

联合电测深法在工程勘察工作中的应用

李 西 山

(中国兵器工业勘察研究院 北京 100053)

1 问题的提出

在那些基岩出露、或者埋藏较浅而其产状较陡并夹有不同电性层,特别是夹有厚度较小而电阻率又较低的岩层如灰岩之中夹有薄层泥灰岩、页岩等岩层的地区;在断裂构造比较发育的地区;在城镇的市区、郊区、工、矿区等埋有地下管道(主要是金属管道)、电缆等设施的地区。在上述地区开展电测深工作时,常常因为上述那些不均匀地电体、或人为的低阻体的存在,造成了地电断面更不均匀,电场更加复杂化。导致所测电测深曲线发生不同程度的畸变。这种畸变,往往给资料解释工作造成很大困难,以致影响甚或不能完成预定的勘察任务。例如在夹有薄层页岩的灰岩地区,开展对称四极电测深工作,当 ρ_s^{AB} 曲线上出现了一定的异常时,我们首先就会想到,这个异常究竟是由测点之下深部的岩溶、裂隙引起,还是横向剖面的不同电性的地质体——低阻的页岩的分流作用引起,还是二者的综合反映?

无疑,这是个难题。

在上述那类地质、地电条件复杂的地区,解决100m以上的地质问题,若仅仅采用对称四极电测深法,一般情况下,也需要投入较大的工作量。不需多说,这实际是事倍而功半的做法。如能解决,还算是好的。更麻烦的是,虽然投入了大量的工作,却依旧无济于事,到头来还是达不到解决难题的目的。最终是空忙一场。

针对上述问题,我们自70年代以来,多次采用“联合电测深法”给以解决,均取得了预期的地质效果。

2 “联合电测深法”的特点

我们知道,多种版本的“电法勘探”教科书中,讲述了三极电测深法。

所谓“联合电测深法”,就是在一个测深点上,同时做两个供电电极放线方向正好相反的三极电测深AMN(C)和(C)MNB。这是参照“联合剖面法”而取此名称。

我们首先讨论下述两种情况的三极电测深和对称四极电测深的视电阻率之关系

2.1 地(岩)层为均匀水平的情况

我们知道,这种情况下,三极电测深和对称四极电测深所得到的结果相同,即

$$\text{三极电测深之 } \rho_s^{A(B)} = K_{A(B)} \frac{\Delta V_{MN}^{A(B)}}{I_{A(B)}}$$

$$\text{对称四级电测深之 } \rho_s^{AB} = K_{AB} \frac{\Delta V_{MN}^{AB}}{I_{AB}}$$

$$= K_{AB} \left[\frac{\Delta V_{MN}^A}{I_A} + \frac{\Delta V_{MN}^B}{I_B} \right]$$

$$K_{AB} = \pi \frac{\overline{AM} \cdot \overline{AN}}{\overline{MN}}$$

$$K_{A(B)} = 2\pi \frac{\overline{AM} \cdot \overline{AN}}{\overline{MN}}$$

$$\text{即 } K_{A(B)} = 2K_{AB}$$

$$\text{因此 } \rho_s^{A(B)} = 2K_{AB} \frac{\Delta V_{MN}^{A(B)}}{I_{A(B)}}$$

$$\text{所以 } \rho_s^{A(B)} = \rho_s^{AB}$$

2.2 地(岩)层不均匀的情况

在布极方位上沿水平方向电性变化不对称时,由 $\rho_s = \frac{j_{MN}}{j} \rho_{MN}$ 关系可知, $\Delta V_{MN}^A \neq \Delta V_{MN}^B$ 。则这两种装置所得结果不同。

由于三极测深的电极排列不对称，其观测结果，除能反映测点下方垂向电性变化情况外，对供电极方向的地电变化，也有相当的反映。我们正是利用其这一特点，采用“联合电测深”装置，常观测 ρ_s^A 、 ρ_s^B 、 $\rho_s^{A^B}$ 三条曲线，以解决工程中遇到的一些难题。

下面举几个工程实例。

3 应用实例

3.1 灰岩地区

3.1.1 解决水文地质问题

测区是广东省阳山县黎埠乡一处宽度在80.0~200.0m不等的山沟。沟内第四系冲、洪物厚度为几米至十米左右，主要是粘性土、砂、砾石等，基岩为石炭系灰岩。

测区内断裂构造可谓发育。隔江断裂和黎埠断裂平行地通过此区，走向NNE，延伸在10公里以上，且其破碎带比较宽，还有规模较小的细涇泉断裂，位于前二者之间并通过厂区，见图1。

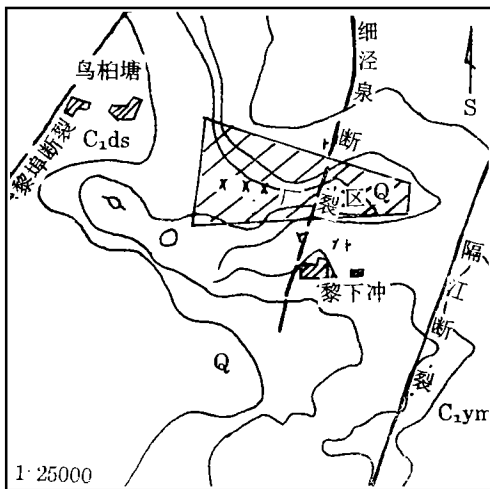


图1 测区地质构造图

由于这些断裂构造的多次作用，使得测区内的灰岩的解理、裂隙、岩溶等都较发育。测区的大部分，处于工厂厂区之内。工厂的上、下水管道（钢管或铸铁管）纵横交叉。无疑，这些对于电测工作又形成了更为严重的影响。

电测工作的任务是查明测区内的构造、岩溶发育带，从中选择最佳取水井位。

我们在声频大地电场法的异常带处，投入了联合电测深法，以查明垂向岩溶裂隙的发育情况。

从图2可见， ρ_s^A 曲线，当 $\overline{AO} = 15.0 \sim 65.0m$ 的一段斜率已呈45°上升，但当 $\overline{AO} = 100.0m$ 时， ρ_s^A 值突然减小，其斜率陡然变化。经实地察看，是由于A极跨过直径 $\phi=100mm$ 的上水钢管所致。钢管对 $\rho_s^{A^B}$ 曲线的影响也相当明显。见图2中折线所示。而 ρ_s^B 曲线是一条较为标准的A型曲线。其前、中段与 ρ_s^A 和 $\rho_s^{A^B}$ 特征一致，只在 $\overline{AO} = 65.0 \sim 100.0m$ 的一段，曲线斜率有所变小，如图中的虚线所示。

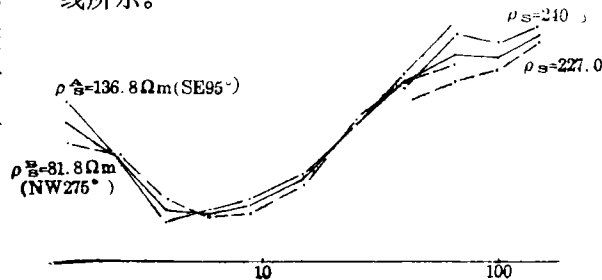


图2

结合上述地质、水文地质及声频大地电场资料，可以认为， ρ_s^B 曲线尾支斜率的明显变化，是该点深部岩溶裂隙比较发育引起。

为了证实这个推断，我们在该点南侧10.0m处，又做一测深点，所得曲线也是A型，且其特征与上点 ρ_s^B 曲线相似，见图3。这表明该地段25.0~65.0m深度内岩溶裂隙比较发育，是取水的理想地段。从图3可见，钻探所揭露的地质资料，与联合电测深法的定性、定量解释结果非常接近，而该井出水量也达到设计要求。

3.1.2 解决工程地质问题

在上述地区，我们还配合工程地质开展了联合电测深工作。任务是了解拟建车间处自地面往下15.0m深度之内岩溶裂隙的发育情况。

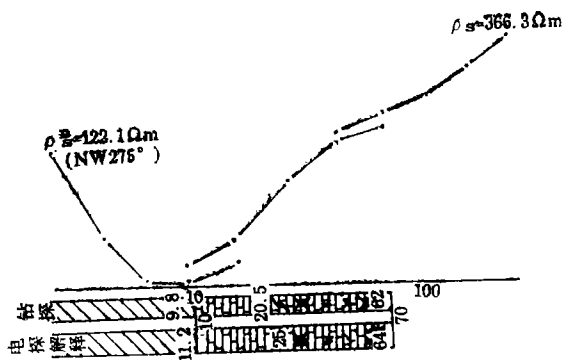


图 3

该区的地质、构造情况如上述。

据工程地质工作要求，布了10个测点，其中3*和7*点恰好处于经人工处理的陡坎附近。该坎高2.6m，测点距陡坎不足4.0m。见图4：测区地形平面剖面及工作布置示意图。图中左下角是通过7*点的南北方向地形地质剖面图。从图4可见，7*点只能向东、西方向放线，当 $\overline{AO} = 18.0\text{m}$ 时，东侧即遇到一深约20.m、宽约6.0m的冲沟，沟东岸就是陡峭的山体。

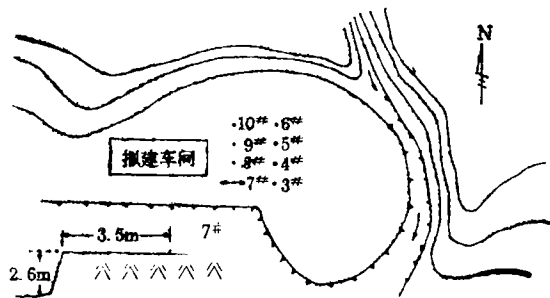


图 4 测区地形及工作布置示意图

为了在各个测点都尽可能地达到所要求的勘探深度，同时也想了解陡坎对于电测深曲线的影响，做到心中有数，我们采用了联合电测深法。图5就是在7*点测到的 ρ_s^A 和 ρ_s^B 两条曲线。从图5可见，向西与陡坎平行地放线所测 ρ_s^A 曲线为A型，而向东放线的 ρ_s^B 曲线为二层的G型。在同一测点测到这样两条不同类型的 ρ_s 曲线，是不能不认真研究

的问题。更何况，从水文地质电测深资料看，A型曲线正是反映了测点深部岩溶裂隙很发育。

就这个小测区内的8个点的 ρ_s 曲线看，基本上都是G型曲线，此点向东放线所测曲线亦为G型，见图5中的 ρ_s^B 曲线。

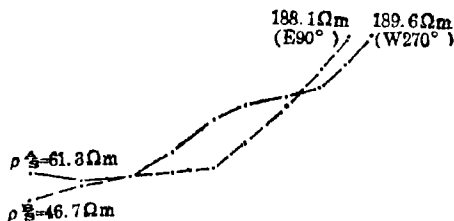


图 5 7*点的 ρ_s^A 、 ρ_s^B 曲线

那么，向西放线的 ρ_s^B 曲线为何呈三层的A型地电断面呢？按该点所处位置，应用关系式 $\rho_s = \frac{j_{MN}}{j_0} \rho_{MN}$ 对此加以分析。我们认为：A型断面的第二层，反映的并不是深部地电体的存在，而是由旁侧的陡坎影响所致，即当 \overline{AO} 很小时，旁侧陡坎可认为没影响，所以 ρ_s^{MN} 值基本正常。当 \overline{AO} 增大到6.0m以后，由于测点、供电点距陡坎仅仅3.6m，相对于供电极距已不满足半无限空间的条件，而旁侧空气是高阻体，致使MN极之间的电流密度增大，即 $j_{MN} > j_0$ ，使 ρ_s 值增大，曲线斜率随之变大，好象已遇到高阻灰岩，当 \overline{AO} 继续增大到12.0m时，陡坎影响相对减小，当 $\overline{AO} = 18.0\text{m}$ 时，陡坎几乎无影响， ρ_s 值接近正常，曲线斜率又变一次，由此造成三层断面。

经过全面对比分析，我们排除了该点“岩溶裂隙发育”的假象，获得了正确地质结论，节省了建设投资。

3.2 火成岩地区

测区在山东省淄博市一个山间河谷之中。

工作任务是了解河床中冲积物的厚度及其变化，以选择开凿大口径取水井的井位。

河床中砂砾卵石成分为花岗岩、片麻岩等,其粒径相差较大,从几厘米到数十厘米不等。基岩为前震旦系花岗片麻岩。

首先采用对称四极电测深法。垂直河床走向布一剖面,点距一般为10.0m。10个测点的曲线,基本为Q型,个别点因表层变化而呈KQ型,见图6。但5*点的 ρ_s 曲线,极不同于其它点。它呈KHK型。仅从曲线看,此点基岩埋深较大,这正是我们要找的目标。可是,全面分析对比该剖面10个点的 ρ_s 曲线,我们对5*点曲线的反映有所怀疑:认为这不是该点垂向断面的本质,而可能受到横向剖面不均匀地电体的影响所致。为了查清此点,在5*点又做了联合电测深,所得 ρ_s^A 和 ρ_s^B 二条曲线。出现了明显的差别,见图7。从图中可见, ρ_s^A 曲线呈KQ型,与其余各点曲线特征一致。且曲线较圆滑,分层亦较清楚。而 ρ_s^B 曲线却呈KHK型,甚至可看成KQHK型。

经全面对比分析,可以认为,五层或六层地电断面,是由于该测点南面25.0m~40.0m

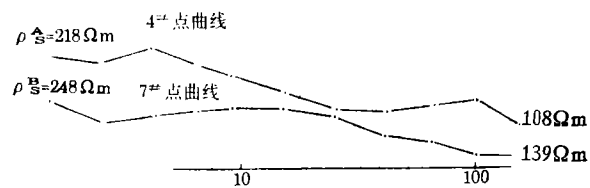


图 6

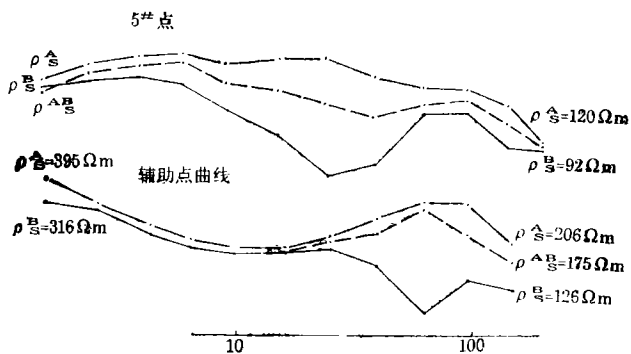


图 7

范围内,有一个低阻地质体,它起了一定的分流作用,使曲线呈明显的H型。并不是该点基岩埋深增大所致。

为了证实这一推断,我们又在5*点北60.0m处,做一联合电测深点。此点A极向北放线所测到的 ρ_s^A 曲线,与其它各点的 ρ_s 曲线基本一致。而向南放线的B极,当BO为40.0m、65.0m时,正好进入上述推断的那个低阻体范围内,因而 ρ_s^B 值有所减小(分流作用所致),曲线发生畸变,见图7中辅助点曲线。5*点与辅助点的资料,证实了上述低阻体的存在,排除了5*点处基岩较深的认识,从而把大口井井位选在基岩埋深确实较大的4*~8*点之间利于施工的地段。其后的施工证实了这一解释是正确的。

4 结束语

我们在广东、山东、四川、北京等,开展电测深工作遇到上述那些棘手问题时,均采用了联合电测深法,较好地排除了人为因素,如上、下水管道、人工保坎等;地质因素,如横向不均匀地电体的存在所造成的 ρ_s 曲线的畸变甚至使曲线类型改变等影响。查明了测点处的“庐山真面目”,解决了有关的水文、工程地质问题。

今后,由于工、农业生产的迅速发展,城乡建设现代化进程的加快,以及随之而来的供水、排水量的增加,必然导致上、下水管道、供气、供暖、供电、通讯等等管道也将相应增多。实践表明,在存在上述那类干扰体和均匀地电体的地区,无疑都会给开展电测深工作造成种种困难。

但是,经过认真踏勘,选择出适宜的供电和无穷远极的方向,对于解决勘探深度小于100.0m的水文、工程地质问题,投入联合电测深法,很可能收到加速工程进度,提高工程质量和经济效益,为现代化建设作出积极的贡献。