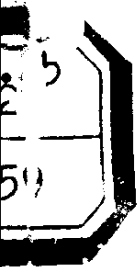


中国科学院
广州地质新技术研究所

论文报告汇编

一九八三年八月



前 言

我所自筹建四年以来，陆续建立了地物光谱实验室，地震全息模拟实验室，光学处理实验室和电磁法实验室，接受和参加了全国会战项目，省内重点课题及其他有关研究工作。为了反映这一阶段的工作进展情况，特把这期间的一些论文报告编辑成“论文报告汇编”。

这次共编印20篇，主要内容为开展遥感（6篇），地震全息（8篇），图象处理（3篇），电磁变频测深仪（2篇），地质（1篇）等工作中写成的报告，其中大部分都在全国各种有关学术会议上发表过。在开展如上工作中也得到了有关兄弟单位：地球物理所、遥感所，地质所等的大力支持，有许多项目是共同合作完成，有一些是在他们指导下完成的。

由于是在建所初期的工作，从设备到实验室，科研人员都是从无到有逐步发展，因此工作水平还不高，再加上在编辑过程中人力和时间所限，错误在所难免，如有不当之处，请不吝指正！

中 国 科 学 院

广州地质新技术研究所

1983.8

目 录

1. 浅层地震法在广东中山县三乡地热区的试验.....季钟霖 郑勇 臧恒有等 (1)
2. 深圳市汤坑地热探测.....杨一功 季钟霖 (10)
3. 地热开发讨论.....杨一功 (19)
4. 多通道信号增强地震仪性能和应用.....季钟霖 徐建华等 (27)
5. 地震全息模拟装置.....徐建华 林秀堂等 (41)
6. 全息术在地震勘探中的应用.....季钟霖 徐建华 (47)
7. 地质图象中线性构造与环形构造的增强.....李 永 季钟霖 (55)
8. 再现和记录波不同时点源全息透镜球差的计算.....董裕国 (66)
9. 计算机图象处理模拟信息记录格式的更改及其影响.....施大申 (74)
10. 帧存贮器和视频磁带编辑机在数学图象处理中的应用.....葛成茂 (82)
11. 一种新的图象纹理随机模型.....葛成茂 (89)
12. 地面光谱幅射计组装及其性能.....叶宗怀 刘从新 周光璘 (97)
13. “珠江三角洲遥感试验”地物光谱特性测量.....叶宗怀 (104)
14. 雅砻江流域遥感试验区地物波谱特性分析及应用.....
.....叶宗怀 蒋保林 徐火盛 (110)
15. 某矿区航空多光谱遥感影片的地质解释.....蒋保林 (127)
16. 利用遥感资料研究攀西裂谷区地质构造特点.....徐瑞松 (133)
17. 广东省典型地物反射光谱数据的统计分析与应用.....遥感应用室 (146)
18. 锁相放大器在地球物理勘探中的应用.....樊友民 陈中强 冯保志 (158)
19. FS—17A差分输入前放和FS—18A电流前放的试制.....樊友民 (166)
20. 试论广东省主要层控金属矿床的地质特征及展布方向.....徐火盛 ()

浅层地震法在广东中山县三乡地热区的试验

李钟震 郑勇 徐建华 臧有恒* 刘东贤 吴相安

(1980.12.)

摘 要

本文利用浅层地震法,使用加拿大制造的FS—3地震仪,锤击震源对三乡地热区进行地震勘探。文中用折射法和反射法分别记录了地震波信息,近用磁带录音机记录了地热噪音作探索性的试验。从地震波资料分析结果说明用该方法研究浅层地质构造,判断断层破碎带位置,确定复盖层厚度是一种行之有效的手段。

前 言

七十年代以来,由于对能源要求的迫切性,国内外对地热资源寄予很大期望,从而向地热勘探方法提出了新的要求,尤其希望通过物探手段来进一步提供隐伏的干热岩和热通道以及地热区的地球物理特性参数及其分布规律,这是寻找高温热田的重要基础工作。

近几年美国、新西兰、日本等一些国家对开发地热区除进一步发展常规物探方法的同时,还提出了一些新方法的试验,其中以利用分辨率较高的地震勘探就是引人注目的一种。这种方法分为两类:一是利用天然地震信息的微震法进行直接勘探(国外称为Ground—noise或Seismic—noise),二为利用人工激发(机械锤击或人工爆炸)地震信息进行间接勘探。微震法是基於高温地热区由于热岩断层的活动,热水,热汽在往地面涌出的过程中产生微小的地面震动,许多资料表明:地热区往往伴随着来自深部的地噪声,从而产生特有的地震信息,用高精度的地震仪进行连续观察测量,是圈定热区分布范围的有效手段。对于第二种的人工地震法在石油勘探上运用较多,在地热勘探上用来了解地热区地质构造的特征,研究热岩的分布,随着地震资料处理的不断发展,这种方法更能成为地热勘探的有力工具。

目前以上二种方法的现成资料并不多,一些理论问题尚待解决。例如怎样区分地噪声中的有效成份,地热活动产生微震和机制问题以及地震波在热水、热岩中传播规律等

*臧有恒:中国科学院地球物理所

还有待进一步研究。国内开展这方面工作也正在开始,我们认为:若能在现有条件下,进行一些以浅层为主的间接与直接相结合的勘探方法试验,对摸索地热区地震工作经验,创造进一步开展地热工作条件,同时对下一步开展全息地震工作无疑是有很大意义的。另外广东省位于我国东南沿海地热资料极为丰富,仅从初步调查所得,我国露头温泉有2000多处,而在广东省就有200多处,全省对地热资源的利用也比较普遍〔6〕,在广东丰顺邓屋建立了我国第一座地热电站,去年又在中山县建立了现代化的温泉宾馆,供国内外疗养及旅游之用,其它在农业上如灌溉、育苗、养鱼、食用等均广泛应用。但目前广东省的地热形成条件及成因,至今还不清楚,地质资料不全,热水储量不明,为此迫切需要采用各种方法进行勘探,带着这样的目的,我们在中国科学院地球物理所八室的支援下于80年11月下旬至12月中旬在广东中山县三乡地热区开展了浅层地震工作,有关浅层地震方法与理论请参阅〔1〕,〔2〕,〔3〕。

工 作 区 情 况

1.概 况

热区位于广东省中山县三乡公社东南约5公里处,距中山县城(石岐镇),珠海县城(香山镇)以及澳门仅为20多公里,交通极为方便。

热区南濒南海,地形属一淤积的海湾平原,除东南有一、二公里宽的出海口以外,四周均中低山围绕,热区呈一水盆地地形,温泉出露在盆地中间,区内水稻田密布,地形平坦。

热区现有旅游宾馆两处,新建的中山旅游宾馆座落在温泉北二公里处的雍柏村附近,由于热水需求量成倍增长,所以圈定热区范围,寻找高温热区已成为勘探工作的当务之急。

2.地质及物性情况

据水文二队及广州设计院资料,热区直接复盖层是第四系海陆相互沉积物,复盖层上部以淤泥为主,厚约10米,下部以细砂,中粗砂为主,厚度为4—5米,被第四系复盖的是花岗岩,经测定为黑云母角闪石二长岩,属于燕山旋回侵入岩的第三期,产生于侏罗纪晚期,这类岩石为本区出露最广的侵入岩,厚度约为700米。东区唯一褶皱为雍陌褶皱,形成于加里东构造旋回,由寒武系地层所组成,轴向55°,长约22公里,北翼南倾,南翼北倾,倾角为30—40°之间。

本区主干断裂为樟木头断裂带,产状为145°/ <35°—40°,据地质上估计热区范围分布可能受派生的北西西向构造控制,沿温泉公路即为一断裂,宽度不详。

据区内井孔显示,地下热水储存在第四系海陆相互沉积的下部以及燕山三期中的长岩中,其温度显示为:

1号井	水温	63°C	2号井	水温	87°C
3号井	水温	89°C	PK 7孔	水温	95°C

本区物性资料较少，无密度和速度资料，电磁参数也不多，目前水文二队正在开展电剖面工作，根据一般的速度参数（见表1），同时该区基岩埋深较浅，而基岩花岗岩与复盖层有很大差异，岩性比较单一，因此具有开展浅层地震工作的基本条件

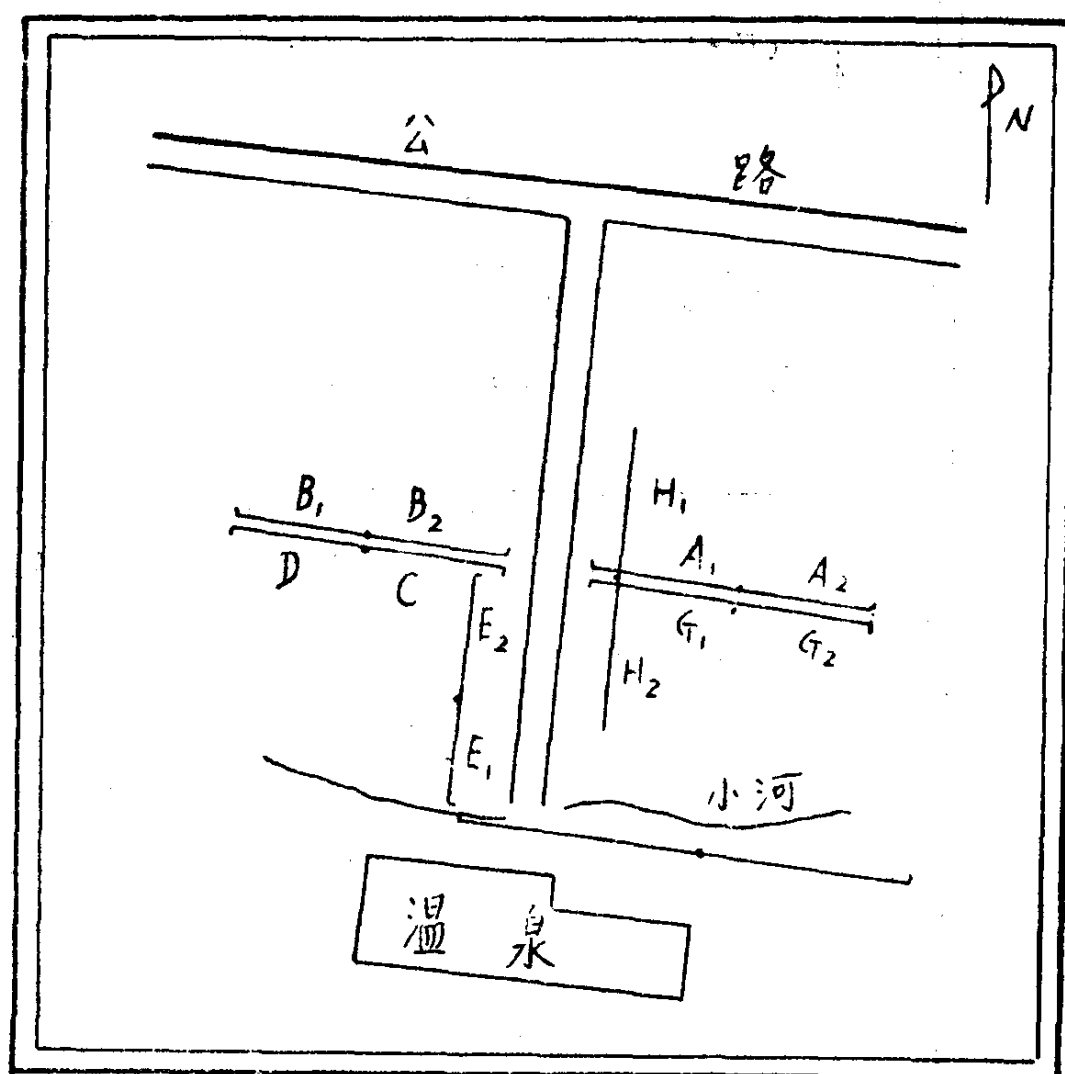
表一 一般 V_P 速度及波阻抗参数

岩石或介质	V_P km/s	波 阻 抗 kg/cm^3
砾岩，干砂	0.2—0.8	2.8—16
砂质粘土	0.3—0.8	3.0—18
湿 砂	0.6—0.8	3.8—19
粘 土	1.2—2.5	18—55
疏松岩石	1.5—2.5	14—16
泥质页岩	2.7—4.1	36—90
致岩密石	1.8—4.0	27—60
花 岗 岩	4.5—6.5	
水	1.5—1.6	

野 外 试 验

这次野外试验采用加拿大Huntec公司生产的FS—3传真式浅层地震仪。根据该区地质情况共布置十条地震剖面，总长度为1700米，测线位置见图一。

其中 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 为折射法测线； CD 、 G_1G_2 、 E_1E_2 、 H_1H_2 和 F_1F_2 均为反射法测线。同时在 F_2 、 C 和 CD 测线上作了地噪音观察测量，测线所在位置绝大部分在刚收完



图一 地震测线位置示意图

稻谷的稻田里，部分地段的稀泥给锤击带来了一些困难，工作环境干扰一般，仪器放大倍数衰减为14—18分贝即能工作，个别地段还要大些，可达24分贝以上。具体结果如下：

1. 折射法勘探

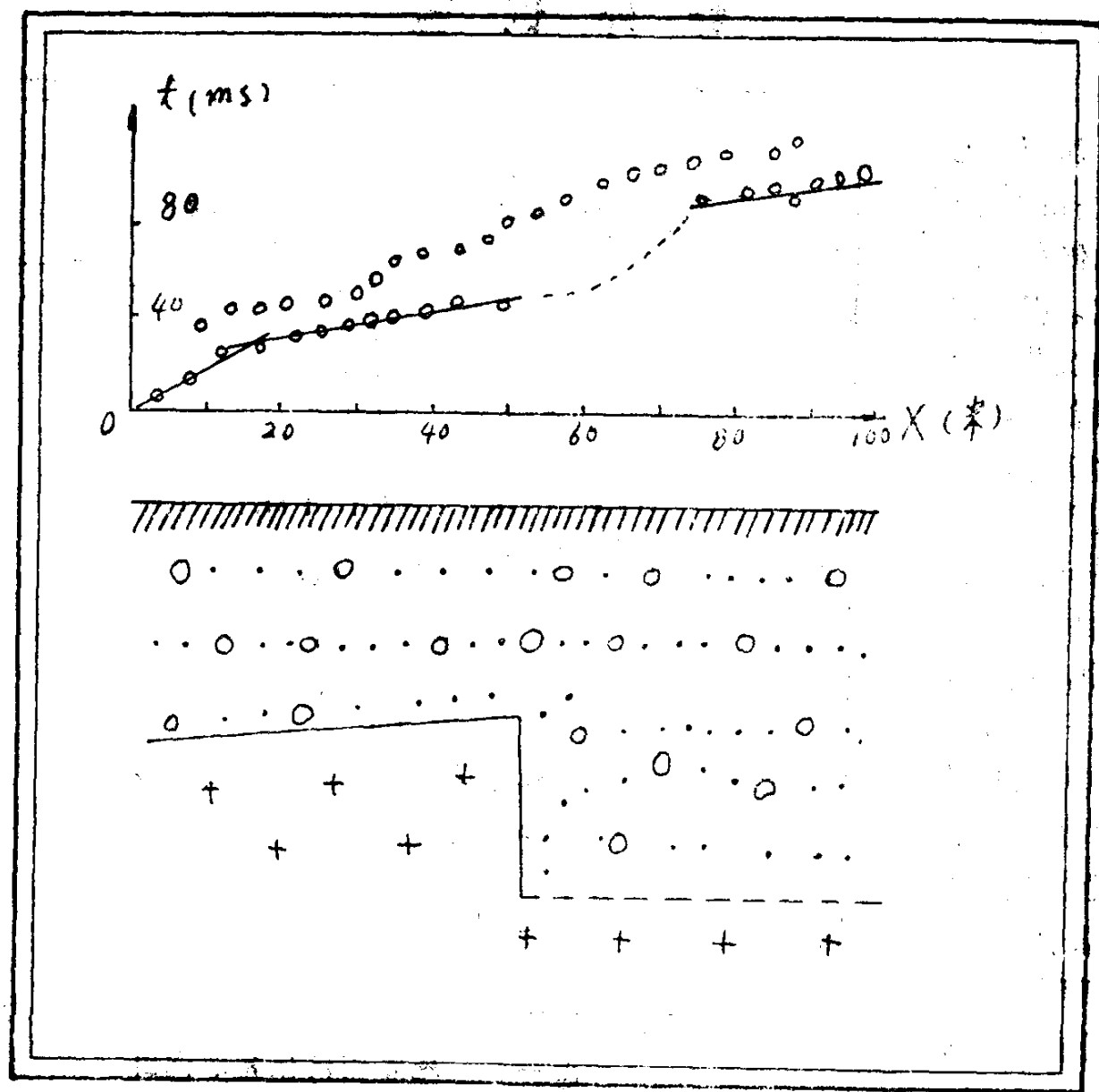
该方法所作二条测线主要目的是了解电法30测线复盖层的分布及基岩面的埋深和各层速度情况，藉以求得一些基本参数，折射法采用检波器相关测量，门宽选择为3.0ms，检波器间距为6米。

从整个测线看，速度界面并不复杂，这可能是由于基岩面较浅的原因。测量结果复盖层平均速度为1400米/秒，第二层速度层平均速度为2500—2800米/秒，复盖层厚度(d)采用临界距离法进行计算：

$$\text{厚度: } d = \frac{X_c}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

式中 V_1 、 V_2 、 X_c 分别表示为第一层、第二层波速度、临界距离。现将测量结果依次代入上式得：

$$\text{复盖层厚度: } d = \frac{50}{2} \sqrt{\frac{2800 - 1400}{2800 + 1400}} = 14.43 \text{ 米}$$

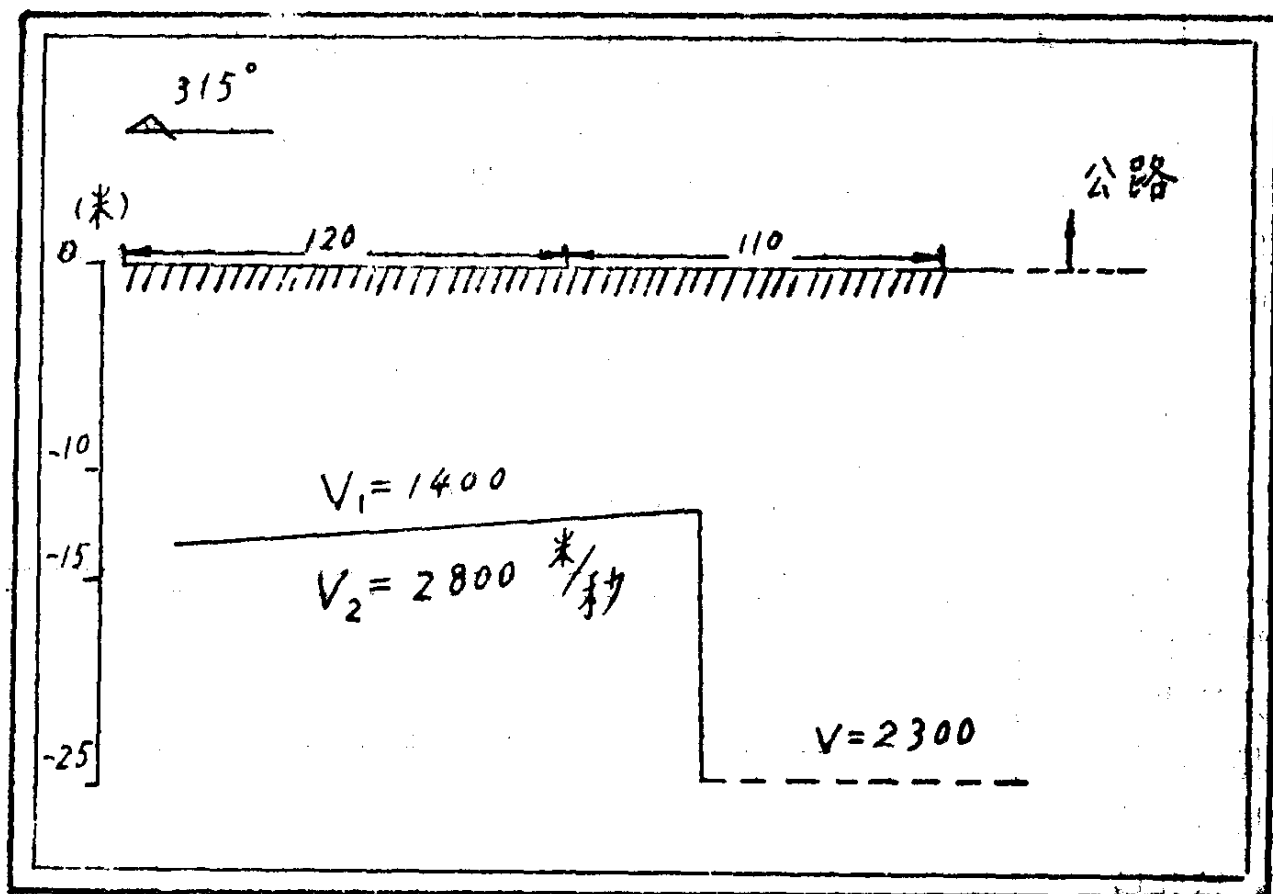


图二 电测线断层的反映

复盖层内主要为沉积淤泥和矿层，在14—15米深度的速度界面较明显，第二层为以砂砾岩为主的基岩风化层，这个情况与PK₁钻孔的情况基本相似。

在B₂测线上发现折射波时距曲线有一较为明显的断开现象，前后时间错开25ms以上，地面距离错开35米左右，至后恢复正常，（见图二）根据地震波传布的基本理论可知：当基岩中存在断层或破碎带时，则在该地段的折射波时距曲线上将呈现中断，错动，绕射及散射现象，B₂时距曲线正是反映了上述情况，断面下的平均速度为2300米/秒，低于基岩面。这一位置在30线公路的北西约60米处，这很可能就是一个断层，这与地质上估计该位置有断层台阶的判断是一致的。

B测线上经过折射法勘探后发现基岩面总的趋势是东南略往北西倾，基岩埋深情况见图三。



图三 B测线折射地震剖面示意图

2. 反射法勘探

这次反射法共作了五条测线。为了压制直达波，利用检波器组合相关技术，门宽为3.0毫秒，测线长度各为120—140米，检波器间距为7米

反射法速度计算采用下列方程式：

$$V^2_a = \frac{X^2_B - X^2_A}{T^2_B - T^2_A}$$

式中V_a—平均波速

X_A 、 X_B —两个检波器中心到锤击点A、B的距离。

T_A 、 T_B —到达 X_A 、 X_B 距离上的反射时间。

各层速度： $Z_n = T_n \cdot V_n / 2$

式中： T_n —n层的反射截距时间

V_n —n层的平均速度。

经计算，这几条测线上总起来看大致可分为四个速度层见表（2）

表 2

层 位	V_p (米/秒)	深度Z (米)
1	1400—1500	0—14.43
2	2500—2800	14.43—71.5
3	4000—4300	71.5—110
4	5000—6000	110米以下

从反射记录计算来看，在 E_1E_2 测线上有一速度为5500米/秒的反射界面比较明显，该层埋深约为108—118.75米，反射地震剖面见图四。

F测线即为电位26测线，并穿过 PK_7 孔。在二条反射测线中， F_2 反映较为明显，在深度为44米处有一反射界面。第一层平均速度为2800米/秒。根据求厚度公式：

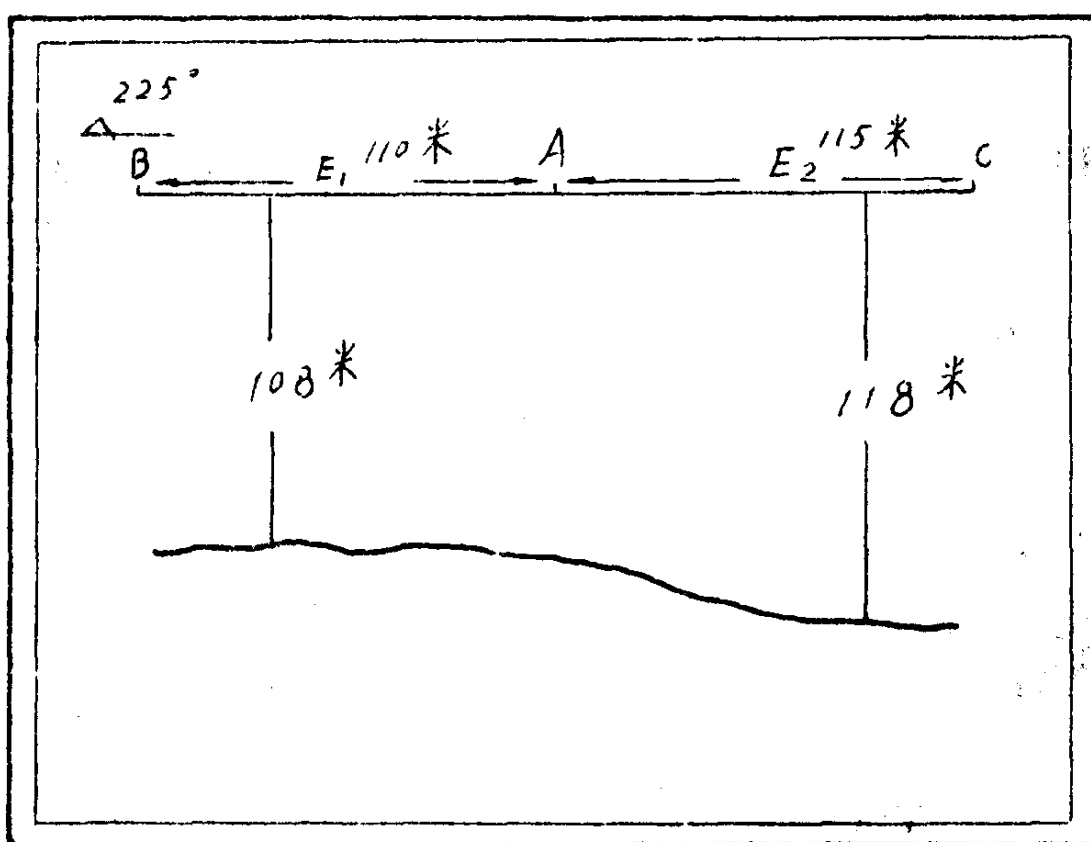
$$d_n = (T_n - T_{n-1}) V_n / 2$$

得出此处的厚度：

$$d_1 = \frac{T_1}{2} \times 10^{-3} \times 2800 = 43.4 \text{ 米}$$

这是几条反射测线中唯一表示较浅的反射界面，估计这层有一破碎带，钻孔已显示40—60米处有岩芯破碎现象。

G测线两条相差很大， G_2 测线的反射界面清楚，速度为5500米/秒，埋深约为



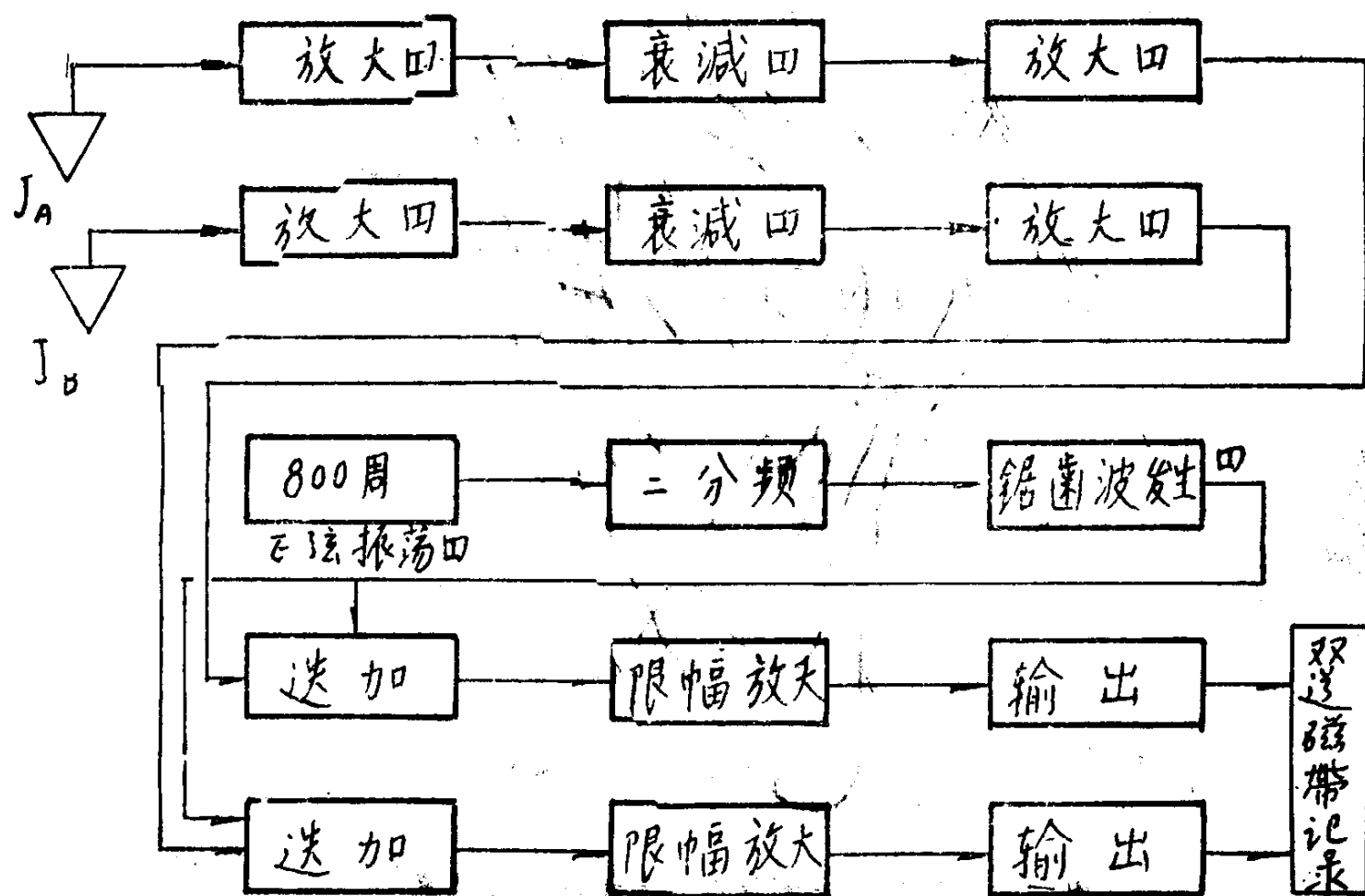
图四 E测线地震反射剖面示意图

106.4米,这种现象一直延续到小河边。 G_1 反射波时距曲线较乱,无规律,与C测线很相似,没有明显的反射层,我们推测这可能是浅部构造所造成的,而 G_2 测线则没有这些现象。

通过以上折射法和反射法测量结果分析:我们认为26测线和30测线附近有断裂带,其主要位置是在公路的北西向C测线60米处,并向东扩展到 G_1 ,所测复盖层厚度约15米,平均速度为1400米/秒,基岩埋深约100米左右,平均波速约5500米/秒,该面总的趋势是东南略往北西倾,倾角约 $15-20^\circ$ 。

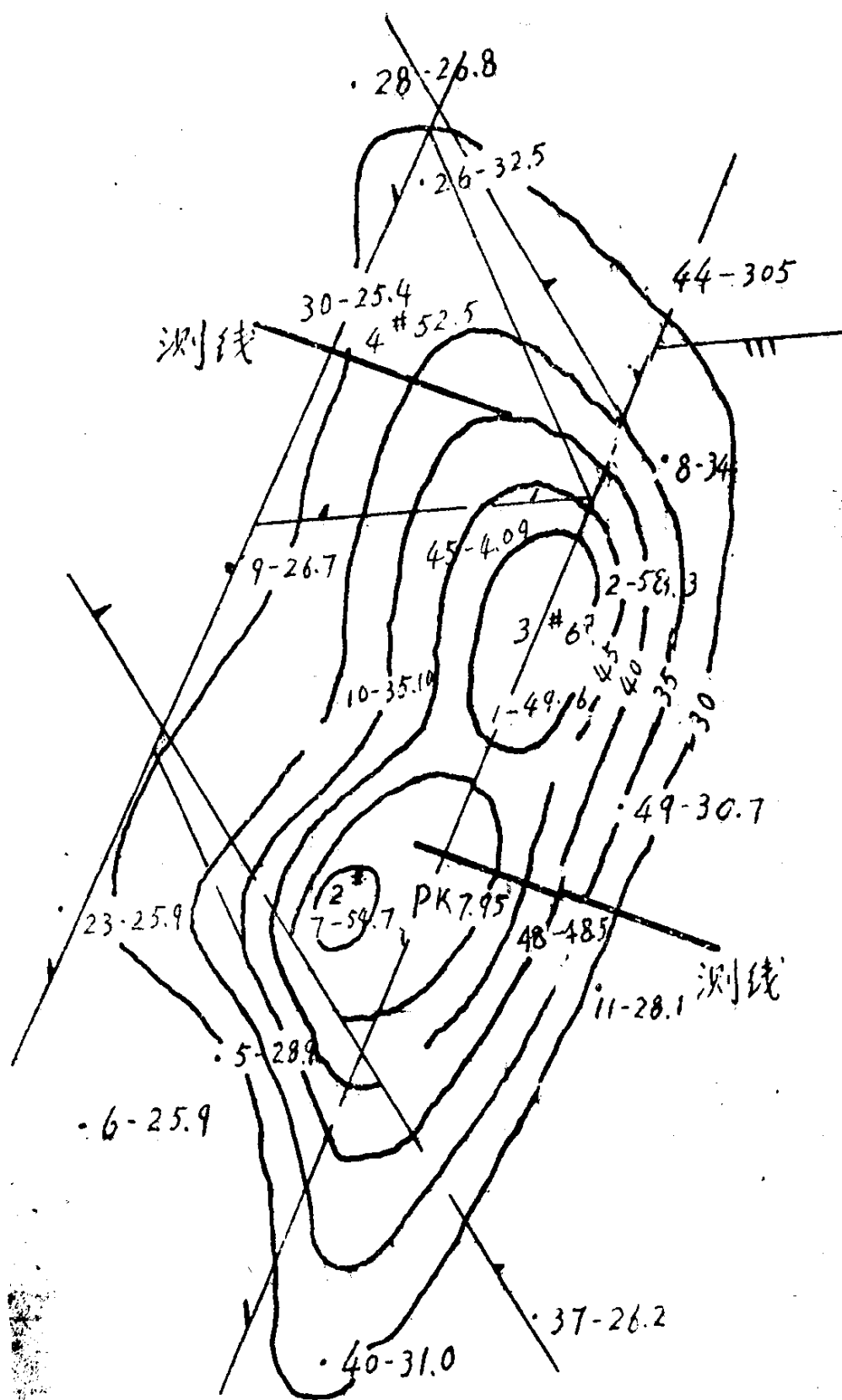
3. 地热噪音测量

在这次工作中,我们还对地热噪音的测量做了试验。利用FS—3地震仪两个检波器来接收天然地噪声,经过放大调制后输入二声道的磁带记录器,采用仪器装置的方框图见图五。



图五 地噪音测量仪方框图

这样的记录可进行回放处理。我们布置了两条测线,一条在F测线上,在等温梯度较大的位置上进行测量,另一条布置在C测线上与之作对比用,测线位置见图六。该项工作尚待进行室内回放处理



图六 地热噪音测量在4米等温图上位置

结 束 语

通过这次浅层勘探，我们认为地震法在地热区进行勘探是一种可行的方法；尤其是在热泉较浅，范围不大的热区，更能扬长避短地发挥浅层地震法的作用来配合其他物探方法进行综合解释，以提供浅层的地质构造资料。

同时也体会到，岩石物性参数是十分重要的，它关系到地震勘探的精确度。由于这

次工作没有当地基岩密度速度等参数数据, 又不能在PK7孔中进行测速, 这对分析解释工作带来了困难。今后有必要加强地热区岩石物性的测量研究工作, 开展岩性物探工作, 特别在高温热区更是如此, 并应在室内进行一些地热构造模拟实验, 为今后在地热区开展地震工作创造必要的条件。

BS—3毕竟是单道模拟记录, 在方法上受到限制。这只能作为第一步, 为今后引进更高级的地震仪积累经验, 这是我们希望所在!

主要参考文献

- 1、“浅层地震法在铁矿地质中应用及讨论”
中国科学院地球物理所八室 1979.11月
- 2、“广东三乡地热区调查计划”
广东水文二队地热区组 1980.5.
- 3、“浅层地震探测法在铀矿普查中应用的若干问题”
崔焕敏 “放射性地质” 1980.NO6
- 4、“物探方法在地热勘探中的应用”
贾苓希 “物探与化探” 1980.NO6
- 5、“Seismic noise in long valley california”
Geophysic Rev Vot 81 NO5.1976年
- 6、“广东省地热初步调查情况”
中国科学院广州地新所二室季钟霖 郑勇 1980.8月

深圳市汤坑地热探测

杨一功 李钟霖 林秀堂 刘启玲 刘泉宝

本文发表于1981年全国地热工作会议

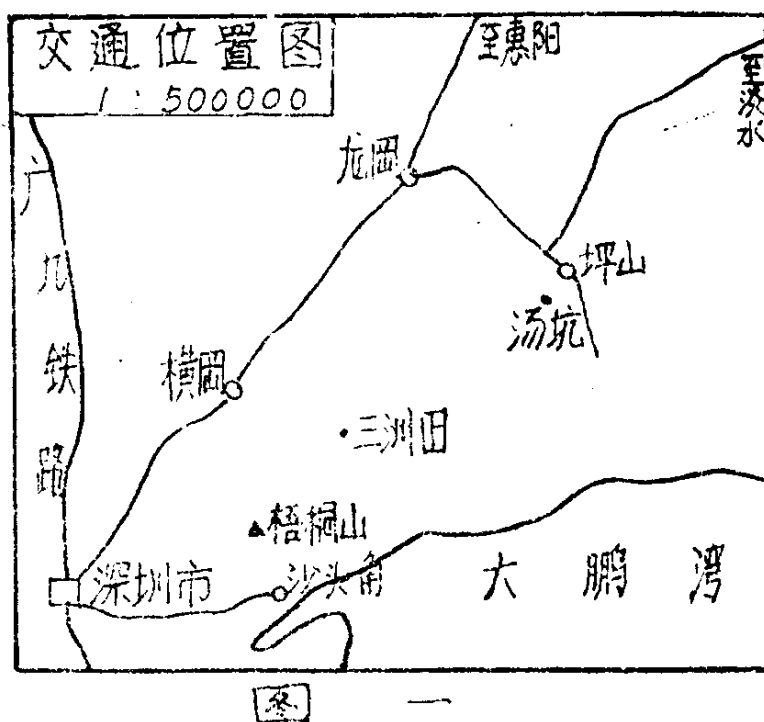
摘 要

我国热泉广布,地热资源丰富,有效合理地开发利用这一地下资源将是一项意义很深远的任务,要做好这项工作,首要的是解决探测手段问题。本文即为采用地温测量,电法和浅层地震等综合方法进行地热田探测的一次实验总结。工作区为深圳市汤坑,地温测量使用DWS—1数字地温仪和HSA—120红外辐射仪,每测点均测量地表,—0.5米和—1米三处的地温;地震剖面测量所用仪器为F3—3型摹写式地震仪,用对比折射法与反射法相结合的观测方法;电法采用联合剖面辅以测探。实验结果表明,在本区采用上述综合手段进行地热的探测工作,在快速圈定地热异常,探索控热和导热构造与热储空间等方面是较为适宜的。

汤坑位于深圳市北东28公里处,属坪山公社管辖,有公路通往深圳、惠阳、淡水等地,交通方便(图一)。

村东有一泉出露、相传过去为热水泉,水温较高,可烫猪褪鸡毛;但现在泉口水温仅 28°C ,是因热源枯竭还是因地下热水径流改道或是由于排泄通路被淤塞,致使溢出地表的水温剧烈降低,抑或是原来此地有热泉的说法就是讹传,或是夸大了水的温度,等等,这些问题至今尚未探讨过。但由于该地依山傍水,交通便利,物产丰富,毗邻香港,若有可供利用的地热予以开发,建成旅游,疗养地,甚为理想,所以当地居民,党政领导乃至海外侨胞,都希望能尽快查明这一情况。

我们就是应上述诸方面的邀请,开展地表工作,进行地热探测试验的。



地 质 简 况

本地属华南准地台，东南沿海断褶带，紫惠拗折束中的四级构造单元—海岸山断块；处于龙岗向斜的南东翼。

龙岗向斜轴向北东，轴面直立，其南东翼由晚泥盆世碳酸盐岩建造和早—中泥盆世碎屑岩建造组成，倾向 330° ，倾角 30° — 50° ；深圳大断裂由工作区西北部通过，该断裂为燕山构造阶段在强大挤压应力作用下所形成的逆断层，断层面倾向 320° — 350° ，倾角 40° 左右，断层影响宽度达数公里，其两侧岩层受强烈挤压产生片理化和摩棱岩化。以后断裂经常活动，至喜山期活动加剧并转化为正断层。汤坑亦处于深圳断裂影响范围之内。

工作区高出现代河床5米多，位于一级河谷阶地上，组成河流冲积层的沉积物自上而下主要为：灰白色、土黄色砂质粘土层，细砂层和砂砾层，冲积物在三度空间上相变均较大。

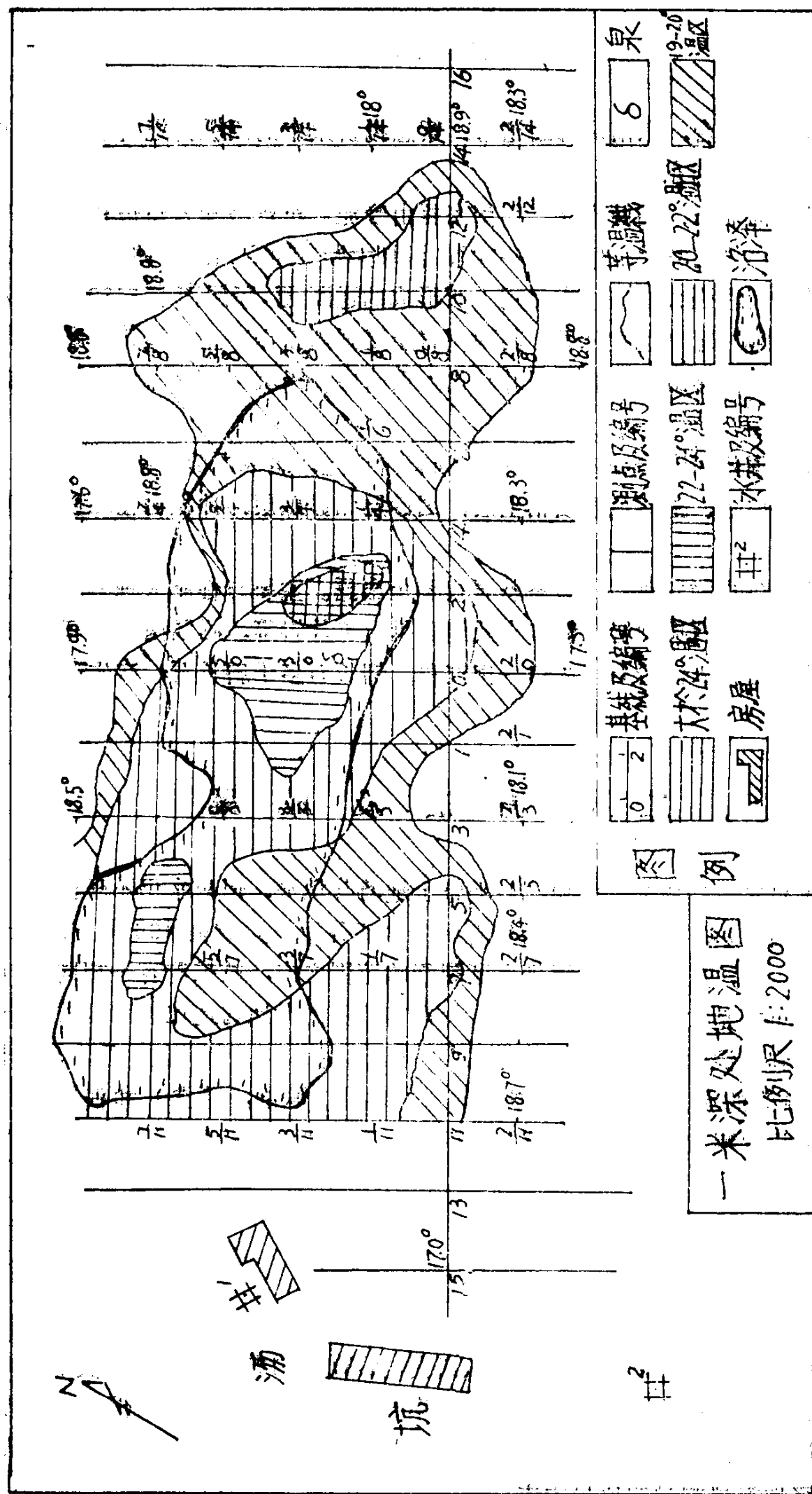
区内第四系沉积物广布，泥盆系基岩仅零星出露。主要岩性有大理岩，白云质大理岩，结晶灰岩，长石石英砂岩，粉砂岩及绢云母石英片岩等。测区南北均有燕山第三期中粒黑云母花岗岩侵入，岩石呈灰白—肉红色，钾长石多于斜长石，次生变化以泥化较普遍。

工 作 方 法 及 成 果

汤坑村东泉出露处原为一水塘，后平整土地将其填平，但泉水仍不断流出，使周围形成沼泽地（图二）。沼泽地两侧为较宽阔的山间谷地，大致呈 $N60^{\circ}E$ 方向延伸，与区域构造线方向一致，又因它是在深圳大断裂影响范围之内，故推测有一相同走向的断层通过这里，它可能是大断裂的派生断裂；另据本地所处大地构造位置和区域地质条件分析，存在有找到热源的可能性。综合考虑多种因素，决定在泉出露附近，东西长300米，南北宽200余米的小范围内，采用地温测量，电法（联剖，测深）和浅层地震测量等方法，进行地热探测试验，以图了解该范围内地质构造的特征和探讨地下热水源存在的可能性。

〔一〕地温测量

地温测量采用地质部勘察技术研究院研制的DWS—1数字地温仪和美国的HSA—120红外辐射仪两种仪器，两者都很轻便，效率高，适宜于野外工作，但后者精度较前者差，且受测量时条件（如空气温度，太阳辐射热等对地面温度的干扰）影响较大，故以DWS—1数字地温仪测量的成果为主。



图二

基线方向N60°E，测线与其垂直，测网40×20米，局部加密至20×20米，每一点均取地表，-0.5米和-1米三处的地温。

根据所取得的成果，大体可归纳为以下几个主要特点：

1.从下表中可以看出，泉水温度明显高于井水及地表水温，它受地表气温的影响不大，水温较稳定。

水温测量结果表

测量时间	5:30	12:00	18:30
气温	9℃	14.2℃	12.8℃
泉水温度	26℃	27.5℃	27.8℃
井水 ₁ 温度		20.5℃	
井水 ₂ 温度		18.5℃	
地表水		15℃±	

2.虽因条件限制，温度的深度梯度实验仅做到2米深，但即使从0—2米内地温的变化亦可看到地

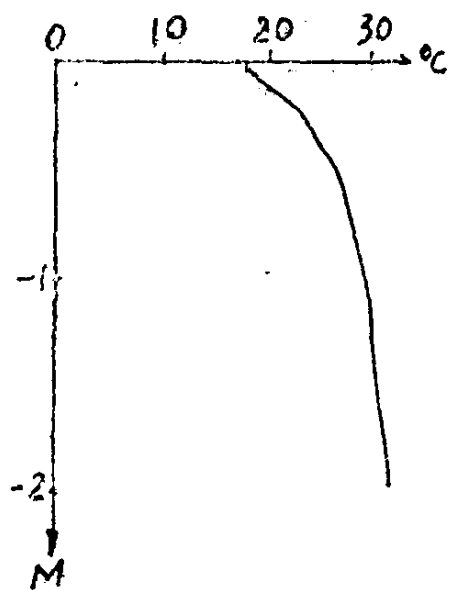
表向深部温度有较大幅度的增高(图三)，

一般-1米深处地温比地表高7℃左右，最高可超过11℃。

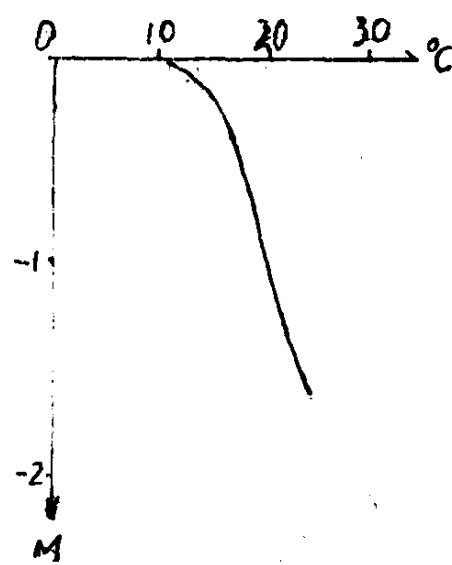
3.工作期间测得深圳市内地表温度为11℃，-0.5米处为14.7℃，-1米处为16.9℃，如果将-1米处

大于20℃者做为“地热异常”那么从测区的地温等温图(图二)中可清楚地看出，“地热异常”大体呈N80°E方向展布，与区域构造线方向也基本一致。

1/2号点测温曲线



1/4号点测温曲线



图三

〔二〕地震剖面测量

为了探测地下构造特征，选择了三条剖面，位置大致相当地温测线的5线、2线和12线。但因受地表条件如（沼泽地）的限制，故剖面线的方向都近南北向，且最大长度都未超过400米。

所用仪器为FS—3型摹写式地震仪，用锤击激发地震波，锤重10磅，观测方法采用对比折射法与反射法相结合，观测系统如图四：炮点距（实际为检波器埋置点距）50米，测点（实为锤击点）距5—10米。

从所得时距曲线可以分出以下几组波：

1. 折射波I：界面速度约1600米/秒。距爆点10米外即为初至。

2. 折射波II：界面速度约2400米/秒，距炮点80—100米处为初至。

3. 折射波III：界面速度4000米/秒左右，距炮点120米以外出现初至。

4. 反射波： $t_0 = 0.03—0.05$ 秒，由于折射波I的强烈干扰，只能在距炮点40米的范围内有时见到。

5. 直达波：由于潜水面浅，折射波I至炮点10米处就出现初至，且相位多，延续时间长，能量强，当炮检距小于10米时，才能看到这组波，由它计算的表层地震波传播速度约为500米/秒。

此外，有时可看到声波的干扰。

由于FS—3型地震仪记录的只是地震波的到时，所以在数据处理中，只能由相遇时距曲线求出视速度，界面速度，平均速度和 t_0 曲线，再由 t_0 曲线得出界面的深度（图五）。

由上述的三组折射波得到下列几个折射界面：

1. 界面I：折射波I所反映的界面 $t_{0,1}$ 一般在5ms左右（沼泽区接近于0），深度1—3米，推测可能为潜水面。

2. 界面II：折射波II所反映的界面 $t_{0,2} = 0.018—0.033$ 秒，按上复沉积物中纵波速度1400米/秒计算，界面埋深为16—29米。

3. 界面III：折射波III所映的界面 $t_{0,3}$ 约为0.04秒，按在上复沉积物中纵波传播速度1700米/秒计算，埋深约40米。

由于折射波III只有在距炮点120米外才是初至，使用锤击震源时，如此远的距离地震波能量已经很弱，再加上剖面长度的限制，折射波III难以构制相遇时距曲线。

从2线地震剖面（图五）可以看到，剖面北端的界面II埋深约16米，界面南倾，到0米（0/2号）测点达29米深，然后大体维持在这个深度附近。

