



高等院校石油天然气类规划教材

地震勘探仪器原理

(第二版)

袁子龙 © 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等院校石油天然气类规划教材

地震勘探仪器原理

(第二版)

袁子龙 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从数据采集仪器系统的基本组成出发,阐述其各部件的电路原理。之后,以地震信号为主线,系统阐述地震数据采集仪器系统的组成及相关技术、地震数据记录系统和回放监视系统的组成及基本原理。最后,从适应高分辨率地震勘探的需要出发,给出了地震仪改进设计的探讨方案。本书的重点为数据采集仪器基本电路和地震数据采集系统及各自的相关技术。

本书可作为勘查技术与工程、地球物理学等相关专业的教材,也可供地球物理工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地震勘探仪器原理/袁子龙主编.—2版.

北京:石油工业出版社,2016.2

高等院校石油天然气类规划教材

ISBN 978-7-5183-1065-4

I. 地…

II. 袁…

III. 地震勘探—地震仪器—高等学校—教材

IV. TH763.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第314961号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com

编辑部:(010)64251362 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016年2月第2版 2016年2月第3次印刷

787毫米×1092毫米 开本:1/16 印张:11.25

字数:280千字

定价:25.00元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

第二版前言

地震勘探包括三大环节,即地震数据采集、地震数据处理和地震资料成果解释,其中地震数据采集是重要的基础环节。地震数据采集包括野外施工和仪器记录两方面,需按照地质任务的要求科学设计和严格执行施工方案,这需要一个好的采集记录仪器,因此采集记录仪器应具有能满足勘探成果指标要求的技术性能。

在上个世纪 80 年代至 90 年代的十多年期间,主要使用集中式数字地震仪进行二维地震勘探,典型的代表性仪器为美国产 DFS-V 和法国产 SN338 地震仪。90 年代期间,为满足三维地震勘探的需要,地震仪普遍换装为分布式多道遥测地震仪,典型的代表性仪器为法国产 SN368 地震仪。进入 21 世纪后,欧美又率先推出具有 24 位 $\Delta-\Sigma$ A/D 转换技术的多道遥测地震仪,典型的代表仪器为美国产 I/O SYSTEM-TWO 和法国产 SN388 地震仪,它们的动态范围大、记录精度高,生产道数达数千道,基本满足了高分辨率三维地震勘探的需要。

勘探技术的发展推动着地震勘探仪器的更新换代,同时地震勘探仪器的每一次技术更新与进步都包含了先进的电子技术、计算机技术、通信技术及网络技术。面对科学技术的高速发展和科学知识总量的“爆炸式”剧增,高等学校的专业课设置普遍具有学时少、门类多和知识新等特点。在上述背景下,编写适应地球物理专业教学需要,满足培养新时期高等工程技术人才需求的“地震勘探仪器原理”教材是十分重要的。

石油高等院校教材建设委员会在“十一五”期间组织编写了一批高等院校石油天然气类规划教材,《地震勘探仪器原理》就是此时期出版的规划教材之一。2011 年 8 月在黑龙江省大庆市召开了“第三次石油地质与勘探专业教学与教材规划研讨会”,会议决定启动石油高等院校“十二五”规划教材的编写工作,《地震勘探仪器原理》被确定为修订再版教材。

在“十一五”规划教材的基础上,编者对部分章节进行了调整。编者从重视专业知识基础出发,将数据采集仪器基本电路的相关内容独立编写为第三章。调整第四章内容为地震数据采集仪器系统的组成原理和地震勘探仪器在不同发展阶段的相关技术。第七章则从高分辨率勘探对地震勘探仪器的要求出发,对地震勘探仪器的改进设计进行了探讨,给出了地震仪改进设计的初步方案。

该教材注重地震勘探仪器的基本电路和各个部件的系统组成原理,删除了一些原有的非重点内容,同时在数据记录、回放监视系统中,增加和充实了遥测地震仪、SEG-D 格式等内容,使再版后教材能满足培养地球物理专业高等工程技术人才的需求。

本书的重点是数据采集仪器基本电路、地震数据采集仪器系统组成及相关技术,其次是地震数据记录系统和回放监视系统原理。在编写过程中,作者注重教材的系统性,力图做到原理阐述深入浅出,概念描述清楚准确。

本书主编为东北石油大学袁子龙教授,参编的有东北石油大学的李婷婷(副教授、博士)和韩刚(副教授、博士)。第一章、第六章由袁子龙编写,第二章、第三章由韩刚编写,第四章、第五章和第七章由李婷婷编写。全书由袁子龙统稿并审定。

由于编者水平有限,书中一定存在缺点和不足,恳请读者提出宝贵意见。

编者

2015 年 10 月

第一版前言

地震勘探技术正朝着不断提高分辨率和勘探精度的方向发展,三维地震和高分辨率地震勘探技术的普遍应用对地震勘探仪器提出了更高的要求,比如要求地震勘探仪器具有更大的动态范围、更宽的频带、更多的道数、更高的记录精度和具有高频提升功能等。正是在此情况下,近年来国外地震勘探仪器制造商先后推出了以 SN 388 和 I/O SYSTEM - TWO 为典型代表的新一代分布式遥测地震仪,为提高地震数据采集质量和实现高分辨率地震数据采集奠定了物质基础。

本书以地震信号为主线,全面系统地阐述了地震检波器、地震勘探仪器的数据采集系统、记录系统及回放监视系统的组成和基本原理。同时对地震勘探仪器中的新技术,如 24 位 $\Delta - \Sigma$ A/D 转换技术、频谱整形滤波器技术等作了详细深入的阐述。该书可作为勘查技术与工程及相关专业的教材,也可供地球物理工程技术人员参考。

本书由袁子龙教授(大庆石油学院)、狄帮让教授(中国石油大学)和肖忠祥副教授(西安石油大学)共同编写。第一章、第二章、第三章由肖忠祥编写,第四章由袁子龙编写,第五章、第六章由狄帮让编写。全书由袁子龙统稿,大庆石油学院韩刚老师清绘了书中的全部图件。

进入 21 世纪以后,科学技术迎来了新的迅猛发展阶段,高等教育正面临着一个新的发展期,编写一本适应新形势的地震勘探仪器教材既是迫切的需要,也是要经过长时间的努力工作才能完成的任务。由于编者的水平和时间有限,本书在内容选材、系统结构等方面难免有错误及不妥之处,热诚地希望读者提出批评意见。

编者

2005 年 10 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 地震勘探仪器的任务、研究方法	(1)
第二节 地震勘探仪器的发展概况	(2)
第三节 地震勘探对地震勘探仪器的基本要求	(9)
第二章 地震检波器	(14)
第一节 电动式地震检波器	(14)
第二节 压电式地震检波器	(21)
第三节 涡流式地震检波器	(25)
第四节 数字地震检波器(MEMS)	(28)
第三章 数据采集仪器基本电路	(33)
第一节 仪器输入电路	(34)
第二节 低噪声前置放大器	(39)
第三节 电模拟滤波器	(44)
第四节 多路采样开关(MUX)	(62)
第五节 模数转换器(A/D)	(66)
第四章 地震数据采集仪器系统及相关技术	(77)
第一节 地震数据采集仪器系统的基本组成	(77)
第二节 瞬时浮点放大技术(IFP 技术)	(81)
第三节 合一型模拟/浮点数转换技术	(93)
第四节 24 位 $\Delta - \Sigma$ A/D 转换技术	(100)
第五节 频谱整形滤波技术	(108)
第五章 地震勘探仪器的数据记录系统	(112)
第一节 数字磁带机基本原理	(112)
第二节 数字磁带记录格式	(114)
第三节 地震数据写编排电路原理	(124)
第四节 磁带记录编码及写入电路	(128)
第六章 地震勘探仪器的回放监视系统	(135)
第一节 磁带信息的读出与数据恢复(读电路)	(136)
第二节 SEG 格式数据解编	(139)

第三节	数字自动增益控制(数字 AGC)	(142)
第四节	数模转换器、反多路转换开关和回放滤波器	(149)
第五节	回放显示仪简介	(152)
第七章	高分辨率勘探与地震仪改进	(159)
第一节	地层吸收衰减效应	(159)
第二节	电模拟反 Q 滤波器原理	(162)
第三节	电模拟反 Q 滤波器电路设计	(167)
参考文献		(170)

第一章 绪 论

第一节 地震勘探仪器的任务、研究方法

地震勘探(图 1-1)是地球物理勘探的重要方面。它利用人工方法激发地震波,在地面利用地震检波器和地震勘探仪器,接收和记录地震反射波,通过对地震反射波的分析,研究地震波在地层中传播的规律,以查明地下地层的构造、岩性等地质特征,为寻找油气或其他矿藏服务。与其他物探方法相比,地震勘探具有精度高、分辨率高、勘探深度大等优点,已成为石油勘探中最有效的勘探方法。在西方发达国家,石油勘探总投资的 90% 用于地震勘探。在我国,自大庆油田发现以来,新发现的油田有 90% 是用地震勘探方法找到的。目前在我国的石油物探队伍中,绝大部分是地震队。

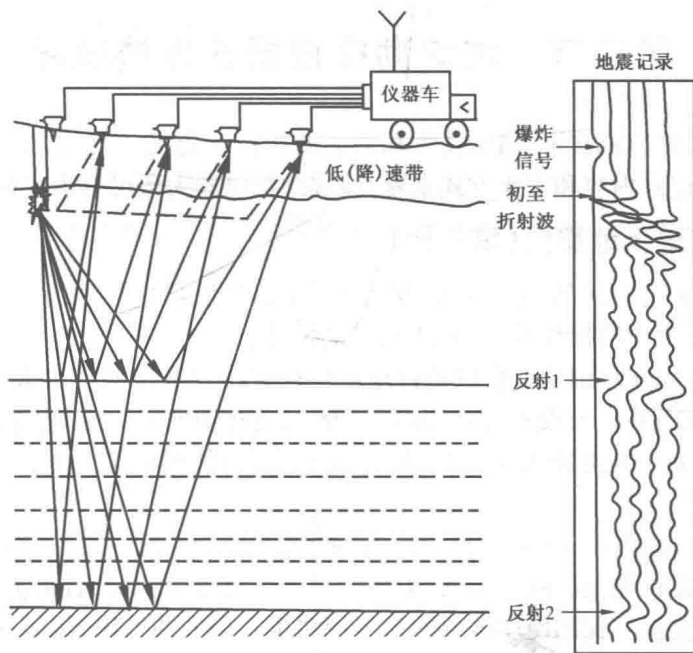


图 1-1 地震勘探工作示意图

地震勘探基本上可分为野外数据采集、室内资料处理、地震资料解释三个阶段,每一个阶段都需要使用一定的设备才能完成预期的任务。没有这些设备作为工具和手段,地震勘探理论再完善也不能付诸实施,也无法达到勘探的目的。地震勘探装备是地震勘探的物质基础,一个国家地震勘探装备的状况,很大程度上反映了这个国家的石油勘探水平。

地震勘探装备的种类多、涉及范围广,其中直接用于野外地震数据采集的专业设备称为地震勘探仪器。地震勘探仪器的任务是将由震源激发的,并经地层传播反射回地表的地震反射波接收和记录下来。地震勘探仪器主要包括地震检波器和记录仪器,地震检波器接收地震波并将其转换成电信号,记录仪器对地震电信号进行放大、滤波、采样、模数转换等处理,再把它

记录下来成为野外地震记录。

地震勘探第一阶段(野外数据采集)的最终成果,就是地震勘探仪器产生的野外地震记录。这些野外地震记录是地震勘探的资料处理和资料解释的原始依据和工作基础。地震勘探仪器本身性能好坏和使用是否恰当,直接影响地震记录质量,也就必然影响到后期的资料处理和资料解释工作,最终势必影响地震勘探效果。所以,地震勘探仪器是地震勘探装备中最基础的装备,也是最关键、最重要的设备。正是由于地震勘探仪器在地震勘探中具有很重要的地位和作用,所以地震勘探仪器原理历来是地震勘探这门学科中一个不可分割的内容。

研究地震勘探仪器不应该单纯从电子技术角度去分析地震勘探仪器的局部电路,而应该将电子技术、计算机技术等与地震勘探原理紧密结合起来,以地震勘探的要求为依据,研究地震勘探仪器的整机组成和各个组成模块之间的联系及影响,研究实现整机系统功能对各个组成模块的技术指标要求等等。

地震勘探仪器的突出特点就是型号多、更新快,具体电路千差万别。尽管如此,地震勘探仪器整机原理基本上是相同的,而且变化不大。如果我们既掌握了仪器整机的基本原理,又具有扎实的电子电路技术、计算机技术、通信技术及网络技术理论基础,就能很快胜任使用、开发和研制地震勘探仪器的工作。

第二节 地震勘探仪器的发展概况

随着电子技术、计算机技术、通信技术和地震勘探技术的飞速发展,地震勘探仪器也在不断发展和完善。从记录内容和工作方式来看,地震勘探仪器大致可分为五代。

一、模拟光点记录地震仪(第一代)

从20世纪30年代初到50年代末或60年代初,这一阶段大体经历了30多年,是地震勘探的初期,也是五代地震勘探仪器经历时间最长的一代。

在国外,应用模拟光点记录地震仪进行地震勘探曾找到和探明多个大型油气田。中华人民共和国成立前,我国基本上没有地震勘探,中华人民共和国成立后地震勘探才迅速发展起来。从20世纪50年代初到60年代末或70年代初,我国使用模拟光点记录地震仪进行地震勘探。

1951年,我国成立了第一个地震队,使用模拟光点记录地震仪在西北地区开展工作。所使用的地震勘探仪器首先是苏联制造的51型模拟光点记录地震仪,后来是我国仿制的57-1型模拟光点记录地震仪。我国使用该仪器初步探明了几个大油气田,例如克拉玛依油田,大庆油田、胜利油田、玉门油田等。

模拟光点记录地震仪的基本组成如图1-2所示。其检测电路有三方面的功能:(1)检测地震检波器和大线的通路及对地漏电情况,以确保地震检波器和大线之间接触良好;(2)产生测试信号,使仪器检测时并联输入同一个测试信号;(3)正常野外数据采集时使各地震道独立工作。经过检测电路后,前置放大器对地震信号给以固定增益的放大,然后进行适当的高低滤波,再进行自动增益控制的放大处理,以确保无论是来自浅层还是深层的地震反射波都能得到清晰的成像。最后由检流计和感光照相系统将地震信号记录下来,成为地震勘探的原始资料——感光照相地震记录,可直接用于地震资料的地质解释。

模拟光点记录地震仪的主要特点如下:

(1)地震记录为模拟波形光点感光照相记录。此种记录不能做回放处理,故模拟光点记

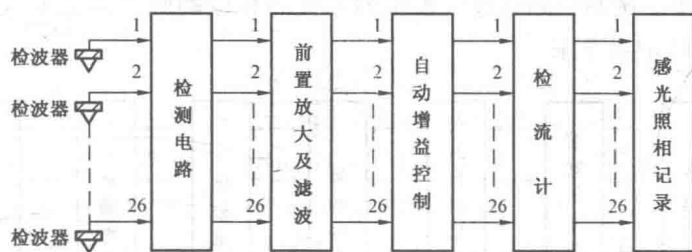


图 1-2 模拟光点记录地震仪基本组成示意图

录地震仪不可作多次覆盖地震勘探。在现场进行生产时,接收记录之前必须选好激发和接收因素(参数),否则无法补救。同时仪器操作比较复杂,记录需经洗相才能完成。

(2)地震资料的处理只是简单的手工整理,工作效率低,质量也难以保证。

(3)记录器动态范围小,一般只有 20dB 左右。为了适应记录器动态范围的需要,在地震放大器中用了自动增益控制器(AGC)来压缩地震信号的输出动态范围。但自动增益控制是非线性的,不能记录放大器的增益值,故不能恢复原信号。因此,使用模拟光点记录地震仪只能解决某些几何地震学的勘探问题,即只能用于构造勘探。

(4)地震记录频带窄,一般为 30Hz 左右,使大量有效波丢失。滤波器的中心频率一般为 20Hz、30Hz、40Hz、50Hz 等,其频带为 28 ~ 40Hz。

(5)采用电子管电路。与晶体管和集成电路相比,电子管电路体积大、重量大、耗电量多。

(6)仪器操作自动化程度低,操作复杂,生产中容易出现废品记录,生产效率低。

(7)地震道数少,一般为 26 道,只能作二维地震勘探。

(8)只适用于地震地质条件较简单的地区工作,复杂地区不能获得好的地震资料。

二、模拟磁带记录地震仪(第二代)

从 20 世纪 50 年代初到 60 年代末,模拟磁带记录地震仪这一阶段经历了约十几年。第二代是五代地震勘探仪器经历时间最短的一代,是地震勘探仪器发展的中期。

1951 年美国研制成第一台模拟磁带记录地震仪,西方国家于 1964 年全部换代使用模拟磁带地震仪。我国 1965 年引进法国 CGG59 型模拟磁带记录地震仪,1966 年西安石油仪器厂研制成 DZ661 型模拟磁带记录地震仪,与之匹配的是 DZ662 型基地回放仪。改进后为 DZ663 型模拟磁带记录地震仪和 DZ664 基地回放仪。到了 1970 年又改进并生产了 DZ701 型模拟磁带记录地震仪。我国先后生产了几百台模拟磁带记录地震仪,满足了当时地震勘探的需要。这期间对原来的油气田作了进一步勘探,又初步探明了一些新油气田,如大港油田、辽河油田、南阳油田、中原油田和江苏油田等。

模拟磁带记录地震仪在开始时是直接记录式的,即由磁记录器直接记录模拟地震信号。但由于直接记录式的记录动态范围小、抗干扰能力差,很快改为经过调制的记录,它比直接记录式的动态范围稍大一些。西安石油仪器厂生产的为脉冲调宽式模拟磁带记录地震仪,重庆地质仪器厂生产的为调频式模拟磁带记录地震仪。

脉冲调宽式模拟磁带记录地震仪的基本组成如图 1-3 所示。首先,检测电路对来自地震检波器的地震信号在正式生产记录时进行各道独立传送,经过前置放大及滤波以后进行公共自动增益控制处理。公共自动增益控制与普通的自动增益控制不同,它将各道放大器输出的一部分整流成直流,经相加以后输入给公控放大器,公控放大器的输出就作为各道放大器增益

调整的公共控制电压。调制电路将连续模拟信号变为相应的脉冲调宽方波信号,之后送至磁记录器(模拟磁带机)记录下来。

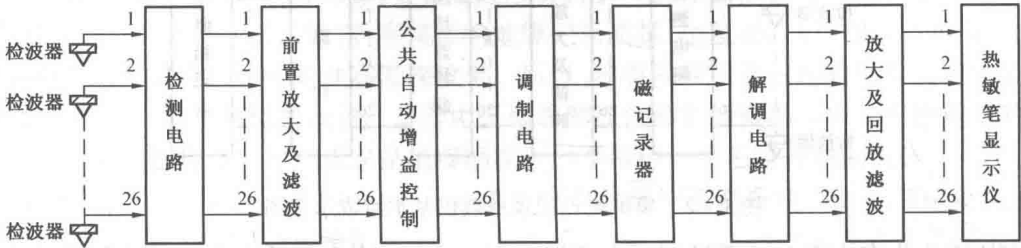


图 1-3 脉冲调宽式模拟磁带记录地震仪基本组成示意图

进行回放处理时,首先由解调电路将读出来的脉冲调宽方波变为振幅变化的连续模拟信号,经过放大和必要的滤波以后,将信号送至热敏笔显示仪,在热敏纸上显示出模拟波形的地震监视记录,供解释和检查仪器时使用。在回放放大处理时也要进行自动增益处理,以压缩输出的动态范围,使之能在一张记录上清晰显示深浅层地震反射波。

模拟磁带地震仪的主要特点如下:

(1) 所得原始地震资料为模拟磁带记录和热敏纸模拟波形地震监视记录。模拟磁带记录可以回放处理,因此模拟磁带地震仪可以作多次覆盖。因为模拟磁带记录在回放转录叠加时信噪比要降低,一般每转录一次要降低 6dB,因此限制了多次覆盖的次数,一般为 6 次、12 次。模拟磁带记录可以做某些数据处理,如计算速度谱等。

(2) 地震资料处理可以用半自动化的基地回放仪进行,得到模拟波形记录和时间剖面图,比模拟光点地震仪的资料处理有了较大的改进,但资料处理的速度仍比较低,质量还不高,方法也比较少。

(3) 磁记录器的动态范围稍大些,一般为 40 ~ 50dB,仍然达不到不失真记录的要求,因此仍然只能作某些构造地震勘探。采用直接记录式要受磁头与磁带磁化非线性的限制;采用脉冲调宽式则受调制器动态范围的限制,超调使地震记录波形失真,降低了地震记录质量。以上限制均影响了记录的动态范围。

(4) 采用公共自动增益控制(公共 AGC)和程序增益控制(PGC),仍然存在着增益跟踪速度低、非线性失真的问题。虽然设有增益测量道曲线,但其测量误差大,一般可达 30%,不能做定量计算,只能做定性估计。

(5) 记录滤波器频带较宽,一般在 15 ~ 120Hz 范围内。回放时可以选择回放滤波挡,得到所需的地震波,这比模拟光点地震仪有了较大的改进。

(6) 采用晶体管电路,与电子管电路相比,具有体积小、重量轻和耗电量少等优点。

(7) 模拟磁带地震仪的操作为半自动化的,比模拟光点地震仪有了较大的改进,使操作较简单,不易出废品记录,也不再需洗相即可完成热敏纸模拟地震波的显示成像。

(8) 地震道数仍然沿用模拟光点地震仪的道数,一般为 26 道,后来改为 48 道。

总之,模拟磁带记录地震仪比模拟光点记录地震仪有了较大的改进,使地震勘探仪器发展到一个新的阶段。模拟磁带记录地震仪主要解决了原始磁带记录可以进行回放处理的问题,但仪器的主要技术指标还远未达到地震勘探的要求,所以它只适用于在地震地质条件较简单的地区进行构造地震勘探工作。

三、集中式数字地震仪(第三代)

20 世纪 70 年代初,在前两代地震勘探仪器的基础上,发展了基于瞬时浮点增益控制放大技术、模数转换技术、数字磁记录技术、通信技术的第三代地震勘探仪器——集中式数字地震仪。如美国得克萨斯公司 1970 年研制的 DFS - V 型数字地震仪,法国舍赛尔公司研制的 SN338B 型数字地震仪,增益控制范围均为 0 ~ 84dB,每个增益台阶为 12dB。

瞬时浮点放大器于 1970 年由美国得克萨斯公司最先研制出来,此后其他公司也陆续研制出一些别具一格的瞬时浮点放大器。瞬时浮点放大器是指对每一个地震信号,在几十微秒时间内,可以在 0 ~ 84dB 或 0 ~ 90dB 之间选择其最佳增益,使信号得到接近满量程地放大,以提高仪器的测量精度,扩大仪器的动态范围。短时间的调整并确定增益即“瞬时”,可以大大地提高增益跟踪速度。

集中式数字地震仪的基本组成如图 1 - 4 所示。在数据采集过程中,检波器输出模拟电压信号经大线送至前置放大器进行固定增益放大,以利于后续滤波处理;放大后的信号要进行各种电模拟滤波处理,其中包括用于除面波的低切滤波器,用于防假频的高切滤波器和用于除去工业电磁干扰的陷波器;然后信号被送入多路采样开关,进行时分复用转换(实现多路合一)并同时完成采样工作;多路合一的各道串行子样脉冲送至瞬时浮点(IFP)放大器,IFP 放大器对于小信号自动选择较大增益,对于大信号自动选择较小增益,进行多次的增益调整后确定最后的最佳 IFP 增益。由 IFP 放大器的工作方式可知,设置 IFP 放大器使得集中式数字地震仪具有较大的动态范围和较高的数据记录精度。IFP 调整后的模拟子样尾数被送至 15 位逐次逼近型模数转换器(A/D)进行模数转换;IFP 产生 3 位增益码和 A/D 输出的 15 位尾数构成 18 位浮点数。记录逻辑电路则按照 SEG 协会规定的格式将浮点数编排成字节形式,之后再进行磁带写入编码,最后将数据送往数字磁带机记录。

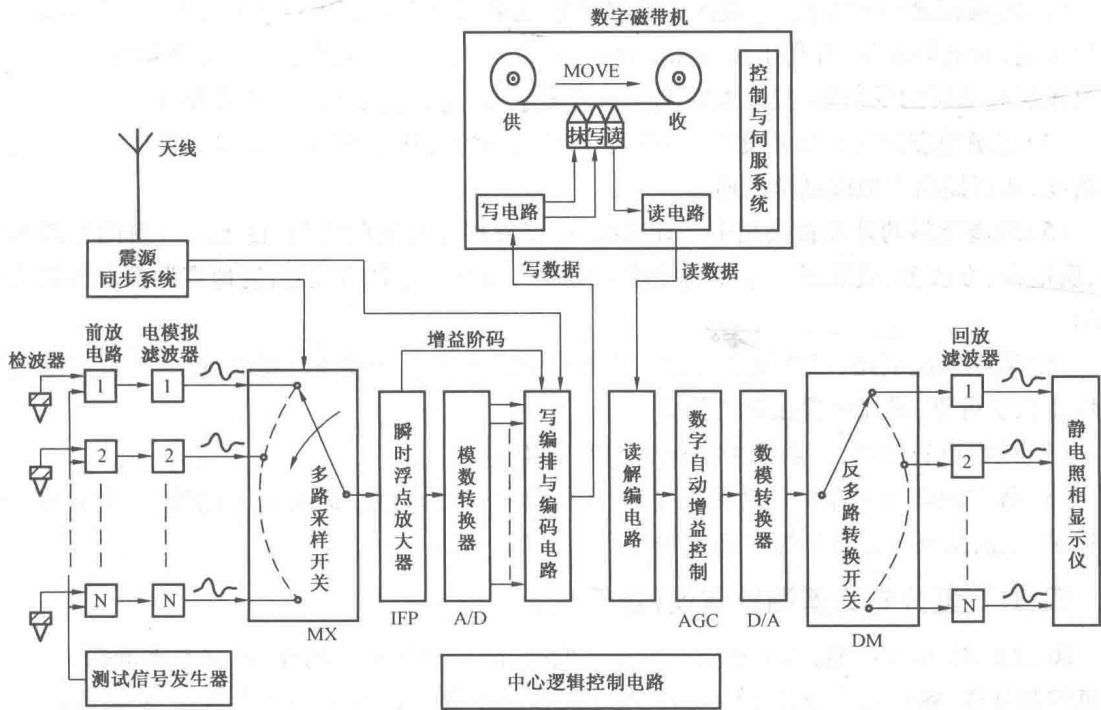


图 1 - 4 集中式数字地震仪基本组成示意图

集中式数字地震仪的另一重要部分是它的回放(记录的逆过程)系统。首先,对从磁带上读出的格式数据进行解编,解编后的数据是18位浮点数。由于回放显示仪动态范围小,所以必须进行自动增益控制,以压缩数据的动态范围,使每道地震信号都能在监视记录纸上清晰显示。数模转换器将二进制形式的回放数据转换成多路串行的离散子样脉冲。反多路转换开关将多路串行子样变为多路并行,回放滤波器则将每道的离散子样脉冲变为连续的地震信号,然后去回放显示仪形成野外监视记录。应该强调的是,监视记录上只能看到地震波的运动学特征,而看不到其动力学特征。其原因有二,一是自动增益控制改变了信号的真实振幅,二是回放滤波器使信号失去了一些必要的高频成分。所以,从监视记录上只能判断野外采集工作是否正常,要想了解采集信号的真实质量,需要实时地对信号进行高保真现场处理。

集中式数字地震仪采用增益范围为0~84dB IFP放大器和14位A/D转换器,使其动态范围理论上可达168dB,但实际考虑仪器噪声等因素的影响,仪器的系统动态范围也可达110~120dB。

集中式数字地震仪的特点如下:

(1)所得地震勘探原始资料为数字磁带记录和模拟波形地震监视记录。这样就使数字地震仪除具有模拟磁带记录地震仪的优点,即可作回放处理和多次覆盖以外,更可作高次的多次覆盖,覆盖次数不受限制。因为数字磁带记录在转录叠加时,其信噪比不降低。在实际应用上可作12次、24次、……、96次的多次覆盖地震勘探。

(2)IFP放大器和模数转换器合在一起的动态范围大大提高,理论动态范围可达168dB,系统动态范围也在110~120dB,可基本满足地震勘探精度的需要。这样就可以使地震勘探不仅利用地震波的运动学特征进行构造勘探,还可以利用地震波的动力学特征进行岩性勘探和直接找油找气的综合地震勘探,使地震勘探的水平提高一大步。

(3)地震记录的频带宽,一般前放滤波器的通频带在3~250Hz,有的可达3~500Hz。记录频带宽,对低频来说,有利于接收深层反射波,以进行深层地震勘探;对高频来说,可有利于接收浅层和薄层的反射波,提高地震勘探的分辨率,以进行浅层和薄层地震勘探。

(4)记录地震波的振幅精度高,一般为0.1%,高的可达0.05%。这样就提高了地震勘探的精度,从而提高了地震勘探的质量。

(5)地震资料的处理直接用电子计算机,可以发挥计算机的优势,使地震资料的处理速度快、质量高、方法多、效果好。这样就使数字地震仪与电子计算机配套,使地震勘探发挥最大的作用。

(6)采用集成电路,可使复杂的数字地震仪变得体积小、重量轻、耗电量小,使数字地震仪的性能稳定可靠,确保仪器正常工作。

(7)地震道数较多,一般为48、60、96、120、240道。

(8)数字地震仪的操作自动化程度高、操作简单、维修方便,提高了工作效率,更不易出废品记录,从而保证了地震勘探的高效率生产。

四、IFP型分布式遥测地震仪(第四代)

20世纪80年代后期,为了适应三维地震勘探、高分辨率地震勘探、多波地震勘探、超级计算机控制处理、磁记录等新技术的发展,推动研制出了分布式多道遥测地震仪,此阶段的分布式多道遥测地震仪仍然采用瞬时浮点放大技术(IFP放大技术),典型的代表仪器是法国舍赛

尔公司生产的 SN368 地震仪。

分布式遥测地震仪的基本组成框图见图 1-5。所谓遥测,就是利用电缆、光缆、无线电或其他传输技术对远距离的物理点进行测量。分布式遥测地震仪由许多分离的野外地震数据采集站和中央控制主机组成。采集站布置在接收地震信息的物理点附近,并以数传方式将信息传输到中央控制主机,中央控制主机则对各个采集站的数据采集过程进行实时控制。采集站的组成与集中式数字地震仪的采集系统基本相同,典型的技术特征是 IFP 放大技术,所以将第四代地震勘探仪器称为 IFP 型分布式遥测地震仪。

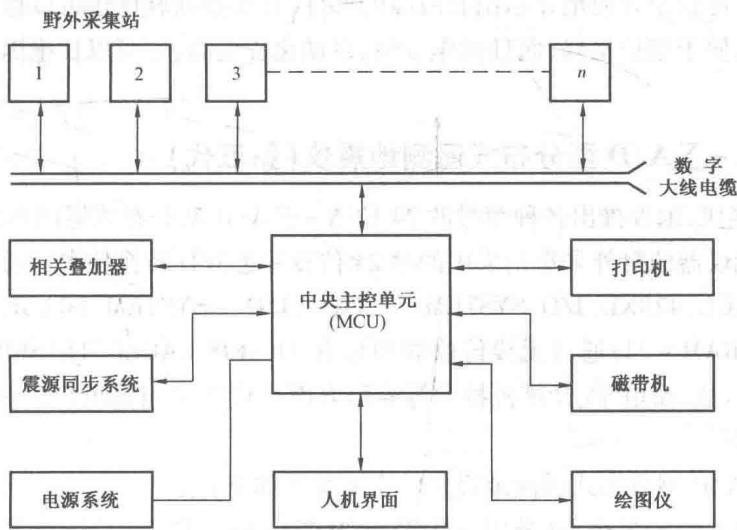


图 1-5 分布式遥测地震仪基本组成示意图

陆上电缆传输 IFP 型分布式遥测地震仪有:SN348、SN368、WAVE—Ⅲ等,国产有 YKZ480、SK1004、SK1005 等型号。光缆地震数据采集系统有 MDS-14、MDS-16、MDS-18、DFS-VII-200、Fiber Seis 等型号。无线电遥测地震数据采集系统有 OPSEIS 5586、TELSEIS、DIGISEIS-200、MYRIASEIS 等型号。

分布式遥测地震仪的主要特点如下:

(1) 遥测地震仪没有数据采集电路与检波器之间的大线电缆,而是使用放在检波点上的采集站将检波器输出的模拟信号转换成数字信号后向中央主控单元传送。由于数字信号传输的抗干扰能力强,避免了传送模拟信号时大线所固有的道间串音、天电干扰、工频干扰等。革除了原有的笨重的大线。

(2) 由于遥测地震仪排除了集中式数字地震仪那些限制记录道数的因素,其道数扩展只受到数据传输速率的限制,因此遥测地震仪地震道数可达 120 道、240 道、480 道、千道甚至万道,适用于三维地震勘探,施工效率高。

(3) 遥测地震仪由于道数多、采样率高,必须使用高密度的数字磁带机,采用 SEG-D 格式、GCR 编码进行记录。

(4) 遥测地震仪均采用计算机对整个系统进行可编程控制,要增加系统的新功能,可不作硬件上的修改,只要添加新程序就可以了。因此,采用计算机控制,系统功能得到大大增强。

(5) 道数的不断扩展和分辨率的提高,不仅要求解决模数转换速度不适应的问题和提高

记录密度,而且由于总的数据量急剧增加,也使计算中心的计算机数据处理工作量几倍甚至几十倍地增加。由于遥测地震仪在野外可用计算机对数据进行部分预处理,这样就压缩了数据量,减轻了计算中心的工作负担。

(6) 遥测地震仪可用计算机及时地对记录数据进行现场处理,能对有效波和干扰波进行定量测量,随时计算出数据采集的信噪比,甚至还可以绘制出时间剖面,这样就能及时地选定最佳的野外方法和最佳的仪器参数,以获得高质量的地震记录。

(7) 由于遥测地震仪配备了成套的诊断和测试软件,可以使操作人员全面检查各个部件的性能指标,并且可以很方便地显示出有故障的部件,有的诊断软件还可以检查出具体的有故障的器件。因此,便于维护检修,而且操作方便、自动化程度高,它可以杜绝因操作不当引起的废炮。

五、24 位 $\Delta - \Sigma A/D$ 型分布式遥测地震仪(第五代)

20 世纪 90 年代,国外推出各种型号的 24 位 $\Delta - \Sigma A/D$ 型分布式遥测地震仪。与第四代仪器不同,第五代仪器的野外采集站采用的是 24 位 $\Delta - \Sigma A/D$ 转换技术。通过电缆传输的型号有: SN388、408UL、428XL、I/O SYSTEM - TWO、I/O - SYSTEM IMAGE、I/O - SYSTEM FOUR、VISION、ARAM - 24;通过无线传输的型号有: OPSEIS EAGLE、TELSEIS STAR 等,这些仪器在地球物理方法、微电子、计算机技术等应用方面均代表了当前世界先进水平,被称为第五代地震勘探仪器。

24 位 $\Delta - \Sigma A/D$ 型分布式遥测地震仪的主要特点如下:

(1) 仪器具有更高的采样率(分别为 0.25ms、0.5ms、1ms 和 2ms),通过提高数字去假频滤波器的陡度扩展频带至 0.8 倍奈奎斯特频率,使仪器有更宽的频带,有利于记录高频信号,适合于进行高分辨率地震勘探。

(2) 采集站中使用了 24 位 $\Delta - \Sigma A/D$ 转换器,即使不设置瞬时浮点放大器,仪器的理论动态范围也可达 138dB,系统动态范围也在 110 ~ 120dB。加之采集站模拟电路系统中去掉了电模拟滤波器,大大降低了模拟电路产生的噪声、相移和波形畸变,简化了采集站的电路,使元器件的集成度更高、更轻便,功耗也更低。

(3) 记录容量达到数千道甚至上万道,非常有利于开展大规模的三维地震勘探。

(4) 实用的多道数字地震仪仍以有线数传方式为主。随着传输频率的不断提高,传输媒介采用了双绞线或细同轴线。但光纤仍较少使用,站间距可达 600m,单线采集能力可达 2ms 采样、600 道。普遍使用交叉站以扩展多线能力。

(5) 普遍重视人机界面的应用,小至笔记本或 PC 机,大到工作站均可以使用。软件图形能力越来越强,多窗口界面的应用日趋普遍。

(6) 实时相关处理能力越来越强,噪声编辑及叠加算法不断改进,双源的相关技术使用日益广泛,具有千道实时处理的相关器。

(7) 仪器及采集站的设计上,大量使用了各种专用集成电路。某些专门设计的电路可达数万门乃至十万门以上的规模。主机的设计中采用了较多的 DSP 芯片,将数字信号处理功能引入到数据采集过程,可完成数字滤波、抽取、FFT 及叠加等多种功能。

第三节 地震勘探对地震勘探仪器的基本要求

地震勘探仪器将返回地表的地震波记录下来,为工程技术人员推断地下地质情况提供依据。为了保证工程技术人员能准确、细致地推断地下的地质情况,就要求地震勘探仪器尽可能真实地把地震波的各种特征记录下来,既不丢失有用的信息也不增添任何不需要的成分,这是衡量一个地震勘探仪器性能好坏的标准,也是设计和制造地震勘探仪器的基本要求。为了深入理解这个问题,先来看看到达地面的地震波是怎样形成的?它有哪些特征?然后再研究要将这些特征记录下来,地震勘探仪器应具备哪些功能?

一、地震波的形成

如果将某工区的地层看成是一个系统,将震源激发产生的激发波形看成这个系统的输入信号,那么达到地面的地震波就是这个系统的输出。对同一地层来说,如果震源和激发条件不同,它所产生的激发波波形也不同,到达地面的地震波波形也就不同;另一方面,在两个工区,即使震源和激发条件完全相同,但由于地下地质情况不同,到达地面的地震波波形也不会相同。我们将震源及其激发条件对激发波波形的影响称为“震源效应”,将地震波在地层中传播时受到的各种影响统称为“地层效应”。到达地面的地震波波形便可认为是“震源效应”和“地层效应”共同作用的结果。影响地震波振幅、频率特征的“地层效应”主要有以下三种。

1. 波前扩散

所谓波前扩散是指地震波从震源向四面八方传播,其散布的面积即波前面的面积随传播距离的增加而增大的现象。因此,即使总能量没有变化,单位面积上的能量也会越来越小,从而使地震波的振幅也越来越小。在均匀介质中,这种波前扩散为球面扩散。设在半径为 r_1 和 r_2 的波前面上,地震波振幅分别为 A_1 和 A_2 ,则

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad (1-1)$$

即地震波的振幅与其传播距离成反比。

2. 吸收效应

地震波在介质中传播时,其总能量实际上并不是没有变化的,而是部分地逐渐被介质吸收。一般认为,在均匀介质中吸收效应使地震波的振幅呈指数衰减。设地震波的频率为 f ,起始振幅为 A_0 ,经过时间 t 传播 d 距离后,由于吸收效应,振幅将变为

$$A_t = A_0 e^{-\pi f d / Q} \quad (1-2)$$

式中 Q 为反映岩石吸收衰减特性的品质因数。吸收衰减的分贝数为

$$M = 20 \lg \frac{A_t}{A_0} = \frac{-27.27 f t}{Q} \quad (1-3)$$

由上式可见,对于同一种岩石来说,同一频率的地震波在地下旅行的时间越长,其振幅则越小。在旅行时间相同的情况下,地震波的高频成分比低频成分衰减要快。因此,浅层反射波到达地面时振幅强,主频(振幅谱尖峰处频率)高;深层反射波到达地面时,振幅弱,主频低。