

全国水利水电地质勘察会议丛书之十四

243873

基本资料

电法勘探 在工程地质中的应用

河南省水利厅等著

62
932

水利电力出版社

內 容 提 要

本書是“全國水利水电地質勘察會議”精選文件之一。

本書有系統地簡述了電探在地質勘察中的應用；其次還介紹了怎樣利用電法測地下水的流速流向，以及查明岩石裂隙等。書中實例很多，並附有圖表。

本書不僅可供水利水电地質勘察人員工作之參考，且還可給從事水文地質人員閱讀。

電法勘探在工程地質中的應用

河南省水利廳等著

*

2087 B 624

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里內）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 1/16印張 * 15千字

1959年6月北京第1版

1959年6月北京第1次印刷(9001—3,400冊)

統一書號：15143·1665 定價(第9類)0.11元

目 录

地面电法在工程地質勘察中的运用.....河南省水利厅(2)

内蒙地区电测地下水点滴經驗内蒙水利厅勘测設計院(7)

查明和圈定裂隙及喀斯特的

电探方法.....水利电力部北京勘测設計院(11)

利用充电法测定地下水

流速流向.....山西省农业建設厅农田水利局(19)

地面電法在工程地質勘察中的運用

河南省水利廳

一年多來，我們先後在 9 個水庫工地運用了地面電法配合工程地質勘察，起了積極和促進的作用，節省了不少鉆探工作（包括岩心鉆探和沖積層鉆探）。地面電法勘探設備簡單，勘探成本低廉，工作迅速，這是最大的優點。工作的實踐表明，如果善於因地制宜地使用這種勘探方法，可以成功地解決象下面這些我們在工程地質勘察中經常遇到的問題：

(1) 查明有復蓋地區基岩的平面分布、岩石接觸界綫的位置和延伸方向；

(2) 了解較大斷層破碎帶的延伸方向、寬度和傾向；

(3) 了解岩層中軟弱夾層的延伸方向、寬度和傾向；

(4) 了解砂礫石沖積層中細顆粒夾層的產狀；

(5) 探求有復蓋地區岩石的主導裂隙方向；

(6) 測定復蓋層和岩石風化帶的厚度等。

在進行地面電法以前，必須注意地區條件的合適性，這些條件在很大程度上決定着地面電法的效果。條件的合適性取決於很多因素，但也有許多情況可以通過合理的布置來使其適應。一般來說，適於作地面電法的地區，應具備下面幾個基本條件：

(1) 勘探的岩層在電性上要有相當大的差異；

(2) 了解的目的物（如岩層、岩石夾層和構造等）要有足夠的延續範圍，最好要超越其埋藏深度的十餘倍；

(3) 了解的岩層或構造綫的相對埋藏深度 $\left(\frac{\text{埋藏深度}}{\text{厚度}} \right)$ 或

埋藏深度) 不能太大;
宽度

(4) 了解的地层应基本水平, 傾角不大于20~25度;

(5) 地形平坦, 地面傾斜不超过20度等。

虽然如此, 在许多工地是在不同程度上具备了这些基本条件的, 所以, 实际上地面电法可以广泛运用。因此, 我们要善于仔细分析各种情况, 从而合理以至巧妙地用地面电法来便宜和迅速的解决许多地质问题。当然, 也不能指望地面电法准确的单独去解决某项地质任务, 而是要密切与钻探等方法相结合, 进行综合性勘察, 才能获得更显著的效果。在实际工作中也常常遇到, 对有些问题, 地面电法无定量, 只能作到定性, 即便如此, 它反映的数据和线索对分析地质问题和进一步布置其它勘探工作亦是一个很好的依据。下面举出几个我们在工作中比较成功的实例:

(1) 查明有复盖层地区不同基岩的接触界线

电测剖面能够成功地用来确定不同岩石的分界线, 根据地面地质和其它资料推断出岩层延伸方向以后, 将电测剖面线与岩石接触界线大致正交, 放线方向与岩石接触面平行, 在正确选择极距的情况下, 可能得到良好的结果。在昭平台河谷中, 为了查明云煌岩与花岗岩的接触界线测得的电剖面资料(图1), $\frac{AB}{2} = 65$ 公尺是反

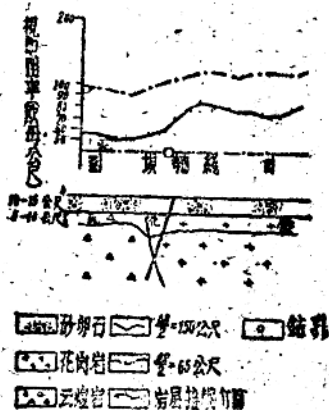


图 1

映风化带的电性，云煌岩风化带为泥质夹岩石碎块，电阻率很低，粗粒花岗岩风化带含石英颗粒很多，电阻率高些，所以曲线变化明显； $\frac{AB}{2} = 150$ 公尺是反映新鲜基岩的电性，曲线比较平缓。经解释认为接触界面较陡，打了一个斜孔（倾角65度），恰好打到了接触带。

(2) 了解较大断层破碎带的产状

在古庄坡坝址河谷内，为了寻找安山岩中大断层的产状，布

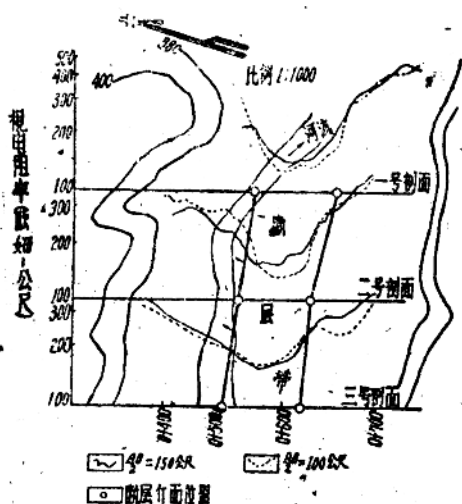


图2

置了三条电测剖面（图2）。因断层带电阻率低，两侧岩石电阻率高，二者电性有显著差别，而且断层带宽度很大，所以在电剖面曲线上反映清楚，不仅可以明显的看出断层带的延伸方向和宽度，而且可以看出断层带的倾向。解释的断层产状与附近山上露头的产状完全符合。

(3) 了解岩层中软弱夹层的产状

在张坂坝址河谷中，为了寻求角闪片岩中软弱的石墨片岩夹层的产状，曾垂直于岩层的片理方向布置了几个电测剖面。因为石墨片岩与角闪片岩在电性上有很大差异，所以电测剖面

做得很成功(图3)是其中一个剖面的情形。在这里只化了几天时间,就把石墨片岩的平面分布和倾向都搞清楚,而且与检验孔取得的资料完全一致。如果依靠钻孔来找它的产状,不知要费上多少倍的时间、人力和资金,才能摸索到这样的程度。

(4) 探明砂砾石冲积层中细颗粒夹层的产状

在河谷砂层或砂砾石层中,常常有软土或淤泥夹层,在填址工程地质勘察中,往往为了搞清楚这些软弱夹层的产状而进行许多冲击钻工作,有时,因上复卵石较大,给冲击钻带来了很大困难。实际上,如果泥层本身有一定厚度且具有相当延续范

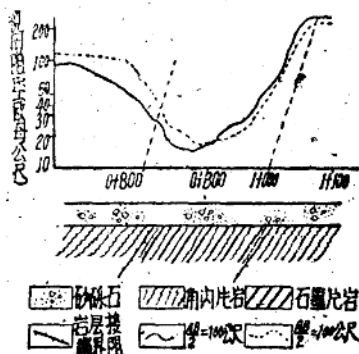


图3

围,往往可以用电测深法来了解其平面和剖面分布。通过分析测深曲线的类型是解决平面分布的有效方法,也可以作出同极距的等视电阻率平面图来研究泥层的平面分布情形。测深曲线的定量解释就可以得到泥层的埋藏深度及其厚度。我们在几个工地下运用这种方法都得到了良好的结果。在弓上坝址,河谷狭窄,河道比降约1/100,表面均为大卵石,起初,没有人怀疑这里有泥层存在,而所有测深曲线中部的电阻率都很低,约80~180欧姆公尺,这些低值的出现,迫使我们不得不设想卵石层中有细颗粒泥层存在,按照这个设想解释出来的一条测深曲线(图4a)。在这里用电测深方法探明的软土层顺河方向分布(图4b)。这个坝址只打了两个孔,证实了电测深成果是可靠的,而且从钻孔中取了软土的试样。

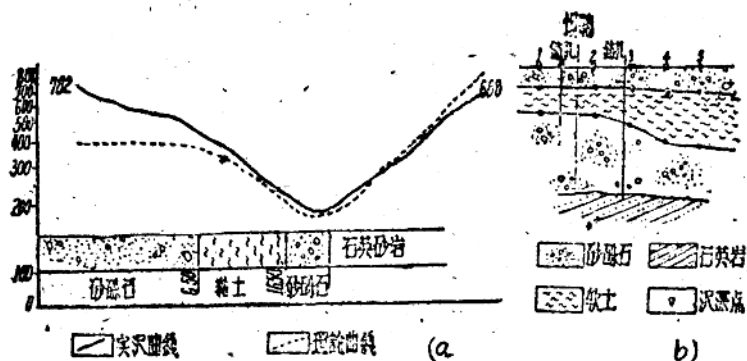


图 4

(5) 寻找有复盖层地区岩石的主导裂隙方向

了解裂隙岩层的主导裂隙方向，在河谷有复盖的地区，往往感到困难。在许多情况下，可以用环形电测的方法来摸索。

图 5 是某坝址河谷中测得岩层主导裂隙方向的一个例子。这组裂隙(构造裂隙)方向在该坝址两岸露迹亦极为发育，而且好几个环形测深点的不同极距都反映了一致的趋势。

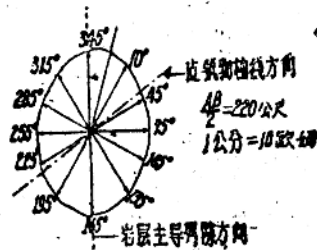


图 5

(6) 探求复盖层和岩石风化带的厚度

这个问题常常是勘探工作中必须查明的，特别是在具有截水墙的坝基勘探中，往往要打相当数量的钻孔才能把基岩地形和岩石风化层的产状搞清楚。我们的体会，在有条件的地区可以尽量利用电测深配合少数钻孔来解决这个问题。这样做会节省很多钻探工作而并不影响资料的真实性。昭平台坝址河谷北

部，上部为砂砾石层，下部为火成岩，岩石表面已强烈风化，河谷开阔平坦，在这里的测深曲线均为H型，反映良好。由测深查明的砂砾石层和火成岩风化带厚度与钻孔资料是一致的。这种方法，我们曾在好几个工地使用，都取得了一定的成效，少打了一些钻孔。

地面电法本身的设备和费用是比较简单的，化3~5千元就可以配制一套，在条件不足的情况下，可以先做起来，用钻孔地质资料和经验来划分电性层和判断电性层的参数。条件逐渐具备后，可以建立测井设备，来满足地面电法的参数要求，并发展到解决地层相对渗透性、地下水流向流速等问题的阶段。

内蒙地区电测地下水点滴经验

内蒙水利厅勘测设计院

我区广大草原地带分布着很大面积的干旱缺水草场，为了满足这些缺水草场牧民们找水的需要，于1955年开展电探寻找地下水工作。

在干部方面经过地质部代为培训的我区三名电测干部，经过三个月的学习，基本上掌握了野外操作技术及基本电测知识。

第一阶段(1955年~1956年)在干旱的缺水草场，利用电探找寻地下水，工作的结果由于对地区的水文地质条件没有掌握，没有配合足够的地质工作，单独依靠电探来找水，往往因为利用距离要求找水，很远处的水井的井旁电测参数为依据，这样常致不能达到预期的效果，电测与打井层相差甚多。

第二阶段(1956年下半年~1957年)经前一阶段的工作拟定

了試驗找水來總結經驗，在一個小面積內首先由鉆探來了解地層程序，然後經電測解釋成資料，再經鉆探証實。如果電探解釋不通時，也由鉆探來解決。經過這樣做後，得出一些電測在地下含水的反映規律，說明電測能反映地下水，但要對地區的地質情況摸清，才能達到好的效果。

第三階段(1958年)在農田水利大躍進的形勢下，因工作需要全部電探工作轉移到工程地質上來，主要解決水庫的工程地質問題，探測基岩埋藏深度，這一工作有的水庫是經地質踏勘，另大部分水庫是未經地質工作，但該階段工作由於地質條件良好，基岩電阻率與復蓋層電阻差別大，絕大部分電測資料都很完整，得出基岩深度，部分電測配合鉆探的結果精度在95%左右，通過這一工作說明電探對找基岩能得出較好效果，比在第四紀內分辨地質層要容易。

經幾年來的電探工作，我們認為，電測是門多、快、好、省的勘探方法，今後應在工程水文地質上多方面的開展，擴大使用範圍，更多的總結經驗。

1. 含水層在視電阻率平面圖上的反應

該地區地下含水層為礫石及砂，該地區一般地層程序如圖1所示。

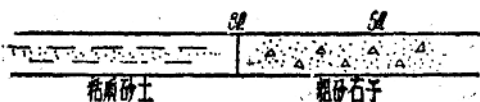


圖1

一般含水層距地表5公尺左右，故選取 $AK/2=25$ 公尺，繪制視電阻率平面圖後，經鉆探資料對比，在等值綫等於100(歐姆-公尺)以內時為淺水區，100(歐姆-公尺)以上時為深水或無水區。

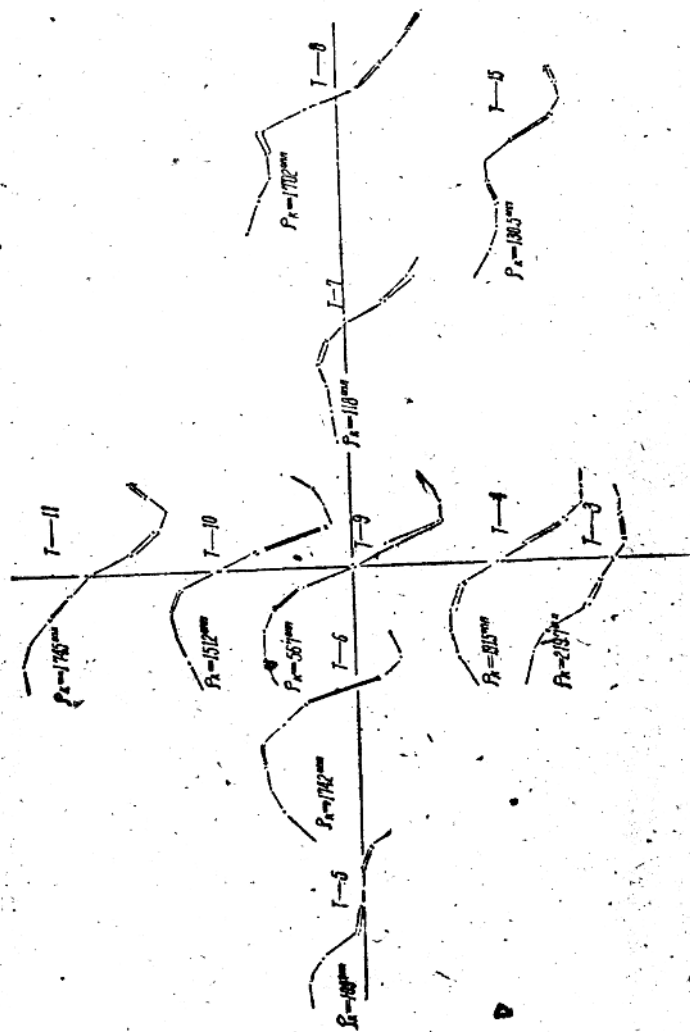


图 2 包乐虎哨电测深曲线分布图

2. 含水层在电测深曲线上的异常现象

测区在錫林格勒草原上的山前小洼地，經地貌上的观察后，有含水的可能，經在附近布测深点后，发现在中間地形最低的一点处，曲线有异常现象(9号)認為9号测点为砂卵石所造成的高电阻层，其四周的曲线中間层电阻率較低，推断是一般亚粘土、砂土等成分影响。

經钻探在9号点处发现含水系大粒砂卵石。四周各测点系較細砂土无水(附包乐虎哨电测深曲线分布图)。

3. 用电测深找地下水

該工作区位于錫林格勒草原毛登牧场，由地貌上看系一小





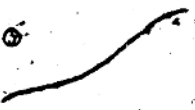

- ①  該型曲线含水层反应在高电阻的一层，該层愈厚其含水的可能就愈大。
- ②  中間层电阻率高系含水砂卵石层，所造成曲线下降是不透水的粘土、淤泥造成。
- ③  此种曲线高电阻一层为含水的砂卵石层。首段是顆粒較細的土层，所以透水性不强。K型部分极大值横坐标愈大說明含水层愈深。
- ④  如左图近似平直的曲线，不会有水，尤其当电阻率較小时，30~40 欧姆-公尺时，为細顆粒的粘土类的东西。
- ⑤  A型曲线第一层为表土、粘砂土，而后是含水的砂卵石，即曲线中間层部分，电阻率約300 欧姆-公尺左右。最后高电阻系受基岩电阻影响該曲线上升。
- ⑥  H型曲线，在火成岩地区出現裂隙水时，曲线成此型，曲线中間低电阻系裂隙含水关系使得曲线下降。

图 3

型盆地，毛登牧场需要打井就在距此地约5公里有水井。电测步骤先在远处的水井作一井旁测深曲线后，再去要求找水地区进行电测深工作，所测曲线与水井曲线型极为近似，电阻率也近似。按水井进行对比后推断应有水，后经打井证实有水。

以上结果说明在同一地貌单元在含水情况没有变化时能由已知井水位推其他电测点水位。

4. 几个含水类型的曲线

从图3中可知，内蒙各地几种含水层在电测深曲线上的反应前四个是第四纪的地层。

查明和圈定裂隙及喀斯特的电探方法

水利电力部北京勘测设计院

在水电建设中，水工建筑物的稳定程度，基岩的渗透性能是头等重要的问题。

碳酸盐分布地区往往由于岩石矿物的物理化学作用，极易形成裂隙和溶洞，喀斯特的存在，不仅直接引起建筑物的不稳定，而且更严重的是，威胁着水库的安全，因此，就水电建设观点出发，详细地研究裂隙及喀斯特，以便选择最适宜的位置是特别重要的任务之一。

过去对于喀斯特的研究，一般采用地质测量和钻探方法进行。但是，我们知道，地质测量的顺利进行只有在具有良好的露头情况下才是可能的。利用钻探解决这个任务也有极大的困难，有时甚至是不可能的。因为钻孔所提供的资料有很大的局限性，在某种情况下，比如当喀斯特漏斗或溶洞互成孤立星散分布时，恐怕，纵然用最密的勘探网也不能获得满意的结果。同时，采用这种方法，必然延长工期，增加造价，因此在

党的多快好省地建设社会主义方针下，利用少量钻孔，大力的应用电探方法来研究喀斯特是有其现实意义的。

利用电探研究喀斯特的主要任务是：

- (1) 查明和圈定裂隙喀斯特的平面位置。
- (2) 确定喀斯特带和大的喀斯特溶洞的埋藏深度。
- (3) 确定裂隙及喀斯特带发育的主导方向。

用电探研究喀斯特的可能性，决定于充填物的性质，一般情况下，在电性上，充填物质与围岩是不同的，有时甚至差别很大，因此，利用电探完全有可能将喀斯特同围岩区分开来。但是，电性上的差别对电探来讲，虽是不可缺少的条件，然而它并非划分喀斯特的主要条件，根据工作中的体会，想有成效的利用电探方法来圈定喀斯特，除了电性差别以外，喀斯特的埋藏深度形状及地形情况都起着重要的影响作用。

就目前来讲，利用地球物理方法来研究喀斯特，最有效的还是采用电探方法，例如、电测深、环形测深、各种类型的电测剖面，自然电场法及井测等。

工作的进行，通常是以电测剖面法为主。但是为了论证裂隙及喀斯特的发育方向，和其深度情况，还必须进行一些必要的电测深、环形测深工作，在步骤上，往往是这样进行的，首先在全区力争均匀的布置5~10个测深点，以便了解该区各个地方的地电性质，从而选出电测剖面法的最佳电极距，然后，进行全面的电测剖面工作。此外，若条件许可时再进行 ΠC 的测量。

将上述野外工作的全部资料，进行初步解释，在这个基础上，选出3~5个异常点进行环形测深工作，为了进一步的确定喀斯特的埋藏深度，可重新布置足够数量的测深点和必要的检查钻孔。测深点的位置除绝大部分都应位于异常带上以外，在正常地段也应有适当的测深点，以便更好的辨认喀斯特异常的

特征。

测量装置的选择，取决于喀斯特的特性和埋藏条件，对于电测深来说，多以四极对称装置进行。但是，当喀斯特化岩层薄而又埋藏很深时，采用轴式偶极电测深为宜，对于电测剖面，应用联合剖面或轴式偶极装置，一般情况下，都会获得较好的结果；只有当研究厚而复盖薄的喀斯特时，才应用四极对称法进行。

此外，必须注意，当研究喀斯特时，不论装置类型如何，最好以两种不同电极距进行；不仅如此，在不利的条件下，甚至还须采用三种不同电极距的电测装置。

利用各种电极距进行的结果，不仅便于进行解释，而且更可以从电测剖面资料中获取有价值的深度概念。两种电极距的大小，应本着这样的原则来选择，小的电极距所勘探的深度应达到复盖层的底部深度并涉及到部分的喀斯特岩层，以便了解复盖层及基岩顶部的变化情况。大的电极距是以足以能充分反映出喀斯特化岩层厚度的特性来确定的。

测网的布置也是很重要的，往往方向选择不当，会直接影响到视电阻率曲线的清晰程度，因此，当研究喀斯特时，除了象研究断层，破碎带那样，尽量使剖面方向与喀斯特预测的延伸方向垂直外，有时，正确的剖面方面，须经试验工作后才能确定，所以，布置工作时，一般总是先作2~3条不同方向的试验剖面，从中选出分异最强的剖面方向，作为下一步布置工作的基础。测网密度取决于研究地段的大小，喀斯特的大小及埋藏的深浅研究的精确度等，不过，研究喀斯特时，总是采用很密的测网通常大面积的踏勘性的工作，剖面间的距离可采用40~80公尺最大不要超过100公尺；在详查时，可压小到20~30公尺或更小一些；点距在任何情况下，不应当大于20公尺，

通常多以10公尺米进行，剖面距最好这样来考虑，即宁肯剖面距稍大一些也要保持较密的点距，决不允许因所取点距过大乃至漏失喀斯特漏斗或溶洞。

测深电极间的距离，可能时，最好取等于点距或为点距的倍数。

以上所推荐的点距，剖面距还必须结合当地地质条件和具体情况来确定。

喀斯特地区，电测资料的解释，方法与一般的是相同的，不过在这里，由于地电性质较为复杂，解释起来须更加谨慎，仔细地分析曲线，找出喀斯特反映的规律性。

通常当研究的喀斯特位于地下水以下时，最常见的测深曲线有以下三种类型：

- (1) $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$ —A型；
- (2) $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ —H型；
- (3) $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$ —Kbl型。

其中A及H型的 ρ_1 为第四纪沉积物的电阻率； ρ_2 为喀斯特化岩石的电阻率； ρ_3 为完整的碳酸盐类岩石的电阻率在KH型中， ρ_1 ， ρ_2 为第四纪沉积物的电阻率， ρ_3 为喀斯特化岩石的电阻率，而 ρ_4 为完整岩石的电阻率。

喀斯特在 R_x 曲线上的特征由于充填物及地下水的性质不同而异，对于对称装置具有高阻及低阻两种异常，但实际工作中碰到最多的为低阻异常。对于联合剖面及偶极装置，喀斯特的反映，总是以交叉点作为它的特征的。

对于自然电位曲线，喀斯特的反映，也有两种不同的形式，一般说来，在承压水中，喀斯特总以正异常值出现，而在渗漏的地下水作用下形成的自然电场，多为负异常值。

环形测深图，椭圆的长轴指裂隙及喀斯特发育方向。但有

时長軸方向却与岩层走向一致，这时，正确的确定各向异性的性質必須利用本区已知岩层产状及其他地質資料来解决。应该指出，上述各种規律并非絕對的，进行解釋时，还必须很好的掌握“从已知到未知”的原則，特別緊密的結合一切水文及地質資料，找出并牢靠的掌握本地区喀斯特反映的特征和其变化的規律性。

近两年来，我院物探队，在不少的电站和水庫区，調查和圈定喀斯特时已广泛的采用了上述的电探方法，并取得了良好的效果。下面所要介紹的就是利用电探来研究喀斯特的实例之一。

广西平桂某发电厂研究喀斯特时的电探工作。

平桂发电厂喀斯特的研究是1957年武汉电力設計分院委托我院物探队进行的。

工作地区面积很小，真正进行勘测的面积只有100平方公尺左右，电探工作是屬於詳測性質的。本地区的地質构造比較簡單，全区分布着石炭紀的石灰岩，复蓋层为第四紀的沉积物——人工填土，粘土层，其厚度約4~6公尺，根据少数的鉆孔資料发现，石炭紀的石灰岩中具有直徑达数公尺的喀斯特溶洞。因此摆在电探面前的任务就是首先要查明本区喀斯特溶洞及严重喀斯特化的岩石分布情况，其次进一步的了解喀斯特带的发育方向和其埋藏深度。

根据上述任务和工作要求，我們采用了电測剖面、电測深及少量的环形測深来完成这一工作。电測剖面基本上是采用双重的四极对称装置，小的极距为6公尺，大的为30公尺；但为了确保資料的正确性及了解深层基岩情况，另外又以80公尺的电极作了复測。因为勘测区范围不大，所以采用了 5×2 的特种小測网来进行。IIC的观测，除点距取4公尺以外，全是沿电測剖