

技术 方法

高效采集地质雷达的研制及应用

彭苏萍, 杨 峰, 苏红旗
(中国矿业大学北京校区, 北京 100083)

[摘 要]在研究国外地质雷达的基础上,设计和研制出具有我国自主产权的高效采集地质雷达系统。该雷达具有操作简便、抗干扰能力强、宽频发射、全兼容天线的主机和相应的发射、接收系统。通过物理模型实验和现场实验,充分说明本系统的可行性、精确性和稳定性。本系统的研制,将推动国内地质雷达技术的发展,为高质量的工程检测提供技术支持。

[关键词]地质雷达 信号控制 扫描探测 剖面显示
[中图分类号]P631.3 [文献标识码]A [文章编号]0495 - 5331(2002)05 - 0063 - 04

目前,国内主要从美国、加拿大、瑞典、英国、日本引进有关地质雷达产品。尽管地质雷达在工程探测中具有众多的优点,由于电磁波的衰减和振荡特性,以及地下介质的多样复杂性,目前地质雷达在实际应用过程中,对深部有效信号的拾取均存在许多不确定性,因此研究高精度、高抗干扰性、高发射功率的地质雷达是目前市场迫切的需要。

作者在长期应用和研究地质雷达过程的基础上,分别从硬件和软件着手,开发出具有我国自主知识产权的完整的地质雷达系统,并在实际应用中,取得很好的应用效果。本文主要介绍本雷达的硬件系统。

1 硬件系统的研制

1.1 硬件结构系统的设计

图 1 为地质雷达硬件结构系统的框图。它是由

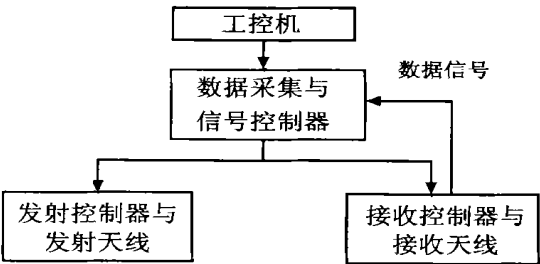


图 1 硬件结构系统框图

工控机、数据采集与信号控制器、接收控制器与接收天线、发射控制器与发射天线 4 部分组成。

1.2 工控机
采用工业标准的主板设计,使用流行的 PCI 标准接口进行数据流的快速输入与输出。

1.3 数据采集与信号控制器
该单元位于工控机主板的 PCI 扩展槽内,主要功能有:与工控机进行数据交换、数字化接收信号、产生具有严格时间延迟的控制脉冲。主要电路有:接口及地址译码电路、前置放大及 A/D 数模转换电路、时基电路。其中时基电路又由如下控制电路组成:译码锁存、D/A 数模转换、恒流源及快斜坡产生器、比较器、高速开关。本控制器可以控制 0.1 ns 宽度的输出脉冲,步进延迟可达 0.012 ns,使主机真正具备全兼容天线的功能。各电路模块的信号控制流程见图 2 所示。

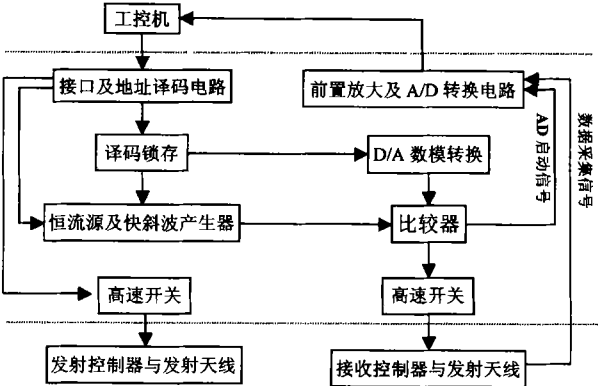


图 2 数据采集与信号控制器各电路控制流程示意图

[收稿日期]2002 - 04 - 11;[修订日期]2002 - 06 - 01;[责任编辑]曲丽莉。
[基金项目]国家自然科学基金仪器专项(50127402)资助项目
[第一作者简介]彭苏萍(1959 年 -),男,教授,博士生导师,长江学者(特聘教授),主要研究地球物理探测技术和设备、地下工程地质。

各电路主要功能为:

接口及地址译码电路:为各电路分配系统地址,同时将固定时间延迟发送给控制发射单元的高速开关。

前置放大及 A/D 转换电路:将采集模拟信号放大并数字化。

译码锁存:将从主机来的数据进行译码锁存,送到 D/A 数模转换电路进行步进控制,或送到恒流源进行换档控制。

D/A 数模转换:将译码锁存的数据进行 D/A 变换,D/A 数模转换的输出与快速斜坡在比较器中比较,从而输出延迟脉冲触发信号。脉冲信号的延时或步进得到精确的控制。

恒流源与快斜坡产生器:用恒流源对电容充电,从而产生线性度非常好的快速斜坡,这对精确控制延时或步进是十分必要的。换档就是对不同斜率的快速斜坡进行切换。

比较器:将两路 D/A 数模转换的输出与快速斜坡在进行比较,输出的两路脉冲触发信号。这两路脉冲触发信号有十分严格的时间关系。同时把 AD 启动信号送给前置放大及 A/D 转换电路。

高速开关:从主机送来的一个触发信号 TRIG,在触发信号 TRIG 的同步下,产生一个 $5\ \mu\text{s}$ 的开关信号,其脉冲前沿可达 $2\ \text{ns}$ 。

1.4 接收控制器与接收天线

该单元位于接受天线的箱体内部,主要功能是通过采样头将高频信号变成低频信号。主要包括如下电路:高压电源、触发电路、采样双脉冲产生器、采样头、高放、延长门、积分器、反馈电路、接收天线。各电路模块的控制流程见图 3 所示:

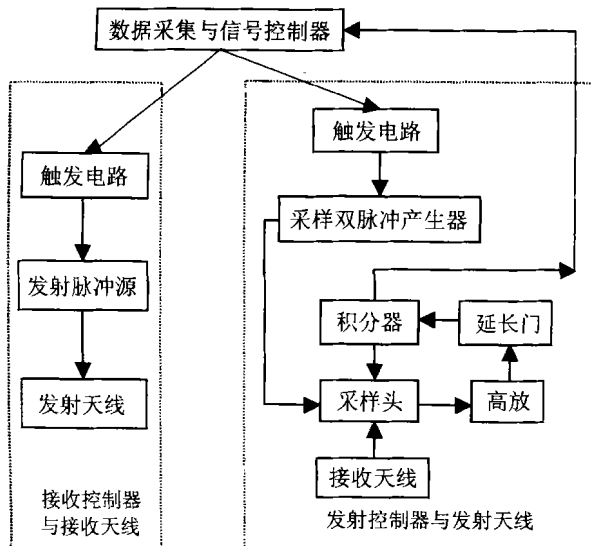


图 3 接收、发射控制器及其天线

各电路主要功能为:

高压电源:从输入单一 $+12\ \text{V}$ 电压,产生 $+200\ \text{V}$ 输出电压给采样双脉冲产生器使用。

触发电路:从时基电路送来的一个接收触发信号,在此触发信号的同步下,产生一个适应于采样双脉冲产生器需要的触发信号。

采样双脉冲产生器:在此触发信号的同步下,产生一个适应于采样头需要的采样双脉冲信号,此采样双脉冲信号的脉宽 $0.3\ \text{ns}$,幅度 $2\ \text{V}$,正负对称。

采样头:采样头包括采样门、采样门偏置和前放等。用以高速采集微弱的电信号。

高放:将采样头拾取的信号进行放大。

延长门:对高放的输出信号进行二次取样。

积分器:对经延长门二次取样的高放的输出信号进行积分并输出。

反馈电路:将积分输出信号反馈至采样头偏置电路,从而将采样头、高放、延长门、积分器和反馈电路等构成闭合回路,从而构成一个差分取样接收机。

接收天线:采用电阻液体加载蝴蝶结形平面扇形天线,天线的中心频率分别为 $1000\ \text{MHz}$ 、 $500\ \text{MHz}$ 和 $100\ \text{MHz}$ 。本天线放在专门设计的屏蔽天线盒内(已申请专利),内部加载特殊的吸收材料,较大程度减小天线内部信号的干扰。从而较大地提高了整体设备的抗干扰能力。

1.5 发射控制器与发射天线

该单元位于发射天线的箱体内部,主要功能是产生上升时间极短的电磁脉冲。主要包括如下电路:触发电路、发射脉冲源、发射天线。各电路的控制流程见图 3 所示。各电路的主要功能如下:

触发电路:从时基电路送来的一个发射触发信号,在此触发信号的同步下,产生一个激励发射源发射脉冲需要的触发信号。

发射脉冲源:利用雪崩开关方式进行快速加压,从而产生所需的高压电磁脉冲。

发射天线:与接收天线等同。

2 物理模型实验及现场探测

为了测试所研制设备的实际应用效果和整机性能,作者以沙坑为实验场地,使用金属、非金属介质模拟地下管道及其小构造,分别测试了 $1000\ \text{MHz}$ 、 $500\ \text{MHz}$ 和 $100\ \text{MHz}$ 天线。在此基础上,还给出对施工混凝土层的现场测试结果。本文所给出的部分实验结果,不但说明了所研制设备整体系统的可靠性、实用性、稳定性和先进性,也同时说明本设备主

机对所有天线具有完美的全兼容性。

首先在沙坑中对 500 MHz 天线和 900 MHz 天线进行实验。作者在沙坑中埋设 4 种不同介质管线,它们分别是金属管、陶瓷管、塑料管和铁块,管线直径 8 cm,埋设深度为 25 cm,铁块的埋设深度 1 cm,接近地表面。时窗设定 36 ns,使用 500 MHz 天线进行雷达扫描探测。图 4 为扫描探测结果。从实验结果来看,金属目标体具有较强的反射能量,且多次干扰波严重,非金属物在介质均匀的沙坑中,也存在明显的反射图象。

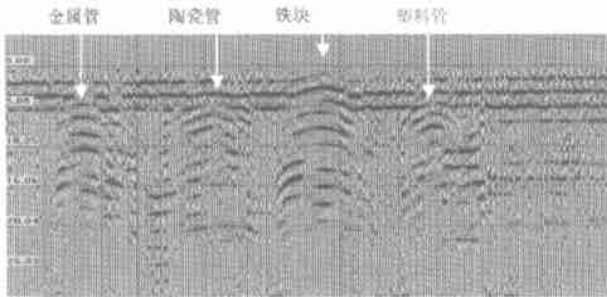


图 4 500MHz 天线沙坑管线实验结果

图 5、6 分别采用 900 MHz 天线和 500 MHz 天线对沙坑开挖单边形状的探测结果。其中 900 MHz 天线时窗设置为 15 ns,500 MHz 天线时窗设置为 36 ns。从探测结果来看,沙坑边界的反射均表现明显。

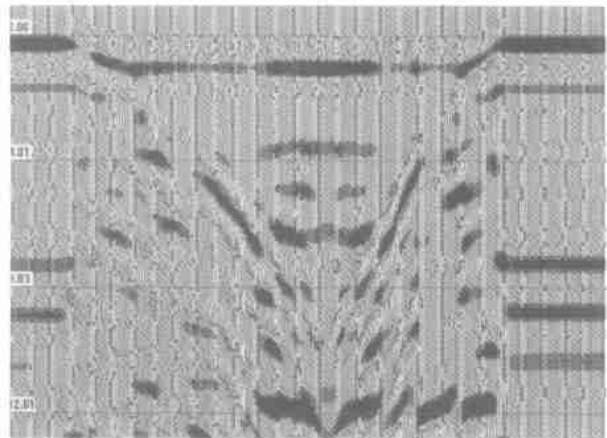


图 5 沙坑挖边 900 MHz 雷达天线扫描

在物理实验模拟的基础上,对实际现场进行探测。

图 7 是在水泥路面使用 900 MHz 天线对地下管线的探测结果,时窗设置为 16 ns。在探测区域内,发现 3 处明显的异常反射。其中两处反射时间在 4.3 ns,另一处接近 0 时。作者推断前两处为自来水的分支管道,第三处为地表水沟,并经开挖得到验证。

图 8 是利用 100 MHz 天线对郑州某矿区放顶煤顶板残余煤层的探测结果,时窗设置为 150 ns。

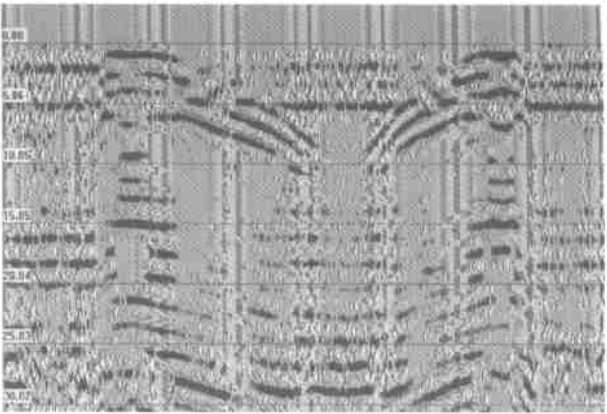


图 6 沙坑挖边 500 MHz 雷达天线扫描

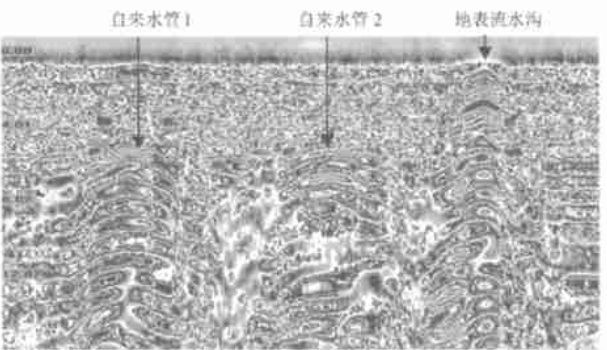


图 7 900 MHz 天线水泥路面探测结果

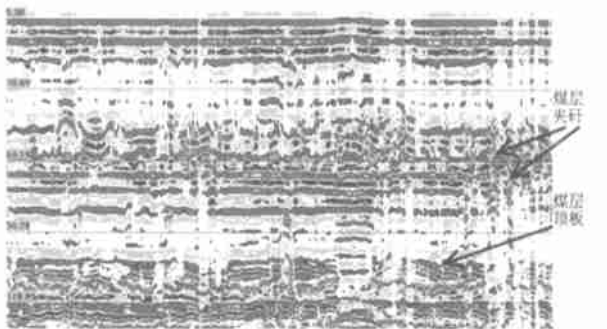


图 8 100 MHz 天线煤层顶板探测结果

从探测剖面上可以发现在 60 ns 处明显存在煤层夹矸的反射,在 100 ns 处出现煤层顶板反射信号。经钻孔验证,探测结果与实际结果吻合。

图 9 是利用 100 MHz 天线对基岩风化面的探测结果,时窗设置为 760 ns。从探测剖面上可以清楚看出基岩风化层面的分布状况,为钻孔加固提供资料。

3 结 语

从上述实验结果来看,作者研制的地质雷达具有图象清晰、剖面质量高等特点,具有较强的实用性。从研制技术面分析,我们开发的地质雷达装备具有如下优点:

- 1) 采用触摸屏技术,野外操作更方便。同时,触摸屏操作在风沙等恶劣环境也能正常使用。

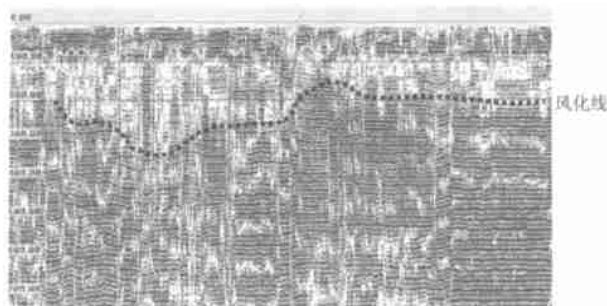


图9 100 MHz 天线基岩风化面探测结果

2) 从采集前端来看,本设计雷达采用双路增益控制,输入采用差分电路设计,提高了设备的动态范围和抗干扰能力。

3) 脉冲宽度变化范围在 0.115 ns 范围,主机

具备全兼容天线的功能。

4) 2 ns 的脉冲前沿,实现了地质雷达在探测过程中的高效快速。

5) 本设计雷达天线采用全屏蔽天线设计,通过吸收材料减小天线内部震荡信号的干扰。

因此,本地质雷达系统的研制成功,不仅会加快地质雷达技术的革新步伐,更将极大促进高新技术成果在工程探测领域发挥重要的贡献。

[参考文献]

- [1] 方广有. 无载波脉冲探地雷达天线极其实验研究[J]. 电波科学学报, 1995, 10, 12.
- [2] 范国新. 探地雷达原理、设计思想及其实现[J]. 电波科学学报, 1992, 7(3): 120.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF HIGH-EFFECTIVE SAMPLING GROUND PENETRATING RADAR

PENG Su - ping, YANG Feng, SU Hong - qi

(China University of Mining and Technology at Beijing, Beijing 100083)

Abstract: On the analysis of foreign Ground Penetrating Radar, a high-effective sampling ground penetrating radar system with property right of our country is designed and developed. The system includes the mainframe with holding all kind of antenna, transmitter and receiver. It is with simple using, better anti-jamming and wide frequency transmitting. The test of physics model and scene application demonstrated the system with good feasibility, accuracy and stability. The project will impel the development of the national technology of Ground Penetrating Radar, and gives sustain technology for engineering examination.

Key words: national Ground Penetrating Radar, signal control, scanning detecting, displaying section

欢迎订阅 2003 年《石油仪器》

《石油仪器》是由中国石油天然气集团公司主管、中国石油物资装备(集团)总公司和西安石油勘探仪器总厂主办,国内惟一全面介绍和评论国内外石油仪器、仪表装备的综合性科技期刊。面向国内外公开发刊。《石油仪器》为中国石油天然气集团公司优秀期刊,获陕西省优秀科技期刊一等奖。

《石油仪器》内容丰富多样、栏目新颖多样:开辟了理论研究、开发设计、仪器设备、计算机应用、测试技术、综述、使用维修、技术讲座、产品信息等灵活多样的栏目,涉及了勘探、钻井、录井、采油、炼化等方面的新技术、新工艺、新方法,信息量大,覆盖面广,可满足不同读者的需求。她已成为石油、地质、化工等行业获取科技信息的桥梁,了解仪器仪表装备动态和市场的窗口,是用户选购仪器仪表的向导,是管理决策者的参谋和广大读者及科技人员的良师益友。

《石油仪器》为双月刊,逢双月下旬出版。大 16 开

本,彩色封面,激光照排。每期定价:8.00 元;全年 6 期定价:48.00 元。在校学生半价优惠。

《石油仪器》国内统一刊号:CN61-1239/TE,国际标准连续出版物号:ISSN 1004-9134,广告经营许可证号:6101004003048

征订事项如下:1. 订阅单位和个人,可来信索取订阅单,按要求填写后将订阅单中的第二联、第三联和邮政汇款单或银行电汇单同时寄来;第一联留作报销凭证;2. 邮政汇款,(710061)西安市红专南路 8 号《石油仪器》编辑部,收款人:王俊;3. 银行电汇,收款单位:西安石油勘探仪器总厂,开户银行:西安市工行长庆分理处,银行帐号:006-991-221046-41;4. 邮政汇款请在附言中注明“杂志订阅”,银行电汇请在汇款用途中注明“《石油仪器》订阅款”;5. 本编辑部还有历年期刊的精装合订本,欢迎订阅。

电话:(029)5265999 转 6108

Email:syyq@cmmail.com