

## 利用电阻率法在平原地区找水的方法介绍\*

河北省地质局物理勘探大队

“水利是农业的命脉，我们也应予以极大的注意”<sup>1)</sup>。

开发地下水源，支援农田水利建设，促进粮棉上《纲要》，是当前农业战线建设稳产高产田的一项重要任务。

人们总是希望打一口井成一口井，如何实现这个愿望呢？这需要在打井之前，选择合适的打井位置。在这方面广大群众不但有丰富的经验，而且近年来，特别是无产阶级文化大革命以来，由于采用了水文地质勘探和电法勘探及水文测井等找水手段，对提高成井率积累了一定的经验。电法勘探地下水具有速度快，成本低，设备简单等优点，所以在群众性开发地下水源中得到较快的推广和应用。目前在地下水地球物理勘探中，直流电阻率法，仍是多快好省地普查平原地下水源、确定打井位置的主要方法。

直流电阻率法，是电法勘探中的一种方法，包括电测深法和电测剖面法（电剖面法），都是借助于地下岩层、土层（通称地层）所具有的电阻率差异特性（导电性），依据电阻率参数变化规律，达到找水目的，因此它是一种间接找水方法。在解决平原地区找水的实践中，有时用电剖面法来了解和圈定古河道含水带和近地表的浅层淡水区。但为了解较深含水层则主要采用电测深法。选择什么方法找水，一定要依据当地的水文地质条件、地球物理条件和要解决的具体找水任务，只有这样才能更有效地勘察地下水源。

### 一、平原的水文地质及物理条件

以河北平原为例，该平原系由近山河流、古黄河冲积、滨海沉积、河流淤积等形成。它由太行山向渤海呈水平状的倾斜，由西向东大体分成三个带或者是区：太行山东麓至京汉铁路为山前倾斜平原，京浦铁路以东为滨海平原，而两区之间广阔地带属中部低平原。

目前，该平原地区所找的水属第四纪地层中的水。从钻孔揭示的地层可见，组成第四纪地层的物质成分多为粘土、粉砂、细砂、中、粗砂和砾石等。全区由西向东有明显的水平向的水文地质分带：西部含水砂层呈片状分布，变化稳定，厚度大，并以中细砂为主；中部含水砂层呈带状分布，以细砂为主；到东部，含水砂层

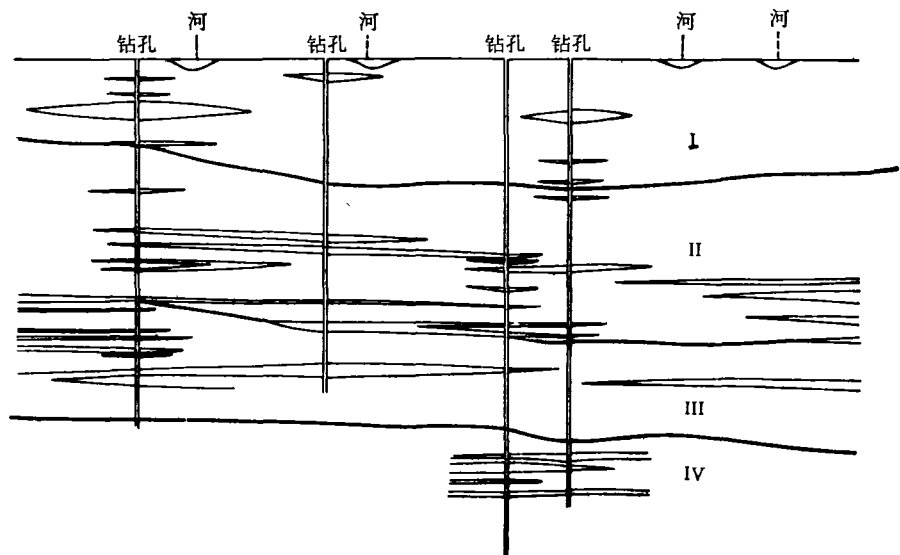


图1 地下含水层典型剖面

\* 1973年12月10日收到。

1) 毛泽东，《我们的经济政策》，《毛泽东选集》一卷本，(1968)，118。

也呈水平片状分布,变化稳定,但粒度很细,以粉砂为主。并且含淡水砂层的顶板深度由西向东渐增,深到四、五百米。含水砂层沿垂直方向的分带现象也很明显(图1),由地表向下到五百米左右深度,见有四个含水组,每个含水组中的含水层,一般呈长透镜体和小透镜体。由测井资料可知,咸水层和淡水层交互出现,有的地方由地表开始到深部全为淡水层,如果它能构成一定面积,即为全淡区,在山前倾斜平原和中部低平原中都有分布,在这样的区内布井,打井及成井取水,无需考虑咸水问题。有的地方在四、五百米深度才有淡水层(滨海区)。

水的化学类型同样由西向东也有较大的变化。西部以重碳酸盐型水为主,向东渐变成硫酸盐型水和氯化物型水。矿化度(含盐量)由小于0.5克/升,增大到2.0克/升,个别地方远远大于2.0克/升,达到10—20克/升。

水,做为大自然一种重要物质存在于自然界中,它所储存的空间,决定了其分布特点。在地下,它严格受地质构造及其物质分布特点的控制,平原区第四纪含水层,主要受砂层和粘土层的控制。

众所周知,砂粒与砂粒之间,粘土微粒之间都存在一定的空隙,这些空隙就成了储存地下水的场所。拿粘土和砂层来讲,粘土微粒间的空隙就比不上砂粒与砂粒间的空隙大,因此,粘土层中水的流动能力就小的多。另一方面,粘土则有较大的孔隙度(单位体积的岩石中,其空隙所占有的体积的百分数称为孔隙度),故粘土的湿度比砂的湿度为大。又由于粘土中的水流动性极差,对盐类溶解充分,矿化度增高,这些溶于水的盐类,就依靠大量的盐离子进行导电,所以粘土相对于砂,就有较强的导电能力,故粘土层在电性上呈现低电阻反映。相反,颗粒粗、孔隙大、透水性好、溶盐少的淡水砂层,往往呈现高电阻反映;若砂层含有高矿化度的咸水时,同样会出现低电阻反映。含淡水砂层和含咸水砂层及粘土层这种明显的客观的差异,正是应用电阻率法,通过获得高电阻反映带,确定砂层富集地段,从而进行间接找水的依据。

## 二、电测深法原理、装置及测量仪器

电测深法就是在地表同一测点上,用逐渐增大供电电极之间距离,根据其电阻率的变化以了解不同深度地层情况的方法。用于找水工作,电测深可以解决以下任务:

1. 确定含水层的分布情况、埋藏深度、厚度及圈定咸水和淡水的分布范围;
2. 查明裂隙含水地层存在情况,寻找适于储存地下水的断层破碎带、岩溶发育带及古河道;
3. 在区域水文地质调查中,用来查明凹陷、隆起和

储水台阶。

在解决上述任务时,被找对象与其周围地质环境的电阻率差异越大,所取得的效果也就越显著。

物质电阻率( $\rho$ )是指电流通过截面积( $S$ )为一平方米,长度( $L$ )为一米的正六面体时,这种物质所呈现的电阻(即所受到的阻力),单位是欧姆·米(用符号 $\Omega \cdot m$ 表示)。

测定地层电阻率 $\rho$ ,是从地表通过供电电极 $A$ 和 $B$ 给地层通电,同时测量地表上 $M$ 和 $N$ 两个测量电极间产生的电位差,经计算后得到的。

当地下地层为理想情况,即成分均匀一致,且无限宽厚时,供入地中的直流电 $I$ ,即在地下形成人工电场,如图2。用仪器测出供电电流 $I$ 和测量电极间的电位差 $\Delta V_{MN}$ 值,用公式即可算出该地层的电阻率 $\rho$ 值:

$$\rho = K \frac{\Delta V_{MN}}{I}$$

式中 $K$ 为装置系数:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}$$

在这样的假设条件下,无论怎样改变供电电极 $A$ 、 $B$ 之间的距离,电阻率值不发生变化,其曲线将是一条以 $\rho$ 为定值、平行于距离的直线段,它代表了此种地层的真电阻率。

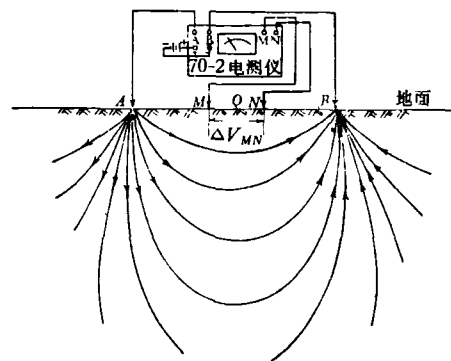
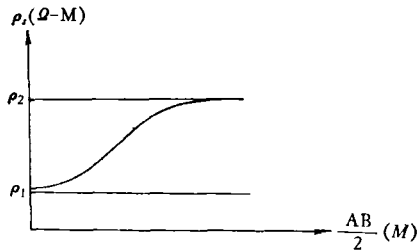


图2 测量装置及人工电场示意图

应指出,构成地层的物质不是均匀的,也不是无限宽厚的,因此地层电阻率沿水平方向和垂直方向都有变化,此时算出来的电阻率既不是这层的真电阻率,也不是那层的真电阻率,而是电场作用范围内各种地层综合影响的结果(其中有主次之分),并称之为视电阻率,用 $\rho_s$ 表示,以便于与真电阻率相区别。视电阻率与下列因素有关:

1. 实际地层的分布状况(各层的厚度,大小、形状、埋藏深度等);
2. 各地层的电阻率;

3. 供电电极与测量电极的相互位置以及它们与不均匀地层的相对位置。



(a) 二层结构及曲线



(b) 三层结构及曲线

图 3

假如地层由二层不同物质组成，如图 3(a) 所示，设第一层的电阻率为  $\rho_1$ ，厚度为  $h_1$ ，第二层电阻率为  $\rho_2$ ，厚度为无限厚，且  $\rho_2 > \rho_1$ ，其地层对电场的影响大体是：当供电电极处于  $A_1$  和  $B_1$  位置时，其电场所影响的范围限于表层，因此所测得的电阻率，主要反映了第一层物质，故电阻率为  $\rho_1$ 。当电极距离扩大到  $A_2$  和  $B_2$  位置时，电场不仅分布于第一层，而且大部分电力线分布于第二层，则第二层对电场起主导影响，由于第二层属高阻层，将迫使电流线向上密集，造成  $MN$  处电流密度增大，根据公式

$$\rho_s = \frac{I_{MN}}{I_0} \cdot \rho_{MN},$$

式中  $I_{MN}$  为  $M, N$  电极之间的电流密度， $I_0$  为均匀介质中的电流密度， $\rho_{MN}$  为  $M, N$  电极之间的真电阻率。可见  $I_{MN}$  的增大，促使  $\rho_s$  的增高，所以图 3(a)

的曲线呈现上升状态。如果再增大  $A, B$  间距， $M, N$  处的电流密度几乎不再增大，最终  $\rho_s$  值趋近  $\rho_2$ 。

假如地层由三层不同物质组成，如图 3(b) 所示，设  $\rho_3 < \rho_2$ ， $\rho_2 < \rho_1$ ，由于电极增大到  $A_3$  和  $B_3$  位置，电流线将向深处波及，此时低电阻率的第三层对电流线起吸引作用，致使  $M, N$  处电流密度降低， $\rho_s$  值减小，再增大  $A, B$  间距， $M, N$  处电流密度不再降低，而  $\rho_s$  值也就趋近  $\rho_3$ ，即形成如图 3(b) 所示的低高低的曲线形态。

四层、五层乃至多层结构的地层，当其厚度相对埋深足够大，且有明显的电阻率差异时，那么只要不断地扩大  $A$  和  $B$  间的距离，总可测得一条反映地层结构形态的曲线（称电测深曲线）。分析曲线变化特征与砂层和水的关系，即可打开寻找地下水的“大门”；这就是电测深法的基本原理。

找水中应用最广的是对称四极电测深法（简称电测深法）。如图 2 所示，四个电极中有两个是用于供电的，称为供电电极，用符号  $A, B$  表示，是铁质杆状的。另外两个是用于测量电位差的，是测量电极，用符号  $M, N$  表示，是紫铜杆状的（电极极化效应较小）。由于工作时四个电极分布在同一个工作剖面上，且对称等距地置于中心点  $O$ （测点）的两侧，故称为对称四极电测深法，即  $AO = BO, MO = NO$ 。电阻率计算公式是：

$$\rho_s = K \frac{\Delta V_{MN}}{I},$$

式中

$$K = \frac{\pi AM \cdot AN}{MN}.$$

目前在找水中应用的测量仪器型号较多，如 UJ-4，UJ-18 型电位差计，DDC-2A 型电子自动补偿仪，以及《支农 70-2 型》半导体电测仪等。

《支农 70-2 型》电测仪（如图 4），是农村勘察水源得到普及的仪器，由于它采用了简单、实用的差动放大器，推动表头指示，克服了外界温度影响；另外仪器加有电流调节，不仅能用于地面电测深法普查打井位置而且可以测井，指导下管成井；加之仪器的轻便化、小型化、牢固耐用、工作稳定、造价便宜等优点，得到贫下中农的好评，在找水中发挥了较大作用。

### 三、电测深曲线分析及应用

将各个极距上测得的  $\rho_s$  值，绘在双对数坐标纸上（模数 6.25），即构成一条完整的电测深曲线（如图 5）。这种曲线客观地反映了由不同地层的电阻率差异所形成的电性层，这种电性层主要取决于各地层电阻率的自然构组，因此，它并不完全反映地质层的整个面貌。

由于电性层的构组不同，在曲线上就表现出不同

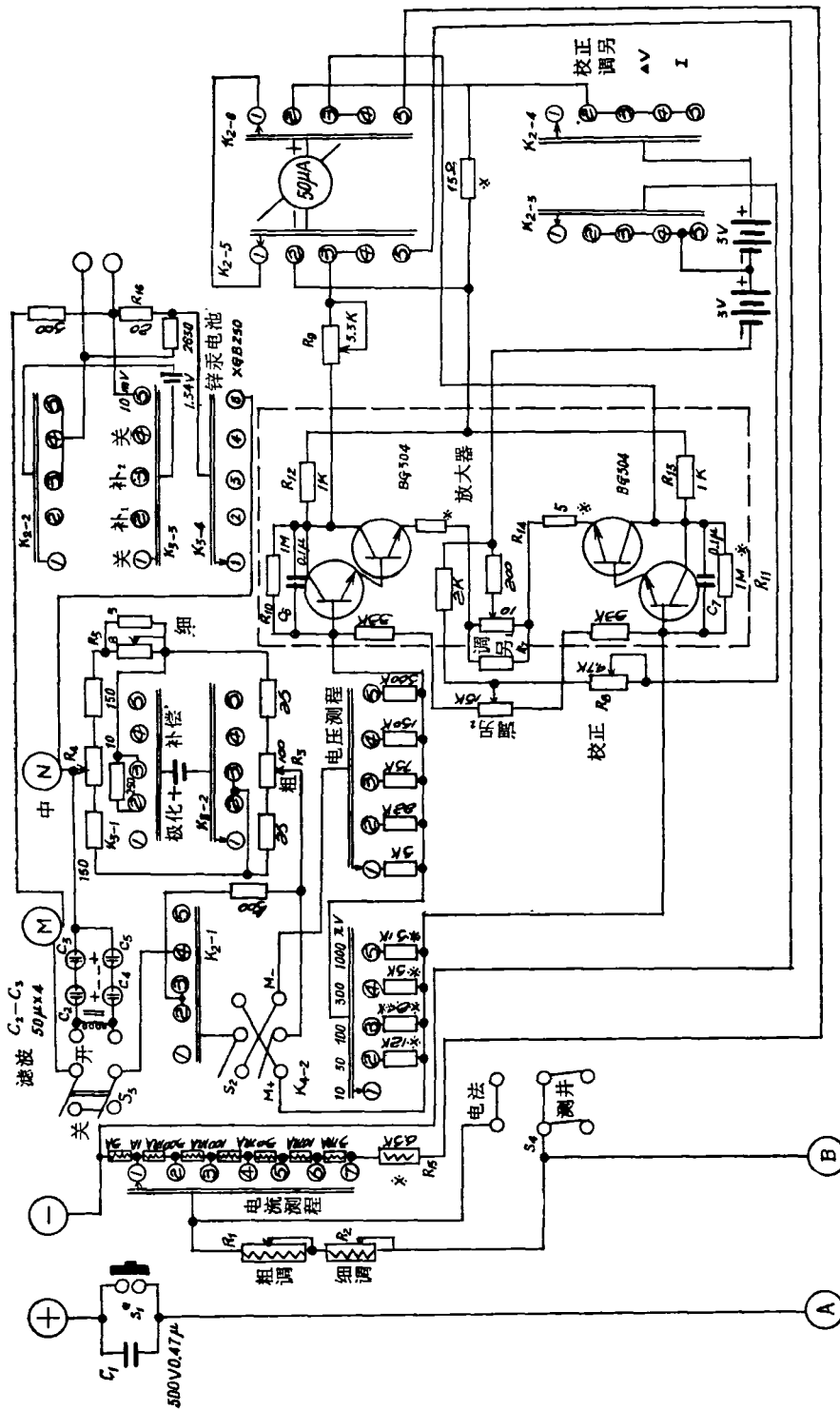


图 4 «支取 70-2 型» 半导体电测仪线路图

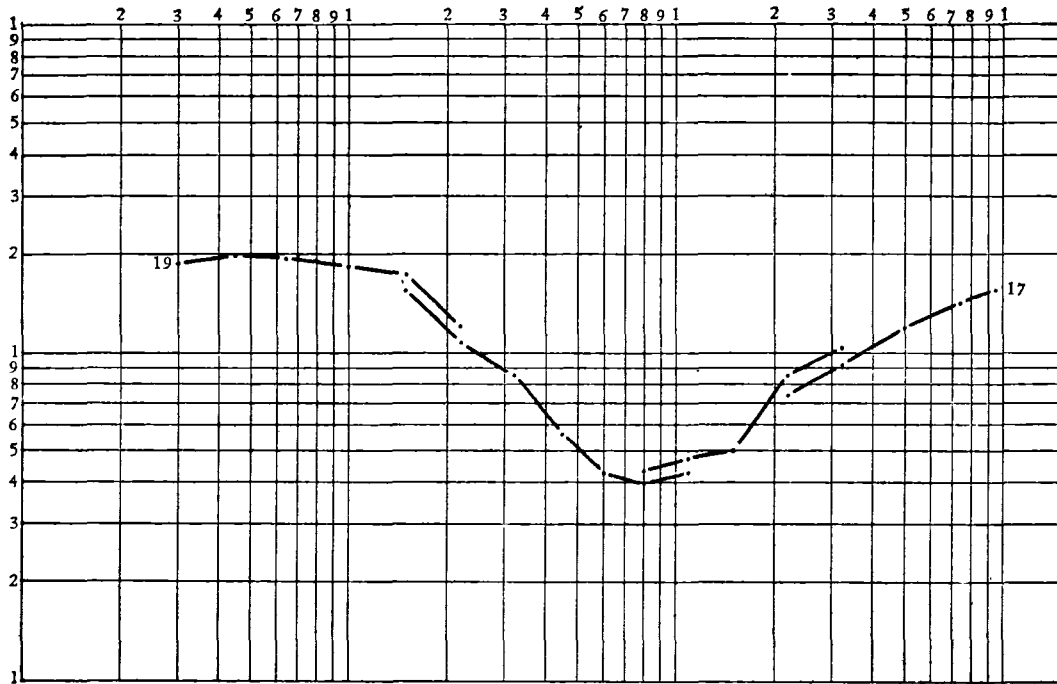


图5 电测深曲线

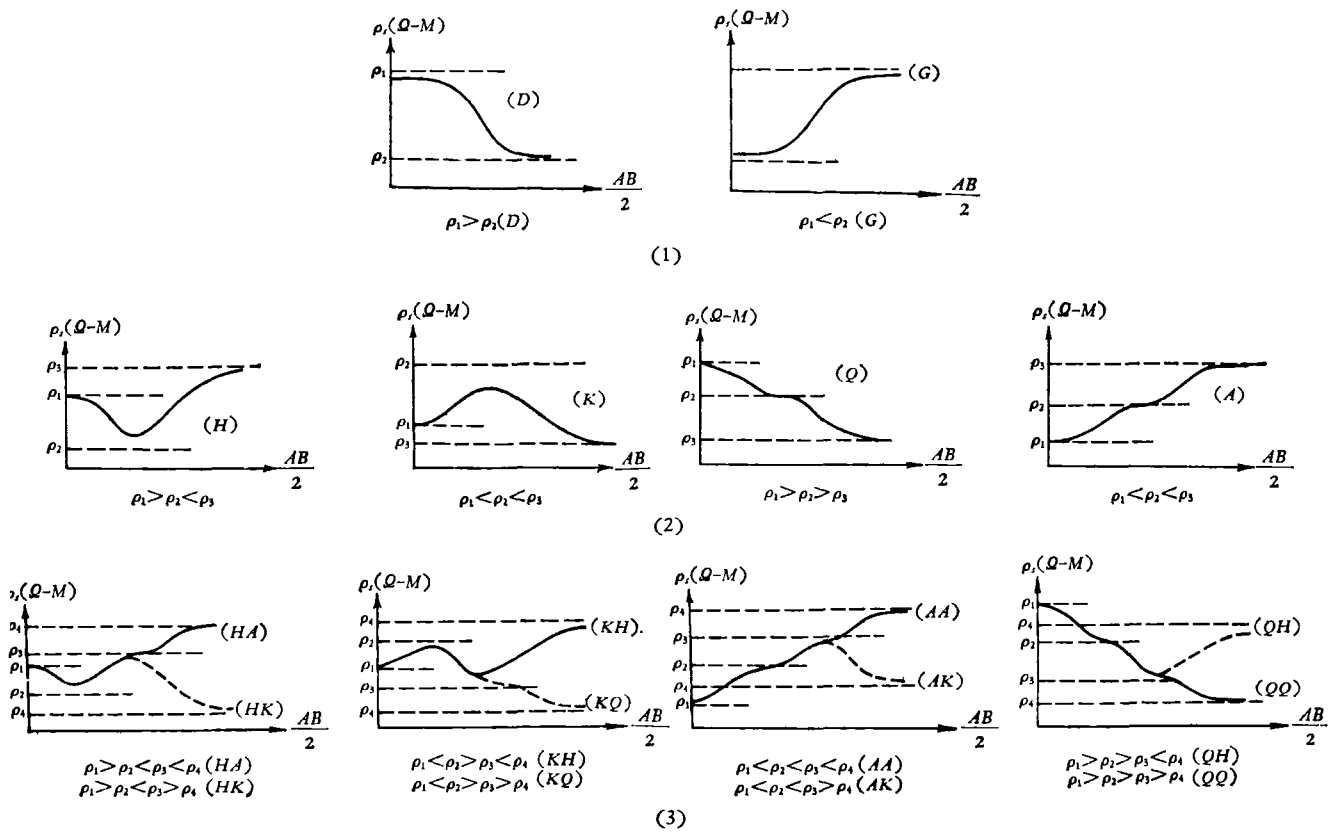


图6 (1)二层结构的曲线 (2)三层结构的曲线 (3)四层结构的曲线

的特征，我们把各种不同特征的曲线归纳为六种基本类型。如图6(1)、(2)所示。

G型和D型曲线是二层地层结构的特点。H、Q、K、A型曲线，则是三层地层结构的特征。如H型曲线，它的电性层是：中间层为良导电层，上下为劣导电层，即 $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ 。至于四层、五层结构的曲线也就更复杂些，但只要抓住以上六种基本曲线类型，就不难识别复杂的曲线了。

资料的分析和解释工作，是对电测深曲线进行去粗取精、去伪存真的加工和认识过程。电测深曲线属第一手资料，它的可靠性和精确度如何，对保证资料分析的顺利进行和分析结果的正确性，都将产生直接影响。故用于分析的第一手资料，需进行百分之百的检

查复算，无误后才能作为分析的依据。

对资料的分析一般是先定性分析测深曲线，以及绘制一些必要的定性图件，在此基础上再做定量解释和绘制定量图件等。所谓定性分析，即给曲线定性质，是含淡水砂层引起的呢？还是由含咸水砂层引起的？性质定准了，至于砂层的深度、厚度及各层电阻率的计算是容易解决的问题。

定性分析大体包括下述内容：曲线类型（是K型曲线还是HK曲线……）；曲线各段变化的特点（曲线前支，曲线中部及尾部电阻率大小及变化梯度）；曲线特征点（K、Q、H、A点所处的位置）等。

以一条实测曲线为例，分析如下（如图7所示）。首先由曲线形态看，它是KHK型曲线。它明显地反映出

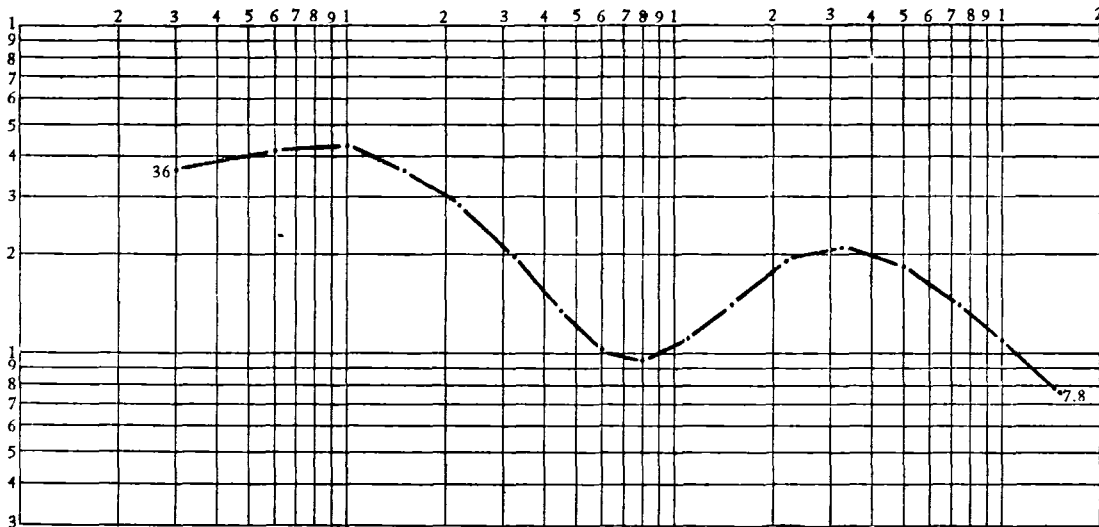


图7 定性分析示例

地下有五个电性层。其中两个导电较好的电性层是曲线中段和尾部。三个劣导电性层是曲线首段和两个凸起部分。曲线首段电阻率约 $35\Omega\text{m}$ ，两个凸起部分的电阻率达 $40\Omega\text{m}$ 和 $20\Omega\text{m}$ ，但曲线中部和尾部则下降到 $8-10\Omega\text{m}$ 。曲线的特征点反映着一个电性层变为另一电性层的大体位置，它的移前靠后，反映着电性层深度和厚度的变化。根据前面介绍，地下水储存在砂层的空隙中，如砂层饱含低矿化度的淡水，则曲线上显示高电阻特点（曲线凸起和曲线上升），所以在平原地区、特别是具有咸水和淡水分布的地区，一般都较注意曲线的高电阻部位，如K点之前，A点之后，Q点之前，H点之后一段曲线的分析和认识。根据前述定性分析认为：它有两层富含淡水的砂层段，一层是曲线首段到第一个凸起之前，为厚度不大的浅层淡水段；另一层由凹陷部位到第二个凸起点之前，为厚度较大的深层淡水-微咸水段，其它的为咸水段。

根据河北部分地区工作经验，在划分淡水咸水界

限时，主要依据井旁测深（在井的附近做电测深）曲线与钻孔水样化学分析及电测井资料对比的方法。电阻率与水的矿化度 $C_{\text{矿}}$ 大体有如下关系：

$C_{\text{矿}} < 0.5$  克/升， $\rho > 15\Omega\text{m}$ ，在 $15\Omega\text{m}$ 以上为淡水；

$C_{\text{矿}} = 0.5-1.0$  克/升， $\rho = 12-15\Omega\text{m}$ ，淡水-微咸水；

$C_{\text{矿}} = 1.0-1.5$  克/升， $\rho = 9-12\Omega\text{m}$ ，微咸水-咸水；

$C_{\text{矿}} > 1.5$  克/升， $\rho < 6-9\Omega\text{m}$ ，咸水。

定量解释的主要任务是确定含水砂层的深度、厚度以及各电性层的真电阻率值；定量解释的方法主要是量板解释法。图8为定量解释后的电测深曲线。图9，为某公社定量解释后所确定的深层淡水顶板等深度图。

在此提一下，电测井工作在找水、成井的过程中是十分重要的，它经常与地面电测找水方法配合，卓有成

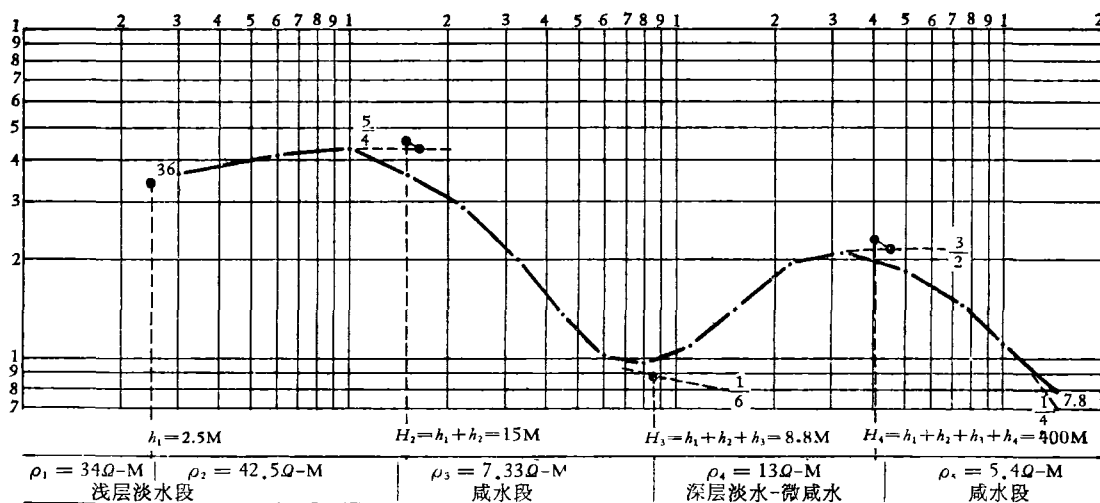


图8 定量解释后的电测深曲线

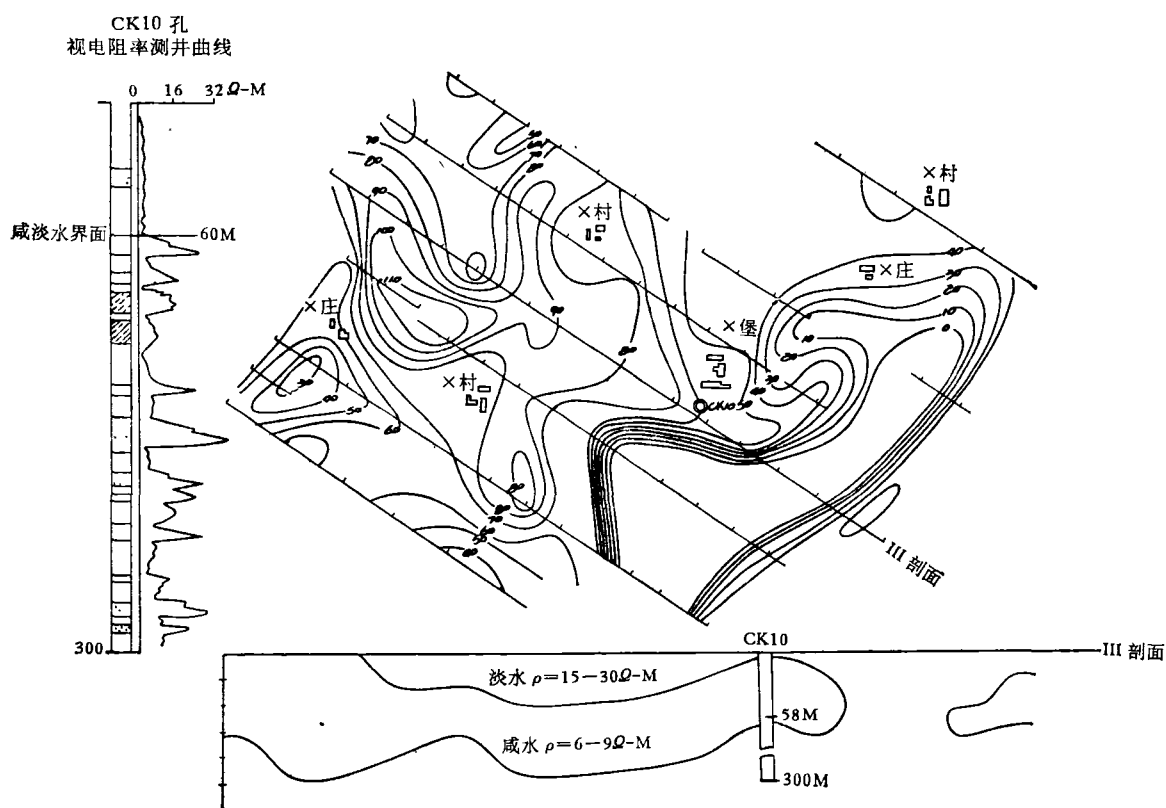


图9 深层淡水顶板等深度图

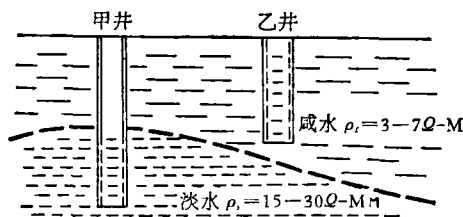


图 10 成井效果对比

甲井——经电测,下管成井; 乙井——未经电测井,盲目下管

效地完成找水任务。如图 10 中的乙井不经电测井,而盲目下管成井,将咸水导入管内成了废井。而甲井经过电测井,止咸水,成井于淡水砂层中,取出的水可以饮用和灌溉。图 11 即为某地 4 号孔的电测井实测曲线。

前面简单地介绍了用于寻找平原地下水的电测深法基本原理,方法和资料的分析过程。从文中可以看出,平原区找水问题,不仅要找到水,而且更主要的乃是有效地区别淡水和咸水。在这方面电测深法就有它独到之处,故在群众性开发地下水源地中,电测深法是用得最广的一种找水方法。据对河北省沧州和衡水两专区了解,县县有物探测水组;有的公社也在筹备电测找水队伍。生产实践说明,具有初高中程度的贫下中农社员,不仅熟练地掌握了电测找水技术,而且积累了丰富的找水经验,使找水效果一年比一年显著。例如河北省盐山县 1969 年至 1970 年,参照物探资料打浅井五百多眼,深井十多眼,几乎全部成井,水质、水量都比较好,从而结束了“盐山县地下无甜水”的错误结论。

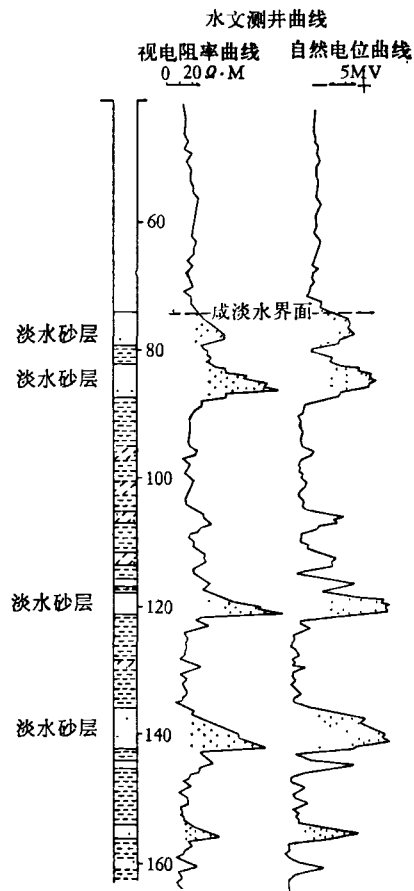


图 11 某电测井实测曲线

## 半导体激光报警器与光电转换技术\*

半导体激光小组

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

半导体激光报警器如图 1 所示,是一种新型装置。工作时,砷化镓激光器发射一束不可见的脉冲光,远处(从几厘米到几十米或更远)的光电元件接收这一信号后,讯响器处于正常状态。当有人或物把光挡住时,光电元件就接收不到或少接收若干个光脉冲,讯响器便断续发声或发光,引起警戒人员的注意。

利用光束遥控远方装置,使之发声、发光、计数、转向、启动、关闭等,一句话,使之从一种状态变成另一种状态,乃是光电转换技术的功能。

普通的光电技术,以白炽灯为光源,光敏元件为接

收器,白炽灯是热辐射光源。它发出的光,不仅在很大的光谱范围内是连续的,而且在时间上也是连续的,可称它为连续光源。工作时,光敏元件始终受光辐照,使自己具有较低的阻值。当物体把光挡住时,光敏元件阻值变化。光敏元件的这个阻值变化,通过一定的电子线路去改变某一执行机构如继电器的状态,从而达到光电控制的目的。

半导体激光报警器,也是一种光电技术。它也是

\* 1974 年 3 月 7 日收到。