

# 浅层探查时直流电阻率测深的深度灵敏度

钟 世 航

(铁道部科学研究院,北京 100081)

**摘 要:** 通过实测及几百孔钻孔的资料对比,研究直流电测深在浅层探查时曲线的  $AB/2$  与  $h$  的关系。由于电测深实测时,电极距按一定间隔布置,电测深曲线呈折线形。在混凝土厚度测定和最大深度 10 m 的浅层探查时,反映下层电介质的曲线转折点的  $AB/2 = h$ 。

**关键词:** 电阻率测深;测量深度;灵敏度

**中图分类号:** P631.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 8918(2004)01 - 0046 - 03

直流电测深法的  $AB/2$  对应的勘探深度,一直是人们关心的问题。在用传统的单条电测深曲线做反演时,人们注意到某些特征点(曲线的极大点、极小点、拐点、转折点等)对应的  $AB/2$  与不同层的分界面深度  $h$  有某种规律;在试图利用电测深曲线的特征点做直观解释时,人们更注意研究特征点的  $AB/2$  与界面深度的数学关系。高密度电法用拟剖面图作为解释的基础,在做定量解释时,用某一等值线作为界面的分界是很粗略的。近来阮百尧等对这一问题又做了探讨<sup>[1]</sup>,反映了这方面研究的进展。他们的结论是“当大地可近似看作水平层状进行电阻率测深时,可以用  $AB/8$  近似地确定勘探深度。”作者在多年从事浅层物探时,研究了电测深曲线特征点的某些规律,发现的  $AB/2$  与深度关系与之相差很大,或许是研究的地电条件不同吧!现将作者的研究列于本文,以作商榷。

文中涉及的是四极对称或三极法电阻率测深,大多为最大探查深度小于 10 m 的浅层情况,作者主要是采用大量的测深曲线与钻孔资料作对比。

## 1 研究工作的过程

早在 20 世纪 60 年代,我国已有人致力于探讨四极对称装置的电测深曲线直观解释,即根据电测深曲线的特征点(极大点、极小点、拐点、转折点等)与层深的关系,直接由特征点的  $AB/2$  乘以某系数定层深。作者有幸于 60 年代见到陈庆祥写的总结,并与他多次交谈,后来还得到他收集的近 200 条孔旁电测深曲线及钻孔资料。从陈庆祥的研究资料和

作者自己收集的孔旁测深资料发现,特征点的  $AB/2$  与层深关系有一定规律,但不同类型曲线,不同深度的曲线段,其系数有所不同。

80 年代,作者在研究用电测深法做薄层混凝土层(1 cm ~ 1 m 厚,中间有钢筋网或无钢筋网)的厚度检测时发现,由于混凝土表层和内部含水率不同、施工工艺的影响等因素,而导致其电阻率有渐变或多层的情况,尤其中间夹钢筋网时,由于钢筋网的低阻屏蔽作用,实测的曲线与理论曲线相差甚远,用计算机做正、反演几乎是不可能的;同时,由于实测时,  $AB$  不是连续变化的,而是间断地跃变,因此,电测深曲线呈折线状。对四极对称电测深二层量板做分析,可发现以折线形状绘的曲线从  $1$  层向  $2$  层过渡的转折点的  $AB/2$ ,在允许的误差范围内与二层界面深度相等。为此,作者制做了不同厚度的混凝土和钢筋混凝土层进行测量对比,并做了大量的现场实测,定深后钻孔验证,对不同龄期、不同厚度、混凝土下为不同岩石、含钢筋和不含钢筋等情况,对比了近 200 个点,找到了明确、一致的规律。

同时,作者承担浅层勘查任务时,对目标层深度在 10 m 以内(个别深于 10 m)的电测深做过多个钻孔验证对比,也发现了同样的规律。

## 2 实测结果

### 2.1 薄层混凝土厚度的测量

图 1 是 D 型( $\rho_2 < \rho_1$ ,无钢筋网的素混凝土)的实测二层曲线(吴庄隧道测),可以看到,反映  $1$  向  $2$  变化的曲线转折点的  $AB/2$  (14cm)对应了钻孔

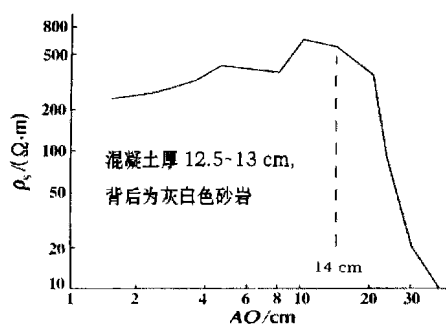


图1 吴庄隧道 D 型实测曲线  
丈量的混凝土层厚度(12.5~13 cm)。

图2是G型( $\rho_2 > \rho_1$ )的实测二层曲线(南岭隧道测),可以看到,反映 $\rho_1$ 向 $\rho_2$ 变化的曲线转折点的 $AB/2$ (10 cm)对应了钻孔丈量的混凝土层厚度(9~9.5 cm)。

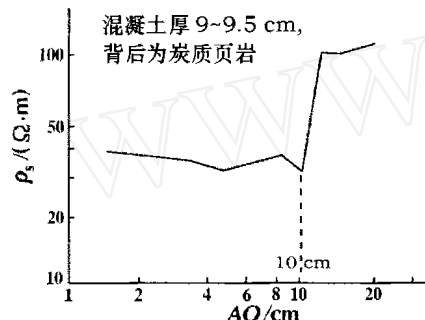


图2 南岭隧道 G 型实测曲线

图3是HG型实测曲线(素混凝土,南岭隧道测),即 $\rho_2 > \rho_1$ ,但喷射混凝土表层和内部湿度不同,表层电阻率比内部低, $\rho_1$ 为变值,曲线由 $\rho_1$ 向 $\rho_2$ 变化的转折点处的 $AB/2$ (10 cm)与凿开混凝土层丈量的厚度(11 cm)也一致。

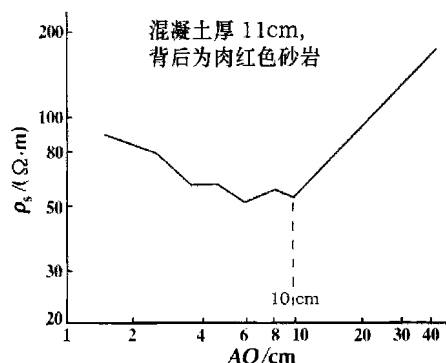


图3 南岭隧道 HG 型实测曲线

图4是在含钢筋网混凝土上测的AG型曲线(岩石电阻率 $\rho_2$ 高,在引滦入津输水隧洞测),由图可见,由于钢筋网的低阻屏蔽作用, $AB/2 > 2$  cm(钢筋保护层厚1.5 cm)的曲线 $\rho_s$ 值低,直至混凝土与岩石交界处(钻孔丈量混凝土厚15 cm),曲线在

$AB/2 > 14$  cm 后突然升高。

图5是在含钢筋网的混凝土上测的QD型曲线(吴庄隧道测),岩石的电阻率 $\rho_2$ 低。由图可见,由于钢筋网的屏蔽,曲线首段 $\rho_s$ 急剧降低,钢筋网深度为2~3 cm,曲线在 $AB/2 > 2.5$  cm后 $\rho_s$ 不再降低,表明已越过了钢筋。过混凝土(凿开丈量为13 cm厚)与岩石交界( $AB/2 > 10$  cm),电阻率又再次下降,反映了岩石的低电阻率。

作者所测的几千个测点,以曲线转折点的 $AB/2$ 值定为混凝土厚度,做钻孔验证或模型实测者200余点,统计的差值,其均方差小于 $\pm 1.5$  cm。

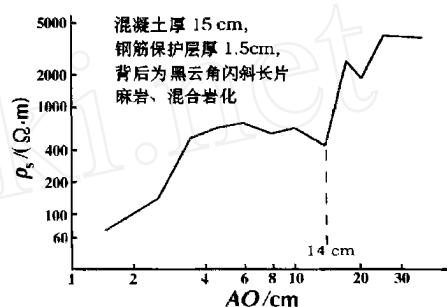


图4 含钢筋网混凝土上测的 AG 型曲线

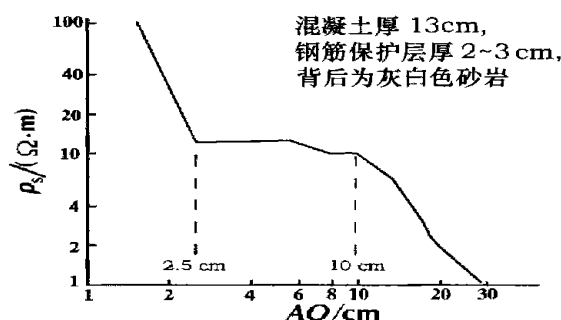


图5 含钢筋网的混凝土上测得的 QD 型曲线

## 2.2 浅层地质勘查

在嵩岳寺做塔基状况探查时,用电测深与探地雷达相结合,探查在现地面下的不同土层(古地面)深度,土层为碎石土、粘土、三合土、大块石等,基岩为风化花岗岩及花岗片麻岩,探查的最大深度为10 m左右,有若干个探孔做验证。其中图6a、b所示为用洛阳铲打钻孔,探深较浅;图6c、d为钻探验证,孔深达基岩。其中图6a、d探孔点与电测深点基本重合,图6b、c的探孔与电测深点相距1~2 m。各图电测深曲线左侧柱状图中,下方为由电测深曲线转折点的 $AB/2$ 作层深的定量解释图,上方为探孔验证资料。可以看到,二者层深差值很小,一般在5%以内,个别达10%。

由此工程亦可知,曲线转折点的 $AB/2$ 与电性分界面的深度相对应。

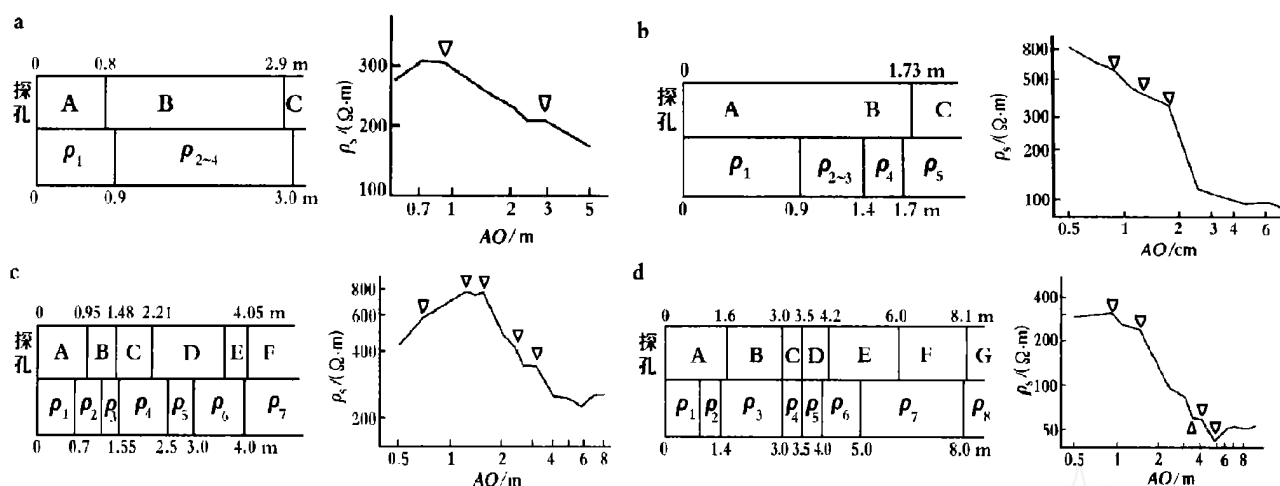


图6 嵩岳寺塔院古地面探查电测深点与钻孔对比

### 3 讨论

(1) 用四极对称电阻率测深测混凝土层的厚度和做最大探深为 10 m 左右的浅层勘查时,电测深曲线反映不同电阻率的层的分界面的转折点的  $AB/2$ ,在一定误差范围内,等于界面深度,即  $AB/2 = h$ 。

(2) 由上结论,可见从  $AB/2$  等于下层电介质顶界面深度  $h$  开始,下一层介质的电阻率开始明显地影响视电阻率值。至于  $AB/2$  与  $h$  之比达何值? 下层介质电阻率影响达到极大? 由于作者所测多是薄层,  $AB/2$  大于  $h$  不很多再下一层的影响又至,作者未能得到有说服力的资料。

(3) 计算的结果有时与实测和验证的结果有差异,是何原因? 作者认为,可能与边界条件不同有关。作者于 1991 年推出的微分电测深法,根据曲线转折点定层深的结果,经几十个钻孔验证无误。但计算结果表明,对无限大平面,由曲线转折点定深的公式并不正确,而对有限大平面则是正确的。根据

作者在 100 余个浅层工程勘查的资料,沿水平方向电阻率有变化是绝对的,基本上没有符合无限大平面的情况。究其原因,浅层的第四系层的连续性差,而且,即使层在平面上延伸较宽,但沉积条件的不均匀使其电阻率不均匀;浅层的岩层,由于小褶曲、断层和风化的不均匀,使其沿水平方向的电阻率也不均匀。

### 参考文献:

- [1] 阮百尧,吕玉增,强建科,等. 直流电阻率测深勘探灵敏度及其应用[J]. 物探与化探, 2002, 26(5): 392 - 394.
- [2] 钟世航. 无损电测混凝土层厚度的方法和装置[R]. 国家专利局专利公告. 北京, 1986.
- [3] 钟世航. 隧道衬砌状态检测技术进展[A]. 见: 铁路隧道和地下工程科技情报中心. 铁路隧道及地下工程[C]. 北京: 中国铁道出版社, 1993, 341 - 347.
- [4] 钟世航. 用物探方法解决文物保护和考古中的某些难题[J]. 地球物理学报, 1991, (5): 636 - 643.

## THE DEPTH SENSITIVITY OF D. C. RESISTIVITY SOUNDING ON SHALLOW INVESTIGATION

ZHONG Shi-hang

(China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The author has researched the relation between  $AB/2$  and  $h$  of resistivity sounding on shallow investigation by means of contacting between measuring curves on objects and boreholes. The measuring curves on objects assume brokenline form, because their distance of the electrodes should be arranged by regular intermission when measuring on field. The  $AB/2$  of turning points reflecting lower stratum is equal to  $h$ , depth of stratum.

**Key words:** resistivity sounding; depth; sensitivity

下转 52 页

根据地质资料和综合物化探异常,白银有色金属公司地质队 1994 年采用钻探验证 12 线的<sub>2</sub>异常。验证结果为:215.8~240.32 m 见矿化带,其中 220.02~220.53 m 见 0.51 m 块状矿体(Cu3.00%、Pb6.95%、Zn13.78%),其余部分共 24.01 m 为浸染状矿(化)体(Cu0.30%、Pb0.24%、Zn0.52%、Ag37.14g/t);484.35 m~终孔(724.02 m)共 240 m 均属蚀变矿化岩石和近矿围岩,其中铜矿化有向下增高的趋势(Cu 平均 0.04%,最高达 0.095%),其高于矿体近矿围岩含量(0.036%)和本区背景值(0.002 2%)。由于工程故障,钻孔未到设计深度(800 m)。

在距 12 线 100 m 处的 13 线布置<sub>2-2</sub>异常验证孔,见厚 17.7 m,综合品位(Cu、Pb 和 Zn)达 17%的工业矿体;由于矿体埋深较大,后来加拿大明科公司在 1 547 m 的巷道内连续施工 3 个定向孔,每个钻孔均见工业矿体<sup>[1]</sup>,矿体的总金属量为 45 万 t。

### 3 结论

实际应用结果表明,在详查找矿阶段合理的使用电测深方法对隐伏矿(化)体进行定位预测,可以

减少不必要的工程投入,加快找矿工作进程。

上述一些实例虽然讨论的是可控源音频大地电磁测深在寻找隐伏金属矿方面的应用效果,其也可适用于其它电测深方法。常用的电测深方法包括直流电阻率测深、瞬变电磁测深、频率测深和激发极化测深。不可否认激发极化测深是寻找金属矿产的有效手段,但由于其效率低、勘探深度相对较小,在使用中受到很大限制。在实际工作中,我们一般采用中梯装置的时间域激发极化方法寻找勘查区内成矿有利地段,使用电测深法在成矿有利地段对矿(化)体进行定位预测,结合地质、地球化学和其它资料进行综合研究的找矿方法。事实表明,上述方法在实际找矿工作中可以取得明显的地质效果。

上述一些实例是在海拔 3 600 m 以上、地形非常复杂的条件下的实际应用结果,说明该方法组合适用于我国西部复杂地貌条件。

### 参考文献:

- [1] 胡达骥,徐叶兵,陈群,编译.明科矿业及金属公司在白银厂地区找矿新进展[J].地质与勘探,1999,35(2).

## THE POSITIONING AND PREDICTING ROLES OF THE ELECTRICAL METHOD IN PROSPECTING FOR CONCEALED METALLIC ORE DEPOSITS

HUANG Li-jun, LU Gui-fu, LIU Rui-de, YANG Guan-ding

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS Langfang 065000, China)

**Abstract:** Based on investigations of the Gachun silver polymetallic deposit in western Sichuan and the Wunugetusan lindgrenite deposit in Manzhouli, this paper deals with the positioning and predicting roles and the application effects of the electrical method in prospecting for concealed metallic deposits.

**Key words:** electrical method, prospecting for concealed metallic deposits, positioning and predicting

**作者简介:** 黄力军(1954年-),男,1992年获中国地质大学(北京)硕士学位,教授级高级工程师,主要从事电磁法勘查研究和生产工作。

上接 48 页

**作者简介:** 钟世航(1940-),男,研究员,1962年毕业于北京地质学院物探系,后在铁道部科学研究院从事环境及工程地球物理的科研及生产,主持过 120 余个工点的物探工作,同时并从事隧道及地下工程的科研、设计与施工等方面的工作。发表论文 80 余篇。退休后在北方交大隧道研究中心、中铁西南科研院等单位任客座教授,在多所大学任兼职教授,并自成立钟世航工作室。