

# 工程物探中若干问题探讨

侯恩聪 李文录 林顺道

(广东省地震局)

P631

~~P631~~

**提要** 本文针对工程物探中主要任务与要求,着重讨论了查找隐伏断层、新鲜基岩面及其风化壳的划分、第四系分层等问题。分析当前常用物探方法的可靠性,估计其勘探能力,合理选用方法的途径。

文中以直流电法、电阻法、电磁法、声波法等的应用实例进行对比,阐述它们的应用前提,并对其评价。说明充分了解各工区的地质地球物理特征及工作区的方法技术试验是工程物探的基础工作。

**关键词** 工程物探 方法选择 解释原则

直流电法, 电磁法, 声波法, 地震法

隐伏断层,

随着我国经济建设的发展,交通、能源及新兴工业的崛起,工程地质愈来愈显出其重要地位。作为地质工作方法之一的地球物理勘探,由于它在解决某些地质疑难问题中的独特作用,已赢得了较高信誉。伴随我国改革开放的深入发展,新方法新技术的应用,使工程物探工作得到逐步加强,应用领域不断扩大,解决工程地质问题的能力也在不断提高。从山区、平原到河口、海滨,都采用物探于工程探测,并取得了可喜的成果。但是它毕竟还是处在年青发展阶段,尚待进一步的总结与完善。

在开展工程物探时,方法的选择、技术的运用、成果的解释等是能否解决工程地质问题的关键。本文就当前工程地质常见的几个主要问题:查找隐伏断层、新鲜基岩面及其风化壳的划分、第四纪地层的划分等等,围绕笔者近年来的工作成果,以实例为基础,比较系统地归纳、总结并阐明解决上述问题中选用方法时应提及其效果。

## 一、查找隐伏断层物探方法讨论

工程地质中查找隐伏断层主要是指一些未被发现或位置尚未确定的断层。一般多在平原覆盖区或丘陵地带。近年来由于经济建设规模迅速发展,对江、河、湖、海及沿海地区也提出同样的要求。因此根据不同地质条件,因地制宜地选择方法,正确地使用方法是极其重要的问题。它不仅可以更有效地解决工程地质问题,把物探结果的多解性转化为单一性,还可大大提高其工作效益。

断层是岩体、岩层受力后发生形变，其连续完整性受到破坏的结果。其物理性质和地质环境因地各异。因此，根据不同的断层性质与围岩地质条件是我们能用物探方法查找隐伏断层的物理基础，同时，也是正确选择物探方法的先决条件。

例如，用物探方法确定汕头榕江断裂在潮阳县西畔至关埠境内通过的具体位置时，考虑到该区地势平坦，均为浮土覆盖，水系发育，基岩为花岗岩，岩性单一等因素。通过两个“十”字电测深解释结果可见花岗岩体横向电阻率比较均匀，数量级变化不大且阻值相对偏低，这可能与岩体本身含水率较高有关。根据这一情况，我们采用了联合剖面法进行探测。采用  $AB/2 = 200$  米和  $320$  米； $MN/2 = 40$  米两种装置测量，结果在剖面中段出现一组明显的

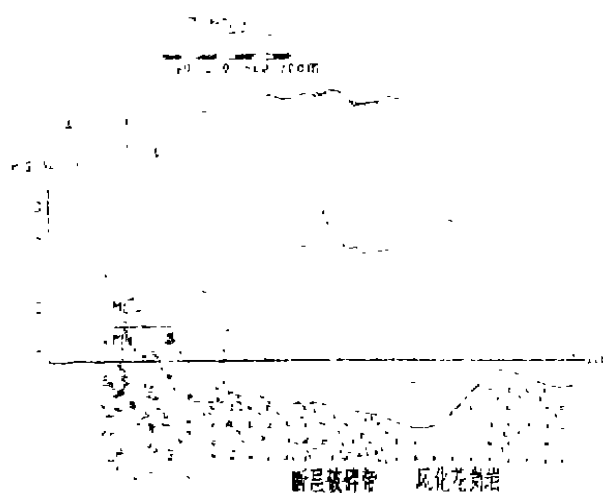


图1. 榕江断裂物探地质解释剖面图  
Fig. 1 Profile of geophysical and geological exploration on Rongjiang fault

法最为简便，且显示其直观的效果。因为该处不存在产生二次反射与对脉冲声源产生散射的盖层（图2）。

总之，通过我们的工作实践表明：在陆地上查找隐伏断层，正确选用电剖面法，是既简便而又行之有效的方法。频率域电磁测深法也能有效地确定断层的位置（如中山港大桥中段与南岸等，见图3），但它在定性判断断层产状等方面尚待进一步研究完善。直流电测深在围岩电性差别不大的情况下，对于断距较大的正、逆断层方能获得较好的效果，如珠海磨刀门大桥白藤头之北西向断层等。在水域中查找隐伏断层的物探方法目前使用不多，主要有浅层地震、脉冲瞬变电磁法、声纳探测与电火花剖面法等。它们的应用效果主要取决于覆盖层的物性状况。因为它们都利用各种波的传播，如声波、地震波等。对于松散的物质（如河沙等），波易发生散射，而对于板结致密的物质如花岗岩等，则使波的穿透力减弱而产生多次反射。就此方面而言，脉冲瞬变电磁法优于其它方法。

## 二、新鲜基岩面及其风化壳的划分

岩石经过长期风化作用以后，往往在基岩上面形成一层不连续的覆盖层（层），即为风化

正交点。推断为含水断裂破碎带所引起。断层表现形式主要是较为密集的小断裂夹破碎带，宽达几百米（图1）。通过两种装置和两条剖面测量结果该断裂总体走向为北西  $40^\circ$ ，倾向北东，倾角较陡。它向北西方向和深部延伸，均有减弱趋势。由此所确定断裂带的位置，尔后得到人工地震与卫照判读的佐证。

又如在汕头市妈屿跨海大桥桥址的勘察中。该处水面宽2公里多，水深十几米。河床覆盖层为淤泥，含贝壳碎屑淤泥与淤泥质粘土、亚粘土，覆盖层最厚达20~30米。基底为燕山期花岗岩。物探方法选用声纳探测（浅中层剖面仪）、浅层地震和脉冲瞬变电磁法。其结果方法在各组断裂带上都得到了明显的反映。由于各施测剖面不完全重合，故反映各断层位置也略有差异。其中以声纳

法最为简便，且显示其直观的效果。因为该处不存在产生二次反射与对脉冲声源产生散射的盖层（图2）。

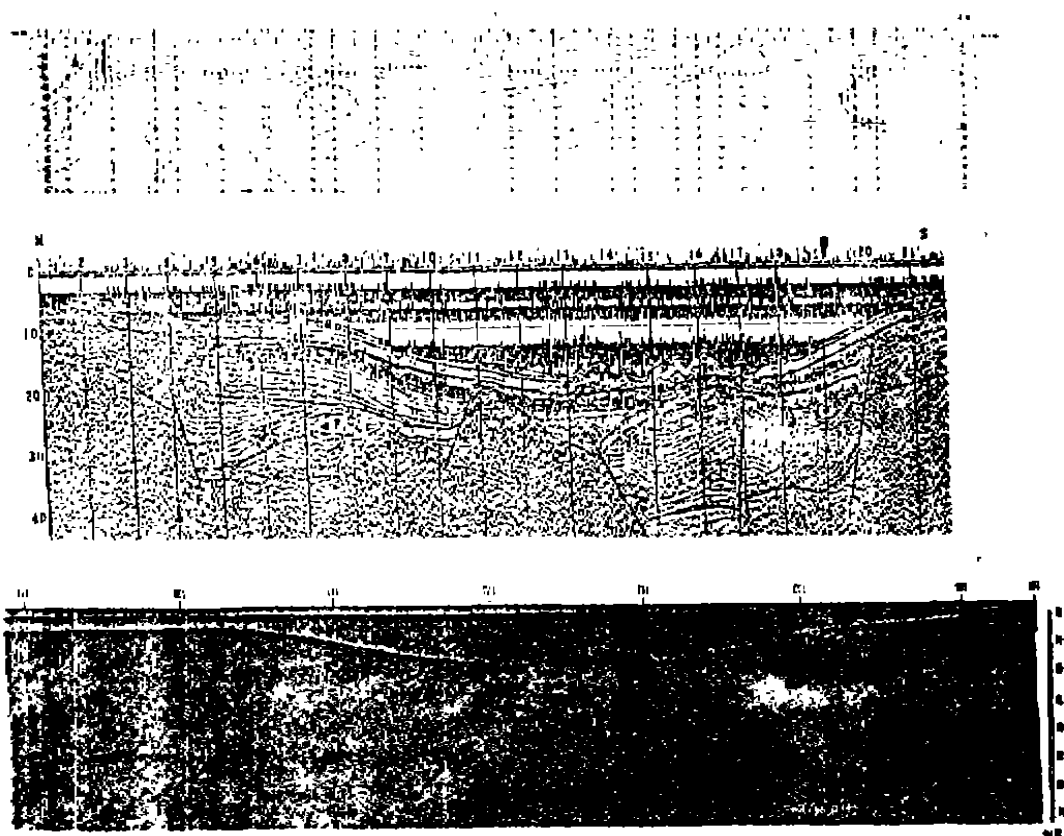


图 2. 汕头市妈屿岛跨海大桥声纳、浅层地震与脉冲瞬变剖面图

Fig. 2 The Profile got by the acoustic admittance, the shallow seismic and the pulsed electromagnetic method at Shantou—Mayn flyover sea bridge

壳。风化作用一般由基岩表面开始。向地下开拓越往下越弱，工程上把它划分为全风化、强风化、弱风化与微风化等。由于风化壳从上往下剖面上具有层次但又无明显界线这一基本特征，使物探方法在确定其分界时，会产生上下偏离的现象。根据各工程的需要，为了更合理地划分，在物探反演解释中，按照当地情况，选择恰当的物性参数是其问题之关键。风化壳的特性与厚度因地而异。主要受岩性、水文、气候、地形等因素的影响。下面以番禺南沙大桥桥址北岸为例，对比钻探、地震勘探、直流电测深、频率域电磁测深四种方法的结果，分析其产生误差的来源。该处基岩的风化壳被第四系覆盖，覆盖物质为海相沉积淤泥砂土层，基岩为花岗岩。各物探剖面与钻孔位置虽不完全重合，但其相对距离均在10米范围内。由于花岗岩地区基底起伏较大，这在一定程度上也带来解释结果的差异。根据该区地质物性条件及工程需要，物探划分全—强风化花岗岩与微弱风化花岗岩的界面。表1为用各种方法计算各层深度结果比较。

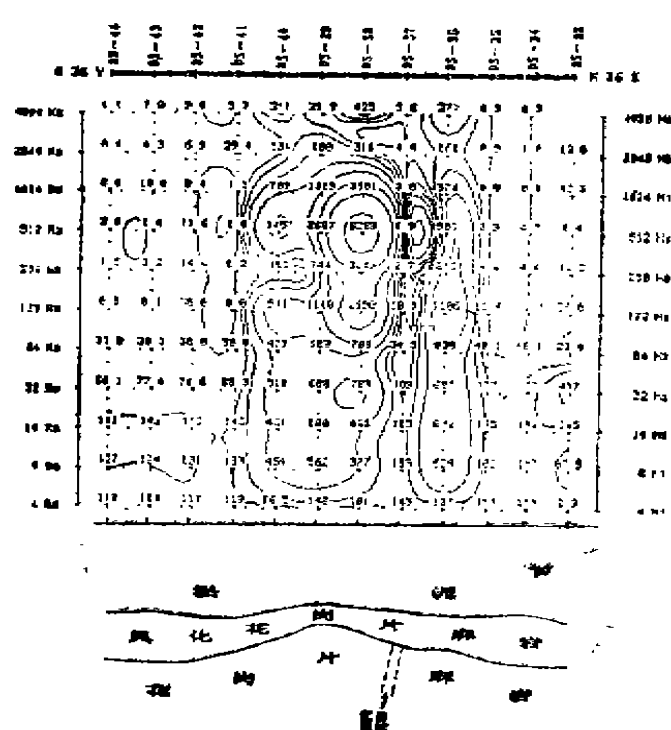


图 3. 中山港大桥中段频率域测深地质解释图  
Fig. 3 Geological interpretation of frequency electromagnetic sounding at the middle segment of zhong Shan port bridge

表 1 南沙大桥北岸几种物探计算结果与钻探结果比较  
Table 1 The comparison between the calculated results of a few geophysical exploration at the north bank of Nansha Bridge and the results of prospection drilling

深度 (米) 层 位	方法 (钻探 (ZK—20井孔) 地震勘探 直流电测深 电磁测深)
第四系	11.05 8.0 14.9 13.0
风化层	终孔45.8米为强风化花岗岩 45.0 65.0 62.0
较新鲜基岩	

由表可见：钻探结果虽受取芯率及孔位的影响有一定的误差，但乃可作比较的标准。地震勘探结果偏小，直流电测深解释结果偏大。其原因主要是物探的反演计算是建立在水平均匀层状（或小于15°水平夹角）的理论模式上进行，而且在野外测量中测点以下电阻率的影响范

围较大。而电测法相对简单，因此，它有可能获得稍为准确的资料。由于风化层是渐变无明显界面特点，物探剖面仅给出了一个平均的结果，这对工程仍有很大的实际意义。

### 三、第四系分层及基岩中各类岩层界面的划分

工程上对第四系分层主要应考虑其物质成份与结构对物体所承受力以及抗震能力（如砂土液化）等等。显然，它比地质学中以不同地质时期划分出的第四纪地层要密切相关的，因为不同地质质时期在不同地区所形成的第四纪地层，其物质成份与结构是不同的。这也是物探难以分层的原因。与工程地质学划分，大体上可分为以下三类：①碎屑结构：碎屑物相对比较松散。②胶结结构：胶结直径大于2厘米的砾状结构和粒径在0.06毫米~2毫米的砂状结构。如砂砾层等。③细粒结构：由粘土矿物组成。结构：矿物颗粒粒径小于0.004毫米，如粘土质层等。④结核结构：由结核状结构和隐晶质或密结构等。以上按其物理性质是可分的。与工程地质学多采用深（电）测法以地震与电（电磁）测深两种。下面以砂砾层、粘土、第四纪火山喷出岩为例，列出它们的波速与电阻率级次：

名 称	波速（米/秒）	波阻抗	电阻率（欧姆·米）	各向异性系数
砂砾层	100—1000	225—1200	$10^2—10^3$	1.10—1.59
粘土层	1100—2500	1540—3560	$10^2—10^4$	1.02—1.05
第四纪火山喷出岩	2400—4300	5880—10520	$10^2—10^4$	1.41—2.25

其中各物性参数变化范围较大，主要决定于不同地区的物质成份、结构、水文地质和地理环境等因素。因此在地物探方法对第四系进行分层之前，详细了解与测定其物性参数是必不可少的工作。当我们选择浅层地震方法时，则要求低速层不能太厚及其厚度变化较小的地质前提。因为厚的低速层，使地震波的反射能量被吸收，严重地影响着地震方法的勘探程度；而低速层沿走向方向的厚度变化，则会使地震波传播时间相对时变，造成解释困难。同时还必须考虑不同土层与基岩之波速与波阻抗差异过大而形成多次反射，干扰深层记录或造成多层假象。在利用电法进行分层时，则在很大程度上取决于各层孔隙中盐类水溶液的含盐量。尤其滨海地层，其电阻率近乎良导体，导电性小，以至于无法分辨。下面为利用电（电磁）测深在珠江三角洲地区划分沙层（稍松或中密，含大量石英砾，棱角状，夹石英碎石或贝壳碎片，粒径为 $0.5 \times 1 \sim 3 \times 2$  cm）其电阻率为0.5~1.8欧姆米，与淤泥质亚粘土层（饱和，软塑局部流塑，富含有机质、腐木）其电阻率为1.7~37.0欧姆米的结果。以54个钻孔资料作为相对比较标准。该地所见，上覆为耕层土（表土层），下界为基岩全风化顶界面，其深度在-2~-27米之间。按下列公式求出上述两种地层的物探解释厚度与钻探结果的相对百分比误差 $\sigma$ ：

$$\sigma = \frac{|\text{钻探厚度} - \text{物探厚度}|}{\text{钻探厚度}} \cdot 100\%$$

以此作为衡量物探解释结果误差的相对标准，并作出 $\sigma$ 与H（层厚）的关系图，经过拟合分别得出砂层与粘土层的 $\sigma$ 与H关系曲线（图4）。由图4可见：用电（电磁）测深确定砂层

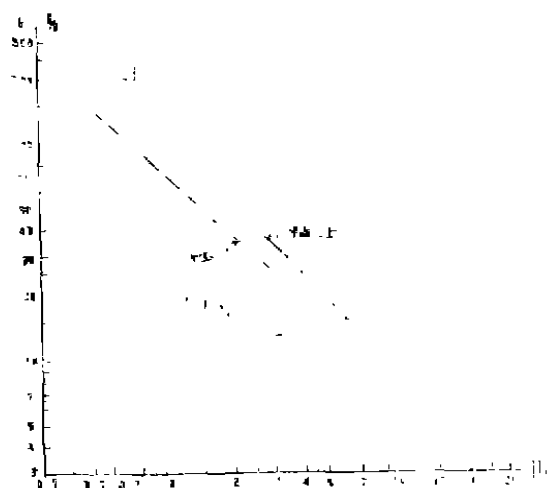


图 4. 砂与粘土  $\delta$  与  $H$  关系曲线

Fig 4. Curve of the relation between  $\delta$  and  $H$  on the sandbed and the clayband

厚度相对于粘土层误差较小。这是由于砂层饱含盐份较高的溶液，使其电阻率偏低且相对变化不大的地区特点所决定。层厚越薄反映更为明显。但总的来说，3米以上厚度的解释误差将小于30%。层位越薄误差越大，反之则小。必须指出，此统计结果是针对特定地区、地层与一定深度而言，对于不同地区、地层应有所差别。然而就其物性差异与一般概念则应有共同之特点。

对各类岩层接触面的划分，是指基岩中不同岩性类别的分界面。如工程物探工作中，在广东太平镇大桥东岸所见，该处存在一花岗片麻岩与变质长石石英砂岩的接触界面。用地震勘探结果，其基岩顶部风化壳的波速均为  $2.1 \text{ km/s}$ ，无甚区别。而在新鲜基岩中，则花岗片麻岩波速为  $6.0 \text{ km/s}$ ，变质长石石英砂岩波速为  $3.8 \text{ km/s}$ 。用直流电阻率法，由于同属变质岩类，电性区别

不大。而电磁法则在此两类岩石上，无论其风化壳或新鲜基岩均反映十分敏感。从反演计算的MACRHO电阻率看，花岗片麻岩为  $10^3 \sim 10^4$  级次，而变质长石石英砂岩为  $10^1 \sim 10^2$  级次，在其电、磁场之相位差上也有明显的区别。由此可见：在确定不同岩类分界时，使用灵敏度高，信息丰富，探测深度大的电磁法，结合实际地质条件，将可得到满意的效果。

## 结 语

如前所述，工程物探工作在大规模经济建设中是大有可为的。可以认为，只要施工条件允许，根据工程要求和目的，选择合适的物探方法与技术，对确定隐伏断层的位置、规模、产状和新鲜基岩面及其风化壳的划分；第四系分层以及基岩中各类岩层界面的划分等是能够满足工程施工的需要的。当然，有些认识还有待研究深化。随着工程物探的广泛应用，将会出现更多的新技术、新方法，以解决工程施工中提出的各种课题。

## 参 考 文 献

- (1) 程庆云等，电法勘探，中国工业出版社，1965。
- (2) 北京第三研究所，浅层地质探测方法与技术，1977。
- (3) 牛之琰等，脉冲瞬变电磁法及应用，中南工业大学出版社，1986。
- (4) A. A. Kaufman, G. V. Keller, Frequency and Transient Soundings, 1983。

# A RESEARCH ON A FEW PROBLEM IN ENGINEERING GEOPHYSICAL EXPLORATION

Hou Sicong, Li Wenlu and Lin Shundao

( Seismological Bureau of Guangdong Province )

[Abstract] This paper discusses the problem on hidden fault, primary formation surfaces and the distributon of their weathering crust deposits and Quaternary subdivision in order to solve the major task and requirement in engineering geophysical explortation, It also studies the effectiveness of the normal exploration methods, the way to improve exploring abilities and to choose the methods reasonably according to the geological and geophysical condition.

With the comparison of electrical method, electromagnetic method, acoustic admittance and seismic methods, it is proved that the fully understanding the geological and geophysical character of every district concerned and the trial of the technical methods before work is the basic work that should not be neglected.

[Key words] Engineering geophysical exploration; Choice of the methods; Explaining the principle