆明　650500)

摘要：本文介绍瞬变电磁法在云南个旧市1996年抗洪抢险中的应用效果，为施工排泄洪水的钻孔提供依据。经过5个钻孔验证，全部见到了断层或溶洞，且泄洪能力为32000m^3/d，取得明显效果。

关键词：瞬变电磁法；抗洪抢险；应用效果

中图分类号：P631.3$^+$25　　文献标识码：A

Abstract: The application effects of TEM to flood fighting and rescuing at Gejiu, Yunnan province, in 1996 is presented herein. Well locations for construction discharge are provided. As verified by five drill holes, faults and karst caves are found. The flood discharge capacity reached to 32, 000m^3 per day. The outcomes achieved are significant.

Key words: TEM; flood fight and rescue; application effect

1　前言

1996年7、8月，云南省个旧地区3次连续降2～3d的大至暴雨，使个旧市造成了严重的洪涝灾害。鉴于排洪能力所限，个旧市委、市政府及抗洪抢险指挥部决定，用钻孔通过地下漏水断裂或溶洞分流洪水，减轻泵站排洪压力。首先在市区地质上有利部位先施工了3个钻孔，结果有2个孔不但不排水，反而涌出大量的地下水，仅有1个孔可以排水，且排水量欠佳。在这种情况下，邀请我队用物探方法寻找漏水断裂溶洞。考虑到洪水及建筑物等影响因素，故选择瞬变电磁法开展工作。其工作结果经过5个钻孔验证，全部见到了断裂或溶洞，且泄洪能力为32000m^3/d，取得了明显的效果。

2　地质简况

测区位于个旧市区北部，云锡运输队西面（图1）。出露地层为第四系表土，中三叠统法郎组（T_{2f}）泥质灰岩。断裂有南北向个旧大断裂。在地表沿个旧大断裂发育了一系列落水洞，据调查，这些落水洞早期都落水，而且在蜜蜂洞已有泄洪量约30000m^3/d的应急泄洪工程。表明该地层岩溶及构造较为发育。

3　方法技术

瞬变电磁法，简称TEM。它是利用不接地回线或接地线源向地下发送一次脉冲磁场，在一次脉冲磁场间歇期间，利用线圈或接地电极观测二次涡流场的方法。当地下存在电性不均匀体时，会观测到不均匀体的涡流异常场，通过对异常场的分析解释推断，达到解决地质问题的目的。当地下断裂或溶洞含水和充填泥沙时，其电性为低电阻率特征，所观测到的二次电位为高值；而当地下断裂或溶洞不含水和泥沙时（此时断裂溶洞为漏水性质的），其电性为高

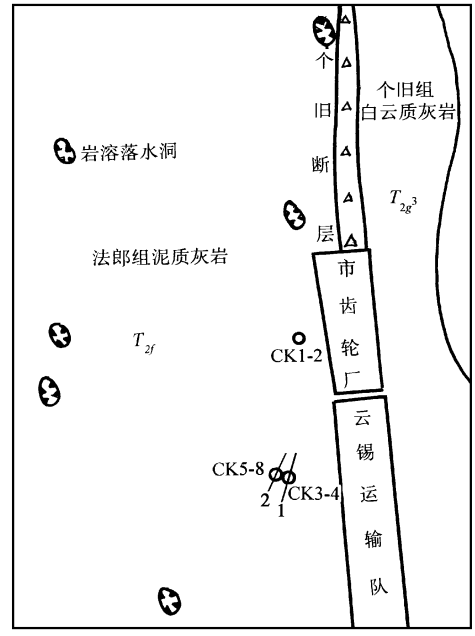

图1　测区地质及剖面位置

收稿日期：1999-09-13；修订日期：1999-12-13

作者简介：拔家祥(1954)，男(汉族)，云南禄丰人，工程师。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

电阻率特征，所观测到的二次电位为低值。从原理上讲，TEM 可解决断裂或溶洞是否漏水的问题。

剖面位置选择在地质上有利的部位，便于TEM及排水钻孔施工和便于泄洪部位，即在个旧断裂西盘，云锡运输队西侧。剖面方向大致平行个旧大断裂，垂直其次级断裂，为NNE 向。剖面点距为 50m，仪器为国产 SD-1 型瞬变电磁仪，装置为重叠回线装置。回线边长 50m ×50m，频率 25Hz，测道 20 个，时间范围 0.087～7.04ms，叠加次数 1000 次，供电电流大于 5A，观测二次电位。

4 异常解释推断

测区内表土的电阻率约几十至几百 Ω·m，为低阻特征。泥质灰岩电阻率约几千 Ω·m，为高阻特征。不含水（漏水）断裂或溶洞为特高阻特征，TEM 异常为低二次电位高电阻率特征。含水充填泥沙断裂或溶洞为低电阻率特征，TEM 异常为高二次电位低电阻率特征。当断裂或溶洞底部含水充填泥沙时，TEM 异常为高二次电位低电阻率特征，或先出现低二次电位高电阻率异常，后出现高二次电位低电阻率异常。而不含水断裂或溶洞，任何时候（测道）均不会出现高二次电位低电阻率异常。

TEM 工作完成剖面 2 条共1000m，剖面位置见图 1。获得的二次电位异常见图 2、图 3。

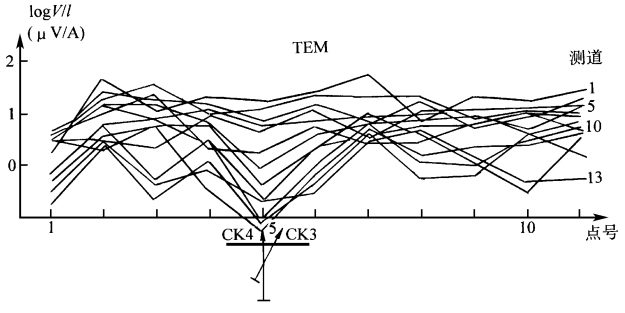

图 2　1 号剖面 TEM 二次电位及验证钻孔

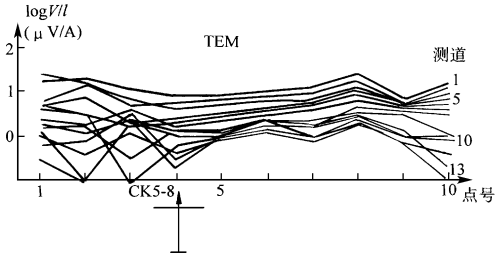

图 3　2 号剖面 TEM 二次电位及验证钻孔

1 号剖面 1、3、5、10 号点有低二次电位异常。其中 5 号异常最明显，从第六道开始均为低二次电位异常，异常宽约50m，强度是整个剖面上最低的，无一测道出现高二次电位异常，为不含水断裂溶洞异常特征，因此推断为不含水断裂溶洞引起。异常从第六道起有显示，反映场源体有一定埋深，推断场源体埋深约 20～50m，场源体也应有一定宽度。1 号点异常特征类似5 号点，但异常未封闭，加之异常旁侧有建筑物干扰，暂不作推断。而 3、10 号点，虽然出现低二次电位异常，但也出现了高二次电位异常，即使有断裂溶洞存在，也会有一定的充填或含水，不必进行钻孔验证。

2 号剖面2、3、4 号点有低二次电位异常显示。其中4 号点与 1 号剖面5 号异常特征相似，推断为不含水断裂或溶洞引起。从第 10 道起才有异常，推断场源体埋深要大一些，估计为 30～50m。而 2、3 号点，虽然有低二次电位异常，但也出现了高二次电位异常，推断有一定充填物。因此验证或排水孔应布于 4 号点处。

5 钻孔验证及泄洪效果

我队物探技术人员于 1996 年 8 月 11 日到达现场，13 日完成TEM 野外工作，14 日提出初步成果，并设计了验证钻孔。第一个验证孔（CK3）设计在 1 号剖面 5 号点往 6 号点 5.4m 处，钻孔设计方位 225°，倾角 70°（若断裂溶洞产状较陡，斜孔则较保险），孔深50m。当天就进行了钻孔施工，16 日终孔，孔深 36.07m。验证结果（图 2），0～15.00m 为黄色粘土，15.00～36.07m 为泥质灰岩，其中 19.25～20.25m 及 20.45～21.05m 处见到两段岩溶构造带，计 1.6m，直到 36.07m 都在破碎带内，孔内严重漏水，正好是所需的漏水孔。为进一步查清岩溶构造，又在 5 号点处施工了 CK4 号垂直孔，在 17.00～18.10m 及 42.90～43.40m 处见到两处岩溶构造带，经注水试验证实，岩溶构造泄水能力达 2000m^3/d。随后在 2 号剖面的4 号点处的 4.5m 范围施工了 CK5、6、7、8 号 4 个孔（图3）。CK5 号孔在井深 32.1m 处见一空洞，为 0.5m，在35m 处见破碎带 1 段，为 2m。移0.6m 布置 CK6 号孔，在井深 32.0m 见一空洞，为 0.85m，在井深 31.6m 及32.85m 处见裂隙破碎带 2 段，计2.1m。移 1.5m 布置 CK7 号孔，在井深 31.4m 处见空洞，为 0.7m，在井深32.1m 处见破碎带 1 段，为 1m。又移2.4m 布置 CK8 号孔，在井深 32.5m 见空洞，为 0.2m，在井深31.5m 及 32.7m 处见裂隙破碎带 2 段，计 2.1m。在 CK4～8 号孔经连续 4d 注水

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

观测，稳定泄水量达 32000m^3/d，达到了抗洪指挥部的要求，取得了较好的地质效果。

6 结束语

瞬变电磁法在我国，在不同领域，均有不少成功的报导。瞬变电磁法在个旧抗洪抢险中的成功应用，充分说明它是一种快速经济有效的方法，很值得大力推广应用。

参加本项工作还有我队廖忠、潘亚全、杜荣光三位工程师。

参 考 文 献

[1] 牛之琏编著. 时间域电磁法原理. 中南工业大学出版社，1992-12.

(上接第 28 页)

[5] 山仑，陈国量. 黄土高原旱地农业的理论与实践. 北京：科学出版社，1993.
[6] 赵松岭. 集水农业引论. 西安：陕西科学技术出版社，1996.
[7] 于秋春，林庆元，崔桂生. 地表水与地下水联合运用方案的建立与运用. 地下水，1997，19 (3)：101～104.
[8] 曹全意. 旱坡地减少地面蒸发的有效途径. 中国水土保持，1998，(4)：15～17.
[9] 李兴贵. 森林覆盖与生态环境. 水土保持研究，1997，3 (1)：216～219.
[10] 傅抱璞，翁笃鸣，虞静明. 小气候学. 北京：气象出版社，1994.

(上接第 9 页)

则孔压的具体形式为:

$$u^* = \{(A\,OCR^2 + B\,OCR + C)\ln(OCR) + (OCR)^D[E(r_c - r_t) + F]\}\ln N \qquad (5)$$

式中: OCR—超固结比; r_c—循环应力比; r_t—门槛循环应力比(由试验结果确定, 如图 3 所示); N—加荷周数。

对于杭州市正常固结饱和软粘土通过回归分析可以得到:

$$A = -0.005;\quad B = 0.058;\quad C = -0.232$$
$$D = 0.049;\quad E = 0.144;\quad F = 0.019$$

将这些数值代入 (5) 式, 则得到相应的孔压模型:

$$u^* = 0 \qquad (r_c \le r_t)$$
$$u^* = \{(-0.005OCR^2 + 0.058OCR - 0.232)\ln(OCR) + (OCR)^{0.049}[0.144(r_c - r_t) + 0.019]\}\ln N \qquad (r_c > r_t) \qquad (6)$$

4 结论

(1) 循环荷载作用下正常固结饱和软粘土中存在临界循环应力比和门槛循环应力比，循环应力比大于临界循环应力比和小于门槛循环应力比时土体中产生的孔压是不同的，建立模型时必须考虑;

(2) 通过试验研究，确定了影响孔压变化的主要因素有加荷周数、循环应力比和超固结比;

(3) 在综合分析已有的孔压模型基础上，提出了能反映影响孔压变化主要因素的孔压模型并确定了模型参数，具体表达式如式 (6) 所示。

参 考 文 献

[1] Larew, H. G. and Leonards, G. A. (1962), "A repeated load strength criterion." Proc., Highway Res. Board, 41, 529.
[2] Sangrey, D. A., et al. (1978), "Cyclic loading of sands, silts and clays." Proc., Specialty Conf. on Earthquake Engrg. and Soil Dynamics, ASCE, Pasadena, Calif., 836-851.
[3] Matsui, T., Ohara, H. and Ito, T. (1980), "Cyclic stress-strain history and shear characteristics of clays." J. Geotech. Engrg., ASCE, 106 (10), 1101-1120.
[4] Kazuya Yasuhara, Toyotoshi Yamanouchi and Kazutoshi Hirao, Cyclic Strength and Deformation of Normally Consolidation Clay, Soils and Foundations, Vol. 22, No. 3, 1982, P77-91.
[5] D. V. Ramsamooj and A. J. Alwash, Model Prediction of Cyclic Response, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 116, No. 7, July, 1990, P1053-1072.
[6] Amr S. Azzouz, Aziz M. Malek and Mohsen M. Baligh, Cyclic Behavior of Clays in Undrained Simple Shear, Journal of Geotechnical Enginnering, Vol. 115, No. 5, May, 1989, P637-657.
[7] 曾国熙，龚晓南，盛进源，正常固结土K_0固结三轴试验研究，浙江大学学报，1987，No. 2.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net