

目 录

纪 念 建 国 三 十 周 年

- 石油物探——回顾与展望 顾功叙 (1)
- 总结经验, 努力实现石油物探现代化 黄绪德 (4)
- 海洋物探二十年 刘光鼎 (13)
- 加强测井工作, 适应石油普查勘探发展的需要 刘大恒 (20)

※ ※ ※

自动统计剩余静校正

- 多道同相叠加形成模型道的方法 聂勋碧 何玉春 (26)

波动方程叠加偏移及应用中的几个问题

- 王照华 许 云 徐伯勋 赵静萱 (58)
- 大倾角波动方程偏移 吴 律 马艳如 何 佳 (67)
- 合肥盆地重磁场的解析延拓对深部构造分析的意义 李秀新 刘德良 (73)
- 数据压缩技术在地震勘探中的应用 汪天伟 (93)

CONTENTS

In Commemoration of the 30th Anniversary of the Founding of the People's Republic of China

- Geophysical Exploration for Oil in China—Recollections and
Future Prospect Gu Gong-xu (1)
- Summing up Experiences, Make Greater Efforts to the Accompli-
shment of the Modernization in Geophysical Exploration
..... Huang Xu-de (4)
- The Marine Geophysical Exploration of China...Liu Guang-ding (13)
- Strengthen Well-Logging, Suit the Needs of the Developments of
the Reconnaissance Survey for Oil and Gas.....Liu Da-heng (20)
- * * *
- The Residual Static Correction of Autostatistics—A Method of
Model Trace Formed by Multichannel Lineup Stacking
..... Nie Xun-bi He Yu-chun (26)
- Some Problems Concerning the Wave Equation Migration
and Its Application..... Wang Zhao-hua Xu Bo-xun (58)
Xu Yun Zhao Jing-xuan
- Wave Equation Migration for Large Inclination
.....Wu Lu Ma Yan-ru He Jia (67)
- The Analytic Continuation of Gravity-Magnetic Field of
He-fei Basin and Their Significance to the Study of
Deep Structure.....Li Xiu-xin Liu De-liang (73)
- The Application of Data Compression Technique to Seismic
Prospecting..... Wang Tian-wei (93)

石油物探——回顾与展望

——纪念建国30周年

顾 功 叙

内 容 提 要

回顾了三十年来地球物理勘探方法在中国普查石油工作中所发挥的作用，特别是在1950年代后期发现大庆油田的典型事例。这是地球物理成功地普查发现油田的一个相当生动和有趣的事例（Case History）。

为了进一步发展，除了大力采用目前最先进的技术以外，提出了研究试探利用地震波法直接寻找深埋的碳氢化合物的蕴藏，从而直接发现石油和天然气的矿床，认为这是一个重要的科研方向并有一定苗头。

自30年前中华人民共和国成立以来，我国物探（即地球物理勘探）工作得到了全面而迅速的发展，尽管技术水平不算高，工作中还有这种或那种的缺点，但是在全国范围内地质找矿方面曾作出过不少实际贡献，为国家建设起过一定的重大作用。

这里纯粹从物探技术本身效能的角度出发，来回忆物探在找寻石油矿床中所发挥的作用，特别想追溯一下发现大庆油田过程中的物探工作，类似于国外物探科技刊物经常发表的所谓物探找矿史（Case History）性质的叙述，也即物探找矿的事例，借以表达物探方法的找油能力，提供物探在应用中成功与失败的经验。

我国一直被认为是贫油的国家，其根据来自地质理论，物探只是一门找矿的技术，如何应用于找油，当然在大庆油田发现以前是毫无经验和实践的，尽管物探对发现储油地质构造有效，从本世纪20—30年代开始在国外早已被肯定了。

记得1956年以前，我们曾在大部被表层覆盖着的华北平原及其南至河南省境内开展了一些试验性的物探普查石油工作，当时并没有具体的计划任务，依据只是读过李四光教授著英文版“中国地质”一书时，他提到可以试用地震勘探法在华北平原试验探查石油构造的意见。我们用的是地面磁法，重力法，电测深和地震反射法进行面积和剖面观测，工作不够系统，发现了一些各种方法的物探异常，疑为深部构造层变化所引起，当时我们只有一些书本上的知识，不知怎样作物探异常的地质解释。于是，就向石油工业部提出建议，希望调来一台深钻机以验证某些疑为是深部构造的物探异常。

第一钻打在河北省南部的具体地点为明华镇的位置上（即现在人们都很熟知的潜伏的沧州隆起南端），钻孔到了900余米的深度就遇到古生代石灰岩的风化面，就是从此面上我们记录到清楚的地震反射波和其他物探方法的显示，当时满以为是沉积层中的构

造，结果并未钻到其上覆盖的任何可能含油的中新生代地层，大失所望。使我们体会到物探找含油构造并不简单易行，地下有各种各样的构造层面，常常不易分辨。

后来又在河南省开封附近打了一个深钻，结果不好而停钻。这样，物探两次初试于普查石油构造，宣告失败，引起人们对物探资料的可靠程度和方法本身的效能产生怀疑。

1956年开始，国家计委为了要确定我国油源的前景和发展方向，要求地质部门开展全国范围内的地质与物探大普查，开始就在全国面积较大的不论是什么性质的各种构造盆地内，西自新疆的准噶尔盆地，东至华北和松辽平原等所有被表层覆盖着的广大地区，进行初步的物探大普查，使用了航空和地面磁法，重力，电测深法和地震反射波法进行了大量的观测工作，取得了大量的资料。当时由于已有明华镇和开封的失败经验，再建议打深钻验证，必须万分慎重，因投资较大。

接着就出现一段生动而很有意义的故事。1958年春节的早晨，接到电话通知立即到原地质部何长工副部长家中去开会，该会由地质、石油两部的领导人何长工、旷伏兆、余秋里、康世恩等部长主持，两部的有关司局长和总工程师参加。会上要讨论在松辽平原确定打七个深钻井的位置，根据是1956和1957两年中已取得的物探和地质资料，因投资大，作了相当周密的审议，会后的当天晚上，石油部余、康两位部长就率领钻探队伍，前往松辽平原。是年下半年就传来消息，第一、二号两钻孔仅见到油苗，无工业油流，第三钻开始得到工业油流，这就打开了开发大庆油田的大门。第三号井是打在一个地震反射法所发现的圈闭构造上的。下面稍稍叙述一下物探所起的实际作用。

1. 松辽大平原是一片覆盖着的荒野，1956年航空磁测跑在前面，最先圈出本区结晶基底（弱磁性的古老变质岩底面）的大致

凹陷范围，划分出沉积盆地的面积大约有十多万平方公里。仅靠地面地质观察是无法这样划定的。

2. 重力和电测深，地震反射法综合进行面积和剖面测量的初步普查，于1957年底完成。

3. 据此资料物探首先发现今天大庆（当时具体地点名大同）一带深埋着的隆起构造带，称为“大同长垣”，南北延长约150公里，从其上的地震反射剖面又发现几处圈闭构造的迹象，经过较详细的地震反射波法细测，认为它们确是一种圈闭构造。

1958年的第三号深钻井（松3井）就打在其中一个较好的圈闭构造上，属大同长垣。因手头无资料，这段历史过程主要是凭个人记忆写的，恐与事实有所出入，但大致情况就是这样，具体物探资料和地质推断结果都有文字报告可查。

我国社会主义制度对在这样大面积上部署区域性物探普查测量提供了有利的条件。这是因为我们的土地都是国家所有，在资本主义国家土地大部分是私有的，不允许随便进入他们分割着的土地上进行系统的区域性物探工作。只有这样部署工作，物探才能有效地从区域性的观测资料基础上发现重点找油的局部地区。

这段油田发现史说明在我国初次使用物探方法的成功经验，只要工作部署恰当，物探是找油的有力工具。所使用的方法技术都是普通的，没有什么创造发明。至今20年，物探在我国普查和勘探含油构造已成为必不可少的手段，特别是地震反射波法，尽管技术上距离最先进的我们还有一段距离。

但是，现在物探容易发现的如大庆那样的含油圈闭构造正在减少，不但要求物探更多地扩大工作量而更重要的是如何提高物探的找油效果，发展特殊的新技术新方法新原理来探明构造复杂的油床。除了应大力采用当前最先进的，特别是地震法的新技术以

外，这里只想提一下研究利用地震波勘探法直接发现油气等碳氢物质的问题。个人认为这是有苗头的科研方向。直接找油的实际意义不必细述，大家都很清楚，尽管目前不能达到百发百中的地步，但国内外已取得的试探性结果，在一定程度上是有苗头的，值得重视的。

从地面要直接探测深埋的油气床，目前唯有地震波较为有用，因为它能深入地下，含油岩层体积又较大，目标明显。随着最近一、二十年来地震勘探新技术日新月异不断地改进，应该说用地震波直接找油的科研方向已经提到日程上来。今天全球石油资源在

迅速减少，人类需油量日益增加，我国在现代化国民经济建设中，国家要求发现十个像大庆那样的油田，形势迫人。物探是找油极关重要的一项技术，若不从地震勘探方法的应用上有所新的突破，就不能满足石油工业对物探的未来要求。当然这是一个科学难题，要用攀登艰险的科学高峰的精神来逐步加以突破。

科研必须结合生产实践来进行，这项研究尤其是这样。建议主要由石油勘探开发的企业部门来抓，还应同国外交流经验和技木，想来这方面的科学技术是可以有所前进的。

Geophysical Exploration for Oil in China —Recollections and Future Prospect

Gu Gong-Xu

Abstract

The role played by geophysical methods in the search for oil deposits in China is here briefly emphasized, particularly in the discovery of the Taching oil field in the later part of the 1950's, which should be taken as an typical and interesting case history of the discovery of oil field by geophysical technique.

For further development of the technology, besides employing the most advanced modern geophysical technology, it is suggested in this paper to develop seismic methods for the detection of deeply buried hydrocarbon materials in order to discover oil and gas deposits directly by means of seismic wave propagation at depths. As a possible direction of geophysical research for oil finding methods, this idea may have a favourable future.

总结经验，努力实现石油物探现代化

——纪念建国三十周年

黄 绪 德

内 容 提 要

我国二十五年的陆上石油物探工作取得了巨大的成绩和许多经验教训。差不多百分之八十以上的油、气田，首先都是用物探方法找到构造以后才发现的。对于各种不同地表条件和地下地质条件的地区做了大量石油物探工作。在研究区域构造和各种局部构造圈闭方面，物探工作积累了大量经验。为了进一步充分发挥物探的作用，今后对我国北部、西北、西南和东部物探工作面临的课题应作深入研究。在处理物探工作与各方面的关系中有许多经验教训，值得深入总结。文中对上述各方面问题作了探讨，并提出了在向四个现代化进军中，物探工作应有的任务和物探赶超世界先进水平的方向。

充分发挥物探的作用

在这二十五年中，我们几乎是从白手起家，建立起了一支庞大的、装备齐全的、有相当技术水平的石油物探队伍。我们从一个贫油国变为重要的产油国，石油物探工作是建立了功勋的。闻名世界的特大油田大庆，就是首先用物探发现的。综合物探工作结合地质钻井划分出了有利的沉积盆地，地震勘探发现了巨大的背斜构造，这就奠定了发现大庆油田的基础。胜利、大港、任丘等重要的大油田也都是首先用物探发现的。据统计，我国解放后发现的重要油气田有百分之八十以上首先是用物探发现了构造而后突破的。在勘探这些油气田中，物探的主要作用有三：

一、用综合物探方法研究大地构造和区域构造，划分出有利的沉积盆地以及盆地中的次级构造单元，指出有利的含油气区。

二、在有利的构造单元内开展地震勘

探，查明多类局部构造，首先是各类背斜构造，包括断块背斜、滚动背斜、穹窿等；其次是各类非背斜构造，包括断块、挠曲、尖灭、超覆、不整合以及古潜山等。

三、根据物探解释提供有关地层、断层、不整合、火成岩等资料，进而经过综合研究，得出有关大地构造、造山运动、古地理和地质发展史的某些结论，作为推测油气生成、运移、储集、赋存的依据。

这里，有三条经验十分重要：

一、要充分发挥综合物探在研究区域地质特征方面的作用。

综合物探应用了磁法、重力、电法和地震。大面积高精度航空磁测用于研究大地构造，研究结晶基岩性质和埋藏深度，圈出沉积盆地；与地面磁测相结合研究火成岩发育情况，推测火成岩性质和埋藏深度，研究火成岩对油气藏是否存在不利影响。重力测量在没有基岩岩性及表层岩性干扰的地区用来

进一步划分构造层，帮助圈定中生代盆地。电法广泛采用了大地电流和电测深，研究高阻层的起伏，对确定中生代盆地基底起伏发挥了作用。而地震区域剖面则可以更精细地划分各个构造层，了解各层的特征及其相互关系，从而对重、磁、电在大面积上得到的资料作进一步的深入解剖，将线与面结合起来，得到全区有关地质特征的各种概念。

这种着眼于全区的综合物探，大大有利于早日发现远景区，能使有限的钻探力量及早投入最有利构造的勘探，从而提高了钻探油气的命中率。

在石油普查勘探的早期阶段，曾经局限于就矿找矿，围着已知油气田打转，成效很少。即使到现在仍有个别地区，只将物探用于检查油气苗，检查局部构造，检查即将钻探的地段，不发挥物探的先行作用，使物探围着钻探转。这种状况必然会使物探萎缩下去，延误整个石油普查勘探的进程。

目前我们的另一个缺陷是综合物探力量逐步减少，许多地区是地震单打一。当然，在区域勘探以后，重、磁、电的工作量相应减少是可以理解的。但即使是在普查局部构造的阶段，仍应充分发挥综合物探找构造的作用，以节省地震工作量。由于综合物探力量减少，综合物探的方法技术不能相应提高，综合研究工作也不能深入，反过来也在很大程度上影响综合物探力量的发展。在详查乃至开发阶段，试验研究利用高精度重力测量、电瞬变法、套管法或大地电磁法等直接找油，也是必要的。但是方法必须妥善选择。在早期阶段曾经试过放射性法及分散晕法，由于表层干扰严重，长期得不出可靠结果。近年来试验激发极化法，由于它也是着眼于浅层的次生影响，很值得吸取放射性法等教训。

二、物探工作必须与地质、钻探工作密切结合。

要有地面地质和地下地质工作的密切配合，特别是要有正确的地质理论的指导。物探资料最终必须变成地质语言，才能充分发挥它的作用。由于物探是间接的方法，必须从已知到未知；解释结果必须进行验证；而物探资料解释本身也必须有井下物性资料和测井资料的配合；特别是只有钻探（包括一系列井下作业）才是直接拿油气的手段。由于这四个原因物探必须与钻探密切配合。我们知道，钻探结果在很大程度上要依靠测井，而测井就是井下地球物理，它与地面地球物理本来就是亲兄弟。目前，在寻找岩性封闭油藏和直接找油气发展的阶段，两者关系将愈来愈密切。因此愈充分地利用井下测量资料，就愈能发挥地面物探的效能。这是值得充分注意的。

在这二十五年中，总的说来，地质与物探的结合是比较好的，但也有过摇摆。曾经一度，物探工作有自己完全独立的机构和系统，大大地走在地质钻探工作的前面，缺乏地质、钻探的密切配合，孤军作战。由于缺少测井资料，地质解释不能深入，构造无法验证，闻不到一点油味。也有一度，地质强调地面构造，或因物探方法尚未过关而不愿等待，认为不要物探照样拿油，盲目布钻，结果钻井成堆，但仍无法弄清构造面目，命中率相当低。所幸这两种偏向都比较快地得到了纠正。目前，在某些条件较复杂、物探工作一时尚未过关的地区，由于要油心切，不能坚持物探先行，先弄清构造，然后打钻，结果，同样降低了命中率。

因此，对石油普查勘探过程中各种方法和手段的关系，仍应遵循地质指导，物探先行，钻探验证，综合研究的方针。

三、要充分发挥地震勘探在石油普查勘探全过程中的作用。

地震决不单是找局部构造和圈闭，它在地质综合研究中能发挥重要作用。二十五年来它已经发挥和正在发挥的作用有：确定各

套地层的厚薄、深浅、产状以及尖灭、缺失等情况，结合有关资料划分各时代沉积盆地和盆地内各构造单元；确定不整合、假整合侵蚀面及其层位，研究和确定构造运动时期（有些由物探首先命名的构造运动已为地质界所普遍接受）；确定大、中、小各级断层、产状及其接触层位，研究断层性质、断裂时期、断裂系统，配合局部构造发育特征研究地质力学结构及构造运动体系；确定火成岩的分布、性质、层位、产状、深浅，判断构造运动和岩浆活动时期及其强度；确定构造性质、类型、时代、产状、走向，研究局部构造分布规律，判断区域构造特征；综合以上所有资料研究古地理和地质发展史，推测含油气远景，指导石油普查勘探。当然，这许多石油地质问题的研究必须综合地质、钻探、测井、综合物探等各方面的资料，但地震勘探仍起着主导作用，这是为我国二十多年石油勘探的历史所证明的，也是世界各国的共同经验。

许多大区的突破都得益于上述诸方面的研究。但各区的研究工作很不平衡，有的较全面，有的只在局部地区或在部分项目上有所研究；有的较深入，资料成果较齐全，但较多的是不够深入，资料不齐全。一般对区域构造的划分等静态问题研究多，对构造体系、古地理和地质历史等动态问题研究少。由于没有明确的规定和要求，自流的多，大大影响了各区的普查勘探成果。可以说，到目前为止，这仍是一个薄弱环节，亟需补救。

此外还有一个地震勘探可以发挥作用的领域没有开展，就是作地壳测深。这对研究地壳结构和板块结构，从而对由此控制的构造体系及油气远景的判断都有重要作用。这一工作当然主要应请科学院来承担。但由于作地壳测深目前效果较好的是用反射法，它的野外工作方法及计算处理方法与石油地震勘探基本类似，因此由石油地震队在各探区

兼顾这一工作可收事半功倍之效，值得重视。更何况这应是继历史地质学、地质力学等学派之后指导石油勘探的又一大学派，石油勘探队伍应该积极承担这一任务。

深入研究面临的地质课题

二十五年来石油物探在不同地区解决了不同的地质构造问题，目前面临着—系列新的地质课题。大体上可将我国划分为东部、南部、西南、西北四大探区，它们各有特点。

一、东部

1954年以前我们局限在西北一些已知油田及油气苗周围就油找油。1954年以后开始战略展开，并逐步实现了战略东移，在松辽平原、华北平原及华东各中小型盆地开展了大规模的石油物探工作，收到了巨大的成效。在这些地区，我们解决了寻找一批局部构造类型的技术方法问题，找到了许多局部构造，其中许多已被证实是油气田。计有：

（一）背斜型：包括巨大的中生代背斜所组成的长垣；被简单断层切割的新生代背斜；由区域性大断层产生的逆牵引所形成的成串小背斜；由古隆起或古潜山控制的上覆新生代背斜；以盐丘为核心的上覆新生代背斜。

（二）断块型：大断层控制的单斜断块；箕状凹陷陡坡带——区域性断阶带中的阶梯状断块；向斜中的地堑式断块；古隆起控制的地垒式断块；屋脊状断块。

（三）古潜山型：古潜山侵蚀面风化壳；为断层控制的潜山内幕单斜构造；潜山内幕断块构造。

（四）地层型：区域性单斜尖灭带；鼻状构造尖灭带；背斜构造中砂岩尖灭带；超覆不整合。

（五）火成岩型：新生代玄武岩构造；新生代辉绿岩侵入与地层接触圈闭。

此外，还找到了岩性型油藏，包括新生

代砂岩透镜体和新生代砂岩岩性由粗变细自行封闭的油藏，但这些主要是在根据物探找到的构造上进行钻探发现的，而不是直接由物探查明的，因此，物探本身找岩性油藏还待开展。

由上可见，在我国东部（包括东北、华北、华东）石油物探已经基本解决了寻找新生代背斜、盐丘和断块构造，中生代巨型背斜及古生代潜山侵蚀面等类型构造的技术方法问题。但还有许多课题有待解决，如：

（一）新生代复杂的断块背斜，即被纵横交错的许多断层切割的背斜型构造。由于各种断层波、断面波、侧面波的干扰，剖面面貌极其模糊。

（二）新生代的地层岩性圈闭。这是有待开展的一个全新课题，应该作为今后的重点之一。

（三）残余中生代中小型盆地轮廓及局部构造。除东北大型中生代盆地外，中生界的物性（比重、电性、速度）和层位都介于新生界与古生界之间，往往带有中间色彩，不若新生界和古生界之轮廓鲜明，因此容易模糊和忽略，需要专门有针对性地进行工作。

（四）海相古生代盆地轮廓及古潜山内幕构造。这主要是一套碳酸盐岩建造，它的侵蚀面既是一个较强的波阻抗界面，又是一个起伏多变的卡斯特古地形，由此产生绕射、散射、迴转等许多干扰及屏蔽影响，增加取得内幕构造的困难，但在某些地区，工作已经有较大进展。

（五）湖区、海滩的工作方法。

二、南部

我国南方（东南、中南）有许多中小型中生代陆相盆地。中型新生代盆地大体也有东部的特点，有与东部相应的进展和课题。在一些小型盆地及中古生代盆地，情况更为复杂，石油物探面临着许多新的课题，如：

（一）丘陵、砾石、腐木层、流砂层等复杂的地表条件下的构造，激发接收条件非常困难。

（二）巨厚的红层覆盖下的深部构造。

（三）碳酸盐岩出露或半出露条件下的古生界构造，激发十分困难。

（四）复杂的陡断构造，部分逆掩，不易接收到有效波组，并且干扰大，波组复杂，不易解释。

（五）中生代火山岩构造。

上述课题中的各种表层影响已被初步克服，碳酸盐出露区也开始得到有用记录。这些，主要是在激发条件上狠下功夫的结果。当然，还需进一步加以改进。其他一些课题尚待进行巨大的努力。

三、西南部

在一些巨型海盆中沉积了大片海相古生代碳酸盐建造。这些建造为后期多次构造运动所复杂化，形成许多大、中、小型构造盆地。从五十年代末六十年代初，我们就在这些地区开展了较大规模的石油物探工作。到目前为止，已在下列一些课题上取得了重要进展：

（一）在中生界及新生界覆盖区取得了古生代各个地层的一整套标准层，能作出各层构造图，其中绝大部分是背斜构造；

（二）在大山区恶劣地形条件下取得了较好的剖面并作出了中古生界构造图；

（三）在灰岩、砾岩出露区和砾石覆盖区初步取得了一些波组，但尚需继续努力；

（四）不太复杂的大倾角陡构造有了较好的反映；

（五）山区弯曲测线的普通观测和叠加方法有了进展。目前面临的课题主要是：

（一）彻底解决复杂地表条件（复杂地形加上复杂表层条件）下的构造问题；

（二）既陡且断的构造，包括逆断、逆掩，有些是地震勘探所不可克服的障碍；

（三）平缓、小幅度构造，要有较高的

勘探精度。

四、西北部

从巨大的塔里木盆地、鄂尔多斯地台到中小型的一些山间凹陷，有沙漠，有大山，有草原，有沼泽，有海相，有陆相，地域广阔，类型众多，油藏丰富，已有一些知名的油气田。在上述地区石油物探工作进行得最早，已经证实了许多地面构造，发现了一些潜伏构造，大多为翼部较陡的挤压背斜，也有大型单斜，而在鄂尔多斯平原则有大量平缓背斜。目前面临的课题是：

(一) 构造顶部出露区如何横跨恶劣地形做地震剖面，了解下伏构造顶部面貌；

(二) 戈壁沙漠坑炮效率低，如何使可控震源过关以大大提高工效；

(三) 横跨大盆地大沙漠处女地的工作方法；

(四) 平原、草原区小幅度平缓构造工作方法；

(五) 黄土高原梁、卯发育区精确的面积测量工作方法；

(六) 地台上平缓构造区的岩性圈闭工作方法。

综上所述，当前石油地震面临的共同难题是：

(一) 交通运输问题。海滩、湖泊、沼泽、沙漠、山区、水网都有个交通运输问题。运输问题解决得好，物探效率和效果都可大为提高。我们过去注意了常规交通工具的解决，忽略了特殊交通工具的解决。譬如海滩，涨潮是海，落潮是滩，就要有适应大海、浅水、沙滩等各种条件的大小船只、车辆或水陆两用车船。大沙漠就要有骆驼、宽轮车、直升飞机等运输队。由于我国经济技术条件的限制，有些东西一时还难以办到，有些要暂缓，有些可适当引进。还有一些是组织管理问题，以国内条件说，如果组织得好，许多问题是可以解决的，应该引起充分重视。

(二) 激发条件问题。大山丘陵区、岩石出露区、砾石覆盖区、沙漠戈壁滩、流沙腐植带等等主要是激发条件问题。亟需解决硬地层轻便高效钻机、高效炸药和爆炸索以及轻便可控震源等。我们总希望激发的能量适中，穿透深度大，噪音小，激发脉冲是尖脉冲或最小相位，或者频率可控。这就需要耦合好、定向好、起爆时间短、爆炸完全、破坏小、可控而又轻便，这就带来一系列矛盾需要解决。在激发条件上我们没有专门的研究组织，这是一大缺陷。

(三) 陡断构造问题。要系统研究大倾角的叠加问题、速度问题、干扰问题、偏移问题、三维问题等，并进行系统试验，取得成功的解决办法。

(四) 平缓构造问题。这主要是勘探精度问题。要研究提高观测精度、速度精度、高分辨率勘探、横波勘探等问题。由于难度较大，只有在那些平缓构造有十分重要的找油意义的地区才值得花大力气搞。

(五) 接收条件问题。关键是能量均衡适中和干扰波的分析压制问题。我们经常听到新区的同志在接收不到有用波组时就说“这里没有波阻抗界面”。但是一般地说，有地层界面就会有波阻抗界面，因为它们之间总归存在着速度差和密度差。问题在于这种波阻抗差的大小。如果解决了激发问题，有足够的能量穿透，而又能压制掉各种干扰波，那么提高深层弱波（或者由于波阻抗差小，或者由于上层屏蔽）的讯噪比是可能的。因此要在压制干扰波上下功夫。目前我们缺少对有效波和干扰波作系统的频率—波数的二维分析，包括规则干扰和随机干扰，并有针对性地采取合适的频率滤波和波数滤波（包括组合、叠加、混波）措施，往往是主观地确定几种方案进行对比试验选择，因此不易恰到好处。能量均衡包括远近、深浅及道间能量大体均匀。这要妥善选择仪器因素和搞好检波器与地的耦合。目前采用的数

字地震仪能较有效地实现能量均衡。因此，我们一方面应加快数字化，另一方面在数字仪一时还不能取代模拟仪器的情况下，可适当吸取数字仪的优点对模拟仪器加以改进。如改善公控作用，改进能量释放曲线，改用低频接收等。不能认为模拟仪器寿命不长了就不去改革。

大力开展地震勘探的革新

我国的地震勘探已经经历了光点、模拟和数字三代，现正全力推进数字化。地震勘探的每一次革新都是由石油普查勘探工作的发展引起的，而又都是从仪器的革新开始的，而仪器的革新又都是适当引进与自力更生相结合的产物，这三条可以说是当前地震勘探技术革新的主要经验。

五十年代初，为了在东部大片平原第四系覆盖区开展石油普查，我们引进了光点地震仪，从而开始了用人工地震勘探石油的战斗。在五十年代中期至六十年代中期，找到了一系列大中小型构造，为胜利、大港、大庆等油田的发现提供了基础条件。在六十年代中期至七十年代中期，为了解决复杂盆地的勘探，为了克服多次波、绕射波、断面波、火成岩波等复杂波组的干扰，为了进一步提高勘探效果，突破一些新区，我们引进了模拟磁带地震仪及模拟回放计算机，不久，又成批制造了这些仪器，使地震勘探实现了磁带化，找到了一大批光点地震仪所难以找到的含油气构造。到了七十年代中期，石油普查勘探向中新世代的复杂构造进军，向新生代岩性油藏进军，向古生代碳酸盐岩进军，向复杂的地形、地表条件进军，模拟磁带显出了它的局限性，迫切需要数字化。因为只有数字化才能用三维勘探，用波动方程偏移等对付复杂构造，用岩性地层地震勘探和高频勘探等对付岩性地层油藏，用突出地震动力学特点对付直接找油气，用瞬时浮点、大动态范围和低频勘探等对付碳酸盐岩

的浅层强波和深层弱波，用自动静校正、弯曲测线等对付复杂地形……如此等等。因此，在七十年代中期，我们开始引进数字地震仪和电子计算机，并迅即开始试验。我们相信，经过一个阶段的努力，一定能取得如同五十年代光点、六十年代磁带所曾经取得过的巨大成绩，而由于是在新长征的方向指引下，一定会比过去取得更大的成绩。

在这整个历程中有三条经验是值得记取的：

一、地震勘探和综合物探是整个石油勘探中的一环，它不能脱离石油勘探单独发展。石油勘探每前进一步都会对地震勘探等提出新的要求，这就迫使地震勘探要随着石油勘探的发展而发展。而地震勘探等的每一次提高，又反过来促进石油勘探的发展，如此互相促进，不断提高。这就是说地震勘探要不断研究石油勘探中的新问题，要熟悉石油地质可能向物探提出的新课题。

除掉全面研究上面所提到过的各区的地质课题外，当前，我们应该深入分析研究下列一些主要地质课题：东部小盆地新生代的岩相古地理和岩性圈闭；东部及西南海相古生代盆地的轮廓、结构和相带分布；华北华东古潜山内幕结构；西部一些大中型盆地的结构和地质历史等等。地球物理应该深入研究区域石油地质问题。我们的研究愈深入，对地震勘探及综合物探的要求会愈高，就愈有可能促进地震等技术的迅速发展。

二、要充分重视仪器装备的研制工作。只有有了自己的仪器装备研制系统，石油物探才有可能赶上或超过世界先进水平。因为每一种新方法新技术都要求有新仪器新装备支持，否则将只能是纸上谈兵。而每一种新仪器新装备的出现又会迅速促进新技术新方法的发展。国外地震勘探仪器发展很快，除掉光点、模拟、数字三代外，数字仪本身也经历了几个发展阶段。除掉性质上的发展外，道数发展也很快，由24、48、96道至

500道乃至1000道。由于道数的发展，能逐步适应三维勘探的需要。从我们最近了解的国外情况看，他们所以能够在仪器方面日新月异，是因为将仪器研制工作大体分成六个阶段：探索、设计、试制、试验、推广、投产。一种仪器经过这六个阶段，而在同一时期有多种仪器处于不同的阶段。譬如数字地震仪，现在野外大批投产的是DFSV及SN338等。由于电缆笨重不适于多道，试制成功了GUS-BUS及SN348，现在正处在推广阶段。为了进一步废除笨重的电缆，适于三维勘探，又试制了SGR II单道自记地震仪，目前正处在试验阶段。与此同时，无线电遥测的LRS-16型数字仪又进入了试制阶段。由于14位精度限制了仪器的小型化，现正设计一种一位数字地震仪，与此同时，研究室还在探索全新型号的仪器原理，分别处于设计和探索阶段。因此，他们能够对仪器一代一代的进行更新，大约每三、四年就要更新一次。当然，他们是各个公司分别进行的，彼此有激烈的竞争。我们应该大体上有研制和批量生产两个环节。仪器厂在成批生产一种仪器的同时，有研究机构 and 研制工厂在设计试制新型仪器。随着工作的发展逐步形成六个阶段六支力量的仪器研制系统。

三、适当引进是必需的，但应在自力更生的基础上进行。如模拟磁带仪就做得比较好。1965年只引进少量几台样机和试验仪器，一面进行野外试验，一面参考样机自己试制，七、八年功夫就全部用上了国产磁带仪和回放钻，实现了磁带化。不引进，没有借鉴，要走弯路；不制造、不改造、不创新，只能永远跟在别人后面爬行。现在引进了一批数字地震仪，并已组织力量进行试制，同时还开展了新型数字仪的研制工作。这是完全必要的。但为了加快进度，还应大大充实提高仪器研制力量。

加速实现数字化

为了实现数字化，数字处理工作有了较大发展。这一工作可以说从1965年就开始了，但到1972年以后才较大规模地进行。到目前为止，已经由国内的力量独立自主地建成了大、中、小型若干套地震数字处理系统，包括国产电子计算机、专用外围设备（模数转换器、褶积器、剖面仪）等硬件及地震管理系统、地震方法处理模块等软件。同时，也已经或正在引进一些大中型处理系统。在处理方法中，除掉常规的预处理、参数处理、动校、滤波、叠加、修饰等程序外，着重发展了反褶积、偏移、静校、弯线等程序。反褶积作了反鸣震、维纳、预测等处理，试验了同态。偏移从绕射扫描到时间域波动方程偏移，现在试验频率域偏移。自动静校、弯线、亮点都已有了初步试验成果。并且已经有好几家出了地震勘探数字处理的书。一般说来，从原理到方法都初步掌握了，但处理资料的质量和技巧还不十分到家。对于一条复杂剖面，如何分析存在的问题，有针对性地采用有效方法，恰到好处地选择参数，最后处理出满意的剖面，只有少数做得较好。这是需要大力加强的一个方面。此外，对三维、岩性、横波、高分辨率等特殊处理等还经验甚少。因此可以说，我们数字地震处理水平还是比较低的，它显著地影响着地质效果，要迅速大力加强。

要加强地震勘探数字处理，从多年的经验看，必须做好三方面的基础工作：

一、基础理论。地震数字处理牵涉到的理论问题是比较多的，但目前主要的是滤波理论和波动理论。前者研究的是从干扰和畸变中提取和恢复信息，是将地震波当作一个时间过程来研究，因此要应用概率论和信息论。后者研究的是波在各种类型地质介质中的传播过程，从而根据地面观测数据来恢复地质结构。这是将地震波当作一个物理过程

来研究，过去用射线理论，现在发展到应用波动理论。所有这些理论都要应用各种数学工具，特别是各种变换，如傅利叶变换， z 变换，拉普拉斯变换，沃希变换，希尔伯特变换等。因此，地震数字处理专家必须精通这些理论，并且应该有人专门研究和发 展这些理论在数字处理中的应用，才能使数字处理技术得到根本性的提高。如果搞数字处理不研究这些理论，就如同搞革新不研制仪器一样，会成为无源之水，无本之木。

二、基础装备。数字处理必须要有强大的电子计算机及其相应的外围设备和软件。没有这些装备，要提高处理水平只能是说空话。全国应该建立石油、地质两大系统的计算机网。特别要组织研制专用外围设备。模拟输入机已经有几种型号，目前应该发展为能输出数字带的脱机模数转换机。阵列处理机已有几种型号投入试制，应该进一步发展快速、先进、多品种的阵列处理机。应进一步提高剖面仪的质量，增加品种。目前迫切需要试制数字输入机、图形数字化仪、绘图输出机、终端设备、监视设备等，以不断提高各计算站的处理能力。可以说，目前处理装备的关键问题还在于配套，包括磁盘、半英寸磁带机等通用外围设备的配套。只有认真解决配套问题，才能充分发挥计算站的作用和效率。

三、基础资料。搞地震、物探数字处理需要大量多品种基础资料配合。如正确识别波组进行地质解释以指导数字处理所需的基础地质资料；进行剖面对比解释，制作合成记录，处理地层岩性剖面等所需要的各种测井资料，特别是排除井径影响的声波测井、密度测井和地震测井资料；进行振幅处理、岩性处理等所需要的岩石物性资料（包括纵横波速度、衰减系数等）。为了取得这三方面的基础资料，需要有地质队和测井队的密切配合。搞物探研究的各大学及研究机构也应建立相应的实验室，开展各种物性测定。国

外有一次测定模拟地下高压高温条件下岩石物性参数十几条曲线的装备，很值得我们学习。

要实现上述目标，二十五年的经验告诉我们，必须大力改革石油物探工作的经营管理。如何实现社会主义的现代化的石油物探事业的科学管理，这是一个艰巨的课题，值得专门探讨。普查、勘探、开发三大环节和石油、地质两大部门如何分工合作，环环扣紧，相互促进而又不重复浪费；地质、钻探、测井、化验与物探各大工种如何协同作战，相互依靠又相互渗透而不断深入；重、磁、电、震各种手段如何针对各区地形、地质特征、普查勘探任务，在各不同阶段充分发挥各自的独特作用，它们的队伍力量各应占何种比例；采集、处理、解释三大步骤与仪器装备研制、方法技术研究及地质成果研究三支力量如何紧密配合，前后呼应，快出成果，多出成果；生产、试验、研究三大领域各应如何管理，相互制约，共同发展；此外如专业化与协作问题，八大经济指标及经济管理制度在石油物探系统中如何实现的问题，中央与地方的管理体制问题等等，可以说目前都存在不少问题，在很大程度上影响着石油物探事业的发展，亟需深入研究，求得逐步妥善解决。

石油物探的发展离不开其他科学技术的发展。地震勘探仪器的发展依赖电子技术和大规模集成电路的发展。石油物探的数字化全赖计算机及计算技术的发展。深层构造的研究要靠深钻技术的发展。可以预期，今后的石油物探仍会不断吸取各种科学技术成就求得自己的发展。

石油物探技术的发展正方兴未艾，目前正在发展的三维地震、岩性勘探、横波勘探、碳氢指示、频域偏移等等对我们都有极大的现实意义，我们已在别 的文章中论述

过，这里就不再重复。二十五年在人的一生中是漫长的，而在整个历史发展的长河中则只是一刹那。我们能在这个历史转变关头来回顾我们所走过的道路，总结一下我们的经验教训，展望一下灿烂的前程，规划一下今

后的奋斗目标，应该说是很愉快而又令人兴奋的事。我们期望石油物探界的战友们能过去已有成绩的基础上，为这个历史的伟大转折，为我们社会主义的四化作出更大的贡献。

SUMMING UP EXPERIENCES, MAKE GREATER EFFORTS TO THE ACCOMPLISHMENT OF THE MODERNIZATION IN GEOPHYSICAL EXPLORATION

——In Commemoration of the 30th Anniversary of the Founding of
the People's Republic of China

Huang Xu-de

Abstract

A large number of achievements, experiences and lessons have been obtained from the geophysical exploration work on land for oil and gas in China during the last 25 years. More than 80 per cent of the oil and gas fields so far discovered were by geophysical reconnaissance surveys. A great deal of work was done in areas where the geophysical and geology conditions on surface and at depth are so varied. In the research of regional structures and local closures, we have now accumulated a wealth of experiences. In order to take further steps to bring the geophysical work into full play, we should make at present a thorough study of the tasks lying ahead of us, especially exploration of our northern, northwestern, southwestern and eastern territories for oil and gas. In connection with the relations between geophysical and other exploratory work, we have much experiences and lessons to be summarized in a deep going way. This paper discusses all what have been mentioned above. Besides, the author has put forward the tasks in the march towards the four modernizations as well as the orientation of catching up with and exceeding the most advanced world levels in technology.

海洋物探二十年

刘光鼎

内容提要

在中国二十年海洋地球物理勘探历史发展的基础上，作者首先论述了现代海洋物探的技术要求，然后讨论了大陆架油气调查中的一些重要问题，如沉积盖层中的深部反射层位，断层的确定，以及直接寻找油气等。最后，作者强调指出在海上寻找石油和天然气问题中，研究莫霍面的重要性。

中国海洋物探的发展，到现在整整经历了二十年。作为从头起参与这个历程的一员，我深切地感到有许多值得回忆的工作，应该认真总结；同时对照国内外的情况，确实又有不少必须努力解决之处。

历史的回顾

一九五八年，原地质部，石油部和中国科学院海洋所组成了联合海洋地震队，为向海洋进军作准备。此项工作的思想基础是基于这样两点认识：(1) 地质工作不应局限于陆地，必须同时在海洋获取资料来丰富地质科学；(2) 我国有广阔的大陆架，其中可能蕴藏着丰富的石油天然气资源，应该发现并开发它们，为社会主义建设作出贡献。

一九五九年，联合地震队应用炸药作为震源，将陆地地震检波器密封防水后沉放到海底接收地震波，用西安产24道光点地震仪来记录地震振动(图1)。这样做，工作效率低劳动强度大，每天只能取得几个排列的资料，而风浪稍大即难于工作。

一九六〇年，原地质部在塘沽成立第五物探大队，以渤海为基地进行海洋物探工作。一九六五年，原地质部成立海洋地质研究所，与第一海洋地质调查大队(即原第五

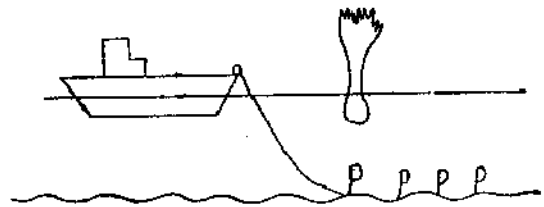


图 1

物探大队) 共同完成渤海的地震概查，取得深达4000米(2.6秒—3.2秒)的反射，证实渤海是新生代沉积很厚的华北盆地的沉降中心，沉积层有起伏，具有良好的含油气远景^[1]。此项结果为石油部门以后大规模勘探并开发渤海提供依据。

当时，采用酒石酸钾钠晶体制成压电传感器，再组装成水声器组，将其悬浮于海面之下7—8米的深度，接收TNT炸药爆炸激发的反射波。工作中使用简单连续观测系统并在船只行进中观测。这种单船工作方法是用水听器拖曳舢板进行爆炸，而用松放充裕的电缆入水，使水听器在接收反射波的瞬间在最佳沉放深度(7—8米)上处于相对静止状态^[2](图2)。这样，每个工作日可以获得100公里左右的地震记录^[2]。由于在自力更生的基础上解决了海上地震勘探的观测仪器、工作方法，并取得了较高的效率和首批

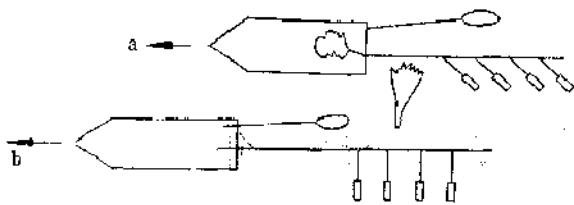


图 2

a—爆炸前回收电缆；b—爆炸时松放电缆

成果资料，一九六五年国家科委将此项工作列为重大成果之一^[3]。

在此期间，海洋地球物理勘探处于十分活跃的状态。继酒石酸钾钠压电晶体检波器试制成功之后，又先后制成了钛酸钡陶瓷和锆钛酸铅陶瓷（PZT-5）两种压电检波器，并开始试制地震等浮组合电缆（streamer），准备用检波器频率与组合理论来压制随机干扰，降低干扰背景，取消松放电缆的接收反射波的措施，以减轻繁重的体力劳动，提高工作效率^[4,5]。在证实炸药包组合爆炸不能适应海上连续作业之后，开始了引爆索的试制，准备取消单船作业的爆炸艇。此外，还开始计划了用工业电视进行海底重力观测，用核子旋进磁力仪进行海洋磁力观测，以及在海洋地震勘探中应用数字电子计算机的可能性。

一九六八年，第一海洋地质调查大队迁到上海，在南黄海开展工作。一九六九年，海洋地质研究所迁往广东湛江，改名为第二海洋地质调查大队，开始进行北部湾综合海洋地质地球物理调查。尽管上述地震仪器方法的研制过早地陷于停顿，但在海洋物探生产上都取得了成果。一九七〇年—一九七三年，完成了1/50万北部湾综合海洋地质调查。其中包括在统一测网部署下，用工业电视观测海底重力场（精度0.5—1.0毫伽）^[6]，用核子旋进磁力仪观测磁场（精度2—3伽玛）^[7]。用模拟磁带地震仪观测反射波^[8]和回声测深、海底取样等。在广泛采集周围陆地岩石样品并进行岩石物性测定的基础上，

对物探资料进行了综合研究，取得了北部湾海区地质构造图件和含油气性远景评价^[9]。

1974年将此项成果移交石油部。后来，1977年石油部根据此资料在北部湾首钻见油，证实第二海洋地质调查大队所获得的成果资料是可靠的和有价值的。与此同时，一海在南黄海也取得了巨大的收获，不仅在地震、磁力、海底重力、测深的资料基础上，经过综合研究，编绘了南黄海地区地质构造特征及含油气远景评价（1/50万）^[10]，而且对南北两个拗陷中的许多构造带或局部构造进行了石油普查和详查^[11,12]。

应该指出，随着海洋物探实践的发展，海洋地震勘探的仪器设备和技術方法也都相应地取得了进展。已经不再利用炸药作震源，而是用电火花和空气枪^[13,14]代替。为消除气泡效应，还试验了六枪组合并取得了成效。水中接收系统采用地震等浮组合电缆^[15,16]，并在此基础上采用多次覆盖技术进行观测^[17]。海洋地震的设备如图3所示。

1975年，海洋地质调查局在南黄海南拗开始海上钻探活动。第一海洋地质调查大队向东海大陆架进军，完成了地震、磁力、重力、测深的初查，发现东海有北东向的两个巨大拗陷，沉积巨厚，构造宽阔，从各种条件来分析，其含油气远景都是极为良好的^[18]。第二海洋地质调查大队从北部湾转移到珠江口工作，地震初查圈定珠江口盆地，而此处也是具有良好油气远景的沉积盆地^[19]。

系统的概念

当前，海洋物探技术正处在迅速发展之中^[20]，其主要的关键在于地球物理调查船上所有仪器设备的数字磁带化，而所有物探仪器设备都应在计算机的控制下，与导航定位设备综合成一个完整的系统^[21]。

根据拉摩效应作出的核子旋进磁力仪，加上防水外罩，拖曳于调查船后150—200米，

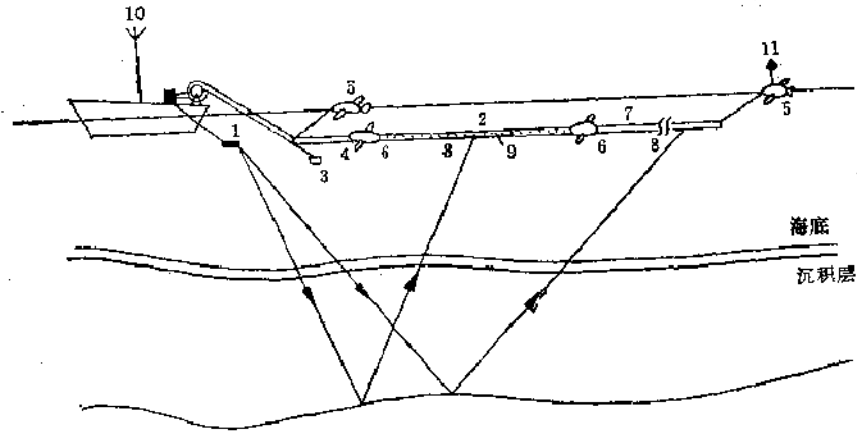


图 3

1—震源；2—多道等浮组合电缆；3—重荷；4—弹性减震段；5—浮标；6—定深器；7—接插件；8—测深器；9—水听器组合；10—发射天线；11—雷达发射器

可以很容易地在海区内获取总磁场 $4T$ 的资料。但是，这种测量的精度一般不高于 1 伽偶，而且需要有日变观测站对每天地磁场的变化进行监视，并对观测资料进行校正。在距陆地或岛屿很远的海区工作时，难于设置日变站，就要求采用磁力梯度仪（图 4）。磁力梯度仪的试制，要解决：①数字磁带记录；②提高磁力仪精度；③两台磁力仪相距 150 米，工作时要求它们有良好的—致性。

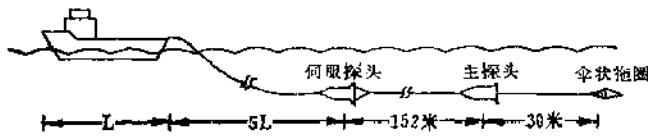


图 4

北京地质仪器厂与第二海洋地质调查大队协作试制的悬线重力仪，于 1975 年曾在海上试验中取得 ± 1.7 毫伽的观测精度。如果改善陀螺，对探头增大阻尼并加强恒温，进一步提高仪器的稳定性和精度，则完全可以和国外海洋重力仪（如 La Coste and Romberg; Gss-20）相比美。由于悬线重力仪在原理上的优点^[21]，不仅具有进一步提高精度的可能性，而且将它与数字计算机联接起来进行控制并数字采集是十分方便的。

海洋地震勘探中，震源采用多枪组合来消除空气枪激发后产生的气泡效应，是比在

资料处理中采用反气泡效应程序改善地震资料质量更为有效的措施。但要想使多枪组合取得成效，必须采用精度不低于 1 毫秒的组合气枪控制器，使组合中的所有空气枪都在同一个时刻激发（图 5）。近年内，海洋地震等浮组合电缆有逐渐增加道数的趋势，这首先是由于增加共深点（CDP）覆盖次数有利于提高地震勘探的详细程度和质量，而数字地震仪的扩展为此提供了条件。但是，不应忽视这样一个情况：增加了等浮组合电缆的道数，增加了共深点反射的次数，相应地也增加了地震资料采集的数量，从而必然要求使用具有很容量的数字电子计算机来处理资料。七十年代中出现的瞬时浮点（IFP）增益数字

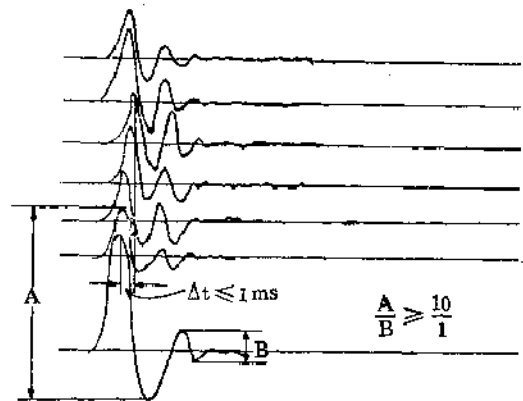


图 5