

doi: 10.11720/wtyht.2018.1310

杨建明,王洪昌,沙椿.基于等值反磁通瞬变电磁法的岩溶探测分析[J].物探与化探,2018,42(4):846-850.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1310>

Yang J M, Wang H C, Sha C. An analysis of karst exploration based on opposing coils transient electromagnetic method[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(4): 846-850. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1310>

基于等值反磁通瞬变电磁法的岩溶探测分析

杨建明,王洪昌,沙椿

(四川中水成勘院工程物探检测有限公司,四川 成都 610072)

摘 要: 瞬变电磁法早期二次场是浅层地质信息的反应,一次场关断产生的自感电场会与早期二次场进行叠加形成一个浅层盲区,造成探测结果不能真实反映浅层地层信息。对早期纯二次场的探测能够从根本上消除浅层盲区。文中首先介绍了等值反磁通瞬变电磁法的线圈装置,通过零磁通面积感应电压规律的分析,对该方法如何实现早期二次场采集进行了说明。以某水电站公路边坡岩溶探测为研究背景,通过对测试数据的反演结果进行分析,得到了不同深度地层电阻率信息,圈定了岩溶的空间位置分布。事实证明等值反磁通瞬变电磁法能有效避免一次场关断对二次场的影响,基本消除了浅层盲区,实现了浅层地层的准确探测。

关键词: 瞬变电磁;等值反磁通;二次场;岩溶;电阻率;探测盲区

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2018)04-0846-05

0 引言

瞬变电磁法利用发送线圈向地下发射感应电场(一次场),探测目的物会在一次场的作用下感应产生涡旋的交变电磁场(二次场),通过测量二次场随时间衰变的变化响应,研究分析二次场随时间的变化规律,达到探测不同导电性介质的空间分布的目的^[1-2]。瞬变电磁法尤其对低阻目标体敏感,使得瞬变电磁在岩溶探测中得到广泛应用^[3-5]。当一次场关断时发送线圈会形成自感电场,与浅层地层中的探测目的物产生的二次场叠加,造成接收线圈不能接收早期的纯二次场而出现信号失真,使得瞬变电磁法无法对浅层地层进行准确探测,形成一个浅层盲区^[6-8]。通过对早期信号提取和修正方法的研究^[9-10]以及改进仪器设备的线圈装置^[11-13]、减小一次场关断的时间、合理系统参数的配置等方法,提高了浅层地层的分辨率,有效减小了瞬变电磁法探测的浅层盲区,但并未从根本上解决一次场关断对二次场探测的影响。浅层盲区是瞬变电磁测量中一直

难以解决的一个问题,严重制约了瞬变电磁法在工程勘察、灾害治理等工程领域的发展。

等值反磁通瞬变电磁法通过线圈装置的改进,提高了瞬变电磁法浅层探测的能力。本文以某水电站公路边坡岩溶探测为例,由于受地形限制高密度电阻率法探测深度不能满足岩溶探测需求,推测岩溶埋藏深度较浅,采用等值反磁通瞬变电磁进行探测,实现了浅层地层中岩溶分布的探测,取得了较好的工程应用效果。

1 等值反磁通瞬变电磁的理论依据

等值反磁通瞬变电磁法^[14-15](opposing coils transient electromagnetic method, OCTEM)由中南大学席振铁教授提出,它是将接收线圈置于一个零磁通面上进行数据采集,可避免一次场干扰早期二次场的采集,实现基本消除瞬变电磁法的浅层盲区、提高浅层探测能力的目的。为了能够得到一个零磁通面,采用通以反向电流上下平行共轴的两个相同匝数的线圈作为发射源线圈装置(图1)。

收稿日期:2017-07-07; 修回日期:2018-02-26

作者简介:杨建明(1988-),男,四川省三台县人,硕士,工程师,主要从事水利水电工程物探方法应用研究工作。Email:yjm091109@163.com

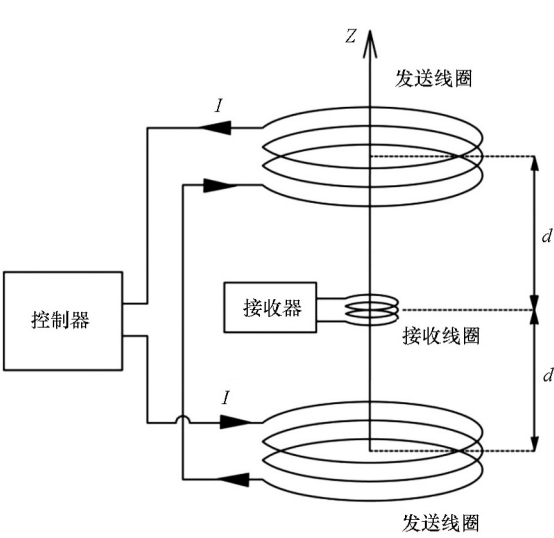


图1 等值反磁通瞬变电磁法线圈装置

装置中上下两个线圈产生的感应电场强度相等、方向相反,对上下线圈产生的一次场进行矢量叠加,发送线圈产生的一次磁场其分布规律如图2。

图2显示,发送线圈中间位置存在一个垂线方向上磁场强度始终为零的反磁通面,即该平面在 z 轴方向上磁场强度 $H_z=0$,无论一次场关断与否这个零磁通面始终存在,将接收线圈置于该磁通面上就能有效避免一次场关断对早期二次场探测的影响。这种线圈装置可以消除电磁耦合,接收线圈在零磁通面上不会产生电磁振荡,不受一次场关断的影响,能准确探测到地质体涡流响应产生的早期二次场信号,基本消除浅层盲区,实现对浅层地层的探测。

2 工程应用

某水电站公路边坡下伏基岩由于岩溶、溶蚀裂隙发育,于2015年9月8日发生第一次塌陷形成了一个岩溶“漏斗”,使用了8000多立方土进行回填处理;2016年1月在第一次塌陷的区域斜下方再次发生了塌陷,又形成了一个岩溶“漏斗”。该公路边坡先后两次发生坍塌事故并形成岩溶“漏斗”,对过往行人、车辆及边坡稳定性带来了极大的安全隐患。

2.1 工程地质条件及地球物理特征

边坡场地位于青藏高原东南部,地貌单元上属川西北丘状高原东南缘向四川盆地过渡之深切高山峡谷区,在大地构造部位上位于川滇SN向构造带

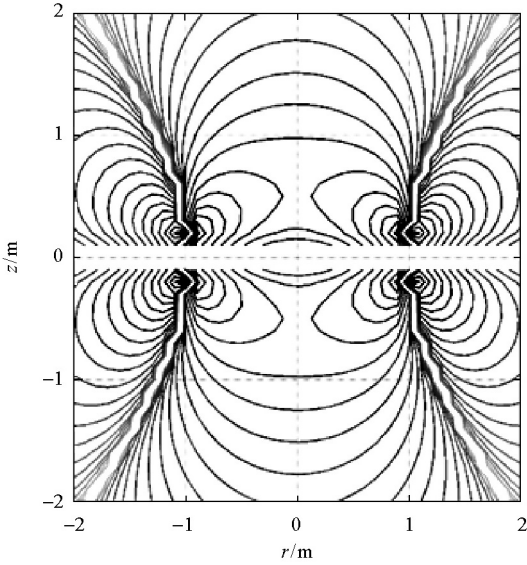


图2 双线圈合成的磁力线

北端与NE向龙门山构造带、NW向构造带和金汤弧形构造带的交接复合部位。场地坡度约 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}$,植被茂盛。地下水主要为第四系松散土类孔隙水及基岩裂隙水,受大气降雨补给,地下水水位埋藏较深;孔隙水主要赋存于第四系的碎石土中,基岩裂隙水主要分为构造裂隙水和风化带网状裂隙水。

公路边坡覆盖层主要为第四系坡残积(Qh^{dl+el})、冰水堆积块碎石土(Qp^{fgl}),含泥量较高,电阻率在 $50\sim 800\ \Omega\cdot m$ 之间;下伏基岩为震旦系灯影组($Zbdn$)白云岩、千枚岩等,其中岩溶、溶蚀裂隙发育及破碎岩体基岩电阻率在 $500\sim 1\ 500\ \Omega\cdot m$ 之间,而完整基岩电阻率大于 $1\ 500\ \Omega\cdot m$ 。由此可知,岩溶、溶蚀裂隙及破碎岩体等不良地质岩体与完整岩体之间存在明显的电阻率差异,具备瞬变电磁法测试的地球物理前提条件。

2.2 剖面布置及数据采集

本次瞬变电磁法采用湖南多维地质科技有限责任公司“HPTEM-08 高精度瞬变电磁系统”开展探测工作,均以上游侧为零桩号起点,在不同的高程布设4条瞬变电磁剖面(图3),分别为A剖面270 m、B剖面210 m、C剖面255 m、D剖面360 m,各测线点距5 m。

数据采集主要参数:发送电压12 V,发送电流10 A;天线装置上、下发送线圈直径0.6 m,间距0.4 m;接收线圈直径0.5 m,接收等效面积 $200\ m^2$;发送频率50 Hz,关断时间0.04 ms,叠加周期为1 000次。

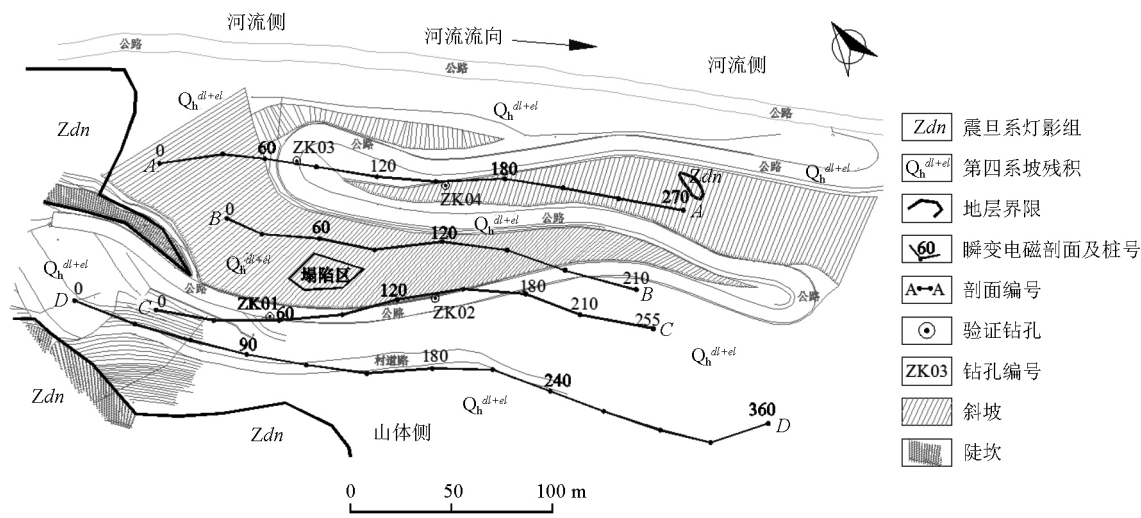


图 3 水电站边坡工区瞬变电磁法测线布置

2.3 反演成果解释

采用“HPTM-08”系统数据处理软件对采集数据进行反演,得到各剖面电阻率等值线断面(图 4)。分析各瞬变电磁探测剖面反演成果,本次瞬变电磁法探测在浅层并未形成明显的浅层盲区,反演成果清晰地反映出了公路边坡不同位置、不同深度地层电阻率的变化情况。根据工区地质情况及反演成果,将 $800\ \Omega \cdot \text{m}$ 界定为土石界面,根据及测区地球物理特征可知,该公路边坡地层为简单的二层结构:

- 1) 表层碎石土覆盖层电阻率较低,横向上电阻率连续性较好,覆盖层与基岩电阻率差异明显、界限分明,覆盖层厚度 $20\sim 30\ \text{m}$ 。
 - 2) 下伏基岩表现为电阻率持续增大的高阻层,在图 4 中,横向上存在不同宽度和深度的 $800\sim 1\ 500\ \Omega \cdot \text{m}$ 低电阻异常区,其中 A 剖面 3 处、B 剖面 3 处、C 剖面 2 处、D 剖面 3 处。
- 由于 D 剖面 1 号异常区靠近建筑物排水系统,推测该处异常系受建筑排水系统影响造成,其余各

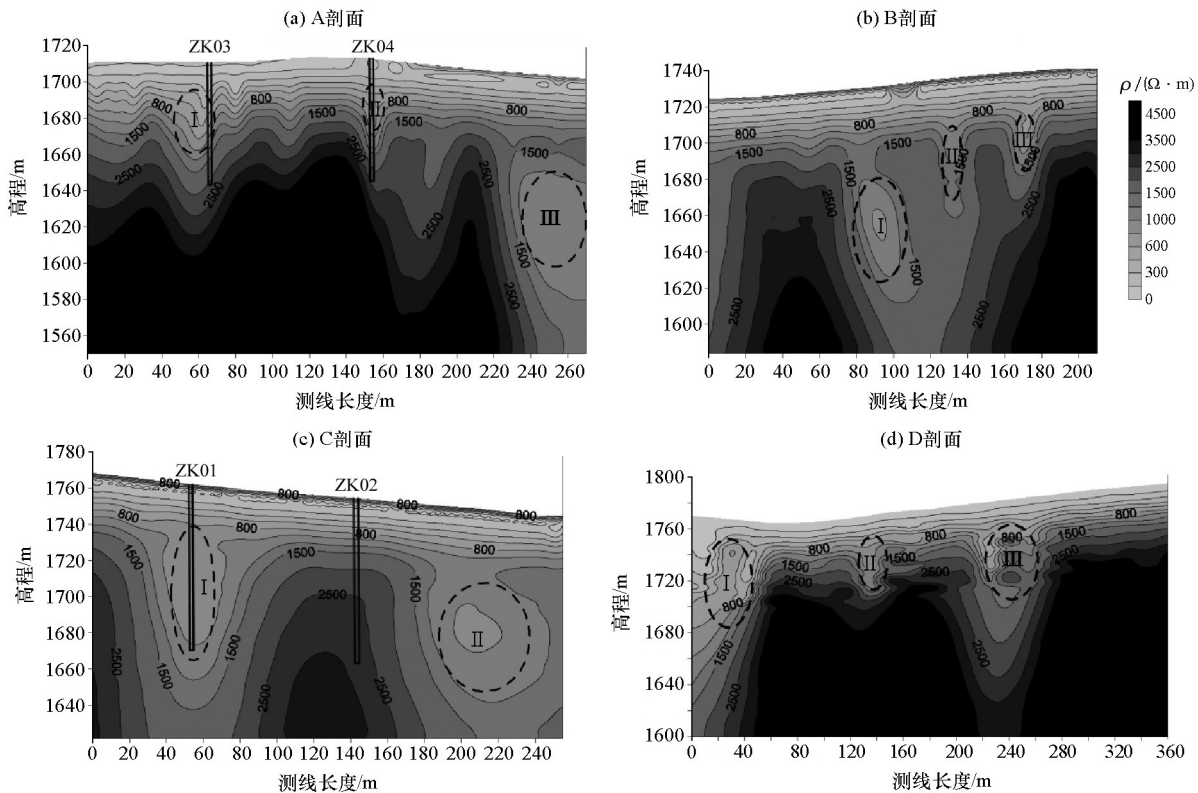


图 4 水电站边坡区瞬变电磁反演电阻率断面

低阻异常为岩溶或溶蚀裂隙发育使岩层的完整性、连续性遭到了破坏的表现:A 剖面 I ~ II 区、B 剖面 II ~ III 区、D 剖面 II ~ III 区电阻率异常范围较小,且刚好位于土石界面以下,推断低阻异常为风化引起岩石的溶蚀裂隙发育所致;A 剖面 III 区、B 剖面 I 区、C 剖面 I ~ II 区异常范围相对较大,推断低阻异常为岩溶发育所致。

2.4 OCTEM 反演成果准确性分析

2.4.1 高密度电阻率法数据对比

该公路边坡在采用瞬变电磁法进行岩溶探测前,对 A 剖面线采用了高密度电阻率法进行岩溶探

测,反演成果见图 5。将 A 剖面采用两种不同方法探测的反演成果进行对比,可以看出瞬变电磁法探测成果推测的低速异常 II 区位于 155 m 处,与电阻率反演得到的底部低阻异常,在水平位置、深度位置上的吻合较好。

2.4.2 钻孔验证

为了验证本次瞬变电磁法探测成果的准确性,在瞬变电磁测线上共布置了 4 个验证钻孔(见图 4)。经钻孔取芯,在 ZK01、ZK03、ZK04 中推测的岩溶深度范围内发现了岩溶的存在,且钻孔 ZK01 在钻进至 54.0 m 时发现溶蚀坍塌形成的空腔,全景图像测试资料如图 6。

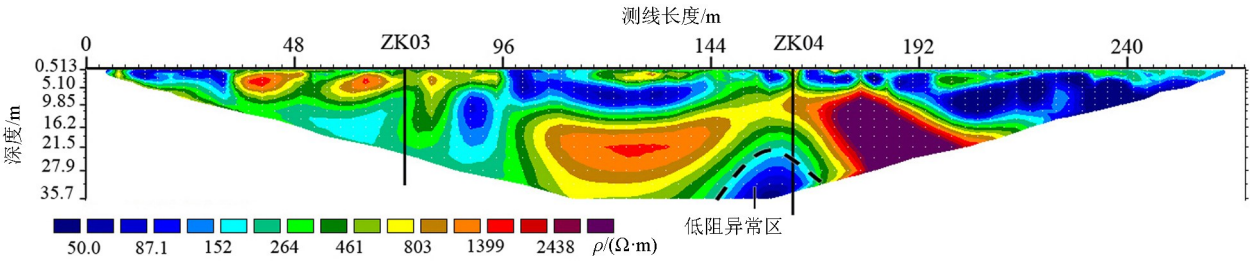


图 5 A 剖面高密度电阻率法探测成果

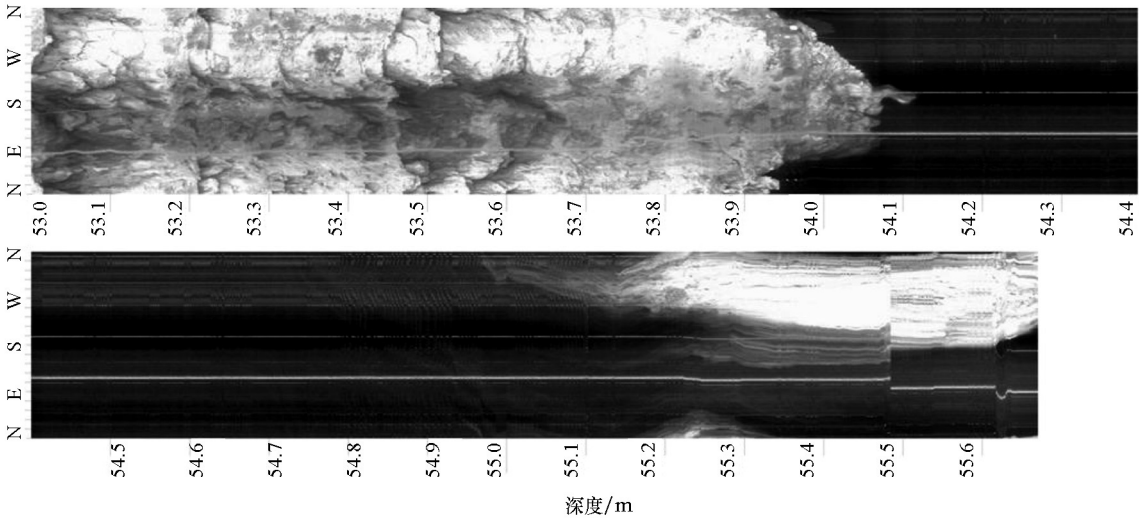


图 6 ZK01 中溶蚀塌陷形成的空腔

3 结论

本次某水电站公路边坡岩溶探测采用等值反磁通原理的瞬变电磁法,反演得到的电阻率断面完整体现了不同深度地层的电阻率信息,各地层结构特征明显,低阻异常区反映了下伏基岩中岩溶及溶蚀裂隙发育区的位置,经过高密度电阻率法与瞬变电磁法探测成果的对比、钻探成果的验证,说明本次瞬变电磁法探测不受地形影响,实现了浅部的岩溶探

测,弥补了高密度电阻率法探测深度的不足,探测成果准确,较好地解决了实际工程问题。

事实证明,等值反磁通瞬变电磁法采用的对偶中心耦合线圈装置,能够有效避免一次场关断对早期二次场探测的影响,基本消除瞬变电磁法探测的浅层盲区,实现对浅层地层的准确探测。

参考文献:

[1] 李貅.瞬变电磁测深的理论与应用[M].西安:陕西科学技术出版社,2002.

[2] 牛之琰.时间域电磁法原理[M].湖南:中南大学出版社,2007.

[3] 张军,李貅,赵莹.瞬变电磁法在岩溶水勘查中的应用[J].工程地球物理学报,2011,8(5):521-524.

[4] 朱正国,卿志.时域瞬变电磁法在裸露灰岩地区岩溶探测研究[J].铁道勘察,2004,30(1):45-48.

[5] 杨金凤,庞炜,王世杰,等.瞬变电磁法在城市岩溶探测中的应用[J].工程勘察,2014,42(12):88-93.

[6] 陈魁奎,王心义.瞬变电磁法探测盲区深度减少和探测深度增加技术[J].河南理工大学学报:自然科学版,2016,35(6):796-801.

[7] 于生宝,王忠,嵇艳鞠,等.瞬变电磁法浅层探测技术[J].电波科学学报,2006,21(2):284-287.

[8] 秦良,朱国维,张庆朝,等.瞬变电磁法在井巷掘进超前预报中的应用[J].勘察科学技术,2016(4):58-61.

[9] 嵇艳鞠,林君,于生宝,等.ATTEM 系统中电流关断期间瞬变电

磁场响应求解的研究[J].地球物理学报,2006,49(6):1884-1890.

[10] 雷枫.瞬变电磁早期信号提取技术研究[D].徐州:中国矿业大学,2014.

[11] 周楠楠,薛国强,苏艳萍.大回线源瞬变电磁接收装置的改进[J].物探与化探,2012,36(1):89-93.

[12] 田卫东.瞬变电磁法中大电流小中心回线与大定源回线两种观测方式的对比[J].物探与化探,2015,39(3):558-561.

[13] 谢石文,杨海燕,刘少光,等.瞬变电磁法同一回线和“8”字形回线对比研究[J].地球物理学进展,2015,30(3):1354-1360.

[14] 席振铎,龙霞,周胜,等.基于等值反磁通原理的浅层瞬变电磁法[J].地球物理学报,2016,59(9):3428-3435.

[15] 王银,席振铎,蒋欢,等.等值反磁通瞬变电磁法在探测岩溶病害中的应用[J].物探与化探,2017,41(2):360-363.

An analysis of karst exploration based on opposing coils transient electromagnetic method

YANG Jian-Ming, WANG Hong-Chang, SHA Chun

(Sichuan Zhongshui Chengkanyuan Geophysical Exploration Co., Ltd., Chengdu 610072, China)

Abstract: The early quadratic field of the transient electromagnetic method is the response of shallow geological information. The self-induction electric field generated by a shut off of primary field is superimposed with the early secondary field, which causes the results that the detection result can't reflect the shallow stratum information and form a shallow blind area, and that the detection of early pure secondary field can fundamentally eliminate shallow blind spots. This paper first introduces the coil device of the opposing coils transient electromagnetic method, illustrates the method of the early secondary field acquisition, and meanwhile briefly describes the zero flux surface and the analysis of the regularity of induced voltage. Taking the karst exploration of highway slope of a hydropower station as the research background, the authors obtained the apparent resistivity information of strata of different depths, and delineated the spatial distribution of karst based on the analysis of the inversion results of the test data. It is proved that the opposing coils transient electromagnetic method can effectively avoid the impact of primary field shutdown on the secondary field, basically eliminates the shallow blind zone, and realizes the accurate exploration of the shallow stratum.

Key words: transient electromagnetic method;equal and reverse magnetic flux;secondary field;karst;resistivity;detection blind spot

(本文编辑:沈效群)