DOI:10.13810/j.cnki.issn.1000-7210.1981.05.011

地震勘探仪器新构想

——光纤传输式数字地震仪

王 东 辉

摘 要

激光光纤通信技术如何应用于地震勘探领域，乃是一个新课题。本文提出一项新设想，即研制一种应用激光技术，以光纤维传输信息的地震仪器；研讨光纤地震仪的优越性和实现的可能性，并提供一个初步设计框图。

ABSTRACT

It is a new subject how we use laser optical fibre communication technique in seismic exploration. In this paper the author has a new idea, namely, developing a seismograph which transmits information with optical fibre. The advantages of the optical fibre seismograph and it's feasibility are discussed, and a designing block diagram of the seismograph is given in this paper.

前 言

利用光来传递信息，自古以来有之。近代以光纤维为媒介的激光光纤通信，在电话、电视、传真照片等方面有广泛的应用。光纤通信的信息容量大，抗干扰、保密性强。一对光纤维理论上可传送一百亿路电话，一千万路彩色电视，这是一般短波、超短波、微波及同轴电缆传输形式所不能比拟的。那么在地震勘探领域中能否以光纤取代笨重的电缆来传送地震波信息呢？进而利用激光技术取代传统的地震接收系统，例如检波器、地震波记录方式、仪器的组成部件等，或者给以重大的改革和补充呢？应该是可能的。光纤传输可使野外装备大为轻便化，可使大排列、多道次接收具有充分的发展前景。下面就几个方面的问题作一些具体讨论。

地震勘探仪器的发展

我国地震勘探仪器的发展，经历了“五一型”光点地震仪——模拟磁带地震仪——数字地震仪三个阶段。每一次更新装备都使得地震信息的接收技术向前提高一步，地震

勘探水平也相应地得到了提高。

“五一”型光点地震仪的放大倍数低，动态范围小，采集的照相记录，不能再加工处理，仪器的体积庞大、笨重，不利于野外施工。在六十年代出现了模拟磁带地震仪，它较之“五一”型光点地震仪的重大进步表现在以下几方面：1)广泛采用晶体管，使仪器小型化，并提高了仪器的稳定性；2)应用公控及公测曲线粗略地记录地震波的能量、振幅；3)实现以磁带记录存贮信息，便于室内加工处理。在地震勘探方法上与此相应的出现了多次覆盖技术。而数字地震仪吸取了两者的长处，不仅采用多道一次显示，磁带存贮信息，而且由于采用数字集成电路之后使仪器具有更大的动态范围、高的灵敏度、快的跟踪速度。在数字仪中利用瞬时浮点增益放大器也是一项重要改进，它能较精确地记录地震波振幅的特征，其增益变化速度高达每秒四万二千分贝，使模拟磁带仪相形见绌，数字仪的出现也促进了计算机处理技术的发展。

可见，在科学技术不断发展的今天、新型仪器的发展是永无止境的。近年来迅速崛起的以电子科学理论与技术为基础的激光技术尚未渗透到地震勘探仪器的领域，这是一个值得探索的课题。

问题的提出

数字仪的出现是否说明地震仪器的发展已经到顶了呢？远远不是的。数字地震仪仍然还不能满足石油地震勘探发展的需要，譬如为了解决复杂的断块构造，必须提高分辨率，缩小接收间隔，大幅度增加排列道数；为了取得深层的资料，必须提高放大倍数，加宽接收频带，提高高频响应；为了适应山区、丘陵、河网地带的施工作业，要求仪器、大线设备更加轻便化…。目前我国国产及进口的数字地震仪尚不能解决这些新的矛盾。

在国外，近年来已提出试制多道、高采样率、高传输率等更高技术指标的数字地震仪，以适应三维地震、直接找油、岩性研究及煤田勘探的需要。现在已研制成功的有500道的SN348仪器，384道的GUS—BUS仪器，正在试制的有500道海洋电缆，GUS—SGR无线电控制、自动记录的地震仪（Seismic Group Record）。

这样多的道数如果按常规方法设置电缆，肯定是粗大笨重，有如长蛇巨蟒。因此研制者采用了各种技术手段，或单道接收或单道自录无线电遥控，使电缆芯缩到八股、六股、四股或全部去掉。但是，仍然存在着可靠性、采样率、传输率、高频响应等问题。

鉴于我国目前大规模集成电路、微处理机的发展水平还不够高，笔者认为应用激光光纤通信技术的成果，研制激光光纤传输式的数字地震仪，有可能使地震勘探适应解决复杂地质任务的需要。

光纤地震仪的特点

目前我国通信系统的形式有如下几种：

1.架空明线。通信话路少，传输损耗大，最高频率约为150KHz。

2.同轴电缆载波系统。如中同轴电缆1800路载波通信，频带较宽，最高复用频率9MHz。传输过程向外辐射极小，但频率不能太高，接头复杂，耗铜量大，价格昂贵。

3.微波中继系统。如960路微波通信，频率1,000MHz以上，波长为厘米或毫米级，需大功率收发中继站，站距50公里。可传送电视、电话节目，容量大。

4.光导纤维通信系统。容量极大，无频道限制，不受外界干扰，也不影响其它系统，传输损耗小，光导纤维原料来源充足，价格低，发送设备消耗功率小。

光纤地震仪可应用光纤通信原理，采用光纤维传输检波器接收到的信息，将其电信号一一变成高频或超高频来调制激光束或控制激光束穿过的晶体，即将电信号载入光波频率上。当光束以一定的角度射入光纤的一端时（一般是通过透镜耦合器），光在光纤内以全反射传送至另一端，在接收端加以分频解调，拾取各道电信号，记录在磁带上。工作原理见图1和图2。

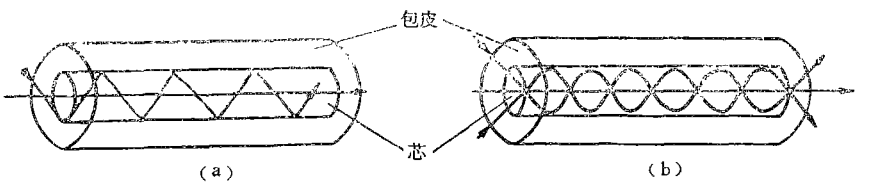


图 1 光纤传输的两种方式

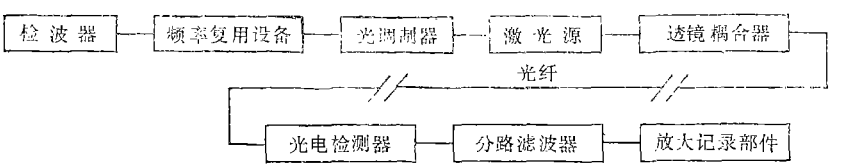


图 2 光纤传输原理框图

通常光电检测器件是光电倍增管或半导体光电二极管。

由于激光频率在10^{13}—10^{15}Hz之间，因此其容纳的频道是无限多的。也就是说，一对光纤就可传送大量道次的地震波信息。而且各频带之间隔可设计得很宽，便于制作分频滤波器件。这就为发展多道地震仪，传输庞大的数据道信息和控制信息提供了前提条件。

光纤传输与外界的隔离性好，不需申请频带与功率；抗干扰性强，不受外界电、磁、雷击等干扰，不存在插头漏电等弊病；耐腐蚀、易弯曲、重量轻、成本低，以上这些都是光纤传输的特点。

目前地震仪器几种信息传输方式的比较见表1。

地震波传输方式比较　　表 1

一般大线传输	大线载波传输	无线遥控系统	光纤传输效果预测
灵活性差，笨重	轻便灵活	轻便灵活	轻便灵活
道数少	道数少	理论上无限	理论上无限
道上无附加装置	附加接收装置	附加接收自录装置	附加接收装置
存在大线漏电、插头漏电	存在漏电	无漏电	无漏电
“50Hz”干扰严重	“50Hz”干扰存在	无	无
低频线内传输	载频线内传输	定向空间传输	限定线内传输
导线电阻小，信号衰减小	随频率升高衰减增大，有传输损耗	自录无衰减，控制信息有衰减	衰减小，每公里<1db
	消耗功率较小	消耗功率大	消耗功率小
抗干扰性差	抗干扰性差	雷电，磁场干扰无法避免	可避免各种干扰
不能远距输送	不能远距输送	可远距控制	可远距输送
不可兼通话	可兼通话	可兼通活	可兼容通话
设备简单，可靠	设备较简单，可靠	设备复杂，可靠性差	设备较复杂，可靠

光纤地震仪原理框图设计

根据光纤通信原理提出如下几种设计方案

模拟量传输方式

模拟量传输方式有两种方案：第一种模拟量传输方案（原理框图见图3）；第二种模拟量传输方案（原理框图见图4）。

这两种方案都是将各道地震波信息经放大滤波后，以不同的载波频率调制激光束，在光纤另一端接收、解调，仍恢复为模拟量电信号输入数字地震仪。多路采样开关移到前面，兼作采样与分路装置。类似电视预选台原理，利用变容二极管实现自动选频分路与采样。

以模拟量传输信息的缺点是存在仪器噪声、外界干扰、晶体非线性等造成的失真、畸变，并且各道接收器的一致性难以调整，尤其是变频级的增益不易取得一致。不如以数字量传输信息的精度高。

数字量传输方式

这种方案仿照国外多道仪器，在每一道上设单道接收器（原理框图见图5）。首先对信号进行加工，即前放滤波、采样、瞬时浮点放大、模数转换等，不同的是各道自行斩波取样，信号处理过程同时进行。将模拟量变为数字量，然后以不同频率的斩波器变频，至相敏放大后调制激光束。各道信号在光纤上成频率群发送。由于是并行输送，各道采样无延迟时间，可取得较高的采样率与传输率，控制信息比较简单。

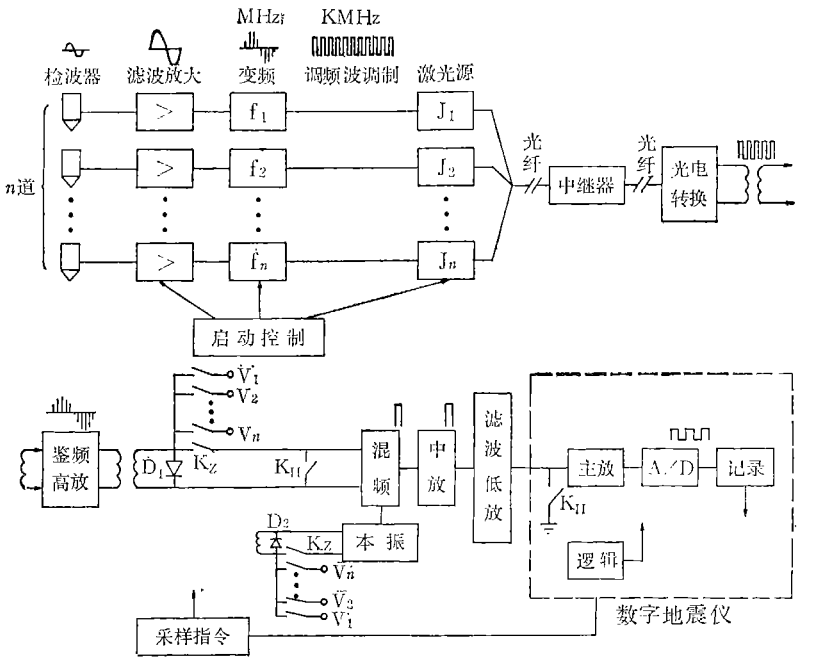


图 3　模拟量传输方案之一

D_1 D_2为变容二极管；检波器输出到滤波放大（去假频滤波）；接收记录中心部件已将采样开关移到前面

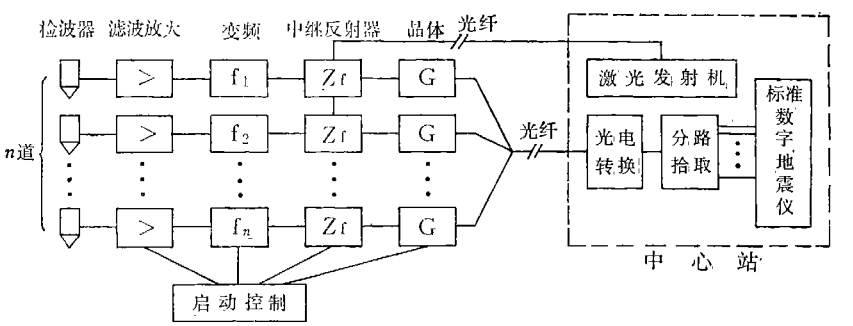


图 4　模拟量传输方案之二

以数字量传送可通过整形来滤除各种干扰、噪声等，可以高精度地放大地震波信息。模数转换实质上是将离散的模拟量变为脉冲数，也是一种调制。当然脉冲个数不是简单的与模拟量成线性关系，数字位还包含“位权”的因素，可称脉冲编码调制。数字的“0”、“1”为脉冲的有无，送入光源后，调制成光的明暗和有无；不同载频的脉冲使光具有不同的光频谱。

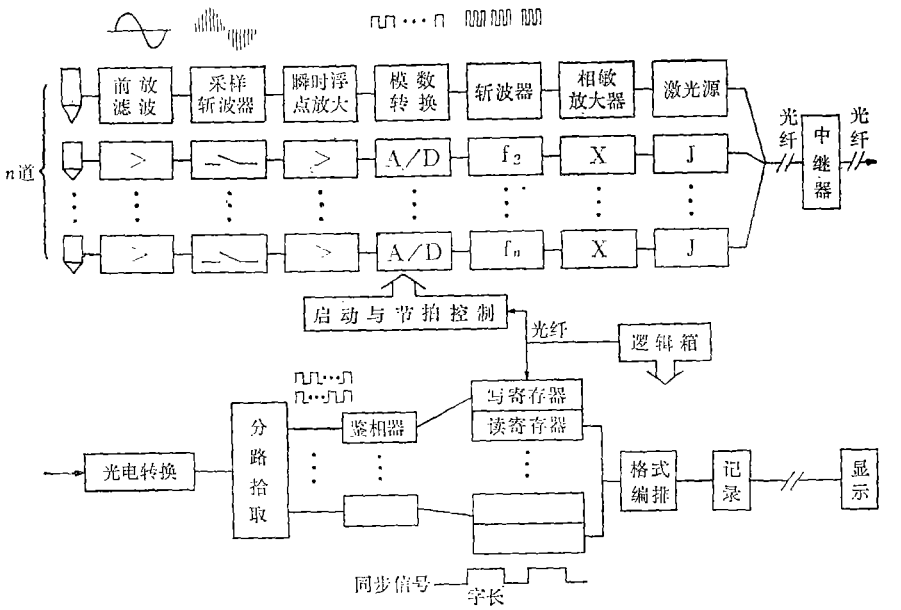


图 5　数字量传输方案原理框图

斩波器的频率即为载波频率，可根据脉冲重复频率的大小而定。若字长以14位表示，一个样的摄取时间为32μs，则脉冲重复频率为$f=\frac{14}{32}\times10^6\approx4.4\times10^5$（周/秒）约为几百千周级，因此调制载频可取兆周级，频道间隔可选0.5—1兆周。

在接收端，光信号经光电转换成电信号，经鉴相器恢复各道之数字脉冲，再经整

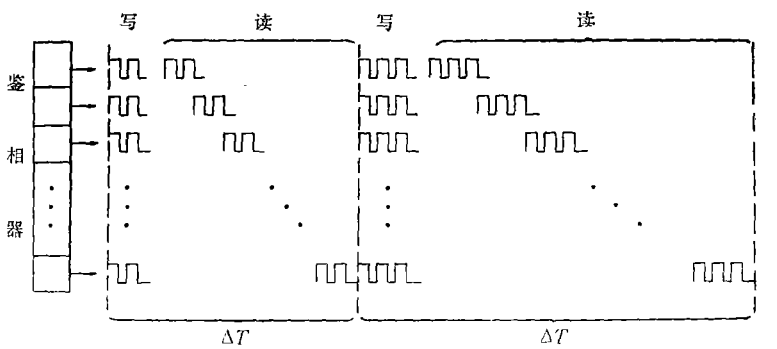


图 6

形、放大、格式编排处理后即可记录。关于记录顺序问题，经鉴相分路拾取后，以控制接收器的一个字长的节拍同时控制鉴相器的输出，即可拾取每道一个样的数字。借助于写寄存器与读寄存器，给各道以不同延迟时间，进行格式编排写入磁带机（类似于SN 348接收器之写、读寄存器，其示意图见图6）。当然，设备量要较普通数字仪增加一些，但可取得高传输率与高采样率，只要磁记录器的速度足够高即可。

中心记录部件是否可以直接采用光学系统记录，尚值得探讨，如能直接用激光唱盘式记录，其记录密度便可大增。如图7方式，不经光电转换而记录，回放显示时再光电转换、处理。可省去记录前的许多中间部件，也可大大缩小存贮器件的体积。在计算机处理时，配以特殊光电转换外围设备。

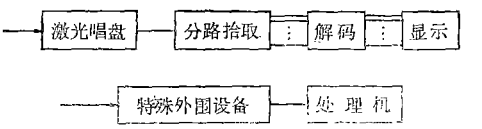


图 7

近年来，由荷兰菲利浦公司研制成功的快转“超密纹”激光唱片，采用激光和脉冲编码调制技术，信噪比高达85分贝，音质极好，记录密度高、唱头不直接触唱片，值得我们借鉴。

关于采样率与传输率问题

采样率高是指相同道数下，每采一个样的间隔时间短。如48道1毫秒，高于48道2毫秒；96道2毫秒，高于96道4毫秒；500道4毫秒，高于500道8毫秒。

由采样定理可知，采样率越高，高频响应越好，分辨力越高。为取得高采样率，一般要缩短每个样的摄取时间，子样的宽度愈小脉冲愈尖锐。如此，势必造成对其后模拟组件的响应速度要求越高，存贮延迟时间要求越短。这种常规方法限制了采样率的提高及道次的无限增多。道次越多，实现高采样率越困难，记录分辨率越低，这与多道化的目的相矛盾。

若能以自斩波采样，并行传输，各道互不牵制，则可降低响应速度指标，提高采样率。但采样率同时还受到模数转换速度的限制，故也不是可以无限制地增大的。目前采样率如能满足500周地震波无假频就算不错了。

传输率即传输速度问题，其大小取决于接收器的发送速度与中心记录部件的记录速度。各道数字量统一编码后串行传输的速度是有限的，要提高传输率须缩小脉冲间隔或采样间隔即脉冲频率，而以频率群形式并行传输其速率显然要高得多。

光纤地震仪的传输形式为高采样率、高传输率提供了有利条件，但其实现起来还需要提高模数转换的速度及其它指标。

光纤地震仪预测性能与SN348，GUS-BUS之对比，见表2。

最后，谈谈关于地震接收中的50周干扰的问题。所谓“50周”干扰，已有许多文章述及。它是包括高压输电线、低压输电线、电话广播线等对大线检波器的感应及漏电造成的干扰。其频率从47周到51周的范围。许多地方采用陷波器或补偿器来抑制这种干扰，但效果都不是很理想的，使用起来也很麻烦。光纤传输式地震仪可能会从根本上消除50周干扰。因为采用光纤维就不存在漏电与电感耦合的问题了。光纤切断了整个电的回

路，只要注意接收器的屏蔽及检波器的绝缘良好，就可消除50周干扰。

三种仪器的性能比较　　表 2

	SN 348	GUS-BUS	光纤地震仪
接收器	重4公斤，不用小线	重11公斤，要用小线	不用小线，重量可能相当
传　输	各接收站，一站一站地接传。传输率 400万位/秒	独立发送，最远可达8公里。传输率 64万位/秒	独立发送，可达任意远。传输率高于前二者
电　缆	6芯，外径11毫米，各道串行	双芯平线，加道可用4股，接收器可并接	光纤双股或四股，接收器可并接
磁带机	中心部件记录，1,600位/英寸或6,250位/英寸，密度要求较低	中心部件记录，8,000位/英寸，密度要求高	中心部件记录或激光记录转录到磁带机，密度要求高
道　数	500 道	384 道	理论上无限
采样率	125道　1ms; 250道　2ms; 500道　4ms	1,2,4ms	高于前两者
去假频	62.5、125、250周，大于4个样/周	80、160、320周，大于4个样/周	高于前两者
电　源	馈　线　供　电	电　瓶　供　电	电　瓶　供　电

由上面分析讨论可知，光纤地震仪所具备的特殊优越性是其它仪器所不能达到的，如绝缘性、抗干扰、多道次、远距离、高采样率、高传输率等，都是极有利的条件。

研制中的困难

研制光纤地震仪有如下困难：1.激光元、器件的小型化、集成化，使接收设备轻便；2.激光录制系统的研制，自动控制与读出系统的研制；3.采样率与传输率的提高问题；4.稳压电源小型化；5.采样开关速度与噪声电平之矛盾；6.要求光纤维耐拉伸。

本文内容是作者一些粗浅的认识与设想，谬误之处，恐难避免，借此抛砖引玉，望广大读者给以批评指正。

参 考 文 献

赴美法石油地球物理勘探考察报告，《石油地球物理勘探》，第6期，1978