

Source control system of Haiyuan digital air gun and its application

Liang Zhao Zizhen Zhang Yongcheng Qiu

Geophysical Exploration Research Institute, Offshore Oil Services Co., Ltd., Tianjin, 300459, China

Abstract

Haiyuan digital air gun source control system (hereinafter referred to as “HQI-Source[®]”) is a self-developed digital gun control system. This paper mainly introduces the overall configuration of the system, the excitation control of the airgun source, the real-time acquisition of airgun synchronization signals, near-field wavelet signals, pressure and depth data, and other functions to monitor the excitation quality of the airgun source. It is then compared with other air gun control systems, and finally the superiority of HQI-Source[®] in practical applications is analyzed.

Keywords

Haiyuan digital air gun source control system; Seismic exploration; Geophysical prospecting; Epicenter

海源数字气枪震源控制系统及其应用

赵亮 张子振 邱永成

中海油田服务股份有限公司物探事业部物探研究院, 中国·天津 300459

摘要

海源数字气枪震源控制系统(以下简称“HQI-Source[®]”)是自主研发的数字枪控系统。本文主要介绍了该系统的整体配置,气枪震源的激发控制,实时采集气枪同步信号、近场子波信号、压力和深度数据等功能,对气枪震源的激发质量进行监控。然后与其他气枪控制系统进行比较,最后分析HQI-Source[®]在实际应用中的优越性。

关键词

海源数字气枪震源控制系统;地震勘探;物探;震源

1 引言

随着地震勘探技术的不断提升,地震数据的采集质量也要求越来越高。在震源气枪控制系统中,空气枪的同步控制性能直接决定地震波的质量。根据系统结构与数据传输方式的不同,气枪震源控制系统分为模拟和数字两种^[1]。模拟枪控控制电路和采集电路主要是通过模拟数据进行传输,大部分设备在水上仪器房工作。目前有法国 Sercel 公司的 GCS90^[2]、英国 Seamap 公司的 GunLink2000^[3]、和美国 RTS 公司的 Bigshot^[4,5]。由于模拟枪控系统采用炮缆铜线传输,易造成模拟信号丢失,影响气枪同步控制精度,同时采集到的深度、压力及近场等信号对震源质量监控提供的信息少。数字枪控系统的提出解决了短距离传输问题,通过采用水下采集电路的分布式拓展提高了气枪同步控制精度和信号采集质量,可应用到三维地震勘探市场中。常见的数字枪控系

统有原 ION 公司的 Digishot^[4]、Seamap 公司的 GunLink4000 以及 BOLT 公司的 SmartSource,目前 GunLink4000 占数字枪控系统主流市场。海源气枪震源控制系统 HQI-Source[®] 作为中海油服自主研发的数字枪控系统,与 GunLink4000 和 Digishot 相比, HQI-Source[®] 在响炮控制、质控功能对比及 TB 同步精度对比等方面均达到一致水平。

2 海源气枪震源控制系统组成

2.1 HQI-Source[®] 气枪控制系统

HQI-Source[®] 气枪控制系统主要分为两大部分:船载系统和水下系统。船载系统包括上位机工作站、控制箱体、接口控制箱体、供电电源、远程终端、交换机、甲板电缆、滑环等;水下系统包括点火控制及采集模块(简称“数字包”)、炮缆、连接线等。

2.2 操控软件

主要包括参数配置、命令发送、操作控制、数据统计存储和输出、实时显示、质量监控等功能。

可配置 16 阵列,单阵列 32 条枪;支持软启动和 8 源随机控制;可以显示远场子波模拟,点火线圈波形、近场子

【作者简介】赵亮(1984-),男,中国新疆人,本科,高级工程师,从事海洋地震勘探现场资料质控、处理、地震采集施工设计及生产科研技术管理研究。

波波形^[11,12]、深度压力、点火电压和电流波形等数据；记录最新格式的近场数据和线圈数据，近场数据最大记录长度 8s@1ms，点火线圈数据最大记录长度 100ms@0.1ms。

2.3 控制箱体

控制系统时序和功能的核心，接收上位机指令，对水下数字包、供电电源进行参数配置，实时接收近场数据、点火数据、压力/深度数据、状态数据、接收供电电源状态数据及识别数字包序列号。在不同触发模式下，实现气枪的同步控制和随机控制，完成单枪点火、阵列点火及源点火；

此外，MOB 接口可提高人员落水的安全性，系统出现故障时可进行实时状态报警。

2.4 接口控制箱体

接口控制箱体主要实际作业过程中炮缆存在漏电甚至无法导通影响系统正常通信的问题，对近场数据、线圈数据进行获取、传输及通信线路切换及电源切换。可对水下 4 个阵列进行总线冗余切换，同时每个阵列数据总线都带有通信指示灯，利用三分拨动开关进行总线切换，在降低水下炮缆使用寿命的同时也提高了作业效率。

2.5 数字包

每个数字包位于水下枪阵的一个挂点位置，可以控制两条气枪，采集两个近场传感器数据，实时监测每个挂点的压力和深度。可对 Sleeve、Bolt 和 G 枪等不同类型的气枪进行点火控制，

在枪阵中，通过对每个数字包进行逐级上电，可实时排查故障。不同类型的点火检测算法可以满足不同类型气枪在任意时刻进行点火状态判断。延迟算法和点火状态判断为气枪的工作状态提供了有力的依据，保障了所有气枪同步点火的同步性。

3 海源气枪震源控制系统特点

海源数字气枪震源控制系统具有高精度同步控制技术，

采用分布式同步控制技术和动态调整算法，控制精度达到 0.05ms；HQI-Source[®] 基于两级组源、三级控制结构，除常规同步控制外，还可以实现随机控制、延迟控制、文本控制、阵列组合控制等多种新型灵活响炮控制方式。通过全区间自激判断，近场子波追加叠加等方式，综合空气枪激发状态、通信状态、数据库分析等手段，可对空气枪的激发质量进行多方位的监控，实现实时质控。HQI-Source[®] 解决了在高冲击环境下数据高可靠传输难题，在高冲击（大于 100g）和高漏电（绝缘阻值小于 200kΩ）环境下可实现长达 1000 米长距离信号的稳定传输。

HQI-Source[®] 采用分布式同步控制与动态延时调整算法，通过源随机、子源随机、子阵随机及单枪随机的方式来进行随机控制和文本控制，实现了震源随机、延迟、阵列组合等多模式的高精度同步控制技术，使得分辨率达到 0.05ms，这样有利于宽方位采集、多源采集、爆米花式震源等新采集方法，提高地震资料的品质。阵列组合控制可增加横向分辨率，实现高分辨率采集。混合枪控制可以通过不同类型枪组合实现低频、宽频等震源子波。多源最小炮间隔小于 4s，可以实现多源、高密、高覆盖采集技术。

HQI-Source[®] 通过全区间自激判断、近场子波追加叠加技术，可实现对空气枪的激发质量进行实时质控，可实时监控枪自激、漏气及深度变化。全方位的质控对全区间进行自激监测，确保每一条枪状态稳定。此外，每个挂点一个深度，可以实时监控阵列状态。大幅度改善气枪工作状态监控效率，使得正常作业废线率降低 15%。

4 数字气枪控制系统的比较

目前，国内外海洋勘探的油公司使用的数字气枪控制系统有 Digishot、GunLink4000，海源数字气枪控制系统。根据以上数字气枪控制系统技术指标进行对比如表 1 所示。

表 1 各种数字气枪控制系统技术指标对比

Table 1 Comparison of technical indicators of various digital air gun control systems

主要技术指标	GunLink4000	Digishot	HQI-Source [®]
控制枪数	16 × 16	8 × 16	16 × 20
支持震源数量	8	4	8
同步控制精度	0.1ms	0.1ms	0.05ms
近场采样	24bit/0.1ms/1s	16bit/0.5ms/512ms	24bit/0.0625ms/1s
支持枪类型	Sleeve/Bolt/G/混合	Sleeve/Bolt/G	Sleeve/Bolt/G/混合
自激检测	全区间	—	全区间
响炮控制方式	同步控制 / 随机控制 / 文本控制 / 混合枪控制 / 阵列组合控制	同步控制	同步控制 / 随机控制 / 文本控制 / 混合枪控制 / 阵列组合控制

备注：在随机系统控制的响炮方式上，海源数字气枪震源控制系统可以实现实时响炮顺序随机和响炮时间随机，GunLink4000 只能通过脚本实现，必须提前设计好随机值，不能实现实时可随机。

4.1 TB 同步精度对比

TB 同步精度是气枪控制的关键，各个气枪控制系统的 TB 同步精度如图 1 所示，其中图 a 代表 Digishot 系统 90us，图 b 代表 Gunlink4000 系统 10us，图 c 代表海源数字气枪震源控制系统 HQI-Source®12us。

从图 1 数据可以分析得出：海源数字气枪震源控制系统 TB 同步精度在 12us 左右，优于 Digishot 系统的 90us，略低于 GunLink4000 系统的 10us。

4.2 地震数据对比

为了验证海源数字气枪震源控制系统采集地震数据的

高品质，能完全贴近生产需要，与现有物探船 Digishot 系统采集的地震资料作出对比。主要在初叠剖面频谱方面作出比较。

Digishot 系统与 HQI-Source® 系统的初叠剖面频谱如图 2 所示，图 (a) 为浅层初叠剖面频谱对比图，图 (b) 为深层初叠剖面频谱对比图。每张图中的左图为 Digishot 系统生产单炮的初叠剖面频谱，右图为 HQI-Source® 系统试验单炮的初叠剖面频谱。经图对比分析：初叠剖面频谱相近，与震源设计相符。

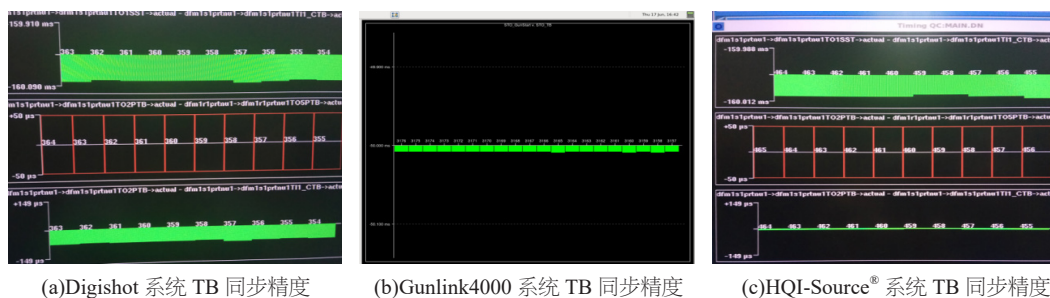


图 1 TB 同步精度对比图

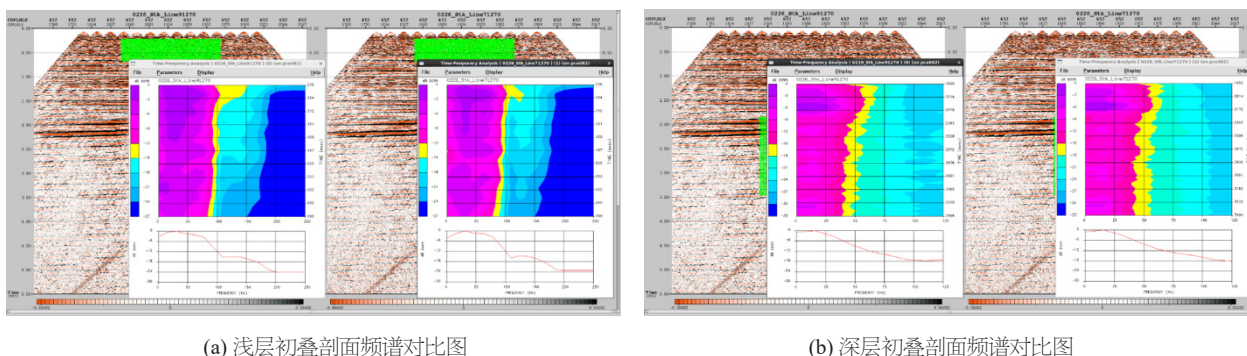


图 2 Digishot 系统与 HQI-Source® 系统的初叠剖面频谱对比图

5 结语

海源数字气枪震源控制系统在物探船上已经完成示范应用并进行大规模生产作业，可以提供完整的气枪阵列工作质量的监控信息（QC）。

可满足枪头段、起始炮号、起始测线号、阵列配置、有效炮数、枪自激数、触发方式进行精确记录的要求；对响炮控制平均同步值、同步值标准差及深度压力值进行实时监测；该系统响炮控制灵活，可以满足多种作业响炮控制的需求，并且可以快速响应新采集方法的响炮控制，保障了地震勘探采集方法的自主可控和快速发展。

参考文献

[1] 张世阳.空气枪震源控制系统的发展和预测[J].海洋地质前沿,2019,35(09):76-82.
Zhang Shiyang. Development and Prediction of Air Gun Source

Control Systems[J]. Marine Geology Frontiers, 2019, 35(09): 76-82.
[2] 钱慧石,程思.GCS90气枪控制器工作原理及故障分析[J].物探装备,2009,19(05):308-310.
Qian Huishi, Cheng Si. Working Principle and Fault Analysis of GCS90 Air Gun Controller[J]. Geophysical Equipment, 2009, 19(05): 308-310.
[3] 英国Seamap公司.Gunlink 2000产品手册[Z]. 手册编号: 11-00-1028-A,2011.
Seamap UK. Gunlink 2000 Product Manual[Z]. Manual No.: 11-00-1028-A, 2011.
[4] 美国ION公司, Digishot System产品手册[Z].手册编号: 110920_rev1,2011.
ION, USA. Digishot System Product Manual[Z]. Manual No.: 110920_rev1, 2011.