

沈方铝, 陈为伟, 任丛荣, 等. 移动式气枪震源系统概述[J]. 华南地震, 2019, 39(3): 77-82. [SHEN Fanglv, CHEN Weiwei, REN Congrong, et al. Mobile Airgun Source System Overview[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(3): 77-82]

移动式气枪震源系统概述

沈方铝, 陈为伟, 任丛荣, 李 培, 刘善虎
(福建省地震局, 福州 350001)

摘要: 气枪震源在海洋地震勘探方面获得了很大成功, 近年来在陆域水体的应用越加广泛。目前, 大容量气枪用于陆地的研究主要固定在某一处水库或者水域进行气枪震源试验, 因此, 发展易安装、拆卸、运输的可移动式气枪震源系统是有必要的。通过福建省地震局近年来的陆海联测工作, 详细地介绍了移动式气枪震源系统的整体架构和工作流程。移动式气枪震源系统是一种绿色环保、经济实用、自动化程度高、震源激发能量精度高、重复性好、探测距离大的震源激发系统, 该系统的使用填补了国内相关领域技术装备的空白。

关键词: 移动式气枪震源系统; 气枪震源试验; 大容量气枪; 水库

中图分类号: P631.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)03-0077-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.03.011

Mobile Airgun Source System Overview

SHEN Fanglv, CHEN Weiwei, REN Congrong, LI Pei, LIU Shanhu
(Fujian Earthquake Agency, Fuzhou 35003, China)

Abstract: Air gun source has achieved great success in marine seismic exploration. In recent years, it has been more and more widely used in land water. At present, the research of large-volume air gun used on land is mainly fixed in a reservoir or water area for air gun source test. Therefore, it is necessary to develop portable air gun source system which is easy to install, disassemble and transport. The overall structure and working process of the mobile air gun source system are introduced in detail by combining with the land-sea joint survey work of Fujian Earthquake Agency in recent years. Mobile air gun source system is a kind of source excitation system which is green, economical, practical, highly automated, accurate in source excitation energy, good in repeatability and long in detection distance, and fills in the blank of domestic related technical equipment.

Keywords: Mobile air gun source system; Air gun source test; Large-volume air gun; Reservoir

收稿日期: 2018-07-19

课题项目: 福建省地震局青年基金“陆上气枪震源固定激发点工程地质环境调查研究”(Y201705)

作者简介: 沈方铝(1983-), 男, 工学硕士, 工程师, 主要从事工程地震及地球物理探测工作。

E-mail: 27431879@qq.com.

0 引言

地震波是“照亮地球的一盏明灯”^[1]。地震波携带丰富的地下介质物性信息,是科学家进行地球内部探索的主要研究对象。利用人工震源主动向地下发射地震波可以实现地下结构的高精探测。合适的震源是进行主动源探测的关键^[2]。气枪震源在海洋激发、海洋接收方面获得了很大成功,是 20 世纪末海洋地震勘探的重大成果^[3]。气枪震源操作简单、易控制、性能稳定,绿色环保、自动化程度高、震源激发能量精度高、重复性好、探测距离大、激发信号具有丰富的低频成分,其激发效果在海洋地球物理勘探中得到验证。因此,气枪震源已广泛成为科学研究地壳深部结构的地球物理勘探的一种主要震源^[4-6]。

利用气枪震源进行地下深部介质动态监测研究时,最好的方法是将气枪震源移植到陆地水域进行激发^[7-9]。目前而言,大容量气枪用于陆地的研究主要固定在某一处水库或者水域进行,极少有易安装、拆卸、运输的可移动式气枪震源系统。

针对这一现状,福建省地震局自 2014 年起做了大量的前期研究和大量的实际试验。为了更好地利用大容量气枪震源,研制了两套可供开展区域尺度地球深部结构探测与科学研究的大容量气枪震源技术装备,具备固定式、移动式和流动式的激发功能,满足水库水坑到江河湖海等不同水域的探测震源需求,填补了国内相关领域技术装备的空白。厦门地震勘测中心的同事们设计并加工了枪控控制器和监控功能的枪控舱、搭载气瓶组和配气系统的空压机舱以及带双发电机的动力舱,同时搭建了可拆卸易组装的气枪激发浮台,共同组成了一套移动式气枪震源激发系统。近几年已将该套探测技术系统分别在福建省街面水库、棉花滩水库、石黄峰水库、南一水库、安砂水库、山美水库、沙溪口水库等 7 个水库开展了探索性试验研究,取得了大量的地下介质数据,产出了丰富的科研资料和高质的研究成果^[10-13]。

1 移动式气枪震源系统构成

大容量气枪震源容量越大,气体释放时间越长,信号的频率越低,而随着气枪压力增加,气泡周期增大,主频降低,气泡比增加,都有利于远距离传播,适合区域尺度的深部地球探测。目前常用的气枪震源的最大工作压力为 2000 PSI。

我们采用数支大容量气枪简单组合,四支单枪容量为 2000 inch³、工作压力为 2000 psi 的大容量气枪组成的气枪震源。

移动式气枪震源系统按照陆上水域划分为两大部分:陆上供气及控制系统、水上枪阵浮台系统(图 1)。陆上供气及控制系统的功能为气枪震源提供稳定、可靠的高压空气,并控制气枪震源的稳定激发。系统由空压机系统、发电机系统、管汇系统(气瓶组、渔人阀、配气面板)和枪控系统组成。上述设备合理集成三个集装箱以方便拆装运输和野外施工作业生活,分别是动力集装箱、高压集装箱、控制集装箱。水上枪阵及浮台系统主要由水上作业平台、底部浮筒、枪阵等部分组成。整个浮台作业平台固定方式采用四角锚固装置,以便于在不同水域进行试验。浮台水上枪阵可以便利的进行枪阵组合变化和不同枪沉放深度的需求,并保留足够的人员枪阵沉放作业、GPS 位移监控、强震仪烈度计监测和维修空间。

1.1 陆上供气及控制系统

陆上供气及控制系统由空压机系统、管汇系统和枪控控制系统及附属设备组成。

空压机系统为气枪震源提供高质量的高压空气,由空压机和冷却装置组成。空压机采用电固式空气压缩机 W-5/150 型组,公称容积流量 5 m³/min,额定排气压力 15 Mpa,外形尺寸:2700×2500×2600 mm。可以满足气枪枪阵总容量 8000 in³(立方英寸)在 3 min 内充满,空压机排气量应≥4.52 m³/min。空压机排气压力稍大于 2000 psi,排气压力稍大于 140.75 kg/cm²。目前,空压机冷却方式有风冷和水冷两种机型。风冷型空压机适用于低温无水源环境或地区使用。水冷型空压机具有末级冷却器,排气温度低,受周围环境温度影响小,运转平稳、操作简便、可靠性高,冷却效果较好,冷却水一年四季温度较稳定。根据福建地区陆上水库现场的实际工作条件,四季温度相对较高,水源丰富,因此选择水冷型空压机是较为合适的。

管汇系统是连接空气压缩机、气枪控制器和气枪的重要组成部分,其作用是储存空气压缩机产生的高压空气并通过调压及分压,保证提供给各气枪作业所需的 2000 PSI 的高压气体,用于控制气枪调试,实时显示气瓶组和气枪的压力,具有滤油、滤水、将气枪和连接管中的高压空气排空等功能。主要包括气瓶组(4 支×单支 50 L)、渔人阀、七路通配气面板。

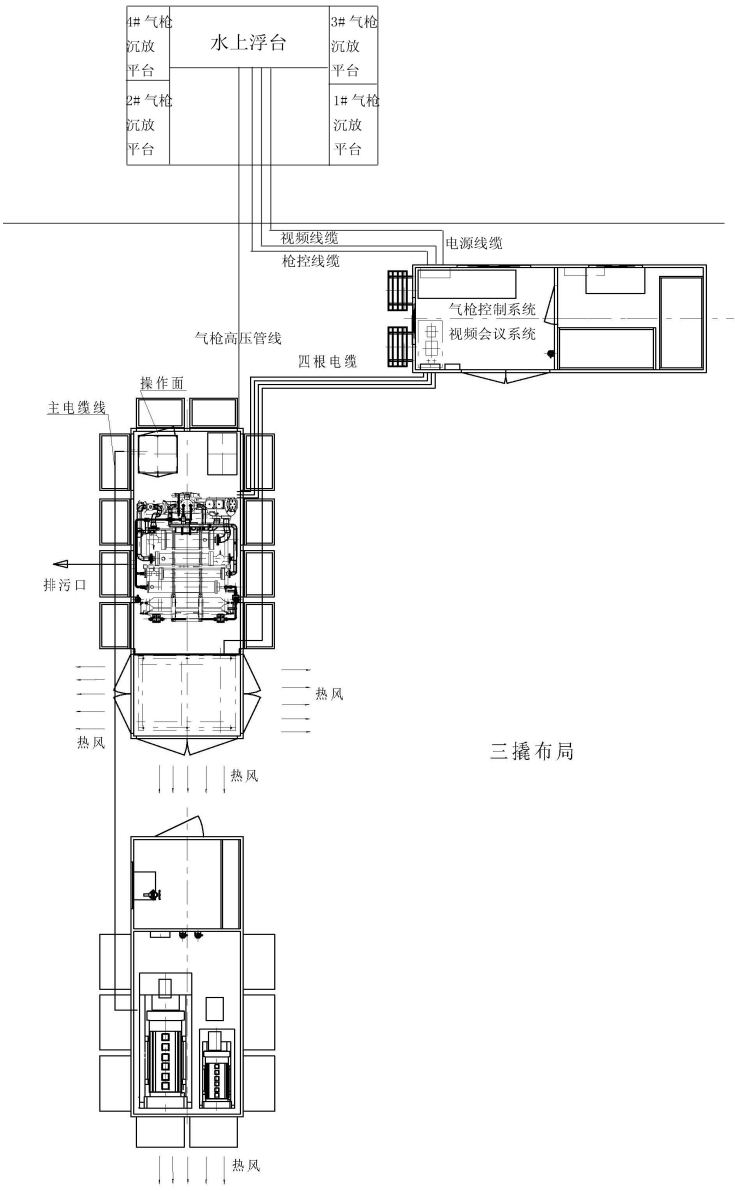


图 1 移动式气枪震源系统连接示意图

Fig.1 Connection diagram of mobile air gun source system

枪控系统及其附属设备主要由气枪控制器、防水接线盒、笔记本电脑、触摸屏柜、附属生活区等组成。枪控器用于控制气枪的激发和对枪阵同步误差进行实时质量监控和报警，可进行自动激发和自检。枪控系统的核心是气枪控制器，作用是在得到定时设备的启动指令后，控制气枪震源的激发并将气枪头段数据返回给主控计算机，确保采集到的野外地震资料，经后期的计算处理后其反演结果的准确性、精确性和可靠性。用于深部构造探测任务的气枪控制系统，无需与采集设备联机，但要求极高的授时精度和点火同步性。

在气枪控制器系统的配置上综合考虑技术指标、可靠性和可扩展性，在尽可能降低采购成本

和使用费用的同时，使配套的枪控可满足未来地震勘测任务的需要。我们选用美国 Real Time Systems 公司生产的气枪控制器及配备的专用软件用于气枪激发控制，具有自动激发功能，气枪激发的同步精度为 0.1 ms，可同时控制 8 条气枪。通过枪阵的电磁阀激发气枪，并通过枪压传感器、同步传感器和近场水听器对气枪状态进行监控，具有作业资料的记录打印功能。

发电机系统为野外施工现场提供工作生活用电，主要包括两台发电机组(一大一小)、转换装置。两台发电机组中的大功率发电机组采用 200GF 康明斯柴油发电机组，额定/备用功率为 200 kW/220 kW，外形尺寸：3000×1050×1760

mm, 可以为整个移动式气枪震源系统中所有用电设备提供电源。小发电机组采用 20GF 康明斯柴油发电机组, 额定/备用功率为 20 kW/22 kW, 外形尺寸: 1700×700×1240 mm, 为现场作业、工作生活用电提供电源。当大型用电设备空压机等不工作时, 可以通过电路转换装置, 停止大发电机组工作, 切换小发电机组继续为箱体照明、电脑、空调等工作生活设施提供电源, 减小了使用成本, 节能减排。

触摸屏柜监控压缩机和冷水机组各项技术参数。网络系统设置数据、视频实时传输系统, 用于数据实时传输、设备监控和视频会议。附属生活区配置两个双层高低床、办公桌及空调设备等。

1.2 水上枪阵浮台系统

目前国内云南地震局、新疆地震局、河北地震局、中石油集团物探中心气枪震源等不同浮台的具有差异性配置情况, 分析如下:

浮台 1(图 2): 设计为固定点的主动震源。设计的浮台为回字形, 仅用于悬挂气枪枪阵, 无法直接在浮台上收放、回收枪阵, 枪阵须通过工程建筑塔吊进行协助吊放。

浮台 2(图 3): 采用回字型设计, 岸边通往浮

台采用浮桥设计, 浮台尺寸与枪阵宽度相等, 无维修平台, 比较庞大。

浮台 3(图 4): 设计维修作业平台, 设计采用单枪单浮台; 回字型保证浮台稳定性, 枪阵宽度固定不变, 枪阵宽度设计可供小容量气枪使用, 无冗余空间。

根据以上对比分析, 结合福建省陆域多山的实际情况, 水上枪阵浮台系统(见图 5)采用包括浮体、承重作业平台、枪阵沉放回字平台、吊机及支撑架等。浮台设计为不锈钢钢架结构的回字型平台, 采用三角支架 A 型支撑柱固定钢架, 钢格板作为平台踏板, 以便于拥有相对充分的维修空间和设备扩展空间; 横梁上安装定滑轮, 下方设有多个枪阵悬挂绳缆的挂点, 以此来调节枪阵阵列左右前后间距以便于枪阵沉放; 同时运用刚性拼接完成多个单枪单浮台拼装, 以便于安装、拆卸及运输并增加整个枪阵浮台的平稳性, 减小由浮台晃动带来的枪间距误差; 枪阵采用悬挂绳缆吊装枪架枪盘、钢链连接气枪和枪架, 上部采用钢缆实现沉放及回收; 底部浮筒采用高分子聚乙烯材料的浮筒, 以高分子聚乙烯为原料的浮筒, 通过吹塑工艺加工而成; 固定方式采用四角锚固装置。单枪悬挂示意图见图 6。



图 2 浮台 1

Fig.2 Floating platform 1



图 3 浮台 2

Fig.3 Floating platform 2

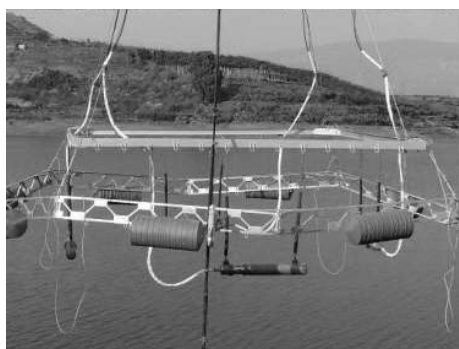


图 4 浮台 3

Fig.4 Floating platform 3



图 5 水上枪阵浮台系统

Fig.5 Floating platform of water gun array system

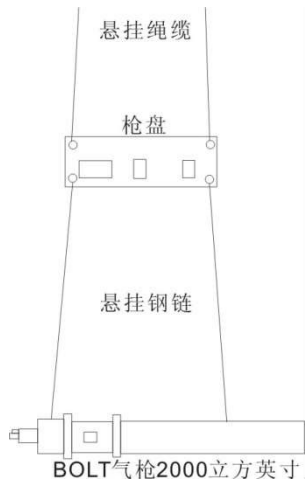


图 6 单枪悬挂示意图
Fig.6 Single gun suspension diagram

2 移动式气枪震源系统作业流程

2.1 前期选址和水域调查

工作前期收集探测目标测线附近的大、中型水库资料，查明水库名称、库容量、水库建成时间、大坝类型等资料。通过查阅一定比例的地形

图、谷歌地图等，查明大、中型水库的回水长度，剔除回水长度小于 1.5 km 的水库^[4]。上述工作结束后，对筛选出来的水库进行现场踏勘，调查目的主要包括：交通、作业平台场址状况、水域面积、水域状态、水下地形等。

对于符合基本条件的水域使用华测 D330 回声式测深仪等符合工作需求的水深测量仪器探明目标水域附近一定宽度范围的水深，并运用 sufer 绘制水域等深线图。对于水深条件满足的水库，收集水库近年来的水位资料，对比预计激发时段与测深时段的水深，预判工作激发时段水域水深。

2.2 现场作业

现场作业主要包括场地平整、现场设备安装两部分。

场地平整(见图 7)的首要要求为道路的通畅和平整出摆放三个厢体和少许附属设备的空间，并需要建造入地一定深度的水泥墩(每个厢体六个)来保障三个厢体的水平安放稳定性。

现场设备安装作业(见图 8)包括现场三个厢体连接、水上作业平台拼装、水陆间气缆及信号线连接、气枪安装挂载及沉放作业等。



图 7 场地平整
Fig.7 Site leveling



图 8 设备拼接和安装
Fig.8 Equipment stitching and installation

3 问题和改进方向

3.1 存在问题

(1)由于道路运输等考虑,三个厢体布局紧凑,尤其是空压机厢,操作空间较狭小,管汇系统布置在压缩机集装箱内,不方便于人员在箱体内部操作。

(2)空压机冷水机易空开跳闸,冷水机需供给电力、配置冷却水管道,日常维护维修较杂,须配置备用零配件及冷却剂等;水温感温计易受损,易出现高温报警。

(3)浮台沉放作业平台采用手摇绞车,需要多人进行轮换操作,全手动操作时间长,沉放速度由于凭借人力而缓慢,沉放枪阵时费时费力,枪阵间距尺寸变换全手动容易出现误差。气枪沉放定深采用绳缆连接,易出现沉放深度的误差。

(4)浮台固定作业采用缆绳四角锚固,因此,在相对较窄的河道型水库或水体作业时可以良好固定浮台,在大湖或开阔性良好的大型水库无法做到双侧缆绳固定。

3.2 改进方向

(1)空压机厢操作空间狭小,为便于人员在箱体内部操作,可对满足供气要求的新型小型化空压机设备广泛调研。同时,和厂家进行沟通交流老式空压机的存在问题,并加以改进。

(2)可以尝试对空压机冷水机电路进行改造,采用高质量、低故障的配件以减少维修次数,采用更好的水温感温计,减少高温报警。

(3)对浮台沉放作业平台的普通手摇绞车加以技术改进,减少阻力、加大绞车工作效率;未来可以尝试对枪阵间距尺寸变换采用自动化机械进行操作;气枪沉放定深采用绳缆连接的误差可以选择在气枪上加水下测深传感器进行准确测量。

(4)未来对浮台固定作业采用缆绳加钢锚联合四角锚固和周身锚固,在大湖或开阔性良好的大型水库离岸侧采用多个大型钢锚进行锚固。

4 结语

作为国内第一套用于地壳结构探测研究的移动式气枪震源技术装备,满足了“一体化设计”和“模块化拼装”的理念。移动式气枪震源技术装备,实现了气枪震源系统的快速部署,解决了水库水坑等陆地水体环境进行快速部署和流动作业的需求。实践表明,移动式气枪震源系统集成

为三个功能化厢体加水上浮台,易于拆装、水上可移动性好、可变换枪阵和枪深,可用于研究不同尺寸气枪激发的能量变化情况,适应在水库水坑等不同水体场地环境的工况实验需求。

致谢: 特别感谢福建地震灾害预防中心同事们在野外的辛劳付出和厦门地震勘测中心同事们在移动式气枪震源系统的前期设计、调研和创新做的大量工作。

参考文献:

- [1] 陈颢,朱日祥. 设立“地下明灯研究计划”的建议[J]. 地球科学进展, 2005, 20(5): 485-489.
- [2] 陈颢,王宝善,姚华建,大陆地壳结构的气枪震源探测及其应用[J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(10): 1153-1165.
- [3] Zhou H. Multi-scale tomography for crustal P and S velocities in southern California [J]. Pure and Applied Geophysics, 2004, 161: 283-302.
- [4] 丘学林,陈颢,朱日祥,等. 大容量气枪震源在海陆联测中的应用: 南海北部试验结果分析[J]. 科学通报, 2017, 52(4): 463-469.
- [5] 陈浩林,全海燕,於国平,等. 气枪震源理论和技术综述(上)[J]. 物探装备, 2008, 18(4): 211-217.
- [6] 罗桂纯,王宝善,葛洪魁等. 气枪震源在地球深部结构探测中的应用研究进展[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(2): 400-407.
- [7] 王宝善,葛洪魁,王彬等. 利用人工重复震源进行地下介质结构及其变化研究的探索和进展[J]. 中国地震, 2016, 32(2): 168-179.
- [8] 陈颢,张先康,丘学林等. 陆地人工激发地震波的一种新方法[J]. 科学通报, 2007, 52(11): 1317-1321.
- [9] 杨微,王宝善,葛洪魁等. 大容量气枪震源主动探测技术系统及试验研究[J]. 2013, 29(4): 399-410.
- [10] 金震,李山有,蔡辉腾. 利用气枪地震资料对福建及台湾海峡南部地壳三维P波速度结构研究[J]. 地球物理学报, 2008, 61(7): 2776-2787.
- [11] 林彬华,李军,金星等. 气枪信号实时处理系统研发及应用[J]. 地球物理学进展, 2018, 32(4): 1808-1816.
- [12] 黄艳丹,李军,金星等. 沉放深度对气枪震源激发信号影响的试验研究[J]. 地震学报, 2018, 40(4): 430-439.
- [13] 蔡辉腾,陈颢,金星等. 大容量气枪震源地震动衰减特性分析[J]. 中国地震, 2018, 34(3): 445-455.
- [14] 陈为伟,沈方铝,徐嘉隽等. 水库气枪震源选址的要求与流程[J]. 华南地震, 2018, 38(4): 39-42.