

# 物探装备技术进展与发展方向

王铁军, 郝会民, 李国旗, 罗福龙,  
陶知非, 陈联青, 侯金海

(中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司, 河北涿州 072751)

**[摘要]** 中国石油工业的掘起与腾飞,使物探装备技术得到了快速发展。地震勘探仪器经历了6次升级换代,契而不舍地追踪国外先进技术,保持了与时俱进、同步发展的局面;可控震源技术走“引进、吸收、消化、创新”的道路,经过20多年的艰辛研发,达到领先或局部领先国际的技术水平;地震辅助装备坚持“自力更生、自主开发”方针,经历30多年探索与创新,使国产设备闪亮跻身于国际勘探市场。自主开发的辅助装备,也取得了长足的进步。

**[关键词]** 中国石油;地球物理勘探装备;地震仪器;可控震源;运载设备;物探钻机

**[中图分类号]** TE9;P618.13 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)05-0078-06

## 1 前言

物探装备技术是指用于地球物理勘探方法探查各种矿藏或地下目标体结构与位置的各类设备的制造与应用技术。它以地球物理科学为基础,吸收与综合了计算机科学、电磁与微电子科学、数理分析与图像处理科学、地质与矿产科学、系统工程与智能自动化科学、机械制造与材料科学等相关新技术,不断提高人类对地下探查目标的认知能力。物探装备成为当今发展与更新最快的工程技术之一。物探装备包括用于石油勘探的地震仪器、可控震源、测量仪器、测井仪器、计算机处理与解释设备、海洋电缆设备、物探钻井设备、运载设备,用于矿产勘探的磁力仪器、电法仪器、重力仪器、化探仪器以及用于工程探测的雷达等等。文章侧重阐述用于石油地震勘探的仪器、震源等相关装备的技术进展与发展方向。

## 2 地震勘探仪器的发展进程

地震勘探仪器是地球物理勘探诸多装备中的核心设备,它集电子技术、计算机技术、地球物理方法、智能自动控制技术、信号分析与处理技术等多学科

的综合技术于一体,精确记录地震波激发与反射后在接收点的回馈信号。过去的60年,地震勘探仪器发生了翻天覆地的变化。

### 2.1 地震勘探仪器发展历程

伴随新中国石油工业辉煌的60年,国内外的地震勘探仪器经历了光点、模拟、数字、初期遥测、后期遥测到全数字记录等6代发展历程。

第一代是模拟光点记录地震仪器,其中以51型仪器为代表。此种仪器以光点感光照相纸记录作为地震勘探的生产资料,成品记录是一次性直接可操作的模拟波形。其特征是信号的动态范围小,频带窄,接收道数少。

第二代为模拟磁带记录地震仪器,以DZ663型仪器为代表。此代仪器的特点为可多次重复利用的以磁带为介质的模拟波形,这是第二代仪器的核心贡献,但其他关键技术并没有实质性突破。

第三代是数字磁带记录地震仪器,如DFS-V, SN338, SK83等。这类仪器的创新点是采用了前置放大、瞬时浮点放大和A/D转换技术,实现了由模拟记录到数字记录的变革,使其记录的动态范围、有效频带与接收道数均有大幅提高。

**[收稿日期]** 2010-03-05

**[作者简介]** 王铁军(1957-),男,河北清苑县人,高级工程师,研究方向为综合地球物理研究与管理;E-mail: wangtiejun@cnpc.com.cn

第四代是遥测数字地震仪器,如 SN368, OP-SEIS5586, SYSTEM I 等。这代仪器的技术进步就在于,实现了以数字信号形式在电缆上串行传输地震道信息,使主机得到了充分地简化,加之数字信号传输电缆的重量不再受接收地震道数的限制,系统的采集能力、抗干扰能力得到了显著提高。

第五代是 20 世纪 90 年代推出的遥测数字地震仪器,如 SN388, ARIES, BOX, SYSTEM II 等。这代仪器的核心技术就在于用集成的 24 位 A/D 转换器取代了先前的瞬时浮点放大器和 15 位 A/D 转换

器,使得系统的瞬时动态范围、记录频带又有大幅提升,采集能力进一步得到提高。

第六代是 21 世纪初开始面向勘探市场的全数字地震仪器,其代表是 I/O 产的系统—IV 和 SERCEL 产的 400 系列—DSU。这类仪器是以 MEMS 技术为核心的加速度数字传感(检波)器,使得整个接收系统的瞬时动态范围达 90 dB 以上,从 0~500 Hz 都能等灵敏度和等相位响应地震波信号,真正实现了全数字化,不怕电磁干扰,具有万道以上实时采集能力。历代地震仪器的主要性能一览见表 1。

表 1 历代地震仪器主要性能一览表

Table 1 List of main parameters of the different recording systems

代序	第 1 代	第 2 代	第 3 代	第 4 代	第 5 代	第 6 代
代表机型	51 型	DZ663	DFS-V, SN338, SK83	SN348, SN368, OPSEIS5586, SYSTEM I	SN388, ARIES, BOX, SYSTEM II	I/O 的系统 IV, SERCEL 的 400 系列 DSU
记录方式	光点照相	模拟磁带	数字磁带	数字介质	数字介质	数字介质
动态范围/dB	≤20	≤40	≥70	≥70	≥70	≥90
记录频宽/Hz	0~20	0~100	0~250	0~250	0~300	0~500
带道能力/道	≤24	≤48	240	1 000	5 000	≥10 000
模数转换器/位			15+1	15+1	23+1	23+1
检波器类型	模拟	模拟	模拟	模拟	模拟	数字

## 2.2 国产地震勘探仪器发展进程

尽管国内勘探市场长期以来普遍使用引进的地震勘探仪器,但跟踪国外先进技术、自主研制地震勘探仪器的脚步从未停止过,各个时期都成功研制有相应类型的地震勘探仪器,其中以原西安石油仪器厂和原物探局徐水石油仪器厂为代表。

原石油部物探局自行研制地震仪的历史可追溯到 1965 年,物探局前身 646 厂组织成立了攻关队投入地震仪研制,到 1972 年研制出第一台国产数字地震仪。1978 年原石油部作出了研制国产数字地震仪的决策后,徐水石油仪器厂于 1980 年研制成功 SK-8000 型数字磁带地震仪;1983 年研制成功 SK-83 型 96 道数控地震仪;1985 年研制成功 SK-240 型(即 240 道)数控地震仪;1988 年研制成功 SK-1004 型千道数控地震仪;1992 年又研制成功 SK-1005 型千道轻便数控地震仪。上述仪器由原物探局分配各地调处使用,生产量各为 5~15 台不等,在实际生产中发挥了重要作用。

西安石油仪器厂始建于 1955 年,至今已有 50 多年的历史。它是一个综合型石油仪器设计制造厂,但地震勘探仪器是其核心产品与技术重点之所在。先后生产有:91 台 51 型光点记录仪、399 台

模拟磁带仪、55 台 751 型数字地震仪、105 台 SDZ120 型数字地震仪、20 套(7 300 道)480 型多道地震仪、54 台 24 道工程地震仪、2 套(3 000 道) GYZ1000/4000 遥测地震仪和 1 套(480 道)海底电缆采集系统。上述地震勘探仪器在近 60 年的地震勘探进程中,为寻找接替油气藏资源甚至大型或超大型油气田发挥了不可替代的作用。

正是因为不断有新型国产地震勘探仪器的问世,在满足国内勘探市场需要的同时,培养了大批技术人才,积累了丰富的设计、制造经验;并抑制了进口地震勘探仪器的价格、降低了勘探生产成本。应该肯定,国产地震勘探仪器在中国石油工业发展历程中发挥过重要的作用,为我国石油工业的掘起与腾飞做出了宝贵的贡献。

## 2.3 国产地震勘探仪器的技术创新

从 1997 年开始,国内陆续停止了大型地震仪器的研发与制造工作。这对我国石油工业的发展以及与国际石油勘探市场的接轨,十分不利。为了扭转这种局面,中国石油天然气集团公司于 2006 年 4 月决定开发研制“新型地震数据采集记录系统”的项目,并将该任务交由东方地球物理勘探有限责任公司(以下简称 BGP)承担。BGP 接到任务后非常重

视,相继成立了项目领导小组、执行工作小组和项目开发组。研发人员经过技术调研、总体设计、系统开发、部件集成、野外测试、系统完善和总结验收等7个阶段、历时3年零8个月,于2009年12月研制出具有独立自主知识产权的“ES109新型地震数据采集记录系统”。经过野外仪器对比试验和试生产考核,证明该地震数据采集记录系统在稳定性、可靠性及操作便捷性方面创造了国产地震仪器的新形象、新水平,达到了目前世界主流地震仪器的先进水平。由于在设计、研发阶段就注入了后期成果的产业化理念,使产品研发成功后即具备了产业化生产的条件。该项目被评为2009年度中国石油天然气集团公司十大科技进展之首。2010年1月29日,该项目通过了集团公司组织的专家评审组的技术鉴定。鉴定专家组一致认为:“ES109系统硬件结构上采用了积木式的功能模块化设计概念,构成排列与交叉线两级级联的拓扑结构,自定义的传输协议,系统操作简便、升级方便、扩展灵活。系统单线数据传输速率达到40 Mb/s,单线实时带道能力达到1 000道(@ 1 ms),属于国际领先水平,同时还具备较完善的检波器在线测试功能,有利于控制地震数据采集质量、提高勘探效率,能够满足高精度勘探对仪器更大道数的需求。系统软件采用一系列核心算法与软件模块的设计与实现理念,将整个大系统分成各个不同的层次进行设计和管理,以主从方式对下层部件进行扩展,配合宝塔式结构的硬件并行工作。软件界面非常友好,简捷易用,利于野外操作。图形显示美观漂亮,对错误及报警信息能明确清晰地提示给用户,在设计中充分考虑了安全性的要求,具有较高的可靠性和稳定性。仪器的各项技术指标均通过测试,达到了我国石油行业标准,在主要的25种指标中,有4项指标明显优于国际同类产品水平(最大道能力、单线道能力、数据传输率、检波器在线性能测试),20项指标与国际主流大型地震仪器的水平相当,有1项指标低于国际先进仪器的水平(平均每道功耗),而且数据分布离散程度较小,说明了仪器制造的过程控制和工艺技术已经比较成熟”。

### 3 可控震源的发展进程

#### 3.1 可控震源发展简介

现代可控震源是从20世纪70年代开始出现,它采用单独设计的专用承载底盘,野外通过能力较

强;振动输出采用液压伺服控制,具有激发频率可控、激发能量可控;具备较高的激发信号同步控制精度,允许采用多台同步垂直迭加方式进行作业的专业激发工具。现代可控震源主要有4部分组成:  
a. 具有在复杂区较强通过能力的大功率运载底盘;  
b. 液压伺服控制系统;  
c. 震动器;  
d. 辅助通信系统。为满足油气勘探不断提升的要求,可控震源从早期的20 000磅(1磅=0.453 6 kg)出力已经发展到目前80 000磅左右的出力。可控震源的技术优势主要表现为:具有高机动性和复杂地区的通过能力;激发频率在较大的范围内可控;激发能量可控、可任意分配,并且可以通过增加激发时间实现能量积累;精确的相位控制可以实现多台激发,保证激发能量的同步叠加;较灵活的震源组合功能,有利于压制背景干扰;较高的施工效率,很少受地下岩性或表层变化的影响;属于安全、环保的低密度激发源,对周围环境及植被影响较小;利于研究多波、多分量新方法、新技术。

#### 3.2 国产可控震源发展进程

国产可控震源的研制开发始于1978年,在原燃化部(后改为石油部)的支持下,原物探局分别与玉门机械厂和上海七机局合作先后试制了KZ-7和“上海”震源,其中KZ-7型震源在玉门地区完成了约260 km的地震勘探作业,也是国产可控震源首次进行的工业性地震勘探生产。在我国“六·五”到“八·五”期间,原物探局及现BGP又研制出了KZ-13, KZ-20, KZ-23/2000等系列可控震源,其中KZ-20G远赴境外进行地震作业,其施工能力受到了国外监理公司的好评,并在1999年首次实现了KZ-23A/B型震源的国外销售。

国产可控震源在经历了近20年,几个系列的国产可控震源的研制开发的基础上,重新自主设计大吨位可控震源KZ-28,并于2005年投产。KZ-28大吨位可控震源真正实现了自主创新设计和自主知识产权,它突出地表现为在大激发能量水平下的低畸变输出特征和具有适应中国特殊地区和气候环境的结构设计。截至2008年12月底,仅KZ-28型可控震源就生产了200台,在国际作业的达100台,其中出口销售累计达32台。KZ-28型可控震源首次实现了大批量对国内外用户的销售。国产可控震源质量稳定,产品的技术性能达到并超过了国外同类产品,针对降低激发信号输出畸变的一些自主研发的专有技术领先于国外同级别可控震源。

### 3.3 国产可控震源的技术创新及专利技术

KZ-28 可控震源不但吸取了国外可控震源的先进技术与理论,同时还针对国内西部特殊工区的使用情况和未来物探技术发展的需求,首次注入了新的设计理念:高振动输出力,低畸变激发信号;更注重系统的维修性和可用性;强化系统抗污染设计;注重对操作环境和舒适性的改善。

“高振动输出力,低畸变激发信号”设计理念是国内外首次提出的设计概念。为实现这一目标,设计人员先后从制约可控震源输出信号的畸变与频宽的瓶颈问题出发,研究如何控制与降低可控震源在低、高频扫描段的畸变,寻找出合理的结构配置,从而设计、制造出在全可用频段内畸变水平都相对较低的可控震源。设计人员创造性地开发与研制了横置伺服阀、等张力平板提升机构、低重心振动器结构、四导柱压载结构以及圆角平板等多项专利技术;同时针对激发信号频带宽度超过 120 Hz 或低频低于 6 Hz 时,由于可控震源机械系统与液压系统非线性因素导致的畸变极大地制约了地震勘探信号激发频带的应用,为此设计人员根据可控震源在激发信号过程中的运动学模型和近地表的动力模型,采用多级变阻尼的方式降低低频固有频率对激发信号低频端的扰动影响,降低了可控震源车本身对激发信号的影响,从而较好地降低了 KZ-28 型可控震源振动器在激发信号上的输出畸变。试验结果表明:新一代 6 万磅级(1 磅 = 0.453 6 kg)的国产大吨位可控震源满幅度激发输出信号的畸变水平仅相当于 4 万磅级可控震源满幅度激发下的输出信号畸变水平。

采用冗余设计理念,提高可控震源工作的可靠性。设计过程中对有可能影响野外生产的关键环节进行了冗余设计。如散热系统、升降压控制系统、空滤器系统、燃油供给系统。这种设计明显地改善了整机的可用性,降低用户的使用成本。KZ-28 还采用了强化的系统抗污染设计,主要解决油品本身的品质差或加注过程中带来的污染问题:在每台震源密闭液压油箱加注口单独设置了手动加注泵和带有强磁滤芯的过滤系统。一方面避免了以往依靠人工加注导致系统的污染,同时也减轻了加注液压油的劳动强度。KZ-28 从设计理念上就考虑到尽量改善操作的舒适性和操作维护环境。另外,为了方便在车上对相关系统进行检修、维护,KZ-28 可控震源还设计了平台结构,确保了操作人员在车外工作

的安全。通过野外生产表明,这样的设计非常实际、合理,使用效果明显,并且受到了用户极大的好评。

## 4 地震辅助装备的发展进程

地震勘探辅助装备主要有用于沼泽、滩海作业的运载设备与用于钻井、下炸药的物探钻机两大类。

### 4.1 用于沼泽、滩海作业的运载设备的技术进程

此类运载设备面向恶劣的工区环境,挺进这类工区是石油工业向纵深发展所必需。在国外也没有成熟的技术或装备可借鉴。为此,此类运载设备均以“协作、攻关”形式研制生产。此类运载设备可分为船式、轮式和浮箱式等三种结构。

#### 4.1.1 船式运载设备

20 世纪 80 年代初,为了在沼泽、滩涂、淤泥等一般车、船难以到达的地区使用,大港油田委托 708 研究所研制小型全垫升式“气垫吉普”。该艇系用耐蚀铝合金作艇体,配用 2 台汽车汽油机,功率为  $2 \times 44$  kW,采用导管螺旋桨和囊指型围裙,总重 2 600 kg,可载客 8 名。为了减少主机故障率和桨叶颤振,该艇后改用进口的道依茨(Deutz)风冷高速柴油机。该改型艇由杭州东风船厂和芜湖造船厂小批量生产,交付大港油田使用。

1990 年,为了提高在浅水区域的运载效率,大港油田委托沈阳橡胶四厂研制国产橡皮艇。通过两年时间的研发、试验,在 1992 年 2 100 kg 橡皮艇进入定型生产阶段,艇体采用高强度聚酯织物作为主体胶布骨架材料,经过冷粘成型而制成的,具有速度快、安全可靠、稳定性好等特点。随后又陆续开发出 3 000 kg 和 1 300 kg 两种型号的橡皮艇。现在已有共计 800 余条橡皮艇投入滩浅海勘探作业。

#### 4.1.2 轮式运载设备

1999 年,BGP 首次开发研制了两台 ZCL-12 型钢轮沼泽车。该车自重 12 000 kg,车速 13 km/h,载重能力 1 000 kg。2000 年,这两台设备在 BGP 苏丹勘探项目使用,其中一台一直使用至今。2005 年和 2006 年,BGP 又陆续生产了 4 台 ZCL-12 型钢轮沼泽车,在苏丹项目使用。该车型可在干硬的黑土地、高低不平的沟坡、深草区、树林、沼泽地表行驶,适于地球物理勘探的测量、采集作业。

2005 年,BGP 在中国石油集团科技管理部的支持下,开展了“海外物探特种装备研发”项目,研制成功了 WTC5100TZZ 铰接轮式沼泽车。该车采用宽基橡胶轮胎,自重 10 000 kg,载重能力 1 500 kg,

滩涂行驶速度 3 km/h。陆地行驶速度 45 km/h,此设备在陆地具有较高的作业效率,在水上滩浅海等地表具有越野通过能力。该种车型在 BGP 海外苏丹、沙特、乌兹别克斯坦等项目推广应用。

2006 年, BGP 中标俄罗斯的国际勘探项目, 勘探区域为沼泽和丛林, 根据需求自主开发了 ZJL-01 轻型铰接轮式沼泽车, 车速 15 km/h, 自重 1 200 kg, 陆地载重 600 kg, 水上载重 300 kg, 成为适合于丛林、沼泽、水网, 滩涂地区勘探的新型快速作业设备。2009 年 BGP 又自主开发研制了 ZCF-04 轻型沼泽车, 车身采用轻量高强度铝合金材料, 由静液系统驱动橡胶履带铝轨, 自重 4 000 kg, 载重 1 300 kg, 陆地最高车速 15 km/h, 水上最高车速 5 km/h, 该车的特点是整车重量轻、接地比压小, 行走系统摩擦损失小, 效率高等。

#### 4.1.3 浮箱式运载设备

1999 年, BGP 首次开发研制了两台 ZCF-14 型浮箱链轨沼泽车。该车自重 14 000 kg, 车速 10 km/h, 载重能力 1 000 kg。2000 年, 这两台设备在 BGP 苏丹勘探项目使用。2001 年, BGP 又自主开发研制了 ZCF-06 小型浮箱链轨沼泽车, 自重仅 6 000 kg, 车速 7 km/h, 载重能力达到 1 000 kg, 较之 ZCF-14 型浮箱链轨沼泽车, 单位重量载重能力大大加强, 装载自主研发的 ZCZ-20 沼泽钻机, 分别在沙特、苏丹、俄罗斯、乌兹别克斯坦等国际勘探项目中测量和钻井作业, 效果良好。

2004—2006 年, 为解决浮草区、深水区勘探作业通过困难的问题, BGP 又自主开发研制了 ZCF-12 型浮箱链轨沼泽车, 载重能力 2 500 kg, 陆上车速 7 km/h。在沙特和苏丹国际勘探项目中使用, 分别装载不同作业设备, 可进行运载、吊装和钻井等勘探作业。期间 BGP 还研制成功了 ZCF-32 大型浮箱链轨沼泽车。该车载重能力 8 000 kg, 适于大面积水域作业, 可安装直升机平台作为物资中转平台; 或安装 ZZ100 型沼泽钻机, 也可配置泥枪震源系统进行滩浅海地震勘探作业。该种车型在 BGP 海外苏丹、沙特、乌兹别克斯坦等项目推广应用。

## 4.2 物探钻机的技术进程

物探钻机是指专用于打人工地震震源孔的钻井设备。由于地震勘探施工的特殊性决定了物探钻机与其他类工程钻机(如地质探井、采矿井等钻机)不同的特点和要求:a. 机动性强;地震勘探施工一般在无路地区,测线纵横交叉,每条测线一般有几十到

上百千米,为此钻机必须采用车载方式,底盘要求机动灵活,越野性能好;遇到山地、丘陵等车辆无法进入地区,又要采用人抬方式,要求单件重量轻、易于拆装和搬迁;b. 炮井数量多,钻井深度相对较浅:一般每公里测线要打 10~100 多口井,钻井深度一般在 5~100 m。

### 4.2.1 起步阶段

二十世纪六七十年代,当时石油物探施工主要在北方平原,最初钻井施工使用的主要是自行制造的人工手摇钻机,后来部分采用地质部门生产的车装 DDP-100 工程勘探钻机、撬式 XJ-100 等地质岩心钻机;20 世纪 70 年代初由 BGP 机械厂研制并推出车装机械转盘式 701 钻机。

### 4.2.2 发展阶段

进入 20 世纪 80 年代,通过对国外同类产品的消化吸收,1983 年, BGP 机械厂研制的车装转盘式 WT-300 钻机通过当时石油工业部机械制造司鉴定,并获石油工业部优秀成果一等奖;此后,随着液压技术的发展和国内勘探区域的扩展,一批结构简单、操作灵活方便的液压钻机相继问世,主要设备有 1985 年鉴定的 WT-50 液压钻机,1988 年鉴定的 WTZ-18 型沙漠液压钻机等。到 20 世纪 90 年代,石油勘探地区进一步扩展, BGP 机械厂相继设计开发了一批适应特殊地层的物探钻机,主要设备有 1991 年鉴定的 WTZ-30 人抬山地钻机、1995 年鉴定 WTRZ-30 人抬山地钻机、1999 年鉴定 WTJ5120TZJ 车装沙漠钻机以及适应戈壁、沼泽、滩浅过渡带、丛林的一些特种钻机。

### 4.2.3 成熟阶段

2000 年以后,随着自主知识产权技术的不断积累和产品的更新换代,国内物探钻机的可靠性进一步提高,中小型常规钻机已接近或达到国际先进水平,代表性的产品有保定宏业公司生产的 2000 系列人抬山地钻机, WTZ-150/ZJ-200 液压车装钻机, BGP 装备研究中心研制的 ZDZ-80 人抬山地钻机,以及吉林大学研究的铝合金人抬山地钻机等。

## 5 物探装备技术的发展方向

### 5.1 地震仪器的发展方向

根据地震勘探仪器技术发展的规律,以及当前地球物理勘探技术进步与市场的发展需求,未来地震勘探仪器将应用更为先进的科学方法与手段,将采用更为先进的材料与工艺,笔者预测:未来的地震

仪器在技术指标上将向两高两低、两更两超方向发展:两高即高精度、高信噪比,两低即低失真、低功耗;两更即更宽频带、更大动态范围,两超即超高速传输、超万道作业能力。在技术功能上向两实两全、两抗两高方向发展:两实即 GPS 数据实时定位、施工质量实时监控,两全即全数字化架构、全波场采集能力;两抗即抗复杂地表影响、抗各类电磁干扰,两高即高集成模块化、高自动智能化。在操作使用上向 4 个更加的方向发展,即更加好的性价比、更加轻便灵活、更加稳定可靠、更加高效的施工能力。

## 5.2 可控震源的发展方向

未来可控震源的发展还是依靠地球物理勘探技术的需求而发展。从可控震源的类型上看,单一的纵波激发不能满足未来全波场勘探及高精度地震成像技术的需求,纯横波(SH 波)可控震源、三分量(P,SH,SV)可控震源将是解决未来油气藏勘探、岩性研究及裂隙展布研究的重要激发手段。从提高地震勘探分辨率的角度看,以拓展可控震源低频和高频为努力方向的宽频可控震源依然有潜在的市场需求。

针对油气藏的低频伴生阴影现象,以超低频激发的可控震源将是进行油气识别简单而有效的手

段,因此,超低频可控震源将是未来复杂油气藏勘探不可或缺的工具。

在提高可控震源高频响应及降低输出信号畸变方面,基于电磁技术的电磁可控震源可能会在未来引导可控震源新的发展。

随着工程地质勘探、城市防灾减灾、煤田及非油气勘探领域对非炸药震源需求的增加,小吨位可控震源也出现了发展机遇,同时油气勘探在浅层折射静校正方面的需求,因此也出现了对小吨位、经济型可控震源的需求。

## 6 结语

回顾 60 年的发展历程,我国物探装备技术发展的道路充满着曲折与坎坷。60 年的技术发展成就是我国广大物探装备工作者顽强拼搏、善于钻研、勇于攀登、忘我工作所取得的硕果,也是历届集团公司领导正确指引、精心培育的结果,更是“改革开放”伟大决策开出的绚丽之花。

“雄关漫道真如铁,而今迈步从头越”。展望未来我们豪情满怀,并更加坚信:我国的物探装备技术必将会获得更快地发展,必将会有更多、更优秀的国产物探装备涌现在国际勘探市场。

## Technical advance and development of China geophysical equipment

Wang Tiejun, Hao Huimin, Li Guoqi, Luo Fulong,  
Tao Zhifei, Chen Lianqing, Hou Jinhai  
(BGP Inc., CNPC, Zhuozhou, Hebei 072751, China)

**[Abstract]** The rapid growth of China petroleum industry has brought about the steady development of its geophysical equipment technology. For example, our seismic instrument has experienced its sixth upgrade. As a result, our geophysical equipment technology has met world advanced standards. After 20 years of painstaking efforts in R&D and by means of technology – introducing, digesting, absorbing, and innovating, some of our vibrator technologies have reached the world advanced level and still some have taken the world leading positions. Our seismic auxiliary equipment has much improved and earned its reputation in the global market after 30 years of independent R&D.

**[Key words]** China petroleum industry; geophysical prospecting equipment; seismic instrument; vibrator; transportation vehicle; seismic drilling rig